



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO CLINICO DI SCIENZE MEDICHE
CHIRURGICHE E DELLA SALUTE

CORSO DI LAUREA
IN
TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE
E NEI LUOGHI DI LAVORO

Tesi di Laurea

***La Realtà Virtuale nella formazione dei lavoratori: un
progetto sperimentale tra innovazione e sicurezza***

Laureanda:
Chiara Bianchet

Relatore:
Dott. Ivan Paravano

Correlatore:
Dott. Alessandro Tito
Dott. Dario Trevisiol

Anno Accademico 2024 – 2025

Sommario

1. Introduzione	1
1.1 Importanza della formazione per la sicurezza nei luoghi di lavoro	1
1.2 Il quadro normativo della formazione sulla sicurezza	4
1.3 La formazione negli adulti	7
1.4 Spazio per l'innovazione: nuove tecnologie nella formazione	8
1.5 Realtà Virtuale e formazione	11
2. Obiettivi	18
3. Materiali e metodi	20
3.1 Il progetto formativo: contesto	20
3.2 Gli scenari virtuali sviluppati	22
3.2.1 L'ambiente virtuale officina in Friulintagli	23
3.3 La struttura dei corsi con la Realtà Virtuale	34
3.4 Gli strumenti per la stima dell'efficacia didattica e dell'esperienza dell'utente:	38
test di conoscenza, questionario di gradimento, questionario SUS	38
4. Risultati	44
4.1 Analisi dei risultati dei test di conoscenza pre e post corso di formazione con visore	44
4.2 Analisi dei risultati dei test di conoscenza pre e post corso di formazione tradizionale	47
4.3 Analisi del questionario di gradimento	49
4.4 Analisi questionario SUS	53
5. Discussione	57
5.1 Apprendimento, soddisfazione e usabilità: una discussione dei risultati	57
5.2 Punti di forza e di debolezza della formazione VR	60
6. Conclusioni	61
7. Bibliografia	64

1. Introduzione

1.1 Importanza della formazione per la sicurezza nei luoghi di lavoro

La formazione in materia di salute e sicurezza sul lavoro è diventata sempre più importante negli ultimi decenni. È uno dei modi più efficaci per prevenire infortuni, malattie professionali e comportamenti a rischio. Il continuo aggiornamento delle competenze è diventato necessario a causa dei cambiamenti che hanno interessato il mondo del lavoro, in particolare in termini di prevenzione, dovuti alla diffusione di nuove tecnologie e dei cambiamenti nei modelli organizzativi.

Data la crescente fluidità del mercato del lavoro, caratterizzato da contratti a termine e un'alta mobilità dei lavoratori, la formazione sulla sicurezza riveste oggi un'importanza cruciale.

In questo scenario, dove i lavoratori cambiano spesso azienda e la presenza di lavoratori stranieri è sempre più rilevante, diventa fondamentale che la formazione sia erogata in modo efficace, prevedendo anche corsi specifici in lingua per superare le barriere linguistiche e garantire a tutti un'adeguata comprensione delle norme di sicurezza.¹

Tuttavia, i metodi di insegnamento convenzionali, che si basano spesso su lezioni frontali, proiezioni di slide e materiali teorici, a volte si rivelano poco efficaci. Uno dei principali ostacoli è la scarsa capacità di coinvolgere realmente i discenti e di insegnare comportamenti sicuri sul lavoro. In effetti, le regole di sicurezza sono spesso viste come lontane dalla realtà operativa. Questo approccio può essere il risultato di percorsi formativi che

¹ Karina Nielsen et al., «A mixed methods study of the training transfer and outcomes of safety training for low-skilled workers in construction», *Work & Stress* 37, fasc. 2 (2023): 127–47, <https://doi.org/10.1080/02678373.2022.2086646>.

non sono sufficientemente interconnessi con le attività che vengono effettivamente svolte.²

Infatti, la formazione dovrebbe contribuire attivamente alla sensibilizzazione dei lavoratori, fornendo loro strumenti pratici per identificare i rischi e per imparare a gestirli in modo consapevole. La sicurezza non può essere considerata un'idea teorica: è una parte essenziale del lavoro e un diritto fondamentale per i lavoratori.

Va tenuto presente che la formazione può essere considerata un vero e proprio investimento e non solo un obbligo fiscale o normativo per l'azienda. Un lavoratore formato è più vigile, riconosce meglio i segnali di pericolo, agisce in modo preventivo e migliora la sicurezza dell'azienda. Al contrario, una scarsa formazione può avere conseguenze significative: infortuni, malattie professionali, oltre che ritardi nella produzione, sanzioni, costi finanziari e danni alla reputazione. Inoltre, per le imprese, la formazione significa migliorare l'efficienza, la produttività e il benessere interno.³

È fondamentale sottolineare che la formazione sulla sicurezza non dovrebbe essere un'attività isolata o occasionale. Al contrario, deve essere continua, mirata e adattata alle attività lavorative specifiche. Compiti apparentemente semplici possono nascondere pericoli, e solo chi ne è consapevole può evitarli. In questo modo, la consapevolezza diventa la

² «Carta Fondamentale Formazione Sicurezza, Igiene e Salute sul Lavoro, 28 aprile 2024», consultato 25 luglio 2025, https://olympus.uniurb.it/index.php?Itemid=126&catid=98&id=31866&option=com_content&view=article&utm.

³ Manuela Tiberi, «La sicurezza non è un costo, ma un investimento.», #ZEROMORTISULLAVORO, 5 luglio 2022, <https://zeromortisullavoro.it/la-sicurezza-sul-lavoro-e-un-investimento/>.

prima linea di difesa e la cultura della sicurezza viene costruita quotidianamente con la partecipazione di tutti.

Inoltre, il lavoratore non può essere considerato solo un ricevente passivo di informazioni. Deve, invece, essere parte attiva del processo di formazione: la sua esperienza può aiutare a individuare criticità, migliorare le procedure e rafforzare il senso di responsabilità, sia personale che collettiva. Un lavoratore attento è più propenso a segnalare circostanze potenzialmente pericolose e a incoraggiare i colleghi a comportarsi in modo sicuro.⁴

L'effetto positivo della formazione sulla motivazione del personale è spesso trascurato. Partecipare a corsi ben organizzati, aggiornati e pratici aiuta a sviluppare competenze trasversali, aumenta la fiducia nelle proprie capacità e rafforza il senso di appartenenza all'organizzazione. Le aziende che investono nella crescita dei propri dipendenti trasmettono attenzione, serietà e visione a lungo termine, qualità che sono apprezzate sia dai dipendenti che dai candidati potenziali.

Infine, deve essere considerato il valore strategico della formazione per aumentare la competitività dell'impresa. Saper affrontare il cambiamento, gestire i nuovi rischi e mantenere elevati standard di salute e sicurezza possono fare davvero la differenza in un ambiente lavorativo sempre più dinamico.⁵

⁴ *Il ruolo della formazione continua nella promozione della cultura della sicurezza sul lavoro - Safe Engineering, News*, 12 luglio 2024, <https://www.safe-engineering.it/il-ruolo-della-formazione-continua-nella-promozione-della-cultura-della-sicurezza-sul-lavoro/>.

⁵ «Formazione professionale: un investimento per il futuro», consultato 25 luglio 2025, <https://fitprime.com/it/magazine/formazione-professionale-un-investimento-per-il-futuro?>.

1.2 Il quadro normativo della formazione sulla sicurezza

La formazione in materia di salute e sicurezza sul lavoro è un elemento chiave nelle strategie di prevenzione dei rischi professionali in Italia. È un mezzo concreto per proteggere l'integrità fisica dei dipendenti e promuovere una cultura di sicurezza condivisa nell'ambiente lavorativo. Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81⁶, noto anche come Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro, costituisce il riferimento normativo fondamentale. Secondo l'articolo 2, la "formazione" si riferisce a un processo educativo che mira a fornire ai lavoratori, ai dirigenti e ai preposti del sistema di prevenzione aziendale le conoscenze e le competenze necessarie per lavorare in sicurezza e prevenire i rischi. L'articolo 15 inserisce la formazione tra le misure generali di tutela insieme alla valutazione dei rischi, alla sorveglianza sanitaria e all'uso dei dispositivi di protezione individuale. In questo modo, la legge sottolinea che la formazione è un componente essenziale di ogni politica di prevenzione e non un'aggiunta secondaria. Gli obblighi formativi sono dettagliati negli articoli 36 e 37: il primo si concentra sul diritto dei dipendenti a ricevere informazioni trasparenti e aggiornate sui rischi, sulle procedure di prevenzione e sui referenti dell'azienda; il secondo stabilisce che la formazione debba essere sufficiente e adeguata ad affrontare i rischi specifici associati all'attività svolta, tenendo conto del settore e della mansione. La formazione specifica dovrebbe quindi essere effettuata a seconda dei rischi propri di ogni lavoratore in funzione di quanto emerso all'interno del Documento di Valutazione dei Rischi.

Inoltre, il comma 5 dell'articolo 37 assegna la responsabilità di stabilire i criteri e le modalità della formazione agli Accordi Stato-Regioni.

⁶ «DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 - Normattiva», consultato 23 luglio 2025, <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2008-04-09;81!vig=>.

Il 21 dicembre 2011 è stato firmato l'Accordo Stato-Regioni⁷ che ha stabilito aspetti uniformi e vincolanti per quanto riguarda la durata, i contenuti minimi e le modalità di erogazione dei percorsi formativi rivolti ai lavoratori, dirigenti e preposti. Questo Accordo ha consentito di completare questi principi, differenziando la formazione generale dalla formazione specifica, modulata in base al livello dell'attività lavorativa (basso, medio, alto). Inoltre, i lavoratori sono tenuti a ricevere un aggiornamento periodico di norma quinquennale.

Un aspetto innovativo per l'epoca è stata l'attenzione alla verifica dell'apprendimento: non bastava trasmettere contenuti, ma occorreva verificarne l'effettiva acquisizione tramite test, esercitazioni e prove pratiche. Inoltre, veniva consentito l'uso di strumenti multimediali e digitali, purché rispettassero criteri di interattività e tracciabilità.

A distanza di oltre dieci anni, l'Accordo del 17 aprile 2025⁸ conferma i principi di base fissati nel 2011 ma ne amplia l'orizzonte. In linea con l'evoluzione dei rischi nei luoghi di lavoro e con le potenzialità delle nuove tecnologie, aggiorna i contenuti formativi e promuove metodologie didattiche attive. Mentre nel 2011 la tecnologia era soprattutto un supporto, nel 2025 diventa parte integrante della formazione: realtà aumentata e realtà virtuale vengono riconosciute come strumenti in grado di simulare scenari operativi, offrendo un apprendimento immersivo e interattivo. A conferma di ciò, il testo dell'Accordo le definisce esplicitamente come "tecnologie immersive" che, tramite "dispositivi mobili di visione, di ascolto o di manipolazione" consentono di simulare "diversi scenari a scopo esercitativo e didattico". Viene inoltre sottolineato come tali strumenti

⁷ «Gazzetta Ufficiale», consultato 23 settembre 2025,
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/01/11/12A00058/sg>.

⁸ «Accordo Stato-Regioni 17 aprile 2025», consultato 16 maggio 2025,
https://aifos.org/home/news/normativa/leggi_e_norme/accordo-unico-stato-regioni-17-aprile-2025.

permettano di “ripetere prove e operazioni in più sessioni formative, riducendo le conseguenze di eventuali errori”.

Queste tecnologie non sostituiscono la pratica reale, ma la completano, facilitando l’acquisizione di competenze manuali e operative in ambienti controllati e sicuri. Tale principio è sancito con chiarezza dall’Accordo stesso, che pone un confine preciso all’uso di queste tecnologie specificando che “il ricorso alla realtà virtuale o aumentata non sostituisce la parte pratica relativa ai corsi di cui ai punti 7 e 8 del presente accordo”. Tali corsi riguardano la formazione per lavori in ambienti confinati o sospetti di inquinamento e quella per l’abilitazione all’uso di attrezzature specifiche.

Anche l’aggiornamento periodico viene ripensato, restando quinquennale ma con la possibilità di integrare contenuti aggiornati in tempo reale grazie alle piattaforme digitali.

Attraverso l'utilizzo di nuove tecnologie, l'obiettivo è rendere la formazione ancora più efficace, aggiornata rispetto all'evoluzione dei rischi nei luoghi di lavoro e più qualitativa dal punto di vista didattico.

In particolare, la realtà virtuale si avvale di simulatori software progettati per aiutare le persone ad acquisire competenze manuali e operative. Alcuni ambienti virtuali consentono agli utenti di utilizzare avatar per muoversi liberamente in ambienti tridimensionali, rendendo l'apprendimento più coinvolgente. È fondamentale sottolineare che queste tecnologie non fungono da sostituto della pratica quotidiana ma piuttosto da supporto utile e complementare.

Per concludere, il quadro normativo attuale richiede una formazione costante, specifica, verificabile e continua. La formazione deve essere efficace se deve essere in grado di adattarsi ai nuovi contesti lavorativi e sfruttare le opportunità offerte dalle tecnologie digitali.

La presente tesi si concentra su questo contesto: analizzare come la realtà virtuale e altri strumenti immersivi possono integrarsi nel sistema formativo tradizionale per renderlo più coinvolgente ed efficace.

1.3 La formazione negli adulti

La formazione degli adulti si fonda su presupposti pedagogici distinti da quelli destinati ai discenti più giovani, come evidenziato da Malcolm Knowles nella teoria dell'andragogia. Secondo Knowles, l'adulto apprende in modo più efficace quando l'attività formativa è strettamente collegata alla propria esperienza pregressa, quando i contenuti sono immediatamente applicabili al contesto lavorativo e quando il discente è coinvolto attivamente nel processo di apprendimento, assumendo un ruolo autodiretto. L'esperienza non è soltanto un punto di partenza, ma rappresenta la principale risorsa per la costruzione di nuove conoscenze.⁹

In questa prospettiva, il modello di apprendimento esperienziale di David Kolb costituisce un ulteriore riferimento fondamentale. Kolb concepisce l'apprendimento come un ciclo dinamico articolato in quattro fasi: esperienza concreta, osservazione riflessiva, concettualizzazione astratta e sperimentazione attiva. L'acquisizione di competenze avviene attraverso il passaggio continuo da un'esperienza diretta alla riflessione su di essa, fino alla formulazione di concetti e alla loro applicazione pratica in nuovi contesti. Tale approccio valorizza il "fare" come leva di apprendimento e richiede ambienti formativi che permettano di sperimentare in condizioni controllate, favorendo la riflessione e l'applicazione immediata.¹⁰

⁹ Malcolm S Knowles, *From Pedagogy to Andragogy*, s.d.

¹⁰ Eric Cox, «Experiential Learning and Learning Styles», in *Oxford Research Encyclopedia of International Studies* (2010), <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190846626.013.175>.

L'introduzione di tecnologie immersive, come i visori di realtà virtuale, si inserisce in maniera sinergica in questo quadro teorico. Da un lato, risponde ai principi di Knowles, poiché propone scenari realistici e contestualizzati, permettendo all'adulto di apprendere in modo rilevante e orientato alla pratica. Dall'altro, si integra perfettamente nel ciclo di Kolb: la realtà virtuale offre esperienze concrete in ambienti simulati, stimola la riflessione immediata sull'azione, facilita la concettualizzazione delle procedure e consente di sperimentare ripetutamente senza rischi per la sicurezza. In tal modo, la tecnologia non si limita a supportare la formazione tradizionale, ma ne amplifica l'efficacia, trasformando l'esperienza in un potente strumento di apprendimento e sviluppo professionale.

1.4 Spazio per l'innovazione: nuove tecnologie nella formazione

Il modo in cui vengono progettati e svolti i corsi di formazione è stato significativamente influenzato negli ultimi anni, soprattutto in ambito aziendale e in contesti ad alto rischio, come quelli relativi alla sicurezza sul lavoro. L'introduzione di nuovi strumenti come la Realtà Virtuale (VR) e la Realtà Aumentata (AR) ha aperto nuove possibilità per rendere la formazione non solo più efficace, ma anche più interattiva, coinvolgente e adattabile alle esigenze dei discenti.

Queste tecnologie rappresentano due approcci distinti ma complementari. La VR si configura come un ambiente totalmente simulato, in cui il lavoratore viene immerso in uno spazio digitale che sostituisce la realtà fisica, consentendo un addestramento sicuro e controllato. Tale modalità è particolarmente efficace per esercitazioni ad alto rischio, procedure complesse o ambienti difficilmente accessibili, poiché permette di riprodurre scenari realistici senza esporre l'utente a pericoli concreti.

L'AR, al contrario, mantiene il contatto diretto con il contesto reale, arricchendolo con informazioni digitali sovrapposte alla percezione visiva dell'utente. In ambito formativo, questo si traduce in un supporto operativo "sul campo", in cui istruzioni, dati tecnici e avvisi di sicurezza vengono visualizzati in tempo reale mentre si svolge l'attività lavorativa.¹¹

Le nuove tecnologie nella formazione non sono semplicemente un cambiamento di formato o supporto; sono un vero salto qualitativo nel modo in cui viene trasmesso e assimilato il sapere. In particolare, la tecnologia VR è stata estremamente vantaggiosa per i programmi di formazione sulla sicurezza perché consente di simulare situazioni pericolose in contesti controllati, consentendo agli utenti di fare esperienze senza affrontare alcun pericolo reale.¹²

Il metodo di erogazione utilizzato è uno dei principali fattori che influenzano questo divario. I metodi convenzionali, come le lezioni frontali o i moduli teorici, non garantiscono un coinvolgimento sufficiente.

Inoltre, è frequente che questi metodi non aiutino a promuovere un apprendimento realmente significativo e duraturo.

Ad esempio, è stato studiato come la formazione in aula difficilmente promuova l'acquisizione di conoscenze operative, l'acquisizione di comportamenti corretti o il cambiamento di atteggiamento verso la sicurezza. Ci sono molti vincoli come la scarsa immersione, la scarsa interattività e le difficoltà nel trasferire l'apprendimento alla realtà lavorativa che costituiscono ostacoli all'apprendimento. Ciò è anche

¹¹ Paul Milgram e Fumio Kishino, «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays», *IEICE Transactions on Information* E77-D, fasc. 12 (1994): 1321–29.

¹² Hans Stefan et al., «Evaluating the Effectiveness of Virtual Reality for Safety-Relevant Training: A Systematic Review», *Virtual Reality* 27, fasc. 4 (2023): 2839–69, <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00843-7>.

accompagnato da vincoli logistici come orari fissi, dipendenza dall'istruttore e contenuti poco dinamici.

L'uso della realtà virtuale risulta particolarmente promettente in questo contesto. In un ambiente sicuro, i partecipanti possono sperimentare in prima persona i risultati delle loro scelte, imparare a identificare situazioni critiche, gestire emergenze simulate e migliorare le proprie reazioni attraverso scenari tridimensionali interattivi. L'esperienza immersiva consente un maggiore coinvolgimento cognitivo ed emotivo, il che porta a un apprendimento più profondo e durevole. Inoltre, questo tipo di metodologia si allinea con le teorie dell'apprendimento costruttivista ed esperienziale contemporanee, che valorizzano la partecipazione attiva del soggetto.

Il crescente interesse per la realtà virtuale è anche confermato dal numero di studi e progetti pilota sviluppati negli ultimi anni. Molti enti hanno iniziato a testare programmi di formazione innovativi basati su ambienti virtuali grazie alla maggiore accessibilità della tecnologia, dei prezzi più bassi per i visori VR e della consapevolezza dei limiti della formazione tradizionale. Non solo le simulazioni VR sono scalabili e replicabili, ma possono essere modificate in base al contesto lavorativo, al ruolo del dipendente e ai rischi dell'ambiente operativo.

La possibilità di monitorare in modo oggettivo le prestazioni dei partecipanti è un altro vantaggio della formazione basata su realtà virtuale. I software impiegati nei visori VR possono raccogliere informazioni sui comportamenti degli utilizzatori, sui tempi di risposta e sulla correttezza delle procedure. Successivamente, l'elaborazione di questi dati consente di valutare l'efficacia della formazione.

La formazione utilizza anche nuove tecnologie come la realtà virtuale. Ad esempio, la realtà aumentata (AR) consente agli elementi digitali di

interagire con il mondo reale e fornire supporto contestuale direttamente durante il completamento di compiti pratici. L'AR può essere utilizzata in ambito sicurezza per fornire istruzioni visive, segnalazioni di pericolo o check-list operative in tempo reale, aumentando la precisione e la consapevolezza operativa.¹³

Infine, è fondamentale sottolineare che l'utilizzo di tecnologie come la realtà virtuale o l'AR nella formazione richiede una progettazione didattica accurata e una formazione specifica per i formatori. L'efficacia di queste soluzioni dipende principalmente dalla qualità dei contenuti, dalla coerenza pedagogica e dalla capacità di integrare le nuove tecnologie con le esigenze concrete del lavoro.

Le nuove tecnologie, quindi, offrono una grande opportunità per migliorare la formazione, in particolare in materia di sicurezza. Metodi come la realtà virtuale possono superare i limiti dei metodi tradizionali fornendo esperienze formative più realistiche, efficaci e coinvolgenti se sono ben progettati e utilizzati. Quindi, sembra che il futuro della formazione sarà più immersivo, adattivo e focalizzato sull'esperienza diretta dell'utente.¹⁴

1.5 Realtà Virtuale e formazione

La realtà virtuale (VR) è diventata sempre più un ottimo strumento per la formazione in ambito professionale, con particolare rilevanza nei settori di specifiche attività ad alto rischio come l'industria, la salute, l'edilizia e la logistica. La realtà virtuale (VR) consente di sperimentare situazioni complesse o pericolose in totale sicurezza utilizzando ambienti simulati

¹³ Georgios Lampropoulos et al., «Examining the Role of Augmented Reality and Virtual Reality in Safety Training», *Electronics* 13, fasc. 19 (2024): 3952, <https://doi.org/10.3390/electronics13193952>.

¹⁴ Matthias Conrad et al., «Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings», *Computers & Education: X Reality* 4 (gennaio 2024): 100053, <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>.

altamente realistici. Ciò facilita l'apprendimento attraverso l'esperienza diretta e ripetibile.

Lo studio di **Sacks, Perlman e Barak (2013)**, che descrive un progetto di formazione in realtà virtuale per la sicurezza nei cantieri, offre uno degli esempi più rilevanti nell'edilizia. Secondo uno studio pubblicato su *Construction Management and Economics*, l'utilizzo della realtà virtuale (VR) può aiutare i lavoratori a riconoscere potenziali pericoli in ambienti tridimensionali e insegnare loro le migliori tecniche di prevenzione. I risultati hanno mostrato un miglioramento significativo nel riconoscimento dei rischi rispetto ai metodi tradizionali, in particolare per quanto riguarda i lavoratori poco esperti.

L'obiettivo era capire se un ambiente virtuale realistico potesse migliorare l'apprendimento e la memoria dei dipendenti rispetto ai metodi di formazione tradizionali, come le lezioni in aula con materiali visivi.

I lavoratori nel settore delle costruzioni devono spesso lavorare in ambienti complessi e pericolosi. La capacità di riconoscere i rischi è fondamentale per prevenire gli incidenti. La formazione convenzionale, che si basa su lezioni frontali, video e manuali, tuttavia, ha mostrato limitazioni significative in termini di coinvolgimento e impatto sull'apprendimento. I ricercatori hanno iniziato a testare l'uso della realtà virtuale alla ricerca della necessità di metodi di formazione più immersivi e realistici.

L'esperimento ha coinvolto 66 soggetti, che sono stati suddivisi in due gruppi: uno ha ricevuto una lezione tradizionale in aula, mentre l'altro ha ricevuto una lezione simile in un ambiente di realtà virtuale immersiva. In tre fasi, i partecipanti sono stati sottoposti a test di valutazione della conoscenza della sicurezza: prima, immediatamente dopo e un mese dopo la lezione. Sicurezza generale in cantiere, lavori in calcestruzzo gettato in opera e lavori di rivestimento in pietra sono stati gli argomenti trattati.

I risultati hanno dimostrato che la capacità di identificare e prevenire i rischi in determinati contesti di lavoro con il calcestruzzo gettato in opera e rivestimento in pietra è migliorata dalla formazione con VR. A causa della maggiore familiarità dei soggetti con tali situazioni, non sono emersi vantaggi evidenti per la sicurezza generale del cantiere. I partecipanti alla formazione virtuale hanno mantenuto un livello di attenzione più elevato durante le sessioni rispetto a quelli che partecipavano alla lezione in aula; Un mese dopo, il gruppo VR ha mantenuto meglio le conoscenze apprese, in particolare per quanto riguarda i lavori in calcestruzzo.

Attraverso un questionario che è stato condotto dopo la formazione, i partecipanti hanno valutato positivamente l'esperienza di realtà virtuale, ritenendola più divertente, realistica e memorabile. Alcuni soggetti hanno addirittura riportato emozioni intense, come il disagio durante la simulazione di incidenti, suggerendo che l'impegno emotivo è più importante, il che aiuta a imparare.

Inoltre, lo studio sottolinea alcuni limiti operativi dell'adozione della realtà virtuale: i costi elevati per lo sviluppo dei contenuti; le sessioni in gruppo possono ridurre l'efficacia dell'immersione poiché solo un utente può interagire pienamente con l'ambiente virtuale; la creazione di materiali VR richiede tempo e competenze tecniche sofisticate.

Tuttavia, gli autori sottolineano che i vantaggi osservati rendono ampiamente ragionevole incorporare la VR nei programmi formativi, in particolare in settori ad alto rischio come quello delle costruzioni.

Viene dimostrato che la formazione sulla sicurezza con l'uso della realtà virtuale immersiva non solo è realizzabile, ma è anche efficace per migliorare l'apprendimento, l'attenzione e la memoria dei dipendenti. La realtà virtuale (VR) è una tecnologia che potrebbe cambiare la formazione in edilizia offrendo esperienze realistiche, sicure e personalizzabili. Gli

autori suggeriscono l'uso della VR come sostituto delle tecniche tradizionali, in particolare nei contesti operativi e professionali.¹⁵

Oltre all'ambito edilizio, anche il settore dell'emergenza ha trovato nella VR uno strumento di formazione efficace. Lo studio, condotto da **David Narciso** e colleghi, mira a determinare quanto sia efficace la realtà virtuale immersiva (VR) nella formazione dei vigili del fuoco, in particolare quando si tratta di gestire situazioni di emergenza che richiedono coordinamento operativo, gestione dello stress e prontezza decisionale. Il lavoro fa parte di una serie di studi che mirano a utilizzare tecnologie immersive per migliorare la preparazione psicofisica degli operatori dell'emergenza mantenendo un ambiente controllato, ripetibile e sicuro.

L'obiettivo principale dello studio è esaminare come le risposte cognitive, comportamentali e fisiologiche dei vigili del fuoco a scenari di emergenza simulati vengono influenzate dalla formazione in realtà virtuale. L'aumento del battito cardiaco (HR), che è un indicatore dell'attività e dello stress acuto durante l'esercitazione, viene in particolare monitorato. Lo studio mira a trovare risposte a due domande chiave:

1. La realtà virtuale può provocare risposte fisiche e comportamentali simili a quelle in vita reale?
2. È possibile utilizzare l'esperienza virtuale per migliorare l'apprendimento e il comportamento operativo in situazioni critiche?

Lo studio ha coinvolto 24 professionisti dei vigili del fuoco, che sono stati suddivisi in due gruppi: un gruppo di esperti, che ha assistito a una simulazione immersiva in realtà virtuale, e un gruppo di controllo, che ha

¹⁵ Rafael Sacks et al., «Construction safety training using immersive virtual reality», *Construction Management and Economics* 31, fasc. 9 (2013): 1005–17, <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.

ricevuto formazione standard tramite video e riunioni in aula. Prima e dopo l'allenamento, entrambi i gruppi sono stati sottoposti a test. Il gruppo di realtà virtuale ha lavorato in uno scenario simulato in cui dovevano identificare un incendio, salvare le persone e gestire i rischi ambientali in un edificio in fiamme. Per valutare il carico emotivo e lo stress percepito dai partecipanti durante l'esperienza, il battito cardiaco dei partecipanti è stato monitorato in tempo reale.

I dati hanno dimostrato che:

- il battito cardiaco medio dei partecipanti alla realtà virtuale è aumentato notevolmente durante le fasi più importanti della simulazione, confermando un'intensa attivazione fisiologica simile a quella che si vede in un ambiente reale;
- l'allenamento in realtà virtuale ha aiutato i vigili del fuoco a identificare situazioni pericolose e ad agire in modo appropriato più rapidamente del gruppo di controllo;
- elevato coinvolgimento emotivo e percezione del realismo: pur sapendo che si trattava di una simulazione, molti partecipanti hanno detto di essere stati "realmente sotto pressione".

Secondo lo studio, se ben progettata, la realtà virtuale può simulare condizioni psicofisiche realistiche attraverso l'attivazione di meccanismi corporei e cognitivi simili a quelli che si verificano in una situazione di emergenza reale. Il monitoraggio del battito cardiaco si è rivelato un valido mezzo per valutare il livello di coinvolgimento e stress operativo, suggerendo che la realtà virtuale potrebbe anche essere utilizzata per valutare lo stato psicofisico dei soccorritori.

Lo studio evidenzia alcuni limiti:

- è stato difficile ottenere risultati generalizzati a causa del fatto che il campione era composto da professionisti esperti ed era piccolo.
- L'esperienza virtuale era limitata a uno scenario.
- Non sono state stabilite misure a lungo termine per valutare l'efficacia della formazione.

Questo studio dimostra che la realtà virtuale è una tecnologia promettente per la formazione operativa in situazioni di emergenza perché consente agli operatori di imparare in modo immersivo e fornisce strumenti fisiologici utili per valutare la loro prontezza e resistenza allo stress. I risultati supportano l'uso della realtà virtuale nei programmi di addestramento dei vigili del fuoco perché offre vantaggi in termini di sicurezza, efficienza e adattabilità.¹⁶

Se nel caso dei vigili del fuoco l'obiettivo era preparare il personale a gestire rapidamente il pericolo in ambienti imprevedibili, nel settore minerario l'uso della VR si rivolge a un'altra necessità critica: allenare i lavoratori al riconoscimento dei pericoli nascosti in ambienti chiusi e pericolosi. Lo studio di **Marc T. Filigenzi, Timothy J. Orr e Todd M. Ruff (2000)**, pubblicato su *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, esplora l'uso della realtà virtuale (VR) per migliorare la formazione alla sicurezza dei lavoratori nel settore minerario. Il progetto, condotto presso il laboratorio di ricerca del NIOSH (NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH: è uno degli strumenti utilizzati per valutare il rischio da movimentazione manuale dei carichi nei luoghi di lavoro.) a Spokane (Washington), mira a sviluppare ambienti virtuali realistici ed economici in

¹⁶ David Narciso et al., «Virtual Reality in Training: An Experimental Study with Firefighters», *Multimedia Tools and Applications* 79, fasc. 9 (2020): 6227–45, <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08323-4>.

cui i minatori possano apprendere procedure di evacuazione e riconoscimento dei pericoli senza rischi reali.

La ricerca parte dal presupposto che il settore minerario abbia uno dei tassi di mortalità più alti tra le industrie private, spesso dovuto a una formazione inadeguata. Per rispondere a questa esigenza, il NIOSH ha iniziato lo sviluppo di software VR in grado di simulare fedelmente le condizioni reali delle miniere, utilizzando mappe digitalizzate e motori grafici commerciali.

Il progetto è stato suddiviso in due compiti principali: il primo è la creazione di un simulatore per esercitazioni di evacuazione, basato su un motore grafico personalizzato; il secondo è l'adattamento di videogiochi commerciali per simulare situazioni di pericolo e valutare le reazioni dei lavoratori.

Attraverso scenari interattivi, i minatori possono esplorare ambienti sotterranei, imparare a usare l'equipaggiamento di sicurezza e affrontare emergenze simulate, come crolli o fughe di gas. Gli errori commessi nel mondo virtuale generano conseguenze simulate, favorendo l'apprendimento esperienziale e la memorizzazione delle corrette procedure operative.

Un esempio descritto nello studio riguarda un'area della miniera senza supporti al soffitto: se il partecipante ignora i segnali visivi e sonori e vi accede, viene 'virtualmente colpito' da un crollo simulato. Questo metodo immersivo è ritenuto più efficace della formazione tradizionale perché consente di sperimentare in sicurezza situazioni potenzialmente fatali.

Lo studio sottolinea inoltre la flessibilità del software VR sviluppato, che può essere applicato anche in altri settori ad alto rischio come l'edilizia, l'agricoltura o l'industria petrolifera. Nonostante alcune limitazioni tecniche, come la necessità di hardware adeguato e competenze grafiche

per personalizzare gli ambienti, la VR si conferma uno strumento formativo potente e promettente per la sicurezza sul lavoro.¹⁷

I casi appena discussi mostrano che la realtà virtuale può essere utilizzata come risorsa strategica per la formazione in contesti più complessi, piuttosto che come tecnologia sperimentale. La realtà virtuale consente ai lavoratori di "vivere" l'esperienza prima ancora di affrontarla nella realtà, migliorando la loro preparazione, la loro consapevolezza e la loro prontezza, che si tratti di imparare a identificare un pericolo in cantiere, reagire a un incendio o muoversi in sicurezza all'interno di una miniera. Questi risultati confermano che l'integrazione della realtà virtuale nei percorsi formativi è un'opzione innovativa e necessaria per la sicurezza del futuro.

2. Obiettivi

Il presente lavoro di tesi ha lo scopo di:

1. Sondare l'efficacia didattica in termini di incremento di conoscenze in un corso di sicurezza tradizionale implementato con l'introduzione di un modulo formato da circa un'ora di formazione immersiva con visori.
2. Valutare il gradimento della formazione immersiva in Realtà Virtuale come supplemento nei corsi, nel contesto della sicurezza sul lavoro.
3. Valutare il grado di usabilità dei visori sperimentati in un corso di formazione sulla sicurezza sul lavoro.

Si è proceduto con uno studio sperimentale; in particolare, nei corsi proposti, oltre alla formazione tradizionale con spiegazione teorica da parte del docente, il modulo formativo è stato implementato attraverso l'utilizzo di visori grazie ai quali un gruppo di discenti è stato immerso in un ambiente lavorativo virtuale con il compito di ricercare e riconoscere i rischi presenti all'interno.

¹⁷ Marc Filigenzi et al., «Virtual Reality for Mine Safety Training», *Applied occupational and environmental hygiene* 15 (luglio 2000): 465–69, <https://doi.org/10.1080/104732200301232>.

Al fine di verificare l'efficacia e il gradimento, abbiamo preso in considerazione i seguenti questionari richiamati in sintesi:

Campione	Corso	Strumento	Finalità	Numero item	Tipo di scala
39 discenti 94 discenti	-Tradizionale -Con visore	Test conoscenze	Incremento delle conoscenze	9	Risposta multipla
94 discenti (Domande 1-7) 39 discenti (Domande 8-12)	Con visore	Questionario di gradimento	Soddisfazione esperienza	12	Likert 1-5 +domande aperte
39 discenti	Con visore	SUS	Usabilità percepita con VR	10	Likert 1-5

Tabella 1: sintesi struttura questionari

Gli strumenti sono stati somministrati durante il corso di formazione frontale a un campione complessivo di 94 partecipanti, dei quali 39 hanno avuto la possibilità di indossare il visore, mentre i restanti 55 osservavano la loro esperienza indirettamente sullo schermo.

In particolare, per quanto riguarda l'incremento delle conoscenze utile per definire l'efficacia didattica, questo è l'obiettivo principale di qualsiasi percorso formativo. In questo studio, si è voluto analizzare se l'esperienza di realtà virtuale sia in grado di incidere sul livello di comprensione e memorizzazione dei contenuti relativi alla sicurezza sul lavoro, attraverso la somministrazione di un test identico all'inizio e alla fine del corso, per valutare il livello base da cui partiva il singolo lavoratore e quanto successivamente fosse migliorato il livello conoscitivo alla fine dell'esperienza. Lo stesso test è stato somministrato anche ad un campione di 39 discenti che hanno partecipato ad un corso di formazione tradizionale. Tuttavia, l'efficacia di un corso formativo, soprattutto in un contesto innovativo come quello della realtà virtuale, non può essere misurata unicamente attraverso l'incremento delle conoscenze.

È però fondamentale osservare anche il coinvolgimento soggettivo dei partecipanti e la loro esperienza d'uso della tecnologia. Proprio perché il coinvolgimento gioca un ruolo centrale nei processi di apprendimento è stato somministrato un questionario di gradimento dell'esperienza. Infatti, indagare il grado di soddisfazione dei partecipanti permette di comprendere se l'esperienza formativa viene percepita come utile, interessante e stimolante.

Inoltre, l'interazione con la tecnologia è una componente fondamentale nei percorsi immersivi come quello preso in esame. Un sistema difficile da utilizzare può generare frustrazione o distogliere l'attenzione dal contenuto. Per questo motivo, è stato ritenuto importante valutare l'usabilità percepita della tecnologia impiegata attraverso il questionario "System Usability Scale" (SUS), ovvero Scala di Usabilità del Sistema.

Si tratta di un metodo ampiamente diffuso per misurare, in maniera semplice e rapida, la facilità d'uso percepita da parte degli utenti rispetto a un sistema interattivo.

Da queste considerazioni possiamo dedurre che l'efficacia della formazione immersiva non può essere analizzata attraverso un'unica prospettiva ma è l'integrazione di più aspetti che consentono di ottenere una valutazione più completa e attendibile dell'esperienza formativa.

3. Materiali e metodi

3.1 Il progetto formativo: contesto

La presente tesi nasce nell'ambito di un progetto sperimentale "Virtual Safety Training" promosso dalla regione Friuli Venezia Giulia e da una rete di attori pubblici e privati, tra cui Confindustria Alto Adriatico,

Formindustria FVG, LEF (Lean Experience Factory scarl), ASFO (Azienda Sanitaria Friuli Occidentale), ASUGI (Azienda Sanitaria universitaria Giuliana Isoncina). Il progetto, sostenuto dalla Regione, ha l'obiettivo di sviluppare ambienti virtuali da utilizzare nella formazione sulla sicurezza, con l'intento di integrare i corsi e migliorarne l'efficacia e l'aderenza alla realtà operativa. A seguito dello sviluppo degli ambienti virtuali, ho potuto partecipare attivamente a questo progetto attraverso lo svolgimento del tirocinio. Durante questo periodo ho affiancato il docente dei corsi nello svolgimento della prova con il visore e somministrato i questionari ai lavoratori presso l'Azienda Friulintagli; questa è stata individuata come il contesto ideale per la sperimentazione in quanto realtà produttiva complessa in cui la formazione sulla sicurezza è sempre in continuo sviluppo.

Infatti, lo scopo del tirocinio è verificare quanto i visori possano essere uno strumento utile per implementare la formazione e questo è stato possibile grazie al loro utilizzo all'interno dei corsi organizzati dall'azienda stessa.

Friulintagli è un'azienda mobiliara italiana. Fin dalle sue origini, Friulintagli unisce una doppia vocazione: quella di un territorio a forte propensione mobiliara e quella decisamente innovativa di Inaco Maccan che nel 1968, con la sua prima azienda, mette a punto la propria visione: trasformare lo standard produttivo esistente in un processo industriale avanzato, con alte tirature e tecnologie d'avanguardia. Ad oggi, Friulintagli si compone di tredici unità. Un assetto organizzativo efficiente e flussi produttivi razionalizzati per rispondere a tutte le esigenze e raggiungere sempre migliori performance.¹⁸

¹⁸ «FRIUL INTAGLI – Your partner for furniture and components», friulintagli, consultato 22 luglio 2025, <http://www.friulintagli.com/it/>.

3.2 Gli scenari virtuali sviluppati

A partire dallo sviluppo iniziale del progetto, un elemento centrale è rappresentato dalla creazione di ambienti virtuali immersivi dedicati ad ambienti caratteristici per determinati tipi di rischi. Questi ambienti sono stati sviluppati da NEIKO¹⁹ e LEF (centro per la formazione e la trasformazione lean e digitale), con il contributo delle aziende sanitarie che hanno fornito supporto professionale e tecnico nella ricostruzione dei diversi contesti lavorativi, permettono ai lavoratori di sperimentare situazioni operative complesse in un contesto controllato e privo di rischi reali. Gli ambienti virtuali sono stati realizzati con l'obiettivo di simulare scenari lavorativi realistici ad alto rischio sulla base di dinamiche infortunistiche realmente avvenute, come l'utilizzo improprio di macchinari industriali, consentendo ai partecipanti di sviluppare competenze pratiche attraverso l'apprendimento esperienziale. L'approccio immersivo, grazie all'uso dei visori, mira a incrementare il coinvolgimento, la memorizzazione dei contenuti e l'efficacia della formazione rispetto ai metodi tradizionali.

Questo tipo di formazione risulta particolarmente efficace in contesti industriali strutturati, come quello di Friulintagli, dove la complessità e la varietà delle mansioni richiede una preparazione attenta. Durante il tirocinio, ho avuto modo di osservare direttamente l'implementazione di tali ambienti all'interno dei corsi aziendali e di rilevare la percezione e il livello di apprendimento dei lavoratori coinvolti.

Gli ambienti virtuali che sono stati creati sono sei:

- **Antincendio/ambiente d'ufficio:** nel quale, entrando in diverse stanze, si possono riconoscere diversi pericoli pertinenti al sistema di gestione dell'emergenze antincendio. Ad esempio, possiamo trovare: estintori non

¹⁹ Neiko, «Neiko - Agenzia di comunicazione specializzata in realtà virtuale», Neiko, consultato 15 ottobre 2025, <https://www.neiko.it/>.

presenti, cartellonistica nascosta, prodotti infiammabili stoccati nei posti sbagliati.

- **Logistica portuale:** ambiente dove viene riprodotto un contesto portuale, con riferimento a quello di Trieste, in cui viene riportata l'attività logistica che avviene con lo scarico e carico della merce.

- **Rischio chimico/ambiente lavorativo:** nel quale vengono preparate e manipolate vernici. Sono presenti anche operazioni accessorie quali: preparazione del prodotto verniciante, pulizia dei recipienti e delle apparecchiature utilizzate.

- **Cadute dall'alto/ambiente di magazzino:** dove sono presenti dei lavoratori in posizioni di alta quota e che effettuano delle operazioni che possono comportare un pericolo per loro.

- **Carrelli elevatori/ambiente di magazzino:** con specifica attenzione sull'utilizzo del carrello elevatore e rischi connessi.

- **Ambiente officina/macchine utensili:** ambiente nel quale troviamo le macchine principali utilizzate in un settore operativo.

3.2.1 L'ambiente virtuale officina in Friulintagli

Lo scenario virtuale preso in considerazione nei corsi di formazione presso Friulintagli è quello dell'officina, poiché maggiormente rappresentativo delle reali condizioni operative in cui si svolgono le attività produttive. Tale ambientazione consente di simulare e analizzare situazioni concrete, favorendo l'acquisizione di competenze pratiche e la consapevolezza dei potenziali rischi.

Il presente paragrafo analizza le non conformità ricreate all'interno di tale ambiente. Le immagini e le descrizioni fornite mettono in evidenza violazioni delle normative di sicurezza, condizioni strutturali pericolose e comportamenti scorretti che, se replicati in contesti reali, potrebbero compromettere gravemente la sicurezza dei lavoratori.



Figura 1: trapano a colonna con utilizzo dei guanti

Nel primo caso in oggetto possiamo osservare un lavoratore che utilizza un trapano a colonna, macchina utensile per forare il metallo a freddo utilizzando un utensile da taglio rotante.

Nel trapano a colonna il rischio è determinato dall'assenza della morsa

ferma pezzo e dall'uso dei guanti. Infatti, i guanti di protezione contro rischi meccanici hanno la funzione di proteggere le mani da aggressioni fisiche e meccaniche. Questi sono sconsigliati quando si utilizzano macchine con parti in movimento a causa dell'alto rischio di impigliamento e trascinamento. Inoltre, il pezzo deve essere bloccato saldamente alla tavola porta pezzi con morse, griffe o altri sistemi di trattenuta. È assolutamente vietato trattenere in posizione il pezzo con le mani.²⁰

²⁰ «2.4.2 Trapano a colonna manuale», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-2-trapano-a-colonna-manuale/>.

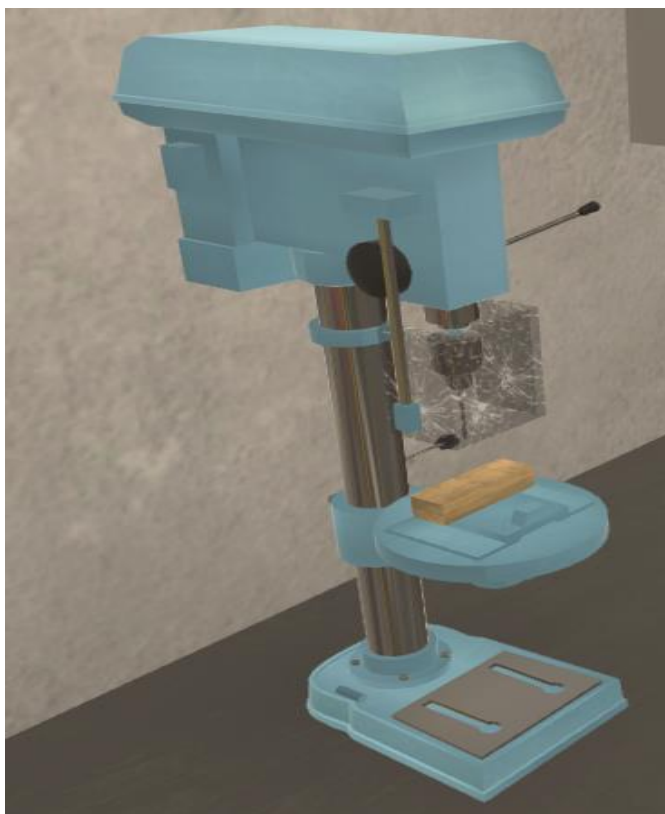


Figura 2: trapano a colonna con protezione rotta

-Nella seconda situazione troviamo sempre la presenza di un trapano a colonna, ma in questo caso il rischio è determinato dalla protezione rotta del mandrino e dell'utensile.

Questo rappresenta una condizione di pericolo poiché gli elementi mobili utilizzati per le lavorazioni devono essere protetti per quanto possibile, al fine di evitare

contatti accidentali. Inoltre, la protezione in queste condizioni, oltre a non garantire un'adeguata difesa contro eventuali proiezioni, non consente una corretta visuale del pezzo in lavorazione, con il conseguente rischio che venga bypassata o non regolata correttamente a protezione della lavorazione.

Inoltre, i ripari sono elementi di una macchina che hanno lo scopo di proteggere, mediante barriera fisica, l'operatore da organi mobili pericolosi.²¹

²¹ «2.2 Sicurezza generale delle macchine», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-2-sicurezza-generale-delle-macchine/>.



Figura 3: lavoratore che utilizza una sega circolare

-Nella terza casistica troviamo una sega circolare sprovvista di protezioni della lama di taglio. La sega circolare è generalmente utilizzata per il taglio di legname di vario tipo: dal tavolame vario ai pannelli, dai listelli ai travetti. L'attrezzatura, che può avere caratteristiche differenti (la possibilità di sollevare e abbassare la lama rispetto alla tavola, avere il telaio

chiuso, essere dotata di una tavola mobile supplementare), è purtroppo correlata anche a numerosi incidenti di lavoro.²²



Figura 4: accesso a zone pericolose

-In questa situazione si osserva l'accesso di un operatore a una zona pericolosa mentre la macchina risulta ancora in funzione. Sebbene siano installati dispositivi

²² PuntoSicuro, «Attrezzature in edilizia: la sicurezza nell'uso della...», consultato 23 luglio 2025, <https://www.puntosicuro.it/attrezzature-macchine-C-45/attrezzature-in-edilizia-la-sicurezza-nell-uso-della-sega-circolare-AR-15151/>.

optoelettronici di sicurezza, barriere ottiche, si rileva una manomissione del sistema, che ha compromesso la capacità del dispositivo di rilevare la presenza dell'operatore e di arrestare il ciclo operativo della macchina. La presenza di barriere ottiche mal funzionanti o volutamente eluse costituisce una grave violazione dei requisiti di sicurezza definiti dalla Direttiva Macchine 2006/42/CE Allegato I: "I dispositivi di protezione devono essere progettati e incorporati nel sistema di comando in modo tale che:

- la messa in moto degli elementi mobili non sia possibile fintantoché l'operatore può raggiungerli,
- le persone non possano accedere agli elementi mobili in movimento,
- la mancanza o il guasto di uno dei loro elementi impedisca l'avviamento o provochi l'arresto degli elementi mobili." ²³

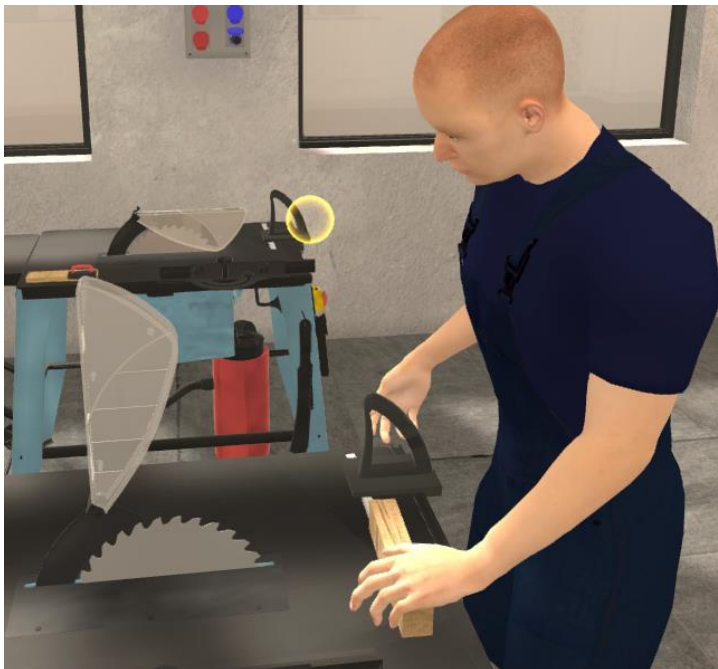


Figura 5: sega circolare da banco con protezione rialzata

-Nel seguente caso è visibile una sega circolare da banco in funzione, con la protezione della lama sollevata, condizione che espone direttamente l'operatore al rischio di contatto con l'organo in movimento. Inoltre, il lavoratore esegue la

²³ root, «ALLEGATO I della direttiva Macchine 2006/42/CE - sintesi», Text, Direttiva ATEX - Direttiva macchine 2006/42 CE, 13 settembre 2013, <http://www.industry-finder.it/allegato-i-della-direttiva-macchine-2006-42-ce-sintesi.html>.

lavorazione manualmente senza l'ausilio dello spingipezzo; gli spingitoi permettono all'operatore di non dover avvicinare le mani alla lama durante il taglio. L'assenza della protezione abbassata e il mancato utilizzo dello spingipezzo rappresentano una grave non conformità rispetto a quanto previsto dalla normativa vigente. Infatti, i ripari, come tutte le protezioni ed i dispositivi di sicurezza delle macchine, non devono essere rimossi se non per particolari necessità di lavoro. Nel caso si dovessero verificare queste particolari necessità, alla rimozione del riparo devono essere immediatamente adottate altre misure di sicurezza che rendano evidente e riducano il pericolo che ne deriva. Non appena cessano le ragioni che hanno reso necessaria la temporanea rimozione dei ripari, questi devono essere rimessi nella loro corretta posizione.²⁴



Figura 6: sega a nastro da banco

-In questa situazione troviamo una sega a nastro da banco: una macchina utensile per il taglio a freddo dei metalli tramite un utensile costituito da un nastro metallico dentato. Il pezzo viene mantenuto bloccato sul piano macchina mentre la testa, all'interno della quale scorre il nastro dentato, viene abbassata manualmente o

²⁴ «2.2.3.2 Caratteristiche», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-2-sicurezza-generale-delle-macchine/2-2-3-ripari/2-2-3-2-caratteristiche/>.

automaticamente, per effettuare il taglio.²⁵ Nel nostro caso, si osserva una operatrice che utilizza questa macchina per fare una lavorazione con l'utilizzo dei guanti che hanno la funzione di proteggere le mani da aggressioni fisiche e meccaniche ma non per quanto riguarda gli organi in moto. Infatti, questi sono sconsigliati quando si utilizzano macchine elettriche con parti in movimento a causa dell'alto rischio di impigliamento e trascinamento.

Inoltre, secondo quanto previsto dall'art. 76, comma 2, lett. a) del D.Lgs. 81/2008, i dispositivi di protezione devono essere adeguati ai rischi da prevenire senza, tuttavia, comportare di per sé un rischio maggiore.



Figura 7: sega a nastro da banco senza protezione

-In questo caso è presente una sega a nastro da banco sprovvista di protezione della lama. In questa macchina in particolare il nastro dentato scorre tra due pulegge e l'intero percorso deve essere protetto. L'unico tratto di nastro dentato che può restare scoperto e privo di protezione è quello strettamente necessario alla lavorazione.²⁶

²⁵ «2.4.5 Sega a nastro», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-5-sega-a-nastro/>.

²⁶ «2.4.5.1 Elementi di pericolo», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-5-sega-a-nastro/2-4-5-1-elementi-di-pericolo/>.



Figura 8: mancanza di ordine e pulizia

-Nel seguente caso si osserva la presenza di uno scatolone abbandonato sul pavimento in prossimità di un'area operativa. Tale oggetto, lasciato in una zona di transito o di lavoro attivo, rappresenta un potenziale ostacolo per gli operatori, aumentando significativamente il rischio di inciampo o caduta. Questo

secondo quanto previsto dal D.Lgs 81/08 art.64: “i luoghi di lavoro, gli impianti e i dispositivi vengano sottoposti a regolare pulitura, onde assicurare condizioni igieniche adeguate;” Inoltre, nell’ Allegato IV 1.1.6: “Il datore di lavoro deve mantenere puliti i locali di lavoro, facendo eseguire la pulizia, per quanto è possibile, fuori dell'orario di lavoro e in modo da ridurre al minimo il sollevamento della polvere dell'ambiente, oppure mediante aspiratori.”



Figura 9: tornio usato in maniera impropria

-Nella seguente situazione troviamo un tornio a comando manuale: macchina utensile, ad asportazione di truciolo, nella quale il movimento principale è la rotazione del pezzo rispetto

all'utensile. Il pezzo viene bloccato nel mandrino e fatto ruotare con esso a velocità predeterminata. La macchina viene utilizzata dall'operatore in maniera impropria: viene usata la carta vetrata sul manufatto in lavorazione anziché utilizzare l'apposito archetto che va installato sulla torretta porta utensili. Inoltre, il lavoratore procede con la lavorazione con la protezione rimossa. Azione sbagliata poiché il mandrino deve essere protetto da un riparo mobile interbloccato che impedisca l'accesso diretto alla zona di lavoro.²⁷



Figura 10: elusione del pulsante di emergenza

-Anche in questo caso è presente un tornio a comando manuale, dove possiamo osservare la manomissione del pulsante di emergenza. Secondo normativa EN ISO 13850:2015, il pulsante di emergenza deve essere

sempre accessibile, ben visibile e in grado di provocare l'arresto del ciclo pericoloso nel minor tempo possibile, senza generare nuovi rischi.²⁸

²⁷ «2.4.1 Tornio a comando manuale», *Metalmeccanica*, s.d., consultato 23 luglio 2025, <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-1-tornio-a-comando-manuale/>.

²⁸ «EN ISO 13850 Arresto di emergenza», consultato 23 luglio 2025, <https://www.certifico.com/normazione/documenti-riservati-normazione/en-iso-13850-arresto-di-emergenza>.



Figura 11: tornio con protezioni alzate

-Nel seguente caso è presente un tornio a comando manuale in cui le protezioni della rota è aperta e quindi l'interblocco è stato rimosso.

Nella lavorazione infatti tutta la parte sporgente della barra deve essere completamente racchiusa all'interno di un riparo fisso o mobile interbloccato in grado di impedire il contatto con la barra in rotazione e di contenere eventuali deformazioni della barra stessa.²⁹

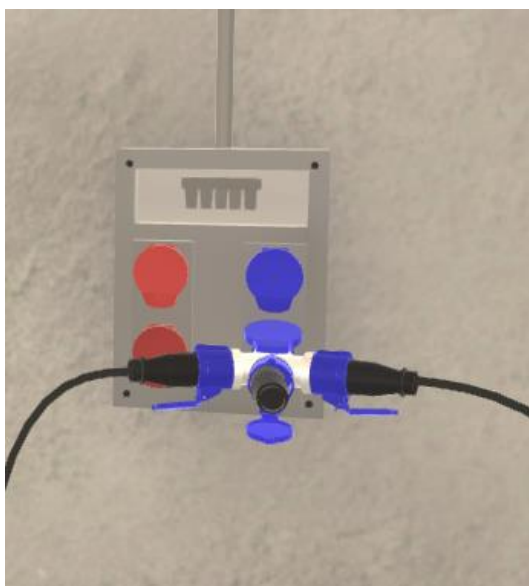


Figura 12: presenza di prese multiple sovraffollate

-In questa situazione troviamo la presenza di una presa multipla sovraffollata: azione scorretta poiché la macchina deve essere collegata direttamente ai quadri non attraverso multiple. Secondo la Direttiva Macchine 2006/42/CE, Allegato I **1.5.1.** infatti: "Se la macchina è alimentata con energia elettrica, essa deve essere progettata, costruita ed equipaggiata in modo da prevenire o da consentire di prevenire tutti i pericoli dovuti all'energia elettrica."³⁰

²⁹ «2.4.1 Tornio a comando manuale».

³⁰ root, «ALLEGATO I della direttiva Macchine 2006/42/CE - sintesi».

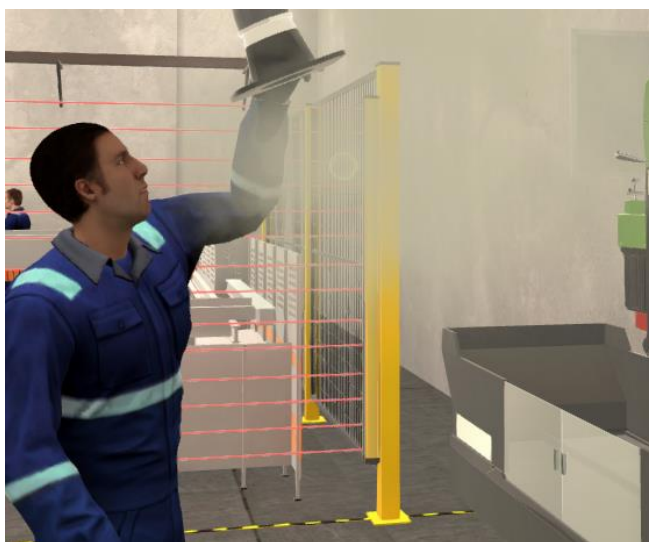


Figura 13: impianto di aspirazione mal funzionante

-Nel seguente caso troviamo un lavoratore circondato da fumo proveniente dalla cappa di aspirazione non funzionante. Infatti sia nella Direttiva 2006/42/CE Allegato I 1.5.13 sia nel D.Lgs 81/2008 (Allegato IV) è obbligatorio impedire o ridurre la formazione e

diffusione di polveri. Se la polvere non può essere eliminata, è obbligatorio usare sistemi di aspirazione che a loro volta devono evitare il rientro delle polveri nell'ambiente.³¹



Figura 14: quadro elettrico aperto

-In questo ultimo caso, troviamo la presenza di un quadro elettrico aperto. Secondo il D.Lgs 81/2008 Titolo III il Datore di Lavoro deve prendere le misure necessarie affinché i lavoratori siano salvaguardati da tutti i rischi di natura elettrica connessi all'impiego dei materiali, delle apparecchiature e degli impianti elettrici messi a loro disposizione.³²

³¹ Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 maggio 2006, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE), EP, CONSIL, 157 OJ L (2006), <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj/ita>.

³² «DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 - Normattiva».

3.3 La struttura dei corsi con la Realtà Virtuale

La realtà virtuale ha rappresentato uno strumento didattico centrale nella progettazione di un percorso formativo innovativo, volto a rafforzare le competenze in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro. L'approccio immersivo ha consentito di proporre scenari interattivi, nei quali i partecipanti potessero sperimentare situazioni a rischio in totale sicurezza, osservando e correggendo comportamenti potenzialmente pericolosi.

Il presente capitolo descrive nel dettaglio la struttura dei corsi di formazione, con particolare attenzione all'integrazione tra ambiente simulato e metodologia didattica.

La metodologia adottata per il presente progetto formativo si basa su un approccio misto, che integra la formazione tradizionale in aula con l'utilizzo di simulazioni immersive in realtà virtuale (VR). Questo modello consente di unire i vantaggi dell'apprendimento teorico con quelli dell'esperienza pratica in ambienti digitali sicuri e controllati.



Figura 15: corso di formazione con utilizzo del VR

Per la realizzazione degli ambienti virtuali è stato utilizzato un software sviluppato da LEF e NEIKO, integrato con visori VR Pico 4 Ultra Series. Come detto, sono stati creati sei ambienti interattivi, ciascuno dei quali

rappresenta uno scenario operativo specifico legato alla sicurezza sul lavoro, con particolare riferimento all'uso corretto di macchinari e procedure in contesti produttivi.

I corsi di formazione sulla sicurezza nei quali è stato scelto di associare i visori come strumento integrativo alla metodologia classica sono:

- il corso specifico rischio alto per neoassunti
- il corso specifico rischio alto di aggiornamento per lavoratori.

Durante il progetto, il corso maggiormente somministrato è stato quello destinato ai neoassunti.

Quest'ultimo ha una durata complessiva di 12 ore, suddivise all'interno di Friulintagli in tre moduli da quattro ore ciascuno, denominati Modulo 1, Modulo 2 e Modulo 3.

Per individuare quale dei tre moduli fosse più adatto all'utilizzo della realtà virtuale, ho partecipato personalmente a tutti e tre i corsi e gli argomenti vengono presentati in tabella:

Modulo 1	Modulo 2	Modulo 3
Obblighi e responsabilità	Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)	Campi elettromagnetici
Sistema di Gestione della Sicurezza sul Lavoro (SGSL) ISO 45001	Rischi meccanici	Radiazioni ottiche artificiali (ROA)
Sistema di Gestione Ambientale (SGA) 14001	Proiezione di oggetti/schegge	Radiazioni ionizzanti
Modello organizzativo 231	Cadute di utensili	Microclima
Infortuni e malattie professionali	Accumulo di energia residua all'interno del macchinario	Movimentazione Manuale dei Carichi
Segnaletica	Sistemi robotizzati, macchine ad avviamento automatico, macchine comandate a distanza	Movimenti ripetitivi
Misure generali di prevenzione	Apparecchi, attrezzature, metodi di lavoro che possono dare luogo ad incendio	Rischio biologico
Videoterminali	Utensili portatili	Agenti chimici
Stress lavoro correlato	Impianti pneumatici	Agenti cancerogeni
Gestione delle emergenze	Rischio elettrico	Atmosfere esplosive
Standard IKEA IWAY	Macchine e impianti	Rifiuti
	Interblocchi	
	Rumore e Vibrazioni	

Tabella 2: argomento moduli 1,2,3

Considerando gli argomenti affrontati e la necessità di utilizzare l'ambiente virtuale per simulare rischi meccanici, il modulo più adatto è risultato il Modulo 2.

Di seguito si riporta lo schema del campione con la composizione dei gruppi e i questionari/test somministrati.

1 Gruppo principale – Formazione con Realtà Virtuale (VR)

Totale: 94 discenti

Tutti 94 discenti hanno svolto:

- Testi di conoscenza (pre e post corso)
- Questionario di gradimento

Suddivisione interna:

- 39 discenti “completi con uso visore” → hanno svolto anche:
 - Questionario di gradimento (domande 1-7 e 8-12 sull’uso dei visori)
 - Questionario SUS
- 55 discenti “parziali con osservazione” → hanno svolto anche:
 - Questionario di gradimento (domande 1-7)

2 Gruppo di confronto – Formazione tradizionale

- 39 discenti (indipendenti dai 94)
 - Hanno svolto solo il test di conoscenza (pre e post corso)



Figura 16: corso di formazione con utilizzo del VR

Il percorso formativo integrato con VR si articola in dettaglio come riportato in tabella:

Fase	Momento	Ruolo	Azione/Attività	Campione
Pre-corso	Prima della lezione	Docente	Preparazione materia didattici e ambiente VR	
1. Valutazione iniziale	Inizio lezione	Docente	Somministrazione test di conoscenza iniziale	
		Partecipanti	Compilazione test per valutare livello di partenza	94 discenti
2. Fase teorica	Dopo test iniziale	Docente	Conduzione lezione frontale con slide ed esempi pratici	
		Partecipanti	Ascolto e apprendimento contenuti normativi e tecnici	94 discenti
3. Fase immersiva Preparazione	Dopo fase teorica	Docente	Preparazione visore e proiezione su schermo	
		Volontario	Indossa il visore VR	39 discenti
		Altri partecipanti	Osservazione attraverso proiezione su schermo	94 discenti
4. Fase immersiva Esperienza	Durante utilizzo VR	Volontario con visore	Esplorazione ambiente virtuale (officina) e identificazione rischi	39 discenti
		Docente	Guida del volontario, spiegazione dei macchinari specifici	
		Altri partecipanti	Partecipazione attiva nell'analisi dei pericoli visibili	94 discenti
5. Rotazione utilizzatori	Durante fase immersiva	3-4 volontari	Utilizzo alternato del visore VR	39 discenti
		Docente	Supervisione e guida di ciascun utilizzatore	
		Altri partecipanti	Supporto nell'identificazione dei rischi	94 discenti
6. Valutazione esperienza	Fine fase immersiva	Docente	Somministrazione questionario di gradimento e SUS	
		Partecipanti	Compilazione questionario di gradimento e SUS	94 discenti (domande 1-7) 39 discenti (domande 8-12) + SUS
7. Valutazione finale	Conclusione corso	Docente	Somministrazione test finale (stesso test iniziale)	
		Partecipanti	Compilazione test per valutare incremento conoscenze	94 discenti
8. Analisi risultati	Post-corso	Docente	Confronto risultati pre e post-intervento formativo	

Tabella 3: struttura corsi di formazione

3.4 Gli strumenti per la stima dell'efficacia didattica e dell'esperienza dell'utente:

test di conoscenza, questionario di gradimento, questionario SUS
Per stimare l'efficacia dell'approccio immersivo e valutare il grado di soddisfazione e usabilità percepita dagli utenti, sono stati utilizzati una serie di strumenti di valutazione, compilati in formato digitale attraverso Microsoft Forms.

1. Il primo strumento di valutazione è il **test di conoscenza** che è stato somministrato prima e dopo il corso di formazione con un test composto da 9 domande. A differenza degli altri due questionari, questo test è stato predisposto in modalità nominativa, con l'obiettivo di monitorare i progressi del singolo discente tra la fase antecedente e quella successiva al corso di formazione. Per rendere l'analisi più completa e verificare se i miglioramenti osservati fossero potenzialmente attribuibili in modo specifico all'implementazione della realtà virtuale, lo stesso test è stato proposto anche ai partecipanti di corsi analoghi svolti in modalità tradizionale, senza l'impiego del visore. Il test di conoscenza si basa sulla tassonomia di Bloom. La tassonomia di Bloom è stata creata da Benjamin Bloom negli anni '50 ed è un approccio per ordinare i livelli di abilità di ragionamento richieste in situazioni di classe.

La tassonomia di Bloom classifica gli obiettivi educativi in sei livelli cognitivi, dal più semplice al più complesso, sulla base del quale sono state composte le domande del test in relazione all'obiettivo di verifica della conoscenza:

1. Ricordare (knowledge)
2. Comprendere (comprehension)
3. Applicare (application)
4. Analizzare (analysis)
5. Valutare (evaluation)

6. Creare (synthesis/creation)³³

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva del test somministrato:

Livello	Capacità Cognitiva	Verbi d'Azione Chiave	Esempio di Domanda del Test	Obiettivo della Verifica
1. Ricordare	Memorizzazione e richiamo di informazioni di base	Definire, Elencare, Nominare Chi, Cosa, Quando, Dove	“Si può utilizzare una macchina sprovvista di protezioni?” “In quali casi è severamente vietato utilizzare i guanti?”	Verificare la memorizzazione di una regola di sicurezza Testare la memorizzazione delle regole relative ai guanti
2. Comprendere	Spiegazione e comprensione del significato dei concetti	Spiegare, Prevedere, Riassumere, Interpretare, Rielaborare	“Indica quali sono le regole organizzative da seguire per la gestione dei quadri elettrici.” “È consentito attivare una macchina quando mi trovo all'interno della sua area segregata?”	Verificare la comprensione delle normative di sicurezza elettrica Verificare la comprensione dei rischi in zone pericolose
3. Applicare	Utilizzo delle conoscenze in contesti concreti e nuovi	Usare, Applicare, Cambiare, Come si potrebbe usare X per Y?	“Durante un controllo di sicurezza, un operatore si accorge che una barriera elettrica non funziona correttamente. Qual è il comportamento corretto da adottare?”	Testare la capacità di applicare una risposta corretta in situazione pratica
4. Analizzare	Scomposizione di situazioni nei loro elementi costitutivi	Differenziare, Distinguere, Perché, Come, Quale parte manca?	“Quali delle seguenti situazioni rappresentano un rischio per la salute/sicurezza?” “Qual è la funzione principale di una morsa ferma pezzo?”	Testare l'identificazione di pericoli/situazioni a rischio Analizzare il ruolo e la funzione di un dispositivo di sicurezza
5. Valutare	Espressione di giudizi basati su criteri oggettivi	Giustificare, Valutare, Argomentare, Confrontare, Quale opzione è migliore?	“Un pulsante di emergenza è coperto con un involucro trasparente. Questo può essere considerato grave violazione delle norme di sicurezza?” “Un operatore, per velocizzare la ripresa della produzione, entra nell'area operativa di una macchina automatica oltrepassando la barriera di protezione senza averla disattivata completamente. Qual è l'errore principale commesso in questa situazione?”	Verificare la capacità di valutare i rischi e formulare un giudizio sulla loro gravità
6. Creare	Progettazione e sviluppo di soluzioni originali	Progettare, Costruire, Sviluppare, Inventare	NON INCLUSO NEL TEST	Stimolare durante la fase immersiva VR attraverso l'esplorazione e il problem-solving creativo

Tabella 4: domande in base alla tassonomia di Bloom

³³ G. N. R. Prasad, «Evaluating Student Performance Based on Bloom's Taxonomy Levels», *Journal of Physics: Conference Series* 1797, fasc. 1 (2021): 012063, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1797/1/012063>.

Motivazione dell'esclusione del livello "Creare":

- Richiede tempi, modalità e strumenti diversi rispetto a test a risposta chiusa;
- Necessita di progettazione e produzione di soluzioni originali;
- Compensato dalla fase immersiva VR dove i discenti analizzano, propongono soluzioni e riflettono criticamente;

2. Il secondo strumento è stato il **questionario di gradimento**, somministrato immediatamente dopo la conclusione dell'esperienza formativa in realtà virtuale, in forma anonima. Questo strumento, sviluppato principalmente su richiesta dell'azienda, ha l'obiettivo di raccogliere il livello di soddisfazione e coinvolgimento percepito dai partecipanti, nonché eventuali suggerimenti su eventuali miglioramenti.

Il questionario è composto da domande chiuse su scala Likert da 1 a 5, utili per una lettura quantitativa, e da domande aperte, utili per approfondire aspetti soggettivi e raccogliere suggerimenti o criticità. Gli ambiti valutati spaziano da aspetti esperienziali (come il coinvolgimento e la facilità d'uso) a considerazioni più pragmatiche (come l'utilità delle competenze acquisite o la possibilità di applicare la VR ad altri contesti formativi).

Una sezione specifica è stata dedicata all'esperienza d'uso del visore VR e agli eventuali sintomi di malessere fisico, per monitorare l'impatto fisiologico della tecnologia sull'utente.

Questo questionario ha permesso all'azienda di ottenere una visione più ampia dell'esperienza formativa: capire e valutare se implementare in tutti i corsi di formazione l'utilizzo dei visori.

Questionario di gradimento - Formazione in Realtà Virtuale

Per favore, indica il tuo grado di accordo con ciascuna affermazione, utilizzando la scala da 1 = Fortemente in disaccordo a 5 = Fortemente d'accordo.

Fortemente in disaccordo

Fortemente d'accordo

1. Quanto ti sei sentito coinvolto durante l'esperienza formativa in VR?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
2. Come valuti la tua esperienza complessiva con il corso di formazione in realtà virtuale?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
3. Il corso è stato facile da seguire e comprendere?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
4. Hai trovato produttivo l'uso della realtà virtuale durante il corso?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
5. Quanto pensi che la realtà virtuale abbia migliorato l'efficacia dell'apprendimento rispetto ai metodi tradizionali?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
6. Pensi che il corso di formazione VR abbia fornito competenze utili per il tuo lavoro?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
7. Pensi che l'uso del VR possa essere utile per altri corsi di formazione in futuro?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
8. Quanto ti sei sentito a tuo agio nell'usare il visore e gli altri strumenti tecnologici?
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐
9. Hai suggerimenti per migliorare l'uso della realtà virtuale in future formazioni? (Risposta aperta)
10. Hai avuto modo di indossare il visore? ☐ Sì ☐ No
11. Durante l'uso della realtà virtuale, hai avvertito sensazioni di malessere? ☐ Sì ☐ No
12. Se hai avvertito malessere, quale dei seguenti sintomi hai sperimentato?
 - ☐ Nausea
 - ☐ Vertigini
 - ☐ Mal di testa
 - ☐ Affaticamento visivo
 - ☐ Sudorazione eccessiva
 - ☐ Sensazione di disorientamento
 - ☐ Altro: _____

Figura 17: questionario di gradimento

3. Il terzo strumento impiegato è stato il **questionario SUS** (System Usability Scale). Questo è stato compilato in forma anonima poiché non si è ritenuto necessario conoscere l'identità dei rispondenti.

Il SUS Presence Questionnaire prende il nome dagli autori che lo hanno realizzato (M. Slater, M. Usoh, A. Steed). Gli autori del questionario hanno evidenziato che al senso di presenza contribuiscono sia fattori interni che esterni all'individuo: identificano come fattori esterni la qualità e la risoluzione del display, ma anche la coerenza dell'ambiente nel fornire informazioni non diverse dal mondo reale, l'interazione tra l'utente e la tecnologia; identificano, invece, come fattori interni i sistemi di presentazione visivi, uditivi e cinestetici e la percezione dell'utente. L'ipotesi di partenza è che livelli elevati nel senso di presenza favoriscano l'apprendimento poiché più l'utente percepisce la realtà virtuale come un luogo, più assimila i ricordi come ricordi reali, di conseguenza la manipolazione rimane impressa come un'azione che è stata effettivamente eseguita.

La SUS è una semplice scala di dieci item che fornisce una visione globale delle valutazioni soggettive dell'usabilità. Le misure di usabilità devono dipendere dal modo in cui l'usabilità è definita. Si può parlare di alcune classi generali di misura dell'usabilità; La norma ISO 9241-11 suggerisce che le misure di usabilità dovrebbero coprire:

- efficacia (la capacità degli utenti di completare le attività utilizzando il sistema e la qualità dell'output di tali attività),
- efficienza (il livello di risorse consumate nell'esecuzione delle attività)
- soddisfazione (reazioni soggettive degli utenti all'utilizzo del sistema).

Valutare l'usabilità significa quindi valutare l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione con le quali determinati utenti raggiungono obiettivi in

determinati contesti. Possiamo dire, quindi, che l'usabilità definisce il grado di facilità e soddisfazione con cui avviene l'interazione uomo-macchina. Il questionario riporta 10 item con una scala Likert a 5 punti, dove 1 indica "Fortemente in disaccordo" e 5 indica "Fortemente d'accordo".³⁴

System Usability Scale (SUS)

Per favore, indica il tuo grado di accordo con ciascuna affermazione, utilizzando la scala da 1 = Fortemente in disaccordo a 5 = Fortemente d'accordo.

	Fortemente in disaccordo				Fortemente d'accordo					
1. Penso che vorrei usare questo sistema frequentemente.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
2. Ho trovato il sistema inutilmente complesso.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
3. Ho pensato che il sistema fosse facile da usare.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
4. Penso che avrei bisogno del supporto di un tecnico per poter usare questo sistema.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
5. Ho trovato che le varie funzioni del sistema siano ben integrate.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
6. Ho pensato che ci fossero troppe incoerenze nel sistema.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
7. Immagino che la maggior parte delle persone imparerebbe ad usare questo sistema molto rapidamente.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
8. Ho trovato il sistema molto macchinoso da usare.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
9. Mi sono sentito molto sicuro nell'usare il sistema.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐
10. Ho dovuto imparare molte cose prima di poter utilizzare il sistema.	1	☐	2	☐	3	☐	4	☐	5	☐

Figura 18: SUS

³⁴ John Brooke, *SUS -- a quick and dirty usability scale* (1996), 189–94.

4. Risultati

4.1 Analisi dei risultati dei test di conoscenza pre e post corso di formazione con visore

1. Per valutare l'efficacia della formazione con l'utilizzo dei visori VR, ai 94 discenti è stato somministrato un test di conoscenze prima e dopo il corso, con le stesse domande basate sulla tassonomia di Bloom, con l'obiettivo di valutare in modo oggettivo l'incremento delle competenze acquisite. Il confronto tra i risultati del test PRE-CORSO e del test POST-CORSO consente di misurare l'efficacia della metodologia formativa supportata dalla realtà virtuale, evidenziando il grado di apprendimento raggiunto dai discenti.

Di seguito si riporta la tabella con l'incremento riscontrato per ogni domanda:

Domanda	Pre test	Post test	Incremento
1. Si può utilizzare una macchina sprovvista di protezioni? -Si, sempre -No, mai - No, non nel normale utilizzo. Talvolta, in alcune modalità di lavoro (es. attrezzaggio) alcune dispositivi di sicurezza possono essere disattivati in favore di altri sistemi di sicurezza.	49%	49%	0%
2. In quali casi è severamente vietato utilizzare i guanti? -Attività svolte in prossimità ad organi in movimento -Attività svolte in prossimità a materiali taglienti	85%	90%	5%
3. Indica quali sono le regole organizzative da seguire per la gestione dei quadri elettrici: -Le porte dei quadri elettrici devono essere chiuse a chiave -La chiave non deve restare appesa al quadro -Il quadro può essere lasciato aperto	59%	69%	10%
4. È consentito attivare una macchina quando mi trovo all'interno della sua area segregata? -Sì, senza problemi -Sì, dotandosi delle precauzioni necessarie -No, è pericoloso	74%	87%	13%
5. Quali delle seguenti situazioni rappresentano un rischio per la salute/sicurezza in un ambiente di lavoro? -Presenza di prese multiple sovraffollate -Disordine nell'ambiente di lavoro -Impianto di aspirazione mal funzionante -Uso della mascherina FFP in presenza di polveri di legno aerodisperse -Uso dei guanti in prossimità di organi in moto	72%	86%	14%

6. Qual è la funzione principale di una morsa ferma pezzo durante le operazioni di lavorazione meccanica? -Misurare con precisione la lunghezza del pezzo -Bloccare saldamente il pezzo per evitarne lo spostamento in modo tale che l'operatore non debba mantenere il pezzo manualmente	90%	95%	5%
7. Durante un controllo di sicurezza, un operatore si accorge che una barriera ottica non funziona correttamente. Qual è il comportamento più corretto da adottare? -Continuare a lavorare con cautela -Segnalare immediatamente il guasto e interrompere l'attività fino alla verifica tecnica -Rimuovere la barriera ottica e continuare a lavorare manualmente	100%	100%	0%
8. Durante il turno di produzione un operatore con esperienza nota che un componente si è incastrato all'interno di una macchina automatica. Per velocizzare l'intervento e riprendere la produzione, decide di oltrepassare la barriera fisica di protezione ed entrare nell'area operativa della macchina senza disattivarla completamente. Qual è l'errore principale commesso in questa situazione? -Non ha chiesto aiuto a un collega per rimuovere il pezzo incastrato -Ha oltrepassato la barriera fisica senza mettere in sicurezza la macchina, esponendosi a un grave rischio -Ha perso tempo invece di segnalare il problema	79%	85%	6%
9. Durante un controllo di routine, un responsabile della sicurezza nota che il pulsante di emergenza di una macchina è stato coperto con del nastro adesivo, apparentemente per evitare che venga premuto accidentalmente. Perché la manomissione di un pulsante di emergenza è considerata una grave violazione delle norme di sicurezza? (una sola risposta corretta) - Perché impedisce l'arresto rapido della macchina in situazioni di pericolo, mettendo a rischio la vita dei lavoratori - Perché può causare il blocco del ciclo produttivo per motivi non giustificati	95%	95%	0%

Tabella 5: incremento delle risposte tra pre-formazione e post-formazione nei corsi con visore.

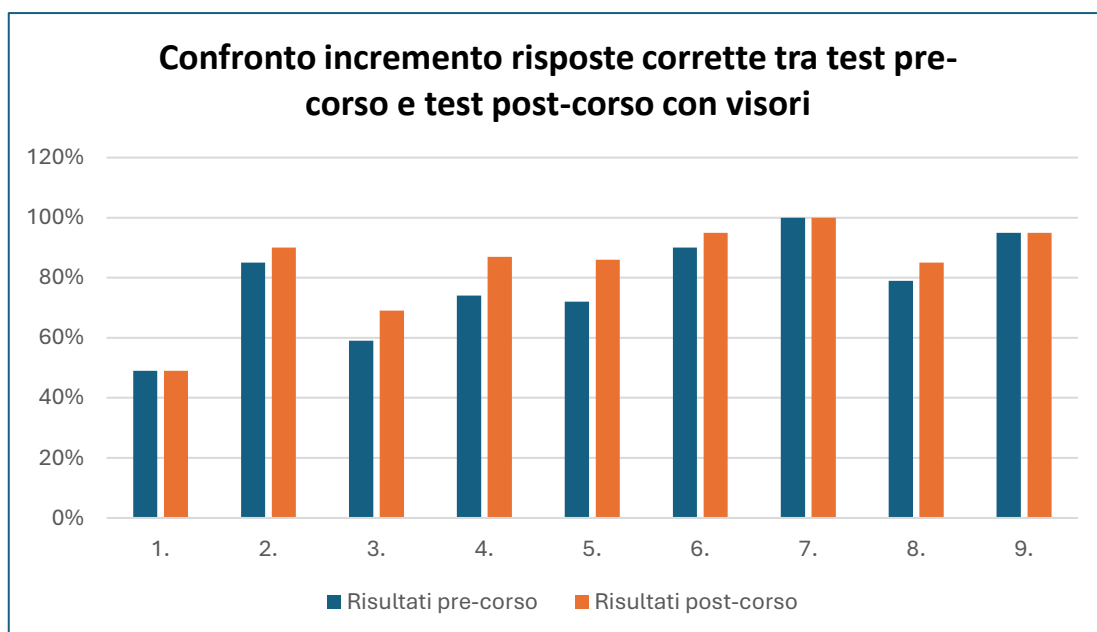


Grafico 1: Grafico a barre incremento delle risposte del test pre corso e il test post corso con visore

Il grafico a barre riportato sopra mostra le medie delle risposte corrette per quanto riguarda il test PRE-CORSO e il test POST-CORSO, evidenziando un incremento medio pari a circa una risposta corretta in più nel post-test.

Nel complesso, i dati indicano un miglioramento delle conoscenze acquisite, a conferma di un possibile contributo in tal senso connesso all'uso dei visori VR.

I dati raccolti per il gruppo di 39 discenti che hanno direttamente indossato i visori VR mostrano un incremento medio di +1,03 risposte corrette tra test PRE-CORSO e test POST-CORSO (su un totale di 9 quesiti). Espressa in percentuale, la media dei punteggi è passata dal 75,1% nel pre-test all'86,5% nel post-test, con un miglioramento complessivo di circa +11,4%. Anche l'analisi per singola domanda evidenzia un incremento percentuale nella maggior parte degli item, con alcuni picchi particolarmente marcati nelle domande relative alla sicurezza operativa e alla corretta gestione delle attrezzature, a sostegno dell'efficacia dell'approccio immersivo nel favorire un apprendimento esperienziale e duraturo.

Analizzando i risultati in base ai livelli cognitivi previsti dalla tassonomia di Bloom, si osserva che gli incrementi più significativi riguardano i livelli "comprendere" e "analizzare", che implicano la capacità di interpretare situazioni operative e di valutare criticamente comportamenti corretti e scorretti.

Ciò suggerisce che la realtà virtuale potrebbe aver avuto un ruolo non solo sulla memorizzazione di concetti, ma anche l'elaborazione attiva delle informazioni e la loro applicazione in contesti pratici.

4.2 Analisi dei risultati dei test di conoscenza pre e post corso di formazione tradizionale

Al fine di valutare in modo comparativo l'efficacia dei corsi di formazione svolti con modalità tradizionale, senza l'impiego della realtà virtuale, è stato somministrato lo stesso test di conoscenze già utilizzato per la formazione immersiva.

Anche in questo caso, il test è stato proposto in due momenti, PRE E POST CORSO, per misurare l'incremento delle competenze teoriche acquisite dai partecipanti e consentire un confronto oggettivo con i risultati ottenuti mediante l'approccio VR.

Di seguito si riporta la tabella con i risultati del test pre e post corso per ciascuna domanda, con l'indicazione dell'incremento percentuale di risposte corrette.

Domanda	Pre test	Post test	Incremento
1. Si può utilizzare una macchina sprovvista di protezioni? -Si, sempre -No, mai - No, non nel normale utilizzo. Talvolta, in alcune modalità di lavoro (es. attrezzaggio) alcune dispositivi di sicurezza possono essere disattivati in favore di altri sistemi di sicurezza.	49%	54%	5%
2. In quali casi è severamente vietato utilizzare i guanti? -Attività svolte in prossimità ad organi in movimento -Attività svolte in prossimità a materiali taglienti	87%	92%	5%
3. Indica quali sono le regole organizzative da seguire per la gestione dei quadri elettrici: -Le porte dei quadri elettrici devono essere chiuse a chiave -La chiave non deve restare appesa al quadro -Il quadro può essere lasciato aperto	51%	53%	2%
4. È consentito attivare una macchina quando mi trovo all'interno della sua area segregata? -Si, senza problemi -Si, dotandosi delle precauzioni necessarie -No, è pericoloso	85%	87%	2%
5. Quali delle seguenti situazioni rappresentano un rischio per la salute/sicurezza in un ambiente di lavoro? -Presenza di prese multiple sovraffollate -Disordine nell'ambiente di lavoro -Impianto di aspirazione mal funzionante -Uso della mascherina FFP in presenza di polveri di legno aerodisperse -Uso dei guanti in prossimità di organi in moto	59%	65%	6%

6. Qual è la funzione principale di una morsa ferma pezzo durante le operazioni di lavorazione meccanica? -Misurare con precisione la lunghezza del pezzo -Bloccare saldamente il pezzo per evitarne lo spostamento in modo tale che l'operatore non debba mantenere il pezzo manualmente	90%	92%	2%
7. Durante un controllo di sicurezza, un operatore si accorge che una barriera ottica non funziona correttamente. Qual è il comportamento più corretto da adottare? -Continuare a lavorare con cautela -Segnalare immediatamente il guasto e interrompere l'attività fino alla verifica tecnica -Rimuovere la barriera ottica e continuare a lavorare manualmente	92%	92%	0%
8. Durante il turno di produzione un operatore con esperienza nota che un componente si è incastrato all'interno di una macchina automatica. Per velocizzare l'intervento e riprendere la produzione, decide di oltrepassare la barriera fisica di protezione ed entrare nell'area operativa della macchina senza disattivarla completamente. Qual è l'errore principale commesso in questa situazione? -Non ha chiesto aiuto a un collega per rimuovere il pezzo incastrato -Ha oltrepassato la barriera fisica senza mettere in sicurezza la macchina, esponendosi a un grave rischio -Ha perso tempo invece di segnalare il problema	67%	77%	10%
9. Durante un controllo di routine, un responsabile della sicurezza nota che il pulsante di emergenza di una macchina è stato coperto con del nastro adesivo, apparentemente per evitare che venga premuto accidentalmente. Perché la manomissione di un pulsante di emergenza è considerata una grave violazione delle norme di sicurezza? (una sola risposta corretta) - Perché impedisce l'arresto rapido della macchina in situazioni di pericolo, mettendo a rischio la vita dei lavoratori - Perché può causare il blocco del ciclo produttivo per motivi non giustificati	56%	56%	0%

Tabella 6 incremento delle risposte tra pre-formazione e post-formazione nei corsi tradizionali

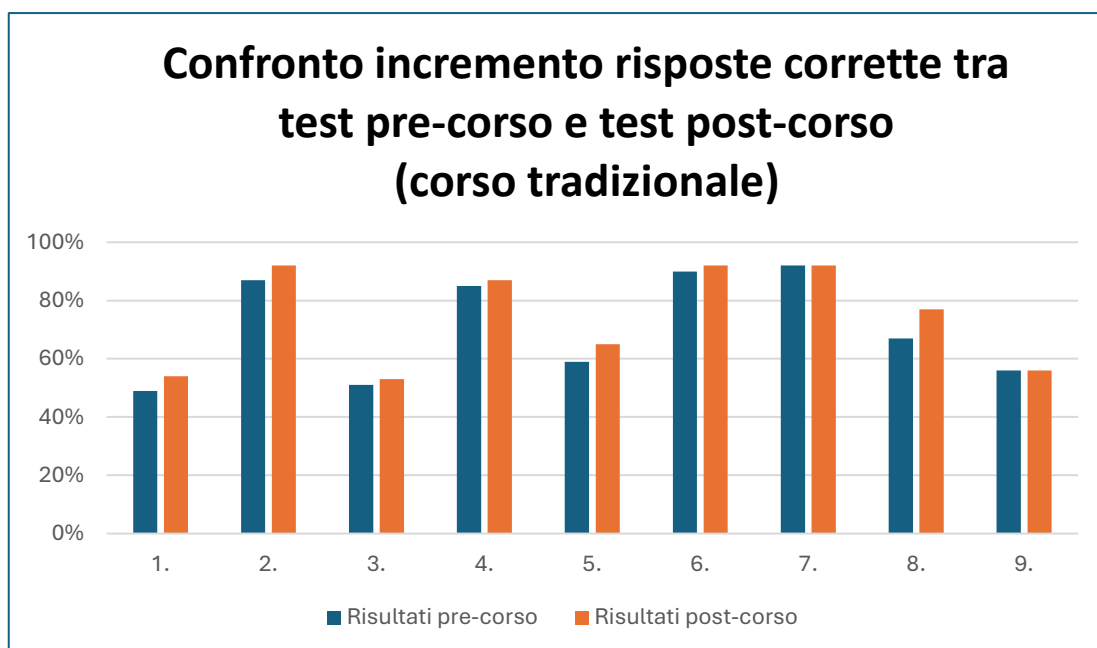


Grafico 2: Grafico a barre incremento delle risposte del test pre corso e il test post corso tradizionale

Il grafico a barre sopra mostra le medie delle risposte corrette per quanto riguarda il test PRE-CORSO e il test POST-CORSO, evidenziando un incremento medio complessivo di circa mezza risposta corretta in più nel post-test.

Nel complesso, i dati indicano un miglioramento delle conoscenze acquisite, seppur più contenuto rispetto a quello osservato nei corsi con visore VR. I risultati mostrano un incremento medio di +0,53 risposte corrette tra test PRE CORSO e POST CORSO (su un totale di 9 quesiti). Espressa in percentuale, la media dei punteggi è passata dal 71,1% nel pre-test al 76,4% nel post-test, con un miglioramento complessivo di circa +5,3%.

4.3 Analisi del questionario di gradimento

2. L'obiettivo di questa sezione è presentare i risultati del questionario di gradimento somministrato ai 94 partecipanti alla formazione con visori VR. Questo strumento, strutturato su scala Likert da 1 a 5, è stato concepito per quantificare la percezione soggettiva rispetto a vari aspetti della formazione: coinvolgimento, chiarezza, utilità, efficacia e potenzialità futura d'impiego.

Il questionario è stato compilato immediatamente dopo la sessione formativa, garantendo una risposta immediata e rappresentativa dell'esperienza vissuta. Tutti i partecipanti hanno risposto alle stesse sette domande principali, consentendo un'analisi quantitativa accurata delle medie di risposta. Le successive domande sono state compilate solo da chi ha utilizzato in prima persona il visore.

Nella tabella seguente sono riportate le medie complessive ottenute per ciascuna domanda:

Domanda	Media risultati
1. Quanto ti sei sentito coinvolto durante l'esperienza formativa in VR?	4.47
2. Come valuti la tua esperienza complessiva con il corso di formazione in realtà virtuale?	4.53
3. Il corso è stato facile da seguire e comprendere?	4.65
4. Hai trovato produttivo l'uso della realtà virtuale durante il corso?	4.50
5. Quanto pensi che il corso di formazione abbia migliorato l'efficacia dell'apprendimento rispetto ai metodi tradizionali?	4.43
6. Pensi che il corso di formazione VR abbia fornito competenze utili per il tuo lavoro?	4.55
7. Pensi che il corso di formazione VR possa essere utile per altri corsi di formazione in futuro?	4.48
8. Hai avuto modo di usare il visore?	Si: 39/94
9. Quanto ti sei sentito a tuo agio nell'usare il visore e gli altri strumenti tecnologici?	4.48
10. Hai suggerimenti per migliorare l'uso della realtà virtuale in future formazioni?	Risposta aperta
11. Durante l'uso della realtà virtuale, hai avvertito sensazione di malessere?	Si: 3 (8%) No: 36 (92%)
12. Se hai avvertito malessere, quale dei seguenti sintomi hai sperimentato?	Nausea:1 Mal di testa: 1 Affaticamento visivo:1 Sensazione di disorientamento: 2

Tabella 7: media risultati questionario di gradimento

I risultati mostrano che la media delle risposte Likert (1–5), riportate nella tabella, è molto alta, tra 4,4 e 4,6, quindi i discenti hanno percepito la formazione in VR come coinvolgente, utile, chiara e produttiva.

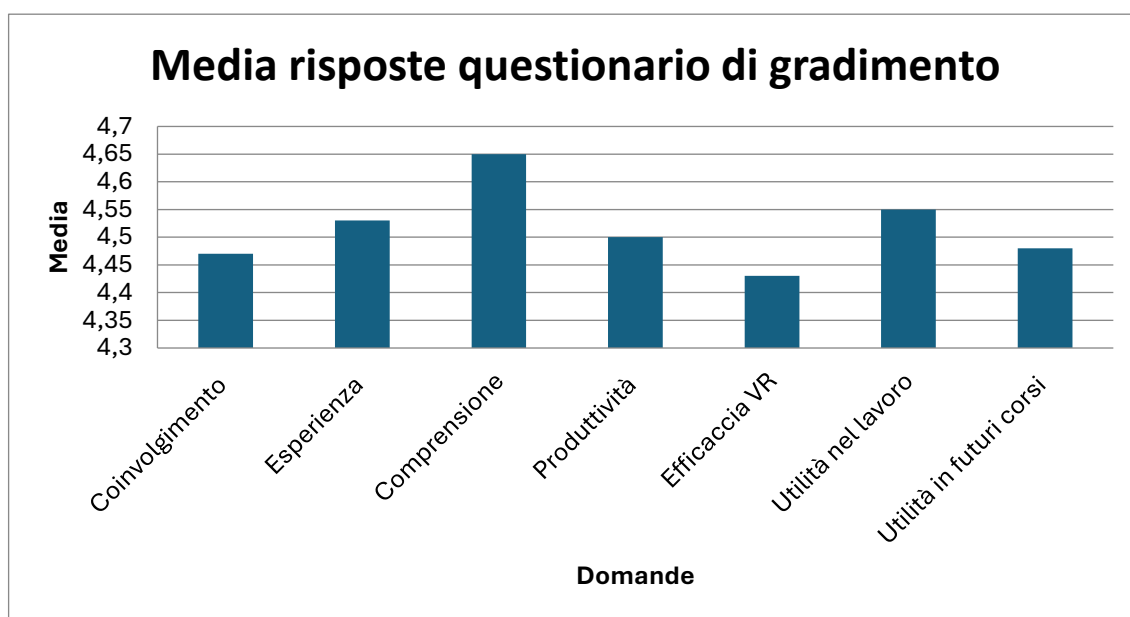


Grafico 3: grafico a barre media risposte questionario di gradimento

I risultati del questionario di gradimento mostrano un'elevata soddisfazione da parte dei discenti. Tutte le valutazioni si collocano ben al di sopra del valore medio della scala Likert (3), con punte particolarmente alte in relazione alla facilità di comprensione del corso ($M=4,65$) e alla percezione di utilità delle competenze acquisite ($M=4,55$). Anche il coinvolgimento e l'esperienza complessiva hanno ottenuto punteggi molto positivi ($M=4,47$ e $M=4,53$). Questi dati confermano non solo l'efficacia didattica della realtà virtuale, ma anche la sua capacità di essere percepita come strumento utile e replicabile in altri contesti formativi.

Oltre alle domande comuni a tutti i partecipanti, è stata prevista una sezione del questionario dedicata esclusivamente a coloro che hanno avuto la possibilità di utilizzare direttamente il visore VR. In questo caso, 39 partecipanti su 94 complessivi (41%) hanno dichiarato di aver utilizzato il dispositivo.

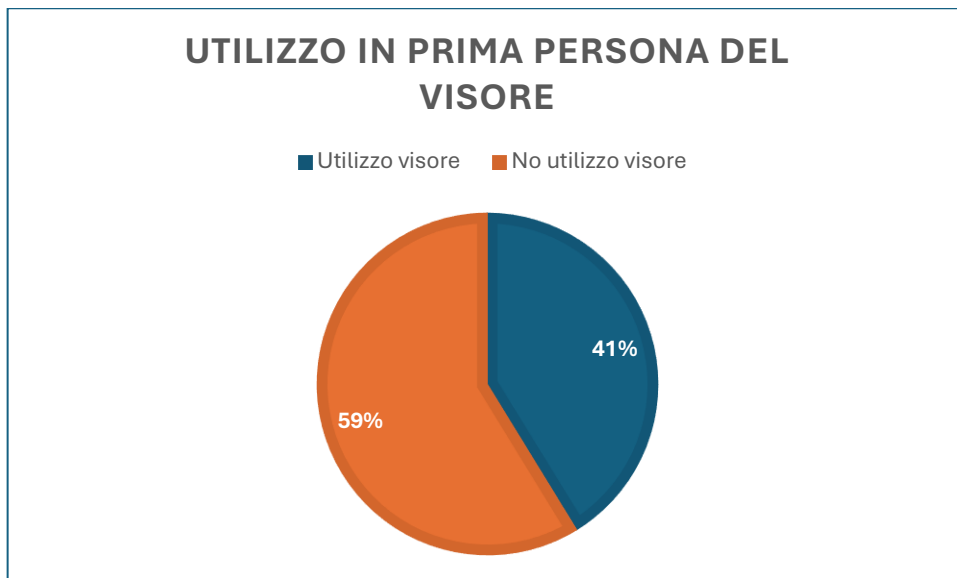


Grafico 4: grafico a torta percentuale di persone che hanno indossato il visore

Il livello di agio percepito nell'utilizzo del visore e degli altri strumenti tecnologici è risultato molto elevato, con una media pari a 4,48 su 5, indicando che la tecnologia è stata considerata generalmente accessibile e non problematica.

Alla domanda relativa alla presenza di eventuali sensazioni di malessere durante l'esperienza VR, il 92% degli utilizzatori ha risposto negativamente, mentre solo l'8% ha segnalato qualche forma di disagio



Grafico 5: grafico a torta percentuale di persone che hanno percepito sensazione di malessere

Infine, tra coloro che hanno riportato sintomi, i disturbi più citati sono stati la sensazione di disorientamento, seguita da nausea, mal di testa e affaticamento visivo. La distribuzione di tali sintomi è mostrata nel grafico a barre.

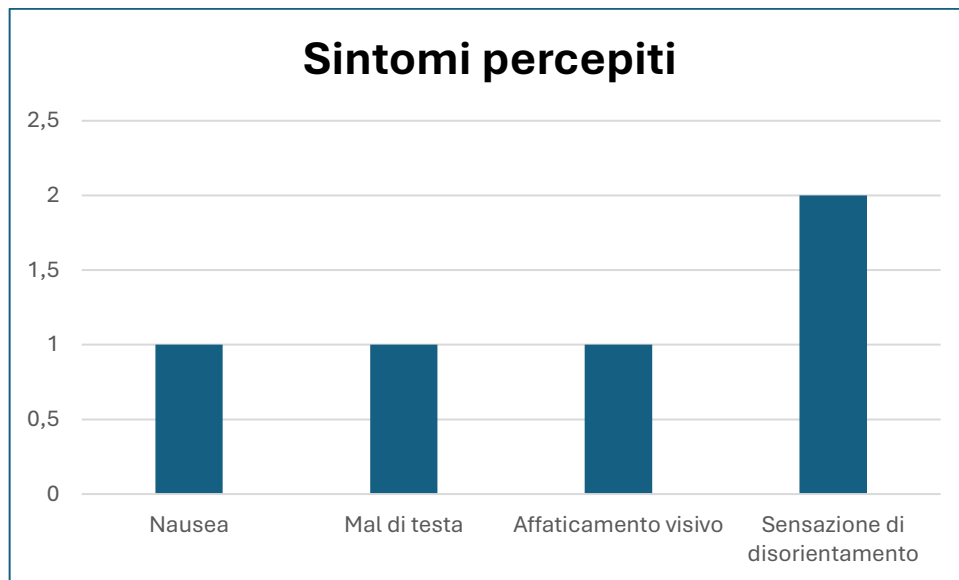


Grafico 6: grafico a barre sintomi di malessere percepiti

4.4 Analisi questionario SUS

3. Il System Usability Scale (SUS) è uno strumento standardizzato a livello internazionale, sviluppato da John Brooke (1986), che permette di valutare in maniera sintetica e affidabile la usabilità percepita di un sistema o di una tecnologia.

Il questionario è composto da 10 affermazioni a cui partecipanti devono rispondere utilizzando una scala Likert a 5 punti (da 1 = fortemente in disaccordo a 5 = fortemente d'accordo). Il questionario è stato compilato solo dai 39 discenti che hanno utilizzato in prima persona il visore. Le domande sono strutturate in modo da alternare item positivi e negativi, così da ridurre i bias di risposta.

Nel contesto della presente ricerca, il SUS è stato utilizzato per indagare la percezione degli utenti rispetto all'usabilità della formazione tramite realtà

virtuale, con l'obiettivo di verificare se questa modalità risultasse intuitiva, semplice da utilizzare e complessivamente soddisfacente dal punto di vista dell'esperienza d'uso,

Nella tabella seguente sono riportate le medie complessive ottenute per ciascuna domanda:

Domande	Media risultati
1.Penso che vorrei usare questo sistema frequentemente.	4.72
2.Ho trovato il sistema inutilmente complesso.	3.21
3.Ho pensato che il sistema fosse facile da usare.	4.82
4.Penso che avrei bisogno del supporto di un tecnico per poter usare questo sistema.	3.18
5.Ho trovato che le varie funzioni del sistema siano ben integrate.	4.54
6.Ho pensato che ci fossero troppe incoerenze nel sistema.	2.82
7.Immagino che la maggior parte delle persone imparerebbe ad usare questo sistema molto rapidamente.	4.49
8.Ho trovato il sistema molto macchinoso da usare.	2.95
9.Mi sono sentito molto sicuro nell'usare il sistema.	4.64
10.Ho dovuto imparare molte cose prima di poter utilizzare il sistema.	2.90

Tabella 8: media risultati questionario SUS

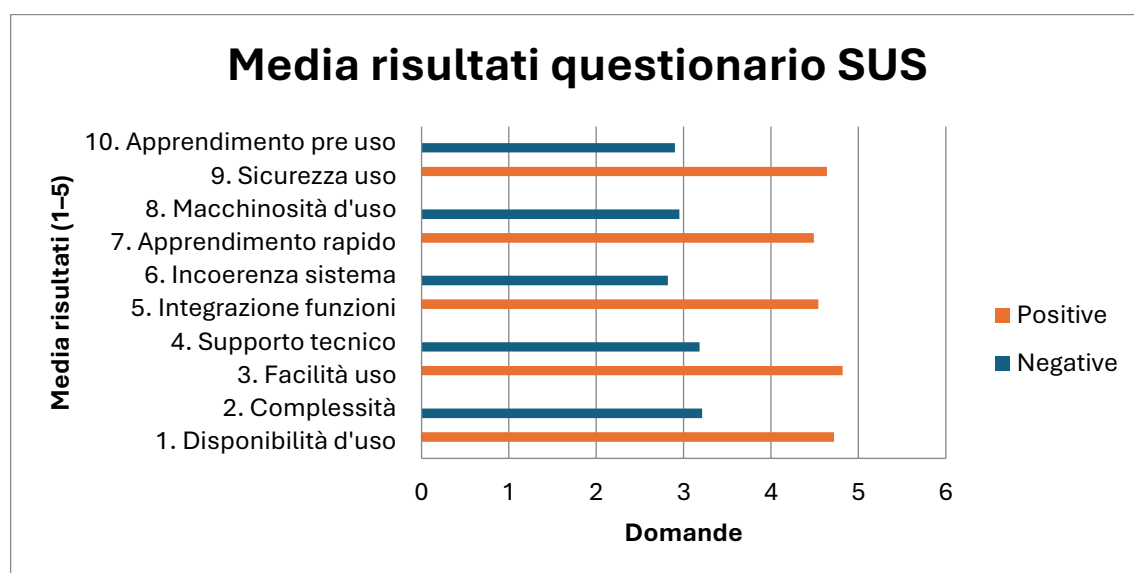


Grafico 7: grafico a barre medie risposte SUS

Le domande pari (2, 4, 6, 8, 10) sono formulate in senso negativo. In fase di calcolo del punteggio SUS, i valori vengono invertiti, in modo che un punteggio alto indichi sempre una percezione positiva.

Il grafico mostra chiaramente come gli item positivi (blu) abbiano ottenuto punteggi molto elevati (tra 4,49 e 4,82), evidenziando una percezione di facilità d'uso, sicurezza e buona integrazione delle funzioni. Al contrario, gli item negativi (rosso) presentano valori medi inferiori a 3, indicando che gli utenti non hanno percepito il sistema come complesso, incoerente o difficile da apprendere.

I risultati del questionario SUS confermano l'elevata usabilità percepita della formazione tramite visori VR. Le valutazioni positive riguardano in particolare la facilità d'uso ($M=4,82$), la rapidità di apprendimento ($M=4,49$) e la sicurezza percepita ($M=4,64$). Gli item negativi hanno registrato valori bassi ($M=2,82-3,21$), a testimonianza della ridotta percezione di complessità o incoerenza. Nel complesso, il punteggio SUS indica un livello di usabilità superiore alla media e vicino alle soglie di eccellenza, evidenziando la validità dello strumento VR come supporto formativo.

Il punteggio complessivo ottenuto dal questionario SUS è pari a 70,4 su 100, un valore che si colloca al di sopra della soglia di riferimento di 68 punti e che indica quindi una buona usabilità del sistema.

Il calcolo del SUS si basa su un procedimento standardizzato: le dieci affermazioni del questionario vengono valutate su una scala Likert da 1 (fortemente in disaccordo) a 5 (fortemente d'accordo). Le risposte vengono poi trasformate in punteggi parziali: per gli item dispari si sottrae 1 al valore indicato dal partecipante, mentre per quelli pari si calcola la differenza tra 5 e la risposta fornita. In questo modo si ottengono valori compresi tra 0 e 4 per ciascun item. La somma di tutti i punteggi viene quindi moltiplicata per 2,5, così da ottenere un risultato finale espresso su una scala da 0 a 100.

Il punteggio di 70,4 emerso dal presente studio è superiore al valore soglia di 68, che in letteratura è considerato l'indicatore minimo di una buona usabilità. Questo risultato suggerisce che l'esperienza di utilizzo del visore VR e degli strumenti associati sia stata complessivamente positiva, percepita dai partecipanti come intuitiva, accessibile e soddisfacente.

Secondo i principali riferimenti scientifici, il SUS permette inoltre di classificare l'usabilità su differenti livelli qualitativi: valori inferiori a 50 indicano un sistema con gravi problemi di usabilità; un punteggio compreso tra 50 e 68 riflette una condizione di sufficienza o usabilità accettabile ma migliorabile; un risultato compreso tra 68 e 80 indica una buona usabilità; mentre punteggi superiori a 80 sono associati a una usabilità eccellente.

La soglia di 68 è comunemente adottata come valore medio di riferimento per l'interpretazione del punteggio SUS. Tale soglia è stata individuata da Bangor, Kortum e Miller(2008), i quali, analizzando un ampio campione di oltre 500 valutazioni, hanno evidenziato come la media complessiva dei punteggi SUS si attestasse proprio intorno a questo valore. Per questo motivo, 68 viene considerato la "linea di base" per distinguere sistemi con usabilità inferiore o superiore alla media.

Successivamente, gli stessi autori (Bangor, Kortum & Miller, 2009)³⁵ hanno raffinato l'interpretazione del punteggio, introducendo una corrispondenza tra valori numerici e giudizi qualitativi (ad esempio: *poor*, *ok*, *good*, *excellent*), sulla base della percezione soggettiva degli utenti.

In questo senso, il valore di 70,4 colloca il sistema testato in una fascia di buona usabilità, confermando l'efficacia e la soddisfazione percepita dagli utenti nell'impiego della realtà virtuale per la formazione.

³⁵ Aaron Bangor, *Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale*, 4, fasc. 3 (2009).

5. Discussione

5.1 Apprendimento, soddisfazione e usabilità: una discussione dei risultati

1. Sondare l'efficacia didattica in termini di incremento di conoscenze in un corso di sicurezza tradizionale implementato con l'introduzione di un modulo formato di un circa un'ora di modulo formazione immersiva con visori.

Il primo obiettivo della ricerca era verificare se la formazione in realtà virtuale potesse migliorare le conoscenze dei partecipanti rispetto alla formazione tradizionale.

I risultati mostrano un incremento medio dell'11,4% delle risposte corrette nel gruppo VR, a fronte di un 5,3% nei corsi tradizionali.

Questo conferma che l'approccio immersivo potrebbe diventare un apprendimento più solido, consentendo di consolidare e applicare le conoscenze acquisite.

Tali risultati sono coerenti con quanto evidenziato da **Sacks et al. (2013)**, che hanno dimostrato come l'uso della VR nella formazione alla sicurezza incrementi la capacità di riconoscere situazioni di rischio e riduca la probabilità di errore umano.

Allo stesso modo, **Filigenzi et al. (2017)** sottolineano che la dimensione esperienziale della VR stimola processi cognitivi di ordine superiore, favorendo il passaggio dal semplice ricordare al comprendere e analizzare, livelli centrali nella tassonomia di Bloom.

Nel presente studio, infatti, gli incrementi più elevati si registrano proprio nelle domande legate ai livelli cognitivi "comprendere" e "analizzare", che richiedono la capacità di interpretare situazioni operative e valutare comportamenti corretti.

In linea con **Narciso et al. (2020)**, i partecipanti alla formazione immersiva hanno riportato anche una maggiore motivazione e coinvolgimento, aspetti che contribuiscono in modo determinante all'efficacia dell'apprendimento. Nel complesso, i risultati confermano che la realtà virtuale è uno strumento che potrebbe migliorare non solo le conoscenze tecniche, ma anche le competenze cognitive e comportamentali, integrandosi efficacemente con la formazione tradizionale.

È opportuno precisare che la selezione dei partecipanti non è avvenuta in modo completamente casuale, ma è stata influenzata dalla disponibilità e dalla composizione dei corsi aziendali. Questo può aver introdotto variabili non controllate, quali età, ruolo professionale, esperienza lavorativa o familiarità con le tecnologie digitali, che potrebbero aver influenzato sui risultati. Inoltre, pur avendo registrato un incremento delle conoscenze, l'aumento complessivo è risultato contenuto (11,4% con VR e 5,3% con formazione tradizionale). Ciò suggerisce che indipendentemente dalla metodologia impiegata, una singola sessione formativa di 12 ore non potrebbe essere sufficiente a produrre un miglioramento marcato delle competenze teoriche, ma costituisce piuttosto un primo stimolo verso un apprendimento più profondo e continuativo.

Per ottenere risultati più robusti e generalizzabili, sarà necessario condurre ulteriori studi con campioni più ampi, selezionati in modo casuale e con disegni sperimentali controllati. Tali sviluppi permettono di analizzare in modo più preciso l'effettivo contributo della realtà virtuale, isolando l'effetto della tecnologia da quello di altri fattori formativi e contestuali.

2. Valutare il gradimento della formazione immersiva in Realtà Virtuale come supplemento nei corsi, nel contesto della sicurezza sul lavoro.

Le medie ottenute, comprese tra 4,4 e 4,6, mostrano che i partecipanti hanno giudicato l'esperienza VR come chiara, utile e produttiva. In relazione

all'obiettivo, questo significa che la tecnologia non solo ha reso il percorso più coinvolgente, ma ha anche trasmesso un senso di utilità immediata per il contesto lavorativo. Anche i dati specifici sull'uso del visore confermano la coerenza con l'obiettivo: chi ha indossato il dispositivo ha riportato un buon livello di agio ($M=4,48$) e solo una minima percentuale ha segnalato effetti collaterali (8%). Ciò suggerisce che la tecnologia, pur con alcune limitazioni fisiologiche, è generalmente ben tollerata e accettata dai discenti, in linea con l'intento di proporre un'esperienza formativa positiva e motivante.

Un ulteriore elemento di interesse deriva dall'analisi della domanda aperta, in cui i partecipanti avevano la possibilità di proporre suggerimenti per i futuri corsi. Molti hanno evidenziato l'utilità di introdurre scenari più vicini alla realtà quotidiana di *Friulintagli*, ad esempio con la riproduzione di macchinari effettivamente utilizzati in produzione. La richiesta di contesti più familiari mostra come i discenti attribuiscano valore non solo alla dimensione immersiva della VR, ma anche alla sua capacità di rappresentare ambienti realistici e pertinenti rispetto alla loro attività lavorativa. Questo risultato sottolinea che, per incrementare ulteriormente l'efficacia della formazione, sarà importante sviluppare scenari personalizzati e aderenti al contesto operativo aziendale.

3. Valutare il grado di usabilità dei visori sperimentati in un corso di formazione sulla sicurezza sul lavoro.

Il punteggio complessivo di 70,4 ottenuto al SUS supera la soglia di riferimento di 68, indicativa di buona usabilità. In rapporto all'obiettivo, ciò significa che i partecipanti hanno percepito il sistema come semplice da usare, con funzioni integrate e coerenti, senza eccessiva complessità. Questo dato è cruciale: se la tecnologia fosse stata percepita come macchinosa o ostile, avrebbe potuto compromettere l'efficacia didattica e

il gradimento complessivo. Al contrario, il superamento della soglia conferma che l'ambiente VR può essere introdotto in contesti formativi senza costituire una barriera, ma anzi come strumento supportivo.

5.2 Punti di forza e di debolezza della formazione VR

Punti di forza:

- Al termine delle prove, i partecipanti che hanno utilizzato direttamente il visore hanno dichiarato di essere rimasti soddisfatti, la maggior parte senza riportare sintomi di malessere (mal di testa, nausea, affaticamento visivo o disorientamento) né difficoltà nell'apprendimento del funzionamento dello strumento.
- In generale, i discenti hanno ritenuto l'esperienza coinvolgente e utile per fissare meglio i concetti, poiché la possibilità di "vedere dal vivo" le situazioni riprodotte è stata percepita come più efficace rispetto al semplice ascolto del docente.
- Alcuni partecipanti hanno evidenziato che l'impiego della realtà virtuale rappresenta un valido supporto per aumentare la memoria visiva e operativa, migliorando la capacità di ricordare i contenuti formativi.
- La procedura di collegamento del visore al sito della prova si è dimostrata semplice e rapida, agevolando l'avvio delle sessioni.

Punti di debolezza:

- Un limite dello studio è rappresentato dalla numerosità del campione del gruppo di controllo con cui confrontare i risultati ottenuti. Questo aspetto rende più complesso trarre conclusioni del tutto generalizzabili sull'efficacia della soluzione proposta.
- Tre partecipanti hanno riportato sensazioni di malessere (nausea, mal di testa, affaticamento visivo, senso di disorientamento) durante l'esperienza,

evidenziando la necessità di migliorare ulteriormente l'ergonomia della simulazione.

- L'ambiente virtuale sviluppato non risultava pienamente assimilabile al contesto operativo della Friulintagli, in quanto alcuni macchinari riprodotti non erano presenti nelle unità produttive, generando talvolta disorientamento nei discenti. Infatti diversi partecipanti hanno suggerito la creazione di scenari più specifici e aderenti alle attività aziendali, concepiti per esercitarsi su operazioni concrete e tipiche del loro lavoro quotidiano.
- Non è sempre stato facile reperire volontari disponibili a indossare il visore: in alcuni casi, per coinvolgere il secondo o terzo partecipante, è stato necessario insistere riducendo la casualità del campione.
- Alcuni rischi rappresentati nella simulazione sono stati percepiti come poco chiari o troppo "tecnici";

6. Conclusioni

Il presente lavoro ha indagato l'utilizzo della Realtà Virtuale (VR) come strumento formativo nel contesto della sicurezza sul lavoro, con l'obiettivo di stimare l'efficacia didattica e il grado di gradimento e accettazione da parte dei lavoratori. L'esperienza svolta presso l'azienda Friul Intagli ha permesso di osservare da vicino l'introduzione di una tecnologia immersiva all'interno di corsi tradizionali, analizzandone l'impatto sia sul livello di apprendimento che sulla percezione dell'esperienza formativa.

L'analisi dei dati ha evidenziato un incremento delle conoscenze in entrambi i gruppi esaminati: pari a + 11,4% per i partecipanti che hanno utilizzato i visori VR e + 5,3% per quelli che hanno seguito la formazione tradizionale. Tali risultati suggeriscono un possibile effetto positivo dell'esperienza immersiva VR, ma non consentono di affermare con

certezza che l'aumento delle conoscenze sia dovuto esclusivamente all'uso della realtà virtuale introdotta. È plausibile che il miglioramento osservato sia il risultato di una combinazione di fattori, tra cui la metodologia didattica, la partecipazione individuale, la motivazione, l'esperienza pregressa dei discenti e la composizione dei gruppi.

Pur in assenza di un'evidenza causale forte, l'esperienza con i visori VR ha mostrato un notevole valore aggiunto in termini di coinvolgimento, attenzione e partecipazione attiva. I questionari di gradimento e usabilità hanno infatti messo in luce un'elevata curiosità e un atteggiamento generalmente positivo verso l'impiego della tecnologia immersiva.

Questi aspetti indicano che la realtà virtuale rappresenta una via promettente per rinnovare la didattica in materia di sicurezza, integrando l'apprendimento teorico con esperienze più concrete, partecipative e interattive.

È importante sottolineare che la VR non sostituisce la formazione tradizionale, ma la completa e la arricchisce, consentendo ai lavoratori di sperimentare scenari realistici in condizioni di totale sicurezza.

L'approccio immersivo contribuisce a rendere più tangibile i rischi, stimola la riflessione sui comportamenti corretti e può favorire una migliore interiorizzazione delle procedure di prevenzione.

Dal punto di vista organizzativo e culturale, l'introduzione di questi strumenti ha rappresentato anche un'occasione di innovazione e aggiornamento per i docenti e i formatori, che hanno potuto sperimentare nuove modalità di interazione didattica.

L'esperienza descritta può essere considerata come un primo passo verso una progressiva integrazione delle tecnologie immersive nei percorsi

formativi aziendali, con l'obiettivo di migliorare la qualità della formazione, aumentare il coinvolgimento dei lavoratori e promuovere una cultura della sicurezza sempre più partecipativa e consapevole.

7. Bibliografia

«2.2 Sicurezza generale delle macchine». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-2-sicurezza-generale-delle-macchine/>.

«2.2.3.2 Caratteristiche». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-2-sicurezza-generale-delle-macchine/2-2-3-ripari/2-2-3-2-caratteristiche/>.

«2.4.1 Tornio a comando manuale». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-1-tornio-a-comando-manuale/>.

«2.4.2 Trapano a colonna manuale». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-2-trapano-a-colonna-manuale/>.

«2.4.5 Sega a nastro». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-5-sega-a-nastro/>.

«2.4.5.1 Elementi di pericolo». *Metalmeccanica*, s.d. Consultato 23 luglio 2025. <https://impresasicura.org/sites/metalmeccanica/2-sicurezza/2-4-principali-macchine/2-4-5-sega-a-nastro/2-4-5-1-elementi-di-pericolo/>.

«Accordo Stato-Regioni 17 aprile 2025». Consultato 16 maggio 2025. https://aifos.org/home/news/normativa/leggi_e_norme/accordo-unico-stato-regioni-17-aprile-2025.

Bangor, Aaron. *Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale*. 4, fasc. 3 (2009).

Brooke, John. *SUS -- a quick and dirty usability scale*. 1996.

«Carta Fondamentale Formazione Sicurezza, Igiene e Salute sul Lavoro, 28 aprile 2024». Consultato 25 luglio 2025. https://olympus.uniurb.it/index.php?Itemid=126&catid=98&id=31866&option=com_content&view=article&utm_source=chatgpt.com.

Conrad, Matthias, David Kablitz, e Stephan Schumann. «Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings». *Computers & Education: X Reality* 4 (gennaio 2024): 100053. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>.

Cox, Eric. «Experiential Learning and Learning Styles». In *Oxford Research Encyclopedia of International Studies*. 2010. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190846626.013.175>.

«DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 - Normattiva». Consultato 23 luglio 2025. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2008-04-09;81!vig=>.

Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 maggio 2006 , relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE), EP, CONSIL, 157 OJ L (2006). <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj/ita>.

«EN ISO 13850 Arresto di emergenza». Consultato 23 luglio 2025. https://www.certifico.com/normazione/documenti-riservati-normazione/en-iso-13850-arresto-di-emergenza?utm_source=chatgpt.com.

Filigenzi, Marc, Timothy Orr, e Todd Ruff. «Virtual Reality for Mine Safety Training». *Applied occupational and environmental hygiene* 15 (luglio 2000): 465–69. <https://doi.org/10.1080/104732200301232>.

«Formazione professionale: un investimento per il futuro». Consultato 25 luglio 2025. https://fitprime.com/it/magazine/formazione-professionale-un-investimento-per-il-futuro?utm_source=chatgpt.com.

friulintagli. «FRIUL INTAGLI – Your partner for furniture and components». Consultato 22 luglio 2025. <http://www.friulintagli.com/it/>.

«Gazzetta Ufficiale». Consultato 23 settembre 2025. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/01/11/12A00058/sg>.

Il ruolo della formazione continua nella promozione della cultura della sicurezza sul lavoro - Safe Engineering. News. 12 luglio 2024. <https://www.safe-engineering.it/il-ruolo-della-formazione-continua-nella-promozione-della-cultura-della-sicurezza-sul-lavoro/>.

Knowles, Malcolm S. *From Pedagogy to Andragogy*. s.d.

Lampropoulos, Georgios, Pablo Fernández-Arias, Álvaro Antón-Sancho, e Diego Vergara. «Examining the Role of Augmented Reality and Virtual Reality in Safety Training». *Electronics* 13, fasc. 19 (2024): 3952. <https://doi.org/10.3390/electronics13193952>.

Milgram, Paul, e Fumio Kishino. «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays». *IEICE Transactions on Information* E77-D, fasc. 12 (1994): 1321–29.

Narciso, David, Miguel Melo, José Vasconcelos Raposo, João Cunha, e Maximino Bessa. «Virtual Reality in Training: An Experimental Study with Firefighters». *Multimedia Tools and Applications* 79, fasc. 9 (2020): 6227–45. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08323-4>.

Neiko. «Neiko - Agenzia di comunicazione specializzata in realtà virtuale». Neiko. Consultato 15 ottobre 2025. <https://www.neiko.it/>.

Nielsen, Karina, Kara Ng, Michela Vignoli, Laura Lorente, e José María Peiró. «A mixed methods study of the training transfer and outcomes of safety training for low-skilled workers in construction». *Work & Stress* 37, fasc. 2 (2023): 127–47. <https://doi.org/10.1080/02678373.2022.2086646>.

Prasad, G. N. R. «Evaluating Student Performance Based on Bloom's Taxonomy Levels». *Journal of Physics: Conference Series* 1797, fasc. 1 (2021): 012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1797/1/012063>.

PuntoSicuro. «Attrezzature in edilizia: la sicurezza nell'uso della...» Consultato 23 luglio 2025. <https://www.puntosicuro.it/attrezzature-macchine-C-45/attrezzature-in-edilizia-la-sicurezza-nell-uso-della-sega-circolare-AR-15151/>.

root. «ALLEGATO I della direttiva Macchine 2006/42/CE - sintesi». Text. Direttiva ATEX - Direttiva macchine 2006/42 CE, 13 settembre 2013. <http://www.industry-finder.it/allegato-i-della-direttiva-macchine-2006-42-ce-sintesi.html>.

Sacks, Rafael, Perlman, Amotz, e Ronen and Barak. «Construction safety training using immersive virtual reality». *Construction Management and Economics* 31, fasc. 9 (2013): 1005–17. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.

Stefan, Hans, Michael Mortimer, e Ben Horan. «Evaluating the Effectiveness of Virtual Reality for Safety-Relevant Training: A Systematic Review». *Virtual Reality* 27, fasc. 4 (2023): 2839–69. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00843-7>.

Tiberi, Manuela. «La sicurezza non è un costo, ma un investimento.» #ZEROMORTISULLAVORO, 5 luglio 2022. <https://zeromortisullavoro.it/la-sicurezza-sul-lavoro-e-un-investimento/>.

Arrivare fin qui è stato un percorso intenso, fatto di sfide, soddisfazioni e momenti che porterò sempre con me.

Vorrei ringraziare di cuore tutte le persone che, in modi diversi, mi hanno accompagnata in questo viaggio.

Un grazie va al mio relatore Ivan Paravano, per la disponibilità, la pazienza e i preziosi consigli che hanno guidato il mio lavoro. La sua fiducia e il suo supporto sono stati fondamentali per la realizzazione di questa tesi.

Alla mia famiglia, soprattutto ai miei genitori: grazie per aver creduto in me, anche quando io non ci riuscivo, per i vostri sacrifici, per il vostro sostegno costante e per avermi insegnato che con l'impegno tutto è possibile. Questo traguardo è tanto mio quanto vostro.

A mia sorella Beatrice, che in ogni momento della mia vita è stata una guida quasi mai silenziosa ma sempre preziosa. Con infinita pazienza mi hai sostenuta, incoraggiata e, a volte, anche "spinta" quando esitavo a fare un passo avanti. Se oggi posso guardare a questo traguardo con orgoglio, è anche merito tuo. Grazie per aver creduto in me, per la tua forza e la tua testardaggine, per l'amore costante che non hai mai smesso di donarmi.

A Lisa che anche da un continente di distanza è riuscita a starmi accanto come se fosse qui. Hai condiviso con me ansie, gioie e traguardi, con la stessa dolcezza e complicità di sempre. La tua presenza, anche a migliaia di chilometri, mi ha ricordato che la vera amicizia non conosce distanze. Grazie per esserci sempre, in ogni modo possibile.

A Betta, Andrea, Scane, Gianluca e Cristian, con cui ho condiviso lezioni, ansie da esami, risate e momenti indimenticabili. Siete stati una parte fondamentale di questi tre anni, e senza di voi tutto sarebbe stato molto più difficile e sicuramente meno divertente. Un ringraziamento speciale va a Betta, la mia socia dal primo giorno di università, per la sua amicizia, il suo

supporto costante e la sua capacità di rendere anche le giornate più pesanti un po' più leggere.

Ad Andrea, che è entrato nella mia vita da poco, ma nel momento in cui ne avevo più bisogno. In questi mesi, mentre affrontavo la parte più difficile del mio percorso, sei stato un punto fermo: mi hai sostenuta, incoraggiata e fatta sorridere quando lo stress sembrava avere la meglio. Grazie per avermi fatto ridere anche quando non ne avevo voglia e per avermi ricordato, ogni giorno, quanto valesse la pena crederci fino in fondo. E infine, grazie a me stessa, per non aver mollato, nonostante le crisi, i momenti di panico e la tentazione più volte di lanciare il computer dalla finestra. Non sei stata perfetta, ma sei arrivata fino in fondo e questo vale più di tutto.

A tutti voi, che in un modo o nell'altro avete fatto parte di questo percorso: grazie. Mi avete accompagnata, sostenuta e fatta sorridere quando serviva di più. E ora sì, possiamo ufficialmente dire: *missione compiuta!*