

Proximity Machinery through eXtended Reality: design per la formazione dell'operatore resiliente 5.0

Margherita Peruzzini

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Alessandro Pollini

International Telematic University Uninettuno

Diego Pucci

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Michele Zannoni

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Abstract

Questa ricerca analizza le sfide nel campo della formazione nel settore industriale per definire un quadro di competenze tecniche di riferimento e progettare una tecnologia di supporto che aiuti le giovani generazioni di operatori ad acquisire competenze e conoscenze adeguate che possano influenzare positivamente le loro relazioni nei confronti del contesto esterno, adottando comportamenti efficaci, sicuri e resilienti. L'innovazione di questa ricerca consiste nel convergere sul ruolo e sulla relazione di scambio tra fattori umani e tecnologici nell'ambito della formazione specialistica. Il fattore umano si riferisce all'indagine delle dimensioni psicologiche (conoscenza e propensione verso l'automazione) e cognitive degli utenti (apprendimento, ispezione, consapevolezza, processi decisionali) che consentiranno agli apprendisti di stare accanto alla macchina (ovvero vicino). Il fattore tecnologico, invece, si concentra sulla sperimentazione della *eXtended reality* da parte dei formatori per rendere la macchina vicina agli apprendisti (quindi approntarla all'uso). Il progetto, dunque, ha l'obiettivo di applicare la ricerca e la sperimentazione tipici del design industriale nel contesto dei sistemi robotici ad alta automazione.

Parole chiave

- OPERATORE RESILIENTE
- OPERATORE 5.0
- ADVANCED MANUFACTURING
- INTERACTION DESIGN
- EXTENDED REALITY

1. Contesto

Le piegatrici per lamiera sono attrezzature essenziali nell'industria manifatturiera. La loro precisione consente di modellare le lastre in forme diverse, rispondendo a specifiche esigenze industriali. Queste macchine producono un'ampia gamma di prodotti per diversi settori produttivi, dai componenti automobilistici agli elettrodomestici passando dai macchinari industriali. Partendo dall'analisi del mercato globale delle macchine per la piegatura delle lamiera è possibile individuare diverse suddivisioni che annoverano differenti tipologie di modelli, ad esempio: automatici, idraulici, semiautomatici e manuali. L'introduzione delle piegatrici a controllo numerico computerizzato (CNC) ha trasformato il settore, consentendo una maggiore precisione, flessibilità e grado di automazione. In generale, gli operatori che interagiscono con queste macchine si affidano alle interfacce uomo-macchina (HMI) per monitorare e gestire il processo di piegatura, ma spesso lamentano una perdita di consapevolezza, detta *situational awareness*, (Endsley, 2018; Onnasch & Hösterey, 2019) nella comprensione dei diversi livelli di automazione.

Il mercato delle macchine per la piegatura delle lamiera sta vivendo in questi anni una crescita sostanziale, trainata da una domanda consistente in vari settori industriali come quello automobilistico, aerospaziale e delle costruzioni. La crescita in questione è inoltre alimentata dall'adozione diffusa di tecnologie all'avanguardia nei processi di fabbricazione dei metalli e dalla crescente attenzione agli standard nella produzione di precisione. Contestualmente, tale mercato sta assistendo a un notevole spostamento verso l'automazione e l'integrazione di tecnologie intelligenti, le celle robotizzate ne sono un esempio, capaci di un'efficiente manipolazione dei materiali che ne aumenta la produttività e l'efficienza.

Un altro tema di rilievo è rappresentato dagli investimenti dell'industria europea nelle competenze *deep tech*, nell'attitudine resiliente, nell'imprenditorialità e nelle competenze *verdi* delle maestranze, degli operatori e dei formatori che rappresentano la componente chiave di questa ricerca, per

sostenere l'attuazione di una doppia transizione inclusiva, verde e digitale. In particolare, l'aggiornamento e la riqualificazione degli operatori resilienti, si basa su azioni di revisione nazionali, sull'istruzione e sulla formazione professionale (VET), sull'aggiornamento di ricercatori e scienziati, sull'aumento dei laureati in materie STEM, sulla promozione di competenze imprenditoriali e trasversali e sullo sviluppo di un approccio europeo sistematico e coerente alle microcredenziali.

Questa ricerca sostiene, quindi, lo sviluppo delle competenze nei domini delle *deep tech*, unendosi direttamente ai concetti, agli standard e alle certificazioni dell'iniziativa *Deep Tech Talents for Europe* (DTTI) dell'EIT, attraverso la progettazione e lo sviluppo di un kit di formazione in realtà estesa (XR) per supportare l'apprendimento contestuale, specifico e sul posto di lavoro, attraverso tecnologie, metodi e materiali dedicati sia agli educatori, sia per gli apprendisti.

2. Obiettivi

Questo progetto si prefigge perciò di progettare, sviluppare, prototipare, convalidare e rilasciare un *eXtended Reality (XR) Training Kit*, con strumenti, metodi e tecnologie per la formazione nell'industria che integri i seguenti servizi: la guida spaziale all'ambiente di produzione; la formazione su macchine e attrezzature; l'identificazione dei pericoli attraverso simulazioni virtuali e guida contestuale, in tempo reale e sul campo, al suo utilizzo (Bologna, 2020; Caballini et al., 2023). Basandosi sui bisogni formativi e la necessità di personalizzazione dei contenuti legati al processo produttivo in analisi, la formazione aumentata tramite XR che è stata progettata pone al centro la relazione con l'ambiente, le caratteristiche fisiche di ciò che è confortevole per il corpo umano, al fine di produrre una tecnologia sostenibile a livello cognitivo, sociale e organizzativo.

La tecnologia di XR progettata mira ad offrire agli apprendisti la libertà di interagire senza soluzione di continuità sia con il mondo tangibile sia con quello virtuale (Pierdicca et al., 2017), sostenendo e promuovendo la diffusione di una formazione accessibile e accettabile, che si fonda sulle transizioni tra una dimensione della realtà e l'altra, dal fisico materiale alla realtà aumentata (Augmented Reality, AR), fino alla realtà virtuale (Virtual Reality, VR), e viceversa.

3. Metodologia

Il focus principale del progetto è la natura 'estesa' della realtà, e la cui visione si rivolge alla continuità dell'esperienza tra gli spazi: fisico, virtuale e digitale, implementando uno scambio iterativo e incrementale tra le diverse realtà. Per raggiungere questo obiettivo, il progetto, promuove una ricerca partecipativa, democratica e inclusiva, che miri a stabilire un dialogo bidirezionale tra tutti i ruoli coinvolti in uno specifico scenario di interazione, fornitori e utenti di specifiche tecnologie/attività inclusi. Lo scopo più ampio è quello di avere un supporto all'identificazione dei problemi emergenti e un paradigma di ricerca per la definizione di nuovi approcci di interaction design o per la generazione di proposte di soluzione. Le attività di ricerca sugli utenti hanno utilizzato una varietà di metodi di analisi qualitativa al fine di raccogliere spunti su ciò che motiva gli individui e le comunità a comportarsi secondo determinate dinamiche e su come vedono il mondo o la comunità che li circonda. La ricerca *design-driven* sulle competenze future e l'analisi dei casi sono state le attività principali che hanno fatto da traino alle sessioni partecipative e iterative di studio e ai cicli di revisione della letteratura scientifica, che hanno condotto ad un'indagine sia *bottom-up* che *top-down* riguardante gli approcci e le esperienze formative rilevanti e coerenti con la visione 2030 dell'Operatore Resiliente 5.0 (Romero & Stahre, 2021).

Entrando nel merito, la ricerca ha coinvolto gli utenti finali in un dialogo continuo fin dall'inizio del progetto. La metodologia perseguita abbraccia l'integrazione di approcci di ricerca partecipativa, critica e sperimentale per l'acquisizione di conoscenze e lo sviluppo di competenze. Per la definizione e l'adattamento dei metodi sono stati considerati l'obiettivo della

ricerca e della progettazione, i partecipanti target e il livello di maturità della tecnologia. Tale modalità ha determinato quattro attività principali per raccogliere le voci degli utenti finali attraverso l'adozione e la combinazione di diversi strumenti di indagine, quali:

- interviste individuali semi-strutturate e la ricerca sulle rappresentazioni mentali tramite il metodo delle libere associazioni, per coinvolgere formatori e discenti;
- le indagini quantitative online, per coinvolgere la comunità degli operatori del settore della lamiera;
- le osservazioni sul campo e i workshop di progettazione, con il coinvolgimento dell'industria e dei portatori di interesse dei casi d'uso.

Queste attività hanno avuto l'obiettivo di estrapolare i requisiti desiderati dagli utenti e di definire gli insight della ricerca (ad esempio: strategie decisionali, punti dolenti, scenari generici riguardo linea di produzione, ecc.). Una ulteriore componente di questo lavoro è rappresentata dall'indagine sulla 'fiducia nell'interazione uomo-macchina', sviluppata sulla base di uno strumento validato in letteratura (Coli et al., 2019).

Per questo motivo, i workshop sono stati immaginati e condotti in modo da esplorare nuovi e futuri scenari educativi, con l'intento di promuovere la consapevolezza nei confronti del potenziale impatto positivo delle tecnologie nell'ambito della formazione. Il percorso designato per raggiungere tale scopo passa attraverso la ricerca progettuale di un nuovo prodotto, la raccolta di suggestioni per la buona progettazione del processo di sviluppo dello stesso, e l'adozione di esperienze di apprendimento aumentate grazie all'implementazione di tecnologie immersive.

I requisiti e le aspettative di formazione dell'Operatore Resiliente 5.0 (Leng et al., 2022) sono indagate secondo un approccio naturalistico che mira a considerare le condizioni oggettive della fabbrica e alle risorse realmente disponibili. Perché la tecnologia XR sia realizzata nella visione di Industria 5.0 (I5.0) si necessita che sia orientata al valore e si auspica il miglioramento degli scenari formativi incrementandone la sostenibilità, l'inclusività e la ricchezza delle risorse, anche a vantaggio delle industrie con disponibilità limitate (Xu et al., 2021). Da questo punto di vista, una molteplicità di sfide sono considerate se consideriamo le risorse in un dominio sociotecnico:

- un'organizzazione con scarsità di spazi di lavoro per la formazione;
- un'organizzazione con risorse limitate in termini di tempo, il che significa necessità di un'elevata replicabilità e frequenza della formazione a causa dell'elevato turnover;
- un'organizzazione con scarsità di risorse umane, ciò comporta mancanza di conoscenze, abilità, competenze e discrepanze di linguaggio e abilità sia dei formatori che dei partecipanti;
- mancanza di un coinvolgimento significativo degli operatori nella formazione, ovvero l'assenza di interazione affettiva degli utenti con le macchine;
- la mancanza di risorse infrastrutturali, ad esempio: la disponibilità di elettricità, larghezza di banda, software e attrezzature hardware.

Pertanto, affinché la formazione supporti l'Operatore Resiliente 5.0 e le visioni di spazio di lavoro intelligente (Leng et al., 2022), la formazione industriale dell'UE dovrebbe implementare scenari educativi incentrati sull'uomo efficaci, sostenibili e replicabili, che coinvolgano i tecnici/operatori dell'officina *in-the-loop* oppure *on-the-loop* (Mourtzis, Angelopoulos & Panopoulos, 2022). Basandosi sull'ergonomia cognitiva e sulla ricerca sui fattori umani, questa ricerca porta i fattori psicologici al centro della formazione in ambito industriale, poiché i le conoscenze, le convinzioni e gli atteggiamenti degli operatori nei confronti dell'automazione, influenzano direttamente la motivazione, l'autoregolazione e, conseguentemente, anche le prestazioni di apprendimento.

4. Risultati della ricerca utente

Ciò che emerge dalla ricerca sugli utenti, come constatazione generale, è che all'interno delle organizzazioni vi sia una percezione piuttosto limitata della necessità di un lungo periodo di apprendimento per acquisire un sufficiente grado di esperienza delle complessità intrinseche alle organizzazioni e ai processi, e allo stesso vale per quelle che possono essere le procedure di manutenzione e per la risoluzione dei problemi.

Approfondendo, i processi di formazione sono stati descritti come lenti e basati principalmente sulla consultazione di documenti che descrivono le istruzioni e le indicazioni da seguire passo dopo passo. Esistono alternative, ad esempio i video tutorial, che tuttavia, sono generici per coprire il maggior numero possibile di casistiche, a volte più lunghi del necessario per soddisfare le esigenze puntuali, con la conseguente necessità di spostarsi goffamente nella barra di scorrimento del video per trovare il minuto di interesse. Sempre in tema di formazione, un aspetto importante emerso consiste nella difficoltà nella comunicazione interpersonale; infatti, gli individui che ricoprono ruoli altamente qualificati possiedono un notevole bagaglio di competenze tra le quali, molte volte, quella comunicativo-relazionale non risulta sviluppata come le altre, e ciò può essere ulteriormente limitato in contesti lavorativi dove la frenesia e i vincoli di tempo sono all'ordine del giorno.

Per quanto riguarda la proposta di strumenti digitalizzati, sono state fatte diverse osservazioni a vantaggio della facilità d'uso e riguardo la necessità di utilizzare dispositivi specifici che spesso non sono considerati accettabili e indossabili per limiti sia di sicurezza che di comodità, durante le attività produttive; con visori tipo HoloLens o Vive sono stati più di una volta scartati a priori.

Un altro tema caldo è quello della connettività, che è oggetto di considerazione nel corso del progetto, in quanto non è possibile dare per scontata la presenza di connessioni Internet o di connessioni sufficientemente strutturate per supportare contenuti computazionalmente pesanti, basti pensare alla delocalizzazione di processi produttivi in località in via di sviluppo o, più semplicemente, di imprese in territori isolati, rurali o montani dove, ad esempio, occorre considerare anche le possibili interruzioni dovute a guasti sulle linee di approvvigionamento.

Infine, anche la questione anagrafica e le differenze intergenerazionali devono essere tenuti sotto osservazione. Ci sono diverse mansioni, soprattutto legate ad alti livelli di esperienza, che prevedono l'impiego di personale più maturo che non sempre ha competenze informatiche e che, anche se disponesse di quelle di base, non avrebbe comunque sufficiente dimestichezza con i sistemi più avanzati e il loro controllo, che, per quanto utili, comportano necessariamente una maggiore sofisticazione.

Sintetizzando quanto analizzato, è stato possibile formulare le seguenti tematiche per strutturare lo sviluppo del progetto:

- l'accrescimento delle competenze tecniche integrato allo sviluppo di expertise maturata sul campo rinforzano la necessità di agire sul concetto della *prossimità*: le tecnologie di XR sono utilizzate per avvicinare le persone alle macchine, e viceversa, per agire nel ridurre le distanze e sviluppare una consapevolezza e una conoscenza della situazione concreta di lavoro;
- appare necessario fornire ambienti, digitali o fisici, in cui gli utenti siano incoraggiati a condividere le proprie esperienze e competenze, ma in cui sia anche facile individuare l'informazione e la conoscenza che si sta cercando;
- è necessario pensare a un servizio strutturato su molteplici livelli e scenari di utilizzo, per rispondere alle capacità e possibilità d'uso di figure con aspettative, competenze e limiti diversi.

La ricerca rivela come i fattori umani legati alla conoscenza, gli atteggiamenti e le aspettative che gli individui hanno sull'automazione, ovvero cosa pensino delle AMT, quali siano le loro rappresentazioni mentali riguardo l'automazione delle macchine e come possano spiegare tali associazioni.

L'esplorazione delle rappresentazioni mentali ha coinvolto un panel di 5 operatori nella fase di ricerca iniziale (marzo 2024). Innanzitutto, è interessante notare come ricorra la semplicità d'uso, ricordando l'importanza dell'usabilità e dell'ergonomia delle interfacce, anche e soprattutto, nei livelli di complessità tecnologica crescente. L'automazione è quindi collegata sia alle macchine che agli esseri umani, come ponte tra il dominio tecnologico e il fattore umano. L'automazione, pertanto, è considerata come un supporto per l'implementazione di processi guidati e per la risoluzione dei problemi nella manifattura industriale avanzata. L'intelligenza, la genialità e le logiche per l'interazione con le macchine sono concetti ad essa associati.

XTENDIT Training kit



1. XTENDIT training Kit, 2024



2. Scenario illustrativo della sessione di formazione potenziata con XR, 2024

5. XTENDIT: il design del kit XR per la formazione in industria

In questo contributo viene introdotto e descritto il Kit di formazione XR denominato XTENDIT, ovvero il prodotto MVP (*Minimum Viable Product*) creato durante l'implementazione del progetto (FIG. 1, PANORAMICA DEL KIT, FIG.2).

Il kit consiste di cinque distinte applicazioni XTENDIT, ognuna delle quali copre aspetti diversi della formazione e opera nel contesto della prossimità. La caratteristica principale, infatti, è la capacità di svolgersi dove avviene la formazione, potenziando il lavoro dei formatori esperti, fornendo loro strumenti che consentano una robusta condivisione della conoscenza.

La visione di XTENDIT mira alla continuità dell'esperienza tra gli spazi fisico, virtuale e digitale, attuando uno scambio iterativo e incrementale che si muove:

- dal contesto lavorativo alla realtà aumentata, ovvero nella definizione di punti di interesse fisici per veicolare contenuti formativi multimediali e implementare la guida di prossimità;
- dalla realtà aumentata alla realtà virtuale, poiché gli apprendisti hanno l'opportunità di fruire di una formazione immersiva e riflessiva in VR, per poi tornare alla realtà sperimentando un approccio di *trial and error* sulla macchina;
- dal luogo di lavoro aumentato allo spazio di lavoro digitale, quindi tramite l'ausilio sul campo, contestualizzato e situazionale di un supporto assistenziale implementato in AR, con la possibilità di navigare tra i moduli e i contenuti virtuali nell'ambiente digitale che caratterizza la comunità di pratica.

Come già anticipato, uno degli aspetti fondamentali dell'approccio formativo proposto è la prossimità, sia in termini di fattori spaziali (intendendo la posizione dell'utente rispetto alla macchina e le caratteristiche dello spazio di lavoro) sia di fattori umani (ovvero che la macchina viene mostrata in modo diverso in base alle conoscenze e alle necessità dell'utente). Il modo in cui è stato pensato il kit di formazione XR consente di condividere le conoscenze acquisite mantenendo al centro l'uomo (sia il formatore che l'apprendista), proponendo strumenti in grado di migliorare concretamente ed efficacemente l'apprendimento tradizionale, il che lo distingue da molte soluzioni concorrenti che si concentrano, invece, sulla riorganizzazione dei paradigmi di apprendimento.

Il Kit, dunque, permette agli utenti di prendere appunti (ad esempio, testo, audio, foto, video), anche registrando video con una telecamera indossata sul capo e di associarli al modello di virtuale del macchinario. Inoltre, consente alle informazioni aumentate prodotte durante il corso di essere visualizzate in AR.

Ai formatori è permesso lasciare note ufficiali ed evidenziarle attraverso la app a loro dedicata. Queste note sono collegate a tag specifici posizionati nella struttura o sulle macchine, ancorando le informazioni al luogo esatto in cui si è svolta la formazione. Gli apprendisti possono poi rivisitare la macchina stessa in un ambiente VR utilizzando un qualsiasi visore, ad esempio il Meta Quest 3. L'esperienza VR in questione consente loro di muoversi intorno alla macchina e controllare le note già pubblicate, ora situate nell'ambiente virtuale e ancorate allo stesso contesto spaziale in cui sono state create durante la formazione. Questa esperienza immersiva aiuta i principianti ad essere maggiormente coinvolti, catalogando e manipolando nello spazio le informazioni che loro stessi hanno raccolto.

Infine, i tirocinanti possono accedere autonomamente a questi appunti nell'ambiente di lavoro reale attraverso la realtà aumentata (AR). Tale dinamica permette di sovrapporre le informazioni all'ambiente fisico circostante, mettendoli nelle condizioni di ricordare i dettagli chiave mentre lavorano, migliorando così ulteriormente la connessione tra formazione e applicazione reale.



3. Design della UI del Tablet Assisted Training

In aggiunta, dopo una riflessione personale e un'indagine, supportata dall'app immersiva in realtà virtuale (VR), i tirocinanti possono adottare uno specifico strumento di supporto: la *Tablet Assisted Training*, una soluzione pensata per gli allievi da utilizzare durante la formazione accompagnata (FIG. 3, DESIGN DELL'INTERFACCIA UTENTE PER IL TABLET ASSISTED TRAINING). Questo strumento è progettato per mostrare i contenuti formativi ed eventualmente avviare una videochiamata con il formatore. Tra le modalità di utilizzo previste, può essere utilizzato scansionando un TAG fisico, sia tenuto in mano che posizionato su un supporto fisso. L'app, quindi, oltre a mostrare la scena in realtà aumentata (AR), include funzioni di videochiamata consentendo al formatore di supportare l'apprendista durante la fase di test della macchina.

6. Conclusioni

Sviluppare soluzioni educative aumentate tramite la tecnologia che promuovano un'automazione incentrata sull'uomo, richiede di affrontare problemi complessi ed eterogenei, distribuiti in ogni contesto culturale e sociale del territorio europeo. In questo scenario, l'approccio *design-driven* utilizzato nello sviluppo di questa ricerca è stato cruciale per affrontare attivamente le sfide in questione, in particolare per identificare le necessità del formatore al fine di facilitarne l'estrazione delle proprie conoscenze. Altri esempi di complessità fronteggiate, sono rappresentate dalla predisposizione al dialogo e dall'armonizzazione delle 5 diverse app distribuite.

Le sfide nel campo della formazione mostrano che il progetto deve poter supportare il coaching e la formazione non solo all'interno delle grandi industrie, ma deve anche essere in grado di considerare e fronteggiare tutti i problemi che emergono nelle PMI. Di conseguenza, si rende necessario progettare un quadro di competenze operative appropriato e una serie di tecnologie di supporto, che aiutino le giovani generazioni di operatori ad acquisire abilità e conoscenze adeguate che possano avere un impatto positivo sulla loro relazione con il contesto esterno, favorendo comportamenti efficaci, sicuri e resilienti. Tuttavia, pur dando alle industrie la possibilità di fornire alle persone conoscenze e competenze sull'automazione *human centered*, il progetto vuole promuovere

re il loro atteggiamento proattivo verso il controllo autonomo in una prospettiva a lungo termine, senza farsi condizionare dalle difficoltà derivanti dai crescenti livelli di complessità. In questo modo, la formazione XR rappresenta un'opportunità concreta, efficiente e personalizzabile per i formatori, di implementare un processo di apprendimento più efficace, ridurre i tempi e migliorare le prestazioni complessive. Inoltre, l'approccio in questione può essere utilizzato anche per la formazione sulle attrezzature, l'identificazione dei pericoli e le procedure di sicurezza (Grandi et al., 2023).

Considerando ciò, la formazione industriale necessita di una strategia di ricerca partecipativa in grado di estendersi e adattarsi a diverse scale di intervento progettuale. Mediante questa struttura scalabile, è stato sviluppato un protocollo di progettazione collaborativa con un duplice obiettivo, che integri prospettive locali e globali. Da un lato, le industrie locali consentono la ricerca sugli utenti con il fine di raccogliere nuove sfide formative, dialogando con i molti individui coinvolti negli ecosistemi locali. Dall'altro lato, le stesse piccole industrie, raccolgono numerosi i problemi emergenti, potendo così supportare i *policymakers* nello sviluppo di strategie di innovazione manifatturiera avanzate più flessibili, perfettamente adattabili alle diverse caratteristiche sociali e culturali dei paesi dell'UE. Questo approccio si traduce in una maggiore adattabilità, consentendo a un'ampia gamma di utenti di partecipare alla formazione senza essere ostacolati da barriere tecnologiche o mancanza di competenze, sfruttando formatori esperti in grado di condividere i suggerimenti e le soluzioni peculiari ed efficaci apprese nel tempo, stimolando allo stesso tempo l'indipendenza, permettendo, quindi, agli operatori di richiamare rapidamente le lezioni apprese.

Più specificamente, questa ricerca ha l'obiettivo di consentire ai formatori di implementare la prossimità tramite la profilazione delle esigenze formative degli operatori e il rilevamento della loro posizione, fornendo così diversi livelli educativi distribuiti, basati sulla realtà estesa al fine di formare gli operatori sulle dinamiche di interazione con sistemi autonomi e tecnologie I5.0 (ad esempio, Internet of Things, robot collaborativi...); aumentare la consapevolezza degli operatori riguardo ai processi automatici e non visibili; entrare in contatto con gli utenti in base alla loro posizione nell'ambiente di produzione; e offrire loro supporto efficace e motivazionale nei processi decisionali all'interno dei sistemi produttivi.

Dati aggiuntivi

Data di inizio e fine del progetto: 01/06/2023 - 31/12/2024

Durata del progetto: 18 mesi

Budget stimato: € 300 000

Riferimenti bibliografici

Bologna, J.K., Garcia, C. A., Ortiz, A., Ayala, P.X., & Garcia, M.V. (2020). An augmented reality platform for training in the industrial context. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.032>

Caballini, C., Carboni, A., Boero, F., Parodi, F., Valentini, I., Paolucci, M., & Pagano, S. (2023). Augmented reality and portable devices to increase safety in container terminals: The testing of A4S project in the port of Genoa. *Transportation Research Procedia*, 69, 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.01.034>

Colli, E., Paciello, M., Falcone, R., Saleri, G., Pepe, M., & Pedon, A. (2019). Interpersonal trust in adolescence: A preliminary study on online/offline social interactions and life satisfaction. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 2(1), 343-352. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2019.n2.v1.1590>

Endsley, M.R. (2018). Automation and situation awareness. In R. Parasuraman & M. Mouloua (a cura di), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 163-181). CRC Press.

Grandi, F., Prati, E., Mangia, G., & Peruzzini, M. (2023). Development of an AR-based application for training of warehouse operators. In Y. Borgianni, D. T. Matt, M. Molinaro, & G. Orzes (a cura di), *Towards a smart, resilient and sustainable industry. ISIEA 2023* (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 745, pp. 121-132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38274-1_11

Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., & Wang, L. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279-295.

Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). Operator 5.0: A Survey on Enabling Technologies and a Framework for Digital Manufacturing Based on Extended Reality. *Journal of Machine Engineering*, 22(1), 43-69. <https://doi.org/10.36897/jme/147160>

Onnasch, L., & Hösterey, S. (2019). Stages of Decision Automation: Impact on Operators' Role, Awareness and Monitoring. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 282-286. <https://doi.org/10.1177/1071181319631126>

Pierdicca, R., Frontoni, E., Pollini, R., Trani, M., & Verdini, L. (2017). The use of augmented reality glasses for the application in Industry 4.0. In L. De Paolis, P. Bourdot, & A. Mongelli (a cura di), *Augmented reality, virtual reality, and computer graphics. AVR 2017* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10324, pp. 389-401). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_30

Romero, D., & Stahre, J. (2021). Towards the resilient Operator 5.0: The future of work in smart resilient manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 104, 1089-1094. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.183>

Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>