

UNIVERSITÀ DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Tecnologie Digitali per l'Edilizia e il Territorio



TESI DI LAUREA

**L'intelligenza artificiale nel comparto delle costruzioni:
percezioni e sfide di una trasformazione in corso**

Relatore: Ing. Giulia De Cet
Correlatori: Ing. Davide Avogaro
Ing. Giorgia Marcellino

Laureando: Manuel Locrati

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Sommario

ABSTRACT	5
INTRODUZIONE	7
1. SICUREZZA SUL LAVORO	9
1.1 Concetto di Sicurezza sul lavoro	9
1.2 Origini e sviluppo	9
1.3 Il Rischio sul lavoro	10
1.4 Normativa vigente sulla sicurezza nei luoghi di lavoro (D.Lgs. 81/2008)	13
1.5 Figure coinvolte e documenti per la gestione della sicurezza in cantiere	15
2. INTRODUZIONE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	17
2.1. Definizione di intelligenza artificiale	17
2.2. Evoluzione storica e sviluppo futuro	17
2.3. Principali tecnologie AI	18
3. DIGITALIZZAZIONE DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI	23
3.1. Dal cantiere tradizionale al cantiere digitale	23
3.2 Integrazione con Building Information Modeling (BIM)	24
3.3 Internet of Things	26
3.4 Gestione della documentazione tramite portali Cloud	27
4. APPLICAZIONI INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LA SICUREZZA IN CANTIERE	29
4.1 Analisi predittiva e prevenzione degli incidenti	29
4.2 Monitoraggio in tempo reale delle condizioni di cantiere	29
4.3 Rilevamento dei comportamenti non sicuri e controllo degli accessi	30
4.4 Controllo dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale	30
4.5 Automazione delle attività pericolose	31
4.6 Formazione e addestramento dei lavoratori	31
4.7 Integrazione dei dati e supporto alla gestione della sicurezza	32
5. TECNOLOGIE ABILITANTI	33
5.1 Sensori IoT	33
5.2 Dispositivi wearable	33
5.3 Sistemi di visione artificiale	34
5.4 Realtà aumentata e realtà virtuale	35
5.5 Considerazioni finali	35
6. OPPORTUNITÀ E LIMITI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	37
6.1. Vantaggi dell'AI	37
6.2. Privacy e disinformazione	38
6.3 Regolamento europeo AI	40
7. QUESTIONARIO	43
7.1 Il questionario: L'Intelligenza Artificiale nei Cantieri	45
7.2 Risultati preliminari	52
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	57
BIBLIOGRAFIA	63
RINGRAZIAMENTI	67

ABSTRACT

La presente tesi analizza l'applicazione dell'intelligenza artificiale nel comparto delle costruzioni, con particolare attenzione alla sicurezza nei cantieri e alla percezione dei soggetti potenzialmente coinvolti nel suo utilizzo. L'obiettivo principale del lavoro è sviluppare un questionario strutturato da impiegare, in una fase successiva, per una più ampia raccolta di dati finalizzata a valutare il livello di conoscenza, fiducia e accettazione delle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale applicate alla gestione della sicurezza in cantiere.

Dopo un inquadramento del concetto di salute e sicurezza sul lavoro e del quadro normativo vigente, con particolare riferimento al D.Lgs. 81/2008, l'elaborato approfondisce il processo di trasformazione digitale del settore delle costruzioni e le principali tecnologie abilitate dall'intelligenza artificiale. Sono analizzate le possibili applicazioni di tali strumenti nella prevenzione degli incidenti, nel monitoraggio dei rischi, nel controllo dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, nella gestione degli accessi, nel supporto alle decisioni e nella formazione dei lavoratori. La tesi considera inoltre le principali criticità connesse all'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri, con particolare riferimento alla privacy, alla protezione dei dati personali, all'affidabilità dei sistemi, all'attribuzione delle responsabilità e alle implicazioni etiche e giuridiche.

Il fulcro del lavoro è rappresentato dalla progettazione del questionario, articolato in sezioni dedicate alle caratteristiche anagrafiche e professionali dei rispondenti, alla familiarità con le tecnologie digitali, alla percezione dei possibili benefici, al livello di fiducia, alle criticità e alle condizioni necessarie per un'efficace introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri. Nell'ambito della tesi, il questionario è stato somministrato in via sperimentale a un campione pilota composto da 25 studenti universitari. Pur trattandosi di un campione limitato e non rappresentativo dell'intera popolazione di riferimento, i dati raccolti consentono di formulare alcune considerazioni preliminari sulla comprensibilità dello strumento, sulla sua struttura e sugli orientamenti iniziali dei partecipanti.

Nel complesso, la tesi intende quindi predisporre e testare uno strumento di indagine utilizzabile per successive campagne di raccolta dati su campioni più ampi e diversificati, contribuendo allo studio della percezione e dell'accettazione dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni è stato interessato da un profondo processo di trasformazione digitale, che ha coinvolto strumenti, metodologie operative e modalità di organizzazione e gestione delle attività di cantiere. Tecnologie quali il Building Information Modeling (BIM), i sistemi cloud, i sensori intelligenti e, più recentemente, l'intelligenza artificiale stanno progressivamente modificando il modo in cui le lavorazioni vengono pianificate, monitorate e controllate. In un comparto storicamente caratterizzato da elevati livelli di rischio e da una significativa incidenza di infortuni sul lavoro, l'innovazione tecnologica può rappresentare un'importante opportunità per migliorare la prevenzione, aumentare la capacità di individuazione dei pericoli e favorire condizioni operative più sicure.

Nonostante i progressi normativi, tecnici e organizzativi introdotti nel tempo, il settore delle costruzioni continua, infatti, a essere tra quelli maggiormente esposti al rischio di infortuni e malattie professionali. La variabilità degli ambienti di lavoro, la presenza simultanea di più imprese e lavoratori autonomi, la continua evoluzione delle lavorazioni e l'impiego di macchinari e attrezzature ad alto rischio rendono il cantiere un contesto particolarmente complesso dal punto di vista della sicurezza. In tale scenario, l'intelligenza artificiale può offrire strumenti di supporto alla prevenzione attraverso il monitoraggio in tempo reale, l'analisi predittiva dei rischi, il controllo automatico dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, la gestione integrata dei dati e l'automazione di attività pericolose o ripetitive.

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri, tuttavia, non riguarda esclusivamente gli aspetti tecnici e prestazionali. L'effettiva applicabilità di tali strumenti dipende anche dal livello di conoscenza, fiducia e accettazione da parte delle persone coinvolte. La diffusione di sistemi intelligenti nei luoghi di lavoro solleva, infatti, interrogativi relativi alla privacy, alla raccolta e al trattamento dei dati personali, all'affidabilità delle decisioni automatizzate, alla possibile riduzione dell'autonomia professionale e all'attribuzione delle responsabilità in caso di errore o malfunzionamento. Risulta quindi necessario affiancare allo studio delle potenzialità tecnologiche un'analisi della percezione degli utilizzatori e dei soggetti che, a diverso titolo, potranno essere coinvolti nella loro introduzione.

La presente tesi nasce con l'obiettivo di approfondire il rapporto tra intelligenza artificiale e sicurezza nei cantieri, analizzandone le principali applicazioni, le opportunità e le criticità. Il lavoro si propone, in particolare, di sviluppare un questionario strutturato destinato a una successiva raccolta di dati su campioni più ampi e diversificati. Lo strumento è finalizzato a indagare il livello di

familiarità con le tecnologie digitali, la percezione dei possibili benefici, il grado di fiducia nei sistemi basati sull'intelligenza artificiale, le principali preoccupazioni e le condizioni ritenute necessarie per una loro efficace introduzione nei cantieri.

Nell'ambito della tesi, il questionario è stato somministrato in via sperimentale a un campione pilota composto da 25 studenti universitari. Tale somministrazione non ha l'obiettivo di produrre risultati generalizzabili all'intera popolazione di riferimento, ma consente di effettuare una prima verifica della struttura dello strumento, della comprensibilità delle domande e della coerenza delle sezioni predisposte. I dati raccolti permettono inoltre di formulare alcune considerazioni iniziali sugli orientamenti dei partecipanti nei confronti dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza in cantiere, pur nei limiti derivanti dalla ridotta numerosità e dall'omogeneità del campione.

Dal punto di vista strutturale, la tesi si articola in sette capitoli. Il primo capitolo introduce il tema della salute e sicurezza sul lavoro, analizzandone l'evoluzione, i principali rischi presenti nei cantieri, il quadro normativo di riferimento e le figure coinvolte nella gestione della prevenzione. Il secondo capitolo approfondisce il concetto di intelligenza artificiale, ripercorrendone lo sviluppo e illustrando alcune delle principali tecnologie, tra cui Machine Learning, Deep Learning e Computer Vision. Il terzo capitolo si concentra sul processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni e sul passaggio dal cantiere tradizionale al cantiere digitale. Nel quarto capitolo sono analizzate le principali applicazioni dell'intelligenza artificiale alla sicurezza in cantiere, con particolare attenzione alla prevenzione degli incidenti, al monitoraggio dei rischi, al controllo dei dispositivi di protezione individuale e alla formazione dei lavoratori. Il quinto capitolo approfondisce le tecnologie abilitanti, quali sensori IoT, dispositivi indossabili, droni e telecamere intelligenti. Il sesto capitolo esamina opportunità, criticità e limiti dell'intelligenza artificiale, soffermandosi in particolare sugli aspetti connessi alla privacy, alla protezione dei dati, all'affidabilità dei sistemi, alla responsabilità e alle implicazioni etiche e giuridiche. Il settimo e ultimo capitolo descrive la progettazione del questionario, la somministrazione al campione pilota e le prime considerazioni emerse dall'analisi dei dati raccolti.

Nel complesso, l'elaborato intende predisporre una base teorica e metodologica per successive indagini sul tema, contribuendo allo studio della percezione e dell'accettazione dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri. L'innovazione tecnologica, per risultare realmente efficace, dovrà infatti essere accompagnata da adeguata formazione, trasparenza, coinvolgimento degli operatori e chiara definizione delle modalità di utilizzo e delle responsabilità.

1. SICUREZZA SUL LAVORO

1.1 Concetto di Sicurezza sul lavoro

La sicurezza sul lavoro rappresenta un elemento fondamentale per assicurare che i lavoratori operino in condizioni protette dai rischi legati alle attività svolte. Con questa espressione, ci si riferisce all'insieme di principi, misure, procedure e comportamenti finalizzati a tutelare la salute e l'integrità fisica e psicologica dei lavoratori durante lo svolgimento delle lavorazioni, comprendendo oltre che la prevenzione degli infortuni, anche la protezione dai rischi che possono causare malattie professionali, stress, affaticamento e danni a lungo termine.

Si tratta quindi non solo di un obbligo previsto dalla legge, ma anche di un diritto essenziale per ogni lavoratore e di una responsabilità centrale per il datore di lavoro. Inoltre, garantire adeguati livelli di sicurezza contribuisce a migliorare il benessere dei dipendenti e, di conseguenza, anche la loro produttività.

In pratica, la sicurezza sul lavoro si traduce in una serie di azioni fondamentali, tra cui:

- individuare i possibili pericoli presenti nell'ambiente di lavoro;
- analizzare e valutare i rischi legati alle diverse attività svolte;
- mettere in atto adeguate misure di prevenzione e protezione;
- garantire una corretta formazione e informazione ai lavoratori;
- controllare nel tempo le condizioni operative e migliorarle quando necessario.

Tutto ciò si configura come un processo dinamico e in continua evoluzione, che si adatta ai cambiamenti dell'organizzazione aziendale, allo sviluppo delle tecnologie e alle diverse modalità di lavoro, avente come fulcro la valutazione di tutti i possibili rischi presenti.[1][2]

1.2 Origini e sviluppo

Le origini della sicurezza sul lavoro in Italia risalgono al XVII secolo, quando Bernardino Ramazzini, medico a Modena e Padova, introdusse per primo il concetto di prevenzione, osservando le condizioni dei lavoratori e collegando circa quaranta patologie alle diverse attività lavorative nella sua opera "De Morbis Artificum Diatriba". Per questo è considerato il padre della medicina del lavoro. La questione divenne però centrale solo con la Rivoluzione industriale, nella prima metà dell'Ottocento: nascono le fabbriche e una netta divisione tra capitale e lavoro, con condizioni durissime, turni fino a 12 ore, bambini di 6-7 anni impiegati e nessuna tutela in caso di infortunio o malattia. Dalla seconda metà del secolo i lavoratori iniziano a organizzarsi sindacalmente, spingendo

lo Stato a intervenire con le prime leggi: la legge Berti del 1886, che vieta il lavoro sotto i 9 anni; il Codice penale del 1889, che riconosce il diritto di sciopero; l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni del 1898; e i decreti del 1899 sulla sicurezza in industrie, miniere ed esplosivi. Nascono così le prime forme di organizzazione collettiva, come l'Ufficio del Lavoro (1902), la CGL (1906) e Confindustria (1910). Durante il periodo fascista vengono soppressi i sindacati e il diritto di sciopero, ma paradossalmente si introducono importanti tutele: il limite di 8 ore giornaliere e 48 settimanali, il riposo domenicale e norme specifiche a protezione di donne e minori. Queste basi trovano pieno sviluppo nel Codice civile e nella Costituzione del 1948, che subordina la libertà d'impresa al rispetto della salute, sicurezza e dignità dei lavoratori, imponendo al Datore di lavoro l'obbligo di tutelarne l'integrità fisica e morale. Mancavano però ancora norme tecniche specifiche, colmate solo negli anni '50: con l'aumento degli infortuni durante il boom economico, la legge 51/1955 porta ai DPR 547/1955, 164/1956 e 303/1956, rimasti in vigore per quasi cinquant'anni. Negli anni '70 arrivano lo Statuto dei Lavoratori (legge 300/1970) e la nascita del Servizio Sanitario Nazionale (1978) con le ASL. La vera svolta però arriva dall'Europa: la Direttiva 89/391/CEE del 1989 introduce i principi di programmazione e prevenzione e di massima sicurezza tecnologicamente possibile, obbligando i datori di lavoro a valutare i rischi. In Italia viene recepita con il D.Lgs. 626/1994, che introduce figure chiave come RSPP, Medico Competente e RLS. Il percorso normativo si conclude, almeno per ora, con il Decreto Legislativo 81/2008, ancora oggi il testo di riferimento, che riunisce e armonizza tutta la normativa precedente definendo in modo sistematico le misure di prevenzione e protezione dei lavoratori.[3]

1.3 Il Rischio sul lavoro

Il concetto di rischio sul lavoro è fondamentale per garantire la salute e la sicurezza in ogni ambiente professionale. In termini semplici, rappresenta la probabilità che un lavoratore subisca un danno o una lesione a causa della sua attività lavorativa, la quale può manifestarsi in diverse sfaccettature, dalle lesioni fisiche alle malattie professionali fino ai rischi psicosociali. È importante fare una distinzione tra i termini "pericolo" e "rischio", che spesso vengono utilizzati in modo intercambiabile ma hanno significati ben distinti. Il pericolo è la fonte o la causa del danno, come ad esempio una macchina che presenta un componente rotto o un ambiente di lavoro particolarmente rumoroso. Il rischio, invece, rappresenta la probabilità che quel pericolo si manifesti e causi un danno.[4]

I dati consolidati, dell'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro per il 2025, fotografano un quadro dell'infortunistica lavorativa italiana caratterizzato da luci e ombre. Il numero

complessivo delle denunce di infortuni sul lavoro ha raggiunto quota 416.900 unità, un dato che conferma la centralità del fenomeno infortunistico nel dibattito sulla sicurezza sul lavoro 2026. Rispetto agli anni precedenti, si registra una stabilizzazione del fenomeno, con una leggera flessione rispetto al picco del post-pandemia, ma siamo ancora lontani dagli obiettivi di riduzione previsti dalla normativa europea. La distribuzione di questi infortuni per genere mostra un'incidenza maggiore tra i lavoratori maschi, che rappresentano circa il 75% del totale delle denunce, mentre la fascia d'età più colpita rimane quella tra i 35 e i 49 anni, ovvero il cuore della popolazione attiva (si veda Figura 1).

Denunce infortuni — anno 2025

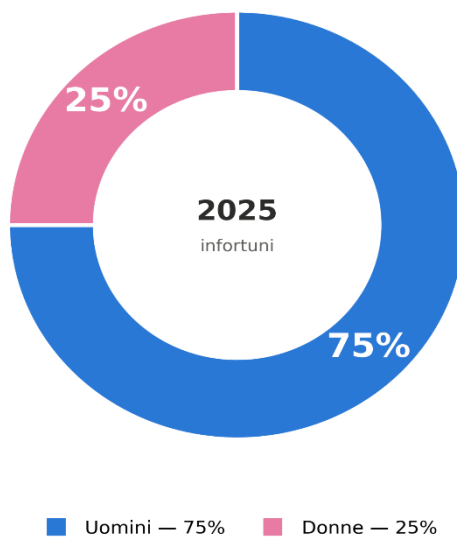


Figura 1- Denunce infortuni divisi per genere

Il dato più drammatico rimane quello relativo ai decessi: 1.085 lavoratori hanno perso la vita nel 2025 a causa di incidenti legati all'attività lavorativa, come si può vedere in Figura 2. Di questi, 792 sono morti sul posto di lavoro, mentre 293 hanno subito infortuni fatali durante il cosiddetto "in itinere", ovvero nel tragitto casa-lavoro e viceversa[5].

Decessi sul lavoro — anno 2025
Totale: 1.093 lavoratori morti

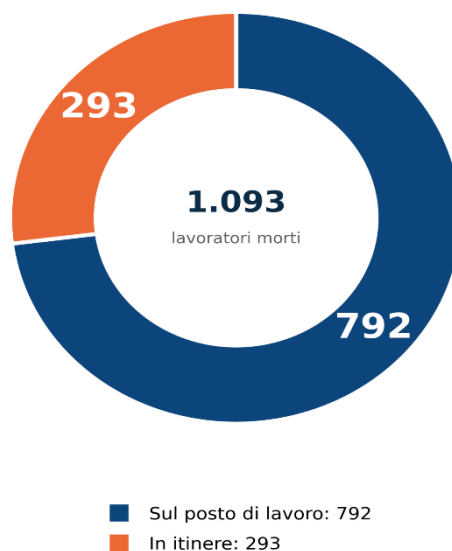


Figura 2 - Decessi sul posto di lavoro e in itinere

Il Decreto Legislativo 81/2008 ha introdotto alcuni concetti chiave che sono alla base di una corretta gestione dei rischi: la prevenzione, la protezione, l'informazione, la formazione e l'addestramento. I rischi sul lavoro possono essere ricondotti a tre macrocategorie principali, utili per inquadrare in maniera sistematica le diverse tipologie di pericoli a cui un lavoratore può essere esposto:

1. I rischi per la salute riguardano gli effetti dannosi che si manifestano nel medio-lungo termine, come le malattie respiratorie causate dall'esposizione a polveri o sostanze chimiche, oppure i disturbi muscolo-scheletrici legati a posture scorrette o movimenti ripetitivi.
2. Accanto a questi si collocano i rischi per la sicurezza, ossia tutte le situazioni in grado di provocare infortuni immediati, quali cadute, lesioni dovute all'uso di macchinari, incendi, che, se non adeguatamente gestite, causano danni fisici diretti.

3. Infine, vi sono i rischi trasversali (o organizzativi), non legati a una specifica attività ma in grado di manifestarsi in diversi contesti lavorativi, come lo stress lavoro-correlato e le altre condizioni di natura psicosociale.

Questa tripartizione, pur avendo valore generale, assume declinazioni specifiche a seconda del settore di riferimento.

1.4 Normativa vigente sulla sicurezza nei luoghi di lavoro (D.Lgs. 81/2008)

La normativa di riferimento per quanto concerne la sicurezza e la salute sul lavoro, è il Decreto Legislativo 81 del 2008, noto come Testo Unico per la Sicurezza sul Lavoro (TUSSL). Composto da 13 titoli, 306 articoli e 51 allegati, è stato oggetto di numerose modifiche per aggiornarlo alle nuove esigenze lavorative, tra cui il recente D. Lgs. 19/2024, che ha introdotto la patente a punti per imprese e lavoratori autonomi nei cantieri temporanei. Il presente documento si concentra sull'individuazione e descrizione delle misure generali di tutela adottate in ambito aziendale, nonché di quelle specifiche previste in relazione a particolari rischi o settori di attività.

Trova il suo fondamento in alcuni principi della Costituzione Italiana, in particolare:

- **Articolo 32** sul diritto alla salute e all'integrità fisica, dove nessuno può essere obbligato ad uno specifico trattamento sanitario se non per una disposizione di legge. Inoltre, tale legge non può in nessun caso violare i limiti imposti dal rispetto della persona umana [6];
- **Articolo 35** sulla tutela del lavoro, in tutte le sue forme. Viene infatti apprestata tutela al lavoratore, parte debole del rapporto, rispetto alla figura datoriale. Il riferimento particolare va alla cura per la formazione e l'elevazione professionale dei lavoratori trasformando ciò che un tempo era un dovere in un diritto [7];
- **Articolo 41** sull'utilità sociale del lavoro, ossia il rispetto della sicurezza, libertà e dignità umana. Un aspetto fondamentale di questo articolo è l'introduzione della sorveglianza sanitaria. La sorveglianza sanitaria, di competenza del medico competente e organizzata dal datore di lavoro, ha come obiettivo la valutazione delle condizioni psicofisiche del singolo lavoratore oltre che il monitoraggio dell'andamento nel tempo per determinare l'impatto di eventuali rischi presenti sul lavoro [8].

Il D.Lgs. 81/2008 si pone come obiettivo principale il raggiungimento di condizioni di lavoro sicure e adeguate. In primo luogo, mira alla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali, attraverso l'adozione di misure preventive, individuate nel Documento di Valutazione dei Rischi, finalizzate a ridurre al minimo il rischio di infortuni. Un altro aspetto fondamentale riguarda la tutela

della salute psicofisica dei lavoratori. Infine, grande importanza è attribuita alla formazione e all'informazione dei lavoratori sui rischi legati alle proprie mansioni, con l'obiettivo di renderli consapevoli e autonomi nell'utilizzo corretto delle attrezzature e delle misure di sicurezza. A ciò si affianca il loro coinvolgimento attivo nella gestione della sicurezza, promuovendo la partecipazione ai processi decisionali e la segnalazione tempestiva di eventuali situazioni di pericolo. Il TUSSL non rappresenta soltanto una norma giuridica, ma un vero e proprio punto di riferimento per la diffusione di una cultura della prevenzione e della sicurezza condivisa, costantemente aggiornato per affrontare le nuove esigenze del mondo del lavoro, ed è così strutturato:

- **Titolo I** (artt. 1-61), Principi comuni: introduce i principi fondamentali (valutazione dei rischi, formazione, sorveglianza sanitaria, DPI, ecc.) e definisce obblighi e responsabilità dei soggetti coinvolti.
- **Titolo II** (artt. 62-68), Luoghi di lavoro: definisce gli standard di sicurezza e idoneità degli ambienti lavorativi.
- **Titolo III** (artt. 69-87), Uso delle attrezzature e dei dispositivi di protezione individuale: disciplina le modalità corrette di utilizzo di macchine, attrezzature e dispositivi di protezione.
- **Titolo IV** (artt. 88-160), Cantieri temporanei o mobili: regola gli aspetti di sicurezza nei cantieri edili, introducendo la figura del coordinatore per la sicurezza.
- **Titolo V** (artt. 161-166), Segnaletica di salute e sicurezza sul lavoro: stabilisce gli obblighi relativi all'impiego della segnaletica nei luoghi di lavoro.
- **Titolo VI** (artt. 167-171), Movimentazione manuale dei carichi: mira a ridurre i rischi legati a disturbi muscolo-scheletrici.
- **Titolo VII** (artt. 172-179), Attrezzature munite di videotermini: prevede misure di tutela per chi utilizza attrezzature informatiche.
- **Titolo VIII** (artt. 180-220) Agenti fisici: riguarda la protezione dai rischi derivanti da esposizioni a rumore, vibrazioni, campi elettromagnetici, ecc.
- **Titolo IX** (artt. 221-265), Sostanze pericolose: disciplina la prevenzione e gestione dei rischi di natura chimica e biologica.
- **Titolo X, XI, XII e XIII** (artt. 266-306), affrontano ulteriori ambiti specifici, tra cui atmosfere esplosive, regime sanzionatorio e norme transitorie.

Parallelamente, si assiste a un inasprimento del sistema sanzionatorio, che estende le responsabilità ben oltre la figura del datore di lavoro, coinvolgendo direttamente dirigenti, preposti, RSPP e

lavoratori. Al contempo, l'azione di vigilanza integrata tra INAIL, ASL e Ispettorato del lavoro mira a intensificare l'efficacia dei controlli nei luoghi di lavoro [9].

1.5 Figure coinvolte e documenti per la gestione della sicurezza in cantiere

Il concetto di cantiere riveste un ruolo fondamentale nella normativa sulla sicurezza sul lavoro e non può essere ridotto a una semplice delimitazione fisica. Esso comprende, infatti, l'intero processo necessario alla realizzazione dell'opera. Secondo l'orientamento della giurisprudenza della Corte di Cassazione, il cantiere deve considerarsi operativo fino al completamento totale dell'opera, a prescindere da eventuali interruzioni dei lavori o dal susseguirsi di diverse imprese esecutrici. Inoltre, ha precisato che l'idea di cantiere unico non viene modificata in presenza di nuovi titoli edilizi o di varianti progettuali e mantiene la sua unicità fino alla conclusione definitiva di tutti gli interventi, anche quando questi si svolgono in momenti diversi o sono affidati a imprese differenti. Nello specifico, il D.Lgs 81/2008 all'art. 89 definisce cantiere come qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile il cui elenco è riportato nell'allegato X. L'Allegato X afferma che vengono considerati lavori edili o di ingegneria civile tutti i lavori di costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione, conservazione, risanamento, ristrutturazione o equipaggiamento, la trasformazione, il rinnovamento o lo smantellamento di opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, in cemento armato, in metallo, in legno o in altri materiali, comprese le parti strutturali delle linee elettriche e le parti strutturali degli impianti elettrici, le opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche e, solo per la parte che comporta lavori edili o di ingegneria civile, le opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro. Sono, inoltre, lavori di costruzione edile o di ingegneria civile gli scavi e il montaggio e lo smontaggio di elementi prefabbricati.

Al fine di assicurare il corretto svolgimento delle lavorazioni e il loro completamento in condizioni di piena sicurezza, vengono individuate e coinvolte le diverse figure professionali responsabili della realizzazione dell'opera.

2. INTRODUZIONE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

2.1. Definizione di intelligenza artificiale

Il termine intelligenza artificiale (AI) viene oggi usato per descrivere tecnologie molto diverse tra loro: da assistenti vocali come Siri e Alexa agli algoritmi che elaborano le raccomandazioni destinate agli utenti dei social media, da chatbot come ChatGPT ai programmi per giocare a scacchi, dalle auto a guida autonoma ai sistemi text-to-image che generano immagini a partire da istruzioni testuali. È per questo difficile dare una definizione univoca a questo termine. A complicare le cose è la connotazione data al concetto di intelligenza, che rischia di incoraggiare paragoni fuorvianti tra l'intelligenza umana e quella “artificiale” dei computer. La migliore definizione possibile rimane probabilmente quella proposta da Minsky, uno dei pionieri di questa disciplina, che definì l'AI “la scienza di far fare alle macchine delle cose che richiederebbero intelligenza se fatte da esseri umani”. Questa definizione è utile perché ci ricorda che, per quanto significativi possano essere i risultati ottenuti da queste tecnologie, le macchine rimangono profondamente diverse dagli esseri umani. Le applicazioni e i dispositivi dotati di intelligenza artificiale sono oggi in grado di riconoscere e identificare oggetti, comprendere e rispondere al linguaggio umano, apprendere da dati ed esperienze e offrire raccomandazioni mirate sia agli utenti sia agli esperti. In alcuni casi possono anche operare in autonomia, riducendo o eliminando la necessità dell'intervento umano, come avviene ad esempio nei sistemi di guida autonoma. La definizione di Minsky ci permette di riconoscere questa abilità senza presupporre una relazione tra questi sistemi e il cervello umano. Con l'emergere di tecnologie quali gli assistenti vocali, i chatbot e l'AI generativa, l'intelligenza artificiale è oggi anche un mezzo di comunicazione e in quanto tale un oggetto di studio di prima importanza per i media studies. Per comprendere pienamente queste tecnologie, il ruolo della comunicazione è diventato sempre più centrale [12].

2.2. Evoluzione storica e sviluppo futuro

L'idea di intelligenza artificiale ha radici antiche nell'immaginario umano, anticipata da opere come Frankenstein di Mary Shelley (1818) e dal film Metropolis di Fritz Lang (1927), che esploravano già temi legati alla creazione artificiale e al rapporto tra tecnologia e umanità. Le vere origini scientifiche dell'AI risalgono però agli anni '40 e '50, quando logica, matematica e informatica nascente si incontrarono. Un contributo decisivo fu quello di Alan Turing, che nel 1950 propose il celebre Test di Turing: una macchina può considerarsi intelligente se riesce a sostenere una conversazione

indistinguibile da quella di un essere umano. Nel 1956 la Conferenza di Dartmouth segnò ufficialmente la nascita dell'AI come disciplina, riunendo studiosi di diverse discipline attorno all'ambizione di costruire macchine capaci di apprendere, ragionare e risolvere problemi come gli esseri umani. Tra i primi tentativi concreti vi fu il Perceptron di Frank Rosenblatt (1958), un sistema che apprendeva a riconoscere pattern per tentativi ed errori, capace però di svolgere compiti molto limitati. Negli anni '60 Joseph Weizenbaum sviluppò ELIZA, uno dei primi chatbot, che simulava un dialogo psicoterapeutico dando l'illusione di comprensione pur basandosi solo su regole di associazione testuale. Questi esperimenti mostrarono sia il potenziale che i limiti dell'AI dell'epoca, basata su regole rigide incapaci di gestire la complessità del mondo reale. L'entusiasmo iniziale si spense tra gli anni '70 e '80 nel periodo noto come "AI winter", segnato da tagli ai finanziamenti e dubbi tecnici e filosofici sulla possibilità stessa di replicare l'intelligenza umana. La svolta arrivò negli anni '90 e 2000 con il machine learning: invece di programmare regole esplicite, i sistemi iniziarono a imparare dai dati, dando origine alle reti neurali artificiali. Un momento simbolico fu il 1997, quando Deep Blue di IBM sconfisse il campione di scacchi Garry Kasparov. Nello stesso periodo nacque Google (1998), rivoluzionando l'accesso all'informazione. Dal 2006 il deep learning visse un'accelerazione senza precedenti grazie agli investimenti dei grandi player tecnologici, culminando nel 2012 con la vittoria di un sistema sviluppato dal team di Geoffrey Hinton in una competizione di riconoscimento immagini, evento che aprì la strada alla diffusione dell'AI in ambiti come motori di ricerca, traduzione automatica, medicina e industria. Oggi l'intelligenza artificiale è parte integrante della vita quotidiana, dagli assistenti vocali ai sistemi diagnostici in medicina, e ha superato la sola dimensione logico-predittiva per diventare anche creativa, capace di scrivere testi, comporre musica e generare contenuti artistici, configurandosi sempre più come un partner creativo piuttosto che un semplice strumento. Questo progresso, tuttavia, pone questioni cruciali che richiedono attenzione: i bias nei dati, la necessità di regolamentazione, la protezione della privacy e la trasparenza dei processi decisionali, a conferma che lo sviluppo tecnologico deve procedere di pari passo con una visione sociale, inclusiva e centrata sulla persona [13].

2.3. Principali tecnologie AI

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale ha trasformato radicalmente il modo in cui le macchine interagiscono con il mondo, passando da esecutori di comandi rigidi a sistemi capaci di adattarsi e apprendere. Per comprendere appieno la portata di questa rivoluzione, è necessario esplorare

l'architettura tecnologica che ne rende possibile il funzionamento. Questo capitolo analizza le principali tecnologie che costituiscono il cuore pulsante dell'AI moderna, strutturate secondo un percorso che va dai concetti fondanti alle loro applicazioni più avanzate.

Il **Machine Learning** prevede la creazione di modelli addestrando un algoritmo per fare previsioni o decisioni basate sui dati. Comprende un'ampia gamma di tecniche che consentono ai computer di apprendere e fare inferenze basate sui dati senza essere esplicitamente programmati per compiti specifici. Il Machine Learning utilizza un approccio in grado di creare sistemi che imparano dai dati iniziali, immessi come input, al fine di gestire altri dati che non erano stati considerati inizialmente dal programmatore. Al fine di comprendere in maniera semplicistica il funzionamento del Machine Learning si tende a considerarlo come un creatore di un software che impara come fa un bambino. Utilizza, quindi, a partire dall'osservazione dei dati e delle informazioni disponibili, dei principi generali per ottenere delle nuove conoscenze. Dato che il bambino nasce con la capacità di apprendere può sfruttarla per creare un'esperienza, ancor prima di avere delle conoscenze. Da questa può ottenere un feedback per valutare cosa ha imparato, e può andare ad applicarla in maniera migliore in un momento successivo. Acquisita la conoscenza, può generalizzarla ed utilizzarla con dati che non ha mai incontrato in precedenza. La stessa cosa può essere fatta dal ML, che rappresenta l'apprendimento automatico di una macchina. La forma più semplice di apprendimento è l'apprendimento supervisionato. In questo approccio, il modello viene addestrato utilizzando dati già corredati dalle risposte corrette, fornite dagli esseri umani. L'obiettivo è far sì che l'algoritmo impari la relazione tra i dati in ingresso e i risultati attesi, così da poter fare previsioni accurate anche su nuovi dati mai incontrati prima. Il Machine Learning è sfruttato in molti settori. Non solo è in grado di capire cosa dicono i clienti, ma capisce anche il loro tono e può indirizzarli verso gli operatori del servizio clienti più idonei per ricevere supporto. È considerato il motore che alimenta le attività svolte dagli assistenti personali virtuali o dagli assistenti vocali, come Siri di Apple. Inoltre, offre un notevole aiuto nel filtraggio della casella postale, automatizzando il filtraggio delle e-mail dei clienti nelle categorie Principale, Social e Promozioni, rilevando e reindirizzando lo spam in una cartella apposita.[14], [15], [16]

Il **Deep Learning** è un'applicazione più specifica del Machine Learning che permette di modellare con straordinaria precisione complesse funzioni non lineari. Questi modelli sono in grado di imparare in maniera autonoma dall'esperienza, migliorando progressivamente le loro prestazioni. La differenza fondamentale tra questi due criteri è che il Deep Learning cerca di replicare il funzionamento del cervello biologico tramite sistemi artificiali che sono in grado di apprendere in

modo profondo. Tale approccio ha l'obiettivo di creare una intermediazione tra la capacità degli algoritmi di prendere la decisione migliore, dati determinati input richiesti dallo stesso, e gli input a disposizione che non sarebbero comprensibili ad algoritmi di Machine Learning. Dal punto di vista scientifico, si potrebbe affermare che il Deep learning rappresenti l'apprendimento delle macchine attraverso l'elaborazione di dati appresi utilizzando principalmente algoritmi di calcolo statistico. Noto anche come apprendimento strutturato profondo o apprendimento gerarchico, infatti, fa parte di una più ampia famiglia di metodi di Machine learning basati sull'assimilazione di rappresentazioni di dati, al contrario degli algoritmi per l'esecuzione di task specifici. Il Deep learning si concentra sull'utilizzo di reti neurali più complesse, la base del suo funzionamento e ricopre innumerevoli funzioni a seconda del settore su cui operare. Dall'agricoltura, alla finanza, all'assistenza sanitaria, fino al campo automobilistico [17], [18].

Sia il Machine Learning che il Deep Learning vengono utilizzati per elaborare grandi quantità di dati, consentendo una supervisione continua e proattiva delle condizioni di lavoro. Questo avviene particolarmente nei sistemi integrati, approfonditi nel capitolo 5.

Le **reti neurali** - il cuore pulsante e la struttura alla base del Deep Learning - sono un modello matematico-informatico ispirato al funzionamento del cervello umano. Si tratta di sistemi computazionali composti da unità interconnesse chiamate "neuroni artificiali" o nodi, che elaborano informazioni in modo simile alle cellule nervose biologiche. Questo tipo di struttura permette ai neuroni di ricevere sia dati iniziali sia dati elaborati da altri neuroni, a seconda del livello del neurone stesso. A differenza dei programmi tradizionali basati su regole predefinite, le reti neurali apprendono dai dati. Analizzano esempi, identificano pattern complessi e sviluppano autonomamente strategie per risolvere problemi specifici. Questa capacità di apprendimento automatico le rende strumenti potentissimi per affrontare sfide che richiedono riconoscimento di modelli, previsioni e decisioni intelligenti. Il funzionamento di una rete neurale può essere immaginato come una catena di montaggio intelligente, dove ogni "operaio" (neurone) riceve materiali, li trasforma e li passa al collega successivo.[19]

La **Computer Vision** è un ambito interdisciplinare che studia algoritmi e tecniche per permettere ai computer di riprodurre funzioni e processi dell'apparato visivo umano. Non si tratta solo di riuscire a riconoscere oggetti, persone o animali all'interno di un'immagine singola o in sequenza (video), ma soprattutto di estrarre informazioni utili per la loro elaborazione, a livelli sempre più alti di astrazione e comprensione. In altre parole, si tratta della capacità di ricostruire un contesto intorno all'immagine, dandole un vero e proprio significato. Per poter funzionare correttamente, i sistemi

di visione artificiale hanno bisogno di essere addestrati con una grande quantità di immagini. Tali immagini, opportunamente etichettate, sono fondamentali per insegnare agli algoritmi a identificare pattern, categorie ed elementi rilevanti per i diversi compiti. Negli ultimi anni l'attenzione verso la Computer Vision è fortemente cresciuta, grazie alla diffusione di immagini e video digitali e all'avvento di tecniche sempre più avanzate di Machine Learning. L'apprendimento automatico ha infatti permesso di raggiungere prestazioni paragonabili a quelle umane. Gli algoritmi possono effettuare indagini più o meno approfondite su un'immagine, a seconda delle tecniche utilizzate, della tipologia di immagine e del tipo di task effettuato. Tra le più utilizzate e in voga attualmente troviamo l'"Image Classification", ovvero l'analisi del contenuto dell'immagine e attribuzione di un'etichetta e l'"Object Detection", riferita all'identificazione di una o più entità all'interno di un'immagine.[20]

3. DIGITALIZZAZIONE DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

3.1. Dal cantiere tradizionale al cantiere digitale

La sicurezza nei cantieri rappresenta una delle sfide più critiche nel settore delle costruzioni, amplificata dalla portata dell'occupazione, dalla mobilità della manodopera e dall'uso diffuso del subappalto, che può incidere sulla consapevolezza. L'edilizia rimane uno dei settori più pericolosi al mondo a causa degli ambienti di lavoro dinamici, della logistica complessa e delle mansioni ad alto rischio. Ogni anno, migliaia di incidenti mettono a rischio la vita dei lavoratori, causando anche gravi danni economici e ritardi nei tempi di consegna. Nel corso del tempo, la sicurezza nei cantieri ha subito una profonda evoluzione, passando da una condizione iniziale di totale assenza di tutela a un sistema strutturato e integrato all'interno del processo produttivo. Nelle fasi più antiche, infatti, gli infortuni erano considerati una conseguenza inevitabile dell'attività lavorativa e non esisteva alcuna forma di prevenzione o pianificazione dei rischi; l'unico intervento possibile era di tipo risarcitorio, successivo al verificarsi dell'evento dannoso. Con lo sviluppo industriale e l'aumento della complessità delle lavorazioni, si è assistito a una prima introduzione di normative tecniche volte a regolamentare l'uso di macchine e attrezzature, pur rimanendo la sicurezza un elemento esterno e non integrato nell'organizzazione del lavoro. Una svolta significativa si è verificata a partire dagli anni Ottanta e Novanta, anche in seguito all'influenza delle direttive europee, che hanno introdotto un approccio fondato sulla prevenzione. In questa fase, l'attenzione si è progressivamente spostata dall'evento infortunistico alla sua anticipazione, attraverso strumenti quali la valutazione dei rischi, la formazione dei lavoratori e la pianificazione delle attività. In particolare, nel settore dei cantieri temporanei e mobili, la sicurezza ha assunto un ruolo sempre più centrale, diventando parte integrante della progettazione dell'opera. In questo contesto, proprio l'AI sta diventando un alleato fondamentale per migliorare la prevenzione, il monitoraggio e la gestione dei rischi, rivoluzionando la sicurezza nei cantieri edili. Con l'evoluzione dell'intelligenza artificiale, si evolvono anche le sue capacità di migliorare gli standard di sicurezza e di prevedere gli incidenti prima che si verifichino. Grazie a tali tecnologie, i sistemi di monitoraggio della sicurezza possono analizzare enormi quantità di dati visivi per individuare personale e circostanze non conformi agli standard di sicurezza. Quando si tratta di processi come l'analisi dei dati e i protocolli di sicurezza, l'apprendimento automatico rappresenta il futuro. Ad esempio, i programmi di AI possono supportare l'analisi visiva di un cantiere, fornendo dati in tempo reale raccolti da telecamere e altri sensori presenti nell'area, consentendo di acquisire informazioni vitali su potenziali pericoli, probabilità di incidenti e altri punti

chiave per la pianificazione della sicurezza dei lavoratori. Queste informazioni sono preziose non solo nella fase di ispezione, ma anche durante l'avanzamento dei lavori e l'emergere di pericoli. L'intelligenza artificiale può facilmente monitorare i progressi in qualsiasi area specifica e tenere sotto controllo i lavoratori responsabili. Poiché i rischi in cantiere possono variare nel giro di poche ore a causa di operazioni simultanee e attrezzature in movimento, i modelli predittivi in questo ambito spesso si concentrano su stati di rischio a breve termine, tra cui prossimità non sicura, mancanza di dispositivi di protezione individuale, condizioni di accesso pericolose e modelli di violazioni ripetute. Questo settore si trova inoltre ad affrontare una persistente sottostima dei mancati infortuni, ovvero tutte quelle situazioni in cui l'infortunio viene sfiorato e una codifica incoerente degli incidenti, che crea incertezza di misurazione, influenzando direttamente sulla qualità dell'addestramento dei modelli [21].

3.2 Integrazione con Building Information Modeling (BIM)

Il BIM, Building Information Modeling, viene definito come una metodologia innovativa finalizzata alla realizzazione di un modello digitale parametrico nel quale si possono integrare, gestire e visualizzare informazioni riguardanti l'intero ciclo di vita dell'opera: dalla progettazione alla costruzione, per poi arrivare alla manutenzione ed allo smantellamento, fino alla gestione della sicurezza, offrendo numerosi strumenti per la prevenzione dei rischi presenti in cantiere. L'obiettivo su cui si basa la metodologia BIM non è unicamente quello di produrre un modello tridimensionale, bensì di creare un vero e proprio modello informativo dotato di parametri, dove sarà possibile includere il layout di cantiere, il posizionamento degli accessi in modo da gestire al meglio gli ingressi ed evitare possibili interferenze, problemi futuri di viabilità interna o mancanza di spazio per lo stoccaggio materiali e rifiuti. L'adozione del BIM nel settore delle costruzioni, se adeguatamente implementata, permetterebbe di facilitare la collaborazione interdisciplinare, ottimizzare in modo significativo la gestione dei tempi e dei costi, migliorare la qualità progettuale e aumentare l'efficienza nella gestione dei dati e delle risorse. Sono proprio questi benefici ad aver portato all'introduzione del Nuovo Codice Appalti (D.Lgs 36/2023), il quale ha introdotto l'obbligo di utilizzo del BIM per le opere pubbliche con un importo a base di gara superiore ai due milioni di euro a partire dal 1° gennaio 2025. Tuttavia, nonostante le potenzialità offerte, sono ancora poche le imprese che adottano il BIM per ottimizzare il flusso operativo o che lo applicano in maniera efficace. Nonostante i numerosi vantaggi che il BIM sarebbe in grado di offrire e la sua crescente diffusione nel mondo dell'edilizia, esso presenta ancora diversi limiti e criticità che spingono aziende

e professionisti ad adottare soluzioni tradizionali più attendibili e conformi agli standard operativi già in uso.

Tra i principali ostacoli emergono sicuramente il tema dei tempi e dei costi. Integrare una metodologia BIM significa, infatti, investire tempo e denaro nella formazione del personale, nell'acquisto di software e nell'adeguamento dell'hardware in grado di supportare processi complessi. A risentirne sono in particolare le piccole e medie imprese che, nonostante in alcuni casi riconoscano i vantaggi del BIM, spesso non dispongono delle risorse economiche e delle competenze interne necessarie per un cambiamento di tale portata. L'interoperabilità è un altro aspetto critico che deve essere considerato quando si parla di BIM. Per interoperabilità si intende la capacità di scambiare, interpretare e riutilizzare i dati tra i diversi attori e software coinvolti nel processo edilizio.

L'assenza di standard nel settore porta alla mancanza di interoperabilità tra i diversi software e sistemi adottati. Questo fa sì che per poter eseguire analisi sul modello BIM sia spesso necessario esportarlo in altri formati in modo da renderlo leggibile su altri software. Il processo di esportazione rende l'utilizzo del BIM una procedura complessa e che, se non effettuata correttamente, può facilmente comportare una perdita significativa di dati. I dati contenuti all'interno di un modello BIM, noti come BIM Data, includono proprietà geometriche, fisiche, prestazionali, energetiche, economiche e manutentive, costituendo il patrimonio informativo essenziale per la collaborazione tra i diversi soggetti del processo edilizio. I BIM Data rivestono un ruolo fondamentale nella metodologia BIM perché rappresentano quegli elementi che consentono la condivisione efficiente di informazioni al di fuori del modello stesso e facilitano l'interoperabilità tra le figure coinvolte, migliorando la tracciabilità e la qualità del progetto.

Poiché un modello BIM può includere informazioni relative a tutte le varie fasi del processo edilizio ed alle discipline coinvolte durante la realizzazione del progetto diventa cruciale una selezione accurata delle tipologie di dati da integrare in funzione degli obiettivi progettuali. Un modello con un eccesso di dati può infatti generare confusione e favorire la perdita di essi durante le fasi di esportazione e condivisione; al contrario, un modello con carenza informativa rischia di compromettere l'utilità stessa del modello. Per affrontare queste criticità, sono stati sviluppati degli standard specifici di riferimento in cui vengono definiti i livelli di dettaglio (LOD) richiesti in base al progetto, le tipologie di informazioni da includere nel modello, e le modalità di codifica da seguire per una corretta gestione dei BIM Data. Per agevolare lo scambio dei dati BIM è spesso necessario esportare i modelli in formati neutri e aperti, in grado di superare i vincoli imposti dai software

proprietari. I due approcci più utilizzati per l'interoperabilità nel contesto BIM sono l'OpenBIM ed il BIM Collaboration Hub. Il primo è il processo più adottato e si basa sullo scambio di informazioni attraverso formati aperti ed indipendenti dai software. Il secondo consiste in una piattaforma online sviluppata da buildingSMART International che mira a facilitare la collaborazione tra i soggetti che intervengono nel processo edilizio.[22]

3.3 Internet of Things

L'attenzione crescente verso la sostenibilità ambientale sta trasformando profondamente il settore delle costruzioni, spingendo il comparto verso i nuovi standard dell'edilizia verde. In questo contesto, l'Internet of Things (IoT) offre strumenti tecnologici avanzati in grado di monitorare, analizzare e ottimizzare l'impatto ecologico degli edifici. L'implementazione di reti di sensori e dispositivi connessi permette di raccogliere in tempo reale dati analitici fondamentali, quali la qualità dell'aria, l'umidità e la temperatura. Questo flusso informativo costante fornisce una visione completa e accurata dello stato dell'ambiente e dei relativi consumi energetici. L'obiettivo operativo di tale infrastruttura è la creazione di strutture più efficienti, più sicure e capaci di garantire un minore impatto ecologico sul territorio. L'adozione dell'IoT nel settore edilizio consente di gestire le risorse in modo più consapevole e di identificare tempestivamente sprechi o inefficienze. I sensori installati negli edifici permettono di controllare i consumi energetici, il comportamento termico delle strutture e l'efficienza dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione (HVAC). Il monitoraggio continuo non solo riduce i costi operativi, ma migliora anche la qualità della vita degli occupanti, mantenendo temperature ottimali e aria pulita. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dalla possibilità di un monitoraggio ambientale - trattato nel capitolo 5 - in tempo reale. Tra i benefici più evidenti dell'IoT applicato all'edilizia vi è il miglioramento dell'efficienza energetica. I dispositivi connessi permettono di regolare automaticamente i sistemi HVAC in base alle condizioni ambientali o alla presenza di persone, evitando sprechi e garantendo un comfort costante. Inoltre, grazie agli algoritmi di analisi predittiva, l'IoT consente di anticipare guasti e malfunzionamenti negli impianti. È possibile intervenire prima che si verifichino problemi costosi, prolungando la durata di vita delle infrastrutture e riducendo i fermi operativi. In un'ottica di sostenibilità, anche la manutenzione diventa così proattiva, evitando sprechi di tempo e risorse.[24]

3.4 Gestione della documentazione tramite portali Cloud

I portali cloud rappresentano oggi una soluzione sempre più diffusa per l'archiviazione documentale digitale. Essi consentono di conservare file e contenuti in modo semplice, sicuro e accessibile in qualsiasi momento, purché sia disponibile una connessione a Internet. Anche nel settore della sicurezza nei cantieri questa tecnologia sta conoscendo una rapida diffusione. Disporre di una piattaforma online che permetta di organizzare tutta la documentazione relativa al personale e alle attrezzature presenti in cantiere costituisce infatti un notevole vantaggio, sia per le imprese sia per i professionisti coinvolti nella gestione della sicurezza. Grazie a questi strumenti, le figure preposte possono accedere rapidamente ai documenti dei lavoratori e delle attrezzature, migliorando l'efficienza operativa e il controllo delle informazioni. Inoltre, in caso di ispezioni da parte degli enti di vigilanza, i portali cloud facilitano il reperimento immediato della documentazione, riducendo il rischio di smarrimenti e contribuendo a garantire una gestione più ordinata e conforme alle normative vigenti.

La gestione documentale online rappresenta una soluzione sicura ed efficace per favorire la collaborazione e la condivisione delle informazioni tra persone che operano in luoghi diversi. Sia i colleghi presenti in ufficio sia quelli che lavorano da remoto, ad esempio dalla propria abitazione o da sedi distaccate, possono accedere ai documenti condivisi in modo rapido, controllato e protetto, migliorando così la continuità operativa e l'efficienza dei processi. Nell'ambito della sicurezza nei cantieri, i portali online consentono una gestione documentale decisamente più efficiente rispetto ai sistemi tradizionali cartacei. In particolare, permettono un monitoraggio puntuale delle presenze dei lavoratori e del personale, facilitano la verifica dell'identità degli operatori presenti in cantiere e consentono un controllo immediato della validità della documentazione. Grazie all'utilizzo di sistemi automatizzati, i portali sono in grado di tracciare le scadenze dei documenti: inserendo la data di emissione, il sistema calcola automaticamente la validità e segnala eventuali documenti scaduti o in prossimità di scadenza. Questo permette di mantenere costantemente aggiornata tutta la documentazione, riducendo il rischio di non conformità. Inoltre, i portali cloud offrono un importante vantaggio anche dal punto di vista organizzativo interno alle imprese. Attraverso notifiche automatiche, come avvisi via e-mail o notifiche push, il sistema informa tempestivamente gli utenti della necessità di aggiornare o integrare la documentazione, contribuendo a una gestione più accurata, proattiva ed efficiente.

4. APPLICAZIONI INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LA SICUREZZA IN CANTIERE

4.1 Analisi predittiva e prevenzione degli incidenti

L'analisi predittiva rappresenta una delle applicazioni più promettenti dell'intelligenza artificiale nel settore delle costruzioni. Attraverso algoritmi di machine learning, i sistemi possono elaborare grandi quantità di dati provenienti da sensori IoT, dispositivi indossabili, telecamere, macchinari e registri storici degli incidenti, individuando correlazioni e segnali di rischio non immediatamente riconoscibili.

L'analisi combinata dei dati consente di identificare attività, aree o momenti della giornata caratterizzati da una maggiore probabilità di infortunio. Ad esempio, il sistema può rilevare che determinate lavorazioni diventano più rischiose in presenza di condizioni meteorologiche avverse, in specifiche fasce orarie oppure in concomitanza con la presenza di più mezzi e operatori nella stessa area.

Le informazioni ottenute possono essere utilizzate per adottare misure preventive, modificare l'organizzazione delle lavorazioni, intensificare la vigilanza nelle aree critiche o programmare interventi formativi mirati. In questo modo, la gestione della sicurezza passa da un approccio prevalentemente reattivo, successivo al verificarsi dell'evento, a un modello maggiormente preventivo e basato sull'anticipazione delle condizioni di rischio.

L'efficacia dei modelli predittivi dipende tuttavia dalla quantità, dalla qualità e dalla corretta classificazione dei dati disponibili. Dati incompleti, non aggiornati o registrati in modo disomogeneo possono infatti produrre valutazioni poco affidabili. Per tale ragione, i risultati forniti dall'intelligenza artificiale devono essere considerati come un supporto alle decisioni delle figure della prevenzione e non come una sostituzione della loro valutazione professionale.

4.2 Monitoraggio in tempo reale delle condizioni di cantiere

L'intelligenza artificiale può essere impiegata per monitorare in modo continuo le condizioni operative e ambientali del cantiere. Sensori, telecamere intelligenti e dispositivi connessi consentono di raccogliere dati relativi ai movimenti dei lavoratori e dei mezzi, alla presenza di materiali pericolosi, alle condizioni meteorologiche e ai principali parametri ambientali.

I sistemi possono rilevare condizioni anomale o potenzialmente pericolose, quali:

- presenza di lavoratori in aree interdette;
- eccessiva vicinanza tra persone e mezzi in movimento;

- superfici scivolose o aree non adeguatamente protette;
- concentrazioni elevate di polveri, gas o sostanze nocive;
- condizioni di vento, temperatura o umidità incompatibili con determinate lavorazioni;
- comportamenti non conformi alle procedure di sicurezza.

In caso di superamento di soglie prestabilite, il sistema può generare avvisi, notifiche o segnali di allarme indirizzati ai lavoratori, ai preposti o agli altri responsabili della sicurezza. Ciò consente di intervenire tempestivamente, sospendere una lavorazione o adottare misure correttive prima che la condizione rilevata determini un infortunio.

Il monitoraggio continuo può inoltre essere utilizzato nelle ore notturne o nei periodi di inattività del cantiere, permettendo di individuare intrusioni, furti, atti vandalici o accessi non autorizzati.

4.3 Rilevamento dei comportamenti non sicuri e controllo degli accessi

Attraverso l'analisi automatica delle immagini, i sistemi di visione artificiale possono individuare comportamenti non conformi alle procedure di sicurezza. Le telecamere intelligenti non si limitano infatti alla registrazione dei filmati, ma possono riconoscere persone, mezzi, movimenti e situazioni anomale.

Tra le possibili applicazioni rientrano il rilevamento di lavoratori presenti in zone pericolose, il riconoscimento di operazioni eseguite in modo improprio e l'individuazione di accessi non autorizzati. Il sistema può inoltre verificare se il personale in ingresso risulta autorizzato e se possiede i requisiti necessari per accedere a determinate aree.

L'integrazione con i sistemi di controllo degli accessi consente di registrare entrate e uscite, mantenere aggiornata la presenza del personale e supportare la gestione delle emergenze. In caso di evacuazione, ad esempio, la disponibilità di dati aggiornati può facilitare la verifica delle persone presenti all'interno del cantiere.

L'eventuale utilizzo di tecnologie di riconoscimento biometrico richiede tuttavia particolare cautela, in considerazione delle implicazioni connesse alla privacy, alla protezione dei dati personali e alla proporzionalità del trattamento rispetto alle finalità di sicurezza.

4.4 Controllo dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale

L'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale costituisce una condizione essenziale per la sicurezza nei cantieri. L'intelligenza artificiale può supportare la verifica della presenza e del corretto

utilizzo di dispositivi quali casco, guanti, occhiali protettivi, calzature di sicurezza, imbracature e indumenti ad alta visibilità.

Attraverso telecamere intelligenti e algoritmi di computer vision, il sistema può analizzare le immagini in tempo reale e segnalare la presenza di lavoratori privi dei DPI richiesti. Le notifiche possono essere inviate direttamente all'interessato oppure ai preposti, consentendo un intervento tempestivo.

L'analisi dei dati raccolti nel tempo può inoltre evidenziare situazioni ricorrenti di non conformità, specifiche aree del cantiere nelle quali l'uso dei DPI risulta meno rispettato oppure categorie di lavoratori che necessitano di ulteriore informazione e formazione.

Il controllo visivo può essere integrato con sensori installati direttamente nei DPI. Caschi, gilet e altri dispositivi intelligenti possono rilevare il corretto utilizzo, la durata dell'impiego e alcuni parametri fisici o ambientali, come temperatura corporea, affaticamento, presenza di gas o esposizione a livelli eccessivi di rumore.

4.5 Automazione delle attività pericolose

L'automazione rappresenta un ulteriore ambito di applicazione dell'intelligenza artificiale alla sicurezza nei cantieri. Robot, macchine autonome e sistemi di assistenza possono essere impiegati per svolgere o supportare attività caratterizzate da elevata pericolosità, ripetitività o forte impegno fisico. Tra le attività potenzialmente automatizzabili rientrano la movimentazione di materiali pesanti, la manipolazione di sostanze pericolose, le operazioni in ambienti contaminati, alcune lavorazioni in quota, le demolizioni e le ispezioni in zone difficilmente accessibili.

L'automazione non implica necessariamente la completa sostituzione del lavoratore. In molti casi, la tecnologia può affiancare l'operatore, riducendone l'esposizione diretta al pericolo e lasciando all'uomo le attività di controllo, programmazione e supervisione. I vantaggi riguardano sia la sicurezza sia l'efficienza, poiché i sistemi automatizzati possono svolgere operazioni ripetitive con maggiore continuità e precisione. È tuttavia necessario garantire una corretta gestione dell'interazione uomo-macchina, evitando che l'introduzione di nuove tecnologie generi rischi aggiuntivi dovuti a guasti, errori di programmazione o interferenze con le altre attività di cantiere.

4.6 Formazione e addestramento dei lavoratori

L'intelligenza artificiale può essere utilizzata anche nella formazione e nell'addestramento dei lavoratori, soprattutto attraverso l'integrazione con realtà virtuale e realtà aumentata.

Le simulazioni immersive consentono di ricreare scenari realistici di cantiere e permettono ai lavoratori di esercitarsi nella gestione delle emergenze, nell'utilizzo dei DPI, nell'impiego di macchine e attrezzature e nel riconoscimento delle situazioni di pericolo, senza essere esposti a rischi reali.

Durante le simulazioni, l'intelligenza artificiale può analizzare le prestazioni del partecipante, rilevare errori e fornire feedback immediati. I percorsi formativi possono inoltre essere adattati alle competenze e alle difficoltà del singolo lavoratore, proponendo contenuti differenziati e livelli crescenti di complessità.

L'analisi dei risultati permette di individuare le aree nelle quali è necessario un ulteriore approfondimento e di verificare nel tempo l'effettiva acquisizione delle competenze. Questi strumenti non sostituiscono la formazione e l'addestramento previsti dalla normativa, ma possono integrarli, rendendo l'apprendimento più interattivo, concreto e vicino alle reali condizioni operative.

4.7 Integrazione dei dati e supporto alla gestione della sicurezza

Le diverse applicazioni dell'intelligenza artificiale possono essere integrate all'interno di piattaforme digitali collegate ai sistemi BIM e agli strumenti di gestione del cantiere. In questo modo, i dati provenienti da telecamere, sensori, macchine, dispositivi indossabili e sistemi di controllo degli accessi possono essere raccolti e analizzati in un unico ambiente.

L'integrazione consente di ottenere una rappresentazione aggiornata delle condizioni del cantiere, facilitando il coordinamento delle lavorazioni, la gestione delle interferenze, il controllo delle risorse e la verifica delle condizioni di sicurezza.

Le piattaforme possono inoltre archiviare le segnalazioni, individuare fenomeni ricorrenti e supportare l'aggiornamento delle misure preventive. Il valore principale non risiede quindi soltanto nella capacità di rilevare singoli pericoli, ma nella possibilità di trasformare dati provenienti da fonti differenti in informazioni utili per la pianificazione e per il miglioramento continuo della sicurezza.

Nel complesso, l'intelligenza artificiale può contribuire a rendere la gestione del cantiere più tempestiva, informata e preventiva. La sua introduzione deve tuttavia essere accompagnata da procedure chiare, adeguata formazione, verifica dell'affidabilità dei sistemi e supervisione umana, affinché la tecnologia rappresenti un effettivo strumento di supporto e non una nuova fonte di rischio [25].

5. TECNOLOGIE ABILITANTI

L'impiego dell'intelligenza artificiale nei cantieri è reso possibile dall'integrazione di diverse tecnologie digitali che consentono di acquisire, trasmettere ed elaborare informazioni provenienti dall'ambiente di lavoro. Sensori, dispositivi indossabili, telecamere intelligenti e sistemi di realtà aumentata e virtuale costituiscono gli elementi fondamentali attraverso i quali l'intelligenza artificiale può monitorare le condizioni operative, supportare le decisioni e migliorare la sicurezza dei lavoratori. Le principali tecnologie abilitanti vengono descritte nei paragrafi seguenti.

5.1 Sensori IoT

I sensori Internet of Things (IoT) rappresentano uno degli elementi fondamentali della digitalizzazione dei cantieri. Installati nell'ambiente di lavoro o direttamente sulle attrezzature, essi consentono di raccogliere e trasmettere in tempo reale informazioni relative alle condizioni operative. Nei cantieri possono monitorare numerosi parametri, tra cui:

- temperatura e umidità;
- qualità dell'aria;
- concentrazione di gas e polveri;
- consumi energetici;
- stato dei macchinari;
- accessi e presenza del personale.

I dati vengono inviati a piattaforme cloud dove possono essere elaborati mediante algoritmi di intelligenza artificiale, consentendo di individuare anomalie e attivare tempestivamente misure preventive. L'utilizzo di tali sistemi favorisce il passaggio da una gestione reattiva della sicurezza a un approccio proattivo basato sul monitoraggio continuo. Numerose sperimentazioni hanno dimostrato l'efficacia dei sensori IoT nel controllo della qualità dell'aria e nel monitoraggio delle condizioni ambientali di cantiere, permettendo di ridurre l'esposizione dei lavoratori agli agenti inquinanti e supportando decisioni rapide basate su dati oggettivi [26] [27].

5.2 Dispositivi wearable

Le tecnologie wearable comprendono dispositivi indossabili progettati per monitorare in tempo reale lo stato di salute del lavoratore e le condizioni dell'ambiente circostante. Tra le principali soluzioni disponibili rientrano:

- smart helmet [28];
- smartwatch [29];
- esoscheletri industriali [30];
- sensori ambientali indossabili [31].

Tali dispositivi possono rilevare parametri fisiologici quali frequenza cardiaca, temperatura corporea e livello di affaticamento, oltre a monitorare esposizione a rumore, gas, polveri e posture scorrette. Alcuni sistemi integrano inoltre funzionalità di realtà aumentata che consentono di visualizzare informazioni operative direttamente nel campo visivo dell'operatore.

Le sperimentazioni condotte negli ultimi anni evidenziano come queste tecnologie possano contribuire alla riduzione dei disturbi muscoloscheletrici, al miglioramento dell'ergonomia e all'individuazione precoce di condizioni di sovraccarico fisico, favorendo interventi preventivi prima dell'insorgenza di situazioni critiche.

5.3 Sistemi di visione artificiale

Le telecamere intelligenti costituiscono uno dei principali strumenti attraverso i quali l'intelligenza artificiale può analizzare automaticamente il contesto operativo del cantiere. Rispetto ai tradizionali sistemi di videosorveglianza, tali dispositivi sono in grado di:

- controllare gli accessi;
- riconoscere personale e mezzi autorizzati;
- verificare l'utilizzo dei DPI;
- individuare intrusioni;
- monitorare comportamenti pericolosi;
- rilevare situazioni anomale.

L'installazione delle telecamere può riguardare sia punti fissi del cantiere sia direttamente i mezzi d'opera. In quest'ultimo caso, i sistemi migliorano significativamente la visibilità dell'operatore, riducendo le zone cieche durante le manovre e diminuendo il rischio di investimento di persone o collisione con ostacoli.

L'integrazione con algoritmi di computer vision consente inoltre di generare allarmi automatici in presenza di condizioni di rischio, supportando il personale nella gestione della sicurezza [33].

5.4 Realtà aumentata e realtà virtuale

La Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Virtuale (VR) rappresentano due delle principali tecnologie immersive oggi disponibili nel settore delle costruzioni. La Realtà Aumentata sovrappone informazioni digitali all'ambiente reale, consentendo agli operatori di visualizzare modelli BIM, impianti, istruzioni operative o procedure di sicurezza direttamente durante l'esecuzione delle lavorazioni. La Realtà Virtuale, invece, permette di ricreare ambienti completamente simulati nei quali progettisti e lavoratori possono esplorare il modello digitale dell'opera e svolgere attività di formazione in totale sicurezza.

L'integrazione con il BIM consente di:

- verificare la conformità tra progetto e costruito;
- individuare interferenze prima dell'esecuzione;
- migliorare il coordinamento delle lavorazioni;
- effettuare addestramento immersivo;
- ridurre errori esecutivi e costi di cantiere.

Queste tecnologie stanno assumendo un ruolo sempre più importante sia nelle fasi progettuali sia durante la gestione operativa del cantiere [34].

5.5 Considerazioni finali

Le tecnologie descritte costituiscono l'infrastruttura digitale sulla quale si basano le applicazioni di intelligenza artificiale illustrate nel capitolo precedente. Sensori IoT, dispositivi wearable, sistemi di visione artificiale e tecnologie immersive non rappresentano soluzioni isolate, ma componenti di un ecosistema integrato in grado di raccogliere, elaborare e condividere informazioni in tempo reale.

La loro progressiva diffusione consentirà di rendere la gestione della sicurezza sempre più orientata alla prevenzione, supportando le decisioni delle figure della prevenzione mediante dati oggettivi e continuamente aggiornati. L'efficacia di tali strumenti dipenderà tuttavia dalla qualità dei dati raccolti, dall'integrazione con i processi organizzativi del cantiere e dalla capacità degli operatori di utilizzare correttamente le nuove tecnologie, mantenendo sempre centrale il ruolo dell'uomo nelle decisioni relative alla salute e sicurezza sul lavoro.

6. OPPORTUNITÀ E LIMITI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

6.1. Vantaggi dell'AI

L'intelligenza artificiale rappresenta oggi una delle innovazioni più rilevanti e trasformative, capace di generare benefici concreti in una vasta gamma di settori. Le sue applicazioni si estendono dalla sanità alla mobilità, dall'arte al turismo, dalla finanza al marketing, fino ad ambiti più specifici come la sicurezza sul lavoro, con particolare riferimento alla sicurezza nei cantieri. Questa trasversalità rende l'AI uno strumento strategico sia per il miglioramento della qualità della vita dei cittadini sia per l'evoluzione dei modelli organizzativi delle imprese. Dal punto di vista dei singoli cittadini, l'intelligenza artificiale consente di accedere a servizi più efficienti, rapidi e personalizzati. Sistemi basati su AI permettono, ad esempio, di ottenere risposte immediate, spesso disponibili 24 ore su 24, riducendo significativamente i tempi di attesa e migliorando l'esperienza complessiva dell'utente. Inoltre, grazie alla capacità di analizzare grandi quantità di dati, questi sistemi possono adattare i servizi alle esigenze specifiche delle persone, offrendo soluzioni sempre più mirate e pertinenti. Per le aziende, l'adozione dell'intelligenza artificiale rappresenta un'importante leva competitiva. L'AI consente infatti di ottimizzare i processi produttivi e gestionali, ridurre i costi operativi e aumentare l'efficienza complessiva. In particolare, la possibilità di automatizzare attività ripetitive e a basso valore aggiunto permette di liberare risorse umane, che possono essere reindirizzate verso compiti più strategici, creativi e decisionali. Questo processo di trasformazione incide profondamente sull'organizzazione del lavoro, richiedendo una maggiore flessibilità e capacità di adattamento da parte delle imprese.

Un ulteriore aspetto fondamentale riguarda la capacità dei sistemi di intelligenza artificiale di elaborare e analizzare grandi volumi di dati in tempi estremamente ridotti. Questa caratteristica consente di supportare in modo significativo il processo decisionale, fornendo informazioni utili, previsioni e analisi che migliorano la qualità delle scelte aziendali e riducono il margine di errore.

Sebbene gran parte dell'attenzione si concentri sull'utilizzo dell'AI nel settore privato, è importante sottolineare il ruolo sempre più rilevante che questa tecnologia può svolgere anche all'interno della Pubblica Amministrazione. In questo contesto, l'intelligenza artificiale può contribuire a rendere i servizi pubblici più accessibili, efficienti e trasparenti. Ad esempio, l'impiego di chatbot consente di gestire in modo automatico le richieste più frequenti dei cittadini, come le domande ricorrenti (FAQ), fornendo risposte rapide e standardizzate. Questo tipo di automazione permette di ridurre il carico di lavoro degli uffici pubblici, migliorando al contempo la qualità del servizio offerto. I

dipendenti possono così dedicarsi ad attività più complesse e a maggior valore aggiunto, che richiedono competenze specifiche, capacità di valutazione e interazione umana. In prospettiva, l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella Pubblica Amministrazione può favorire un processo di modernizzazione dell'intero sistema, contribuendo a una gestione più efficiente delle risorse e a una maggiore soddisfazione dei cittadini.[35]

6.2. Privacy e disinformazione

Nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale la tutela dei dati personali è di fondamentale importanza dato l'impatto che ha sulla vita quotidiana delle persone. Dato che gli algoritmi di Intelligenza Artificiale hanno alla base del loro funzionamento l'elaborazione, l'analisi e il trattamento di grandi quantitativi di dati è necessario che il loro trattamento sia disciplinato e che siano garantite adeguate tutele della privacy. La facilitazione della raccolta dei dati ha permesso, almeno a livello potenziale, una sorveglianza costante. Navigando in Internet vengono registrate le abitudini di navigazione e tramite il rilevamento della posizione è possibile sapere dove è ubicato l'utente e chi c'è nelle vicinanze. Molti servizi vengono forniti gratuitamente online, in termini monetari, ma richiedono comunque uno scambio implicito di dati personali dell'utilizzatore. Il fornitore del servizio ha accesso alle scelte che vengono compiute sulla piattaforma, sulla disponibilità a pagare, sulla preferenza e sulla frequenza di acquisto. Alcune ricerche hanno mostrato come le app gratuite, tramite l'accettazione del servizio, acquisiscano molte più informazioni rispetto alle app a pagamento, e, spesso questi dati non hanno direttamente a che fare con il funzionamento del servizio gratuito offerto. Questo rappresenta un forte rischio per la privacy. I Big Data hanno cambiato la dimensione del fenomeno e hanno reso inefficienti le protezioni passate della privacy. I problemi non riguardano tutti i tipi di dati, dato che alcuni non tracciano e quindi non contengono informazioni personali; infatti, determinati dati possono rivelare molto sulle abitudini personali degli utenti ed è giusto che queste siano tutelate. Ad oggi, purtroppo, le norme sulla privacy specificano solo che l'utilizzo delle informazioni deve essere autorizzato per una finalità specifica, e quindi non è chiaro se lo stesso dato possa essere utilizzato in futuro per scopi diversi senza l'approvazione di un nuovo consenso dell'utente. Un altro problema è rappresentato dal fatto che molto spesso gli utenti non verificano a che cosa stanno effettivamente acconsentendo e quindi diventa complicato andare a proteggere la diffusione di determinati dati a posteriori, dopo che è stato rilasciato il consenso.

Per far fronte a queste problematiche si utilizza la Cyber Security che permette la difesa del computer, del server e più in generale dei sistemi elettronici dagli attacchi dannosi di cybercriminali. La Cybersecurity si applica a vari contesti e diventa sempre più fondamentale dato il tipo di informazioni personali trattate. Considerare il ruolo dell'AI nella protezione della privacy, quindi, risulta fondamentale per garantire che queste tecnologie siano sviluppate e utilizzate in modo responsabile, trasparente e rispettoso dei diritti degli individui. Solo attraverso una attenta valutazione dei rischi e l'adozione di adeguate misure di salvaguardia, sarà possibile cogliere i benefici dell'AI senza compromettere la riservatezza e l'autonomia delle persone.

La minaccia più rilevante associata all'utilizzo dei sistemi di intelligenza artificiale generativa risiede nella diffusione di disinformazione, spesso amplificata dalla difficoltà, da parte degli utenti, di valutare criticamente la qualità e l'affidabilità delle fonti. In questo contesto, uno dei principali fattori di rischio è rappresentato dal fenomeno delle cosiddette "allucinazioni", ovvero la produzione, da parte dei modelli linguistici, di contenuti inesatti, fuorvianti o completamente inventati, generati con l'obiettivo di fornire comunque una risposta coerente e plausibile.

Queste allucinazioni non derivano da un'intenzionalità, ma sono il risultato di limiti intrinseci nel funzionamento dei Large Language Model, che si basano su correlazioni statistiche tra dati piuttosto che su una reale comprensione semantica o verifica fattuale delle informazioni. In presenza di input ambigui, incompleti o privi di adeguato contesto, il modello può quindi "colmare le lacune" generando contenuti che appaiono credibili, ma che non trovano riscontro nella realtà. La conseguenza principale di questo fenomeno è una progressiva erosione della fiducia nei confronti di strumenti come ChatGPT, soprattutto quando tali errori non sono immediatamente riconoscibili. Il rischio è ulteriormente accentuato dalla forma linguistica fluida e autorevole con cui queste informazioni vengono presentate, che può indurre gli utenti a considerarle attendibili senza un'adeguata verifica. Per questo motivo, diventa fondamentale affiancare all'uso di questi strumenti un approccio critico e consapevole, basato sulla verifica delle fonti, sul confronto con dati affidabili e sull'analisi del contesto. Parallelamente, è necessario continuare a sviluppare sistemi di controllo, miglioramento dei modelli e strategie di mitigazione del rischio, al fine di ridurre la probabilità di generazione di contenuti poco accurati e aumentare il livello complessivo di affidabilità delle risposte.

6.3 Regolamento europeo AI

L'AI Act (Regolamento UE 2024/1689) è il framework normativo dell'Unione Europea, articolato in 113 articoli, che disciplina lo sviluppo e l'uso dell'Intelligenza Artificiale. Approccio basato sul rischio, articolato in livelli crescenti di obblighi di rischio (da inaccettabile a minimo), impone regole stringenti su governance e trasparenza, con sanzioni variabili. I dati ISTAT 2025 mostrano che il 16,4% delle aziende italiane usa già l'IA, ma il 47% denuncia scarsa chiarezza normativa, rendendo urgente l'adeguamento. In Italia, la Legge 132/2025 ha ufficializzato l'assetto istituzionale, designando l'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID), con funzioni di promozione, notifica e accreditamento, e l'ACN, con poteri di vigilanza, ispezione e sanzione.

Gli obiettivi principali dell'AI Act sono:

- promuovere l'innovazione responsabile, incoraggiando lo sviluppo di tecnologie AI all'interno di un ambiente normativo sicuro e controllato;
- proteggere i cittadini, garantendo che i diritti fondamentali, come la privacy, la sicurezza e la non discriminazione, siano salvaguardati;
- favorire la fiducia, aumentando la trasparenza e la comprensione dell'AI per far sì che i cittadini possano fidarsi delle tecnologie con cui interagiscono.

Per raggiungere questi obiettivi il legislatore europeo ha utilizzato un approccio basato sul rischio, imponendo ai protagonisti dell'industria e del mercato di riferimento obblighi crescenti, in maniera direttamente proporzionale all'aumentare della rischiosità dei prodotti e servizi sviluppati, commercializzati e/o utilizzati professionalmente. A tal fine, le tipologie di prodotti e servizi basati sull'AI sono state classificate in 4 livelli.

I sistemi di AI a **rischio inaccettabile** sono quelli che rappresentano un rischio così elevato per i diritti fondamentali che vengono vietati completamente. Un esempio è l'uso di AI per manipolare il comportamento umano in modi che mettano a rischio la sicurezza o la salute; sistemi di AI ad **alto rischio**, includono tecnologie che possono avere un impatto significativo su sicurezza e diritti delle persone. Questi sistemi devono rispettare requisiti rigorosi, come la trasparenza, la supervisione umana e la qualità dei dati. Esempi includono i sistemi di riconoscimento facciale o le AI utilizzate in ambito medico e lavorativo; i sistemi di AI a **rischio limitato**, richiedono invece solo il rispetto di alcune norme sulla trasparenza, come informare gli utenti che vi interagiscono. Un esempio è un chatbot che risponde a domande di assistenza clienti; infine, i sistemi di AI a **rischio minimo**: in questa categoria rientrano le applicazioni di AI più comuni e diffuse, come filtri antispam o

raccomandazioni di contenuti online. Questi sistemi non necessitano di particolari regolamentazioni, se non il rispetto delle norme generali di sicurezza e privacy.

L'UE ha scelto di disciplinare la materia con un regolamento, ossia un atto che ha portata generale, è obbligatorio in tutti i suoi elementi e direttamente applicabile senza necessità di recepimento nel diritto nazionale e che deve essere pienamente rispettato dai destinatari (privati, Stati membri, istituzioni dell'Unione). Lo scopo, quindi, è quello di garantire l'applicazione uniforme della nuova normativa in tutti gli Stati membri, escludendo così il rischio di asimmetrie regolamentari per effetto delle quali taluni beni o servizi, la loro produzione, la loro distribuzione o il loro utilizzo potrebbero essere disciplinati in modo diverso da Paese a Paese. Per questa ragione è stato preferito il regolamento alla direttiva, che invece avrebbe vincolato gli Stati membri per quanto riguarda il risultato da raggiungere, lasciando alla competenza degli organi nazionali la scelta di forma e mezzi, e la cui applicazione nel diritto interno avrebbe richiesto l'adozione da parte dello Stato di un atto di recepimento, non essendo le direttive, in linea di principio, direttamente applicabili.[36][37]

7. QUESTIONARIO

Al fine di disporre di uno strumento idoneo a indagare la percezione dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri, è stato sviluppato un questionario strutturato sulla base della letteratura scientifica disponibile e delle principali applicazioni attualmente ipotizzate per tali tecnologie nel settore delle costruzioni. La progettazione dello strumento è stata preceduta da un'analisi degli studi relativi all'accettazione delle tecnologie digitali, alla fiducia nei sistemi basati sull'intelligenza artificiale e agli aspetti connessi alla salute e sicurezza sul lavoro, con l'obiettivo di individuare le principali dimensioni da approfondire. Il questionario è stato pensato come strumento di raccolta dati da utilizzare in successive campagne di indagine rivolte a campioni ampi ed eterogenei. I principali destinatari sono le figure professionali operanti nel settore delle costruzioni, tra cui coordinatori per la sicurezza, progettisti, direttori dei lavori, consulenti, tecnici della prevenzione e altri professionisti coinvolti nella gestione della sicurezza. Il questionario è inoltre destinato alle imprese e alle aziende del comparto, ai datori di lavoro, ai dirigenti, ai preposti e ai lavoratori impegnati nelle attività di cantiere. La presenza di profili differenti consentirà, nelle future somministrazioni, di confrontare percezioni, livelli di fiducia e atteggiamenti nei confronti dell'intelligenza artificiale in relazione al ruolo svolto, all'esperienza professionale e al grado di familiarità con le tecnologie digitali.

Dal punto di vista operativo, il questionario è stato implementato mediante la piattaforma Google Forms, scelta per la semplicità di utilizzo, la rapidità di distribuzione e la possibilità di raccogliere ed esportare in modo strutturato le risposte dei partecipanti. La compilazione avviene online, in forma anonima e individuale, e richiede indicativamente dai dieci ai quindici minuti.

Lo strumento è articolato in più sezioni. La parte iniziale contiene l'informativa relativa alla partecipazione allo studio e al trattamento dei dati, seguita dalla richiesta di consenso. La prima sezione raccoglie le principali informazioni anagrafiche, formative e professionali dei partecipanti, tra cui età, genere, livello di istruzione, attività lavorativa, esperienza nel settore delle costruzioni e formazione in materia di sicurezza. La seconda sezione approfondisce il grado di familiarità con le tecnologie digitali e con il concetto di intelligenza artificiale. Vengono inoltre rilevate l'eventuale esperienza nell'utilizzo di strumenti basati sull'intelligenza artificiale e la conoscenza di tecnologie digitali impiegate nei cantieri, quali sensori, droni, sistemi BIM, applicazioni per la sicurezza, telecamere intelligenti e dispositivi indossabili.

Le sezioni centrali del questionario sono strutturate mediante scale Likert a cinque punti e riguardano quattro ambiti principali. Il primo analizza la percezione dei possibili utilizzi

dell'intelligenza artificiale per la sicurezza in cantiere, con riferimento alla prevenzione degli incidenti, al monitoraggio dei rischi, al controllo degli accessi, alla verifica dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, alla formazione dei lavoratori e alla gestione delle emergenze. Il secondo ambito riguarda il livello di fiducia e di accettazione nei confronti dei sistemi basati sull'intelligenza artificiale. Il terzo approfondisce le questioni connesse alla privacy, alla raccolta e all'utilizzo dei dati personali e alla percezione di un possibile controllo eccessivo dei lavoratori. Il quarto esamina le principali criticità e i limiti percepiti, tra cui l'affidabilità dei sistemi, i costi, la formazione degli operatori, l'attribuzione delle responsabilità e il rischio di un'eccessiva dipendenza dalla tecnologia. La parte conclusiva del questionario comprende domande a risposta multipla e a scelta singola finalizzate a individuare gli ambiti di applicazione ritenuti più utili, gli strumenti tecnologici maggiormente promettenti, i principali vantaggi e i rischi connessi all'impiego dell'intelligenza artificiale nei cantieri. Sono inoltre presenti domande volte a rilevare l'atteggiamento generale nei confronti di tali tecnologie, le aspettative sulla loro futura diffusione e le condizioni ritenute necessarie per una loro efficace introduzione. Il questionario si conclude con una domanda aperta, attraverso la quale i partecipanti possono esprimere osservazioni, dubbi o suggerimenti.

Nell'ambito della presente tesi, il questionario è stato sottoposto a una prima somministrazione pilota a un campione composto da 25 studenti universitari, con un'età media di circa 21 anni. La scelta di utilizzare un campione di studenti è legata alla necessità di effettuare una prima verifica dello strumento in un contesto controllato e facilmente accessibile. La somministrazione pilota non è finalizzata a ottenere risultati statisticamente rappresentativi della popolazione di riferimento, costituita principalmente da professionisti, imprese e lavoratori del settore delle costruzioni. Essa ha invece lo scopo di verificare la chiarezza delle domande, la comprensibilità delle scale di risposta, la coerenza delle sezioni, la durata complessiva della compilazione e l'eventuale presenza di ambiguità o difficoltà interpretative. I dati raccolti consentono inoltre di formulare alcune considerazioni preliminari sulla percezione dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri. Tali risultati devono essere interpretati con cautela, considerata la ridotta numerosità e l'omogeneità del campione, ma possono offrire indicazioni utili per il perfezionamento del questionario e per la pianificazione di successive campagne di raccolta dati rivolte ai destinatari effettivi dello strumento.

La futura somministrazione del questionario a professionisti, imprese, datori di lavoro, preposti e lavoratori permetterà di analizzare in modo più approfondito il livello di conoscenza, fiducia e accettazione dell'intelligenza artificiale nel settore delle costruzioni. Sarà inoltre possibile verificare

in che misura variabili quali età, ruolo professionale, esperienza lavorativa, formazione sulla sicurezza e familiarità con le tecnologie digitali influenzino la percezione dei benefici e delle criticità connesse all'impiego di sistemi intelligenti nei cantieri. La raccolta di dati su un campione più ampio ed eterogeneo consentirà infine di confrontare le posizioni delle diverse categorie professionali e di individuare eventuali esigenze formative, organizzative e informative necessarie per favorire un'introduzione consapevole e responsabile dell'intelligenza artificiale nella gestione della sicurezza.

7.1 Il questionario: L'Intelligenza Artificiale nei Cantieri

Informativa e consenso alla partecipazione

Gentile partecipante,

le proponiamo di aderire a uno studio on-line dal titolo "L'Intelligenza Artificiale nei Cantieri". L'obiettivo della ricerca è comprendere il livello di conoscenza, fiducia e accettazione nei confronti di strumenti digitali e sistemi basati su intelligenza artificiale che possono supportare la prevenzione degli infortuni, il monitoraggio dei rischi, il controllo degli accessi, la verifica dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, la formazione dei lavoratori e l'organizzazione delle attività di cantiere. Questo studio costituisce parte integrante del lavoro di tesi dello studente Manuel Locрати del corso di laurea triennale in Tecnologie Digitali per l'Edilizia e il Territorio.

PER PARTECIPARE

Per partecipare è sufficiente rispondere ad un semplice questionario online completamente anonimo. La ricerca si rivolge esclusivamente a persone maggiorenni.

COME PROCEDERE

È molto importante che il questionario sia compilato individualmente.

DESCRIZIONE

Le verrà chiesto di rispondere a un questionario online, suddiviso in più sezioni. Il tempo previsto per la compilazione è di circa 10-15 minuti.

TRATTAMENTO DATI

Tutte le informazioni raccolte in questa ricerca saranno trattate nel rispetto delle vigenti leggi D.Lgs. 196/2003 sulla privacy novellato dal D.Lgs. n. 101/2018, UE GDPR 679/2016 sulla protezione dei dati personali e dell'art. 9 del Codice Deontologico degli Psicologi Italiani. I suoi dati saranno analizzati in modo anonimo e con tutti i criteri che garantiscono la massima riservatezza. I dati potranno essere utilizzati per adempiere a finalità scientifiche (ad esempio: inseriti in pubblicazioni e/o presentati a

congressi o seminari scientifici.) La responsabile della ricerca è l'Ing. Giulia De Cet, afferente al Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, dell'Università di Padova, e-mail: giulia.decet@unipd.it

La responsabile della ricerca si impegna ad adempiere agli obblighi previsti dalla normativa vigente in termini di raccolta, trattamento e conservazione di dati sensibili. Ogni partecipante ha in ogni momento facoltà di esercitare i diritti di cui all'art. 7 del D.Lgs. 196/2003 novellato dal D.Lgs. n. 101/2018. I dati, raccolti ed elaborati in forma aggregata e anonima, potranno essere inseriti in pubblicazioni e/o presentati a congressi o seminari scientifici. Il trattamento dei suoi dati sarà avviato solo con la sottoscrizione di tale consenso.

DICHIARO

- Di essere maggiorenne
- Di aderire volontariamente alla realizzazione della ricerca in qualità di partecipante
- Di essere a conoscenza degli obiettivi e delle finalità di tale progetto di ricerca
- Di essere a conoscenza che i dati ricavati, nell'assoluto anonimato, saranno trattati esclusivamente per fini didattici e di ricerca
- Di essere consapevole che non è prevista la possibilità di ottenere la restituzione dei dati raccolti una volta inviati.

Per eventuali chiarimenti è possibile contattare l'Ing. Giulia De Cet, email giulia.decet@unipd.it
Grazie mille per il suo prezioso contributo! Cliccando sul pulsante "Acconsento" in fondo a questa pagina e proseguendo nella compilazione del questionario esprime il suo consenso a partecipare alla ricerca. Può ritirarsi in qualunque momento semplicemente chiudendo la pagina del questionario.

Anagrafica generale

- Quando è nata/o?
- Qual è la Sua nazionalità?
- Qual è il Suo Paese di origine?
- Quale lingua usa maggiormente per esprimersi?
- Qual è il Suo genere?
- Qual è il Suo massimo livello di istruzione?
- Che lavoro svolge attualmente?
- Da quanto tempo svolge il suo attuale lavoro?
- Se è uno studente o una studentessa, che corso frequenta?

- Se lavora o ha lavorato nel settore delle costruzioni, qual è il suo ruolo principale?
- Da quanti anni ha esperienza nel settore delle costruzioni o nei cantieri?
- Ha mai frequentato corsi di formazione sulla sicurezza nei cantieri?

Familiarità con tecnologie digitali e intelligenza artificiale

Quanto ritiene familiari le tecnologie digitali?

Per nulla, Poco, Abbastanza, Molto, Moltissimo

Quanto ritiene familiare il concetto di intelligenza artificiale?

Per nulla, Poco, Abbastanza, Molto, Moltissimo

Ha mai utilizzato strumenti basati su intelligenza artificiale, ad esempio chatbot, software di analisi dati, sistemi di riconoscimento immagini o strumenti di supporto decisionale?

No, mai; Sì, raramente; Sì, occasionalmente; Sì, frequentemente; Sì, quotidianamente

Ha mai visto o utilizzato tecnologie digitali in ambito di cantiere, ad esempio sensori, droni, BIM, app per la sicurezza, telecamere intelligenti o dispositivi indossabili?

No; Sì, ne ho sentito parlare, Sì, le ho viste utilizzare; Sì, le ho utilizzate direttamente.

Secondo lei, quanto il settore delle costruzioni è attualmente pronto ad adottare strumenti basati su intelligenza artificiale?

Per nulla pronto, Poco pronto, Abbastanza pronto, Molto pronto, Completamente pronto

Possibili utilizzi dell'intelligenza artificiale per la sicurezza in cantiere

Scala: 1 = Per nulla d'accordo; 2 = Poco d'accordo; 3 = Né d'accordo né in disaccordo; 4 = Abbastanza d'accordo; 5 = Molto d'accordo.

L'intelligenza artificiale può essere utile per effettuare analisi predittive finalizzate alla prevenzione degli incidenti.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può aiutare a individuare in anticipo situazioni che potrebbero causare infortuni.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può essere utile per rilevare e monitorare i pericoli in tempo reale all'interno del cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può supportare il monitoraggio costante delle aree di cantiere maggiormente critiche.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo di telecamere intelligenti può contribuire a migliorare il controllo degli accessi in cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'analisi automatica delle immagini provenienti da telecamere di cantiere può aiutare a individuare comportamenti pericolosi.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può essere utile per verificare il corretto utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, come casco, imbracatura, calzature di sicurezza o alta visibilità.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può contribuire a garantire una maggiore conformità alle procedure di sicurezza.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può supportare la formazione dei lavoratori attraverso simulazioni, realtà virtuale o percorsi personalizzati.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può essere utile per automatizzare alcune attività ripetitive o pericolose, riducendo l'esposizione dei lavoratori al rischio.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può supportare tecnici, preposti e coordinatori nella gestione quotidiana della sicurezza in cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale può migliorare la gestione delle emergenze, ad esempio segnalando tempestivamente situazioni anomale o accessi in aree pericolose.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Fiducia

Scala: 1 = Per nulla d'accordo; 2 = Poco d'accordo; 3 = Né d'accordo né in disaccordo; 4 = Abbastanza d'accordo; 5 = Molto d'accordo.

Mi fiderei di un sistema basato su intelligenza artificiale per segnalare situazioni di rischio in cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Accetterei l'utilizzo di telecamere intelligenti per verificare il corretto uso dei DPI in cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Accetterei l'utilizzo di sensori o dispositivi indossabili per monitorare condizioni di rischio per i lavoratori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Accetterei l'utilizzo di sistemi automatici per controllare gli accessi alle aree di cantiere.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Mi sentirei più sicuro/a in un cantiere in cui sono presenti sistemi di monitoraggio basati su intelligenza artificiale.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Ritengo utile che l'intelligenza artificiale supporti il coordinatore per la sicurezza, il preposto o il datore di lavoro nell'individuazione dei rischi.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Mi fiderei completamente delle decisioni prese da un sistema di intelligenza artificiale in materia di sicurezza.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Ritengo che le decisioni finali sulla sicurezza debbano sempre rimanere sotto il controllo umano.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale dovrebbe essere utilizzata come supporto e non come sostituzione del giudizio umano.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Sarei favorevole all'introduzione graduale di strumenti di intelligenza artificiale nei cantieri.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Privacy

Scala: 1 = Per nulla d'accordo; 2 = Poco d'accordo; 3 = Né d'accordo né in disaccordo; 4 = Abbastanza d'accordo; 5 = Molto d'accordo.

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe creare problemi legati alla privacy dei lavoratori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Il monitoraggio tramite telecamere intelligenti potrebbe far sentire i lavoratori eccessivamente controllati.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo di sensori o dispositivi indossabili potrebbe essere percepito come una forma di sorveglianza continua.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

La raccolta di dati sui comportamenti dei lavoratori in cantiere dovrebbe essere limitata esclusivamente a finalità di sicurezza.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

I lavoratori dovrebbero essere sempre informati in modo chiaro su quali dati vengono raccolti, per quali finalità e per quanto tempo vengono conservati.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale in cantiere richiede regole chiare sulla protezione dei dati personali.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo di sistemi di monitoraggio basati su AI è accettabile se finalizzato esclusivamente alla prevenzione degli infortuni.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo di sistemi di monitoraggio basati su AI è meno accettabile se i dati raccolti vengono usati anche per valutare la produttività dei lavoratori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

La presenza di AI e telecamere in cantiere potrebbe modificare il comportamento dei lavoratori, anche indipendentemente dal reale livello di rischio.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Prima di introdurre strumenti di intelligenza artificiale in cantiere, è necessario coinvolgere e informare adeguatamente i lavoratori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Criticità e limiti

Scala: 1 = Per nulla d'accordo; 2 = Poco d'accordo; 3 = Né d'accordo né in disaccordo; 4 = Abbastanza d'accordo; 5 = Molto d'accordo.

L'intelligenza artificiale potrebbe generare errori o valutazioni non corrette dei rischi.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale potrebbe non essere in grado di comprendere tutte le complessità e le variabilità presenti in un cantiere reale.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe essere ostacolata dalla scarsa formazione degli operatori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe essere ostacolata dai costi elevati.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe incontrare resistenze da parte dei lavoratori.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale potrebbe creare nuove responsabilità difficili da attribuire in caso di incidente.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

L'intelligenza artificiale potrebbe ridurre l'autonomia decisionale dei lavoratori e dei tecnici.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Un uso non corretto dell'intelligenza artificiale potrebbe portare a un'eccessiva dipendenza dalla tecnologia.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Ambiti di applicazione e valutazione complessiva

- Secondo Lei, in quali ambiti l'intelligenza artificiale potrebbe essere più utile per la sicurezza nei cantieri? È possibile selezionare più risposte.
- Quali strumenti ritiene più utili per migliorare la sicurezza in cantiere? È possibile selezionare più risposte.
- Quale pensa possa essere il principale vantaggio dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri?
- Quale pensa possa essere il principale rischio o limite dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri?
- In generale, quale atteggiamento ha nei confronti dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri?
- Ritiene che nei prossimi anni l'intelligenza artificiale sarà sempre più utilizzata nei cantieri?
- Ritiene che l'intelligenza artificiale possa contribuire concretamente alla riduzione degli infortuni nei cantieri?
- Secondo Lei, quali condizioni sono necessarie per introdurre efficacemente l'intelligenza artificiale nei cantieri? È possibile selezionare più risposte.
- Vuole aggiungere eventuali osservazioni, dubbi o suggerimenti sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale per la sicurezza nei cantieri?

7.2 Risultati preliminari

I risultati riportati in questo capitolo derivano da un dataset di 25 studenti universitari. Le risposte sono state organizzate e analizzate mediante statistiche descrittive. Per le variabili categoriche sono state calcolate frequenze assolute e percentuali; per gli item su scala Likert a cinque punti sono state calcolate media e deviazione standard. È stata inoltre stimata, con finalità esclusivamente esplorative, la consistenza interna delle quattro sezioni mediante il coefficiente α di Cronbach. Considerata la numerosità limitata, non sono state effettuate analisi inferenziali né possono essere tratte conclusioni generalizzabili.

Il campione è composto da 25 studenti universitari, con età media pari a 21.3 anni (DS = 1.0; intervallo: 20-24 anni). Il gruppo comprende 14 partecipanti di genere maschile e 11 di genere

femminile. Tutti i soggetti sono studenti del corso di laurea in Tecnologie Digitali per l'Edilizia e il Territorio. L'esperienza diretta nel settore delle costruzioni è prevalentemente assente o limitata, coerentemente con l'età e con il profilo formativo del campione.

Il campione presenta un livello generalmente elevato di familiarità con le tecnologie digitali e con il concetto di intelligenza artificiale. Tale risultato è coerente con il profilo di studenti iscritti a un corso di laurea orientato alla digitalizzazione del settore edizio. L'utilizzo di strumenti basati su AI risulta frequente o quotidiano per la maggior parte dei partecipanti, mentre l'esperienza diretta con tecnologie digitali impiegate in cantiere appare più eterogenea.

Indicatore	Risultato
Familiarità digitale: Molto/Moltissimo	20 (80%)
Familiarità IA: Molto/Moltissimo	20 (80%)
Uso IA: frequente/quotidiano	16 (64%)
Tecnologie in cantiere: viste o utilizzate	13 (52%)

Le quattro sezioni centrali del questionario mostrano punteggi medi superiori al punto centrale della scala. Il punteggio più elevato riguarda la percezione dei possibili utilizzi dell'intelligenza artificiale per la sicurezza, seguito dalle dimensioni relative alla privacy e alle condizioni di tutela dei dati. La fiducia appare positiva ma più prudente, soprattutto quando l'AI viene prospettata come soggetto decisionale autonomo.

Scala	Media	DS	α di Cronbach
Possibili utilizzi	4.24	0.47	0.87
Fiducia e accettazione	4.26	0.36	0.71
Privacy e trattamento dati	4.43	0.39	0.84
Criticità e limiti	4.08	0.57	0.85

Le applicazioni maggiormente apprezzate riguardano l'individuazione anticipata di situazioni potenzialmente pericolose, il controllo del corretto utilizzo dei DPI, il monitoraggio in tempo reale e la gestione delle emergenze. Nel complesso, gli studenti mostrano una percezione favorevole dell'AI come strumento di prevenzione e supporto operativo.

Item	Media	DS	Accordo 4-5
L'analisi automatica delle immagini provenienti da telecamere di cantiere può aiutare a individuare comportamenti pericolosi.	4.44	0.65	92%
L'intelligenza artificiale può supportare tecnici, preposti e coordinatori nella gestione quotidiana della sicurezza in cantiere.	4.44	0.71	88%

L'intelligenza artificiale può essere utile per verificare il corretto utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, come casco, imbracatura, calzature di sicurezza o alta visibilità.	4.32	0.85	84%
L'intelligenza artificiale può contribuire a garantire una maggiore conformità alle procedure di sicurezza.	4.32	0.75	84%
L'utilizzo di telecamere intelligenti può contribuire a migliorare il controllo degli accessi in cantiere.	4.28	0.74	84%
L'intelligenza artificiale può aiutare a individuare in anticipo situazioni che potrebbero causare infortuni.	4.24	0.72	84%

La fiducia nei sistemi intelligenti è accompagnata da una chiara richiesta di supervisione umana. Gli item che prevedono il mantenimento della decisione finale in capo alle persone e l'uso dell'AI come supporto, anziché come sostituzione del giudizio professionale, raggiungono le valutazioni più elevate. Al contrario, la completa delega delle decisioni di sicurezza a un sistema automatico riceve punteggi più contenuti.

Item	Media	DS
L'intelligenza artificiale dovrebbe essere utilizzata come supporto e non come sostituzione del giudizio umano.	4.76	0.44
Ritengo che le decisioni finali sulla sicurezza debbano sempre rimanere sotto il controllo umano.	4.64	0.49
Ritengo utile che l'intelligenza artificiale supporti il coordinatore per la sicurezza, il preposto o il datore di lavoro nell'individuazione dei rischi.	4.56	0.65
Accetterei l'utilizzo di sistemi automatici per controllare gli accessi alle aree di cantiere.	4.44	0.65
Accetterei l'utilizzo di telecamere intelligenti per verificare il corretto uso dei DPI in cantiere.	4.16	0.90
Mi fiderei completamente delle decisioni prese da un sistema di intelligenza artificiale in materia di sicurezza.	2.76	0.72

I partecipanti riconoscono i potenziali problemi connessi alla privacy e alla sensazione di controllo continuo, ma attribuiscono particolare importanza alle misure organizzative di garanzia. Informazione preventiva, limitazione delle finalità, regole chiare sul trattamento dei dati e coinvolgimento dei lavoratori sono considerati elementi centrali per rendere accettabile il monitoraggio basato su IA.

Item con media più elevata	Media	DS
La raccolta di dati sui comportamenti dei lavoratori in cantiere dovrebbe essere limitata esclusivamente a finalità di sicurezza.	4.76	0.44
Prima di introdurre strumenti di intelligenza artificiale in cantiere, è necessario coinvolgere e informare adeguatamente i lavoratori.	4.76	0.52
L'utilizzo dell'intelligenza artificiale in cantiere richiede regole chiare sulla protezione dei dati personali.	4.68	0.48

I lavoratori dovrebbero essere sempre informati in modo chiaro su quali dati vengono raccolti, per quali finalità e per quanto tempo vengono conservati.	4.64	0.57
La presenza di AI e telecamere in cantiere potrebbe modificare il comportamento dei lavoratori, anche indipendentemente dal reale livello di rischio.	4.44	0.58

Tra le principali criticità emergono la necessità di formare adeguatamente gli operatori, la possibilità di errori o valutazioni non corrette, la difficoltà di attribuire le responsabilità e il rischio di dipendenza dalla tecnologia. I costi e le resistenze dei lavoratori sono anch'essi riconosciuti, ma risultano leggermente meno centrali rispetto agli aspetti di affidabilità, competenza e governance.

Criticità	Media	DS
L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe essere ostacolata dalla scarsa formazione degli operatori	4.40	0.65
L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe incontrare resistenze da parte dei lavoratori.	4.28	0.74
L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri potrebbe essere ostacolata dai costi elevati.	4.16	0.99
L'intelligenza artificiale potrebbe non essere in grado di comprendere tutte le complessità e le variabilità presenti in un cantiere reale.	4.08	0.81
Un uso non corretto dell'intelligenza artificiale potrebbe portare a un'eccessiva dipendenza dalla tecnologia.	4.00	0.71
L'intelligenza artificiale potrebbe ridurre l'autonomia decisionale dei lavoratori e dei tecnici.	3.96	0.79
L'intelligenza artificiale potrebbe generare errori o valutazioni non corrette dei rischi.	3.88	0.97
L'utilizzo dell'intelligenza artificiale potrebbe creare nuove responsabilità difficili da attribuire in caso di incidente.	3.88	0.78

Le scelte multiple confermano la preferenza per applicazioni direttamente connesse alla prevenzione operativa. Il rilevamento dei pericoli in tempo reale, il controllo dei DPI, il monitoraggio delle aree critiche e l'analisi predittiva risultano tra gli ambiti più frequentemente selezionati.

Ambito	Frequenza	Percentuale
Monitoraggio costante delle aree di cantiere	24	96%
Rilevamento dei pericoli in tempo reale	23	92%
Supporto alla formazione dei lavoratori	22	88%
Analisi predittiva per prevenire incidenti	20	80%
Controllo dell'utilizzo dei DPI	20	80%
Monitoraggio ambientale, ad esempio rumore, polveri, microclima	19	76%
Analisi delle immagini provenienti da telecamere	18	72%
Rilevazione di comportamenti pericolosi	18	72%

Nel dataset emerge un atteggiamento complessivamente favorevole nei confronti dell'impiego dell'intelligenza artificiale per migliorare la sicurezza nei cantieri. Le applicazioni percepite come

maggiormente utili sono quelle in grado di aumentare la tempestività nell'individuazione dei pericoli, supportare il controllo delle condizioni operative e ridurre l'esposizione dei lavoratori alle attività più rischiose.

L'apertura verso l'innovazione non coincide tuttavia con una disponibilità a delegare integralmente le decisioni. I partecipanti attribuiscono un ruolo centrale alla supervisione umana e considerano l'AI uno strumento di supporto alle figure della prevenzione. Questo orientamento suggerisce che l'accettazione delle tecnologie dipenda non soltanto dalle loro prestazioni, ma anche dalla chiarezza con cui vengono definiti limiti, responsabilità e processi decisionali.

Un secondo elemento riguarda la protezione dei dati personali. Il monitoraggio tramite telecamere, sensori e dispositivi indossabili è considerato potenzialmente utile, ma richiede informazione trasparente, limitazione delle finalità e regole chiare sulla conservazione e sull'utilizzo dei dati. La tutela della privacy costituisce quindi una condizione per l'accettabilità delle tecnologie e non un aspetto separato dalla sicurezza.

I risultati evidenziano inoltre la necessità di accompagnare l'innovazione con formazione, sperimentazione graduale, verifica periodica dell'affidabilità dei sistemi e presenza di personale qualificato. Tali condizioni appaiono essenziali per evitare un uso acritico dell'AI e per prevenire forme di eccessiva dipendenza tecnologica.

Poiché il campione è numericamente limitato e costituito esclusivamente da studenti universitari, le evidenze presentate hanno unicamente funzione dimostrativa. Esse consentono di verificare la struttura delle analisi e la capacità del questionario di produrre indicatori interpretabili, ma dovranno essere sostituite o confermate attraverso una successiva raccolta di dati reali rivolta ai destinatari effettivi dello strumento: professionisti, imprese, datori di lavoro, preposti e lavoratori del settore delle costruzioni.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La presente tesi ha affrontato il tema dell'intelligenza artificiale applicata al settore delle costruzioni, con particolare attenzione alle possibili ricadute sulla salute e sicurezza nei cantieri. Il lavoro ha evidenziato come le tecnologie digitali e i sistemi basati su intelligenza artificiale possano offrire nuove opportunità per la prevenzione degli infortuni, il monitoraggio dei rischi, il controllo degli accessi, la verifica dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale, la formazione dei lavoratori e il supporto alle figure responsabili della sicurezza.

Dall'analisi svolta emerge tuttavia che l'introduzione dell'intelligenza artificiale nei cantieri non può essere valutata esclusivamente in termini di capacità tecnologica. La reale efficacia di tali strumenti dipende infatti dalla qualità dei dati disponibili, dalla loro affidabilità, dalla corretta integrazione con i processi organizzativi esistenti e, soprattutto, dal livello di accettazione da parte delle persone coinvolte. Un sistema tecnicamente avanzato può produrre benefici limitati qualora venga percepito come invasivo, poco trasparente o difficile da utilizzare. Al contrario, un'adozione graduale e accompagnata da adeguata informazione e formazione può favorire una maggiore fiducia e un utilizzo più consapevole delle tecnologie.

Il contributo principale della tesi è rappresentato dallo sviluppo di un questionario strutturato finalizzato a indagare il livello di conoscenza, fiducia e accettazione dell'intelligenza artificiale applicata alla sicurezza nei cantieri. Lo strumento è stato progettato per rilevare non solo la percezione dei possibili vantaggi, ma anche le preoccupazioni relative alla privacy, alla sorveglianza, all'affidabilità dei sistemi, alla riduzione dell'autonomia decisionale e all'attribuzione delle responsabilità.

Il questionario è stato inizialmente implementato mediante Google Forms e sottoposto a una prima somministrazione pilota a 25 studenti universitari. Questa fase ha consentito di verificare la struttura generale dello strumento, la comprensibilità delle domande, la coerenza delle sezioni e la possibilità di ottenere indicatori interpretabili. I risultati preliminari mostrano un orientamento generalmente positivo verso l'impiego dell'intelligenza artificiale come supporto alla prevenzione, soprattutto per il monitoraggio in tempo reale, l'individuazione di situazioni pericolose, il controllo dei DPI e la gestione delle emergenze. Allo stesso tempo, emerge una posizione prudente rispetto alla delega completa delle decisioni ai sistemi automatici, con una chiara preferenza per il mantenimento della supervisione umana.

Questi risultati non devono essere interpretati come rappresentativi dell'intero settore delle costruzioni. Il campione utilizzato presenta infatti limiti rilevanti sia dal punto di vista numerico sia per quanto riguarda la composizione. I partecipanti appartengono a una fascia di età molto omogenea, sono tutti studenti universitari e presentano una familiarità con le tecnologie digitali presumibilmente superiore a quella riscontrabile in altri gruppi professionali. Inoltre, la maggior parte di essi non possiede ancora un'esperienza lavorativa significativa nei cantieri. Tali caratteristiche potrebbero aver influenzato le risposte, favorendo una maggiore apertura verso l'innovazione e una percezione prevalentemente teorica delle implicazioni operative dell'intelligenza artificiale.

La limitata numerosità del campione non consente inoltre di effettuare confronti statisticamente robusti tra gruppi né di generalizzare i risultati. La somministrazione deve quindi essere considerata come una fase esplorativa e pilota, utile principalmente per verificare il funzionamento del questionario e individuare gli aspetti da migliorare prima di procedere con una raccolta dati più ampia.

Un primo sviluppo futuro riguarderà proprio la revisione di alcune domande. In particolare, sarà opportuno ridurre l'utilizzo dei campi a risposta libera per le variabili anagrafiche e professionali, sostituendoli, ove possibile, con risposte predefinite, menu a tendina o categorie selezionabili. Questa modifica consentirà di ottenere dati più uniformi, facilmente codificabili e immediatamente utilizzabili nelle analisi statistiche.

La domanda relativa alla professione rappresenta un esempio significativo. Attraverso un campo aperto, la medesima professione potrebbe essere indicata in modi differenti, come "Ingegnere", "ingegnere", "INGEGNERE", "Ing.", "ing. civile", "libero professionista", "tecnico progettista" oppure "ingegnere libero professionista". Pur riferendosi in parte alla stessa categoria, queste risposte verrebbero registrate come valori diversi e richiederebbero una successiva attività di pulizia e ricodifica manuale. Una situazione analoga potrebbe verificarsi per professioni quali geometra, architetto, coordinatore per la sicurezza, RSPP, preposto, capocantiere o lavoratore edile.

Nelle future versioni sarà quindi preferibile proporre categorie professionali già strutturate, ad esempio: progettista, direttore dei lavori, coordinatore per la sicurezza, RSPP, datore di lavoro, dirigente, preposto, capocantiere, lavoratore, tecnico della prevenzione, consulente, studente e altro. Per quest'ultima opzione potrà essere mantenuto un campo testuale aggiuntivo. In questo modo sarà possibile preservare la flessibilità dello strumento senza compromettere l'uniformità del dato.

Lo stesso principio potrà essere applicato ad altre variabili. Il settore di attività potrà essere suddiviso in categorie quali edilizia residenziale, infrastrutture, manutenzione, demolizione, impiantistica, prefabbricazione e opere stradali. La dimensione dell'impresa potrà essere classificata in micro, piccola, media e grande impresa. L'esperienza lavorativa potrà essere raccolta mediante intervalli predefiniti, mentre il ruolo ricoperto nella gestione della sicurezza potrà essere distinto dalla professione generale. Queste modifiche consentiranno di migliorare la qualità del database e di limitare errori, duplicazioni e ambiguità.

Un secondo sviluppo riguarderà la revisione della sequenza e delle logiche di compilazione. Alcune domande potrebbero essere visualizzate soltanto in presenza di determinate risposte precedenti. Ad esempio, le domande sul ruolo ricoperto nel settore delle costruzioni potrebbero essere mostrate solo ai partecipanti che dichiarano di lavorare o di avere lavorato nel comparto. Analogamente, le domande sull'esperienza diretta in cantiere potrebbero essere adattate al profilo del rispondente, distinguendo tra studenti, lavoratori, professionisti e rappresentanti delle imprese. Questo renderebbe la compilazione più rapida e pertinente, evitando di sottoporre ai partecipanti quesiti non coerenti con la loro esperienza.

Per supportare queste funzionalità, si prevede la migrazione del questionario dalla piattaforma Google Forms a Qualtrics. Google Forms si è dimostrato adeguato per la fase pilota grazie alla semplicità di utilizzo e alla rapidità di distribuzione; tuttavia, Qualtrics offre strumenti più avanzati per la progettazione di indagini complesse. Tra questi rientrano le logiche condizionali, la randomizzazione degli item, la gestione di percorsi differenziati, il controllo delle risposte incomplete, la prevenzione delle compilazioni duplicate e l'esportazione strutturata dei dati verso software statistici.

La migrazione consentirà inoltre di migliorare il controllo della qualità dei dati. Potranno essere introdotti criteri per individuare compilazioni eccessivamente rapide, risposte ripetitive, questionari incompleti o pattern anomali. Sarà possibile anche personalizzare maggiormente l'esperienza del partecipante, adattando le domande al profilo professionale e riducendo la durata complessiva della compilazione.

Un ulteriore sviluppo riguarderà l'ampliamento del campione. Il questionario dovrà essere somministrato ai destinatari effettivi della ricerca, includendo lavoratori, preposti, capicantiere, coordinatori per la sicurezza, progettisti, direttori dei lavori, datori di lavoro, consulenti, tecnici della prevenzione e rappresentanti di imprese edili. Sarà importante coinvolgere soggetti con età,

formazione, esperienza e livello di familiarità digitale differenti, così da ottenere un quadro più realistico e articolato delle percezioni presenti nel settore.

Una raccolta dati più ampia consentirà di verificare se l'atteggiamento verso l'intelligenza artificiale varia in funzione del ruolo professionale. È plausibile, ad esempio, che i lavoratori manifestino maggiori preoccupazioni rispetto al monitoraggio mediante telecamere o dispositivi indossabili, mentre le figure tecniche e datoriali potrebbero attribuire maggiore importanza all'efficienza, alla tracciabilità e al supporto decisionale. Analogamente, i professionisti con maggiore esperienza potrebbero mostrare un atteggiamento più prudente rispetto agli studenti o ai giovani tecnici, in ragione di una conoscenza più diretta della complessità dei cantieri reali.

Con un campione adeguato sarà inoltre possibile approfondire le relazioni tra le diverse variabili. Potranno essere analizzati, ad esempio, il rapporto tra familiarità digitale e fiducia nei sistemi di intelligenza artificiale, l'influenza della formazione sulla sicurezza, le differenze tra lavoratori e professionisti e il ruolo dell'esperienza diretta in cantiere. Sarà inoltre possibile verificare se le preoccupazioni relative alla privacy diminuiscono quando le finalità del monitoraggio vengono chiaramente limitate alla prevenzione degli infortuni.

Dal punto di vista metodologico, una futura ricerca potrà prevedere una validazione più completa del questionario. La consistenza interna delle sezioni potrà essere verificata su un campione più numeroso, accompagnando il coefficiente alfa di Cronbach con ulteriori indicatori di affidabilità. Potranno essere condotte analisi fattoriali esplorative e confermative per verificare se gli item si raggruppano effettivamente nelle dimensioni teoriche individuate: utilità percepita, fiducia, privacy, criticità e accettazione.

Sarà inoltre utile affiancare al questionario metodi qualitativi, quali interviste semistrutturate o focus group. Le risposte chiuse consentono infatti di confrontare facilmente i partecipanti, ma non sempre permettono di comprendere le motivazioni alla base di una determinata posizione. Un lavoratore potrebbe, ad esempio, dichiararsi contrario alle telecamere intelligenti non per sfiducia nella tecnologia, ma per timore di un utilizzo disciplinare dei dati. Un datore di lavoro potrebbe invece essere favorevole al monitoraggio, ma preoccupato per i costi o per le responsabilità derivanti da un eventuale malfunzionamento. L'integrazione tra dati quantitativi e qualitativi consentirebbe di interpretare meglio tali differenze.

In prospettiva, il questionario potrà essere utilizzato non solo per descrivere il livello generale di accettazione dell'intelligenza artificiale, ma anche come strumento di supporto alla progettazione di interventi aziendali. I risultati potrebbero aiutare le imprese a individuare le principali resistenze,

le esigenze formative e le condizioni necessarie per introdurre nuove tecnologie in modo graduale e condiviso. Prima dell'adozione di sistemi di monitoraggio, potrebbe ad esempio essere utile rilevare le preoccupazioni dei lavoratori, fornire informazioni sulle finalità del trattamento dei dati e definire procedure chiare di accesso, conservazione e utilizzo delle informazioni raccolte.

Un ulteriore ambito di sviluppo potrebbe riguardare il confronto nel tempo. La somministrazione periodica dello strumento consentirebbe di verificare se la percezione dell'intelligenza artificiale cambia in seguito all'introduzione di nuovi sistemi, alla partecipazione a corsi di formazione o all'esperienza diretta con tecnologie applicate alla sicurezza. Questo permetterebbe di passare da una fotografia statica a un'analisi evolutiva del processo di accettazione.

Nel complesso, il lavoro svolto rappresenta una base preliminare per lo sviluppo di una ricerca più ampia. La tesi ha permesso di definire le principali dimensioni da indagare e di predisporre una prima versione del questionario, evidenziandone al tempo stesso i limiti e le possibilità di miglioramento. Il valore della fase pilota risiede proprio nella capacità di orientare le scelte successive, evitando che le future raccolte dati vengano avviate senza una preventiva verifica dello strumento.

In conclusione, l'intelligenza artificiale presenta potenzialità significative per il miglioramento della sicurezza nei cantieri, ma la sua introduzione non può essere considerata un processo esclusivamente tecnico. Essa richiede una valutazione attenta dell'affidabilità dei sistemi, della qualità dei dati, della tutela della privacy, delle responsabilità e dell'impatto sull'organizzazione del lavoro. Soprattutto, richiede il coinvolgimento delle persone che saranno chiamate a utilizzare o a convivere con tali tecnologie.

L'intelligenza artificiale potrà quindi contribuire alla prevenzione degli infortuni solo se utilizzata come strumento di supporto alle competenze umane, inserita in un sistema organizzativo consapevole e accompagnata da formazione, trasparenza e controllo. Il futuro della sicurezza nei cantieri non dipenderà soltanto dalla disponibilità di tecnologie più avanzate, ma dalla capacità di integrarle in modo responsabile, comprensibile e coerente con i bisogni reali dei lavoratori e delle imprese.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Cos'è la sicurezza sul lavoro: definizione, norme e importanza." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://cimagroup.it/cos-e-la-sicurezza-sul-lavoro>
- [2] "Cosa si intende davvero per sicurezza sul lavoro: definizione, obiettivi e obblighi - Gruppo Alis." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.gruppoalis.it/cosa-si-intende-davvero-per-sicurezza-sul-lavoro-definizione-obiettivi-e-obblighi/>
- [3] "Storia della sicurezza sul lavoro, dal VI secolo a.C. al D.Lgs 81/2008 - TCE Magazine." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.tcemagazine.it/55275/storia-della-sicurezza-sul-lavoro-dal-vi-secolo-a-c-al-d-lgs-81-2008/#Nascono_le_leggi_sulla_sicurezza_sul_lavoro
- [4] "RISCHIO SUL LAVORO: COS'È E COME IDENTIFICARLO - MEDICOLAVORO.ORG." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://medicolavoro.org/rischio-sul-lavoro/#cos'%C3%A8-rischio>
- [5] "Sicurezza lavoro 2026: statistiche INAIL e trend infortuni | Ordex." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://ordex.it/blog/statistiche-inail-infortuni-2025-analisi>
- [6] "La Costituzione - Articolo 32 | Senato della Repubblica." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.senato.it/istituzione/la-costituzione/parte-i/titolo-ii/articolo-32>
- [7] "Art. 35 costituzione - Brocardi.it." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.brocardi.it/costituzione/parte-i/titolo-iii/art35.html>
- [8] "Art. 41 costituzione - Brocardi.it." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.brocardi.it/costituzione/parte-i/titolo-iii/art41.html>
- [9] "Sicurezza lavoro: cosa prevede il Dlgs 81/2008 - PMI.it." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.pmi.it/impresa/normativa/405494/sicurezza-lavoro-cosa-prevede-dlgs-81-2008.html>
- [10] "Sicurezza cantieri: formazione e figure coinvolte - BibLus." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/sicurezza-cantieri-normativa-e-figure-coinvolte/>
- [11] "Quali documenti servono per la sicurezza in cantiere? Elenco completo per ditte individuali, autonomi e imprese | Normative & Sicurezza sul Lavoro." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.normativesicurezza.com/news/quali-documenti-servono-per-la-sicurezza-in-cantiere-elenco-completo-per-ditte-individuali-autonomi-e-imprese>

- [12] “Che cos’è l’intelligenza artificiale? | Tematiche | Parlamento europeo.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20200827STO85804/che-cos-e-l-intelligenza-artificiale-e-come-viene-usata>
- [13] “Storia dell’intelligenza artificiale: le origini e il futuro che ci attende - Changes.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://changes.unipol.it/technology/storia-dellintelligenza-artificiale-le-origini-e-il-futuro-che-ci-attende>
- [14] “Che cos’è il machine learning? – Spiegazione della tecnologia ML – AWS.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/it/what-is/machine-learning/>
- [15] “Cos’è il machine learning? | IBM.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/machine-learning>
- [16] “Esempi, applicazioni e casi d’uso di machine learning | IBM.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/machine-learning-use-cases>
- [17] “Deep Learning: scopri cos’è, come funziona e i suoi casi d’uso.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/ai-generativa/deep-learning-cose/>
- [18] “Deep Learning: Cos’è ed Esempi.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://italia.it/deep-learning/>
- [19] “Reti Neurali: cosa sono, come funzionano e dove si applicano.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.osservatori.net/blog/artificial-intelligence/reti-neurali-cosa-sono/>
- [20] “Cos’è la computer vision? | IBM.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/computer-vision>
- [21] “La trasformazione digitale del cantiere.” Accessed: Jul. 06, 2026. [Online]. Available: <https://macecostruzioni.it/trasformazione-digitale-del-cantiere/>
- [22] “BIM in edilizia: vantaggi, implementazione e software.” Accessed: Jul. 10, 2026. [Online]. Available: <https://www.impresaedilerec.it/bim-progettazione-edilizia-digitale/>
- [23] “BIM in edilizia: vantaggi, implementazione e software.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.impresaedilerec.it/bim-progettazione-edilizia-digitale/>
- [24] “L’IoT entra nei cantieri: l’edilizia del futuro è smart.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.digitech.news/learning/10/11/2025/linternet-delle-cose-entra-nei-cantieri-ledilizia-del-futuro-e-intelligente-e-sostenibile/>

- [25] "AI e sicurezza nei cantieri: applicazioni e vantaggi - BibLus." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/intelligenza-artificiale-sicurezza-cantieri/>
- [26] "Cantiere connesso e sicuro con sensori e tecnologia IoT." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://cantieriprotetti.it/sensori-e-tecnologia-iot-il-cantiere-connesso-e-sicuro/>
- [27] "Monitoraggio in tempo reale della qualità dell'aria in un cantiere edile di Londra utilizzando il dispositivo di Oizom." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://oizom.com/case-study/real-time-air-quality-monitoring-at-a-london-construction-site-using-oizoms-device/?utm_source=chatgpt.com
- [28] "Smart Helmet e Realtà Aumentata, un nuovo orizzonte tecnologico per il cantiere | Articoli | Ingenio." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.ingenio-web.it/articoli/smart-helmet-e-realta-aumentata-un-nuovo-orizzonte-tecnologico-per-il-cantiere/?utm_source=chatgpt.com
- [29] O. Arias, J. Groehler, M. Wolff, and S. D. Choi, "Assessment of Musculoskeletal Pain and Physical Demands Using a Wearable Smartwatch Heart Monitor among Precast Concrete Construction Workers: A Field Case Study," *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 2347, vol. 13, no. 4, p. 2347, Feb. 2023, doi: 10.3390/APP13042347.
- [30] "L'esoscheletro da costruzione assorbe il carico durante i lavori in quota - Hilti GB." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.hilti.co.uk/content/hilti/E1/GB/en/business/business/safety/construction-exoskeleton-takes-the-load-when-working-overhead.html?utm_source=chatgpt.com
- [31] "Dimostrazione di un sensore di silice cristallina in tempo reale." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.tno.nl/en/newsroom/insights/2021/07/demonstration-real-time-crystalline/?utm_source=chatgpt.com
- [32] "Telecamere e sistemi di videosorveglianza per cantieri edili." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.pelco.com/it/industry/construction?utm_source=chatgpt.com
- [33] "Sistemi Di Telecamere Cat | Cat | Caterpillar." Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.cat.com/it_IT/by-industry/construction-industry-resources/technology/detect/safety-technology/camera-system-portfolio.html?utm_source=chatgpt.com#tabs-ad4b759629-item-de8dccbc4d-tab

- [34] “Realtà Aumentata Cantiere: Innovazione e Sicurezza Edile.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.impresaedilerec.it/realta-aumentata-virtuale-cantiere-futuro/>
- [35] “Ruolo dell’IA nei Cantieri – Vantaggi per la Sicurezza - Blog Sikuro.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://sikurogroup.com/blog/ruolo-intelligenza-artificiale-cantieri/>
- [36] “AI Act: Guida Completa al Regolamento Europeo IA.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://privacy-legale.it/risorse/ai-act-guida-completa>
- [37] “AI Act: il Regolamento europeo sull’intelligenza artificiale - area-giuridicoeconomica-ss2g.hubscuola.it.” Accessed: Jul. 13, 2026. [Online]. Available: <https://area-giuridicoeconomica-ss2g.hubscuola.it/il-blog/ai-act-il-regolamento-europeo-sullintelligenza-artificiale/#/>

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere il mio più sincero e profondo ringraziamento, innanzitutto, alla mia famiglia, che è sempre stata il pilastro su cui ho potuto contare durante tutto questo percorso.

Ringrazio mio padre Andrea e mia madre Cinzia per avermi sostenuto in ogni momento, sia dal punto di vista morale che economico, permettendomi di affrontare questo cammino con serenità e senza farmi mai mancare il loro affetto e la loro fiducia. Un grazie speciale va anche a mio fratello Nicolò, che con il suo carattere e il suo costante incoraggiamento mi ha sempre spinto a dare il massimo, anche quando gli obiettivi sembravano irraggiungibili. Senza di loro non sarei riuscito a concludere questo percorso, tanto lungo quanto incredibilmente breve, con la forza e la tranquillità con la quale è stato affrontato.

Un sentito ringraziamento va alla mia Relatrice, Prof.ssa Giulia De Cet, che durante la stesura di questo elaborato non è stata soltanto una guida competente e disponibile, ma anche una persona con cui potermi confrontare sinceramente. La ringrazio per il tempo, la pazienza e la fiducia che mi ha dedicato, accompagnandomi con professionalità e umanità in ogni fase di questo lavoro.

Infine, desidero ringraziare me stesso per l'impegno, la costanza e la determinazione che mi hanno accompagnato durante tutto questo percorso. Ogni esperienza, ogni sfida e ogni traguardo raggiunto hanno contribuito alla mia crescita personale e professionale. Oggi guardo a questo momento con soddisfazione e con la consapevolezza che rappresenta solo l'inizio di un nuovo percorso.