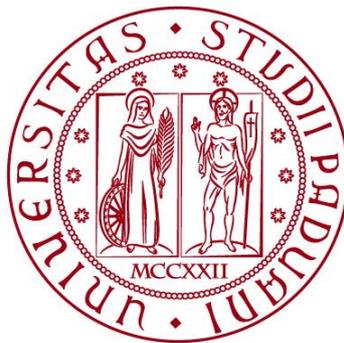


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in TECNOLOGIE DIGITALI PER L'EDILIZIA ED IL
TERRITORIO



TESI DI LAUREA

**L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LA
DIGITALIZZAZIONE PER LA SICUREZZA NEL CANTIERE
EDILE**

Relatrice: Chiar.ma Prof.ssa DANIELA BOSO

Correlatrice: Ing. GIULIA DE CET

Laureando: LEONARDO RABBI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Sommario

| | |
|--|----|
| ABSTRACT | 5 |
| INTRODUZIONE | 7 |
| Capitolo 1: Il Building information modelling (BIM) | 9 |
| 1.0 Che cos'è il BIM? | 9 |
| 1.1 Differenze fra CAD e BIM | 10 |
| 1.2 La normativa italiana inerente alla tecnologia BIM | 11 |
| 1.2.1 Le figure del BIM | 12 |
| 1.3 Obbligo dell'utilizzo della tecnologia Bim negli appalti pubblici: | 14 |
| 1.4 BIM e sicurezza nei cantieri edili | 15 |
| Capitolo 2: L'utilizzo dei portali in Cloud per la gestione dei documenti della sicurezza | 17 |
| 2.1 Che cosa sono i portali Cloud? | 17 |
| 2.2 Vantaggi e limitazioni dei portali in cloud | 18 |
| Capitolo 3: L'intelligenza artificiale e la realtà virtuale per la sicurezza in cantiere | 19 |
| 3.1 L'intelligenza artificiale | 19 |
| 3.1.1 Telecamere intelligenti per il controllo degli accessi in cantiere | 19 |
| 3.1.2 Telecamere intelligenti per la prevenzione incendi | 20 |
| 3.2 Formazione con la realtà virtuale | 21 |
| Capitolo 4: Dispositivi IoT e wearable device per la salute dell'operatore durante le lavorazioni in cantiere | 23 |
| 4.1 Dispositivi Wearable | 23 |
| Capitolo 5: Il futuro della prevenzione per i rischi dovuti alla movimentazione manuale dei carichi (MMC) | 25 |
| 5.1 Che cos'è la movimentazione manuale dei carichi (MMC)? | 25 |
| 5.2 Come l'innovazione tecnologica può ridurre le patologie legate alla MMC | 25 |
| Capitolo 6: Una nuova tecnologia per ridurre il danno dalle cadute dall'alto | 27 |
| Capitolo 7: L'HUB dell'Innovazione | 29 |
| 7.1 Oggetto dell'intervento | 29 |
| 7.2 Inquadramento dell'Intervento | 30 |
| 7.3 Caratteristiche progettuali | 30 |
| 7.4 Un edificio sostenibile | 32 |
| 7.4.1 La certificazione ambientale LEED | 32 |
| 7.4.2 Il protocollo LEED V4 | 33 |
| 7.4.2 Il sistema di certificazione | 33 |

| | |
|---|-----------|
| Capitolo 8: Le innovazioni tecnologiche per la sicurezza presenti all’HUB dell’Innovazione | 37 |
| 8.2 Gestione documentale tramite portale in cloud, software cloundess | 37 |
| 8.2.1 Funzionamento del portale cloud | 38 |
| 8.2.2 Come caricare la documentazione..... | 41 |
| 8.2.3 Limitazione riscontrate nell’utilizzo del portale | 41 |
| 8.3 Dispositivi anti-collisione per le gru edili | 41 |
| 8.3.1 Il caso dell’HUB di Ingegneria | 43 |
| CONCLUSIONI..... | 47 |
| Riferimenti..... | 49 |
| RINGRAZIAMENTI | 53 |

ABSTRACT

In questa tesi viene esplorato l'impatto dell'innovazione tecnologica sulla sicurezza nei cantieri, con l'obiettivo di fornire un'analisi dettagliata delle soluzioni moderne e delle loro applicazioni pratiche. La prima parte dell'elaborato è dedicata all'analisi delle nuove tecnologie emergenti che stanno rivoluzionando il settore delle costruzioni. Verranno esaminati in dettaglio strumenti come il Building Information Modeling (BIM), i portali in cloud, l'intelligenza artificiale (AI), la realtà virtuale, i dispositivi IoT, etc. Questi strumenti non solo migliorano la prevenzione degli incidenti, ma anche l'efficienza operativa complessiva dei cantieri, contribuendo a creare ambienti di lavoro più sicuri e efficienti. La seconda parte dell'elaborato si focalizza su un caso studio applicativo specifico: l'Hub di Ingegneria di Padova. Questo cantiere innovativo ha fornito un'opportunità unica per osservare e comprendere l'integrazione di tecnologie avanzate in un contesto reale. Saranno analizzati i vari aspetti dell'implementazione tecnologica, inclusi i benefici e le sfide incontrate durante il processo. Attraverso l'osservazione diretta e l'analisi dei dati raccolti, la tesi offre una panoramica concreta di come le tecnologie emergenti possano essere utilizzate per migliorare la sicurezza dei lavoratori.

INTRODUZIONE

Il settore edilizio rappresenta un pilastro fondamentale dell'economia in molte nazioni avanzate con una crescita costante ma, purtroppo, anche con un alto rischio per la sicurezza dei lavoratori. Ogni anno migliaia di operai edili si trovano ad affrontare potenziali pericoli che minacciano la loro salute e sicurezza.

Secondo l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) le cadute dall'alto, lo sforzo fisico, e gli effetti legati al cambiamento climatico sono tra le principali cause di infortuni. Storicamente, l'edilizia è uno dei settori più rischiosi a causa della natura delle sue attività, dello stress sul corpo dei lavoratori e degli effetti associati alle stagioni e al clima.

Spesso le norme di sicurezza non vengono adeguatamente comunicate e condivise o non vengono rispettate; la poca formazione, la mancata conoscenza dei rischi sul lavoro e i tempi di consegna molto ristretti sono tra le cause che possono scatenare infortuni e sviluppare malattie professionali. In Figura 1 è riportato l'andamento delle denunce di infortunio sul lavoro nelle costruzioni per modalità di accadimento dal 2018 al 2022.

La sicurezza dei lavoratori deve rimanere una priorità assoluta in ogni contesto di progetto e di costruzione edile, proteggendo il personale, gli appaltatori, subappaltatori: preservando la salute di tutti.

Le nuove tecnologie svolgono un ruolo cruciale nell'ottimizzazione della sicurezza nei cantieri edili: soluzioni digitali come software di progettazione Building Information Modeling (BIM), portali online e sistemi in cloud per la gestione della sicurezza in cantiere sono diventate parte integrante del processo costruttivo, consentendo un monitoraggio e un miglioramento della sicurezza in modo più rapido ed efficiente che mai.

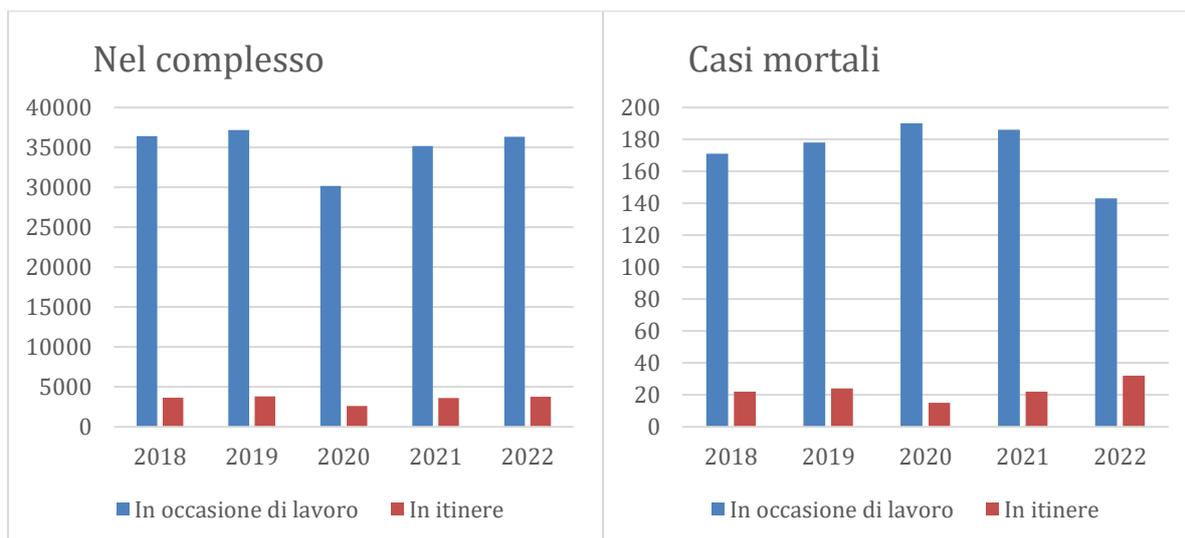


Figura 1: Andamento denunce di infortunio sul lavoro nelle costruzioni per modalità di accadimento 2018-2022 (Rielaborato da [1])

La prevenzione degli incidenti e il potenziamento della sicurezza complessiva iniziano con un'accurata identificazione dei potenziali pericoli, l'adozione di misure proattive è fondamentale, e l'innovazione tecnologica può rivestire un ruolo cruciale in questo processo.

In questa tesi verrà esplorato come l'innovazione tecnologica stia migliorando la sicurezza dei lavoratori nei cantieri. Nella prima parte dell'elaborato verranno analizzate le nuove tecnologie emergenti che stanno rivoluzionando il settore delle costruzioni. Nella seconda parte verrà presentato un caso studio applicativo: l'Hub di Ingegneria di Padova. Il cantiere ha fornito un'opportunità pratica di osservare e comprendere l'integrazione di queste tecnologie nel contesto reale.

Capitolo 1: Il Building information modelling (BIM)

1.0 Che cos'è il BIM?

Non esiste una singola definizione di BIM ma ne esistono diverse basate sui suoi principi madre; secondo il National Institute of Building Science (Nibs) la definizione più corretta è la seguente:

"Il Building Information Modeling (BIM) è una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura. Il BIM è una risorsa di conoscenza condivisa per le informazioni su una struttura, che costituisce una base affidabile per le decisioni durante il suo ciclo di vita, definito come esistente dalla concezione iniziale alla demolizione "[2].

Il BIM è una metodologia digitale di lavoro che permette di creare e gestire tutte le informazioni di un edificio o di un'infrastruttura lungo l'intero ciclo di vita di una struttura edilizia, dalla progettazione iniziale, alla gestione della costruzione e della sicurezza, al mantenimento futuro dell'edificio fino alla fine del ciclo di vita dell'edificio[3].

Molti pensano che il BIM sia una semplice rappresentazione tridimensionale dell'edificio ma in realtà la metodologia permette di estrapolare dal modello una molteplicità di informazioni.

Il BIM permette di gestire un progetto in modo molto più efficiente rispetto ad una semplice rappresentazione grafica 2D; infatti, il modello non contiene solo l'informazione grafica 2D e 3D ma permette di avere sotto controllo tutte le informazioni dell'edificio da molteplici punti di vista (ad esempio: architettonico, strutturale, impiantistico, energetico, economico) ed estrarne al bisogno le informazioni necessarie.

Una caratteristica fondamentale del BIM è l'interoperabilità, ovvero la possibilità di integrare in un progetto centralizzato elementi e informazioni provenienti da discipline, competenze, professionalità e strumenti software diversi.

Nello stesso modello tridimensionale, composto da elementi parametrici, può trovare spazio anche il contributo di altre discipline, come quelli formulate da ingegneri strutturisti, impiantisti, interior designer e altri professionisti, anche se non tutti utilizzano le stesse applicazioni software.

È facile comprendere come uno dei vantaggi più grandi di questa metodologia sia un approccio collaborativo [4]

Ciò non solo riduce il carico di lavoro, ma soprattutto riduce la possibilità di errori, indipendentemente dal fatto che tutti stiano lavorando con un modello più ricco di informazioni rispetto ad un classico modello 2D o 3D.



Figura 2: Potenziali informazioni contenute in un processo BIM [5]

1.1 Differenze fra CAD e BIM

Le differenze tra il modello CAD e il modello BIM sono molteplici, il secondo infatti rivoluziona il modo di approcciarsi al progetto.

I software CAD si limitano a digitalizzare il tradizionale disegno su carta in due e tre dimensioni; possiamo immaginare questo modello come un tecnigrafo digitale che crea elementi grafici come linee, cerchi, riempimenti, scritte con il fine di riprodurre un disegno virtuale sul quale sarà possibile apportare modifiche o crearne delle copie.

I disegni CAD vanno trattati come veri e propri disegni su carta; i disegni sono singoli ed indipendenti, le piante, le sezioni, i prospetti o particolari costruttivi andranno disegnati uno ad uno.

Ad ogni modifica, anche di un singolo elemento nel progetto, consegue una verifica manuale su tutti gli elaborati del progetto col fine di apportare le correzioni in tutte le tavole necessarie. Infatti, durante la progettazione di un edificio/struttura solitamente si eseguono diverse modifiche dovute a svariati fattori provocando così la necessità di revisione a cui corrispondono un alto dispendio di tempo e, conseguentemente, un costo.

In caso di modifica anche tutti i documenti correlati come computo metrico dei materiali, sicurezza, costi e cronoprogramma dovranno essere rivisti comportando un ulteriore dispendio di tempo.

I software BIM invece funzionano in modo completamente diverso; durante la modellazione non si modellano elementi geometrici di base ma si modellano elementi di costruzioni effettivi, come ad esempio: muri, finestre, solai, pilastri, isolamenti, tubazioni, cavi elettrici.

Tutti questi elementi nel software sono chiamate 'famiglie di oggetti'; generalmente i software hanno già preimpostate delle famiglie di base. Nel caso in cui si avesse bisogno di elementi specifici come un muro con un isolamento particolare o una porta specifica è sempre possibile crearsi la famiglia e attribuire tutte le informazioni.

Infatti, ogni elemento delle famiglie avrà attribuite delle informazioni specifiche come ad esempio: materiale, dimensioni, caratteristiche tecniche, colore, prezzo, coefficiente di prestazione termica [6].

Tutti i dati, quindi, sono memorizzati su un modello centrale; questo comporta che tutte le modifiche apportate ad esso ricadano anche su tutte le viste e i disegni: non sarà quindi più necessario rimodellare tutte le viste ogni qualvolta si applica una modifica nel modello centrale [7].

1.2 La normativa italiana inerente alla tecnologia BIM

Il BIM si sta sviluppando in modo significativo anche sul territorio nazionale italiano, questo grazie soprattutto all'introduzione di una nuova legislazione (DM 560/2017) e una normativa tecnica (UNI 11337).

La norma UNI 11337 è stata emanata dall'ente italiano di riferimento con il compito di stabilire un riferimento per l'utilizzo della tecnologia BIM nei confini nazionali; la norma 'Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni' è suddivisa in 10 parti ben distinte dove viene spiegato l'approccio corretto al BIM [8].

La norma è così suddivisa [9]:

- **Parte 1:** Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi
- **Parte 2:** Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi
- **Parte 3:** Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione delle informazioni tecniche per i prodotti da costruzione (Schede informative digitali per prodotti e processi)

- **Parte 4:** Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti
- **Parte 5:** Flussi informativi nei processi digitalizzati
- **Parte 6:** Linea Guida per la redazione del capitolato informativo
- **Parte 7:** Requisiti di conoscenza, abilità e competenza per le figure coinvolte nella gestione digitale dei processi informativi
- **Parte 8:** Organizzazione delle figure coinvolte nella gestione digitale dei processi informativi
- **Parte 9:** Contenuti informativi per i modelli di organizzazione, gestione e monitoraggio del cantiere
- **Parte 10:** Formazione e qualificazione professionale per la gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni

1.2.1 Le figure del BIM

La norma UNI 11337 nella parte 7 riconosce delle nuove figure presenti in un contesto BIM:

- **BIM Specialist**

È l'operatore che si occupa della gestione e della modellazione informativa, agisce all'interno delle singole commesse ed opera tramite determinate procedure digitalizzate attraverso la modellazione a oggetti. Rappresenta il soggetto che possiede la capacità operativa sulle funzionalità di specifici applicativi ed è in grado di tradurre e di trasferire in termini digitali le competenze disciplinari, collaborando attivamente con gli altri Specialist disciplinari stessi e a supporto del BIM coordinator. Inoltre, analizza i principali contenuti del capitolato informativo e del piano di gestione informativa per operare in accordo con essi; esegue alcune verifiche preliminari sul modello informativo e contribuisce alla validazione della consistenza informativa dei singoli oggetti.

- **BIM Coordinator**

È il coordinatore dei flussi informativi di commessa, opera secondo le indicazioni del BIM Manager come garante dell'efficienza e dell'efficacia dei processi digitalizzati. Rappresenta il soggetto che esamina o concorre a redigere il capitolato informativo e il piano di gestione informativa, a seconda del caso, e configura i flussi di lavoro digitale all'interno dell'ambiente di condivisione dei dati. È inoltre la figura responsabile dell'identificazione e gestione delle interferenze nei singoli modelli di competenza e tra i modelli informativi disciplinari attraverso il modello informativo federato, così come della verifica di conformità e coerenza di quest'ultimo.

• BIM Manager

È il gestore dei processi digitalizzati. A livello dell'organizzazione coordina la digitalizzazione dei processi adottati definendo le regole e le procedure per la gestione informativa, la strutturazione dei modelli e degli ambienti di collaborazione, e i modelli di configurazione dei flussi di lavoro che il BIM Coordinator deve mettere in atto. È il soggetto preposto a valutare le prestazioni raggiunte proponendo, quando necessario, azioni preventive e correttive, oltre a curare la cultura e l'operatività digitale all'interno dell'organizzazione attraverso l'aggiornamento periodico delle linee guida aziendali sulla gestione informativa. A livello generale supervisiona le commesse in corso e, a livello della singola commessa, si occupa di formalizzare gli aspetti contrattuali e di redigere il capitolato informativo, l'offerta di gestione informativa o il piano di gestione informativa, a seconda del ruolo assunto dall'organizzazione nella commessa.

• CDE Manager

È il gestore dell'ambiente di condivisione dei dati (acDAT), si occupa di relazionare i contenuti informativi dei modelli con altri dati (digitali o digitalizzati successivamente) gestendone lo scambio e l'archiviazione allo scopo di assicurare l'univocità, la tracciabilità, la coerenza e l'interoperabilità delle informazioni. Rappresenta il soggetto responsabile della correttezza e tempestività dei flussi informativi, oltre che della protezione delle informazioni e della proprietà intellettuale delle stesse, in accordo con la strategia definita dal BIM Manager [9]

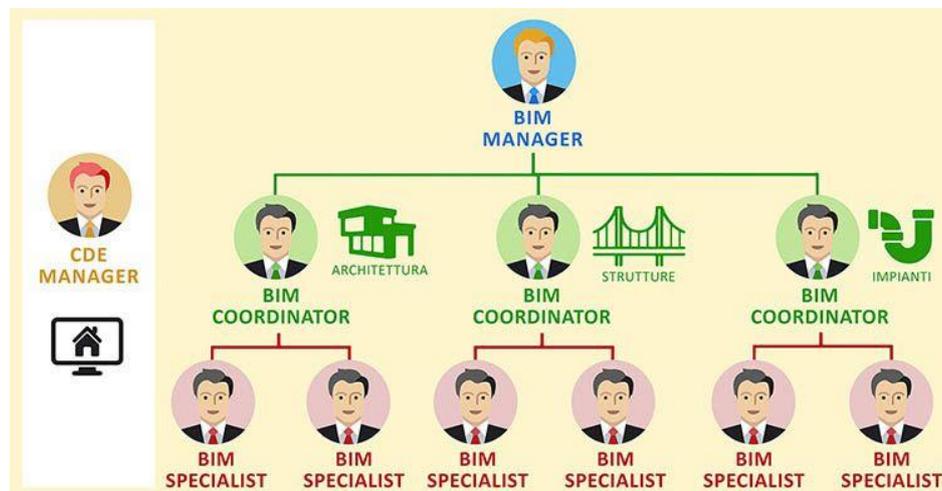


Figura 3: Le figure principali in un processo BIM [10]

1.3 Obbligo dell'utilizzo della tecnologia Bim negli appalti pubblici:

Il decreto Baratonno (DM 560/2017) introduce l'obbligatorietà del BIM negli appalti pubblici

Il presente decreto, in attuazione dell'articolo 23, comma 13, del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, "definisce le modalità e i tempi di progressiva introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche".

L'art.6 inserisce l'uso obbligatorio, da parte delle stazioni appaltanti, del BIM, ovvero "dei metodi e degli strumenti elettronici di cui all'articolo 23, comma 1, lettera h), del codice dei contratti pubblici secondo la seguente tempistica[11]

- 1° gennaio 2019: per i lavori complessi di importo pari o superiore a 100 milioni di euro;
- 1° gennaio 2020: per i lavori complessi di importo pari o superiore a 50 milioni di euro;
- 1° gennaio 2021: per i lavori complessi di importo pari o superiore a 15 milioni di euro;
- 1° gennaio 2022: per le opere di importo pari o superiore alla soglia (art. 35 del codice dei contratti pubblici);
- 1° gennaio 2023: per le opere di importo pari o superiore a 1 milione di euro;
- 1° gennaio 2025: per le opere di importo superiore a 1 milione di euro.

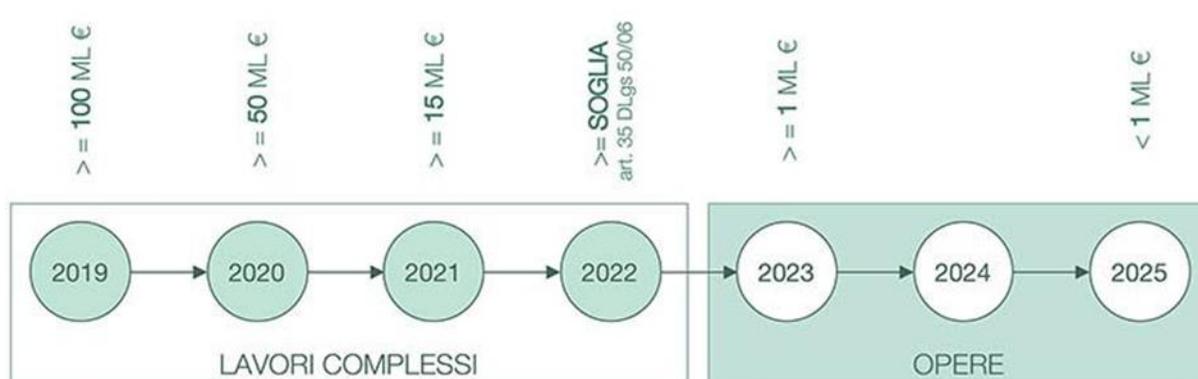


Figura 4: Elenco delle soglie e degli importi per l'obbligo della tecnologia BIM [29]

1.4 BIM e sicurezza nei cantieri edili

Il BIM si occupa di tutte le fasi della progettazione di un edificio; esso comprende anche la parte della gestione della sicurezza in un cantiere edile, offrendo numerosi strumenti per la prevenzione dei rischi presenti in cantiere.

La realizzazione, infatti, di un modello BIM del cantiere permette di gestire al meglio le varie fasi del cantiere e quindi concentrarsi nell'adottare le misure di prevenzione e protezione corrette per ogni singola fase lavorativa.

Avendo inoltre la possibilità di avere un modello 3D del sito ispezionabile in ogni singolo punto risulta più facile la vista del possibile punto critico o luogo pericoloso rendendo così visibile e chiara già in fase di progettazione la prospettiva di tutti i possibili rischi presenti in cantiere.

Anche la possibilità di avere delle sequenze costruttive visibili e chiare rende più veloce e rapida l'individuazione dei rischi durante i passaggi di fase.

L'individuazione dei rischi risulta così predittiva evitando di arrivare in cantiere impreparati ed essere più coscienti dei rischi rilevati; infatti, sarà ad esempio possibile effettuare una formazione specifica mirata sui rischi maggiormente presenti in cantiere.



Figura 5: Layout di cantiere in ambiente BIM [30]

Nel modello BIM inoltre sarà possibile includere il layout di cantiere, il posizionamento degli accessi in modo da gestire al meglio gli ingressi al cantiere ed evitare possibili interferenze o problemi futuri di viabilità interna o mancanza di spazio per lo stoccaggio materiali e rifiuti.

Il BIM inoltre può essere utilizzato per la gestione del posizionamento dei dispositivi di protezione come ad esempio parapetti, reti anticaduta, linee vita e ancoraggi [12].

Capitolo 2: L'utilizzo dei portali in Cloud per la gestione dei documenti della sicurezza

2.1 Che cosa sono i portali Cloud?

I portali in Cloud rappresentano un metodo di archiviazione documentale digitale sempre più utilizzato da aziende e professionisti, essi infatti permettono l'archiviazione di file e contenuti in modo facile, sicuro e sempre a disposizione a patto di avere una connessione a internet.

Anche nel settore della sicurezza di cantiere questa tecnologia si sta diffondendo in modo rapido; avere infatti un portale online dove organizzare tutti i documenti di tutto il personale presente in cantiere e di tutte le attrezzature rappresenta un enorme vantaggio sia per le imprese sia per le varie figure professionali preposte alla sicurezza.

Questi ultimi potranno così accedere a tutta la documentazione relativa ai lavoratori presenti in cantiere e alle attrezzature in modo rapido. Anche in caso di un controllo da parte in un ente di controllo i portali in cloud facilitano il ritrovamento di tutti i documenti ed evitano possibili smarrimenti [13].



Figura 6: Struttura di un portale in Cloud [31]

2.2 Vantaggi e limitazioni dei portali in cloud

La gestione documentale online offre un modo sicuro per creare collaborazione e condivisione di conoscenza tra le persone in locazioni distinte.

I colleghi in ufficio, così come quelli che lavorano da remoto dalla propria abitazione o da uffici esterni, possono accedere ai documenti condivisi in tutta sicurezza in modo rapido ed efficiente.

I portali della sicurezza online offrono un controllo ed una gestione documentale sicuramente più efficiente rispetto all'archiviazione cartacea; essi permettono un controllo delle presenze dei lavoratori e del personale più efficiente, permettono di tenere sotto controllo il personale presente in cantiere, un facilitato riconoscimento degli stessi ed un immediato controllo di eventuali documenti scaduti, tramite infatti degli appositi algoritmi i portali sono in grado di sapere, inserendo la data di emissione di un certo documento, la sua scadenza tenendo così monitorato la scadenza di tutta la documentazione.

I portali in Cloud forniscono anche all'impresa che lo utilizza un vantaggio interno, essi infatti ricordano all'utente la scadenza di tutti i documenti inviando anche delle notifiche push e degli avvisi tramite mail quando è necessaria un'integrazione di qualche documento.

Capitolo 3: L'intelligenza artificiale e la realtà virtuale per la sicurezza in cantiere

3.1 L'intelligenza artificiale

L'implementazione dell'intelligenza artificiale (AI) nella sicurezza dei cantieri rappresenta un'opportunità per migliorare la sicurezza sul luogo di lavoro, prevenire incidenti ed eventuali infortuni e abbassare notevolmente il rischio [14]

3.1.1 Telecamere intelligenti per il controllo degli accessi in cantiere

In tutti i cantieri edili è fondamentale avere un controllo degli accessi, infatti è severamente vietato l'ingresso in cantiere del personale non autorizzato, questo perché il cantiere è un ambiente ricco di rischi ed un civile che non conosce tali rischi può andare incontro a situazioni veramente pericolose.

È bene quindi avere traccia di tutte le persone presenti in cantiere e di tutti gli accessi in modo da essere sicuri che nessuna persona non autorizzata entri in cantiere. L'AI può aiutare ad esempio a controllare le presenze in cantiere tramite telecamere intelligenti, capaci di riconoscere il personale e i mezzi in cantiere e avvisare chi necessario se sono stati rilevati accessi non consentiti.

Queste telecamere dovranno essere collocate in punti strategici, con ampia visibilità e con l'inquadratura che riprenda gli ingressi di cantiere.

Si cita ad esempio la telecamera PTZ di wiz sense di Figura 7, che grazie ad un'implementazione con l'AI, riesce a riconoscere le persone, emettere avvisi e notifiche in caso di ingresso di personale non autorizzato e con anche la funzione di avviso in caso di ingresso in zone interdette.



Figura 7: Telecamera di Alhwa che sfrutta l'intelligenza artificiale per riconoscere soggetti [15]

Può essere infatti possibile che in un cantiere ci siano zone a maggiore rischio che possono essere attraversate solo da pochi lavoratori autorizzati.

Queste telecamere permettono di mettere delle barriere virtuali che, se superate, emettono suoni o avvisi sullo smartphone dedicato [16].

3.1.2 Telecamere intelligenti per la prevenzione incendi

Per prevenire incendi nei cantieri, soprattutto quelli ad alto rischio dove vi sono sostanze particolarmente infiammabili o zone con possibili perdite di gas infiammabile, oppure macchinari che producono fiamme libere o macchinari che potrebbero prendere fuoco, si possono utilizzare delle apposite telecamere [17].

Il calore di un oggetto si irradia verso l'esterno sotto forma di radiazioni infrarosse e viene catturato dalla termocamera. La videocamera poi converte la radiazione infrarossa in scala di grigio e vengono generate immagini dalla differenza di tonalità di grigio di ogni oggetto.

Questo permette un continuo monitoraggio 24h su 24h anche in assenza di illuminazione o in condizioni di nebbia e scarsa visibilità.

Si citano in esempio la telecamera Speed dome termica ibrida IP della linea alhwa riportata in Figura 8.



Figura 8: Telecamera termica in grado di riconoscere fonti di calore [15]

Come per le telecamere ottiche, anche le telecamere termiche sfruttano l'AI per analizzare gli eventi rilevati, ignorando le situazioni di normale calore (come ad esempio una saldatura), e, invece, segnalando tempestivamente le situazioni di elevato rischio come veri incendi o fiamme libere[18].

3.2 Formazione con la realtà virtuale

In Italia, è obbligatorio che ogni lavoratore riceva una formazione generale e specifica prima di cominciare a lavorare. I corsi possono comprendere sia elementi teorici che pratici. Recentemente, sono stati introdotti sul mercato vari prodotti avanzati, come la realtà virtuale (RV), progettati per migliorare l'efficacia e l'interattività della formazione. Queste tecnologie stanno diventando sempre più comuni, con prodotti standardizzati che sono accessibili economicamente. In futuro, ci si potrebbe orientare verso programmi formativi personalizzati per rispondere alle specifiche esigenze di ogni settore.

Le tecnologie digitali emergenti, come il BIM, possono facilitare l'implementazione di corsi e sessioni formative per la sicurezza nei cantieri edili. L'integrazione di queste nuove tecnologie permetterà di affrontare molte sfide, rendendo la formazione più efficace, coinvolgente e inclusiva. Ad esempio, consentirà di fornire la formazione direttamente nella lingua madre dei partecipanti, migliorando l'accessibilità e la comprensibilità per tutti. Inoltre, l'esperienza pratica è stata dimostrata come il metodo più efficace per favorire il processo di apprendimento.

Capitolo 4: Dispositivi IoT e wearable device per la salute dell'operatore durante le lavorazioni in cantiere

I sistemi IoT comprendono una serie di dispositivi che comunicano con il cloud attraverso una qualsiasi forma di connessione [22].

Una volta che i dati hanno raggiunto il cloud, il software li elabora e decide se compiere o meno una determinata azione o se avvertire tramite un allarme.

4.1 Dispositivi Wearable

Nella sicurezza nei cantieri possono essere implementati i wearable device, dispositivi indossabili, simili ad accessori comunemente usati come orologi, anelli, collane.

I "dispositivi indossabili" possono includere caschi, giacche, scarpe, guanti o cinture intelligenti. Questi strumenti tracciano i movimenti, l'ingresso in aree pericolose, le cadute, il calore e le emissioni nocive. Successivamente inviano le informazioni alla piattaforma tramite il proprio smartphone o altro dispositivo mobile.

I Dispositivi di protezione individuale (DPI) intelligenti possono anche monitorare la salute dei lavoratori controllando alcuni parametri fisiologici di una persona, come la frequenza cardiaca, la temperatura corporea o la saturazione di ossigeno nel sangue[19].



Figura 9: Dispositivo di tipo uomo a terra indossabile [32]

Capitolo 5: Il futuro della prevenzione per i rischi dovuti alla movimentazione manuale dei carichi (MMC)

5.1 Che cos'è la movimentazione manuale dei carichi (MMC)?

Nell'articolo 167 del D.Lgs. 81/2008, per movimentazione manuale dei carichi (MMC) si intendono:

“le operazioni di trasporto o di sostegno di un carico ad opera di uno o più lavoratori, comprese le azioni del sollevare, deporre, spingere, tirare, portare o spostare un carico, che, per le loro caratteristiche o in conseguenza delle condizioni ergonomiche sfavorevoli, comportano rischi di patologie da sovraccarico biomeccanico, in particolare dorso-lombari” [20]

Nel settore edile questo rischio è presente in modo significativo; infatti, i lavoratori si ritrovano spesso a sollevare e/o trasportare carichi pesanti e ad utilizzare attrezzi pesanti per molto tempo compiendo sforzi ripetitivi.

L'attività di movimentazione risulta molto diversificata, in base al tipo di movimento, alla tipologia del carico.

I dati che mette a disposizione la campagna europea di informazione sulla 'movimentazione manuale dei carichi' sottolineano alcuni dati preoccupanti [21]:

- -il 24% dei lavoratori soffre di mal di schiena
- -il 22% soffre di disturbi muscolari
- -il 50% dei pre-pensionamenti sono causati da patologie legate alla schiena
- -il 15% dei casi di inidoneità al lavoro è collegato con lesioni alla schiena

5.2 Come l'innovazione tecnologica può ridurre le patologie legate alla MMC

Per mitigare il rischio di sviluppare patologie legate alla MMC la tecnologia mette a disposizione dei lavoratori dispositivi robotici indossabili di tipo esoscheletrico, finalizzati al supporto della movimentazione di carichi.

Nel mondo edile il potenziamento umano è una tecnologia che può aiutare molto il lavoratore in cantiere riducendo l'affaticamento muscolare ed evitando possibili problematiche dovute al sovraccarico biomeccanico.

L'esoscheletro è una struttura esterna indossata da un operatore che ne aumenta la forza e le capacità fisiche, essi possono essere di tipo attivo (quindi motorizzati) o passivi se non dispongono di alcun tipo di motore, esso mira a ridurre al minimo lo sforzo e le lesioni derivate da varie attività fisiche e lavorative più faticose. Questi dispositivi sono sempre più adottati in ambiti lavorativi in svariati settori come l'edilizia, la produzione, la logistica.

Esistono esoscheletri con telaio meccanico duro ed esoscheletri morbidi che si affidano al sistema muscolo-scheletrico dell'uomo per trasferire le forze dagli attuatori indossati sul corpo, solitamente sono azionati da un motore o da una pressione idraulica con meccanismi meccanici di adeguata rigidità per sostenere il carico da sforzo della persona che lo indossa.

Essi godono di una gran facilità d'utilizzo e di un ottimo comfort nelle indossabilità.

I sistemi di esoscheletro sono separati per gambe, schiena e spalle, e anche una versione completa della tuta robotica.

In Figura 10 è riportato l'esoscheletro EXO-S (esoscheletro da spalla).



Figura 100: Esoscheletro Hilti Eso X [39]

Questo esoscheletro è un dispositivo indossabile il cui obiettivo è quello di ridurre l'affaticamento della spalla quando si compiono lavori manuali sopra il livello delle spalle.

Questi strumenti molto tecnologici stanno rivoluzionando il mondo delle lavorazioni manuali in quanto forniscono un grande supporto fisico, riducendo l'affaticamento dei lavoratori e migliorando notevolmente la sicurezza sul luogo di lavoro evitando infortuni e malattie professionali che potrebbero insorgere nel tempo [22].

Capitolo 6: Una nuova tecnologia per ridurre il danno dalle cadute dall'alto

Nel mondo edile il rischio di caduta dall'alto è un rischio molto presente, soprattutto nel cantiere dove spesso i lavoratori si ritrovano a lavorare in quota, su dei ponteggi, su delle scale.

Negli ultimi anni diverse aziende di fama internazionale e start-up stanno lavorando per fornire un'ulteriore sicurezza ai lavoratori che operano in quota.

Ispirandosi alle corse motociclistiche la casa italiana Dainese ha brevettato grazie alla start-up D-air Lab uno tra i primi airbag contro le cadute dall'alto riconosciuto come DPI.



Figura 111: Situazioni in cui il dispositivo Work-air di Dainese può essere utilizzato [23]



Figura 122: Dispositivo Work-air, Il DPI di 3° Categoria per la protezione dalle cadute dall'alto [23]

Capitolo 7: L'HUB dell'Innovazione

Durante il percorso del corso di laurea è previsto dal piano di studi per tutti gli studenti un tirocinio. Nel caso di specie è stato svolto in IMPREDIL s.r.l , azienda con sede a Vigonza in provincia di Padova. Questa impresa ha preso parte ad una gara d'appalto per la realizzazione del nuovo complesso di Ingegneria situato in Via Niccolò Tommaseo a Padova.

7.1 Oggetto dell'intervento

Il progetto consiste nella realizzazione del nuovo stabile di Ingegneria, il committente è l'Università degli studi di Padova. Il complesso dovrà ospitare i nuovi studenti di Ingegneria a partire dal secondo semestre dell'anno accademico 2024-2025.

Una delle sfide più grandi di questa grande costruzione sarà la capacità delle imprese di completare l'opera in un tempo molto ristretto, risulta quindi fondamentale un'impeccabile organizzazione del cantiere.

Bisognerà prestare particolare attenzione agli spazi ridotti di cantiere sia per la movimentazione sia per lo stoccaggio materiali.



Figura 133: Inquadramento geografico lotto di costruzione del nuovo HUB dell'innovazione [24]

7.2 Inquadramento dell'Intervento

Il cantiere si trova in via Nicolò Tommaseo a Padova nel quartiere del polo fieristico, esattamente tra il padiglione 7 e il padiglione 2. L'area è di grande interesse pubblico, la zona risulta infatti particolarmente strategica. L'HUB disterà dieci minuti di camminata dalla stazione ferroviaria di Padova. È presente una fermata dell'autobus di fronte al sito; questo lo rende un luogo facilmente raggiungibile con i mezzi pubblici.

Come si può notare dalla mappa geografica in Figura 13, il luogo d'interesse risulta in una zona particolarmente centrale, dista infatti circa 2 km in linea d'aria da Prato della valle e circa 800 metri in linea d'aria dalla stazione di Padova.



Figura 14: Lotto d'interesse [24]

Il nuovo Hub di ingegneria si andrà ad insediare tra il padiglione 1 e il padiglione 7 del polo fieristico di Padova, zona di grande interesse anche per turisti che partecipano agli eventi fieristici.

7.3 Caratteristiche progettuali

L'edificio è realizzato in legno, utilizzando la tecnologia a travi e pilastri in legno lamellare, pareti e solai in X-LAM, solai a cassoni, questa scelta progettuale diminuisce di molto i tempi di costruzione in quanto l'edificio risulta prefabbricato.

L'elevata prefabbricazione permette di ridurre notevolmente i tempi di costruzione, ogni giorno in cantiere arrivano circa due carichi di legno (tra solai e pareti).

Avendo uno spazio di stoccaggio materiale abbastanza ridotto è fondamentale la coordinazione tra l'organizzazione dei trasporti ed il montaggio della struttura. L'obiettivo è quello di montare durante la giornata lavorativa i carichi del giorno stesso, arrivando così a fine serata con il piazzale di scarico materiale vuoto in modo da essere pronti ad aspettare il carico successivo del giorno seguente.

Le superfici del nuovo Hub di ingegneria saranno le seguenti:

- Superficie coperta: 2.055 mq
- SLP piano terra: 1.946 mq
- SLP piano primo: 1.829 mq
- SLP piano secondo: 2.018 mq
- SLP piano terzo: 1.869 mq
- SLP totale: 7.664 mq
- Altezza edificio: 19,85 m
- Volume lordo edificio: 40 053 mc

La fondazione realizzata è di tipo a platea realizzata in calcestruzzo. È stata realizzata nel periodo di febbraio 2024 in 2 getti rispettivamente di 450 e 1550 mc; nella platea sono stati successivamente realizzati dei cordoli in calcestruzzo dove sono poi state posizionate delle travi in acciaio zincato che hanno la funzione di ancoraggio alla struttura in X-LAM.

L'edificio è studiato in modo da essere diviso in compartimenti, lo spazio connettivo risulta essere diviso in due, piano terra e piano primo e piano secondo e terzo. Il solaio che divide i due compartimenti sarà certificato EI60.

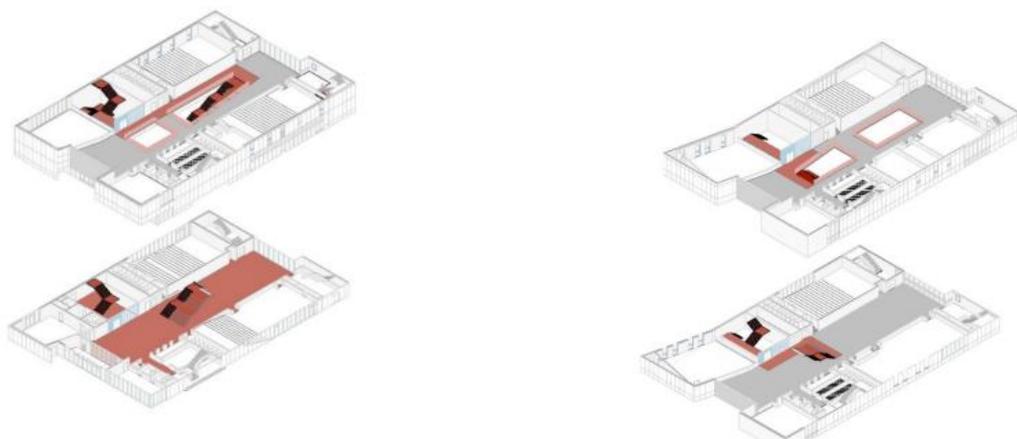


Figura 145: Compartimenti principali presenti all'HUB di Ingegneria

7.4 Un edificio sostenibile

Il nuovo Hub di Ingegneria sarà un edificio che mirerà ad essere il meno impattante possibile sull'ambiente; infatti, come previsto nella carta degli impegni di sostenibilità 2018-2022, l'Ateneo intende ridurre la propria impronta carbonica e i consumi. Il nuovo edificio dovrà perciò garantire elevati standard di sostenibilità e ottime prestazioni energetiche. Inoltre, il committente ha deciso che l'edificio dovrà essere progettato e costruito secondo gli standard della certificazione LEED, in particolar modo il grado LEED PLATINUM.

7.4.1 La certificazione ambientale LEED

La certificazione energetica LEED (acronimo di Leadership in Energy and Environmental Design) è un sistema di certificazione americano su base volontaria che si occupa della progettazione e costruzione dell'edificio in modo sostenibile in tutte le fasi del processo.

La certificazione LEED è stata fondata dal U.S Green Building Council (USGBC), un'associazione no profit fondatrice della rete WorldGBC.

Il processo di progettazione e costruzione di un edificio LEED deve includere strategie e tecnologie avanzate, affidandosi anche ad esperti per cercare di realizzare un edificio il più possibile sostenibile.

Gli obiettivi su cui si basa il LEED sono i seguenti:

- Invertire il cambiamento climatico globale;
- Migliorare il benessere umano;
- Proteggere e ripristinare le risorse idriche;
- Proteggere e accrescere la biodiversità del sistema;
- Promuovere l'utilizzo di materiali sostenibili e riciclabili;
- Costruire un'economia verde;
- Aumentare l'equità sociale, la giustizia ambientale, la salute e la qualità della vita della comunità.

I principali obiettivi su cui si basa il LEED mirano a definire uno standard comune per la definizione di edificio green.

LEED si impegna ad evitare gli sprechi di risorse promuovendo le strategie rinnovabili, minimizzando gli impatti ambientali negativi e offrendo un'elevata qualità dell'ambiente interno per gli occupanti [25].

7.4.2 Il protocollo LEED V4

Il protocollo LEED v4 è l'ultimo protocollo entrato in vigore da Novembre 2016, esso differenzia i sistemi di classificazione in base alla tipologia di progetto:

- **Building Design + Construction (BD+C):** per scuole o strutture commerciali, hotel, magazzini, centri di distribuzione, ospedali: comprese nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti
- **Building Operations + Maintenance (O+M)** si riferisce agli edifici esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni. Si riferisce a proprietà educative, commerciali, alberghiere, magazzini o centri di distribuzione
- **Interior Design + Construction (ID+C):** adatto per hotel o industrie di vendita al dettaglio e coinvolge l'arredamento di interni
- **Homes:** si riferisce alle abitazioni, case unifamiliari e piccoli condomini
- **Neighborhood Development (ND):** è riferito ai nuovi quartieri e a nuovi sviluppi quartieristici [26].

7.4.2 Il sistema di certificazione

Un edificio per ottenere la certificazione LEED deve misurare le proprie prestazioni secondo alcuni criteri suddivisi per categorie di appartenenza.

Le categorie del protocollo LEED v4 sono otto [27]:

1. **Location and Transportation:** la posizione dell'edificio è influenzata da molti fattori ambientali, come l'uso di energia, l'utilizzo e la conservazione del suolo, la gestione delle acque piovane e l'accesso al trasporto pubblico. È vantaggioso scegliere un sito in una zona già edificata per mantenere l'ambiente naturale esistente e sfruttare le infrastrutture, i servizi della comunità e il trasporto pubblico già disponibili. Il progetto deve consentire l'utilizzo di mezzi alternativi all'auto, ad esempio, creando parcheggi per le biciclette e costruendo un edificio vicino a una pista ciclabile, oppure creando parcheggi speciali per veicoli verdi.
2. **Sustainable Sites:** premia le decisioni riguardanti l'ambiente che circondano l'edificio, con crediti per il ripristino degli elementi presenti nel sito, l'integrazione del sito con l'ecosistema locale e regionale e la conservazione della biodiversità dei sistemi naturali. Si deve ridurre l'inquinamento da costruzione, isola di calore e luminoso.
3. **Water Efficiency:** focalizza l'attenzione sull'utilizzo dell'acqua utilizzando l'approccio "efficienza prima" per ridurre il consumo di acqua potabile e incentivare l'utilizzo di

acqua non potabile. La categoria è composta da tre elementi principali: l'uso dell'acqua indoor, l'acqua per irrigazione e le misurazioni dell'acqua.

4. **Energy and Atmosphere:** riguarda la riduzione del consumo di energia e l'utilizzo di metodi efficaci e risorse rinnovabili. La scelta dell'orientamento corretto e dell'involucro opaco e trasparente è il primo passo verso l'efficienza energetica di un edificio verde. Poi si scelgono metodi per ottimizzare l'utilizzo delle risorse e garantire il soddisfacimento dei setpoint termici.
5. **Materials and Resources:** pone l'accento sull'efficienza energetica e sugli effetti dell'estrazione, del trattamento, del trasporto, della manutenzione e dello stoccaggio dei materiali. Un approccio del tipo ciclo vita, che migliora le prestazioni e aumenta l'efficienza delle risorse, è supportato dai crediti.
6. **Indoor Environmental Quality:** pone l'accento sull'efficienza energetica e sull'impatto dei processi di estrazione, trattamento, trasporto, manutenzione e stoccaggio dei materiali. Il credito supporta un approccio del tipo ciclo vita che migliora le prestazioni e aumenta l'efficienza delle risorse.
7. **Innovation:** permette l'utilizzo di nuove tecnologie e strategie o l'applicazione di altre strategie che non sono contenute nei crediti LEED e consente una valutazione della sostenibilità.
8. **Regional Priority:** pone l'attenzione sui problemi locali per incoraggiare i team a dare la priorità alle questioni ambientali.

I progetti devono soddisfare un certo numero di prerequisiti minimi (MPR, Minimum Program Requirements).

Ciascuna categoria ha dei prerequisiti che devono essere soddisfatti e non servono per ottenere punti.

Per cominciare, ogni progetto LEED deve iniziare verificando che tutti i requisiti siano soddisfatti. Poi, per ottenere punti, è necessario soddisfare i crediti relativi alle categorie sopra elencate, che descrivono ognuna un aspetto distinto della sostenibilità. Ogni progetto può ottenere i crediti che desidera per raggiungere il livello di certificazione desiderato; i crediti sono disponibili a discrezione. Questo aggiunge un altro vantaggio della certificazione LEED, poiché non obbliga a rispettare tutti i crediti elencati nel protocollo, ma consente a ogni progetto di scegliere la combinazione migliore per raggiungere i requisiti.

Il sistema di classificazione LEED è basato su una scala di 100 punti con 10 punti addizionali, per un totale massimo di 110 punti.

In base al livello di punteggio finale ottenuto, possono essere ottenuti quattro diversi livelli di certificazione LEED:

- Certified: 40-49 punti
- Silver: 50-59 punti
- Gold: 60-79 punti
- Platinum: più di 80 punti.

Per concludere, tutti i progetti devono soddisfare tutti i requisiti minimi del programma, tutti i requisiti di ogni categoria e una combinazione di crediti che consentano di raggiungere il punteggio di certificazione previsto. Non ci sono punti uguali per ogni categoria; i punti più importanti dipendono dalla probabilità che quel credito abbia un impatto sull'ambiente e sulla salute umana.

Ad esempio, per il sistema LEED BD+C New Construction, i punti che si possono ottenere sono suddivisi come indicato nella Figura 16.

| LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation | | Project Name: |
|---|----------|---------------|
| Project Checklist | | Date: |
| Y | ? N | |
| 0 | 0 | 0 |
| Integrative Process | 1 | |
| 0 0 0 Location and Transportation 16 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| LEED for Neighborhood Development Location | 16 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Sensitive Land Protection | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| High Priority Site | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Surrounding Density and Diverse Uses | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Access to Quality Transit | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Bicycle Facilities | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Reduced Parking Footprint | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Green Vehicles | 1 | |
| 0 0 0 Sustainable Sites 10 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Construction Activity Pollution Prevention | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Site Assessment | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Site Development - Protect or Restore Habitat | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Open Space | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Rainwater Management | 3 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Heat Island Reduction | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Light Pollution Reduction | 1 | |
| 0 0 0 Water Efficiency 11 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Outdoor Water Use Reduction | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Indoor Water Use Reduction | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building-Level Water Metering | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Outdoor Water Use Reduction | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Indoor Water Use Reduction | 6 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Cooling Tower Water Use | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Water Metering | 1 | |
| 0 0 0 Energy and Atmosphere 33 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Fundamental Commissioning and Verification | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Minimum Energy Performance | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building-Level Energy Metering | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Fundamental Refrigerant Management | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Enhanced Commissioning | 6 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Optimize Energy Performance | 18 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Advanced Energy Metering | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Demand Response | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Renewable Energy Production | 3 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Enhanced Refrigerant Management | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Green Power and Carbon Offsets | 2 | |
| 0 0 0 Materials and Resources 13 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Storage and Collection of Recyclables | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Construction and Demolition Waste Management Planning | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building Life-Cycle Impact Reduction | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Building Product Disclosure and Optimization - Material Ingredients | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Construction and Demolition Waste Management | 2 | |
| 0 0 0 Indoor Environmental Quality 16 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Minimum Indoor Air Quality Performance | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Environmental Tobacco Smoke Control | Required | |
| 0 | 0 | 0 |
| Enhanced Indoor Air Quality Strategies | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Low-Emitting Materials | 3 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Construction Indoor Air Quality Management Plan | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Indoor Air Quality Assessment | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Thermal Comfort | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Interior Lighting | 2 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Daylight | 3 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Quality Views | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Acoustic Performance | 1 | |
| 0 0 0 Innovation 6 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Innovation | 5 | |
| 0 | 0 | 0 |
| LEED Accredited Professional | 1 | |
| 0 0 0 Regional Priority 4 | | |
| 0 | 0 | 0 |
| Regional Priority: Specific Credit | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Regional Priority: Specific Credit | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Regional Priority: Specific Credit | 1 | |
| 0 | 0 | 0 |
| Regional Priority: Specific Credit | 1 | |
| 0 0 0 TOTALS Possible Points: 110 | | |
| Certified: 40 to 49 points, Silver: 50 to 59 points, Gold: 60 to 79 points, Platinum: 80 to 110 | | |

Figura 16: I crediti LEED nel protocollo V4 BD+C [33]

Capitolo 8: Le innovazioni tecnologiche per la sicurezza presenti all'HUB dell'Innovazione

Il cantiere dell'Hub di Ingegneria è di fatto un cantiere innovativo e tecnologicamente avanzato, non solo dal punto di vista del sistema costruttivo ma anche per la gestione della sicurezza in cantiere. Il cantiere si distingue infatti per la sua attenzione alla sicurezza all'interno e all'esterno del cantiere.

Un'efficiente gestione documentale unita ad un efficiente controllo e ad un'impeccabile organizzazione di cantiere sono le basi per ottenere un cantiere sicuro ed efficiente.

8.1 Progettazione in BIM

L'intero edificio dell'Hub dell'innovazione è stato progettato utilizzando la tecnologia BIM sia per quanto riguarda la parte architettonica, sia per la parte meccanica ed elettrica.

Grazie all'uso di questa tecnologia che rende possibile una visione 3D dell'opera, suddivisa anche per fasi lavorative in relazione al cronoprogramma, l'individuazione dei rischi e delle situazioni potenzialmente pericolose risulta più precisa.

L'efficacia del BIM è stata constatata anche nel momento in cui sono state necessarie diverse misurazioni o conteggi di metri quadrati o metri cubi di materiali.

Ad esempio, grazie al BIM il conteggio dei metri quadri dell'isolamento in copertura è risultato quasi immediato.

Al contrario, utilizzando una tradizionale metodologia di disegno classica in Cad, si sarebbe impiegato una maggior quantità di tempo con una probabilità di effettuare errori maggiore.

Utilizzando programmi di visualizzazione di modelli ifc la visione del modello BIM risulta più facile e rapida.

8.2 Gestione documentale tramite portale in cloud, software cloundess

Per gestire i documenti del personale presente in cantiere si è optato per l'archiviazione documentale in cloud. L'archiviazione in cloud permette una gestione efficiente dei documenti permettendo ai responsabili per la sicurezza di controllare che il personale presente in cantiere sia autorizzato ad entrare in cantiere.

Nel caso dell'Hub di Ingegneria un soggetto esterno è stato incaricato nella gestione del portale.

Le imprese e le relative imprese subappaltatrici sono state fornite di apposite credenziali per poter effettuare l'accesso al portale e poter così caricare la documentazione.

8.2.1 Funzionamento del portale cloud

Il portale è di facile utilizzo; esso è composto da una pagina iniziale dove è presente un menù a tendina nel quale è possibile selezionare diverse opzioni.

Tra queste opzioni vi è la sezione cantieri dove sono presenti i diversi cantieri con le principali caratteristiche come il nome del committente e l'ubicazione del cantiere.

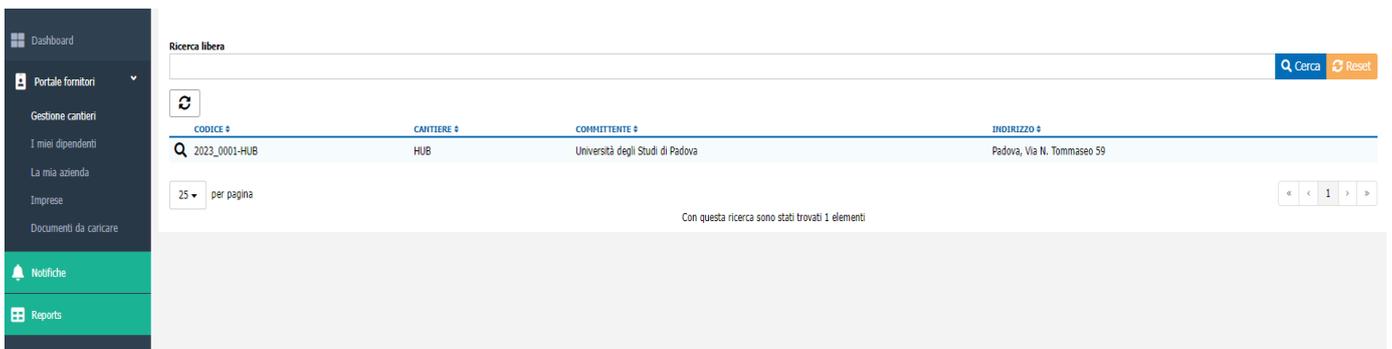


Figura 17: Home page del portale in Cloud "Cloudness" [34]

Cliccando sulla lente di ingrandimento vicino al codice identificativo del cantiere interessato si aprirà un menù dove sarà possibile visualizzare i documenti del cantiere come il Piano di Sicurezza e Coordinamento, il cronoprogramma delle lavorazioni e la planimetria di cantiere., etc.

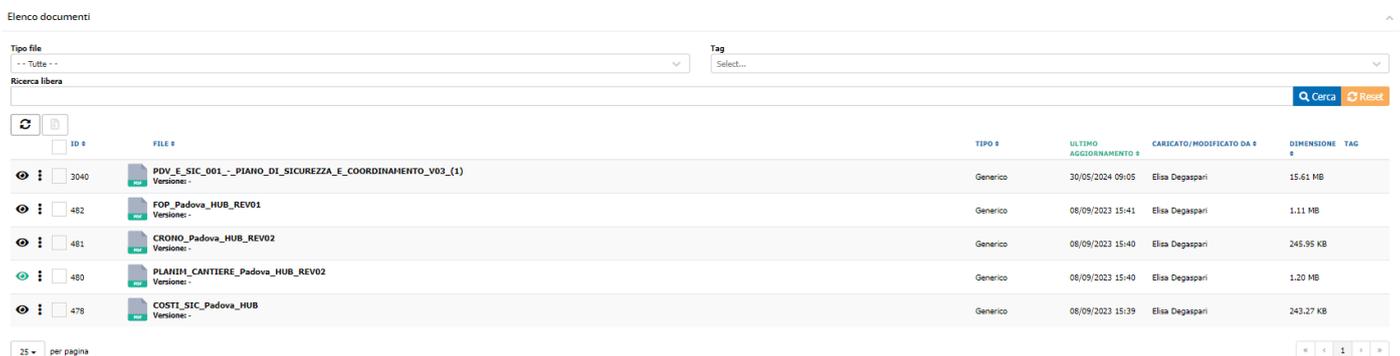


Figura 18: Visualizzazione dei documenti principali del Cantiere [34]

Sempre nella stessa schermata verso il basso verrà riportato l'elenco delle aziende presenti in cantiere o che dovranno accedervi.

Sono indicate tutte le imprese, specificando le imprese mandanti e quelle subappaltatrici.

| Q | IMPREDI S.R.L. P.Iva: 04197470281 Cod.Fiscale: 04197470281 Telefono: 0497423047 | IMPRESA MANDANTE | <input checked="" type="checkbox"/> | Partenenza completa |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Q | | IMPRESA ESECUTRICE | <input checked="" type="checkbox"/> | Publicato |
| Q | | LAVORATORE AUTONOMO | <input checked="" type="checkbox"/> | Publicato |
| Q | | IMPRESA ESECUTRICE | <input checked="" type="checkbox"/> | Documenti scaduti presenti |
| Q | | IMPRESA ESECUTRICE | <input checked="" type="checkbox"/> | Documenti scaduti presenti |
| Q | | LAVORATORE AUTONOMO | <input checked="" type="checkbox"/> | Publicato |

Figura 19: Visualizzazione delle imprese operanti in cantiere [34]

Già da questa schermata è possibile vedere se dovrà essere fatta qualche integrazione documentale in base al colore riportato a destra.

Il colore verde indica che tutti i documenti sono stati caricati correttamente, mentre il colore arancione significa che ci saranno alcune integrazioni da fare.

IMPREDIL S.R.L.

Convalida dei dati aziendali
I dati sono stati convalidati.

Ragione Sociale
IMPREDIL S.R.L.

Partita Iva: 04197470281 | Codice fiscale: 04197470281 | Telefono: 0497423047 | Cellulare: 340 80 88 476

E-mail: zabaoncola@impredi-costruzioni.it | Pec: impreddi@pec.impredi-costruzioni.it | Sito Web: | Fax: 0496226586

Indirizzo: Via Santa Lucia | Numero civico: 24

Nazione: Italia | Città: Padova | CAP: 35100 | Provincia: Padova

Richieste di Cantiere | Richieste d'impresa

Elenco richieste documentali di cantiere

Classe: -- Tutte -- | Tag: -- Tutte --

Ricerca libera

DOCUMENTO # | DATA RICHIESTA # | CONSEGNA ENTRO IL # | CARICATO IL # | DATA SCADENZA # | OBBLIGATORIO | ATTIVO | VALIDITÀ DOCUMENTO | STATO APPROVAZIONE

| | | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------|
| POB - Piano Operativo di Sicurezza (Cantiere HUB) Descrizione: POS - Piano Operativo di Sicurezza Classe: Sicurezza Tag: POS | 03/08/2023 | 08/08/2023 | 29/05/2024 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | data valida | publicato |
|---|------------|------------|------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------|

25 per pagina

Figura 20: Visualizzazione dei dati di una impresa [34]

Entrando la singola azienda è possibile vedere tutte le informazioni della stessa e tutti i documenti di sua competenza.

Scorrendo in basso nella pagina si possono visualizzare tutti i dipendenti dell'impresa con un'anteprima sulla validità dei documenti, vedere se i dipendenti sono stati assegnati o meno al cantiere, inoltre si può vedere l'eventuale data di fine rapporto.

Nome: LEONARDO
 Cognome: RABBI
 Codice fiscale: RBBLR002M035224D
 Matricola:
 Dipendente in distacco: Contratto: Dipendente
 Tipologia di contratto: Determinato Ruolo: -Selezione -
 Data inizio rapporto: 25/09/2023 Data fine rapporto: 31/12/2024

Cantieri in cui il dipendente lavora

Cantiere: -Seleziona -

CANTIERE #

HUB

HUB

25 per pagina

Figura 21: Visualizzazione dei dati anagrafici di un dipendente [34]

Aperto la singola posizione del dipendente è possibile avere tutte le informazioni necessarie come la tipologia di contratto, il cantiere di assegnazione e l'eventuale data di fine rapporto.

| DOCUMENTO # | DATA RICHIESTA # | CONSEGNA ENTRO IL # | CARICATO IL # | DATA SCADENZA # | OBBLIGATORIO | ATTIVO | VALIDITÀ DOCUMENTO | STATO APPROVAZIONE |
|--|------------------|---------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Attestato di formazione generale (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Attestato di Sicurezza Generale Lavoratori 4 ore Classe: Lavoratori Tag: FORMAZIONE | 12/10/2023 | 15/10/2023 | 12/10/2023 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |
| Attestato di formazione specifica (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Attestato di formazione specifica in materia di salute e sicurezza sul lavoro. In merito ai rischi specifici propri delle attività svolta Classe: Lavoratori Tag: FORMAZIONE | 12/10/2023 | 15/10/2023 | 06/11/2023 | 03/11/2028 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |
| Consegna dei DPI ai/l lavoratori/e (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Verbale di consegna dei DPI ai lavoratori/e Classe: Lavoratori Tag: DPI | 12/10/2023 | 17/10/2023 | 12/10/2023 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |
| Idoneità sanitaria (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Giudizio di idoneità alla mansione Classe: Lavoratori Tag: IDONEITÀ ALLA MANSIONE | 12/10/2023 | 17/10/2023 | 12/10/2023 | 03/10/2024 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |
| Tesserino di riconoscimento (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Tesserino di riconoscimento Classe: Lavoratori Tag: TESSERINO DI RICONOSCIMENTO | 12/10/2023 | 17/10/2023 | 12/10/2023 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |
| UNILAV (Dipendente LEONARDO RABBI) Descrizione: Comunicazione Obbligatoria Unificato Lavoratori Classe: Lavoratori Tag: UNILAV | 12/10/2023 | 17/10/2023 | 29/05/2024 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Data valida | Publicare |

25 per pagina

Con questa ricerca sono stati trovati 6 elementi

Figura 22: Visualizzazione dei corsi di formazione di un dipendente [34]

Sempre nella stessa pagina sono presenti tutti i documenti necessari per la regolare presenza in cantiere del lavoratore.

Per ogni lavoratore è possibile generare una ricerca personalizzata in base alla mansione e alle competenze del singolo individuo.

Il portale infatti genera in automatico le richieste documentali basilari che ogni persona deve possedere per entrare in cantiere come ad esempio la visita medica, la formazione generale, la formazione specifica e la consegna dei dispositivi di protezione individuale.

In caso di lavoratori con mansioni specifiche l'addetto al portale potrà generare la singola richiesta personalizzata in base al tipo di formazione richiesta.

Ad esempio, per un lavoratore che dovrà utilizzare un escavatore oppure una piattaforma elevabile (PLE) sarà necessario generare la richiesta apposita per il corso escavatori idraulici o l'attestato per l'utilizzo alle piattaforme elevabili.

Il portale risulta essere molto utile per evitare un'eventuale dimenticanza delle scadenze documentali in quanto esso avvisa con delle notifiche prima che l'eventuale documento risulti scaduto.

8.2.2 Come caricare la documentazione

Per caricare i documenti all'interno del portale, facendo l'ipotesi ad esempio di una nuova impresa che dovrà accedere al cantiere, bisognerà innanzitutto creare l'azienda nel portale, inserendo l'anagrafica dell'azienda, di che tipo di impresa si tratta e a che cantiere è assegnata.

Successivamente l'addetto alla gestione del portale potrà generare le richieste documentali per l'impresa e le richieste di cantiere obbligatorie.

Una volta che è stata creata l'azienda e creato anche un account associato ad essa, l'azienda sarà libera di inserire all'interno del portale i suoi dipendenti con i relativi documenti e attestati.

8.2.3 Limitazione riscontrate nell'utilizzo del portale

La più grande limitazione riscontrata nell'utilizzo del portale è stata la difficoltà da parte di certi lavoratori autonomi o aziende piccole poco strutturate nel suo utilizzo.

Esse, infatti, avendo poca dimestichezza con gli strumenti informatici, hanno avuto qualche difficoltà nell'utilizzo dello stesso.

In suddetti casi il problema è stato risolto caricando i loro documenti ricevuti via email.

8.3 Dispositivi anti-collisione per le gru edili

È fondamentale tenere in considerazione il fattore interferenza quando si ha a che fare con più gru che operano nello stesso cantiere, sia che si muovano lungo lo stesso binario o su binari separati, così come su cantieri adiacenti. Per evitare potenziali rischi di interferenza tra i bracci e le funi di sollevamento, è necessario verificare che le gru siano installate ad una distanza superiore alla lunghezza combinata dei due bracci durante la preparazione del cantiere.

Per evitare qualsiasi interferenza tra le funi e i carichi della gru superiore e il controbraccio della gru inferiore, è fondamentale mantenere una distanza minima tra le gru che dovrà essere sempre superiore alla lunghezza combinata del braccio utile della gru superiore e del controbraccio della gru inferiore. Utilizzando questo metodo è possibile annullare i rischi associati alla visibilità limitata del movimento del controbraccio durante il sollevamento e il trasporto dei carichi.

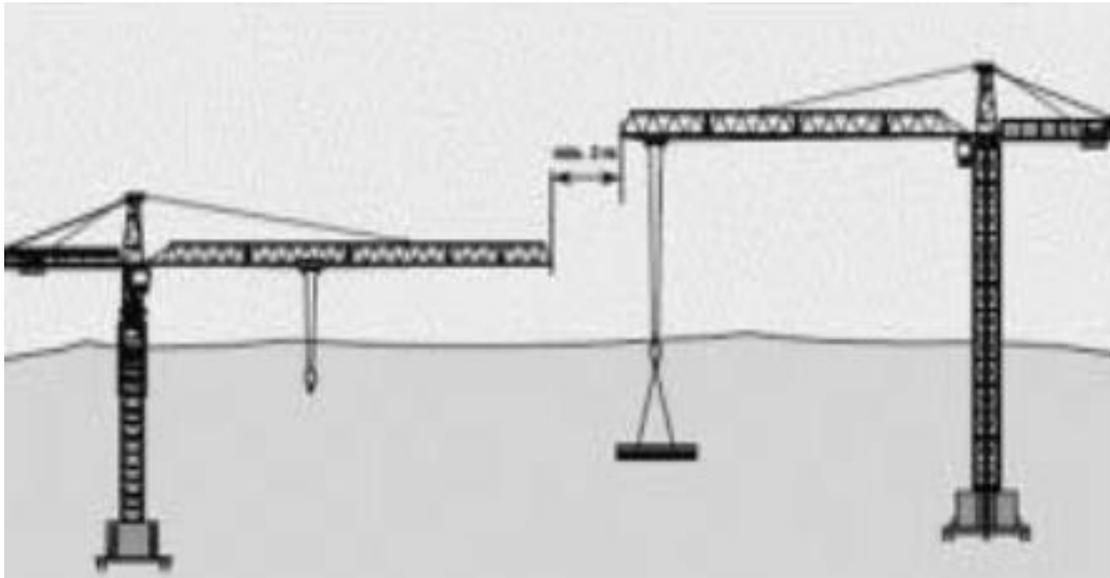


Figura 23: Gru non interferenti in cantiere [35]

Nel caso non sia possibile rispettare questa distanza di sicurezza assoluta sarà necessario adottare misure di prevenzione e disporre un sistema automatico anti-interferenza o anticollisione, e degli adeguati sistemi di coordinamento e comunicazioni tra gruisti.

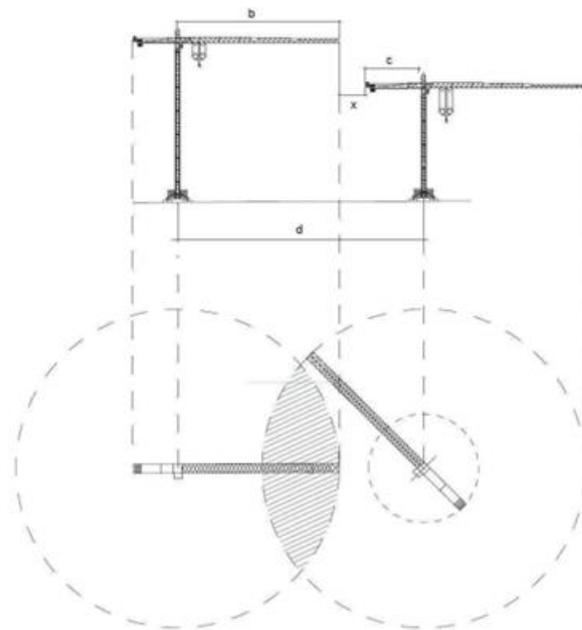


Figura 24: Gru interferenti in cantiere [36]

I dispositivi anticollisione sono dei dispositivi progettati per prevenire le collisioni tra gru interferenti, o gru con altre strutture ed ostacoli durante l'utilizzo delle stesse.

Grazie, infatti, ad una serie di sensori è possibile stabilire la precisa posizione e ogni movimento di ogni singola gru, del braccio e delle funi; questa enorme quantità di dati è poi processata da dei software di calcolo che elaborando le informazioni sono in grado di intervenire ad esempio limitando certi movimenti della gru e quindi impedendo la eventuale collisione [28].

I componenti di un sistema anticollisione sono i seguenti:

1. **Sistemi di posizionamento e rilevamento:** Essi sono di tipo Global Positioning system (GPS), servono a determinare le posizioni nello spazio circostante delle due gru, inoltre possono essere integrati da sistemi inerziali (IMU) che forniscono informazioni sull'orientamento della gru, velocità e ne permettono di calcolare il movimento.
2. **Sensori di movimento e rilevamento ostacoli:** Fanno parte dei sistemi anticollisione anche sensori come laser scanner e sensori ultrasonici che permettono la scansione dell'ambiente circostante, rilevando ostacoli ed oggetti interferenti. Qualche sistema potrebbe essere equipaggiato con telecamere e sensori ottici.
3. **Unità di Controllo Centrale (CCU):** L'unità di controllo centrale raccoglie e analizza i dati provenienti da vari sensori e sistemi di rilevamento. Vengono eseguiti algoritmi per calcolare il rischio di collisione e determinare le azioni correttive necessarie.
4. **Software di Gestione e Monitoraggio:** Il software di gestione e monitoraggio elabora i dati ricevuti dai sensori e dai moduli GPS. Questo software può includere:
 - Interfacce utente: Schermi e pannelli di controllo per visualizzare i dati in tempo reale e allarmi.
 - Algoritmi di analisi: Calcoli per determinare la distanza tra le gru e gli ostacoli, il rischio di collisione, e le azioni correttive.
 - Storici dati e report: Memorizzazione dei dati per analisi future e reportistica.

8.3.1 Il caso dell'HUB di Ingegneria

Per effettuare le operazioni di sollevamento e di posa degli elementi lignei sono state montate in cantiere due gru a torre con una portata di carico in punta di 5000 Kg ed un braccio lungo 40 metri.

Questa grande portata è stata studiata in modo da garantire la posa di tutti gli elementi anche nei punti più distanti del braccio della gru.

Le due gru sono state montate in cantiere nel periodo gennaio-febbraio tramite un autogrù.

Le due gru sono dello stesso modello, posizionate una sul lato Sud fronte strada e l'altra nel lato Nord.



Figura 25: Avanzamento del cantiere al 6 Maggio 2024

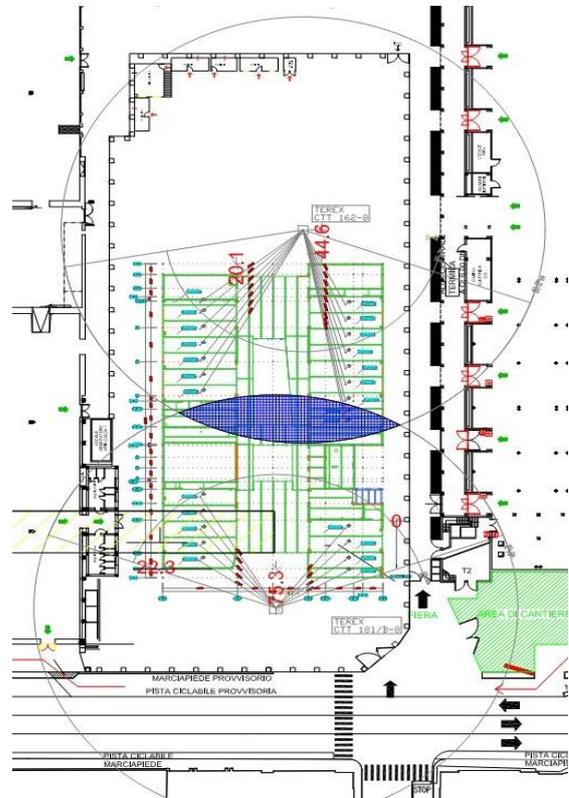


Figura 26: Accantieramento Hub ingegneria e gru interferenti.

Le due gru sono state montate a differenti altezze, la gru a nord installata a 45 metri di altezza mentre la gru a sud a 65 metri di altezza.

Esse sono dello stesso modello denominato TEREX CTT 162-8 flat-top e sono state montate grazie all'ausilio di un'autogrù Liebherr ltm 1150.



Figura 27: Gru modello TEREX CTT 162-8 [37]



Figura 15: Autogru modello Liebherr ltm 1150 [38]

Le due gru sono interferenti, infatti anche essendo di due altezze diverse, le funi e le catene della gru a Sud (quella più alta) portate alla massima estensione del braccio collideranno con il braccio della gru più bassa.

Questo rischio è stato identificato fin da subito. Innanzitutto, prima della messa in funzione delle due gru è stato eseguito un corso di aggiornamento sull'utilizzo delle gru a torre per tutti i gruisti che nel corso del cantiere utilizzano la gru.

Successivamente è stato fornito un dispositivo di comunicazione wireless, comunemente chiamato walkie-talkie, in modo da permettere ai due gruisti di restare sempre in comunicazione tra di loro per segnalare le future manovre.

Inoltre, è stata effettuata l'installazione di un dispositivo anticollisione che evita che le due gru accidentalmente vadano in collisione tra di loro.

CONCLUSIONI

L'adozione di tecnologie avanzate in edilizia rappresenta un importante cambiamento che mira a migliorare la sicurezza nei cantieri e a ridurre i rischi per i lavoratori. Nel corso di questa tesi, sono state presentate diverse innovazioni tecnologiche, con un'attenzione particolare al Building Information Modeling (BIM), portali in cloud, intelligenza artificiale (AI), la realtà virtuale, dispositivi IoT e wearable device e tecnologie per la prevenzione delle cadute e dei rischi legati alla movimentazione manuale dei carichi.

Alcune di queste tecnologie e dispositivi come il Building information modeling (BIM) ed i portali in cloud per la gestione documentale sono stati utilizzati nel cantiere presentato come caso studio in questo lavoro di tesi.

Si auspica che la tecnologia possa continuare ad utilizzare le sue innovazioni nel settore edilizio, favorendo la possibilità di ridurre in modo significativo il rischio per i lavoratori.

L'implementazione di queste innovazioni tecnologiche non solo migliorerà la sicurezza, ma anche l'efficienza e la sostenibilità dei progetti edilizi. Tuttavia, è importante riconoscere che l'adozione di queste tecnologie richiede un impegno continuo in termini di formazione, aggiornamento delle competenze e investimento in nuove soluzioni.

Le tecnologie avanzate mostrate nel corso della tesi sono, in molti contesti, ancora poco utilizzate e le aziende soprattutto quelle più piccole sono restie a impiegarle poiché il loro utilizzo comporta un ulteriore impiego di risorse.

Ed è qui che dovrebbero intervenire le istituzioni governative erogando fondi per promuovere l'adozione di tecnologie avanzate, fornendo supporto e incentivi economici mediante erogazione di contributi nazionali/europei.

La formazione dei lavoratori deve rimanere sempre una priorità, garantendo loro non solo le competenze tecniche necessarie, ma anche una comprensione approfondita delle pratiche di sicurezza e dei nuovi strumenti disponibili.

Considerando che il rischio di incidente in un luogo di lavoro come il cantiere, non potrà mai essere nullo, è indispensabile che lo stesso venga mitigato con la formazione del lavoratore e con un'attenta pianificazione dei lavori per evitare interferenze impreviste tra i vari attori coinvolti nel processo.

La normativa sulla sicurezza, e le tecnologie ad essa collegate, sono una base di partenza per evitare incidenti, ma il rischio residuo dipende molto anche dall'attenzione che prestano gli operatori durante le lavorazioni. La troppa confidenza, sicurezza e distrazione porta a sottovalutare i possibili pericoli legati alle lavorazioni da compiere.

In conclusione, l'innovazione tecnologica rappresenta un fattore fondamentale per migliorare la sicurezza nei cantieri edili; essa offre opportunità significative per ridurre i rischi, creando ambienti di lavoro più sicuri.

Tuttavia, il successo di queste iniziative dipenderà dalla collaborazione tra tutte le parti coinvolte e dall'impegno continuo verso l'aggiornamento e l'innovazione. Solo attraverso un approccio integrato e proattivo possiamo realizzare il pieno potenziale di queste tecnologie e garantire un futuro sicuro e sostenibile per il settore edilizio.

Riferimenti

- [1] «Infortuni sul lavoro: i dati INAIL 2023 registrati nel settore costruzioni. | Articoli | Ingenio». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ingenio-web.it/articoli/sicurezza-lavoro-nel-2023-nel-settore-costruzioni-denunciati-circa-40mila-infortuni-3-4-sul-22/>
- [2] «Il Decreto BIM nel Codice degli Appalti | TuttoCauzioni.it». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.tuttocauzioni.it/il-decreto-bim/>
- [3] «Cos'è il BIM | Building Information Modeling | ACCA software». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.acca.it/bim-building-information-modeling>
- [4] «Il formato IFC e l'interoperabilità nella metodologia BIM | 01building». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.01building.it/bim/il-formato-ifc-e-linteroperabilita-nella-metodologia-bim/>
- [5] «Cos'è il BIM (Building Information Modeling)? - BibLus-net». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/bim-building-information-modeling/>
- [6] «Differenze tra CAD e BIM Building Information Modeling | ACCA software». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.acca.it/cad-bim-building-information-modeling>
- [7] «Cronache di un giovane architetto alle prese con la libera professione.» Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <http://www.behindesign.it/bim-o-cad-guida-alle-differenze/>
- [8] «Le figure chiave del BIM nella UNI 11337-7 - BibLus». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/le-figure-chiave-del-bim-nella-uni-11337-7-bim-manager-bim-coordinator-bim-specialist-cde-manager/>
- [9] «UNI 11337 – Normativa Italiana per la metodologia BIM - Skeinbim». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://skeinbim.com/uni-11337-normativa-italiana-per-la-metodologia-bim/>
- [10] «BIM Manager, BIM Specialist e BIM Coordinator: chi sono, cosa fanno e come si diventa - BibLus». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/bim-manager-bim-specialist-e-bim-coordinator-chi-sono-cosa-fanno-e-come-si-diventa/>
- [11] «Decreto Ministeriale numero 560 del 01/12/2017 | Ministero delle infrastrutture e dei trasporti». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560-del-01122017>
- [12] «L'impatto del BIM per la salute e la sicurezza nelle costruzioni - BibLus». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/bim-per-salute-e-sicurezza-nelle-costruzioni/>
- [13] «Sicurezza cantieri - Gestionale in Cloud e molto altro. Fatturazione, Magazzino, Dipendenti, Cantieri edili, Distinte basi ecc...» Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.cloudness.it/sicurezza-cantieri/>
- [14] «L'Intelligenza Artificiale a servizio della sicurezza in cantiere | Articoli | Ingenio». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ingenio-web.it/articoli/l-intelligenza-artificiale-a-servizio-della-sicurezza-in-cantiere/>
- [15] «Dahua Italy». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.dahuasecurity.com/it>

- [16] «Monitoraggio della sicurezza del cantiere | LatticeWork». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.latticeworkinc.com/it/attivita-commerciale/monitoraggio-della-sicurezza-del-cantiere/>
- [17] «Combattere gli incendi con le telecamere: un passo avanti innovativo e logico - Secure Insights». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.axis.com/blog/secure-insights-it/2023/09/13/combattere-gli-incendi-con-le-telecamere-un-passo-avanti-innovativo-e-logico/>
- [18] «Telecamere IP Dahua con Smart Dual Illuminator». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: https://italy.dahuasecurity.com/telecamere_ip_wizmind_con_smart_dual_illuminator/
- [19] «Il wearable per la sicurezza dei lavoratori isolati | Automazione News». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.automazione.news.it/il-wearable-per-la-sicurezza-dei-lavoratori-isolati/>
- [20] «Art. 167 - D.Lgs. 81/2008». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://tussl.it/titolo-vi-movimentazione-manuale-dei-carichi/capo-i-disposizioni-general/art-167>
- [21] «Campagna europea sulla movimentazione manuale dei carichi ...» Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.puntosicuro.it/edilizia-C-10/campagna-europea-sulla-movimentazione-manuale-dei-carichi-AR-8418/>
- [22] «EXO-S Esoscheletro da spalla - Esoscheletro da spalla - Hilti Italy». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: https://www.hilti.it/c/CLS_EXOSKELETON_HUMAN_AUGMENTATION/CLS_UPPER_BODY_EXOSKELETON/CLS_SUB_UPPERBODY_EXOSKELETON/r14012433
- [23] «WorkAir di D-Air Lab: l'airbag per la protezione dei lavoratori». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://lanzigroup.com/workair-airbag-protezione-lavoratori/>
- [24] «Versioni di Earth – Google Earth». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.google.com/intl/it/earth/about/versions/>
- [25] «Cos'è la Certificazione LEED®? » Guida Utile - GREENiTOP®». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.certificazioneleed.com/edifici/>
- [26] «Certificazione LEED cosa significa e come si ottiene». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.tuttogreen.it/certificazione-leed-cosa-significa-e-come-si-ottiene/>
- [27] «Crediti LEED®: cosa sono e come mapparli? » Guida Utile - GREENiTOP®». Consultato: 22 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.certificazioneleed.com/edifici/crediti-leed/>
- [28] «La rivoluzione digitale nella gestione della sicurezza nei cantieri | Articoli | Ingenio». Consultato: 18 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ingenio-web.it/articoli/la-rivoluzione-digitale-nella-gestione-della-sicurezza-nei-cantieri/>
- [29] «BIM (Building Information Modeling) e appalti pubblici - INFOBUILD». Consultato: 11 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.infobuild.it/appfondimenti/bim-building-information-modeling-e-appalti-pubblici/>
- [30] «Utilizzo del Bim per aumentare la sicurezza in cantiere | 01building». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.01building.it/bim/bim-sicurezza-cantiere/>
- [31] «Guida Completa alla Sicurezza nel Cloud nel 2024». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://kinsta.com/it/blog/sicurezza-cloud/>

- [32] «Datix 2 Watch D2W5 dispositivo uomo a terra stand alone smartwatch - Work Secure Antinfortunistica e prodotti per la sicurezza sul lavoro». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.worksecure.it/prodotto/datix-2-watch-d2w5-dispositivo-uomo-a-terra-stand-alone-orologio-smartwatch-per-operatori-isolati/>
- [33] «Certificazioni Ambientali Confronto tra i protocolli LEED v4 BD+C e WELL Building Standard v1 | Blog Master Pesenti». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://blog.masterpesenti.polimi.it/certificazioni-ambientali-confronto-tra-i-protocolli-leed-v4-bdc-e-well-building-standard-v1/>
- [34] «CloudNess - Gestionale per la fatturazione e molto altro...» Consultato: 11 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.cloudness.it/>
- [35] «L'interferenza delle gru nei cantieri edili - ZED Progetti». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://zedprogetti.it/2017/05/26/linterferenza-delle-gru-nei-cantieri-edili/>
- [36] «Sicurezza sul lavoro: Interferenze di gru a torre nei cantieri temporanei e mobili | Articoli | Ingenio». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ingenio-web.it/articoli/interferenze-di-gru-a-torre-nei-cantieri-temporanei-e-mobili/>
- [37] «Gru a torre flat top CTT 162-8 | Terex Cranes». Consultato: 11 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.terex.com/rough-terrain-cranes/it/product/legacy-flat-top-tower-cranes/ctt-162-8>
- [38] «Autogrù LTM 1150-5.3 | Liebherr». Consultato: 11 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.liebherr.com/it/ita/prodotti/autogru-e-gru-cingolate/autogru/autogru-ltm/ltm-1150-5.3.html>
- [39] «EXO-S Esoscheletro da spalla - Esoscheletro da spalla - Hilti Italy». Consultato: 10 luglio 2024. [Online]. Disponibile su: https://www.hilti.it/c/CLS_EXOSKELETON_HUMAN_AUGMENTATION/CLS_UPPER_BODY_EXOSKELETON/CLS_SUB_UPPERBODY_EXOSKELETON/r14012433

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutte le persone che mi hanno supportato durante questo percorso di studio e nella realizzazione di questa tesi.

Innanzitutto, un ringraziamento speciale va ai miei genitori.

Grazie per il vostro amore incondizionato, il sostegno morale e il costante incoraggiamento.

Senza di voi, nulla di tutto questo sarebbe stato possibile.

Grazie mamma per avermi spinto in questo percorso.

Un ringraziamento particolare va ai miei amici, che mi hanno sempre sostenuto e motivato.

Grazie per essere stati al mio fianco nei momenti di difficoltà e per aver condiviso con me i momenti di gioia e di successo.

Un sentito grazie va ad Anita, per il suo amore, pazienza e comprensione. Il tuo supporto e la tua fiducia in me sono stati fondamentali per il mio successo.

Un grande grazie alla correlatrice Giulia De Cet, una delle persone più disponibili che io abbia mai conosciuto: mi ha sostenuto ed incoraggiato per tutto il mio percorso di laurea, in particolare negli ultimi mesi, sempre pronta a darmi importanti informazioni, a sostenermi, a guidarmi e consigliarmi per le future scelte.

Un grande grazie alla mia relatrice di tesi Prof.ssa Daniela Boso per i suoi importanti insegnamenti durante il corso di laurea e per avermi indirizzato con cura verso la scelta del titolo e del sommario della tesi.

Voglio anche ringraziare l'Ingegnere Nicola Zabeo e tutto il personale dell'impresa IMPREDIL SRL ed il Geometra Fabio Favaro per avermi accolto e per l'opportunità di crescita professionale che mi hanno offerto.

La vostra disponibilità e il vostro sostegno sono stati preziosi per lo sviluppo di questo lavoro.

Infine, un ringraziamento speciale va alla Geometra Vanessa Novo, per il supporto e i consigli preziosi che mi ha fornito. La tua competenza, disponibilità e pazienza hanno avuto un impatto significativo sul mio lavoro e sul mio apprendimento.

Grazie di cuore a tutti.