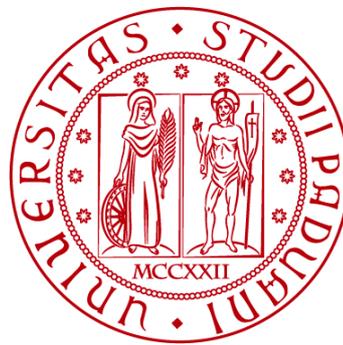


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E
AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Tecnologie digitali per l'edilizia e il
territorio



TESI DI LAUREA TRIENNALE

**La tecnologia Building Information Modeling
(BIM) al servizio della sicurezza nei cantieri**

Relatrice: Chiar.ma Prof.ssa DANIELA BOSO

Correlatrice: Ing. GIULIA DE CET

Laureanda: NATASHA MIAZZI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Ai miei nonni, Sergio e Luciana

con tanto affetto e gratitudine

Sommario

ABSTRACT	1
CAPITOLO 1 – SICUREZZA NEI CANTIERI	3
I dati statistici	4
- Istituto Nazionale per l’Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro	4
- Gli osservatori indipendenti	11
La normativa in materia di sicurezza.....	12
- L’evoluzione del corpus normativo.....	12
- D. Lgs. 81/2008: Testo Unico della Salute e Sicurezza sul Lavoro	20
La sicurezza nei cantieri	23
- La prevenzione e protezione nei cantieri temporanei e mobili.....	23
- Le figure della sicurezza.....	27
- I rischi prevalenti nei cantieri edili	32
CAPITOLO 2 – Il BIM: Building Information Modeling.....	37
Il concetto di BIM	37
Diffusione internazionale	44
In Italia.....	47
- Il decreto BIM – 560/2017	47
- Implementazione delle disposizioni	49
CAPITOLO 3 - INTERAZIONE BIM E SICUREZZA	51
Caso Studio.....	55
CONCLUSIONI.....	61
Ringraziamenti	63
Riferimenti.....	65

ABSTRACT

La sicurezza sul lavoro rappresenta un imperativo morale e legale in ogni ambiente lavorativo, dove la protezione della salute e dell'incolumità dei lavoratori deve essere prioritaria. Il Decreto Legislativo 81/08, noto come Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, rappresenta un pilastro normativo in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro, stabilendo gli obblighi e le responsabilità dei datori di lavoro e dei lavoratori e promuovendo misure volte a prevenire gli incidenti sul lavoro.

D'altro canto, la tecnologia Building Information Modeling (BIM) che ha rivoluzionato il settore edile nel mondo offrendo un approccio integrato per la progettazione, la costruzione e la gestione dei progetti attraverso la creazione di modelli digitali intelligenti, in Italia sta iniziando a prendere piede soltanto negli ultimi anni, nell'ambito dell'Industria 4.0.

Questa tesi propone di esaminare il potenziale dell'integrazione tra le strategie di prevenzione attualmente messe in atto sulla base del D.lgs. 81/2008 e la tecnologia BIM con lo scopo di ottimizzare la progettazione della sicurezza nei cantieri edili.

Al fine di meglio esemplificare i risultati delle suddette valutazioni viene riportato un caso studio: si restituisce tramite software di modellazione BIM REVIT un serbatoio idrico di acquedotto, comprensivo di parti strutturali e impiantistiche, del contesto circostante, e dell'organizzazione cantieristica ipotizzata. Il modello così contestualizzato fornisce un valido supporto alle valutazioni preliminari, volte all'organizzazione delle lavorazioni e alla stesura del Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), ma anche in funzione delle successive scelte in rispetto alla manutenzione dell'impianto.

Attraverso un'analisi dettagliata del caso studio e una discussione critica dei risultati, questa tesi si propone di fornire contributi significativi alla comprensione e alla promozione di pratiche innovative per migliorare la sicurezza nei cantieri edili attraverso l'interazione tra la normativa e la tecnologia BIM.

CAPITOLO 1 – SICUREZZA NEI CANTIERI

Febbraio 16, 2024: <<Strage nel cantiere Esselunga a Firenze, quattro operai morti, uno disperso: la ditta appaltatrice è la stessa dell'incidente a Genova.>> [1]

Aprile 9, 2024: <<Incidente sul lavoro a Taranto, operaio muore folgorato in un cantiere>> [2]

Maggio 6, 2024: <<Un'altra strage sul lavoro: cinque operai morti a Casteldaccia. "Uccisi dalle esalazioni, non avevano le maschere">> [3]

Questi sono soltanto alcuni tra i casi più eclatanti a partire da inizio 2024.

Casi di incidenti sul lavoro prendono posto fin troppo frequentemente nelle testate di cronaca, eppure queste non rappresentano che la minima parte che riesce a raggiungere l'attenzione nazionale, mentre innumerevoli altri passano nell'anonimato.

La diffusione del fenomeno ha dimensioni tali da motivare l'assegnazione di un nome proprio, ovvero quello di 'morti bianche'; definizione che vuole fare riferimento all'innocenza delle vittime coinvolte e all'accidentalità del fatto, sebbene tale definizione risulti a molti inadeguata. Già in un editoriale di La Stampa del 2010 si legge in merito:

"- mai aggettivo fu più improprio per le morti sul lavoro. Il richiamo a un colore che indica fatalità e innocenza, quando invece dietro c'è spesso cinismo e responsabilità" [4].

Poche parole che spalancano una voragine sul tema delle colpe, sottolineando l'urgenza di un migliore sistema di gestione, che evidentemente sta tardando ad arrivare.

Nel 2023 sono state presentate all'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) 585'356 denunce di infortunio di cui 1'041 hanno risultato nel decesso delle vittime coinvolte; numeri spaventosi che salgono ancora arrivando ad almeno 1'485 vittime, equivalenti a quasi 30 a settimana e poco meno di quattro al giorno di media [5] se si considerano i risultati forniti dagli osservatori indipendenti che cercano di tener traccia anche dei lavoratori privi di assicurazione e/o abusivi.

I dati statistici

- Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro

L'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) è l'ente pubblico previdenziale statale che tutela i lavoratori dai rischi derivanti da infortuni sul lavoro e malattie professionali; congiuntamente svolge anche una fondamentale funzione di monitoraggio a fini statistici [6].

La banca dati risultante da quest'operazione di raccolta e analisi, regolarmente aggiornata nel corso degli anni, consente l'individuazione di andamenti significativi e agevola la valutazione degli effetti ottenuti dalle varie politiche di prevenzione adottate nel tempo.

INAIL pubblica a cadenza mensile report preliminari sull'andamento delle denunce per infortunio ricevute, implementati poi da un elaborato annuale che riporta il quadro definitivo comparato con l'anno precedente.

In Tabella 1 sono riportati i dati riassuntivi per gli ultimi cinque anni delle denunce di infortunio pervenute ad INAIL.

Modalità di accadimento	2019	2020	2021	2022	2023
Durante il lavoro	540'733	492'123	474'847	607'806	491'165
In itinere	100'905	62'217	80'389	89'967	94'191
Totale	641'638	554'340	555'236	697'773	585'356
Risultate in decesso	1'089	1'270	1'221	1'090	1'041

Tabella 1 - Denunce di infortunio ad INAIL, 2019-2023

Fonte: banca dati INAIL [7], [8], [9]

Osservando questi dati risulta evidente come, durante la pandemia di COVID-19, l'andamento degli infortuni sul lavoro rilevato dall'INAIL abbia subito una variazione significativa, riflettendo i cambiamenti nelle dinamiche lavorative causati dall'emergenza sanitaria. In generale, si è osservato un calo nel numero complessivo di infortuni, in parte riconducibile alla diminuzione dell'attività lavorativa dovuta alle restrizioni e alle chiusure temporanee di molte attività.

Tuttavia, nelle statistiche INAIL vengono considerate anche le malattie infettive, pertanto i decessi degli addetti a servizi essenziali riconducibili all'infezione da Sars-Cov 2 hanno contribuito ad alzare gravemente il numero totale degli incidenti mortali [7].

È quindi necessario, nell'effettuare delle valutazioni, comparare gli ultimi dati non soltanto con l'anno precedente ma anche con il 2019, in modo da poter osservare l'andamento rispetto all'epoca pre-pandemica, essendo stata questa una variabile anomala che ha fortemente impatto le statistiche.

INDICI DI FREQUENZA E DI GRAVITÀ PER SETTORI DI ATTIVITÀ ECONOMICA E TIPO INDENNIZZO – TRIENNIO 2018-2020								
Sezione Ateco	Indici di frequenza				Indici di gravità			
	Temporanea	Permanente	Morte	Totale	Temporanea	Permanente	Morte	Totale
A - Agricoltura, silvicoltura e pesca	18,65	1,51	0,05	20,21	0,56	0,98	0,38	1,91
B - Estrazione di minerali da cave e miniere	5,99	1,08	0,06	7,13	0,18	0,95	0,47	1,61
C - Attività manifatturiere	12,30	1,07	0,02	13,40	0,33	0,78	0,17	1,28
D - Fornitura di energia elettrica, gas, vapore e aria condizionata	4,03	0,38	0,01	4,42	0,12	0,30	0,07	0,48
E - Fornitura di acqua- reti fognarie, attività di gestione dei rifiuti e risanamento	31,19	2,61	0,06	33,86	0,97	1,75	0,46	3,17
F - Costruzioni	15,36	2,82	0,09	18,27	0,49	2,28	0,65	3,42
G - Commercio all'ingrosso e al dettaglio- riparazione di autoveicoli e motocicli	9,56	0,81	0,02	10,39	0,26	0,57	0,14	0,98
H - Trasporto e magazzinaggio	22,17	2,13	0,08	24,38	0,68	1,43	0,56	2,67
I - Attività dei servizi di alloggio e di ristorazione	16,74	1,01	0,03	17,78	0,42	0,69	0,19	1,29
J - Servizi di informazione e comunicazione	2,18	0,21	0,00	2,39	0,06	0,14	0,02	0,23
K - Attività finanziarie e assicurative	1,42	0,17	0,01	1,60	0,04	0,11	0,04	0,19
L - Attività immobiliari	7,86	0,71	0,02	8,59	0,22	0,49	0,12	0,83
M - Attività professionali, scientifiche e tecniche	3,73	0,34	0,01	4,09	0,11	0,24	0,08	0,43
N - Noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto alle imprese	20,51	1,60	0,03	22,14	0,60	1,07	0,24	1,92
O - Amministrazione pubblica e difesa- assicurazione sociale obbligatoria	12,43	0,79	0,02	13,23	0,38	0,49	0,16	1,02
P - Istruzione	6,20	0,39	0,01	6,60	0,16	0,27	0,05	0,48
Q - Sanità e assistenza sociale	37,99	1,16	0,04	39,19	1,13	0,71	0,26	2,10
R - Attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento	16,48	2,08	0,02	18,57	0,49	1,11	0,13	1,73
S - Altre attività di servizi	6,48	0,73	0,02	7,24	0,20	0,44	0,15	0,79
T - Attività di famiglie e convivenze come datori di lavoro per personale domestico	9,26	1,49	0,00	10,76	0,21	1,09	0,00	1,30
U - Organizzazioni ed organismi extraterritoriali	5,75	0,31	0,00	6,06	0,18	0,14	0,00	0,31
Totale	14,42	1,20	0,03	15,66	0,42	0,85	0,24	1,51

Tabella 2 - Indici di frequenza e gravità degli infortuni per settore di attività, 2018-2020 [10]

Da un'analisi puntuale sugli infortuni nel settore edile pubblicata a dicembre 2023 si rileva che gli infortuni denunciati ad INAIL per il 2022 sono 40'135, con un aumento del +3,4% rispetto al 2021, ma in linea con i dati del 2018-19. Tale andamento risulta coerente con i dati relativi all'aumento dell'occupazione, pari al +3,9% rispetto al 2021. [10]

È riscontrato storicamente che il settore edile sia tra quelli che mettono più a rischio l'incolumità dei lavoratori; i dati riportati in Tabella 2 confermano questa tendenza.

Il settore delle costruzioni risulta al primo posto per indice di frequenza degli infortuni (numero di infortuni riconosciuti ogni mille lavoratori) sia per l'invalidità permanente (2,82) che per i decessi (0,09), posizione confermata anche rispetto all'indice di gravità che considera la frequenza di infortuni gravi che comportano decesso, inabilità permanente o assenza per più di 40 giorni dal posto di lavoro.

Secondo la classificazione Ateco 2007, le Costruzioni si dividono in tre categorie:

- *Costruzione di edifici*, sia residenziali che non, e sviluppo di progetti immobiliari;
- *Ingegneria civile*, ovvero realizzazione di strade, ferrovie e opere di pubblica utilità (reti idriche e fognarie, elettriche e di telecomunicazione);
- *Lavori di costruzione specializzati*, tra i quali rientrano preparazione e demolizione di cantieri, installazione di impianti elettrici ed idraulici, lavori per l'isolamento termico ed acustico, finiture di edifici, pulizia a vapore di edifici, sabbiature, ecc.

In tutti gli ambiti di attività il numero di denunce si assesta regolarmente ben al di sopra della media, sebbene non tra i primi posti della graduatoria per settori.

DENUNCE DI INFORTUNIO SUL LAVORO NELLE COSTRUZIONI PER DIVISIONE ATECO ANNI DI ACCADIMENTO 2018 - 2022					
Divisione Ateco	2018	2019	2020	2021	2022
Nel complesso					
F 41 - Costruzione di edifici	11.864	12.065	9.673	11.362	11.893
F 42 - Ingegneria civile	2.981	3.303	2.780	3.207	3.153
F 43 - Lavori di costruzione specializzati	25.195	25.594	20.336	24.231	25.089
Totale	40.040	40.962	32.789	38.800	40.135
Casi mortali					
F 41 - Costruzione di edifici	65	73	71	85	52
F 42 - Ingegneria civile	19	20	24	23	16
F 43 - Lavori di costruzione specializzati	109	109	110	100	107
Totale	193	202	205	208	175

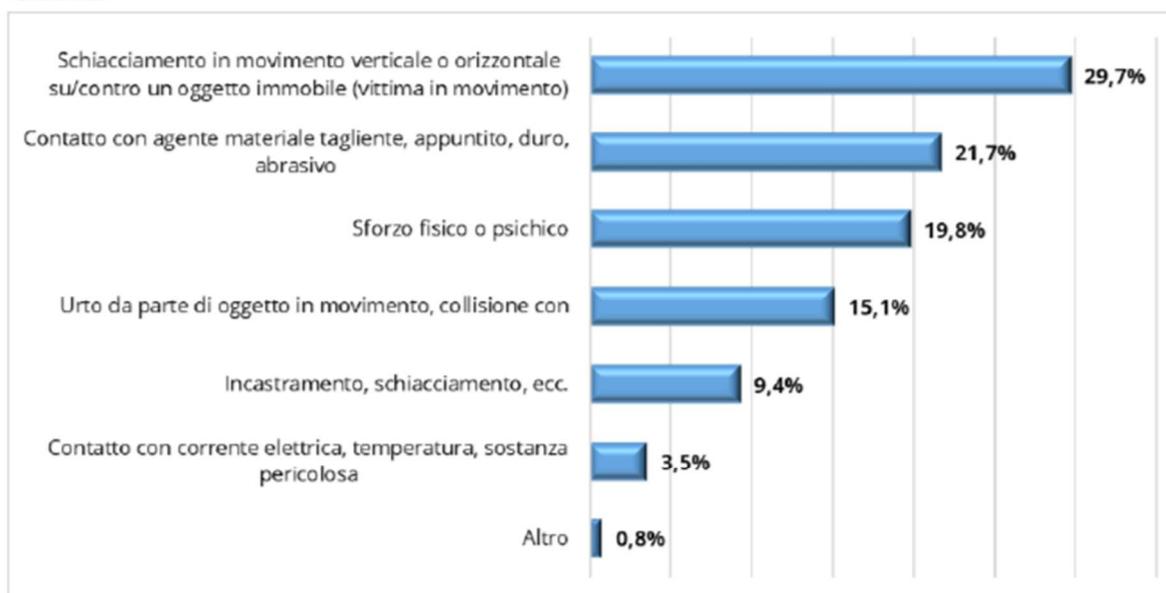
Tabella 3 - Denunce del settore costruzioni ad INAIL, 2018-2022 [10]

Si noti che da una lettura superficiale della Tabella 3 risulterebbe che il settore *F42- Ingegneria Civile* sia quello a minor rischio vista la quantità inferiore di denunce presentate. Tuttavia, andando a considerare l'indice di frequenza riscontrato otteniamo un valore stimato di 27,2, leggermente superiore agli altri due ambiti che si assestano attorno al 22. Questo significa che nonostante le denunce siano più sporadiche gli infortuni sono molto più frequenti visto il minor numero di lavoratori interessati dalle attività.

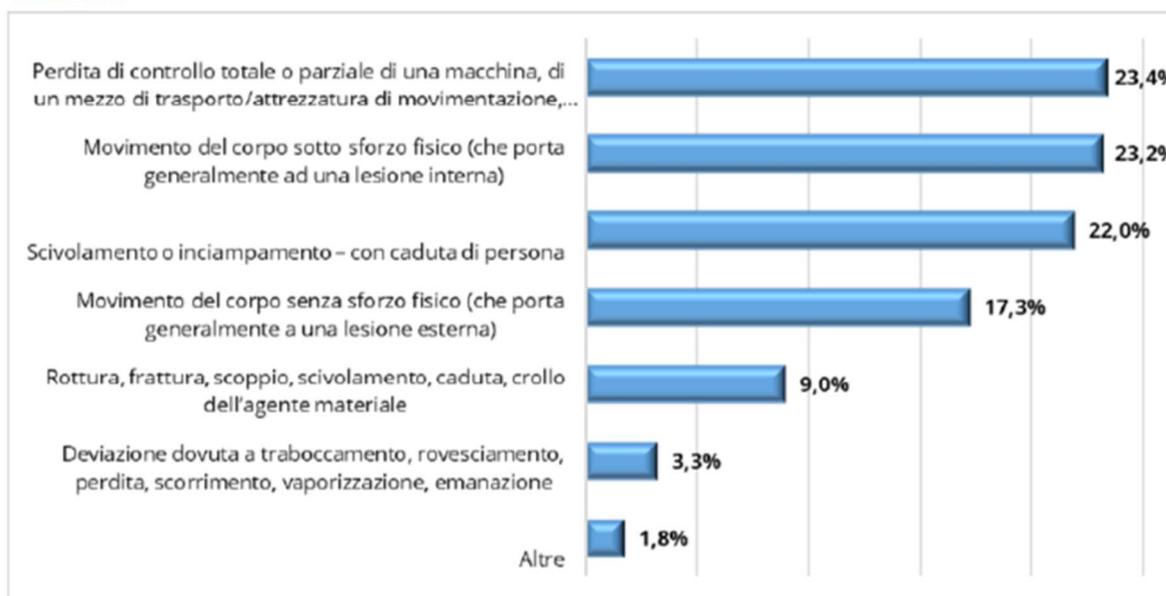
Per comprendere a cosa siano dovuti simili tassi di rischio è utile osservare le dinamiche infortunistiche. Per le Costruzioni i fattori di rischio prevalenti sono legati alla predisposizione dell'ambiente di lavoro e all'uso non corretto dei dispositivi di protezione individuale (DPI). Come si può vedere in Tabella 4, quasi un terzo degli infortuni negli ultimi 5 anni sono stati provocati da schiacciamento su/contro un oggetto statico, definizione in cui INAIL include le cadute dall'alto degli operatori. I successivi incidenti più frequenti sono quelli dovuti a contatto con materiali contundenti e a movimenti compromettenti del corpo sotto sforzo fisico, corrispondenti a circa il 20% dei casi ciascuno.

**INFORTUNI SUL LAVORO DEFINITI POSITIVI IN OCCASIONE DI LAVORO NELLE COSTRUZIONI PER CONTATTO E DEVIAZIONE
MEDIA QUINQUENNIO 2018-2022**

Contatto



Deviazione



Nota: Percentuali al netto dei casi non determinati

Tabella 4 - Causa dell'infortunio, 2018-2022 [10]

Infor.Mo è il sistema di monitoraggio nazionale degli infortuni mortali e gravi sul lavoro, frutto della collaborazione tra il Servizio Sanitario Nazionale, l'Istituto Superiore per la prevenzione e la sicurezza sul lavoro (ISPESL) e l'INAIL [11].

A partire dai dati rilevati è stata pubblicata nel 2022 un’analisi, con focus sugli infortuni in edilizia, in cui è inserita un’elaborazione (Tabella 5) dell’incidenza percentuale di diverse tipologie di rischio, sugli ambiti di infortunio rilevanti nel settore. Nello specifico, le sei categorie definite dal servizio sono:

AI – Attività dell’infortunato

AT – Attività di terzi

UMI – Utensili, macchine, impianti (le specifiche problematiche dell’attrezzatura)

MAT – materiali (criticità dei materiali)

AMB – ambiente (carenze strutturali e organizzative del luogo di lavoro)

DPI – dispositivi di protezione individuale

Incidente	Categoria fattore di rischio						Totale
	AI	AT	UMI	MAT	AMB	DPI	
Caduta dall’alto o in profondità dell’infortunato	40,0	4,1	16,5	0,8	20,1	18,5	100,0
Caduta dall’alto dei gravi	38,0	18,3	9,2	6,3	26,1	2,1	100,0
Perdita di controllo di mezzo	42,6	22,3	10,6	1,1	21,3	2,1	100,0
Contatto con mezzi o veicoli in movimento (in sede abituale)	41,5	21,5	18,5	0,0	15,4	3,1	100,0
Proiezione di solidi	27,3	10,9	25,5	9,1	16,4	10,9	100,0
Avviamento inopportuno di veicolo, macchina, attrezzatura	56,3	25,0	15,6	0,0	3,1	0,0	100,0
Contatto con organi lavoratori in movimento	55,2	3,4	31,0	3,4	0,0	6,9	100,0
Contatto elettrico diretto	40,0	15,0	12,5	0,0	27,5	5,0	100,0

Tabella 5 - Distribuzione per fattori di rischio dei principali incidenti nell’ambito delle Costruzioni [11]

Risulta, dai dati forniti, che in tutte le tipologie di incidente la parte preponderante della causa è attribuibile alle modalità operative dei lavoratori stessi.

Le problematiche gravi legate ai DPI (18,5%) sono poi le più rilevanti nell’ambito delle cadute dell’operatore dall’alto, in coerenza con quanto ci si aspetterebbe per una lavorazione che richiede procedure complesse e che necessitano di formazione specifica. Allo stesso tempo, una non corretta interazione tra l’infortunato e il suo collega a terra (AT) è causa del 22,3% dei casi di incidenti dovuti alla perdita di controllo del veicolo, del 25% dei casi di avviamento inopportuno del macchinario e del 21,5 % degli infortuni dovuti a contatti con mezzi in movimento nella sede prevista.

Il fattore ambiente è incisivo in più del 20% degli incidenti per caduta dall'alto dell'infortunato o di gravi, per perdita di controllo del veicolo e per contatto elettrico diretto.

Problemi di sicurezza		Costruzioni	Altri settori
AMB	Assenza di barriere, protezioni, parapetti, armature	7,5	2,0
	Segnaletica	1,6	2,2
	Presenza di elementi ingombranti, pericolosi	1,5	1,1
	Percorsi e vie di transito	1,4	1,0
	Presenza di elettricità, linea elettrica	0,5	0,2
	Presenza di liquidi, gas, vapori	0,2	0,6
	Assenza di illuminazione idonea	0,1	0,3
	Altro elemento ambientale	3,8	3,3
UMI	Protezioni mancanti, inadeguate	7,9	13,0
	Anomalie, guasti in esercizio	2,6	3,4
	Altro problema (presenza di elementi pericolosi, attrezzatura mancante o non idonea all'uso)	6,6	6,1
AI-AT	Errore di procedura	34,7	30,9
	Uso errato di attrezzatura	14,5	22,6
	Uso improprio di attrezzatura	2,9	3,4
DPI	Uso errato o mancato uso (ma disponibile) di DPI	6,3	2,4
	DPI non fornito	4,6	2,5
	Inadeguatezza strutturale o deterioramento di DPI	1,4	0,9
MAT	Caratteristiche dei materiali	1,2	1,7
	Stoccaggio di oggetti e materiali	0,5	1,6
	Trasformazione dei materiali	0,2	0,8
Totale		100,0	100,0

Tabella 6 - Fattori di rischio rilevati per gli eventi nel settore Costruzioni [11]

La Tabella 6 riporta i problemi di sicurezza per ciascuna categoria di fattori di rischio, rapportati con l'andamento negli altri settori. Per le costruzioni la maggioranza degli incidenti sono causati da errori nell'esecuzione della procedura di lavoro (34,7%), successivamente le percentuali più alte sono apportate da uso errato delle attrezzature, mancanza o inadeguatezza delle protezioni, e nello specifico solitamente intesi come dispositivi di protezione collettiva.

- **Gli osservatori indipendenti**

Le stime INAIL hanno fondamento nella banca dati assicurativa in quanto si parte dal corretto ma non scontato presupposto che, essendo l'assicurazione sul lavoro obbligatoria per legge in Italia, diano un quadro completo della realtà; ciononostante, i fatti spesso svincolano dalle supposizioni.

I diversi osservatori indipendenti sorti negli anni giocano un ruolo preminente nel sopperire a questa falla statistica.

Tra questi , per citarne uno, l'Osservatorio Indipendente di Bologna inizia la sua attività il 1° gennaio 2008 con la volontà di onorare gli operai nella Thyssenkrupp Torino deceduti pochi giorni prima. In tutti gli anni a seguire ha mantenuto il registro aggiornato dei nominativi di tutte le vite perse sul lavoro, a discapito della condizione contrattuale e assicurativa.

Al 06 luglio 2024 a partire da inizio anno sono morti 756 lavoratori di cui 539 sul posto di lavoro e i restati 217 in itinere.

In tutto il 2023 sono morti 1485 lavoratori (444 in più rispetto ai dati pubblicati da INAIL) di questi 986 sul luogo di lavoro e i restanti in itinere [12].

La normativa in materia di sicurezza

- L'evoluzione del corpus normativo

La sicurezza sul lavoro si affaccia sul panorama legislativo con l'avvento della rivoluzione industriale: condizioni di lavoro inumane e procedure ad altissimo rischio spinsero ben presto i lavoratori a riunirsi in sindacati per richiedere che venissero loro riconosciute le necessarie tutele.

Le prime disposizioni di legge vennero emanate al termine del XIX secolo e di lì in avanti costantemente aggiornate in coerenza con l'evoluzione del mondo del lavoro.

Già con la legge 80/1898, viene introdotto il concetto di responsabilità del datore di lavoro, che è ora obbligato per legge a fornire una compensazione economica agli infortunati.

La precedenza dell'incolumità dei lavoratori rispetto al guadagno dei datori trova poi chiara affermazione nella Costituzione Italiana (1948), in particolare negli articoli 32 e 41, poi ripresi nel Codice civile art. 2087.

Art. 32. La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività, e garantisce cure gratuite agli indigenti.

Art.41. L'iniziativa economica privata è libera. Non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale o in modo da recare danno alla salute, all'ambiente, alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana.

Art.2087. L'imprenditore è tenuto a adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro [Cost. 37, 41]

Queste disposizioni di carattere generale ebbero il merito aggiunto di aver messo in evidenza la necessità di normare in maniera puntuale gli aspetti tecnici e formali della sicurezza sul lavoro. Il processo prende avvio con la delega da parte del Parlamento al Governo del potere esecutivo di emanare norme generali e speciali volte alla protezione dei lavoratori [L. 12 febbraio 1955, n°51], manovra che permette maggiore rapidità e flessibilità nell'adozione delle misure necessarie. Ne risultano dei decreti fondamentali per l'evoluzione dei diritti dei

lavoratori e che, sebbene successivamente abrogati, costituiscono il riferimento base per la normativa vigente e verranno sostanzialmente integrati nel D.lgs. 81/2008.

DPR n° 547/1955: “Decreto del Presidente della Repubblica relativo alle norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro”

Questo decreto stabilisce una serie di disposizioni dettagliate volte a garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori nei luoghi di lavoro, introduce una vasta gamma di misure preventive, obbligando i datori di lavoro a adottare attrezzature e dispositivi di sicurezza adeguati, a mantenere i macchinari in condizioni sicure e a garantire che i luoghi di lavoro siano strutturalmente sicuri. Aspetto cruciale è l'enfasi sulla formazione e informazione dei lavoratori riguardo ai rischi presenti nei loro ambienti di lavoro e alle misure di prevenzione necessarie, oltre all'introduzione dell'obbligo di segnalazione degli infortuni sul lavoro, volto a facilitare il monitoraggio e l'analisi delle condizioni di lavoro.

DPR n° 303/1956: “Decreto del Presidente della Repubblica relativo alle norme generali per l'igiene del lavoro”

Questo decreto stabilisce una serie di disposizioni mirate a garantire condizioni igieniche adeguate nei luoghi di lavoro includendo requisiti strutturali dei locali. Viene imposto ai datori di lavoro di garantire che i locali siano costruiti e mantenuti in modo da evitare condizioni insalubri, come umidità, polvere e cattiva aerazione, che siano sufficientemente ventilati e illuminati, e puliti regolarmente per prevenire la proliferazione di agenti patogeni, oltre all'obbligo di fornire servizi igienici in quantità proporzionale al numero di lavoratori.

Viene posta attenzione alla protezione dei lavoratori dall'esposizione a sostanze nocive con l'introduzione di misure specifiche per la manipolazione e lo stoccaggio di materiali pericolosi. Inoltre, viene stabilito l'obbligo di sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti a rischi specifici, garantendo che essi ricevano controlli medici periodici.

DPR n° 164/1956: “Decreto del Presidente della Repubblica relativo alle norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni”

Questo decreto stabilisce misure specifiche di sicurezza per il settore delle costruzioni. Impone ai datori di lavoro di adottare misure preventive per proteggere i lavoratori da cadute dall'alto, con l'obbligo di installare ponteggi, parapetti, e reti di sicurezza, stabilisce inoltre requisiti per l'uso di scale, impalcature, e altri dispositivi di accesso, assicurandosi che siano stabili e sicuri. Viene anche regolamentato l'uso delle macchine e delle attrezzature da lavoro, che devono essere mantenute in buono stato e utilizzate seguendo le istruzioni di sicurezza. Viene enfatizzata la necessità di fornire ai lavoratori dispositivi di protezione individuale (DPI) adeguati, come elmetti, guanti, e calzature antinfortunistiche. Inoltre, si prevede l'obbligo di segnalare i rischi presenti nei cantieri e di formare adeguatamente i lavoratori sulle misure di sicurezza da adottare. Il decreto stabilisce anche che i datori di lavoro debbano garantire un'adeguata organizzazione del cantiere per prevenire situazioni pericolose.

Legge n° 300/1970: Lo Statuto dei lavoratori

Negli anni '70, sotto la spinta delle sovversioni sindacali e operaie, viene conseguita un'ulteriore pietra miliare per la normativa sul lavoro con l'approvazione della Legge n. 300 del 20 maggio 1970. Questa legge, frutto di un intenso periodo di lotte e rivendicazioni da parte dei lavoratori e delle organizzazioni sindacali, introduce una serie di diritti e tutele fondamentali volte a promuovere la democrazia nei luoghi di lavoro.

La legge è composta di sei titoli che trattano diverse tematiche relative ai diritti sindacali, la libertà personale, e la dignità dei lavoratori.

Lo statuto attribuisce ai lavoratori il diritto di verificare l'applicazione delle norme di sicurezza, garantisce la libertà sindacale e sancisce il diritto di costituire rappresentanze sindacali aziendali, nonché le tutele dei lavoratori in caso di condotte antisindacali da parte dei datori stessi.

Entrando nel merito delle direttive inerenti il lavoro sicuro, è bene considerare nello specifico l'articolo 9:

Art.9. I lavoratori, mediante loro rappresentanze, hanno diritto di controllare l'applicazione delle norme per la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali e di promuovere la ricerca, l'elaborazione e l'attuazione di tutte le misure idonee a tutelare la loro salute e la loro integrità fisica.

I dipendenti diventano parte attiva nel monitoraggio delle proprie condizioni di lavoro. È ribadito il diritto all'elezione di dei propri rappresentanti che possano fungere da portavoce e vigilare sull'adeguatezza delle condizioni di sicurezza e segnalare eventuali difformità dalla norma di legge. I rappresentanti hanno il diritto ad accedere ai locali di lavoro anche senza la sovrintendenza del datore o di chi per esso, ed a ricevere tutte le informazioni necessarie a garantire un controllo efficace.

Le direttive comunitarie: il Trattato di Roma (1957) e l'Atto Unico Europeo (1986)

A livello europeo le prime direttive che vadano a regolamentare gli aspetti di igiene e sicurezza del lavoro tardano ad arrivare, in quanto i primi emendamenti della Comunità europea, sono focalizzati su tematiche economiche e solo di riflesso vanno ad influire sui problemi del mondo lavorativo.

Un avanzamento significativo sotto questo aspetto si ha con il Trattato di Roma del 1957 che va ad istituire la Comunità Economica Europea (CEE) con l'obiettivo di creare un mercato comune e promuovere una crescita economica sostenibile, garantendo la libera circolazione di cittadini e merci e fondando l'inizio della cooperazione degli Stati membri in materia sociale. La realizzazione di una normativa sulla tutela della sicurezza sul lavoro comune a tutti gli Stati membri diventa ora di interesse prioritario, con l'obbiettivo di migliorare la qualità di vita dei cittadini e di andare a ridurre gli elevati costi sociali delle malattie e infortuni professionali. Si vuole poi garantire una leale concorrenza di mercato tra i produttori di beni e servizi, di modo che la ricerca di un'offerta più competitiva non vada a discapito della salute del personale produttivo.

Art.117. Gli Stati membri convengono sulla necessità di promuovere il miglioramento delle condizioni di vita e di lavoro della mano d'opera che consenta la loro parificazione nel progresso. Gli Stati membri ritengono che una tale evoluzione risulterà sia dal funzionamento del mercato comune, che favorirà l'armonizzarsi dei sistemi sociali, sia dalle procedure previste dal presente Trattato e dal ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative.

Viene riconosciuto il legame tra condizioni di vita e lavoro dignitose e il progresso economico. Politiche sociali comunitarie diventano mezzo per conseguire l'unificazione degli standard di vita.

Art.118. Senza pregiudizio delle altre disposizioni del presente Trattato, e conformemente agli obiettivi generali di questo, la Commissione ha il compito di promuovere una stretta collaborazione tra gli Stati membri nel campo sociale, [...]

Viene delineato chiaramente l'intento di armonizzare e migliorare le normative sociali tra i Paesi membri, stabilendo un quadro di cooperazione continua, con particolare attenzione ad alcune materie, tra cui il diritto al lavoro, le condizioni di lavoro, la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali e l'igiene del lavoro.

I cardini del nuovo indirizzo riformatore della politica sociale vengono, successivamente sanciti dall'Atto unico europeo (1986) [13] che rappresenta la naturale espansione degli obiettivi proposti nel precedente Trattato di Roma. Quest'atto segna un salto di qualità nella legislazione comunitaria, consentendo l'effettiva attuazione del libero mercato tra i Paesi membri.

Art. 100A. (par.3) La Commissione, nelle sue proposte di cui al paragrafo 1 in materia di sanità, sicurezza, protezione dell'ambiente e protezione dei consumatori, si basa su un livello di protezione elevato.

Già nel precedente Trattato di Roma era previsto che il Consiglio, in caso di delibera unanime, potesse stabilire direttive volte all'armonizzazione delle legislazioni dei Paesi membri, qualora le modifiche fossero rivolte al raggiungimento degli obiettivi stabiliti. Con l'Atto Unico Europeo, viene enfatizzato come tutte le proposte debbano tenere come

standard il maggiore livello di protezione possibile, aprendo la via per l'adozione di prescrizioni minime di sicurezza per i lavoratori.

Art. 118A. (par.1) Gli Stati membri si adoperano per promuovere il miglioramento in particolare dell'ambiente di lavoro per tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori, e si fissano come obiettivo l'armonizzazione, in una prospettiva di progresso, delle condizioni esistenti in questo settore.

Art. 118A. (par.3) Le disposizioni adottate a norma del presente articolo non ostano a che ciascuno Stato membro mantenga e stabilisca misure, compatibili con il presente trattato, per una maggiore protezione delle condizioni di lavoro.

Quest'articolo evidenzia chiaramente i temi della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro. Le direttive vengono ora adottate tramite un processo di votazione a maggioranza qualificata, il che facilita l'approvazione delle normative senza il bisogno di unanimità, e permettendo conseguentemente un più rapida diffusione nella Comunità di standard minimi. Nell'ottica di garantire le migliori condizioni di vita possibili permane la possibilità per gli Stati membri di promuovere normative che portino al raggiungimento di un livello ancora superiore di garanzia.

Lo strumento giuridico impiegato per attuare i principi del Trattato è la direttiva. Questa vincola lo Stato membro cui è rivolta per quanto riguarda il risultato da raggiungere, salva restando la competenza degli organi nazionali in merito alla forma e ai mezzi [13].

Ne conseguiranno due classi di direttive: quelle di mercato rivolte direttamente ai fabbricanti e le direttive di tutela della sicurezza che in Italia troveranno attuazione con il d.lgs. 626 del 19 settembre 1994.

D. Lgs. 626/1994: Il nuovo sistema prevenzionistico

Il Decreto legislativo n. 626 rappresenta l'applicazione alla legislazione nazionale in materia di salute e sicurezza sul lavoro della direttiva quadro 89/391/CEE della Comunità Europea. Questa norma opera una svolta pivotale per il sistema italiano passando da una protezione prevalentemente di tipo reattivo ad una incentrata sulla prevenzione; viene inoltre per la prima volta introdotto il fondamentale concetto di autotutela da parte dei lavoratori.

Vengono definiti i doveri giuridici di informazione, formazione e partecipazione attiva dei lavoratori nella propria sicurezza e così facendo il focus viene centrato sul soggetto umano invece che sui rischi potenziali derivanti direttamente dagli strumenti.

Nonostante venga chiaramente affermata la responsabilità a carico dei lavoratori inerenti la sicurezza propria e di tutti coloro che si trovano a rischio di coinvolgimento, prendono ora gravità penale le eventuali omissioni in capo al datore di lavoro, rispetto alla formazione e informazione dei dipendenti.

Il datore ha il dovere di prevedere ad una corretta e completa analisi dei fattori di rischio inerenti la propria attività, sia per quanto riguarda i luoghi di lavoro, i mezzi e materiali sia per quanto concerne le lavorazioni e procedure. Dovrà poi fornire ai lavoratori un'informazione precisa e completa sui rischi concernenti alle mansioni di loro interesse e all'azienda nel suo complesso e successivamente verificare che le attività vengano svolte con metodi idonei a garantire l'incolumità di tutti gli utenti.

Vengono trattati all'interno del testo di legge i temi inerenti l'uso delle attrezzature di lavoro e dei dispositivi di protezione individuale, la movimentazione manuale id carichi e l'attività di videoterminalista, il rischio da agenti biologici e cancerogeni.

L'obbligo di garantire la sicurezza nello svolgimento delle attività lavorative viene ampliato anche a progettisti, produttori e fornitori, in controtendenza con l'andamento precedente quando tali categorie venivano esonerate dalla responsabilità penale.

Nell'ottica di un sistema prevenzionistico viene improntato il sistema di protezione aziendale con nuove figure di responsabilità. Nasce l'obbligo di un Servizio di Protezione e Prevenzione a cui fa capo un apposito Responsabile (RSPP), carica che può venire assegnata internamente, tra i lavoratori o il datore stesso, o esternamente. Questo soggetto ha il compito di sovrintendere all'analisi dei rischi propri dell'attività, l'individuazione ed elaborazione di misure e procedure di sicurezza per quanto di propria competenza, la programmazione e fornitura di informazione e formazione ai lavoratori.

L'obbligatorietà di un servizio di prevenzione aziendale, interno o esterno, è uno degli aspetti più qualificante della nuova politica di prevenzione, in quanto obbliga l'imprenditore a costituire in azienda una stabile struttura di consulenza per meglio assicurare l'osservanza dei precetti di prevenzione e protezione [13].

Ulteriori figure di responsabilità introdotte con il decreto sono il Medico Competente in ottemperanza al nuovo obbligo di sorveglianza sanitaria, atto a garantire un monitoraggio continuo nel tempo delle condizioni di salute dei lavoratori e della loro adeguatezza alle mansioni svolte, ed il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS), soggetto di tramite tra i lavoratori e i dirigenti, volta ad incentivare il coinvolgimento dei primi al mantenimento di condizioni di lavoro ottimali secondo lo standard di legge.

Viene inoltre introdotto in maniera essenziale il principio di coordinamento tra i datori di lavoro in condizioni di appalto, al fine di ridurre i rischi interferenziali derivanti dalla contemporaneità di più lavorazioni nello stesso ambiente.

Altre innovazioni che si devono a questo decreto sono le disposizioni rivolte agli istituti centrali della pubblica amministrazione sui criteri da applicare per il rilevamento di dati statistici sugli infortuni sul lavoro e le malattie professionali, e la definizione delle sanzioni relative all'inadempienza dei singoli obblighi prescritti.

Al testo di legge fanno seguito 13 allegati contenenti dati tecnici e operativi volti a facilitare l'applicazione pratica delle disposizioni:

Il decreto verrà più volte modificato e aggiornato negli anni a seguire, ma una fondamentale mancanza impedirà sempre una sua completa e sistematica applicazione: la normativa si presenta infatti estremamente frammentata, in quanto non si va a sostituire gli emendamenti precedenti, bensì ad integrarli, creando un quadro complesso e di difficile interpretazione.

- **D. Lgs. 81/2008: Testo Unico della Salute e Sicurezza sul Lavoro**

Nonostante il decreto 626/94 abbia introdotto una nuova filosofia di approccio alle tematiche di salute e sicurezza, è con il decreto legislativo n. 81/2008 che si ottiene la completa applicazione della disciplina. Il Testo Unico per la Salute e Sicurezza sul Lavoro (TUSSL) opera la revisione, riordino e armonizzazione dell'intero ordinamento prevenzionistico italiano, andando ad abrogare la maggioranza delle disposizioni di legge precedenti che risultavano spesso vicendevolmente incompatibili e di difficile interpretazione.

Sebbene la realizzazione di un testo di legge unificato fosse stata prevista già con la riforma sanitaria del 1978 (legge 833, art. 24), la mole di lavoro necessaria alla revisione di un sistema disciplinare basato su emendamenti distribuiti in un arco di 60 anni ha fatto sì che l'esigenza restasse a lungo inattesa, fino a quando non venne bruscamente riportata all'attenzione pubblica. Il 6 dicembre 2007, un incidente provocato da un malfunzionamento durante la lavorazione dell'acciaio nello stabilimento ThyssenKrupp di Torino, porta a un'esplosione e a un successivo incendio causando la morte di sette operai. L'incidente, considerato uno dei più tragici avvenuti sul lavoro nell'Italia contemporanea, mette in luce le gravi carenze nelle misure di prevenzione e protezione adottate dall'azienda [14].

Il decreto, emanato il 9 aprile 2008 ed entrato in vigore il 15 aprile dello stesso anno, è volto a regolamentare l'interno mondo del lavoro, sia pubblico che privato, per tutti i settori e tutte le categorie di rischio.

Composto di 13 Titoli, 306 articoli e 51 Allegati, verrà più volte integrato e aggiornato, con l'intenzione di ottenere una norma il più precisa e attualizzata possibile. La prima modifica risale già al primo anno dell'emendamento, quando con il d.lgs.106/2009, vengono corrette inesattezze e sviste; una delle modifiche più recenti è il d.lgs. 19 del 1° marzo 2024, con il quale viene introdotto l'obbligo di patente a punti per le imprese o lavoratori autonomi impegnati in cantieri temporanei o mobili [15].



Figura 1- Schema dei contenuti del TUSL [16]

Il Testo si pone l'obiettivo di fornire il più alto livello di protezione per tutti i lavoratori, indipendentemente dal tipo di attività svolta, siano gli stessi autonomi, subordinati o appartenenti ad altre specifiche categorie, sia per il settore pubblico, che privato, e soggetti a qualsiasi tipologia di rischio. Vieni posto un forte accento sulla prevenzione dei rischi, obbligando i datori di lavoro a condurre una valutazione approfondita e sistematica dei rischi specifici associati ad ogni attività lavorativa. Questo processo è essenziale per identificare e mitigare i potenziali pericoli, promuovendo la priorità dell'adozione di dispositivi di protezione collettiva, come barriere fisiche o sistemi di ventilazione, e il ricorso a soluzioni individuali solo al fine di risolvere il rischio residuo.

Le responsabilità sono chiaramente definite per i datori di lavoro, i dirigenti e i lavoratori, con un impegno condiviso per garantire un ambiente di lavoro sicuro. La formazione e l'informazione costituiscono pilastri centrali, assicurando che ogni lavoratore sia pienamente consapevole dei rischi specifici del proprio settore e delle misure di sicurezza necessarie per prevenirli in modo efficace.

Il decreto include anche disposizioni specifiche per settori ad alto rischio, come l'edilizia, l'industria chimica e l'agricoltura, dove le condizioni di lavoro possono comportare rischi

significativi e richiedere approcci ad hoc nella gestione della sicurezza. Inoltre, stabilisce norme dettagliate per la gestione delle emergenze, indicando procedure chiare da seguire in caso di situazioni critiche o di crisi sul luogo di lavoro.

È prevista l'implementazione di regolari controlli sanitari per i lavoratori esposti a rischi specifici, al fine di monitorare costantemente lo stato di salute e preservare il benessere a lungo termine del personale.

La normativa sottolinea l'importanza di sanzioni penali per le violazioni delle norme di sicurezza, con l'obiettivo di garantire una rigorosa applicazione delle disposizioni e un alto livello di conformità nei luoghi di lavoro.

Gli organi di sorveglianza, come l'ISPESL e le ASL, sono incaricati di vigilare sul rispetto delle normative e di intervenire prontamente per garantire condizioni di lavoro sicure e conformi agli standard di sicurezza stabiliti.

Il Testo Unico rappresenta non solo un quadro normativo dettagliato ma anche un impegno concreto per proteggere la salute fisica e mentale dei lavoratori, promuovendo ambienti di lavoro sicuri, sostenibili e preparati ad affrontare eventuali emergenze. Le disposizioni del decreto non solo stabiliscono obblighi chiari per i datori di lavoro e per le figure di sicurezza, ma promuovono anche una cultura della prevenzione e della responsabilità condivisa. Le continue modifiche e gli aggiornamenti al decreto dimostrano l'impegno costante delle autorità italiane nel migliorare e rafforzare le misure di protezione e prevenzione nei luoghi di lavoro, in risposta alle sfide emergenti e alle evoluzioni normative.

La sicurezza nei cantieri

- La prevenzione e protezione nei cantieri temporanei e mobili

La sicurezza sul lavoro nei settori edili è disciplinata dal Titolo IV (art. 88-160) del Testo Unico e dai suoi allegati. Il campo di applicazione del titolo è esteso a tutti i cantieri temporanei o mobili, definiti come qualsiasi luogo dove si svolgono lavori edili o di ingegneria civile, come indicato nell'allegato X, che includono:

- lavori di costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione, conservazione, risanamento, ristrutturazione o equipaggiamento;
- trasformazione, rinnovamento, smantellamento di opere;
- opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche;
- opere di bonifica, sistemazione forestale, sterro;
- scavi, montaggio e smontaggio di elementi prefabbricati.

Il testo di legge contiene la definizione di tutte le figure responsabili della sicurezza all'interno dei cantieri edili, comprensivo di responsabilità ed obblighi. Viene poi introdotta la documentazione necessaria quale la Notifica Preliminare e il Piano di Sicurezza e Coordinamento, per i quali sono definiti i contenuti minimi.

Vengono poi trattate le prescrizioni generali relative alla gestione e organizzazione della sicurezza in un cantiere edile, comprensivi di disposizioni sulla viabilità e sulla segnaletica.

Particolare attenzione viene data dal legislatore al rischio di caduta dall'alto: articoli specifici trattano l'utilizzo di ponteggi fissi e mobili, e tutti i casi in cui durante le lavorazioni è possibile incorrere nel suddetto rischio. Viene definita la precedenza di misure di protezione collettiva, come parapetti e reti di sicurezza, rispetto all'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale (DPI), ai quali si deve ricorrere quando le misure collettive non sono sufficienti a garantire la sicurezza dei lavoratori.

La formazione dei lavoratori è un punto fondamentale. Gli articoli 96 e 97 stabiliscono l'obbligo di fornire formazione adeguata e continua sui rischi specifici del cantiere e sulle

procedure di sicurezza da seguire. L'informazione dettagliata sui pericoli e sulle pratiche sicure è essenziale per ridurre il rischio di incidenti sul lavoro.

Infine, l'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale (DPI) è una parte essenziale delle misure di sicurezza. Gli articoli pertinenti sottolineano l'importanza di fornire DPI adeguati e di garantire che siano utilizzati correttamente dai lavoratori per proteggerli dai rischi sul cantiere.

All'ultimo Capo sono stabilite le sanzioni in cui possono incorrere le figure responsabili in caso di mancanza ai propri doveri.

Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e Piano Operativo di Sicurezza (POS)

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) è un documento obbligatorio nei cantieri temporanei o mobili in cui è prevista la presenza di più di un'impresa esecutrice, anche non contemporanea, come specificato dal Testo Unico. Il PSC deve essere redatto dal Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione dell'opera e rappresenta uno strumento fondamentale per garantire la sicurezza sul lavoro.

Questo documento deve contenere una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori. Tra i contenuti minimi obbligatori del PSC stabiliti nell'Allegato XV del Testo Unico vi sono:

- l'identificazione e la descrizione dell'opera, esplicitata con l'indirizzo del cantiere e la descrizione del contesto in cui è collocata l'area di cantiere;
- una descrizione sintetica del progetto, con particolare riferimento alle scelte progettuali, architettoniche, strutturali e tecnologiche;
- l'individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza, esplicitata con l'indicazione dei nominativi del responsabile dei lavori, del coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione e, qualora già nominato, del coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione ed a cura dello stesso coordinatore per l'esecuzione con l'indicazione, prima dell'inizio dei singoli lavori, dei nominativi dei datori di lavoro delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi;

- una relazione concernente l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi concreti, con riferimento all'area ed alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni ed alle loro interferenze;
- le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive, in riferimento all'area di cantiere, all'organizzazione e alle lavorazioni;
- le prescrizioni operative, le misure preventive e protettive ed i dispositivi di protezione individuale, in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni;
- le misure di coordinamento relative all'uso comune da parte di più imprese e lavoratori autonomi, come scelta di pianificazione lavori finalizzata alla sicurezza, di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva;
- le modalità organizzative della cooperazione e del coordinamento, nonché della reciproca informazione, fra i datori di lavoro e tra questi ed i lavoratori autonomi;
- l'organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione;
- il cronoprogramma dei lavori e l'entità presunta del cantiere espressa in uomini-giorno;

Il documento deve inoltre includere la stima dei costi della sicurezza, che rappresentano la parte del costo dell'opera non soggetta a ribasso nelle offerte delle imprese esecutrici.

L'importanza fondamentale del PSC sta nella capacità di coordinare le attività delle varie imprese, prevenendo i rischi derivanti dall'interferenza tra le diverse lavorazioni, e assicurare tutte le ditte siano ugualmente informate sui rischi e le procedure necessaria ad operare nello specifico sito. Il PSC deve infatti essere letto e sottoscritto dai datori di lavoro e RLS di tutte le ditte che parteciperanno all'opera; sulla base dello stesso verranno poi redatti i singoli Piani Operativi di Sicurezza (POS) con i rischi e le procedure relative alle specifiche lavorazioni che ogni ditta svolgerà all'interno del progetto.

Lo stesso Allegato XV prescrive anche i contenuti minimi del POS il quale deve contenere i dati relativi ad ogni impresa esecutrice, che comprendono:

- il nominativo del datore di lavoro, gli indirizzi ed i riferimenti telefonici della sede legale e degli uffici di cantiere;
- la specifica attività e le singole lavorazioni svolte in cantiere dall'impresa esecutrice e dai lavoratori autonomi sub-affidatari;

- i nominativi di tutte le figure con compiti di sicurezza i nominativi
- il numero e le relative qualifiche dei lavoratori dipendenti dell'impresa esecutrice e dei lavoratori autonomi operanti in cantiere per conto della stessa impresa;
- le specifiche mansioni, inerenti la sicurezza, svolte in cantiere da ogni figura nominata allo scopo dall'impresa esecutrice;
- la descrizione dell'attività di cantiere, delle modalità organizzative e dei turni di lavoro;
- l'elenco dei ponteggi, dei ponti su ruote a torre e di altre opere provvisorie di notevole importanza, delle macchine e degli impianti utilizzati nel cantiere;
- l'elenco delle sostanze e preparati pericolosi utilizzati nel cantiere con le relative schede di sicurezza;
- l'esito del rapporto di valutazione del rumore;
- l'individuazione delle misure preventive e protettive, integrative rispetto a quelle contenute nel PSC quando previsto, adottate in relazione ai rischi connessi alle proprie lavorazioni in cantiere;
- le procedure complementari e di dettaglio, richieste dal PSC quando previsto;
- l'elenco dei dispositivi di protezione individuale forniti ai lavoratori occupati in cantiere;
- la documentazione in merito all'informazione ed alla formazione fornite ai lavoratori occupati in cantiere.

La corretta attuazione delle prescrizioni di legge garantisce che tutti i lavoratori siano adeguatamente informati, formati e consapevoli dei rischi specifici del cantiere, contribuendo così a un ambiente di lavoro più sicuro e a una maggiore protezione della salute dei lavoratori.

Fascicolo dell'opera

Il fascicolo dell'opera è un documento tecnico essenziale predisposto dal coordinatore per la progettazione durante la fase di progettazione dell'opera. Questo documento, che accompagna l'opera per tutta la sua durata di vita, può essere modificato nella fase esecutiva in funzione dell'evoluzione dei lavori, garantendo così una documentazione sempre aggiornata. Il fascicolo dell'opera è strutturato in tre capitoli principali:

- *Descrizione sintetica dell'opera e indicazione dei soggetti coinvolti:* Questo capitolo offre una panoramica dell'opera, descrivendo sinteticamente il progetto e identificando tutti i soggetti coinvolti, come progettisti, direttori dei lavori, e appaltatori.
- *Individuazione dei rischi, delle misure preventive e protettive in dotazione:* In questa sezione, vengono identificati i rischi associati all'opera e le misure preventive e protettive adottate per mitigarli. Questo capitolo è cruciale per garantire la sicurezza sul cantiere e per informare tutti i lavoratori e tecnici sulle procedure di sicurezza da seguire.
- *Riferimenti alla documentazione di supporto esistente:* Qui vengono elencati e referenziati tutti i documenti di supporto correlati, come i piani di sicurezza, i certificati di conformità dei materiali, i verbali di collaudo e le istruzioni per la manutenzione.

Il fascicolo dell'opera deve essere letto e consultato da diverse figure professionali, tra cui il direttore dei lavori, il responsabile della sicurezza, i tecnici manutentori e i proprietari dell'edificio. È di fondamentale importanza perché assicura che tutti i passaggi del processo costruttivo siano stati eseguiti correttamente e secondo le normative vigenti. Inoltre, facilita eventuali interventi futuri e garantisce la sicurezza dell'edificio nel tempo.

- **Le figure della sicurezza**

Committente (D.lgs. 81/200, Titolo IV, Art.90 - 93) :

Il committente è responsabile della selezione dei Coordinatori alla Sicurezza, basandosi sui requisiti richiesti dalla normativa vigente, e dell'elaborazione del disciplinare di incarico. Deve identificare le fasi lavorative, determinarne la durata, e valutare la loro sovrapposizione o successione. È incaricato di gestire il processo costruttivo con una puntuale pianificazione delle fasi di lavoro in condizioni di sicurezza. Inoltre, è tenuto a valutare e approvare il Piano di Sicurezza e di Coordinamento (PSC) e il fascicolo tecnico, nonché a fungere da punto di riferimento per le segnalazioni di eventuali inadempienze. Per tutti questi compiti che potrebbero risultare difficilmente gestibili da un soggetto privato, privo di idonea formazione esiste la possibilità di delega delle funzioni al responsabile dei lavori, spesso il progettista, sul cui operato il committente dovrà comunque vigilare in quanto rimane sua la responsabilità della sicurezza dei lavoratori in caso di infortuni.

Nel caso di un committente pubblico questi, in qualità di soggetto detentore del potere decisionale e di spesa, svolge un ruolo essenziale nella gestione dell'opera pubblica. Per esempio, in un Comune il committente pubblico [...] potrebbe coincidere anche con l'intero Consiglio comunale o con il Sindaco e la sua Giunta o con il Dirigente dell'ufficio tecnico [17].

Datore di Lavoro (D.lgs. 81/2008, Titolo IV, Art. 17-18 e 96-97):

Il datore di lavoro è responsabile della sicurezza e della salute dei lavoratori sul cantiere. Deve garantire l'adozione di misure preventive e protettive per eliminare o ridurre al minimo i rischi sul lavoro. È tenuto a fornire le risorse necessarie per la sicurezza, compresi strumenti, attrezzature e formazione appropriata e deve collaborare con le figure designate per la sicurezza e assicurarsi che tutti i lavoratori siano informati sui rischi specifici del loro ambiente di lavoro. Le responsabilità del datore di lavoro sono numerose, alcune delle quali richiedono per di più delle competenze specifiche, per tal ragione è prevista la possibilità di delega a figure più idonee. Tuttavia, due sono gli obblighi indelegabili del datore di lavoro ovvero la nomina del Responsabile del servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP), e la redazione del Documento di Valutazione Rischi (DVR). Questo documento analizza tutti i rischi presenti sul luogo di lavoro e stabilisce le misure necessarie per gestirli in modo sicuro. La valutazione dei rischi considera vari fattori come gli strumenti utilizzati, i materiali impiegati, le condizioni ambientali e organizzative, oltre agli aspetti umani e comportamentali dei lavoratori, e deve essere aggiornato periodicamente.

Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.33):

Il RSPP è il professionista incaricato della gestione della sicurezza e della salute sul lavoro. Deve coordinare l'analisi dei rischi, affiancando il datore di lavoro nella redazione del DVR ed elaborare specifiche procedure di sicurezza, garantendo la conformità alle normative vigenti. È responsabile della gestione della formazione e informazione dei lavoratori e assicurarsi che tutte le misure preventive siano efficaci e rispettate.

Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.47-50):

Il RLS è il rappresentante eletto dai lavoratori per tutelare i loro interessi in materia di sicurezza. Partecipa alle consultazioni con il datore di lavoro per discutere e segnalare rischi, pericoli e problematiche legate alla sicurezza. Collabora con le altre figure coinvolte per migliorare le condizioni di lavoro e promuovere una cultura della sicurezza sul cantiere.

Il RLS ha l'obbligo di informare il datore di lavoro delle situazioni di rischio di cui viene a conoscenza nello svolgimento delle sue funzioni e di osservare il segreto in merito alle notizie attinenti l'attività produttiva. Per svolgere al meglio le sue funzioni il Testo Unico gli garantisce il diritto di accesso a tutti i locali del luogo di lavoro e a tutti i documenti e le informazioni relative alla gestione della sicurezza.

Medico Competente (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.25 e 38-42):

Il Medico Competente è un esperto in medicina del lavoro incaricato di valutare l'idoneità dei lavoratori alla mansione in base ai rischi specifici del loro lavoro. Deve eseguire controlli sanitari regolari per monitorare la salute dei lavoratori e prevenire malattie professionali. Fornisce consulenze sulla salute e prescrive misure preventive o trattamenti necessari per proteggere la salute dei dipendenti.

Coordinatore per la Sicurezza (CSP/CSE) (D.lgs. 81/2008, Titolo IV, Art.91-92):

Secondo il Testo Unico, il coordinatore per la sicurezza è responsabile della pianificazione e del coordinamento delle misure preventive per la salute e la sicurezza sul lavoro. Questo professionista deve assicurarsi che tutte le attività svolte nel cantiere rispettino le norme di sicurezza stabilite, coordinando gli sforzi tra diverse imprese e assicurando che i lavoratori operino in un ambiente sicuro. Oltre a pianificare il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e il fascicolo dell'opera, il coordinatore per la sicurezza ha il compito di monitorare costantemente l'implementazione delle misure preventive durante tutte le fasi del progetto. Questo include la valutazione dei rischi specifici e l'adeguamento delle procedure di sicurezza in base all'evoluzione dei lavori. Inoltre, il coordinatore per la sicurezza è tenuto a

segnalare eventuali violazioni delle normative di sicurezza alle autorità competenti e a collaborare con i rappresentanti dei lavoratori per garantire un ambiente di lavoro sano e sicuro per tutti i dipendenti coinvolti nel cantiere.

Dirigente di Cantiere (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.18 e Titolo IV, Art. 96):

Il Dirigente di Cantiere ha la responsabilità operativa di gestire tutte le attività sul cantiere in conformità alle normative di sicurezza. Deve garantire che il cantiere sia organizzato in modo sicuro, fornendo istruzioni chiare e supervisionando l'applicazione delle misure preventive. Coordina le attività di formazione e gestisce le emergenze, garantendo una risposta rapida ed efficace in caso di incidenti. È una delle figure a cui il datore di lavoro può delegare le proprie responsabilità tra cui : la nomina del medico competente, l'affido dei compiti ai lavoratori, la consegna ai lavoratori i dispositivi di protezione individuale (DPI), vigilare sull'osservanza da parte dei singoli lavoratori delle norme vigenti, l'adempimento agli obblighi di informazione, formazione e addestramento dei lavoratori.

Preposto (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.19 e Titolo IV, Art. 96):

Il Preposto è un lavoratore designato con compiti di vigilanza diretta sulla sicurezza in una specifica area del cantiere, in ragione delle sue competenze ed esperienza pratica professionale. Deve assicurarsi che le operazioni siano eseguite in modo sicuro, secondo le procedure previste, in caso contrario ha il potere di interrompere le lavorazioni fino al risolvimento della situazione critica nonché l'obbligo di segnalare il fatto al datore o responsabile dei lavori. Sono previsti da normativa corsi formativi appositi per l'assolvimento dei compiti da preposto.

Addetti alle emergenze (D.lgs. 81/2008, Titolo I, Art.20):

Sono lavoratori designati dal datore di lavoro per gestire situazioni di emergenza sul cantiere, come incendi o altre emergenze gravi. Devono essere adeguatamente formati e dotati delle attrezzature necessarie per intervenire tempestivamente ed efficacemente. È

fondamentale che essi seguano le procedure operative stabilite per garantire la sicurezza di tutti i lavoratori durante le situazioni di emergenza, collaborando strettamente con il datore di lavoro e il servizio di prevenzione e protezione per migliorare costantemente le procedure di gestione delle emergenze.

Lavoratori:

L'obiettivo del legislatore è distribuire le responsabilità preventive tra tutti i soggetti aziendali per promuovere una collaborazione attiva. Il lavoratore, considerato il primo elemento di sicurezza, deve contribuire, insieme ad altri attori, al rispetto degli obblighi per la tutela della salute e sicurezza sul lavoro. Ogni lavoratore è tenuto a prendersi cura della propria sicurezza e salute, così come di quelle delle altre persone sul luogo di lavoro, eseguendo le proprie mansioni con diligenza e competenza. Questo implica che oltre alla serietà personale del lavoratore, il datore di lavoro debba fornire formazione e informazioni adeguate. Gli obblighi specifici dei lavoratori includono: rispettare disposizioni e istruzioni ricevute, utilizzare correttamente attrezzature di lavoro e dispositivi di protezione, segnalare condizioni di pericolo, evitare operazioni al di fuori della propria competenza, sottoporsi a controlli sanitari previsti e partecipare a programmi di formazione e addestramento.

Per tutte queste figure è prevista una nomina con valenza legale; tuttavia, è bene ricordare che in virtù del principio di effettività introdotto dal Testo Unico, i ruoli di datore di lavoro, dirigente e preposto gravano anche su chi di fatto esercita i poteri direttivi propri di ciascuna figura anche in assenza di una nomina formale, e sono pertanto riconosciuti come soggetti responsabili e citabili in giudizio in caso di mancanza agli obblighi di competenza [18].

- I rischi prevalenti nei cantieri edili

Il D.lgs. 81/2008 si articola attorno alla necessità di valutare ogni singolo rischio potenziale che i lavoratori possono incontrare durante l'attività lavorativa, secondo quanto previsto dall'articolo 28 del Testo Unico.

Esistono rischi di natura fisica, che includono quelli legati alla sicurezza strutturale degli ambienti di lavoro e al corretto funzionamento delle attrezzature. Questi rischi possono derivare da mancanze nella manutenzione degli impianti o dalla presenza di materiali infiammabili, sottolineando l'importanza di sistemi antincendio efficaci e di protocolli di emergenza ben definiti.

La valutazione dei rischi igienico-ambientali è altrettanto cruciale, considerando gli effetti nocivi che esposizioni prolungate ad agenti chimici, fisici e biologici possono avere sulla salute dei lavoratori. Gli agenti chimici comprendono sostanze pericolose come amianto, cementi, fumi di saldatura e altre polveri, con particolare attenzione ai rischi noti per la salute umana.

Tra gli agenti fisici rientrano le condizioni ambientali come il microclima, e l'illuminazione inadeguata in quanto fattori che possono influenzare negativamente il benessere fisico dei lavoratori e la loro capacità di eseguire le mansioni in sicurezza. Ulteriori rischi fisici sono poi il rumore sul luogo di lavoro oltre determinate soglie, e le vibrazioni sia mano-braccio che a corpo intero. Entrambi questi fattori possono non comportare danni immediati ma, nel lungo termine, possono portare a malattie professionali che impattano pesantemente sul benessere dell'individuo. (*D.lgs. 81/2008, titolo VIII*)

Parallelamente ai rischi tradizionali, il decreto legislativo affronta anche quelli "trasversali", che interessano sia la sicurezza che la salute psicologica dei lavoratori. Questi includono fattori organizzativi come ritmi di lavoro stressanti, turni prolungati o mancanza di pause adeguate, oltre a rischi psicosociali come lo stress derivante da un ambiente lavorativo poco strutturato o da carichi lavorativi eccessivi.

In aggiunta, il decreto prevede una valutazione specifica dei rischi legati alle differenze di genere, età e provenienza geografica dei lavoratori. Ad esempio, le donne possono essere più esposte a rischi a causa di carichi di lavoro supplementari derivanti dalle responsabilità familiari, mentre i lavoratori stranieri possono incontrare difficoltà aggiuntive dovute a barriere linguistiche e culturali nella comprensione delle normative di sicurezza.

Il legislatore ha inoltre riconosciuto l'importanza di considerare la natura del contratto di lavoro, comprendendo che i lavoratori con contratti flessibili o temporanei possono essere meno familiarizzati con le procedure di sicurezza aziendale, aumentando il rischio di incidenti sul lavoro.

Rischio caduta dall'alto

Nel contesto dei cantieri, il rischio di caduta dall'alto rappresenta una delle principali preoccupazioni per la sicurezza sul lavoro. Il Testo Unico definisce i lavori in quota come qualsiasi attività lavorativa che espone il lavoratore al rischio di caduta dall'alto da una quota posta ad altezza superiore a due metri rispetto ad un piano stabile.

La maggior parte delle lavorazioni in quota sono svolte nel settore dell'edilizia, ed è uno dei rischi con più alto numero di infortuni. Collegate al rischio di caduta vi sono anche altre tipologie di situazioni potenzialmente pericolose, il lavoratore potrebbe infatti essere sottoposto al cosiddetto "effetto pendolo" e urtare, di conseguenza, contro il suolo, una parete o un ostacolo, aumentando così la gravità del danno subito. Altra circostanza da non sottovalutare riguarda la sospensione inerte del corpo, quando un lavoratore, in seguito a una caduta, rimane appeso e senza la possibilità di muoversi. Questa condizione, a causa dell'imbracatura, può portare presto alla perdita di coscienza e, in mancanza di intervento in tempi brevi, anche alla morte.

Quando i lavori temporanei in quota non possono essere svolti in condizioni di sicurezza e in condizioni ergonomiche adeguate è necessario scegliere le attrezzature di lavoro più idonee, in base ai seguenti criteri:

- dare priorità alle misure di prevenzione collettiva rispetto a quelle individuali;

- le dimensioni delle attrezzature di lavoro devono essere adatte alla natura dei lavori da eseguire, alle sollecitazioni prevedibili e ad una circolazione senza rischi;
- la scelta del tipo più idoneo di sistema di accesso ai posti di lavoro temporanei in quota deve essere presa in rapporto alla frequenza di circolazione, al dislivello e alla durata dell'impiego.

La gestione del rischio di caduta dall'alto inizia con l'identificazione dei punti critici e delle situazioni potenzialmente pericolose durante la fase di progettazione del cantiere. Il coordinatore per la sicurezza deve assicurarsi che le strutture temporanee utilizzate per il lavoro in quota siano progettate per resistere ai carichi previsti e siano correttamente installate e mantenute.

Durante l'esecuzione dei lavori, è fondamentale monitorare costantemente il rispetto delle misure preventive da parte dei lavoratori e delle imprese coinvolte; in caso di violazioni delle normative o di condizioni di rischio non accettabili, le figure responsabili sono tenute a intervenire immediatamente per correggere la situazione e adottare le misure necessarie per prevenire incidenti.

Rischio spazi confinati

Nei cantieri edili, la gestione del rischio associato agli spazi confinati è regolata non solo dal Testo Unico, ma anche dal Decreto del Presidente della Repubblica (DPR) 177/2011, che stabilisce le misure minime di sicurezza per le attività svolte all'interno di questi ambienti particolarmente rischiosi.

Gli spazi confinati sono definiti come aree caratterizzate da limitati punti di accesso, ventilazione inadeguata e potenziali rischi atmosferici come tossicità dell'aria e/o carenza di ossigeno. La normativa italiana stabilisce rigide prescrizioni per affrontare questi pericoli. Secondo normativa l'accesso ad uno spazio confinato è condizionato da precedente dettagliata valutazione dei livelli di rischio da parte del Coordinatore, che dovrà poi venire regolarmente aggiornata in base alle modifiche delle condizioni di lavoro. Per ogni caso specifico verranno progettate idonee procedure di accesso che prevederanno tutti i DPI

necessari, quali potrebbero essere imbraghi ed argani, tute protettive integrali, rilevatori multi-gas , ecc.

Le lavorazioni in spazi confinati richiedono l'impiego di operatori in squadre di minimo tre persone, delle quali due resteranno all'esterno per svolgere funzioni di assistenza e vigilanza e soltanto una opererà all'interno dello spazio. I lavoratori devono essere in possesso di attestata formazione in merito e quando necessario nell'utilizzo di DPI di terza categoria; inoltre, almeno uno di questi deve essere in possesso di esperienza superiore ai tre anni nella mansione. *(DPR 177/2011, art 1, comma 2-3)*

Durante le operazioni all'interno degli spazi confinati, è essenziale monitorare continuamente lo stato dell'atmosfera interna al fine di rilevare tempestivamente cambiamenti pericolosi. È questa la funzione del rilevatore multi-gas, il quale è sempre provvisto di un sistema che generi un segnale acustico qual ora si superassero la soglia di allarme per ciascuna delle sostanze aeree rilevate, allertando così gli operatori esterni che si attiveranno per l'immediata estrazione del lavoratore all'interno.

La gestione dei rischi negli spazi confinati richiede una pianificazione scrupolosa da parte del Coordinatore per la Sicurezza. Questo professionista deve coordinare tutte le fasi dell'attività, dalla preparazione dell'ingresso fino all'uscita dallo spazio confinato, garantendo il rispetto delle procedure operative standard e la disponibilità di attrezzature di salvataggio e soccorso.

CAPITOLO 2 – Il BIM: Building Information Modeling

Il concetto di BIM

Il concetto viene coniato nel 1974 dal professor Charles M. Eastman in una sua pubblicazione relativa ad una ricerca sviluppata alla Carnegie-Mellon University di Pittsburgh USA), dal titolo *“An outline of the building description system”* [19], ma la prima reale implementazione del metodo è del 1987 con il modello virtuale in ArchiCAD della ditta produttrice di software tecnici Graphisoft. Si avvia così ad un lungo processo di ricerca e avanzamento tecnologico di dimensioni globali.

Il Building Information Modeling (BIM) è un processo di elaborazione avanzata e intelligente che utilizza modelli digitali 3D per pianificare, progettare, costruire e gestire edifici e infrastrutture. A differenza dei tradizionali metodi di progettazione bidimensionali, il BIM si basa su un insieme di dati che descrivono gli oggetti virtualmente, imitando il modo in cui saranno gestiti fisicamente nella realtà. La tecnologia permette di studiare già in fase preliminare le eventuali complessità di esecuzione e l’impatto delle diverse decisioni possibili, permettendo una progettazione più efficace e completa e garantendo il monitoraggio dell’intero ciclo vita dalla realizzazione, alla manutenzione fino allo smaltimento [20].

L’introduzione di un metodo di progettazione integrata, il quale richiede nuove competenze e un processo strutturato, non è di facile implementazione negli ambienti di lavoro, per questo motivo l’adozione del Bim viene svolta secondo un processo graduale, secondo una suddivisione in livelli di maturità definiti nella norma PAS 1192, diffusa dalle istituzioni inglesi (Figura 2):

- Livello 0: disegni cartacei, metodi tradizionali CAD
- Livello 1: introduzione della modellazione 3D ma come solo supporto grafico

- Livello 2: impegno del metodo Bim in ogni disciplina, ma i professionisti lavorano separatamente ed è compito del BIM manager monitorare l'interazione tra i modelli e la condivisione dei dati
- Livello 3: implementazione completa del metodo BIM al pieno delle sue potenzialità I professionisti collaborano sullo stesso modello e la condivisione dei dati è continua durante tutto il ciclo vita dell'opera.

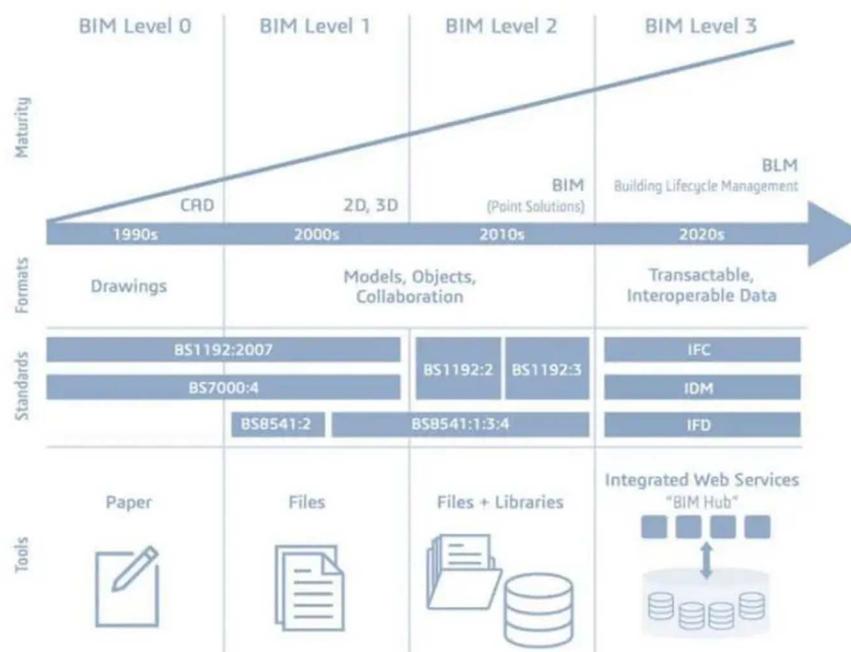


Figura 2 - Livelli del BIM [20]

In ambiente Bim la progettazione di un edificio inizia dalla creazione dei modelli delle sue componenti, complete dei dati rilevanti, che possono essere inerenti i materiali, le prestazioni, l'impatto ambientale, i costi, le manutenzioni necessarie, e molto altro. Talvolta i produttori componenti mettono a disposizione i modelli dei loro cataloghi di prodotti, già completi di tutte le informazioni necessarie.

Quest'attenzione aggiuntiva alle decisioni progettuali già a partire dalle prime fasi, permette di arrivare ad un modello finale dal quale è possibile estrapolare non solo la restituzione

grafica, ma anche computi metrici, e a seconda del livello di dettaglio a cui ci si è attenuti, eventuali ulteriori analisi tecniche.

La precisione richiesta per il progetto viene solitamente definita dal committente, sulla base delle informazioni che desidera ottenere dalla lettura. La normativa italiana di riferimento (UNI 11337-4:2017), divide i livelli di dettaglio (LOD) in 7 categorie:

- LOD A: rappresentazione simbolica; informazioni di base, rappresentate in modo simbolico. È il livello meno dettagliato e viene utilizzato principalmente nelle fasi iniziali di progettazione per visualizzare concetti o idee generali.
- LOD B: rappresentazione generica; rappresentazione preliminare che fornisce una panoramica degli elementi senza specifiche tecniche approfondite.
- LOD C: sistema geometrico definito; dimensioni e forme che iniziano a riflettere la realtà, ma senza dettagli fini, utile per le fasi di progettazione dove è necessaria una maggiore precisione.
- LOD D: sistema geometrico dettagliato; i modelli riflettono accuratamente le dimensioni, le forme e le posizioni reali, adatto per la documentazione di costruzione e per i dettagli esecutivi.
- LOD E: oggetto specifico; vengono incluse tutte le informazioni necessarie per la fabbricazione e la costruzione, come materiali, connessioni e dettagli di installazione.
- LOD F: oggetto eseguito; un modello "as-built" che riflette fedelmente la costruzione completata, includendo tutte le modifiche fatte durante la costruzione.
- LOD G: oggetto aggiornato; un modello che rimane attuale e utile per la gestione delle operazioni e manutenzioni dell'edificio, viene aggiornato con tutte le modifiche effettuate nel tempo.

L'analisi dei diversi possibili LOD evidenzia come le finalità perseguibili con un modello BIM vadano ben oltre la fase progettuale precedente la realizzazione di nuove opere. A tal proposito si tende a parlare di dimensioni; la normativa ne prevede 7:

1D: Concept design; viene sviluppata l'idea base del progetto tramite schizzi, diagrammi e rappresentazioni simboliche.

2D: Elaborati 2D; produzione di documentazione bidimensionale tradizionale come piante, prospetti e sezioni

3D: Rappresentazione tridimensionale del prodotto; permette di visualizzare e analizzare meglio la forma e le caratteristiche fisiche del progetto.

4D: Analisi della durata o tempi (programmazione); aggiunge la dimensione temporale al modello 3D, permettendo l'analisi della sequenza e della durata delle attività di costruzione. È utile per la programmazione dei lavori, il monitoraggio del progresso e la gestione delle tempistiche del progetto.

5D: Analisi dei costi (computi, stime e valutazioni economiche); integra le informazioni sui costi nel modello BIM, consentendo l'analisi economica e la stima dei costi di costruzione. È utilizzata per la preparazione dei computi metrici, le stime e le valutazioni economiche durante tutto il ciclo di vita del progetto.

6D: Fase di gestione dell'opera (uso, manutenzione e dismissione); si focalizza sulla gestione e manutenzione dell'edificio durante il suo ciclo di vita. Include dati su come utilizzare, mantenere e dismettere l'edificio, supportando operazioni efficienti e decisioni informate post-costruzione.

7D: Valutazione della sostenibilità (sociale, economica e ambientale); introduce la valutazione degli aspetti di sostenibilità del progetto, considerando gli impatti sociali, economici e ambientali. Questo livello aiuta a garantire che il progetto sia sostenibile a lungo termine, riducendo l'impatto ambientale e migliorando la qualità della vita.

Il BIM ha la potenzialità di rispondere adeguatamente alle crescenti pressioni di progetti sempre più complessi, sviluppi più veloci, migliore sostenibilità e minori costi di produzione e di utilizzo, ambiti dopo il metodo tradizionale in CAD 2D offre un supporto insufficiente [20].

Oltre al chiaro vantaggio della tridimensionalità per la strutturazione intuitiva e di più facile lettura (si pensi per esempio alla rappresentazione bidimensionale di palazzi a più piani), ci sono innumerevoli altri benefici.

Primo fra tutti la capacità di facilitare la collaborazione tra i vari partecipanti al progetto, migliorando la comunicazione e il coordinamento. Questo può avvenire secondo due possibilità: i professionisti possono realizzare la propria sezione di competenza e le stesse verranno in un secondo momento sovrapposte in un modello unico al fine di verificare la coerenza ed eventuali interferenze; altrimenti attraverso l'implementazione di apposite funzioni secondarie dei software di progettazione è possibile lavorare su modelli compatibili in condivisione in tempo reale.

Le difficoltà nel coordinamento del personale interessato nell'opera è uno dei principali motivi di ritardi nell'avanzamento dei progetti, conseguentemente la possibilità di mantenere i professionisti aggiornati su tutte le decisioni e modifiche effettuate, l'interoperabilità e la funzione di clash-detection (rilevazione automatica dei conflitti) apportano un contributo considerevole all'ottimizzazione del processo.

Il database centralizzato, interno al progetto stesso, permette di mantenere più facilmente sotto controllo le opzioni su materiali e strumenti, e le loro caratteristiche. Viene agevolata la creazione di documentazione finale completa e soddisfacente che garantisca l'adempimento delle richieste del cliente. I progetti realizzati correttamente con metodo BIM vengono tradotti in realtà in modo quasi perfettamente coerente, riducendo in maniera esponenziale le decisioni da effettuare direttamente in fase esecutiva quando le modifiche risultano più dispendiose.

È corretto inoltre ricordare la possibilità di effettuare una vasta gamma di analisi direttamente sul modello, come analisi strutturali, analisi energetiche, simulazioni di costruzione e previsioni di costi. Questo approccio non solo permette di prendere decisioni più informate e basate su dati durante la progettazione e la costruzione, ma aiuta anche a ottimizzare le prestazioni dell'edificio una volta completato.

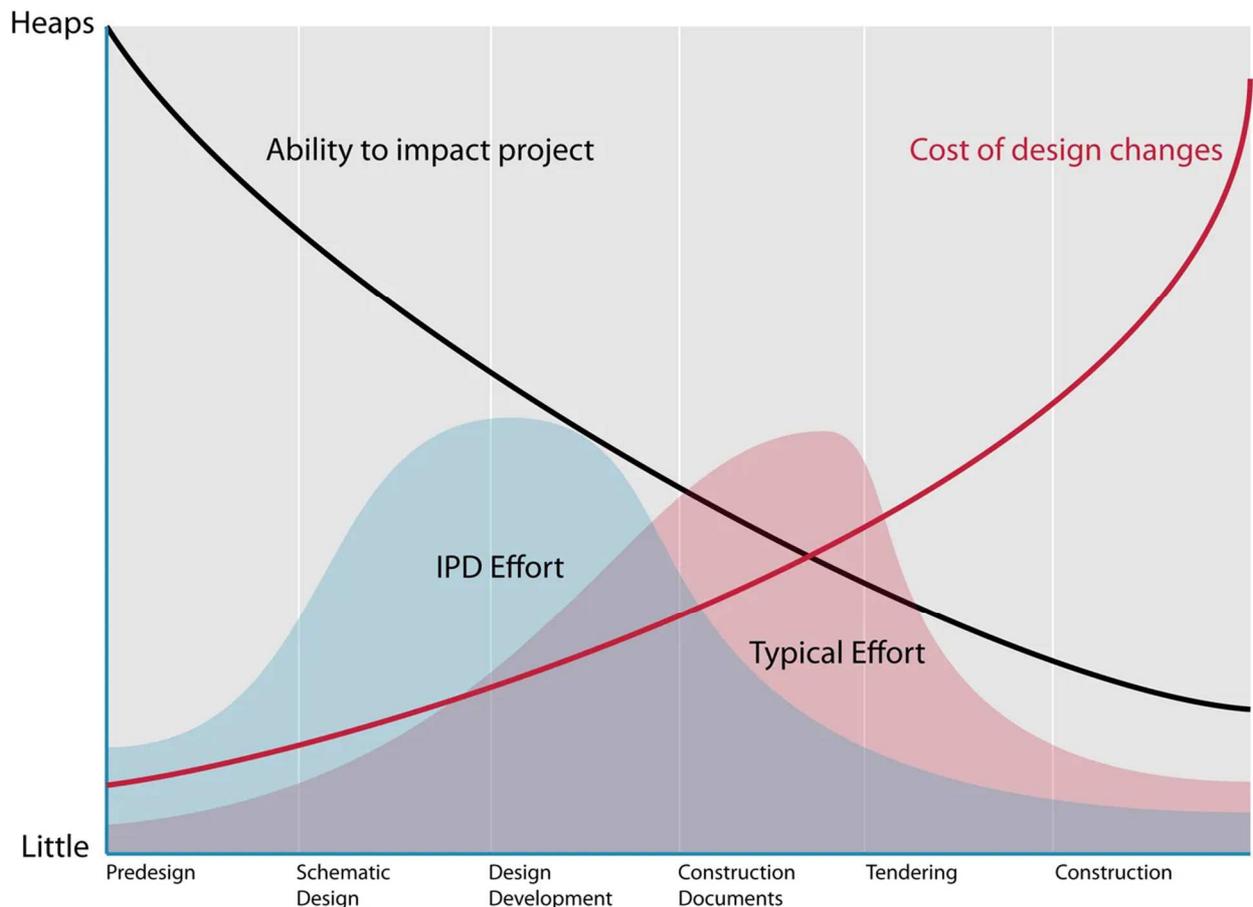


Figura 3 - Curva di MacLeamy [20]

Il grafico in Figura 3 viene presentato nel 2005 alla Conferenza dell’AIA da Patrick MacLeamy. La curva, che prende il nome dal suo ideatore, è un ottimo indicatore dei vantaggi in termini di dispendio economico e temporale del traslare la prevalenza della progettazione nelle fasi iniziali.

Il grafico mostra quattro curve: la curva dei “costi dei cambiamenti”, del “impatto delle decisioni”, dello “sforzo progettuale con metodo tradizionale” e dello “sforzo progettuale con metodo BIM”. Si nota come con il metodo tradizionale il picco dello sforzo si trovi in corrispondenza della fase di costruzione, ma in questo momento qualsiasi modifica al progetto esecutivo risulterà molto dispendiosa e sarà difficile ottenere un risultato tangibile. D’altro canto, con il metodo BIM il grosso dello sforzo viene affrontato nella fase preliminare quando però è molto più semplice ed economico effettuare delle modifiche.

È quindi importante che tutte le parti attive della progettazione, compresi impresari e i subappaltatori principali, vengano convocati nelle fasi di avvio per definire in maniera inequivocabile le basi della collaborazione e gli standard da seguire, e che le riunioni continuino regolarmente al fine di verificare la coerenza nell'avanzamento dell'opera.

Il Center of Integrated Facilities Engineering (CIFE) dell'Università di Stanford ha fatto un'indagine su 31 grandi progetti che utilizzano BIM e ne ha analizzato i risultati, tra cui:

- l'eliminazione di cambiamento di budget fino al 40%;
- precisione di stima di costi entro il 3%;
- riduzione fino al 80% del tempo richiesto per generare un preventivo di spesa;
- risparmio fino al 10% del valore di contratto attraverso clash-detections;
- riduzione nel tempo del progetto fino al 7% [20].

La casistica reale conferma quindi la validità dei vantaggi del metodo.

Diffusione internazionale

L'adozione del BIM a livello globale è in crescita, con numerosi paesi che riconoscono i benefici in termini di efficienza, qualità e sostenibilità dei progetti di costruzione [21]. Il Regno Unito, gli Stati Uniti, i paesi scandinavi, la Germania, Singapore e l'Australia sono tra i leader nell'implementazione del BIM, ognuno con le proprie politiche e normative specifiche.

Regno Unito

Il Regno Unito è oggi uno tra i paesi al mondo, e sicuramente il primo in Europa, con il più ampio grado di diffusione dei processi BIM nel settore delle Architecture Engineering Construction (AEC). Già dal 2010 il Paese si è orientato verso una progettazione di tipo BIM grazie al programma "Digital Built Britain", mentre nel 2011 viene promulgata la norma PAS 1192 sui livelli di maturità, e a partire dal 2016 è obbligatorio un Bim di Livello 2 per tutti i lavori pubblici. Il Regno Unito ha inoltre sviluppato una serie di standard e linee guida, che sono diventati un riferimento internazionale per le *best practice* nel BIM.

Germania

Nel 2013, il Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ministero federale dei trasporti e dell'infrastruttura digitale ha attivato una "Commissione per la riforma dei processi di gestione dell'edilizia" con l'obiettivo di elaborare gli indirizzi e le politiche federali da adottare in materia. La soluzione ai diversi problemi che l'edilizia tedesca doveva affrontare viene ritrovata nel BIM, che si inserisce quindi in un processo già avviato di riforma tecnologica.

In Germania, l'uso del BIM è stato promosso dal governo federale attraverso la "Road Map for Digital Design and Construction" pubblicata nel 2015. Questa roadmap prevede l'adozione obbligatoria del BIM per i progetti infrastrutturali pubblici a partire dal 2020.

Il ministero ha fornito, sin dal 2016, aiuti finanziari a vari progetti pilota BIM, soprattutto nell'ambito di progetti di ammodernamento del settore infrastrutturale, ed è previsto l'obbligo di utilizzo del metodo a partire dal 2020.

Scandinavia

I paesi scandinavi sono stati tra i pionieri nell'adozione del BIM, la collaborazione tra i paesi nella realizzazione di piattaforme e programmi ha fortemente influenzato l'evoluzione dei software BIM.

In Finlandia l'uso del BIM è oramai consolidato; già dal 2001 l'azienda governativa Senate Properties, che è responsabile del patrimonio pubblico immobiliare, ha iniziato a promuovere i progetti con il BIM.

In Norvegia, l'agenzia statale per le costruzioni pubbliche, Statsbygg, ha reso obbligatorio l'uso del BIM per i progetti pubblici già dal 2010.

In Svezia, la Swedish Standards Institute (SIS) ha fin dal 1991 pubblicato una serie di guide per la promozione del BIM nel Paese, mentre dal 2014 la BIM Alliance Sweden ha riunito i principali enti e attori, sia pubblici che privati, con lo scopo di trovare maggiori risorse a supporto dell'innovazione delle costruzioni.

Stati Uniti

Nel Nord America, ed in particolare negli USA, il BIM trova le sue origini, viene sperimentato nelle sue fasi iniziali fino al collaudo, e giunge ad una prima affermazione sul territorio da cui scaturirà la successiva diffusione globale. Inizialmente è stato promosso da grandi agenzie governative come la General Services Administration (GSA) e l'United States Army Corps of Engineers (USACE) che hanno sviluppato proprie linee guida e requisiti per l'uso del BIM nei progetti pubblici. Tuttavia, la mancanza di un mandato federale uniforme ha portato a una diffusione più frammentata rispetto ad altri paesi.

Il BIM è ampiamente adottato sia nel settore privato che pubblico, con numerosi progetti che dimostrano i vantaggi in termini di miglioramento della qualità, riduzione dei costi e tempi di costruzione.

Australia

In Australia, l'adozione del BIM è stata promossa attraverso varie iniziative statali e federali. Il "National BIM Initiative" e il "Australian Construction Industry Forum" hanno giocato un ruolo chiave nel promuovere l'uso del BIM. Le autorità hanno seguito con interesse i progressi inglesi nella digitalizzazione delle costruzioni, che hanno evidenziato la necessità di agire adottando un approccio nazionale organico, coinvolgendo industrie, Enti locali ed Università, introducendo la novità gradualmente.

L'adozione del BIM in Australia è cresciuta costantemente, con significativi miglioramenti nella gestione dei progetti e nella collaborazione tra i vari attori del settore delle costruzioni. Il paese ha visto un aumento nell'uso del BIM nei progetti infrastrutturali e commerciali.

Cina

In Cina il BIM prende piede in ritardo rispetto ad altri Paesi occidentali, nonostante ciò, decolla in breve tempo, e si è raggiunta la diffusione su larga scala molto più velocemente che in altri casi.

Il governo cinese ha fortemente incoraggiato l'implementazione ma non è stato imposto nessun obbligo, questo fatto, unitamente alle dimensioni del territorio naturale, ha portato ad un'adozione non uniforme del metodo, con l'impiego di standard diversi in ogni prefettura.

Da questa panoramica risalta come il BIM nel mondo non sia una novità, bensì una strategia conosciuta e rodada per migliorare la produttività e l'efficienza della progettazione. È evidente in oltre il ruolo centrale svolto dalle istituzioni nel varare manovre atte a favorire una corretta ed efficace introduzione del metodo.

In Italia

- Il decreto BIM – 560/2017

Il Decreto Ministeriale n. 560 del 1° dicembre 2017, comunemente noto come Decreto BIM, rappresenta una normativa chiave per l'adozione del BIM nei progetti pubblici in Italia. Questa norma, come precedentemente deciso nel Codice degli Appalti (d.lgs. 50/2016, art 23 comma 13), deve regolamentare l'introduzione dell'obbligo dell'utilizzo di metodi BIM, dando così una dimensione italiana ad un fenomeno già diffuso globalmente.

Il decreto si compone di nove articoli :

- Art. 1, finalità: le prescrizioni sono di interesse di tutte le stazioni appaltanti per le fasi di progettazione, costruzione, gestione e verifica delle opere
- Art.2, definizioni: tra cui quella di Piano di Gestione Informativa (PGI), il decreto infatti richiede la predisposizione di un PGI per ciascun progetto, che deve contenere dettagli sui processi, gli strumenti e i dati utilizzati, garantendo una gestione efficace e trasparente delle informazioni.
- Art.3, adempimenti preliminari: al fine della sua idoneità alla partecipazione la stazione appaltante deve dotarsi di :
 - o un piano di formazione del proprio personale in merito ai nuovi strumenti di modellazione, essenziale per assicurare che tutti gli attori siano competenti nell'uso delle tecnologie BIM.
 - o un piano di acquisizione e manutenzione di strumenti hardware e software, questo include piattaforme per la gestione e l'archiviazione dei dati, nonché strumenti per la collaborazione tra i diversi attori coinvolti nei progetti.
 - o un atto organizzativo che espliciti il processo di controllo e gestione, il gestore del dato e la gestione dei conflitti [22].
- Art.4, interoperabilità: obbligo di utilizzare piattaforme opensource e formati aperti come l'Industry Foundation Classes (IFC). Questi standard permettono una comunicazione fluida e coerente tra i vari strumenti tecnologici impiegati nei progetti e garantiscono una condivisione efficace dei file.

- Art.5, deroga all'utilizzo su richiesta di strumenti elettronici specifici.
- Art.6, tempi di introduzione obbligatoria con scadenze specifiche.
- Art. 7, requisiti informativi: vengono definite le informazioni che la stazione appaltante dovrà inserire nel capitolato informativo.
- Art.8, commissione di monitoraggio: la stessa ottiene ruolo non esclusivamente correttivo, bensì propositivo di misure "preventive" al superamento di difficoltà riscontrate dalle stazioni appaltanti.
- Art.9, entrata in vigore.

L'obbligo di adozione del BIM viene introdotto in maniera graduale, con una successione di scadenze distribuite nell' arco di sei anni, permettendo alle amministrazioni pubbliche e alle imprese di adeguarsi progressivamente:

- Dal 1° gennaio 2019: Obbligo del BIM per lavori di importo pari o superiore a 100 milioni di euro.
- Dal 1° gennaio 2020: Obbligo del BIM per lavori di importo pari o superiore a 50 milioni di euro.
- Dal 1° gennaio 2021: Obbligo del BIM per lavori di importo pari o superiore a 15 milioni di euro.
- Dal 1° gennaio 2022: Obbligo del BIM per lavori di importo pari o superiore a 5,2 milioni di euro.
- Dal 1° gennaio 2023: Obbligo del BIM per lavori di importo pari o superiore a 1 milione di euro.
- Dal 1° gennaio 2025: Obbligo del BIM per tutti i nuovi lavori pubblici, senza limite inferiore di importo.

- Implementazione delle disposizioni

Le disposizioni del Decreto BIM sarebbero andate a rispondere a una serie di necessità e obiettivi strategici per il settore delle costruzioni in Italia, riportandosi in allineamento con le altre Nazioni e incrementando la competitività sul mercato internazionale, facilitando inoltre l'accesso ai fondi europei. Tuttavia, l'inserimento forzato di innovazioni in un sistema ancora privo di basi adatte al recepimento provoca difficoltà e resistenze.

Alla luce delle criticità incontrate nell'attuazione delle prescrizioni viene emanato nel 2021 un ulteriore decreto (D.M. 312/2021) che trasforma l'obbligo di implementazione completa degli adempimenti preliminari definiti all'art.3 D.M. 50/2016, nella più semplice dimostrazione di aver quanto meno intrapreso tale processo. Viene inoltre modificato lo scadenziario: per inizio 2025 l'obbligo di adozione del BIM negli appalti pubblici scatterà ora solo per opere di valore superiore ad 1 milione di euro.

Con l'introduzione di questi decreti è mutato anche la procedura adottata da parte della Pubblica Amministrazione nella gestione degli appalti. Centrali diventano ora le piattaforme digitali per la gestione completa dei progetti come la Banca Dati Nazionale e il Fascicolo Virtuale dell'Operatore Economico, gestiti dall'Autorità Nazionale Anticorruzione (ANAC), o le piattaforme di approvvigionamento digitale certificate e gli ambienti di condivisione dati proprietari delle varie amministrazioni. La normativa richiede che queste piattaforme siano interconnesse, permettendo un dialogo biunivoco che consenta il reciproco flusso di dati e informazioni: ciò rappresenta un cambiamento significativo rispetto al passato, quando le piattaforme digitali erano utilizzate in modo più isolato. L'adozione di un sistema condiviso e accessibile promette migliorata trasparenza, e controlli più stringenti.

Oltre alle difficoltà rispetto alla creazione di questi collegamenti diretti tra banche dati, a rallentare il programma di implementazione del BIM è anche la necessità di adottare sistemi di protezione dagli attacchi informatici adatti a proteggere i dati sensibili sui progetti pubblici. In particolare, preoccupa la possibile compromissione dei dati e sistemi di monitoraggio e/o funzionamento di edifici e infrastrutture, che potrebbe causare effetti diretti sulla sicurezza operativa degli stessi [23].

Tuttavia, la sfida maggiore per le Amministrazioni Pubbliche sarà ottemperare all'inserimento di diverse nuove figure professionali all'interno degli organici, in particolare, sarà necessario disporre di almeno un gestore dell'ambiente di condivisione dei dati (ACDat manager), un gestore dei processi digitali supportati da modelli informativi (BIM manager), e un coordinatore dei flussi informativi (BIM coordinator) all'interno della struttura di supporto al responsabile unico del progetto per ogni intervento. Simili competenze sono richieste anche alla squadra di progettisti, ai direttori dei lavori, ai collaudatori e alle imprese appaltatrici, che dovranno intervenire sulla modellazione informativa [23].

Questi sono ruoli altamente specializzati che richiedono una formazione di alto livello e di esperienza professionale pregressa nell'ambito. All'emanazione del decreto il contesto italiano si trovava in condizioni di carenza di personale già in possesso delle competenze necessarie ad un'applicazione su larga scala della metodologia, ragion per cui, nonostante la spinta alla formazione continua, ci vorrà ancora del tempo prima di giungere al completo soddisfacimento della richiesta di esperti BIM.

Tra i motivi dei ritardi nella diffusione del processo è infine rilevante citare l'aspetto economico. L'acquisto delle licenze, l'aggiornamento delle attrezzature e la formazione del personale rappresentano un investimento significativo, talvolta non sostenibile per imprese e studi di medie e piccole dimensioni. Oltre il fatto che, per sfruttare a pieno l'interoperabilità del sistema e quindi il coordinamento tra i professionisti per la produzione di un risultato finale completo e soddisfacente, sono in alcuni casi necessari molteplici software, appesantendo ulteriormente la spesa.

CAPITOLO 3 - INTERAZIONE BIM E SICUREZZA

La tecnologia BIM si sta gradualmente spostando dal mondo della progettazione architettonica e ingegneristica al mondo cantieristico delle aziende. Gli ambiti di applicazione del metodo continuano gradualmente ad ampliarsi, man mano che aumenta il livello di diffusione del metodo e il numero di professionisti in materia. Tuttavia, le caratteristiche e l'impostazione della maggior parte dei software rimangono per il momento sostanzialmente rivolta all'aspetto progettuale dell'opera e c'è spesso poca attenzione alle richieste di una progettazione di tipo cantieristico e alla gestione di un sito attivo.

Prendendo ad esempio il software Autodesk Revit, non sono predisposte al suo interno famiglie di oggetti inerenti quanto necessario per il rendimento delle attività di cantiere; l'utente dedicato a questo tipo di progettazione dovrà creare una sua apposita libreria di oggetti oppure basarsi, quando presenti, sui modelli forniti dalle ditte fornitrici. Altro punto è la possibilità prevista dal software di organizzare il modello su fasi che permetterebbe di mostrare nello stesso file progetto le progressive modifiche alla predisposizione del sito coerentemente con l'avanzamento dei lavori. Tuttavia, essendo questa funzione inizialmente indirizzata alla realizzazione di schemi comparativi (demolizioni costruzioni), la sua applicazione per la suddivisione dell'organizzazione del sito secondo le necessità delle distinte fasi lavorative può risultare macchinosa e di difficile rendimento.

Gli ambiti della gestione della sicurezza che in varie misure potrebbero trarre vantaggio dall'applicazione della metodologia BIM sono molteplici:

- *Layout di cantiere*

L'inserimento della planimetria di cantiere in modello tridimensionale dell'area comprensivo di eventuali dislivelli rilevanti, della viabilità e delle strutture circostanti, facilita un'ottimizzata disposizione delle aree di lavoro, delle postazioni fisse, dei sistemi di alimentazione idrica ed elettrica, le aree di stoccaggio idonee ai requisiti di conservazione dei distinti materiali e /o rifiuti, la predisposizione della viabilità interna e dei percorsi di

emergenza. Inoltre, grazie alla possibilità di simulare diverse configurazioni, è possibile identificare e risolvere potenziali problemi prima che si verifichino sul campo.

- *Analisi dei rischi*

Grazie al supporto fornito da un modello BIM gli ingegneri della sicurezza possono identificare con maggiore precisione le aree critiche e valutare le misure di protezione necessarie. Attraverso l'analisi dettagliata del modello, è possibile individuare punti di potenziale pericolo, come aree ad alto rischio di caduta, zone con scarsa visibilità o passaggi stretti che potrebbero ostacolare il movimento dei lavoratori e delle attrezzature. Questa analisi consente di predisporre in anticipo misure di protezione come l'uso di DPI, l'installazione di barriere protettive, un adeguata segnaletica, e la definizione di procedure operative sicure.

- *Comunicazione e informazione dei lavoratori*

Il BIM facilita una comunicazione chiara e dettagliata tra tutti i membri del gruppo di progetto. I lavoratori possono accedere a informazioni precise e aggiornate sulle operazioni di cantiere, in qualsiasi momento grazie ai supporti multimediali, comprese le istruzioni di sicurezza contestualizzate e specifiche per ogni fase del lavoro. Questo è particolarmente utile per la formazione e l'orientamento dei nuovi operai, che possono visualizzare le procedure operative standard e le zone di pericolo attraverso il modello. Il BIM offre inoltre la possibilità di creazione di un Digital Twin, ovvero un modello virtuale dell'ambiente che permette ai lavoratori di familiarizzare con il cantiere e con le operazioni specifiche, riducendo il rischio di errori e migliorando la loro preparazione complessiva. Questa tecnologia avanzata si rivela particolarmente utile nel momento della formazione verso la gestione delle emergenze, in quanto permette la simulazione di scenari di difficile riproduzione nella realtà, eventualmente calati nel contesto di uno specifico cantiere particolarmente complesso.

- *Gestione dei materiali e delle forniture*

È possibile tracciare con precisione i materiali necessari per ogni fase del progetto, riducendo gli sprechi e assicurando che le forniture siano disponibili quando necessario. La capacità di prevedere e pianificare con precisione i fabbisogni di materiali garantisce una migliore organizzazione degli spazi di lavoro con ingombro degli stoccaggi ridotto e conseguentemente maggiore ordine dell'area con percorsi chiari e liberi da ostacoli che possono causare inciampi o cadute. Inoltre, mantenendo sotto controllo i livelli di stoccaggio è possibile evitare il sovraccarico degli stessi e rischi di crolli durante la movimentazione, mentre le informazioni aggiornate sulla tipologia dei materiali conservati e sulle loro specifiche, facilita il monitoraggio delle idonee condizioni di stoccaggio, riducendo rischi di deperimento delle caratteristiche funzionali, nonché i più gravi rischi di esplosione e incendio .

- *Identificazione e gestione delle interferenze*

Grazie alla capacità del BIM di integrare vari modelli disciplinari in un unico modello tridimensionale, è possibile identificare in anticipo eventuali interferenze tra i diversi elementi del progetto, come tubazioni, strutture e impianti elettrici. Questa identificazione precoce consente di apportare le necessarie modifiche progettuali prima dell'inizio dei lavori, evitando situazioni pericolose in cantiere e migliorando la sicurezza degli operai durante l'installazione e la costruzione. Anche qualora non fosse possibile annullare l'interferenza a livello progettuale, il modello BIM, faciliterà il lavoro del Coordinatore per la sicurezza nell'organizzare le lavorazioni oggetti di interferenza in una maniera tale da ridurre il rischio di incidenti dovuti a sovrapposizioni temporali o spaziali, e nel prescrivere le idonee misure preventive.

- *Tracciabilità e aggiornamento delle informazioni*

Il modello BIM consente di mantenere una traccia aggiornata di tutte le modifiche applicate in corso d'opera permettendo accesso alle informazioni più recenti ed accurate a tutte le parti coinvolte. La capacità di aggiornare il modello in tempo reale permette una gestione

dinamica e proattiva: ogni modifica apportata al progetto viene immediatamente registrata e condivisa con tutti i membri della squadra, assicurando che tutti siano allineati e consapevoli delle ultime evoluzioni. Un altro aspetto importante è la capacità del BIM di supportare l'analisi dei dati storici relativi al progetto. La documentazione dettagliata e continua delle modifiche consente di esaminare il percorso evolutivo del cantiere, identificando situazioni ricorrenti o problemi potenziali che possono emergere durante le varie fasi di costruzione [24].

Caso Studio

La struttura oggetto di studio si trova in Comune di Roana, in provincia di Vicenza, località Rasta. Si tratta di un serbatoio idrico di acquedotto di proprietà di ETRA spa, attualmente in uso per l'approvvigionamento di acqua potabile ai centri abitati del Altipiani in collegamento con la linea principale dell'Oliero.

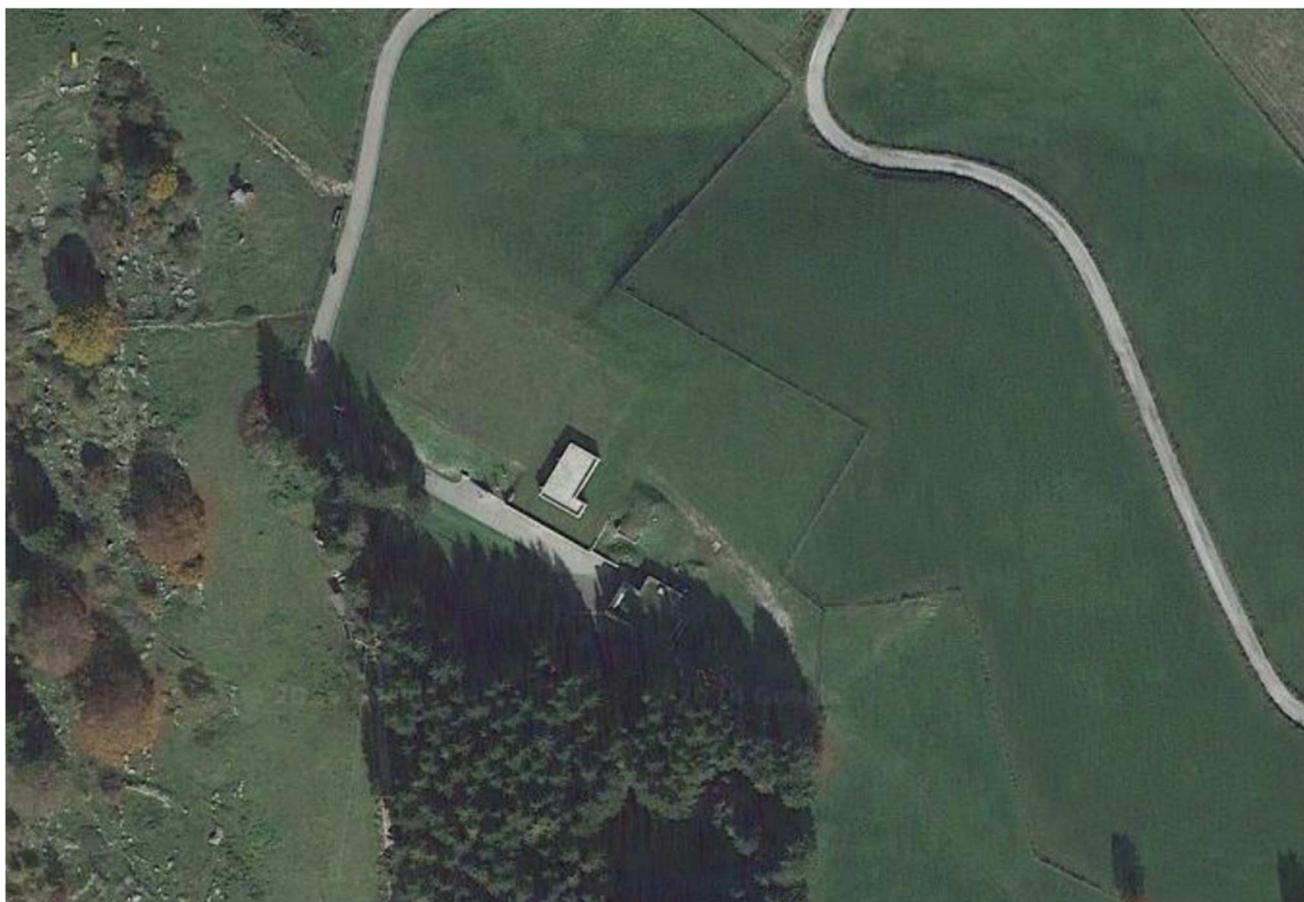


Figura 4 - Serbatoio Nuovo Rasta

La possibilità di elaborare un modello BIM Revit in As Built della struttura, e di sfruttarla come caso studio in oggetto mi è stata gentilmente concessa nel contesto dell'attività di tirocinio svolta nell'azienda.

Le lavorazioni in analisi hanno consistito nella realizzazione di un nuovo serbatoio che andasse a fungere da ampliamento a quello preesistente nel sito.

I lavori per la sua realizzazione hanno constatato nella costruzione di un manufatto in cemento armato con funzione di accumulo temporaneo di acqua composto da una vasca di stoccaggio di 5000 mc e da una camera di manovra per la distribuzione alla rete.

La struttura è stata dotata di un proprio impianto elettrico e di automazione ed è stata interamente interrata tranne per la zona d'ingresso. Al di fuori della camera di manovra è stato costruito un manufatto interrato per il collegamento alle tubazioni esistenti che si trovano di fronte all'esistente partitore.

Le fasi cantieristiche per la realizzazione dell'opera si sono distinte in:

- accantieramento;
- scavi e movimenti terra;
- fondazioni speciali;
- -costruzione del manufatto in cemento armato;
- collegamenti ed apparecchi idraulici;
- opere di finitura;
- impianti elettrici;
- rimozione del cantiere.

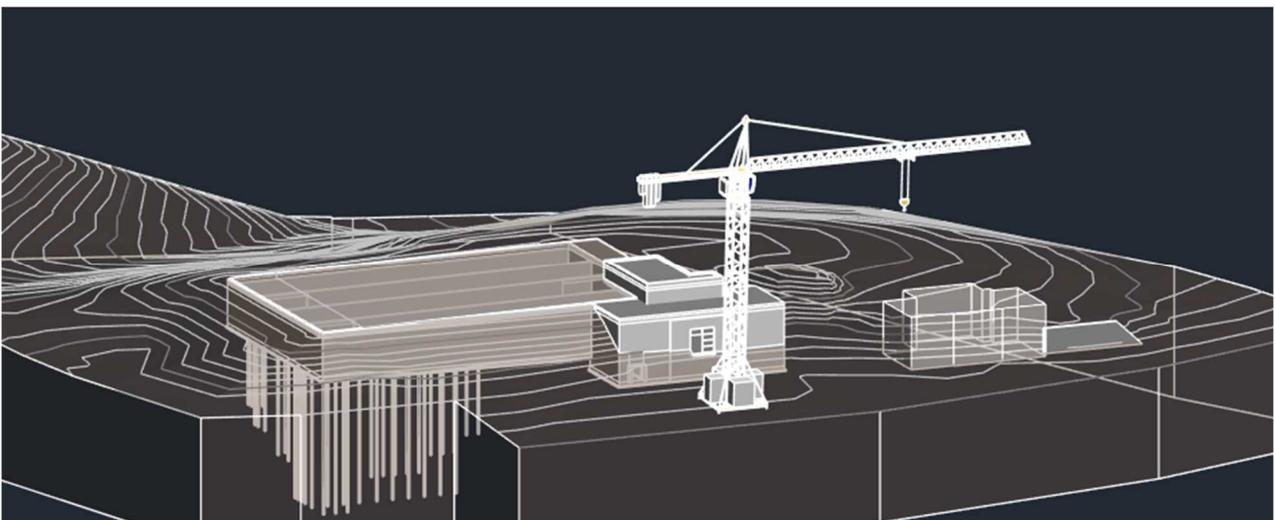


Figura 5 - Modello BIM Revit

La realizzazione dell'opera ha presentato alcune peculiarità significative, tra le quali si citano:

- Posizione geografica sita nell'Altipiano di Asiago in una zona discretamente scoscesa che ha reso più difficoltoso l'accesso per i mezzi pesanti. Ciò ha comportato un'attenta pianificazione logistica atta ad evitare la sovrapposizione temporale delle forniture e organizzare le stesse di modo da ridurre al minimo i viaggi necessari.
- Zona a rischio bellico, che ha richiesto apposite verifiche e bonifica preventiva.
- Scavi di fondazione con profondità superiore ai 5 metri con movimentazione di oltre 5000 mc di materiale, che hanno richiesto un particolare riguardo alle misure di prevenzione verso il rischio caduta dall'alto e crollo delle pareti dello scavo.
Le operazioni di scavo sono state pertanto eseguite per sezioni e con l'ausilio di cassature metalliche autoaffondanti, che garantiscono la costante protezione dei lavoratori impegnati. L'accesso al fondo scavo è stato permesso a mezzo di apposite rampe scavate e ricoperte da ghiaino o magrone per limitare il rischio di scivolamento. Successivamente alla gettata della vasca gli accessi sono stati effettuati a mezzo di ponteggi interni alla stessa.
- La presenza di altre utenze di acquedotto nella zona di cantiere comporta la presenza di impianti e strutture interrati che avrebbero potuto interferire con le operazioni scavo.
- La profondità dello scavo e la posizione morfologica dello stesso unitamente alla presenza nell'area circostante di ulteriori manufatti di utenza idrica e dei relativi sottoservizi hanno comportato il rischio aggiunto di annegamento nello scavo per risalita di acqua di falda o dovuto alla possibile rottura di tubi. A tal proposito è stata prevista per tutta la durata delle lavorazioni soggette a rischio, la presenza in cantiere di un impianto di pompe WellPoint in posizione facilmente accessibile, utile all'eventuale drenaggio dello scavo.
- Il terreno di fondazione non omogeneo ha motivato la scelta di combinare fondazioni a platea per la parte più stabile, e di fondazioni speciali a micropali per la zona sotto la vasca principale, per garantire stabilità strutturale in caso di cedimenti.

- La complessità del funzionamento dell'opera ha reso necessaria la stretta collaborazione di molteplici imprese e tecnici, andando ad aggiungere la sfera dei rischi inerenti l'interferenza spaziale e temporale delle lavorazioni ad un quadro già ricco di variabili.

In fase progettuale sono state inoltre prese decisioni fondamentali per la qualità e sicurezza delle successive operazioni di manutenzione necessarie al mantenimento della funzionalità dell'opera.

Simili manufatti di contenimento idrico necessitano di regolari operazioni di pulizia che negli impianti tradizionali vengono effettuati previo completo svuotamento delle vasche e accesso dell'operatore imbragato e calato attraverso le botole di monitoraggio, andando quindi a creare una condizione di lavoro in spazio confinato.

Nel caso in esame invece, sono state previste scale marinare per l'accesso alle vasche dall'alto in caso di operazioni che non necessitassero di svuotamento completo, e per i casi che lo richiedano sono state realizzate porte a tenuta stagna per l'accesso direttamente dal piano terra dell'impianto, rendendo molto più sicura l'operazione e meno dispendiosa dal punto di vista di mezzi e operatori impiegati.



Figura 6 - Scala marinara



Figura 7 - Porta a tenuta stagna

Considerata la complessità del caso esempio fornito è facile immaginare come le possibili applicazioni della tecnologia BIM precedentemente viste, avrebbero potuto agevolare la gestione dei lavori di realizzazione dello stesso.

Si sarebbero potute sfruttare le agevolazioni relative alla gestione delle forniture, limitando i rischi relativi al transito di molteplici mezzi in una zona di lavoro molto ampia e scoscesa, nonché le problematiche relative alla gestione degli stoccaggi, anche considerando la necessità della conservazione dell'ingente quantità di materiale di risulta dagli scavi in attesa dello smaltimento.

La sovrapposizione di un modello dei sottoservizi esistenti, al modello di progetto avrebbe facilitato la visualizzazione di eventuali interferenze rispetto alle attività di scavo, riducendo al minimo il rischio di arrecare danni agli impianti esistenti.

Alle attività hanno preso parte molteplici ditte specializzate che hanno dovuto spesso interagire e condividere gli spazi di lavoro. Sarebbe, a tal proposito, stata estremamente utile la possibilità offerta da un modello BIM, di visualizzare le lavorazioni concomitanti in termini di spazi e/o tempi al fine di una migliore comprensione da parte degli operatori di quali potessero essere i rischi derivanti da simili interferenze.

L'ausilio di simile supporto grafico avrebbe inoltre aiutato nella sensibilizzazione di tutti i partecipanti ai lavori, rispetto alla reale complessità delle lavorazioni che li avrebbero coinvolti in relazione a sito, rendendo più chiari e tangibili i rischi sussistenti.

Infine, è giusto citare l'agevolazione fornita dal sistema nell'archiviazione e organizzazione di tutti i dati documentali, siano essi relativi ai materiali, alle attrezzature o all'intero complesso.

CONCLUSIONI

Questa tesi ha esaminato il potenziale dell'integrazione tra le strategie di prevenzione attualmente messe in atto sulla base Testo Unico e la tecnologia BIM, con l'obiettivo di ottimizzare la progettazione della sicurezza nei cantieri edili. Un caso studio è stato presentato per esemplificare i risultati di queste valutazioni: è stato modellato tramite il software BIM REVIT un serbatoio idrico di acquedotto esistente, comprensivo delle parti strutturali e impiantistiche, del contesto circostante e dell'organizzazione cantieristica ipotizzata. Si è poi valutato come il modello così contestualizzato avrebbe potuto fornire un valido supporto alle valutazioni preliminari, essenziali per l'organizzazione delle lavorazioni e per la stesura del Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), oltre a guidare le scelte successive riguardanti la manutenzione dell'impianto.

Attraverso l'analisi dettagliata del caso studio e la discussione critica dei risultati, questa tesi ha mirato a fornire contributi significativi alla comprensione e alla promozione di pratiche innovative per migliorare la sicurezza nei cantieri edili mediante l'interazione tra normativa e tecnologia BIM.

Si è appurato come una metodologia di lavoro innovativa quale il BIM, possa essere un alleato essenziale per una gestione efficace ed efficiente di cantieri complessi per caratteristiche proprie del contesto e/o difficoltà intrinseche alle operazioni richieste.

Purtuttavia, l'impiego della tecnologia BIM richiede, specie nelle fasi di avvio, di un importante investimento sia in termini economici, che temporali. Si rende infatti necessario l'acquisto di molteplici licenze software spesso molto costose, ed è considerevole anche il dispendio di tempo richiesto per la formazione e l'apprendimento da parte del personale di un nuovo metodo di lavoro, o altresì per l'assunzione di nuovi tecnici specializzati nell'ambito.

Conclusioni

Il BIM rappresenta una rivoluzione del metodo di progettazione e lavoro tradizionali, già ampiamente testato con risultati ottimi in tutto il mondo; per opere complesse quale il caso portato in esame garantirebbe vantaggi inequivocabili, ciononostante nell'attuale contesto italiano non è credibile sperare in una sua applicazione su larga scala specie nelle tempistiche molto ristrette poste dalla normativa vigente.

Ringraziamenti

La redazione di questa tesi è stata un'esperienza estremamente gratificante che va a conclusione di un percorso formativo ricco di esperienze fondamentali per la mia crescita personale e professionale, ma non mi sarebbe stato possibile arrivare fin qui senza il supporto di molti.

Desidero ringraziare con profonda riconoscenza la mia correlatrice, Giulia De Cet, che è stata accanto a me e tutta la mia classe durante questo percorso, sostenendoci e spronandoci; a lei devo molte esperienze che hanno formato la mia professionalità, e la nascita di un nuovo interesse verso la Sicurezza che segnerà la mia futura carriera lavorativa.

Un sincero ringraziamento va anche alla Relatrice e Presidente del corso di laurea, Prof.ssa Daniela Boso, per tutto l'impegno e dedizione messo nel permetterci di arrivare a questo traguardo, nonostante tutte le difficoltà di un corso nuovo e ancora in via di definizione.

Ringrazio tutti i colleghi di ETRA spa e dello Studio Svegliado che mi hanno accolto durante il mio percorso di tirocinio, affiancandomi con gentilezza e pazienza in questa mia prima esperienza nel settore, permettendomi di acquisire nuove esperienze e competenze preziose.

Un grazie speciale con tutto il mio affetto va alla mia nonna Luciana, che mi ha costretto a forza di sensi di colpa a continuare gli studi, si è subito tutte le mie ansie e i miei orari di studio improbabili. Senza di te, il tuo sostegno e le tue sgridate non sarei arrivata fin qui e non potrò mai ringraziarti abbastanza.

Un ultimo ringraziamento anche al mio gruppo di amici, vecchi e nuovi che mi hanno accompagnato negli anni, e mi sono stati accanto nonostante la mia brutta tendenza a sparire e dare risposte decisamente troppo secche.

A tutti voi va il mio più sincero grazie.

Riferimenti

Sitografia

- [1] Redazione Il Fatto Quotidiano, «Crollo del cantiere Esselunga: a Genova la stessa ditta già implicata in due gravi incidenti», 17 febbraio 2024. Consultato: 17 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ilfattoquotidiano.it/in-edicola/articoli/2024/02/17/genova-la-stessa-ditta-e-stata-gia-implicata-in-due-gravi-incidenti/7449643/#cComments>
- [2] «Incidente sul lavoro a Taranto, operaio muore folgorato in un cantiere | Sky TG24». Consultato: 19 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://tg24.sky.it/cronaca/2024/04/09/incidente-lavoro-taranto-operaio-morto>
- [3] Redazione ANSA Italia, «Un'altra strage sul lavoro: cinque operai morti a Casteldaccia. "Uccisi dalle esalazioni, non avevano le maschere"», *ANSA Italia*, 6 maggio 2024. Consultato: 14 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: Un'altra strage sul lavoro: cinque operai morti a Casteldaccia. «Uccisi dalle esalazioni, non avevano le maschere»
- [4] Marco Bazzoni, «E le chiamano "morti bianche"», *L'editoriale dei lettori*, 10 maggio 2010. Consultato: 15 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.lastampa.it/rubriche/l-editoriale-dei-lettori/2010/05/26/news/e-le-chiamano-morti-bianche-1.37015389/>
- [5] Redazione di Lettera43, «Italia, 1.485 morti sul lavoro nel 2023», *Lettera43*, gen. 2024, Consultato: 14 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.lettera43.it/italia-morti-lavoro-2023/>
- [6] «INAIL: un breve profilo», Milano, lug. 2012. Consultato: 15 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-inail-un-breve-profilo-italiano.pdf>
- [7] «DATI INAIL-GENNAIO 2021», Consultato: 19 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/dati-inail.html>
- [8] Mario Recupero *et al.*, «DATI INAIL-GENNAIO 2022». [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/dati-e-statistiche/open-data.html>
- [9] «I DATI INAIL-GENNAIO 2024», Consultato: 19 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/dati-inail.html>
- [10] «INAIL-DICEMBRE 2023: FOCUS SETTORE DELLE COSTRUZIONI LE MALATTIE PROFESSIONALI NELLE COSTRUZIONI», Consultato: 19 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-dati-inail-2023-dicembre-pdf.pdf>

Riferimenti

- [11] A. Guglielmi, A. Leva, G. Campo, V. Meloni, P. Conte, e A. Leonardi, «INFOR.MO - INFORTUNI IN EDILIZIA: CARATTERISTICHE, FATTORI CAUSALI, MISURE PREVENTIVE», 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/dati-e-statistiche/banca--dati-statistica.html>
- [12] «Osservatorio Nazionale di Bologna morti sul lavoro». Consultato: 20 maggio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://cadutisullavoro.blogspot.com/>
- [13] Remo Zucchetti, «Dai primi del '900 al Testo Unico, Storia normativa sicurezza sul lavoro in Italia», *Quotidiano Sicurezza*, dic. 2012, Consultato: 10 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.quotidianosicurezza.it/sicurezza-sul-lavoro/esperto-risponde/sintesi-storia-sicurezza-lavoro-italia.htm>
- [14] Redazione Il Post, «Il rogo alla ThyssenKrupp, sei anni fa - Il Post», *Il Post*, dic. 2013, Consultato: 18 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ilpost.it/2013/12/06/rogo-thyssenkrupp-2/>
- [15] Redazione Tecnica BibLus, «Ultimi aggiornamenti testo unico sulla sicurezza», *Biblus*, mar. 2024, [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/testo-unico-sicurezza-tutti-gli-aggiornamenti/>
- [16] Tiziano Menduto, «Il decreto legislativo 81 e l'evoluzione della normativa sulla sicurezza», *Punto Sicuro*, dic. 2018, [Online]. Disponibile su: <https://www.puntosicuro.it/normativa-C-65/il-decreto-81-l-evoluzione-della-normativa-sulla-sicurezza-AR-18376/>
- [17] Curulli Francesco, «Figure della Sicurezza nei Cantieri – Il Titolo IV del D. Lgs. 81/08», *Progetto 81-Sicurezza sul lavoro*, 2023, Consultato: 23 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.progetto81.it/blog/8/figure-sicurezza-nei-cantieri>
- [18] «I Nostri Approfondimenti - Vega Formazione». Consultato: 23 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.vegaformazione.it/blog-approfondimenti-sicurezza-ambiente/>
- [19] «Omaggio al padre del BIM: Charles M. Eastman», *BimPortale*. Consultato: 20 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.bimportale.com/omaggio-al-padre-del-bim-charles-m-eastman/>
- [20] T. Dalla Mora, F. Cappelletti, F. Peron, P. Romagnoni, e P. Ruggeri, «Una panoramica sul Building Information Modeling (BIM)», Milano, nov. 2014.
- [21] Redazione Tecnica Biblus, «Il BIM nel Mondo: come il Building Information Modeling sta rivoluzionando il settore AEC», *BibLus*. Consultato: 21 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/bim-nel-mondo/>
- [22] Redazione tecnica BibLus, «Decreto BIM: le regole e le scadenze per gli appalti pubblici», *BibLus*. Consultato: 21 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://biblus.acca.it/pubblicato-il-decreto-bim-le-nuove-regole-entrano-vigore-tra-15-giorni/>

- [23] S. Catta e A. D. Perrini, «Ecosistema digitale opere pubbliche e metodologia BIM: una sfida per i professionisti», *Ingenio*. Consultato: 21 giugno 2024. [Online]. Disponibile su: <https://www.ingenio-web.it/articoli/ecosistema-digitale-opere-pubbliche-e-metodologia-bim-una-sfida-per-i-professionisti/>
- [24] M. Kiviniemi, M.-L. Merivirta, T. Mäkelä, K. Kähkönen, e K. Sulankivi, «BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction», Kopijyvä Oy, Kuopio, 2011.

Norme e leggi

- Costituzione della Repubblica Italiana, 1948
- Codice civile, 1942
- DPR 27 aprile 1955, n.547
- DPR 7 gennaio 1956, n. 164
- DPR 19 marzo 1956, n. 303
- Legge 20 maggio 1970, n. 300
- Atto Unico Europeo, 1986
- D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626
- D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81
- D.lgs. 3 agosto 2009, n. 106
- DPR 14 settembre 2011, n. 177
- D.lgs. 1° marzo 2024, n.19
- D. lgs. 18 aprile 2016, n. 50
- D. M. 1° dicembre 2017, n.560
- D. M. 2 agosto,2021, n. 312