



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Luglio 2025

La valutazione del rischio incendio in cantieri temporanei o mobili: Metodi e applicazioni

Relatori:

Prof. Ing. Roberto Vancetti

Candidata:

Letizia Conficconi

Abstract

Il presente elaborato si prefigge di approfondire la valutazione del rischio incendio ed esplosione nei cantieri temporanei o mobili, contesti dinamici in cui la transitorietà delle operazioni amplifica le criticità di sicurezza. Inoltre, tale rischio risulta essere sottovalutato nel settore edilizio in quanto analizzato e valutato in modo limitato. Pertanto, l'obiettivo è quello di fornire un metodo di analisi critica delle lavorazioni a pericolosità di innesco di incendio ed esplosione e di determinare le misure di prevenzione e protezione più adeguate a ridurre al minimo tale rischio.

A tal fine, è stato necessario analizzare il quadro normativo italiano di riferimento, con particolare attenzione al Testo Unico sulla Sicurezza (D.lgs. 81/2008), al Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 03/08/2015) e agli aggiornamenti del 2021. Tali elementi sono stati impiegati come punto di partenza per l'analisi delle molteplici fonti di pericolo, che includono materiali combustibili, lavorazioni a caldo, rischi elettrici e atmosfere potenzialmente esplosive e così via. A seguito di un'attenta analisi della dinamica degli incendi, è stato condotto un confronto tra i dati statistici rilevanti, ottenuti dagli annuari dei Vigili del Fuoco, da dati statunitensi e da casi reali recenti. Questi ultimi evidenziano come cantieri di ristrutturazione o nuove costruzioni possano trasformarsi in scenari ad alto rischio quando le misure di prevenzione e protezione risultano inefficaci.

Grazie a questa panoramica, è stata sviluppata una metodologia di valutazione del rischio incendio ed esplosione, la quale garantisce completezza e cura nel processo di analisi. La suddetta viene successivamente applicata ad un caso studio relativo alla costruzione di un asilo nido, al fine di valutarne l'efficacia. In tale ambito, si procede con l'analisi delle principali attività a rischio con lo scopo di identificare le misure necessarie per minimizzare il rischio e valutare il rischio residuo.

In conclusione, la tesi presenta alcune considerazioni critiche riguardanti l'opportunità di un aggiornamento e di un approfondimento della normativa attuale in materia di analisi e valutazione del rischio incendio ed esplosione nei cantieri temporanei o mobili. Tale necessità si fonda sull'importanza di una gestione del rischio che garantisca la sicurezza delle persone, la conservazione del patrimonio edilizio e la protezione dell'ambiente, promuovendo un approccio metodologico più strutturato, aderente alle reali condizioni operative del cantiere.

Abstract (EN)

This paper aims to provide an in-depth assessment of fire and explosion risks in temporary or mobile construction sites, dynamic contexts in which the transitory nature of operations amplifies safety issues. Furthermore, this risk appears to be underestimated in the construction sector as it is analysed and assessed in a limited way. Therefore, the objective is to provide a method for critically analysing work processes that pose a fire and explosion hazard and to determine the most appropriate prevention and protection measures to minimise this risk.

To this end, it was necessary to analyse the relevant Italian regulatory framework, with particular attention to the Testo Unico sulla Sicurezza (D.lgs. 81/2008), the Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 03/08/2015) and the 2021 updates. These elements were used as a starting point for the analysis of multiple sources of danger, including combustible materials, hot work, electrical hazards, potentially explosive atmospheres, and so on. Following a careful analysis of fire dynamics, a comparison was made between relevant statistical data obtained from fire brigade yearbooks, US data and recent real cases. The latter highlight how renovation or new construction sites can become high-risk scenarios when prevention and protection measures are ineffective.

Thanks to this overview, a methodology for assessing fire and explosion risk has been developed, which guarantees completeness and care in the analysis process. This is then applied to a case study relating to the construction of a nursery school in order to assess its effectiveness. In this context, the main activities at risk are analysed in order to identify the measures necessary to minimise the risk and assess the residual risk.

In conclusion, the thesis presents some critical considerations regarding the advisability of updating and further developing the current legislation on fire and explosion risk analysis and assessment on temporary or mobile construction sites. This need is based on the importance of risk management that guarantees the safety of people, the preservation of the building heritage and the protection of the environment, promoting a more structured methodological approach that is in line with the actual operating conditions of the construction site.

Sommario

ABSTRACT	1
ABSTRACT (EN)	2
INTRODUZIONE.....	6
1 IL CANTIERE.....	9
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI	11
1.1.1 Decreto legislativo 9 aprile 2008 n.81 – “Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro”	11
1.1.2 Decreto ministeriale 3 agosto 2015 – Codice di Prevenzione Incendi	24
1.1.3 Decreti Ministeriali 2021	30
1.2 LINEE GUIDA DI RIFERIMENTO	32
1.2.1 Guida europea “Fire prevention on construction sites”	32
1.2.2 Monografia INAIL - “Rischio incendio ed esplosione in edilizia”	35
Materiali combustibili e infiammabili in edilizia.....	35
Rischio elettrico	39
Lavorazioni a caldo	40
Rischi aggiuntivi indotti dai cantieri di ristrutturazione e manutenzione.....	41
1.3 CANTIERI DI EDIFICI SOTTOPOSTI A TUTELA.....	43
2 INCENDIO ED ESPLOSIONE	46
2.1 L’INCENDIO	46
2.2 SVILUPPO DELL’INCENDIO	53
2.3 PRODOTTI DI COMBUSTIONE.....	56
2.4 CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI	59
2.5 ESPLOSIONE, DEFLAGRAZIONE E DETONAZIONE.....	62
2.6 ATMOSFERE POTENZIALMENTE ESPLOSIVE	66
3 CASE HISTORY INCENDI IN CANTIERE.....	69
3.1 CAPPELLA GUARINI, DUOMO DI TORINO, 11 APRILE 1997	70
3.2 NOTRE DAME, PARIGI, 15 APRILE 2019	73
3.3 INCENDIO EX PONTE MORANDI, GENOVA, 31 DICEMBRE 2019	78
3.4 INCENDIO UNICOOP, PONTE A GREVE (FI), 3 GIUGNO 2021	80
3.5 ESPLOSIONE, SALERNO, 16 SETTEMBRE 2021	83
3.6 INCENDIO, RIGUTINO (AR), 22 FEBBRAIO 2023	84
3.7 INCENDIO, SANT’ANTONINO (TV), 1° MARZO 2023	86
3.8 INCENDIO, SAN PIETRO, CORTENO GOLGI (BS), 28 MARZO 2023	87
3.9 INCENDIO, LIDO ADRIANO (RA), 27 APRILE 2023.....	89
3.10 INCENDIO LE VELE, DESENZANO DEL GARDA (BS), 23 MAGGIO 2023	92

3.11	INCENDIO, COLLI ANIENE (RM), 2 GIUGNO 2023.....	95
3.12	INCENDIO, BARLETTA, 8 GIUGNO 2023.....	98
3.13	INCENDIO TRILOGY TOWERS, MILANO, 28 GIUGNO 2023.....	100
3.14	INCENDIO TARANTO DUE, TARANTO, 6 SETTEMBRE 2023	103
3.15	ESPLOSIONE, UDINE, 9 NOVEMBRE 2023.....	105
3.16	INCENDIO SAN VALERIANO, BORGONE DI SUSA (TO), 22 MARZO 2024	107
3.17	INCENDIO VIALE CORSICA, FIRENZE, 2 SETTEMBRE 2024	109
3.18	INCENDIO UNIVERSITÀ DELLA TUSCIA, VITERBO, 4 GIUGNO 2025	111
4	STATISTICA DEGLI INCENDI IN CANTIERI EDILI	114
4.1	STATISTICA INCENDI DA ANNUARIO STATISTICO DEL CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO	114
4.2	REPORT NFPA: “FIRES IN STRUCTURES UNDER CONSTRUCTION”	121
5	METODOLOGIA DI ANALISI E VALUTAZIONE DEL RISCHIO INCENDIO ED ESPLOSIONE NEI CANTIERI	124
6	CASO APPLICATIVO: NUOVA COSTRUZIONE AD USO ASILO NIDO	126
6.1	DESCRIZIONE DELL’OPERA.....	126
6.1.1	<i>Inquadramento territoriale e normativo dell’area di intervento</i>	<i>126</i>
6.1.2	<i>Descrizione dell’intervento</i>	<i>126</i>
6.1.3	<i>Censimento delle interferenze</i>	<i>130</i>
6.2	ANALISI DEL CANTIERE E DELLE LAVORAZIONI	131
6.2.1	<i>Applicazione metodologia sviluppata</i>	<i>134</i>
	Saldatura guaine impermeabilizzanti con propano.....	137
	Uso di saldatrice elettrica	145
	Impiego di macchinari	151
	Uso di soffiatore a zaino	171
	Stoccaggio e gestione rifiuti	178
	Uso di smerigliatrice angolare.....	185
	Uso di trapano elettrico	190
	Stoccaggio materiali lignei	195
	Stoccaggio e realizzazione cappotto termico esterno.....	201
	Tinteggiatura di superfici	206
	Stoccaggio e realizzazione cartongesso	211
	Impianti elettrici e speciali.....	215
	Impianti fluido-meccanici.....	221
	Impiego di stufetta elettrica	225
6.3	VALUTAZIONE RISCHIO INCENDIO RESIDUO	228
7	CONCLUSIONI	230
	INDICE DELLE FIGURE	233

INDICE DELLE TABELLE	238
BIBLIOGRAFIA.....	240
RINGRAZIAMENTI.....	253

Introduzione

La questione della sicurezza nei cantieri temporanei e mobili rappresenta una delle sfide più complesse nell'ambito della progettazione e gestione delle opere edili. I cantieri rappresentano ambienti di lavoro caratterizzati da un'elevata dinamicità delle caratteristiche dell'ambiente e delle lavorazioni svolte, nonché dalla presenza contemporanea di più soggetti, ciascuno portatore di specifiche responsabilità e competenze. Tale contesto, che determina una maggiore difficoltà nel definire e mantenere le corrette procedure di lavoro in sicurezza, è ulteriormente complicato dal fatto che le attività svolte sono spesso caratterizzate da rilevanti rischi di infortunio (si pensi ai lavori in quota, agli scavi, al sollevamento e alla movimentazione di carichi). Il settore edile, infatti, è uno dei luoghi lavorativi con il più alto rischio di infortuni e malattie professionali.

In tale contesto, la gestione dei rischi assume un ruolo centrale nella pianificazione e nell'organizzazione delle fasi esecutive. Tra i numerosi rischi presenti durante l'esecuzione delle lavorazioni, il rischio di incendio ed esplosione assume un ruolo particolarmente critico, in quanto può originare da una molteplicità di fattori e comportare conseguenze gravi sia per la salute dei lavoratori, sia per l'integrità dell'opera, dei materiali e dell'ambiente circostante. A differenza degli ambienti lavorativi permanenti, il cantiere presenta condizioni operative provvisorie, spesso non standardizzate, con impianti elettrici temporanei, materiali combustibili depositati in modo variabile, attrezzature e lavorazioni che possono generare fonti di innesco. Inoltre, la presenza di opere in fase di costruzione o demolizione, l'eventuale coesistenza con edifici esistenti o con attività produttive in esercizio, e la frequente modifica degli assetti logistici interni al cantiere, contribuiscono ad aumentare la complessità della valutazione del rischio incendio.

Nel contesto normativo italiano, la gestione del rischio incendio in ambito cantieristico si inserisce all'interno del più vasto sistema di prevenzione delineato dal D. Lgs. 81/2008 [1], integrato dalle prescrizioni tecniche previste dal Codice di Prevenzione Incendi [2], nonché da specifiche linee guida di riferimento, come quelle pubblicate dall'INAIL. In particolare, la valutazione del rischio incendio nei cantieri temporanei e mobili richiede un'analisi approfondita che tenga conto delle caratteristiche peculiari delle lavorazioni in atto, della configurazione del sito e della presenza di materiali infiammabili o combustibili.

La normativa vigente non prevede un metodo univoco per la valutazione del rischio incendio nei cantieri, lasciando di fatto al tecnico incaricato la responsabilità di individuare criteri oggettivi e congruenti per stimare la probabilità di accadimento e la gravità del danno atteso. Questo implica l'adozione di metodologie personalizzate, che devono essere in grado di adattarsi alle condizioni specifiche del cantiere esaminato. L'assenza di modelli rigidi richiede al professionista un elevato livello di competenza tecnica e una conoscenza approfondita delle dinamiche di cantiere, al fine di identificare

in modo critico le situazioni a rischio, valutarne l'evoluzione nel tempo e proporre misure di prevenzione e protezione adeguate.

In tale contesto si inserisce la presente tesi, il cui scopo è sviluppare un modello di valutazione del rischio incendio in cantiere basato sull'analisi delle singole lavorazioni e delle loro peculiarità, con l'obiettivo di contribuire a una maggiore sistematizzazione dell'approccio metodologico applicabile in ambito operativo.

L'elaborato si articola in una prima in cui viene analizzato il quadro normativo di riferimento per evidenziare gli obblighi, i criteri di prevenzione e le responsabilità delle figure coinvolte nella gestione della sicurezza antincendio nei cantieri. La presente sezione ha l'obiettivo di fornire le basi giuridiche e tecniche che guidano la progettazione e l'attuazione delle misure preventive.

A seguire, viene proposto un approfondimento sulle basi fisiche e chimiche dell'incendio, che si rivelano fondamentali per comprendere i meccanismi di propagazione, le condizioni che determinano l'innesco e l'evoluzione di un incendio. Tale conoscenza si rende imprescindibile al fine di valutare in modo scientifico le misure di prevenzione e protezione.

La sezione successiva dell'elaborato è dedicata alla ricerca su casi reali di incendi verificatisi in ambito cantieristico, con l'obiettivo di identificare le cause più comuni di innesco. La sezione in esame consente altresì di cogliere i contesti operativi in cui le misure di prevenzione si rivelano inefficaci o disattese. Dopodiché, comprese le dinamiche di innesco, si è proseguito con un'indagine quantitativa attraverso l'esame delle statistiche d'incendio, tratte da fonti autorevoli come gli Annuari Statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e il report della NFPA [3] (National Fire Protection Association). L'obiettivo di tale ricerca è l'identificazione di trend, frequenze e tipi di incendio, nonché l'analisi dei contesti maggiormente esposti al rischio.

Il presente studio si prefigge quindi di conseguire una maggiore consapevolezza riguardo alla panoramica dei rischi di incendio in cantieri temporanei e mobili.

Sulla base delle informazioni raccolte, viene quindi sviluppata una metodologia per l'analisi del rischio incendio ed esplosione in funzione delle specifiche attività svolte in cantiere. La metodologia in esame si fonda sull'analisi delle modalità operative delle lavorazioni, ponendo l'attenzione su aspetti spesso trascurati, quali le condizioni di deposito e stoccaggio di materiali combustibili e infiammabili, o la mancanza di distanze di sicurezza tra fonti di calore e materiali combustibili. Tale approccio si prefigge di valutare il rischio e identificare le misure più opportune per mitigarne l'impatto.

Infine, la metodologia proposta è stata applicata a un caso studio reale, al fine di verificarne la coerenza, la completezza e l'efficacia. Questo passaggio si pone come imprescindibile per dimostrare la validità dell'approccio elaborato e per fornire un esempio operativo utile ad altri contesti analoghi. In tale fase, la linea guida europea “*Fire prevention on construction sites*” [4] (CFPA-E Guideline No. 21:2021) e

la monografia nazionale “*Rischio incendio ed esplosione in edilizia*” [5], elaborata grazie alla collaborazione tra INAIL e il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, si sono rivelate fondamentali.

In conclusione, l'obiettivo finale consiste nella fornitura di uno strumento utile e flessibile per il professionista tecnico, al fine di supportarlo nella valutazione preventiva e operativa del rischio incendio. Tale strumento contribuisce, pertanto, a promuovere una cultura della sicurezza maggiormente consapevole, aggiornata e proattiva nel settore delle costruzioni.

1 Il cantiere

Il cantiere temporaneo o mobile è definito come un'area delimitata, temporanea e dinamica, destinata alla realizzazione di opere edili, infrastrutturali o di ingegneria civile [1]. È caratterizzato dalla presenza di maestranze, attrezzature, materiali e macchinari, nonché da attività lavorative che possono comportare rischi specifici per la sicurezza e la salute dei lavoratori e delle persone esterne al cantiere. La temporaneità di un cantiere è determinata dalla durata limitata delle attività lavorative, strettamente connessa alla realizzazione dell'opera, mentre la sua natura dinamica deriva dalle condizioni mutevoli delle attività, del materiale presente e impiegato, nonché delle attrezzature e del personale necessari. Queste caratteristiche conferiscono all'ambiente del cantiere un elevato rischio, contraddistinto da numerose fonti di pericolo. Rischi che possono essere “propri”, legati alle attività svolte, o “interferenziali”, cioè derivanti da interposizione di uomini e mezzi nello stesso ambiente operativo o limitrofo.

Si deduce pertanto che i cantieri temporanei o mobili rappresentano ambienti lavorativi complessi che la normativa italiana ha regolamentato separatamente dai luoghi di lavoro "tradizionali", caratterizzati da condizioni ripetitive e ordinarie. Questa distinzione emerge chiaramente dall'analisi del principale riferimento normativo in materia di salute e sicurezza sul lavoro (Decreto Legislativo del 9 aprile 2008, n. 81, denominato "Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro"), che definisce "luogo di lavoro" e "cantiere". All'art.62 – Titolo II, si individua il primo termine che cita: *“per luoghi di lavoro si intendono i luoghi destinati a ospitare posti di lavoro, ubicati all'interno dell'azienda o dell'unità produttiva, nonché ogni altro luogo di pertinenza dell'azienda o dell'unità produttiva accessibile al lavoratore nell'ambito del proprio lavoro”* [1]. Specificando al comma 2 l'esclusione di cantieri temporanei o mobili.

Mentre, al fine di inquadrare giuridicamente il concetto di cantiere, è necessario fare riferimento all'art. 89 – Titolo IV, comma 1 lettera a), che definisce cantiere temporaneo o mobile *“qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile il cui elenco è riportato nell'allegato X”* [1]. Tale documento specifica le attività considerate come lavori edili o di ingegneria civile, i quali sono rappresentati da:

1. *Lavori di costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione, conservazione, risanamento, ristrutturazione o equipaggiamento, la trasformazione, il rinnovamento o lo smantellamento di opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, in cemento armato, in metallo, in legno o in altri materiali, comprese le parti strutturali delle linee elettriche e le parti strutturali degli impianti elettrici, le opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche e, solo per la parte che comporta lavori edili o di ingegneria civile, le opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro.*

2. *Sono, inoltre, lavori di costruzione edile o di ingegneria civile gli scavi, ed il montaggio e lo smontaggio di elementi prefabbricati utilizzati per la realizzazione di lavori edili o di ingegneria civile.* [1]

Si rende necessario, pertanto, un adeguato inquadramento giuridico al fine di applicare le normative pertinenti al contesto in esame. Ne consegue che, per quanto concerne i cantieri, si prevederà l'applicazione del Titolo IV del D.lgs. 81/2008 secondo quanto definito dall'art.89 comma 1 lettera a), ad eccezione dei casi menzionati nell'art.88, comma 2.

Ulteriore precisazione rilevante: il D.lgs. 81/2008 raggruppa i cantieri temporanei e i cantieri mobili, ma per il presente elaborato si farà riferimento alla prima tipologia. Pertanto, l'analisi si concentra esclusivamente su contesti edili, che prevedono la formazione di un'area di intervento temporanea ma situata in una determinata posizione, definiti cantieri puntuali. La seconda tipologia, in contrapposizione alla prima, concerne i cantieri lineari, i quali sono distribuiti su un tratto piuttosto che concentrati in una singola area. Tali opere includono i lavori infrastrutturali quali cantieri ferroviari, stradali, di viadotti e simili.

Come menzionato, il cantiere è un ambiente complesso dove entrano in gioco molti fattori che devono essere identificati e valutati al fine di poterli gestire in modo efficace e così garantire la salute e sicurezza dei soggetti presenti al suo interno. Per tale motivo, è necessario comprendere le figure presenti in cantiere con le loro rispettive responsabilità, e i documenti previsti, legati alla sicurezza. Nel seguito si approfondirà quanto enunciato nel Decreto Legislativo 81/2008, il quale rappresenta il principale riferimento normativo in Italia per la tutela della salute e sicurezza sul lavoro, applicabile a tutti i settori di attività, pubblici e privati, e a tutte le tipologie di rischio.

1.1 Riferimenti normativi

1.1.1 Decreto legislativo 9 aprile 2008 n.81 – “Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro”

Il Decreto Legislativo del 9 aprile 2008, n. 81 e successive modificazioni, è comunemente noto come "Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro". Tuttavia, tale denominazione non è propriamente corretta dal punto di vista giuridico, in quanto Esso, infatti, è il risultato di un riassetto della disciplina in materia, avvenuto per mezzo di interventi sia di tipo riorganizzativo, sia di tipo rinnovativo, e mediante l'accorpamento e l'abrogazione di molteplici disposizioni normative. Pertanto, non può essere considerato un Testo Unico in senso formale, in quanto non ha abrogato completamente tutte le normative preesistenti in materia di sicurezza sul lavoro. Inoltre, è fondamentale evidenziare che tale Decreto non è esaustivo e richiede un approccio integrato tra diverse fonti legislative, tecniche e operative per garantire una comprensione completa della normativa sulla sicurezza sul lavoro. Il D.lgs. 81/2008 si suddivide in 13 Titoli e 306 articoli, ciascuno dei quali affronta aspetti specifici della sicurezza sul lavoro, oltre a disporre di 51 allegati tecnici:

- Titolo I – Principi comuni (artt. 1-61). Sono individuate le disposizioni di carattere generale tra cui i principi fondamentali, come la valutazione dei rischi e l'obbligo di sicurezza, gli obiettivi e il campo di applicazione della norma. Sono definiti i soggetti obbligati in materia e i loro compiti. Inoltre, elenca le misure generali di tutela che devono essere adottate per garantire la sicurezza.

I titoli seguenti sono dedicati all'attuazione delle direttive particolari, suddivisi per tematiche o settori di attività. Nel caso in esame, risulta fondamentale osservare il Titolo IV legato ai cantieri temporanei o mobili (artt. 88-160) il quale specifica le norme per la sicurezza in tali contesti, tra cui l'obbligo di redigere il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e il Fascicolo dell'Opera. Inoltre, introduce l'obbligo di coordinamento tra le imprese operanti in cantiere.

Il D.lgs. 81/08 si basa su un approccio proattivo alla sicurezza, ponendo al centro la prevenzione e il miglioramento continuo delle condizioni di lavoro. L'obiettivo è quello di identificare ed eliminare i rischi alla fonte, includendo l'adozione di misure tecniche, organizzative e procedurali per ridurre al minimo i rischi residui col fine di tutelare la salute dei lavoratori, di terze persone e dell'ambiente. Di conseguenza, particolare rilievo assume il concetto di “salute” individuato dall'art. 2 come: *“stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattia o d'infermità”* [1], responsabilità affidata al datore di lavoro attraverso l'identificazione, la prevenzione e la gestione dei rischi connessi alle attività lavorative. In particolare, il Decreto si prefigge di:

- *Prevenire gli infortuni e le malattie professionali attraverso misure di prevenzione, protezione e sorveglianza sanitaria, favorendo un approccio sistematico alla gestione della sicurezza basato sulla valutazione e gestione dei rischi;*
- *Promuovere la cultura della sicurezza tramite la formazione, l'informazione e l'addestramento dei lavoratori e delle figure responsabili della sicurezza, stimolando la diffusione di una cultura orientata alla prevenzione e alla consapevolezza dei rischi;*
- *Assicurare un ambiente di lavoro sicuro attraverso la manutenzione dei luoghi di lavoro, delle attrezzature e degli impianti e la regolamentazione dell'utilizzo di sostanze pericolose, dei dispositivi di protezione individuale (DPI) e della gestione delle emergenze;*
- *Definire ruoli e responsabilità individuando i soggetti coinvolti nella sicurezza sul luogo di lavoro, precisandone i compiti e gli obblighi, e coinvolgendo i lavoratori;*
- *Adattarsi a contesti e settori specifici tramite misure mirate in caso di rischi particolari come i cantieri, le attività in ambienti confinati, la movimentazione di materiali pericolosi, e le atmosfere potenzialmente esplosive. [1]*

Al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati, il Decreto Legislativo 81/2008 introduce il concetto di valutazione dei rischi, la quale assume un ruolo centrale e significativo all'interno della legislazione, confermata dalla sua indelegabilità. Infatti, risulta essere un'attività di esclusiva competenza del datore di lavoro, il quale valuta le esigenze prevenzionistiche della propria realtà produttiva e su queste elabora ed organizza il programma di prevenzione. Secondo l'art.2, comma 1, lett. q) del D.lgs. 81/08, la valutazione dei rischi consiste nella *“valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza”* [1]. Tale procedura, come stabilito dall'art.28, deve includere la scelta delle attrezzature di lavoro, delle sostanze o miscele chimiche impiegate, la sistemazione dei luoghi di lavoro e deve riguardare tutti i rischi a cui i lavoratori possono essere sottoposti, comprendendo i soggetti esposti a rischi particolari come quelli collegati allo stress lavoro-correlato, alle lavoratrici in stato di gravidanza, senza esclusione di quelli connessi alle differenze di genere, all'età, alla provenienza da altri Paesi, alla specifica tipologia contrattuale e ai rischi derivanti dal possibile rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri temporanei o mobili interessati da attività di scavo. Quindi rappresenta la prima misura di tutela generale dei lavoratori, nonché l'origine delle decisioni da prendere in materia di salute e sicurezza sul lavoro e dei rischi per la collettività.

La valutazione dei rischi è una procedura basata sul ciclo di Deming, un metodo di gestione reiterativo e ciclico impiegato per il miglioramento continuo dei processi, costituito da quattro fasi: *Plan* (pianificare), *Do* (eseguire), *Check* (verificare), *Act* (agire). Tale processo, applicato nel campo della sicurezza sul lavoro, prevede:

- a. L'analisi dei pericoli, ossia l'analisi delle attività e dei processi lavorativi, rilevando le fonti di pericolo presenti;
- b. La valutazione dei rischi, con la determinazione della probabilità di accadimento di un evento pericoloso e della sua potenziale gravità, valutando conseguenze alle persone, all'ambiente e alle strutture. Quindi realizzazione della matrice del rischio che permette assegnargli un livello (es. basso, accettabile, notevole, elevato);
- c. La pianificazione degli interventi, al fine di eliminare o ridurre i rischi tramite la previsione di misure preventive e/o protettive che possono essere tecniche, organizzative o procedurali;
- d. L'attuazione degli interventi, quindi l'applicazione delle azioni previste;
- e. La verifica dei rischi residui, cioè i rischi che permangono anche dopo l'attuazione delle misure. Essi devono essere valutati e classificati al fine di poterli gestire;
- f. L'applicazione delle misure correttive;
- g. Dopodiché il ciclo si ripete.

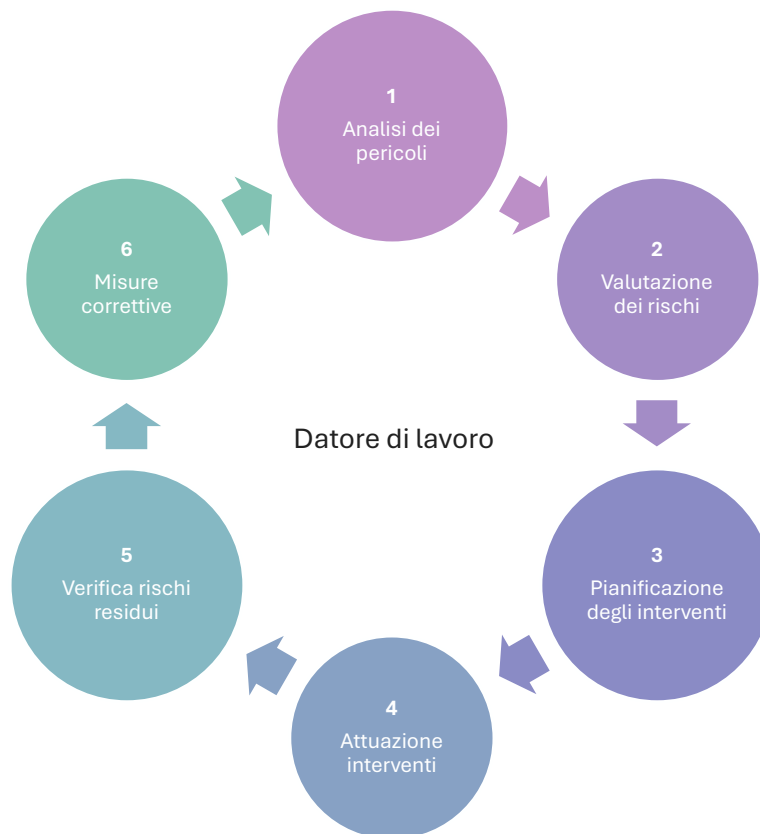


Figura 1. Ciclo di Deming

È necessario inoltre prevedere il monitoraggio delle azioni adottate attraverso ispezioni e controlli periodici per verificare il loro corretto funzionamento e investigare eventuali incidenti.

La valutazione dei rischi deve essere effettuata dal datore di lavoro di ogni impresa esecutrice presente in cantiere, avente almeno un dipendente, il quale elaborerà conseguentemente il documento di

valutazione dei rischi (DVR) con la collaborazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP) e con il coinvolgimento del responsabile dei lavoratori per la sicurezza (RLS). Nei casi di cui all'art. 41, cioè quando si rende necessaria la sorveglianza sanitaria, prende parte anche il medico competente alla valutazione dei rischi. Il DVR, secondo l'art. 28 comma 2 del Decreto [1], consiste:

- In una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute durante l'attività lavorativa, con specificati i criteri adottati per il suo sviluppo;
- L'indicazione delle misure di prevenzione e protezione attuate e dei DPI adottati;
- Il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
- L'individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure da realizzare e dei ruoli dell'organizzazione aziendale che vi debbono provvedere, i quali devono essere assegnati a soggetti con adeguate competenze e poteri;
- Il nominativo del RSPP, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza e del medico competente che ha partecipato alla redazione della valutazione dei rischi;
- Infine, l'individuazione delle mansioni che espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono una capacità professionale riconosciuta, un'esperienza specifica, adeguata formazione e addestramento.

Esso deve essere rielaborato periodicamente o in occasione di modifiche del processo produttivo o dell'organizzazione del lavoro significative ai fini della salute e della sicurezza dei lavoratori (es. nuovi macchinari, ampliamento del cantiere, etc.), o in relazione a infortuni gravi o quando la sorveglianza sanitaria lo ritiene necessario, come stabilito dall'art. 29 comma 3. Quindi è uno strumento dinamico, utile per pianificare gli interventi aziendali al fine di tutelare i dipendenti.

Tra i rischi presi in considerazione vi è anche il rischio d'incendio, la cui valutazione mira a individuare le ipotesi d'incendio più severe ma credibili e le corrispondenti conseguenze per gli occupanti, i beni e l'ambiente, al fine di adottare le misure necessarie per salvaguardare la sicurezza dell'attività. Tale operazione deve includere almeno i seguenti punti:

- Individuazione dei pericoli d'incendio, come sorgenti d'innesco, materiali combustibili o infiammabili, carico d'incendio, etc.;
- Descrizione del contesto e dell'ambiente in cui i pericoli sono inseriti, indicando le condizioni di accessibilità e viabilità, distanziamenti, separazioni, isolamento, etc.;
- Determinazione della quantità e della tipologia di occupanti esposti a rischio d'incendio;
- Individuazione dei beni esposti a rischio d'incendio;
- Valutazione qualitativa e quantitativa delle conseguenze dell'incendio su occupanti, beni e ambiente.

- Individuazione delle misure preventive che possano eliminare o ridurre i pericoli che determinano rischi significativi.

Il Decreto Legislativo stabilisce l'adozione di misure appropriate per la prevenzione incendi e la tutela dell'incolumità dei lavoratori in tutti i luoghi di lavoro soggetti alla sua applicazione, con l'obiettivo di garantire la sicurezza antincendio. La prevenzione incendi è definita come *"la funzione di preminente interesse pubblico, di esclusiva competenza statale, diretta a conseguire, secondo criteri applicativi uniformi sul territorio nazionale, gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente"* [1]. Pertanto, laddove si prevedere l'applicazione del D.lgs. 81/2008, devono essere adottate idonee misure di prevenzione incendi con ulteriori riferimenti ad altri decreti in funzione dei rischi presenti.

L'obiettivo di tale processo è quello di approfondire l'analisi e la valutazione del rischio incendio al fine di evitare l'insorgenza di tale evento e di limitarne le conseguenze qualora si verifichi. Pertanto, al fine di determinare le misure precauzionali, le metodologie di controllo e manutenzione degli impianti e delle attrezzature antincendio, nonché i criteri per la gestione delle situazioni di emergenza, è necessario considerare le condizioni di esercizio dell'attività. Inoltre, si rende necessario stabilire le caratteristiche del servizio di prevenzione e protezione antincendio, nonché i requisiti e la formazione del personale addetto.

In relazione ai principi dell'art. 46, ogni disposizione concernente aspetti di prevenzione incendi, sia per l'attività di disciplina che di controllo, deve essere riferita agli organi centrali e periferici del Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile.

Di conseguenza, il Decreto Legislativo 81/2008 non contiene riferimenti specifici alla valutazione del rischio di incendio o alle misure di mitigazione per i cantieri. Esso prescrive un obbligo generale di valutazione dei rischi, incluso quello incendio, e stabilisce la necessità di mantenere un adeguato livello di sicurezza antincendio tramite la preventiva designazione e formazione dei lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendi e lotta antincendio, demandando la definizione delle misure tecniche a norme specialistiche.

Come menzionato, l'onere di redazione del DVR è assegnato al datore di lavoro in quanto è il primo destinatario dell'obbligo di garanzia di sicurezza. In particolare, il Decreto Legislativo fornisce due definizioni per tale figura distinguendo l'ambito privato da quello pubblico, la cui differenza esiste a causa delle peculiarità di quest'ultimo legate alla necessità di conferire l'incarico mediante un atto di nomina formale da parte delle singole amministrazioni mentre, nel settore privato, corrisponde al titolare dell'azienda. In ogni caso, tramite l'articolo 17 sono individuati gli obblighi non delegabili di carattere primario nel sistema prevenzionistico, i quali prevedono l'impossibilità di affidare a terzi l'elaborazione del DVR, come menzionato precedentemente, e la designazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi (RSPP).

Il datore di lavoro è incaricato di fornire informazioni al servizio di prevenzione e protezione in merito alla natura dei rischi, all'organizzazione del lavoro e alla programmazione e attuazione delle misure preventive e protettive, una descrizione degli impianti e dei processi produttivi, i dati relativi agli infortuni sul lavoro che comportino assenza del lavoratore di almeno un giorno e, ai fini assicurativi, quelli con assenza superiore a tre giorni e quelli relativi a malattie professionali. Infine, le informazioni riguardanti i provvedimenti adottati dagli organi di vigilanza.

Infatti, per quanto riguarda la gestione delle emergenze, il datore di lavoro deve organizzare i rapporti con i servizi pubblici competenti in materia di primo soccorso, salvataggio e lotta antincendio e gestione dell'emergenza. Inoltre, in caso di pericolo grave e immediato deve informare i lavoratori circa le misure predisposte e i comportamenti da adottare e, se esso non può essere evitato, deve fare in modo che possano cessare la loro attività o mettersi al sicuro, come stabilito dall'art. 43 comma 1, lettera c) e d) [1].

Si è fatto riferimento al responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP), definito dal D.lgs. 81/2008 come *“la persona in possesso delle capacità e dei requisiti professionali di cui all'art. 32, designata dal datore di lavoro a cui risponde, per coordinare il servizio di prevenzione e protezione dai rischi”* [1]. Il suo compito è supportare il datore di lavoro nella valutazione dei rischi, nell'elaborazione del DVR (documento di valutazione dei rischi) e nell'attuazione delle misure di prevenzione e protezione. Inoltre, come specificato dall'art. 33, il RSPP propone programmi di informazione e formazione dei lavoratori e delle altre figure di sicurezza (es. RLS, addetti antincendio), partecipa alle consultazioni in materia di tutela della salute e sicurezza sul lavoro e alla riunione periodica, nonché informa in modo chiaro e comprensibile i lavoratori sui rischi presenti e sulle misure di prevenzione adottate [1]. In contesti cantieristici, il RSPP supporta inoltre il Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP) e il Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione (CSE) nella gestione della sicurezza e controlla che le misure di sicurezza previste nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) siano correttamente applicate.

Gli addetti antincendio sono quei lavoratori incaricati dal datore di lavoro di attuare le misure di prevenzione incendi e di lotta antincendio, nonché di gestire le relative emergenze che potrebbero verificarsi. Nell'ambito dell'ordinaria attività lavorativa, gli addetti incaricati della squadra antincendio sono responsabili della verifica dell'integrità delle attrezzature antincendio presenti sul luogo di lavoro. Inoltre, sono tenuti a garantire che le vie di fuga e le uscite di emergenza siano costantemente libere da ostacoli, annotando le verifiche effettuate sul registro di sorveglianza in esercizio. Pertanto, le competenze degli addetti antincendio non si limitano esclusivamente agli interventi in caso di emergenza. L'implementazione di un'attività di controllo giornaliera si configura come un elemento fondamentale per garantire un'efficacia ottimale nella prevenzione degli incendi e nella protezione dell'azienda e dei dipendenti. Gli addetti alla prevenzione incendi, designati per tale funzione, sono responsabili della verifica della praticabilità delle vie di fuga e della garanzia delle misure di

segnalazione del rischio incendio, al fine di garantire la sicurezza dei presenti in caso di emergenza. I lavoratori che svolgono funzioni di prevenzione incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei luoghi di lavoro in caso di pericolo grave ed immediato, di salvataggio, di primo soccorso e, in generale, di gestione delle emergenze, sono tenuti a ricevere una formazione adeguata e specifica, nonché un aggiornamento periodico.

In merito al livello di competenza degli addetti antincendio, tale livello è determinato dal rischio presente nel contesto operativo, il quale è suddiviso in tre categorie, come stabilito dal decreto ministeriale del 2 settembre 2021. In particolare, i livelli formativi che riguardano il cantiere temporaneo possono essere di:

- 2° livello: durata di 8h e riguarda i cantieri temporanei e mobili ove si detengono ed impiegano sostanze infiammabili e si fa uso di fiamme libere, esclusi quelli interamente all'aperto. Esso è composto da 5h teoriche e 3h di esercitazione pratica;
- 3° livello: durata di 16h e riguarda i cantieri temporanei o mobili ove si impiegano esplosivi. Tale corso è composto da 12h teoriche e 4h di esercitazione pratica [6].

Pertanto, in base alla casistica, si rientra in una delle due categorie. È evidente che il corso di terzo livello si caratterizza per un approccio più approfondito rispetto al secondo, in quanto si concentra su argomenti relativi alla prevenzione e alla lotta incendi con l'obiettivo di gestire situazioni più complesse e pericolose. Ogni cinque anni è necessario procedere con il rinnovo della formazione.

Si può dedurre che, in linea generale, i cantieri temporanei prevedono la presenza di addetti antincendio che hanno completato un corso di formazione di secondo livello della durata di 8 ore. Ciò implica una generalizzazione delle varie casistiche riscontrabili, senza una concreta analisi delle tipologie di lavorazioni e delle relative modalità operative, nonché della complessità gestionale del cantiere e del suo layout. Di conseguenza, si adotta un approccio standardizzato nella designazione e formazione degli addetti antincendio, senza considerare le caratteristiche uniche del cantiere. Effettivamente, la decisione di far frequentare agli addetti corsi di secondo livello (8 ore), tipici di scenari a rischio medio, rappresenta una soluzione organizzativa che consente di coprire un insieme relativamente vasto di situazioni operative. Tuttavia, ciò espone al rischio di non aderire pienamente alla reale entità del pericolo presente, sia per eccesso che per difetto. Sebbene l'adozione sistematica del corso di secondo livello possa apparire come una scelta prudente e semplificativa, essa non garantisce automaticamente un'adeguata protezione in tutti i contesti. In conformità con la normativa vigente e il principio di valutazione del rischio, si raccomanda che la selezione del livello formativo sia condotta in modo critico e personalizzato, sulla base di un'analisi approfondita delle condizioni operative specifiche del cantiere. Tale approccio potrebbe incrementare l'efficacia delle misure antincendio e ridurre significativamente il rischio residuo.

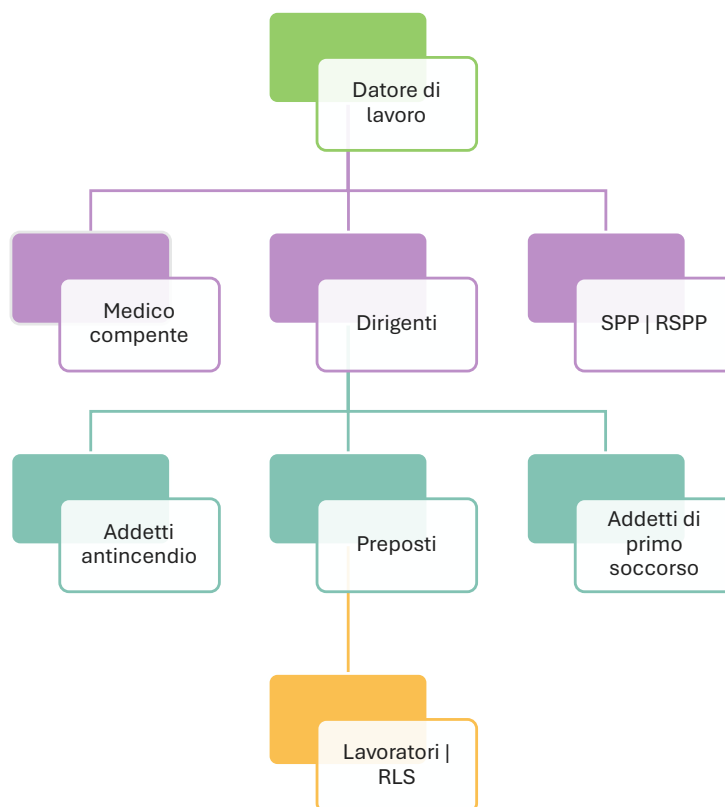


Figura 2. Organigramma impresa

Nei cantieri, oltre alla redazione del documento di valutazione dei rischi, devono essere realizzati una serie di documenti, anch'essi obbligatori, finalizzati a garantire che tutte le attività siano svolte in sicurezza e nel rispetto delle normative vigenti. Tra questi vi è il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), redatto in fase di progetto e nel quale sono analizzati tutti gli aspetti legati ai rischi e alle misure di prevenzione e protezione relative a uno specifico cantiere, strettamente connesse ai Piani Operativi di Sicurezza (POS). Il PSC analizza le fasi di lavoro svolte in cantiere, le attività critiche del processo di costruzione e tutte le misure da adottare per ridurre e prevenire i rischi sul lavoro. Esso è obbligatorio quando sono presenti più imprese in cantiere, anche non contemporanee, oppure quando un'unica azienda affidataria si avvale di altre imprese per l'esecuzione dei lavori, sia nel settore pubblico che in quello privato. Si tratta, quindi, di uno strumento operativo che garantisce la sicurezza tramite un coordinamento strutturato tra le parti, un'analisi dinamica dei rischi e l'adattabilità a cambiamenti progettuali e organizzativi. Viene redatto dal coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione (CSP), che viene nominato dal committente o dal responsabile dei lavori (RdL) contestualmente all'affidamento dell'incarico di progettazione, secondo quanto stabilito dall'art. 90, comma 3 [1]. Il Piano di Sicurezza e Coordinamento è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, compresi i rischi particolari di cui all'allegato XI, con specifico riferimento ai rischi derivanti dal possibile rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri interessati da attività di scavo, nonché la stima dei costi.

In merito ai contenuti dell'allegato XI, lo stesso stabilisce un elenco di lavorazioni che comportano rischi definiti “particolari” per la sicurezza e la salute dei lavoratori, le quali sono:

“1. Lavori che espongono i lavoratori a rischi di seppellimento o di sprofondamento a profondità superiore a m 1,5 o di caduta dall'alto da altezza superiore a m², se particolarmente aggravati dalla natura dell'attività o dei procedimenti attuati oppure dalle condizioni ambientali del posto di lavoro o dell'opera.

1-bis. Lavori che espongono i lavoratori al rischio di esplosione derivante dall'innesco accidentale di un ordigno bellico inesplosivo rinvenuto durante le attività di scavo.

2. Lavori che espongono i lavoratori a sostanze chimiche o biologiche che presentano rischi particolari per la sicurezza e la salute dei lavoratori oppure comportano un'esigenza legale di sorveglianza sanitaria.

3. Lavori con radiazioni ionizzanti che esigono la designazione di zone controllate o sorvegliate, quali definite dalla vigente normativa in materia di protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti.

4. Lavori in prossimità di linee elettriche aeree a conduttori nudi in tensione.

5. Lavori che espongono ad un rischio di annegamento.

6. Lavori in pozzi, sterri sotterranei e gallerie.

7. Lavori subacquei con respiratori.

8. Lavori in cassoni ad aria compressa.

9. Lavori comportanti l'impiego di esplosivi.

10. Lavori di montaggio o smontaggio di elementi prefabbricati pesanti.” [1]

È opportuno evidenziare che l'elenco non include il rischio di incendio e di esplosione, ma si limita a riportare i lavori associati all'uso dell'esplosivo. La presente analisi evidenzia come il rischio di incendio e di esplosione sia spesso sottovalutato nel settore dell'edilizia. Tale rischio è generalmente analizzato e valutato in modo limitato, focalizzandosi principalmente sui pericoli associati all'uso delle macchine e delle attrezzature da cantiere. Pertanto, questo approccio trascura e traslascia numerosi aspetti legati al rischio di incendio, poiché non inclusi nella normativa di riferimento.

La figura che verifica la corretta applicazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento in fase di realizzazione dell'opera è il Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione (CSE), cioè il soggetto incaricato dal committente o RdL all'esecuzione dei compiti elencati all'articolo 92 del D.lgs. 81/2008. Pertanto, l'attività del CSE si sostanzia nel coordinamento operativo delle imprese presenti in cantiere, nella verifica dell'effettiva attuazione delle prescrizioni contenute nel PSC redatto dal Coordinatore in fase di Progettazione e nell'adeguamento del piano stesso in funzione dell'evoluzione del cantiere e

dell'insorgenza di nuovi rischi. Di conseguenza, il ruolo del CSE non si limita a un compito meramente documentale, ma assume un ruolo attivo e dinamico nel processo di controllo del cantiere. In tale contesto, esso verifica che:

- Le imprese adottino in modo appropriato le misure preventive e protettive indicate nel PSC;
- I lavoratori utilizzino in modo adeguato i dispositivi di protezione individuale (DPI);
- Vengano rispettate le misure tecniche, organizzative e procedurali previste per il coordinamento delle interferenze tra lavorazioni;
- Vengano attuate le misure di emergenza, comprese quelle antincendio.

In tale prospettiva, emerge con chiarezza il ruolo cruciale del CSE nel contesto della gestione della sicurezza in cantiere, fungendo da elemento di collegamento e verifica tra il progetto di sicurezza e la sua applicazione pratica.

Precedentemente, si è fatto riferimento ai Piani Operativi di Sicurezza (POS), i quali sono elaborati obbligatoriamente da ciascun datore di lavoro delle imprese esecutrici per il singolo cantiere interessato. Essi sono strettamente correlati al PSC, ma si concentrano sulle misure di sicurezza specifiche che l'impresa adotta per le proprie attività relative al cantiere specifico. Di conseguenza, al suo interno si ha la valutazione dei rischi a cui sono sottoposti i lavoratori dell'impresa, le misure di prevenzione e protezione da adottare per eliminarli o ridurli al minimo, e l'organizzazione della sicurezza dell'impresa, considerando le lavorazioni, le macchine, le attrezzature, ecc. In particolare, i contenuti minimi previsti dal Decreto Legislativo [1] riguardano:

- Informazioni generali dell'impresa esecutrice;
- Le specifiche mansioni svolte in cantiere da ogni figura inerenti alla sicurezza;
- La descrizione dell'attività di cantiere, delle modalità organizzative e dei turni di lavoro;
- L'elenco delle opere provvisorie aventi notevole importanza, delle macchine e degli impianti utilizzati in cantiere;
- L'elenco delle sostanze e miscele pericolose utilizzate 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 (DPI) forniti ai lavoratori;
- La documentazione in merito all'informazione ed alla formazione fornite ai lavoratori occupati in cantiere.

Il CSE ha il compito di verificare l'idoneità del POS, da considerare come piano complementare di dettaglio del PSC, assicurandone la coerenza con quest'ultimo e, quando previsto, adeguare il piano di sicurezza e coordinamento e il fascicolo dell'opera in relazione all'evoluzione dei lavori e alle eventuali modifiche avvenute. Inoltre, verifica che le imprese esecutrici adeguino, se necessario, i rispettivi piani operativi di sicurezza, come definito dall'art. 92 del D.lgs. 81/2008 [1].

In conclusione, il Piano di Sicurezza e Coordinamento e il Piano Operativo di Sicurezza sono due documenti fondamentali per la gestione della sicurezza nei cantieri: il PSC definisce il quadro generale di sicurezza del cantiere, mentre il POS specifica le misure adottate da ciascuna impresa per le proprie attività. Perciò, il primo documento ha lo scopo di coordinare tutte le attività del cantiere, valutando tutti i rischi generali e interferenziali delle varie fasi, in modo da ottenere una sua ampia visione, prevedendo misure comuni e pianificando sfasamenti temporali e spaziali al fine di evitare sovrapposizioni pericolose. Il secondo elaborato considera le attività specifiche svolte dall'impresa, valutando conseguentemente i rischi che ne derivano e le misure tecniche, organizzative e procedurali adottate.

<i>Aspetto</i>	PSC	POS
<i>Contenuto</i>	Analisi globale del cantiere	Individua le misure specifiche previste da ciascuna impresa in funzione alle lavorazioni che compie
<i>Tempistica</i>	Contestualmente al bando di gara (pubblico) o prima dell'affidamento dei lavori (privato)	Prima dell'ingresso in cantiere dell'impresa
<i>Responsabilità</i>	CSP/CSE	Datore di Lavoro dell'impresa esecutrice
<i>Ambito</i>	Coordinamento tra tutte le imprese	Attività specifiche di una singola impresa
<i>Rischi Valutati</i>	Generali e interferenziali	Specifici alle attività dell'impresa
<i>Misure</i>	Collettive e organizzative	Tecniche, procedurali e organizzative

Tabella 1. Confronto tra PSC e POS

Relativamente alla loro redazione, in fase di progettazione il CSP elabora il PSC identificando i rischi generali e le misure di coordinamento. Le imprese ricevono il documento e lo utilizzano come base per redigere i propri POS. In fase di esecuzione, il CSE verifica che i POS delle imprese siano conformi al PSC e, se previste modifiche a quest'ultimo, richiede l'aggiornamento dei POS da parte delle imprese.

OSSERVAZIONI FINALI

A seguito della disamina svolta, si riportano di seguito i nodi di discussione centrali ai fini della messa in evidenza delle criticità della normativa di riferimento.

1. Il cantiere non rientra nella definizione di “luogo di lavoro” fornita dall'art.62 del D.lgs. 81/2008, tuttavia, ad esso viene dedicato il Titolo IV.
2. Il Decreto Legislativo 81/2008 stabilisce l'obbligo di una valutazione dei rischi completa, che include anche il rischio di incendio, senza tuttavia fornire specifiche metodologie. L'unica prescrizione esplicita è la designazione e la formazione degli addetti alla prevenzione incendi (Art. 43). Formazione che dipende dall'entità del rischio presente nel cantiere temporaneo. A prescindere da quanto citato, la formazione offerta si limita spesso a corsi base della durata di 8 ore, mentre nei cantieri sarebbe auspicabile l'intervento di personale con competenze avanzate.
3. Inoltre, relativamente ai contenuti minimi del PSC, si rende fondamentale la nomina dell'allegato XI, che elenca le lavorazioni che comportano rischi “particolari” per la sicurezza e la salute dei lavoratori. Tuttavia, l'allegato XI non menziona il rischio di incendio e di esplosione, limitandosi a riportare i lavori associati all'uso dell'esplosivo. Pertanto, è possibile evidenziare la sottovalutazione di tale rischio nel settore dell'edilizia, portando ad un'analisi limitata dei pericoli e delle conseguenze dannose che possono verificarsi.
4. La mancanza di una normativa dettagliata e vincolante per la prevenzione incendi lascia un margine di discrezionalità al tecnico incaricato, il quale è tenuto a operare secondo principi generali di prevenzione, esperienze pregresse e interpretazioni personali delle normative vigenti. Questo può condurre a interpretazioni diverse in ciascun contesto cantieristico, con potenziali sottostime del rischio, lacune ed errori nella progettazione delle misure preventive e protettive.

<i>Affermazioni</i>	<i>Sintesi</i>	<i>Aspetti Chiave/Dettagli</i>
<i>Il cantiere non è "luogo di lavoro"</i>	Il cantiere non rientra nella definizione di "luogo di lavoro" fornita dall'art.62 [1]	- La sua definizione è nell'allegato X; - Ad esso è dedicato il Titolo IV.
<i>Valutazione del rischio incendio</i>	Il D.lgs. 81/2008 non contiene riferimenti specifici alla valutazione del rischio incendio o alle misure di mitigazione per i cantieri.	- Stabilisce solo la necessità di mantenere un adeguato livello di sicurezza antincendio; - Prevede la designazione e formazione degli addetti antincendio;
<i>Non è definito rischio "particolare"</i>	Il rischio incendio ed esplosione non è contenuto nell'allegato XI.	- Analisi limitata dei pericoli e dei danni, sottovalutazione del rischio.
<i>Mancanza di normativa dettagliata</i>	Discrezionalità del tecnico incaricato nella valutazione del rischio.	- Potenziali sottostime del rischio, lacune ed errori.

Tabella 2. Osservazioni finali

1.1.2 Decreto ministeriale 3 agosto 2015 – Codice di Prevenzione Incendi

Relativamente alla prevenzione incendi, è fondamentale menzionare il D.M. 3 agosto 2015 – Codice di Prevenzione Incendi. Ispirandosi alla normativa internazionale, il Codice rappresenta un testo organico e unificato di disposizioni di prevenzione incendi, applicabile in maniera uniforme alla progettazione di attività, nuove o esistenti, soggette ai controlli di prevenzione incendi, individuate dal D.P.R. 151/2011. In quest'ultimo documento sono infatti elencate 80 attività considerate a maggior rischio incendio (strutture ricettive, industriali, commerciali, etc.), prevedendo procedure differenziate in funzione della complessità delle stesse. Il Codice riporta metodologie di progettazione, realizzazione e gestione della sicurezza antincendio finalizzate al raggiungimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi tramite soluzioni tecniche e gestionali delle attività. Tuttavia, il D.P.R. 151/2011 non menziona cantieri di alcun tipo, pertanto l'applicazione del D.M. 3 agosto 2015 risulta impedita in tali contesti.

Ciò premesso, è importante constatare che alcune attività svolte all'interno dei cantieri possono rientrare nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi secondo il D.P.R. 151/2011. Infatti, durante le fasi di progettazione esecutiva e di realizzazione del cantiere, in relazione alle caratteristiche costruttive dell'opera, alle dimensioni e all'organizzazione dello stesso, è possibile identificare alcune attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco come, ad esempio, l'attività 5 (Depositi di gas comburenti), 36 (Depositi di legname e di altri prodotti affini) e 49 (gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria) e così via.

È opportuno evidenziare che il Codice di Prevenzione Incendi è stato concepito principalmente per essere applicato a attività in ambito edilizio tradizionale e confinato, ovvero in ambienti chiusi e delimitati da confini fisici noti e costanti. In tali contesti, le condizioni geometriche, la compartimentazione, la ventilazione, la presenza di impianti fissi di rivelazione e spegnimento, e l'organizzazione dell'esodo possono essere definite con precisione e progettate in modo controllato. Tuttavia, il cantiere temporaneo o mobile, per sua natura, è un ambiente aperto, variabile e non compartimentabile nel senso classico del termine. Le lavorazioni si susseguono secondo una sequenza temporale, gli impianti sono provvisori e soggetti a modifiche, i percorsi di evacuazione non sono sempre predefiniti e possono variare da un giorno all'altro. Inoltre, le attività spesso si svolgono in ambienti esterni, in edifici parzialmente demoliti o non ancora completati, dove non sono presenti le caratteristiche fisiche e impiantistiche tipiche degli ambienti confinati. In tale contesto, il rischio di una trasposizione acritica del Codice deriva dalla mancanza di piena compatibilità tra le condizioni operative previste dalle strategie antincendio e le reali dinamiche del cantiere. Ciò non implica che il Codice non possa essere utilizzato come riferimento, ma piuttosto che la sua applicazione richiede una consapevolezza tecnica, con la necessità di adattare i suoi principi generali a contesti in cui i presupposti di base sono differenti.

In particolare, per le attività soggette al Codice, l'applicazione delle Regole Tecniche Orizzontali (RTO) e delle Regole Tecniche Verticali (RTV) può risultare utile ai fini della definizione di una strategia antincendio. Per le lavorazioni che non includono attività soggette, si possono applicare esclusivamente le RTO.

Definito questo, tuttavia, è necessario evidenziare che il Codice di Prevenzione Incendi, nel capitolo G.3, in base alla valutazione del rischio, si giunge a definire tre profili di rischio legati alla salvaguardia della vita umana (R_{vita}), alla tutela dei beni economici (R_{beni}) e all'ambiente ($R_{ambiente}$). Nel contesto specifico del cantiere edile, tuttavia, risulta complesso delineare tali profili, in quanto non è possibile fare riferimento a compartimenti, che risultano difficili da realizzare, se non in interventi su edifici esistenti. Inoltre, risulta complesso quantificare la potenziale perdita economica e/o sociale derivante dal danneggiamento del bene stesso e dell'ambiente in cui si inserisce, nonché del cantiere e di tutto ciò che coinvolge. Di conseguenza, si rende necessario che il tecnico responsabile della valutazione dimostri una competenza ed esperienza specifica in materia di prevenzione incendi, poiché è fondamentale condurre una serie di valutazioni relative al cantiere specifico al fine di determinare i tre profili di rischio.

Con riferimento alle strategie antincendio applicabili nel contesto cantieristico, queste possono includere:

- S.3 – Compartimentazione;
- S.4 – Esodo;
- S.5 – Gestione della sicurezza antincendio;
- S.6 – Controllo dell'incendio;
- S.7 – Rivelazione ed allarme;
- S.9 – Operatività antincendio;
- S.10 – Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio.

In merito alla compartimentazione, la sua applicabilità risulta parziale poiché, durante le fasi di cantiere, risulta frequentemente assente e sottovalutata come anche lo sono le distanze di sicurezza. Tuttavia, è possibile implementarla in modo temporaneo mediante: l'uso di barriere ignifughe mobili; la delimitazione fisica delle aree a rischio, quali depositi di bombole o zone di saldatura; oppure attraverso la separazione temporanea di materiali combustibili dalle sorgenti di innesco imponendo anche distanze di sicurezza.

In merito all'esodo, la sua applicabilità risulta imprescindibile, in quanto la gestione dell'esodo nel cantiere è fondamentale, soprattutto in fase di emergenza. Pur non essendo sempre possibile garantire le dimensioni o le lunghezze delle vie di esodo previste dal Codice, è fondamentale assicurare che i percorsi siano sgombri e adeguatamente segnalati, prevedere uscite temporanee verso aree sicure e disporre piani di evacuazione aggiornati in base all'avanzamento del cantiere.

Nel contesto della gestione della sicurezza antincendio, tale strategia riveste un ruolo di primaria importanza, in quanto può essere trasposta con facilità al cantiere e rappresenta il fulcro della prevenzione operativa. Essa è definita come la misura organizzativa e gestionale dell'attività, volta a garantire un adeguato livello di sicurezza antincendio nel tempo. Tale misura include la definizione di ruoli e responsabilità, la sorveglianza delle lavorazioni a rischio, la gestione delle emergenze e la formazione degli addetti antincendio.

Per quanto concerne il controllo dell'incendio, in cantiere si rende necessario prevedere:

- La necessità di disporre di estintori portatili, distribuiti in modo capillare sul cantiere e, in particolar modo, in prossimità di elementi critici quali i quadri elettrici, i punti di lavorazione soggetti a rischio incendio (taglio, saldatura) e le aree destinate allo stoccaggio di materiali combustibili. La selezione degli estintori deve essere effettuata in base alla classe di incendio prevedibile, garantendo che siano sottoposti a regolare manutenzione;
- Di valutare l'installazione di naspi provvisori o manichette allacciate a reti idriche temporanee, soprattutto nei cantieri di grandi dimensioni o in edifici chiusi, dove la propagazione di un incendio potrebbe risultare rapida e difficoltosa da contenere esclusivamente con mezzi portatili;
- La presenza di risorse idriche, anche in assenza di una rete antincendio definitiva, è ammissibile mediante l'impiego di serbatoi temporanei o autobotti, allacci provvisori alla rete idrica pubblica o vasche di raccolta predisposte allo scopo, a condizione che siano compatibili con la logistica del cantiere.

In merito alla strategia S.7, denominata "Rivelazione ed allarme", si evidenzia una sua applicabilità limitata, che potrebbe riguardare esclusivamente alcuni cantieri di particolare rilevanza o caratterizzati da specifiche peculiarità. A titolo esemplificativo, tale strategia potrebbe trovare impiego in cantieri complessi su più livelli o in ambienti interni confinati. Ulteriori applicazioni potrebbero essere considerate in edifici storici. In alternativa, si potrebbe valutare l'utilizzo di rivelatori portatili, sensori temporanei o dispositivi manuali di allarme.

In merito alla strategia S.9 - Operatività antincendio, si evidenzia la possibilità di applicarla in forma semplificata. La misura antincendio in esame, contenuta nel Codice, disciplina le modalità di intervento dei Vigili del Fuoco, con l'obiettivo di garantire l'accessibilità alle squadre di soccorso, la previsione di percorsi carrabili provvisori e la segnalazione delle aree critiche sulla planimetria del cantiere.

In conclusione, l'ultima strategia concerne la sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio, quali gli impianti elettrici, termici e altri. Pertanto, in cantiere si può valutare il rischio degli impianti provvisori, garantendo la messa a terra, le protezioni differenziali e separando le linee a servizio di aree a rischio.

L'implementazione delle diverse strategie del Codice di Prevenzione Incendi, anche in forma adattata, permette al progettista della sicurezza (CSP) e al Coordinatore per l'Esecuzione (CSE) di sviluppare un

piano di prevenzione incendi più solido, nel quale i vari aspetti vengono esaminati in modo approfondito. In un'ottica di gestione integrata del rischio, tale elemento si configura come imprescindibile per assicurare la protezione delle persone, delle opere e del contesto in cui si opera. Questo consente di delineare una cornice concettuale funzionale per l'organizzazione della sicurezza del cantiere, sebbene debba essere interpretata e adattata alle peculiarità di ciascuna fase del processo. L'adozione di tale logica consente di ridurre significativamente il rischio di innesco, garantendo la continuità operativa del cantiere e promuovendo un approccio ingegneristico e proattivo alla sicurezza. Oltre al Codice di Prevenzione incendi, è necessario considerare le disposizioni stabilite dalle normative tecniche specifiche, le quali devono essere comunque rispettate anche se l'attività non rientra nell'allegato I del D.P.R. 151/2011. A titolo esemplificativo, si consideri il D.M. 8 novembre 2019 che stabilisce le normative per gli impianti termici a gas con una potenza superiore a 35 kW, mentre se si considera il D.P.R. 151/2011, gli impianti soggetti ai controlli dei V.V.F. sono quelli con una potenza superiore a 116 kW. L'impiego del Codice si rivela, inoltre, funzionale all'uso della bibliografia e delle norme tecniche su cui esso si fonda, come ad esempio gli Standard tecnici UNI, CEI, ISO e le linee guida internazionali per la gestione delle emergenze. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dall'uniformità terminologica, che consente una maggiore chiarezza nella redazione dei documenti di sicurezza come PSC, POS e DVR, in quanto definisce in modo univoco molti aspetti antincendio.

Uno strumento che potrebbe essere impiegato per valutare i piani di emergenza è la Fire Safety Engineering (FSE). Questo approccio, introdotto in Italia nel 2007 e successivamente consolidato nel Codice di Prevenzione Incendi, si basa sull'impiego di regole e metodi scientifici e ingegneristici per analizzare gli scenari di incendio e valutare l'efficacia delle misure preventive e protettive, anche mediante simulazioni fluidodinamiche, termo-strutturali e di esodo. In ambito di prevenzione incendi delle attività (soggette o meno), la FSE permette di analizzare casi che si discostano dalla conformità alle regole tecniche o alle norme tecniche, e consente di quantificare le prestazioni delle misure antincendio. Per tale ragione, la Fire Safety Engineering potrebbe costituire uno strumento potenzialmente applicabile anche nei cantieri temporanei o mobili, dove la disposizione dei materiali, delle attrezzature e dei percorsi di esodo può subire modifiche anche su base settimanale. Pertanto, la simulazione dello sviluppo dell'incendio e dell'esodo delle persone con strumenti quali il FDS (Fire Dynamics Simulator) offre un valore aggiunto concreto nella definizione di piani di emergenza proporzionati agli scenari reali. Pertanto, mediante la modellazione delle sorgenti di innesco e la definizione degli scenari di incendio più critici, è possibile simulare lo sviluppo termico dell'incendio, la propagazione dei fumi e dei gas caldi, l'interazione con la geometria temporanea del cantiere, il comportamento degli occupanti e i tempi di esodo. Tali dati consentirebbero di valutare l'efficacia dei percorsi di evacuazione in relazione alle condizioni circostanti, ottimizzando l'organizzazione del cantiere e la disposizione dei presidi di emergenza, favorendo decisioni basate su dati quantitativi. Nonostante la sua efficacia in contesti strutturati come edifici civili/industriali, ad oggi l'applicazione

della FSE nel settore dei cantieri rimane marginale. Sebbene l'applicazione della Fire Safety Engineering ai cantieri non sia ancora normativamente consolidata, essa rappresenta una prospettiva di sviluppo promettente, in particolare per cantieri di grandi dimensioni, interventi in edifici storici o di pregio e contesti ad alta complessità gestionale o interferenziale.

In conclusione, a seguito di approfondite riflessioni, si evidenzia che il Codice di Prevenzione Incendi, sebbene concepito originariamente per la progettazione antincendio delle attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco ai sensi del D.P.R. 151/2011, può costituire un riferimento tecnico e metodologico valido anche per contesti non soggetti, quali i cantieri temporanei o mobili. Tale normativa, infatti, si presta come linea guida utile per essere applicata, adattata e interpretata in funzione delle caratteristiche specifiche di ogni ambiente operativo. Inoltre, è fondamentale sottolineare che il Codice non si limita a essere un insieme di prescrizioni, ma si presenta come un metodo progettuale orientato al conseguimento di obiettivi di sicurezza, tra cui la tutela della vita umana, la salvaguardia dei beni e la protezione dell'ambiente. Inoltre, il Codice promuove un approccio ingegneristico integrato, che si adatta efficacemente alla complessità, alla variabilità e alla temporaneità dei cantieri, favorendo l'adozione di soluzioni proporzionate, documentate e ben argomentate. In assenza di un obbligo formale, il Codice di Prevenzione Incendi potrebbe essere valorizzato come buona prassi tecnica, sia nella formazione dei professionisti che nella pratica progettuale quotidiana. Questo approccio potrebbe contribuire a elevare il livello di sicurezza complessivo, garantendo una risposta più consapevole, flessibile ed efficace al rischio incendio nei diversi scenari operativi del settore delle costruzioni.

OSSERVAZIONI FINALI

A termine di questa disamina del Codice di Prevenzione Incendi, si riportano di seguito i punti principali di discussione ai fini della messa in evidenza delle criticità del Codice di Prevenzione Incendi.

<i>Affermazioni</i>	<i>Sintesi</i>	<i>Aspetti Chiave/Dettagli</i>
<i>Il cantiere non è "attività soggetta"</i>	Il cantiere non è incluso tra le 80 attività a rischio incendio del D.P.R. 151/2011.	- Non è presente una normativa specifica di prevenzione incendi dedicata al cantiere; - Il cantiere è un contesto operativo, non un'attività autonoma.
<i>Attività soggette interne al cantiere</i>	Attività specifiche possono richiedere l'applicazione del Codice di Prevenzione Incendi (RTO+RTV) o normative tecniche specifiche.	- Esempio: depositi di gas infiammabili (Attività 4 D.P.R. 151/2011).
<i>Attività non soggette</i>	Applicazione delle RTO.	Capitoli G+S.
<i>Codice come linea guida</i>	Necessità di adattare le strategie antincendio ad ogni specifico cantiere.	- Applicabilità di S.3, S.4, S.5, S.6, S.7, S.9, S.10.
<i>Definizione profili di rischio</i>	Complessità nel definire i tre profili di rischio.	- Necessità del tecnico incaricato di avere competenze ed esperienza nella prevenzione incendi.
<i>FSE</i>	Utile per redigere i piani di emergenza, definire l'organizzazione del cantiere e il posizionamento dei presidi antincendio.	- Valutazione prestazionale degli scenari d'incendio.

Tabella 3. Osservazioni finali

1.1.3 Decreti Ministeriali 2021

È importante menzionare l'introduzione di tre decreti che rappresentano modifiche e integrazioni al Codice di Prevenzione Incendi. Essi fanno parte di un pacchetto normativo volto a semplificare e aggiornare le regole tecniche per la prevenzione incendi in specifiche categorie di attività.

D.M. 01/09/2021: “Criteri generali per il controllo e la manutenzione degli impianti, attrezzature ed altri sistemi di sicurezza antincendio, ai sensi dell’articolo 46, comma 3, lettera a), punto 3, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81”. Pertanto, fornisce i criteri generali per il controllo e la manutenzione degli impianti, delle attrezzature e degli altri sistemi di sicurezza antincendio.

D.M. 02/09/2021: “Criteri per la gestione dei luoghi di lavoro in esercizio ed in emergenza e caratteristiche dello specifico servizio di prevenzione e protezione antincendio, ai sensi dell’articolo 46, comma 3, lettera a), punto 4 e lettera b), del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81”. Esso è noto anche come decreto GSA e introduce importanti novità in merito al piano di emergenza, alla formazione e all'informazione degli addetti antincendio, nonché alla gestione della sicurezza in fase di esercizio e di emergenza rispetto al Codice di Prevenzione Incendi. In particolare, si applica a tutte le attività che si svolgono nei luoghi di lavoro, come definiti dall’art. 62 del D.lgs. 81/2008, mentre per le attività che si svolgono nei cantieri temporanei o mobili di cui al Titolo IV e per le attività di cui al decreto legislativo 26 giugno 2015, n. 105, si applicano solo le prescrizioni relative alla designazione, alla formazione e all'aggiornamento degli addetti alla prevenzione incendi, alla lotta antincendio e alla gestione dell'emergenza e ai requisiti dei docenti.

D.M. 03/09/2021: “Criteri generali di progettazione, realizzazione ed esercizio della sicurezza antincendio per luoghi di lavoro, ai sensi dell’articolo 46, comma 3, lettera a), punti 1 e 2, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, definito anche “Minicodice”. Esso stabilisce i criteri generali per individuare le misure da adottare per evitare l’insorgere di un incendio e limitarne le conseguenze nel caso in cui si verifichi, nonché le misure precauzionali di esercizio. Tale provvedimento definisce una valutazione del rischio di incendio semplificata e fornisce un quadro completo di regole tecniche applicabili ai luoghi di lavoro, come definiti dall’art. 62, comma 1, del D.lgs. 81/2008, a basso rischio di incendio, escludendo la sua validità dai cantieri temporanei o mobili. Con “luoghi di lavoro a basso rischio di incendio” [7] si intendono quelli ubicati in attività non soggette e non dotate di specifica regola tecnica verticale, che possiedono tutti i seguenti requisiti aggiuntivi:

- Con affollamento complessivo di 100 occupanti;
- Con superficie lorda complessiva 1000 m²;
- Con piani situati a quota compresa tra -5 m e 24 m;
- Ove non si detengono o trattano materiali combustibili in quantità significative;
- Ove non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;
- Ove non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell’incendio.

Ne consegue che per i luoghi di lavoro non rispondenti a tali caratteristiche (non normati da regole tecniche e non a basso rischio) si applica il Decreto Ministeriale 3 agosto 2015.

Come già menzionato, il D.M. 03/09/2021 non può essere applicato ai cantieri temporanei o mobili; pertanto, non fornisce alcun supporto alla progettazione e alla messa in opera delle strategie antincendio volte alla riduzione ed eliminazione del rischio. Si può dedurre che non vi sia una normativa vigente concernente la prevenzione incendi nel settore dei cantieri, il che complica ulteriormente l'analisi, soprattutto perché, non essendo obbligatoria, spesso non viene considerata.

Per tale motivo, a seguito di un'attenta analisi delle normative vigenti, è stato elaborato uno schema generale che illustra i campi di applicazione e le principali criticità del Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, del Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 e del Decreto Ministeriale 3 settembre 2021. Tali norme costituiscono la base legislativa di riferimento per l'analisi, la valutazione e la progettazione della prevenzione incendi, sebbene presentino una lacuna normativa nel contesto dei cantieri.

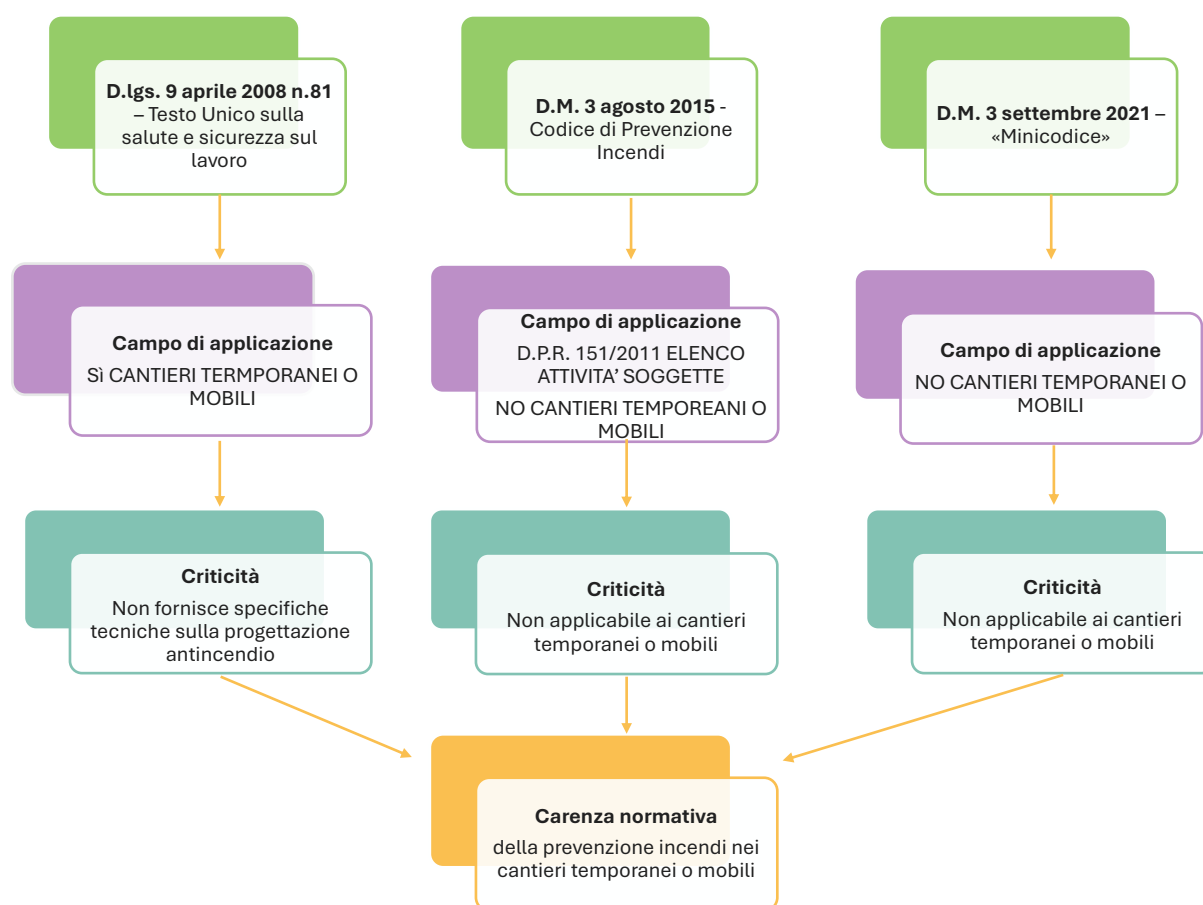


Figura 3. Schema riassuntivo delle normative di riferimento

1.2 Linee Guida di riferimento

Nei paragrafi successivi verranno presentate due linee guida fondamentali per lo sviluppo dell'elaborato. Tali linee guida analizzano il rischio incendio in cantiere e propongono misure e precauzioni da adottare al fine di ridurre la frequenza di accadimento dell'evento dannoso e l'entità del danno che l'evento potenzialmente potrebbe causare nel momento in cui esso si verifichi. In particolare, si tratterà della linea guida europea "*Fire prevention on construction sites*", che fornisce una visione più ampia e generale del cantiere, e della monografia recepita e realizzata dall'INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro). Quest'ultima, denominata "Rischio incendio ed esplosione in edilizia", affronta il cantiere in modo più dettagliato, considerando le lavorazioni tipiche svolte nei cantieri italiani.

1.2.1 Guida europea "*Fire prevention on construction sites*"

Si rende necessario menzionare la guida europea "*Fire prevention on construction sites*" CFPA-E Guideline No 21:2021 F, redatta a Copenhagen nell'agosto 2021 dalla CFPA-E, Confederazione di Associazioni di Prevenzione Incendi in Europa. Il documento ha l'obiettivo di facilitare e supportare la prevenzione incendi nei cantieri edili e di ridurre le conseguenze delle emergenze nelle varie nazioni europee, garantendo un'interpretazione uniforme e fornendo esempi di soluzioni, concetti e modelli accettabili.

Il documento mira a standardizzare le misure di sicurezza antincendio in Europa, integrandole con le normative nazionali. Il suo campo di applicazione include i cantieri di costruzione, demolizione, ristrutturazione e riparazione, e stabilisce che le misure in esso contenute si applicano ai processi di progettazione, pianificazione, approvvigionamento e costruzione, escludendo la struttura completata, che sarà soggetta a normative specifiche. La guida europea presenta le migliori pratiche in materia di sicurezza antincendio nei cantieri, e la sua adozione è raccomandata in tutti i casi. In alcuni cantieri, la sua adozione può essere richiesta dagli assicuratori, e tale requisito può essere applicato nel caso di "grandi progetti", ma anche nel caso in cui siano in costruzione strutture prevalentemente combustibili o edifici di altezza elevata, a causa dell'elevato rischio di incendio del progetto.

Come evidenziato dalle linee guida, la valutazione del rischio incendio e la sua revisione periodica, in conformità alla legislazione nazionale, riveste un aspetto fondamentale. Si sottolinea l'importanza di riconoscere la sicurezza antincendio come parte integrante della strategia di gestione di ogni cantiere, con una persona designata che assuma la responsabilità del sistema di gestione della sicurezza antincendio e delle ispezioni. Inoltre, si evidenzia che, in considerazione dell'aumento del rischio per il personale nei cantieri di altezza elevata e in altri luoghi in cui i mezzi di fuga potrebbero essere compromessi in caso di incendio, tali siti devono essere identificati nella valutazione del rischio di

incendio e la persona designata per il sistema di gestione della sicurezza antincendio e delle ispezioni deve garantire una presenza costante nel cantiere.

Il documento è organizzato in 22 sezioni, dove analizza vari aspetti utili agli scopi per cui è stata realizzata. In particolare, la Linea Guida discute:

- Il piano di sicurezza antincendio, basato sulla valutazione del rischio in cui si riportano le figure garanti di responsabilità, i requisiti dei permessi per i lavori a caldo, la gestione dell'emergenza, il regime di stoccaggio dei materiali e così via;
- Il responsabile della sicurezza antincendio e i suoi compiti;
- I servizi di emergenza, stabilendo un collegamento con i Vigili del Fuoco locali e fornendo planimetrie iniziale del sito e ulteriori dettagli come le vie di esodo, la posizione degli idranti, ecc.
- Le procedure di emergenza, le quali devono rispondere a requisiti di udibilità, facile riconoscimento, visibili, ecc.

Dopodiché sono elencate le misure tecniche relative a differenti aspetti:

- Protezione antincendio, dove l'appaltatore deve garantire che il progetto sia concepito e pianificato in sequenza al fine di ottenere l'installazione e il funzionamento degli elementi nel minor tempo possibile e in modo economicamente efficiente (scale antincendio permanenti, compartimentazioni, sistemi di rilevazione automatica degli incendi, ecc.);
- Sistemi di estinzione e personale istruito per l'uso delle attrezzature;
- Dolo, il quale è una componente fondamentale del piano di sicurezza antincendio in quanto rappresenta un rischio significativo per la sicurezza delle persone e delle infrastrutture;
- Edifici e alloggi temporanei;
- Liquidi infiammabili e bombole di gas;
- Acetilene;
- Lavori a caldo;
- Forniture e attrezzature elettriche;
- Impianti e veicoli;
- Materiali di deposito e rifiuti;
- Fumo;
- Vengono affrontati i cantieri di costruzione ad alta quota, in quanto l'elevata altezza può comportare un tempo di fuga eccessivo e l'intervento dei Vigili del Fuoco può essere difficoltoso. Inoltre, si ha una tendenza alla propagazione rapida delle fiamme;
- Inoltre, si nominano costruzioni prevalentemente composte da materiali combustibili in quanto è necessario valutare e ridurre al minimo i rischi di incendio e propagazione del fuoco.

In conclusione, le linee guida CFPA-E No 21:2012 F costituiscono un modello integrato e proattivo per la prevenzione degli incendi nei cantieri europei, con l'obiettivo di ridurre i rischi per la salute umana, i danni patrimoniali e le interruzioni operative. Attraverso una pianificazione rigorosa, che include l'identificazione dei pericoli, la formazione del personale e l'adozione di misure tecniche specifiche, il documento promuove un approccio dinamico, adattabile alle fasi evolutive del cantiere. La loro solidità risiede nell'enfasi sulla collaborazione multidisciplinare (committenti, appaltatori, vigili del fuoco) e nell'integrazione di soluzioni innovative, quali sistemi di rilevazione automatica e materiali non combustibili, senza trascurare aspetti critici come la gestione di materiali pericolosi e lavori a caldo. Nonostante il rispetto delle normative nazionali, l'obiettivo del framework proposto è l'armonizzazione degli standard di sicurezza in Europa, con l'intento di garantire cantieri più resilienti e conformi alle migliori pratiche internazionali.

1.2.2 Monografia INAIL - “Rischio incendio ed esplosione in edilizia”

Nel contesto italiano, assume un ruolo cruciale la monografia realizzata tramite la collaborazione tra INAIL e Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, finalizzata a fornire indicazioni operative per la gestione delle emergenze e della sicurezza antincendio nel settore edile. Tale documento, permette di individuare le possibili fonti di rischio incendio ed esplosione e le relative misure di prevenzione e protezione, ponendo grande attenzione alla necessità di assumere un approccio interdisciplinare in grado di includere ruoli, approcci e competenze diverse al fine di tutelare la salute e sicurezza dei lavoratori.

Pertanto, è possibile ritenere che la monografia italiana rappresenti il corrispettivo nazionale della linea guida europea “*Fire prevention on construction sites*”, citata in precedenza.

Il documento si apre con una breve introduzione sulle caratteristiche del cantiere e sui suoi aspetti normativi, citando il D.lgs. 9 aprile 2008 n.81. La monografia afferma che l’allestimento del cantiere dovrà attenzionare le aree soggette a maggior rischio di incendio ed esplosione come, ad esempio, lo stoccaggio di materiali e l’uso di sostanze infiammabili, il deposito di rifiuti in attesa di essere allontanati dal cantiere, l’installazione di impianti elettrici fissi e temporanei e i lavori di scavo in prossimità di reti di gas ed energia elettrica esistenti [5]. Inoltre, in presenza di alcune lavorazioni che possono rappresentare fonte d’innesco, quali operazioni di saldatura, uso di fiamme libere, stoccaggio di materiali, ecc. potrebbero costituirsi condizioni rientranti all’interno del campo di applicazione del D.P.R. 151/2011. Pertanto, il documento prosegue la trattazione esaminando i rischi normalmente presenti dei cantieri, indicando le procedure da adottare per l’analisi dei rischi. In seguito, il testo individua le principali misure di prevenzione e protezione, i rischi aggiuntivi indotti dai cantieri di ristrutturazione e manutenzione, per poi passare a menzionare le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi individuati dal D.P.R. 151/2001 e le relative regole tecniche di riferimento. Infine, il testo definisce la progettazione della GSA all’interno dei cantieri. In particolare, viene presentata una lista di cause frequenti d’innesco che risulta fondamentale per sviscerare le attività critiche con potenziale rischio incendio all’interno di un cantiere. In tale elenco, in prima battuta si discute delle caratteristiche e parametri fondamentali dei materiali combustibili e infiammabili impiegati in edilizia. Questa, infatti, rappresenta la base di partenza.

Materiali combustibili e infiammabili in edilizia

In ambito edilizio, come in ogni altro settore delle attività umane, i materiali combustibili presentano un grado di pericolosità variabile, influenzato principalmente da alcune caratteristiche intrinseche. Una delle più rilevanti è lo stato di aggregazione del materiale, che può essere solido, liquido o gassoso. A ciascuno di questi stati corrispondono specifiche proprietà fisiche che determinano la facilità di innesco e la velocità di combustione. Quest’ultima influisce direttamente sulla rapidità con cui si sviluppano i

sottoprodotti della reazione, i quali possono rappresentare una minaccia significativa non solo per la sicurezza degli individui, ma anche per la stabilità delle strutture e l'ambiente circostante.

Materiali combustibili solidi: si distinguono per essere facilmente visibili, percepibili dall'uomo e caratterizzati da una forma propria. A differenza dei liquidi e dei gas, i solidi mantengono la posizione in cui vengono collocati, salvo applicazione di forze esterne. Per innescare la loro combustione è necessario che una fonte di calore (ad esempio, una fiamma libera) venga a diretto contatto con la superficie del materiale. La quantità di energia necessaria per avviare la combustione dipende da vari fattori, oltre alla composizione chimica del materiale, tra cui:

- Superficie di contatto con l'aria: materiali più piccoli, sottili o porosi possiedono una maggiore superficie specifica a parità di massa, facilitando l'interazione con l'ossigeno. Di conseguenza, tali materiali richiedono meno energia per raggiungere la temperatura di innesco. Ad esempio, polveri o fibre fini sono generalmente più infiammabili rispetto a solidi compatti;
- Contenuto di umidità: i materiali con un basso contenuto d'acqua richiedono meno energia per riscaldarsi e raggiungere il punto di accensione. L'umidità agisce come una barriera termica, sottraendo calore sotto forma di energia latente per l'evaporazione dell'acqua.

I fattori sopra citati influenzano non solo l'innesco, ma anche la velocità di combustione. Quest'ultima è ulteriormente influenzata da:

- Ventilazione: la disponibilità di ossigeno sulla superficie del materiale accelera il processo di ossidazione. Maggiore è l'apporto di aria, più veloce sarà la combustione.
- Disposizione spaziale: i materiali disposti verticalmente bruciano più rapidamente rispetto a quelli in posizione orizzontale. Questo fenomeno si deve al movimento ascensionale dei prodotti caldi della combustione (fumi, gas pericolosi, calore e fiamme), che intensificano il riscaldamento delle parti superiori del materiale, alimentando ulteriormente il processo.

In particolare, nel campo edilizio si possono individuare situazioni a rischio incendio nelle varie fasi del cantiere in funzione di quanto appena definito. Ad esempio, l'utilizzo di materiale ligneo per la realizzazione di impalcature, casseforme, il deposito e soprattutto le polveri generate a seguito del taglio, ecc. rappresentano situazioni rilevanti da considerare in fase di valutazione del rischio. Infatti, le polveri di legno, per via delle loro caratteristiche fisiche e chimiche, facilitano il processo di combustione e, in determinate condizioni, possono condurre a fenomeni esplosivi come le deflagrazioni. Ciò accade a causa della ridotta energia d'innesco necessaria all'accensione, al punto che può bastare un piccolo arco elettrico o una scintilla generata da strumenti di lavoro, e della elevata velocità di combustione. È per tal motivo che, ai sensi del titolo XI del D.lgs. 81/08 e s.m.i., è necessario recepire la Direttiva ATEX (2014/34/UE) [8] e il datore di lavoro ha l'obbligo di predisporre una valutazione specifica per il rischio esplosione.

Sostanze infiammabili liquide: i liquidi combustibili si distinguono per essere visibili e percepibili dall'uomo, ma a differenza dei materiali solidi, non possiedono una forma propria e necessitano di un contenitore per essere manipolati o stoccati in sicurezza. Per innescare la combustione di un liquido non è indispensabile che la fonte di accensione sia a diretto contatto con il materiale in quanto essi godono della capacità di evaporare, rilasciando vapori combustibili che possono diffondersi e raggiungere fonti di innesco situate a distanza. Infatti, la combustione dei liquidi non coinvolge direttamente la fase liquida ma i vapori che si mescolano con l'ossigeno presente nell'aria, creando una miscela combustibile. Di conseguenza, una perdita da un contenitore o il rilascio di vapori può quindi rappresentare un rischio significativo, soprattutto in spazi confinati o poco ventilati. La quantità di energia necessaria per innescare la combustione in questo caso è molto più bassa rispetto a quella dei materiali solidi, ciò implica che i parametri in gioco sono differenti (campo di infiammabilità, temperatura di infiammabilità, volatilità del liquido, etc.). Anche in relazione ai liquidi infiammabili, il Titolo XI del D.lgs. 81/08 impone al datore di lavoro l'obbligo di effettuare una valutazione specifica del rischio di esplosione quando si utilizzano o manipolano sostanze che possono dar luogo a miscele di vapori infiammabili in aria. Questa valutazione deve includere l'identificazione delle aree pericolose, la classificazione delle zone ATEX e l'adozione di misure tecniche e organizzative atte a prevenire o mitigare i rischi.

Nel contesto dei cantieri edili, rientrano nella categoria dei liquidi infiammabili i seguenti materiali di uso comune:

- Carburanti: utilizzati per la movimentazione di macchinari e attrezzature;
- Oli e lubrificanti: spesso impiegati per la manutenzione di macchine e attrezzature, questi prodotti possono contenere componenti volatili infiammabili;
- Vernici, diluenti e solventi: contengono percentuali significative di composti organici volatili (VOC) che evaporano facilmente, creando atmosfere potenzialmente esplosive;
- Collanti: alcuni adesivi industriali includono solventi infiammabili, in particolare quelli utilizzati per applicazioni rapide o resistenti;
- Detergenti e disarmanti: prodotti usati per la pulizia o il trattamento delle superfici in cantiere, anch'essi talvolta a base di sostanze infiammabili.

Inoltre, i contenitori se esposti ad alte temperature possono perdere la loro integrità iniziale e costituire oltre ad ulteriore apporto di materiale combustibile anche pericolosi oggetti in pressione.

Prodotti combustibili gassosi: i gas combustibili presentano caratteristiche peculiari che li rendono particolarmente pericolosi in termini di gestione, trasporto e conservazione. Essi sono generalmente invisibili, inodori e privi di forma propria, motivo per cui necessitano di contenimento in appositi dispositivi. Infatti, per garantire la sicurezza, i gas combustibili commercializzati, come il GPL e il

metano, sono obbligatoriamente additivati con odorizzanti, sostanze caratterizzate da un odore intenso che consente alle persone di percepirne la presenza in caso di perdite. Anche in questo caso, è di rilevante importanza il campo di infiammabilità. In generale, il rischio associato ai gas combustibili è strettamente legato alla loro manipolazione e allo stoccaggio, che varia a seconda della tipologia di gas:

- Gas compressi a pressioni molto elevate superiori a cento atmosfere rispetto a quella atmosferica, i quali sono contenuti in contenitori mobili. Ad esempio, il metano che viene immagazzinato in bombole o carri bombolai;
- Gas liquefatti come il GPL, conservato in forma liquida in bombole o serbatoi fissi a pressioni moderate (2-10 atmosfere). Questa modalità riduce il volume, ma richiede precauzioni per evitare perdite;
- Gas disciolti come l'acetilene, noto per la sua instabilità, che viene stoccato a pressioni relativamente basse (15-19 atmosfere) in contenitori speciali per garantirne la sicurezza;
- Gas comburenti come l'ossigeno, che, sebbene non combustibile, aumenta notevolmente il rischio di incendio poiché accelera i processi di combustione, contenuto in bombole.

Le miscele di gas combustibile presentano un'energia di innesco estremamente bassa, accompagnata da una velocità di combustione molto elevata, il che le rende particolarmente pericolose in termini di rischio incendio ed esplosione. Infatti, anche in tal caso è valido quanto detto per le miscele di vapori combustibili in merito al rischio esplosione. Tuttavia, per una corretta individuazione del rischio, è essenziale analizzare il comportamento dei gas una volta fuoriusciti dai loro contenitori (tubazioni, serbatoi o bombole). Questo comportamento dipende in larga parte dalla densità del gas rispetto all'aria, che influenza la sua dispersione nell'ambiente. In particolare, i gas più pesanti dell'aria, come il GPL, tendono depositarsi in basso e, se trovano aperture, possono raggiungere anche i vani interrati mentre i gas più leggeri dell'aria, essendo meno densi, si spostano verso l'alto e tendono a disperdersi nell'atmosfera aperta, riducendo il rischio in ambienti chiusi. Tuttavia, in spazi confinati, la loro presenza può comunque rappresentare un pericolo significativo. Se ne deduce che, dal punto di vista della valutazione del rischio, i gas più pesanti dell'aria sono generalmente considerati più pericolosi, poiché il loro comportamento favorisce l'accumulo in zone basse e scarsamente ventilate.

Una volta definite le caratteristiche dei materiali combustibili e infiammabili, la monografia procede con la definizione di una serie di rischi connessi all'insorgere di incendio.

Rischio elettrico

Gli impianti elettrici costituiscono una delle principali cause di rischio di incendi nei cantieri edili, sia durante la costruzione di nuovi edifici che durante i lavori di ristrutturazione. Quando l'elettricità fluisce attraverso un circuito elettrico o un qualsiasi materiale conduttore, si verifica sempre uno sviluppo di calore noto come effetto Joule, che porta a un aumento della temperatura dei componenti. Negli apparecchi termici, come forni e stufe, questo effetto è desiderato poiché consente il funzionamento dell'apparecchio. Tuttavia, in determinate circostanze, tale effetto può indurre sollecitazioni agli isolanti, con il rischio di un degrado graduale o, in casi più estremi, della distruzione immediata. Di conseguenza, il deterioramento o il danneggiamento dell'isolante può innescare una serie di eventi che possono portare all'incendio.

Gli incendi vengono talvolta erroneamente attribuiti a una fonte elettrica a causa della presenza di attrezzature, conduttori o dispositivi elettrici danneggiati nel punto di origine dell'incendio. Tuttavia, l'origine elettrica di un incendio è riconosciuta solo quando una corrente elettrica, a seguito di fenomeni termici causati da guasti o malfunzionamenti all'interno del sistema elettrico, conduce all'insorgere dell'incendio. In altri casi, l'insorgere può essere causato da scariche elettrostatiche. Oltre a tali incendi, classificabili come *accidentali*, si registrano anche incendi *di origine naturale* (es. fulmini) o *dolosi* (es. provocati da manomissione di impianti o apparecchiature).

L'articolo redatto dalla sezione tecnica di *BibLus* sottolinea la necessità di evidenziare che, in linea generale, l'impianto elettrico installato in un cantiere edile deve essere realizzato a regola d'arte, nel rispetto delle normative CEI. Inoltre, il materiale elettrico utilizzato per la realizzazione deve essere conforme alle normative e riportare la marcatura CE, con la quale il costruttore attesta che il prodotto è conforme agli standard di sicurezza e qualità europei. La marcatura CE può essere accompagnata dal marchio IMQ, che attesta la conformità alle norme di qualità certificate dall'Istituto Italiano del Marchio di Qualità. Tuttavia, si osserva che l'utilizzo del marchio IMQ non risulta obbligatorio. Relativamente alla dichiarazione di conformità, la quale attesta la corretta esecuzione dell'impianto elettrico secondo le normative vigenti, deve essere rilasciata obbligatoriamente dall'installatore. Tale documento è fondamentale per garantire che l'impianto sia stato realizzato secondo gli standard di sicurezza e che la verifica iniziale per la messa in servizio sia stata effettuata correttamente. La redazione del documento in questione è regolata dai principi del decreto ministeriale 37/2008, e la sua conservazione deve avvenire presso il luogo di lavoro. Nel caso in cui la dichiarazione di conformità non sia presente, l'impianto elettrico di cantiere non può essere utilizzato poiché non è considerevolmente agibile [9].

Sebbene non sia obbligatorio elaborare il progetto dell'impianto elettrico di cantiere, è evidente che tale pratica è fortemente raccomandata, in particolar modo per i cantieri di grandi dimensioni e complessi.

In tale eventualità, si rende necessario elaborare l'intera documentazione tecnica, inclusa la progettazione dei quadri elettrici, la determinazione delle dimensioni, la protezione e la posa delle condutture, le misure di protezione dai contatti diretti e indiretti, e ulteriori elementi pertinenti.

Successivamente, la monografia identifica le principali cause di incendio di origine elettrica, con esclusione delle cause imputabili a fulmini e scariche elettrostatiche, e ne individua quattro:

- Sovraccarico;
- Guasto dell'isolamento;
- Guasto ai terminali di collegamento;
- Guasto ai conduttori.

All'interno di ogni paragrafo della monografia sono riportate le specifiche di ogni caso. Inoltre, alcune tipologie di guasto possono portare a conseguenze più importanti che coinvolgono parti estese del sistema elettrico. Per tale motivo, è fondamentale menzionare i cortocircuiti, i guasti a terra e gli archi elettrici, per i quali si rimanda al documento in questione.

Nel prosieguo del dibattito, si affronta la questione dei lavori a caldo, un tema di cruciale rilevanza, in quanto implica l'esecuzione di lavorazioni che implicano la produzione e l'impiego di fiamme libere, scintille e materiali fusi. È fondamentale considerare il rischio potenziale di produzione di vapori infiammabili. Inoltre, queste attività spesso comportano l'uso di sostanze combustibili e/o infiammabili, che sono fondamentali per la lavorazione stessa.

Lavorazioni a caldo

Le operazioni svolte mediante l'impiego di apparecchi che generano fiamme libere, più comunemente definite "lavori a caldo", costituiscono una minaccia benché nota, tuttavia frequentemente sottostimata. Oltre alle lavorazioni a fiamme libere, i lavori a caldo includono anche le lavorazioni che prevedono la produzione di scintille e calore, quali la brasatura, il taglio, la saldatura, lo scongelamento tubazioni, la posa a caldo di manti di copertura, tra le altre.

La monografia riporta alcune delle lavorazioni a caldo maggiormente utilizzate nel panorama cantieristico, le quali sono:

- Saldatura e taglio, distinguendo la saldatura ossiacetilenica, la saldatura ad arco elettrico, quella a plasma e la brasatura;
- Posa a caldo di manti di impermeabilizzazione (guaina bituminosa)
- Lavorazioni con uso di materiale esplosivo in cantiere
- Altre cause d'incendio ed esplosione, identificando i mozziconi di sigaretta, la presenza di bracieri di fortuna, gli atti vandalici/incendi dolosi, la mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza ed eventuali errori umani.

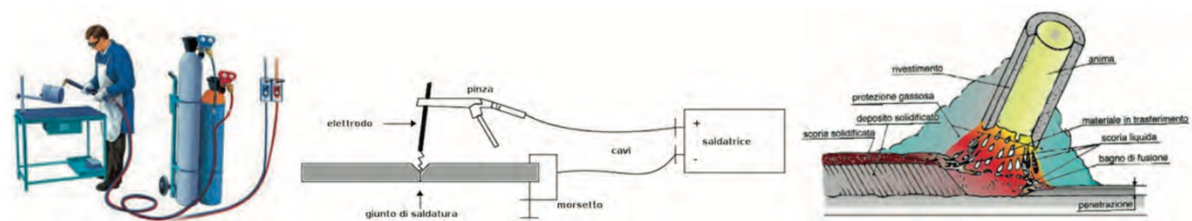


Figura 4. Attività di saldatura ossiacetilenica (sinistra) e saldatura ad arco elettrico (centro e destra) [5]

Rischi aggiuntivi indotti dai cantieri di ristrutturazione e manutenzione

La monografia analizza inoltre i rischi aggiuntivi associati ai cantieri di ristrutturazione e manutenzione, un aspetto di notevole rilevanza, considerando il patrimonio costruito significativo in Italia e le complesse implicazioni che ne derivano nel contesto urbano denso e delle strutture di valore storico e architettonico. Oltre alle problematiche connesse al cantiere stesso, si rende necessario considerare la salvaguardia del bene oggetto dell'intervento e, su richiesta, la continuità operativa durante il periodo di esecuzione dei lavori. Infatti, in tali circostanze, la gestione del cantiere non può essere condotta secondo le logiche standard di efficienza produttiva, ma deve essere orientata alla conservazione dell'integrità materiale, formale e funzionale dell'opera. La presenza di materiali antichi, elementi lignei, superfici affrescate o strutture non compartimentate rende questi edifici particolarmente vulnerabili agli effetti termici, ai fumi e ai prodotti della combustione. Inoltre, in determinati contesti, quali scuole, ospedali, musei o sedi istituzionali, può essere richiesto che l'opera mantenga, almeno in parte, la continuità operativa o la fruibilità durante l'intero periodo di esecuzione dei lavori. Pertanto, si aggiunge un ulteriore livello di complessità, in quanto diventa necessario conciliare l'attività di cantiere con la presenza di personale, utenti, visitatori o occupanti che potrebbero non avere familiarità con i rischi specifici del contesto lavorativo. Ciò implica che la progettazione della sicurezza, e in particolare la prevenzione incendi, deve essere calibrata non solo per i lavoratori, ma anche per i soggetti terzi potenzialmente esposti, attraverso misure organizzative, informative e tecniche aggiuntive.

I cantieri di ristrutturazione e manutenzione, infatti, devono operare in:

- Presenza di impianti preesistenti che, in caso di disattivazione non adeguata, potrebbero costituire un potenziale fattore scatenante per incendi o esplosioni;
- Ambienti confinati o parzialmente utilizzati, dove è necessario temperare le esigenze operative con la tutela della sicurezza degli occupanti o dei lavoratori terzi non coinvolti direttamente nei lavori;
- Contesti abitati o in esercizio, dove si rende necessario garantire la continuità d'uso degli edifici durante le fasi di cantiere.

In particolare, i temi trattati riguardano:

- Lavori di scavo in prossimità di tubazioni del gas e cavi di energia elettrica preesistenti;
- Lavori che prevedano utilizzo di fiamme libere, solventi infiammabili, detergenti, coloranti, ecc.;
- Stoccaggio di materiali infiammabili
- Rischio correlato alla presenza di materiali contenenti amianto;
- Lavori in edifici sottoposti a tutela.

1.3 Cantieri di edifici sottoposti a tutela

In Italia, una parte rilevante del patrimonio edilizio esistente è costituita da edifici sottoposti a vincoli di tutela per il loro riconosciuto valore storico, artistico, architettonico o paesaggistico. A disciplinare la gestione e la protezione di questi beni è il Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, noto come Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, che stabilisce i principi fondamentali per la conservazione, la valorizzazione e la fruizione del patrimonio culturale nazionale. Quando si interviene su edifici vincolati, che si tratti di operazioni di restauro, consolidamento, ristrutturazione o manutenzione straordinaria, è necessario allestire cantieri con caratteristiche operative specifiche, in cui ogni scelta tecnica e organizzativa è fortemente influenzata dalle prescrizioni imposte dalla tutela del bene. Tali interventi non si limitano a soddisfare requisiti prestazionali o funzionali: essi devono anche rispettare e preservare il valore culturale e storico dell'immobile.

In questi contesti, il rischio di incendio assume una rilevanza particolare. Sebbene possa sembrare più tipico dei cantieri di edilizia ordinaria, nei cantieri su edifici storici il pericolo è accentuato dalla natura stessa dei materiali impiegati nelle costruzioni d'epoca. Elementi lignei secchi e porosi, spesso di piccola sezione e distribuiti su solai e coperture, costituiscono un potenziale combustibile altamente vulnerabile, capace di innescare e alimentare la propagazione del fuoco. A questo si aggiunge la presenza di tecnologie specialistiche e prodotti chimici a diversa infiammabilità o combustibilità, spesso utilizzati nelle lavorazioni di restauro [10].

In tale scenario, l'obiettivo non può limitarsi alla sola esecuzione corretta delle opere previste dal progetto, ma deve necessariamente includere la tutela dell'integrità materiale e immateriale dell'edificio. La salvaguardia di un bene tutelato implica infatti una visione più ampia e responsabile dell'intervento edilizio, che tenga conto non solo della sicurezza dei lavoratori, ma anche della conservazione irreversibile di un patrimonio collettivo.

Inoltre, a differenza dei cantieri in edifici di nuova costruzione o senza vincoli, quelli in beni tutelati presentano vincoli operativi che possono limitare l'utilizzo di determinate tecnologie, materiali e dispositivi di protezione attiva, poiché potrebbero risultare invasivi o non compatibili con le prescrizioni della Soprintendenza per i Beni Architettonici. È altresì rilevante considerare che tali cantieri spesso si svolgono in contesti urbani consolidati, talvolta in edifici parzialmente in uso (come musei, archivi, chiese o biblioteche), comportando ulteriori complessità legate: alla presenza di persone estranee alle lavorazioni, alla necessità di garantire continuità d'uso di parte dell'edificio durante i lavori, alla fragilità strutturale e materica del bene su cui si interviene. Di conseguenza, l'intero processo progettuale ed esecutivo deve essere strutturato intorno al principio di compatibilità e minimizzazione del rischio, sia per quanto riguarda le tecniche adottate che per l'organizzazione del cantiere stesso. Questo richiede un dialogo costante tra le figure professionali coinvolte - progettisti, direttori dei lavori, coordinatori per la sicurezza, restauratori, enti tutori - e una pianificazione attenta e documentata di ogni fase operativa.

Nonostante la rilevanza del tema, la legislazione tecnica internazionale concernente la prevenzione incendi nei cantieri che interessano edifici sottoposti a tutela non risulta particolarmente sviluppata né sistematica. L'analisi del quadro normativo internazionale evidenzia una certa frammentarietà nella trattazione del rischio incendio in fase di cantiere, soprattutto quando il contesto di intervento è vincolato da specifici criteri di conservazione storica o architettonica. Analogamente, anche la letteratura tecnico-scientifica appare limitata: si contano pochi testi di riferimento strutturati e una prevalenza di contributi specifici (come manuali, linee guida o relazioni tecniche), che difficilmente restituiscono una visione organica e comparabile a quella disponibile per altri ambiti della prevenzione incendi. Tuttavia, nel contesto internazionale, si evidenziano due realtà normative e operative che forniscono contributi significativi: il Regno Unito e gli Stati Uniti.

Nel primo caso, l'Health & Safety Executive (HSE), ente britannico di riferimento in materia di salute e sicurezza sul lavoro, ha sviluppato una serie di manuali pratici dedicati alla gestione della sicurezza nei cantieri, che comprendono anche indicazioni specifiche sul rischio di incendio, soprattutto in relazione alle lavorazioni a caldo, alla movimentazione di materiali combustibili e alla gestione dei rifiuti e dei depositi temporanei.

La normativa americana presenta un elevato grado di articolazione, in quanto la National Fire Protection Association (NFPA) ha elaborato standard tecnici di elevato valore operativo. Tali standard sono stati adottati in diversi contesti internazionali e, in numerosi paesi, sono impiegati anche come riferimento volontario. In particolare, si evidenziano:

- NFPA 51B – “*Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work*”. Rappresenta lo standard di riferimento per la gestione sicura dei lavori a caldo, stabilendo criteri tecnici e procedurali per minimizzare il rischio di innesco accidentale;
- NFPA 241 – “*Standard for Safeguarding Construction, Alteration, and Demolition Operations*”. Fornisce indicazioni dettagliate sulla prevenzione incendi durante le fasi di costruzione, modifica e demolizione, stabilendo misure di protezione temporanee e criteri per l'organizzazione antincendio in cantiere;
- NFPA 909 – “*Code for the Protection of Cultural Resources*”. Si concentra sulla protezione antincendio dei beni culturali, con un approccio integrato che armonizza le esigenze conservative e la sicurezza. Il capitolo 5 è esplicitamente dedicato alle precauzioni da adottare durante le alterazioni e le ristrutturazioni, riconoscendo che tali attività rappresentano una fase critica per l'integrità del bene;
- NFPA 914 – “*Code for Fire Protection of Historic Structures*”. Si concentra sugli edifici storici, lo standard in esame dedica il capitolo 7 alla prevenzione incendi durante lavori di costruzione, riparazione e alterazione, fornendo criteri pratici per evitare che modifiche temporanee alla configurazione dell'edificio possano esporre a rischi non controllati. [10]

L'attenzione rivolta da tali codici alla fase transitoria del cantiere, in cui l'assetto dell'edificio è soggetto a variazioni significative e in cui i presidi permanenti di sicurezza spesso non sono operativi o risultano disattivati, dimostra una consapevolezza avanzata del problema. Tale approccio rappresenta un modello culturale e tecnico a cui anche il contesto europeo e italiano potrebbero ispirarsi per colmare le attuali lacune.

2 Incendio ed Esplosione

Al fine di effettuare una corretta analisi delle sostanze e dei materiali combustibili coinvolti nelle diverse fasi operative di un cantiere edile, è fondamentale partire dalla comprensione dei fenomeni fisico-chimici che regolano l'innesco e la propagazione di incendi ed esplosioni. Tale approccio risulta imprescindibile per poter valutare in maniera sistematica i fattori di rischio e, conseguentemente, individuare misure tecniche e organizzative idonee al raggiungimento dei tre obiettivi fondamentali della prevenzione incendi. A titolo esemplificativo, la conoscenza delle modalità con cui una sostanza può generare un'atmosfera infiammabile o come determinate condizioni ambientali possano facilitare una reazione esplosiva consente al progettista della sicurezza di anticipare i potenziali scenari critici. L'analisi preventiva dei materiali impiegati, delle potenziali sorgenti di innesco e delle interazioni tra le diverse lavorazioni consente di progettare interventi mirati e proporzionati al livello di rischio.

Il capitolo seguente sarà pertanto dedicato alla descrizione sintetica dei principali fenomeni di combustione ed esplosione, fornendo un quadro teorico essenziale per comprendere le dinamiche del rischio incendio all'interno del contesto cantieristico.

Per la redazione di tale capitolo, si farà principalmente riferimento al documento realizzato dal Corpo Nazionale dei vigili del fuoco *“Chimica e fisica dell'incendio”* [11], dal documento INAIL *“Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE”* [8], dal *“Manuale di prevenzione incendi per corsi di formazione per vigili volontari”* realizzato dal Comando Provinciale dei V.V.F. di Ascoli Piceno [12], *“Manuale di formazione di base in materia di incendi boschivi - Il fuoco”* della regione Veneto [13, 14, 14] ed *“Conoscere il rischio: Esplosioni e combustioni”* [15] dell'INAIL.

2.1 L'incendio

L'incendio è definito come una combustione non controllata, ovvero una reazione chimica esotermica in cui un materiale combustibile subisce un'ossidazione rapida e autosostenuta, con rilascio di energia termica, radiazione luminosa, gas e prodotti di pirolisi. Il fenomeno si basa sul principio fisico-chimico della reazione redox (riduzione-ossidazione), in cui il combustibile (sostanza ossidabile) cede elettroni al comburente (sostanza ossidante, tipicamente ossigeno atmosferico), generando una reazione a catena che si autoalimenta attraverso il calore prodotto. Tale processo genera di conseguenza prodotti di combustione: luce, calore, gas e fumi.

Il modello classico per la descrizione della combustione è rappresentato mediante il triangolo del fuoco, i cui lati sono costituiti dai tre elementi necessari affinché essa possa svilupparsi. Pertanto, in assenza

di uno di essi, non si ottiene una combustione e tale considerazione è alla base dei sistemi di spegnimento degli incendi.

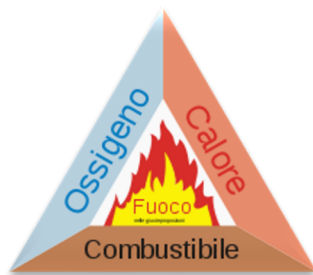


Figura 5. Triangolo del fuoco [16]

Gli elementi menzionati nel triangolo del fuoco sono:

- Il *combustibile*, inteso come sostanza in grado di combinarsi chimicamente con il comburente, dando luogo a una reazione che genera energia termica. Generalmente, i composti combustibili sono costituiti da elementi quali carbonio (C), idrogeno (H), ossigeno (O) e zolfo (S). Per poter bruciare, il combustibile deve soddisfare determinati requisiti:
 - In primo luogo, è necessario che il combustibile si trovi alla giusta concentrazione rispetto al comburente. Un esempio calzante è rappresentato dalla differenza nella velocità di combustione tra un tronco e un ramoscello: il tronco espone all'aria una superficie più piccola rispetto alla sua massa totale, mentre il ramoscello ha una superficie più estesa.
 - In secondo luogo, è essenziale che il combustibile raggiunga la "temperatura di accensione", ovvero la temperatura a cui ha inizio la reazione di combustione, che è una caratteristica intrinseca di ogni materiale.

Le sostanze combustibili possono presentarsi in stati fisici solidi, liquidi o gassosi; tuttavia, la combustione con fiamma si verifica solo quando le sostanze sono in stato gassoso. Infatti, la fiamma che si origina da altri combustibili deriva dai vapori o dai gas emessi dai solidi o liquidi in risposta al loro riscaldamento.

- Il *comburente*, sostanza che alimenta la combustione mediante ossidazione del combustibile (in genere l'ossigeno nell'aria);
- La *sorgente/l'innesco*, che rilascia un adeguato valore di energia termica, è in grado di dare avvio al processo di combustione, ovvero di raggiungere la temperatura di accensione del combustibile.

La previsione dello sviluppo e della propagazione della combustione tramite calcoli teorici risulta complessa; tuttavia, è possibile valutare alcuni parametri fondamentali che ne influenzano il processo,

fornendo così elementi guida per la predisposizione delle difese contro gli incendi. I fattori in esame sono:

- Il potere calorifico dei combustibili, definito come la quantità di calore (espresso in kcal o in MJ) sviluppata dalla combustione di una quantità unitaria di combustibile (espressa in kg per i combustibili solidi e liquidi, per i gas in metri o in decimetri cubici misurati in condizioni normali, cioè a pressione atmosferica e a 0°C), è una misura fondamentale nell'ambito della termodinamica. L'unità di misura impiegata per esprimere tale parametro è MJ/kg o kcal/kg. Un MJ corrisponde a 238 kcal. Una descrizione più approfondita del potere calorifico si basa sull'osservazione che i prodotti della combustione contengono tipicamente vapore acqueo, derivante sia dall'umidità presente nel combustibile sia dalla presenza di idrogeno nelle molecole. Dalla considerazione dei due differenti metodi di misurazione del potere calorifico, discendono due distinte definizioni di tale concetto. La prima definizione, il "potere calorifico superiore", si basa sul calore sviluppato dalla reazione per cui tutti i prodotti della combustione sono alla temperatura ambiente e quindi l'acqua prodotta è in stato liquido. La seconda definizione, il "potere calorifico inferiore", si basa sul calore sviluppato dalla reazione che porta alla produzione di acqua allo stato di vapore.

Combustibile	Potere Calorifico Inferiore			Potere calorifico Superiore		
	MJ/kg	MJ/Nm ³	MJ/dm ³	MJ/kg	MJ/Nm ³	MJ/dm ³
Benzina	-	-	31,4	-	-	33,8
Coke	29,0	-	-	30,0	-	-
Gas naturale	-	34,5	-	-	38,5	-
Gasolio	-	-	35,5	-	-	37,9
G.P.L.	46,0	-	25,0	50,0	-	27,2
Legna secca	16,7	-	-	18,4	-	-
Olio combustibile	41,0	-	-	43,8	-	-

Figura 6. Potere calorifico dei principali combustibili [11]

- La temperatura teorica di combustione rappresenta la massima temperatura raggiungibile dai prodotti della combustione, determinata dal calore generato dalla stessa reazione di combustione. Questo parametro riveste un'importanza pratica significativa, in quanto consente di ottenere informazioni rilevanti sulla pericolosità e sull'evoluzione della combustione. La temperatura di combustione è determinata dal potere calorifico del combustibile e dalla capacità termica dei prodotti di combustione. Il calcolo della temperatura teorica di combustione si basa sull'ipotesi che tutta l'energia liberata dalla reazione incrementi la temperatura, senza considerare gli scambi di calore con l'esterno o le perdite dovute alla conversione di energia termica in energia radiante (tuttavia, circa un terzo dell'energia termica viene convertita in energia radiante). Nel contesto delle combustioni reali, è necessario considerare l'eventuale eccesso di aria utilizzato, oltre alla temperatura iniziale dell'aria (preriscaldamento). Dalle informazioni fornite, si evince che le temperature teoriche di combustione risultano costantemente superiori a quelle reali.

Sostanza	TEMPERATURA DI COMBUSTIONE	
	Massima teorica	Massima reale
Metano	2.218°C	1.880°C
Etano	2.226°C	1.895°C
Propano	2.232°C	1.925°C
Butano	2.237°C	1.895°C
Fiammifero	-	Oltre 1.000°C

Figura 7. Temperature teoriche massime di combustione confrontate con quelle massime effettive misurate realmente [11]

- L'aria teorica necessaria alla combustione. Per ottimizzare la combustione di un combustibile, è essenziale ottenere una combinazione appropriata di ossigeno. La quantità di aria strettamente necessaria alla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile: l'aria necessaria aumenta proporzionalmente con l'aumentare del potere calorifico del combustibile. Tuttavia, nella pratica, tale teoria non è sufficiente: affinché si verifichi la combustione completa, è necessaria una quantità d'aria maggiore. La componente aggiuntiva del valore teorico è denominata eccesso d'aria e dipende dalla tipologia di combustibile. Tuttavia, l'aria in eccesso non partecipa alla combustione e si ritrova pertanto nei prodotti finali. Un'anomalia nella circolazione dell'aria può indurre la formazione di prodotti intermedi, quali ad esempio l'ossido di carbonio.

Combustibile	Aria teorica Nm ³ /kg combustibile
Legna secca	5,7
Gas naturale	9,5 Nm ³ / Nm ³ combustibile
Gasolio	11,8
Coke	8,2
Olio combustibile	11,2
Idrogeno	28,6
Cellulosa	4,0
Benzina	12,0
Propano	13

Figura 8. Temperatura teorica occorrente per la combustione [11]

Inoltre, si rende necessario stabilire alcuni parametri fondamentali, tra cui:

- La temperatura di infiammabilità rappresenta la più bassa temperatura alla quale un combustibile liquido emette vapori sufficienti a formare, in presenza di aria, una miscela che, se innescata, brucia spontaneamente. La conoscenza della temperatura di infiammabilità risulta fondamentale per la conservazione e il trasporto dei combustibili. I valori bassi della temperatura di infiammabilità indicano una maggiore pericolosità del combustibile:
 - Temperature inferiori ai 20°C indicano sostanze esplosive (ad esempio benzina ed alcol);
 - Temperature tra 21°C e 65°C indicano sostanze che esplodono solo se riscaldate;
 - Temperature superiori ai 65°C indicano i normali combustibili (gasolio, olio combustibile e lubrificanti).

Sostanza	Temperatura di infiammabilità (°C)	
	Valori indicativi	
Acetone	-18	sostanza esplosiva
Benzina	-20	sostanza esplosiva
Gasolio	65	normale combustibile
Alcol etilico	13	sostanza esplosiva
Alcool metilico	11	sostanza esplosiva
Toluolo	4	sostanza esplosiva
Olio lubrificante	149	normale combustibile

Figura 9. Temperature di infiammabilità [11]

- La temperatura di accensione (o di ignizione) rappresenta la temperatura minima alla quale un combustibile, in presenza di aria, brucia senza necessità di innesco. In altre parole, si riferisce alla temperatura alla quale il combustibile, entrando in contatto con una sorgente ad alta temperatura (come una fiamma libera o una scintilla), si infiamma e continua a bruciare autonomamente, indipendentemente dalla cessione di calore dall'esterno. A titolo esemplificativo, la temperatura di accensione riveste un ruolo di cruciale importanza nei motori Diesel. In assenza della candela, che nei motori a benzina funge da innesco, viene preliminarmente preparata una quantità di aria alla temperatura di accensione del combustibile. Successivamente, il combustibile viene iniettato all'interno della camera di combustione, generando un'accensione per autoinnesco. Tale valore è funzione di variabili quali il materiale, lo stato fisico, il rapporto tra combustibile e comburente, e altri fattori.

Sostanza	Temperatura di accensione (°C)
	Valori indicativi
Acetone	540
Benzina	250
Gasolio	220
Idrogeno	560
Alcool metilico	455
Carta	230
Legno	220-250
Gomma sintetica	300
Metano	537

Figura 10. Temperature di accensione [11]

- La temperatura di autoaccensione. Tale temperatura rappresenta il minimo necessario per garantire l'accensione spontanea di una sostanza combustibile, senza l'ausilio di un innesco esterno. In linea generale, tale parametro viene associato anche alla temperatura minima che deve essere raggiunta affinché si verifichi l'accensione del combustibile.
- La temperatura di autocombustione. L'autocombustione è un fenomeno che si verifica quando una sostanza combustibile si infiamma in assenza di qualsiasi fonte di energia esterna, come

scintille, fiamma o contatto con un corpo incandescente. Inizialmente, la reazione di ossidazione è lenta, ma successivamente si verifica un accumulo graduale e sensibile di calore, che può portare a un incendio. Qualora il calore venga dissipato per mezzo di un'adeguata ventilazione, non sussiste il rischio di un incendio. Tale probabilità aumenta in caso di accumulo di materiali. Un ulteriore fattore che incrementa il rischio di autocombustione è rappresentato dalla presenza di materiali o locali ad alta temperatura, come nel caso di radiatori o tubazioni di vapore. Inoltre, la presenza di umidità e di alcune impurità può fungere da catalizzatore per il processo di autocombustione. Dalle prove condotte emerge una correlazione diretta tra il volume delle sostanze depositate e la temperatura necessaria per l'innesco dell'autocombustione, con un aumento della massa che si traduce in un abbassamento del valore di temperatura.

Materiali ad alto rischio	Carbone di legna
	Colori ad olio
	Erba medica
	Tessuti di seta, cotone, lino
Materiali a rischio moderato	Carbone bituminoso
	Carta da macero umida
	Fieno
	Vernici
Materiali a basso rischio	Acqua ragia vegetale
	Olio di ricino

Figura 11. Classi di rischio per materiali soggetti ad autocombustione [11]

Come già evidenziato, affinché la combustione si verifichi, è indispensabile la presenza simultanea di un combustibile, di un comburente e di una temperatura che superi una certa soglia. Tuttavia, è fondamentale che il rapporto tra combustibile e comburente rimanga entro certi limiti, definiti comunemente come limiti di infiammabilità. I limiti di infiammabilità per i combustibili gassosi sono espressi come la percentuale in volume di combustibile presente nella miscela aria-combustibile. Le suddette si distinguono in:

- Limite inferiore di infiammabilità (LII) indica la concentrazione minima di combustibile nella miscela aria-combustibile che, se innescata, consente alla miscela di reagire e generare una fiamma in grado di propagarsi a tutta la miscela;
- Limite superiore di infiammabilità (LSUI) indica la concentrazione massima di combustibile che, in condizioni di presenza di aria come comburente, risulta insufficiente a innescare una fiamma in grado di propagarsi all'intera miscela.

Nel caso in cui il gas o vapore infiammabile venga diluito con un eccesso di aria, il calore sviluppato dall'accensione risulta insufficiente a far salire la temperatura degli strati adiacenti di miscela fino al punto di accensione. La fiamma non può propagarsi attraverso l'intera miscela, ma si estingue. Nel caso in cui la miscela presenti un eccesso di combustibile, superiore al limite superiore di infiammabilità,

tale eccesso fungerà da diluente, riducendo la quantità di calore disponibile agli strati adiacenti di miscela, fino a impedire la propagazione della fiamma.

Combustibile	Limite Inferiore	Limite Superiore
Benzina	0,9	7,5
Gas naturale	3	15
Gasolio	1	6
Butano	1,5	8,5
Metano	5	15

* I valori rappresentano le percentuali di combustibile in volume nella miscela comburente / combustibile

Figura 12. Limiti di infiammabilità [11]

L'ampiezza del campo di infiammabilità dei combustibili è determinata dalla loro reattività, che a sua volta è funzione del numero e della forza dei legami che stabiliscono le molecole. L'intervallo compreso tra il limite inferiore e il limite superiore di infiammabilità rappresenta il valore delle concentrazioni di combustibile entro le quali le condizioni risultano favorevoli alla propagazione della fiamma. In determinate circostanze, uno dei due limiti può risultare assente; tale eventualità si manifesta nei composti che presentano la capacità di decomporsi in modo esplosivo. Nel caso in cui il comburente sia un ossidante altamente attivo, la miscela potrebbe presentare un limite inferiore di infiammabilità non calcolabile. A titolo esemplificativo, in presenza di ozono, anche miscele con concentrazioni estremamente basse di combustibile possono bruciare in modo esplosivo. Inoltre, i limiti di infiammabilità sono determinati dalla pressione e dalla temperatura. Infine, si osserva che pressioni più elevate tendono ad aumentare i limiti di infiammabilità, mentre pressioni più basse tendono a ridurli.

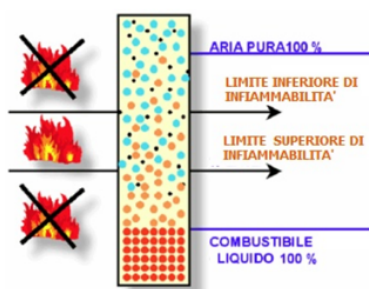


Figura 13. Limiti di infiammabilità [12]

In base alla velocità di combustione, gli incendi possono essere distinti in tre categorie: a sviluppo lento, medio o rapido. Tale classificazione si basa sulla quantità di potenza termica e di prodotti della combustione emessi durante la fase iniziale. Gli incendi sono tipicamente caratterizzati dalla produzione di fiamma, ovvero da reazioni chimiche che si svolgono principalmente a livello gassoso. Lo sviluppo dell'incendio è caratterizzato da una radiazione elettromagnetica infrarossa e visibile, accompagnata da un'elevata produzione di energia termica e da un'emissione di fumo di colore scuro. Pertanto, l'incendio

in esame è caratterizzato dalla presenza di fiamme e da un processo di autoalimentazione successivo all'accensione.

2.2 Sviluppo dell'incendio

L'incendio viene suddiviso in quattro fasi:

1. *Ignizione.* Ogni incendio ha inizio con la fase di ignizione, durante la quale un'origine termica esterna interagisce con il combustibile per un determinato intervallo di tempo, rilasciando una potenza termica che, se sufficiente, provoca il riscaldamento del combustibile fino al valore della temperatura di ignizione. Un fattore di cruciale rilevanza è rappresentato dal grado di infiammabilità dei materiali combustibili. Per l'accensione di un oggetto combustibile, è necessario che sia in prossimità della sorgente e che sia in grado di generare un volume considerevole di gas e vapori infiammabili in un arco di tempo relativamente breve. In assenza di tali condizioni, la sorgente termica si esaurisce prima che si verifichi l'ignizione. Una volta avviato, il processo prosegue indipendentemente dall'apporto di energia esterna. Durante tale fase, le temperature risultano significativamente variabili tra diverse località e subiscono brusche e considerevoli fluttuazioni. La temperatura media aumenta in modo consistente e le differenze di temperatura tra le varie località tendono a diminuire progressivamente;
2. *Propagazione.* In fase di ignizione, nelle fasi iniziali di sviluppo, in presenza di determinate condizioni, l'incendio aumenta in funzione della tipologia, dello stato fisico, della massa, della distribuzione e della disposizione spaziale del combustibile nell'ambiente, in modo del tutto indipendente dalle caratteristiche di ventilazione del locale. L'aria ambiente, infatti, è sufficiente a sostenere la combustione. In particolare, se l'oggetto che brucia è isolato, la combustione non può propagarsi e si arresta per esaurimento del combustibile. Al contrario, se a contatto, oppure in prossimità, vi è una sostanza combustibile, l'incendio può svilupparsi. Di conseguenza, è possibile che altri materiali combustibili siano coinvolti e che la progressione dell'incendio sia determinata dalle caratteristiche di infiammabilità dei materiali. Infatti, i materiali adiacenti al focolaio di incendio, sebbene non direttamente colpiti dalle fiamme, si riscaldano e tendono a raggiungere la loro temperatura di ignizione. Qualora il calore fornito non sia sufficiente a innalzare la temperatura della parte di materiale combustibile adiacente non ancora coinvolta nell'incendio, si può verificare un'estinzione graduale. Nel caso in cui il bilancio sia positivo, la velocità di combustione aumenterà in modo esponenziale, determinando un incremento della temperatura ambiente. Tale aumento della temperatura sarà funzione dei parametri menzionati, ovvero la tipologia, lo stato fisico, la massa, la distribuzione e la disposizione spaziale del combustibile. L'analisi dimostra che l'aria disponibile all'interno del locale è sufficiente a sostenere la combustione. La temperatura media dell'ambiente è ancora

relativamente bassa, anche in virtù dell'effetto di diluizione con l'aria fredda presente. Tuttavia, in prossimità delle aree interessate dalle combustioni, si osservano localmente valori relativamente elevati. Una volta superato lo stadio iniziale, che è indipendente dalle caratteristiche di ventilazione, si ha una fase avanzata di crescita, in cui l'incendio si propaga agli oggetti adiacenti e le fiamme raggiungono il soffitto, dove si accumulano gas e fumi caldi. Si osserva un incremento della temperatura che risulta più rapido, sebbene non raggiunga valori tali da provocare l'ignizione spontanea delle superfici combustibili. In condizioni di adeguata ventilazione, l'incendio si propaga da un oggetto all'altro, mentre le fiamme e i gas ad alta temperatura irradiano energia termica in tutte le direzioni, colpendo il pavimento e gli oggetti presenti nel locale. In questa fase, la temperatura ha raggiunto un valore tale per cui l'autoestinzione risulta altamente improbabile. Successivamente, si osserva una propagazione rapida dell'incendio, dove la temperatura media supera i 500°C e la maggior parte del materiale combustibile prende fuoco per effetto del calore ricevuto per irraggiamento o per convezione. Si osserva uno sviluppo consistente di fumo, che fuoriesce attraverso le finestre o altre aperture. Il progresso dell'incendio è caratterizzato da una crescita repentina delle temperature, che raggiungono lo stadio noto come flashover o di infiammazione generalizzata. Una volta raggiunta tale configurazione, si verifica una situazione di incendio generalizzato;

3. *Incendio generalizzato o pienamente sviluppato.* Una volta raggiunto il punto di flashover, si origina l'incendio vero e proprio, in quanto si verifica uno stadio irreversibile al di là del quale vi è una bassa probabilità che l'incendio si spenga autonomamente prima che il combustibile sia completamente consumato. In questa fase, infatti, tutti gli oggetti combustibili presenti nel locale sono coinvolti, poiché anche quelli distanti dalle fiamme raggiungono la temperatura di ignizione. Il punto di flashover è definito come la transizione da un incendio in crescita a uno pienamente sviluppato, nel quale tutti i materiali combustibili presenti nel compartimento sono coinvolti simultaneamente nell'incendio, principalmente a causa dell'irraggiamento;
4. *Decadimento.* Una volta raggiunta l'ignizione completa di tutti i materiali combustibili presenti nell'ambiente, l'incendio tende a rallentare a causa dell'esaurimento graduale del combustibile. In assenza di ulteriori apporti esterni, il fuoco procede verso l'estinzione, caratterizzata da una riduzione progressiva del flusso termico generato. In merito a tale aspetto, alcuni ricercatori sostengono che la fase di decadimento ha inizio quando la temperatura media nell'ambiente raggiunge circa l'80% del valore massimo precedentemente registrato. La velocità di combustione diminuisce in quanto il combustibile è privato delle sue parti volatili. Pertanto, una volta raggiunto il valore massimo, la temperatura inizia a decrescere a una velocità approssimativamente costante, in relazione alla potenza termica residua generata dalla combustione dei residui materiali combustibili (generalmente senza fiamma) e alla potenza termica residua delle strutture che delimitano lo spazio. Il calore accumulatosi perdura per un periodo di tempo considerevole e la sua restituzione avviene in funzione del salto termico tra

la temperatura superficiale e quella dei gas all'interno dell'ambiente, nonché in base alle caratteristiche termiche e, infine, alla ventilazione dell'ambiente stesso.

È fondamentale sottolineare che, generalmente, la discussione verte sullo sviluppo dell'incendio in ambienti chiusi.

Le suddette fasi sono messe in evidenza dalla curva di incendio naturale, la quale illustra l'evoluzione delle temperature nel tempo.

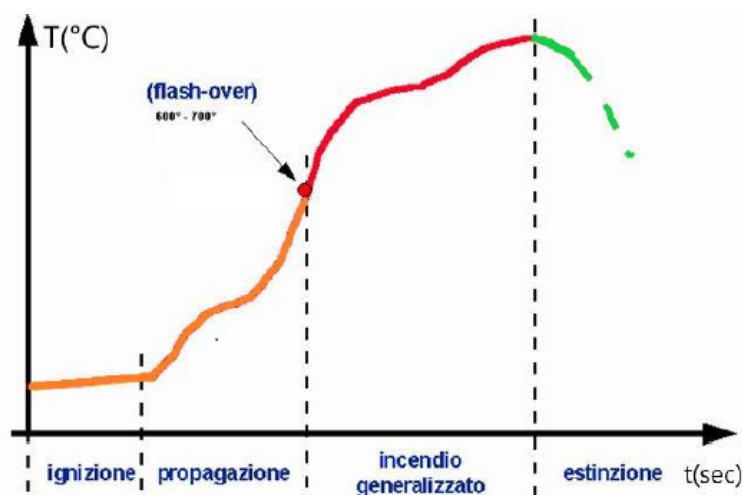


Figura 14. Curva di incendio naturale (temperatura-tempo) [17]

Un'altra curva fondamentale è la curva RHR (*Rate of Heat Released*), che riporta l'andamento della potenza termica nel tempo. Tale rappresentazione schematica dell'incendio naturale è caratterizzata da una semplificazione delle curve, che risultano correlate tra loro e composte dalle medesime fasi.

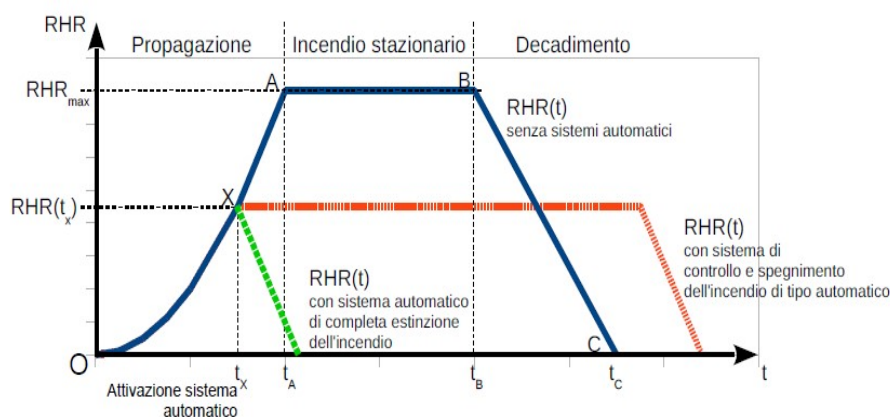


Figura 15. Curva RHR (potenza termica-tempo) [2]

In seguito a quanto stabilito, si verificheranno momenti in cui l'azione di estinzione sarà più o meno efficace. Distinguendo tra protezione attiva e passiva, si evince che:

- La protezione attiva, che interessa tutti i dispositivi, i sistemi o gli impianti deputati alla rilevazione, alla limitazione e alla contenzione di un incendio, si rivela efficace nelle fasi iniziali fino al raggiungimento del punto di flashover, ovvero nella fase pre-flashover;
- La protezione passiva, intesa come l'insieme delle misure volte a contenere gli effetti di un incendio sia nello spazio che nel tempo senza l'intervento umano o l'attivazione di un impianto, si manifesta efficace dal momento del flash over fino all'estinzione, ovvero nella fase post-flash over.

2.3 Prodotti di combustione

Durante le fasi di combustione, si osserva la liberazione di "prodotti di combustione", che possono esercitare effetti significativi sulla salute degli operatori e sull'ambiente circostante. Tali sostanze si distinguono in:

- Gas di combustione;
- Fiamme;
- Fumi;
- Calore.

I *gas di combustione* rappresentano quei prodotti della combustione che, al raggiungimento della temperatura ambiente di riferimento (15°C) durante il processo di raffreddamento, mantengono la loro condizione di gas allo stato gassoso. La produzione di tali gas dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di comburente presente e dalla temperatura raggiunta nell'incendio. Dal punto di vista chimico, le molecole di ossigeno si combinano con gli atomi di una sostanza combustibile, generando vari composti. Nella maggior parte dei casi, la mortalità per incendio è attribuibile all'inalazione di questi gas, che causano danni biologici per anossia o tossicità. I principali gas di combustione sono:

- L'anidride carbonica (CO₂) rappresenta il principale prodotto della combustione completa di materiali che contengono carbonio, come la legna, il gasolio e il metano. Il gas in questione si genera in grandi quantità durante gli incendi e possiede le seguenti caratteristiche: è incolore, inodore e non tossico in sé. Tuttavia, può causare asfissia in ambienti chiusi, saturando l'ossigeno. Alte concentrazioni di questo gas possono provocare difficoltà respiratorie, aumento della frequenza cardiaca e perdita di coscienza. Inoltre, in concentrazioni elevate, il gas può accelerare il ritmo respiratorio, aumentando la quantità di sostanze tossiche immesse nell'organismo se presenti gas tossici;
- Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore, dotato di alta tossicità. Tale sostanza è spesso presente in grandi quantità in caso di incendi, costituendo il pericolo maggiore. Il monossido di carbonio deriva da una combustione incompleta, ovvero quando la quantità di

ossigeno è insufficiente per ossidare completamente il carbonio a CO₂. L'azione tossica del monossido di carbonio (CO) si manifesta attraverso l'alterazione della composizione del sangue, in quanto forma un composto con l'emoglobina che impedisce la formazione dell'ossiemoglobina, fondamentale per l'ossigenazione dei tessuti umani. Questo impedisce il trasporto efficace dell'ossigeno nel sangue, causando una serie di effetti avversi. L'esposizione prolungata e ad alte concentrazioni può causare avvelenamento acuto, con sintomi quali nausea, vertigini, confusione mentale, fino a esiti letali;

- L'acido cloridrico, noto anche come HCl, è un prodotto della combustione di materiali contenenti cloro, tra cui la maggior parte delle materie plastiche. La concentrazione di 1,500 p.p.m. risulta letale entro pochi minuti. La sua presenza è facilmente percepibile a causa dell'odore pungente e dell'effetto irritante per le mucose. Inoltre, l'acido cloridrico possiede la capacità di corrodere i metalli.
- Il biossido di zolfo (SO₂) è un gas incolore e dall'odore pungente che risulta irritante per le mucose. Il fenomeno in esame si origina a seguito della combustione di carburanti fossili (gasolio, olio combustibile) impiegati in macchinari da cantiere (gru, generatori), bitumi e derivati del petrolio (ad esempio, asfalti a caldo), nonché di alcuni materiali da costruzione (come gessi contenenti impurità solforose). È caratterizzato da una densità superiore a quella dell'aria, pertanto tende a ristagnare in aree confinate. Il composto può indurre broncospasmo, tosse e difficoltà respiratorie, con conseguenze particolarmente gravi nei soggetti asmatici.
- I Composti Organici Volatili (COV o VOC - Volatile Organic Compounds) costituiscono una categoria di sostanze chimiche caratterizzate da elevata volatilità a temperatura ambiente e da una struttura molecolare contenente carbonio. Nel settore dei lavori edili, i composti organici volatili sono emessi principalmente dalle seguenti fonti:
 - Processi di combustione incompleta (motori diesel, generatori, saldatura);
 - Evaporazione di solventi (vernici, adesivi, sigillanti);
 - Degradazione termica di materiali (es. bitumi, plastiche, legno trattato).

Tali sostanze possono essere cancerogene e irritanti per gli occhi e il sistema respiratorio, con possibili conseguenze quali cefalee e nausea.

- Ecc.

In merito alle *fiamme*, si definiscono come la manifestazione luminosa che si verifica in seguito alla combustione di gas prodotti da un incendio. In particolare, nell'incendio di combustibili gassosi, è possibile valutare in modo approfondito il valore raggiunto dalla temperatura di combustione e il colore della fiamma:

Colore della fiamma	Temperatura °C
Rosso nascente	500
Rosso scuro	700
Rosso ciliegia	900
Giallo scuro	1100
Giallo chiaro	1200
Bianco	1300
Bianco abbagliante	1500

Figura 16. Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas [11]

I *fumi* invece sono costituiti da particelle solide (aerosol) e particelle liquide (nebbie o vapori condensati), disperse nei gas prodotti durante il processo di combustione. Salvo casi particolari quali la combustione del metano, la combustione è quasi sempre accompagnata dalla formazione di fumi; normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità, ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone. Il fumo rappresenta pertanto il principale ostacolo da rimuovere nei locali colpiti da un incendio. È fondamentale distinguere tra:

- Particelle solide, costituite da sostanze incombuste, quali particelle di carbonio, catrami e ceneri. Tali residui, sospinti dai gas generati dal processo di combustione, danno origine al fumo di colore scuro;
- Particelle liquide, costituite principalmente da vapor d'acqua derivante dall'umidità dei combustibili, ma soprattutto dalla combustione dell'idrogeno. Al di sotto dei 100°C, quando i fumi si raffreddano, il vapor d'acqua condensa dando luogo a fumo di colore bianco.

In caso di incendio, l'eccesso d'aria non è mai garantito, pertanto sussiste una considerevole probabilità che i fumi siano composti da gas tossici. Tali fenomeni determinano un pericolo significativo per l'azione di oscuramento della vista, di irritazione delle mucose oculari e respiratorie, che si somma alla normale carenza di ossigeno durante l'incendio. Inoltre, si osserva che le fiamme e il fumo generano un effetto di disorientamento nelle persone che cercano di allontanarsi da un incendio. È importante sottolineare che il rischio per la salute visiva è significativo anche all'esterno, paragonabile a quello causato da gas tossici.

Diversamente, il *calore* rappresenta il fattore determinante per la propagazione degli incendi. Il fenomeno in esame provoca un incremento della temperatura di tutti i materiali e corpi esposti, con conseguente danneggiamento e, in alcuni casi, distruzione. Oltre determinati limiti, l'aumento della temperatura corporea può causare disidratazione dei tessuti, difficoltà respiratorie e scottature. Una temperatura dell'aria pari a 150°C può essere considerata sopportabile solo per brevi periodi e a condizione che l'aria sia sufficientemente secca. Inoltre, durante le combustioni, si osserva la presenza di vapore acqueo in grandi quantità, il che rende le temperature di 50°C estremamente dannose.

2.4 Classificazione degli incendi

In base alla natura del combustibile implicato, l'incendio viene classificato in conformità con il sistema stabilito dalla norma internazionale UNI EN 2:2005. La suddetta classificazione si pone come imprescindibile per l'individuazione delle tecniche di estinzione più appropriate e dei dispositivi antincendio più efficaci. In particolare, si distinguono cinque categorie.

Si definisce classe A il raggruppamento di incendi di materiali combustibili solidi, generalmente di origine organica, infiammabili e incandescenti. Esemplicativi sono il legname, i carboni, la carta, i tessuti, i trucioli, le pelli, la gomma e i suoi derivati, i rifiuti che fanno brace e che presentano particolari difficoltà nel loro spegnimento. In tale contesto, la combustione può manifestarsi con fiamme libere mobili o senza, ovvero esclusivamente con produzione di brace incandescente. Inoltre, diversi parametri relativi al materiale combustibile influenzano il processo di combustione, tra cui la forma e le dimensioni, la porosità, la composizione chimica, l'umidità relativa e la ventilazione dell'ambiente. In merito all'efficacia dell'acqua o della schiuma nel controllo di tali incendi, si evidenzia che entrambe le soluzioni risultano di notevole efficacia.

Si definisce classe B un insieme di incendi di origine liquida, caratterizzati da un'elevata infiammabilità. Per la loro gestione, si rende necessario l'impiego di misure di copertura e soffocamento, quali l'utilizzo di alcoli, solventi, oli minerali, grassi, eteri, benzine e simili.

Si definisce classe C la categoria che include gli incendi di materiali gassosi infiammabili, quali l'idrogeno, il metano, l'acetilene, l'etilene, il propilene e altri simili. Per natura, il gas non possiede forma, volume o superficie; pertanto, la presenza di gas infiammabili nell'aria rappresenta un rischio significativo, poiché aumenta la probabilità di propagazione delle fiamme e il rischio di esplosioni.

La classe D comprende gli incendi da metalli, con un'attenzione specifica ai metalli alcalini leggeri, quali l'alluminio, il potassio, il magnesio, il sodio, il manganese e il litio. Ogni reazione di perossidi e clorati rientra altresì in questa categoria. Gli incendi in questione si sviluppano tipicamente in aziende metalmeccaniche, cantieri, depositi, aree di costruzione o in luoghi e locali dalle caratteristiche simili.

La classe F, come stabilito dall'ultima versione della norma UNI EN 2:2005, include gli incendi da oli e grassi. Tali incendi, che si verificano prevalentemente in laboratori di cucina o in esercizi di ristorazione (come mense scolastiche o aziendali), sono caratterizzati dalla combustione di oli e grassi, sia di origine vegetale che animale. Tali oli si distinguono dagli oli minerali della classe B in virtù delle loro diverse formule chimiche.

Infine, in passato, la norma UNI EN 2 includeva i fuochi derivanti da “impianti e attrezzature elettriche sotto tensione” nella classe E. Tuttavia, un aggiornamento del 2005 ha modificato tale classificazione, assegnando tali incendi alle classi A o B. La ragione di tale cambiamento risiede nel fatto che la

condizione di essere sotto tensione non è stata considerata sufficiente per mantenere questi incendi in una categoria distinta.

Tale classificazione non può essere considerata una categorizzazione scientifica, ma piuttosto una tassonomia pratica volta a facilitare l'identificazione tempestiva del tipo di incendio e la selezione della sostanza estinguente più appropriata, in conformità con le normative legislative vigenti in materia di prevenzione incendi.



Figura 17. Classificazione incendi [18]

Al fine di conseguire l'estinzione dell'incendio, si rende necessario interrompere il triangolo del fuoco, che può essere realizzato attraverso differenti modalità, quali:

- Separazione o soffocamento: eliminazione del contatto tra combustibile e comburente o rimozione del combustibile dalla zona di combustione. Tale obiettivo può essere conseguito mediante l'impiego di schiuma antincendio, teli in amianto, acqua, pareti divisorie, saracinesche, oppure effettuando lo scarico dai serbatoi dei liquidi infiammabili;
- Diluizione: può essere definita come la riduzione della concentrazione del combustibile o del comburente, oppure come la saturazione dell'ambiente con combustibile, attraverso l'uso di azoto, anidride carbonica, acqua, idrocarburi alogenati, la chiusura delle aspirazioni e delle aperture di areazione, tra le altre pratiche;
- Disgregazione: è il processo di rimozione degli inneschi e di interruzione del contatto tra il combustibile e le fonti di innesco, quali reti spostafiamme, getti tagliafiamme o l'azione meccanica di mezzi estinguenti;
- Raffreddamento: si ottiene attraverso la riduzione della temperatura al di sotto del suo punto di infiammabilità, utilizzando acqua o sistemi di refrigerazione;
- Inibizione: talune sostanze inibitrici, incrementando l'energia di attivazione, ostacolano la propagazione della reazione chimica (polveri, idrocarburi alogenati).

Tali principi vengono impiegati da differenti sostanze estinguenti, vale a dire sostanze in grado di arrestare la combustione. La sostanza utilizzata, il tipo di intervento e le modalità di impiego sono determinati dalla natura dei prodotti coinvolti e dall'entità dell'incendio. È pertanto essenziale comprendere i limiti, i pregi e i difetti delle sostanze estinguenti per garantire che la difesa attiva

produca risultati costantemente positivi, tenendo a mente che le decisioni errate possono potenzialmente amplificare significativamente l'entità dell'incidente.

Nel settore dei lavori di costruzione, gli incendi che possono verificarsi sono principalmente classificati nelle categorie A, B e C.

In particolare, gli incendi di classe A sono particolarmente diffusi nei cantieri, in quanto possono verificarsi in diverse situazioni. Ad esempio, durante le fasi di carpenteria e montaggio di casseforme, nei depositi temporanei di materiali combustibili, in presenza di rifiuti e così via.

In merito alla classe B, si evidenziano potenziali rischi in condizioni di stoccaggio di sostanze infiammabili o prodotti chimici impiegati per impermeabilizzazioni e finiture, carburanti per mezzi e attrezzature, nonché per l'uso di vernici, resine o additivi contenenti solventi in fase liquida.

Inoltre, gli incendi di classe C, che coinvolgono gas infiammabili quali propano, butano, acetilene e ossigeno, sono tipicamente associati a attività di saldatura e taglio a fiamma, alla presenza di bombole di gas compresso utilizzate per attrezzature o impianti provvisori, nonché a perdite da connessioni o tubazioni difettose. In tali circostanze, il rischio non è esclusivamente associato alla combustione, ma anche alla formazione di atmosfere esplosive in ambienti parzialmente confinati o con scarsa ventilazione.

Nel contesto delle attività di cantiere, la valutazione dei rischi di incendi di origine elettrica riveste un'importanza fondamentale. Tali rischi possono essere attribuiti a una varietà di fattori, tra cui: quadri elettrici provvisori installati in condizioni non ottimali, esposti alle intemperie o soggetti a sovraccarichi; cavi volanti o prolunghe danneggiate, con un'adeguata protezione dell'isolamento compromessa o appoggiate su materiali combustibili; connessioni precarie; trasformatori portatili o dispositivi di distribuzione non conformi alle normative vigenti, in particolare nelle fasi iniziali del cantiere; cortocircuiti, surriscaldamenti o archi elettrici causati da una corretta messa a terra o da sovratensioni.

Di conseguenza, la selezione e la dislocazione dei presidi antincendio deve considerare tale varietà attraverso la previsione e la dislocazione di estintori a polvere per classi A-B-C, estintori a CO₂ per quadri elettrici o zone sensibili, e in certi casi presidi aggiuntivi per rischio gas.

2.5 Esplosione, deflagrazione e detonazione

Nel caso in cui una reazione esotermica avvenga in uno spazio limitato, sovente il calore svolto non può essere dissipato. In conseguenza di ciò, si osserva un incremento della temperatura, una crescita della velocità di reazione e, di conseguenza, un aumento della velocità di produzione del calore. La velocità di reazione aumenta esponenzialmente, portando a un'esplosione termica. La rapida e localizzata liberazione di energia indotta dall'esplosione genera effetti meccanici di notevole entità. Di conseguenza, affinché si verifichi un'esplosione, la miscela esplosiva deve essere in presenza di una sorgente che sia in grado di fornire alla miscela esplosiva, per una data concentrazione della sostanza in aria, una quantità sufficiente affinché la combustione superi quel punto critico oltre il quale è in grado di autosostenersi, permettendo al fronte di fiamma di propagarsi autonomamente senza apporto di energia dall'esterno. Tale energia è specifica di ogni sostanza e il valore minimo è definito come energia minima di accensione. Questo concetto è rappresentato graficamente dal triangolo dell'esplosione, dove i lati del triangolo stesso rappresentano le tre condizioni necessarie affinché si verifichi la reazione.



Figura 18. Triangolo dell'esplosione [8]

La possibilità di un'esplosione dipende da una combinazione di fattori, tra cui le caratteristiche della miscela, la pressione e la temperatura.

In base al meccanismo termico dell'esplosione, per una specifica composizione del sistema e per una determinata temperatura, esiste una pressione critica al di sotto della quale la reazione è lenta e al di sopra della quale diventa esplosiva.



Figura 19. Pressione critica [11]

Nel contesto di una miscela infiammabile potenzialmente esplosiva in aria, affinché si verifichi un'esplosione, è necessario che la composizione della miscela rientri in un certo intervallo di esplosività, noto come range di esplosione. All'esterno di tali limiti, la miscela può ancora reagire, ma con una velocità ridotta che non conduce a esplosioni. È fondamentale delineare i seguenti punti:

- Il limite inferiore di esplosività (LEL) rappresenta la concentrazione minima di vapore di combustibile nella miscela, al di sotto della quale non si verifica un'esplosione in presenza di un innesco;
- Il limite superiore di esplosività (UEL) rappresenta la concentrazione massima di vapore di combustibile nella miscela, al di sopra della quale si verifica un'esplosione in presenza di un innesco.



Figura 20. Range di esplosione e livelli di esplosività [8]

La capacità distruttiva delle sostanze esplodenti non deriva dalla natura esoergonica delle reazioni che provocano, ma piuttosto dalla velocità estremamente elevata con cui l'energia viene rilasciata. Nelle reazioni esoergoniche, i reagenti possiedono un contenuto energetico superiore a quello dei prodotti, e quindi l'energia mancante viene liberata nell'ambiente. La velocità delle esplosioni è determinata dalla presenza di ossigeno nelle molecole degli esplosivi, che consente l'ossidazione parziale o totale dei reagenti. Non è sempre possibile identificare le sostanze esplosive in base al loro potenziale detonante; in determinate condizioni, al di fuori dei limiti di esplosività, queste sostanze possono bruciare.

Analogamente a quanto avviene in caso di incendi, esistono parametri caratteristici delle sostanze esplosive per i quali si rimanda alla documentazione tecnica specifica.

Gli esplosivi possono essere distinti in base alla velocità con cui la reazione di combustione si propaga nella massa dell'esplosivo stesso, oppure in base alla loro natura chimica. In base al primo criterio di definiscono:

- Esplosivi deflagranti o propellenti: gli ordigni che si caratterizzano per una reazione di combustione che si propaga alla miscela infiammabile non ancora bruciata con una velocità inferiore rispetto a quella del suono, ovvero dell'ordine di centinaia di metri al secondo. Tali reazioni, caratterizzate da una progressione lenta, si manifestano principalmente come azioni di spinta, impiegate prevalentemente in armi da fuoco, razzi e dispositivi pirotecnici. Il calore sviluppato viene trasmesso per conduzione e sostiene il processo. La deflagrazione può manifestarsi in modo laminare o turbolento. Nel primo caso, per diverse miscele combustibile-aria, la velocità di avanzamento dell'onda di deflagrazione è solitamente inferiore a 1 m/s, mentre in ossigeno può superare i 10 m/s. Si osserva che le velocità di propagazione della fiamma aumentano con l'aumentare della temperatura e della pressione. Un'importante eccezione è rappresentata dal metano, la cui velocità di combustione diminuisce all'aumentare della pressione.
- Esplosivi dirompenti: presentano la peculiarità di manifestare la loro reazione istantanea esclusivamente in presenza di un'elevata energia di attivazione esterna. La reazione di decomposizione (detonazione) si verifica a velocità estremamente elevate, mentre l'azione meccanica dei gas prodotti si manifesta istantaneamente. L'immediato aumento di pressione causato dai gas formati durante la reazione provoca la rottura violenta dei recipienti contenenti tali gas, motivo per cui vengono denominati "attivi dirompenti". Esemplicativi di tale fenomeno sono la nitroglicerina e il tritolo.
- Esplosivi detonanti o innescanti: gli esplosivi che, al momento dell'innescò, generano un'onda d'urto con una velocità superiore a quella del suono nel materiale incombusto. Tale velocità, che può raggiungere migliaia di metri al secondo, è sufficiente a lasciare il fronte di fiamma iniziale indietro. Poiché tale velocità supera quella del suono, la pressione risulta notevolmente disuniforme nello spazio, ma raggiunge un valore massimo in corrispondenza dell'onda d'urto, che può essere anche di alcune decine di volte superiore alla pressione iniziale. Per tale ragione, le detonazioni risultano più distruttive delle deflagrazioni. A causa della rapida compressione, l'onda d'urto provoca il riscaldamento della miscela, che brucia senza essere stata a contatto con gas caldi (fenomeno detto di autoignizione). L'onda è quindi seguita da un fronte di fiamma che, a sua volta, origina un'espansione (con conseguente accelerazione del fronte di fiamma), dalla quale il sistema ottiene l'energia necessaria per autosostenere il fenomeno. Il fronte di fiamma, caratterizzato da una conformazione molto frastagliata, è il risultato di fenomeni quali turbolenza e attriti.

La possibilità di osservare fenomeni di esplosione, che possono manifestarsi come deflagrazioni o detonazioni, è determinata da diversi fattori. Tali fattori includono il tipo e l'intensità dell'innesco, la natura delle sostanze coinvolte, la presenza di eventuali impurezze, le caratteristiche geometriche e dimensionali dei contenitori, e le condizioni dell'ambiente in cui si propaga la fiamma. Gli esplosivi sono soggetti a reazioni chimiche che possono sfociare in deflagrazioni o detonazioni, a seconda della massa di esplosivo coinvolta. In presenza di turbolenza o di ostacoli sul percorso della fiamma, le deflagrazioni possono trasformarsi in detonazioni.

Dal punto di vista chimico, è possibile distinguere tra:

- Miscugli esplosivi gassosi: le sostanze composte da una miscela di elementi, alcuni dei quali, se considerati singolarmente, non presentano proprietà esplosive. Tali elementi, tuttavia, agiscono come comburenti o combustibili all'interno del miscuglio, determinando la reazione esplosiva.
- Esplosivi chimici: i quali si dividono in inorganici come il clorato di potassio e quelli organici si annoverano il tritolo e le nitroglicerine. I combustibili organici sono composti da molecole che contengono tutti gli elementi necessari per una combustione più o meno completa. L'ossigeno contenuto nelle molecole subisce un processo di ossidazione, che coinvolge il carbonio e l'idrogeno presenti nella stessa molecola, dando luogo a una reazione esplosiva. Per queste ragioni, la reazione di esplosione dei composti chimici organici risulta più violenta rispetto a quella dei miscugli.

È fondamentale distinguere tra scoppio ed esplosione. Lo scoppio è definito come un cedimento meccanico dovuto a un eccesso di pressione all'interno di un recipiente contenente materiale combustibile. L'esplosione, invece, è un improvviso e violento rilascio di calore e di energia meccanica da parte di una fonte di energia meccanica, con conseguente liberazione di gas a temperatura estremamente elevata.

Gli effetti dannosi principali associati a un'esplosione sono attribuibili ai gas generati dalla reazione, che tendono a occupare volumi notevolmente superiori a quelli delle sostanze iniziali, a causa delle elevate temperature raggiunte. Pertanto, qualora una determinata quantità di sostanza esplodesse all'interno di un ambiente confinato, come un reattore, una tubazione o un serbatoio, i gas generati eserciterebbero una pressione istantanea e estremamente elevata sulle pareti, con il rischio di causare la loro rottura. Inoltre, è fondamentale valutare l'instabilità di una sostanza per determinare gli aspetti di sicurezza associati allo stoccaggio e alla movimentazione.

In generale, in mancanza di informazioni sicure o di dati sperimentali, è comunque prudente considerare ogni miscela di combustibile e di comburente in fase gassosa come potenzialmente esplosiva se la sua composizione è compresa entro i limiti di infiammabilità. Tale argomento viene approfondito nel paragrafo successivo.

Nel settore dei lavori edili, dove frequentemente si utilizzano sostanze infiammabili in forma liquida o gassosa e si svolgono lavorazioni a rischio elevato, il rischio di formazione di atmosfere potenzialmente esplosive non può essere trascurato. In particolare, la presenza di miscele di combustibile e comburente in fase gassosa, in ambienti confinati o scarsamente ventilati, rappresenta una condizione di elevato pericolo, che può sfociare in fenomeni esplosivi anche in assenza di grandi quantità di materiale. Pertanto, l'approccio conservativo, che prevede la considerazione di ogni miscela di combustibile e comburente come potenzialmente esplosiva, riveste particolare rilevanza nel contesto dei cantieri, dove sussistono condizioni operative che presentano variabilità e talvolta imprevedibilità, ventilazione non sempre garantita o suscettibile di variazioni durante le diverse fasi dei lavori, lavorazioni che si svolgono in prossimità di fonti di innesco, nonché la possibilità di una carenza sia di una caratterizzazione approfondita dei materiali impiegati che di un controllo delle condizioni ambientali. Ad esempio, l'impiego di bombole di gas combustibile (propano, butano, acetilene) per attività di saldatura o riscaldamento, in combinazione con perdite da valvole, tubazioni flessibili deteriorate o raccordi difettosi, può determinare la formazione di miscele infiammabili nell'aria, che diventano esplosive in presenza di una scintilla. Inoltre, l'uso di vernici o solventi organici in ambienti chiusi o con scarsa ventilazione può creare atmosfere sature di vapori facilmente infiammabili.

2.6 Atmosfere potenzialmente esplosive

Ai sensi del d.lgs. 81/08, art. 288, si intende per “atmosfera potenzialmente esplosiva” una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta.

La sicurezza nei luoghi di lavoro a rischio di esplosione è regolamentata a livello europeo da due direttive comunemente note come ATEX [8]. Esso è l'acronimo di “ATmosphères” e “Explosives”. Per atmosfera potenzialmente esplosiva s'intende una atmosfera che, di per sé, non è esplosiva in condizioni normali, ma che può diventarlo in caso di circostanze imprevedibili, quali perdite di gas, aumento della temperatura o della pressione, o per la semplice rottura di un componente.



Figura 21. Segnaletica ATEX [19]

La classificazione delle aree a rischio di esplosione viene effettuata tenendo conto di due fattori fondamentali: il grado di emissione delle sostanze infiammabili e l'efficacia della ventilazione, sia essa naturale che artificiale, conformemente a quanto indicato nella Guida CEI 31-35. Ai fini della

classificazione dei luoghi in cui sussiste un pericolo di esplosione per la presenza di gas combustibili, devono essere analizzate tutte le zone in cui tali sostanze possono essere presenti, sia all'interno dei sistemi di contenimento sia, soprattutto, all'esterno degli stessi, dove potrebbero fuoriuscire durante il normale esercizio, in situazioni di anomalia o in fase di manutenzione. Il rischio di formazione di atmosfere esplosive deriva principalmente dalla presenza di sorgenti di emissione, ossia da punti di discontinuità nei sistemi di contenimento attraverso cui le sostanze infiammabili possono essere rilasciate nell'ambiente.

Per quanto riguarda i liquidi infiammabili, oltre a tali sorgenti, è necessario considerare anche la possibilità di formazione di pozze nelle zone di raccolta del liquido: l'evaporazione di tali sostanze può generare atmosfere potenzialmente esplosive, contribuendo ad accrescere il livello di rischio presente nell'ambiente di lavoro.

Di conseguenza, la classificazione in zone è una misura di protezione contro il pericolo di esplosione, in quanto a ciascuna zona è associato un diverso livello di probabilità di presenza di un'atmosfera esplosiva. È così possibile evitare che sorgenti di accensione efficaci si trovino in tali zone, mediante la scelta di apparecchiature con un adeguato livello di protezione e l'adozione delle opportune misure di sicurezza di tipo tecnico ed organizzativo. Al fine di un corretto individuamento delle suddette zone, si rimanda alla normativa specifica.

Nel settore delle costruzioni, la transitorietà e la variabilità delle condizioni lavorative, associate all'assenza di infrastrutture fisse, complicano significativamente l'implementazione dei principi ATEX, che tipicamente si applicano in ambienti industriali, in una modalità rigida e formale. Tuttavia, ciò non esime il coordinatore per la sicurezza dal dovere di valutare il rischio di atmosfere esplosive. Pertanto, nonostante il cantiere non sia generalmente riconosciuto come un "luogo ATEX", in molte lavorazioni si verificano condizioni in cui vapori infiammabili o gas combustibili possono essere presenti in miscela con l'aria, creando le premesse per la formazione di atmosfere esplosive. Esempi ricorrenti includono:

- L'impiego di bombole di gas per saldature ossiacetileniche o con propano;
- Il deposito temporaneo di combustibili liquidi per macchinari, quali ad esempio gasolio e benzina, è una pratica comune in molteplici contesti industriali;
- L'impiego di vernici, solventi o colle a base organica risulta particolarmente rilevante in ambienti chiusi o caratterizzati da scarsa ventilazione;
- Il potenziale rischio di rilascio involontario di gas durante le operazioni di montaggio o manutenzione degli impianti;
- Interventi eseguiti sulle reti di distribuzione di gas metano o GPL esistenti;
- La presenza di polveri combustibili in specifiche lavorazioni, quali la demolizione con materiali organici o la produzione di segatura da legno.

Pertanto, risulta fondamentale valutare la possibilità che si possano formare atmosfere esplosive anche per brevi periodi e, di conseguenza, prevedere misure tecniche, organizzative e procedurali equivalenti a quelle richieste dalla normativa ATEX. In particolare, nell'ambito del ragionamento operativo, l'implementazione dei principi ATEX in cantiere comporta:

1. Analizzare le varie fasi lavorative al fine di individuare quelle che presentano un rischio potenziale di emissione di gas, vapori o polveri combustibili;
2. Prevedere un sistema di ventilazione adeguato nelle aree di rilascio potenziale;
3. Limitare le possibili cause di innesco nelle aree a rischio, come l'elettricità, le fiamme o le superfici calde;
4. Impiego di attrezzature certificate per atmosfere esplosive, qualora necessario, come ad esempio lampade portatili antideflagranti;
5. Formare gli operatori affinché siano in grado di identificare in modo tempestivo il rischio e di adottare le misure comportamentali adeguate;
6. Necessità di documentare il rischio e le relative misure nel PSC (Piano di Sicurezza e Coordinamento) o nel POS (Piano Operativo di Sicurezza).

3 Case history incendi in cantiere

In seguito alla fase di studio teorico e statistico, si è deciso di approfondire l'argomento attraverso l'analisi di casi reali di incendi occorsi in cantieri edili. Questo approccio metodologico si è rivelato fondamentale per ottenere una visione più completa e approfondita delle cause d'incendio, con l'obiettivo di arricchire il contenuto del documento. A tale fine, è stato necessario raccogliere un campione di incendi avvenuti in cantieri edili in Italia negli ultimi anni, al fine di analizzare le cause e le circostanze aggravanti. Inoltre, sono stati esaminati due casi di incendi in cantieri di edifici sottoposti a tutela.

La presente indagine si prefigge di sensibilizzare l'opinione pubblica riguardo alle principali cause di incendio, al fine di ridurre il loro numero e, per quanto possibile, limitarne la frequenza.

La maggior parte delle informazioni sono state raccolte da articoli di cronaca di giornali o pagine web. Al momento, alcune cause sono ancora in fase di accertamento o non reperibili, poiché riguardano informazioni sensibili. Pertanto, non è stato possibile analizzare nessun report di interventi dei Vigili del Fuoco. Tuttavia, per la stesura del presente elaborato, anche solo l'informazione su una presunta causa di incendio risulta un ottimo spunto di riflessione.

Per le ragioni menzionate, la completezza delle informazioni potrebbe subire delle lacune, con l'assenza di immagini o dettagli in alcuni incendi. Tuttavia, tale limitazione non sembra influire significativamente sul raggiungimento degli obiettivi della tesi.

Di seguito si riportano i dati raccolti relativi agli incendi, catalogati in ordine cronologico a partire dal più datato fino al più recente.

3.1 Cappella Guarini, Duomo di Torino, 11 aprile 1997

Luogo	Torino
Data	11/04/1997
Tipologia di edificio	Bene tutelato
Tipologia di cantiere	Manutenzione
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno storico, artistico e strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Cortocircuito o surriscaldamento
Aggravanti	Mancanza di misure di prevenzione, difficoltà operative

Tabella 4. Cappella Guarini, Duomo di Torino, Torino

Il Duomo di Torino è un edificio di culto rinascimentale di notevole pregio, noto in particolare per ospitare la Cappella della Sacra Sindone, progettata da Guarino Guarini nel XVII secolo. In data 11 aprile 1997, nell'ambito di una serata di gala tenutasi presso il Salone degli Svizzeri del Palazzo Reale, si è svolta una cerimonia ufficiale alla presenza del Segretario Generale delle Nazioni Unite, Kofi Annan, alla quale ha preso parte anche il Soprintendente. Al termine della cena, i camerieri stavano procedendo con la rimozione degli arredi e delle suppellettili per preparare la sala in vista del turno dei turisti del giorno successivo. Nel sito di connessione tra la Cappella del Guarini e il Palazzo Reale si verifica un incendio che si propaga nell'area del cantiere di restauro della Cappella Guarini e sul tetto del torrione ovest del Palazzo Reale. Durante i lavori di ristrutturazione, è stato istituito un cantiere interno provvisorio, dotato di ponteggi metallici, attrezzature elettriche temporanee e aree destinate al deposito dei materiali. Secondo le ricostruzioni effettuate, la tensione elettrica residua risultò causa di un «innescò lento», presumibilmente in seguito all'accensione di una lampada inavvertitamente lasciata accesa o a un cortocircuito. Il calore generato, presumibilmente a causa di un cortocircuito o di una lampada, avrebbe causato un surriscaldamento significativo di un contenitore di ovatta imbevuta di solventi, il quale era stato dimenticato sui ponteggi in legno. L'incendio fu di proporzioni eccezionali. L'accumulo di fumi ad alta temperatura all'interno della cupola ha determinato la rottura dei vetri, favorendo una rapida propagazione delle fiamme verso l'esterno. Le prime squadre VV.F. che giunsero sul luogo dell'incendio si trovarono di fronte a una situazione complessa, determinata sia dalle

caratteristiche del territorio, raggiungibile con difficoltà, sia dalla virulenza dell'incendio stesso, sia dalla rilevante presenza di vento, che alimentava le fiamme in modo sfavorevole, rendendo particolarmente difficoltose le attività di spegnimento in quota. I Vigili del Fuoco, sin dalle prime ore successive all'incendio, hanno cercato di contenere la propagazione delle fiamme, al fine di preservare le coperture dei corpi di fabbrica adiacenti al Palazzo Reale. Questi ultimi, eretti a un'altezza superiore ai 20 metri e senza soluzione di continuità, si estendono verso l'Armeria Reale, il Palazzo della Prefettura e il Teatro Regio. Verso le 5 del mattino, l'incendio è stato domato mediante il sezionamento delle travi in legno della copertura del Palazzo Reale, effettuato in corrispondenza dell'ingresso principale da Piazza Castello.



Figura 22. Incendio della cappella Guarini [20]



Figura 23. Incendio della cappella [21]



Figura 24. Incendio della cappella Guarini [20]

Il contesto dell'evento si è svolto in un cantiere di restauro e consolidamento strutturale, caratterizzato dalla presenza di ponteggi metallici interni, impianti elettrici provvisori e materiali da costruzione. La zona interessata, ovvero la cappella seicentesca progettata da Guarino Guarini, rappresentava una delle porzioni più pregiate e delicate del complesso monumentale, sia per la sua articolazione spaziale che per la fragilità dei materiali e delle decorazioni. In tale scenario, è verosimile che il rischio incendio sia stato sottostimato o gestito con criteri standard, non adeguati al contesto storico-architettonico di altissimo valore. L'ipotesi più accreditata sulla causa dell'incendio è attribuibile a un cortocircuito o a un malfunzionamento degli impianti elettrici temporanei. Questa eventualità, sebbene frequente nei cantieri, può avere conseguenze catastrofiche in un edificio monumentale, con il rischio di danni irreversibili. La presenza di elementi lignei antichi, l'elevata altezza, l'assenza di compartimentazioni e l'assenza di impianti fissi di rilevazione e spegnimento hanno favorito la rapida propagazione delle fiamme, causando il collasso parziale della copertura e la distruzione di decorazioni, stucchi e superfici storiche. Dal punto di vista critico, emergono diverse questioni fondamentali, tra cui la mancanza di misure preventive site-specific: nonostante il valore elevato dell'edificio, sembrano essere mancate valutazioni dettagliate del rischio incendio e misure tecniche adeguate alla sua mitigazione. Inoltre, si osserva l'assenza di un piano di emergenza specifico per la protezione del patrimonio culturale, che possa prevedere azioni immediate in caso di innesco, inclusa la salvaguardia degli oggetti sacri e delle opere d'arte. Infine, si evidenzia una gestione del cantiere che non sembra rispondere adeguatamente ai principi di sicurezza antincendio per un ambiente storico, con scelte impiantistiche e logistiche che sembrano essere più influenzate da esigenze operative che da una valutazione approfondita dei rischi. Dunque, la mancata progettazione di una corretta GSA, associata a lacune nella formazione e informazione delle maestranze, è pertanto identificabile come la causa principale dell'incendio.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Rischio Incendio ed esplosione in edilizia (INAIL)* [5], *Fanpage* [20], *Avvenire* [21].

3.2 Notre Dame, Parigi, 15 aprile 2019

Luogo	Parigi
Data	20/04/2019
Tipologia di edificio	Bene tutelato
Tipologia di cantiere	Manutenzione
Vittime	2 pompieri feriti
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno storico, artistico e strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescio	Guasto elettrico, lavori a caldo o mozzicone di sigaretta
Aggravanti	Ritardo nella rivelazione dell'incendio, difficoltà operative, struttura portante di copertura in materiale combustibile, vento

Tabella 5. Incendio Notre Dame, Parigi

L'incendio si è verificato il 15 aprile 2019, intorno alle ore 18:20, durante un intervento di restauro e manutenzione della copertura, che interessava specificatamente la guglia e una porzione della struttura lignea del tetto, nota come "la foresta", a causa del suo elevato numero di travi in legno antico. Secondo le ipotesi prevalenti, l'incendio sarebbe stato causato dai ponteggi installati sul tetto dell'edificio, dove i lavori di restauro erano in corso da diversi mesi. Gli investigatori hanno formulato l'ipotesi di una scintilla originata da un'operazione di saldatura svolta durante i lavori, sebbene al momento dell'incendio non fossero in corso attività di tale natura. Un'ulteriore ipotesi è che gli operai, avvezzi al consumo di tabacco nel cantiere, avessero disperso mozziconi in modo non corretto. Un'ulteriore ipotesi formulata dagli inquirenti riguarda la possibilità di un cortocircuito; il collegamento elettrico installato sulle campane, dopo il restauro della campana principale nel 2012, potrebbe non aver subito un'installazione ottimale. L'ipotesi del dolo, ovvero della volontà di distruggere un simbolo del Cristianesimo, non è considerata credibile. A sostegno delle prime squadre, furono mobilitate anche le squadre di specialisti e quelle addette alla salvaguardia delle opere d'arte. Il comandante delle operazioni stabilì successivamente di suddividere l'area interessata in quattro settori operativi al fine di contenere e circoscrivere l'incendio. Fu immediatamente avviato un coordinamento efficace con le autorità di polizia per garantire la messa in sicurezza degli accessi alla cattedrale e, di conseguenza, facilitare

l'accesso dei mezzi di soccorso. Le condizioni meteorologiche avverse, caratterizzate da forti venti e dall'assenza di un'adeguata compartimentazione antincendio, contribuirono significativamente alla velocità con cui le fiamme si propagarono nell'edificio. Intorno alle 19:30, la guglia della cattedrale fu completamente avvolta dalle fiamme, crollando sul tetto e danneggiando la navata in pietra. Questo evento evidenziò la vulnerabilità della struttura architettonica della cattedrale, mettendo in luce la necessità di interventi di miglioramento della sicurezza antincendio. Tale situazione ha indotto il personale dei vigili del fuoco, dislocato all'interno della cattedrale, a ritirarsi, in particolare coloro che operavano nella parte superiore dell'edificio. Verso le 21:00, l'incendio ha iniziato a minacciare la propagazione ai campanili della cattedrale, con il rischio concreto che, in caso di caduta delle campane a causa del rogo, anche le torri avrebbero potuto crollare. La salvaguardia della facciata anteriore della cattedrale, che ospita elementi architettonici di notevole pregio, quali il celebre rosone di vetro colorato, uno dei più grandi in Europa, l'organo monumentale, le gallerie e i dipinti, elementi tutti che costituiscono il patrimonio culturale, si poneva come una priorità. Per le ragioni sopra elencate e in spregio al rischio, il comandante delle operazioni deliberò l'invio di diverse squadre sulle scale di pietra della torre nord, proprio quando la struttura minacciava il crollo imminente. Tale manovra si presentava come rischiosa (con un rischio concreto di perdita di risorse umane), ma il suo esito positivo avrebbe garantito la preservazione della maggior parte dell'edificio. La decisione, adottata in un momento opportuno, ha contribuito significativamente al salvataggio dell'edificio. Alle 21:45, i diversi rapporti provenienti dai quattro settori delle operazioni hanno confermato il contenimento delle fiamme, segnando un punto cruciale nella strategia di contenimento del fuoco. In quel momento, si è avvertita la quasi certezza di aver raggiunto un risultato positivo nella lotta per impedire la propagazione delle fiamme ai campanili. Di conseguenza, il crollo è stato evitato e i vigili del fuoco sono riusciti a preservare l'integrità di Notre-Dame. Alle ore 22:30, le fiamme sono state dichiarate sotto controllo, in seguito all'intervento organizzato di numerosi vigili del fuoco che ha impedito la propagazione del fuoco. In data 16 aprile, intorno alle ore 2:00, il centro operativo ricevette la comunicazione di estinzione dell'incendio, a seguito della quale si verificarono solo dei focolai residuali, difficili da raggiungere, che furono estinti durante la notte. Di conseguenza, il rischio di un'ulteriore propagazione dell'incendio fu scongiurato. Successivamente, l'attenzione si concentrò sulla stabilità di alcune componenti della cattedrale.



Figura 25. Cattedrale di Notre Dame [5]



Figura 26. Incendio in corrispondenza del ponteggio [5]



Figura 27. Crollo della guglia [5]



Figura 28. Incendio Notre Dame [5]



Figura 29. Incendio Notre Dame [5]

L'incendio che ha interessato la Cattedrale di Notre-Dame rappresenta un caso di carenza sistemica nella gestione del rischio incendio in cantieri su edifici tutelati. Nonostante la sua fama e il suo valore simbolico, un evento ha evidenziato le lacune delle misure di prevenzione e protezione, anche in presenza di un cantiere pianificato e autorizzato. Questo dimostra che, in caso di vulnerabilità del bene e di valore del patrimonio coinvolto, le misure adottate possono rivelarsi inadeguate o non proporzionali. Tra gli aspetti più critici emersi, vi è l'apparente sottovalutazione del rischio legato alle lavorazioni indirette, come la presenza di impianti elettrici temporanei o materiali da cantiere accatastati in prossimità di strutture altamente combustibili, come la copertura lignea. Anche in assenza di lavorazioni a caldo in atto, l'incendio si è sviluppato e propagato in modo estremamente rapido, mettendo in luce la fragilità intrinseca degli edifici storici in fase di restauro, spesso sprovvisti di compartimentazioni antincendio, impianti fissi di rilevazione o spegnimento, e con vie di accesso complesse per i soccorsi. L'evento in esame mette in luce la mancanza di una cultura tecnica della prevenzione specifica per i cantieri su beni vincolati, che non sia in grado di coniugare la tutela

conservativa con la sicurezza in fase di esecuzione. È fondamentale sottolineare le diverse difficoltà operative, quali i problemi di accesso, dovuti alla complessità della struttura e al rischio permanente di crollo, e la difficoltà di approvvigionamento idrico, a causa dell'elevato numero di mezzi e della limitata capacità della rete idrica. In effetti, alcuni mezzi hanno ricevuto il rifornimento di acqua dalla Senna tramite un mezzo fluviale dei Vigili del Fuoco di Parigi. Inoltre, la presenza di forte vento nelle parti superiori dell'edificio, che ha spinto le fiamme verso i campanili, ha contribuito a creare condizioni sfavorevoli.

Inoltre, è fondamentale considerare che la cattedrale di Notre-Dame non era dotata di un moderno sistema antincendio, come invece era consuetudine nelle altre chiese. La scelta adottata non è stata casuale, bensì probabilmente determinata dalla volontà di preservare l'integrità strutturale del sottotetto, scongiurando il rischio di falsi allarmi e di esodi non necessari dei visitatori. Gli allarmi presenti nella cattedrale erano sottoposti a sorveglianza da parte di un guardiano, il quale, come accaduto nel giorno dell'incendio, era incaricato di verificare la situazione di allarme e di procedere alla chiamata dei soccorsi. Stime approssimative indicano che la salita al sottotetto della cattedrale richiedesse circa sei minuti. Nella migliore delle ipotesi, pertanto, prima che potesse giungere qualcuno con l'idonea attrezzatura per spegnere un incendio, sarebbero dovuti trascorrere circa 15-20 minuti. La cattedrale, in contrasto con altri edifici religiosi, non era dotata di sistemi automatici di spegnimento. Tuttavia, era presente un serbatoio d'acqua, collocato tra le due torri, dietro il colonnato e la galleria, dotato di un tetto di piombo. Questo serbatoio era in grado di fornire acqua per la lotta antincendio. Inoltre, si osserva che l'impianto antincendio della cattedrale non subì modifiche durante il cantiere di restauro. Inoltre, l'architetto incaricato della progettazione dei nuovi sistemi antincendio ha affermato che non è stata effettuata un'analisi approfondita dei rischi di incendio e che non è stato predisposto un adeguato piano di evacuazione per i visitatori e il personale operante all'interno della cattedrale.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Rischio Incendio ed esplosione in edilizia (INAIL)* [5], basato sul rapporto dei vigili del fuoco francesi.

3.3 Incendio ex ponte Morandi, Genova, 31 dicembre 2019

Luogo	Genova
Data	31/12/2019
Tipologia di edificio	Ponte autostradale
Tipologia di cantiere	Nuova costruzione
Zona interessata dall'incendio	Pila del viadotto
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Scintille causate da flessibile
Aggravanti	Vicinanza tra lavorazione e materiale combustibile, operatività V.V.F.: altezza pila (circa 30 m da terra), spazio ridotto

Tabella 6. Incendio ex ponte Morandi, Genova

L'incendio si è sviluppato nelle prime ore di martedì 31 dicembre 2019 nel cantiere edile relativo alla costruzione del nuovo ponte di Genova. Le fiamme hanno interessato l'interno di una delle nuove pile sul lato est, la 13, che è stata completamente avvolta dalle fiamme. Non si sono verificati feriti nonostante l'incendio di vaste proporzioni, e per precauzione è stata temporaneamente chiusa la via sottostante. Secondo la ricostruzione effettuata dai Vigili del fuoco e dalla Polizia, l'incendio sarebbe stato innescato da una scintilla proveniente da un flessibile utilizzato da un operaio, che ha raggiunto del polistirolo. Le fiamme si sono propagate con celerità, estendendosi rapidamente alle impalcature. L'incendio ha interessato il cassero, ovvero la struttura in legno utilizzata per la formazione delle pile di calcestruzzo. Al momento dell'incendio sulla pila 13, vi erano cinque operai impegnati nel lavoro, che fortunatamente non hanno riportato ferite e hanno prontamente abbandonato la postazione di lavoro. I Vigili del Fuoco hanno utilizzato l'autoscala per raggiungere la zona dell'incendio e domarlo con prontezza. L'incendio, sebbene non abbia causato ingenti danni e sia stato prontamente domato, ha comunque provocato dei ritardi nei lavori di costruzione del nuovo ponte. Tali ritardi sono stati causati dalla necessità di effettuare accertamenti sui danni, dalla messa in sicurezza del manufatto e dalla ricostruzione.



Figura 30. Incendio pila 13 [22]



Figura 31. Incendio pila 13, estratto da video [22]

Il caso di studio in esame solleva interrogativi cruciali riguardo alla distanza tra lavorazioni pericolose e materiale combustibile. In situazioni in cui le distanze sono ridotte, come nel caso specifico, a causa delle specifiche del layout del cantiere, diventa essenziale considerare l'impiego di materiali incombustibili come barriera tra la fonte di pericolo e i materiali combustibili, al fine di minimizzare il rischio di innesco di un incendio.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Il Secolo XIX* [22], *Open* [23], *La Repubblica* [24], *La Stampa* [25], *Fanpage* [26], *Il Giornale* [27].

3.4 Incendio Unicoop, Ponte a Greve (FI), 3 giugno 2021

Luogo	Ponte a Greve (FI)
Data	03/06/2021
Tipologia di edificio	Centro commerciale
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione, impermeabilizzazione copertura
Zona interessata dall'incendio	Copertura
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Membrana non da sfiammare con fiamme libere
Aggravanti	Propagazione sul tavolato in legno, indicazioni errate dal preposto

Tabella 7. Incendio Unicoop, Ponte a Greve (FI)

L'incendio si è sviluppato nel primo pomeriggio di giovedì 3 giugno 2021 sulla copertura del centro commerciale Unicoop di Ponte a Greve a Firenze. Il rogo si è sviluppato durante i lavori di impermeabilizzazione. Dalle indagini condotte emerge che la guaina impermeabilizzante, destinata a sostituire una copertura metallica, è stata applicata sul tavolato in legno sottostante utilizzando fiamme libere. Le fiamme si allargarono rapidamente alla copertura del tetto, che poi collassò. Questo procedimento fu in contrasto con le istruzioni fornite dalle schede tecniche del prodotto, che specificavano l'uso di una faccia autoadesiva da applicare mediante semplice pressione. Nel periodo compreso tra il 31 maggio e il 1° giugno 2021, il direttore del cantiere avrebbe illustrato agli operai le modalità di applicazione della guaina. A tal fine, dopo aver collegato un cannello bruciatore a una delle bombole di gas, sarebbe stato mostrato ai lavoratori come utilizzare la fiamma per ottenere l'adesione dei rotoli di guaina lungo i bordi di congiunzione. L'incendio del tetto si sarebbe sviluppato alle ore 14:00 del 3 giugno, mentre un operaio, in conformità con le istruzioni ricevute, utilizzava la fiamma per applicare una guaina. Si ritiene che la causa dell'incendio sia stata l'azione del fuoco su alcuni frammenti di cellophane, che si erano insinuati tra le fessure del tavolato di legno sottostante. Le fiamme si sono propagate rapidamente, interessando la maggior parte della copertura, che ha successivamente ceduto, rendendo inagibile il centro commerciale Unicoop di Ponte a Greve. Fortunatamente, il piano

di evacuazione preventivo della struttura ha funzionato in modo efficace, evitando il verificarsi di feriti o intossicati. Le operazioni di spegnimento presso il centro commerciale di Ponte a Greve sono proseguite per l'intera notte. Le squadre VF intervenute si sono trovate di fronte a un tetto ventilato, che per caratteristiche intrinseche prolunga e complica le operazioni di spegnimento.



Figura 32. Incendio in copertura Unicoop [28]



Figura 33. Incendio in copertura Unicoop [28]



Figura 34. Operazioni di spegnimento incendio [28]

In contrasto con altri casi di incendi precedentemente documentati, in questo specifico caso si evidenzia la necessità di sottolineare l'importanza di una corretta informazione ai lavoratori riguardo alle modalità operative di installazione dell'impermeabilizzazione. La mancata conoscenza adeguata di tali procedure è risultata la principale causa dell'evento dannoso. Se i lavoratori avessero ricevuto istruzioni precise e corrette sulla messa in opera del materiale, il rischio d'incendio non si sarebbe verificato, soprattutto considerando che la guaina era stata installata tramite pressione.

Come in altri contesti analizzati, è fondamentale focalizzare l'attenzione sulle lavorazioni a caldo, in quanto rappresentano una causa significativa di incendi. Oltre alla predisposizione di protezioni passive e attive durante l'utilizzo di fiamme libere, è necessario limitare le interferenze tra tali lavorazioni e il materiale combustibile presente nelle vicinanze dell'area di lavoro. Inoltre, è fondamentale concentrarsi sui materiali impiegati nelle lavorazioni a caldo e valutare le condizioni meteorologiche ottimali.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *vigilfuoco.tv* [28], *FirenzeToday* [29], *Corriere fiorentino* [30], *Sky tv24* [31], *MET* [32].

3.5 Esplosione, Salerno, 16 settembre 2021

Luogo	Salerno
Data	16/09/2021
Tipologia di edificio	-
Tipologia di cantiere	Manutenzione sottoservizi idrici
Vittime	1 persona ustionata gravemente
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno sottoservizi, perdita economica
Probabili cause d'innescio	Tranciamento tubatura del gas
Aggravanti	-

Tabella 8. Esplosione, Salerno

L'incidente si è verificato durante le operazioni di scavo, a causa di un guasto ai sottoservizi idrici, con la presenza di un operaio impegnato nel cantiere. L'incidente si è verificato nella mattinata di mercoledì 15 settembre in viale delle Ginestre, a Salerno. In merito all'incidente, le autorità competenti hanno condotto indagini approfondite, con l'obiettivo di verificare il rispetto delle normative di sicurezza e l'eventuale presenza di errori umani. Secondo le prime ricostruzioni, l'operaio, il quale si trovava in prossimità dei tubi dell'acqua e stava utilizzando un flessibile, avrebbe accidentalmente tranciato un tubo del gas. A causa di ciò, si sarebbe verificata un'esplosione che ha colpito il sessantenne, provocando gravi ustioni di secondo e terzo grado su gran parte del corpo.

In merito all'incidente occorso, si ritiene fondamentale sottolineare che il rischio di incendio non è confinato esclusivamente agli edifici, ma si manifesta anche durante semplici operazioni di manutenzione. In tale contesto, si evidenzia la necessità di una conoscenza preliminare e approfondita dei sottoservizi, nonché della loro corretta identificazione, al fine di prevenire errori che possano compromettere la sicurezza e la salute del lavoratore. Si suggerisce, pertanto, di implementare un sistema di supervisione per tale attività, al fine di mitigare il rischio di incidenti.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *TvOggi* [33], *Fanpage* [34], *Italia2tv.it* [35].

3.6 Incendio, Rigutino (AR), 22 febbraio 2023

Luogo	Rigutino (AR)
Data	22/02/2023
Tipologia di edificio	Residenziale
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione
Zona interessata dall'incendio	Copertura
Vittime	2 persone intossicate
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescio	Ipotesi fiamma cannello a gas per impermeabilizzazione
Aggravanti	Propagazione sul tavolato in legno

Tabella 9. Incendio Rigutino (AR)

L'incendio si è sviluppato il giorno mercoledì 22 febbraio 2023 in un cantiere edile di un edificio residenziale in fase di ristrutturazione situato tra via della Stazione e via delle Capanne, a Rigutino. L'incendio ha avuto origine dalla copertura in legno dell'edificio residenziale. Una delle prime ipotesi formulate è che l'incendio possa essere divampato durante la lavorazione con fiamma libera per la posa della membrana bituminosa, un intervento necessario per l'impermeabilizzazione del tetto. Tuttavia, le cause di tale fenomeno rimangono incerte. Nel corso dell'incidente, due operai che erano impegnati in attività lavorative all'interno del cantiere sono stati esposti a sostanze tossiche, tuttavia non sono in pericolo di vita. Sul posto sono prontamente intervenuti i vigili del fuoco, che hanno impiegato circa mezz'ora per spegnere le fiamme sul tetto dell'abitazione.



Figura 35. Incendio in copertura [36]



Figura 36. Incendio in copertura [36]

Anche in questo caso, le cause d'innesco non sono state chiarite, ma è emersa la necessità di prestare attenzione durante l'esecuzione di lavori a caldo e, quando possibile, sarebbe opportuno implementare protezioni passive e attive per limitare il rischio di innesco.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *ArezzoNotizie* [36], *sr71.it* [37].

3.7 Incendio, Sant'Antonino (TV), 1° marzo 2023

Luogo	Sant'Antonino (TV)
Data	01/03/2023
Tipologia di edificio	Residenziale
Tipologia di cantiere	Nuova costruzione
Zona interessata dall'incendio	Area di stoccaggio del cantiere
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Uso improprio di fiamme libere
Aggravanti	Materiale combustibile nelle vicinanze dell'innescò

Tabella 10. Incendio Sant'Antonino (TV)

L'incendio si è verificato la mattina del primo marzo, intorno alle ore 8:10, nel quartiere di Sant'Antonino, precisamente in via Tognana. All'interno di un cantiere edile, in fase di costruzione di un'abitazione, si è verificato un incendio che ha coinvolto un bancale di polistirolo. In conseguenza dell'incendio, i vigili del fuoco sono intervenuti prontamente per contenere le fiamme. Tuttavia, l'intervento è stato principalmente orientato a mitigare il fumo, che si è rapidamente propagato in un'alta colonna, spinta dal vento, raggiungendo la zona adiacente e le abitazioni vicine. Secondo le prime ricostruzioni, un lavoratore avrebbe appiccato fuoco a un pezzo di carta, che gli è sfuggito di mano a causa delle raffiche di vento. Il dispositivo, una volta acceso, è stato collocato su un supporto di polistirolo. Fortunatamente, i danni si sono limitati al solo bancale e non si sono verificati né feriti né intossicati. Tuttavia, la situazione ha destato preoccupazione tra i lavoratori del cantiere e i residenti locali, allarmati dal fumo. In tale circostanza, la condotta del lavoratore si è rivelata inaccettabile. Le abitudini errate dei lavoratori possono influire sulla sicurezza antincendio, come dimostrato da numerosi casi di incendi causati da bracieri di fortuna, fiamme libere non autorizzate o strumenti per il riscaldamento, nonostante le protezioni passive studiate. Pertanto, si rende necessario garantire il rispetto delle normative di sicurezza sul cantiere, se necessario migliorando le condizioni lavorative.

L'unica fonte disponibile è: *Il Gazzettino* [38].

3.8 Incendio, San Pietro, Corteno Golgi (BS), 28 marzo 2023

Luogo	San Pietro, Corteno Golgi (BS)
Data	28/03/2023
Tipologia di edificio	Esistente
Tipologia di cantiere	Rifacimento copertura
Zona interessata dall'incendio	Area di stoccaggio del cantiere
Vittime	0
Danni materiali	Auto private adiacenti al cantiere, ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica, componenti inquinanti nell'aria
Probabili cause d'innescò	Lavorazioni a caldo
Aggravanti	Materiale combustibile nelle vicinanze dell'innescò, automobili parcheggiate nel cortile del condominio

Tabella 11. Incendio San Pietro, Corteno Golgi (BS)

L'incendio è avvenuto alle ore 14:00 di martedì 28 marzo, nella frazione di San Pietro a Corteno Golgi dove una squadra di operai era impegnata sul tetto dell'edificio per i lavori di rifacimento della copertura. L'incendio sarebbe divampato mentre i lavoratori stavano eseguendo la saldatura di una guaina impermeabilizzante e si è propagato rapidamente, alimentato anche dal vento, distruggendo una porzione significativa del tetto. Gli operai sono riusciti a mettersi in salvo in tempo, poi l'intervento di numerose squadre dei Vigili del Fuoco di Brescia, dei distaccamenti della Val Camonica e pure dei colleghi di Sondrio. Le operazioni di spegnimento dell'incendio, che ha causato ingenti danni, sono state condotte per diverse ore, al termine delle quali è stata effettuata un'accurata bonifica dell'area. Fortunatamente, non si sono registrati feriti o intossicati. Sul luogo dell'incidente sono prontamente intervenuti i Carabinieri che hanno avviato le indagini per determinare le cause dell'incendio. La colonna di fumo è rimasta visibile per un'estensione temporale considerevole, estendendosi per diversi chilometri.



Figura 37. Dettaglio incendio copertura [39]



Figura 38. Dettaglio incendio copertura [39]

Anche in questo caso, le cause d'innescio non sono state chiarite, ma è emersa la necessità di prestare attenzione durante l'esecuzione di lavori a caldo e, quando possibile, sarebbe opportuno implementare protezioni passive per separare fisicamente le fonti di ignizione e i materiali combustibili.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *BresciaToday* [39], *QuiBrescia.it* [40].

3.9 Incendio, Lido Adriano (RA), 27 aprile 2023

Luogo	Lido Adriano (RA)
Data	27/04/2023
Tipologia di edificio	Residenziale
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione, riqualificazione energetica
Zona interessata dall'incendio	Area di stoccaggio del cantiere
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Mozzicone di sigaretta o autoinnescò del materiale depositato
Aggravanti	Materiale combustibile nelle vicinanze dell'innescò, automobili parcheggiate nel cortile del condominio

Tabella 12. Incendio Lido Adriano (RA)

Il giorno 27 aprile 2023, poco dopo le ore 13:00, è stato attivato l'allarme dei vigili del fuoco a causa di un incendio divampato nel cortile del condominio denominato "Anna Maria", situato al civico 7 di viale Rossini a Lido Adriano. L'incendio, le cui cause sono incerte, ha coinvolto una catasta di rotoli di fibra di vetro utilizzati per lavori edili, dalla quale si è alzata una colonna di fumo nero visibile da una distanza considerevole. All'interno dell'edificio, infatti, è stato riscontrato un cantiere aperto, ma nessun operaio era presente al momento dell'ispezione. All'interno del condominio, risiedevano cinque famiglie, i cui membri, fortunatamente, non hanno riportato conseguenze, ma sono stati prontamente evacuati dai vigili del fuoco. I danni economici sono ingenti, con numerosi metri quadrati di fibra di vetro andati in fumo e due autovetture, parcheggiate nel cortile condominiale, completamente distrutte. In merito alle cause dell'incendio, non si esclude alcuna ipotesi, inclusa la possibilità che sia stato appiccato da un mozzicone di sigaretta lanciato sulla catasta di materiale edile.



Figura 39. Incendio del materiale stoccato, foto di Massimo Argnani [41]



Figura 40. Intervento di estinzione dei V.V.F., foto di Massimo Argnani [41]

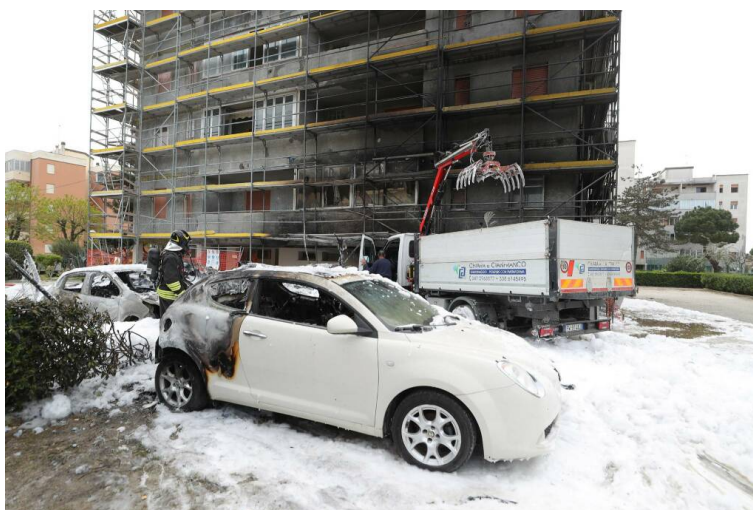


Figura 41. Intervento di estinzione dei V.V.F. [42]

Nonostante le cause non siano state ancora chiarite, è possibile affermare l'importanza del rispetto di una distanza di sicurezza da cumuli di materiale combustibile e/o infiammabile da macchinari,

attrezzature e da ogni altra possibile fonte di innesco. Ulteriori misure che si potrebbero implementare includono il divieto di svolgere attività a caldo o pericolose prima della chiusura del cantiere, sia durante la pausa pranzo che durante la chiusura notturna.

In merito alla questione del dolo, si evidenzia che la normativa vigente già prevede il divieto di fumare in determinate aree e l'accensione di bracieri di fortuna. Tuttavia, nonostante l'esistenza di tali divieti, si riscontrano occasionalmente delle violazioni. Per tale ragione, si rende opportuno sensibilizzare i lavoratori su tali tematiche e promuovere l'adozione di misure che possano indurre un cambiamento nelle abitudini errate.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *RavennaToday* [41], *Ravenna Notizie* [43], *Ravenna 24ore* [44], *il Resto del Carlino* [45], *RavennaeDintorni.it* [46], *La Cronaca di Ravenna* [47].

3.10 Incendio Le Vele, Desenzano del Garda (BS), 23 maggio 2023

Luogo	Desenzano del Garda (BS)
Data	23/05/2023
Tipologia di edificio	Centro commerciale
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione, impermeabilizzazione copertura
Zona interessata dall'incendio	Intero edificio
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica, componenti inquinanti nell'aria
Probabili cause d'innescio	Detonazione di bombola GPL
Aggravanti	Coinvolgimento di bombole di acetilene, ponteggio che circondava l'intera struttura, telo blu (materiale combustibile) al 2° piano, cappotto termico esterno, eventuale stoccaggio di materiali edili e rifiuti

Tabella 13. Incendio Le Vele, Desenzano del Garda (BS)

L'incendio ha avuto inizio nel pomeriggio di martedì 23 maggio 2023 nel centro della città. Il soggetto in esame è un'impresa commerciale con sede nel comune di Desenzano del Garda, denominata "Le Vele". Poco dopo le 17:00, durante le operazioni di impermeabilizzazione del tetto di un vecchio magazzino del polo commerciale, gli operai hanno utilizzato una membrana bituminosa. Secondo una prima ipotesi, la causa dell'incidente sarebbe attribuibile a una bombola di GPL che ha subito una detonazione, proiettando l'ordigno a una distanza di decine di metri e impattando con un muro di un'abitazione adiacente. In un breve lasso di tempo, le fiamme si sono propagate nella zona degli uffici e di un esercizio commerciale specializzato in articoli sportivi, ubicato al primo piano del centro commerciale. È stata osservata la propagazione di una colonna di fumo denso nelle vicinanze. Il personale de Le Vele, i clienti e gli abitanti di un edificio adiacente sono stati evacuati e non si sono registrati feriti o intossicati. Tuttavia, l'incendio ha causato danni significativi all'intera struttura, con un impatto economico stimato in milioni di euro. Sul luogo dell'incidente sono prontamente intervenute otto squadre di vigili del fuoco, equipaggiate con sei autobotti e due autoscale, per gestire l'emergenza

con la massima efficienza. Insieme agli altri soccorritori, erano presenti anche gli agenti della Polizia Stradale, i Carabinieri della Compagnia di Desenzano, il personale della Protezione Civile, che ha distribuito acqua ai presenti, e i tecnici dell'Arpa, incaricati di verificare le condizioni dell'aria. Le prime analisi condotte da Arpa rivelavano la presenza di inquinanti caratteristici della combustione, tra cui stirene e ammoniaca, nell'atmosfera. In risposta a questa situazione, e in via precauzionale e preventiva, è stato raccomandato al sindaco di emettere un'ordinanza che vietasse la presenza in aree all'aperto e che suggerisse ai residenti nelle vicinanze dell'incendio di tenere le finestre chiuse. L'edificio è stato oggetto di un'attenta operazione di restyling negli ultimi mesi.



Figura 42. Incendio copertura [48]



Figura 43. Incendio copertura [49]



Figura 44. Situazione post incendio, estratto da video [50]

Come già ampiamente discusso in altre sedi, la presenza di bombole contenenti gas esplosivi rappresenta un aspetto cruciale da affrontare, soprattutto in concomitanza con lavorazioni a fiamma libera e materiali combustibili.

Un ulteriore aspetto di fondamentale importanza da considerare è la tipologia di edificio. In considerazione del fatto che l'edificio in questione è un centro commerciale, la presenza di persone estranee al cantiere, con diversi gradi di mobilità, comporta un aumento considerevole del rischio che queste possano incorrere.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *vigilfuoco.tv* [51], *Fanpage* [52], *Sky tg24* [48], *YouTube* [50], *BresciaToday* [53], *Il Giornio* [54].

3.11 Incendio, Colli Aniene (RM), 2 giugno 2023

Luogo	Colli Aniene (RM)
Data	02/06/2023
Tipologia di edificio	Residenziale, 8 piani fuori terra
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione, riqualificazione energetica
Zona interessata dall'incendio	Intero edificio
Vittime	1 morto e 17 feriti
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescio	Bombole di acetilene esposte alle elevate temperature
Aggravanti	Coinvolgimento di bombole di acetilene, ponteggio che circondava l'intera struttura, telo blu (materiale combustibile) al 2° piano, cappotto termico esterno, eventuale stoccaggio di materiali edili e rifiuti

Tabella 14. Incendio Colli Aniene (RM)

L'incendio ha avuto inizio nel primo pomeriggio di venerdì 2 giugno 2023 in un edificio di otto piani situato in via Edoardo d'Onofrio, nel quartiere di Colli Aniene, a Roma. L'edificio residenziale interessato dall'incendio, il cui rogo ha reso inagibili anche i due condomini adiacenti, era in fase di ristrutturazione con lavori di efficientamento energetico finalizzati al conseguimento del Superbonus. Tra le questioni che necessitano di chiarimenti, emergono la qualità dei materiali utilizzati per il rivestimento esterno, la sicurezza dell'area di cantiere e la presenza di rifiuti inerti e plastici non custoditi ai margini dell'edificio. I danni risultano ingenti: un decesso, la cui fuga potrebbe essere stata impedita dal ponteggio, che potrebbe aver ostruito l'uscita di emergenza, dieci individui ustionati, di cui tre in condizioni gravi con i polmoni bruciati dal calore, e un ricovero in rianimazione per intossicazione da monossido di carbonio, senza contare altri feriti più lievi e i danni all'edificio, non ancora quantificati. Il numero di individui coinvolti ha superato le 100 unità. Si osserva che un numero considerevole di individui è stato costretto a lasciare i propri appartamenti. Le fiamme si sono propagate ai ponteggi del cantiere dell'edificio, estendendosi fino al settimo piano. Secondo le testimonianze dei presenti,

l'incendio si è propagato rapidamente, interessando l'intera facciata dell'edificio in pochi istanti. Pertanto, le autorità competenti hanno condotto indagini per determinare la qualità dei materiali utilizzati e la loro resistenza al fuoco. La responsabilità potrebbe essere attribuita al cappotto termico dell'edificio o, quanto meno, all'inadeguatezza dei materiali impiegati, che potrebbero non essere adeguati o di scarto. È opportuno sottolineare che, se installato correttamente e realizzato con materiali certificati e conformi alle normative vigenti, il sistema di coibentazione esterna con cappotto termico garantisce un livello di sicurezza elevato, come evidenziato dalle indagini condotte in seguito agli incendi della Torre dei Moro o Antonini a Milano. I pannelli isolanti, sebbene conformi alle normative e provvisti di tutte le certificazioni richieste, se esposti a fiamme libere, possono contribuire alla propagazione dell'incendio. A complicare ulteriormente la situazione, si aggiungono i "forti boati" uditi dagli inquilini poco prima che l'incendio si propagasse. La causa potrebbe essere attribuita alla presenza di bombole di acetilene non adeguatamente protette, che hanno raggiunto la temperatura critica a causa delle elevate temperature di quel giorno, sviluppando l'incendio nelle prime ore del pomeriggio. È possibile che l'incidente sia stato causato da un innesco elettrico. Secondo quanto è stato possibile appurare, l'incendio ha interessato sette piani dell'edificio, propagandosi dall' piano inferiore verso l'alto. Una delle ipotesi predominanti suggerisce che l'origine del danno sia localizzata al piano terra, dove era situato il cantiere, con la presenza di scarti di lavorazione, materiali per la ristrutturazione, nonché attrezzi e macchinari alimentati elettricamente.



Figura 45. Incendio in fase di avanzata propagazione [55]



Figura 46. Intervento dei V.V.F. [55]

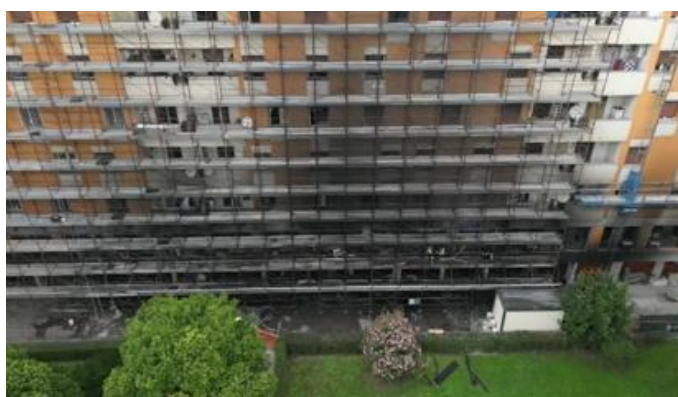


Figura 47. Area dopo estinzione dell'incendio [56]

La gestione dell'isolante esterno durante la fase di installazione rappresenta indubbiamente un aspetto di fondamentale importanza. In effetti, il "cappotto" deve essere applicato su tutta la parete e successivamente intonacato. Pertanto, l'impiego di un isolante combustibile come l'EPS (etilene polietilene stirene) comporta una fase in cui l'isolante è esposto senza alcuna barriera protettiva. Gli isolamenti, solitamente certificati insieme al pacchetto di intonaco e finitura, presentano reazioni al fuoco significativamente diverse. Un ulteriore aspetto rilevante concerne la posizione del ponteggio, che ha ostruito le vie di fuga e presumibilmente causato il decesso di un individuo. La propagazione dell'incendio è stata certamente favorita dalla presenza di rifiuti inerti e plastici incustoditi e abbandonati ai margini della palazzina.

Inoltre, la presenza di bombole di acetile non custodite nelle vicinanze dell'edificio ha contribuito significativamente alla propagazione delle fiamme. È degno di nota che, al momento dell'insorgere dell'incendio, non vi era alcuna presenza umana all'interno del cantiere, presumibilmente in un intervallo di tempo corrispondente alla pausa pranzo, considerata l'ora. Tali tematiche sono oggetto di approfondimento e risulta rilevante implementare misure adeguate.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Sky tg24* [55], *TGR Lazio* [56], *Rinnovabili* [43], *Fanpage* [57], *La Repubblica* [58].

3.12 Incendio, Barletta, 8 giugno 2023

Luogo	Barletta
Data	08/06/2023
Tipologia di edificio	Capannone
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione e impermeabilizzazione copertura
Zona interessata dall'incendio	Copertura
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innescò	Errata posa guaina bituminosa
Aggravanti	Mancanza misure di prevenzione incendi

Tabella 15. Incendio, Barletta

L'incendio ha avuto inizio nella tarda mattinata in un capannone situato in via Trani, nell'area industriale di Barletta. Secondo quanto emerso dalle indagini delle autorità competenti, le fiamme sarebbero divampate dalla guaina del tetto durante i lavori di rifacimento e impermeabilizzazione dell'edificio. Il rogo, che non ha causato feriti o intossicati, è stato prontamente domato dai Vigili del Fuoco. L'incendio ha prodotto una colonna di fumo nero visibile anche a distanza. La fase di cantiere relativa all'applicazione della guaina impermeabilizzante richiede una notevole attenzione, specialmente in caso di utilizzo di una fiamma libera. Nonostante la causa primaria dell'incendio non sia stata ancora determinata con certezza, l'evento ha attirato l'attenzione su una fase critica del cantiere e sull'impiego di fiamme libere.



Figura 48. Incendio copertura [59]

I dettagli raccolti derivano dalla lettura approfondita di varie testate giornalistiche, le quali riportano tutti gli aggiornamenti legati all'incendio in questione.

In assenza di una causa accertata, l'attenzione si concentra sulla procedura di posa della guaina impermeabilizzante, che tipicamente prevede l'impiego di fiamme libere e materiali combustibili e/o infiammabili.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Barletta Viva* [59], *Norba Online* [60], *AntennaSud* [61].

3.13 Incendio Trilogy Towers, Milano, 28 giugno 2023

Luogo	Milano
Data	28/06/2023
Tipologia di edificio	Residenziale, 14 piani fuori terra
Tipologia di cantiere	Nuova costruzione
Zona interessata dall'incendio	Ultimi due piani dell'edificio
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, danno strutturale, perdita economica
Probabili cause d'innesco	Impianti provvisori, attrezzature o cavi
Aggravanti	Area stoccaggio finiture e arredi

Tabella 16. Incendio Trilogy Towers, Milano

L'incendio si è sviluppato nel pomeriggio di mercoledì 28 giugno 2023 al tredicesimo piano di uno dei grattacieli situati in via Gallarate a Milano, all'interno del complesso “*Trilogy Towers*”. Il cantiere in esame riguarda la costruzione di un complesso immobiliare composto da tre torri: Diamond, Platinum e Gold, rispettivamente di 18, 15 e 11 piani. L'evento si è verificato poco prima delle 16:40. Le fiamme si sono sviluppate al tredicesimo piano di una delle torri e successivamente si sono propagate al piano superiore, causando danni parziali e generando una considerevole colonna di fumo. Fortunatamente, i piani in questione non erano ancora occupati, ma erano in fase di arredamento; pertanto, non si sono verificati feriti o intossicati. Al momento dell'incendio, l'appartamento veniva utilizzato come area di "stoccaggio" per i componenti e gli arredi delle unità abitative in fase di completamento, e non era ancora connesso alla rete elettrica. L'incendio è stato domato dai vigili del fuoco, i quali, in una prima fase, hanno proceduto all'evacuazione di tutte e tre le torri, permettendo così di evitare feriti e intossicati. Non è ancora chiaro quale sia stato l'elemento scatenante dell'incendio, che ha avuto origine su un balcone situato al tredicesimo piano dell'edificio. Secondo quanto riferito da un testimone, la sirena antincendio non sarebbe stata attivata. I residenti sarebbero stati allertati dagli operai impiegati nel cantiere del consolato americano, situato nelle vicinanze, che hanno attirato la loro attenzione mediante l'emissione di urla e fischi.



Figura 49. Complesso Trilogy Towers [62]



Figura 50. Incendio tredicesimo e quattordicesimo piano Trilogy Towers [62]



Figura 51. Piani coinvolti nell'incendio, foto di Giulia Pelucchi [63]

I dettagli raccolti derivano da un'attenta analisi di diverse testate giornalistiche. L'incendio in esame sottolinea l'importanza di una fase cruciale del cantiere, ovvero la conclusione dei lavori e l'installazione degli arredi. Tuttavia, è importante notare che, contrariamente a quanto potrebbe essere suggerito dalle apparenze, il cantiere non è da considerarsi completamente ultimato. Infatti, in questa fase, si osserva un rischio maggiore di incendio, dovuto all'uso dell'interno come area di stoccaggio degli arredi e delle finiture, nonché alla mancanza di funzionamento degli impianti. In questa circostanza, la causa non è stata determinata con certezza, tuttavia, può costituire un segnale di allarme significativo che merita un'attenta analisi per mitigare il rischio di incendio associato a tale causa.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Open* [62], *La Repubblica* [64], *Corriere della sera* [65], *MilanoToday* [63].

3.14 Incendio Taranto Due, Taranto, 6 settembre 2023

Luogo	Taranto
Data	06/09/2023
Tipologia di edificio	Residenziale, 10 piani fuori terra
Tipologia di cantiere	Riqualificazione energetica
Zona interessata dall'incendio	Cantiere, primi piani dell'edificio
Vittime	1 persona intossicata
Danni materiali	Ritardo nei lavori, perdita materiale ed economica
Probabili cause d'innesco	Scintilla accidentale
Aggravanti	Cappotto esterno in EPS

Tabella 17. Incendio Taranto due, Taranto

L'incendio ha avuto luogo il giorno 6 settembre 2023, durante le ore mattutine, in via Lago di Pergusa, situata nel comune di Taranto. Il sinistro è avvenuto in concomitanza con i lavori di riqualificazione energetica di un edificio, eseguiti per conto del proprietario dell'immobile. Dall'analisi preliminare, emerge che l'incendio potrebbe essere stato causato dalla combustione di materiali edili accatastati alla base dell'edificio. Lo stabile, la cui costruzione è composta da dieci livelli, era in fase di completamento della struttura di cappotto in EPS. La causa dell'incendio è probabilmente da ricercare in una scintilla accidentale che, entrando in contatto con lo stoccaggio dei pannelli in EPS, ha generato un incendio. Inoltre, la vicinanza dello stoccaggio all'edificio stesso ha fatto in

Le fiamme si sono propagate ai piani superiori del palazzo, che è stato evacuato. Non si sono registrati feriti, ma un'unica persona ha riportato sintomi di intossicazione. Inoltre, l'incendio ha generato un'intensa nube di fumo, visibile anche a grande distanza. Si evidenzia altresì la salvaguardia degli operai impegnati sul ponteggio installato sulla facciata. Sul posto sono prontamente intervenuti tre mezzi dei Vigili del Fuoco, che sono riusciti a domare le fiamme, e gli operatori del 118.



Figura 52. Zona interessata dall'incendio, foto di Francesco Manfuso [66]



Figura 53. Zona interessata dall'incendio, foto di Francesco Manfuso [66]

I dettagli raccolti derivano da un'attenta analisi di diverse testate giornalistiche. In questo specifico caso, la causa probabile, sebbene non definitiva, sembra essere attribuibile a scintille in contatto con materiali combustibili. Tuttavia, la suddetta situazione può essere considerata come un segnale di allerta per la prevenzione incendi. Inoltre, l'incendio in esame solleva interrogativi circa la distanza tra l'edificio e l'area di stoccaggio del materiale combustibile, in questo caso EPS. In effetti, l'incendio, originatosi da una pila di EPS, si è successivamente esteso all'edificio.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Antenna Sud* [67], *La Gazzetta del Mezzogiorno* [68], *L'edicola* [69], *Buonasera 24* [66].

3.15 Esplosione, Udine, 9 novembre 2023

Luogo	Udine
Data	09/11/2023
Tipologia di edificio	Residenziale
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori, perdita materiale ed economica
Probabili cause d'innescò	Contatto cavo alta tensione con macchinario
Aggravanti	Scarica elettrica che ha coinvolto tubo del gas e contatori adiacenti al cantiere

Tabella 18. Esplosione, Udine

L'esplosione, che fortunatamente non ha causato vittime, si è verificata intorno alle 9:30 in via Piutti, nella zona nord-orientale di Udine, all'interno del cantiere allestito per la ristrutturazione del palazzo di edilizia popolare situato al civico 85. Il manovratore di un sollevatore a sfilo ha accidentalmente toccato con il braccio telescopico un cavo dell'alta tensione, causando una scarica elettrica che ha innescato un principio di incendio di un tubo del gas e di alcuni contatori adiacenti al cantiere. L'operaio, che è rimasto illeso, ha spento le fiamme del tubo del gas vicino al mezzo d'opera utilizzando un estintore, mentre i vigili del fuoco, una volta arrivati sul posto, hanno domato le fiamme che avvolgevano i contatori e messo in sicurezza l'area.



Figura 54. Cantiere dove è avvenuta l'esplosione [70]

In questa circostanza, è fondamentale porre l'accento sul rispetto della distanza di sicurezza tra i mezzi operativi e le linee ad alta tensione. Sebbene tale tema sia ampiamente trattato nella normativa vigente, risulta evidente che tale normativa non viene applicata e rispettata in modo adeguato.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *TGR* [70], *telefriuli.it* [71], *Friulioggi.it* [72].

3.16 Incendio San Valeriano, Borgone di Susa (TO), 22 marzo 2024

Luogo	Borgone di Susa (TO)
Data	22/03/2024
Tipologia di edificio	Non specificato
Tipologia di cantiere	Non specificato
Zona interessata dall'incendio	Cassone scarrabile
Vittime	0
Danni materiali	Ritardo nei lavori
Probabili cause d'innescio	Autocombustione rifiuti
Aggravanti	Incendio avvenuto nella notte, cantiere non presidiato

Tabella 19. Incendio Sal Valeriano, Borgone di Susa (TO)

Le squadre dei vigili del fuoco sono intervenute in Borgata San Valeriano a Borgone di Susa (TO) per un incendio all'interno di un cantiere edile che ha coinvolto un cassone scarrabile. L'intervento tempestivo, effettuato alle 23:40 di giovedì 21 marzo, ha impedito che le fiamme si propagassero verso un camion e il materiale custodito nelle vicinanze. Le operazioni di spegnimento e smassamento hanno avuto una durata inferiore a due ore. Sul luogo dell'incidente si sono recati anche i Carabinieri del Nucleo Radiomobile di Susa.



Figura 55. Cassone in cui si è generato l'incendio [73]



Figura 56. Operazioni di estinzione dell'incendio [73]

I dettagli raccolti derivano da una meticolosa analisi di diverse testate giornalistiche e dal sito ufficiale dei Vigili del Fuoco. Nel caso specifico, la causa non è menzionata in nessun testo e, per tale motivo, non è possibile effettuare valutazioni su tale aspetto; tuttavia, è possibile ipotizzare la causa di innesco per autocombustione dei materiali all'interno del cassone o incompatibilità tra essi, generando così l'incendio. Un'ulteriore causa potrebbe essere quella di dolo.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: il sito ufficiale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco [74], *Quotidiano Piemontese* [75], *ValsusaOggi* [76], *TorinoToday* [73], *La Valsusa* [77].

3.17 Incendio Viale Corsica, Firenze, 2 settembre 2024

Luogo	Firenze
Data	02/09/2024
Tipologia di edificio	Uso non specificato, 1 piano fuori terra
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione
Zona interessata dall'incendio	Copertura
Vittime	0
Danni materiali	Perdita materiale ed economica
Probabili cause d'innescò	Non specificata
Aggravanti	Presenza di guaina e strati isolanti

Tabella 20. Incendio Viale Corsica, Firenze

L'incendio si è sviluppato nel pomeriggio del 2 settembre. Il fenomeno in esame ha avuto origine sulla copertura di un tetto in fase di ristrutturazione. I Vigili del fuoco, giunti sul luogo dell'incidente con due autobotti e un'autoscala, hanno avviato le complesse operazioni di spegnimento, iniziando con la rimozione dei laterizi e proseguendo con il taglio della guaina isolante e degli strati di isolante, al fine di arrestare l'espansione dell'incendio verso l'altra sezione dell'edificio. Non sono state coinvolte persone, ma, a scopo precauzionale, sono intervenuti personale sanitario e polizia locale per la gestione della viabilità. Dalle informazioni disponibili, non viene fatta menzione della potenziale causa di innescò.



Figura 57. Copertura interessata dall'incendio [78]



Figura 58. Fabbricato in ristrutturazione in cui è avvenuto l'incendio [78]



Figura 59. Intervento dei Vigili del Fuoco [78]

I dettagli raccolti derivano da una meticolosa analisi di diverse testate giornalistiche e dal sito ufficiale dei Vigili del Fuoco. Nel caso specifico, la causa non è menzionata in nessun testo e, per tale motivo, non è possibile effettuare valutazioni su tale aspetto; tuttavia, è possibile affermare che, al fine di evitare la propagazione dell'incendio, i Vigili del Fuoco hanno prontamente allontanato i materiali combustibili dalla zona coinvolta.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *FirenzePost* [78], *vigilfuoco.tv* [79], *FirenzeToday* [80].

3.18 Incendio Università della Tuscia, Viterbo, 4 giugno 2025

Luogo	Viterbo
Data	04/06/2025
Tipologia di edificio	Esistente
Tipologia di cantiere	Ristrutturazione
Zona interessata dall'incendio	Copertura e propagazione piani sottostanti
Vittime	Lievi intossicazioni
Danni materiali	Ritardo dei lavori, danno strutturale, perdita economica, interruzione attività
Probabili cause d'innescio	In fase di indagine, probabili lavori a caldo
Aggravanti	Crollo lucernaio, sostanze altamente infiammabili, rischio chimico

Tabella 21. Incendio Università della Tuscia, Viterbo

L'incendio di vaste dimensioni ha avuto inizio nella mattinata del 4 giugno 2025, intorno alle ore 10:00, presso la Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia, situata a Viterbo. Le fiamme si sono originate dal tetto dell'edificio, dove erano in corso interventi di manutenzione, per poi propagarsi rapidamente ai laboratori di chimica e genetica a causa del crollo di un lucernaio in plexiglass. All'interno di tali locali erano presenti sostanze altamente infiammabili, tra cui etanolo e protossido di azoto, che avrebbero provocato esplosioni, come riportato dalle prime testimonianze. L'incendio ha causato il crollo parziale della copertura, rendendo necessario l'immediato sfollamento di studenti, personale docente e tecnico. In via precauzionale, sono state effettuate le seguenti operazioni: lo sgombero temporaneo del vicino Tribunale e di alcune abitazioni limitrofe. Un operaio, inizialmente considerato disperso, è stato ritrovato vivo. Una densa colonna di fumo nero si è alzata sopra la città, risultando visibile anche a diversi chilometri di distanza. Le squadre dei Vigili del Fuoco, con il supporto di un'unità specializzata dell'Esercito, continuano a operare per contenere e garantire la sicurezza dell'area interessata. Le squadre dei Vigili del Fuoco coinvolte nell'intervento sono quattro, con rinforzi provenienti da Roma e Terni. Le operazioni di spegnimento si sono rivelate particolarmente complesse a causa dell'espansione dell'incendio ad altri edifici del complesso universitario.



Figura 60. Incendio copertura Unitus [81]



Figura 61. Incendio copertura Unitus [81]



Figura 62. Incendio copertura Unitus [82]



Figura 63. Incendio copertura Unitus [82]

L'evento tragico, la cui causa non è stata ancora accertata, ma che è verosimilmente attribuibile a lavorazioni a caldo in copertura, focalizza l'attenzione sulla gestione delle suddette attività. Si rende pertanto necessario implementare misure precauzionali per le quali è opportuno intraprendere specifiche azioni preventive. Ad esempio, tramite il rispetto di una distanza di sicurezza o attraverso l'implementazione di idonee protezioni al fine di separare le fonti d'innesco e i materiali combustibili. Inoltre, in questo caso, le caratteristiche degli ambienti sottostanti, costituiti da laboratori contenenti sostanze infiammabili, le quali sono state coinvolte dall'incendio, hanno contribuito all'aggravamento della situazione.

Le fonti a cui si è fatto riferimento sono: *Ingenio* [83], *ViterboToday* [81], *Geopop* [84], *Fanpage* [85], *il Sole 14 ore* [86], *Linkedin* [87].

4 Statistica degli incendi in cantieri edili

4.1 Statistica incendi da Annuario Statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

L'attività statistica riveste una notevole importanza e presenta ampi margini di applicazione, in quanto può essere impiegata come strumento di valutazione dell'efficacia delle procedure adottate per l'espletamento dei compiti istituzionali, nonché dell'efficienza della Pubblica Amministrazione nel suo complesso. L'impiego di un approccio metodologico e sistematico nella raccolta, elaborazione e analisi dei dati può costituire un contributo di notevole valore per l'attività di pianificazione strategica e di monitoraggio delle politiche di sviluppo di un'organizzazione complessa. Tale approccio può risultare fondamentale per supportare le decisioni strategiche e per valutare l'efficacia delle procedure adottate.

A tal fine, risulta importante consultare gli Annuari Statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco [88], il cui obiettivo principale è fornire un'analisi statistica dettagliata delle attività del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco con particolare attenzione agli interventi di soccorso tecnico urgente. In particolare, si è voluto far riferimento agli Annuari 2024, 2023, 2022, 2021 e 2020, che rispettivamente coprono l'anno precedente, con i quali è possibile osservare la tendenza degli interventi di soccorso tecnico urgente che ricadono nella tipologia "incendi ed esplosioni". È importante considerare tuttavia che, nella definizione di tali tipologie di interventi, rientrano diverse cause di incendio ed esplosione e, pertanto, non è attribuibile l'origine solo al contesto cantieristico. Infatti, il documento si riferisce a molteplici interventi come: incendio canna fumaria, incendi camini, incendi autovetture e così via. In riferimento ai cantieri edili, solamente all'interno dell'edizione 2024 sono riportate informazioni relative, legate agli interventi eseguiti inerenti ai luoghi con frequenza $\geq 0,2\%$ rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni".

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti ai luoghi con frequenza $\geq 0,2\%$ rispetto al totale degli «incendi ed esplosioni»			
LUOGO	DETTAGLIO LUOGO	INCEDI ED ESPLOSIONI	
		N°	% su totale
Altri luoghi	Altre	2628	1,10%
	Non considerato	1504	0,63%
	Fiumi, corsi d'acqua, zone fluviali	825	0,35%
	Zone costiere (di mare)	649	0,27%
	Cantieri edili	494	0,21%
Ambienti ad uso particolare	Altri	1364	0,57%
	Scuole di ogni ordine e grado	773	0,32%
	Ospedali / case di cura / poliambulatori	605	0,25%
	Strutture ricettive turistico alberghiere	529	0,22%
Ambienti e luoghi di civile abitazione	Appartamenti e locali di abitazione	38016	15,90%
	Edifici in genere	10282	4,30%
	Altri	5074	2,12%
	Autorimesse private	2192	0,92%
	Campi nomadi	848	0,35%
	Locali quadri elettrici	801	0,33%
	Costruzioni provvisorie (dormitori di operai, baracche, ecc.)	730	0,31%
Depositi di combustibili solidi	Depositi di foraggi, paglia e simili	903	0,38%
	Depositi di rifiuti	819	0,34%
Esercizi commerciali	Ristoranti, mense e simili	1185	0,50%
	Altri	663	0,28%
Località agricole o per allevamento	Campi	30495	12,75%
	Zone rurali	20025	8,37%
	Boschi	6408	2,68%
	Altre	2870	1,20%
	Zona alberata	2442	1,02%
	Fabbricati agricoli	1502	0,63%
	Capannoni	1226	0,51%
Luogo non definito	Non definito	13994	5,85%
Zona di sosta e traffico	Strade e/o piazze cittadine	39861	16,67%
	Strade extraurbane	19743	8,26%
	Autostrade e tangenziali	4756	1,99%
	Cortili	2895	1,21%
	Parcheeggi all'aperto	2550	1,07%
	Giardini	1907	0,80%
	Altre	646	0,27%
	Sedi ferroviarie	520	0,22%
Zone di montagna in genere	Altre	487	0,20%

Figura 64. Informazioni cantieri edili, interventi di soccorso tecnico urgente inerenti ai luoghi con frequenza $\geq 0,2\%$ rispetto al totale degli “incendi ed esplosioni”, estratto [89]

Pertanto, i cantieri edili sono tra i luoghi coinvolti negli interventi per incendi ed esplosioni, con 494 casi registrati nel 2023 (0,21% del totale). Sebbene tale percentuale sia inferiore rispetto ad altri contesti (ad esempio, abitazioni civili o strade), la menzione specifica dei cantieri evidenzia l'importanza di monitorare questo ambito, spesso caratterizzato da criticità legate a materiali infiammabili, attrezzature elettriche e dinamiche operative complesse. Questo aspetto assume una rilevanza ancora maggiore se si considera che tale voce non era inclusa nelle edizioni precedenti. Tuttavia, tale percentuale non riflette la reale criticità del settore, in quanto i cantieri rappresentano ambienti temporanei in cui coesistono dinamiche complesse.

Oltre a ciò, è possibile analizzare le cause d'innescio, sebbene sia fondamentale ricordare che queste ultime si applicano a tutti gli interventi connessi a "incendio ed esplosione":

- Cause elettriche;

- Camino e/o canna fumaria;
- Mozzicone di sigaretta e fiammiferi;
- Non corretta o mancanza di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza;
- Autocombustione;
- Surriscaldamento di motori e macchine;
- Elettrodomestici;
- Altro.

Inoltre, si sono definite situazioni dolose o colpose.

È possibile osservare l'evoluzione delle statistiche negli anni tramite il seguente grafico:

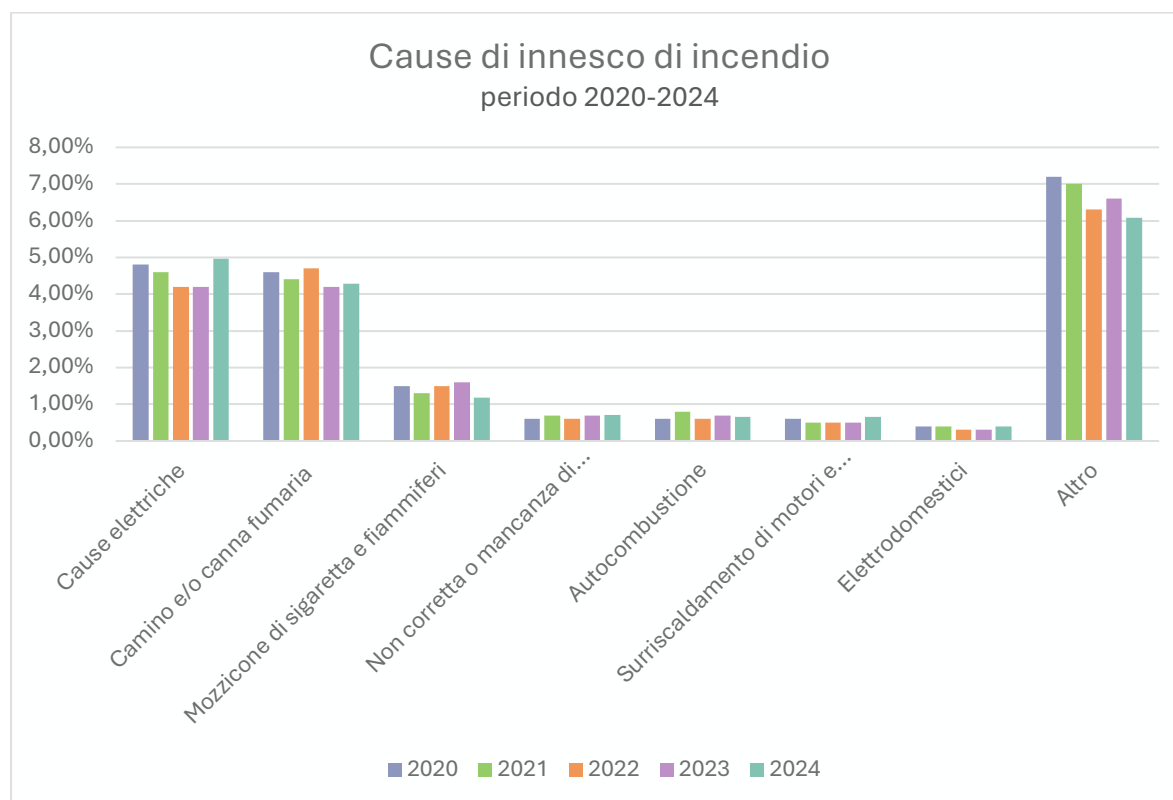


Figura 65. Andamento delle cause di innesco nel periodo 2020-2024

Come è possibile evincere dall'analisi dei dati raccolti, le cause maggiormente frequenti risultano attribuibili a motivazioni di natura elettrica e legate a camini e/o canne fumarie. In particolare, con riferimento alla prima problematica, si osserva che nell'Annuario 2024 si è riscontrato un aumento della percentuale, che si era stabilizzata nei due anni precedenti. Per quanto riguarda la seconda causa, si osserva una diminuzione dei dati rispetto al 2022, ma un incremento nel 2024. La categoria "Altro" include tutte le situazioni non esplicitamente menzionate, ma che tuttavia ricoprono una percentuale

significativa. In ogni caso, si osserva una tendenza alla diminuzione del numero totale di interventi correlati a questa casistica negli ultimi anni.

Sono state analizzate anche le sostanze coinvolte negli interventi definiti “incendi ed esplosioni” con frequenza $\geq 0,2\%$. È fondamentale sottolineare che tale definizione si applica a tutti gli interventi di soccorso tecnico urgente classificati come "incendi ed esplosioni", non esclusivamente a quelli svolti in cantiere. In particolare, sono individuate differenti cause tra cui “combustibili solidi” che comprendono:

- Sterpaglie;
- Rifiuti;
- Altri;
- Legno e sughero;
- Arbusti e macchia mediterranea;
- Fuliggine;
- Arredamenti;
- Fieno, paglia e simili;
- Alberi;
- Cellulosa e carta;
- Plastica;
- Piantagioni in genere;
- Strutture portanti in legno;
- Stoffe, abbigliamento e fibre;
- Polveri di legno e simile;
- Prodotti alimentari e/o dolciumi;
- Carbone naturale e vegetale.

Oltre a questi, sono individuate ulteriori sostanze classificate come:

- Altri, che comprende:
 - Quadri elettrici parti d’impianto elettrico;
 - Apparecchi elettrici utilizzatori;
 - Bidone ecologico o cassonetto;
 - Palo elettrico;
 - Macchinari in genere;
 - Non considerato;
 - Altri.
- Altri infiammabili e combustibili gassosi e/o solidi, cioè il GPL;
- Elementi da costruzione e strutturali come:

- Camini, canne fumarie, comignoli;
- Tetti;
- Altri;
- Copertura in genere.
- Mezzi di trasporto, che comprendono:
 - Autovetture;
 - Autocarri – autosnodati, rimorchi, semi-rimorchi;
 - Mezzi d’opera – macchine operatrici (trattori escavatori etc.);
 - Motoveicoli – ciclomotori;
 - Altri.
- Non definita.

Per quanto concerne il cantiere, risulta interessante osservare alcune delle sostanze individuate dai Vigili del Fuoco, come gli elementi da costruzione, i mezzi d'opera e autocarri, nonché vari i combustibili solidi che sono frequentemente presenti in cantiere (es. legno, plastica, cellulosa e carta, strutture portanti in legno, polveri di legno e simili). Ulteriori informazioni utili per l'analisi delle sostanze presenti sono fornite dai quadri e dagli apparecchi elettrici.

Analogamente a quanto effettuato in precedenza, i dati provenienti dagli Annuari Statistici sono stati esaminati per sviluppare il seguente grafico, con l'obiettivo di analizzare la tendenza delle diverse sostanze coinvolte in tale categoria di interventi nel periodo 2020-2024.

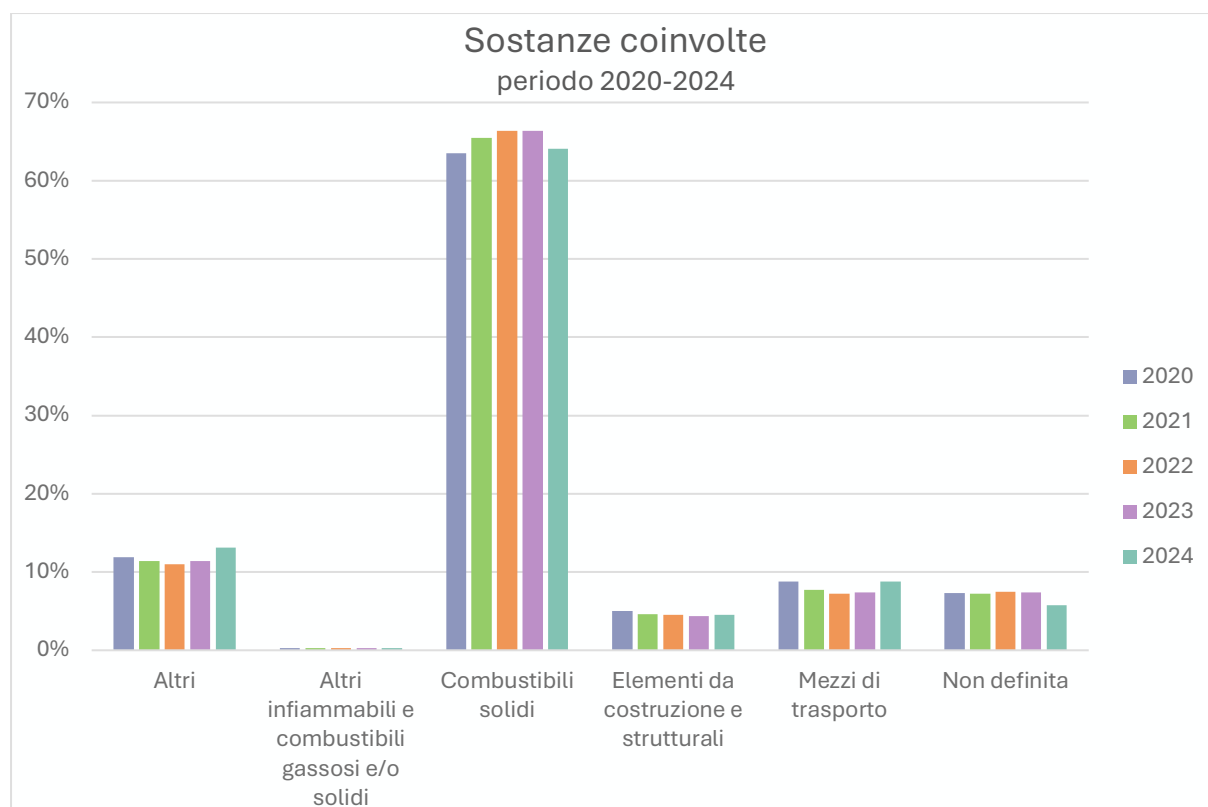


Figura 66. Andamento delle sostanze coinvolte negli incendi/esplosioni nel periodo 2020-2024

Il grafico illustra chiaramente che i combustibili solidi rappresentano le sostanze prevalenti negli interventi dei Vigili del Fuoco contro incendi ed esplosioni. Nonostante leggere variazioni nel tempo, questi composti rimangono i principali responsabili degli incidenti. Al secondo posto si osservano le sostanze rientranti in "Altri", categoria che include una varietà di materiali. Gli "altri infiammabili e combustibili gassosi e/o solidi" mostrano una presenza trascurabile, con percentuali estremamente ridotte. L'analisi delle sostanze maggiormente rappresentate, come stabilito dall'Annuario 2024, riveste un'importanza altrettanto significativa. In particolare, si osserva un incremento o una diminuzione di alcune voci rispetto agli anni passati; infatti, si evidenzia un aumento delle voci "Altri" e "Mezzi di trasporto", mentre si osserva una riduzione di sostanze incluse in "Combustibili solidi" e "Non definita". Per quanto riguarda gli elementi da costruzione e strutturali, si è verificato un lieve aumento rispetto ai due anni precedenti, mentre le sostanze infiammabili e combustibili gassose e/o solide rimangono stabili.

In ogni caso, è possibile affermare che, sebbene le analisi svolte dai Vigili del Fuoco costituiscano una fonte utile di valutazione, non risultano presenti informazioni strettamente legate al cantiere edile. Pertanto, sebbene l'Annuario dei Vigili del Fuoco fornisca dati preziosi per una valutazione macro del rischio incendio, la mancanza di informazioni specifiche sui cantieri ne limita l'utilità operativa per un'analisi del rischio mirata.

Inoltre, il dato del 0,21% potrebbe suggerire una percezione di minore urgenza per i cantieri, ma tale percentuale non tiene conto della loro esposizione temporale, che risulta limitata ma con un rischio più elevato rispetto a una civile abitazione, e della gravità potenziale di un singolo incendio, che può causare danni significativi. È opportuno evidenziare che negli Annuari vengono registrati esclusivamente gli interventi di soccorso tecnico d'urgenza effettuati dai Vigili del Fuoco, escludendo automaticamente gli eventi pericolosi estinti dagli addetti antincendio. Di conseguenza, il valore definito potrebbe non riflettere accuratamente gli effettivi inneschi occorsi.

4.2 Report NFPA: “Fires in Structures Under Construction”

Un'ulteriore fonte di rilevante interesse è costituita dalla pubblicazione di Richard Campbell [3] del 2023, che affronta il tema degli incendi in strutture in fase di costruzione. Tale pubblicazione, redatta da Richard Campbell e appartenente alla *National Fire Protection Association* (NFPA), è una delle principali fonti di riferimento per comprendere le tematiche legate alla sicurezza antincendio. La NFPA, fondata nel 1896, è un'organizzazione senza scopo di lucro che si distingue a livello globale per il suo impegno nella riduzione del rischio di incendi e altre emergenze attraverso la creazione e la promozione di standard e codici di prevenzione incendi, protezione delle persone e salvaguardia delle proprietà. Tali testi rappresentano un punto di riferimento a livello europeo, in quanto presentano una varietà di applicazioni e possibilità rispetto ai soli standard europei.

Secondo quanto affermato da Campbell nella sua pubblicazione, nel periodo compreso tra il 2017 e il 2021, i Vigili del Fuoco locali sono intervenuti in una media stimata di 4.440 incendi all'anno in cantieri di nuova costruzione negli Stati Uniti. Grazie a questa analisi, è stato possibile giungere a una serie di conclusioni.

In primo luogo, è possibile osservare il numero stimato di incendi nelle strutture in fase di costruzione dal 2008 al 2021. L'analisi della linea di tendenza evidenzia un incremento del numero di incendi durante il periodo considerato, con una crescita significativa negli anni successivi al 2015, dopo un calo registrato tra il 2008 e il 2010.

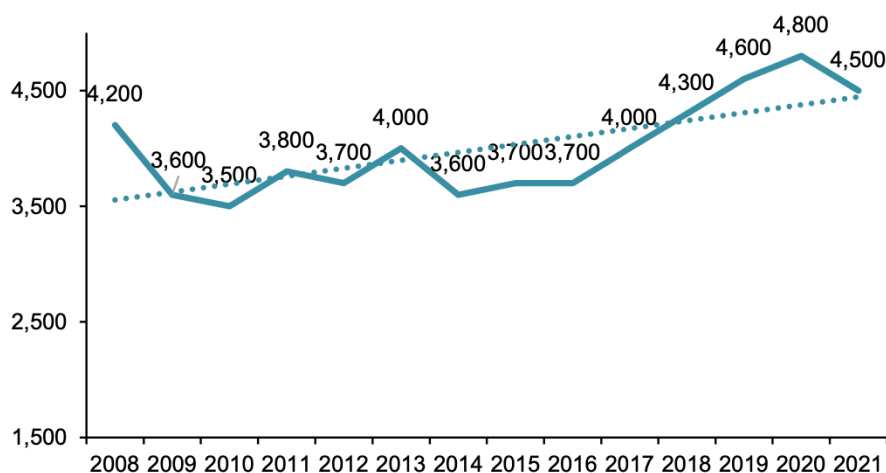


Figura 67. Trend di incendi in edifici di nuova costruzione [3]

In secondo luogo, la maggior parte degli incendi nelle strutture in fase di costruzione ha interessato proprietà residenziali (76%), risultando la principale causa di decessi, feriti e danni diretti alla proprietà. Un ulteriore 6% degli incendi ha interessato proprietà commerciali o aziendali, mentre gli incendi in proprietà esterne o speciali hanno inciso per il 5%, ma sono stati responsabili dell'11% dei danni diretti alla proprietà.

Property Use	Fires	Civilian Injuries	Direct Property Damage
Residential	76%	76%	79%
Mercantile or business	6%	5%	3%
Outside or special property	5%	4%	11%
Assembly	3%	5%	2%
Storage	3%	2%	1%
Health care, detention, correction	2%	7%	2%

Figura 68. Destinazioni d'uso di strutture in costruzione maggiormente coinvolte da incendi [3]

Per quanto riguarda le principali cause di incendio nelle strutture in costruzione, è risultato che le attrezzature da cucina sono la principale causa di incendi nei cantieri edili (19%). Sebbene questi incendi fossero generalmente di lieve entità, hanno causato circa un quinto dei feriti segnalati. Le apparecchiature di distribuzione elettrica e di illuminazione, d'altra parte, sono responsabili del 15% degli incendi, ma contribuiscono a quasi la metà (46%) dei danni diretti alla proprietà. Un ulteriore 14% degli incendi è attribuibile ad apparecchiature di riscaldamento mentre quelli di origine dolosa sono stati responsabili dell'8%. Infine, i materiali da fumo sono responsabili del 2% degli incendi.

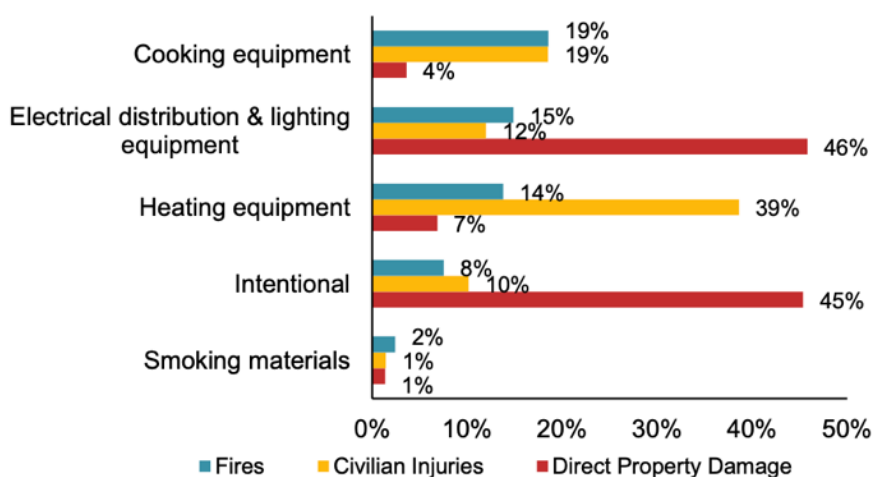


Figura 69. Cause principali di incendio nei cantieri di nuova costruzione [3]

Il confronto con la percentuale di incendi per mese rivela informazioni significative. In particolare, si osserva che il numero di incendi nelle strutture in costruzione raggiunge il picco a gennaio, con un 11% del totale annuale, e tende a essere più elevato nei mesi freddi, come dicembre, gennaio e marzo. Una possibile spiegazione per questi incidenti potrebbe essere attribuita all'utilizzo improprio di dispositivi di riscaldamento o bracieri di fortuna da parte dei lavoratori per mitigare le basse temperature. Le percentuali più basse di incendi si sono verificate a luglio, settembre e ottobre.

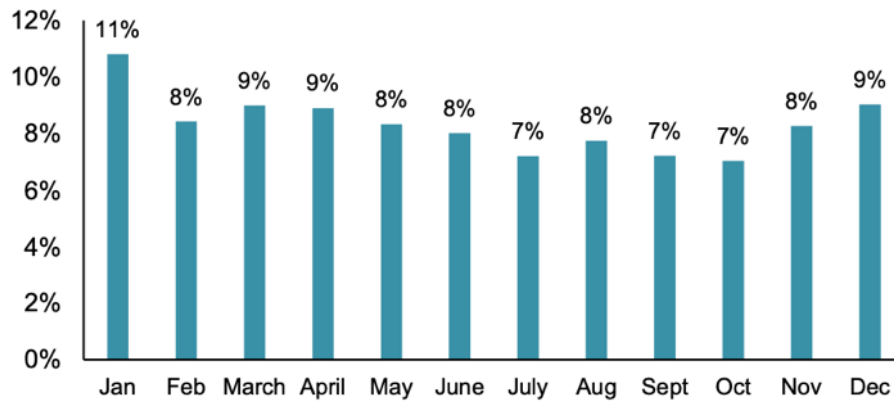


Figura 70. Percentuale mensile di accadimento degli incendi [3]

Osservando gli orari di picco in cui accadono gli incendi, si osservano che i periodi di massima intensità sono stati osservati tra le 12:00 e le 21:00, e tra le 16:00 e le 20:00. Il dato in esame riveste notevole interesse, in quanto focalizza l'attenzione su una problematica largamente diffusa: l'impiego di macchinari per lavorazioni a caldo nelle ore antecedenti alla chiusura giornaliera del cantiere. Infatti, un macchinario surriscaldato lasciato incustodito e in prossimità di materiale infiammabile può costituire un'origine d'incendio. Considerata la chiusura del cantiere e la conseguente assenza di personale e lavoratori, si evidenzia la difficoltà di intervenire prontamente per estinguere l'incendio in fase iniziale.

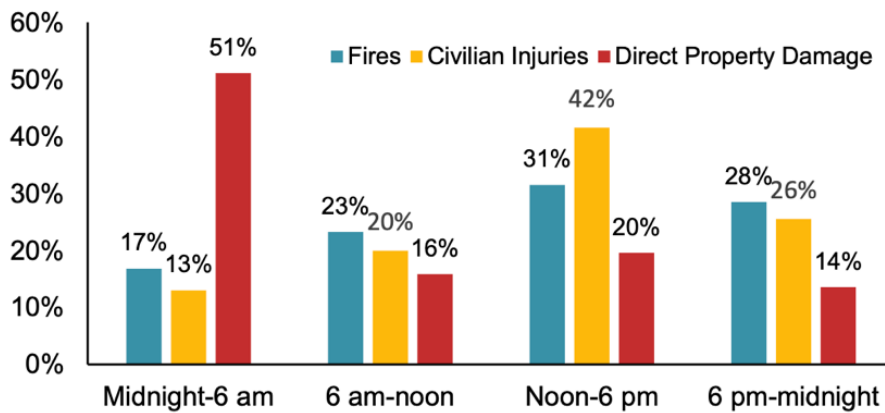


Figura 71. Orari in cui sono scoppiati gli incendi nei cantieri [3]

5 Metodologia di analisi e valutazione del rischio incendio ed esplosione nei cantieri

A seguito di un'accurata analisi normativa e della ricognizione di alcuni recenti incendi occorsi in cantiere, si evince che la valutazione del rischio di incendio ed esplosione rappresenta un aspetto fondamentale nella pianificazione della sicurezza nei cantieri temporanei o mobili. È emerso che le disposizioni vigenti in materia di prevenzione e protezione risultano inadeguate e non consentono una valutazione del rischio incendio adeguata e completa, nonostante l'esperienza acquisita a seguito di eventi tragici che si sono verificati in passato. Pertanto, si evidenzia la necessità di un'adeguata valutazione del rischio incendio che tenga conto della complessità e variabilità intrinseca dei cantieri.

L'obiettivo di questo capitolo è proporre una metodologia strutturata e coerente per l'analisi e la valutazione del rischio incendio ed esplosione nei cantieri, ponendo l'attenzione sulle specificità del contesto edile e sulla correlazione tra le lavorazioni previste, i materiali impiegati, le attrezzature utilizzate e le potenziali sorgenti di innesco. Il metodo proposto si basa su un'analisi sistemica del cantiere, in cui ciascuna attività viene esaminata non solo in termini di pericolosità intrinseca, ma anche in relazione alla sua interazione con l'ambiente di lavoro e con la presenza di altre lavorazioni interferenti. È importante sottolineare che tale metodologia non si basa su un'analisi quantitativa del rischio, come indicato nella matrice dei rischi, ma si concentra sull'identificazione degli elementi specifici associati al rischio di incendio ed esplosione, al fine di prevedere le misure preventive e protettive necessarie.

Procedendo con l'analisi della metodologia, si evidenzia che questa si articola in una serie di passaggi sequenziali che devono essere seguiti per garantire un'adeguata caratterizzazione della lavorazione.

Nel contesto dell'analisi dei rischi, un primo passo fondamentale è il riconoscimento delle fonti di pericolo. Questo processo implica l'identificazione degli elementi peculiari menzionati in precedenza, tra cui: le possibili fonti di ignizione, i materiali combustibili che potrebbero essere implicati nell'innesco, le caratteristiche dell'ambiente circostante, la gestione della lavorazione e dei materiali utilizzati, e la valutazione degli errori umani possibili.

In seguito, è necessario comprendere se le lavorazioni rientrano nell'ambito di applicazione dei controlli da parte dei Vigili del Fuoco, secondo quanto stabilito dal D.P.R. 151/2011. Questo aspetto è di fondamentale importanza, poiché le attività lavorative possono essere soggette o meno a tali controlli. Nel caso in cui le lavorazioni siano considerate soggette, si rende obbligatoria l'applicazione del Codice di Prevenzione Incendi. Al contrario, qualora le attività non siano soggette, è essenziale analizzare le classi di reazione al fuoco dei materiali, dei sistemi e dei prodotti utilizzati, le condizioni di utilizzo e

stoccaggio, e le modalità operative. Tutto ciò con l'obiettivo di identificare e applicare le specifiche misure preventive e protettive menzionate nelle linee guida presentate nell'elaborato: “Rischio incendio ed esplosione in edilizia” edito da INAIL e nella guida europea “*Fire prevention on construction sites*”.

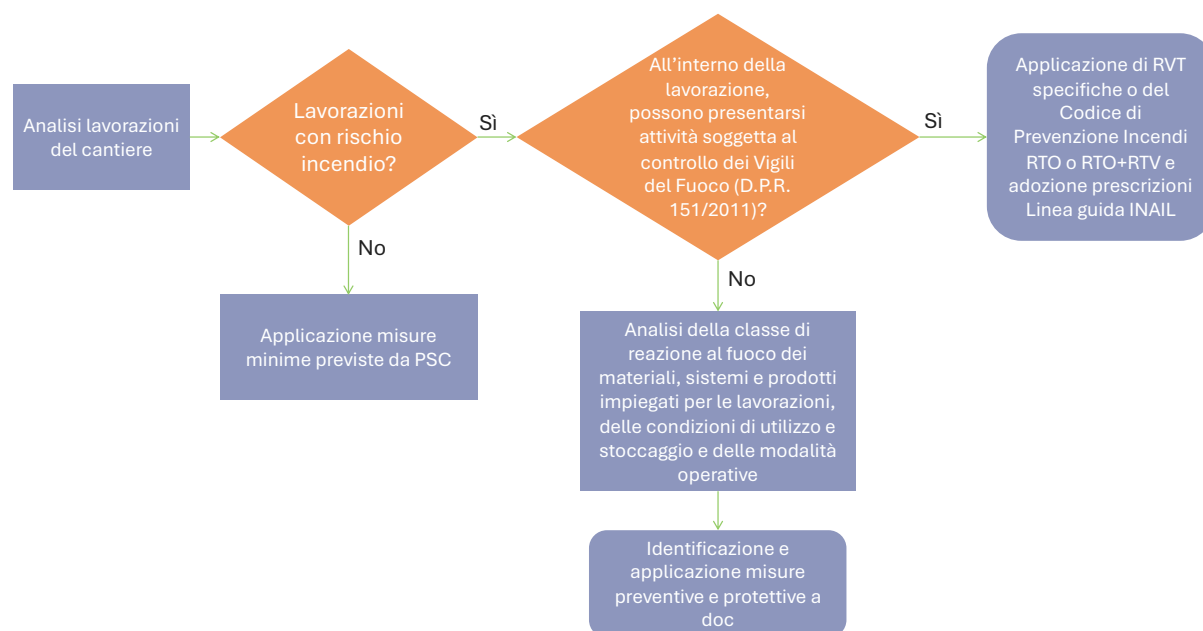


Figura 72. Metodologia proposta all'analisi e valutazione del rischio incendio in cantiere

La metodologia proposta è stata sviluppata al fine di rispondere alla necessità di implementare procedure di analisi e valutazione del rischio incendio all'interno dei cantieri, con l'obiettivo di ridurre le probabilità di insorgenza di incendi e garantire la sicurezza delle persone, dei beni e dell'ambiente, e quindi di ridurre il rischio al minimo.

La finalità ultima di questo elaborato è pertanto la riduzione degli incendi in cantiere dove la valutazione dei rischi di incendio deve rappresentare quindi un requisito imprescindibile per consentire al datore di lavoro di implementare le misure necessarie per garantire la sicurezza dei lavoratori e delle altre persone presenti sul luogo di lavoro.

6 Caso applicativo: Nuova costruzione ad uso Asilo Nido

In seguito allo sviluppo della metodologia finalizzata all'analisi e alla valutazione del rischio incendio in cantiere, si prevede la sua applicazione a un caso reale al fine di convalidare il ragionamento.

A tal fine, verrà analizzato un cantiere che prevede la costruzione di un nuovo edificio destinato all'insediamento di un complesso scolastico ad uso "asilo nido".

È opportuno considerare che il progetto in esame si trova attualmente alla fase preliminare di progettazione; dunque, la documentazione disponibile è rappresentata dal progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE). Pertanto, si può affermare che le informazioni dovranno essere oggetto di verifiche e validazioni durante la fase successiva, rappresentata dall'elaborazione del progetto esecutivo.

6.1 Descrizione dell'opera

6.1.1 Inquadramento territoriale e normativo dell'area di intervento

Il lotto di intervento è attualmente adibito a cortile di pertinenza dell'edificio che ospita la scuola primaria; pertanto, risulta libero da edifici e/o manufatti che possano limitarne o comprometterne l'uso. Il lotto in esame presenta una configurazione rettangolare, con confini definiti a est e a sud dal cortile di pertinenza della scuola adiacente, a nord dalla strada pubblica e a ovest dall'impianto sportivo. Il contesto circostante è prevalentemente caratterizzato da edifici residenziali di bassa elevazione e da strutture destinate ai servizi pubblici.

Dall'analisi urbanistica condotta, emerge che l'edificio in esame rientra nelle "aree per l'istruzione", come stabilito dal Piano Regolatore Generale Comunale (P.R.G.C.).

6.1.2 Descrizione dell'intervento

L'obiettivo principale del progetto di costruzione è la realizzazione di uno spazio destinato all'uso di asilo nido, con una capacità massima di 30 bambini di età compresa tra zero e tre anni. Tale fabbricato, inserendosi nel tessuto urbanistico esistente, fungerà da servizio per la comunità, prevedendo spazi di convivialità e aree multidisciplinari che consentano lo svolgimento di attività sia fisiche sia cognitive.

In particolare, l'edificio è costituito da due corpi principali, quasi rettangolari, che si intersecano tra loro e convergono in un'agorà centrale, uno spazio a pianta quadrata che rappresenta il fulcro sociale dell'istituto. Tale ambiente si distingue per l'elevata altezza interna rispetto agli altri locali dell'istituto, fungendo da elemento centrale del complesso che verrà utilizzato quotidianamente dai bambini più

grandi per attività ludiche e come area di ritrovo per tutti gli scolari, oltre che come potenziale spazio di accoglienza per i genitori in occasione di eventi particolari.

Pertanto, è possibile identificare e definire sei principali zone di interesse:

- Servizi generali;
- Divezzi 1;
- Divezzi 2;
- Lattanti;
- Agorà e ingresso.

Ad eccezione della prima, le rimanenti aree sono destinate alle attività didattiche.

Per quanto concerne la zona "servizi generali", la stessa ospiterà i locali di servizio dell'istituto, quali:

- Locale di sporzionamento pasti veicolati;
- Locale lavaggio e locale dispensa;
- Locale lavanderia;
- Servizi igienici e spogliatoi personale;
- Locale deposito;
- Locale ufficio;
- Locale tecnico;
- Ambulatorio.

All'interno delle aree "divezzi" e "lattanti" sono invece previsti locali per il gioco e per il riposo, ripostigli e servizi igienici.

L'accesso principale è situato nella parte nord del complesso, dove si trova un'area cortilizia delimitata su tre lati dall'edificio stesso. Sono inoltre previsti ingressi di servizio per il personale e i fornitori.

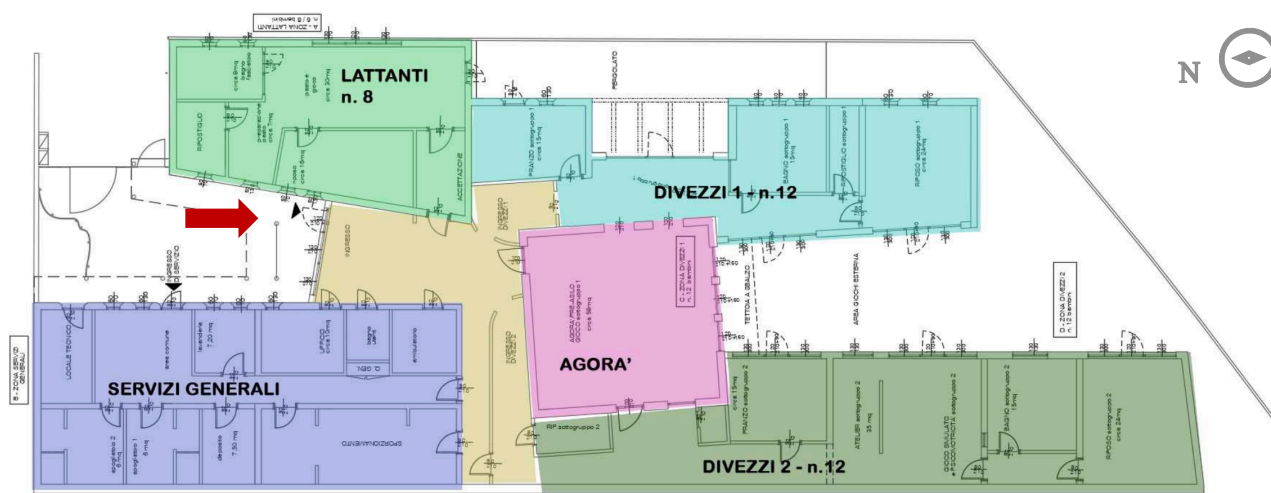


Figura 73. Planimetria: individuazione aree principali e ingresso principale (freccia rossa)

Per quanto concerne il piano delle coperture, le inclinazioni previste ammontano a due: una per l'ala orientale e una per l'ala occidentale, che si intersecano a quote differenti.

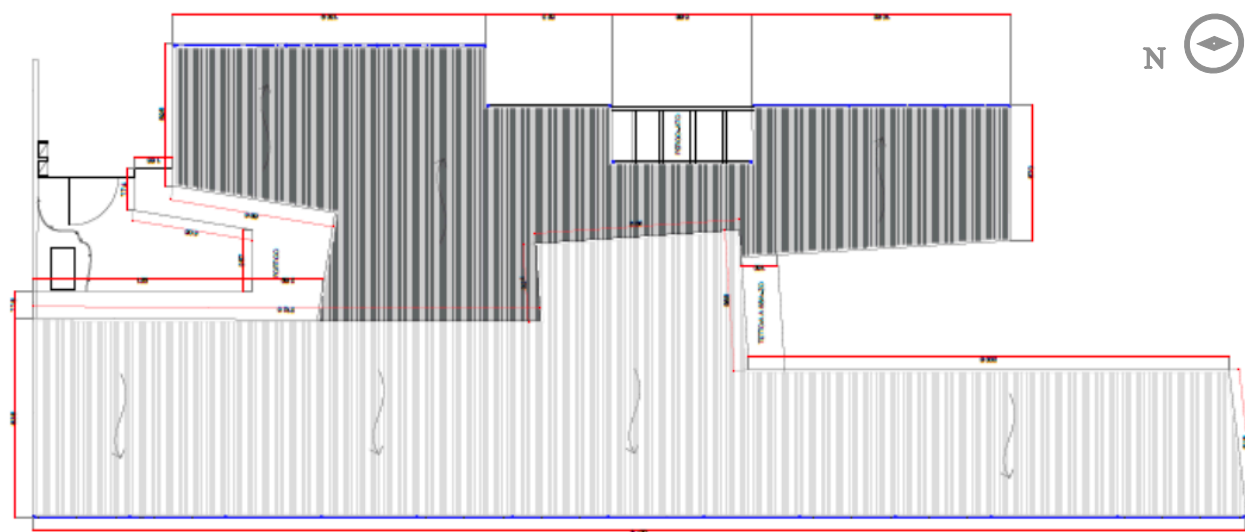


Figura 74. Planimetria copertura

L'edificio è stato concepito come costruzione ecosostenibile, realizzata a secco, disassemblabile e riciclabile al termine del suo ciclo vitale. La scelta del sistema strutturale da impiegarsi è ricaduta sul sistema a pannelli in X-lam portanti, con divisori interni in cartongesso, in cui la sola fondazione è realizzata in calcestruzzo armato, costituita da una platea unitaria per tutto il volume. Il sistema X-lam, combinato con l'impiego di travi in legno lamellare, consente la realizzazione di una struttura totalmente portante in legno. Gli interni, trattati con contropareti e divisori in cartongesso, consentono lo sviluppo degli impianti in parete, garantendone altresì una facile manutenibilità. Le finiture ipotizzate per gli spazi di fruizione includono l'impiego di pavimentazione vinilica colorata e antisdrucchiolo, con l'eccezione della zona cucina-lavaggio e servizi, dove si prevede l'uso di superfici lavabili in gres per il pavimento e rivestimenti lavabili fino a metri 2.00 in piastrelle di ceramica o gres. All'esterno, si prevede la realizzazione di un sistema a cappotto in poliuretano o prodotto con capacità termiche similari, finito con intonachino bianco.

Descritta sinteticamente l'opera oggetto di realizzazione, si sono definiti gli interventi necessari che vengono riassunti di seguito:

- Opere preliminari di preparazione del lotto, le quali prevedono
 - Interventi di scavo e reinterro, compresa rullatura e livellatura del terreno da riporto, al fine di garantire un piano di appoggio delle strutture planare e sullo stesso livello;
 - Realizzazione di muro di contenimento esterno in calcestruzzo armato
- Opere di nuova costruzione – Interventi strutturali:

- Realizzazione di platea di fondazione in CAO e pareti portanti dell'intero fabbricato in X-LAM con travi principali del sistema di copertura in legno lamellare.
- Opere di nuova costruzione – Interventi edili:
 - Interventi edili per realizzazione del costruito in ogni sua parte: stratigrafie orizzontali e verticali, opere da serramentista, opere di completamento della copertura e rispettive lattonerie, finiture interne ed esterne
- Opere di nuova costruzione - Interventi impiantistici fluidomeccanici:
 - Intervento di installazione di nuovo impianto di climatizzazione, a servizio dell'intero fabbricato, costituito da pompa di calore aria-acqua di tipo monoblocco, compresa l'installazione delle reti di distribuzione impiantistica, dei terminali di emissione e di tutti i componenti di sicurezza e a corredo dell'impianto termico;
 - Intervento di installazione di produzione acqua calda sanitaria a servizio dei servizi igienici del complesso scolastico e del locale cucina e locali accessori;
 - Impianti idrico-sanitari, reti di scarico delle acque nere, reti di recupero delle acque grigie e meteoriche.
 - Intervento di installazione nuovi impianti di ventilazione meccanica controllata e ricambio aria all'interno di tutti gli ambienti del complesso scolastico.
- Opere di nuova costruzione - Interventi impiantistici elettrici e speciali:
 - Intervento di realizzazione impianto elettrico per la distribuzione dell'energia elettrica (luce e forza motrice);
 - Intervento di realizzazione illuminazione ordinaria
 - Intervento di realizzazione illuminazione di sicurezza
 - Intervento di realizzazione impianto di rivelazione e segnalazione allarme incendio
 - Intervento di realizzazione impianto trasmissione dati
- Opere di completamento (non ricomprese nell'appalto principale):
 - Intervento di realizzazione impianto fotovoltaico.
 - Opere di completamento esterne, con posa pavimentazioni e pensiline esterne, oltre che di corpi illuminanti ordinari e di sicurezza esterni

Il progetto è redatto in conformità alle normative e regolamenti tecnici vigenti al momento della stesura. Pertanto, i materiali e i prodotti previsti devono essere conformi ai requisiti stabiliti dalle normative legislative vigenti.

6.1.3 Censimento delle interferenze

Sono state condotte analisi sulle interferenze nelle vicinanze dell'area di interesse, con un'attenzione particolare per:

- Interferenze interrato con reti tecnologiche, considerata la presenza del sito in un contesto urbanizzato. Il gruppo in esame include gasdotti, fognature, acquedotti, condotte di irrigazione a pressione, linee elettriche a media e bassa tensione, linee telefoniche, nonché rinvenimenti archeologici.
- Interferenze aeree che includono una serie di elementi circostanti, quali reti, alberature e altri fattori che possono interferire con le operazioni di cantiere. Questo gruppo comprende tutte le linee elettriche ad alta tensione, una parte delle linee elettriche a media e bassa tensione, l'illuminazione pubblica e parte delle linee telefoniche.
- Interferenze superficiali, come linee ferroviarie, canali e fossi irrigui a cielo aperto.

Per quanto concerne la prima tipologia di interferenze, i rilievi preliminari effettuati hanno evidenziato la presenza di una rete fognaria esterna al lotto in esame; pertanto, si prevede un'analisi dettagliata nella fase esecutiva, se necessario. In linea generale, le lavorazioni che implicano lo scavo devono essere condotte in conformità con un insieme di prescrizioni specifiche.

Per la seconda e terza tipologia, in prossimità dell'area oggetto di intervento, non sono state riscontrate linee aeree e interferenze superficiali di alcun tipo che possano compromettere il progetto.

6.2 Analisi del cantiere e delle lavorazioni

La metodologia teorizzata verrà successivamente applicata a ciascuna delle lavorazioni previste nel cantiere oggetto di analisi, al fine di analizzare il rischio di incendio e individuare le misure di prevenzione e protezione necessarie per minimizzare la probabilità di innesco e le potenziali conseguenze negative.

I principali riferimenti normativi presi in considerazione sono quelli inizialmente menzionati nel presente elaborato, ossia il D.lgs. 81/2008 Titolo IV e il D.M. 3 agosto 2015. Inoltre, si riveleranno fondamentali l'impiego della monografia elaborata dall'INAIL relativa al rischio incendio ed esplosione in edilizia e il documento "*Fire prevention on construction sites*".

Di seguito si riportano le attività elencate nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) fornito, al fine di comprendere la tipologia e natura delle lavorazioni:

ALLESTIMENTO AREA DI CANTIERE

- Realizzazione della recinzione e degli accessi al cantiere
- Realizzazione di schermatura di cantiere antirumore e antipolvere
- Allestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili
- Allestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi
- Allestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere
- Allestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti
- Montaggio del ponteggio metallico fisso
- Montaggio di parapetti provvisori
- Realizzazione di impianto di messa a terra del cantiere
- Realizzazione di impianto elettrico del cantiere
- Realizzazione di impianto idrico del cantiere

FASE I

- Scotico di terreno vegetale dall'area di cantiere
- Scavo a sezione obbligata per fondazione nuovo muro controterra di contenimento
- Scavo a sezione obbligata per posa nuove condotte principali FOGNATURA
- Getto in calcestruzzo per le strutture in fondazione
- Getto in calcestruzzo per opere non strutturali
- Realizzazione della carpenteria per le strutture in fondazione
- Realizzazione della carpenteria per le strutture in fondazione con casseforme riutilizzabili
- Lavorazione e posa ferri di armatura per le strutture in fondazione
- Posa di recinzioni e cancellate: smontaggio e rimontaggio in nuova posizione di cancello metallico esistente

- Riempimento per livellamento lotto
- Rinterro di scavo eseguito a macchina
- Strutture in CA
- Scavo di splateamento
- Realizzazione della carpenteria per le strutture in fondazione con casseforme riutilizzabili
- Getto in calcestruzzo per opere non strutturali
- Getto di calcestruzzo di cordoli in c.a. in fondazione
- Lavorazione e posa ferri di armatura di cordoli in c.a. in fondazione
- Getto di calcestruzzo di cordoli in c.a. in elevazione
- Lavorazione e posa ferri di armatura di cordoli in c.a. in elevazione
- Strutture in legno
- Montaggio di tavolame in legno lamellare
- Montaggio di pannelli prefabbricati in X-lam per pareti portanti
- Montaggio di travi in legno

FASE II

- Esecuzione di tracce eseguite a mano
- Esecuzione di tracce eseguite con attrezzi meccanici
- Applicazione esterna di pannelli isolanti su superfici verticali
- Posa in opera di soglie, pedate, alzate in marmo
- Montaggio di serramenti esterni
- Montaggio di scossaline e canali di gronda
- Montaggio di pluviali e canne di ventilazione
- Tinteggiatura di superfici esterne
- Formazione intonaci esterni tradizionali
- Montaggio di serramenti esterni
- Montaggio di copertura in lamiera grecata
- Realizzazione di contropareti e controsoffitti
- Realizzazione di pareti divisorie interne in cartongesso
- Montaggio di porte interne
- Posa di pavimenti per interni in ceramica
- Posa di rivestimenti interni in ceramica
- Posa di pavimenti per interni in materie plastiche
- Formazione di massetto per pavimenti interni
- Tinteggiatura di superfici interne
- Formazione intonaci interni
- Formazione di massetto per pavimenti interni

- Impianti ed accessori per bagno disabili
- Montaggio di accessori per bagno disabili
- Montaggio di apparecchi igienico sanitari per bagno disabili
- Impianti idrico-sanitario e del gas
- Montaggio di apparecchi igienico sanitari
- Realizzazione della rete di distribuzione di impianto idrico-sanitario
- Installazione di scaldacqua a pompa di calore per produzione acqua calda sanitaria
- Smaltimento acque reflue
- Posa di collettori fognari in materie plastiche
- Impianti termici
- Collegamento idraulico di generatore di calore
- Realizzazione della rete di distribuzione e posa impianto termico a pavimento
- Impianti per la qualità dell'aria indoor
- Realizzazione di impianto di ventilazione meccanica controllata
- Impianti elettrici
- Cablaggio elettrico
- Realizzazione di impianto elettrico
- Realizzazione di impianto di messa a terra
- Impianti d'illuminazione
- Installazione di corpi illuminanti
- Realizzazione di impianto di illuminazione ad alta efficienza
- Impianti antincendio
- Posa della cisterna per impianto antincendio
- Realizzazione della rete e dei sistemi di controllo per impianto antincendio
- Impianti di rete dati, fonia e videoconferenze
- Realizzazione di impianto di rete dati
- Realizzazione di impianto citofonico

SMANTELLAMENTO CANTIERE

- Disallestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi
- Disallestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili
- Disallestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere
- Smontaggio del ponteggio metallico fisso
- Smontaggio di parapetti provvisori
- Disallestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti
- Smobilizzo del cantiere
- Pulizia generale dell'area di cantiere

- Smobilizzo del cantiere

Come per ogni cantiere, la fase iniziale comprende l'allestimento del cantiere stesso, che include la realizzazione del layout e la predisposizione delle aree previste. Successivamente, la fase I prevede la pulizia dell'area oggetto di intervento e l'inizio delle operazioni di realizzazione della fondazione, con attività di scavo e getto del calcestruzzo armato, per poi proseguire con le opere strutturali (muri portanti in X-lam e travi in legno lamellare). La fase II, invece, concerne la realizzazione delle opere edili e degli impianti. Infine, si procede con lo smobilizzo del cantiere e la pulizia generale dell'area.

Una riflessione sul rischio incendio, effettuabile mediante l'analisi del PSC, evidenzia che tale rischio è stato associato esclusivamente ai macchinari impiegati, quali autogrù, autocarro, pala meccanica e piattaforma sviluppabile, nonché alle operazioni di saldatura. Questo elemento risulta di fondamentale importanza in quanto consente di affermare che il rischio di incendio in cantiere viene sottovalutato. A titolo esemplificativo, non si fa riferimento al potenziale innesco associato allo stoccaggio di materiali combustibili, né alle attività che potrebbero generare scintille o a possibili cortocircuiti o guasti delle attrezzature elettriche e dell'impianto di cantiere.

Tali attività verranno successivamente esaminate mediante la metodologia sviluppata, al fine di identificare le misure utili per la riduzione del rischio incendio.

6.2.1 Applicazione metodologia sviluppata

Come delineato in precedenza, la metodologia sviluppata si basa essenzialmente sull'analisi delle lavorazioni complessive, seguita da un'indagine sulla presenza di rischi di incendio durante la loro realizzazione, nonché sulla gestione dei materiali e sulla produzione di rifiuti. Qualora la risposta a tale quesito sia negativa, è possibile applicare le misure previste dal Piano di Sicurezza e Coordinamento e dai rispettivi POS (Piani Operativi di Sicurezza) di ciascuna impresa esecutrice. In caso di risposta affermativa, è necessario interrogarsi sulla possibilità che durante la lavorazione si possano presentare attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco, come definite dal D.R.P. 151/2011. In caso di risposta affermativa, sarà necessario applicare le specifiche RTV o il Codice di Prevenzione Incendi tramite le RTO o le RTO con RTV. In caso di risposta negativa, si prevede lo svolgimento di un'analisi dettagliata dell'attività, finalizzata all'identificazione di alcuni parametri caratteristici, quali la classe di reazione al fuoco dei materiali coinvolti, le loro condizioni di utilizzo e stoccaggio, le loro modalità operative, e altri parametri pertinenti. Tale operazione risulta propedeutica per l'identificazione delle misure preventive e protettive che verranno successivamente applicate al cantiere. A supporto di ciò, si rende necessaria la consultazione della monografia INAIL e del *“Fire prevention on construction sites”*

Tale processo consente di identificare con precisione le attività a rischio incendio e di sviluppare misure che garantiscano la sicurezza delle persone presenti in tali contesti e degli operatori coinvolti nelle operazioni.

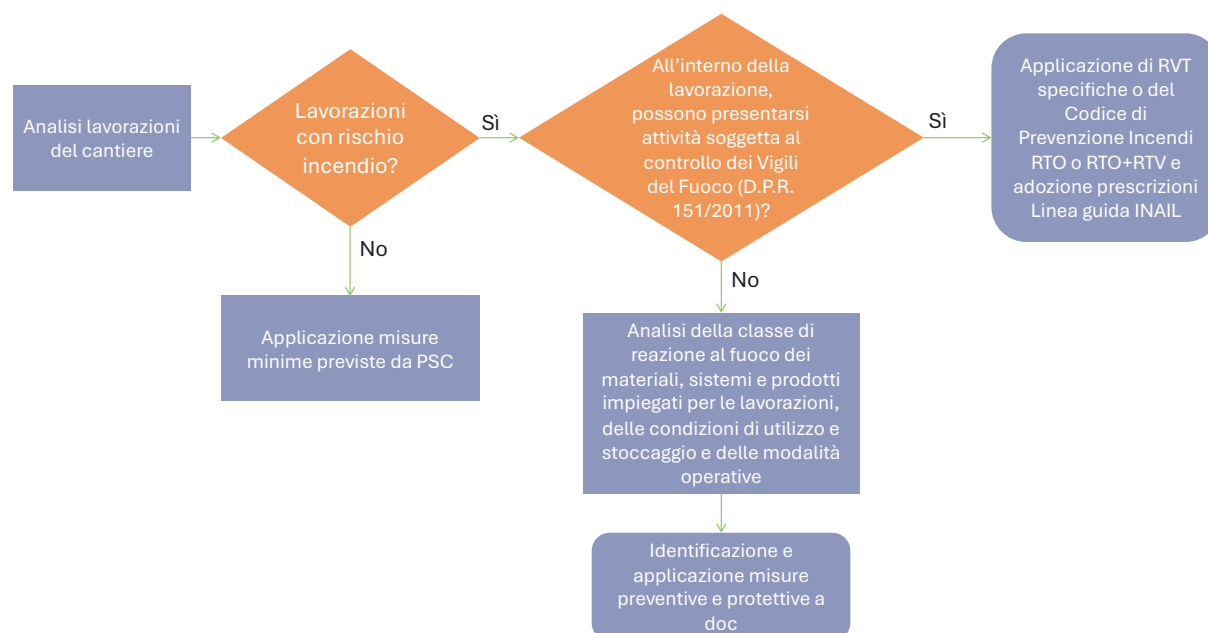


Figura 75. Metodologia sviluppata

Un'osservazione rilevante che emerge dall'analisi del Piano di Sicurezza e Coordinamento è che il rischio di incendio ed esplosione è associato alla presenza e all'utilizzo di macchinari quali autocarri, dumper, escavatori, ecc., nonché alle attrezzature che generano fiamme libere, come quelle associate alle operazioni di impermeabilizzazione a caldo (guaine catramate). Tale approccio, tuttavia, non considera alcuni aspetti cruciali. Per tale ragione, al fine di eseguire un'analisi dettagliata del rischio incendio ed esplosione, nel prosieguo dell'elaborato si è cercato di evidenziare le attività che implicano tale rischio ma che il PSC non identifica come tali (classificate come “attività AGGIUNTE con rischio incendio ed esplosione”). Ciò è possibile osservarlo attraverso lo schema riportato di seguito.

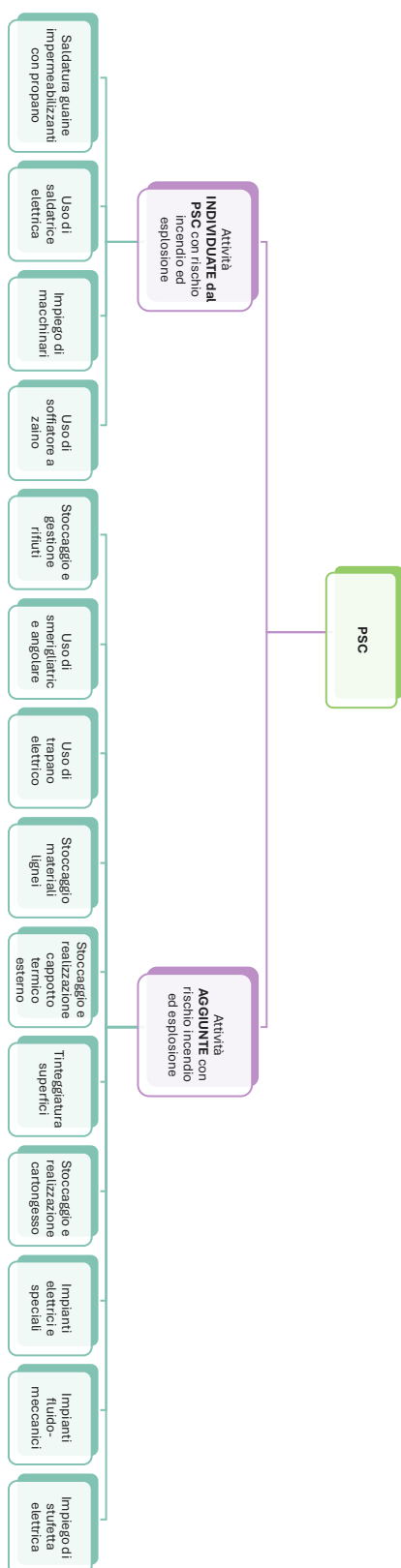


Figura 76. Analisi attività che implicano rischio incendio ed esplosione

Di conseguenza, nei paragrafi successivi si procederà con l'analisi delle attività definite e l'applicazione della metodologia sviluppata con l'obiettivo di definire le misure per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori all'interno di un cantiere.

Saldatura guaine impermeabilizzanti con propano

La saldatura con propano è una tecnica utilizzata spesso nei cantieri edili per diverse operazioni. Si tratta di una metodologia che sfrutta la combustione del gas propano (C_3H_8) per generare una fiamma ad alta temperatura, che può essere direzionata mediante un cannello collegato alla bombola tramite un tubo flessibile. È importante sottolineare che il propano può essere utilizzato da solo, senza l'aggiunta di ossigeno. In questo caso, il sistema è composto da tre elementi fondamentali: la bombola di propano, dotata di valvola di sicurezza e riduttore di pressione, il tubo flessibile che veicola il gas dal serbatoio al cannello e il cannello o bruciatore, con ugelli intercambiabili e regolatori di fiamma. Il funzionamento si basa sulla combustione del propano con l'ossigeno atmosferico, generando una fiamma la cui temperatura può superare i 1.900-2.000 °C. Questa procedura viene impiegata per la posa di guaine bituminose, il riscaldamento di superfici, il diserbo termico, le lavorazioni su materiali con basso punto di fusione e la rimozione di vernici e residui. In questi casi, si parla spesso di "saldatura a fiamma" o "lavorazioni a caldo" più che di saldatura vera e propria. Quando è necessario aumentare la temperatura della fiamma (oltre i 2.500 °C), come nel caso della saldobrasatura su rame, ottone o acciaio o del taglio termico dei metalli, si utilizza una bombola di ossigeno in pressione insieme a quella di propano. La fiamma risulta più sottile, precisa e ad alta energia, ideale per giunzioni metalliche in ambito impiantistico o per lavorazioni di precisione. In linea generale, nel settore dei lavori edili, si prende in considerazione unicamente la lavorazione che richiede l'impiego di una bombola di propano. Il suo vantaggio è la portabilità e rapidità d'uso: non necessita di alimentazione elettrica né di preparazioni complesse, a differenza di altre tecniche di saldatura.

Come menzionato in precedenza, l'utilizzo del propano è molto comune durante la posa di membrane impermeabilizzanti su coperture piane. In questo processo, l'operatore riscalda la parte inferiore della guaina bituminosa fino a renderla adesiva, facendola aderire al supporto, solitamente un massetto cementizio o pannelli isolanti. Tale operazione è generalmente eseguita da due operatori: uno dirige la fiamma, mentre l'altro preme la guaina. Questo processo richiede un controllo costante della fiamma per evitare surriscaldamenti, fenomeni di scollamento precoce o, peggio, l'innesco di materiali combustibili adiacenti.



Figura 77. Posa membrana impermeabilizzante [90]

Questa tecnica presenta rischi di incendio significativi legati a:

Fonti di ignizione

- **Fiamma diretta:** in quanto la fiamma del cannello può raggiungere temperature fino a 1.980°C, sufficienti a incendiare materiali vicini;
- **Perdite di gas:** provocate da raccordi difettosi, valvole non sigillate o tubi flessibili danneggiati causano fughe di gas, formando miscele esplosive con l'aria;
- **Scintille accidentali,** contatto della fiamma con superfici riflettenti (es. lamiere) o attività parallele (es. taglio elettrico);
- **Scorie e materiale fuso,** in quanto la caduta di gocce su materiali infiammabili può innescare incendi.
- **Propano:** gas infiammabile, risulta pericoloso anche a temperature ambiente;
- **Essendo il propano più pesante dell'aria,** esso tende a ristagnare in aree basse creando sacche esplosive;

	○ Surriscaldamento delle bombole: esposizione a fonti di calore o alla radiazione solare diretta può causare un surriscaldamento delle bombole, aumentando la pressione interna e il rischio di esplosione.
Materiali combustibili	○ Materiali combustibili impiegati nella lavorazione; ○ Materiali combustibili nelle vicinanze.
Contesto operativo	○ Lavori a caldo nelle adiacenze; ○ Presenza di vento che propaga fiamme e materiali caldi.
Gestione inadeguata	○ Mancata pulizia dell'area con conseguente accumulo di materiali combustibili; ○ Assenza di protezioni.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Manipolazione impropria; ○ Altro...

Tabella 22. Criticità della saldatura con propano

In conseguenza di ciò, è stata applicata la metodologia sviluppata allo scopo di comprendere e individuare le fasi critiche dal punto di vista antincendio dell'utilizzo di tale attrezzatura.

La saldatura prevista comporta elementi intrinseci di rischio, strettamente legati al suo svolgimento, quali la produzione e l'utilizzo di fiamme libere e la necessità di stoccare bombole di propano (altamente infiammabile). Definita tale premessa, si rende necessario comprendere la presenza o meno di attività soggette ai sensi del D.P.R. 151/2011, verificata solamente per:

- Il deposito di gas infiammabili in recipienti mobili, lettera a) compressi con capacità geometrica complessiva $\geq 0,75\text{m}^3$;

	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili:			
	a) Compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ :		rivendite, depositi fino a 10 m ³	Impianti di riempimento, depositi oltre 10 m ³
3	b) disciolti o liquefatti per quantitativi in massa complessivi superiori o uguali a 75 kg:	Depositi di GPL fino a 300 kg	rivendite, depositi di GPL oltre 300 kg e fino a 1.000 kg, depositi di gas infiammabili diversi dal GPL fino a 1.000 kg	Impianti di riempimento, depositi oltre 1.000 kg

Figura 78. Attività 3, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con la Circolare 20/09/56 n. 74 valida fino a 5000 kg, mentre per valori superiori con il D.M. 13/10/94 aggiornato al 09/11/2020 [92]. Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nelle lavorazioni (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia Inail e la “*Fire prevention on construction sites*”.

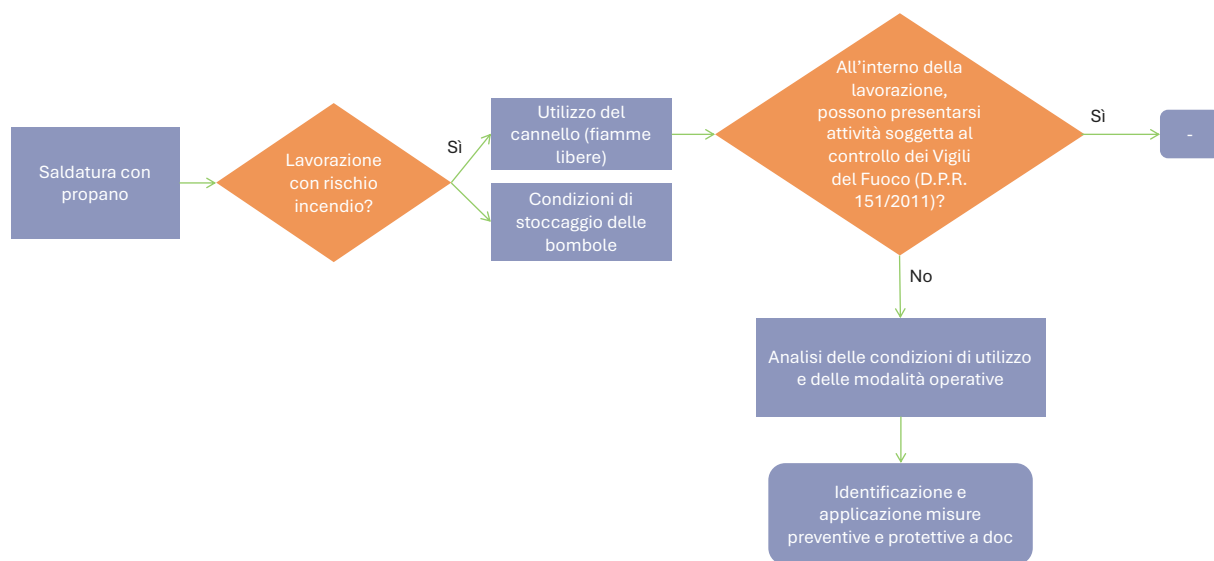


Figura 79. Analisi utilizzo fiamme libere

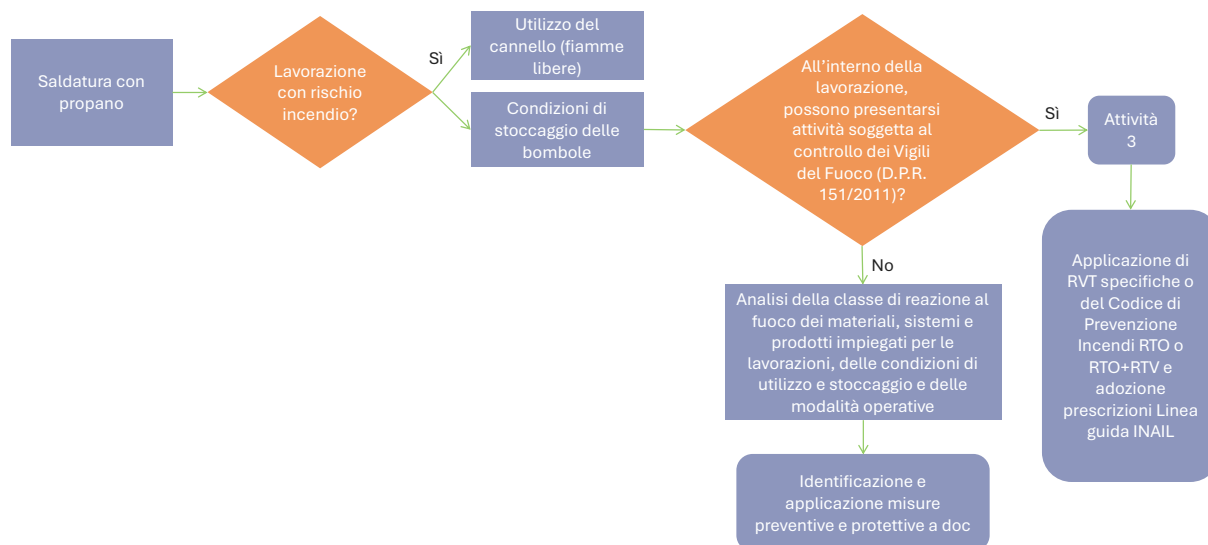


Figura 80. Analisi condizioni di stoccaggio bombole

Le soluzioni ad hoc relative all'uso del cannello (fiamme libere) prevedono l'applicazione delle seguenti prescrizioni:

- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di saldatura. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili (es. teli ignifughi);
- Effettuare le operazioni di saldatura all'esterno;
- Proteggere sé stessi e gli altri da scintille e metallo caldo;
- Non effettuare operazioni di saldatura nel caso in cui ci sia la possibilità che le scintille colpiscano materiale combustibile o infiammabile;
- Prestare attenzione in quanto scintille e materiali caldi derivanti dal processo di saldatura possono facilmente inserirsi attraverso piccole crepe e aperture e passare ad aree adiacenti;
- Prestare attenzione in quanto operazioni di saldatura effettuate su soffitti, pavimenti, muri di sostegno o divisori possono causare incendi dalla parte opposta;
- Non effettuare operazioni di saldatura su contenitori precedentemente utilizzati per la conservazione di combustibili o contenitori chiusi quali serbatoi, bidoni o tubi, a meno che questi non siano preparati in modo appropriato e bonificati;
- Non effettuare operazioni di taglio su contenitori chiusi quali serbatoi e bidoni;
- Collegare il cavo di lavoro al pezzo da lavorare il più vicino possibile all'area di saldatura al fine di evitare che la corrente di saldatura debba percorrere lunghi tratti, anche fuori di vista, in quanto questo può causare scosse elettriche e rischi di incendio;
- Non usare la saldatrice per disgelare tubature;
- Non saldare laddove l'atmosfera possa contenere polvere, gas o vapori infiammabili;
- Non saldare bombole, tubature o contenitori sotto pressione;

- Per operazioni su tubazioni metalliche, allontanare da queste, lungo il loro percorso, materiali combustibili o infiammabili eventualmente a contatto;
- Deve essere posta attenzione qualora le tubazioni metalliche siano avvolte con materiale isolante combustibile;
- Indossare indumenti protettivi non oleosi quali: guanti in pelle, camicia pesante, pantaloni senza risvolti, calzature alte e un copricapo;
- Non collocare la macchina su superfici combustibili;
- Rimuovere tutti i combustibili, quali accendini al butano o fiammiferi, da sé stessi prima di iniziare qualsiasi operazione di saldatura;
- Una volta completato il lavoro, ispezionare l'area e verificare l'assenza di scintille, tizzoni ardenti e fiamme;
- Accertarsi che siano mantenute libere e fruibili le vie di esodo anche durante le operazioni di saldatura;
- Usare solamente i fusibili o gli interruttori di sicurezza giusti;
- Non aumentarne in modo eccessivo l'ampereaggio né escluderli;
- Permesso di lavoro a caldo;
- Controllo funzionale del riduttore di pressione (sulla bombola);
- Controllo funzionale del cannello;
- Controllo visivo (stato di conservazione) delle tubazioni in gomma colleganti bombola e cannello;
- Verifica dell'assenza di materiale combustibile, vegetazione e rifiuti nei pressi delle lavorazioni e controllo pulizia del piano di posa;
- L'attenzione nell'utilizzo a non interessare con le fiamme libere la bombola (e gli annessi in pressione) e le tubazioni in gomma;
- Sorveglianza della zona lavorativa per almeno un'ora dopo il termine della fase di lavoro in parola.

Per quanto concerne lo stoccaggio del propano:

- Sostituzione del prodotto con miscele meno pericolose, se possibile;
- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Ridurre le quantità depositate;
- Messa in opera del prodotto in assenza di sorgenti di ignizione;
- Preferire deposito in aree delimitate all'aperto. Tuttavia, può essere anche localizzato in fabbricati, aree recintate sotto tettoia, per evitare l'esposizione diretta alla luce solare, o altre

soluzioni, come moduli prefabbricati in materiale idoneo non combustibile, purché dotati di adeguata aerazione naturale;

- Adeguata ventilazione dei locali;
- Evitare l'immagazzinamento insieme ad altri materiali come solidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d'incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Operazioni di monitoraggio delle condizioni ambientali nei luoghi di lavoro con sistemi di rivelazione di composti organici volatili;
- Accesso al deposito consentito a parte del personale autorizzato, informato e formato sulle procedure di stoccaggio e movimentazione;
- Negli orari di inattività e chiusura, i depositi devono essere chiusi;
- Dispositivi elettrici idonei nei depositi, installati da personale competente e regolarmente controllati ed ispezionati;
- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione (≥ 10 m) o elementi resistenti al fuoco;
- Valutazione rispetto al rischio esplosione;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni, dalle vie di esodo. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- Segnaletica di sicurezza apposta esternamente per identificare le sostanze all'interno del deposito, la classe di fuoco e l'ubicazione dei mezzi di estinzione portatili. Cartellonistica di avvertimento appropriate come "LIQUIDI ALTAMENTE INFIAMMABILI", "VIETATO FUMARE" e "VIETATO USARE FIAMME LIBERE";
- In caso di spazi ristretti, realizzazione di barriere tra area di stoccaggio e zone in cui operano i mezzi;
- Evitare lo stoccaggio in prossimità di uscite di emergenza o vie di esodo;
- Al termine dei lavori, le bombole devono essere rimosse dal posto di lavoro e riportate in deposito;
- Mantenere una zona di sicurezza ≥ 10 m priva di materiali combustibili intorno al punto di deposito. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili;
- Le bombole devono essere etichettate correttamente e immagazzinate per evitare danni e perdite;
- Le bombole devono essere rimosse dal luogo di lavoro e riportate nell'area di stoccaggio appena il periodo di lavoro è completato. Le bombole devono essere rimosse dal sito non appena è terminato definitivamente il loro uso;
- Se possibile sviluppo di atmosfere esplosive, porre attenzione all'uso di macchine e utensili;

- I materiali devono essere utilizzati solo per le loro finalità;
- Ridurre al minimo i quantitativi in diverse aree del cantiere al di fuori del deposito;
- Stoccare le bombole in posizione verticale, con valvola rivolta verso l'alto, "cappucci" di protezione delle valvole montati;
- Vincolare ciascuna bombola mediante catene o staffe metalliche ancorate a parete, per impedire ribaltamenti e urti.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Permesso di svolgimento di lavori a caldo;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Uso di saldatrice elettrica

La saldatura elettrica è un processo di giunzione dei metalli che sfrutta l'energia termica liberata da un arco elettrico per fondere localmente il materiale da unire. All'interno della saldatrice, che può essere dotata di trasformatore tradizionale o di inverter, la tensione di rete viene convertita in una corrente a bassa tensione ma ad alta intensità. Questo passaggio consente di stabilire un arco stabile tra l'elettrodo e il pezzo da lavorare. L'operatore, utilizzando la pinza porta-elettrodo o la torcia, avvicina momentaneamente l'elettrodo al metallo, per poi allontanarlo di pochi millimetri. In questo breve intervallo di tempo si genera l'arco elettrico, la cui temperatura può superare i 5.000 °C, rendendo possibile la fusione sia dell'elettrodo che della superficie del materiale. Durante la fase di fusione, il metallo d'apporto si incorpora al metallo base, formando un "bagno" di metallo liquido. Il bagno è protetto dall'ossidazione grazie alla scoria che si forma a seguito del rivestimento dell'elettrodo nelle saldature MMA (Metodo di Saldatura a Metallo Rivestito) oppure da un gas inerte o attivo (come l'argon o il carbonio) che fluisce continuamente attraverso la torcia nei sistemi MIG/MAG (Metodo a Filo Continuo). Al termine del passaggio dell'arco, il bagno subisce un processo di raffreddamento graduale che conduce alla sua solidificazione, dando luogo a un giunto coesivo ed omogeneo, caratterizzato da un'elevata resistenza meccanica.

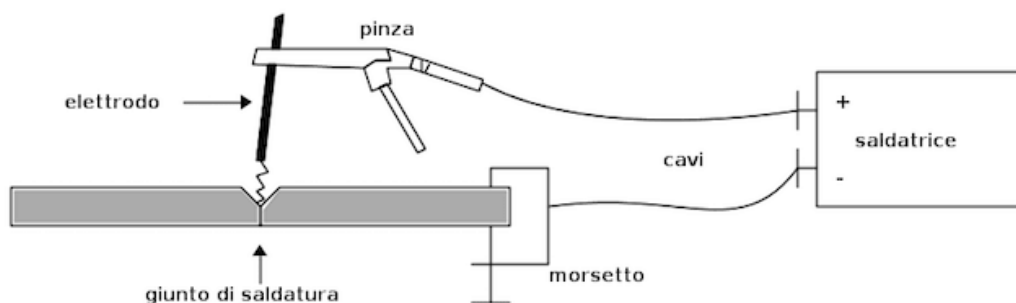


Figura 81. Saldatrice elettrica [93]

La saldatrice elettrica presenta rischi di innesco legati a:

Fonti di ignizione	○ Formazione di archi elettrici: associata a temperature estreme con potenziale generazione di scintille e gocce di metallo fuso, con una propagazione che può estendersi fino a 10 metri. ○ Metallo fuso o riscaldato: può trasferire calore a strutture adiacenti;
----------------------------------	---

	○ Radiazione termica e raggi UV: provoca un riscaldamento delle superfici combustibili; ○ Rischi elettrici: • Cortocircuiti causati da cavi danneggiati, connettori non isolati o impianti elettrici provvisori, i quali possono generare scintille improvvise; • Surriscaldamento dei cavi o quadri elettrici a causa dell'uso di saldatrici non adeguate al carico richiesto.
Contesto operativo	○ Interazione dell'attrezzatura con materiali combustibili: • Contatto di superfici calde con imballaggi, liquidi infiammabili, gas tecnici o polveri combustibili nelle vicinanze della zona di lavoro; • Considerare la possibilità di innesco dei cavi della saldatrice se non ignifughi; ○ Accumulo di gas combustibili e vapori infiammabili: possono provocare la formazione di miscele esplosive.
Gestione inadeguata	○ Mancata pulizia dell'area con conseguente accumulo di materiali combustibili; ○ Assenza di protezioni.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 23. Criticità saldatrice elettrica

Nello specifico del cantiere analizzato, l'impiego della saldatrice elettrica è previsto per una singola attività che riguarda:

- La posa di recinzioni e cancellate: smontaggio e rimontaggio in nuova posizione di cancello metallico esistente.

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, è necessario focalizzare l'attenzione sulla fusione dell'elettrodo e sull'uso e lo stoccaggio dell'attrezzatura, in quanto si tratta di un generatore collegato alla rete elettrica.

Relativamente a tali operazioni, queste non comportano la presenza di attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco, pertanto è necessario analizzare questi due aspetti della lavorazione al fine di ridurre il rischio incendio attraverso l'applicazione delle misure ad hoc individuate. Pertanto, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nelle lavorazioni (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la *“Fire prevention on construction sites”*.

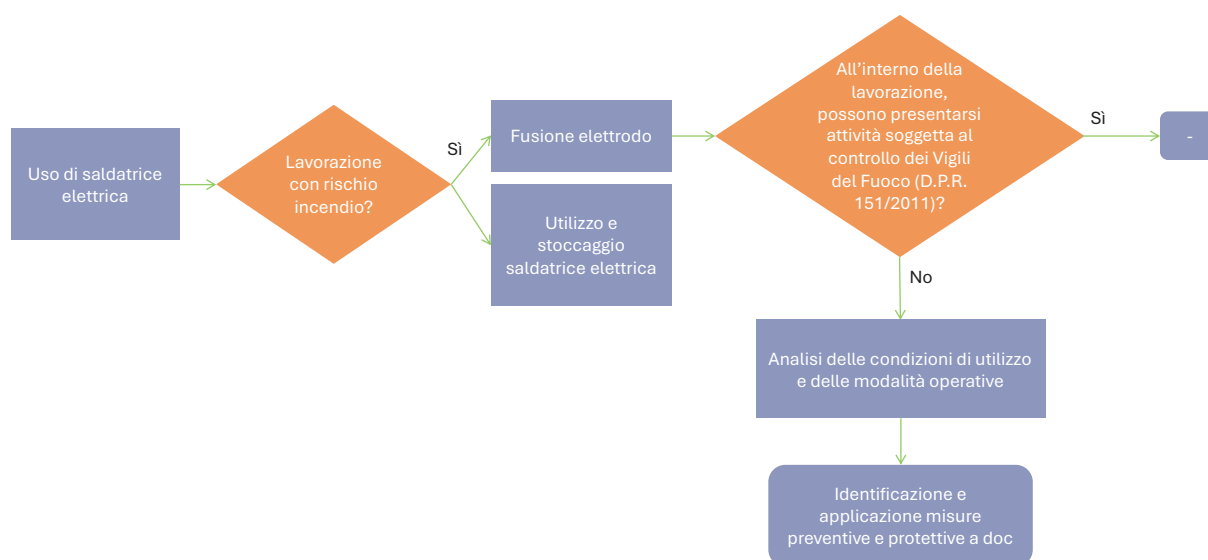


Figura 82. Analisi della fase di fusione dell'elettrodo

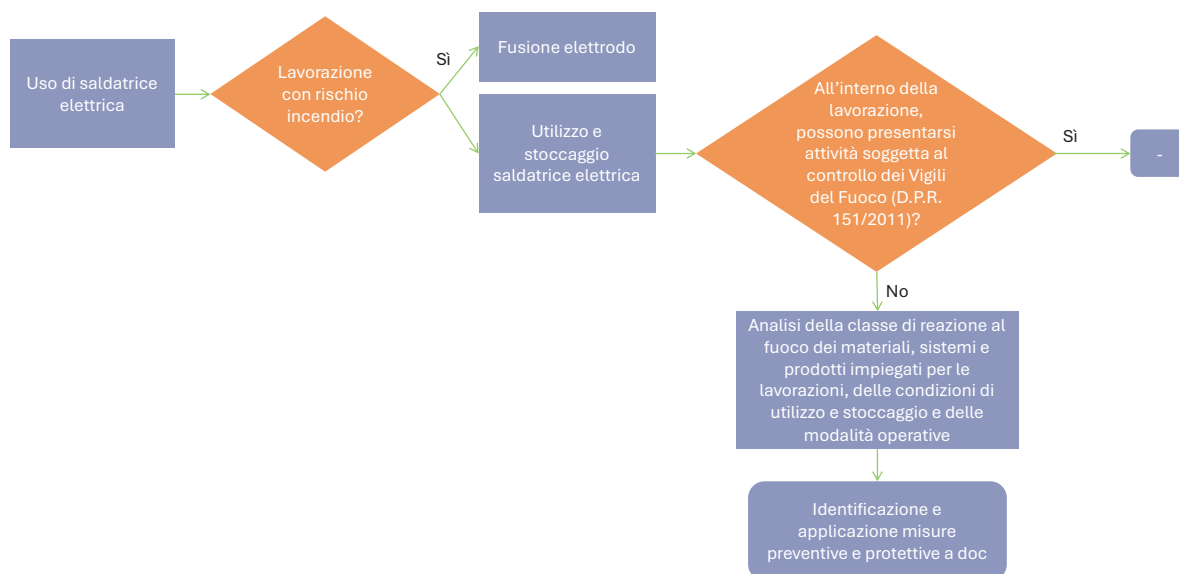


Figura 83. Analisi utilizzo e stoccaggio saldatrice elettrica

Pertanto, le disposizioni previste per la fusione dell'elettrodo sono le seguenti:

- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di saldatura. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili (es. teli ignifughi);
- Effettuare le operazioni di saldatura all'esterno;
- Proteggere sé stessi e gli altri da scintille e metallo caldo;
- Non effettuare operazioni di saldatura nel caso in cui ci sia la possibilità che le scintille colpiscano materiale combustibile o infiammabile;
- Prestare attenzione in quanto scintille e materiali caldi derivanti dal processo di saldatura possono facilmente inserirsi attraverso piccole crepe e aperture e passare ad aree adiacenti;
- Non effettuare operazioni di saldatura su contenitori precedentemente utilizzati per la conservazione di combustibili o contenitori chiusi quali serbatoi, bidoni o tubi, a meno che questi non siano preparati in modo appropriato e bonificati;
- In caso di lavorazione in ambienti confinati, predisporre un adeguato sistema di aspirazione fumi e/o di ventilazione;
- Non saldare laddove l'atmosfera possa contenere polvere, gas o vapori infiammabili (tipo quelli di benzina);
- Non saldare bombole, tubature o contenitori sotto pressione;
- Per operazioni su tubazioni metalliche, allontanare da queste, lungo il loro percorso, materiali combustibili o infiammabili eventualmente a contatto.;
- Verifica dell'assenza di materiale combustibile, vegetazione e rifiuti nei pressi delle lavorazioni e controllo pulizia del piano di posa;

- Sorveglianza della zona lavorativa per almeno un'ora dopo il termine della fase di lavoro in parola;
- Deve essere posta attenzione qualora le tubazioni metalliche siano avvolte con materiale isolante combustibile;
- Indossare indumenti protettivi non oleosi quali: guanti in pelle, camicia pesante, pantaloni senza risvolti, calzature alte e un copricapo;
- Non collocare la macchina su superfici combustibili;
- Rimuovere tutti i combustibili, quali accendini al butano o fiammiferi, da sé stessi prima di iniziare qualsiasi operazione di saldatura;
- Una volta completato il lavoro, ispezionare l'area e verificare l'assenza di scintille, tizzoni ardenti e fiamme;
- Accertarsi che siano mantenute libere e fruibili le vie di esodo anche durante le operazioni di saldatura;
- Usare solamente i fusibili o gli interruttori di sicurezza giusti;
- Non aumentarne in modo eccessivo l'ampereaggio né escluderli;
- Permesso di lavoro a caldo;
- Valutazione rispetto al rischio esplosione.

Relativamente a quanto previsto per l'utilizzo e lo stoccaggio della saldatrice elettrica in qualità di generatore di corrente:

- Monitoraggio delle condizioni del macchinario;
- Distanziare area di saldatura da aree deposito materiali combustibili (distanza $\geq 10\text{m}$);
- Utilizzare prolunghe certificate;
- Controllo del corretto collegamento con impianto elettrico di messa a terra;
- Nelle pause di lavoro interrompere l'alimentazione elettrica;
- Verificare l'integrità dei cavi e della spina di alimentazione;
- A termine attività, staccare il collegamento elettrico della macchina;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Pulizia giornaliera di scorie e polveri combustibili;
- Permesso di svolgimento di lavori a caldo;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);

- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Impiego di macchinari

L'impiego di macchinari di notevole peso in un cantiere edile, quali autocarro, escavatore, pala meccanica e dumper, riveste un ruolo cruciale nelle lavorazioni di movimento terra, carico e scarico, e trasporto interno dei materiali. Tali macchinari vengono impiegati per realizzare e supportare le attività di costruzione in modo differente, a seconda della loro funzione specifica. Tali mezzi, classificabili come statici, semoventi o mobili, sono dotati di un sistema di propulsione a combustione o elettrico e sono impiegati in una varietà di applicazioni. L'obiettivo primario consiste nella semplificazione e accelerazione delle procedure di progettazione e organizzazione del cantiere. Infatti, nel settore edile, la sicurezza sul lavoro rappresenta un aspetto di primaria importanza: macchinari impiegati devono essere progettati per garantire la massima sicurezza e facilitare le operazioni, riducendo il carico di lavoro. A tal fine, ogni macchina deve essere equipaggiata con informazioni tecniche dettagliate, istruzioni per l'uso, dispositivi di allarme, libretto di garanzia, istruzioni di manutenzione e indicazioni per il trasporto, il montaggio, lo smontaggio, la manutenzione e le riparazioni. Inoltre, tutte le parti della macchina che costituiscono una potenziale fonte di pericolo devono essere adeguatamente protette o dotate di dispositivi di sicurezza. In conclusione, si sottolinea l'importanza della manutenzione, che include la lubrificazione degli organi mobili, la verifica dei punti di ossidazione che potrebbero compromettere la funzionalità della macchina, e la rimozione e riverniciatura laddove necessario. Infine, si rende necessario un controllo costante delle attrezzature da parte di personale qualificato.

Difatti, in conformità alla buona condotta, prima di ogni avvio di un macchinario, l'operatore è tenuto a effettuare un accurato giro di ispezione intorno alla macchina, al fine di verificare l'integrità dei cavi, delle tubazioni e degli pneumatici, nonché il livello dei fluidi (olio motore, idraulico e liquido di raffreddamento) e il corretto funzionamento dei sistemi di illuminazione e segnalazione acustica. Solo dopo aver verificato l'assenza di perdite e l'efficienza del sistema di raffreddamento, si può procedere all'accensione, inserendo la chiave e controllando la presa di terra (ove prevista), attendendo che il motore raggiunga il regolare regime di minimo prima di effettuare qualsiasi manovra. Al termine delle operazioni giornaliere, la fase di post-lavoro riveste un'importanza paragonabile. In tale fase, si procede al lavaggio delle superfici, al fine di rimuovere fango e detriti che potrebbero ostruire griglie e radiatori. Si procede altresì al controllo dei livelli dei fluidi e a una rapida manutenzione preventiva, che include la lubrificazione dei giunti cardanici, l'ispezione dei tubi idraulici e il serraggio dei morsetti elettrici. La strumentazione di bordo, inclusi tachigrafo e sistema GPS (se installato), viene scaricata e archiviata al fine di tracciare i cicli di lavoro e la manutenzione programmata. Un utilizzo efficiente, sicuro e duraturo dei macchinari di cantiere può essere garantito solo assicurando rigore nelle procedure di avvio, impiego operativo e spegnimento, riducendo al minimo i rischi di guasto e incidenti.

In particolare, nel cantiere in esame sono impiegate le seguenti tipologie:

- Autocarro, tendenzialmente avente cassone ribaltabile con meccanismo idraulico. Si configura come uno degli strumenti più versatili e indispensabili all'interno di un cantiere edile. La sua peculiare caratteristica è quella di poter garantire un'elevata capacità di carico e, al contempo, di poter effettuare operazioni di scarico in tempi celeri. Tale strumento consente di semplificare significativamente le operazioni di movimentazione di terra, inerti, detriti e materiali sfusi, quali ghiaia, sabbia e calcinacci. Le sue caratteristiche devono rispondere a requisiti specifici, a partire dalla robustezza strutturale. Un veicolo destinato al trasporto di materiali pesanti su terreni accidentati deve essere costruito con materiali di alta qualità, in grado di resistere alle sollecitazioni quotidiane senza subire danni permanenti. L'efficienza del motore rappresenta un ulteriore fattore di rilievo, in quanto il camion deve garantire potenza e affidabilità per affrontare pendenze e carichi impegnativi senza eccessivi consumi di carburante. Inoltre, le prestazioni devono poter garantire un livello di qualità adeguato.



Figura 84. Autocarro con cassone ribaltabile [94]

Questo macchinario viene utilizzato, per il caso oggetto di studio, per le seguenti attività:

- Realizzazione della recinzione e degli accessi al cantiere;
- Realizzazione di schermatura di cantiere antirumore e antipolvere;
- Allestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Allestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Montaggio del ponteggio metallico fisso;
- Scotico di terreno vegetale dall'area di cantiere;
- Scavo a sezione obbligatoria per fondazione nuovo muro controterra di contenimento;
- Scavo a sezione obbligatoria per posa nuove condotte principali FOGNATURA;
- Scavo di splanteamento;

- Montaggio di pannelli prefabbricati in x-lam per pareti portanti;
- Disallestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi;
- Disallestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Disallestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere;
- Smontaggio del ponteggio metallico fisso;
- Disallestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Smobilizzo del cantiere.

Pertanto, tali attività comprendono il trasporto di materiali dall'esterno all'interno del cantiere e viceversa, nonché la loro movimentazione interna.

- Autocarro con gru. Tale macchina si caratterizza dalla presenza di una gru montata sul telaio di un autocarro, azionata da un sistema idraulico. Essa rappresenta una soluzione estremamente flessibile per il sollevamento, lo spostamento e il posizionamento di carichi medio-pesanti in cantiere, garantendo velocità e precisione, senza la necessità di impiegare gru a torre fisse o di ricorrere a noleggi più onerosi. Grazie alla loro configurazione combinata, tali macchine offrono un livello di efficienza e velocità superiore rispetto ai tradizionali metodi di sollevamento.

L'operatore avvia la procedura di "attivazione a freddo" del veicolo: il macchinario viene parcheggiato su un terreno compatto e livellato, i martinetti di stazionamento vengono abbassati fino a garantire stabilità longitudinale e trasversale, e successivamente il verricello idraulico viene azionato per estendere i bracci della gru. È consigliato effettuare una verifica visiva per assicurarsi che tutti gli stabilizzatori siano adeguatamente fissati e che la livella a bolla indichi un allineamento perfetto. Una volta collegata la pompa idraulica del mezzo al circuito della gru, l'operatore impugna il telecomando o la consolle a bordo e avvia le manovre di sollevamento. La velocità di sollevamento e rotazione viene regolata con incrementalità, soprattutto nei passaggi più delicati, al fine di prevenire slittamenti o oscillazioni brusche del carico che potrebbero potenzialmente generare rischi di collisione o caduta. Al termine del turno, si procede alla retrazione ordinata del braccio: la gru viene richiamata in posizione compatta sopra il cassone, gli stabilizzatori vengono sollevati e riposti negli alloggiamenti, assicurandosi che tutte le valvole idrauliche siano chiuse e bloccate.



Figura 85. Autocarro con gru [95]

Nel contesto dell'analisi in oggetto, il dispositivo in esame viene impiegato per le seguenti operazioni:

- Allestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi;
- Allestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere;
- Posa di recinzioni e cancellate: smontaggio e rimontaggio in nuova posizione di cancello metallico esistente;
- Posa della cisterna per impianto antincendio.

In tale circostanza, l'impiego del mezzo si rende necessario principalmente per il sollevamento e il trasporto di oggetti di notevole peso.

- Autocarro con cestello. L'autocarro dotato di cestello aereo rappresenta uno strumento imprescindibile in ambito cantiere, ogni qualvolta si renda necessario operare in quota in condizioni di sicurezza. La procedura iniziale è analoga a quella dell'autocarro equipaggiato con gru. Pertanto, una volta parcheggiato su una superficie stabile e livellata, l'operatore procede all'estensione degli stabilizzatori idraulici fino a conseguire un equilibrio ottimale, il quale viene inoltre verificato mediante la livella a bolla di piccole dimensioni collocata sul pannello di comando. Il quadro di comando, generalmente dotato di leve proporzionali e display digitale, permette di azionare il braccio telescopico o articolato con movimenti fluidi — sollevamento, estensione, rotazione — fino a raggiungere l'altezza desiderata. All'interno del cestello, l'operatore è tenuto a indossare un'imbracatura di sicurezza collegata a un punto di ancoraggio fisso e a inserire il doppio comando di abilitazione, al fine di prevenire movimenti accidentali. All'interno della piattaforma è presente un piccolo quadro ausiliario; mediante una leggera pressione sulle leve, è possibile sollevare il braccio, estenderlo orizzontalmente e

ruotarlo per raggiungere l'area di intervento. Il contatto visivo e radio con un collega a terra è continuo: il segnalatore verifica l'assenza di ostacoli, guida l'operatore attorno a linee elettriche o condotte e, in caso di necessità, arresta immediatamente le manovre di emergenza. Al termine dell'attività, si procede alla chiusura dei segmenti del braccio, alla rotazione del cestello in posizione di trasporto e alla retrazione degli stabilizzatori fino al loro incasso. Successivamente, si esegue un'ispezione rapida sui punti critici.



Figura 86. Autocarro con cestello [96]

Nel contesto dell'analisi in oggetto, il dispositivo in esame viene impiegato per le seguenti operazioni:

- Montaggio di pannelli prefabbricati in x-lam per pareti portanti;
- Montaggio di travi in legno.

In tale circostanza, l'impiego dell'autocarro dotato di cestello è limitato a due specifiche attività, inerenti alla costruzione della struttura portante dell'edificio in fase di realizzazione.

- Autogrù. L'impiego dell'autogrù in cantiere rappresenta una fase fondamentale quando si rende necessario il sollevamento di carichi particolarmente pesanti o voluminosi, quali travi in acciaio, moduli prefabbricati, elementi strutturali in cemento armato o contenitori di materiale sfuso. L'utilizzo di tale dispositivo garantisce una movimentazione rapida, precisa e fino a quote elevate, rendendolo un mezzo pesante fondamentale per la gestione dei materiali in ambienti dove non è disponibile un'installazione fissa. Esistono molteplici versioni di autogrù, la più specifica delle quali corrisponde a un veicolo gommato a guida singola dotato di un braccio

allungabile di grandi dimensioni, facente funzione di gru. Questa conformazione anatomica è deputata al sollevamento di pesi considerevoli e alla raggiungibilità di altezze maggiori.

È essenziale che l'operatore e il capo cantiere si confrontino sulla procedura di sollevamento, verificando le planimetrie, il posizionamento delle basi di appoggio, la capacità di carico del terreno e l'ingombro del braccio della gru. Una volta selezionato il punto di installazione, che deve essere rigorosamente su terreno livellato, compatto e privo di ostacoli interrati, si procede alla messa in opera degli stabilizzatori idraulici. I piedini, che assolvono alla funzione di trasferimento del carico da terra al telaio dell'autogrù, garantiscono una base sicura anche in condizioni di braccio esteso al massimo raggio. L'operatore verifica il livello orizzontale mediante livelle integrate nella plancia di comando, mentre un secondo collega a terra presidia l'area, delimitandola con nastri e segnaletica. Al termine dei controlli preliminari, l'autogrù è idonea per la fase di sollevamento. L'operatore, con movimenti meticolosamente studiati e ben proporzionati, solleva il carico, gestisce la rotazione completa del braccio e lo estende in avanti o lo retrae, mantenendo un controllo costante sulla tensione delle funi e sugli indicatori di carico. Durante le operazioni, si stabilisce una comunicazione costante tra il gruista e i segnalatori a terra. La fase di posizionamento richiede la massima attenzione, al fine di garantire che il carico sia sostenuto in modo uniforme, evitando urti che potrebbero compromettere l'integrità delle mensole di appoggio o dei supporti provvisori. Al termine del turno, prima di ritirare il braccio, si effettuano nuovamente i controlli: si scaricano eventuali tensioni residue dalle funi, si lubrificano i perni e si ripulisce la gru da polvere, calce e trucioli. Gli stabilizzatori vengono richiamati in sede, il braccio viene abbassato e ripiegato sopra il veicolo.



Figura 87. Autogrù [97]

Il macchinario in analisi viene utilizzato, per le attività di cui si discute nel presente studio, per le seguenti finalità:

- Allestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Allestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Montaggio di pannelli prefabbricati in x-lam per pareti portanti;
- Montaggio di travi in legno;
- Disallestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi;
- Disallestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Disallestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere;
- Disallestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Smobilizzo del cantiere.

In tale contesto, l'autogrù è impiegata per attività di sollevamento e movimentazione dei carichi associati all'allestimento e allo smantellamento del cantiere, nonché alla costruzione della struttura portante dell'edificio scolastico.

- Autobetoniera. L'autobetoniera è un dispositivo che consente la consegna di calcestruzzo fresco e omogeneo direttamente nel sito di applicazione, riducendo i tempi morti e garantendo una qualità costante della miscela. Il funzionamento di tale dispositivo è garantito da un tamburo rotante, azionato da un motore ausiliario o dal motore del veicolo stesso. Il tamburo è dotato di due spirali, posizionate all'interno del tamburo per l'intera lunghezza dello stesso, che hanno la funzione di scaricare l'impasto in tempi rapidi. Questo sistema di mescolamento garantisce un'omogeneità ottimale del calcestruzzo, assicurando un risultato finale di alta qualità. Il tamburo viene tipicamente caricato presso la centrale di betonaggio, dove l'operatore, previa verifica della ricetta (rapporto acqua-cemento, eventuali additivi fluidificanti o acceleranti), controlla che la consistenza del conglomerato rispetti le specifiche progettuali. Pertanto, la betoniera viene alimentata dalla centrale con il tamburo già in rotazione, garantendo un mescolamento continuo del calcestruzzo per prevenire fenomeni di segregazione e indurimento prematuro. Una volta giunta sul cantiere, l'autobetoniera si muove seguendo il percorso pianificato nel PSC, in conformità con le precauzioni previste. L'operatore procede al parcheggio su una superficie stabile, preferibilmente inclinata in leggera pendenza verso il punto di getto, e posiziona i cavalletti di stabilizzazione, se previsti. Per ottenere il ribaltamento della bocca di uscita, si impiega la leva di inversione del senso di rotazione: ruotando il tamburo in senso contrario al mescolamento, il calcestruzzo viene spinto verso l'apertura posteriore, scendendo attraverso una tramoggia. Il fluido viene convogliato manualmente o mediante l'impiego di un sistema pneumatico, al fine di garantire una distribuzione precisa e mirata della miscela. In caso di necessità di raggiungere punti di difficile accesso, si consiglia l'impiego di

pompe per calcestruzzo, che consentono la somministrazione del fluido in tali condizioni. Durante il getto, l'operatore monitora costantemente il ritmo di scarico, coordinandosi con la squadra di carpentieri per evitare vuoti o discontinuità nel riempimento. Nel momento in cui la vasca viene svuotata, il tamburo riprende a ruotare a velocità ridotta al fine di raccogliere eventuali residui e impedire che il calcestruzzo indurisca sulle pareti interne. Successivamente, si procede con la fase di pulizia: mediante l'utilizzo di acqua a bassa pressione e la rotazione inversa del tamburo, vengono rimossi gli ultimi residui di calcestruzzo.



Figura 88. Autobetoniera [98]

Nel contesto dell'analisi in oggetto, il dispositivo in esame viene impiegato per le seguenti operazioni:

- Getto in calcestruzzo per le strutture in fondazione;
- Getto di calcestruzzo di cordoli in c.a. in fondazione.

In conformità con lo scopo del macchinario, questo viene impiegato esclusivamente quando si rende necessario il trasporto di calcestruzzo in cantiere per la realizzazione delle fondazioni.

- Piattaforma sviluppabile. Il termine in questione definisce un'attrezzatura di lavoro mobile destinata al trasporto di personale in posizioni di lavoro ubicate a quote elevate, ossia a quote superiori a 2 m, con l'intento che il personale acceda ed esca dalla piattaforma attraverso una specifica posizione di accesso. Il macchinario in questione può essere differenziato in base alla presenza o assenza di stabilizzatori.

In questa circostanza, l'operatore è tenuto a parcheggiare il mezzo su un terreno pianeggiante e compatto al fine di estrarre gli stabilizzatori, qualora presenti. L'operatore, una volta entrato nell'area di lavoro, dotata di protezioni perimetrali, punti di ancoraggio per l'imbracatura e, spesso, di una presa elettrica per utensili portatili, inserisce i comandi di abilitazione e, mediante leve proporzionali, apre lentamente il primo tratto di braccio. Grazie alla geometria complessa del telaio articolato, è possibile avvicinarsi molto a dislivelli, balconi o facciate, mantenendo sempre il pavimento libero e riducendo al minimo lo spazio di ingombro a terra. Durante le

operazioni, l'operatore mantiene un collegamento radio costante con il segnalatore a terra, il quale verifica la formazione di zone d'ombra, la presenza di sovrapposizioni tra il braccio e altri veicoli o strutture, e che il carico dell'utensile non superi la portata massima indicata nella tabella di carico. Al termine del lavoro in quota, si procede con la sequenziale chiusura dei segmenti telescopici, la rotazione del braccio in posizione di riposo e il ritiro degli stabilizzatori, garantendo il blocco di tutte le valvole idrauliche in posizione chiusa. Successivamente, si procede con una rapida pulizia del cestello e un'ispezione post-operativa.



Figura 89. Piattaforma sviluppabile [99]

Il macchinario in analisi viene utilizzato, per le attività di cui si discute nel presente studio, per le seguenti finalità:

- Montaggio di parapetti provvisori;
- Smontaggio di parapetti provvisori.

In tale circostanza, la piattaforma viene utilizzata esclusivamente per i parapetti provvisori del ponteggio.

- Pala meccanica, denominata anche pala caricatrice. Essa rientra nella categoria delle macchine da cantiere definite dalla norma UNI EN ISO 6165:2006. Tali macchine sono progettate per eseguire operazioni quali scavo, carico, trasporto, spargimento e compattamento di terra e materiali simili. L'oggetto in questione è considerato uno dei mezzi meccanici più versatili impiegati nel settore edile. Si presenta come un'unità semovente, dotata di ruote o cingoli, che presenta una parte anteriore destinata al sostegno di un dispositivo di carico. Tale dispositivo permette l'azione di carico o lo scavo del materiale attraverso il movimento avanzivo del mezzo. Le pale gommate, a confronto delle pale cingolate, presentano un'elevata potenza e una

superiore manovrabilità. Tale superiorità è attribuibile al fatto che le operazioni di carico e scarico del materiale richiedono spostamenti continui e su lunghe distanze. In contrapposizione, le pale cingolate si rivelano indispensabili nei lavori su terreni difficili, compatti, sdruciolevoli e su pendii, dove le pale gommate potrebbero incontrare difficoltà di movimento. È vero che le pale gommate risultano più lente e meno agili, ma presentano una migliore capacità di scaricare la motricità sul terreno; pertanto, vengono utilizzate nelle operazioni di spinta e traino.

Le pale possono essere suddivise in tre diverse tipologie, ciascuna delle quali destinata a un particolare bisogno nel contesto di un cantiere specifico:

1. Il dispositivo è dotato di pala a carico e scarico frontale, con una capacità di rotazione di 90°;
2. La pala, dotata di carico anteriore e scarico posteriore, è in grado di ruotare fino a 180° e trova impiego in spazi ristretti, quali i tunnel;
3. La pala a scarico laterale, un'attrezzatura agricola di notevole importanza, è caratterizzata dalla capacità di far ruotare la benna lateralmente per lo scarico dei materiali. Tale funzionalità incrementa la produttività e ne accresce la popolarità.

Durante l'esecuzione delle operazioni, l'operatore mantiene un controllo costante sull'assetto del mezzo. Movimenti bruschi in curva o su terreni instabili possono compromettere la stabilità del mezzo; pertanto, è fondamentale distribuire il peso del carico il più vicino possibile al telaio e procedere a velocità moderata. La comunicazione con il capocantiere o il segnalatore a terra avviene tramite radio o gesti convenzionali.

Prima di procedere con la chiusura del turno, si esegue la manutenzione serale, che include la pulizia della benna e del braccio da fango e calcinacci, la lubrificazione dei punti di snodo con grasso autoprotettente, il controllo per individuare eventuali segni di usura o deformazioni sulle piastre di supporto e l'ispezione delle guarnizioni delle valvole idrauliche. L'operatore pone il mezzo in stato di riposo, con il braccio abbassato, il motore spento e la chiave ritirata, annotando sul diario di bordo ogni anomalia riscontrata.



Figura 90. Pala meccanica [100]

Nel contesto dell'analisi in oggetto, il dispositivo in esame viene impiegato per le seguenti operazioni:

- Scotico di terreno vegetale dall'area di cantiere;
- Scavo a sezione obbligata per fondazione nuovo muro controterra di contenimento;
- Scavo a sezione obbligata per posa nuove condotte principali FOGNATURA;
- Rinterro di scavo eseguito a macchina;
- Scavo di splateamento;

Quindi, si può dedurre che le lavorazioni principali consistono principalmente in escavazioni.

In aggiunta, si adopera la minipala, la cui classificazione è determinata dal peso. La minipala, o minipala compatta, è caratterizzata da un peso compreso tra 18 e 50 quintali. Tale strumento, sebbene dotato di funzioni simili alla pala caricatrice, è in grado di manipolare carichi più leggeri e presenta dimensioni ridotte. Le dimensioni compatte di tale macchina ne consentono una facile manovrabilità in spazi di costruzione ristretti. Il dispositivo è in grado di spostare in modo efficiente materiali da costruzione quali mattoni, sacchi di cemento e legname, nonché di ripulire detriti, sporco e altri rifiuti generati durante il processo di costruzione.



Figura 91. Minipala [101]

La minipala viene utilizzata nel caso studio per le seguenti finalità:

- Allestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Allestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Disallestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili.

In conclusione, l'impiego di tale tecnologia è consigliato per le attività di layout del cantiere, quando non sussistono requisiti di portata particolarmente elevati.

- Dumper. Esso è un veicolo compatto e maneggevole, costituito da una cabina che ospita l'operatore e da un contenitore con una capacità che può superare i 10.000 kg. La funzione primaria dei dumper consiste nel trasporto di materiali all'interno di cantieri edili o in contesti industriali, al fine di garantire l'efficienza operativa e supportare il ciclo produttivo mediante il trasporto di grandi quantità di materiale sciolto. L'impiego di tale strumento, caratterizzato da compattezza, versatilità e velocità, risulta determinante per la movimentazione continua di ogni tipologia di materiale presente all'interno del cantiere. Tale operatività è resa possibile dalla capacità di carico e dalla resistenza del mezzo. Inoltre, si ottimizza il ciclo lavorativo, evitando ritardi causati dalla presenza di materiali ingombranti, e si supportano le varie fasi lavorative. Inoltre, la capacità del dumper di operare su qualsiasi tipo di terreno garantisce un intervento tempestivo ed efficace in caso di imprevisti o problematiche. Le due principali categorie di dumper si distinguono in: i dumper a telaio rigido, che rappresentano i mezzi più imponenti, capaci di sostenere carichi di notevole entità. Progettato con quattro ruote, è una tipologia di macchina sicura e robusta; i dumper a telaio articolato sono dumper a tre assi e sei ruote motrici. Il loro assetto è costituito da due componenti distinti: il cassone ribaltabile, posizionato nella parte posteriore, e il trattore con cabina, situato nella parte anteriore. Nonostante il trasporto di

carichi inferiori rispetto al telaio rigido, si dimostra una macchina versatile, adatta sia a terreni accidentati che a condizioni di fango. I modelli a telaio articolato sono i più diffusi in un cantiere edile, proprio in virtù della loro versatilità e dell'adeguata capacità di carico.

Per quanto concerne il carico, il dumper viene posizionato a filo della pala meccanica o della benna portatile: grazie alla sua scocca ribaltabile, posizionata posteriormente, è in grado di ricevere il materiale in modo rapido e preciso. L'operatore è responsabile della coordinazione dei movimenti del caricatore frontale o dell'escavatore, garantendo che il carico non superi il limite indicato sulla fiancata del cassone e che sia distribuito in modo uniforme per mantenere il baricentro basso, assicurando stabilità anche su pendenze moderate. Una volta completato il carico, il dumper esegue il trasporto lungo percorsi interni predeterminati nel Piano di Sicurezza e Coordinamento, mantenendo una velocità moderata e minimizzando le curve strette con carico completo. Una volta raggiunto l'area di scarico, l'operatore disattiva il freno di stazionamento, attiva la leva di sblocco del cassone e, mediante un comando idraulico, inclina la scocca all'indietro. Il materiale fuoriesce in modo controllato grazie alla pendenza, depositandosi sul cumulo di destinazione o direttamente all'interno di una fossa predisposta. Al termine dello scarico, il cassone torna in piano, l'operatore riposiziona la leva di blocco e si prepara al viaggio di ritorno per un nuovo carico. Al termine del turno, prima dello spegnimento definitivo del motore, l'operatore è tenuto a svuotare eventuali residui di materiale per evitare incrostazioni, a lubrificare i giunti di ribaltamento e a verificare nuovamente i livelli dei fluidi. Tuttavia, solo dopo aver rimosso le chiavi e aver lasciato la cabina in ordine, con i comandi puliti e il cassone in posizione di riposo, il dumper viene lasciato pronto per il giorno successivo, garantendo efficienza, affidabilità e sicurezza costante in cantiere.



Figura 92. Dumper [102]

Nel contesto dell'analisi in oggetto, il macchinario in esame viene impiegato per la sola operazione di:

- Rinterro di scavo eseguito a macchina (sottofase)
- Escavatore. Gli escavatori sono macchinari concepiti per eseguire operazioni quali lo scavo, il carico, il trasporto, lo spargimento e il compattamento di terra e di altri materiali. Gli escavatori idraulici sono definiti dalla UNI EN 474-5:2012 come macchine semoventi a cingoli, a ruote o ad appoggi articolati, dotate di una struttura superiore (torretta), normalmente in grado di ruotare di 360°, che supporta un braccio escavatore, progettate principalmente per eseguire escavazioni mediante l'impiego di una cucchiaia o una benna, senza che il carro subisca movimenti durante il ciclo di lavoro. Attraverso l'impiego della benna, è possibile rimuovere materiali sciolti, terreno, residui e rifiuti, consentendo l'esplorazione di ampie superfici in modo efficace e l'ottimizzazione dei tempi di lavoro. In base al tipo di impiego, sussistono molteplici tipologie di benne per escavatori che variano per dimensione, materiale e caratteristiche tecniche.

In tale circostanza, si procede con un'ispezione preliminare del mezzo e, una volta che l'operatore ha preso posto in cabina, si effettuano delle prove sui comandi a vuoto, al fine di verificare l'escursione delle leve, la rotazione a 360° e l'assetto del braccio. Successivamente, si attende che il motore raggiunga un regime di minimo costante prima di avviare il ciclo operativo. Durante l'esecuzione dello scavo, l'operatore impiega la combinazione di braccio posteriore e caricatore frontale, alternando movimenti di estensione e ritrazione per penetrare nel terreno, raccogliere materialmente il materiale e trasferirlo nel cassone di un dumper o sul bordo del fossato. A terra, un assistente è incaricato di fornire supporto in caso di visibilità ridotta, utilizzando gesti convenzionali o comunicazioni radio per orientare il punto di scavo. Al termine di ciascun ciclo operativo, l'operatore è responsabile della pulizia della benna dalle incrostazioni di fango, della scarica dei residui, della verifica dei livelli e della lubrificazione dei perni di snodo con grasso a base litica. La fase di spegnimento consiste nell'estrazione della chiave dal quadro di controllo, nell'abbassamento del braccio e della benna a terra in posizione di riposo, e in un'ultima ispezione per individuare eventuali anomalie nel registro di bordo.

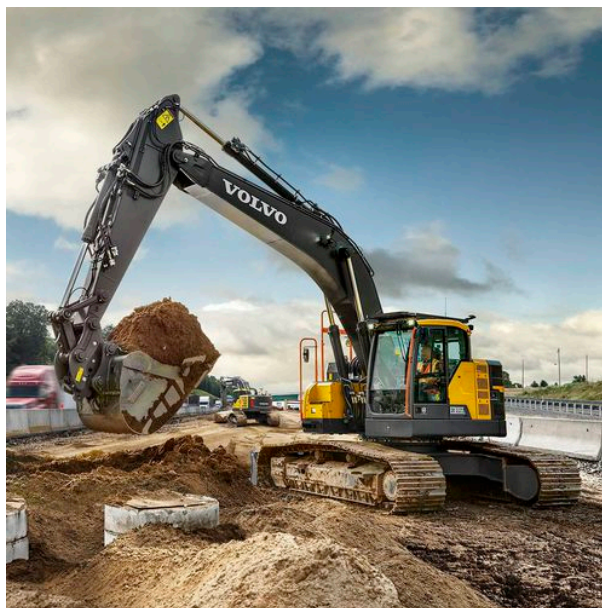


Figura 93. Escavatore cingolato [103]

L'escavatore viene utilizzato nel caso studio per le seguenti finalità:

- Scavo a sezione obbligata per fondazione nuovo muro controterra di contenimento;
- Scavo a sezione obbligata per posa nuove condotte principali FOGNATURA;
- Scavo di splateamento.

Ne consegue che l'escavatore è stato impiegato per attività di scavo.

In conclusione, si evince che l'analisi del PSC consente di concludere che l'impiego dei macchinari menzionati si concentra prevalentemente nelle fasi di allestimento e conclusione del cantiere, oltre che nelle attività di scavo e movimentazione dei carichi.

Questi mezzi, sono stati successivamente analizzati dal punto di vista del rischio incendio e, di seguito, vengono elencati i fattori critici legati a:

Fonti di ignizione	○ Alimentazione: i motori sono alimentati a benzina o diesel e perciò si possono riscontrare potenziali inneschi legati a: ○ Vapori di carburante che entrano in contatto con scintille o superfici calde durante il rifornimento; ○ Surriscaldamento del motore o del tubo di scarico che può entrare in contatto con materiali combustibili;
---------------------------	---

	○ Generazione di scintille da parte di parti metalliche in attrito o dal sistema di accensione; ○ Perdite di carburante durante il rifornimento. ○ Sistema idraulico: ○ Perdite di olio idraulico ad alte pressioni che possono entrare in contatto con componenti caldi. ○ Rischi elettrici: ○ Cortocircuiti, causati da cablaggi danneggiati o non isolati, specialmente in ambienti umidi o polverosi.
Materiali combustibili	○ Trasporto di materiali infiammabili e/o combustibili; ○ Presenza nell'area di lavoro di contaminanti residui come oli, grassi, trucioli metallici o polveri organiche su motori o componenti caldi.
Contesto operativo	○ Presenza di polveri combustibili che possono innescarsi per attrito o scintille; ○ Interferenze con attività a caldo; ○ Bombole GPL, serbatoi di carburante o materiali infiammabili posizionati vicino ai macchinari.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 24. Criticità utilizzo macchinari

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, le fasi maggiormente critiche riguardano l'utilizzo e il deposito dei macchinari e il deposito di materiali liquidi infiammabili.

Per quanto concerne l'utilizzo e il deposito dell'attrezzatura, essa risulta un'attività non soggetta. Al contrario, il deposito di carburante comporta l'assoggettabilità ai controlli dei V.V.F. (attività 13.1.A), secondo quanto specificato dall'Allegato I del D.P.R. 151/2011.

13	Impianti fissi di distribuzione carburanti per l'autotrazione, la nautica e l'aeronautica; contenitori-distributori rimovibili di carburanti liquidi.			
----	---	--	--	--

a) Impianti di distribuzione carburanti liquidi ^{33, 34, 35, 36, 37, 38}	Contenitori distributori rimovibili e non di carburanti liquidi fino a 9 mc con punto di infiammabilità superiore a 65 °C ^{39, 40, 41, 42, 43, 44}	Solo liquidi combustibili	tutti gli altri
b) Impianti fissi di distribuzione carburanti gassosi e di tipo misto (liquidi e gassosi) ^{45, 46}			tutti

Figura 94. Attività 13, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi. Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “*Fire prevention on construction sites*”.

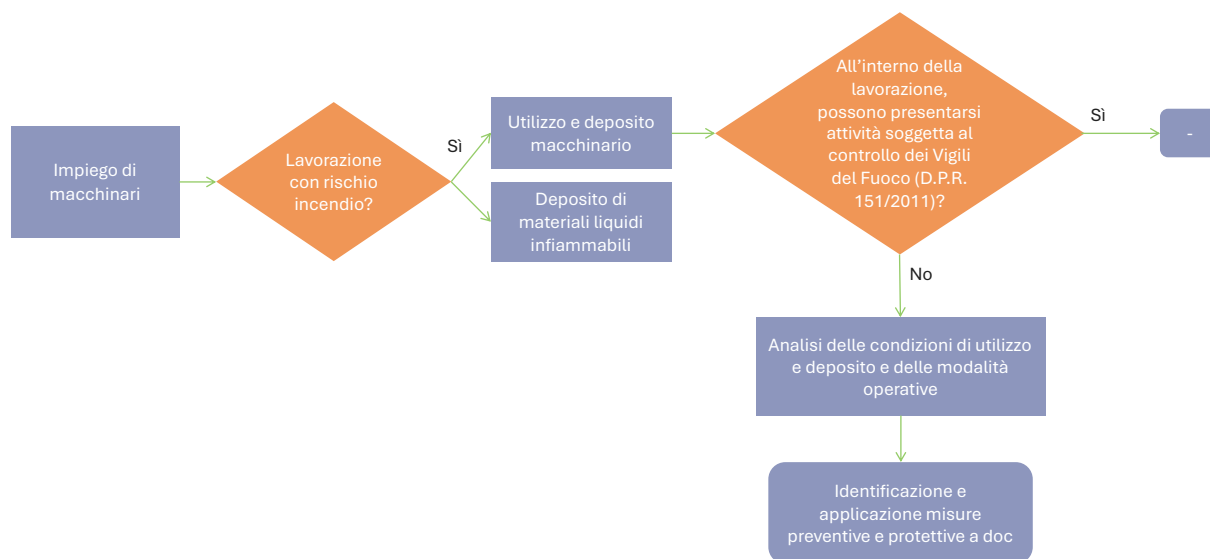


Figura 95. Analisi utilizzo e deposito macchinario

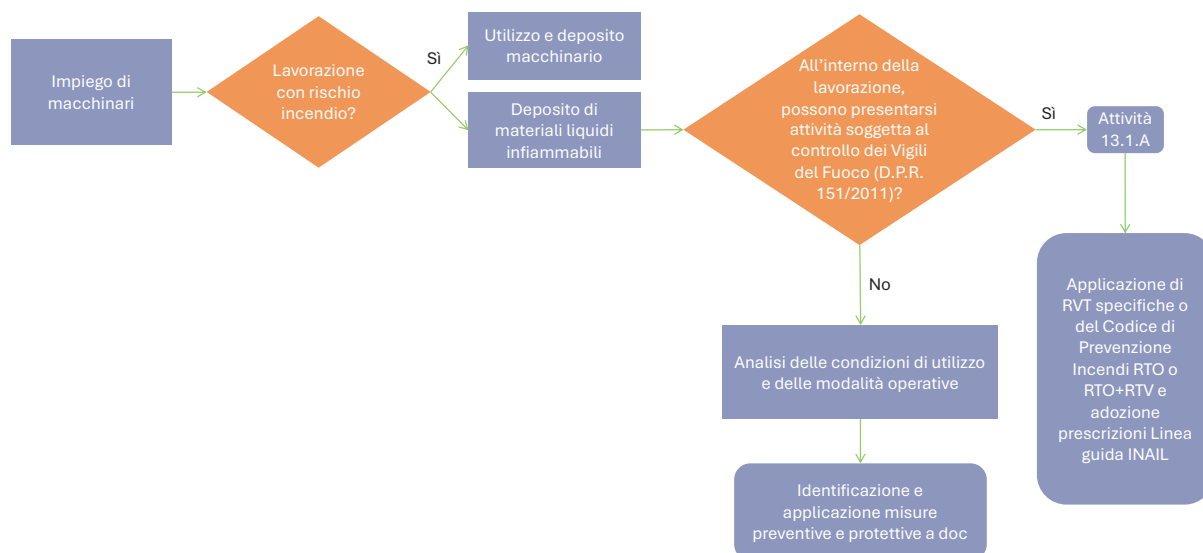


Figura 96. Analisi deposito materiali liquidi infiammabili

Le soluzioni ad hoc relative all'uso e deposito dei macchinari prevedono l'applicazione delle seguenti prescrizioni:

- Adozione di macchine con marcatura CE;
- Operare secondo il libretto di istruzioni;
- Limitare l'uso in presenza di materiali altamente infiammabili;
- Se possibile, separazione o distanziamento tra area operativa e stoccaggio combustibili (distanza ≥ 10 m);
- Monitoraggio delle condizioni del macchinario;
- Rimozione immediata dei detriti;
- Installazione di sistemi per ridurre l'accumulo di polveri combustibili;
- Prevedere aree di deposito dei macchinari nel layout di cantiere;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;
- Garantire distanza tra lo scarico di calore del motore (radiatore, marmitta) e materiali infiammabili;
- Pulizia quotidiana di pianali e vano motore con aria compressa a bassa pressione per evitare accumulo di materiale combustibile;
- Operare in aree aperte o con ventilazione forzata per disperdere vapori e polveri;
- Il rifornimento del macchinario deve avvenire in aree esterne, ben ventilate naturalmente e appositamente adibite;
- Effettuare operazioni di rifornimento a motore spento e lontano da area operativa e da materiali combustibili e/o infiammabili;
- Segnalazione e sorveglianza della zona operativa e di stazionamento, separandole dalle aree di stoccaggio di materiali combustibili;

- Spegnerne sempre il motore e mettere in sicurezza la chiave durante il pieno di carburante;
- Sostituzione di guarnizioni usurate e riparazione di perdite;
- Ispezione giornaliera di motori, sistemi idraulici e cablaggi;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Coordinare le attività in modo da evitare sovrapposizioni con operazioni generatrici di scintille o fiamme (come saldatura e taglio termico);
- Non collocare il macchinario su superfici combustibili.

Le seguenti disposizioni si applicano al deposito di materiali liquidi infiammabili che devono essere predisposte nel caso di impiego di macchinari:

- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di deposito. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili;
- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione ($\geq 10\text{ m}$) o elementi resistenti al fuoco;
- Ridurre le quantità depositate;
- Messa in opera del prodotto in assenza di sorgenti di ignizione;
- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte, recintate in modo sicuro, ombreggiate dal sole e lontane da pozzetti, scarichi e aree con livello inferiore o altre soluzioni, come moduli prefabbricati in materiale idoneo non combustibile, purché dotati di adeguata aerazione naturale;
- Adeguata ventilazione dei locali;
- Evitare l'immagazzinamento insieme ad altri materiali come solidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d'incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Accesso al deposito consentito a parte del personale autorizzato, informato e formato sulle procedure di stoccaggio e movimentazione;
- Negli orari di inattività e chiusura, i depositi devono essere chiusi;
- Dispositivi elettrici idonei nei depositi, installati da personale competente e regolarmente controllati ed ispezionati;
- In presenza di grossi quantitativi di liquidi infiammabili, in prossimità del deposito prevedere spazi per intervento V.V.F.;

- Il pavimento dei depositi deve essere pavimentato o compattato con superficie dura per la movimentazione;
- Per depositi al chiuso, valutare installazione di rilevazione di composti organici volatili per il loro monitoraggio;
- Le bombole devono essere esterne a costruzioni e in sicurezza, protette da interferenze;
- I serbatoi, fusti e contenitori dei liquidi combustibili devono essere etichettati e correttamente immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni, dalle vie di esodo. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- In generale, evitare lo stoccaggio in prossimità di uscite di emergenza o vie di esodo;
- Segnaletica di sicurezza apposta esternamente per identificare le sostanze all'interno del deposito, la classe di fuoco e l'ubicazione dei mezzi di estinzione portatili. Cartellonistica di avvertimento appropriate come "LIQUIDI ALTAMENTE INFIAMMABILI", "VIETATO FUMARE" e "VIETATO USARE FIAMME LIBERE";
- In caso di spazi ristretti, realizzazione di barriere tra area di stoccaggio e zone in cui operano i mezzi;
- Al termine dei lavori, i contenitori di carburante devono essere rimossi dal posto di lavoro e riportati in deposito;
- Evitare spargimento del liquido (perdita, fuoriuscita accidentale);
- Cambio degli abiti da lavoro in caso questi entrino in contatto con combustibile liquido;
- I contenitori devono essere etichettati correttamente e immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Utilizzo di strumenti adeguati al prelievo, prevedendo eventuali bacini di contenimento;
- Se possibile sviluppo di atmosfere esplosive, porre attenzione all'uso di macchine e utensili;
- I materiali devono essere utilizzati solo per le loro finalità;
- Ridurre al minimo i quantitativi in diverse aree del cantiere al di fuori del deposito;
- Valutazione rispetto al rischio esplosione.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Uso di soffiatore a zaino

Il soffiatore a zaino è un dispositivo portatile, montato sulla schiena dell'operatore tramite un robusto telaio con spallacci e cintura lombare, che genera un getto d'aria ad alta velocità per rimuovere detriti, foglie e polveri dalla superficie di lavoro. Solitamente, il funzionamento di tale dispositivo si basa su un motore a combustione interna, generalmente a due tempi, alimentato da una miscela di benzina e olio, che aziona un ventilatore radiale alloggiato in un involucro rigido. All'accensione, il pistone viene richiamato nel cilindro mediante l'ausilio di una cordicella di avviamento manuale (denominata "avviatore a strappo"). La miscela aria-carburante viene compressa e innescata dalla candela, dando luogo a reazione di combustione. La forza espansiva esercitata spinge il pistone, trasmettendo il movimento al volano, il quale, attraverso un sistema di ingranaggi o una frizione centrifuga, fa ruotare rapidamente il rotore del ventilatore. Il ventilatore radiale, costituito da pale montate su un mozzo, aspira l'aria dall'apertura posteriore dell'involucro e la convoglia, mediante la geometria delle pale, verso il condotto di uscita. In tale contesto, un tubo flessibile o rigido è impiegato per dirigere il flusso verso la destinazione desiderata. Il controllo della velocità del getto d'aria è ottenuto mediante una leva o un comando al manubrio, che regola l'apertura della valvola a farfalla nel carburatore, modificando la quantità di miscela immessa nel motore e, di conseguenza, i giri al minuto del ventilatore. Al rilascio del comando, la farfalla si chiude, il motore rallenta e il flusso d'aria diminuisce fino allo spegnimento completo.

Inoltre, esistono dispositivi di soffiatura a batteria che presentano un'alternativa al tradizionale motore a scoppio, caratterizzata dall'impiego di un motore brushless di ridotto spessore, associato a un sistema di controllo elettronico (BMS). Tale sistema consente la regolazione istantanea della potenza erogata in base alla pressione esercitata sul grilletto. All'atto della pressione del comando di avvio da parte dell'operatore, l'elettronica attiva il motore, accelerandolo fino a raggiungere migliaia di giri al minuto; la rotazione viene trasmessa a un ventilatore radiale interno, le cui pale, progettate con precisione aerodinamica, aspirano l'aria attraverso una griglia protettiva ed espellono un getto potente e concentrato attraverso il tubo frontale. Il cuore "elettrico" del sistema è costituito da uno o due moduli batteria al litio che includono sensori interni che monitorano temperatura, tensione e corrente, interrompendo l'erogazione in caso di anomalie per prevenire surriscaldamenti o cortocircuiti. Al termine della sessione di utilizzo, è sufficiente scollegare le batterie e inserirle nel caricabatterie apposito.



Figura 97. Soffiatore con motore a scoppio (sx) [104] e soffiatore a batteria (dx) [105]

Sebbene apparentemente innocuo, il soffiatore a zaino presenta rischi di incendio significativi, soprattutto se alimentato a motore a scoppio (benzina). Di seguito, vengono elencati i fattori critici:

Fonti di ignizione

- Se il motore è a benzina, si possono riscontrare potenziali inneschi legati a:
 - Vapori di carburante che entrano in contatto con scintille o superfici calde durante il rifornimento;
 - Si può verificare un surriscaldamento del motore o del tubo di scarico che può entrare in contatto con materiali combustibili;
 - La generazione di scintille da parte di parti metalliche in attrito o dal sistema di accensione;
 - Perdite di carburante durante il rifornimento.
- Se il motore è elettrico, si possono verificare:

	• Cortocircuiti da cavi danneggiati o collegamenti non isolati; • Sovraccarichi termici per un uso prolungato o un malfunzionamento del motore.
Materiali combustibili	○ Innesco di foglie secche, segatura, erba, trucioli di legno, etc. a causa di scintille provocate dal motore; ○ Presenza nell'area di lavoro di contaminanti come oli, grassi o solventi.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 25. Criticità soffiatore a zaino

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, le fasi maggiormente critiche riguardano l'utilizzo e il deposito dell'attrezzatura e il deposito di materiali liquidi infiammabili se il soffiatore risulta essere alimentato a carburante.

Per quanto concerne l'utilizzo e il deposito dell'attrezzatura, essa risulta un'attività non soggetta. Al contrario, il deposito di carburante comporta l'assoggettabilità ai controlli dei V.V.F. (attività 13.1.A).

13	Impianti fissi di distribuzione carburanti per l'autotrazione, la nautica e l'aeronautica; contenitori-distributori rimovibili di carburanti liquidi.			
	a) Impianti di distribuzione carburanti liquidi ^{33, 34, 35, 36, 37, 38}	Contenitori distributori rimovibili e non di carburanti liquidi fino a 9 mc con punto di infiammabilità superiore a 65 °C ^{39, 40, 41, 42, 43, 44}	Solo liquidi combustibili	tutti gli altri
	b) Impianti fissi di distribuzione carburanti gassosi e di tipo misto (liquidi e gassosi) ^{45, 46}			tutti

Figura 98. Attività 13, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi. Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “Fire prevention on construction sites”.

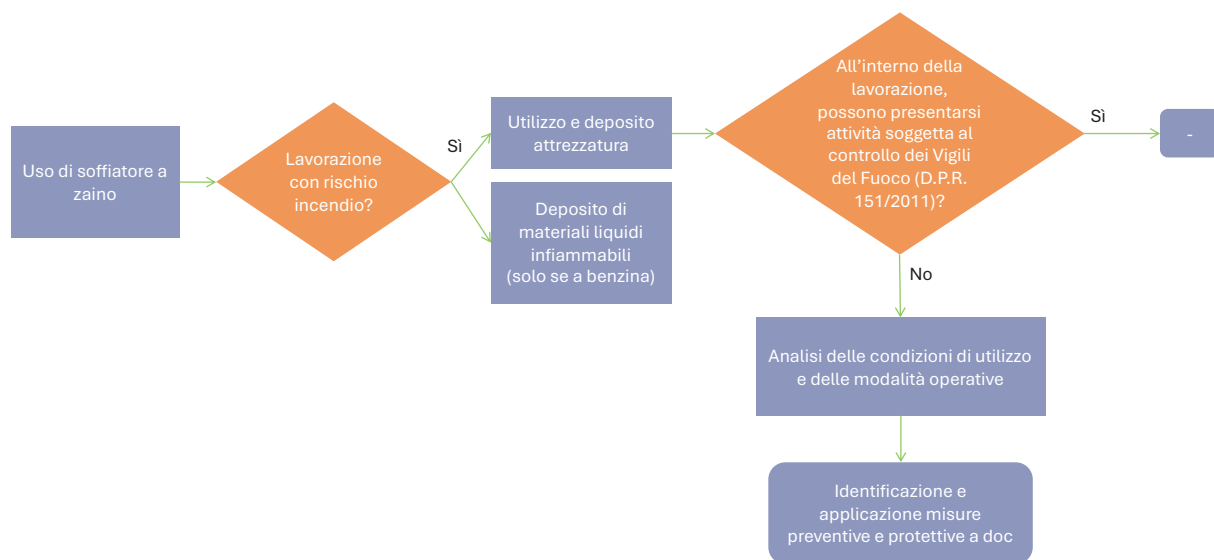


Figura 99. Analisi utilizzo e deposito attrezzatura

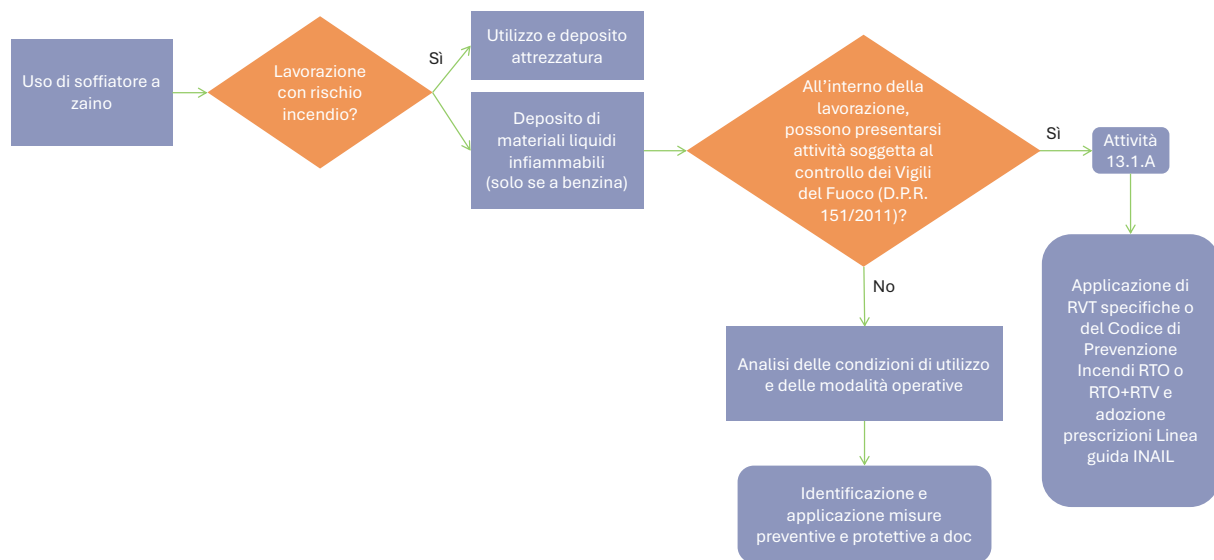


Figura 100. Analisi deposito materiali liquidi infiammabili (solo per i soffiatori a scoppio)

Le soluzioni ad hoc prevedono l'implementazione delle seguenti misure relative all'uso e deposito dell'attrezzatura:

- Operare secondo il libretto di istruzioni;
- Limitare l'uso in presenza di materiali altamente infiammabili;

- Utilizzare prolunghe certificate;
- Monitoraggio delle condizioni del macchinario;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;
- Rimuovere manualmente i residui combustibili prima di attivare il soffiatore;
- A termine attività, riporre sempre il soffiatore pulito, utilizzando aria compressa;
- Operare in aree aperte o con ventilazione forzata per disperdere vapori e polveri;
- Il rifornimento dell'attrezzatura deve avvenire in aree esterne, ben ventilate naturalmente e appositamente adibite (se motore);
- Effettuare operazioni di rifornimento a motore spento e lontano da area operativa e da materiali combustibili e/o infiammabili (se motore);
- Evitare l'uso contemporaneo di macchine che generano scintille o fiamme (saldatrici, cesoie termiche) nelle vicinanze;
- Designare addetto che, per almeno 15–30 min dopo l'uso, monitori l'area per eventuali focolai
- Verifica quotidiana dell'integrità delle tubazioni, guarnizioni e filtri aria;
- Montare griglie o schermi in metallo a maglia fine sulla presa d'aria e sul terminale di scarico per intercettare eventuali particelle incandescenti;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Per la pulizia, non utilizzare solventi o liquidi infiammabili come alcool, benzina o petrolio, ma comuni detergenti per la pulizia di plastica e metalli;
- Se l'utilizzo successivo avviene presumibilmente dopo oltre un mese, svuotare completamente il serbatoio della miscela;
- Riporre in un luogo fresco, asciutto, al riparo dagli agenti atmosferici;
- Sostituire filtro aria a termine di ogni utilizzo;
- Pulizia/sostituzione del filtro carburante ogni 10h di utilizzo;
- Verificare condizioni della candela ogni 10h di utilizzo;
- Non collocare l'attrezzatura su superfici combustibili.

Le seguenti disposizioni si applicano al deposito di materiali liquidi infiammabili che devono essere predisposte nel caso di impiego del soffiatore a motore a scoppio:

- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di deposito. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili;

- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione (≥ 10 m) o elementi resistenti al fuoco;
- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte, recintate in modo sicuro, ombreggiate dal sole e lontane da pozzetti, scarichi e aree con livello inferiore o altre soluzioni, come moduli prefabbricati in materiale idoneo non combustibile, purché dotati di adeguata aerazione naturale;
- Ridurre le quantità depositate;
- Messa in opera del prodotto in assenza di sorgenti di ignizione;
- Adeguata ventilazione dei locali;
- Evitare l'immagazzinamento insieme ad altri materiali come solidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d'incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Operazioni di monitoraggio delle condizioni ambientali nei luoghi di lavoro con sistemi di rivelazione di composti organici volatili;
- Accesso al deposito consentito a parte del personale autorizzato, informato e formato sulle procedure di stoccaggio e movimentazione;
- Negli orari di inattività e chiusura, i depositi devono essere chiusi;
- Dispositivi elettrici idonei nei depositi, installati da personale competente e regolarmente controllati ed ispezionati;
- In presenza di grossi quantitativi di liquidi infiammabili, in prossimità del deposito prevedere spazi per intervento V.V.F.;
- Il pavimento dei depositi deve essere pavimentato o compattato con superficie dura per la movimentazione;
- Per depositi al chiuso, valutare installazione di rilevazione di composti organici volati. Le bombole devono essere esterne a costruzioni e in sicurezza, protette da interferenze;
- I serbatoi, fusti e contenitori dei liquidi combustibili devono essere etichettati e correttamente immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Valutazione rispetto al rischio esplosione;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni, dalle vie di esodo. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- Segnaletica di sicurezza apposta esternamente per identificare le sostanze all'interno del deposito, la classe di fuoco e l'ubicazione dei mezzi di estinzione portatili. Cartellonistica di avvertimento appropriate come "LIQUIDI ALTAMENTE INFIAMMABILI", "VIETATO FUMARE" e "VIETATO USARE FIAMME LIBERE";
- In caso di spazi ristretti, realizzazione di barriere tra area di stoccaggio e zone in cui operano i mezzi;

- Al termine dei lavori, i contenitori di carburante devono essere rimossi dal posto di lavoro e riportati in deposito;
- Evitare lo stoccaggio in prossimità di uscite di emergenza o vie di esodo;
- Evitare spargimento del liquido (perdita, fuoriuscita accidentale);
- Cambio degli abiti da lavoro in caso questi entrino in contatto con combustibile liquido;
- I contenitori devono essere etichettati correttamente e immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Utilizzo di strumenti adeguati al prelievo, prevedendo eventuali bacini di contenimento;
- Se possibile sviluppo di atmosfere esplosive, porre attenzione all'uso di macchine e utensili;
- I materiali devono essere utilizzati solo per le loro finalità;
- Ridurre al minimo i quantitativi in diverse aree del cantiere al di fuori del deposito.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Stoccaggio e gestione rifiuti

I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) rappresentano i materiali di scarto generati nel corso delle attività edilizie, quali la costruzione, la ristrutturazione o la demolizione di edifici e infrastrutture. Tali rifiuti possono includere materiali quali laterizi (mattoni e piastrelle), conglomerati cementizi, ceramiche (piastrelle e sanitari), macerie (frammenti di materiali vari come pietre e residui di intonaco e materiali isolanti). Lo stoccaggio dei rifiuti in cantiere rappresenta un'attività ad alto rischio incendio, soprattutto in considerazione della presenza di materiali combustibili, sostanze chimiche residue e condizioni ambientali favorevoli all'innesco.

I rifiuti in esame sono classificati come rifiuti speciali, secondo quanto stabilito dalla normativa italiana vigente in materia. Più precisamente, l'articolo 184 del decreto legislativo 152/2006, comma 3, lettera b), stabilisce che la loro gestione debba avvenire mediante specifiche procedure, che includono l'identificazione, il raggruppamento, il trasporto e lo smaltimento.

I rifiuti generati dalle attività di cantiere, strettamente legati ai processi di demolizione, costruzione e scavo, possono essere classificati nelle seguenti categorie:

- Rifiuti derivanti direttamente dalle operazioni di demolizione e costruzione;
- Rifiuti prodotti in cantiere in relazione alle attività operative, come gli scarti di imballaggio;
- Terreno rimosso durante le operazioni di scavo nell'ambito delle attività edilizie.

Inoltre, è possibile suddividere ulteriormente tali elementi in:

- “Rifiuti inerti” quei materiali che non subiscono variazioni nel tempo e che non presentano rischi per l'ambiente. A titolo esemplificativo, si possono includere in tale categoria materiali quali sabbia, ghiaia e calcestruzzo;
- “Rifiuti pericolosi” quei materiali che presentano la potenzialità di contenere sostanze nocive, quali amianto o metalli pesanti, e che pertanto necessitano di un trattamento specifico.

La gestione dei rifiuti inerti è regolata da normative specifiche introdotte dal D.M. 127/2024, comunemente noto come Decreto Inerti 2024, che disciplina le pratiche di recupero dei rifiuti edili al fine di ridurre l'impatto ambientale delle attività di costruzione e demolizione.

Specificatamente, la prima fase da avviare è l'analisi dei rifiuti da costruzione è un'attività fondamentale che richiede competenze specifiche e un rigoroso rispetto delle normative vigenti, al fine di promuovere pratiche sostenibili nel settore delle costruzioni. Tale approccio metodologico include la caratterizzazione, la classificazione e l'analisi chimica dei materiali di scarto generati durante le attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione. La caratterizzazione dei rifiuti da costruzione e demolizione si sostanzia nell'identificazione delle loro caratteristiche fisiche e chimiche, necessaria per determinare il corretto codice dell'Elenco Europeo dei Rifiuti (EER) e per valutare la pericolosità dei materiali. Questo processo è fondamentale per determinare la destinazione finale dei rifiuti, se

smaltimento in discarica o recupero per altre applicazioni. In seguito, la gestione dei rifiuti deve includere la loro raccolta e separazione per categoria (metalli, legno, calcestruzzo, plastica) direttamente in cantiere. In tal modo, è possibile destinarli correttamente al deposito temporaneo previsto all'interno del cantiere stesso. Tale pratica è regolata dall'articolo 185-bis del D.lgs. 152/2006, che stabilisce che il deposito temporaneo costituisca una fase preliminare della gestione dei rifiuti, non richiedendo autorizzazioni specifiche, a condizione che vengano rispettate precise condizioni legali. Secondo quanto stabilito dalla normativa vigente, la durata massima del deposito temporaneo è fissata a un anno, con l'obbligo di smaltire o recuperare i rifiuti prima del termine di questa fase, qualora vengano raggiunti specifici limiti volumetrici: 30 metri cubi per i rifiuti non pericolosi e 10 metri cubi per i rifiuti pericolosi. Il deposito temporaneo dei rifiuti deve essere effettuato presso il sito di produzione, in un'area accessibile e sicura. È essenziale che i rifiuti siano separati per categorie omogenee, evitando la miscelazione, e che quelli pericolosi siano etichettati e imballati in modo adeguato. Inoltre, il deposito è soggetto a limiti temporali: i rifiuti devono essere smaltiti entro 12 mesi, oppure ogni tre mesi indipendentemente dalla quantità, o al raggiungimento di 30 m³ (di cui massimo 10 m³ di rifiuti pericolosi). È obbligatorio tenere un registro di carico e scarico per garantire la tracciabilità, e l'accesso all'area di deposito deve essere limitato agli operatori autorizzati, con misure di sicurezza adeguate. Il trasporto dei rifiuti per lo smaltimento o il recupero deve essere effettuato da soggetti autorizzati, iscritti all'Albo Nazionale Gestori Ambientali. La responsabilità nel trasporto dei rifiuti è condivisa tra il produttore, il trasportatore e il destinatario. Il Formulario di Identificazione dei Rifiuti (FIR), compilato dal produttore, rappresenta un documento di cruciale importanza nel contesto del trasporto dei rifiuti. Secondo quanto stabilito dalla normativa italiana, il FIR è un requisito fondamentale per garantire la tracciabilità e la gestione corretta dei materiali di scarto. Ogni operazione di trasporto di rifiuti deve essere accompagnata dal FIR, che deve contenere informazioni dettagliate per garantire la corretta gestione dei rifiuti [106].



Figura 101. Procedura per la gestione dei rifiuti [106]

Di conseguenza, si può affermare che la gestione inadeguata dei rifiuti generati in cantiere rappresenta un fattore di rischio elevato per il rischio d'incendio, a causa della compresenza di materiali combustibili, di residui chimici e delle condizioni operative critiche. In tale ottica, diventa fondamentale considerare la capacità di tali rifiuti di causare danni. Si sottolinea altresì la necessità di applicare tali precauzioni in tutti i cantieri, in quanto ogni cantiere genera rifiuti.

In seguito a ciò, sono stati analizzati i depositi temporanei di rifiuti in termini di rischio incendio e, di seguito, vengono elencati i fattori critici associati a:

Materiali combustibili	Rifiuti combustibili: ○ Materiali organici come: • Legno, carta, cartone, i quali sono altamente infiammabili; • Segatura e trucioli con rischio di autocombustione in condizioni di umidità e calore. ○ Materiali sintetici come: • Poliestere espanso, resine, PVC che hanno elevato potere calorifico; • Imballaggi plastici altamente infiammabili.
--------------------------------------	--

	Rifiuti chimici e pericolosi: ○ Come liquidi infiammabili (solventi, vernici e oli lubrificanti) e residui reattivi (collanti, acidi, reagenti che possono generare calore o gas infiammabili se miscelati). Rifiuti metallici: ○ Polveri metalliche che, se disperse in aria, possono formare miscele esplosive. Stoccaggio non adeguato: ○ Accumulo non segregato con mescolanza di rifiuti combustibili con materiali inerti; ○ Container non ventilati con conseguente accumulo di vapori infiammabili (es. solventi) o gas (es. metano da decomposizione organica).
Fonti di ignizione	○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze; ○ Cortocircuiti in prossimità di casseforme.
Contesto operativo	○ Condizioni ambientali con temperature ed umidità elevate; ○ Vento che propaga scintille, temperature elevate che favoriscono l'autocombustione.
Errori umani	○ Smaltimento non conforme (es. abbandono di rifiuti in prossimità di fonti di ignizione); ○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 26. Criticità rifiuti di cantiere

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio, i quali sono assoggettati all'operazione di stoccaggio dei rifiuti edili come elemento intrinseco.

In questo caso, è necessario individuare tutti i materiali destinati ai depositi temporanei che possono configurarsi nel cantiere oggetto di studio al fine di comprendere se risultano essere contenuti nel D.P.R. 151/2011. In particolare, si sono individuate le seguenti attività:

34	Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg. ^{56, 57}		fino a 50.000 kg	oltre 50.000 kg
36	Depositi di legnami da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero e di altri prodotti affini con quantitativi in massa superiori a 50.000 kg con esclusione dei depositi		fino a 500.000 kg	oltre 500.000 kg
	all'aperto con distanze di sicurezza esterne superiori a 100 m ⁵⁸			
38	Stabilimenti ed impianti ove si producono, lavorano e/o detengono fibre tessili e tessuti naturali e artificiali ⁵⁹ , tele cerate, linoleum e altri prodotti affini, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg		fino a 10.000 kg	oltre 10.000 kg
44	Stabilimenti, impianti, depositi ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg		depositi fino a 50.000 kg	Stabilimenti ed impianti; depositi oltre 50.000 kg

Figura 102. Attività 34, 26, 38 e 44, estratto [91]

Tuttavia, considerando il contesto cantieristico, risulta irrealistico ipotizzare la presenza di tali quantità all'interno del cantiere, implicando l'assenza di assoggettabilità ai controlli dei Vigili del Fuoco sugli accatastamenti dei rifiuti. Tale situazione evidenzia una carenza nel processo di progettazione della sicurezza antincendio, un aspetto che non dovrebbe essere trascurato, considerando che i rifiuti rappresentano un accumulo di materiale combustibile suscettibile di innescare se non gestito adeguatamente. Pertanto, si rende necessario valutare e comprendere il rischio che i rifiuti comportano al fine di prevedere idonee misure di prevenzione e protezione. A tal fine, qualora le condizioni definite dal D.P.R. 151/2011 non si verificassero, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la *“Fire prevention on construction sites”*.

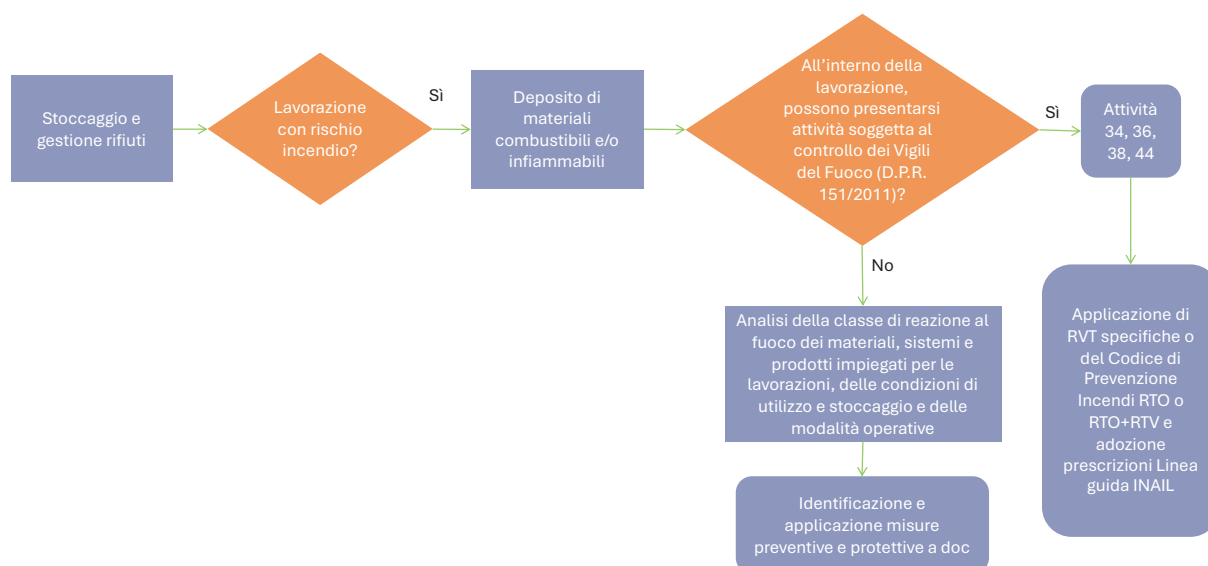


Figura 103. Analisi deposito materiali combustibili e/o infiammabili

Le seguenti disposizioni si applicano al deposito di materiali combustibili e/o infiammabili che devono essere predisposte:

- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte, ombreggiate dal sole e lontane da pozzetti, scarichi e aree con livello inferiore. I materiali di scarto non devono essere immagazzinati in un edificio in fase di costruzione o ristrutturazione;
- Stoccaggio di rifiuti all'interno di appositi contenitori metallici;
- Utilizzare contenitori ignifughi (almeno classe REI 30) per liquidi infiammabili;
- Tutti i rifiuti raccolti e destinati allo smaltimento devono essere custoditi in un'area ad almeno 10m di distanza dalla struttura su cui si svolgono i lavori, dai locali temporanei, dai depositi per fumatori, dai magazzini e dalle attrezzature. Inail segnala un metodo di calcolo abbastanza speditivo, ovvero quello di cui alla procedura per la determinazione tabellare o analitica, descritta nella misura antincendio della compartimentazione S.3 del Codice di prevenzione incendi di cui al D.M. 3 agosto 2015 e s.m.i.;
- Ridurre le quantità depositate;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- In caso di impiego di scivoli per rifiuti, questi devono essere collocati all'esterno dell'edificio e realizzati con materiali resistenti al fuoco;
- Le aree di deposito dei rifiuti devono essere adeguatamente contrassegnate al fine di rendere nota la natura e la pericolosità dei rifiuti, con apposizione di tabelle per le norme di comportamento del personale addetto alle operazioni di stoccaggi;

- Per i materiali infiammabili, come ad esempio gli stracci oleosi, è necessario impiegare contenitori metallici separati con coperchi di metallo ben chiusi;
- Rimuovere con cadenza periodica la vegetazione secca entro una distanza di 20 metri da ogni edificio o struttura;
- Se area di deposito in ambienti chiusi, realizzazione di un compartimento antincendio;
- Rispetto dei quantitativi di rifiuti stoccati secondo la normativa di riferimento (art. 183 c.1 lett m ex d.lgs. 152/2006 e s.m.i.) per i depositi temporanei;
- Considerare compatibilità dei diversi rifiuti stoccati in un medesimo spazio per evitare incremento dei fattori di rischio. Ad esempio, divieto di miscelare rifiuti pericolosi con rifiuti non pericolosi;
- Rifiuti liquidi: stoccati in contenitori a norma, in bacini a tenuta per il contenimento di eventuali sversamenti in fase di movimentazione dei contenitori o di rottura dei medesimi. Rifiuti solidi: possono essere stoccati anche in cumuli di altezza variabile;
- Garantire adeguata ventilazione degli ambienti, limitando le altezze dei cumuli al fine di evitare autocombustione;
- Rimuovere periodicamente i rifiuti;
- Separare rifiuti combustibili da inerti (es. metalli, calcestruzzo) già in fase di produzione;
- Mantenere una distanza ≥ 10 m tra aree di produzione rifiuti e attività a caldo;
- Addestramento su procedure di carico/scarico sicure e uso di DPI.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Corso specifico sulla gestione dei rifiuti pericolosi e sulle tecniche di spegnimento di incendi di materiali organici e solventi;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Di seguito si riportano le attività che sono risultate da un'analisi approfondita del rischio incendio, per le quali, spesso, non è prevista l'implementazione di misure preventive e protettive legate al potenziale innesco, in quanto non ritenute causa di incendio.

Uso di smerigliatrice angolare

La smerigliatrice angolare, denominata anche flessibile, rappresenta uno strumento di impiego diffuso nei contesti lavorativi edili, caratterizzato da un'elevata versatilità operativa. L'attrezzo in questione è un dispositivo portatile equipaggiato con un disco abrasivo rotante, impiegato per eseguire operazioni di taglio, smerigliatura e finitura su una vasta gamma di materiali, tra cui metallo, cemento, ceramica e pietra.

Nel settore edile, la smerigliatrice è uno strumento comunemente impiegato per la taglio di tubazioni, profilati metallici, tondini per il calcestruzzo armato, nonché per la rifinitura di cordoli e bordi in cemento. Il prodotto può essere impiegato per la rimozione di residui di malta, colle o vernici da superfici destinate a un successivo trattamento, oppure per la pulizia e la levigatura di saldature su elementi metallici. Il disco rotante, disponibile in diverse tipologie in base al processo di lavorazione, rappresenta l'elemento che consente di adattare lo strumento a una varietà di applicazioni. Il funzionamento è semplice ma potente: il motore elettrico (alimentato da rete o batteria) aziona il disco ad alta velocità, permettendo di incidere o abrasare il materiale desiderato con precisione. Tuttavia, l'elevata velocità di rotazione può generare scintille, schegge e polveri sottili, con un potenziale rischio per la sicurezza se non gestita adeguatamente.



Figura 104. Smerigliatrice angolare [14]

La smerigliatrice presenta rischi di innesco legati a:

Fonti di ignizione	○ Surriscaldamento del disco o del motore per uso prolungato, dischi danneggiati/squilibrati o attrito eccessivo con materiali duri; ○ Scintille prodotte dall'attrito tra il disco abrasivo e il materiale lavorato, possono raggiungere temperature superiori a 1.200°C e propagarsi fino a 10 metri; ○ Accumulo di polveri metalliche o organiche che possono formare miscele esplosive (ATEX); ○ Potenziale presenza di gas o vapori infiammabili per lavori in prossimità di serbatoi, bombole, o sostanze chimiche; ○ Rischi elettrici: • Cortocircuiti causati da cavi danneggiati, fili scoperti, collegamenti difettosi o uso in ambienti umidi; • Sovraccarico della rete per utilizzo di prolunghe non adeguate alla potenza della smerigliatrice.
Contesto operativo	○ Interazione dell'attrezzatura con materiali combustibili: • Presenza di vernici, solventi o bombole di gas entro il raggio di propagazione delle scintille; • Imballaggi combustibili (carta, cartone, plastica) accumulati vicino all'area di lavoro.

Gestione inadeguata	○ Mancata pulizia dell'area con conseguente accumulo di materiali combustibili; ○ Manutenzione trascurata.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Scelta errata del disco; ○ Altro...

Tabella 27. Criticità smerigliatrice angolare

In particolare, nel caso in esame, l'attrezzatura è impiegata per una serie di lavorazioni, tra cui:

- Realizzazione della recinzione e degli accessi al cantiere;
- Realizzazione di schermatura di cantiere antirumore e antipolvere;
- Allestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Allestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi;
- Allestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere;
- Allestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Posa di recinzioni e cancellate: smontaggio e rimontaggio in nuova posizione di cancello metallico esistente;
- Disallestimento di depositi, zone per lo stoccaggio dei materiali e per gli impianti fissi;
- Disallestimento di aree di deposito provvisorie per materiali recuperabili;
- Disallestimento di servizi igienico-assistenziali del cantiere;
- Disallestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Disallestimento di zone per lo stoccaggio rifiuti;
- Cablaggio elettrico.

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio, i quali sono assoggettati all'utilizzo e deposito dell'attrezzatura, attività non soggetta ai controlli dei Vigili del fuoco.

Di conseguenza, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL, la *"Fire prevention on construction sites"*.

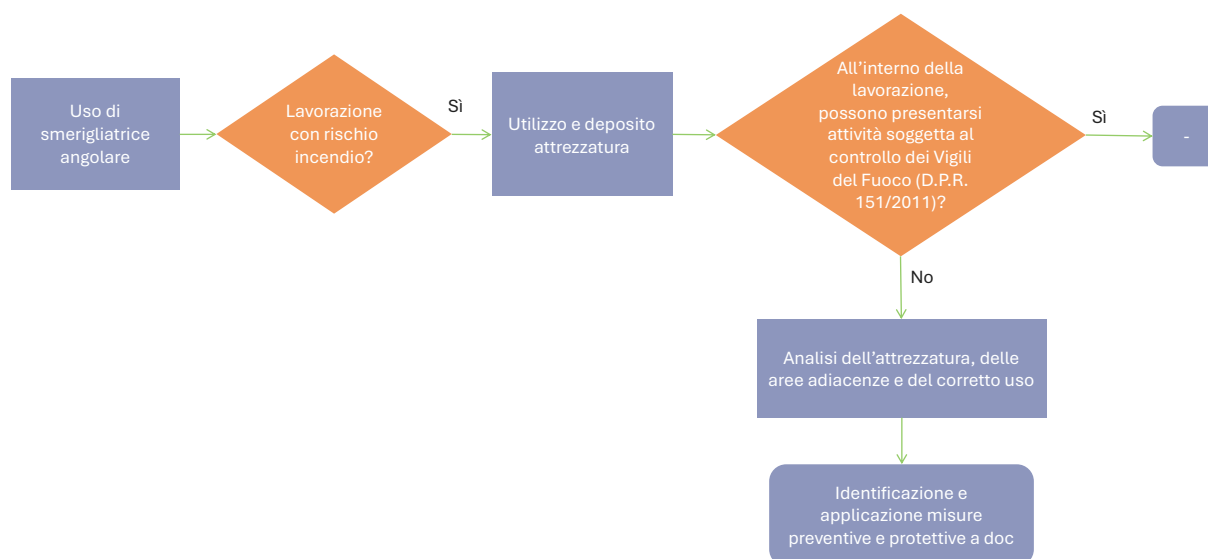


Figura 105. Analisi utilizzo e deposito attrezzatura

Tali soluzioni identificate prevedono:

- Operare secondo il libretto di istruzioni;
- Limitare l'uso in presenza di materiali altamente infiammabili;
- Utilizzare prolunghe certificate;
- Monitoraggio delle condizioni del macchinario;
- Nelle pause di lavoro interrompere l'alimentazione elettrica;
- Verificare l'integrità dei cavi e della spina di alimentazione;
- A termine attività, staccare il collegamento elettrico della macchina;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;
- Rimuovere manualmente i residui combustibili prima dell'attivazione;
- A termine attività, riporre sempre l'attrezzatura pulita, utilizzando aria compressa;
- Operare in aree aperte o con ventilazione forzata per disperdere vapori e polveri;
- Prestare attenzione in quanto scintille derivanti dal processo possono facilmente inserirsi attraverso piccole crepe e aperture e passare ad aree adiacenti;
- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di saldatura. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili (es. teli ignifughi);
- Evitare l'uso contemporaneo di macchine che generano scintille o fiamme (saldatrici, cesoie termiche) nelle vicinanze;
- Designare addetto che, per almeno 15–30 min dopo l'uso, monitori l'area per eventuali focolai
- Utilizzare la protezione del carter;
- Verificare l'integrità del disco prima dell'uso;

- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Non effettuare operazioni di smerigliatura nel caso in cui ci sia la possibilità che le scintille colpiscano materiale combustibile o infiammabile;
- Usare dischi abrasivi certificati e adatti al materiale;
- Ispezionare cavi, cuscinetti e dischi prima dell'uso;
- Non collocare l'attrezzatura su superfici combustibili.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Permesso di lavori a caldo;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Uso di trapano elettrico

Il trapano elettrico è uno degli strumenti più comuni e versatili in un cantiere edile. L'attrezzo in questione è un dispositivo portatile concepito per la perforazione di superfici di natura eterogenea, quali calcestruzzo, metallo, legno e materiali plastici. Tuttavia, grazie alla presenza di una varietà di accessori opzionali, il suo utilizzo può estendersi a funzioni aggiuntive, quali l'avvitamento, la miscelazione di malte o vernici, nonché lavori di smussatura e rifinitura.

Il trapano elettrico è uno strumento impiegato quotidianamente da operai specializzati, impiantisti e carpentieri in diverse fasi del processo di costruzione. Ad esempio, durante la posa in opera di impianti elettrici o idraulici, si rende necessario realizzare fori nei muri o nei solai per il passaggio di tubazioni o cavi. In ambito di carpenteria metallica, trova impiego nel fissaggio di piastre e staffe. Durante le fasi di finitura, il prodotto può essere impiegato per l'applicazione di tasselli e supporti per serramenti, parapetti o arredi fissi. Dal punto di vista tecnico, il trapano è costituito da un corpo macchina con impugnatura, dal quale si diparte il mandrino, ossia l'elemento rotante su cui viene fissata la punta, e da un motore, che può essere alimentato a corrente elettrica (trapani a filo) oppure a batteria ricaricabile (trapani cordless). Nei modelli più avanzati, il motore è dotato di una funzione percussione, utile per affrontare materiali altamente resistenti come il cemento armato o la pietra.



Figura 106. Trapano elettrico [107]

Il trapano elettrico presenta rischi di innesco legati a:

Fonti di ignizione	○ Surriscaldamento del motore per uso prolungato o sovraccarico. Infatti: • Operazioni intensive senza pause di raffreddamento generano temperature elevate con rischio di fusione dell'isolamento elettrico;
---------------------------	--

	• Blocco della punta durante la foratura (es. in metalli duri) causa attrito eccessivo. ○ Scintille durante la foratura di metalli; ○ Accumulo di polveri combustibili (es. segatura) su componenti caldi del trapano; ○ Rischi elettrici: • Cortocircuiti causati da cavi danneggiati, fili scoperti, collegamenti difettosi o uso in ambienti umidi; • Sovraccarico della rete per utilizzo di prolunghe non adeguate alla potenza del trapano.
Contesto operativo	○ Interazione dell'attrezzatura con materiali combustibili: • Presenza di vernici, solventi o bombole di gas entro il raggio di propagazione delle scintille; • Imballaggi combustibili (carta, cartone, plastica) accumulati vicino all'area di lavoro.
Gestione inadeguata	○ Mancata pulizia dell'area con conseguente accumulo di materiali combustibili; ○ Manutenzione trascurata.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Scelta errata della punta; ○ Altro...

Tabella 28. Criticità trapano elettrico

Tale strumentazione è prevista nel cantiere oggetto di studio per la maggioranza delle lavorazioni, come:

- Realizzazione della recinzione e degli accessi al cantiere;
- Realizzazione di schermatura di cantiere antirumore e antipolvere;
- Montaggio di parapetti provvisori;
- Realizzazione di impianto elettrico del cantiere;
- Realizzazione di impianto idrico del cantiere;
- Montaggio di tavolame in legno lamellare;
- Montaggio di travi in legno;
- Montaggio di accessori per bagno disabili;
- Montaggio di apparecchi igienico sanitari per bagno disabili;
- Montaggio di apparecchi igienico sanitari;
- Smobilizzo del cantiere;
- Ecc.

Questo dimostra l'ampia gamma di applicazioni del trapano elettrico in ambito di cantiere. Il trapano è impiegato in numerose lavorazioni, tra cui l'assemblaggio del cantiere, la costruzione della struttura portante in legno, la realizzazione degli impianti e lo smobilizzo del cantiere stesso. Pertanto, si osserva una presenza continua di tale strumentazione dall'inizio alla fine del cantiere. Tuttavia, tale strumentazione non viene considerata nel contesto della prevenzione incendi, non venendo valutata come potenziale causa di un evento dannoso.

Nel seguito, si vede l'applicazione della metodologia sviluppata relativa al trapano elettrico, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. Tali rischi sono assoggettati all'utilizzo e deposito dell'attrezzatura, attività non soggetta ai controlli dei Vigili del fuoco. Di conseguenza, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL, la "*Fire prevention on construction sites*".

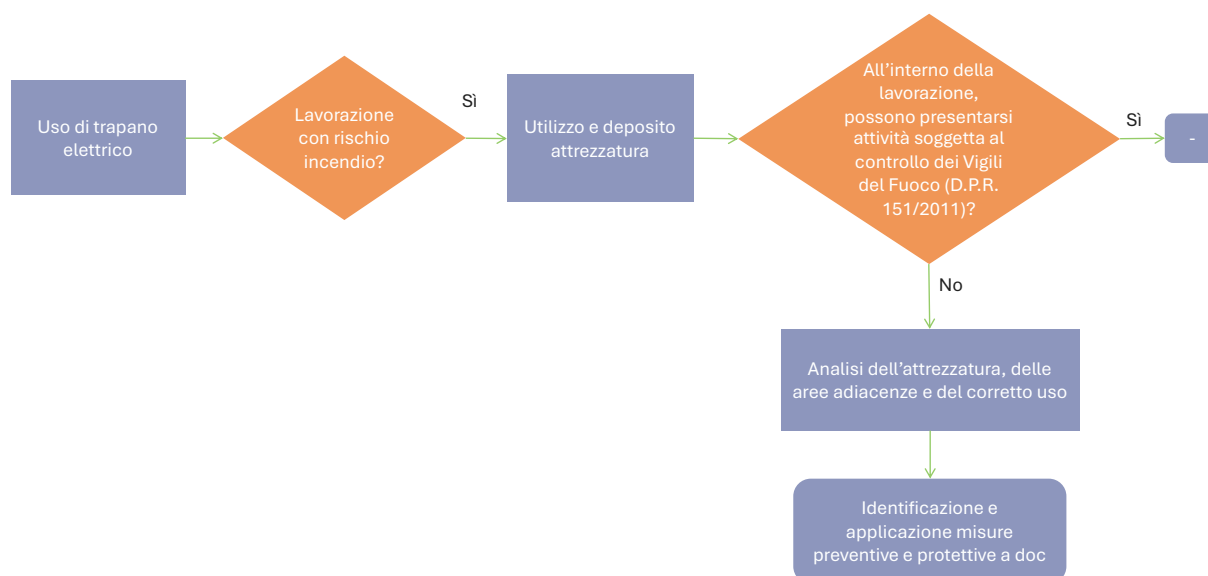


Figura 107. Analisi utilizzo e deposito attrezzatura

Tali soluzioni identificate prevedono:

- Operare secondo il libretto di istruzioni;
- Limitare l'uso in presenza di materiali altamente infiammabili;
- Utilizzare prolunghe certificate;
- Monitoraggio delle condizioni del macchinario;
- Nelle pause di lavoro interrompere l'alimentazione elettrica;
- Verificare l'integrità dei cavi e della spina di alimentazione;
- A termine attività, staccare il collegamento elettrico della macchina;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;
- Rimuovere manualmente i residui combustibili prima dell'attivazione;
- A termine attività, riporre sempre l'attrezzatura pulita, utilizzando aria compressa;
- Operare in aree aperte o con ventilazione forzata per disperdere vapori e polveri;
- Prestare attenzione in quanto scintille derivanti dal processo possono facilmente inserirsi attraverso piccole crepe e aperture e passare ad aree adiacenti;
- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 10\text{m}$ priva di materiali combustibili intorno al punto di saldatura. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili (es. teli ignifughi);
- Evitare l'uso contemporaneo di macchine che generano scintille o fiamme (saldatrici, ceseoie termiche) nelle vicinanze;
- Designare addetto che, per almeno 15–30 min dopo l'uso, monitori l'area per eventuali focolai;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;

- Non effettuare operazioni nel caso in cui ci sia la possibilità che le scintille colpiscano materiale combustibile o infiammabile;
- Eseguire una scelta della punta idonea al materiale;
- Ispezionare cavi, cuscinetti e la punta prima dell'uso;
- Non collocare l'attrezzatura su superfici combustibili;

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Stoccaggio materiali lignei

Tra le lavorazioni inserite all'interno del PSC, si annoverano, a titolo esemplificativo, la realizzazione di opere in calcestruzzo armato con l'impiego di casseforme riutilizzabili, che comporta lo stoccaggio di queste ultime nelle fasi precedenti e successive alla posa in opera del getto. Pertanto, risulta rilevante l'analisi di tale situazione, in quanto il materiale combustibile, se accumulato, può facilmente essere innescato da una fonte di calore.

Le casseforme rappresentano un elemento di fondamentale importanza nel contesto delle tecniche di costruzione, in quanto svolgono la funzione di fornire al calcestruzzo la forma e la consistenza desiderate durante le fasi di getto e maturazione. Questi elementi, pertanto, svolgono la funzione di stampo per la realizzazione di opere in calcestruzzo. Tali strutture temporanee possono essere suddivise in due principali categorie macroscopiche in base alla loro posizione nell'opera: quelle orizzontali e quelle verticali. Tali dispositivi svolgono una duplice funzione: geometrica, al fine di consentire al calcestruzzo gettato di assumere esattamente la forma prevista dal progetto; meccanica, per sopportare la pressione del getto sulle sue pareti e l'azione delle vibrazioni di costipamento. La cassaforma deve garantire la tenuta stagna del getto, poiché la mancanza di tale tenuta potrebbe causare la fuoriuscita della frazione più fine dell'impasto, con la conseguente formazione di una struttura spugnosa e con nidi di ghiaia. La cassaforma, pertanto, può essere definita come un sistema destinato alla realizzazione di un manufatto in calcestruzzo, caratterizzato da specifiche forme e qualità. La qualità del manufatto è influenzata anche dalle deformazioni e dalla finitura superficiale. Le operazioni relative alle casseforme in fase di sviluppo comprendono una serie di attività che includono il montaggio, l'uso, la trasformazione, lo smontaggio, la manutenzione, il deposito e il trasporto. Il montaggio, in particolare, include tutte le attività preliminari all'uso, come lo stoccaggio temporaneo, la movimentazione, l'allestimento, l'installazione, l'applicazione del disarmante e il controllo della corretta installazione.

Nel caso specifico esaminato, le casseforme in questione sono riutilizzabili e, pertanto, dopo la loro installazione, devono essere smontate. Questo processo include tutte le operazioni finali dopo l'ultimo utilizzo, in conformità con le specifiche tecniche e di sicurezza. Di conseguenza, viene realizzato uno stoccaggio del materiale impiegato anche successivamente, per poi essere trasportato all'esterno del cantiere. La superficie interna della cassaforma, quella a contatto diretto con il calcestruzzo, deve presentare una texture liscia ed essere trattata con prodotti disarmanti: tali prodotti facilitano il distacco del calcestruzzo indurito al termine della maturazione e riducono il rischio di adesione o danneggiamento del materiale durante il disarmo.

All'interno di un cantiere edile, l'impiego delle casseforme segue una sequenza operativa ben definita, che si articola in diverse fasi cruciali:

- a. La preparazione del fondo e la sua disposizione: si procede con la pulizia e la livellatura della superficie su cui verranno posizionate le casseforme, al fine di garantire stabilità e precisione.

- b. Il montaggio delle casseforme viene eseguito in conformità con il disegno esecutivo, al fine di garantire la precisione e la conformità alle specifiche progettuali. Nel caso di utilizzo di casseforme modulari, queste vengono fissate mediante l'impiego di perni, tiranti e sistemi di bloccaggio specifici.
- c. Verifiche di stabilità: prima dell'operazione di getto, si procede con la verifica della corretta piombatura, dell'allineamento e della robustezza dell'intera struttura. In tale fase, si procede altresì con l'installazione dei puntelli di sostegno, elementi strutturali essenziali per resistere alla spinta del calcestruzzo fresco.
- d. Il getto del calcestruzzo, una fase cruciale del processo di costruzione, consiste nel versamento del conglomerato all'interno delle casseforme, generalmente tramite l'utilizzo di pompe, badili o secchi, e successivamente sottoposto a vibrazioni per eliminare l'aria intrappolata e promuovere una compattazione ottimale.
- e. La fase di maturazione del calcestruzzo è il periodo durante il quale il conglomerato viene lasciato all'interno della cassaforma, al fine di raggiungere una resistenza meccanica ottimale.
- f. Il processo di disarmo inizia dopo un periodo di consolidamento adeguato e una verifica della stabilità della struttura. Successivamente, si procede con la rimozione delle casseforme, un'operazione che richiede precisione per evitare di danneggiare l'opera realizzata.

Nel settore dei lavori di costruzione, le casseforme in legno rappresentano una componente significativa. Tali casseforme sono strutture composte da più strati di legno incollati tra loro, che vengono utilizzate con frequenza nei cantieri. In particolare, è ampiamente utilizzato per la sua versatilità, facilità di taglio e adattabilità, sebbene sia soggetto a degrado dopo numerosi utilizzi, specialmente in condizioni di esposizione all'umidità del calcestruzzo o agli agenti atmosferici. In alternativa, si utilizzano sistemi più complessi e modulari in acciaio o alluminio, spesso dotati di appositi telai e accessori di bloccaggio.



Figura 108. Casseforme in legno per calcestruzzo [108]

L'accatastamento di casseforme in legno durante le diverse fasi di cantiere presenta rischi di incendio significativi. Di seguito, si riportano i fattori critici identificati:

Materiali combustibili	○ Legname; ○ Trucioli e segatura prodotti durante il taglio (se previsto) possono accumularsi e innescarsi per autocombustione; ○ Resine e colle contenute accelerano la combustione
Fonti di ignizione	○ Generazione di scintille da parte dell'attrezzatura impiegata nel taglio; ○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze; ○ Cortocircuiti in prossimità di casseforme; ○ Sfregamento tra casseforme e calcestruzzo che genera scintille; ○ Oli lubrificanti applicati sulle superfici a contatto con superfici calde.
Contesto operativo	○ Condizioni ambientali con temperature ed umidità elevate; ○ Vento che propaga scintille, temperature elevate che favoriscono l'autocombustione del legno umido.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Stoccaggio non conforme; ○ Altro...

Tabella 29. Criticità utilizzo e stoccaggio casseforme in legno

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, la fase maggiormente critica riguarda lo stoccaggio dei materiali in quanto combustibili.

Per quanto concerne tale attività, essa comporta l'assoggettabilità ai controlli dei V.V.F. se i quantitativi superano i limiti definiti dal D.P.R. 151/2011 per l'attività n. 36.

36	Depositi di legnami da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero e di altri prodotti affini con quantitativi in massa superiori a 50.000 kg con esclusione dei depositi		fino a 500.000 kg	oltre 500.000 kg
	all'aperto con distanze di sicurezza esterne superiori a 100 m ⁵⁸			

Figura 109. Attività 36, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi.

È fondamentale evidenziare che, così come per i rifiuti, risulta essere irrealistica la configurazione di tali quantità accatastate, per cui tali attività non risulterebbero soggette ai controlli dei V.V.F. Tuttavia, queste condizioni non escludono il rischio di incendio che rimane comunque presente. Pertanto, è essenziale valutare tale rischio e implementare misure idonee per ridurlo, garantendo così la salute e la sicurezza dei lavoratori.

In tal caso, la monografia INAIL prevede, oltre all'applicazione del Codice di Prevenzione Incendi, una serie di disposizioni. Infatti, il rischio incendio deve essere sempre oggetto di valutazione da parte del datore di lavoro, con l'attuazione del sistema di gestione della sicurezza e l'adozione di adeguate misure di prevenzione e protezione, ed in particolare:

- Sono esclusi dall'assoggettabilità al controllo del C.N.VV.F. i depositi all'aperto le cui distanze di sicurezza siano superiori ai 100 m rispetto ad altre strutture. Le distanze di sicurezza esterne vanno misurate tra il perimetro del più vicino fabbricato esterno all'attività oppure rispetto ai confini di aree edificabili;
- La segnaletica di sicurezza conforme al d.lgs. 81/08 e s.m.i. sia posizionata in modo ben visibile;
- Le vie di evacuazione siano sgombre da ostacoli che possano intralciare l'esodo dei lavoratori;
- Gli estintori, del tipo approvati dal Ministero dell'Interno, devono essere situati in posizioni facilmente accessibili ed essere distribuiti in maniera uniforme su tutta l'area;
- Gli accessi alle aree del deposito dovranno essere su aree, sia pubbliche che private, tali da permettere, in caso di incendio, l'intervento e la possibilità di manovra dei mezzi dei VV.F.

Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la *"Fire prevention on construction sites"*.

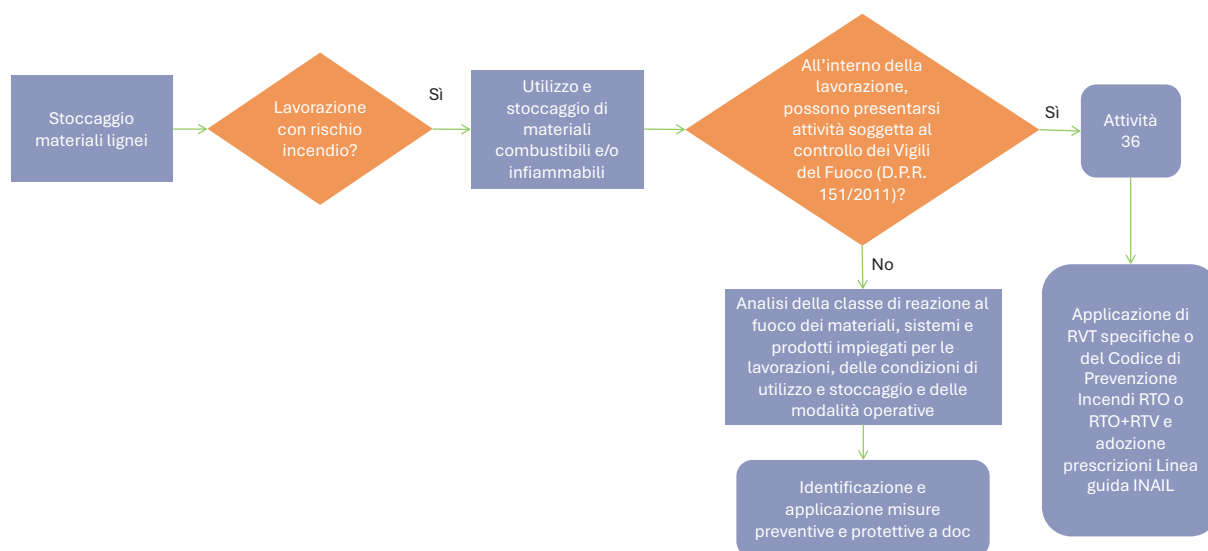


Figura 110. Analisi utilizzo e stoccaggio materiali combustibili e/o infiammabili

Le soluzioni ad hoc in esame prevedono l'implementazione delle seguenti misure:

- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte. I materiali non devono essere immagazzinati in un edificio in fase di costruzione o ristrutturazione;
- Il materiale deve essere custodito in un'area ad almeno 10m di distanza dalla struttura su cui si svolgono i lavori, dai locali temporanei, dai depositi per fumatori, dai magazzini e dalle attrezzature;
- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Ridurre le quantità depositate;
- È opportuno che sia eliminata tutta la vegetazione secca in prossimità dei depositi e accatastamenti;
- Le aree di deposito devono essere adeguatamente contrassegnate al fine di rendere nota la natura e la pericolosità dei materiali, con apposizione di tabelle per le norme di comportamento del personale addetto alle operazioni di stoccaggi;
- Se area di deposito in ambienti chiusi, realizzazione di un compartimento antincendio;
- Garantire adeguata ventilazione degli ambienti, limitando le altezze dei cumuli al fine di evitare autocombustione;
- Rimuovere periodicamente i materiali accatastati;
- Mantenere una distanza ≥ 10 m con attività a caldo;
- Addestramento su procedure di carico/scarico sicure e uso di DPI.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Stoccaggio e realizzazione cappotto termico esterno

L'applicazione esterna di pannelli isolanti su superfici verticali è una tecnica ampiamente utilizzata nel settore dei lavori edili. Questo approccio, orientato al miglioramento delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio, rappresenta una soluzione diffusa per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici.

Il processo di isolamento termico inizia con un'accurata valutazione preliminare della parete da isolare, che deve essere pulita, asciutta, stabile e priva di parti in distacco. I pannelli isolanti vengono posizionati in aderenza alla muratura mediante collanti specifici (generalmente a base cementizia) applicati su tutta la superficie o perimetralmente in più punti centrali. Successivamente all'incollaggio, i pannelli vengono fissati meccanicamente con tasselli ad espansione in plastica o acciaio, in funzione del tipo di supporto e delle sollecitazioni previste (vento, altezza dell'edificio, ecc.). I materiali isolanti più frequentemente impiegati includono:

- Il polistirene espanso sinterizzato (EPS) è un materiale leggero e conveniente, caratterizzato da eccellenti prestazioni termiche;
- Il polistirene espanso estruso (XPS), d'altra parte, offre una maggiore resistenza all'umidità;
- La lana di roccia o la lana minerale sono noti per le loro eccezionali proprietà fonoassorbenti e di resistenza al fuoco;
- Il sughero, la fibra di legno, la canapa e il calcio silicato rappresentano soluzioni naturali per edifici a basso impatto ambientale.

Una volta completata la posa dei pannelli, si procede con la stesura di una rasatura armata, ovvero un primo strato di malta specifica all'interno della quale viene inglobata una rete in fibra di vetro alcali-resistente, fondamentale per prevenire fessurazioni superficiali. La rete deve essere posizionata con una sovrapposizione minima di 10 cm nei punti di giunzione. Seguendo con la descrizione del processo, si procede con un secondo strato di rasatura, eseguito con maggiore precisione per uniformare la superficie e creare una base solida per il rivestimento finale. La fase finale del processo di lavorazione comprende l'applicazione di un rivestimento superficiale, solitamente composto da un intonachino acrilico, silossanico o minerale, disponibile in diverse tonalità e granulometrie. Questo strato svolge una duplice funzione, estetica e protettiva, contribuendo a migliorare la resistenza agli agenti atmosferici e la durabilità del sistema.

È evidente che, in base alla tipologia di pannello considerata, si riscontrano variazioni nella capacità di innesco e reazione al fuoco, nonché nei danni che può causare. Inoltre, la posizione in cui si trova il materiale influisce sulla situazione che può verificarsi. Infatti, i materiali per l'isolamento termico, sia esterni (come il cappotto) che racchiusi in intercapedine, rappresentano comunque materiali da "monitorare" per il rischio d'incendio, a causa della loro elevata capacità di partecipare alla combustione.

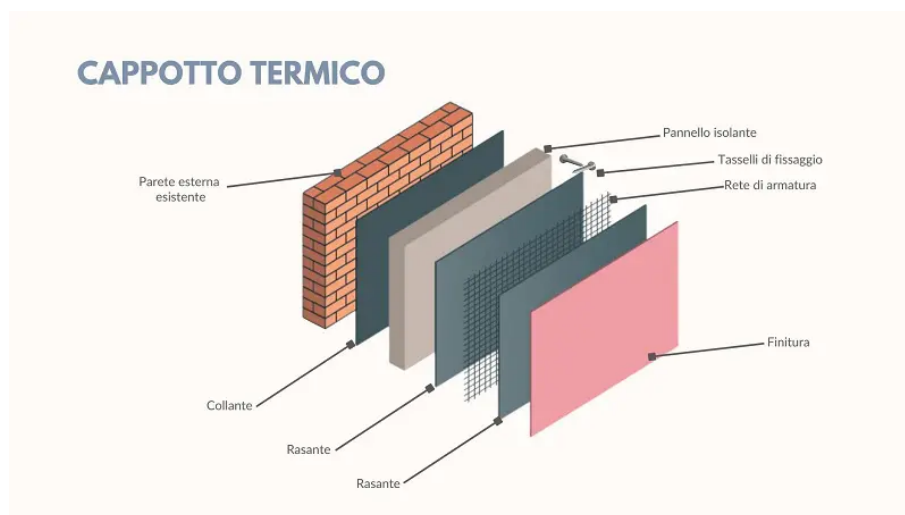


Figura 111. Stratigrafia cappotto termico esterno [109]

Per tale motivo, sono stati individuati i fattori critici legati a tali materiali in rapporto al rischio incendio:

Materiali combustibili	○ EPS (poliestere espanso): • Classe di reazione al fuoco E; • Si fonde a 100°C, rilasciando gocce infiammabili; ○ XPS (Polistirene Estruso): Classe di reazione al fuoco E/F, con maggiore densità ma uguale infiammabilità; ○ Poliuretano (PUR/PIR): Classe di reazione al fuoco E, se non additivato, emette fumi tossici ○ Materiali innovativi (es. aerogel): Classe di reazione al fuoco C-B se trattati, ma costi elevati.
Fonti di ignizione	○ Presenza di attività a caldo durante l'applicazione o nelle adiacenze; ○ Cortocircuiti in prossimità dei pannelli; ○ Contatto con elementi caldi; ○ Autocombustione per prolungata esposizione al sole.
Contesto operativo	○ Vento che propaga scintille; ○ Contatto con sostanze infiammabili.

Errori umani	○ Procedure errate; ○ Stoccaggio non conforme; ○ Altro...
---------------------	---

Tabella 30. Criticità cappotto termico

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, le fasi maggiormente critiche riguardano lo stoccaggio del materiale in cantiere e la sua posa in opera.

In merito al primo aspetto menzionato, l'accatastamento dei pannelli potrebbe essere attribuibile all'attività 70 del D.P.R. 151/2011:

70	Locali adibiti a depositi di superficie lorda superiore a 1000 m ² con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5.000 kg ^{117, 118, 119}		fino a 3.000 m ²	oltre 3.000 m ²
----	---	--	-----------------------------	----------------------------

Figura 112. Attività 70, estratto [91]

È opportuno evidenziare che, in tale circostanza, la locuzione “locali adibiti a depositi” è impiegata come riferimento a spazi destinati specificamente a tale funzione. Pertanto, l'ammissibilità di tale attività è soggetta alla condizione dell'esistenza di tali locali all'interno del cantiere, in modo che siano predisposti e identificati in modo adeguato. In caso contrario, lo stoccaggio del materiale non risulta essere soggetto al controllo dei Vigili del Fuoco e, pertanto, sarà necessario prevedere l'implementazione delle soluzioni ad hoc successivamente indicate.

Nel caso in cui si rientri all'interno dell'attività 70, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi.

Relativamente al secondo aspetto da analizzare, riguardante la posa in opera del cappotto termico esterno, esso non risulta compreso in nessuna delle attività del D.P.R. 151/2011, pertanto si applicheranno le precauzioni individuate dalle linee guida di riferimento.

Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “*Fire prevention on construction sites*”.

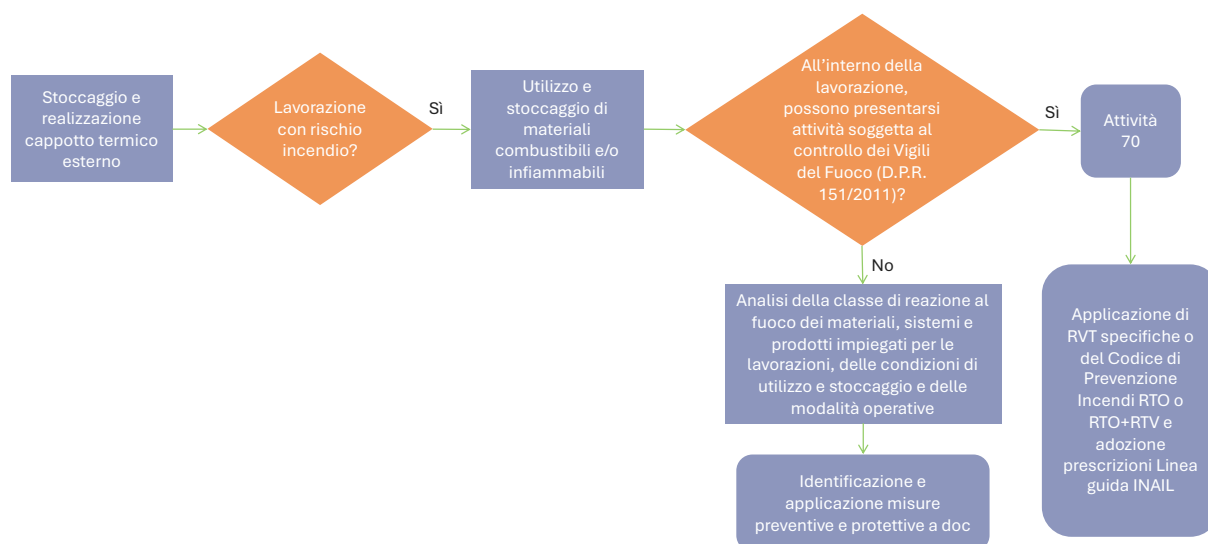


Figura 113. Analisi utilizzo e stoccaggio materiali combustibili e/o infiammabili

Di seguito, si riportano le misure relative allo stoccaggio del materiale in cantiere, che devono essere implementate al fine di mitigare il rischio di incendio:

- Posizionare i depositi di materiale combustibile lontano dalle possibili fonti di innesco (≥ 10 m) come aree in cui vengono effettuate operazioni di saldatura, presenza di sorgenti di calore dovute ad attriti, presenza di apparecchiature per la produzione di calore, presenza di fiamme libere;
- Individuare le aree di deposito dei materiali avendo cura di mantenere costantemente fruibili le vie di esodo per la tutela dei lavoratori e di garantire l'accesso dei mezzi di soccorso;
- Evitare di stoccare grandi quantitativi di materiale combustibile;
- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- Installare la necessaria segnaletica di sicurezza indicante i pericoli presenti e i divieti da rispettare;
- Indicare la classe di reazione al fuoco e le istruzioni di manipolazione;
- Prevedere la presenza di estintori e, nel caso in cui siano depositati consistenti quantitativi di materiale combustibile, posizionare estintori carrellati;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione (≥ 10 m) o elementi resistenti al fuoco;

- Evitare l'immagazzinamento insieme ad altri materiali come liquidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d'incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Tutte le aree di cantiere ed in particolare i depositi di materiale infiammabile o combustibile, devono essere tenute pulite e in ordine;
- Alla fine della giornata lavorativa deve essere effettuato un controllo di tutte le aree per verificare che non sussistano condizioni per l'innescio di un incendio.

In merito alle precauzioni da adottare durante la posa in opera, si ha:

- Vietare attività a caldo entro 15m dalle zone di applicazione del cappotto;
- Messa in opera del prodotto in assenza di sorgenti di ignizione;
- Gli scarti di lavorazione devono essere rimossi quotidianamente e depositati in aree appositamente destinate.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Se possibile, scelta di materiali non combustibili;
- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Tinteggiatura di superfici

La tinteggiatura delle pareti rappresenta una fase cruciale del processo di finitura di un cantiere edile, che, oltre a conferire un valore estetico, assolve anche a una funzione protettiva delle superfici murarie. Prima di procedere con la stesura della pittura, è fondamentale preparare adeguatamente il supporto. Le pareti devono essere mantenute in condizioni di pulizia, assenza di umidità e regolarità geometrica. Eventuali irregolarità o imperfezioni vengono trattate mediante l'applicazione di stuccature e levigature. Nel caso in cui le superfici siano di recente realizzazione, è necessario rispettare i tempi di maturazione e asciugatura prima di procedere con la tinteggiatura. Frequentemente, prima della pittura stessa, viene applicato un fissativo o primer, con l'intento di uniformare l'assorbimento del supporto e migliorare l'adesione della vernice.

La tinteggiatura in un cantiere edile può comportare rischi d'incendio non trascurabili, legati soprattutto ai materiali impiegati e alle modalità di applicazione. Infatti, l'analisi del rischio incendio associato a tale attività deve considerare la composizione chimica delle pitture e dei prodotti accessori.

In molteplici lavorazioni si impiegano sostanze contenenti solventi organici altamente infiammabili come: toluene, acquaragia minerale, acetone, alcoli e chetoni. Queste generano vapori infiammabili che, in presenza di una fonte di innesco (come scintille, fiamme o scariche elettrostatiche), possono causare incendi o esplosioni locali, specialmente in ambienti chiusi o con scarsa ventilazione.

Questa affermazione trova conferma nelle indicazioni fornite dalla monografia INAIL [5], la quale definisce le vernici, i diluenti e i solventi impiegati nelle attività di tinteggiatura come sostanze infiammabili liquide. Tali fenomeni sono caratterizzati dalla combustione dei vapori, che richiede l'evaporazione del liquido per formare una miscela con l'aria. Di conseguenza, si osserva un consumo di energia notevolmente inferiore rispetto a quello necessario per i solidi.



Figura 114. Operazione di tinteggiatura [110]

Le sostanze in esame sono state pertanto esaminate in termini di rischio incendio, e di seguito sono riportati i fattori critici associati a:

Materiali liquidi combustibili	○ Solventi nelle vernici (acetone, toluene, xilene): punto di infiammabilità < 23°C quindi altamente infiammabile; ○ Vernici a base d'acqua: meno pericolose, ma alcuni additivi (es. glicole etilenico) hanno punto di infiammabilità $\geq 40^{\circ}\text{C}$.
Fonti di ignizione	○ Vapori combustibili che entrano in contatto con scintille o superfici calde; ○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze; ○ Cortocircuiti in prossimità delle sostanze.
Contesto operativo	○ Interferenze con attività a caldo; ○ Assenza di ventilazione adeguata in ambienti confinati con accumulo di vapori.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Stoccaggio improprio; ○ Altro...

Tabella 31. Criticità operazione di tinteggiatura

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, la fase maggiormente critica riguarda l'utilizzo e il deposito di vernici, diluenti e solventi.

Il deposito di tali sostanze comporta l'assoggettabilità ai controlli dei Vigili del Fuoco, qualora risultino conformi alle condizioni stabilite dall'attività 12 del D.P.R. 151/2011. Tale configurazione, tuttavia, solitamente non accade in quanto le quantità presenti in cantiere sono ridotte.

12	Depositi e/o rivendite di liquidi infiammabili e/o combustibili e/o oli lubrificanti, di qualsiasi derivazione, di capacità geometrica complessiva superiore a 1 m ³ . ^{23, 24, 25}	liquidi con punto di infiammabilità superiore a 65	liquidi infiammabili e/o combustibili e/o lubrificanti e/o oli	liquidi infiammabili e/o combustibili
----	---	--	--	---------------------------------------

Figura 115. Attività 12, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi. Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione

(parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “*Fire prevention on construction sites*”.

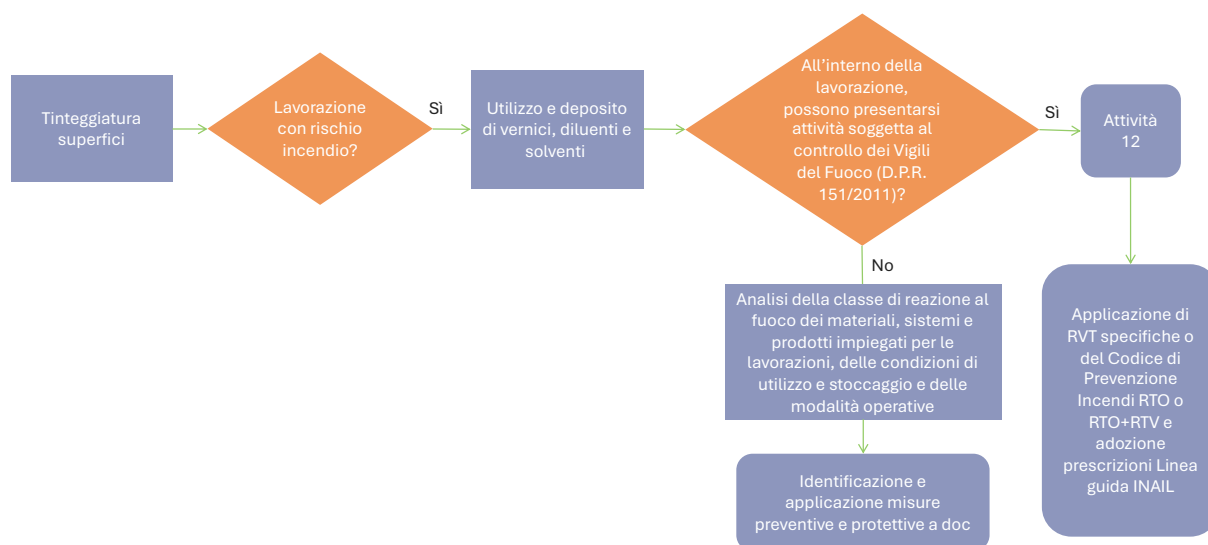


Figura 116. Analisi utilizzo e deposito di vernici, diluenti e solventi

Di seguito, si riportano le misure individuate, le quali devono essere implementate al fine di mitigare il rischio di incendio:

- Sostituzione del prodotto con miscele meno pericolose, se possibile;
- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Ridurre le quantità depositate;
- Messa in opera del prodotto in assenza di sorgenti di ignizione;
- Adeguata ventilazione dei locali;
- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte, recintate in modo sicuro, ombreggiate dal sole e lontane da pozzetti, scarichi e aree con livello inferiore o altre soluzioni, come moduli prefabbricati in materiale idoneo non combustibile, purché dotati di adeguata aerazione naturale;
- Evitare l’immagazzinamento insieme ad altri materiali come solidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d’incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Accesso al deposito consentito a parte del personale autorizzato, informato e formato sulle procedure di stoccaggio e movimentazione;
- Negli orari di inattività e chiusura, i depositi devono essere chiusi;

- Dispositivi elettrici idonei nei depositi, installati da personale competente e regolarmente controllati ed ispezionati;
- Operazioni di monitoraggio delle condizioni ambientali nei luoghi di lavoro con sistemi di rivelazione di composti organici volatili;
- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione (≥ 10 m) o elementi resistenti al fuoco;
- In presenza di grossi quantitativi di liquidi infiammabili, in prossimità del deposito prevedere spazi per intervento V.V.F.;
- Il pavimento dei depositi deve essere pavimentato o compattato con superficie dura per la movimentazione;
- Per depositi al chiuso, valutare installazione di rilevazione di composti organici volati. Le bombole devono essere esterne a costruzioni e in sicurezza, protette da interferenze;
- I serbatoi, fusti e contenitori dei liquidi combustibili devono essere etichettati e correttamente immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Valutazione rispetto al rischio esplosione;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni, dalle vie di esodo. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- Segnaletica di sicurezza apposta esternamente per identificare le sostanze all'interno del deposito, la classe di fuoco e l'ubicazione dei mezzi di estinzione portatili. Cartellonistica di avvertimento appropriate come "LIQUIDI ALTAMENTE INFIAMMABILI", "VIETATO FUMARE" e "VIETATO USARE FIAMME LIBERE";
- In caso di spazi ristretti, realizzazione di barriere tra area di stoccaggio e zone in cui operano i mezzi;
- Evitare lo stoccaggio in prossimità di uscite di emergenza o vie di esodo;
- Evitare spargimento del liquido (perdita, fuoriuscita accidentale);
- I contenitori devono essere etichettati correttamente e immagazzinati per evitare danni e perdite;
- Utilizzo di strumenti adeguati al prelievo, prevedendo eventuali bacini di contenimento;
- Mantenere una zona di sicurezza ≥ 10 m priva di materiali combustibili intorno al punto di deposito. Qualora ciò non sia possibile, coprire accuratamente tutto con dispositivi adeguati ed incombustibili;
- Se possibile sviluppo di atmosfere esplosive, porre attenzione all'uso di macchine e utensili;
- I materiali devono essere utilizzati solo per le loro finalità;
- Ridurre al minimo i quantitativi in diverse aree del cantiere al di fuori del deposito.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Stoccaggio e realizzazione cartongesso

Le pareti divisorie in cartongesso costituiscono una delle soluzioni più diffuse e versatili. Il loro impiego è particolarmente apprezzato per la rapidità di installazione, la leggerezza strutturale e le buone prestazioni termoacustiche, che le rendono ideali per la suddivisione interna degli ambienti. Una parete in cartongesso è costituita da una struttura metallica interna, composta da montanti e guide in acciaio zincato, su cui vengono avvitate, da uno o da entrambi i lati, lastre in cartongesso. Le lastre in esame sono costituite da un nucleo in gesso rivestito da fogli di cartone speciale, che conferiscono stabilità e resistenza meccanica. All'interno della struttura, è possibile inserire materiali isolanti, come la lana di roccia o di vetro, per migliorare le prestazioni fonoisolanti e termiche della parete. Le pareti in cartongesso possono presentarsi in versione semplice o doppia, con una o più lastre su ciascun lato, in funzione delle specifiche progettuali. La modularità di tali pareti ne consente un'ampia applicazione per: La creazione di nuove suddivisioni interne, la realizzazione di controsoffitti e contropareti, l'integrazione di impianti tecnici senza interventi invasivi sulla muratura e la facilità di eventuali modifiche future della distribuzione interna sono i principali obiettivi da raggiungere.

Sebbene il cartongesso sia un materiale caratterizzato da una buona resistenza al fuoco, la sicurezza complessiva dell'edificio dipende da una serie di fattori tra cui la composizione del sistema parete, l'impiego di materiali isolanti adeguati e la corretta sigillatura dei giunti. Il cartongesso possiede una resistenza intrinseca al fuoco, dovuta alla presenza di acqua sotto forma di cristalli di gesso. In caso di incendio, il liquido si trasforma in vapore, contribuendo a rallentare la propagazione del calore. Per tale ragione, le pareti in cartongesso vengono spesso utilizzate anche per la realizzazione di compartimentazioni antincendio, a condizione che vengano impiegati sistemi certificati.



Figura 117. Realizzazione parete in cartongesso [111]

Di conseguenza, si sono identificati i fattori critici di seguito riportati:

Materiali combustibili	○ Isolanti inseriti nell'intercapedine, come polistirene (EPS/XPS) o poliuretano risultano altamente infiammabili; ○ Schiume poliuretaniche o silconiche solventate; ○ Imballaggi di protezione delle lastre (carta e plastica), accumulati in cantiere.
Fonti di ignizione	○ Taglio delle lastre: smerigliatrici o coltelli generano scintille a contatto con trucioli di cartongesso (composto da gesso e carta); ○ Installazione impianti: foratura con trapano elettrico che surriscalda cavi o genera scintille in prossimità di isolanti combustibili; ○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze; ○ Cortocircuiti in prossimità degli elementi accatastati.
Contesto operativo	○ Condizioni ambientali con temperature ed umidità elevate; ○ Vento che propaga scintille.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Stoccaggio non conforme; ○ Altro...

Tabella 32. Criticità uso e stoccaggio cartongesso

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio di incendio. In particolare, la fase maggiormente critica riguarda la posa in opera e lo stoccaggio dei componenti.

Per quanto concerne tale attività, essa comporta l'assoggettabilità ai controlli dei V.V.F. per la componente di isolamento in quanto materiale combustibile. Se i quantitativi superano i limiti definiti dal D.P.R. 151/2011, si può rientrare all'interno dell'attività n. 70 prestando attenzione alle precauzioni precedentemente menzionate.

70	Locali adibiti a depositi di superficie lorda superiore a 1000 m ² con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5.000 kg ^{117, 118, 119}		fino a 3.000 m ²	oltre 3.000 m ²
----	---	--	-----------------------------	----------------------------

Figura 118. Attività 70, estratto [91]

Nel caso in cui tali condizioni si verificano, diventa imperativo progettare la sicurezza antincendio in conformità con le Regole Tecniche Verticali (RTV) pertinenti o con il Codice di Prevenzione Incendi. Qualora ciò non si verificasse, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la "Fire prevention on construction sites".

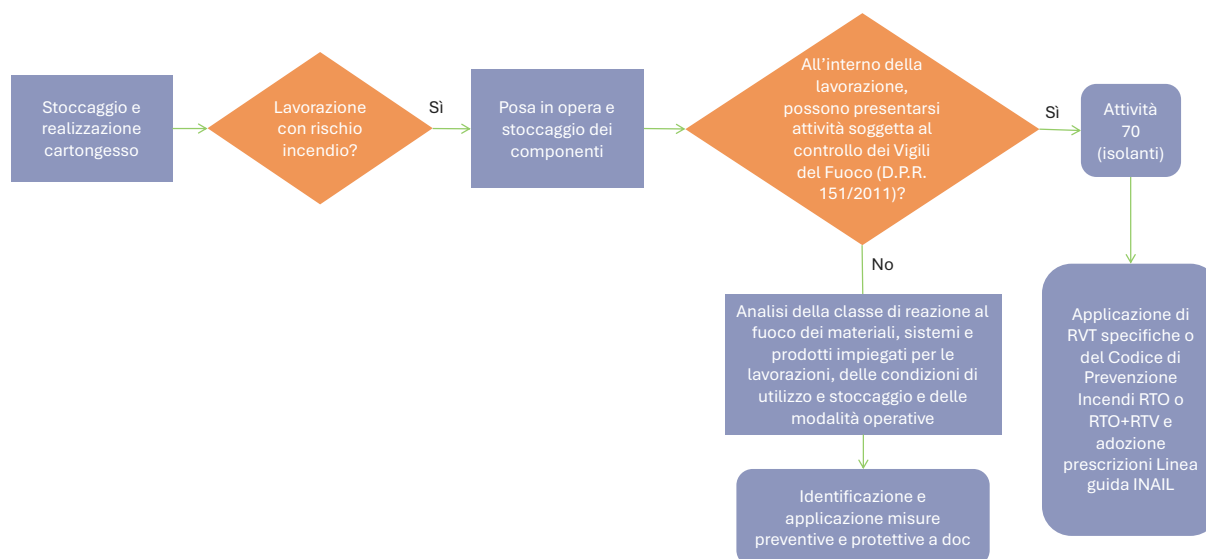


Figura 119. Analisi posa in opera e stoccaggio cartongesso e componenti

Di seguito, si riportano le misure individuate:

- Stoccaggio in aree distinte, preferibilmente in aree aperte. I materiali non devono essere immagazzinati in un edificio in fase di costruzione o ristrutturazione;
- Posizionare i depositi di materiale combustibile lontano dalle possibili fonti di innesco ($\geq 10\text{m}$) come aree in cui vengono effettuare operazioni di saldatura, presenza di sorgenti di calore dovute ad attriti, presenza di apparecchiature per la produzione di calore, presenza di fiamme libere;
- Depositi individuati nella progettazione del layout del cantiere;

- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- È opportuno che sia eliminata tutta la vegetazione secca in prossimità dei depositi e accatastamenti;
- Individuare le aree di deposito dei materiali avendo cura di mantenere costantemente fruibili le vie di esodo per la tutela dei lavoratori e di garantire l'accesso dei mezzi di soccorso;
- Evitare di stoccare grandi quantitativi di materiale combustibile;
- Il deposito deve essere adeguatamente distanziato da edifici in costruzione/ristrutturazione e da altre installazioni. Si prediligono aree con minimo rischio di collisione da parte dei mezzi di cantiere;
- Mantenere una distanza ≥ 10 m con attività a caldo;
- Indicare la classe di reazione al fuoco e le istruzioni di manipolazione;
- Preferire isolanti non combustibili e cartongesso ignifugo;
- Utilizzare lame diamantate per il taglio delle lastre, se previsto;
- Installare la necessaria segnaletica di sicurezza indicante i pericoli presenti e i divieti da rispettare;
- Schermaggio delle sorgenti d'ignizione rappresentate da particolari lavorazioni, tramite distanze di separazione (≥ 10 m) o elementi resistenti al fuoco;
- Prevedere la presenza di estintori, nel caso in cui siano depositati consistenti quantitativi di materiale combustibile, posizionare estintori carrellati;
- Evitare l'immagazzinamento insieme ad altri materiali come liquidi combustibili, GPL, gas compressi e ogni altra sostanza che aumenti il carico d'incendio, o elevi la pericolosità dei fenomeni eventuali anche in termini di tossicità;
- Separare cartongesso da isolanti combustibili;
- Rimuovere periodicamente i materiali accatastati.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Impianti elettrici e speciali

L'impianto elettrico di cantiere è definito come l'insieme dei componenti elettrici, che presentano una dipendenza elettrica, installati all'interno dell'area delimitata dal recinto del cantiere. Si evidenzia che i componenti elettrici, ad eccezione degli apparecchi utilizzatori, facenti parte dell'impianto di cantiere, sono alimentati tramite prese a spina. Esso deve essere realizzato a regola d'arte, nel rispetto delle normative CEI. A differenza di un impianto elettrico stabile, quello di cantiere è per sua natura temporaneo e soggetto a continue modifiche, in funzione dell'avanzamento delle lavorazioni e della configurazione spaziale mutevole del sito di intervento. Un impianto elettrico da cantiere è costituito da una fonte di alimentazione principale, che può derivare dalla rete elettrica pubblica oppure da gruppi elettrogeni autonomi, e da un insieme di quadri elettrici provvisori (generalmente denominati ASC - Apparecchiature di Serie da Cantiere), cavi e dispositivi di protezione, distribuiti lungo il perimetro e all'interno delle aree operative.

L'impianto elettrico convenzionale è responsabile della distribuzione dell'energia elettrica all'interno dell'edificio, garantendo l'alimentazione di tutti i dispositivi elettrici e i punti luce. La struttura è composta da vari elementi, tra cui: quadri elettrici di distribuzione, cavi e conduttori posati in tubazioni o canaline, prese e interruttori, punti luce e corpi illuminanti, dispositivi di protezione come interruttori magnetotermici e differenziali.

Con il termine “impianti speciali” si intendono quegli impianti che svolgono funzioni diverse dalla semplice distribuzione di energia elettrica. Le parti in causa comprendono diverse tipologie di interventi, che nel caso specifico in esame riguardano la realizzazione di un impianto di illuminazione ad alta efficienza, di una rete e di sistemi di controllo per impianti antincendio, di un impianto di rete dati e di un impianto citofonico. Tali sistemi sono concepiti per garantire comfort, sicurezza, comunicazione e automazione, e la loro corretta integrazione con l'impianto elettrico è fondamentale per il funzionamento sinergico dell'edificio.

Durante la fase di costruzione, l'installazione degli impianti segue una sequenza ben definita, che viene coordinata con le altre lavorazioni:

- a. Predisposizione delle tracce nei muri o nelle strutture a secco;
- b. Posa delle tubazioni e dei corrugati per il passaggio dei cavi;
- c. Installazione delle scatole e dei supporti per i dispositivi;
- d. Tiraggio dei cavi e collegamento ai quadri;
- e. Collegamento e configurazione degli impianti speciali;
- f. Collaudo finale, comprensivo delle prove di isolamento, continuità e funzionamento.



Figura 120. Quadro elettrico di cantiere [112]

In relazione al rischio di incendio, gli impianti elettrici e speciali rappresentano una delle principali cause potenziali di innesco all'interno di un cantiere edile e, più in generale, in qualsiasi ambiente costruito. Il rischio principale associato a tali impianti deriva dal fatto che, in assenza di una progettazione, installazione e manutenzione adeguate, possono verificarsi fenomeni di surriscaldamento, cortocircuiti o archi elettrici. Questi, a contatto con materiali combustibili, possono causare incendi di ampia portata.

Per tale ragione, si è proceduto all'analisi dei fattori critici degli impianti elettrici e speciali in relazione al rischio incendio:

Fonti di ignizione

- **Cortocircuiti per cavi danneggiati, giunti non isolati, o isolamento compromesso (es. schiacciamento da macchinari);**
- **Sovraccarichi: quadri elettrici non dimensionati per carichi elevati;**
- **Cariche elettrostatiche: accumulo di cariche in presenza di polveri metalliche o solventi;**

	○ Connessioni difettose o allentate: producono punti caldi; ○ Impianti non messi a terra correttamente, con conseguente rischio di dispersione e innesco; ○ Archi elettrici: infiltrazioni d'acqua o polveri nei componenti elettrici; ○ Scintille e incendio per cablaggi temporanei non certificati, prolunghe abusive, assenza di interruttori differenziali; ○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze. Per gli impianti permanenti, inoltre: ○ Cattiva integrazione con l'impianto elettrico principale; ○ Cablaggi concentrati in locali tecnici o cunicoli, in prossimità di materiali infiammabili; ○ Utilizzo di apparecchiature non certificate o non adatte all'ambiente di cantiere.
Materiali combustibili	○ Elementi dell'impianto stesso come quadri, cavi etc. ○ Stoccaggio di materiali combustibili nelle adiacenze.
Contesto operativo	○ Condizioni ambientali: ambienti umidi e polverosi; ○ Interferenze con attività a caldo.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 33. Criticità impianti elettrici e speciali

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio incendio. In particolare, le fasi che presentano una maggiore criticità riguardano la realizzazione, l'uso e la disinstallazione dell'impianto elettrico di cantiere e la messa in opera degli impianti permanenti della costruzione.

In entrambi i casi, esse non risultano essere assoggettabili ai controlli dei V.V.F. Pertanto, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la *“Fire prevention on construction sites”*.

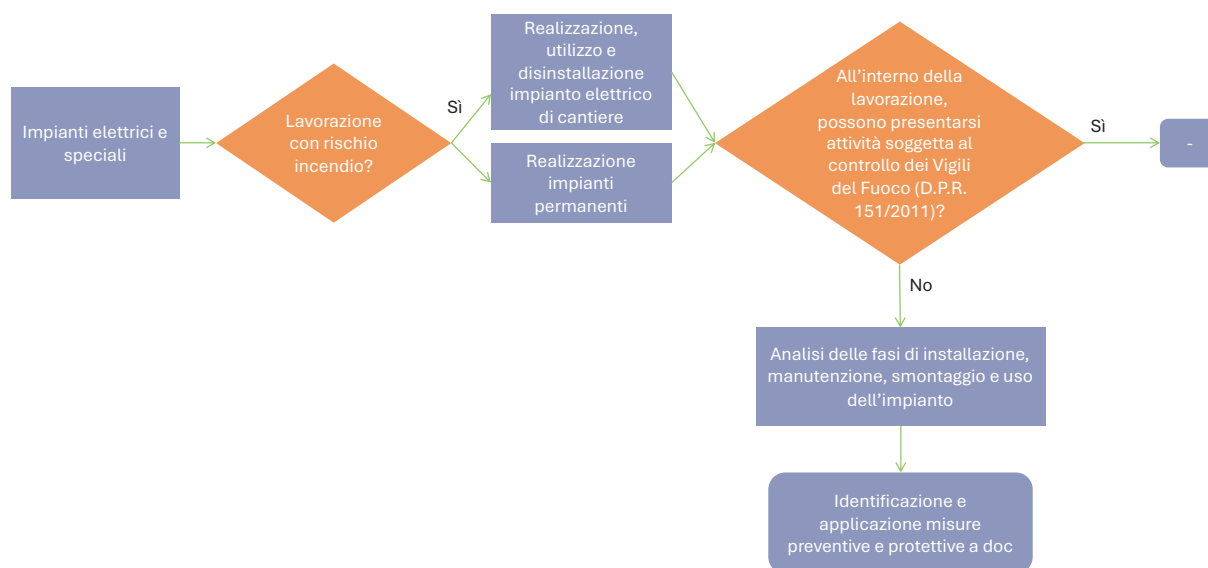


Figura 121. Analisi realizzazione, utilizzo e disinstallazione impianto elettrico di cantiere e realizzazione impianti di servizio

Di seguito, si riportano le misure individuate relative all'impianto elettrico di cantiere:

- Informazione degli operatori di cantiere in merito alle caratteristiche dell'impianto, ai criteri di sicurezza da adottare per l'uso corretto, ai rischi correlati all'utilizzo dei componenti elettrici;
- Quadro elettrico adeguatamente dimensionato e conforme alle normative vigenti;
- Installazione salvavita;
- Divieto per gli utenti di realizzare deviazioni dai quadri esistenti senza autorizzazione;
- Rispetto del numero massimo di apparecchi connessi a una singola presa;
- Monitoraggio continuo delle condizioni di isolamento dell'impianto;
- Utilizzare canaline metalliche per cavi, evitando contatto con superfici infiammabili;
- Distanziare impianto elettrico da aree deposito materiali combustibili ($\geq 10\text{m}$);
- Utilizzo di cavi ignifughi;
- Per cantieri complessi, realizzazione del progetto dell'impianto elettrico di cantiere con mappatura dei cavi e collegamenti;

- Redazione di Dichiarazione di conformità dell'impianto;
- Utilizzare prolunghe certificate;
- Utilizzo di conduttori di sezione adeguata (relativo a messa a terra);
- Resistenza di terra con picchetti in rame o acciaio zincato (relativo a messa a terra);
- Protezione dei conduttori da danni meccanici (relativo a messa a terra);
- Controlli visivi settimanali su quadri, cavi e canaline; verifica serraggio morsetti a coppia prestabilita ogni mese;
- Rimozione di polvere e detriti dal vano quadri con aria compressa a bassa pressione e aspirazione;
- Verifiche periodiche dell'impianto;
- Installazione di dispositivi di interruzione (interruttori o fusibili) posti a monte dei cavi elettrici (protezioni da sovracorrenti);
- Presenza interruttore magnetotermico con sganciatore termico per le sovracorrenti e per i cortocircuiti;
- Presenza interruttori differenziali (protezione guasti);
- L'impianto deve essere dimensionato per sopportare intemperie e temperature variabili;
- Evitare ingresso di polveri e acqua con custodie idonee o garantire opportuna distanza;
- Ubicare linee e quadri nelle zone più adatte del cantiere e, se necessario, prevedere apposite barriere protettive;
- Mantenere una distanza ≥ 10 m con attività a caldo;
- Se l'alimentazione del cantiere è con gruppo elettrogeno, questo non deve essere posto insieme a carburante;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose.

Per quanto concerne gli impianti permanenti, le disposizioni prevedono:

- Installazione impianti secondo le normative vigenti;
- L'impianto deve essere dimensionato per sopportare intemperie e temperature variabili;
- Utilizzo di materiali e componenti certificati;
- Evitare ingresso di polveri e acqua con custodie idonee o garantire opportuna distanza;
- Installazione salvavita;
- Presenza interruttori differenziali (protezione guasti);
- Utilizzare canaline metalliche per cavi, evitando contatto con superfici infiammabili;
- Distanziare impianti da aree deposito materiali combustibili (≥ 10 m);
- Utilizzo di cavi ignifughi;
- Presenza interruttore magnetotermico con sganciatore termico per le sovracorrenti e per i cortocircuiti;

- Redazione di Dichiarazione di conformità degli impianti;
- Protezione differenziale e magnetotermica su ogni linea;
- Utilizzo di conduttori di sezione adeguata (relativo a messa a terra);
- Protezione dei conduttori da danni meccanici (relativo a messa a terra);
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Rimozione di polvere e detriti dal vano quadri con aria compressa a bassa pressione e aspirazione;
- Verifiche periodiche dell'impianto;
- Installazione di dispositivi di interruzione (interruttori o fusibili) posti a monte dei cavi elettrici (protezioni da sovracorrenti);
- Mantenere una distanza ≥ 10 m con attività a caldo.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Impianti fluido-meccanici

Gli impianti fluido-meccanici costituiscono l'insieme dei sistemi progettati per il trasporto, la distribuzione e la regolazione di fluidi (liquidi o gas) all'interno di un edificio o di un'opera. In questa categoria rientrano impianti di varia natura, che, nel caso specifico, riguardano:

- Impianti idrici e sanitari;
- Impianti termici;
- Impianti antincendio;
- Impianti gas;
- Impianti di ventilazione meccanica controllata.

Nel contesto di un'opera in fase di costruzione, gli impianti fluido-meccanici vengono progressivamente installati man mano che la struttura dell'edificio assume la sua forma definitiva. La progettazione e la realizzazione di tali impianti necessitano di un coordinamento stretto tra le diverse maestranze, quali idraulici, elettricisti, muratori e tecnici termici. Gli impianti vengono predisposti mediante reti di tubazioni, raccordi, valvole, pompe, scambiatori, centrali termiche o frigorifere, e possono includere sistemi di accumulo o regolazione. La posa del sistema si realizza frequentemente durante le operazioni di tracciamento su murature, all'interno di intercapedini, controsoffitti, cavedi tecnici o sottofondi. Durante la fase di cantiere, l'installazione di impianti fluido-meccanici comporta:

- Predisposizione di passaggi e forometrie in solai e pareti;
- Posa in opera delle reti (tubi in acciaio, rame, polietilene, PVC, ecc.);
- Collegamento alle centrali tecniche (es. generatore di calore, pompe di calore);
- Installazione degli elementi terminali (es. radiatori);
- Prova di tenuta delle tubazioni prima del completamento delle opere murarie;
- Collaudo e messa in esercizio al termine dell'installazione.



Figura 122. Impianti fluido-meccanici [113]

Di conseguenza, gli impianti fluido-meccanici possono costituire una potenziale fonte di rischio incendio, sia durante la fase di installazione, sia nel corso della successiva gestione dei materiali e delle attrezzature necessarie alla loro realizzazione. Tali impianti sono deputati al trasporto di fluidi (acqua, aria, gas, liquidi combustibili) attraverso reti di tubazioni, pompe, valvole e apparecchiature tecniche.

Ne consegue la necessità di analizzare gli elementi critici legati alla loro messa in opera:

Fonti di ignizione	○ Saldatura, brasatura o taglio a fiamma su tubazioni: fiamme o scintille a contatto con residui oleosi o guarnizioni; ○ Attrito meccanico: usura di pompe e valvole che genera scintille; ○ Connessioni difettose o allentate: producono punti caldi; ○ Elettricità statica: scariche durante il trasferimento di liquidi infiammabili in contenitori non conduttivi; ○ Fughe di fluido: giunti non serrati, tubi danneggiati da macchinari; ○ Cortocircuiti per cavi danneggiati, giunti non isolati, o isolamento compromesso; ○ Presenza di gas tecnici o infiammabili: in ambienti confinati, fughe accidentali o accumulo di vapori ○ Presenza di attività a caldo nelle adiacenze.
Materiali combustibili	○ Elementi dell'impianto stesso; ○ Stoccaggio di materiali combustibili nelle adiacenze.
Contesto operativo	○ Condizioni ambientali: ambienti con elevate temperature, umidità e polverosi; ○ Interferenze con attività a caldo.
Errori umani	○ Procedure errate;

	○ Stoccaggio improprio di materiali e attrezzature; ○ Altro...
--	---

Tabella 34. Criticità impianti fluido-meccanici

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio incendio. In particolare, le fasi che presentano una maggiore criticità riguardano la realizzazione degli impianti fluido-meccanici permanenti della costruzione.

Esse non risultano essere assoggettabili ai controlli da parte dei Vigili del Fuoco. Tuttavia, nel caso in cui, in fase di realizzazione, siano presenti attività che rientrano tra quelle elencate nel D.P.R. 151/2011, si rende imprescindibile l'adozione delle disposizioni previste per tali lavorazioni. Ad esempio, nel caso in cui si rendano necessarie operazioni di saldatura, si rimanda alle misure individuate nel paragrafo precedente, dedicato all'analisi dettagliata di tale processo. Pertanto, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “*Fire prevention on construction sites*”.

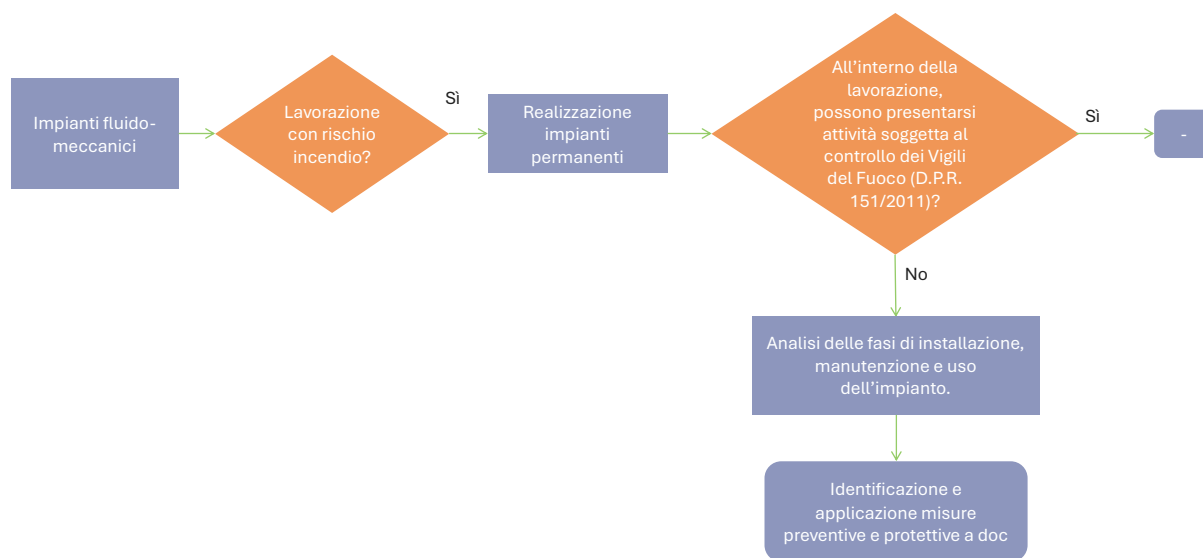


Figura 123. Analisi realizzazione impianti fluido-meccanici di servizio

Di seguito, si riportano le misure individuate relative agli impianti fluido-meccanici:

- Installazione impianti secondo le normative vigenti;
- Utilizzo di materiali e componenti certificati;
- Presenza interruttori differenziali (protezione guasti);
- Utilizzare canaline metalliche per cavi, evitando contatto con superfici infiammabili;
- Distanziare impianti da aree deposito materiali combustibili ($\geq 10\text{m}$);

- Utilizzo di cavi ignifughi;
- Presenza interruttore magnetotermico con sganciatore termico per le sovracorrenti e per i cortocircuiti;
- Redazione di Dichiarazione di conformità dell'impianto;
- Protezione differenziale e magnetotermica su ogni linea;
- Utilizzo di conduttori di sezione adeguata, quando necessario (relativo a messa a terra);
- Protezione dei conduttori da danni meccanici (relativo a messa a terra);
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose;
- Mantenere una distanza ≥ 10 m con attività a caldo;
- Verifiche periodiche dell'impianto;
- Installazione di dispositivi di interruzione (interruttori o fusibili) posti a monte dei cavi elettrici (protezioni da sovracorrenti);
- Utilizzo di materiali non combustibili o autoestinguenti per tubazioni, rivestimenti e isolamenti;
- Limitazione dell'impiego di fluidi infiammabili, prediligendo fluidi termovettori con basso punto di infiammabilità solo se strettamente necessari.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

Impiego di stufetta elettrica

Le stufette, generalmente alimentate elettricamente, rappresentano una soluzione comune per il riscaldamento temporaneo durante le stagioni fredde nei cantieri. Tali dispositivi vengono utilizzati in vari contesti lavorativi, come ambienti interni sprovvisti di un sistema di riscaldamento fisso, spazi chiusi temporanei come container adibiti a uffici, mense o spogliatoi, o anche in prossimità di materiali sensibili alle basse temperature, come colle, vernici, malte o prodotti chimici. In tali circostanze, il riscaldamento diventa una priorità operativa.



Figura 124. Stufa elettrica [114]

L'impiego delle stufette in cantiere, sebbene costituisca un valido supporto per garantire condizioni termiche accettabili durante i mesi freddi, comporta una serie di rischi significativi dal punto di vista della prevenzione incendi. Tali rischi richiedono un'attenta valutazione e l'adozione di misure precauzionali specifiche. Infatti, la natura temporanea e provvisoria dell'impiantistica di cantiere, unita alla presenza diffusa di materiali combustibili, rende l'uso delle stufette un potenziale innesco di incendio.

Di conseguenza, si è proceduto ad individuare i fattori critici che l'utilizzo di tali attrezzature può comportare:

Fonti di ignizione	○ Surriscaldamento a causa del funzionamento prolungato o vicinanza a materiali combustibili; ○ Rischi elettrici: • Cortocircuiti causati da cavi danneggiati, fili scoperti, collegamenti difettosi;
----------------------------------	--

	• Sovraccarico della rete per utilizzo di prolunghe non adeguate.
Contesto operativo	○ Contatto dell'attrezzatura con materiali combustibili vicini.
Gestione inadeguata	○ Mancata pulizia dell'area con conseguente accumulo di materiali combustibili; ○ Controlli attrezzatura trascurati.
Errori umani	○ Procedure errate; ○ Altro...

Tabella 35. Criticità impiego stufa elettrica

Si è pertanto proceduto con l'analisi secondo lo schema procedurale, esaminando i principali pericoli associati al rischio incendio. In particolare, le fasi che presentano una maggiore criticità riguardano l'utilizzo e il deposito dell'attrezzatura.

Essa non risulta essere soggetta ai controlli da parte dei Vigili del Fuoco. Pertanto, si rende necessario analizzare i materiali impiegati nella lavorazione (parametri caratteristici), le condizioni di utilizzo e stoccaggio, e le modalità operative, al fine di identificare e applicare misure preventive e protettive ad hoc, volte alla prevenzione incendi tramite la consultazione della monografia INAIL e la “*Fire prevention on construction sites*”.

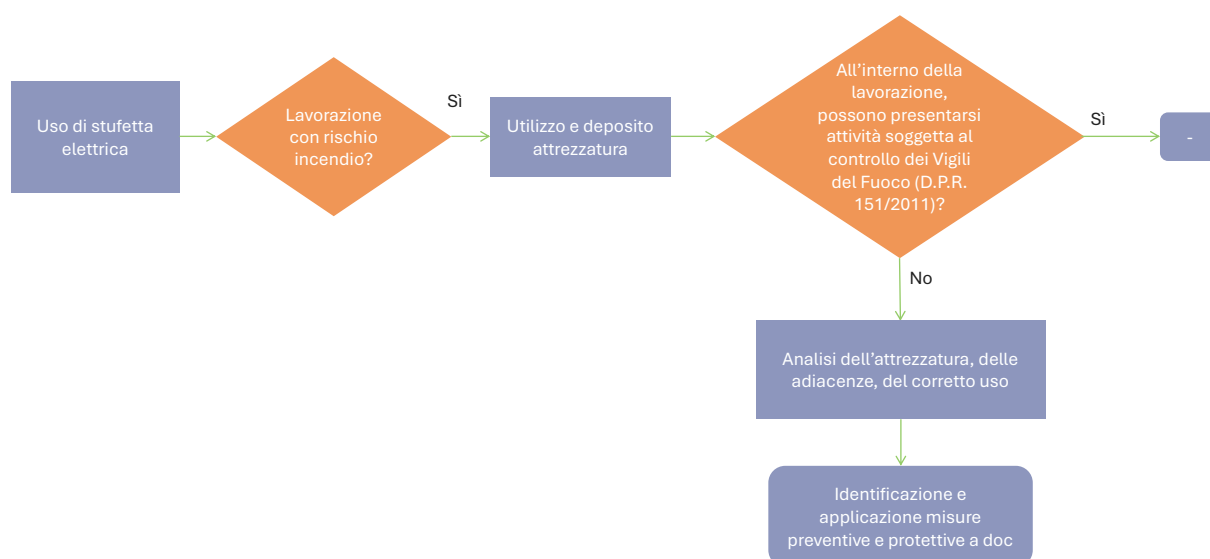


Figura 125. Analisi utilizzo e deposito attrezzatura

Di seguito, si riportano le misure individuate:

- Uso di modelli certificati CE;
- Operare secondo il libretto di istruzioni;
- Limitare l'uso in presenza di materiali altamente infiammabili;
- Utilizzare prolunghe certificate;
- Monitoraggio delle condizioni dell'attrezzatura;
- Terminato l'utilizzo, interrompere l'alimentazione elettrica;
- Verificare l'integrità dei cavi e della spina di alimentazione;
- Segnalare eventuali malfunzionamenti;
- Mantenere una zona di sicurezza $\geq 5\text{m}$ priva di materiali combustibili;
- Nelle aree adiacenti, divieto di fumo, fiamme libere, lavori a caldo e altre attività considerate pericolose.

Si prevedono inoltre l'adozione di ulteriori misure di carattere generale:

- Pulizia giornaliera di detriti e polveri combustibili;
- Posizionamento di estintori portatili presso le aree di lavoro e di deposito;
- Adozione di DPI idonei;
- Formazione e addestramento del personale specifico (addetti antincendio e saldatori);
- Controllo e manutenzione delle apparecchiature/attrezzature di lavoro elettriche e/o meccaniche;
- Controlli sulle misure di sicurezza disposte.

6.3 Valutazione rischio incendio residuo

Nel caso in esame, le disposizioni per ciascuna lavorazione si basano principalmente sull'imposizione di distanze di sicurezza da garantire tra la fonte di innesco e i materiali combustibili o, in caso contrario, la realizzazione di barriere fisiche, su norme comportamentali da adottare da parte dei lavoratori, sull'uso corretto delle attrezzature e dei macchinari, nonché su una serie di attività di controllo e manutenzione da svolgere e di formazione dei lavoratori per la gestione dell'emergenza. Pertanto, si evidenzia la complessità di affermare che il rischio di incendio ed esplosione possa essere completamente eliminato. Tuttavia, tale limite può essere ridotto, subordinatamente all'applicazione delle prescrizioni pertinenti a ciascuna attività.

Assume importanza quindi la valutazione del rischio residuo, la quale rappresenta la fase finale e cruciale del processo di analisi del rischio incendio in cantiere. La valutazione del rischio residuo si sostanzia nella stima del livello di rischio che permane dopo l'implementazione delle misure preventive e protettive pianificate durante la fase di progettazione della sicurezza e l'attuazione del cantiere. È possibile che un rischio non venga completamente eliminato, ma che sia ridotto a un livello accettabile, permettendo così lo svolgimento delle attività lavorative in condizioni di sicurezza. Nel contesto dei lavori di costruzione, la valutazione del rischio residuo deve considerare la variabilità dinamica delle condizioni lavorative, la presenza di diverse imprese e la contemporaneità delle lavorazioni, fattori che possono alterare lo scenario di rischio durante l'esecuzione dei lavori.

Ora, la questione fondamentale risiede nella valutazione dell'accettabilità del rischio residuo. Il quale può essere determinato attraverso la ri-valutazione del rischio secondo il ciclo di Deming, analizzando la probabilità di accadimento e l'entità del danno potenziale, al fine di redigere la matrice del rischio. Grazie a questo strumento, è possibile identificare le lavorazioni con rischio residuo in base alla loro necessità di trattamento, distinguendo tra quelle che richiedono un intervento immediato e quelle che non necessitano di alcuna misura correttiva. In questa fase, prima di avviare qualsiasi intervento di mitigazione del rischio, è fondamentale analizzare il rapporto costi-benefici associato alla realizzazione di ulteriori misure aggiuntive che consentano di accettare il rischio residuo. Pertanto, in funzione della matrice del rischio, si può comprendere se una lavorazione ha rischio residuo:

- Importante, per la quale sarà necessario intervenire indipendentemente dal costo associato;
- Medio, per la quale si esamina il rapporto costi/benefici che dovrebbe derivare dal trattamento, tenendo in considerazione le opportunità e le conseguenze;
- Ridotto, in cui il rischio viene considerato accettabile e non si rende necessario un trattamento.

Nel caso specifico in esame, tuttavia, la valutazione dei rischi non è stata condotta secondo la metodologia convenzionale, basata sull'uso della matrice dei rischi. Pertanto, risulta necessario effettuare una valutazione del rischio residuo, che dovrà essere condotta per ciascun cantiere specifico.

Ad ogni modo, la metodologia sviluppata ha l'obiettivo di minimizzare il rischio di incendio ed esplosione per ogni attività, al fine di rendere il rischio residuo accettabile e, di conseguenza, non richiedere l'implementazione di ulteriori misure o procedure a tutela dei lavoratori. Ciononostante, il rischio residuo non può essere annullato, pertanto è richiesto un monitoraggio costante e la pronta disponibilità di sistemi di gestione dell'emergenza.

Inoltre, è fondamentale osservare che, nel presente elaborato, le lavorazioni sono state esaminate singolarmente; tuttavia, risulta importante analizzare l'organizzazione del lavoro, in particolare, al fine di evitare interferenze tra il personale di cantiere e interferenze fra le lavorazioni. È fondamentale che le procedure definite siano condivise, chiaramente esplicitate, applicate e costantemente aggiornate per l'esecuzione delle operazioni opportunamente sfasate a livello temporale e, in caso di incompatibilità, anche separate spazialmente. Tale elemento deve essere inserito all'interno del PSC.

7 Conclusioni

Il presente elaborato ha esaminato in modo critico la questione della valutazione del rischio di incendio ed esplosione nei cantieri temporanei, proponendo un approccio metodologico basato su riferimenti normativi, analisi delle dinamiche fisico-chimiche della combustione, dati statistici e casi studio concreti. Tale metodologia è strutturata secondo una logica analitica che parte dall'individuazione delle lavorazioni a rischio e dei pericoli associati, e si conclude con l'elaborazione di misure preventive e protettive. Tale approccio si distingue dalle valutazioni generiche spesso riportate nei documenti di cantiere (PSC e POS), proponendo invece una lettura sistemica e per attività, in grado di evidenziare le realistiche condizioni di innesco e la possibile propagazione dell'incendio in funzione della logistica, della sequenza lavorativa e delle interferenze operative. L'implementazione di tale metodologia in un caso di studio pratico, concernente la costruzione di un asilo nido, ha consentito di valutarne l'efficacia, la versatilità e la fattibilità operativa. In particolare, è stato possibile identificare le problematiche specifiche delle lavorazioni e determinare le misure di prevenzione e protezione adeguate a minimizzare il rischio, al fine di raggiungere un livello "ridotto" di rischio, in cui non si rende necessario intervenire ulteriormente. Di conseguenza, è stato possibile delineare un quadro complesso ma necessario per comprendere la reale portata del rischio in ambito cantieristico. In conclusione, tale processo ha messo in luce come una metodologia strutturata possa incrementare la qualità della gestione del rischio incendio, favorendo la consapevolezza operativa tra le figure del cantiere e rendendo il processo decisionale più razionale e giustificabile.

Dall'analisi comparativa tra la normativa vigente e le condizioni effettive del cantiere, è emersa la necessità di un'attenzione più approfondita al tema della sicurezza antincendio nel settore dell'edilizia, un ambito che attualmente presenta un quadro normativo ancora poco dettagliato e vincolante, spesso affidato alla sensibilità e all'esperienza degli operatori. Infatti, il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), redatto dal Coordinatore in fase di progettazione, non include una valutazione del rischio incendio adeguatamente contestualizzata. Ciò implica una tendenza a sottovalutare il rischio di innesco di un incendio, il quale potrebbe potenzialmente causare gravi danni di natura umana ed economica. Pertanto, si rende necessario inserire il rischio di incendio ed esplosione, insieme alla relativa procedura di analisi, nell'allegato XI, che elenca le lavorazioni che comportano rischi "particolari" per la sicurezza e la salute dei lavoratori. In tal modo, tale rischio diventa un vincolo normativo che deve essere esaminato in modo approfondito e dettagliato. Questo approccio si traduce in un PSC più completo e dettagliato, garantendo un livello di sicurezza e coordinamento delle attività di cantiere efficienti e ottimali, e assicurando una maggiore tutela dei lavoratori. La richiesta di analizzare i lavori comportanti rischio incendio ed esplosione genererà una reazione a catena che si tradurrà in un maggior dettaglio del POS.

Inoltre, sarebbe fondamentale che il CSP e il CSE possiedano una conoscenza approfondita delle tematiche trattate dalla prevenzione incendi, al fine di effettuare una corretta analisi e valutazione del rischio incendio e, di conseguenza, applicare in modo adeguato le misure previste, garantendo un controllo e un monitoraggio efficaci. Pertanto, si evidenzia la necessità che i percorsi formativi destinati a CSP e CSE includano moduli specifici dedicati al rischio incendio in cantiere, con il contributo di professionisti abilitati in prevenzione incendi. Questo approccio è fondamentale per promuovere una cultura tecnica fondata su competenze reali e interdisciplinari, garantendo così un livello di preparazione adeguato ad affrontare efficacemente le situazioni di rischio. Si consiglia altresì di programmare corsi di formazione più estesi per gli addetti antincendio presenti in cantiere, al fine di garantire una loro reazione efficace in caso di emergenza.

Come menzionato in precedenza, il Codice di Prevenzione Incendi, sebbene concepito per ambienti confinati, può risultare uno strumento utile attraverso l'applicazione adattata delle sue strategie. Tale operazione consente, pertanto, di transitare da un approccio prescrittivo a uno prestazionale e flessibile, più adatto alla natura dinamica e mutevole del sito di lavoro. Inoltre, la ricerca ha messo in luce il potenziale di strumenti avanzati, come la Fire Safety Engineering e le simulazioni computazionali (FDS), come approccio innovativo per supportare la progettazione delle misure di emergenza anche in contesti complessi, in particolare in edifici tutelati o in ambiti ad alta vulnerabilità. L'adozione di tali strumenti potrebbe elevare significativamente il livello della progettazione della sicurezza nei cantieri, offrendo una visione integrata tra prevenzione, conservazione e gestione operativa. Tuttavia, affinché tale processo si realizzi, si rende indispensabile promuovere la formazione tecnica delle figure coinvolte nella sicurezza di cantiere, in particolare del CSP e del CSE.

Al fine di rendere più agevole e sistematica la valutazione del rischio incendio nei cantieri temporanei, si potrebbe dar luogo allo sviluppo e all'adozione di strumenti operativi pratici, che possano fornire supporto ai professionisti coinvolti nel processo di analisi, documentazione e progettazione delle misure di prevenzione. L'efficacia della metodologia proposta è evidente nella sua struttura tecnica, tuttavia, in determinati contesti applicativi, la sua implementazione può risultare complessa senza l'ausilio di strumenti standardizzati. Pertanto, si consiglia lo sviluppo di checklist guidate per la valutazione dei pericoli e delle lavorazioni a rischio incendio ed esplosione, nonché schede di analisi delle lavorazioni, suddivise per categoria (ad esempio saldatura, uso di macchinari, stoccaggio materiali infiammabili). Tali checklist dovrebbero includere l'indicazione dei principali pericoli, scenari possibili e misure da attuare. In tal modo, si potrebbe promuovere l'uniformità delle analisi tra i cantieri, riducendo l'elemento soggettivo delle valutazioni dei rischi e facilitando il lavoro del CSE e del CSP. Questo approccio permetterebbe anche di coordinare più imprese esecutrici, migliorando l'efficienza e l'efficacia delle operazioni. L'implementazione di tali strumenti potrebbe costituire un efficace collegamento tra la teoria e la pratica, facilitando la traduzione dei principi metodologici e ingegneristici in strumenti

applicabili sul campo. Tale processo potrebbe inoltre contribuire a migliorare la qualità della prevenzione e la coerenza della documentazione tecnica di sicurezza.

Infine, relativamente alla trasformazione digitale che interessa il settore delle costruzioni, la sicurezza in cantiere risulta una delle frontiere più promettenti, anche in termini di miglioramento della gestione del rischio. In tale prospettiva, il *Building Information Modeling* (BIM) emerge come un valido strumento per osservare l'evoluzione spaziale e temporale del cantiere, individuare le aree di lavoro in ogni fase del cronoprogramma, comprendere le zone a rischio, predisporre i presidi antincendio, e così via. In tal modo, è possibile analizzare la logistica del cantiere e coordinare le interferenze tra lavorazioni in modo maggiormente immediato e preciso. In parallelo, l'adozione di sistemi di monitoraggio in tempo reale (IoT - Internet of Things), come sensori per la rilevazione di fumo o temperatura, può contribuire alla sorveglianza attiva del rischio incendio anche in contesti complessi o ad alta interferenza. Tali soluzioni si affiancano all'utilizzo di piattaforme digitali di cantiere, le quali consentono una gestione più efficiente, tracciabile e accessibile della documentazione di sicurezza (PSC, POS, ecc.), agevolando la consultazione rapida dei piani di emergenza, la condivisione istantanea delle planimetrie aggiornate e il coordinamento tra le figure della sicurezza, incluse quelle esterne come i V.V.F. In prospettiva, l'integrazione tra modellazione BIM, simulazioni computazionali e piattaforme di gestione della sicurezza potrebbe consentire lo sviluppo di piani antincendio dinamici, adattativi e reattivi, in grado di evolvere insieme al cantiere, con aggiornamenti automatici delle misure di sicurezza e delle aree critiche in funzione dello stato di avanzamento lavori. Tuttavia, affinché quanto menzionato possa effettivamente trovare applicazione, si rende necessario fornire una formazione adeguata alle figure professionali coinvolte nella progettazione e nell'esecuzione della sicurezza, promuovere la collaborazione interdisciplinare tra professionisti, imprese, software house e altri attori coinvolti, nonché procedere all'aggiornamento delle normative tecniche affinché riconoscano e promuovano l'impiego di strumenti digitali nella prevenzione incendi.

Indice delle figure

Figura 1. Ciclo di Deming.....	13
Figura 2. Organigramma impresa.....	18
Figura 3. Schema riassuntivo delle normative di riferimento	31
Figura 4. Attività di saldatura ossiacetilenica (sinistra) e saldatura ad arco elettrico (centro e destra) [5].....	41
Figura 5. Triangolo del fuoco [16]	47
Figura 6. Potere calorifico dei principali combustibili [11]	48
Figura 7. Temperature teoriche massime di combustione confrontate con quelle massime effettive misurate realmente [11]	49
Figura 8. Temperatura teorica occorrente per la combustione [11]	49
Figura 9. Temperature di infiammabilità [11].....	50
Figura 10. Temperature di accensione [11].....	50
Figura 11. Classi di rischio per materiali soggetti ad autocombustione [11]	51
Figura 12. Limiti di infiammabilità [11]	52
Figura 13. Limiti di infiammabilità [12]	52
Figura 14. Curva di incendio naturale (temperatura-tempo) [17]	55
Figura 15. Curva RHR (potenza termica-tempo) [2]	55
Figura 16. Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas [11]	58
Figura 17. Classificazione incendi [18].....	60
Figura 18. Triangolo dell'esplosione [8]	62
Figura 19. Pressione critica [11]	63
Figura 20. Range di esplosione e livelli di esplosività [8]	63
Figura 21. Segnaletica ATEX [19].....	66
Figura 22. Incendio della cappella Guarini [20]	71
Figura 23. Incendio della cappella [21].....	71
Figura 24. Incendio della cappella Guarini [20]	72
Figura 25. Cattedrale di Notre Dame [5].....	75
Figura 26. Incendio in corrispondenza del ponteggio [5]	75
Figura 27. Crollo della guglia [5].....	75
Figura 28. Incendio Notre Dame [5]	76

Figura 29. Incendio Notre Dame [5]	76
Figura 30. Incendio pila 13 [22].....	79
Figura 31. Incendio pila 13, estratto da video [22]	79
Figura 32. Incendio in copertura Unicoop [28].....	81
Figura 33. Incendio in copertura Unicoop [28].....	81
Figura 34. Operazioni di spegnimento incendio [28].....	81
Figura 35. Incendio in copertura [36].....	85
Figura 36. Incendio in copertura [36].....	85
Figura 37. Dettaglio incendio copertura [39]	88
Figura 38. Dettaglio incendio copertura [39]	88
Figura 39. Incendio del materiale stoccato, foto di Massimo Argnani [41].....	90
Figura 40. Intervento di estinzione dei V.V.F., foto di Massimo Argnani [41].....	90
Figura 41. Intervento di estinzione dei V.V.F. [42]	90
Figura 42. Incendio copertura [48].....	93
Figura 43. Incendio copertura [49].....	93
Figura 44. Situazione post incendio, estratto da video [50]	94
Figura 45. Incendio in fase di avanzata propagazione [55].....	96
Figura 46. Intervento dei V.V.F. [55]	97
Figura 47. Area dopo estinzione dell'incendio [56].....	97
Figura 48. Incendio copertura [59].....	99
Figura 49. Complesso Trilogy Towers [62]	101
Figura 50. Incendio tredicesimo e quattordicesimo piano Trilogy Towers [62].....	101
Figura 51. Piani coinvolti nell'incendio, foto di Giulia Pelucchi [63].....	102
Figura 52. Zona interessata dall'incendio, foto di Francesco Manfuso [66].....	104
Figura 53. Zona interessata dall'incendio, foto di Francesco Manfuso [66].....	104
Figura 54. Cantiere dove è avvenuta l'esplosione [70]	105
Figura 55. Cassone in cui si è generato l'incendio [73]	107
Figura 56. Operazioni di estinzione dell'incendio [73].....	108
Figura 57. Copertura interessata dall'incendio [78].....	109
Figura 58. Fabbricato in ristrutturazione in cui è avvenuto l'incendio [78]	110

Figura 59. Intervento dei Vigili del Fuoco [78]	110
Figura 60. Incendio copertura Unitus [81]	112
Figura 61. Incendio copertura Unitus [81]	112
Figura 62. Incendio copertura Unitus [82]	113
Figura 63. Incendio copertura Unitus [82]	113
Figura 64. Informazioni cantieri edili, interventi di soccorso tecnico urgente inerenti ai luoghi con frequenza $\geq 0,2\%$ rispetto al totale degli “incendi ed esplosioni”, estratto [89]	115
Figura 65. Andamento delle cause di innesco nel periodo 2020-2024	116
Figura 66. Andamento delle sostanze coinvolte negli incendi/esplosioni nel periodo 2020-2024	119
Figura 67. Trend di incendi in edifici di nuova costruzione [3]	121
Figura 68. Destinazioni d’uso di strutture in costruzione maggiormente coinvolte da incendi [3]	122
Figura 69. Cause principali di incendio nei cantieri di nuova costruzione [3]	122
Figura 70. Percentuale mensile di accadimento degli incendi [3]	123
Figura 71. Orari in cui sono scoppiati gli incendi nei cantieri [3]	123
Figura 72. Metodologia proposta all'analisi e valutazione del rischio incendio in cantiere	125
Figura 73. Planimetria: individuazione aree principali e ingresso principale (freccia rossa)	127
Figura 74. Planimetria copertura	128
Figura 75. Metodologia sviluppata	135
Figura 76. Analisi attività che implicano rischio incendio ed esplosione	136
Figura 77. Posa membrana impermeabilizzante [90]	138
Figura 78. Attività 3, estratto [91]	140
Figura 79. Analisi utilizzo fiamme libere	140
Figura 80. Analisi condizioni di stoccaggio bombole	141
Figura 81. Saldatrice elettrica [93]	145
Figura 82. Analisi della fase di fusione dell'elettrodo	147
Figura 83. Analisi utilizzo e stoccaggio saldatrice elettrica	148
Figura 84. Autocarro con cassone ribaltabile [94]	152
Figura 85. Autocarro con gru [95]	154
Figura 86. Autocarro con cestello [96]	155
Figura 87. Autogrù [97]	156

Figura 88. Autobetoniera [98]	158
Figura 89. Piattaforma sviluppabile [99].....	159
Figura 90. Pala meccanica [100]	161
Figura 91. Minipala [101]	162
Figura 92. Dumper [102].....	163
Figura 93. Escavatore cingolato [103]	165
Figura 94. Attività 13, estratto [91].....	167
Figura 95. Analisi utilizzo e deposito macchinario	167
Figura 96. Analisi deposito materiali liquidi infiammabili	168
Figura 97. Soffiatore con motore a scoppio (sx) [104] e soffiatore a batteria (dx) [105]	172
Figura 98. Attività 13, estratto [91].....	173
Figura 99. Analisi utilizzo e deposito attrezzature	174
Figura 100. Analisi deposito materiali liquidi infiammabili (solo per i soffiatori a scoppio).....	174
Figura 101. Procedura per la gestione dei rifiuti [106]	180
Figura 102. Attività 34, 26, 38 e 44, estratto [91]	182
Figura 103. Analisi deposito materiali combustibili e/o infiammabili.....	183
Figura 104. Smerigliatrice angolare [14]	185
Figura 105. Analisi utilizzo e deposito attrezzature	188
Figura 106. Trapano elettrico [107]	190
Figura 107. Analisi utilizzo e deposito attrezzature	193
Figura 108. Casseforme in legno per calcestruzzo [108].....	196
Figura 109. Attività 36, estratto [91].....	198
Figura 110. Analisi utilizzo e stoccaggio materiali combustibili e/o infiammabili	199
Figura 111. Stratigrafia cappotto termico esterno [109]	202
Figura 112. Attività 70, estratto [91].....	203
Figura 113. Analisi utilizzo e stoccaggio materiali combustibili e/o infiammabili	204
Figura 114. Operazione di tinteggiatura [110]	206
Figura 115. Attività 12, estratto [91].....	207
Figura 116. Analisi utilizzo e deposito di vernici, diluenti e solventi.....	208
Figura 117. Realizzazione parete in cartongesso [111].....	211

Figura 118. Attività 70, estratto [91].....	213
Figura 119. Analisi posa in opera e stoccaggio cartongesso e componenti	213
Figura 120. Quadro elettrico di cantiere [112].....	216
Figura 121. Analisi realizzazione, utilizzo e disinstallazione impianto elettrico di cantiere e realizzazione impianti di servizio	218
Figura 122. Impianti fluido-meccanici [113]	221
Figura 123. Analisi realizzazione impianti fluido-meccanici di servizio.....	223
Figura 124. Stufa elettrica [114]	225
Figura 125. Analisi utilizzo e deposito attrezzatura	226

Indice delle tabelle

Tabella 1. Confronto tra PSC e POS	21
Tabella 2. Osservazioni finali.....	23
Tabella 3. Osservazioni finali.....	29
Tabella 4. Incendio Università della Tuscia, Viterbo.....	111
Tabella 5. Incendio Viale Corsica, Firenze	109
Tabella 6. Incendio Sal Valeriano, Borgone di Susa (TO).....	107
Tabella 7. Incendio Taranto due, Taranto	103
Tabella 8. Incendio Trilogy Towers, Milano	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 9. Incendio, Barletta	98
Tabella 10. Incendio Colli Aniene (RM)	95
Tabella 11. Incendio Le Vele, Desenzano del Garda (BS)	92
Tabella 12. Incendio Lido Adriano (RA)	89
Tabella 13. Incendio San Pietro, Corteno Golgi (BS).....	87
Tabella 14. Incendio Sant'Antonino (TV)	86
Tabella 15. Incendio Rigutino (AR).....	84
Tabella 16. Incendio Unicoop, Ponte a Greve (FI)	80
Tabella 17. Esplosione, Udine.....	105
Tabella 18. Esplosione, Salerno	83
Tabella 19. Incendio Notre Dame, Parigi.....	73
Tabella 20. Cappella Guarini, Duomo di Torino, Torino.....	70
Tabella 21. Criticità della saldatura con propano.....	139
Tabella 22. Criticità saldatrice elettrica.....	146
Tabella 23. Criticità utilizzo macchinari	166
Tabella 24. Criticità soffiatore a zaino	173
Tabella 25. Criticità rifiuti di cantiere	181
Tabella 26. Criticità smerigliatrice angolare	187
Tabella 27. Criticità trapano elettrico.....	191
Tabella 28. Criticità utilizzo e stoccaggio casseforme in legno	197

Tabella 29. Criticità cappotto termico.....	203
Tabella 30. Criticità operazione di tinteggiatura.....	207
Tabella 31. Criticità uso e stoccaggio cartongesso	212
Tabella 32. Criticità impianti elettrici e speciali	217
Tabella 33. Criticità impianti fluido-meccanici	223
Tabella 34. Criticità impiego stufa elettrica	226

Bibliografia

- [1] D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 - Testo Unico sulla sicurezza e sul lavoro, REV. SETTEMBRE 2024.
- [2] M. dell'Interno, D.M. 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi.
- [3] R. Campbell, «Fires in Structure under Construction,» 2023. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/fires-in-structures-under-construction>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [4] C. Europe, Fire prevention on construction sites, 2012.
- [5] INAIL, *Rischio incendio ed esplosione in edilizia*, 2020.
- [6] M. dell'Interno, D.M. 02/09/2021 - *Criteri per la gestione dei luoghi di lavoro in esercizio ed in emergenza e caratteristiche dello specifico servizio di prevenzione e protezione antincendio, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punto 4 e lettera b), del dec, 2021.*
- [7] M. dell'Interno, D.M. 03/09/2021 - *Criteri generali di progettazione, realizzazione ed esercizio della sicurezza antincendio per luoghi di lavoro, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punti 1 e 2, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, definito anche “*, 2021.
- [8] INAIL, Rischio esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE.
- [9] «BibLus,» maggio 2024. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/impianto-elettrico-di-cantiere-norme-e-obblighi/#impianto-elettrico-di-cantiere-la-normativa>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [10] S. Z. Marco Franz, «Edifici storici, se l'incendio parte dal cantiere di recupero,» *Antincendio*, 2012.
- [11] C. N. d. V. d. Fuoco, Chimica e fisica dell'incendio.
- [12] C. p. d. V. d. Fuoco, Manuale di prevenzione incendi per corsi di formazione per vigili volontari.
- [13] D. F. e. E. M. -. S. a. boschivi, Manuale di formazione di base in amteria di incendi boschivi - Il fuoco.
- [14] «Gruppo Secchiaroli,» dicembre 2022. [Online]. Available: <https://eshop.grupposecchiaroli.it/news-blog/a-cosa-serve-una-smerigliatrice-e-come-utilizzarla/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [15] INAIL, Conoscere il rischio: atmosfere esplosive, 2019.
- [16] «Wikipedia,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Triangolo_del_fuoco. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [17] S. L. M. R. L. M. Antonio La Malfa, *Ingegneria della Sicurezza Antincendio – Progettazione con il metodo tradizionale e il Codice Prevenzione Incendi*, 2017.
- [18] «Technosharing,» [Online]. Available: http://www.technosharing.it/mappa_prevenzione_incendi/map_html.html. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [19] 1999/94/EG, Allegato III.
- [20] «Fanpage,» aprile 2017. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/cultura/vent-anni-dall-incendio-nel-duomo-di-torino-che-stava-per-bruciare-la-sacra-sindone/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [21] R. Maccioni, «Avvenire,» aprile 2017. [Online]. Available: <https://www.avvenire.it/chiesa/pagine/il-pompieri-che-la-salv-mi-ha-cambiato-la-vita>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [22] M. Menduni, «Il Secolo XIX,» dicembre 2019. [Online]. Available: <https://www.ilsecoloxix.it/genova/2019/12/31/news/genova-in-fiamme-l-interno-di-una-delle-pile-del-viadotto-che-sostituira-il-morandi-1.38272927>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [23] «Open,» dicembre 2019. [Online]. Available: <https://www.open.online/2019/12/31/genova-incendio-nel-cantiere-dell'ex-ponte-morandi-fiamme-avvolgono-un-pilastro/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [24] «La Repubblica,» dicembre 2019. [Online]. Available: https://genova.repubblica.it/cronaca/2023/03/19/news/rogo_sul_ponte_san_giorgio_di_genova_tre_tecnici_del_cantiere_a_processo_per_incendio_colposo-392787043/. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [25] «La Stampa,» dicembre 2019. [Online]. Available: <https://www.lastampa.it/cronaca/2019/12/31/news/ponte-genova-divampa-un-incendio-nel-cantiere-del-nuovo-viadotto-1.38272932/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [26] B. Chiariello, «Fanpage,» dicembre 2019. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/attualita/genova-incendio-nel-cantiere-del-ponte-morandi-a-fuoco-una-parte-del-nuovo-viadotto/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [27] L. Sablone, «Il Giornale,» dicembre 2019. [Online]. Available: <https://www.ilgiornale.it/news/cronache/genova-incendio-nel-cantiere-ponte-morandi-fuoco-pila-13-1805587.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [28] «vigilfuoco.tv,» giugno 2021. [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.tv/toscana/firenze/firenze/incendio-copertura-centro-commerciale-ponte-greve>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [29] «FirenzeToday,» febbraio 2022. [Online]. Available: <https://www.firenzetoday.it/cronaca/incendio-coop-ponte-greve-indagati.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [30] «Corriere fiorentino,» gennaio 2023. [Online]. Available: https://corrierefiorentino.corriere.it/notizie/cronaca/23_gennaio_16/incendio-alla-coop-di-ponte-a-greve-a-processo-gli-impresari-e-il-geometra-0f61f70d-d1b9-48b1-8a9c-dfd21ca7f1lk.shtml?refresh_ce. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [31] «Sky tg24,» giugno 2021. [Online]. Available: <https://tg24.sky.it/cronaca/2021/06/04/firenze-incendio-coop-ponte-a-greve>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [32] «MET,» giugno 2021. [Online]. Available: <http://met.provincia.fi.it/news.aspx?n=335558>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [33] «TvOggi,» settembre 2021. [Online]. Available: <https://www.tvoggisalerno.it/esplosione-nel-cantiere-a-sala-abbagnano-prognosi-riservata-per-l-operaio-della-salerno-sistemi/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [34] N. Falco, «Fanpage,» settembre 2021. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/napoli/esplode-tubo-del-gas-nel-cantiere-a-salerno-operaio-investito-dalle-fiamme-e-grave/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [35] P. Sorrentino, «Italia2tv.it,» settembre 2021. [Online]. Available: <https://oldsite.italia2news.it/2021/09/16/esplode-un-tubo-del-gas-a-salerno-gravemente-ustionato-un-operaio-di-60-anni/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [36] «ArezzoNotizie,» febbraio 2023. [Online]. Available: <https://www.arezzonotizie.it/foto/cronaca/incendio-in-un-cantiere-a-rigutino/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [37] «sr71.it,» febbraio 2023. [Online]. Available: <https://www.sr71.it/2023/02/21/incendio-a-rigutino-a-fuoco-un-fabbricato/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [38] L. Russo, «Il Gazzettino,» marzo 2023. [Online]. Available: https://www.ilgazzettino.it/nordest/treviso/incendio_cantiere_edile_polistirolo_dove_e_successo_come_quando-7260506.html?refresh_ce. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [39] «BresciaToday,» marzo 2023. [Online]. Available: <https://www.bresciatoday.it/cronaca/corteno-golgi-incendio-tetto.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [40] «QuiBrescia.it,» marzo 2023. [Online]. Available: <https://www.quibrescia.it/provincia/valcamonica/2023/03/29/corteno-golgi-fiamme-in-un-cantiere-distrutto-il-tetto-di-un-edificio-in-ristrutturazione/643863/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [41] «RavennaToday,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://www.ravennatoday.it/cronaca/incendio--lido-adriano-auto-27aprile2023.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [42] «Ravenna Notizie,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://www.ravennanotizie.it/cronaca/2023/04/27/redazione-diffusa-incendio-in-un-cantiere-edile-a-lido-adriano-allopera-di-vigili-del-fuoco/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [43] «Rinnovabili,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.rinnovabili.it/green-building/incendio-di-colli-aniene-colpa-del-superbonus/#:~:text=La%20causa%20potrebbero%20essere%20delle,nelle%20prime%20ore%20del%20pomeriggio> o. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].

-
- [44] «Ravenna 24ore,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://www.ravenna24ore.it/notizie/cronaca/2023/04/27/incendio-in-un-cantiere-edile-a-lido-adriano/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [45] «il Resto del Carlino,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://www.ilrestodelcarlino.it/ravenna/cronaca/incendio-rogo-cantiere-86b67803?live>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [46] «RavennaeDintorni.it,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://www.ravennaedintorni.it/cronaca/2023/04/27/lido-adriano-incendio-cantiere-edile/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [47] «le Cronache di Ravenna,» aprile 2023. [Online]. Available: <https://lacronacadiravenna.it/articolo/12937/In-fiamme-materiale-isolante-vetture-distrutte-evacuato-un-condominio>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [48] «Sky tg24,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://tg24.sky.it/milano/2023/05/23/desenzano-incendio-le-vele>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [49] «Il Giorno,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.ilgiorno.it/brescia/cronaca/incendio-al-centro-commerciale-le-vele-scatta-la-bonifica-resta-lallarme-ambientale-t4aiek3?live>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [50] V. d. Fuoco, «YouTube,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MgzSvj7W-o4>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [51] «vigilfuoco.tv,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.tv/lombardia/brescia/desenzano-del-garda/incendio-centro-commerciale-fiamme-spen-te-corso-bonifica-dell>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [52] I. Quattrone, «Fanpage,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/milano/incendio-devasta-il-centro-commerciale-le-vele-di-desenzano-del-garda-evacuata-la-struttura/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [53] «BresciaToday,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.bresciatoday.it/cronaca/incendio-vele-danni-feriti.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [54] «Il Giorno,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.ilgiorno.it/brescia/cronaca/incendio-al-centro-commerciale-le-vele-scatta-la-bonifica-resta-lallarme-ambientale-t4aiek3?live>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [55] «Sky tg24,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://tg24.sky.it/cronaca/2023/06/02/incendio-roma-palazzina-colli-aniene-foto#00>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [56] «TGR Lazio,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.rainews.it/tgr/lazio/articoli/2023/06/lincendio-a-colli-aniene-antonio-damato-e-morto-nel-tentativo-di-salvare-la-compagna-38e73358-7c36-45e4-ab01-96a475bc23f5.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].

- [57] P. Frattasi, «Fanpage,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/roma/roma-incendio-palazzina-colli-aniene-feriti/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [58] A. O. Marco Carta, «La Repubblica,» giugno 2023. [Online]. Available: https://roma.repubblica.it/cronaca/2023/06/02/news/palazzo_in_fiamme_colli_aniene-402902150/. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [59] «Barletta Viva,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.barlettaviva.it/notizie/fumo-nero-nei-cieli-di-barletta-incendio-in-via-turi/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [60] «Norba Online,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://norbaonline.it/2023/06/08/barletta-incendio-in-capannone/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [61] «AntennaSud,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.antennasud.com/barletta-incendio-in-capannone-della-zona-industriale/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [62] «Open,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.open.online/2023/06/28/milano-incendio-torri-trilogy-tower-foto-video/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [63] C. R. G. Alessandro Gemme, «MilanoToday,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.milanotoday.it/cronaca/incendio/incendio-via-gallarate.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [64] I. Carra, «La Repubblica,» giugno 2023. [Online]. Available: https://milano.repubblica.it/cronaca/2023/06/28/news/incendio_milano_via_gallarate_palazzo-406020977/. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [65] C. Giuzzi, «Corriere della Sera,» giugno 2023. [Online]. Available: https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/23_giugno_28/incendio-a-milano-in-via-gallarate-in-fiamme-il-13esimo-piano-di-un-palazzo-residenziale-eaa35df9-fa50-4326-9704-154561c6axlk.shtml?refresh_ce. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [66] «Buonasera 24,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://buonasera24.it/news/cronaca/812950/incidente-su-un-cantiere-edile-una-persona-intossicata-finisce-in-ospedale.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [67] «Antenna Sud,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://www.antennasud.com/taranto-2-incendio-durante-i-lavori/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [68] «La Gazzetta del Mezzogiorno,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://www.lagazzettadelmezzogiorno.it/news/taranto/1422799/taranto-incendio-in-un-cantiere-edile-pannelli-a-fuoco-una-persona-intossicata.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [69] «L'edicola,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://ledicola.it/cronaca/a-fuoco-alcuni-pannelli-in-un-cantiere-edile-a-taranto-una-persona-intossicata-trasportata-in-ospedale/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].

- [70] D. Lettig, «TGR,» novembre 2023. [Online]. Available: <https://www.rainews.it/tgr/fvg/articoli/2023/11/esplosione-in-un-cantiere-edile-alla-periferia-di-udine-nessun-ferito-cavo-alta-tensione-mezzo-meccanico-principio-incendio-d66250ce-1bc9-4d1b-902c-e4e3fc4cdeda.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [71] «telefriuli.it,» novembre 2023. [Online]. Available: <https://www.telefriuli.it/cronaca/ruspa-tocca-un-cavo-dellalta-tensione-esplosione-a-udine/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [72] «Friulioggi.it,» novembre 2023. [Online]. Available: <https://www.friulioggi.it/cronaca/esplosione-cantiere-udine-macchinario-tocca-cavo-alta-tensione-9-novembre-2023/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [73] «TorinoToday,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://www.torinotoday.it/cronaca/incendio-cantiere-Borgone-Susa-21-marzo-2024.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [74] C. N. d. V. d. Fuoco, «vigilfuoco.it,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.it/media/notizie/torino-incendio-un-cantiere-borgone-susa>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [75] V. Dattilo, «Quotidiano Piemontese,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://www.quotidianopiemontese.it/2024/03/22/incendio-in-un-cantiere-edile-a-borgone-di-susa-intervento-dei-vigili-del-fuoco-evita-danni-gravi/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [76] «ValsusaOggi,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://www.valsusaoggi.it/valsusa-incendio-notturno-in-un-cantiere/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [77] «La Valsusa,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://www.lavalsusa.it/borgone-incendio-in-un-cantiere-edile/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [78] G. Giusti, «Firenze: Incendio di un tetto in Viale Corsica,» settembre 2024. [Online]. Available: <https://www.firenzepost.it/2024/09/02/firenze-incendio-su-tetto-di-un-edificio-in-viale-corsica-foto/>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [79] V. d. Fuoco, «vigilfuoco.tv,» settembre 2024. [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.tv/toscana/firenze/firenze/incendio-tetto-abitazione>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [80] «FirenzeToday,» settembre 2024. [Online]. Available: <https://www.firenzetoday.it/cronaca/incendio-tetto-viale-corsica.html>. [Consultato il giorno 4 giugno 2025].
- [81] «ViterboToday,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://www.viterbotoday.it/cronaca/incendio-unitus-riello-oggi-4-giugno-2025.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [82] «Profilo X Vigili del Fuoco,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://x.com/vigilidelfuoco/status/1930202423978496082>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [83] «ingenio,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/incendio-spaventoso-all-universita-della-tuscia-di-viterbo-durante-lavori-di-ristrutturazione/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [84] «Geopop,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://www.geopop.it/perche-lincendio-alluniversita-di-viterbo-e-stato-cosi-violento/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [85] «Fanpage,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://www.fanpage.it/roma/in-cenere-luniversita-della-tuscia-la-counta-dei-danni-dopo-lincendio-quasi-20-milioni-di-euro-per-ripartire/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [86] «il Sole 24 ore,» giugno 2025. [Online]. Available: <https://www.ilsole24ore.com/art/incendio-all-universita-tuscia-AHLMPq5>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [87] N. Marotta, «Linkedin,» giugno 2025. [Online]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/incendio-alluniversit%C3%A0-della-tuscia-lennesimo-dallarme-nicola-marotta-s3exf?utm_source=share&utm_medium=member_android&utm_campaign=share_via. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [88] C. N. d. V. d. Fuoco, «Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco,» [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.it/chiamo/le-statistiche/annuari-delle-statistiche-ufficiali-del-corpo-nazionale-dei-vigili-del-fuoco>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [89] C. N. d. V. d. Fuoco, *Annuario statistico 2024*.
- [90] «Tassi Group,» [Online]. Available: <https://www.tassigroup-coperture.com/impermeabilizzazione-tetti-coperture.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [91] D.P.R. 1 agosto 2011 n. 151 - Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, 2011.
- [92] C. N. d. V. d. Fuoco, «Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco,» [Online]. Available: <https://www.vigilfuoco.it/servizi-le-aziende-e-i-professionisti/prevenzione-incendi/testi-coordinati-di-prevenzione/testi-coordinati-di-prevenzione-regole-tecniche-suddivise-per-attivita?page=1>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [93] «Chimica Online,» [Online]. Available: <https://www.chimica-online.it/download/saldatura-ad-arco-elettrico.htm>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [94] «CGTrucks,» [Online]. Available: <https://www.cgtrucks.it/camion-con-cassone-ribaltabile-in-cantiere/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [95] «Bergamin,» [Online]. Available: https://www.bergaminautogru.it/automezzi/camion_gru.php. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [96] «Soltec,» [Online]. Available: <https://soltec.org/allestimento-gru-12-0-4s-con-cisterna-e-cestello-biposto/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [97] «LocaTop,» [Online]. Available: <https://www.locatop.it/parco-mezzi/noleggio-autogru/autogru-au-40-tb-a450/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [98] «Refresh,» [Online]. Available: <https://www.refreshworld.it/prodotto/ry-1300/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [99] «ArchiExpo,» [Online]. Available: <https://www.archiexpo.it/prod/cte/product-151291-1752109.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [100] «Direct Industry,» [Online]. Available: <https://www.directindustry.it/prod/komatsu-europe/product-22578-2155701.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [101] «Agri Expo,» [Online]. Available: <https://www.agriexpo.online/it/prod/jcb/product-169397-27438.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [102] «Archi Expo,» [Online]. Available: <https://www.archiexpo.it/prod/jcb-deutschland-gmbh/product-92786-1739100.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [103] «Archi Expo,» [Online]. Available: <https://www.archiexpo.it/prod/volvo-construction-equipment-germany-gmbh/product-93696-2157069.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [104] «lineonline.it,» [Online]. Available: <https://www.lineonline.it/soffiatore-a-scoppio-stiga-bl-980-r.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [105] «fiaba,» [Online]. Available: <https://www.fiaba.net/prodotto/wg572e-soffiatore-a-batteria-a-zaino/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [106] «BibLus,» febbraio 2025. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/rifiuti-edili/#cose-la-gestione-dei-rifiuti-e-quali-fasi-prevede-nei-cantieri-edili>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [107] «Macchedil,» [Online]. Available: <https://macchedil.com/store/noleggio-attrezzatura-edile/trapano-elettrico-a-percussione-a-noleggio/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [108] «Direct Industry,» [Online]. Available: <https://guide.directindustry.com/it/scegliere-la-cassaforma-giusta/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [109] «BibLus,» 2024, luglio. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/cappotto-termico-cose-materiali-e-costi/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [110] «Multicenter,» [Online]. Available: <https://multicenterschool.com/gol-pagina-corso/operatore-edile-alla-tinteggiatura/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [111] «Fratelli Pellizzari,» [Online]. Available: <https://www.fratellipellizzari.it/blog/il-cartongesso-soffitto-pareti-strutture>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [112] «Cantiere Pro,» febbraio 2021. [Online]. Available: <https://www.cantierepro.com/verifica-controllo-impianto-elettrico-di-cantiere-organo-ispettivo.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [113] «ARC ingegneria,» [Online]. Available: <https://www.arcingegneria.it/it/servizi/impianistica/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [114] «Amazon,» [Online]. Available: <https://www.amazon.it/elettrica-Termoventilatore-Riscaldatore-termostato-Integrato/dp/B09KDBRKR6?th=1>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [115] C. Europe, Fire safety basics for hot work operatives, 2023.
- [116] S. Z. Marco Franz, «Edifici storici, se l'incendio parte dal cantiere di recupero,» 2012.
- [117] M. dell'Interno, *D.M. 01/09/2021 - Criteri generali per il controllo e la manutenzione degli impianti, attrezzature ed altri sistemi di sicurezza antincendio, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punto 3, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81*, 2021.
- [118] G. Basile, «ProFire,» gennaio 2024. [Online]. Available: <https://www.pro-fire.org/articoli-tecnici/397-rischio-incendi-in-cantiere>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [119] F. C. Cosimo Pulito, «Teknoring,» giugno 2023. [Online]. Available: <https://www.teknoring.com/news/antincendio/sicurezza-antincendio-in-cantiere-edile-applicazione-codice-prevenzione-incendi/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [120] «SafetyOne,» [Online]. Available: <https://www.safetyone.it/cantieri-temporanei-e-mobili-quando-si-applica-il-titolo-iv/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [121] «myAedes,» 2022. [Online]. Available: <https://www.myaedes.com/blog/antincendio-cantieri-guida-pratica-e-misure-di-prevenzione/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [122] «Frareg,» [Online]. Available: <https://www.frareg.com/it/sicurezza-sul-lavoro/addetti-antincendio-tutto-cio-che-bisogna-sapere/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [123] M. d. L. e. d. P. Sociali. [Online]. Available: <https://www.lavoro.gov.it/temi-e-priorita/salute-e-sicurezza/focus-on/sistema-prevenzione/pagine/default>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [124] «BibLus,» aprile 2022. [Online]. Available: [https://biblus.acca.it/piano-sicurezza-e-coordinamento-psc/#:~:text=Il%20PSC%20\(Piano%20di%20sicurezza,operativi%20di%20sicurezza%20\(POS](https://biblus.acca.it/piano-sicurezza-e-coordinamento-psc/#:~:text=Il%20PSC%20(Piano%20di%20sicurezza,operativi%20di%20sicurezza%20(POS). [Consultato il giorno giugno 2025].
- [125] «BibLus,» aprile 2017. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/piano-operativo-di-sicurezza-pos/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [126] «F.I.A.M.M.A.,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://fiamma-antincendio.it/la-valutazione-del-rischio-di-incendio-normativa-e-criteri-di-gestione/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [127] «BibLus,» ottobre 2024. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/che-cos-e-la-nfpa/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [128] «Techmec.it,» gennaio 2022. [Online]. Available: <https://www.techmec.it/saldatura-ad-arco-funzionamento-caratteristiche-impianto/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [129] T. Menduto, «PuntoSicuro,» settembre 2016. [Online]. Available: <https://www.puntosicuro.it/imparare-dagli-errori-C-99/imparare-dagli-errori-gli-infortuni-con-le-saldatrici-elettriche-AR-16313/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [130] «Hyundai,» [Online]. Available: <https://media.adeo.com/media/1775272/media.pdf>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [131] E. Rodríguez, «Pro-Lean,» giugno 2023. [Online]. Available: https://proleantech.com/it/gas-welding-a-comprehensive-guide/#2_Oxy-Propane_Welding_A_Viable_Alternative. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [132] «Giuliano group,» dicembre 2024. [Online]. Available: <https://giulianogroup.eu/noleggio-macchinari-edili/quali-sono-i-macchinari-piu-utilizzati-in-campo-edile/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [133] «Giurato,» [Online]. Available: <https://www.giurato.it/it/quali-macchine-servono-in-cantiere.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [134] «Fassi Emilia,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.fassiemilia.it/autocarro-con-gru-versatilita-ed-efficienza-in-un-unico-veicolo/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [135] «CSCTruck,» ottobre 2023. [Online]. Available: <https://it.csc-trucks.com/info/construction-mixer-truck-knowledge-what-you-n-88359413.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [136] G. G. Salvatore Esposito, «Sabbatini consulting,» [Online]. Available: <http://www.sabbatiniconsulting.com/DOCUMENTAZIONE/DOC1/05%20Macchine/Autobetoniera%20LG.pdf>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [137] «Vega Formazione,» [Online]. Available: [https://www.vegaformazione.it/PB/ple-piattaforma-lavoro-elevabile-p171.html#:~:text=DATORE%20DI%20LAVORO%3F-,COSA%20SI%20INTENDE%20PER%20PIATTAFORMA%20ELEVABILE%20\(PLE\)%3F,altezze%20superiori%20a%202%20m](https://www.vegaformazione.it/PB/ple-piattaforma-lavoro-elevabile-p171.html#:~:text=DATORE%20DI%20LAVORO%3F-,COSA%20SI%20INTENDE%20PER%20PIATTAFORMA%20ELEVABILE%20(PLE)%3F,altezze%20superiori%20a%202%20m). [Consultato il giorno giugno 2025].
- [138] «Mascus,» marzo 2021. [Online]. Available: <https://blog.mascus.it/versatilita-pala-in-cantiere/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [139] «D'Avino,» [Online]. Available: <https://www.davinograndimacchine.it/2021/08/02/pala-in-cantiere-quali-scegliere-e-come-adattarla-alle-proprie-esigenze/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [140] «Cantiere Pro,» giugno 2024. [Online]. Available: <https://www.cantierepro.com/pala-caricatrice-frontale-ruspa-uni-pala-gommata.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [141] «Dieci Magazine,» novembre 2023. [Online]. Available: <https://magazine.dieci.com/blog/movimentare-i-materiali-nei-cantieri-edili-con-il-dumper>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [142] «Cormidi,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://www.cormidi.com/blog/dumper-da-cantiere-quali-caratteristiche-deve-possedere/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [143] «Giuliano group,» settembre 2017. [Online]. Available: <https://giulianogroup.eu/macchine-movimento-terra/escavatori-a-che-servono-e-come-funzionano/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [144] T. Menduto, «PuntoSicuro,» marzo 2015. [Online]. Available: <https://www.puntosicuro.it/attrezzature-macchine-C-45/macchine-in-edilizia-i-dispositivi-di-sicurezza-degli-escavatori-AR-14659/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [145] «Cormidi,» 2023 settembre. [Online]. Available: <https://www.cormidi.com/blog/scavi-in-edilizia-scopri-gli-strumenti-migliori-sul-mercato/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [146] S. Grassi, «ANCE,» ottobre 2022. [Online]. Available: https://ance.it/wp-content/uploads/allegati/2_2_ANCE_LOMBARDIA_GRASSI.pdf. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [147] «Gruppo Made,» marzo 2020. [Online]. Available: <https://www.gruppomade.com/smerigliatrice-angolare/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [148] «Meta Utensili,» [Online]. Available: https://www.metautensili.it/blog/guida-all-uso/cosa-puoi-fare-con-un-trapano-ecco-i-10-utilizzi-frequenti?srsltid=AfmBOowN9jSXR8TmcPNWmnK1eNGnb_QRT188YYPR5hz_PMpgyNwGJ0G. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [149] «Bison,» agosto 2023. [Online]. Available: <https://it.bisongenerator.com/Blog/how-to-use-a-power-drill.html>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [150] M. P. Andrea Dari, «Ingenio,» settembre 2020. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/casseforme-la-guida-per-usarle-in-sicurezza-nei-cantieri-edili/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [151] «InfoBuild,» novembre 2020. [Online]. Available: <https://www.infobuild.it/approfondimenti/casseformi-casseri-funzione-materiali/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [152] «BibLus,» febbraio 2025. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/casseforme-significato-utilizzo-funzioni/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [153] «Ingenio,» maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/che-cosa-e-una-costruzione-x-lam/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [154] «BibLus,» agosto 2023. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/struttura-in-legno-lamellare-caratteristiche-vantaggi/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [155] «Acrobatica,» febbraio 2023. [Online]. Available: <https://ediliziacrobatika.com/pannelli-isolanti/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [156] «Dakota,» luglio 2024. [Online]. Available: [https://academy.dakota.eu/cappotti-termici-ignifughi-requisiti-antincendio-e-soluzioni#:~:text=Rischio%20incendio%20del%20cappotto%20termico,rapidamente%20diffondendo%20fiamme%20e%20fumo](https://academy.dakota.eu/cappotti-termici-ignifughi-requisiti-antincendio-e-soluzioni#:~:text=Rischio%20incendio%20del%20cappotto%20termico,rapidamente%20diffondendo%20fiamme%20e%20fumo.). [Consultato il giorno giugno 2025].
- [157] «Ingenio,» agosto 2022. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/si-puo-o-non-si-puo-usare-il-cappotto-in-eps-secondo-la-nuova-normativa-antincendio-sulle-facciate/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [158] «Dakota,» dicembre 2021. [Online]. Available: <https://academy.dakota.eu/pareti-in-cartongesso-vs-in-muratura-cosa-cambia.> [Consultato il giorno giugno 2025].
- [159] «Siniat,» [Online]. Available: <https://www.siniat.it/it-it/italia/tutto-sui-sistemi-a-secco/tutto-sulle-pareti-in-cartongesso/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [160] «Voltimum,» settembre 2004. [Online]. Available: https://www.voltimum.it/sites/www.voltimum.it/files/it/attachments/pdi/f/pdf/040831_impianti-cantieri1.pdf. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [161] «Fondazione Consiglio Nazionale Ingegneri,» settembre 2022. [Online]. Available: https://www.cni.it/images/eventi/2022/WEBINAR_CNI_IMPIANTI_ELETTRICI_NEI_CANTIERI.pdf. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [162] «Elettrico Magazine,» novembre 2022. [Online]. Available: <https://eleticomagazine.it/normative-impianti/sicurezza-impianti-elettrici-in-cantiere/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [163] «PuntoSicuro,» dicembre 2010. [Online]. Available: <https://www.puntosicuro.it/edilizia-C-10/schede-di-prevenzione-in-edilizia-la-sicurezza-degli-impianti-AR-10452/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [164] «BibLus,» dicembre 2024. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/impianti-elettrici-speciali-quali-sono-scarica-il-capitolato-speciale-d-appalto/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [165] «elektro.it,» [Online]. Available: <https://www.elektro.it>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [166] «BibLus,» marzo 2024. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/impianto-aeraulico-cos-e-come-fare-manutenzione/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [167] G. Tacconi, «Teknoring,» ottobre 2024. [Online]. Available: <https://www.teknoring.com/guide/sicurezza-e-ambiente/rischio-residuo-cosa-e-come-si-calcola/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

- [168] «BibLus,» ottobre 2022. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/rischio-residuo-e-criterio-di-accettabilita/>. [Consultato il giorno giugno 2025].
- [169] «Vega Formazione,» [Online]. Available: <https://www.vegaformazione.it/PB/la-sicurezza-nei-cantieri-p217.html#:~:text=Spesso%20si%20parla%20di%20sicurezza,eventi%20anche%20gravi%20o%20mortalit.> [Consultato il giorno giugno 2025].
- [170] «BibLus,» marzo 2023. [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/sicurezza-cantieri-normativa-e-figure-coinvolte/>. [Consultato il giorno giugno 2025].

Ringraziamenti

Tra tutte le pagine di questa tesi, questa è probabilmente la più difficile da scrivere, perché racchiude in poche righe la gratitudine per un percorso vissuto intensamente.

Innanzitutto, desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al professor Roberto Vancetti, relatore di questa tesi, per avermi concesso l'opportunità di affrontare un tema tanto stimolante quanto complesso, e per avermi guidato nella sua elaborazione. La sua disponibilità costante è stata incredibilmente importante per me, offrendo un supporto inestimabile che mi ha permesso di superare le difficoltà e di svolgere il mio lavoro con maggiore consapevolezza. Inoltre, sono riconoscente per l'occasione presentatami di lavorare insieme al Team Antincendio che mi ha permesso e mi permetterà di crescere, non solo dal punto di vista tecnico, ma anche umano e professionale. Non riesco a trovare le parole per esprimere la mia gratitudine per la fiducia che mi è stata data, per le opportunità di confronto e per l'ambiente di lavoro così stimolante che mi è stato offerto. Grazie, davvero.

Un ringraziamento enorme va ai miei genitori, che mi hanno sostenuto con fiducia nel percorso che ho scelto, permettendomi di trasferirmi a Torino per proseguire gli studi magistrali. Sono pienamente consapevole dei sacrifici e degli sforzi che ciò ha comportato, e nulla di tutto questo mi è passato inosservato. Vivere lontano da casa è stata un'occasione inestimabile di crescita personale, che mi ha aperto gli occhi su dinamiche che prima davo per scontate.

Desidero esprimere la mia più profonda e sincera gratitudine a tutte le persone che ho incontrato e che, con il passare del tempo, sono diventate i miei amici più cari e preziosi.

In particolare, le compagne di corso che sono state fondamentali in questi anni difficili, pieni di esami e progetti, di litigi e di gioie. Grazie per aver reso il percorso universitario un'esperienza fantastica e indimenticabile.

Un ringraziamento speciale va anche alle mie coinquiline, con cui ho costruito un legame profondo, autentico e inatteso. Vivere con loro è stata un'esperienza incredibilmente positiva. Grazie a voi ho potuto vivere questi anni sentendomi ascoltata, supportata e accolta.

Grazie per le esperienze vissute, i consigli scambiati, le risate condivise e le giornate trascorse insieme. La vostra presenza ha fatto la differenza, rendendo ogni giornata più leggera e ricca di significato.

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine anche a tutti i miei cari amici di lunga data, che da anni mi accompagnano con affetto e costanza. La loro presenza è un punto fermo nella mia vita, anche quando le strade si fanno impegnative o i ritmi della vita ci tengono lontani. Grazie per essere sempre stati presenti, per il vostro supporto, per le risate che non sono mai mancate e per non aver mai smesso di credere in me.

Grazie Sara. (Così sei contenta).

Infine, vorrei ringraziare me stessa per l'impegno, la costanza e la determinazione con cui ho affrontato questo percorso. Per non aver ceduto alla stanchezza nei momenti più difficili, per aver resistito all'inerzia quando sarebbe stato più facile fermarsi, e per aver trovato il coraggio di mettermi in gioco, anche nei momenti di incertezza. Per aver creduto nella possibilità di migliorarmi, e per aver cercato, ogni giorno, di costruire qualcosa di significativo per il mio futuro.