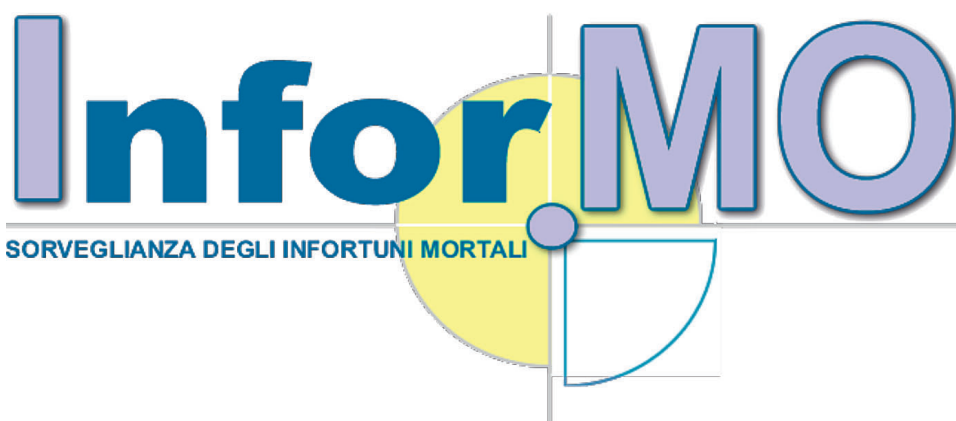


INAIL

GLI INFORTUNI MORTALI CAUSATI DA ESPLOSIONI

Scheda
15

2020



DATI DESCRITTIVI

La scheda, elaborata sulla base delle informazioni presenti nella banca dati del sistema di sorveglianza Informato, approfondisce le dinamiche e le cause infortunistiche delle esplosioni che hanno comportato il decesso di uno o più lavoratori (nel caso di eventi collettivi).

Le esplosioni, eventi con improvviso rilascio di energia che generano onde pressorie che si propagano nell'aria, si distinguono in:

- **fisiche** quando l'energia rilasciata è meccanica e non sono coinvolte reazioni chimiche. Si verificano quando grandi quantità di liquido vaporizzano istantaneamente per ebollizione a seguito o della rottura di attrezzature contenenti liquidi in pressione (es. GPL) o del contatto di considerevoli quantità di liquido con superfici molto calde (es. perdite d'acqua all'interno dei forni per la fusione di metalli), ecc. Nelle esplosioni fisiche possono rientrare anche le rotture di componenti di macchine contenenti gas in pressione (es. pneumatici industriali);
- **chimiche** dove l'onda pressoria è dovuta alla violenta espansione dei gas prodotti da una rapida reazione chimica esotermica.

Le conseguenze delle esplosioni dipendono quindi dalla proiezione di frammenti con notevole energia cinetica, dagli effetti meccanici (crolli e cedimenti) e dagli eventuali gradienti termici che accompagnano l'onda pressoria (combustioni, incendi).

Il data set analizzato, riconducibile alle tipologie sopra indicate, è costituito da 98 eventi occorsi in ambienti di lavoro nel periodo 2002 - 2018, che hanno coinvolto 119 infortunati (114 con esito mortale e 5 con esito grave registrati in eventi collettivi dove c'è stato almeno un decesso), di cui si riportano di seguito le principali caratteristiche.

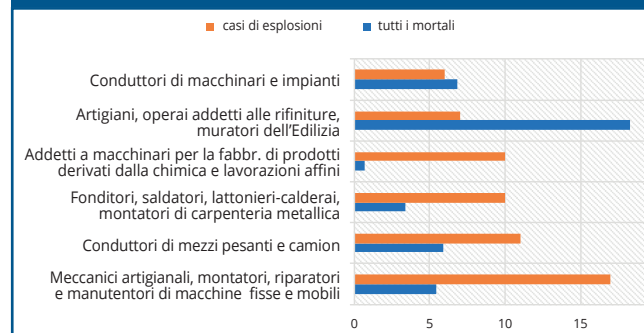
Il primo dato da sottolineare è la quota di eventi collettivi registrati nelle esplosioni, pari all'11%, che risulta essere oltre cinque volte il dato riferito al totale degli eventi mortali presenti in banca dati. In tali accadimenti si è verificato un elevato numero di decessi (6 in fabbrica di fuochi di artificio; 5 in stabilimento per il trattamento di farine alimentari; 4 in azienda per il trattamento e smaltimento di rifiuti speciali).

L'analisi dei luoghi dove sono avvenuti gli infortuni mortali rimanda essenzialmente a quattro tipologie di ambienti che da soli racchiudono oltre 3/4 della casistica: luogo di produzione, laboratorio, officina (42%), luogo dedicato al magazzino, carico, scarico materiali (24%), cantiere riguardante le fasi di demolizione, restauro, manutenzione (8%), area aziendale destinata ad operazioni di manutenzione o riparazione (5%).

I soggetti coinvolti sono essenzialmente uomini (97%). Le mansioni più frequenti, riportate in Figura 1, sono caratteristiche del cluster degli infortuni dovuti ad esplosioni e, se comparate con il totale dei casi mortali in archivio, hanno frequenze maggiori eccezion fatta per la voce artigiani, operai addetti alle rifiniture e muratori dell'edilizia, che nel complesso dei casi mortali ha un peso notevolmente maggiore vista la composizione

dell'intero archivio dove è consistente la quota di eventi mortali accaduti nel comparto delle costruzioni.

Figura 1 Principali mansioni dei lavoratori coinvolti nelle esplosioni (%)

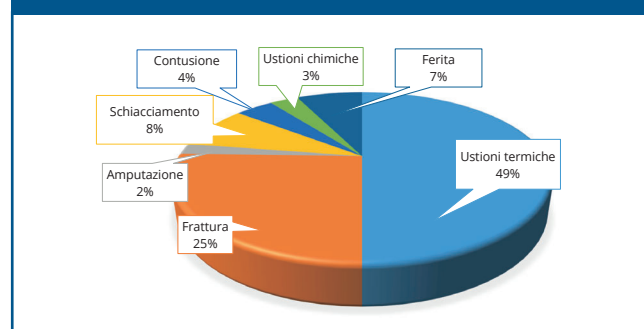


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

È il comparto del manifatturiero (51%) il più coinvolto da esplosioni durante lo svolgimento di attività lavorative seguito da costruzioni (15%) e trasporti e magazzino (9%). Per tale variabile la distribuzione dei casi si differenzia se confrontata con il complesso dei casi mortali in banca dati, dove il manifatturiero si attesta al 20%, le costruzioni al 38% ed i trasporti e magazzino all'8%. I casi delle esplosioni avvenute nelle costruzioni sono essenzialmente riconducibili ad attività di finitura superfici, di posa in opera di impianti realizzati in situazioni di interferenza e di non sicurezza che generano la contemporanea presenza di inneschi e di atmosfere pericolose. In merito alla composizione delle aziende, in termini di numero di addetti, presso cui operavano gli infortunati emerge che, rispetto al dato medio vicino al 70%, solo la metà dei casi di esplosione ha riguardato microimprese (fino a 9 addetti).

Riguardo le lesioni riportate dai lavoratori (Figura 2), è l'ustione termica la modalità più frequente (49%) seguita da frattura (25%) e schiacciamento (8%). La prima modalità deriva essenzialmente da esplosioni con onde di combustione che investono i lavoratori mentre le altre due voci rimandano a situazioni dove l'esplosione provoca il collasso di muri, strutture, impianti e attrezzature e la loro proiezione sugli infortunati.

Figura 2 Distribuzione degli infortuni mortali dovuti ad esplosioni secondo la natura della lesione (%)



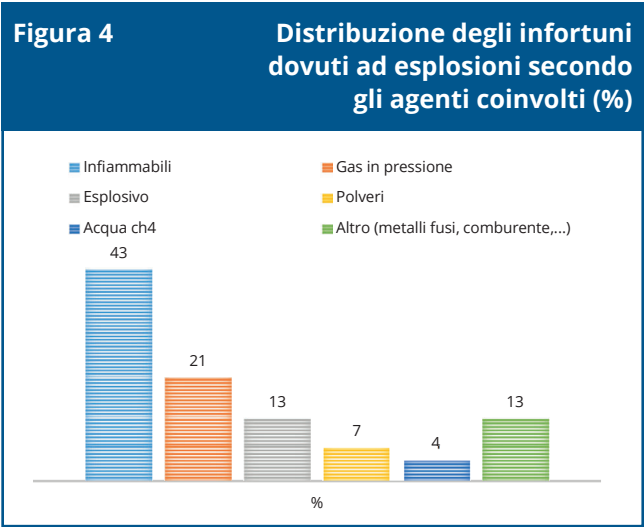
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Le tipologie di lavorazioni più interessate sono: la saldatura o il taglio di vari manufatti metallici (tubazioni, serbatoi, recipienti, bombole, ecc.) e la produzione di lavorati e semilavorati con utilizzo di impianti o macchinari. Entrambe descrivono il 42% circa dei casi (Figura 3). Seguono poi le attività collegate allo smaltimento, trattamento, recupero di rifiuti (10%).

Figura 3 Lavorazioni collegate ai casi di esplosioni (%)	
Lavorazione	%
Saldatura/taglio	21
Produzione lavorati e semilav. con utilizzo di impianti/macchine	21
Smaltimento/trattamento/recupero rifiuti	10
Produzione/utilizzo fuochi d'artificio, cariche esplosive	9
Preparazione superfici	8
Ricarica bombole	6
Riparazione pneumatici	5
Lavori elettrici	3
Altra attività	17

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Tra le lavorazioni classificate come Altra attività si segnalano l'uso errato di apparecchi portatili di riscaldamento, incluso l'utilizzo improprio di prodotti infiammabili in detti apparecchi, e fasi specifiche nella fusione di metalli. Gli agenti chimici coinvolti nelle esplosioni (Figura 4), suddivisi per classi di pericolo, vedono: gli infiammabili (47% includendo anche le acque freatiche contenenti metano CH₄), seguiti dai gas sotto pressione (21%) e dagli esplosivi (13%).



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

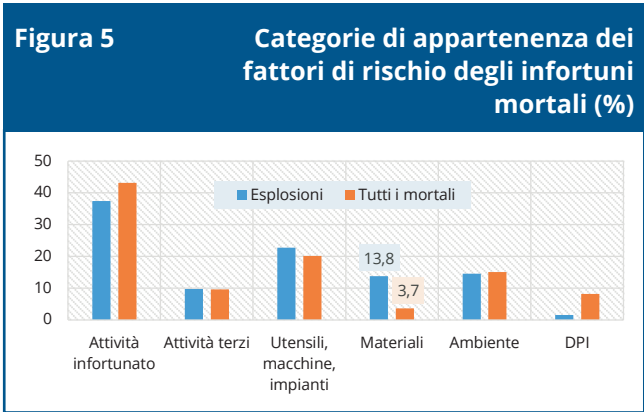
Un discorso a parte meritano le polveri. Le polveri combustibili sono particelle fini che presentano un rischio di esplosione se sospese in aria in determinate condizioni.

Diverse polveri dello stesso materiale chimico possono avere diverse caratteristiche di infiammabilità e di esplosività, a seconda delle caratteristiche fisiche quali dimensione delle particelle, forma e contenuto di umidità. Queste caratteristiche fisiche possono cambiare durante la produzione, l'uso o durante la lavorazione del materiale (Hazard Communication Guidance for Combustible Dusts - OSHA 3371 - 08 2009). I materiali da cui si possono avere origine polveri combustibili sono: sostanze organiche naturali (cereali, carbone, cotone, legno, ecc.), sostanze organiche sintetiche (materie plastiche, gomme, ecc.), materiali metallici ossidabili (alluminio, ferro, ecc.). I 3/4 di questi casi riguarda polvere di cereali (farine) e la restante quota polvere di polimeri e di legno.

FATTORI DI RISCHIO E MODALITÀ DI ACCADIMENTO

L'analisi puntuale delle dinamiche infortunistiche ricostruite con la metodologia Infor.Mo, ha permesso di evidenziare le caratteristiche delle modalità di accadimento e dei fattori di rischio rilevati nei casi di esplosione. Sono essenzialmente due le casistiche incidentali più frequenti: sviluppo di fiamme (49%) e proiezione di solidi (44%).

Le caratteristiche dei fattori di rischio (chiamati nel seguito anche fattori causali) delle esplosioni vengono di seguito riportate prima per la totalità dei casi poi distintamente per le due modalità di accadimento più frequenti che descrivono oltre il 90% del data set. Dei 246 fattori di rischio rilevati in fase di indagine il 96% risulta non essere stato valutato o essere stato valutato in maniera insufficiente (al netto del dato mancante). La distribuzione dei fattori di rischio secondo la categoria di appartenenza (Figura 5) evidenzia il maggior contributo dei materiali (quelli in lavorazione o lavorati dove l'analisi della dinamica infortunistica ha rilevato criticità) nelle esplosioni rispetto al complesso degli infortuni mortali in banca dati: il peso percentuale è quasi 4 volte superiore (13,8% vs 3,7%). Di contro le problematiche connesse ai DPI sono molto meno frequenti (1,6% vs 8,1%) e riconducibili essenzialmente alla mancanza o non utilizzo di dispositivi antistatici anche perché non si dispone di DPI efficaci in grado di proteggere dalle conseguenze energetiche di un'esplosione.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Per la categoria dei materiali la problematica di sicurezza maggiormente indicata (62%) è riferita alle caratteristiche degli stessi ed in particolare alla presenza di agenti infiammabili nei prodotti, non bonificati, oggetto della lavorazione. Seguono poi criticità riguardanti fasi di stoccaggio (modalità, incompatibilità e quantitativi non in linea con i requisiti di sicurezza minimi).

I fattori di rischio collegati alle procedure (attività infortunato o attività terzi) individuano le quote maggiori nelle scorrette modalità operative (che essenzialmente generano inneschi), collegate a pratiche abituali (26%) e a carenze formative/informative (22%) degli operatori coinvolti.

Riguardo alle attrezzature implicate negli eventi, si sottolinea l'utilizzo di macchinari privi delle adeguate protezioni (non rispondenti ai requisiti di sicurezza) e non appropriati per le lavorazioni in atto, mentre le criticità connesse agli ambienti di lavoro in cui sono accaduti gli infortuni riguardano in larga parte l'assenza di sistemi di ventilazione o impianti di aspirazione con conseguente formazione di atmosfere esplosive.

Sviluppo di fiamme

L'analisi della modalità di accadimento più frequente (esplosioni con propagazione di energia termica) evidenzia che la distribuzione per lavorazione risulta analoga a quella del dato complessivo registrato (Figura 3) anche se una maggiore frequenza si osserva per lo smaltimento/trattamento/recupero rifiuti (16%), per la produzione/utilizzo di fuochi d'artificio (14%) e per la preparazione di superfici (con vernici, resine, colle, ecc.). In oltre il 57% dei casi l'agente chimico coinvolto è classificato infiammabile (vernici, solventi, carburanti e in misura minore propellenti per spray). Seguono poi gli esplosivi 18% e le polveri (14%).

Un dato che caratterizza le esplosioni con propagazione di energia termica è purtroppo quello dei decessi multipli. Il 63% delle morti registrate in questa tipologia di esplosione, infatti, sono avvenute in eventi collettivi. La disamina dei fattori causali (n. 130) evidenzia:

- 48% di errate modalità lavorative riassumibili in produzione di inneschi in presenza di atmosfere esplosive, utilizzo di prodotti infiammabili/esplosivi in presenza di fonti di accensione e non bonifica di ambienti e manufatti prima delle attività che comportano l'uso di fiamme. Per tali azioni scorrette si evidenzia frequentemente carenza di formazione/informazione e pratiche abitualmente adottate nel luogo di lavoro.
- 20% di criticità delle attrezzature riferibili a mancanza dei sistemi di messa a terra e a caratteristiche di sicurezza non adeguate (antiscintilla e antideflagrante).
- 19% di carenze degli ambienti di lavoro che risultano non essere conformi al rischio di incendio o esplosione per impianti elettrici, sistemi di aspirazione, di rilevazione e antincendio.
- 12% di problematiche collegate ai materiali in lavorazione dovute a modalità errate di stoccaggio (in fusti aperti, in quantitativi eccessivi, alla rinfusa, ecc.) e a non idonee caratteristiche dei materiali in lavorazione (rifiuti metallici non bonificati).

In oltre i 4/5 dei decessi (82%) l'esplosione con propagazione di energia termica è collegata a fattori di rischio relativi a scorrette modalità operative dell'infortunato o di altri lavoratori.

Inoltre, nella metà degli eventi si registra una combinazione di errate procedure di lavoro con uno o più dei seguenti fattori: caratteristiche di pericolosità dei materiali in lavorazione; attrezzature di lavoro non adeguate per le lavorazioni; ambienti privi dei necessari requisiti di sicurezza. Da sottolineare che nel 32% degli eventi si registrano esclusivamente errori procedurali, anche dovuti a interferenza lavorativa.

Proiezione di solidi

In questa modalità sono state aggregate le esplosioni con rottura di apparecchiature/attrezzature o manufatti contenenti gas, liquidi in pressione o in cui si genera gas ad alta pressione. I traumi qui registrati sono quindi conseguenza del contatto con l'energia meccanica che si libera e non con l'eventuale energia termica che accompagna le onde di sovrappressione.

La distribuzione per lavorazione mostra che il 27% dei casi si registra nell'operazione di saldatura/taglio essenzialmente di serbatoi, cisterne o fusti, seguono poi le attività di ricarica/colloquio di bombole e riparazione di circuiti in pressione (14%) e con il 12% la riparazione di pneumatici, ambedue con una frequenza doppia rispetto al dato complessivo registrato in Figura 3.

Nel 40% dei casi l'agente chimico coinvolto è un gas in pressione, essenzialmente aria e gas quali azoto, argon, ossigeno, metano. Seguono poi gli infiammabili con il 29% (carburanti, biogas, GPL e in misura minore solventi) a cui va aggiunto il 10% rappresentato da acque freatiche che contengono metano. Si registra anche il 10% di esplosivi (prodotti pirotecnici o cariche da miniera).

La disamina dei fattori causali (n. 98) evidenzia:

- 47% di errate modalità lavorative riassumibili in errori di pressurizzazione, procedure che provocano indebolimenti strutturali, e negli interventi sugli pneumatici posizioni errate e senza le adeguate protezioni collettive; altre problematiche riscontrate riguardano l'utilizzo di attrezzature generanti fiamme/scintille su cisterne, serbatoi, fusti, ecc., non bonificati o contenenti prodotti pericolosi; in maniera inferiore si registrano problematiche sulle procedure di bonifica o di miscelazione di prodotti. L'analisi di dettaglio di queste procedure non corrette evidenzia alla base carenze di formazione/informazione e pratiche abituali.
- 25% di criticità delle attrezzature e impianti riferibili a mancanza di sistemi di degassaggio, di sicurezza per il controllo delle sovrappressioni (valvole di sicurezza), di sistemi di protezione quali diaframmi di rottura e dispositivi rompi-fiamma. Altre criticità sono inoltre riconducibili a carenza di manutenzione e controlli periodici di bombole e serbatoi a pressione e per il caso specifico degli interventi su grandi pneumatici, l'assenza delle necessarie gabbie di protezione.
- 20% di problematiche collegate ai materiali in lavorazione o per caratteristiche (es. usura degli pneu-

matici, presenza di residui o reazioni incontrollate), o per stoccaggio non idoneo (quantitativi eccessivi e in condizioni di non sicurezza).

- 6% di carenze degli ambienti di lavoro essenzialmente per carenza di adeguati sistemi di ventilazione che portano alla creazione di atmosfere altamente infiammabili o esplosive. Si registra, anche se in misura inferiore, la presenza di cariche inesplose nell'ambiente di lavoro.

Nel 77% degli infortuni esaminati l'esplosione con proiezione di solidi è collegata a fattori di rischio procedurali dell'infortunato, e, con frequenza sostanzialmente inferiore, di altri lavoratori.

L'analisi della combinazione dei fattori di rischio evidenzia nel 56% dei casi una concomitanza di errate procedure di lavoro con uno o più dei seguenti fattori: attrezzature di lavoro non adeguate per la mancanza dei requisiti di sicurezza e problematiche dei materiali in lavorazione, quali presenza di residui per errata bonifica, o caratteristiche di resistenza meccanica non idonea per usura eccessiva. A completamento di quanto sopra riportato per le due modalità più frequenti sono registrati, ma con quota decisamente minoritaria (7%), eventi di fuoriuscita di gas, fumi, aerosol e liquidi ad alta/bassa temperatura o pericolosi. In questa tipologia, nella quale il 63% dei decessi è avvenuto in eventi collettivi, sono stati raggruppati i casi di esplosione fisica.

Gli agenti chimici coinvolti sono liquidi (GPL, ammoniaca, acqua, ecc.) che vaporizzano essenzialmente per scambio termico o per un'improvvisa depressurizzazione (per rottura di componenti delle bombole o di impianti a pressione e per assenza di sistemi di sicurezza nei compressori). L'analisi delle criticità individua nella totalità dei casi la contemporanea presenza di errate modalità operative dell'infortunato o di altri lavoratori e malfunzionamenti di parti di attrezzature ed impianti.

MISURE PREVENTIVE E PROTETTIVE

A supporto delle esigenze informative aziendali, con particolare riferimento alle piccole e medie imprese, si riportano alcune misure di prevenzione e protezione per ridurre o gestire correttamente i fattori di rischio evidenziati.

Nelle esplosioni con propagazione di calore le azioni di prevenzione vanno indirizzate a limitare la formazione di atmosfere esplosive, a eliminare le fonti di innesco e a ridurre gli effetti. Tra queste:

- la sostituzione di agenti e/o processi pericolosi con altri non pericolosi (es. la sostituzione di prodotti infiammabili a base solvente con altri a base acquosa);
- la progettazione di processi lavorativi per l'utilizzo, la manipolazione, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento degli agenti chimici;
- la predisposizione di impianti di aspirazione localizzata e impianti di ventilazione adeguati per ambienti e lavorazioni con rischio di esplosione e di incendio;
- l'adozione di misure tecniche e procedure per impedire e/o rimuovere l'accumulo di polveri combustibili;
- l'eliminazione delle fonti di accensione anche attraverso l'uso di attrezzature idonee e manutenzioni

delle stesse (es. attrezzature rispondenti alla normativa ATEX);

- la messa a terra di impianti/attrezzature per evitare la formazione o l'accumulo di cariche elettrostatiche;
- la proceduralizzazione dei lavori 'a caldo' (incluse le attività di taglio a dischi e macinazione) che possono essere iniziati solo dopo inertizzazione e bonifica, l'intercettazione delle vie di trasmissione del calore alle zone dove sono presenti materiali infiammabili o esplodibili;
- l'isolamento delle superfici calde e l'utilizzo di apparecchiature che minimizzano il surriscaldamento;
- la compartimentazione delle lavorazioni e limitazione allo stretto indispensabile del materiale infiammabile/esplosivo presente nelle aree lavorative;
- la pianificazione dei lavori con rischio di interferenza in luoghi a rischio di esplosione/incendio e adeguati flussi informativi, documentali e sopralluoghi conoscitivi;
- l'informazione e la formazione specifica sui rischi connessi all'attività svolta, sulle misure per il loro controllo, incluso l'utilizzo della strumentazione di monitoraggio e misura della composizione dell'atmosfera, sulle procedure;
- l'adozione di sistemi di scarico, di soppressione e d'isolamento dell'esplosione, barriere antifiamma e deviatori dell'esplosione, dischi o diaframmi di rottura in base alla valutazione del rischio specifico;
- l'utilizzo della segnaletica di sicurezza e dell'etichettatura delle sostanze e delle miscele pericolose;
- l'utilizzo di indumenti antistatici, di calzature dissipative o di appositi scaricatori;
- la vigilanza sull'applicazione delle procedure di sicurezza;
- la predisposizione di attrezzature, impianti e personale addestrato per la gestione delle emergenze.

Nelle esplosioni fisiche occorre inoltre prevedere una corretta gestione delle attrezzature di lavoro, come ad esempio:

- la presenza delle certificazioni previste, delle necessarie istruzioni per l'uso e naturalmente dei necessari dispositivi di sicurezza;
- l'esecuzione regolare di controlli per la verifica delle membrane e dell'efficienza dei dispositivi di sicurezza e manutenzione preventiva al fine di garantire il mantenimento nel tempo delle caratteristiche di solidità ed efficienza;
- ove necessario l'adozione di un sistema di permessi di lavoro negli interventi di riparazione che vanno effettuati solo da personale esperto, e dopo l'accertamento del completo rilascio dell'energia immagazzinata;
- la conduzione di macchine e attrezzature affidata a personale qualificato.

Infine, il gonfiaggio dei grossi pneumatici va realizzato all'interno di apposite gabbie di protezione e, se ciò non è possibile (ad es. gonfiaggio di pneumatici montati), deve essere fatto mantenendosi in posizione defilata e discosta rispetto al prevedibile cono di proiezione degli elementi del cerchione e ad almeno 2,5 metri di distanza.

BIBLIOGRAFIA

Fioretti P., Ardito V. Conoscere il rischio. Atmosfere esplosive. Inail – Contarp, 2018.

Marigo M. Rischio atmosfere esplosive: classificazione, valutazione, prevenzione e protezione. 3^a ed. Wolters Kluwer ed., 2017.

Osha. Firefighting precautions at facilities with combustible dust. OSHA Publication, 2013.

SITOGRAFIA

Factsheets storybuilder - Causes per type of accident: hazardous substances, fire, explosions

<https://www.rivm.nl/en/factsheets-storybuilder-causes-per-type-of-accident-hazardous-substances-fire-explosions> - National Institute for Public Health and the Environment

Banca dati Informo Inail

<https://www.inail.it/cs/internet/attivita/ricerca-e-tecnologia/area-salute-sul-lavoro/sistemi-di-sorveglianza-e-supporto-al-servizio-sanitario-nazionale/informo.html>

RIFERIMENTI NORMATIVI

Decreto legislativo 9 aprile 2018, n. 81 e s.m.i.

Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Direttiva 2014/34/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014

Armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva

Atex 2014/34/EU Guidelines

Guide to the application of the Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres, 3rd Edition May 2020