

Infortunati sul lavoro nel settore delle Gallerie - Analisi dei dati e proposte operative

Occupational accidents in tunnel construction - A data analysis and operational proposals

Giuseppe CAMPO^a
 Diego DE MERICH^a
 Daniele DE SANTIS^a
 Antonia DONVITO^b
 Armando GUGLIELMI^a
 Antonio LEVA^a
 Mauro PELLICCI^a
 Michele VILLA^{b, *}

^a INAIL Dipartimento di medicina epidemiologia igiene del lavoro e ambientale, Roma

^b ADAM AI Solutions, Milano

* Corresponding author e-mail: michele.villa@adamaisolutions.com

Sommario

Il settore delle Costruzioni in Italia è stato tradizionalmente caratterizzato da un alto numero di infortuni sul lavoro, molti dei quali purtroppo con esito mortale. Sebbene si siano registrati progressi nella gestione della sicurezza nei cantieri negli ultimi anni la numerosità e la gravità degli infortuni richiedono un'attenzione continua nella ricerca di soluzioni che consentano una riduzione radicale degli incidenti a beneficio dei lavoratori e delle aziende del settore. Il comparto della costruzione di opere sotterranee e gallerie, pur interessato in maniera meno invasiva dal fenomeno infortunistico, presenta spazi di miglioramento su cui è necessario lavorare in considerazione dell'attesa crescita del settore e della sua importanza per la ripresa economica dell'economia italiana. Questo studio, sviluppato con il contributo di ADAM AI Solutions, Inail Dipartimento di medicina epidemiologia igiene del lavoro e ambientale e Società Italiana Gallerie, partendo dai dati disponibili e dalla loro interpretazione e confronto a livello internazionale, intende approfondire i fattori causali degli incidenti e proporre soluzioni operative per la loro riduzione.

Abstract

The construction sector in Italy has traditionally been characterized by a high number of accidents at work, many of which unfortunately have a fatal outcome. Although progress has been made in safety management on construction sites in recent years, the number and severity of accidents require continued attention to be paid to finding solutions that will allow a radical reduction in accidents for the benefit of workers and companies in the sector. The construction sector of underground works and tunnels, although less invasively affected by the accidents phenomenon, presents room for improvement to work on in view of the expected growth of the sector and its importance for the economic recovery of the Italian economy. This study, developed with the contribution of ADAM AI Solutions, Inail Department of medicine, epidemiology, workplace and environmental hygiene and Società Italiana Gallerie, starting from the available data and their interpretation and comparison at international level, aims to deepen the causal factors of accidents and propose operational solutions for their reduction.

Parole chiave: sicurezza, cantieri, infortuni, incidenti, gallerie

Keywords: safety, construction, injuries, accidents, tunnels

1. Introduzione

Il settore delle Costruzioni in Italia è stato tradizionalmente caratterizzato da un alto numero di infortuni sul lavoro, molti dei quali purtroppo con esito mortale. Oltre un quarto del totale degli infortuni mortali sul lavoro nell'Industria e Servizi avvengono durante attività di costruzione [1]. L'impatto di questo fenomeno sui lavoratori coinvolti e sulle loro famiglie è drammatico e richiede

un'attenzione costante alla ricerca di soluzioni che oltre a mitigare il rischio, incidano sui comportamenti individuali e sulla capacità delle imprese di prevenire gli incidenti.

Tuttavia, secondo l'Inail [2] alcuni segnali incoraggianti arrivano dall'analisi dei dati relativi al quinquennio 2015-2019: si è registrata una diminuzione degli infortuni pari al 17% prendendo in considerazione solo i casi accertati positivamente dall'Inail, passati dai 35.083 del 2015 ai 29.104 del 2019. Le ragioni più probabili

di questo calo sono non solo una più efficace prevenzione nei cantieri, anche favorita dall'azione degli enti deputati alla regolamentazione, controllo e monitoraggio della sicurezza sul lavoro, ma anche la contrazione economica del settore negli ultimi anni, condizione che andrebbe verificata a valle dell'attuale pandemia. Abbassare la guardia sul fenomeno in virtù di una riduzione dei numeri sarebbe irresponsabile; anzi, è il momento di adottare tutte le soluzioni possibili per incoraggiare il trend in maniera strutturale e consolidare una diminuzione continua degli incidenti e della loro gravità negli anni a venire, indipendentemente dalle sorti dell'economia.

Alcuni elementi in particolare appaiono importanti nell'ottica della prevenzione:

- un'analisi più puntuale ed approfondita dei dati per comprendere meglio la natura dei fenomeni;
- un'adozione su vasta scala di tecnologie e strumenti di IoT (*Internet of Things*) e di sensori "indossabili" dai lavoratori nei cantieri per la raccolta di informazioni in tempo reale;
- un utilizzo efficace dell'intelligenza artificiale ed in particolare delle tecniche di machine learning e dell'analisi dei big data, in chiave predittiva e a supporto dei processi decisionali per la prevenzione; l'incidenza sui comportamenti individuali secondo le teorie di *behavior based safety*;
- la condivisione di *best practices* adottate nei cantieri in tutto il mondo.

Su questa base, **ADAM** (Start-up innovativa attiva nel campo delle soluzioni digitali e di intelligenza artificiale per la sostenibilità), **Inail Dipartimento di medicina epidemiologia igiene del lavoro e ambientale** (Dimeila, Sezione Sistemi di sorveglianza e gestione integrata del rischio) e **Società Italiana Gallerie** (SIG, che rappresenta i principali soggetti italiani operanti nella costruzione di grandi opere sotterranee), portatori di competenze diverse ma accomunati dalla volontà di contribuire concretamente alla prevenzione degli infortuni, hanno unito le loro forze nell'approfondimento dei temi della sicurezza sul lavoro nel settore delle Gallerie. Questo articolo rappresenta il primo risultato di un progetto di ricerca specifico sugli infortuni in questo importante segmento dell'economia italiana.

2. Grandi opere e gallerie – Il rischio sicurezza

L'importanza del segmento Gallerie nel settore delle Costruzioni in Italia, così come nel mondo, è nota. Le principali infrastrutture viarie di tipo ferroviario o stradale che costituiscono una parte consistente delle cosiddette grandi opere, per la peculiarità del territorio nazionale richiedono la cantierizzazione di opere sotterranee, di cui l'Italia è un leader riconosciuto a livello globale. Il documento "Infrastrutture Strategiche e Prioritarie" della Camera dei Deputati 2020, enfatizza il ruolo delle grandi opere nel rilancio dell'economia italiana per il recupero a valle della lunga crisi economica accentuata dalla pandemia, secondo un processo di crescita avviato negli ultimi anni e ulteriormente accelerato da provvedimenti normativi quali il decreto sblocca cantieri. Circa l'80% dei 273 miliardi di Euro di costi esaminati dal documento riguarda le cosiddette opere prioritarie nelle quali sono comprese

infrastrutture strategiche già programmate prima del 2017 (120 miliardi) e nuovi programmi e interventi prioritari. A tali costi vanno aggiunti i nuovi bandi di gara usciti tra il 2019 ed il 2020, in costante crescita. Tra questi anche i cosiddetti "programmi diffusi" per l'ammodernamento e la messa in sicurezza di opere infrastrutturali che a causa dell'obsolescenza e la mancata manutenzione richiedono interventi urgenti per prolungarne il ciclo di vita. Ferrovie, strade, autostrade e metropolitane rappresentano la maggioranza degli interventi infrastrutturali, molti dei quali richiedenti opere sotterranee. Tra questi la sezione transfrontaliera del nuovo collegamento ferroviario Transalpino Torino-Lione, il tunnel di base del Brennero, il nodo di Genova e il terzo valico dei Giovi, il secondo lotto della pedemontana lombarda, la pedemontana veneta.

Non vi è dubbio che l'avviamento di nuove opere ed i programmi di estensione e ammodernamento infrastrutturale in atto porteranno nuova linfa al settore e creeranno opportunità di crescita occupazionale ed economica. Cosa ci dobbiamo aspettare in termini di performance di sicurezza? Occorre un'azione decisa e focalizzata sui cantieri, affinché la necessaria crescita non si trasformi in un aumento degli infortuni e della loro gravità, ma sia l'occasione di un miglioramento complessivo del sistema. La soluzione attesa è il cosiddetto *decoupling* (disaccoppiamento) tra traiettorie di crescita economica e andamento degli infortuni.

Mettendo a fuoco il settore specifico delle Gallerie, un recente studio specialistico sul relativo mercato a livello mondiale, Tunnel Market Survey, ITA/AITES, 2019, ha mostrato come il valore complessivo delle opere fosse nel 2019 pari a 140 Miliardi di Dollari USA (70% per strade e ferrovie, 15% per metropolitane), con tassi di crescita negli ultimi anni pari a 2,5 volte il settore generale delle Costruzioni. Il valore calcolato nel 2019 per il completamento delle opere già iniziate era di 400 Miliardi di Dollari USA, il 60% dei quali in Cina. In Italia, il valore degli importi nel 2019 era di circa 1,1 Miliardi di Euro, mentre la stima per progetti futuri era pari a 20,3 Miliardi (80% per strade e ferrovie, 20% per metropolitane). Questi numeri evidenziano il potenziale del settore Gallerie nello sviluppo dell'economia italiana e al contempo riaffermano l'importanza di un'attenzione crescente ed efficace alla sicurezza dei lavoratori. Trattandosi di cantieri soggetti a rischio idrogeologico, all'utilizzo di macchinari complessi e tecnologicamente avanzati, a condizioni ambientali e di luminosità difficili, l'approccio alla sicurezza richiede soluzioni adeguate e altrettanto tecnologicamente avanzate.

Nelle prossime sezioni di questo articolo verrà effettuata una disamina dei dati disponibili sugli infortuni passati, sulle dinamiche che li hanno causati e sui fattori di rischio prevalenti nei cantieri sotterranei. L'analisi consentirà una migliore comprensione dei fenomeni che, nel corso del progetto di ricerca, aiuteranno ad individuare soluzioni operative per la prevenzione.

3. Il quadro del fenomeno infortunistico in Italia

Al fine di descrivere le caratteristiche degli infortuni nel comparto di interesse, il settore economico preso in esame è quello riguardante la **Costruzione di ponti e gallerie**, corrispondente alla classe F 42.13 della classificazione *Ateco 2007*, quale massimo

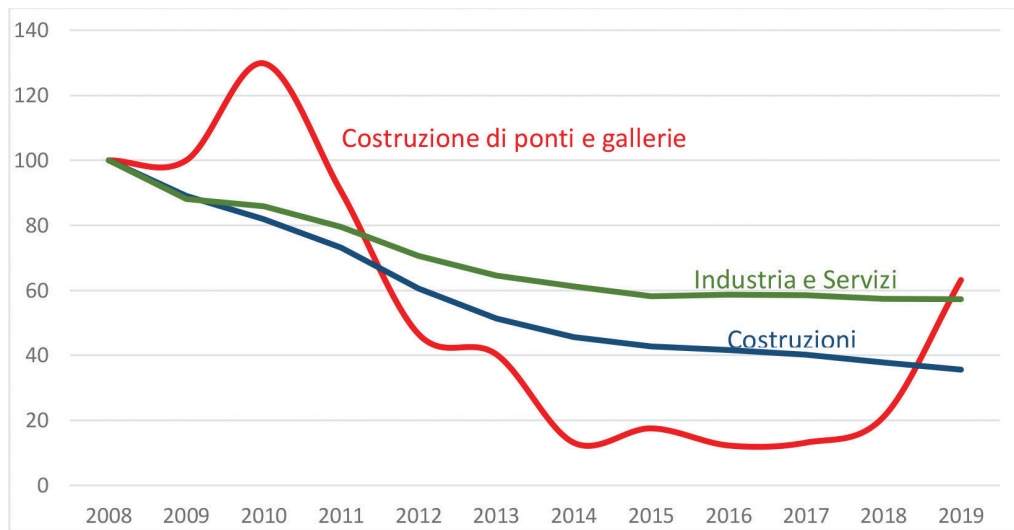


Figura 1. Andamento degli infortuni (numeri indice: 2008 = 100). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi e Banca Dati online).

dettaglio disponibile per i dati sugli infortuni denunciati all'Inail. Da un lato, oltre agli eventi avvenuti nella costruzione di gallerie sono inclusi quelli riguardanti la costruzione di ponti, dall'altro non vengono considerati gli eventi che, pur essendo inerenti alla realizzazione o manutenzione di gallerie, coinvolgono lavoratori di aziende registrate in altri settori *Ateco*.

I risultati delle elaborazioni sono presentati in due parti (dati descrittivi ed indicatori); le analisi sono state effettuate su dati di fonte Flussi informativi Inail-Regioni e Banca Dati online Inail e hanno preso in considerazione gli infortuni "definiti positivi" con l'esclusione degli eventi "in itinere". Gli infortuni definiti positivi contemplano tutti i casi riconosciuti dall'Istituto come "da lavoro" ma che non hanno necessariamente dato luogo a un indennizzo per vari motivi di natura amministrativo/sanitaria. I casi in itinere riguardano tipicamente quelli avvenuti nel tragitto casa-lavoro.

4. Dati descrittivi

Rispetto all'andamento decrescente che si può osservare dal 2008 al 2019 per tutta l'Industria e Servizi e per il comparto delle Costruzioni, il trend del settore specifico Costruzioni di ponti e gallerie presenta oscillazioni nel trend pur a fronte di una diminuzione nello stesso arco di tempo, come si evince dalla Figura 1 in cui le tre curve sono sovrapponibili (pur avendo diverso ordine

di grandezza come numero di casi) attraverso il calcolo dei numeri indici con base 2008=100.

Dal punto di vista della dimensione aziendale (Tabella 1), "Ponti e gallerie" si caratterizzano per una maggior quota di infortuni (37,3%) relativi ad imprese di media dimensione (tra 30 e 200 addetti); parimenti si può osservare che nella stessa classe di imprese è presente la più alta percentuale di addetti (44,7%). Con riferimento all'intero comparto delle Costruzioni, si osserva invece che lavoratori e infortuni si concentrano prevalentemente nelle microimprese (rispettivamente 65,2% e 69,3%). L'Industria e Servizi si bipartisce tra la microimpresa e la grande impresa, che insieme assommano i due terzi degli addetti e degli infortuni.

La ripartizione degli infortuni per macroarea geografica (Tabella 2) registra nel Centro-Sud più della metà dei casi per il settore "Ponti e gallerie", quota che sale al 60% se ci si riferisce ai soli infortuni gravi e mortali. Per il comparto delle Costruzioni e per il ramo Industria e Servizi, è il Nord che raggruppa oltre il 50% dei casi totali di infortunio. Tale differente distribuzione geografica è riscontrabile anche nelle mappe provinciali suddivise per numero di infortuni (Mappa 1), dove si può cogliere visivamente la corrispondenza tra gli eventi infortunistici e la localizzazione delle grandi opere nel decennio 2008-2018.

Per il totale degli infortuni, le lesioni che si registrano più frequentemente nel settore "Ponti e gallerie" (Tabella 3) sono le lussazioni/distorsioni agli arti inferiori (9,4%) e le ferite alle mani (7,7%), seguite

Tabella 1. Infortuni per dimensione aziendale (2013-2018). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

dimensione aziendale	Costruzione di ponti e gallerie			Costruzioni			Industria e Servizi		
	<i>infortuni</i>	<i>% infortuni</i>	<i>% addetti</i>	<i>infortuni</i>	<i>% infortuni</i>	<i>% addetti</i>	<i>infortuni</i>	<i>% infortuni</i>	<i>% addetti</i>
0 ≤ addetti ≤ 10	18	13,4	15,2	128.773	65,2	69,3	541.284	32,3	35,7
10 < addetti ≤ 30	47	35,1	31,6	33.242	16,8	12,7	245.906	14,7	13,5
30 < addetti ≤ 200	50	37,3	44,7	24.277	12,3	9,9	381.806	22,8	19,4
addetti > 200	19	14,2	8,5	11.240	5,7	8,0	506.270	30,2	31,4
Totale	134	100,0	100,0	197.532	100,0	100,0	1.675.266	100,0	100,0

Tabella 2. Infortuni totali e gravi* per ripartizione geografica (2008-2018). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

Ripartizione geografica	Costruzione di ponti e gallerie				Costruzioni				Industria e Servizi			
	Infortuni totali		Infortuni gravi e mortali		Infortuni totali		Infortuni gravi e mortali		Infortuni totali		Infortuni gravi e mortali	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Nord Ovest	114	17,1	31	12,9	138.611	27,4	43.012	25,4	1.071.913	29,3	252.937	26,2
Nord Est	153	23,0	55	22,9	156.330	30,9	44.438	26,2	1.104.913	30,2	258.524	26,7
Centro	206	30,9	70	29,2	103.655	20,5	36.296	21,4	744.134	20,3	208.743	21,6
Sud	163	24,5	71	29,6	70.459	13,9	29.523	17,4	491.362	13,4	158.176	16,4
Isole	30	4,5	13	5,4	36.578	7,2	16.268	9,6	244.937	6,7	88.166	9,1
Totale ITALIA	666	100,0	240	100,0	505.633	100,0	169.537	100,0	3.657.259	100,0	966.546	100,0

* per "infortuni gravi e mortali" si intendono gli eventi che hanno comportato un'assenza dal lavoro superiore a 40 giorni oppure che hanno avuto riconosciuto almeno un grado attuale di menomazione permanente oppure che hanno avuto esito mortale.

Tabella 3. Infortuni nella Costruzione di ponti e gallerie per sede e natura della lesione (2009-2018). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

Sede della lesione	Natura della lesione								Totale
	Ferita	Contusione	Lussaz. distors.	Frattura	Perdita anatom.	Lesioni da altri agenti	Corpi estranei	Lesioni da sforzo	
Testa e collo	6,4%	4,6%	0,6%	0,7%	0,2%	2,0%	4,2%	0,0%	18,8%
Torace, tronco, anca, schiena (inclusa colonna vertebrale)	0,2%	5,9%	2,4%	3,9%	0,0%	0,4%	0,4%	0,7%	13,8%
Arti superiori e spalle (escluse mani)	2,2%	7,0%	3,3%	4,4%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	17,1%
Mani (incluse dita)	7,7%	7,2%	0,9%	6,3%	1,3%	0,2%	0,0%	0,0%	23,5%
Arti inferiori (esclusi piedi)	2,2%	5,3%	9,4%	2,2%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	19,3%
Piedi (incluse dita)	0,2%	2,6%	1,3%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,5%
Totale	18,9%	32,5%	17,8%	21,0%	1,5%	2,9%	4,6%	0,7%	100,0%

dalle contusioni alle mani (7,2%) e agli arti superiori (7%). Questi ultimi due tipi di lesione hanno un peso maggiore di quello riscontrabile nel più ampio comparto delle Costruzioni. Anche le perdite anatomiche, seppure con una quota modesta (1,3%), sono molto più rilevanti nel settore "Ponti e gallerie" rispetto alle Costruzioni.

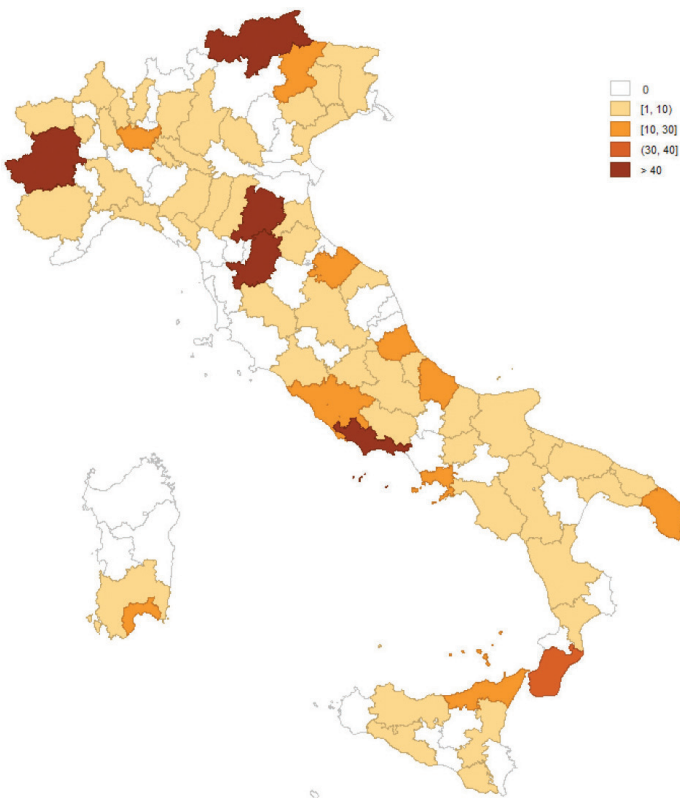
5. Indicatori

Per un più appropriato confronto tra differenti comparti economici, o tra differenti periodi di tempo e aree geografiche, è opportuno ricorrere a indicatori di frequenza e gravità degli infortuni che consentono di depurare il confronto dall'effetto dimensionale. In tal modo, per il calcolo dell'indice di frequenza vengono rapportati gli eventi avvenuti in un intervallo di tempo alla popolazione di esposti così da ottenere un indicatore, che non essendo legato solo al numero di occupati presenti in dato settore o territorio, consente un confronto diretto.

In base alla disponibilità dei dati consolidati sugli infortuni e sugli addetti, in Tabella 4 è stato calcolato l'indicatore con riferimento a due periodi contigui. Un primo dato è che l'indicatore esprime un livello di rischio per le Costruzioni e i "Ponti e Gallerie" superiore a quello dell'intero ramo Industria e Servizi. Inoltre, negli ultimi anni non si osserva un calo significativo per il settore "Ponti e gallerie", mentre l'indice di frequenza diminuisce sia nelle Costruzioni che nell'Industria e Servizi (rispettivamente -9% e -7%).

L'indice di gravità (Figura 2) è calcolato considerando la percentuale dei casi gravi (inclusi i mortali) sul totale degli infortuni, e anch'esso consente un confronto diretto tra popolazioni diverse. Nei quadranti Nord-Est e Sud dell'Italia l'indice di gravità più alto riguarda il settore "Ponti e Gallerie", nelle restanti macroaree è il comparto delle Costruzioni a presentare valori maggiori. In ogni caso, l'Industria e Servizi in complesso presenta sempre il valore meno elevato dell'indicatore.

Si osserva, inoltre, che la distribuzione dell'indice di gravità per macroaree territoriali pone comunque in maggior evidenza Sud e



Mappa 1. Infortuni nella Costruzione di ponti e gallerie per provincia (2008-2018) province suddivise in classi in base al numero di infortuni (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

Isole per ciascuno dei settori economici considerati. Tale aspetto nella rappresentazione territoriale del numero degli infortuni complessivi e dell'indice di gravità va interpretato tenendo conto anche della possibile elusione nell'obbligo della denuncia, che si verifica

Tabella 4. Indici di frequenza – infortuni per mille addetti (2014-2018). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Banca Dati online).

	2014-16	2017-18	differenza percentuale
Costruzione di ponti e gallerie	23,2	23,0	-1%
Costruzioni	24,2	22,1	-9%
Industria e Servizi	21,4	20,0	-7%

maggiormente nel caso di eventi lievi, mentre i casi gravi e mortali sono per loro natura meno "occultabili". Di conseguenza, l'indice di gravità risulta più alto nelle aree in cui il denominatore (il numero di infortuni totali, composti in larga parte da infortuni lievi) è sottostimato rispetto al numeratore (gli infortuni mortali e gravi).

6. Dinamiche e fattori causali degli infortuni mortali e gravi

Dalle informazioni presenti nell'archivio del sistema di sorveglianza nazionale Infor.Mo [3], coordinato da Inail e Regioni, nel periodo 2002-2018 per il settore Gallerie sono presenti 60 infortuni (di cui 15 in eventi collettivi) a cui sono collegati 119 fattori di rischio identificati con il modello di analisi multifattoriale. La banca dati nazionale [4] è implementata dalle informazioni derivanti dalle indagini infortunistiche condotte dai Servizi di prevenzione delle Asl nei luoghi di lavoro. Ai fini dell'approfondimento sono considerati assieme gli eventi mortali e gravi, rispettivamente 27 e 33, di cui si riportano di seguito le principali caratteristiche. I soggetti coinvolti sono lavoratori con contratto a tempo inde-

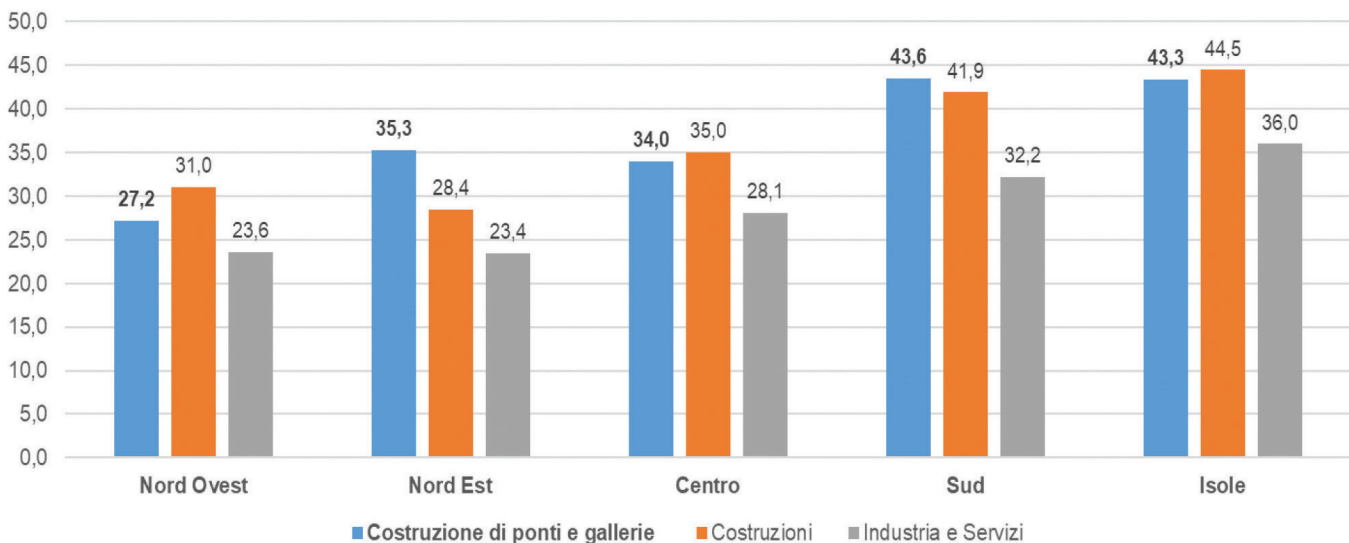
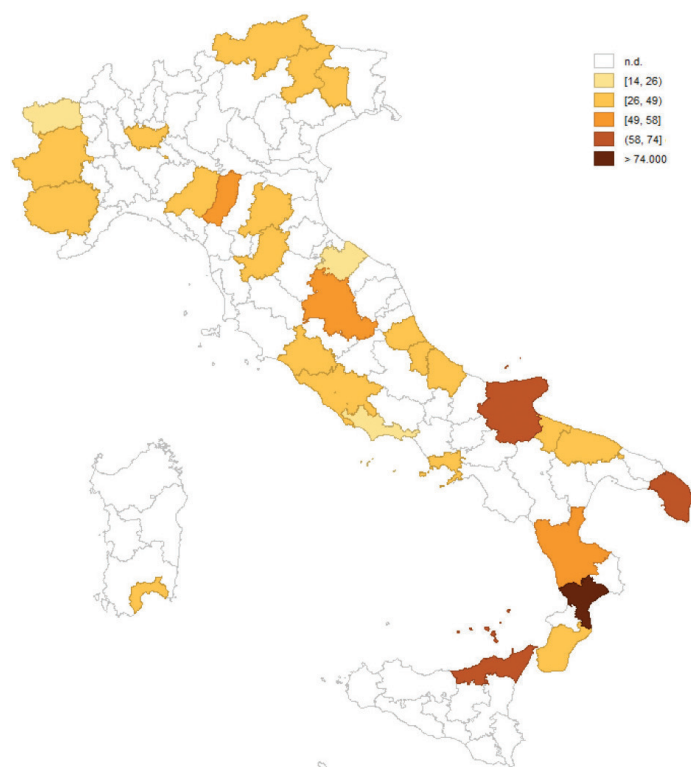


Figura 2. Indice di gravità* degli infortuni per ripartizione geografica (2008-2018). (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

* percentuale dei casi gravi sul totale degli infortuni; sono considerati gravi gli infortuni che hanno comportato un'assenza dal lavoro superiore a 40 giorni oppure che hanno avuto riconosciuto almeno un grado attuale di menomazione permanente oppure che hanno avuto esito mortale.



Mappa 2. Indice di gravità* degli infortuni per provincia (2008-2018). province suddivise in classi in base al numero di infortuni - Costruzione di ponti e gallerie. (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su dati Flussi informativi).

* percentuale dei casi gravi e mortali sul totale degli infortuni; sono considerati gravi gli infortuni che hanno comportato un'assenza dal lavoro superiore a 40 giorni oppure che hanno avuto riconosciuto almeno un grado attuale di menomazione.

terminato (94%), principalmente di nazionalità Italiana (92%). Un quarto dei casi (26%) ha riguardato micro imprese (fino a 9 addetti), dato inferiore a quanto registrato rispetto al complesso dei casi in archivio (58%).

L'analisi per mansione coinvolta vede la prevalenza di "Minatori, cavaatori", "Pontatori, ponteggiatori, Armatori di gallerie" e "Muratori". Tali voci raccolgono quasi il 60% del dataset. Il 57% dei soggetti infortunati aveva una consolidata esperienza nella mansione (3 anni e più).

Le principali lavorazioni rilevate nel campione mostrano che oltre l'80% degli eventi è collegato a:

- trattamento di superfici di volte e pozzi di areazione (posa di rete elettrosaldata, impermeabilizzazione, intonacatura, ...) con il 21,7% dei casi;
- trasferimento/movimentazione di mezzi, attrezzature, materiali e operatori nelle varie aree del cantiere (20,0%);
- installazione di impianti di servizio delle gallerie (areazione, illuminazione, ...) e manutenzione (16,7%);
- attività preliminari alla gettata di calcestruzzo (casseratura, oliatura forme, smorza, carpenteria metallica, ...) con il 15,0% degli eventi;
- montaggio centine (8,3%).

L'approfondimento delle dinamiche infortunistiche, tramite il mo-

dello di analisi adottato, permette di evidenziare le modalità di accadimento e le relative caratteristiche.

In termini di incidenti, lo studio degli eventi avvenuti nelle gallerie indica tre primarie modalità: le cadute di lavoratori dall'alto (27%), il contatto (investimento) di lavoratori con mezzi in movimento in aree dedicate (25%) e le cadute di oggetti o carichi sul lavoratore (18%). Riguardo gli investimenti, il confronto con il dato registrato nell'archivio per la totalità dei settori lavorativi (7%) mostra una maggiore frequenza nel comparto in studio.

Per le prime tre modalità incidentali nella Tabella 5 si riportano specifiche caratteristiche attraverso l'analisi della variabile Agente materiale dell'incidente che fornisce informazioni di dettaglio sugli incidenti rilevati.

Le cadute dall'alto avvengono essenzialmente durante l'utilizzo di attrezzature per il lavoro in quota; gli investimenti vedono coinvolte macchine di sollevamento/trasporto e di movimentazione terra; le cadute di gravi avvengono spesso per cedimenti e smottamenti che interessano diverse parti dell'ambiente di lavoro (scavi, volte, attrezzature per lavoro in quota, ...) ma anche da macchine di sollevamento/trasporto e di movimentazione terra.

Il modello di analisi consente di evidenziare la multifattorialità dei fattori di rischio (fattori causali) alla base degli infortuni [5]. I fattori che intervengono sono raggruppabili nelle seguenti macro-categorie che sintetizzano le problematiche di sicurezza evidenziate nel corso della dinamica: attività infortunato e attività di terzi (azioni, gesti, movimenti inappropriati compiuti dall'infortunato o da altri soggetti); utensili macchine e impianti (criticità dell'attrezzatura di qualunque tipo); materiali (criticità del materiale in lavorazione/lavorato); ambiente (criticità dell'ambiente in termini di caratteristiche, elementi strutturali, ecc.); DPI e abbigliamento (criticità di abiti, abiti da lavoro, DPI).

L'analisi di dettaglio delle dinamiche infortunistiche evidenzia le specificità dei fattori causali alla base degli eventi gravi e mortali del settore.

Al primo posto (52,1%) vi sono gli aspetti procedurali (attività infortunato e di terzi). Rispetto al totale dei settori, in generale è maggiore la quota delle attività di terzi (20,2% vs 9,9%), che indica problematiche collegate all'interferenza ed al lavoro in squadra. In particolare le criticità procedurali sono riassumibili in usi errati o impropri di attrezzature di sollevamento, di macchine di movimentazione terra o altri mezzi, modalità scorrette di posizionamento (rispetto a carichi, attrezzature, mezzi, fronte di scavo, ...) e di accesso o stazionamento in zone in quota.

Riguardo alla categoria degli utensili macchine e impianti implicati negli eventi si evidenziano problemi dovute a carenza dei requisiti di sicurezza delle attrezzature (cestelli, casseri, scale, pompe di gettata, ...).

Nel fattore ambiente emergono l'assenza di barriere, protezioni, parapetti, armature, cedimenti e smottamenti delle volte e carenza di illuminazione.

Infine i problemi di sicurezza registrati per i DPI sono riconducibili al non utilizzo o, in misura inferiore, alla non fornitura di dispositivi quali cinture, caschi e indumenti ad alta visibilità mentre per la categoria dei materiali ricorre il distacco dei prodotti utilizzati per il rivestimento delle gallerie.

Dei 119 fattori di rischio rilevati in fase di indagine il 66% risulta

Tabella 5. Agente materiale incidente per i primi tre incidenti registrati per il settore Gallerie. (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su Banca dati del sistema di sorveglianza Infor.Mo).

Incidente e agente materiale	%	
Caduta di lavoratore dall'alto (da dove si cade)	Attrezzature per il lavoro in quota	50,0
	Tetti, coperture	18,8
	Altre parti in quota	6,3
	Impianti annessi agli edifici, infissi, arredi	6,3
	Macchine di sollevamento, trasporto	6,3
	Macchine movimentazione terra e lavori stradali	6,3
	Altri impianti	6,3
Totale	100,0	
Contatto con mezzi in movimento nella loro abituale sede (elemento ambientale del contatto)	Macchine di sollevamento, trasporto	53,3
	Macchine movimentazione terra e lavori stradali	26,7
	Veicoli terrestri	6,7
	Altre macchine/mezzi di trasporto	6,7
	Altre attrezzature	6,7
	Totale	100,0
Caduta dall'alto di gravi (da dove cade il grave)	Scavi, scarpate	27,3
	Macchine di sollevamento, trasporto	18,2
	Materiali solidi	18,2
	Altre parti di edifici/ambienti di lavoro	9,1
	Muri, pareti	9,1
	Macchine movimentazione terra e lavori stradali	9,1
	Attrezzature per il lavoro in quota	9,1
Totale	100,0	

Tabella 6. Categorie di appartenenza dei fattori di rischio degli infortuni nel settore Gallerie vs tutti i settori di attività economica (Fonte: elaborazioni Inail Dimeila su Banca dati del sistema di sorveglianza Infor.Mo).

Categorie fattori di rischio	% Gallerie	% Totale Settori
Attività dell'infortunato	31,9	43,5
Attività di terzi	20,2	9,9
Utensili, macchine, impianti	22,7	21,6
Ambiente	14,3	13,9
DPI	8,4	7,7
Materiali	2,5	3,4
Totale	100,0	100,0

essere stato insufficientemente o non valutato all'interno dell'azienda.

Per le cadute dall'alto dell'infortunato predominanti sono le criticità delle attrezzature di lavoro con il 28,1% e dei DPI (25%). Tali categorie negli eventi avvenuti nel settore Gallerie hanno una maggiore frequenza rispetto a quanto registrato per il complesso degli infortuni presenti in banca dati (attrezzature 17,7% e DPI 15,6%). Le attrezzature per lavori in quota, incluse le piattaforme di lavoro mobili elevabili (PLE), risultano essere carenti di sistemi di protezione contro le cadute. La criticità di sicurezza prevalente dei DPI è collegata ad usi non corretti.

Negli investimenti sono frequenti le problematiche delle attrezzature e mezzi, ad esempio per carenza dei requisiti di sicurezza (31,4%) e delle procedure, di terzi per errate modalità di conduzione dei mezzi (34,3%), e degli infortunati che si posizionano erroneamente rispetto alla viabilità prevista (25,7%). Il dato registrato nei contatti con mezzi o oggetti nella loro sede per la

categoria "attività di terzi" risulta essere oltre due volte quello di tutte le altre modalità infortunistiche del settore Gallerie (34,3% vs 14,3%), così come più frequente risulta essere la categoria "utensili, macchine, impianti" (31,4% vs 19,0%).

Per la terza modalità incidentale cadute dall'alto di gravi si evidenziano essenzialmente criticità legate alla predisposizione delle aree di lavoro quali ad esempio l'assenza di protezioni o armature, cedimenti, smottamenti. Il fattore ambiente in questa modalità risulta avere un peso quattro volte superiore al dato registrato in tutte le altre modalità infortunistiche del settore Gallerie (40,0% vs 9,1%).

7. Misure di prevenzione e protezione per fasi lavorative

Analizzando le tre modalità di incidente più frequenti (Caduta dall'alto o in profondità dell'infortunato, Caduta dall'alto di gravi e Contatto con mezzi o veicoli in movimento nella loro sede)

nell'ambito degli scavi e della costruzione di gallerie, si riportano alcune delle possibili misure preventive e protettive per ridurre al minimo i fattori di rischio infortunistico.

Per la prima modalità, ovvero le cadute dall'alto o in profondità dell'infortunato, durante le fasi di **casseratura** ed **esecuzione smorza** (macrofase **attività preliminari al getto del calcestruzzo**) i lavori devono essere eseguiti su piani di lavoro protetti, collocati a diversi livelli e accessibili mediante scale fisse poste a bordo della cassaforma. Le andatoie e le passerelle prossime al profilo della galleria sono costituite da piani e parapetti mobili, da riposizionare dopo lo spostamento della cassaforma; la cassaforma è dotata di parapetti modulari incastrati in solette poste ai piedi delle andatoie. È fatto divieto di aumentare l'altezza dei piani di lavoro mediante utilizzo di scale, sgabelli o cavalletti. Infine in alcune situazioni per le quali sia necessario sporgersi oltre le protezioni fisse, si deve utilizzare il dispositivo anticaduta (imbracature di sicurezza ancorate a punti fissi della cassaforma).

Analizzando la stessa macrofase lavorativa ma in riferimento alle fasi **oliatura forme** e **carpenteria metallica**, le misure di prevenzione necessarie sono: il presidio delle operazioni da parte dell'assistente ai lavori e l'applicazione corretta della procedura specifica. Gli addetti alla pulizia e alla oliatura delle forme e i carpentieri devono indossare la cintura di sicurezza e collegarla alla life-line posta longitudinalmente alla cassaforma in prossimità del colmo. L'addetto si muove in sicurezza camminando sopra la cassaforma. Rispetto alle fasi di **impermeabilizzazione e posa della rete elettrosaldata** (macrofase attività di trattamento delle superfici) per evitare che i lavoratori debbano sporgersi fuori dai parapetti dei piani del cassero a causa del profilo incostante della galleria, è necessario che il ponte sia progettato prevedendo un sistema flessibile (a sfilo) che permetta di accostare i piani di calpestio alle pareti; l'imbracatura anticaduta (cintura di sicurezza) deve essere utilizzata dall'addetto all'impermeabilizzazione, sull'ultimo impalcato a ridosso della calotta, durante la fase di approvvigionamento dei rotoli di telo sollevati per mezzo di paranco elettrico. Infine, deve essere controllata periodicamente l'integrità strutturale delle attrezzature per il lavoro in quota (es. cestelli porta persone).

La seconda modalità di incidente "contatto con mezzi o veicoli in movimento nella loro sede" è collegata principalmente al rischio di **interferenza tra mezzi in movimento e operatori a terra** durante le fasi di trasferimento e movimentazione. In tali situazioni è necessario assicurare nel cantiere idonei sistemi di visibilità e segnalazione luminosa ed acustica: l'illuminazione, nella zona dove operano i mezzi, deve essere garantita da idonei dispositivi (torri faro, plafoniere installate sulla calotta, etc.) che consentono di raggiungere i 50 lux previsti. I mezzi coinvolti nello smarino (fase di lavoro che prevede l'allontanamento dal fronte di scavo dei detriti prodotti, tramite dumper o camion) sono dotati - da tutti i grandi produttori di macchine e mezzi di trasporto per cantieri - di dispositivi di avvertimento, sistemi anticollisione a bordo e segnalazione/riconoscimento ostacoli e pedoni nell'area operativa funzionale. Anche i mezzi circolanti possono essere attrezzati con sistemi di questo tipo, che si basano sull'analisi di immagine o su varia sensoristica (laser, IR, RFID, ecc...). Il coordinamento e i sistemi di comunicazione tra operatori in squadra devono essere efficaci.

Per la riduzione degli esposti al rischio, durante la fase di carica-

mento, è vietata la presenza di altri operatori a terra. Tale divieto può essere derogato solo dal preposto al controllo. Nelle zone operative a rischio devono sempre essere indossati indumenti di lavoro ad alta visibilità sia dagli autisti dei dumper che dei camion; infine vige il divieto di lavorazioni in contemporanea fra più macchine operatrici a causa degli esigui spazi di manovra presenti in galleria.

Durante il montaggio della centina devono essere rispettati questi accorgimenti operativi per i mezzi di sollevamento e trasporto: bisogna mantenere, durante il percorso di trasporto delle centine, un margine sufficiente tra il carico/macchina e le parti fisse presenti in galleria (mezzi, murette, cassaforme, etc); è necessario un controllo delle attrezzature e dei materiali utilizzati, verificando il buon funzionamento del limitatore di carico del braccio alloggiante la pinza posacentine.

Altri accorgimenti operativi per i **mezzi di sollevamento e trasporto** sono: evitare il sovraccarico del braccio pinza posacentine durante la fase di sostegno della centina contro la volta della galleria; divieto di superare le portate previste a bordo del ponte sviluppabile; stabilizzare correttamente la macchina posacentine durante le fasi di sollevamento e posizionamento; sotto gli stabilizzatori, su terreno cedevole, sono poste idonee piastre ripartitrici del carico.

Durante la fase di smarino, nell'area di lavoro deve essere presente solo il personale operativo: il palista e l'autista del dumper o del camion; gli autisti degli altri mezzi attendono a debita distanza l'allontanamento di quello già caricato per avvicinarsi a loro volta alla pala meccanica riducendo in tal modo l'inquinamento in prossimità delle lavorazioni.

Infine alla terza modalità d'incidente, la caduta dall'alto di gravi, sono collegate quattro distinte fasi lavorative: il **montaggio della centina**, l'attività di **trattamento superfici** (intonacatura 'pre-spritz'), il **disgaggio** e l'**uso dell'esplosivo** (preparazione cariche). La fase di **montaggio della centina** richiede l'applicazione delle seguenti misure: il controllo accurato del disgaggio e del priverestimento della volta (pre-spritz) prima dell'esecuzione dei successivi lavori; il controllo delle attrezzature e dei materiali utilizzati (in particolar modo il cestello del posacentine deve essere munito di fascia di arresto al piede); il divieto per le persone non addette ai lavori di sostare sotto il raggio di azione dei mezzi di sollevamento. Nell'attività di **trattamento superfici** (intonacatura 'pre-spritz', posa rete elettrosaldata) deve essere inibita la presenza di persone sotto i ponti sviluppabili; bisogna assicurare bene il carico a bordo del cestello portapersona che deve essere dotato di protezione contro la caduta di materiale dall'alto; l'addetto all'operazione può stazionare solo sotto la zona di galleria già priverestita e deve indossare il casco protettivo.

Nella fase di **disgaggio** le misure individuate per la riduzione del rischio di caduta dall'alto di gravi prevedono il posizionamento corretto del martellone in modo che la cabina di guida risulti nella zona di galleria già messa in sicurezza con interventi di bullonatura radiale e rivestimento con calcestruzzo proiettato. Il lavoratore deve essere formato, addestrato ed esperto per lo svolgimento delle operazioni di scavo.

Nella fase di **preparazione delle cariche** (uso di esplosivo) si deve verificare la presenza e/o lo stato di tenuta del pre-spritz procedendo eventualmente alla rimozione di parti instabili (disgaggio).

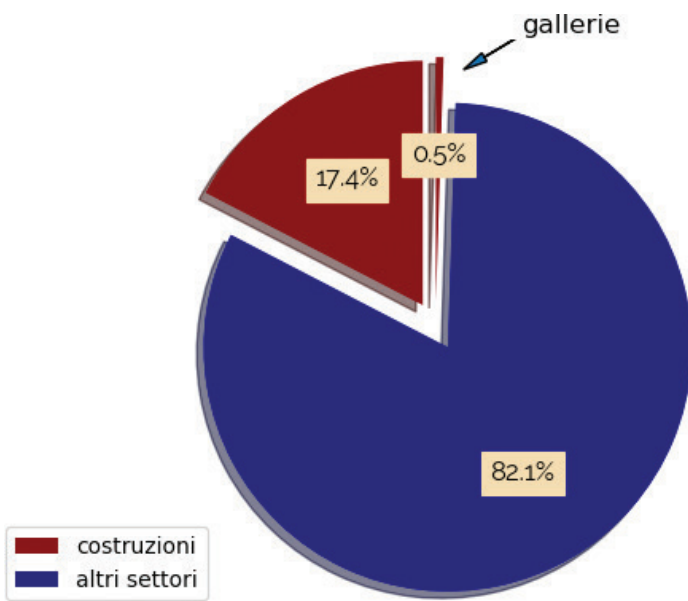


Figura 3. OSHA 2015-2020: distribuzione degli incidenti. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

8. Infortuni sul lavoro negli Stati Uniti e in Italia: analisi comparativa e prime applicazioni di machine learning

La sezione che segue intende illustrare le evidenze emerse dall'analisi del dataset relativo agli infortuni sul luogo di lavoro da due distinte fonti dato, rispettivamente l'agenzia dell'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) del Department of Labor degli Stati Uniti e l'Istituto Nazionale italiano per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), con un focus specifico sul settore delle Costruzioni e dello specifico comparto Gallerie. Viene inoltre applicata una tecnica di analisi di Natural Language Processing (NLP) a fini predittivi.

8.1. Incidenti sul lavoro negli Stati Uniti: i dati OSHA

Il dataset OSHA utilizzato in questa analisi, relativo agli incidenti sul lavoro negli Stati Uniti, è costituito da 57.095 osservazioni di incidenti gravi registrate negli ultimi 5 anni, nello specifico tra il 2015 e il 2020 [6]. Di queste, circa il 18% sono state rilevate in aziende appartenenti al settore *Construction*, come definito dal codice Primary Naics. Al suo interno, circa il 3% degli incidenti (corrispondenti a meno dell'1% del totale), hanno riguardato il sottosectore *Other Heavy and Civil Engineering Construction*, che corrisponde indicativamente al settore delle Gallerie, o *tunnels* (Figura 3).

8.2. Confronto tra totale Industria e Costruzioni

Le indicazioni fornite dall'agenzia OSHA circa il settore industriale (*Primary Naics*), assieme a una specifica tassonomia della natura (*Event*) e della fonte (*Source*) dell'incidente, permettono di rilevare le caratteristiche ricorrenti nel settore delle Costruzioni rispetto ad altri settori, o al totale dell'Industria. Partendo dalla natura dell'incidente, OSHA individua 8 categorie principali di *Event*. I più frequenti risultano essere:

- gli **incidenti da contatto con oggetti o attrezzature** (6. *Contact with object and equipment*), che rappresentano poco meno del 50% degli incidenti del totale Industria, mentre sono il 40% degli incidenti nelle Costruzioni. Più nel dettaglio, l'incidente più frequente con le attrezzature è 62. *Struck by object or equipment* (23% degli incidenti nelle Costruzioni);
- le **cadute** (4. *Falls, slips, trips*), corrispondenti al 30% degli incidenti del totale Industria, ma ben al 40% degli incidenti nelle Costruzioni. Nello specifico, la caduta più frequente risulta essere la caduta verso piani inferiori (43. *Falls to lower level*), con una frequenza del 35% su tutti gli incidenti nelle Costruzioni.

Le differenze tra il totale dell'Industria e il settore delle Costruzioni sono illustrate nella Figura 4.

In modo simile, è possibile osservare la distribuzione della fonte degli incidenti. Sono infatti individuate 9 categorie di principali di

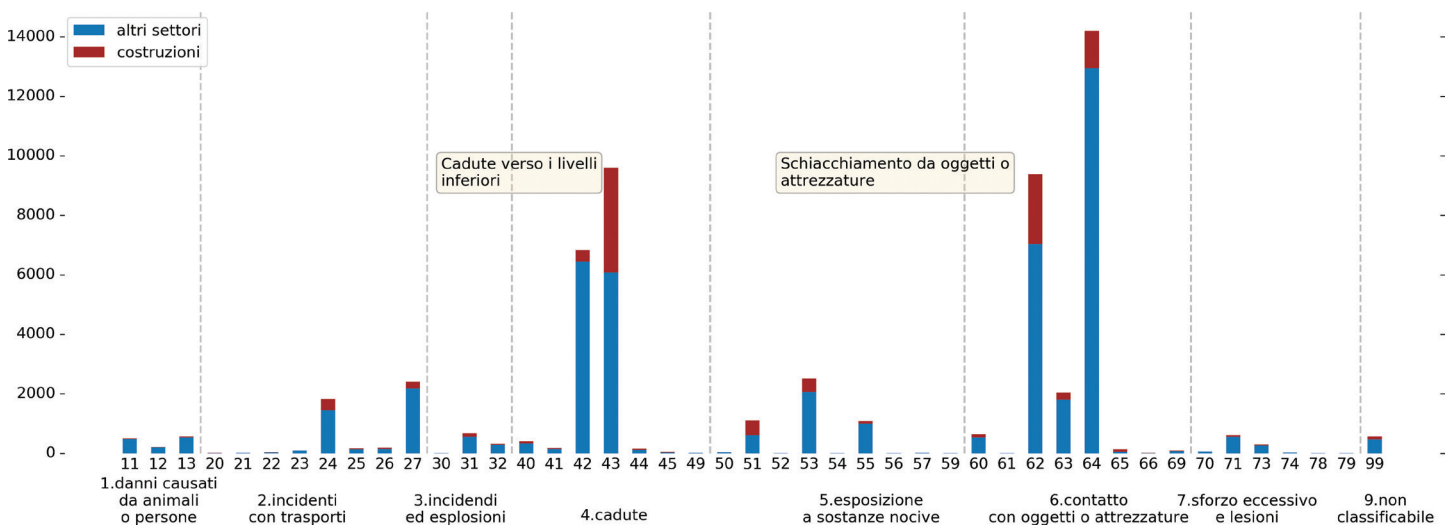


Figura 4. OSHA 2015-2020: confronto Eventi (event) tra totale Industria e Costruzioni. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

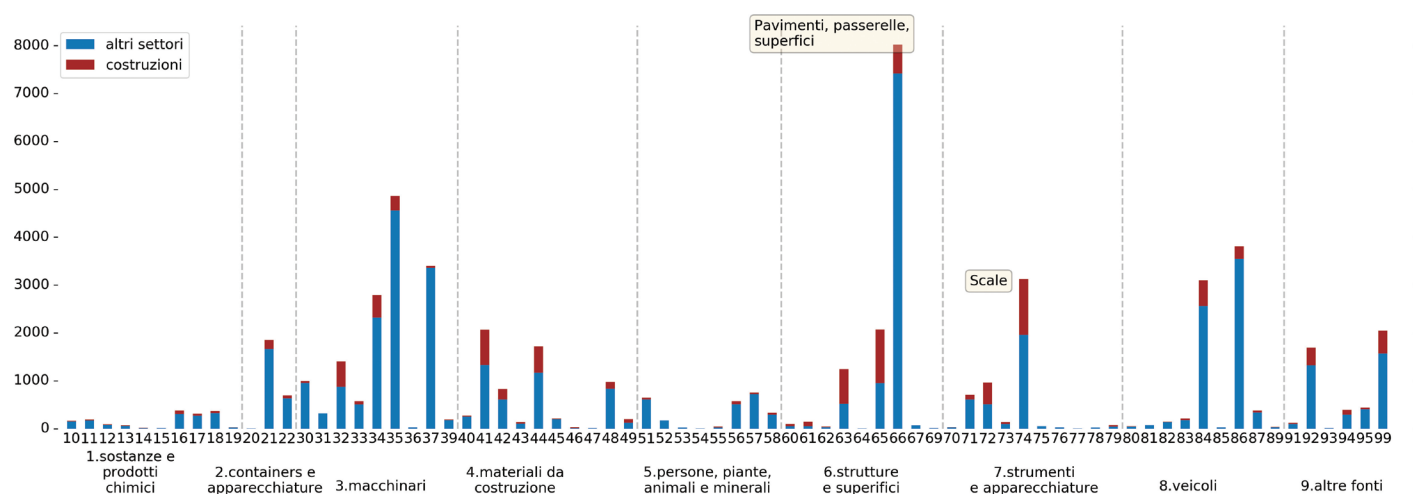


Figura 5. OSHA 2015-2020: confronto fonti (sources) tra totale Industria e Costruzioni. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

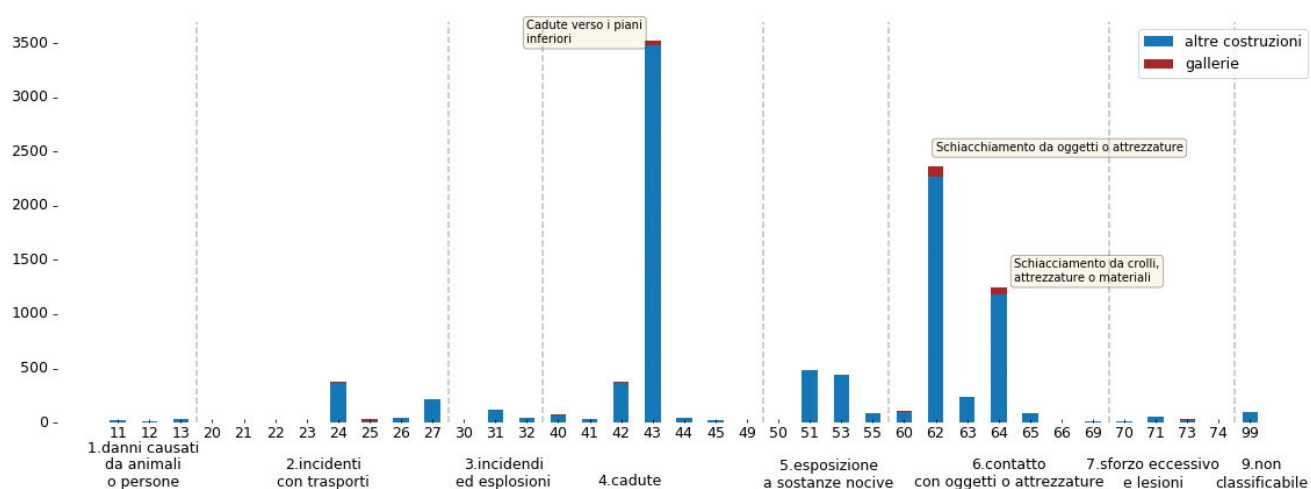


Figura 6. OSHA 2015-2020: confronto eventi (events) tra Costruzioni e Gallerie (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

Source. Come prima evidenza, si osserva un'ampia varietà di fonti (Figura 5). Su tutte, riportiamo:

- le **strutture e le superfici** (6. Structures and surfaces), che costituiscono la prima fonte di incidenti nelle Costruzioni (25%) e la seconda nel totale Industria (20%);
- i **macchinari** (3. Machinery), che rappresentano il 25% delle fonti degli incidenti nel totale Industria, mentre il 14% nelle Costruzioni (e ne sono dunque la seconda fonte principale);
- al contrario, tra le fonti meno comuni, troviamo **sostanze chimiche, persone, piante, animali e minerali**.

Si può dunque concludere che, confrontando il settore delle Costruzioni con i settori restanti, non si osservano particolari differenze nella distribuzione delle Sources da un punto di vista "macro" (primo livello gerarchico OSHA). Un'importante eccezione è tuttavia rappresentata dagli incidenti legati all'utilizzo di **scale** (74. Ladders), all'interno della categoria 7. Tools, instruments and equipments (secondo livello gerarchico OSHA). I ladders rappresentano la principale source di incidenti nel settore delle Costruzioni (11%, contro il 5% nel totale Industria). Questa evidenza verrà ulteriormente confermata in seguito, a partire dall'analisi dei testi.

8.3. Confronto tra totale Costruzioni e Gallerie

Avendo dunque rilevato che nel settore delle Costruzioni gli infortuni da utilizzo di attrezzature e le cadute sono gli incidenti più frequenti, e che una molteplicità di fonti è alla base degli incidenti, tra cui l'utilizzo di *ladders*, si è analizzato più nel dettaglio il settore delle Gallerie. Ciò che si osserva è che gli incidenti più frequenti nel settore delle Gallerie sono della stessa natura degli incidenti più frequenti nel resto del settore delle Costruzioni. Si tratta, in particolare di:

- **urto con oggetti o attrezzature** (62. Struck by object or equipment, 33%);
- **schiacciamento in strutture, attrezzature o materiali** (64. Struck, caught, or crushed in collapsing structure, equipment or materia, 21%);
- **cadute verso piani inferiori** (43. Falls to lower level, 14%).

La distribuzione degli incidenti per eventi (event) è illustrata dal Figura 6.

Grazie alla tassonomia OSHA, è possibile guardare ancora più nel dettaglio gli Events (terzo livello gerarchico). Emerge, ancora una volta, che le cadute sono la tipologia di incidente più frequente

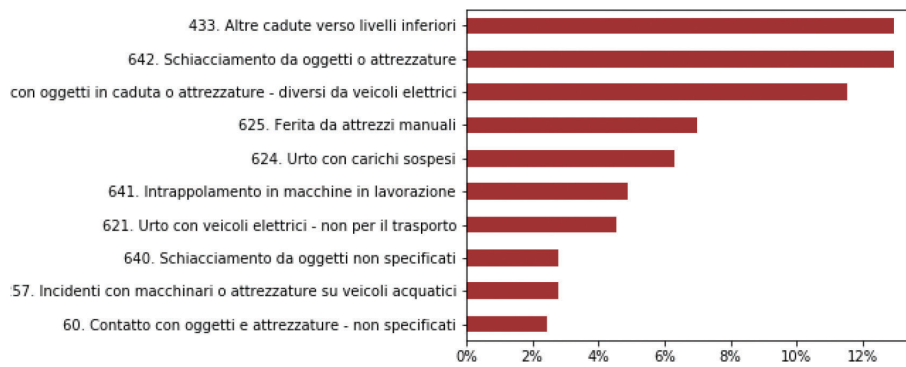


Figura 7. OSHA 2015-2020: i 10 incidenti più frequenti nelle Gallerie. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

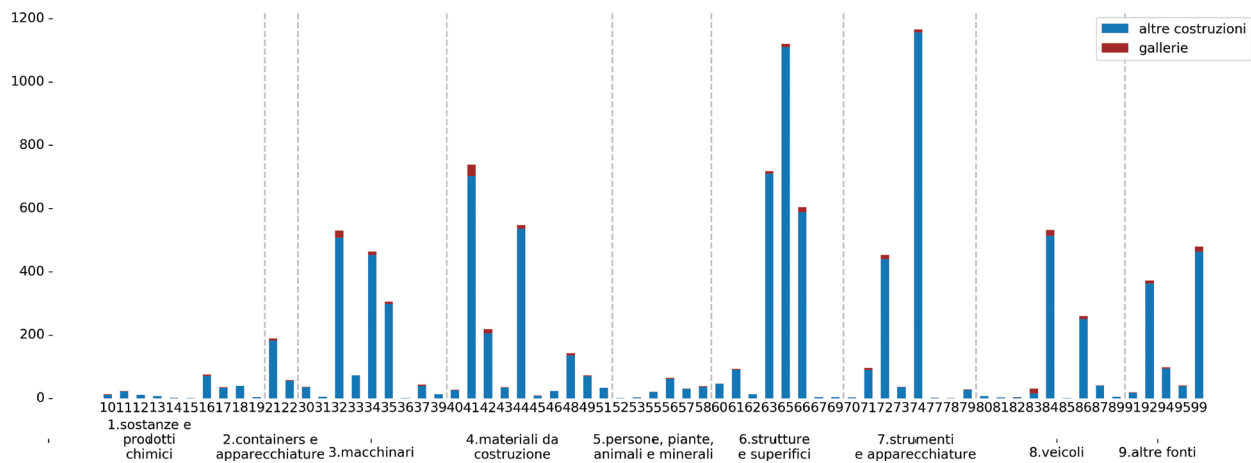


Figura 8. OSHA 2015-2020: confronto fonti (sources) tra Costruzioni e Gallerie. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

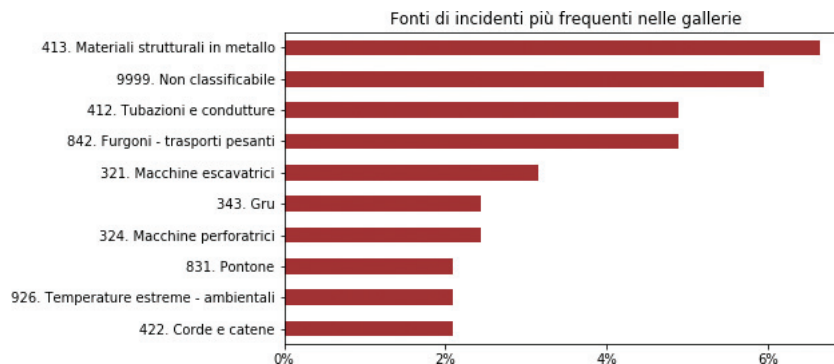


Figura 9. OSHA 2015-2020: le 10 fonti di incidenti più frequenti nelle gallerie. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

e che, per ciò che concerne gli incidenti con le attrezzature, l'evento più frequente è lo **schiacciamento dovuto al sollevamento di oggetti** (12%). La Figura 7 illustra i 10 incidenti più frequenti, secondo il **terzo livello gerarchico della tassonomia OSHA**.

Per quanto riguarda la fonte (*source*) dell'incidente, come anticipato in precedenza, non emerge una fonte prevalente, ma ne risultano molteplici (Figura 8). Si guardi la Figura 9 per maggiori dettagli sulle 10 tipologie di fonti di infortunio più frequenti nelle gallerie, secondo il terzo livello gerarchico della tassonomia OSHA. Si può osservare che le fonti più frequenti sono i materiali strutturali me-

tallici (413. *Structural metal materials*), che tuttavia rappresentano soltanto il 6% circa delle fonti di incidente.

8.4. Analisi Natural Language Processing (NLP) della narrazione dell'incidente

Assieme alle informazioni relative alla tipologia di infortunio e alla sua fonte, il dataset offre una descrizione testuale della dinamica di ciascun incidente (*Final Narrative*). I testi sono stati sottoposti a un pre-processing iniziale, che ha incluso l'eliminazione di *stopwords*, avverbi, segni di punteggiatura, simboli e la trasforma-

zione delle parole nel loro lemma. Sono state dunque ricercate le parole più ricorrenti.

Le Figure 9, 10, 11 mostrano le parole più diffuse rispettivamente nel totale dell'Industria, nel settore delle Costruzioni e nelle Gallerie, assieme al numero di volte in cui vengono utilizzate (l'area dei rettangoli è tanto più estesa quanto più la parola è frequente). Dalle figure è stato escluso il lemma più frequente, che risulta essere, come prevedibile, *employee* (circa 92.000 utilizzi).

Confrontando i due grafici, si osserva che *fall* è la parola più frequente sia nel settore delle Costruzioni che negli altri. Nello specifico, viene utilizzata nel 45% delle descrizioni degli incidenti del settore delle *Construction*, e nel 32% dei casi nei restanti settori (Figure 10, 11).

Tuttavia, si osservano anche interessanti differenze, che confermano le tendenze precedentemente descritte. Infatti, la parola *ladder* viene utilizzata più di 2.000 volte, comparando nel 13% delle descrizioni degli incidenti del settore *Construction*, e soltanto nel 5% delle descrizioni degli incidenti dei restanti settori.

La Figura 12 mostra invece le parole più caratteristiche del settore delle Gallerie, ottenute escludendo i lemmi più frequenti nei restanti settori. Ciò che si osserva è che la maggior parte di queste parole fanno riferimento a oggetti o materiali, come *pipe*, *crane*, *steel*, *lift*.

In seguito, si è cercato di utilizzare le **parole estratte come feature predittive** della tipologia di incidente (*Event*). Per favorire l'individuazione di pattern ricorrenti, si è considerato il primo livello gerarchico della tassonomia OSHA, quello che individua, cioè, le 8 classi illustrate nella Figura 4. Per la creazione del modello, il dataset originale di partenza è stato suddiviso in training (70%) and test set (30%).

Si è deciso di considerare il dataset intero, anziché il campione relativo alle gallerie, per evitare una drastica riduzione delle dimensioni del training set. In aggiunta alle procedure di *cleaning* precedentemente descritte, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- rimozione di tutte le parole presenti nella categoria da predire, in modo da evitare relazioni banali (ad esempio, è prevedibile che la parola *fire* compaia più frequentemente nelle descrizioni degli incidenti categorizzati come *Fires and Explosions*, evidenza che tuttavia ha scarsa utilità sul piano applicativo);

fall 15974 (caduta)	catch 8037 (afferrare)	strike 5526 (colpo)	amputation 4908	slip 4894 (scivolare)	
	amputate 8058 (amputare)	foot 7146 (piede)	truck 5135 (camion)	leg 5204 (gamba)	
		hospitalize 8160 (ricoverare)	break 7323 (rompere)	fracture 7182 (frattura)	
	hand 9605 (mano)	suffer 8681 (soffrire)	machine 8251 (macchina)		
	right 14117 (destra)	left 13458 (sinistra)	finger 13308 (dito)		
	employee 75057 (impiegato)				

Figura 10. OSHA 2015-2020: le parole più frequenti nel totale dell'Industria. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

- rimozione delle parole che si riferiscono alle parti del corpo, utilizzando l'elenco fornito da OSHA.

Per estrarre keywords-features dai testi, è stata applicata la funzione TFIDF ai testi normalizzati del training set. Dunque, le feature sono state filtrate in modo da escludere le keywords più rare o troppo frequenti ma non significative.

L'accuratezza del modello descritto sul test set è dell'88%. La *confusion matrix* ottenuta sul test set (Figura 13) mostra nel dettaglio quali classi vengono più spesso mal identificate e quali individuate con più precisione. Si veda in particolare la classe 9-*Nonclassifiable*, che, come prevedibile, non viene accuratamente identificata dal modello e frequentemente confusa con le classi 4. *Falls, slips, trips* e 6. *Contact with object and Equipments*.

La Tabella 7 mostra le **5 keywords/caratteristiche più significative** per classe ottenute applicando il modello di regressione logistica (previo tuning del parametro di regolarizzazione).

È importante ricordare che il modello è stato ottenuto a partire dalla descrizione di eventi di cui si conosce già l'esito, ovvero l'infortunio. Si tratta cioè di un dataset fortemente *biased*, in quanto mancano rilevazioni circa gli eventi *near miss*, che consentirebbero di individuare i fattori di rischio con più precisione.

Ciò nonostante, il modello ha comunque valore statistico. In particolare, i risultati ottenuti intendono suggerire che ci sono azioni

right 2348 (destra)	finger 1743	leg 1446	cause 1136	cut 1073
foot 3258 (piede)	fracture 1776	hand 1486	concrete 1194	
		strike 1549	work 1366	roof 1244
fall 5029 (caduta)	hospitalize 2053	ladder 1998	ground 1888	
	suffer 2284	left 2211	break 2120	

Figura 11. OSHA 2015-2020: le parole più frequenti nelle Costruzioni. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

steel 35 (acciaio)	beam 20 (trave)	load 19 (carico)	wall 19 (muro)	tie 19 (gancio/legare)
crane 40 (gru)	drill 20 (trapano)	water 20 (acqua)	rail 20 (binario)	
		concrete 23 (cemento)	stand 23 (pedana)	pin 22 (appuntare)
pipe 64 (conduttura)	lift 34 (ascensore/montacarichi)		piece 28 (componente)	

Figura 12. OSHA 2015-2020: le parole più frequenti nelle Gallerie. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

Tabella 7. OSHA 2015-2020: keywords/caratteristiche più significative per incidente. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

1. Danni causati da animali o persone	2. Incidenti con trasporti	3. Incendi ed esplosioni	4. Cadute	5. Esposizione a sostanze nocive	6. Contatto con oggetti o attrezzature	7. Sforzo eccessivo e lesioni	9. Non classificabile
aggressione	trasporto	gas/benzina	gradino	sposatezza	lama	pala	lesione
sparare	veicolo	scintilla	camminare	caldo	taglio	appuntito	privo di sensi
serpente	guidare	esplosione	pavimento	disidratazione	macchina	strappo	infezione
cane	martinetto	innescare	scala	scossa/trauma	sega	dolore	amputazione
morso	muletto	torcia	suolo	calore	dito	torsione	ricoverare

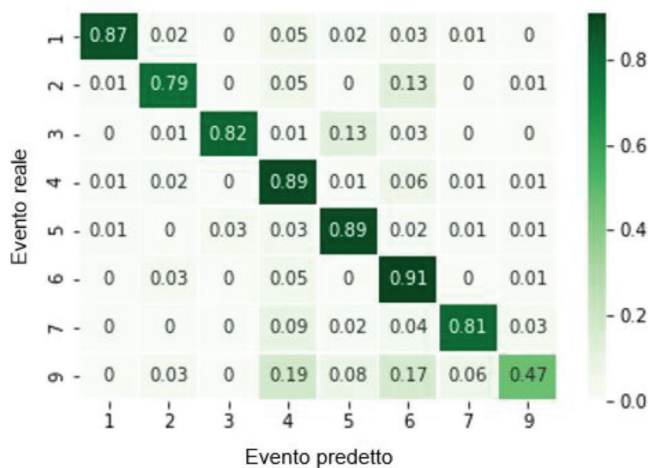


Figura 13. OSHA 2015-2020: confusion matrix del modello di classificazione. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

(step, walk), macchinari e oggetti (forklift, ladder...) che con alta probabilità condurranno a uno specifico incidente. In ottica preventiva, dunque, conoscere il contesto lavorativo attraverso una descrizione testuale dello stesso, potrebbe permettere di allertare il lavoratore rispetto ai fattori di rischio esistenti, individuati come keywords, indicando la tipologia di incidente maggiormente associata a quelle keywords.

Altre applicazioni di Machine Learning al dataset OSHA
 Molteplici studi hanno utilizzato il dataset US OSHA per estrarre informazioni circa le cause degli incidenti sul lavoro. In particolare, si riscontra in letteratura un utilizzo frequente di tecniche di machine learning per la classificazione degli incidenti a partire dalla loro descrizione testuale. Il fine ultimo è predire, o meglio prevenire, l'incidente stesso.

Ad esempio, Goh & Ubeynarayana confrontano diversi algoritmi di machine learning per classificare la descrizione testuale degli incidenti del dataset US OSHA, utilizzando come labels le 11 tipologie di incidenti [7].

In modo simile, la descrizione degli incidenti del dataset US OSHA viene utilizzata come punto di partenza per la costruzione un modello predittivo da Panthi & Ahmed [8].

In un altro studio che utilizza lo stesso dataset, attraverso la costruzione di wordcloud, assieme all'applicazione di altre tecniche di text mining, viene evidenziata la notevole ricorrenza della parola ladder [9].

Sul dataset US OSHA, sono state applicate anche tecniche un-

supervised di machine learning (e in particolare di clustering). In questo modo è stato mostrato che gli incidenti più frequenti sono, come più volte evidenziato, le cadute e gli urti con oggetti [10]. Infine, uno studio dello scorso anno utilizza tecniche avanzate di machine learning (deep learning) e text mining in un'ottica di prevenzione e miglioramento della sicurezza sul lavoro a partire dai report di incidenti [11].

9. Infortuni sul lavoro in Italia: i dati del sistema di sorveglianza nazionale degli infortuni mortali e gravi Infor.Mo

Il dataset Infor.Mo fornito dall'INAIL consiste di 60 osservazioni, corrispondenti ad altrettanti infortuni gravi e mortali registrati tra il 2002 e il 2018 durante la costruzione, predisposizione, manutenzione di Gallerie. Per ciascun infortunio, vengono descritti la natura, la fonte, il luogo e la descrizione testuale (Dinamica) con le cause dell'evento.

Il modello adottato per l'analisi delle dinamiche infortunistiche permette di enucleare l'incidente, cioè quella situazione imprevista (paragonabile alla variabile Deviation della classificazione europea ESAW) che ha reso incontrollata o disponibile una energia pericolosa nell'ambiente di lavoro la quale ha portato, in caso di infortunio, al danno biologico del lavoratore.

Come la Figura 14 suggerisce, vengono individuate 10 tipologie di incidente. Come visto precedentemente, il più frequente risulta essere la Caduta dall'alto o in profondità dell'infortunato (16 osservazioni), seguita dal Contatto con altri oggetti, mezzi o veicoli in movimento (15 osservazioni) e dalla Caduta dall'alto di gravi (11 osservazioni).

Anche il dataset Infor.Mo fornisce una descrizione degli avvenimenti (Dinamica), che è stata sottoposta alla stessa operazioni di text pre-processing descritte in precedenza. Tra le parole più frequenti, rientrano cestello, cantiere, escavatore e altri termini relativi a macchinari (Figura 15).

9.1. Confronto tra dati Infor.Mo e OSHA

Appare subito evidente che il dataset OSHA e il dataset Infor.Mo sono differenti per dimensionalità. I dati della banca dati Infor.Mo, rilevati secondo il modello multifattoriale di analisi, hanno una maggiore profondità informativa visto che nella ricostruzione della dinamica infortunistica sono identificati anche i dettagli sui fattori causali emersi in fase di indagine.



Figura 14. INFORMO: distribuzione degli Incidenti. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018).

zona 33	calcestruzzo 27	escavatore 25	operazione 22	spazzolatrice 21	profilatrice 21
operai 33	collega 27	pompa 25	sicurezza 22	macchina 22	carro 22
mezzo 35	parte 29	caduta 26	costruzione 23	piattaforma 24	persone 24
cantiere 35	operazioni 27	fronte 23	lavori 31	metri 31	volta 31
cestello 37	infortunio 29	lavoratori 33	terra 32	interno 32	lavoro 31

Figura 15. INFORMO Dinamica – Parole più frequenti. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018).

Inoltre, anche la natura dell'incidente viene individuata utilizzando **tassonomie diverse**. È tuttavia possibile notare facilmente che alcune delle parole che caratterizzavano gli *Event* OSHA, ricompaiono negli *Incidenti* Infor.Mo: contatto con oggetti e cadute. Per rendere i due dataset confrontabili, si è quindi deciso di **rimappare** gli Incidenti Infor.Mo secondo la tassonomia degli Events OSHA, ove possibile (Tabella 8).

La Figura 16 mostra la frequenza percentuale degli incidenti nelle gallerie, così rimappate, rispetto ai due dataset, assieme alla loro frequenza assoluta. Come anticipato, **il contatto con oggetti o attrezzature** è uno degli incidenti più frequenti.

Contact with objects and equipment risulta infatti essere il primo tipo di incidenti per frequenza negli Stati Uniti, con il 60% dell'incidenza, e il secondo in Italia, con circa il 30%, seguito dalle **cadute**, o *falls, slips and trips*, che costituiscono la seconda tipologia più frequente di incidenti nelle gallerie americane, con il 20% di incidenza, e la terza in Italia, con circa il 30%.

Secondo il dataset Infor.Mo, a seguito dell'aggregazione per parole chiave, **gli incidenti relativi a mezzi di trasporto o attività di trasporto** sono più frequenti, con un'incidenza di circa il 40%, che negli Stati Uniti si abbassa a circa il 15%. Restano esclusi dalle tre categorie descritte circa il 10% delle osservazioni del dataset OSHA e il 5% del dataset Infor.Mo, raggruppate nella categoria *others*.

Più complessa risulta essere la mappatura tra le *Sources* OSHA e gli *agenti materiali* INAIL. Per facilitare il confronto tra le due fonti dato, si è deciso di guardare agli agenti materiali degli incidenti più frequenti, per il dataset Infor.Mo, e alle *Sources* degli Events riconducibili a quegli incidenti, per il dataset OSHA.

Si osserva che la prima fonte di caduta dall'alto sono, nel 50% degli incidenti registrati in Italia, le **attrezzature per il lavoro in quota**; nel caso dei dati OSHA, le fonti primarie sono le **"ladders"** che comprendono sia scale fisse che portatili. In entrambi i casi, tuttavia, si tratta di un numero molto limitato di osservazioni. Inoltre nei dataset vengono menzionati i **tetti**, o *roofs* (Tabelle 9,10). In modo analogo, si possono confrontare gli agenti materiali relativi al contatto con mezzi in movimento (dati Infor.Mo) con gli

Tabella 8. Mappatura tra Events OSHA e Incidenti INFORMO. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018 e OSHA severe injuries 2015-2020).

	Eventi OSHA			
	Contatto con oggetti o attrezzature	Cadute	Incidenti con trasporti	altri
Incidenti Infor.Mo	- Contatto con organi lavoratori in movimento - Proiezione di solidi - Caduta dall'alto di gravi	- Caduta dall'alto o in profondità dell'infortunato	- Variazione nella marcia di un veicolo/mezzo di trasporto - Avviamento inatteso/opportuno di veicolo, macchina, attrezzatura, etc. - Contatto con altri oggetti, mezzi o veicoli in movimento	- Contatto elettrico diretto - Contatto elettrico indiretto - Altro (var. energia)

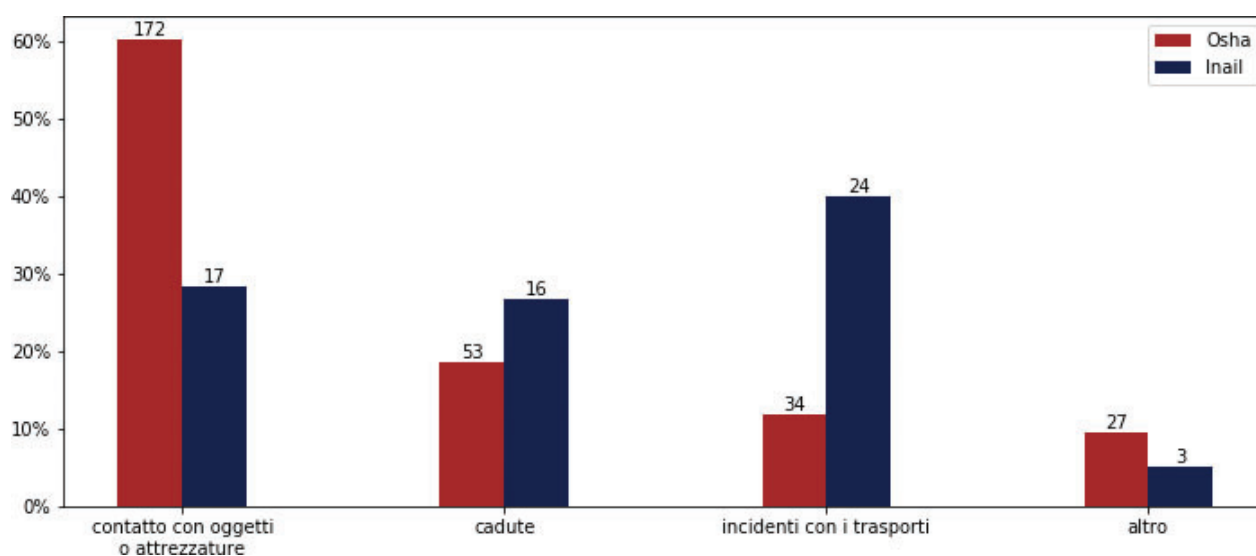


Figura 16. INFORMO e OSHA – Distribuzione degli Incidenti a confronto. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018 e OSHA severe injuries 2015-2020).

Tabella 9. INFORMO – Agenti materiali dell'incidente caduta di lavoratore dall'alto. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018).

Incidente e agente materiale		N	%
Caduta di lavoratore dall'alto	Attrezzature per il lavoro in quota	8	50,0
	Tetti, coperture	3	18,8
	Altre parti in quota	1	6,3
	Impianti annessi agli edifici, infissi, arredi	1	6,3
	Macchine di sollevamento, trasporto	1	6,3
	Macchine movimentazione terra e lavori stradali	1	6,3
	Altri impianti	1	6,3
	Totale	16	100

Tabella 10. OSHA – Fonti dell'evento falls to lower level. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

Evento e fonte		N	%
Cadute verso i livelli inferiori	Ladders, unspecified	4	10,0
	Rimorchi	3	7,5
	Pavimento	3	67,5
	Elementi strutturali (tetti...)	2	65
	...	28	70
	Totale	40	100

incidenti legati ai trasporti, *Transportation incidents* (dati OSHA). In questo caso, tuttavia, la sovrapposizione tra eventi è meno diretta, così come sono poco sovrapponibili le fonti di tali incidenti. Nel caso dei dati italiani, le **macchine di sollevamento** risultano essere il principale agente materiale, mentre, nel caso dei dati americani, prevalgono i *water vehicles* (Tabelle 11, 12). A seguire, tuttavia, si osserva che le **macchine per la movimentazione della terra e i lavori stradali** sono il secondo agente materiale

Tabella 11. INFORMO – Agenti materiali dell'incidente contatto con mezzi in movimento. (Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018).

Incidente ed agente materiale		N	%
Contatto con mezzi in movimento nella loro abituale sede (elemento ambientale del contatto)	Macchine di sollevamento, trasporto	8	53,3
	Macchine movimentazione terra e lavori stradali	4	26,7
	Veicoli terrestri	1	6,7
	Altre macchine/mezzi di trasporto	1	6,7
	Altre attrezzature	1	6,7
	Totale	15	100

Tabella 12. OSHA – Fonti dei transportation incidents. (Fonte: elaborazione dei dati OSHA severe injuries 2015-2020).

Evento e fonte		N	%
Trasporti	Veicoli acquatici	15	44,1
	Veicoli autostradali, motorizzati	8	23,5
	Veicoli fuoristrada e industriali-elettrici	5	14,7
	Macchinari per costruzione, disboscamento e minerari	5	14,7
	...	1	2
	Totale	34	100

per frequenza (27%), che trova una corrispondenza negli *highway vehicles, motorized* tra le fonti più frequenti dei dati OSHA per gli incidenti di trasporto (10%).

Per concludere il confronto tra i due dataset, si è scelto di mostrare una breve selezione di keywords, in italiano e in inglese, e la loro rispettiva frequenza nel dataset Infor:Mo e OSHA (Tabella 13).

Tabella 13. Frequenza di una selezione di keywords nel dataset OSHA e INFORMO. Fonte: elaborazione dei dati INFORMO 2002-2018 e OSHA severe injuries 2015-2020).

Keywords ENG	Keywords ITA	Frequenza OSHA	Frequenza Infor.Mo
Crane	Gru	23	4
Pipe	Tubi/Condott	32	9
Beam	Trave	12	17
Concrete	Calcestruzzo/ Cemento	21	18
Load	Carico	25	7

10. Conclusioni

L'analisi fin qui svolta ha inteso mostrare le caratteristiche principali degli infortuni nel settore delle Costruzioni, e più specificatamente, nelle gallerie, secondo quanto riportato dall'Istituto nazionale italiano per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (Inail) e dall'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) del Department of Labor degli Stati Uniti. Il confronto tra le due fonti dato ha inoltre rivelato caratteristiche comuni, e utilizzabili in ottica preventiva, relative soprattutto alla tipologia di incidenti più comune. L'analisi dei dati italiani svolta da Inail ha mostrato come tra i fattori causali che spiegano le dinamiche all'origine degli incidenti, vi siano gli aspetti procedurali in particolare legati all'attività di terzi che indicano problematiche collegate all'interferenza ed al lavoro in squadra. Tali criticità sono riassumibili in usi errati o impropri di attrezzature di sollevamento, di macchine di movimentazione terra o altri mezzi, modalità scorrette di posizionamento (rispetto a carichi, attrezzature, mezzi, fronte di scavo, ...) e di accesso o stazionamento in zone in quota.

Al fine del miglioramento continuo della sicurezza dei lavoratori, queste criticità unitamente a quelle evidenziate per i fattori ambientali e l'uso di DPI possono essere superate con l'adozione delle misure di prevenzione e protezione evidenziate nello studio, e all'introduzione di soluzioni digitali e tecnologiche che utilizzando sensori e sistemi Internet of Thing (IoT) consentono una migliore comprensione, valutazione e mitigazione dei relativi rischi.

Ulteriori elementi di valutazione sono stati forniti dall'analisi dei dati OSHA e la sua comparazione con il database Inail, sviluppata da ADAM. Sia la statistica descrittiva, attraverso la visualizzazione della distribuzione degli eventi (o incidenti), che l'utilizzo di tecniche di text-mining, hanno rivelato che il contatto con oggetti e attrezzature, risultante in schiacciamenti o urti, e le cadute e gli scivolamenti, sono gli incidenti più comuni tanto negli Stati Uniti quanto in Italia (sebbene con numerosità assai diverse). Nel dataset Infor.Mo, relativo ai dati sugli infortuni nelle gallerie in Italia, è inoltre emersa un'ampia diffusione di incidenti legati a mezzi in movimento ed attività di trasporto, riscontrata in misura minore nel corrispettivo dataset americano.

La costruzione di un modello di machine learning, che utilizza algoritmi di Natural Language Processing applicati alla descrizione degli eventi, ha inoltre voluto mostrare come specifiche keywords/features si associno con alta frequenza a distinte categorie di incidenti, quindi permettano di individuare diverse situazioni di rischio.

Altri punti di possibile sviluppo riguardano una migliore individuazione delle relazioni di causa ed effetto, a partire dalla descrizione testuale degli incidenti. Tale strada è stata percorsa con risultati modesti, grazie all'utilizzo delle liste di keywords presenti nella tassonomia OSHA (relative, ad esempio, alle parti del corpo). Migliori risultati potrebbero essere ottenuti con vocabolari più specifici. Il confronto tra le tabelle di contingenza relative al dataset OSHA e al dataset Infor.Mo, ha tuttavia dimostrato, assieme alla distribuzione delle Sources, un'ampia varietà di agenti materiali all'origine dello stesso tipo di incidente sebbene concentrati su alcuni aspetti principali che rappresentano la maggioranza dei casi (strutture, superfici, attrezzature e macchinari).

Nelle prossime fasi di questo studio verranno sviluppate analisi più approfondite tramite tecniche di machine learning integrate dalla disponibilità di dati provenienti da aziende e dagli elementi emersi da progetti pilota (in fase di pianificazione) di utilizzo di strumenti digitali e di IoT che valuteranno l'efficacia di analisi predittive degli incidenti finalizzate alla prevenzione.

Bibliografia

- [1] Inail, «Andamento degli infortuni sul lavoro e malattie professionali,» *Dati Inail*, vol. 8, agosto 2020.
- [2] Inail, «Banca dati Statistica,» [Online]. Available: <https://bancadattistica.inail.it/bancadattistica/>. [Consultato il giorno 29 gennaio 2021].
- [3] CAMPO G., CEGOLON L., DE MERICH D., FEDELI U., PELLICCI M., HEYMANN W.C., PAVANELLO S., GUGLIELMI A., MASTRANGELO G., «The Italian National Surveillance System for Occupational Injuries: Conceptual Framework and Fatal Outcomes, 2002–2016,» *Int J Environ Res Public Health*, 2020 Oct 20; 17(20): 7631.
- [4] Inail, «Banca Dati Sistema di sorveglianza nazionale degli infortuni mortali gravi - InforMo,» [Online]. Available: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/ricerca-e-tecnologia/area-salute-sul-lavoro/sistemi-di-sorveglianza-e-supperto-al-servizio-sanitario-nazionale/informo.html?id1=6443100306764#anchor>. [Consultato il giorno 4 febbraio 2021].
- [5] Inail, «Guida per la rilevazione e l'analisi degli eventi, modello InforMo,» [Online]. Available: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/ricerca-e-tecnologia/area-salute-sul-lavoro/sistemi-di-sorveglianza-e-supperto-al-servizio-sanitario-nazionale/informo.html?id1=6443100306817#anchor>. [Consultato il giorno 4 Febbraio 2021].
- [6] Occupational Safety & Health Administration, «Severe Injury Reports,» [Online]. Available: <https://www.osha.gov/severeinjury>. [Consultato il giorno 4 Febbraio 2021].
- [7] GOH Y.M., UBEYNARAYANA C., «Construction accident narrative classification: An evaluation of text mining techniques,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 108, pp. 122-130, 2017.
- [8] PANTHI K., AHMED S.M., «Predictive Models from Accident Reports,» *51st ASC Annual International Conference Proceedings*, 2015.
- [9] ZHANG F., FLEYEH H., WANG X., LU M., «Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques,» *Automation in Construction*, vol. 99, pp. 238-248, 2019.
- [10] CHOKOR A., NAGANATHAN N., CHONG W., ASMAR M.E., «Analyzing Arizona OSHA injury reports using unsupervised machine learning,» *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 1588-1593, 2016.
- [11] ZHONG B., PAN X., LOVE P.E., SUN J., TAO C., «Hazard analysis: A deep learning and text mining framework for accident prevention,» *Advanced Engineering Informatics*, vol. 46, 2020.