



Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale

Scuola di Dottorato in Infrastrutture e Trasporti – XXXV Ciclo

Tesi di Dottorato

Valutazione dei rischi per i lavoratori nella gestione e nel risanamento di discariche

Tutor

Prof.ssa Ing. Mara Lombardi

Dottoranda

Ing. Francesca Mauro

Matricola 1456488

Relatori

Prof. Ing. Quintilio Napoleoni

Ing. Simona Berardi (INAIL)

La presente tesi di dottorato è pubblicata con la seguente licenza d'uso



Citare come segue: Mauro, F. (2022) “Valutazione dei rischi per i lavoratori nella gestione e nel risanamento di discariche”, Tesi di dottorato, Sapienza - Università di Roma

Indice

Abstract della tesi di dottorato	V
Abstract of the PhD thesis	VII
Introduzione.....	1
Capitolo 1	5
1.1 Caratteri generali del fenomeno	5
1.2 Impatti delle discariche illecite sulla salute pubblica e sull'ambiente	8
1.3 Sistemi internazionali di classificazione	11
1.3.1 <i>Classificazione UNEP 2005</i>	11
1.3.2 <i>Classificazione UN-Habitat 2018</i>	13
1.3.1 <i>Classificazione delle discariche in Malaysia</i>	14
1.4 Classificazione italiana	15
Capitolo 2	18
2.1 Il quadro normativo di riferimento	18
2.2 Caratterizzazione delle discariche	19
2.3 Impiego delle indagini indirette	20
2.3.1 <i>Le tecniche geofisiche più comuni per la caratterizzazione delle discariche</i>	20
2.3.2 <i>Il monitoraggio degli odori</i>	23
2.4 Applicazioni delle indagini dirette.....	24
2.4.1 <i>I sondaggi geognostici</i>	25
2.4.2 <i>I piezometri</i>	27
2.4.3 <i>Il campionamento del soil-gas</i>	29
2.5 Messa in sicurezza di emergenza (MISE).....	30
2.6 Messa in sicurezza permanente (MISP).....	30
2.6.1 <i>Barriere verticali</i>	31
2.6.2 <i>Copertura superficiale</i>	33
2.7 Bonifica di discariche	34
2.7.1 <i>Stabilizzazione in situ dei rifiuti</i>	35
2.7.2 <i>Landfill mining</i>	36

Capitolo 3	40
3.1 Premessa	40
3.2 Il concetto di rischio	41
3.3 I rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori	42
3.4 Classificazione dei metodi di analisi di rischio	43
3.5 Scelta e applicabilità dei metodi di analisi del rischio	45
3.6 Diagramma di Ishikawa	47
3.7 Modello Bow-Tie per l'analisi del rischio	52
3.7.1 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	54
3.7.2 <i>Event Tree Analysis</i>	55
3.7.3 <i>Elaborazione di indicatori di rischio</i>	55
3.7.4 <i>Indicazioni per l'applicazione del modello Bow Tie alle discariche illecite</i>	56
Capitolo 4	58
4.1 La definizione di infortunio	58
4.2 L'infortunio come opportunità di miglioramento: i primi modelli di analisi	59
4.3 Il data mining per l'analisi infortunistica	62
4.4 Banche dati infortunistiche italiane	64
4.4.1 <i>Codifica ESAW degli infortuni sul lavoro</i>	66
4.5 Analisi delle schede Infor.Mo	68
4.6 Considerazioni sulle schede Infor.MO	73
4.7 Flussi informativi INAIL – Regioni. Database ad accesso riservato	74
4.8 Estrazione del primo campione di infortuni dal database INAIL	75
4.9 Screening dei dati estratti	78
4.10 Analisi della dinamica infortunistica	82
4.11 Valutazione dei rischi	86
4.11.1 <i>Matrice dei descrittori e analisi di frequenza</i>	86
4.11.2 <i>Applicazione dell'analisi cluster</i>	87
4.11.3 <i>Individuazione del predittore principale</i>	90
4.11.4 <i>Valutazione dei rischi associati al determinante "Attrezzature di lavoro"</i>	91
4.12 Misure di mitigazione dei rischi	92
4.13 Discussione dei risultati ottenuti con il database INAIL ad accesso riservato	93
Capitolo 5	95

5.1	Le attività di caratterizzazione della discarica di Donada (Veneto)	95
5.2	Il metodo ISO 45001:2018	97
5.3	Safety planning	99
5.3.1	<i>Analisi del contesto</i>	99
5.3.2	<i>Attività di caratterizzazione on-site</i>	102
5.3.3	<i>Individuazione dei pericoli</i>	103
5.3.4	<i>Individuazione dei rischi per la SSL</i>	104
5.3.5	<i>Misure per la mitigazione dei rischi</i>	107
5.4	Considerazioni sul modello proposto	109
Capitolo 6		110
6.1.	Analisi della letteratura	110
6.1.1.	<i>Il metodo HazWOpER, 29 CFR 1910.120</i>	110
6.1.2	<i>I rating systems per la sostenibilità delle costruzioni</i>	112
6.2	Documentazione progettuale disponibile presso INAIL	113
6.3	Approccio di ricerca.....	114
6.4	Analisi della sicurezza nei cantieri di risanamento di discariche	114
6.4.1	<i>Livello progettuale per l'applicazione del modello</i>	115
6.4.2	<i>Aree e criteri di valutazione del modello</i>	116
6.4.3	<i>Valutazione dei criteri e attribuzione dei punteggi</i>	118
6.4.4	<i>Punteggio complessivo di sicurezza</i>	122
6.5	Discussione del modello proposto	123
6.6	L'uso degli Smart DPI per la sicurezza dei cantieri di discarica	124
Capitolo 7		127
7.1.	Analisi di background	128
7.1.1.	<i>La valutazione di impatto sulla sicurezza stradale</i>	128
7.1.2.	<i>Impatti di un cantiere sulla viabilità stradale</i>	130
7.1.3.	<i>Modelli per l'incidentalità stradale</i>	131
7.1.4.	<i>Database a supporto delle valutazioni di incidentalità stradale</i>	132
7.2.	Approccio di ricerca.....	135
7.3.	Il caso di studio: la discarica di Malagrotta (Roma).....	137
7.4.	Risultati del lavoro di ricerca.....	138
7.4.1.	<i>Gli impatti del cantiere sulla sicurezza stradale</i>	138

7.4.2. <i>La gestione del rischio incidenti</i>	141
7.5. Considerazioni finali	148
Conclusioni.....	151
Ringraziamenti	155
Appendice A.....	156
Appendice B	157
1. Definizione di infortunio	157
2. La classificazione ATECO	157
3. La classificazione “voce di Tariffa INAIL”	160
4. Il mansionario INAIL	160
5. I codici delle variabili infortunistiche nel dataset INAIL-Regioni ad accesso riservato	161
6. La matrice dei descrittori	169
Appendice C	173
1. Prime indicazioni in materia di salute e sicurezza sul lavoro	173
Appendice D.....	174
1. Metodologia di raccolta delle informazioni del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche	174
2. Open Data di Roma Capitale	175
3. Matrice dei descrittori per gli Open Data di Roma Capitale	177
Bibliografia.....	182
Riferimenti normativi.....	195
Indice delle figure.....	197
Indice delle tabelle	199

Abstract della tesi di dottorato

Nonostante gli sforzi internazionali degli ultimi anni tesi a promuovere lo sviluppo di modelli di economia circolare orientati a una riduzione crescente dei rifiuti, in tutto il mondo lo smaltimento dei rifiuti per mezzo di discariche costituisce ancora una pratica molto diffusa, con inevitabili impatti sia sull'ambiente sia sulla salute pubblica. Basti pensare che alla Sesta Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute (Conferenza di Ostrava – giugno 2017) organizzata dal Dipartimento Europeo dell'Organizzazione Mondiale della Sanità i rifiuti sono stati dichiarati una priorità da attenzionare per il raggiungimento dello sviluppo sostenibile.

Nel nostro Paese, nonostante la presenza di un complesso esteso di norme atte a garantire la corretta gestione dei rifiuti e la sicura progettazione delle discariche, negli ultimi anni si è diffuso il fenomeno delle discariche illecite, costituendo così una priorità nazionale.

Dal punto di vista ambientale il problema del risanamento delle discariche è stato oggetto di numerosi interventi normativi e di diverse ricerche scientifiche. Al contrario, per la salute e la sicurezza dei lavoratori impegnati nelle attività di risanamento/gestione di discariche il legislatore e la comunità scientifica internazionale non hanno mai fornito procedure specifiche per tale settore.

Pertanto, con l'obiettivo di definire specifici modelli di analisi dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori è stato sviluppato il presente lavoro di tesi. Tale lavoro è il frutto di una proficua collaborazione scientifica tra l'Università e il Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici (DIT) dell'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), che da diversi anni svolge un'attività di consulenza tecnico scientifica in materia di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori sui progetti di risanamento di siti contaminati compresi nei Siti di Interesse Nazionale, redatti ex art. 242 D.Lgs. 152/2006. La collaborazione ha previsto anche un'esperienza di tirocinio presso l'INAIL per analizzare documentazione e dati ad accesso riservato sulla tematica, utili a sviluppare modelli di analisi di rischio con approcci *data driven*.

Tanto premesso, la tesi risulta organizzata come segue. Nei primi tre capitoli sono forniti i risultati dell'attività di ricerca bibliografica condotta nel primo anno, finalizzata a definire i caratteri generali del fenomeno dell'*illegal dumping*, i suoi impatti sull'ambiente e la salute pubblica, gli interventi condotti in situ per il risanamento delle discariche e i principali metodi di analisi del rischio, utilizzati in svariati contesti per le valutazioni di sicurezza (ivi comprese quelle riguardanti le infrastrutture stradali).

A partire dal capitolo 4 sono illustrati i risultati delle attività di carattere sperimentale/applicativo condotte nel secondo e terzo del percorso dottorale. In particolare, nel capitolo 4, sono mostrati i risultati di un lavoro di analisi infortunistica condotto su due banche dati INAIL (Infor.MO e Flussi Informativi INAIL – Regioni ad accesso riservato), caratterizzate da una diversa organizzazione delle informazioni infortunistiche, che ha permesso di individuare i principali rischi per la sicurezza dei lavoratori nella gestione di discariche.

Nei capitoli 5 e 6, invece, sono mostrati i risultati relativi allo sviluppo di modelli specifici per l'analisi e la gestione dei rischi rispettivamente nelle attività di caratterizzazione e risanamento di discariche. Infine, nel capitolo 7 viene sviluppato un modello di analisi e gestione degli impatti causati da un cantiere di risanamento di una discarica sulla sicurezza stradale del contesto territoriale entro il quale il cantiere stesso si inserisce.

Complessivamente, l'elaborato di tesi fornisce la base di partenza per una valutazione scientifica dei rischi per gli operatori addetti ad attività di gestione e risanamento di discariche, a partire dalla letteratura di settore e dalla documentazione progettuale e infortunistica oggi disponibile. Tuttavia, mette in luce anche i potenziali margini di miglioramento della ricerca in questo settore, correlati principalmente alle modalità di classificazione del fenomeno dell'*illegal dumping*, all'organizzazione degli infortuni sul lavoro, e alla difficile standardizzazione degli interventi e dei processi di lavoro previsti per il risanamento o la gestione di una discarica.

Si ritiene che le considerazioni sviluppate in questa tesi possano quindi diventare fondamentali per promuovere il progresso scientifico della materia, utile da un lato a promuovere una migliore pianificazione territoriale e dall'altro lato a consentire una più accorta progettazione di nuove infrastrutture di trasporto, nei casi di possibile interferenza.

Abstract of the PhD thesis

Even though the international efforts to promote circular economy models aimed to prevent waste production, landfilling still remains an important way of waste disposal throughout the world, with inevitable impacts on both environment and public health. Just to illustrate this concept, the Sixth Ministerial Conference on Environment and Health (Ostrava Conference - June 2017) organized by the European Department of the World Health Organization declared waste a priority to be addressed in order to achieve sustainable development.

In Italy, despite the extensive legal framework to guarantee correct waste management and safe planning of landfills, the phenomenon of illegal dumping has spread out in recent years, thus constituting a national priority.

The issue of landfill remediation has been considered by several regulations and scientific researches from an environmental point of view. On the contrary, the legislator and the international scientific community have never provided specific procedures for the health and safety of workers involved in landfill remediation/management activities.

Therefore, with the aim of defining specific risk analysis models for the health and safety of workers, this PhD thesis was developed. Such research work can be considered the result of a scientific collaboration between Sapienza University of Rome and the Department of Technological Innovations and Safety of Plants, Products and Anthropogenic Settlements (DIT) of the National Institute for Insurance against Accidents at Work (INAIL). In fact, DIT-INAIL has carried out a technical consultancy activity on the OHS risks for workers involved in contaminated sites management for 20 years, by evaluating the remediation projects for those sites included in the Sites of National Interest list. The collaboration also included an internship experience at INAIL to assess restricted access data on the subject, used for developing risk analysis models through data driven approaches.

Considering the above-mentioned goals, the thesis was organized as follows. The first three chapters provide the results of the bibliographic research carried out in the first year and aimed at defining the general characteristics of the phenomenon of illegal dumping, its impacts on the environment and public health, in situ works for landfill remediation and main methods for risk analysis (including those ones addressed to road infrastructures).

Starting from chapter 4, the results of the experimental activities carried out in the second and third of the PhD course are illustrated. In particular, chapter 4 shows the results of an accident analysis developed on two INAIL databases (Infor.MO and INAIL restricted

access database), characterized by a different organization of accident information. Such research work allowed to identify the main risks for the safety of workers in landfill management.

On the other hand, chapters 5 and 6 show the results related to the development of specific models for the analysis and management of risks, respectively, in the characterization and remediation of landfills.

Finally, chapter 7 shows a model to assess and manage impacts for road safety, caused by a landfill site.

Overall, the PhD thesis can be considered a step forward to a scientific assessment of the risks for operators involved in landfill management and remediation activities, starting from literature and Italian data currently available. However, it brings to light potential improvements to achieve in this field, mainly related to a different classification of illegal dumping, to a new organization of accident data and to the standardization of working processes of landfill remediation and management, which is a real challenge.

The results achieved may be useful on the one hand to promote a better territorial planning and on the other hand to design safe transport infrastructures in cases of potential interference with landfills.

Per non dimenticare...

Il 30 aprile 2014 moriva il sostituto commissario Roberto Mancini (53 anni), dopo una battaglia di 12 anni contro il tumore (il linfoma di Hodgkin) che lo aveva colpito. Un male che aveva contratto indagando sulle terre contaminate dai rifiuti tossici e radioattivi tra la Campania e il Lazio, anticipando di circa 15 anni il disastro ambientale e sanitario della Terra dei Fuochi.

Infatti, le indagini di Mancini iniziano negli anni '90 su imprenditori, broker finanziari, trasportatori etc. per ricostruire i traffici illeciti di rifiuti tra Nord e Sud Italia, quando ancora non esisteva una regolamentazione europea delle spedizioni dei rifiuti. Nel 1996 il sostituto commissario consegna un'informativa alla Procura di Napoli sull'intensa attività di lavoro, costituita da pedinamenti, intercettazioni, dichiarazioni di pentiti e nomi delle Aziende coinvolte nel traffico di rifiuti, che sarà presa in considerazione soltanto nel 2011. Sarà il Pubblico Ministero Alessandro Milita a metterla agli atti del processo per disastro ambientale e inquinamento delle falde acquifere in Campania. Un processo che porterà alla condanna anche dell'avvocato Cipriano Chianese, principale intermediario tra le aziende e la cosca dei casalesi, ma al quale Mancini non potrà mai partecipare...

Nonostante fosse noto il nesso causale tra la malattia e il servizio lavorativo svolto (il Ministero degli Interni nel 2002 riconobbe la causa di servizio), a Mancini lo Stato diede soltanto un indennizzo di cinquemila euro, negandogli nel luglio 2013 un'ulteriore somma. Durante le celebrazioni del 163° anniversario della fondazione della Polizia, il 15 Maggio 2015, alla figlia Alessia venne consegnata la medaglia d'oro al valor civile alla memoria di Mancini:

“Per l’essersi prodigato, nell’ambito della lotta alle ecomafie, con straordinario senso del dovere ed eccezionale professionalità nell’attività investigativa per l’individuazione nel territorio campano, di siti inquinati da rifiuti tossici illecitamente smaltiti.

L’abnegazione e l’incessante impegno profuso, per molti anni, nello svolgimento delle indagini gli causavano una grave patologia che ne determinava prematuramente la morte.

Mirabile esempio di spirito di servizio e di elette virtù civiche, spinti fino all’estremo sacrificio”

(Presidenza della Repubblica)

Questa tesi di dottorato è pertanto dedicata a tutti quei “Roberto Mancini” che ogni giorno lavorano per la tutela della collettività e con inestimabile spirito di servizio al contrasto del fenomeno delle discariche illecite. Perché non siano considerati “Uomini a perdere”, ma siano costantemente tutelati nello svolgimento delle proprie attività lavorative.

Francesca Mauro

Introduzione

Nonostante l'esteso complesso di norme per garantire la corretta progettazione e gestione delle discariche (*in primis* il D.Lgs. 36/2003, con cui è stata recepita la Direttiva 1999/31/CEE e da ultimo il D.Lgs. 121/2020 che ha recepito la direttiva 2018/850/UE), nel nostro Paese le discariche illecite hanno da sempre rappresentato un serio problema per l'uomo e l'ambiente.

Nel 1986 il primo censimento delle discariche da parte del Corpo Forestale dello Stato (CFS) rivelò l'esistenza in Italia di 5978 discariche in 6890 comuni italiani, con una superficie media di 2600 m². Nel 1996 un secondo censimento del CFS permise di accertare l'esistenza di 5422 discariche abusive in 6802 comuni e nel 2002 furono catalogate ancora 4.866 discariche illegali, 1.765 delle quali non figuravano nei precedenti studi.

Con la sentenza del 2 dicembre 2014 la Corte di Giustizia Europea ha condannato l'Italia al versamento di una penalità semestrale di circa 40 milioni di euro per la mancata bonifica di 200 siti, diminuita in funzione del numero di discariche messe a norma conformemente alla medesima sentenza nei vari semestri.

Quindi, nel nostro Paese il fenomeno delle discariche illecite rappresenta una problematica molto seria, caratterizzata da forte frammentazione. Tuttavia, informazioni sconcertanti provengono anche da altri Paesi (europei ed extraeuropei), dando al fenomeno un carattere globale. Infatti, nel 2009 in Europa si accertava la presenza di almeno 3286 discariche abusive per rifiuti non pericolosi (Watkins, 2015); nel 2018 la Banca Mondiale evidenziava che almeno il 90% del sistema di smaltimento dei rifiuti solidi dei Paesi Poveri era rappresentato da discariche a cielo aperto.

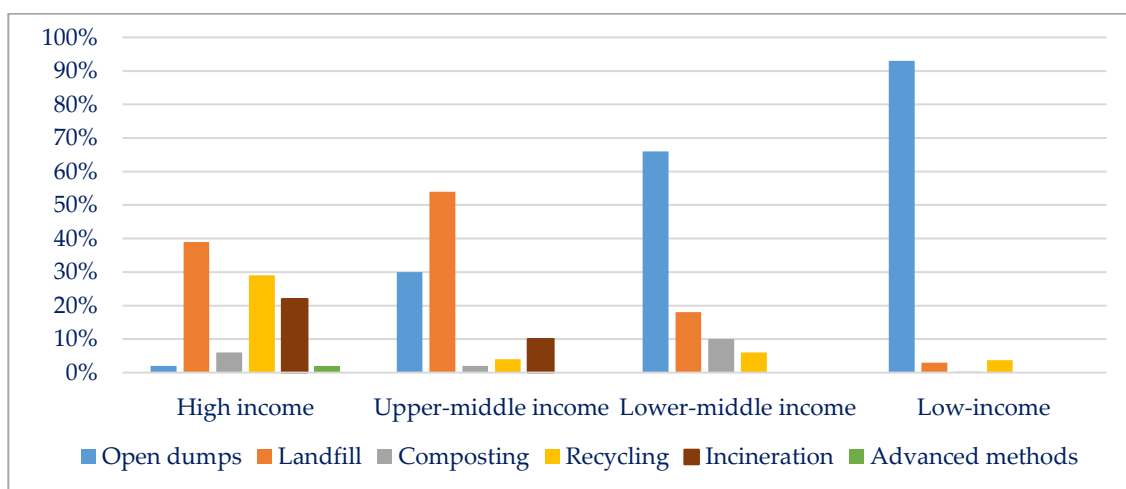


Figura 1. Smaltimento dei rifiuti solidi nel mondo (elaborazione eseguita su dati WBG, 2018)

Alla Sesta Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute (Conferenza di Ostrava – giugno 2017) organizzata dal Dipartimento Europeo dell’Organizzazione Mondiale della Sanità, rifiuti e siti contaminati sono stati dichiarati una priorità per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile di cui all’Agenda 2030. Infatti, in Europa lo smaltimento illegale di rifiuti urbani e industriali contribuisce alla contaminazione del suolo e delle falde acquifere in circa il 38% dei siti contaminati (Fazzo et al., 2020).

Riconosciuta l’urgenza di intervenire a livello internazionale, diversi programmi sono stati varati per fornire linee guida sulla gestione del fenomeno. A titolo illustrativo, in Italia il Ministero della Transizione Ecologica ha dedicato la Linea di Azione L6 del Progetto “Mettiamoci in Riga!” finanziato con fondi PON Governance 2014-2020 proprio alla *“Standardizzazione dei procedimenti per la messa in sicurezza permanente/bonifica di discariche ai criteri dettati dalla Commissione Europea per la conclusione dei procedimenti nei casi non conformi alla direttiva sui rifiuti”*. In tale progetto, tutt’ora in corso, sono coinvolte diverse istituzioni, tra cui l’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, che contestualmente porta avanti un progetto di revisione dei criteri di redazione dell’analisi di rischio sanitaria ambientale nei siti contaminati, e l’Ufficio del Commissario Straordinario per la Bonifica delle Discariche Abusive, istituito nel 2017 con il compito di coordinare l’attuazione degli interventi richiesti per le discariche in infrazione europea.

Mentre con riferimento alle problematiche ambientali del fenomeno si rileva la presenza di un contesto normativo e di ricerca scientifica piuttosto approfonditi, non è possibile affermare lo stesso, considerando la gestione delle problematiche di salute e sicurezza dei lavoratori addetti alle attività di risanamento di discariche. A livello europeo, la Direttiva 89/391/CEE (recepita nel nostro ordinamento con il D.Lgs. 81/2008) ha definito un quadro omogeneo per la valutazione e la gestione dei rischi nei luoghi di lavoro, ma non ha previsto procedure specifiche per contesti con condizioni al contorno altamente imprevedibili, quali le discariche, lasciando l’opportunità o meno ai governi nazionali di integrare specifiche indicazioni per la tutela della sicurezza sul lavoro in tali contesti.

Preso atto di tale lacuna normativa, nel 2018 in Italia il Dipartimento Innovazione Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici (DIT) di INAIL ha avviato un progetto di ricerca sulla tematica per il tramite del Laboratorio IX. Considerata poi l’importanza del tema anche per la pianificazione dei trasporti e del territorio, alla luce degli obiettivi sullo sviluppo sostenibili stabiliti nell’Agenda 2030, il DIT-INAIL ha ritenuto opportuno proseguire tali attività di ricerca nel 2019 attraverso il finanziamento di un dottorato presso la Scuola di Infrastrutture e Trasporti dell’Università La Sapienza di Roma, dal titolo *“Valutazione dei rischi per i lavoratori nella gestione e*

nel risanamento di discariche, compresi i rischi di interferenza connessi alla realizzazione di infrastrutture viarie”.

Pertanto, il principale obiettivo della presente tesi di dottorato è di fornire un contributo scientifico per il *safety assessment & management* delle attività di gestione e risanamento di discariche, in accordo al tema promosso dall'INAIL. Tuttavia, si ritiene opportuno sottolineare che nell'ambito della presente tesi di dottorato non è stato possibile affrontare il tema della valutazione dei rischi interferenziali, non essendo ad oggi disponibili in forma pubblica i documenti di casi studio sui quali sia possibile sviluppare specifici modelli di analisi di rischio. Anche grazie al confronto con esponenti delle principali società italiane di gestione delle reti infrastrutturali di trasporto (Anas, Italferr etc.), si è visto che tale attività di ricerca presenta numerose criticità per la mancanza di una mappa completa delle discariche illecite sul territorio italiano e, soprattutto, per il risvolto penale associato alla scoperta di una discarica abusiva o di un deposito di rifiuti illecito. È noto, infatti, che il legislatore italiano negli articoli 192 e 256, comma 3, del Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152 ha qualificato tali eventi come fattispecie di reato, che secondo la normativa vigente richiedono la segretezza delle informazioni per tutta la durata del procedimento penale (finalizzato ad accertare le responsabilità delle persone fisiche e/o giuridiche eventualmente coinvolte).

Pertanto, per le motivazioni sopra riportate e previa intesa con l'INAIL e il Collegio dei Docenti della Scuola di Dottorato, la tesi è stata sviluppata focalizzando l'attenzione sull'analisi e valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori nelle attività di gestione e risanamento di discariche, includendo una valutazione dell'impatto del cantiere di bonifica sulla sicurezza stradale del contesto territoriale entro il quale si inserisce.

A tal proposito, l'elaborato risulta organizzato come segue. Nel Capitolo 1 sono spiegati i caratteri generali del fenomeno dell'*illegal dumping*, in termini di cause e luoghi, i suoi impatti sull'ambiente e la salute pubblica e i relativi sistemi di classificazione, attualmente disponibili. Nel Capitolo 2 è invece fornito un *excursus* sugli interventi attualmente condotti per il risanamento delle discariche, con particolare riferimento alle fasi di caratterizzazione e bonifica/messa in sicurezza condotte in situ. La trattazione prosegue con un *focus* nel Capitolo 3 sui metodi di analisi del rischio, utilizzati in svariati contesti per le valutazioni di sicurezza (ivi comprese quelle riguardanti le infrastrutture stradali). Nel Capitolo 4 sono poi illustrati i risultati di un lavoro di analisi infortunistica condotto con riferimento alla gestione delle discariche per individuare i principali rischi per la sicurezza dei lavoratori in questo particolare contesto. I Capitoli 5 e 6 riguardano l'analisi e la gestione dei rischi rispettivamente nelle attività di caratterizzazione e risanamento di discariche illecite. Infine, il Capitolo 7 fornisce un *focus* sull'analisi e la

gestione degli impatti del cantiere di bonifica sulla sicurezza stradale del contesto territoriale entro il quale si inserisce.

Capitolo 1

Caratteristiche delle discariche illecite

1.1 Caratteri generali del fenomeno

Con l'espressione "illegal dumping"¹, l'Autorità di Protezione Ambientale Statunitense (E.P.A.) individua l'insieme di attività che comportano lo scarico, il rilascio o il deposito sul suolo di materiale di scarto, in luoghi dove tali attività non sono consentite da una concessione o un'autorizzazione (E.P.A., 2015). Come evidenziato dalla letteratura scientifica di settore, la maggior parte degli scarichi illeciti avvengono per lo smaltimento di Rifiuti Solidi Urbani (RSU), soprattutto nei Paesi in via di sviluppo. Negli anni Duemila in Thailandia le discariche a cielo aperto hanno costituito il sistema di smaltimento degli RSU per più del 60% (Chiemchaisri et al., 2007); in Vietnam circa il 76-82% del totale di RSU è stato smaltito attraverso discariche, spesso senza alcuna forma di controllo delle emissioni inquinanti (Duc Luong et al., 2013). Tuttavia, dati allarmanti riguardano anche i Paesi industrializzati: solo negli anni 2007-2009 nell'Unione Europea sono state censite almeno 3286 discariche abusive per rifiuti non pericolosi (Watkins, 2015).

Anche il numero di discariche illecite riempite con rifiuti speciali, contenenti metalli pesanti e altre sostanze ad elevata tossicità, non risulta trascurabile. Per esempio, l'elevata produzione di rifiuti derivanti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) a livello globale (Kumar et al., 2017), che negli Stati in via di sviluppo è destinata a raddoppiare quella degli altri Paesi nei prossimi 6-8 anni (Galapati, 2016), ha determinato la creazione di discariche a cielo aperto soprattutto in Africa e in Asia. Anche i rifiuti derivanti dal settore sanitario vengono spesso abbandonati nell'ambiente senza alcun trattamento di sterilizzazione: in Nigeria il 66% degli addetti alla raccolta dei rifiuti smaltisce questi materiali indistintamente con gli RSU ed è spesso soggetto a infezioni virali, quali l'epatite B o C. In Cisgiordania uno studio ha dimostrato che l'82,2% dei rifiuti sanitari è smaltito in discariche abusive, dove le precauzioni per il trasporto e la raccolta sono pressoché assenti (Ferronato & Torretta, 2019). Altrettanto importante è il numero di depositi illeciti di rifiuti derivanti dagli interventi di demolizione e

¹ "Waste materials that have been dumped, tipped or otherwise deposited onto land where no licence or approval exists to accept such waste. Illegal dumping varies from small bags of rubbish in an urban environment to larger scale dumping of waste materials in isolated areas, such as bushland" (EPA, 2015)

ricostruzione di strutture (rifiuti C&D), spesso caratterizzati dalla presenza di fibre di amianto, metalli pesanti (soprattutto mercurio), collanti e sostanze altamente corrosive.

In letteratura, sono state individuate diverse cause del fenomeno (fig. 1.1):

1. la mancanza di pene severe e certe per i trasgressori. In Serbia (Šedová, 2016) e in Giappone (Ichinose & Yamamoto, 2011), l'esiguo valore delle multe immediate non è stato ritenuto un valido deterrente allo sviluppo di sistemi di smaltimento illeciti dei rifiuti. Allo stesso modo, in Romania la scarsa applicazione delle leggi da parte delle autorità locali ha favorito lo sviluppo di discariche illecite per rifiuti C&D (Mihai, 2019);
2. il costo elevato per lo smaltimento dei rifiuti. Nella città di Prestons in Australia il prezzo per lo smaltimento dei rifiuti varia da 107.20 \$/ton per i residui organici a 200 \$/ton per i residui di materiale C&D, fino a 250 \$/ton per le plastiche. Inoltre, se sono trovati materiali contenenti amianto il costo di smaltimento può salire fino a 300 \$/ton. Chiaramente, un prezzo così alto per lo smaltimento dei rifiuti incentiva gli scarichi irregolari, a costo zero (Crofts et al., 2010);
3. la mancanza di strutture adeguate per smaltire i rifiuti. Tale aspetto risulta cruciale in tutto il mondo: se le comunità non hanno accesso a servizi di raccolta e smaltimento dei rifiuti tendono ad abbandonare i rifiuti lungo le strade, in aree industriali desolate etc. definendo il fenomeno del "fly-tipping"² (Webb et al., 2006; EFFACE, 2012);
4. la mancanza di forme di controllo del fenomeno a scala locale e internazionale. A scala locale, il territorio deve essere monitorato: ciò consente da un lato di identificare i colpevoli di attività illecite e dall'altro lato evita la diffusione dell'idea che le aree libere siano "terra di nessuno", dove chiunque può fare ciò che vuole. A tal proposito, sistemi di videosorveglianza e recinzioni sarebbero forme essenziali di prevenzione del crimine (Crofts et al., 2010).

A livello internazionale, accordi di cooperazione cogenti per tutti gli stati sono necessari per sventare i traffici illeciti di rifiuti. La Convenzione di Basilea del 1993 è stato il primo passo in questa direzione, ma non ha avuto effetti considerevoli per la prevenzione di tale crimine in tutto il mondo (Lambrechts & Hector, 2016);

5. la mancanza di una forte coscienza ambientale. La chiave per sviluppare un sistema sostenibile di smaltimento dei rifiuti risiede anche nella capacità dei governi di migliorare la consapevolezza pubblica sui problemi connessi a una cattiva gestione dei rifiuti (Hasan, 2011);

² Differisce dall'illegal dumping perché non prevede una serie di azioni prodromiche allo smaltimento dei rifiuti nel suolo

6. lo stato di povertà della popolazione. Una ricerca giapponese sul flusso dei rifiuti derivanti da elettrodomestici ha dimostrato quanto sia diffusa la pratica dello smaltimento illecito soprattutto tra chi non ha una fonte di reddito (Matsumoto & Tacheuchi, 2011);
7. le restrizioni determinate dalla Direttiva Europea 1999/31/CE. Se da un lato tale direttiva ha incentivato lo sviluppo di un modello sostenibile di discarica, dall'altro lato ha richiesto la movimentazione di ingenti risorse economiche per la messa a norma delle discariche esistenti. Così, il numero delle discariche illecite in Europa è aumentato sempre più fino a richiedere per alcuni Stati membri (tra cui Italia e Grecia) l'apertura di procedure d'infrazione, con il pagamento di sanzioni economiche elevate;
8. le organizzazioni criminali. Negli anni Novanta, il ritrovamento di circa 11 milioni di tonnellate di rifiuti pericolosi sepolti in diverse aree italiane ha permesso di scoprire il coinvolgimento di gruppi mafiosi nel settore dello smaltimento dei rifiuti, ritenuto fortemente redditizio (Walters, 2012). Tra la fine del secolo scorso e i primi anni Duemila la realizzazione di depositi illeciti di rifiuti ha riguardato anche molti paesi africani, dove, attraverso la criminalità organizzata, diverse aziende europee hanno smaltito in modo illecito i propri rifiuti: nel 1987 una compagnia italiana scaricò materiale altamente tossico in un'area residenziale di Koko in Nigeria; nel 2006 vicino Abidjan, in Costa d'Avorio, circa 500 tonnellate di rifiuti chimici furono abbandonate in modo illecito da una azienda greca (Lambrechts & Hector, 2016).

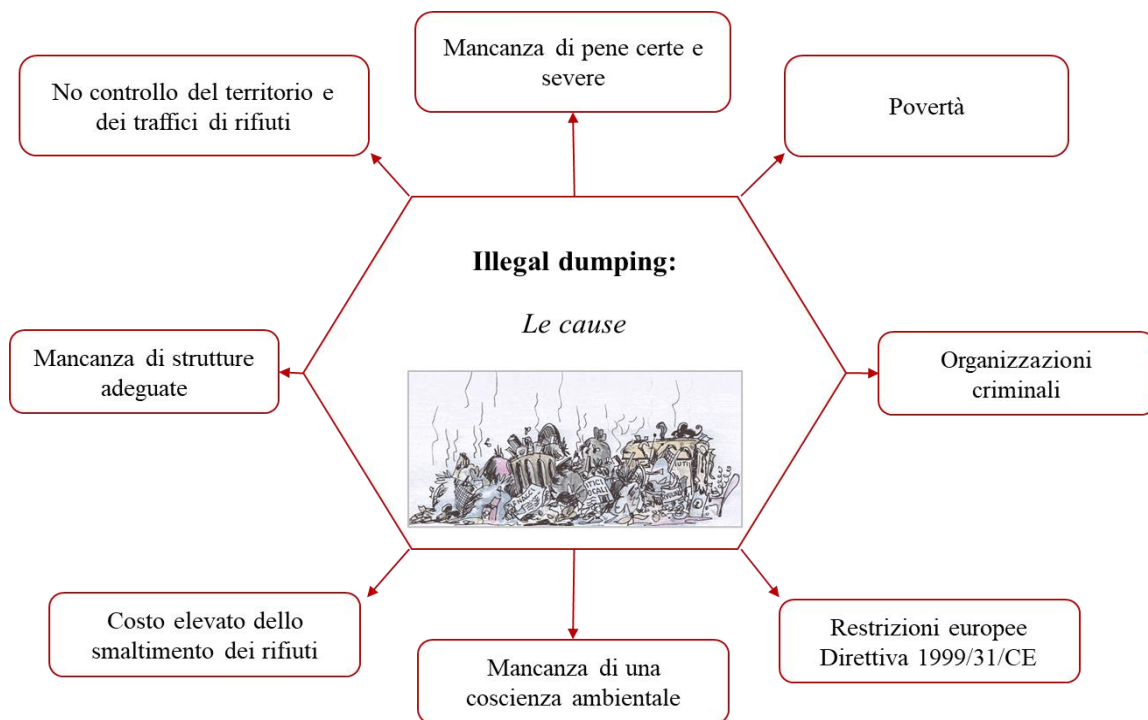


Figura 1.1. Schema di sintesi delle cause dell'illegal dumping

La posizione delle discariche illecite è generalmente correlata alle caratteristiche del sistema di gestione dei rifiuti solidi e alle condizioni di vita delle comunità urbane (Malinowski et al., 2015). Di frequente i rifiuti solidi sono abbandonati in luoghi isolati, come aree boschive, lotti rurali o terreni privati non recintati, o vicino a corsi d'acqua, in aree golenali o paludose, o nei pressi di infrastrutture stradali o di impianti per la gestione di rifiuti. Nella regione orientale della Campania, soprannominata “Il triangolo della morte” (Senior & Mazza, 2004), rifiuti tossici e materiale radioattivo furono ritrovati nei campi coltivati, all'interno di rilevati stradali e nei cantieri edili.

Se nei paesi industrializzati i depositi illeciti di rifiuti vengono creati in aree isolate e difficilmente raggiungibili, nei paesi in via di sviluppo sono localizzati a ridosso degli insediamenti urbani, con gravi conseguenze per la salute umana. In molti paesi poveri, la discarica “a cielo aperto” è vista anche come una fonte di approvvigionamento di materie prime, rivendibili poi sul mercato interno. Pertanto, è considerata un “posto di lavoro” per tanti addetti alla raccolta di rifiuti³, che molto spesso ignorano le condizioni assolutamente non sicure di tale ambiente per sfamare la famiglia (O' Hare, 2019).

1.2 Impatti delle discariche illecite sulla salute pubblica e sull'ambiente

Come schematizzato in fig. 1.2, qualsiasi discarica presenta emissioni di sostanze pericolose nell'ambiente, sottoforma di gas, percolato e polveri (Limoli et al., 2019). I fattori che influenzano la quantità di emissioni sono la tipologia e la quantità di rifiuti depositati, l'età della discarica, le condizioni climatiche del sito, la quantità iniziale di ossigeno tra i rifiuti, la temperatura e l'umidità del corpo discarica (ATSDR, 2008; Njoku et al., 2019).

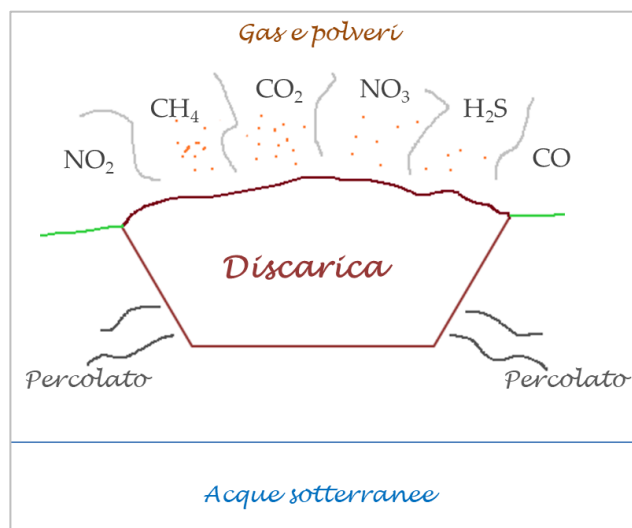


Figura 1.2. Emissioni provenienti da una discarica

³ In inglese sono chiamati *waste scavengers*: sono coloro che scavano nei depositi a cielo aperto per recuperare materiali riutilizzabili in altro modo.

Le emissioni gassose dipendono principalmente dai processi di degradazione biologica e chimica che avvengono all'interno del corpo discarica nel corso degli anni, i quali conducono, complessivamente, alla stabilizzazione della struttura. Con riferimento alla degradazione biologica dei rifiuti (fig. 1.3), è possibile individuare le seguenti fasi (Vallero & Blight, 2019):

1. fase iniziale: coincide con il deposito dei rifiuti nel sito. In questa fase la presenza di ossigeno (O_2) nei vuoti interstiziali dei rifiuti diminuisce progressivamente per via della degradazione aerobica della sostanza organica;
2. fase di transizione: è la fase in cui la concentrazione di O_2 decresce rapidamente e si sviluppano anche microorganismi in grado di consumare la sostanza organica con un processo anaerobico. Pertanto, in questa fase comincia la degradazione di nitrati e solfati, che rendono acido l'ambiente della discarica;
3. formazione degli acidi: in questa fase la completa assenza di ossigeno determina l'instaurarsi solo di processi anaerobici, che comportano la produzione sia di gas (NO_x , SO_x , H_2S) sia di percolato in funzione del contenuto di acqua del cumulo dei rifiuti;
4. fermentazione del metano: i prodotti intermedi delle reazioni di formazione degli acidi vengono trasformati in metano (CH_4) e anidride carbonica (CO_2) dai microrganismi metanogeni;
5. stabilizzazione dei rifiuti: in questa fase l'attività microbiologica lentamente scompare e resta costante la quantità di gas presenti in discarica.

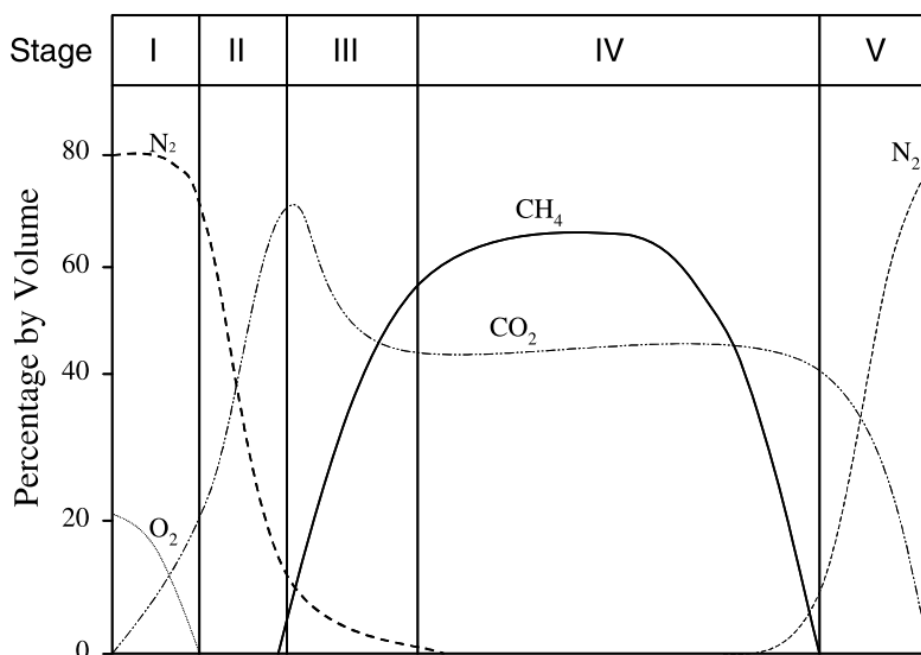


Figura 1.3. Composizione del gas in discarica durante le cinque fasi (Bove & Lunghi, 2006)

Le discariche sono ritenute la più grande fonte di emissioni di gas a effetto serra: in particolare, contribuiscono ad aumentare la concentrazione in atmosfera di metano (CH₄) (Kumar et al., 2004), anidride carbonica (CO₂) e monossido di carbonio (CO), per via del processo di degradazione anaerobica della sostanza organica presente tra i rifiuti. La presenza di focolai tra i rifiuti può contribuire sensibilmente all'aumento di tali emissioni con conseguente rilascio di sostanze volatili pericolose: basti pensare all'esempio della Terra dei Fuochi in Campania, nel Sud Italia. Pertanto, uno dei principali impatti delle discariche sull'ambiente è il cambiamento climatico a scala locale con intensità variabile in funzione della presenza o meno di strutture di controllo e del potenziale sviluppo di incendi.

Sempre come conseguenza del rilascio di sostanze inquinanti nell'ambiente, nei dintorni di una discarica è possibile osservare variazioni della biodiversità, della flora e della fauna locali. In generale, la produzione di ossidi di azoto (soprattutto NO₃ e NO₂) e di biossido di zolfo (SO₂) in atmosfera determina l'acidificazione delle precipitazioni (Sudalma et al., 2015), che può comportare sensibili cambiamenti sulla riproduzione della vegetazione anche ad elevate distanze dal sito (Boningari & Smirniotis, 2016). Inoltre, una discarica rappresenta un luogo di attrazione di gabbiani, serpenti, ratti, insetti etc. che, oltre a cibarsi di rifiuti biodegradabili, possono cacciare le specie animali autoctone più deboli.

Non meno importanti risultano gli effetti di una discarica sulla salute pubblica: a tal proposito, la letteratura epidemiologica sul tema può fornire un supporto alla comprensione degli effetti devastanti sull'uomo associati a forme illecite di smaltimento dei rifiuti.

Diversi studi riportano incrementi del rischio di tumore ai polmoni, alla vescica, alla prostata e all'utero, nonché numerosi casi di leucemia e malformazioni, soprattutto con riferimento a comunità di persone residenti vicino a siti contaminati da rifiuti pericolosi (Fazzo et al., 2014; Goldberg et al., 1995; Greiser et al., 1991; Griffith et al., 1989)(Goldberg, M.S.; Homsy, N.A.; Goulet, L; Riberdy, 1995; Greiser, E.; Lotz, I.; Brand, H.; Weber, 1991; Griffith, J.; Duncan, R.C.; Riggan, W.B.; Pellom, 1989). Tra gli effetti meno gravi sulla salute umana vengono segnalati la mancanza di coordinazione motoria, mal di testa, nausea e vomito per continua inalazione di CH₄ (HPA, 2011), nonché bronchite, asma, infezioni respiratorie per esposizione prolungata a ossidi di zolfo e azoto.

Tuttavia, è altresì noto che la maggior parte degli studi epidemiologici ad oggi disponibili (prevalentemente di epidemiologia descrittiva o trasversale) non permette di stabilire in maniera univoca un nesso di causalità tra determinanti dell'inquinamento e effetti sulla salute umana (Comba et al. 2006; Manzoli et al., 2008).

Dalla degradazione anaerobica dei rifiuti organici, in presenza di materiale contenente zolfo (come gesso e cartongesso), si sprigiona anche il solfuro di idrogeno (H₂S), pericoloso perché incolore e facilmente infiammabile. La presenza di una discarica è segnalata soprattutto da questo gas: ha l'odore di un uovo marcio e rende l'atmosfera del sito assolutamente sgradevole all'olfatto. La continua inalazione di questo gas da parte dell'uomo genera problemi al sistema nervoso centrale e respiratorio (Li & Moore, 2008).

1.3 Sistemi internazionali di classificazione

Sebbene il fenomeno delle discariche abusive costituisca una minaccia per la salute umana e la salvaguardia degli ambienti naturali in tutto il mondo, non esiste un unico di classificazione. Infatti, l'estrema eterogeneità con cui si manifesta ha portato i vari Paesi a definire proprie classificazioni, che tengono conto di molteplici fattori (presenza di impianti per la raccolta e il trattamento del biogas e del percolato, compattazione e separazione dei rifiuti, condizioni al contorno etc.). In questo paragrafo, sono passati in rassegna alcuni sistemi di classificazione che si prestano a un'interpretazione globale del fenomeno.

1.3.1 Classificazione UNEP 2005

Nel 2005 con il Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) è stato sviluppato un sistema di classificazione che distingue le seguenti tipologie di discariche: discariche a "cielo aperto", discariche controllate e discariche sanitarie⁴(UNEP, 2005).

Le discariche "a cielo aperto" rappresentano le strutture più pericolose per l'uomo e l'ambiente, dal momento che sono realizzate in luoghi assolutamente non idonei allo smaltimento dei rifiuti e senza alcun sistema di prevenzione e protezione dagli impatti negativi (Fig. 1.4). Infatti, non sono dotate di impianti di raccolta e trattamento del percolato e del biogas e non presentano barriere di isolamento al fondo e superficiale. Inoltre, i rifiuti sono accumulati senza essere sottoposti a trattamenti preliminari di stabilizzazione (chimica, fisica e biologica) e riduzione volumetrica (compattazione) e senza essere differenziati per categoria. La totale mancanza di informazioni in merito alle caratteristiche dei rifiuti e dei processi in atto nella discarica contribuiscono a incrementare i rischi per la salute e la sicurezza di chiunque si trovi nel sito.

⁴ In inglese rispettivamente: *open dumps*, *controlled dumps* e *sanitary landfills* (UNEP, 2005)



Figura 1.4 Discarica a "cielo aperto"

Per discarica controllata si intende invece una struttura realizzata in luoghi idonei a ricevere rifiuti, ma con carenze dal punto di vista operativo e gestionale. Generalmente queste strutture non presentano una suddivisione in celle, ma sono contraddistinte dalla presenza, almeno parziale, di impianti per la raccolta di gas e percolato, che tuttavia risultano in cattive condizioni. I rifiuti conferiti in questa discarica sono soggetti a forme di controllo basilari e sono coperti con un sottile strato di terreno (cd. copertura giornaliera) che permette di evitare la fuoriuscita di organismi patogeni.

Con l'espressione discarica sanitaria si considera un sistema progettato e costruito per contenere i rifiuti in modo tale da minimizzare gli impatti sulla salute pubblica e sull'ambiente. A differenza delle altre due tipologie, tale discarica deve essere accuratamente progettata durante tutto il suo ciclo di vita, dalla sua costruzione fino alla sua gestione post-chiusura. Quindi, sebbene la sua realizzazione richieda un elevato dispendio di risorse economiche, è il sistema migliore per lo smaltimento dei rifiuti sul suolo o nel suolo, perché prevede un puntuale controllo delle possibili emissioni di contaminanti nell'ambiente circostante. Di conseguenza, una discarica sanitaria è dotata di impianti per la raccolta e la corretta gestione del percolato e dei gas prodotti e di sistemi di controllo dei rifiuti accettati e depositati (fig. 1.5).

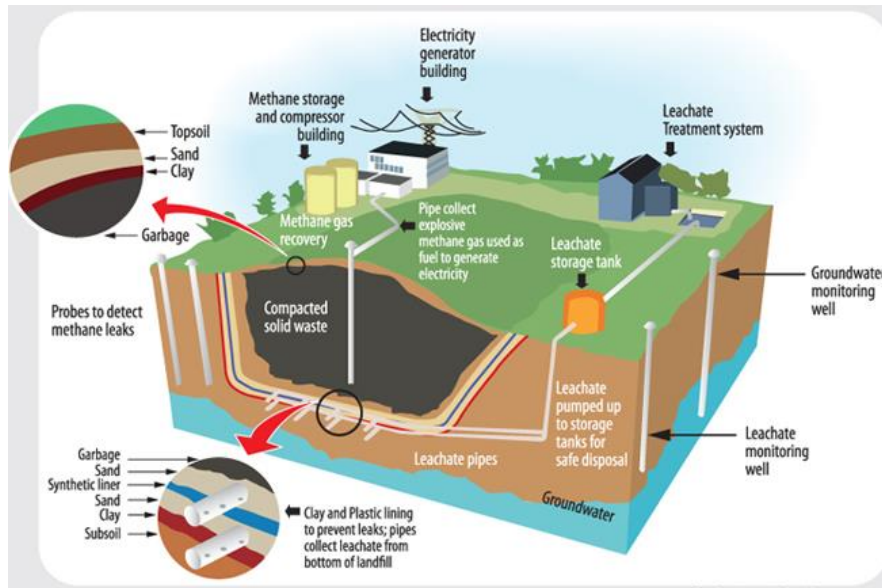


Figura 1.5. Schema di una discarica sanitaria (courtesy of Manoj Nishantha)

1.3.2 Classificazione UN-Habitat 2018

Nel 2018 il Programma per gli Insediamenti Umani delle Nazioni Unite (UN-Habitat) ha elaborato una classificazione che tiene conto anche delle indicazioni inserite nell'Agenda ONU 2030 sullo Sviluppo Sostenibile. Tale documento, sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU, nasce dall'esigenza condivisa di integrare di le tre dimensioni dello sviluppo globale (ambiente, società ed economia) e definisce 17 nuovi Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs) con 169 traguardi ad essi associati, "che sono interconnessi e indivisibili" (United Nations, 2015).

In particolare, la classificazione delle discariche presentata da UN-Habitat è definita in accordo con l'obiettivo n.11 "Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili" e con il target 11.6 "Entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione alla qualità dell'aria e alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti"(Idowu et al., 2019; UN-Habitat, 2018). In tale sistema, sono individuate cinque categorie a ciascuna delle quali è assegnato un punteggio che valuta, in maniera sintetica:

1. il grado di controllo della gestione e dell'accettazione dei rifiuti in ogni sito;
2. il grado di controllo sul processo sia di trattamento che di smaltimento dei rifiuti e sulle possibili emissioni tossiche;
3. il monitoraggio e il controllo delle condizioni ambientali.

In tabella 1.1 si riporta la classificazione delle discariche elaborata dal Programma Un-Habitat.

Tabella 1.1 Classificazione delle discariche secondo (UN-Habitat, 2018)

Controllo	Punteggio	Sito di smaltimento	Trattamento
Nessuno	0	Scarico dei rifiuti incontrollato; nessun controllo	Fenomeni di combustione incontrollata
Basso	5	Sito attrezzato; rifiuti depositati in specifiche aree; presenza di alcune attrezzature sul posto	Sito attrezzato, parziale contenimento e gestione del processo di combustione; procedure basilari per il controllo dei fastidi
Medio	10	Rifiuti compattati in sito; Presenza di una copertura irregolare	Controlli sulle emissioni per catturare il particolato; personale preparato a seguire determinate procedure di lavoro; attrezzature adeguatamente mantenute; polveri adeguatamente gestite
Medio alto	15	Discarica realizzata con metodi ingegneristici: uso di una copertura giornaliera; parziale controllo e trattamento del percolato; raccolta del gas prodotto dalla discarica	Alti livelli di controllo tecnologico e di processo sul tempo di permanenza, turbolenza e temperature; controlli sulle emissioni per imprigionare i gas acidi e le diossine; completa gestione delle polveri
Elevato	20	Discarica sanitaria completamente attrezzata: adeguatamente localizzata e progettata; Sistema di isolamento del percolato (barriera di argilla naturale presente in sito o realizzata artificialmente); sistema di raccolta del gas e del percolato; impianto di trattamento e/o riutilizzo del gas; copertura finale; piano di gestione post-chiusura	Realizzata e gestita in accordo alle norme internazionali, incluse le direttive dell'UE e i protocolli sulle emissioni di gas serra; polveri gestite come rifiuti pericolosi, utilizzando idonee tecnologie

1.3.1 Classificazione delle discariche in Malaysia

In Malaysia, le aree adibite a operazioni di deposito nel suolo di rifiuti sono divise in quattro categorie: tra queste, l'ultima comprende le discariche più accessoriate per uno smaltimento sostenibile dei rifiuti, mentre la categoria zero include le discariche "a cielo aperto", dove non esiste alcuna forma di controllo delle emissioni e dei fenomeni di infiltrazione delle acque meteoriche, di erosione etc. Questa classificazione è stata analizzata perché risulta facilmente adattabile anche ad altre realtà territoriali: infatti, per

ciascuna categoria riportata in tabella 1.2 prevede la valutazione di diversi parametri tecnici (per dettagli si veda la tabella in Appendice A).

Tabella 1.2. Classificazione delle discariche in Malaysia

Classi	Livelli
Discariche a cielo aperto	0
Deposito illecito	1
Discarica con recinzione e copertura giornaliera	2
Discarica con ricircolo del percolato	3
Discarica con trattamento del percolato	4

1.4 Classificazione italiana

Gli articoli 192 e 256, comma 3, del Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. introducono rispettivamente il divieto di abbandono e deposito illecito di rifiuti e di realizzazione e gestione di discariche non autorizzate.

“L’abbandono e il deposito incontrollati di rifiuti sul suolo e nel suolo sono vietati. È altresì vietata l’immissione di rifiuti di qualsiasi genere, allo stato solido o liquido, nelle acque superficiali e sotterranee. [...]” (art. 192).

“...chiunque realizza o gestisce una discarica non autorizzata è punito con la pena dell’arresto da sei mesi a due anni e con l’ammenda da 2.600 euro a 26.000 euro. Si applica la pena dell’arresto da uno a tre anni e dell’ammenda da euro 5.200 a euro 52.000 se la discarica è destinata, anche in parte, allo smaltimento di rifiuti pericolosi. Alla sentenza di condanna o alla sentenza emessa ai sensi dell’articolo 444 del codice di procedura penale, consegue la confisca dell’area sulla quale è realizzata la discarica abusiva se di proprietà dell’autore o del complice al reato, fatti salvi gli obblighi di bonifica o di ripristino dello stato dei luoghi.” (comma 3, art. 256).

Dalla lettura di questi articoli non si comprendono le differenze tra un deposito illecito di rifiuti e una discarica abusiva; pertanto, è necessario far riferimento ad alcune sentenze della Sezione III della Corte di Cassazione Penale. In particolare, sul reato di discarica abusiva risulta rilevante la sentenza dell’11 novembre 2015, n. 45515, della quale si riporta un breve estratto:

“... sia ha discarica abusiva tutte le volte in cui, per effetto di una condotta ripetuta, i rifiuti vengono scaricati in una determinata area, trasformata di fatto in deposito o ricettacolo di rifiuti con tendenziale carattere di definitività, in considerazione delle quantità considerevoli degli stessi e dello spazio occupato (Cfr. Sez. III, n. 47501 del

13.11.2013, Caminotto, Rv. 257996; Sez. III, n. 27296 del 12.05.2004, Micheletti, Rv. 229062).

La discarica abusiva dovrebbe presentare, orientativamente, una o più tra le seguenti caratteristiche, la presenza delle quali costituisce valido elemento per ritenere configurata la condotta vietata: accumulo, più o meno sistematico, ma comunque non occasionale di rifiuti in un'area determinata; eterogeneità dell'ammasso dei materiali; definitività del loro abbandono; degrado, quanto meno tendenziale, dello stato dei luoghi per effetto della presenza dei materiali in questione.

Si è ulteriormente precisato che il reato di discarica abusiva è configurabile anche in caso di accumulo di rifiuti che, per le loro caratteristiche non risultino raccolti per ricevere nei tempi previsti una o più destinazioni conformi alla legge e comportino il degrado dell'area su cui insistono, anche se collocata all'interno dello stabilimento produttivo (Cfr. Sez. III, n. 41351 del 18.09.2008, Fulgori, Rv. 241533; Sez. III, n. 2485 del 9.10.2007 (dep. 2008), Marchi, non massimata sul punto)."

Nella sentenza del 5 marzo 2018, n. 9879 si ribadisce un'altra caratteristica del reato di discarica abusiva, già enunciata nella sentenza del 16 marzo 2017, n. 18399: *"...la condotta di realizzazione di una discarica abusiva può consistere anche solo nell'allestimento ovvero nella mera destinazione di un determinato sito al progressivo accumulo dei rifiuti, senza che sia necessaria l'esecuzione di opere atte al funzionamento della discarica stessa"*.

La stessa sentenza riporta poi la differenza fondamentale tra discarica abusiva e deposito illecito di rifiuti: *"... questa corte ha già ribadito il principio secondo il quale, in tema di rifiuti, l'abbandono differisce dalla discarica abusiva per la mera occasionalità, desumibile dall'unicità ed estemporaneità della condotta – che si risolve nel semplice collocamento dei rifiuti in un determinato luogo, in assenza di attività prodromiche o successive – e dalla quantità dei rifiuti abbandonati, mentre nella discarica abusiva la condotta o è abituale – come nel caso di plurimi conferimenti – o, pur quando consiste in un'unica azione, è comunque strutturata, ancorché grossolanamente, al fine della definitiva collocazione dei rifiuti in loco"*.

In figura 1.6 si propone uno schema di sintesi delle caratteristiche salienti della discarica abusiva e del deposito illecito di rifiuti.

Discarica abusiva

- Accumulo reiterato di rifiuti in una certa area
- Accumulo di rifiuti all'interno di un'area dello stabilimento produttivo, che non ricevono opportuna destinazione nei tempi previsti dalla legge
- definitività del loro abbandono
- Eterogeneità del corpo rifiuti
- Azione strutturata, anche grossolanamente, al fine della definitiva collocazione in loco dei rifiuti
- Degrado quanto meno tendenziale, dello stato dei luoghi del luogo

Deposito illecito di rifiuti

- Deposito occasionale dei rifiuti
- Unicità ed estemporaneità della condotta
- Assenza di attività prodromiche o successive



Figura 1.6. Caratteristiche principali della classificazione italiana

Rispetto alle classificazioni presenti nel panorama tecnico internazionale, quella italiana risulta poco dettagliata, dal momento che non tiene conto di indicatori oggettivi dello stato e dei luoghi e della presenza di impianti e soluzioni tecnologiche, talvolta presenti parzialmente in discarica. Pertanto, è possibile fare le seguenti considerazioni:

- in numerosi casi, tale classificazione lascia un ampio margine di discrezionalità al giudice e a chiunque sia chiamato a effettuare una valutazione tecnica dello stato dei luoghi;
- tale classificazione risulta poco utile ai fini della progettazione di un intervento di risanamento, perché non consente una descrizione chiara ed esaustiva delle caratteristiche generali del luogo;
- tale classificazione non risulta adattabile ad altre realtà territoriali, dal momento che è basata su parametri difficilmente valutabili da un punto di vista quantitativo.

Capitolo 2

Interventi *in situ* per il risanamento di discariche

2.1 Il quadro normativo di riferimento

A livello internazionale, nel corso degli anni è stato definito un consistente e articolato apparato legislativo per prevenire il fenomeno dell'*illegal dumping* e ridurre le conseguenze sulla salute pubblica e sull'ambiente.

Nell'Unione Europea, il Regolamento 2006/1013/UE per la prima volta ha definito un quadro di misure per contrastare il traffico illecito di rifiuti tra Paesi europei ed extraeuropei, ritenuto una delle principali cause di creazione di depositi a cielo aperto in tanti paesi del Terzo Mondo. Successivamente la Direttiva 2008/99/CE ha introdotto un quadro di misure collegate al diritto penale per la protezione dell'ambiente. In particolare, tra le attività definite all'articolo 3 della suddetta direttiva, per le quali gli Stati Membri si sono dovuti adoperare affinché costituissero reati, compare "*lo scarico, l'emissione o l'immissione illeciti di un quantitativo di sostanze o radiazioni ionizzanti nell'aria, nel suolo o nelle acque che provochino o possano provocare il decesso o lesioni gravi alle persone o danni rilevanti alla qualità dell'aria, alla qualità del suolo o alla qualità delle acque, ovvero alla fauna o alla flora*".

Nel panorama extraeuropeo, degno di nota risulta il *Resource Conservation & Recovery (RCR) Act* del 1976 che negli Stati Uniti ha introdotto già nel secolo scorso una serie di pene per il trattamento, lo stoccaggio e/o il trattamento di rifiuti senza o in violazione di un'autorizzazione, per il trasporto o l'esportazione illegale di rifiuti pericolosi. Altrettanto importanti per la tematica sono numerosi emendamenti al *Waste Management and Public Cleansing Law* in Giappone, che a partire dal 1991 hanno introdotto misure più stringenti per evitare il deposito illecito di rifiuti e per il monitoraggio dell'*illegal dumping*.

Anche il Governo del Singapore ha previsto pene molto severe per contrastare lo smaltimento illecito di rifiuti. Secondo l'*Environmental Public Health Act (EPHA)*, chiunque detiene illecitamente rifiuti può essere immediatamente arrestato da qualsiasi ufficiale di polizia e multato fino a 5000 \$ nei casi più gravi.

In Italia, il principale riferimento legislativo in materia è rappresentato dal Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152 (cd. Testo Unico Ambientale), nel quale, come enunciato nel precedente capitolo, con gli articoli 192 e 256, comma 3 il legislatore ha definito i reati, rispettivamente, di abbandono e deposito illecito di rifiuti e di realizzazione e gestione di discariche non autorizzate.

Tuttavia, ai fini del ripristino ambientale di aree contaminate da discariche, si ritiene opportuno far riferimento:

- alla disciplina sulla gestione dei siti contaminati contenuta nel Titolo V Parte IV del D.Lgs. 152/2006, che individua le fasi del processo di risanamento di un sito contaminato (caratterizzazione, analisi di rischio sanitario-ambientale ed esecuzione di interventi di bonifica/messa in sicurezza);
- al Decreto Legislativo del 3 settembre 2020, n. 121, emanato in attuazione della Direttiva 2018/850/UE, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti (e quindi il D.Lgs. 36/2003), per la parte relativa alla caratterizzazione dei rifiuti e alle proprietà delle strutture finalizzate a isolare il corpo rifiuti dall'ambiente.

Per le discariche la procedura di analisi di rischio risulta di fatto inapplicabile, vista la mancanza di specifiche linee guida a livello nazionale e internazionale (Gibellini & Vaccari, 2020). A livello nazionale, l'unica metodologia di analisi di rischio disponibile per le discariche è inclusa nel software Leach8 (aggiornato a dicembre 2021), che è esclusivamente riferita alla sorgente percolato (Reconnet, 2021). Pertanto, si auspica che la *call* lanciata nel 2019 dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca dell'Ambiente (ISPRA) per l'aggiornamento dei criteri metodologici per l'esecuzione dell'analisi di rischio sanitario ambientale nei siti contaminati contribuisca a ridurre tale lacuna scientifica.

Nel seguito verranno descritte le attività svolte *in situ* durante le fasi di caratterizzazione e messa in sicurezza/bonifica di discariche, che ragionevolmente richiedono lo sviluppo di modelli per l'analisi, la valutazione e la gestione dei rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori.

2.2 Caratterizzazione delle discariche

Caratterizzare un sito contaminato significa attuare *“l'insieme delle attività che permettono di ricostruire i fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali, in modo da ottenere informazioni di base su cui prendere decisioni realizzabili e sostenibili per la messa in sicurezza e/o bonifica del sito.”* (Allegato 2 al Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. 152/06). La pianificazione delle attività di caratterizzazione deve necessariamente tener conto anche di un'analisi del contesto entro il quale è inserito il sito contaminato.

Così come indicato da Di Fiore et al., 2017, è possibile affermare che le attività di caratterizzazione nel caso di discariche illecite siano finalizzate a soddisfare i seguenti obiettivi:

1. Definire l'estensione geometrica della sorgente primaria di contaminazione (corpo discarica), in termini di estensione laterale, profondità e presenza di plume di contaminazione;
2. Caratterizzare i rifiuti (definire le loro caratteristiche merceologiche, fisiche, chimiche e geotecniche);
3. Valutare l'entità e la tipologia di contaminazione del suolo, sottosuolo e delle acque di falda nel sito di discarica.

Le attività di caratterizzazione in situ possono essere distinte in due categorie: indagini indirette e dirette. Le prime prevedono l'impiego delle metodologie di studio tipiche della geofisica per valutare le caratteristiche dei materiali presenti nell'ambiente (suolo, rifiuti, acque sotterranee etc.), senza che si verifichi il contatto diretto tra l'operatore e le matrici ambientali contaminate. Le seconde invece sono finalizzate al campionamento delle matrici ambientali e richiedono necessariamente un'interazione diretta tra operatore e ambiente. Si tenga presente che le indagini indirette possono essere particolarmente utili ad ottimizzare l'esecuzione di prove dirette e ad evitare l'occorrenza di infortuni agli operatori per contatto diretto con le sostanze pericolose presenti nell'ambiente. Quindi si ritiene che le due tipologie di indagine siano assolutamente complementari fra loro e utili ad acquisire più informazioni possibili.

2.3 Impiego delle indagini indirette

In letteratura, numerosi sono gli esempi di discariche abusive individuate e caratterizzate attraverso l'uso integrato di metodi geofisici. Nel paragrafo 2.3.1 sono passati in rassegna i metodi utilizzati più frequentemente, mentre nel paragrafo 2.3.2 è fornito un approfondimento in merito al monitoraggio odorigeno, che può contribuire all'individuazione di anomalie nella corretta gestione delle discariche.

2.3.1 Le tecniche geofisiche più comuni per la caratterizzazione delle discariche

Come riportato da Durante et al. (2008), i metodi geoelettrici (sondaggi elettrici verticali e orizzontali, polarizzazione indotta, tomografia di resistività elettrica – ERT) consentono l'individuazione di fenomeni di contaminazione ambientale correlati alla cattiva gestione delle discariche (ad esempio per la mancanza di impianti di captazione del percolato o del biogas), attraverso il confronto dei diversi valori di resistività elettrica associati ai contaminanti fluidi, ai rifiuti solidi e al suolo insaturo non contaminato.

Cardarelli & Di Filippo, 2004, invece, hanno mostrato come, attraverso l'esecuzione di sondaggi elettrici verticali e di prove sismiche a rifrazione su quattro siti localizzati nell'Italia Centrale (Roma, Latina, Caprarola e Napoli), sia possibile distinguere diverse tipologie di rifiuto, il suolo contaminato presente sotto il corpo discarica, le litologie circostanti il corpo rifiuti, nonché individuare la presenza di percolato in discarica (non

adeguatamente gestito), classificando e mettendo in correlazione i valori di resistività elettrica dei materiali con la velocità di propagazione delle onde sismiche (onde P).

Interessanti risultati derivano anche dall'applicazione del georadar o, più sinteticamente, GPR. A differenza del metodo sismico a riflessione, il GPR consente di distinguere masse di rifiuti sepolti dalle formazioni litologiche naturali con un'alta risoluzione laterale e verticale in pochissimo tempo, per via dell'elevata frequenza del segnale elettromagnetico inviato (variabile tra 10 MHz e 1 GHz). Tuttavia, è un metodo che non consente di investigare grandi profondità, perché la profondità investigata d_r è direttamente proporzionale al tempo di andata-ritorno t_r del segnale inviato (Wu & Huang, 2006), come mostrato dalla seguente equazione:

$$d_r = \frac{Vt_r}{2}$$

Con V = velocità del segnale EM inviato.

La distinzione dei materiali attraversati dal segnale EM avviene attraverso il calcolo della costante dielettrica del mezzo ϵ_r , considerate le seguenti relazioni:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$
$$d_r = \frac{ct_r}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dove c è la velocità della luce nel vuoto.

Anche in Italia sono state diverse le applicazioni del GPR in combinazione con altre tecniche (Marchetti et al., 2002a; Orlando & Marchesi, 2001). In particolare, Marchetti et al. (2002) riportano la possibilità di usare anche i magnetometri per identificare masse ferromagnetiche sepolte (es. fusti metallici contenenti rifiuti tossici). Infatti, è noto che i magnetometri sono in grado di misurare la differenza del campo magnetico indotto da tali elementi rispetto al campo magnetico terrestre, in funzione della suscettibilità magnetica volumetrica dell'oggetto.

In diverse applicazioni, la rilevazione con magnetometri di masse ferromagnetiche si è rivelata una tecnica di esplorazione del sito a basso costo e caratterizzata da rapidità nella fase di raccolta e trattamento dei dati. Di contro, si è visto che la risoluzione (e quindi l'attendibilità) dei risultati dipende essenzialmente dalla profondità dell'oggetto bersaglio e dalle sue proprietà magnetiche: all'aumentare della profondità diminuisce il campo magnetico indotto dall'oggetto.

In alcuni casi per individuare rifiuti sepolti nel suolo sono state utilizzate anche piattaforme di telerilevamento satellitare ad elevata risoluzione spaziale (Silvestri &

Omri, 2008). Infatti, a seguito del rilascio di contaminanti nell'ambiente, intorno al corpo rifiuti si osservano cambiamenti nello stato di salute della vegetazione e del suolo, che sono individuabili attraverso variazioni della loro "firma spettrale", ossia della radiazione riflessa. L'uso dei satelliti per la caratterizzazione delle discariche può essere particolarmente vantaggioso nel caso sia necessario investigare aree molto vaste, perché da una preliminare analisi di contesto non sono state ottenute informazioni utili a circoscrivere le attività di studio. Tuttavia, è opportuno ricordare che i risultati di un processo di fotointerpretazione, oltre a dipendere dall'esperienza e dal *know-how* dell'operatore, sono influenzati dall'inevitabile compromesso tra risoluzione spaziale, spettrale e temporale della camera di osservazione: ad esempio, nel caso di discariche di modesta estensione (ordine di qualche metro), è necessario l'uso di immagini ad altissima risoluzione spaziale. Inoltre, non tutti i satelliti transitano con elevata frequenza e sono in grado di acquisire nella banda spettrale richiesta: in tal caso potrebbe essere utile l'uso di droni con camere iperspettrali.

Infine, un importante contributo alla caratterizzazione delle discariche può essere offerto dalle indagini termiche, che stimano il gradiente di temperatura superficiale nell'area in cui insiste il corpo discarica e ne permettono così la descrizione in termini di morfologia. Infatti, è noto che, soprattutto nelle discariche di rifiuti solidi urbani, al processo di degradazione della sostanza organica è associata la liberazione di gas attraverso reazioni esotermiche.

Nella tabella 2.1 si riporta una sintesi delle tecniche di indagine geofisica più comuni per la caratterizzazione delle discariche.

Tabella 2.1 Tecniche di indagine indiretta e principali tipologie di applicazione

Metodo	Applicazione
Elettrico	definizione geometria della discarica; individuazione di plume di contaminazione e grandi oggetti metallici
Georadar	definizione geometria della discarica; rileva qualsiasi rifiuto (anche amianto) in discariche poco profonde
Magnetometria	ritrovamento di fusti metallici e rifiuti ferromagnetici interrati
Gravimetria	perimetrazione discariche; individuazione sacche di biogas; caratterizzazione dei rifiuti
Termografia	perimetrazione discariche; riconoscimento discariche RSU; individuazione sacche di biogas; in assenza di copertura, possibile distinzione dei rifiuti
Fotointerpretazione di immagini telerilevate	Individuazione discariche; definizione della geometria di una discarica (dettaglio variabile con la risoluzione spaziale, temporale e spettrale delle immagini)

2.3.2 Il monitoraggio degli odori

L'odore, ossia *“la sensazione generata dall'interazione di alcuni composti chimici, presenti in una miscela gassosa e caratterizzati da sufficiente volatilità, con i recettori del sistema olfattivo”* (ISPRA, 2018), può costituire una molestia per la salute umana in molte aree limitrofe a impianti industriali. A livello internazionale già da diversi anni la comunità scientifica ha dimostrato un interesse per uno studio sistematico degli odori al fine di tutelare la salute pubblica (Schiffman & Williams, 2005). In Italia, invece, il fenomeno è stato oggetto di studi e ricerche in tempi più recenti, che dimostrano ancora un approccio in via di sviluppo alla gestione di tale problematica (Bokowa et al., 2021). In particolare, con l'art. 271-bis D.Lgs. 152/2006, il legislatore nazionale ha lasciato la facoltà alle Regioni di disciplinare con la normativa regionale il tema o di prevedere nelle autorizzazioni ambientali:

- valori limite di emissione espressi in concentrazione (mg/Nm^3) per le sostanze odorigene;
- prescrizioni impiantistiche e gestionali e criteri localizzativi per gli impianti aventi un potenziale impatto odorigeno, incluso l'obbligo di attuazione di piani di contenimento;
- procedure volte a tutelare dall'impatto odorigeno gli eventuali ricettori sensibili presenti nell'intorno della discarica;
- criteri e procedure volti a definire portate massime o concentrazioni massime di emissione odorigena espresse in unità odorimetriche ouE/m^3 o ouE/s) per le fonti di emissioni odorigene dello stabilimento;
- specifiche portate massime o concentrazioni massime di emissione odorigena espresse in unità odorimetriche ouE/m^3 o ouE/s per le fonti di emissioni odorigene dello stabilimento.

Nelle discariche il rilascio nell'atmosfera di emissioni maleodoranti è principalmente associato a malfunzionamenti dell'impianto di raccolta e trattamento del gas generato dalla degradazione anaerobica della sostanza organica. Tuttavia, si possono riconoscere anche altre sorgenti di emissioni odorigene, come ad esempio:

- presenza di rifiuti scoperti;
- presenza incontrollata di percolato;
- fenomeni di combustione incontrollata (es. incendi nei rifiuti);
- scarico e movimentazione di rifiuti in aree non confinate.

Nel caso specifico delle discariche abusive e dei depositi illeciti di rifiuti, contenenti soprattutto RSU, risulta evidente il mancato controllo dell'impatto odorigeno. Pertanto, gli odori possono essere sfruttati come eventi sentinella di un illecito ambientale e

sanitario, diventando così funzionali all'individuazione e a uno studio preliminare della discarica stessa.

Attualmente il monitoraggio degli odori può essere condotto:

1. attraverso l'analisi in olfattometria dinamica secondo la norma UNI EN 13725:2004, che prevede il campionamento della miscela odorigena da sottoporre a un panel di esperti;
2. la rendicontazione della percezione degli odori da parte della popolazione residente, con contestuale analisi dei dati meteorologici (es. temperatura, direzione prevalente del vento etc.) per comprendere la propagazione del disturbo olfattivo.

Per l'individuazione di discariche illecite attraverso il monitoraggio odorigeno, si ritiene particolarmente utile in prima istanza l'adozione di metodi riconducibili alla *citizen science* (seconda categoria). Infatti, già in alcune città sono attivi dei sistemi di comunicazione *app-based* (ossia basati sull'uso di una applicazione installata sullo smartphone), che consentono alle PP.AA. di raccogliere ed elaborare le segnalazioni degli utenti sugli odori (ad es. il sistema Odor.Net, sviluppato e gestito dallo spin-off LEnviros, e messo a disposizione da ARPA Marche per il controllo delle esalazioni soprattutto derivanti dalla Raffineria di Falconara Marittima). La diffusione capillare di questi sistemi informativi, basati sulla partecipazione degli utenti con una semplice "app", potrebbe contribuire ad individuare e a mappare sul territorio nazionale il fenomeno dell'*illegal dumping*, caratterizzato da estrema frammentazione.

Invece, l'analisi in olfattometria dinamica degli odori provenienti da una discarica illecita, dal momento che prevede il campionamento della miscela odorigena, potrebbe servire a fornire informazioni sulla potenziale composizione del corpo discarica. D'altra parte, è noto che la quantità di gas emessi da una discarica dipende in primo luogo dalla merceologia dei rifiuti ivi conferiti.

Pertanto, il monitoraggio odorigeno in determinate aree potrebbe offrire interessanti informazioni sia per rilevare discariche abusive o depositi illeciti di rifiuti sia per condurre sui siti contaminati noti le successive attività di caratterizzazione vera e propria in maniera più sicura.

2.4 Applicazioni delle indagini dirette

Seppur accurate, le indagini geofisiche non possono escludere a priori l'esecuzione di indagini dirette nel corpo discarica e nell'ambiente circostante. Infatti, quest'ultime consentono di:

- verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti con i metodi geofisici e completare il quadro ambientale di riferimento;

- prelevare campioni indisturbati di suolo insaturo per valutarne lo stato di contaminazione;
- prelevare campioni di rifiuti per effettuare le opportune indagini merceologiche e di caratterizzazione geotecnica in laboratorio;
- effettuare un successivo adattamento dei sondaggi a piezometri, utili ad eseguire prove di pompaggio, un monitoraggio della superficie piezometrica, nonché dei battenti di percolato eventualmente presente nel corpo rifiuti.

Di seguito, sono riassunte le informazioni riguardanti le seguenti tipologie di indagine diretta⁵: i sondaggi geognostici, le indagini piezometriche e il campionamento soil-gas.

2.4.1 I sondaggi geognostici

I sondaggi geognostici possono essere effettuati con diverse tecniche di perforazione, ossia:

- a) a carotaggio continuo (a rotazione con carotiere, ecc.);
- b) con mezzi manuali (martello roto-percussore, ecc.);
- c) con mezzi meccanici di escavazione (benne, ecc.).

Nella pratica si provvede all'esecuzione di scavi con mezzi manuali per il campionamento di suolo superficiale o sub-superficiale (max 1 m da p.c.), mentre si provvede all'uso di mezzi meccanici quando è necessario campionare materiale a più elevate profondità.

In via generale, l'uso di un metodo in luogo di un altro dipende dagli obiettivi di interesse (es. valutazione della qualità del suolo o della merceologia dei rifiuti), dalle caratteristiche geotecniche del materiale da scavare, nonché dalla presenza di corpi o sottoservizi presenti nel sottosuolo che potrebbero determinare rischi per i lavoratori durante l'esecuzione delle perforazioni.

Con riferimento alla caratterizzazione di discariche, le principali finalità dei sondaggi sono le seguenti:

- Il riconoscimento della stratigrafia;
- Il prelievo di campioni indisturbati di suolo per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- Il prelievo di campioni di rifiuti per la valutazione delle proprietà chimico-fisiche e geotecniche;
- Il raggiungimento di una determinata profondità alla quale condurre prove in sito;

⁵ Tali informazioni sono state tratte da Linee Guida nazionali, letteratura scientifica internazionale e documenti ad accesso riservato (relativi a procedimenti di bonifica ex art. 242 D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii.) per i quali il DIT-INAIL è chiamato ad esprimere un parere tecnico-scientifico in merito alla tutela della salute e sicurezza sul lavoro.

- L'installazione di strumenti di misura (assestimetri, inclinometri, piezometri).

Fra i metodi di perforazione del suolo esistenti si è soliti distinguere tra (APAT, 2006):

- sistemi di perforazione a rotazione;
- sistemi di perforazione a percussione (*direct push*).

La perforazione a rotazione, in genere, viene condotta facendo avanzare un utensile (carotiere o distruttore di nucleo) per mezzo di una batteria di aste, alla quale viene applicata una spinta assiale ed una coppia di forze che generano un momento di rotazione. Nelle normali applicazioni tale tecnica comporta l'impiego di un fluido di perforazione (acqua o acqua e bentonite) che facilita la rimozione dei detriti durante l'avanzamento del tagliente, sostiene le pareti del foro, raffredda e lubrifica la punta. Tuttavia, nei siti contaminati la presenza di un fluido potrebbe alterare in maniera significativa la rappresentatività del campione, variandone lo stato tensionale e chimico-fisico per via del fenomeno di *cross-contamination* (ovvero di contaminazione incrociata).

Pertanto, nei siti contaminati è richiesta di norma la perforazione a secco e a bassa velocità. La perforazione a secco viene effettuata nella modalità a carotaggio continuo, che prevede l'impiego di un carotiere spinto nel terreno attraverso una batteria di aste. Il recupero di campioni indisturbati può avvenire con diverse tipologie di carotieri: i campionatori a rotazione (Denison e Mazier), i campionatori a pressione (Shelby, Osterberg) e i campionatori a percussione.

I sistemi *direct-push* (Geoprobe, Enviprobe, etc.), invece, prevedono l'infissione di un campionatore nel suolo attraverso una macchina che esercita una spinta a percussione o roto-percussione. L'avanzamento del campionatore avviene a secco, in maniera discreta o continua, con velocità che può aumentare al diminuire del diametro della carota. Il materiale è campionato all'interno di fustelle trasparenti durante l'avanzamento del campionatore, senza produzione di rifiuti e contatto con agenti esterni.

Generalmente è preferibile l'uso di campionatori a parete spessa, ossia con un coefficiente di parete superiore al 15%. Tale coefficiente è calcolato mediante la seguente formula:

$$C_p = \frac{D_s^2 - D^2}{D^2} * 100$$

Essendo D_s il diametro esterno massimo del campionatore e D il diametro minimo attraversato dalla carota durante il campionamento.

In relazione al campionamento dei rifiuti presenti nel corpo discarica, si ritiene opportuno considerare anche le tecniche di campionamento manuale dei rifiuti individuate nella Norma UNI 10802:2013, ossia:

- le sonde campionatrici (auger), costituite da tubi concentrici, muniti solitamente di una punta adatta a favorirne l'inserimento nel materiale da campionare. Generalmente, queste sonde sono inserite diagonalmente, dall'alto verso il basso, e il campionamento avviene inserendo la sonda chiusa alla profondità desiderata, aprendola e attendendo che il campione fluisca nel campionatore (eventualmente con un leggero scuotimento);
- raccolta manuale del materiale superficiale con paletta e contenitore in vetro.

Infine, in molti piani di caratterizzazione si prevede il prelievo di campioni di *top-soil* (1-10 cm) con mezzi manuali (es. paletta) in aree non pavimentate per la valutazione della concentrazione dei seguenti analiti: Amianto, PCB, Diossine e Furani. Nel caso sia riscontrata la presenza di detti analiti nel top-soil, la loro ricerca è estesa a tutti i campioni superficiali e negli strati immediatamente sottostanti in corrispondenza dei superamenti individuati.

2.4.2 I piezometri

La caratterizzazione della matrice acque sotterranee comporta la determinazione degli andamenti della superficie piezometrica (in termini di profondità e variazioni stagionali rispetto al p.c.), delle proprietà chimico-fisiche delle acque e della concentrazione di alcune sostanze, cagionevoli di un potenziale stato di contaminazione ambientale. Per l'esecuzione di tali attività si procede alla determinazione del livello piezometrico e al prelievo di campioni attraverso la realizzazione di piezometri.

Generalmente i piezometri sono realizzati previa esecuzione di sondaggio geognostico fino ad intercettare la falda (o la porzione di falda) che si intende esaminare e installazione di un tubo di sostegno delle pareti di scavo, finestrato ad una certa profondità. In particolare, secondo (APAT, 2006) si individuano le seguenti fasi (fig. 2.1):

- a) realizzazione del foro;
- b) posa in opera del tubo di rivestimento, finestrato in corrispondenza della falda, cieco nei tratti rimanenti;
- c) realizzazione del dreno in corrispondenza del tratto finestrato;
- d) realizzazione del setto impermeabile e cementazione.

In un acquifero multi-falda sono realizzati più piezometri che intercettino le acque a profondità differenti, garantendo così l'isolamento idraulico.

Per evitare fenomeni di “contaminazione” del campione estratto dal piezometro (es. presenza di solidi derivanti dall’esecuzione del sondaggio geognostico, ristagno d’acqua etc.), ogni campionamento deve essere preceduto da un corretto spurgo del piezometro. Lo spurgo consiste nella rimozione di un adeguato volume di acqua e dell’eventuale materiale solido presente. Tale operazione viene generalmente eseguita con pompe a bassi regimi di portata (es. litri/minuto) per evitare di mobilizzare particelle di terreno.

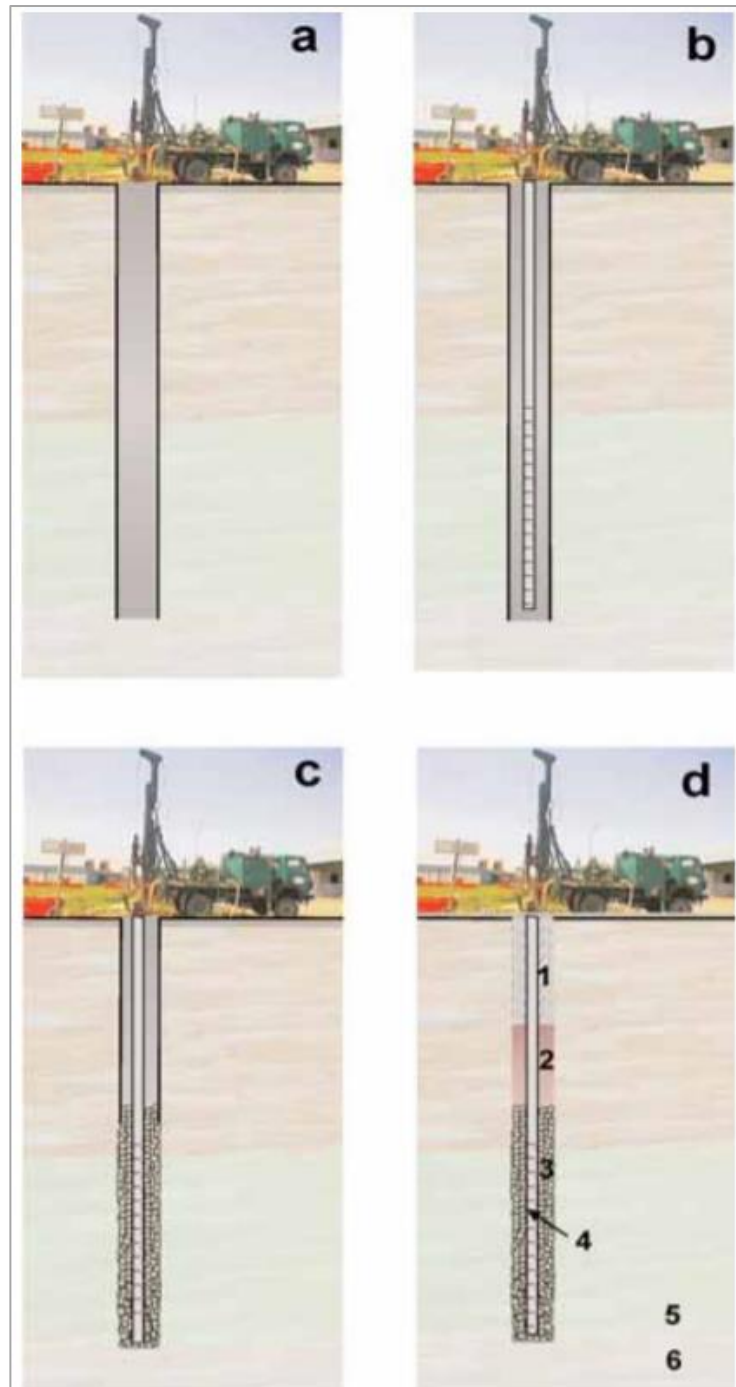


Figura 2.1 Fasi di realizzazione di un piezometro [figura tratta da (APAT, 2006)]. Legenda: 1) sigillatura con cemento; 2) sigillatura con bentonite; 3) dreno in ghiaietto calibrato; 4) tratto finestrato del piezometro 5) falda freatica; 6) letto impermeabile dell’acquifero

Una volta eseguito lo spurgo, il campionamento viene eseguito con l'uso di recipienti di vetro. Tuttavia, prima di iniziare il riempimento del recipiente, questo deve essere "avvinato", ossia sciacquato energicamente per tre volte con l'acqua proveniente dal piezometro (in genere l'acqua di spurgo immediatamente prima del campionamento). L'avvinamento assicura che il campione non venga in contatto con sostanze estranee eventualmente presenti nel recipiente o non venga diluito dai liquidi di risciacquo utilizzati per la sua pulizia.

2.4.3 Il campionamento del soil-gas

Sebbene il campionamento dei gas interstiziali sia poco frequente nella caratterizzazione di discariche⁶, si forniscono comunque alcune indicazioni in merito (SNPA, 2018), perché l'indagine soil gas potrebbe servire per localizzare eventuali sacche di biogas o intercettare fenomeni di contaminazione diffusa del suolo e delle acque di falda.

L'acquisizione di campioni di *soil gas* può avvenire secondo due modalità:

- Attiva: in tal caso, il campione di gas viene prelevato dal terreno per mezzo di un sistema aspirante ed è raccolto in idonei contenitori (es. canister, *vacuum bottle* etc. – modalità di prelievo diretta) oppure per ad/as-sorbimento dell'inquinante su un substrato (es. fiale di desorbimento con solvente, fiale a desorbimento termico – modalità indiretta). I sistemi di campionamento attivo consentono di stimare quantitativamente il contenuto delle sostanze ricercate nei gas interstiziali, di valutare il profilo verticale della contaminazione e di prelevare molti campioni in un giorno. Tuttavia, non sono utilizzabili in terreni con bassa permeabilità ($< 10^{-6}$ m/s) o con elevato contenuto di umidità, dal momento che i gas interstiziali non trovano vuoti interconnessi per migrare nella matrice solida;
- Passiva: in questo caso, la miscela gassosa è raccolta attraverso materiale ad/as-sorbente che viene sistemato in perfori praticati nel terreno a profondità dell'ordine di 1 m o. Per profondità superiori, sono utilizzate sonde costituite in tutto o in parte da materiali permeabili ai vapori. Le trappole sono raccolte dopo un periodo di tempo sufficientemente lungo ad ad/as-sorbire l'inquinante, che è recuperato per desorbimento e analizzato in laboratorio. I sistemi passivi sono abbastanza semplici e rapidi da installare, non richiedono molta manutenzione, comportano un disturbo minimo alle caratteristiche del sottosuolo e possono essere utilizzati anche in terreni a bassa permeabilità o con elevato contenuto di umidità. Di contro, il loro utilizzo

⁶ Il campionamento dei gas interstiziale è eseguito nei siti contaminati al fine di rivedere e interpretare i risultati dell'analisi di rischio condotta ai sensi dell'Allegato 1 Titolo V Parte IV D.Lgs. 152/2006. In assenza di una procedura specifica delle discariche, risulta quindi un'indagine complementare.

può determinare rischi di saturazione (*breakthrough*), retrodiffusione o “svuotamento” dei pori (effetto *starvation*, ossia un iniziale eccessivo adsorbimento in corrispondenza della zona campionata, che porta ad alterare l’equilibrio di fase e ad una sottostima delle concentrazioni attese nel soil gas).

2.5 Messa in sicurezza di emergenza (MISE)

Gli interventi di messa in sicurezza d’emergenza (di seguito, MISE) devono essere attuati tempestivamente a seguito di incidenti o di una chiara situazione di pericolo di inquinamento dell’ambiente o di rischio per la salute umana, al fine di rimuovere o isolare le fonti primarie di contaminazione e attuare azioni mitigative per prevenire ed eliminare pericoli immediati verso l’uomo e l’ambiente circostante. Così come indicato dal legislatore nell’art. 240 D.Lgs. 152/2006, gli interventi di MISE sono realizzati “*in attesa di eventuali ulteriori interventi di bonifica o di messa in sicurezza operativa o permanente*”.

I progetti di MISE per le discariche possono prevedere:

- La rimozione dei rifiuti ammassati in superficie, lo svuotamento di vasche, la raccolta di sostanze pericolose sversate, lavori di potatura della vegetazione eventualmente presente nel sito;
- Il pompaggio dei liquidi inquinanti galleggianti, disciolti o dispersi in acquiferi superficiali o sotterranei;
- L’installazione di trincee drenanti di recupero e controllo;
- La copertura o l’impermeabilizzazione temporanea di suoli e fanghi contaminati;
- La rimozione o lo svuotamento di bidoni o container abbandonati, contenenti materiali o sostanze potenzialmente pericolose.
- La costruzione o la stabilizzazione di scarpate soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico.

Generalmente, a completamento di una MISE, si prevede l’interdizione del sito ai non addetti ai lavori attraverso l’installazione di recinzioni, segnaletica e cartellonistica di sicurezza, nonché mediante videosorveglianza o apposito servizio di guardiania. Inoltre, in attesa di una bonifica/messa in sicurezza del sito permanente, la realizzazione di una rete di monitoraggio ambientale rappresenta una *best practice* che consente l’acquisizione di dati utili a progettare i successivi interventi.

2.6 Messa in sicurezza permanente (MISP)

La “Messa in Sicurezza Permanente” (MISP) di un sito contaminato comprende “*l’insieme degli interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti e a garantire un elevato e definitivo livello di sicurezza per*

le persone e per l'ambiente. In tali casi devono essere previsti piani di monitoraggio e controllo e limitazioni d'uso rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici” (art. 240 D.Lgs. 152/2006).

Gli interventi di MISP in discarica consistono generalmente:

- nella realizzazione di barriere impermeabili, in modo tale da costituire una cinturazione laterale o perimetrale;
- nell’installazione di una copertura superficiale (capping) in conformità alle disposizioni del D.Lgs. 121/2020 (che ha modificato il D.Lgs. 36/2003);
- nella realizzazione di barriere idrauliche (attraverso pozzi o trincee) per drenare battenti idraulici interferenti con il corpo rifiuti.

2.6.1 Barriere verticali

L’isolamento dei siti contaminati (es. una discarica) attraverso l’uso di diaframmi verticali impermeabili rappresenta uno degli interventi più diffusi per contenere e delimitare flussi di sostanze inquinanti nel sottosuolo, in quanto meno oneroso rispetto alle attività di bonifica. Le barriere verticali possono essere realizzate con molteplici metodologie costruttive, selezionate sia in funzione delle esigenze di contenimento e della durata prevista (provvisoria o permanente) sia sulla base di un’indagine geotecnica volta ad individuare la tecnologia più adatta per il terreno interessato dall’opera.

Durante la fase di progettazione devono essere definiti i seguenti parametri del sito sul quale si andrà a intervenire:

- la litologia, con indicazioni sulla microstruttura (ad es. granulometria e mineralogia) e sulla macrostruttura (ad es. grado di fratturazione);
- la resistenza e la continuità laterale degli strati geologici in cui il diaframma deve essere realizzato;
- il livello e la direzione di flusso della falda;
- la conducibilità idraulica del suolo;
- la facilità di scavo;
- l’eventuale grado di contaminazione della matrice solida e delle acque sotterranee.

A seconda della stratigrafia del terreno e del tipo di controllo che si vuole effettuare, le barriere verticali si distinguono in:

- **Diaframmi ammorsati:** si realizzano qualora il substrato impermeabile possa essere raggiunto dalla barriera verticale, che penetra al suo interno per circa due metri. La barriera così costruita impedisce all’acqua contaminata di defluire dal sito contaminato a valle del diaframma, perché essa dovrebbe attraversare il substrato impermeabile (ciò non è naturalmente possibile);

- Diaframmi sospesi: si costruiscono quando il substrato si trova a una profondità maggiore della lunghezza della barriera (dell'ordine di 10 – 15 metri), o si vuole realizzare un sistema attivo di controllo delle acque contaminate attraverso un processo di emungimento controllato. A monte del diaframma viene scavato un pozzo emungente nel quale converge l'acqua contaminata: viene estratta e portata al trattamento in modo tale che non possa transitare al di sotto della barriera e contaminare il terreno a valle di essa.

In base alle caratteristiche del moto dell'acqua nel sottosuolo, le barriere verticali sono utilizzate per costruire:

- Una cinturazione parziale a monte del sito contaminato: in questo caso l'acqua è drenata in prossimità del diaframma e convogliata lungo vie preferenziali per raggiungere un corso d'acqua a valle del sito, in modo tale da non attraversare la zona contaminata;
- Una cinturazione parziale a valle del sito contaminato: il diaframma è realizzato per impedire all'acqua, che ha attraversato la zona contaminata, di proseguire il suo percorso a valle della stessa. Per evitare spinte eccessive sul diaframma, si realizzano pozzi emungenti all'interno del sito contaminato;
- Una cinturazione totale: si realizza nel caso in cui è necessario isolare completamente il sito. Non è consentito il passaggio dell'acqua all'interno della zona contaminata, dove sono comunque presenti dei pozzi emungenti.

In funzione delle tecniche costruttive si distinguono diversi tipi di barriere verticali:

- Barriere a escavazione: prevedono la realizzazione di una trincea, l'asportazione del terreno scavato e il successivo rimpiazzo con una miscela impermeabilizzante (i diaframmi plastici appartengono a questa categoria). Tale miscela è a base di bentonite, un tipo di argilla che rigonfia per assorbimento di acqua e costituisce uno strato impermeabile. Si possono realizzare miscele terreno – bentonite, cemento – bentonite o diaframmi compositi, nei quali è previsto l'inserimento di una geomembrana prima che la miscela (già presente nella trincea) solidifichi.
- Barriere a infissione: si realizzano per battitura nel terreno.
- Barriere realizzate con la tecnica del Jet-Grouting (cemento e acqua): Il Jet-Grouting consiste nella disgregazione e nella successiva miscelazione del terreno con leganti, mediante getti ad alta pressione. Questa tecnica, che prevede diverse tipologie di trattamento, consente di operare in un'ampia gamma di terreni.
- Barriere a iniezione: Sono realizzate iniettando in sottosuoli rocciosi e fortemente fratturati miscele impermeabilizzanti che riducono la permeabilità in sito.

- Barriere a miscelazione in sito o soil mixing: Questa tecnica consiste nell'infissione di un sistema multiplo di alberi rotanti nel terreno, muniti di eliche miscelatrici, che determinano il rimescolamento del terreno con una miscela impermeabilizzante, senza asportazione di materiale. Il coefficiente di permeabilità della barriera risultante è influenzato dal tipo di terreno presente.

2.6.2 Copertura superficiale

La copertura superficiale rappresenta una struttura multistrato che assolve diverse funzioni:

- isola i rifiuti dall'ambiente esterno, evitandone la dispersione attraverso il vento o animali (uccelli, insetti, ratti etc.);
- impedisce l'infiltrazione delle acque meteoriche, permettendo una regolarizzazione della produzione di percolato all'interno della discarica;
- garantisce il convogliamento del landfill gas verso l'impianto di trattamento.

Mentre nel precedente D.Lgs. 36/2006 il legislatore aveva previsto tre diverse tipologie di *capping* in funzione delle differenti caratteristiche dei rifiuti (inerti, pericolosi, non pericolosi), con il D.Lgs. 121/2020 si prevede un'unica copertura superficiale costituita, dall'alto verso il basso, almeno dai seguenti strati:

1. strato superficiale di copertura con spessore maggiore o uguale a 1 m, che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale, che fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e sia in grado di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
2. strato drenante di materiale granulare con spessore $s \geq 0,5$ m con permeabilità $K > 10^{-5}$ m/s. Tale strato può essere sostituito da un geocomposito di drenaggio di caratteristiche prestazionali equivalenti, ovvero in grado di drenare nel suo piano la portata meteorica di progetto, valutata con un tempo di ritorno pari ad almeno 30 anni. In ogni caso lo strato drenante va protetto con un idoneo filtro naturale o di geotessile per prevenire eventuali intasamenti connessi al trascinarsi del materiale fine dello strato superficiale di copertura;
3. strato minerale compattato dello spessore $s \geq 0,5$ m e di conducibilità idraulica $k \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s, integrato da un rivestimento impermeabile superficiale. Le modalità costruttive e il valore della permeabilità dello strato minerale compattato possono essere determinate mediante campo prova in situ. Lo strato minerale compattato integrato dal geosintetico di impermeabilizzazione dovrà essere protetto con un opportuno strato costituito da idoneo materiale naturale o artificiale, per evitare il danneggiamento connesso agli agenti atmosferici ed ai carichi agenti durante la fase costruttiva. Lo strato minerale compattato di spessore inferiore può essere completato

con materiali geosintetici di impermeabilizzazione, garantendo che nell'insieme la prestazione in termini di tempo di attraversamento della barriera sia equivalente. Particolari soluzioni progettuali nella realizzazione dello strato minerale compattato delle parti con pendenza superiore a 30°, che garantiscano comunque una protezione equivalente, potranno eccezionalmente essere adottate e realizzate anche con spessori inferiori a 0,5 m, a condizione che vengano approvate dall'ente territoriale competente;

4. strato di drenaggio del gas e di rottura capillare, con spessore maggiore o uguale a 0,5 m di idonea trasmissività e permeabilità al gas in grado di drenare nel suo piano la portata di gas prodotta dai rifiuti. In ogni caso lo strato drenante va protetto con un idoneo materiale naturale o sintetico;
5. strato di regolarizzazione, con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti.

Uno o più strati sopra indicati possono essere sostituiti da geosintetici, in grado di fornire una “protezione equivalente”. La protezione equivalente deve essere valutata confrontando il prodotto tra lo spessore e la conducibilità idraulica del geosintetico con il valore minimo previsto dalla normativa per il singolo strato.

2.7 Bonifica di discariche

La “bonifica” di un sito contaminato comprende *“l’insieme degli interventi atti ad eliminare le fonti di inquinamento e le sostanze inquinanti o a ridurre le concentrazioni delle stesse presenti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee ad un livello uguale o inferiore ai valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR)”* (art. 240 D.Lgs. 152/2006). Nel caso di discariche, in assenza di linee guida del SNPA sulla procedura di analisi di rischio sanitaria che consenta il calcolo delle CSR per le diverse matrici ambientali, è ragionevole presupporre che il progetto di bonifica debba essere finalizzato alla rimozione totale della sorgente inquinante, consentendo una soluzione definitiva del rischio di inquinamento.

La realizzazione dei progetti di bonifica o di messa in sicurezza può essere affidata solo ad imprese iscritte nell'Albo dei Gestori Ambientali alla categoria 9 (bonifica dei siti contaminati).

La bonifica di discariche abusive o di depositi illeciti di rifiuti può prevedere:

- La stabilizzazione in situ dei rifiuti;
- l’asportazione dei rifiuti depositati e il loro successivo trattamento, finalizzato non solo all’eliminazione dei contaminanti, ma anche al recupero di risorse ed aree (cd. tecnologia del Landfill Mining).

2.7.1 Stabilizzazione in situ dei rifiuti

Le tecniche di aereazione delle discariche rappresentano oggi uno strumento indispensabile per una sensibile riduzione delle emissioni gassose nelle discariche. In via generale, prevedono l'insufflazione d'aria all'interno dei rifiuti da una serie di pozzi di immissione e l'espulsione del biogas derivante dalla degradazione aerobica della sostanza organica. Il biogas estratto, prima dell'immissione in atmosfera, viene generalmente convogliato verso un filtro per l'abbattimento degli odori e l'eliminazione dei composti tossici prima di essere diretto ad una torcia di combustione o alla rete energetica a seconda dei casi.

Così come riportato da (Ritzkowski & Stegmann, 2012a), esistono tre principali categorie di aereazione delle discariche: ad alta pressione, a bassa pressione e aereazione autonoma a lungo termine (fig. 2.2).

Le tecniche di aereazione ad alta pressione prevedono il rilascio di aria compressa fino a 6 bar che può essere arricchita con ossigeno extra (fino al 20%) ed eventuali nutrienti o acqua (come ad esempio il metodo BioPuster®). Fornita da una rete di distribuzione di aria compressa, ogni lancia di alimentazione della miscela è collegata a una valvola a rilascio rapido, che viene aperta in modo intermittente una volta impostata la pressione di rilascio del flusso d'aria. La miscela gassosa rilasciata è capace di penetrare nei materiali di scarto sia molto sia debolmente compattati.

Al fine di minimizzare la perdita di gas prodotti dalla degradazione dei rifiuti, le tecniche di aereazione ad alta pressione prevedono di solito un sistema di estrazione dei gas attraverso lance di suzione, attivato contemporaneamente alle iniezioni di aria compressa. I gas estratti sono poi inviati al trattamento con biofiltri e/o carboni attivi.

Le tecniche di aereazione a bassa pressione, invece, prevedono insufflazioni d'aria a pressione compresa tra i 20 e gli 80 mbar. Tra queste, in letteratura sono segnalate:

- le tecniche di areazione attiva con estrazione di gas (come i brevetti AEROflott®, AIRflow® e Smell-Well®), che prevedono la realizzazione in discarica di pozzi sia di insufflazione di aria ambiente (che si disperde per convezione e diffusione) che di estrazione del gas prodotti dalla degradazione aerobica dei rifiuti. I pozzi di estrazione sono realizzati con le medesime caratteristiche dei primi e operano simultaneamente (Fig. 2.2b);
- le tecniche di areazione attiva senza estrazione di gas: in tal caso, il gas è allontanato passando per la copertura superficiale della discarica, che funziona come uno strato filtro biologico, nelle sue condizioni iniziali o dopo un miglioramento della sua capacità biologica di ossidazione del metano. L'aria può essere immessa sia

attraverso un sistema di pozzi verticali realizzati nel corpo discarica sia attraverso insufflazioni nella zona di suolo insaturo intorno ai rifiuti;

- le tecniche di aereazione passiva o air venting (come il brevetto DEPO+®), che prevedono l'immissione di aria ambiente nella discarica attraverso la creazione di una pressione negativa nel corpo rifiuti e la contemporanea estrazione dei gas prodotti dal processo di degradazione aerobica. Generalmente, i pozzi di estrazione del gas sono realizzati negli strati di rifiuti più profondi per aumentare il volume di sostanze da stabilizzare con l'aereazione (e per evitare così corti circuiti).

Infine, le tecniche di aereazione autonoma a lungo termine possono essere previste nel periodo che intercorre tra la fine dell'aereazione attiva forzata e la conseguente installazione di una copertura finale che include uno strato per la raccolta e il trattamento del metano. I sistemi di questo tipo sono costituiti da aspiratori e pompe d'aria pneumatiche (alimentati dall'energia elettrica prodotta con turbine eoliche), che vengono montati direttamente su alcuni dei pozzi di estrazione del gas.

2.7.2 Landfill mining

Negli ultimi anni, la tecnica del *landfill mining* (LM) ha riscosso ampio successo per la possibilità di rimuovere definitivamente i rifiuti abbandonati nell'ambiente e, al tempo stesso, di recuperare materie prime, che possono essere direttamente reimpiegate (sassi, ghiaia, cocci etc.), riciclate (materiali ferrosi e alluminio) o convenientemente utilizzate per fini energetici, in quanto dotato di alto potere calorifico (carta, plastica, tessili, legno).

Il *landfill mining* rappresenta un insieme di attività complesse, fortemente correlate all'elevata eterogeneità dei rifiuti depositati e alle caratteristiche specifiche del sito di intervento. In via generale, un progetto di LM comprende le seguenti fasi principali (Cossu *et al.* 2010):

1. intervento di aereazione in situ al fine di stabilizzare i rifiuti (vd. sopra);
2. scavo e asportazione dei rifiuti;
3. separazione delle diverse frazioni di materiale scavato;
4. trattamento delle singole frazioni;
5. sistemazione tecnica e ambientale del lotto oggetto di intervento, in accordo alla destinazione d'uso prevista.

Il processo di escavazione dei rifiuti è condotto generalmente facendo ricorso a tecniche simili a quelle utilizzate nelle operazioni di estrazione di minerali, di costruzione delle opere civili ed edili o di deposizione dei rifiuti in discarica.

Pertanto, in questa fase sono impiegati escavatori o mezzi a pala frontale che scaricano il materiale escavato su mezzi gommati per successivo trasporto ad apposito impianto di trattamento o su nastri di trasporto direttamente collegati con l'impianto di trattamento

on-site. In alternativa, i mezzi per l'escavazione scaricano il materiale in apposite aree di stoccaggio, dove sono presenti cassoni di raccolta del materiale, opportunamente isolati dall'ambiente con teli impermeabili di copertura. Il numero di mezzi e macchinari coinvolti dipende ovviamente dalle dimensioni dell'area di interesse e da eventuali criticità ambientali sito-specifiche.

I rifiuti possono essere rimossi sia scavando dal piano di coronamento della discarica sia procedendo per strati: nel primo caso, si fa ricorso a un escavatore in grado di raggiungere il materiale fino a 2-3 metri di profondità; nel secondo caso (es. in presenza di materiale inerte), si usa un mezzo a pala frontale capace di rimuovere strati di rifiuto di spessore pari a 0,5 metri.

In generale, le attività di scavo sono progettate suddividendo il sito in lotti di intervento, in ciascuno dei quali viene effettuato un efficace controllo ambientale del materiale da scavare⁷. Le dimensioni e la geometria dei lotti sono definiti sulla base di considerazioni tecnico-logistiche, legate alla tipologia dei mezzi, alle potenzialità degli impianti di trattamento, alle condizioni ambientali, alla necessità di pre-trattamento, a garanzie di sicurezza e stabilità delle superfici.

Una volta terminato l'intervento su un lotto, è necessario mettere in sicurezza le pareti di scavo. A tal fine sono predisposte coperture temporanee con geotessuti, che consentono:

- di trattenere gli odori che potrebbero fuoriuscire per la precedente movimentazione dei rifiuti;
- di prevenire fenomeni di instabilità geotecnica;
- di favorire il deflusso delle acque meteoriche.

Inoltre, sono realizzate apposite tubazioni per la regimazione e la raccolta delle acque superficiali che devono essere inviate a trattamento.

Terminate le operazioni di escavazione dei rifiuti, il materiale è inviato a un impianto costituito da vagli, nastri trasportatori e deferrizzatori⁸ per separare, in via generale:

- frazione fine, ad elevato contenuto di sostanza organica biodegradabile, il cui grado di stabilizzazione dipende da diversi fattori (età della discarica, pre-trattamento dei rifiuti depositati etc.);
- metalli;
- materiale di scarto e inerti, non recuperabili;

⁷ È prassi comune prelevare periodicamente dei campioni di rifiuto per eseguire analisi merceologiche, chimiche e geotecniche. Infatti, i risultati della caratterizzazione potrebbero rilevarsi scarsamente significativi in presenza di discariche caratterizzate da elevata eterogeneità.

⁸ Negli impianti più complessi e sofisticati è possibile trovare anche classificatori ad aria, separatori balistici etc. Per la separazione di materiali tessili e dei pneumatici usati si utilizza la separazione manuale eseguita da un operatore.

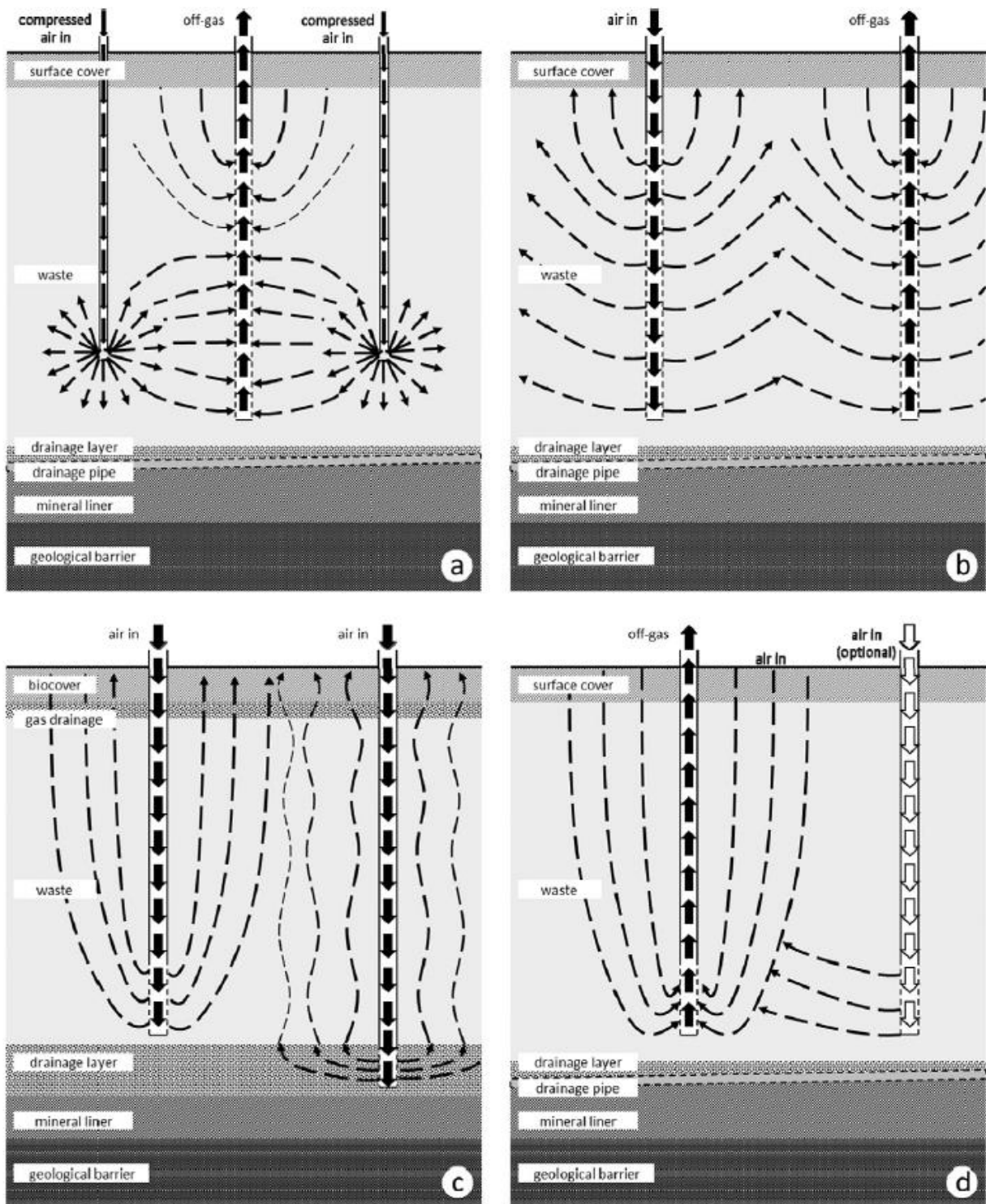


Figura 2.2 Schema delle diverse tecniche di aerazione: a) aerazione ad alta pressione; b) aerazione a bassa pressione con simultanea estrazione dei gas di discarica; c) aerazione a bassa pressione con allontanamento dei gas attraverso la superficie; d) aerazione a bassa pressione/*air venting* [tratta da (Ritzkowski & Stegmann, 2012b)].

- frazione leggera, costituita da materiale a potere calorifico inferiore medio-alto (materiale cellulosico e plastiche);

Nella tabella 2.2 sono infine indicati possibili trattamenti dei materiali sopra indicati.

Tabella 2.2 Possibili trattamenti dei materiali escavati (in un progetto di LM)

Materiale	Possibili trattamenti
Frazione fine	Riutilizzo della frazione fine per la realizzazione di coperture di nuove discariche, argini, rilevati, riempimenti di depressioni etc. Uso della frazione fine per fini energetici. Riciclaggio della frazione fine, previo trattamento idro-meccanico finalizzato ad abbattere ulteriormente le concentrazioni di contaminanti
Frazione leggera (o grossolana)	Sono possibili diversi trattamenti. In alcuni casi, considerato il suo elevato potere calorifico, questa frazione è stata utilizzata come combustibile per usi energetici; in altri casi, è stata effettuata la separazione delle plastiche, per invio a lavaggio e condizionamento
Metalli	Sono avviati al riciclaggio, dal momento che sono caratterizzati da una bassa presenza di elementi estranei
Materiale di scarto	Smaltimento in discarica
Inerti	In alcuni casi è stata effettuata la separazione del vetro dagli altri inerti attraverso prelavaggio e separazione con vagli. Smaltimento in discarica

Gli interventi associati alla sistemazione ambientale del sito sono variabili in funzione della destinazione d'uso prevista dal Piano Regolatore Comunale. Spesso in ex aree di discarica sono state realizzate aree verdi, attrezzate a parco giochi per bambini e/o per l'attività fisica; altre volte, sono stati creati siti adibiti a uffici/aree industriali, con piani di lavoro di differente complessità. In via generale, non si ritiene opportuno la riconversione di questi siti ad aree agricole o aree residenziali per motivi di salute pubblica, associati a possibili fenomeni di contaminazione residua.

Capitolo 3

Il processo di Risk Assessment

3.1 Premessa

Nonostante in letteratura siano disponibili numerosi studi sui rischi per l'uomo e l'ambiente conseguenti alla presenza di discariche e depositi illeciti di rifiuti, nonché sulle tecniche utili al risanamento dei siti contaminati da rifiuti (es. studi epidemiologici (Mazza et al., 2015; Njoku et al., 2019; Porta et al., 2009), analisi di rischio ambientale (Ismail et al., 2019; Jahanfar et al., 2017; Vaccari et al., 2018; Vaverková, 2019b) o ricerche sui metodi per l'individuazione e il risanamento di discariche (Di Fiore et al., 2017b; Glanville & Chang, 2015; Komínková et al., 2018; Krook et al., 2012; Silvestri & Omri, 2008)), le problematiche di salute e sicurezza sul lavoro (di seguito, SSL) per gli addetti alle attività di risanamento e gestione di discariche non sono state mai sufficientemente analizzate da un punto di vista sia normativo che scientifico.

In molti Paesi si rileva la mancanza di specifici regolamenti per la gestione dei rischi per i lavoratori durante le attività di caratterizzazione, bonifica/messa in sicurezza dei siti contaminati da discariche. Al momento, l'unica norma che sembra fornire risposte concrete alla corretta gestione della SSL è la Regulation OSHA 1910.120, rilasciata dall'Amministrazione per la Salute e Sicurezza sul Lavoro Americana (Regulation 1910.120 - Hazardous Waste Operations and Emergency Response., 1990) per disciplinare i contenuti di un Piano per le operazioni con rifiuti pericolosi e di risposta alle emergenze (HazWOpER⁹). Tuttavia, è d'uopo ricordare che tale norma non risulta cogente al di fuori degli Stati Uniti.

Nell'Unione Europea, sebbene alcune direttive forniscano una disciplina omogenea per la gestione dei rischi ambientali correlati alla presenza di discariche abusive, non si ravvisa la presenza di riferimenti legislativi comuni per le problematiche di SSL durante gli interventi di caratterizzazione/bonifica/messa in sicurezza. Infatti, l'integrazione di considerazioni specifiche per la protezione dei lavoratori nei progetti di risanamento è stata considerata un'opportunità (e non una necessità), eventualmente disciplinata dai singoli Stati membri. A titolo di esempio, in Italia il legislatore ha specificato nel paragrafo "Protezione dei lavoratori" (incluso nell'Allegato 3 Titolo V Parte IV D.Lgs. 152/2006) la necessità di prevedere un Piano di Protezione per ciascun sito in cui i lavoratori sono esposti a sostanze pericolose, *“con lo scopo di indicare i pericoli per la*

⁹ Hazardous Waste Operations and Emergency Response – vd. cap. 6 per ulteriori dettagli

sicurezza e la salute che possono esistere in ogni fase operativa ed identificare le procedure per la protezione dei dipendenti.” Tuttavia, non ha reso disponibili specifiche procedure per la gestione dei rischi per la SSL.

Pertanto, nei prossimi paragrafi sono illustrati i concetti generali e le tecniche alla base del processo di *risk assessment*, che saranno ulteriormente approfonditi nei successivi capitoli in relazione alla tutela della salute e sicurezza dei lavoratori addetti alla gestione/risanamento di discariche.

3.2 Il concetto di rischio

Nella Norma UNI 11230:2007¹⁰, era riportata la seguente definizione di rischio:

“Insieme della possibilità di un evento e delle sue conseguenze sugli obiettivi.”

Nella stessa si precisava che il concetto di rischio implicava necessariamente la sua dimensione, ossia la *“combinazione della probabilità di un evento e dell’entità delle sue conseguenze”*, e veniva più frequentemente usato quando vi era la possibilità di conseguenze negative.

Successivamente, con la Norma ISO 31000:2009¹¹ (revisionata nel 2018), il rischio è stato definito a livello internazionale come *“l’effetto dell’incertezza sugli obiettivi”*, dove:

- L’effetto è la deviazione da ciò che è atteso, in senso sia positivo sia negativo;
- L’incertezza è lo stato, anche parziale, di mancanza di informazioni necessarie alla comprensione di un evento, della sua probabilità di accadimento e delle sue conseguenze.

Anche la Norma europea IEC 31010:2019 conferma la precedente definizione del rischio specificando che nel vocabolo *“incertezza”* è possibile includere:

- L’incertezza correlata alla verità di alcune ipotesi, che includono assunzioni sul comportamento delle persone e dei sistemi;
- La variabilità intrinseca di alcuni parametri sui quali viene presa una decisione;
- L’incertezza sulla validità o accuratezza dei modelli che sono stati prestabiliti per fare previsioni;
- Gli eventi che risultano incerti nelle loro caratteristiche, in termini di accadimento o conseguenze;
- L’incertezza associata a eventi distruttivi;
- Gli esiti incerti di questioni sistemiche, come la carenza di personale competente, che possono avere impatti di ampia portata che non possono essere chiaramente definiti;

¹⁰ Norma UNI 11230:2007 “Gestione del rischio – Vocabolario” (ancora in vigore)

¹¹ Le definizioni contenute nella ISO 31000:2018 sono derivate dalla ISO Guide 73:2009

- La mancanza di conoscenze che deriva dal fatto che l'incertezza è nota ma non è completamente controllabile;
- Imprevedibilità;
- L'incertezza che deriva dai limiti della mente umana, come ad esempio quella riscontrata nella comprensione di dati complessi, che consentono di prevedere situazione con impatto a lungo termine o che permettono di fare considerazioni senza pregiudizi.

Pertanto, in via generale il rischio è calcolato come una funzione della pericolosità di un evento e della severità del danno ad esso associato, attraverso l'espressione:

$$R = f(P, D)$$

tradotta generalmente nella nota equazione del rischio:

$$R = P \times D = P \times E \times V$$

Dove:

- P è la pericolosità dell'evento, ossia la probabilità di accadimento di un evento in una data area e in un certo istante di tempo;
- E rappresenta il valore esposto, ossia l'insieme di soggetti esposti al rischio;
- V rappresenta la vulnerabilità del sistema, ossia il grado di perdita atteso in seguito al verificarsi dell'evento.

3.3 I rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori

A livello internazionale, la norma ISO 45001:2018 definisce rischio per la salute o la sicurezza dei lavoratori *“la combinazione della probabilità di accadimento di un evento correlato al lavoro o di un'esposizione e la severità dell'offesa o dello stato di malattia che può essere causato dall'evento o dall'esposizione”*.

In ambito nazionale, è frequente la distinzione tra le seguenti tipologie di rischio occupazionale:

- Rischi per la sicurezza: sono correlati a eventi infortunistici che determinano conseguenze più o meno gravi sul lavoratore (es. frattura, contusione, ustione, morte etc.) in breve tempo essendo la causa violenta. Sono esempi di rischi per la sicurezza la caduta di materiale dall'alto, l'elettrocuzione, la caduta dall'alto etc.
- Rischi per la salute: sono correlati all'esposizione diretta o indiretta del lavoratore ad agenti fisici, chimici e biologici che nel lungo termine causano un peggioramento dello stato di salute dell'individuo (determinano lo sviluppo di una malattia professionale). Sono esempi di rischi per la salute l'inalazione di polveri di amianto, l'esposizione alle radiazioni etc.;

- Rischi per la salute e la sicurezza: sono trasversali e generalmente correlati all'organizzazione del lavoro (es. rischio stress-lavoro correlato, rischio di genere).

Inoltre, un'ulteriore classificazione dei rischi occupazionali (per fini assicurativi) si può desumere dalla lettura combinata di alcune sentenze della Corte di Cassazione Civile, Sez. Lavoro (n. 8948 del 14/05/2020; n. 20774 del 17/08/2018; n. 7277 del 10/04/2015; n. 7313 del 13/04/2016), che distinguono tra:

- Rischio generico, “*cui soggiace in realtà qualsiasi persona che lavori*” (Cass.Civ. Sez. Lav. n. 7313/2016) (es. rischi in itinere);
- Rischio specifico, ossia il rischio correlato all'attività lavorativa svolta (Cass.Civ. Sez. Lav.n. 8948 del 14/05/2020; D.Lgs. 81/2008 Art. 28 c.2 let. f));
- Rischio specifico improprio, ossia il rischio non strettamente insito nell'atto materiale della prestazione, ma collegato con la prestazione stessa (es. rischio del fumo passivo).

3.4 Classificazione dei metodi di analisi di rischio

I metodi di valutazione dei rischi si differenziano per scopo, completezza ed utilizzo ma sono riconducibili ad uno schema logico comune articolato nelle seguenti fasi principali:

1. Definizione delle attività di lavoro e delle mansioni lavorative. A tal proposito, può essere di supporto il modello “Job Hazard Analysis” sviluppato da U.S. Department of Labour Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2002);
2. Identificazione dei pericoli. In questa fase si individuano in modo sistematico tutti i pericoli legati alle singole attività ed i fattori di rischio connessi;
3. Valutazione del rischio. Si stima il rischio per ogni pericolo individuato per ogni attività di lavoro. In questa fase è necessario fornire anche il giudizio sul grado di accettabilità del rischio stesso e valutare se questo è nella cosiddetta regione “ALARP” (As Low As Reasonably Practible);
4. Definizione delle priorità degli interventi correttivi. Una volta valutati i rischi, gli stessi vengono ordinati per valori di rischio decrescenti e per tutti i casi in cui il livello di rischio risulta inaccettabile si individuano azioni correttive adeguate (misure di prevenzione e protezione).

Storicamente, i metodi di analisi di rischio si differenziano in due grandi categorie¹²:

- Metodi quantitativi, basati sulla valutazione quantitativa della probabilità di accadimento e della gravità del danno. Di solito, in questi metodi la funzione f che consente di valutare il rischio può assumere una forma anche complessa, in relazione ai fattori che intervengono nella nascita e nello sviluppo del rischio, quali fattore

¹² esistono anche metodi intermedi detti semi-quantitativi

umano, materiali, macchina, processo e ambiente. Le tecniche di Analisi di Rischio Quantitativa rappresentano elemento di riflessione per la comunità scientifica internazionale da diversi anni perché consentono la valutazione del rischio in modo dettagliato e analitico, lasciando poco spazio alla soggettività del valutatore;

- Metodi qualitativi, basati sulla stima del rischio attraverso il confronto della pericolosità e del danno con scenari di riferimento di tipologia descrittiva, definiti a partire dalla consultazione delle norme vigenti (leggi, decreti o norme di buona tecnica). Il punto di arrivo è un giudizio qualitativo della situazione che si sta valutando.

Un'altra possibile classificazione dei metodi di analisi di rischio è quella recentemente offerta dalla Norma IEC 31010:2019, in funzione delle tre fasi principali del processo di valutazione del rischio (*Risk assessment*), individuate dalla Norma ISO 31000:2018 (Figura 3.1):

- Identificazione del rischio (*Risk identification*), il cui scopo è trovare, riconoscere e descrivere i rischi che possano ostacolare un'organizzazione nel conseguire i propri obiettivi;
- Analisi del rischio (*Risk analysis*), il cui scopo è comprendere la natura del rischio e le sue caratteristiche, incluso, se del caso, il livello di rischio. Quindi, l'analisi di rischio implica la conoscenza approfondita di incertezze, fonti di rischio, conseguenze, probabilità, eventi, scenari, controlli e relativa efficacia;
- Ponderazione del rischio (*Risk evaluation*), il cui scopo è quello di essere di supporto al processo decisionale. Pertanto, tale fase implica il confronto dei risultati dell'analisi del rischio con i criteri di rischio prestabiliti, al fine di individuare le opportune azioni.

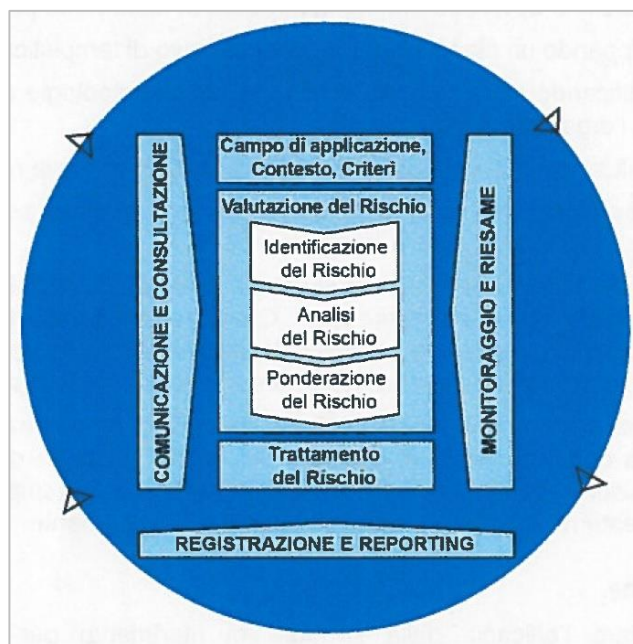


Figura 3.1. Processo di gestione del rischio (ISO 31000:2019)

Secondo la IEC 31010:2019, è possibile ricondurre i metodi di analisi di rischio prima a determinate categorie (che definiscono l'obiettivo dei metodi), poi alle tre fasi del processo di *risk assessment*. Nella tabella 3.1 si riporta uno schema di sintesi dei principali metodi adottati per il *risk assessment* nei contesti industriali.

3.5 Scelta e applicabilità dei metodi di analisi del rischio

La scelta di una tecnica in un luogo di un'altra dipende da diversi fattori: ad esempio, dal contesto e dall'obiettivo dell'analisi del rischio, dalle esigenze e dalle aspettative delle parti interessate, dall'insieme di vincoli normativi e contrattuali, dall'importanza delle decisioni, dalla disponibilità delle informazioni, nonché dall'insieme di competenze a disposizione dell'azienda. Nel caso di tecniche quantitative, anche l'affidabilità dei dati rappresenta un fattore rilevante.

Per ogni tecnica di analisi del rischio è possibile individuare un insieme di caratteristiche rilevanti per i fattori sopra considerati e di conseguenza per la scelta. Nella tabella 3.2 sono individuate e descritte tali caratteristiche, in accordo ai dettami della IEC 31019.

Nella suddetta norma viene anche proposto uno schema di valutazione dell'applicabilità dei metodi al processo di *risk assessment* definito dalla ISO 31000:2018: è evidente però che nulla vieta di adattare una tecnica a uno specifico contesto/processo con le dovute accortezze.

Tabella 3.1. Classificazione dei metodi di analisi del rischio (IEC 31010:2019)

Metodi di analisi del rischio		
Fase del risk assessment	Obiettivo	Metodi
Identificazione del rischio	Determinazione dei pericoli, delle cause e dei determinanti di rischio	<ul style="list-style-type: none"> • Teoria cindinica • Metodo di Ishikawa • Analisi delle cause (Root Cause analysis)
	Identificazione diretta del rischio	<ul style="list-style-type: none"> • Uso di check list • FMEA/FMECA • HAZOP • Analisi degli scenari • SWIFT
	Individuazione dei problemi	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Tecnica Delphi • Tecnica del gruppo nominale • Interviste • Indagini
Analisi del rischio	Analisi dei controlli	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi Bow Tie • HACCP • LOPA
	Comprensione delle conseguenze e della pericolosità degli eventi	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi di Bayes • Rete bayesiana • Business impact analysis • Analisi dell'albero degli eventi • Analisi dei guasti • Analisi causa-effetto • Analisi Markov • Simulazione Monte Carlo
Ponderazione del rischio	Individuazione dei problemi	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Tecnica Delphi • Tecnica del gruppo nominale • Interviste • Indagini
	Valutazione della significatività del rischio	<ul style="list-style-type: none"> • ALARP/SFAIRP • Diagramma frequenza-numero • Carte di Pareto • Indici di rischio • Affidabilità del sistema sulla base della manutenzione
	Selezione tra più opzioni	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi costi/benefici • Albero delle decisioni • Teoria dei giochi • Analisi multi-criterio

Tabella 3.2. Caratteristiche dei metodi di analisi di rischio (ISO 31010:2019)

Caratteristica	Descrizione	Dettagli
Applicazione	Come la tecnica viene utilizzata per il processo di valutazione del rischio	Individuazione dei punti di vista, identificazione e analisi delle cause, dei controlli etc.
Scopo	Se la valutazione del rischio riguarda un livello organizzativo, dipartimentale o progettuale o processi individuali	Organizzazione, progetto, dipartimento, processi
Orizzonte temporale	Riguarda rischi a breve, medio o lungo termine	Breve, medio, lungo qualsiasi
Livello decisionale	Analizza il rischio a un livello strategico, tattico o operativo	Strategico, tattico, operativo
Informazioni/dati di partenza	Livello delle informazioni di partenza	Alto, medio, basso
Competenza professionale	Livello di competenze richiesto per un uso corretto	Basso: tecnica intuitiva o 1-2 giorni di addestramento; Moderato: addestramento > 2 giorni; Alto: addestramento significativo/competenze specialistiche
Qualitativa/Quantitativa	Se il metodo è qualitativo, semi-quantitativo o quantitativo	qualitativo, semi-quantitativo o quantitativo
Sforzo per l'applicazione	Tempi e costi per applicare la tecnica	Alto, medio, basso

3.6 Diagramma di Ishikawa

Uno strumento utile per l'analisi delle cause che conducono a un determinato effetto è il diagramma di Ishikawa o cosiddetto "grafo a lisca di pesce". Sviluppato dal giapponese Ishikawa per valutare la qualità dei cicli produttivi industriali, tale diagramma mette in correlazione grafica le cause che conducono a un preciso effetto.

Di recente questo modello è stato applicato anche alla valutazione delle cause che comportano un infortunio sul lavoro. Nella letteratura di settore, le cause di infortunio sono ricondotte a 5 categorie (le cosiddette "5 M-categories"¹³):

- Manodopera (Manpower): in questa categoria sono compresi i più complessi e meno prevedibili fattori di infortunio legati al personale di servizio, quindi connessi

¹³ In inglese: Manpower, Methods, Machinery, Materials, Management

all'operatività, alle competenze e qualifiche, all'esperienza professionale, abitudini, motivazione, capacità organizzative etc.

- **Metodi (Methods):** in questa categoria sono comprese tutte le cause legate all'adozione di procedure e istruzioni giuste o errate, che vengono seguite per raggiungere un obiettivo. Tale categoria comprende anche le cause connesse all'implementazione di qualsiasi normativa rilevante per l'esecuzione delle attività, alla verifica dei tempi, nonché all'analisi del processo;
- **Macchine (Machinery):** in questa categoria sono comprese tutte le cause correlate al progresso, all'efficienza e alla sicurezza delle macchine, così come qualsiasi licenza o certificato richiesto per il loro utilizzo. Pertanto, rientrano in questa categoria fattoria causali che riguardano lo stato delle macchine, la loro manutenzione, la fornitura di manutenzione etc.;
- **Materiali (Materials):** che comprende tutte le cause connesse a qualità e stato di mantenimento dei materiali;
- **Management:** che comprende tutte le cause correlate all'organizzazione del lavoro (es. individuazione delle mansioni, degli obiettivi, dei turni di lavoro etc.).

Nulla vieta che sia possibile individuare altre categorie di cause che consentano una migliore descrizione dell'infortunio/incidente. A titolo illustrativo, (Górny, 2017) ha ritenuto opportuno comprendere nel modello tutte le cause correlate anche al contesto lavorativo, geografico/naturale e/o produttivo (Ambiente) per la descrizione dell'infortunio connesso al ribaltamento di un carrello elevatore; ancora più articolata è l'applicazione del modello a un evento di rottura di un serbatoio offerta da (Chang & Lin, 2006).

A partire dalle indicazioni fornite dai progettisti nei documenti¹⁴ richiesti per la caratterizzazione e il risanamento di alcune discariche localizzate in n. 7 Siti di Interesse Nazionale, è stata effettuata un'applicazione del diagramma di Ishikawa per sistematizzare, in via preliminare, le cause di infortunio (per dettagli si veda tabella 3.3).

Le cause di infortunio sono state suddivise in quattro categorie (Fig. 3.4): Ambiente; Materiali (localizzati nel Corpo Rifiuti); Impianti e Macchine.

¹⁴ I documenti sono ad accesso riservato, nella disponibilità di INAIL, e si inseriscono nell'ambito dei procedimenti di bonifica ex art. 242 D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii.

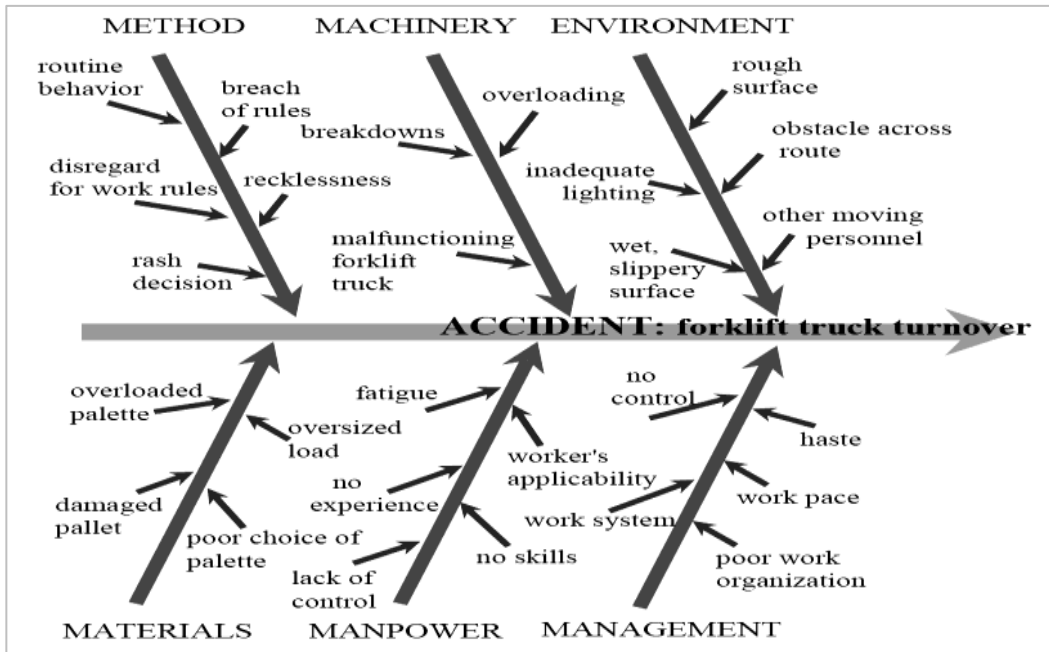


Figura 3.2. Grafo Ishikawa elaborato da (Górny, 2017) per l'analisi delle cause di un infortunio derivante dal ribaltamento di un carrello elevatore

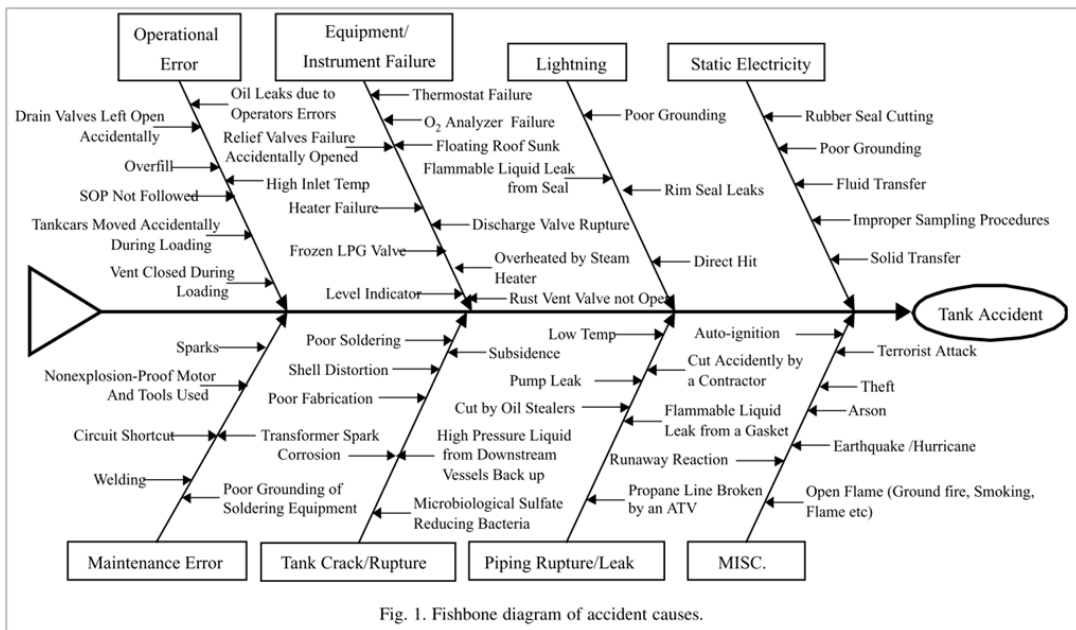


Fig. 1. Fishbone diagram of accident causes.

Figura 3.3. Grafo Ishikawa elaborato da (Chang & Lin, 2006) per l'analisi delle cause di rottura di un serbatoio

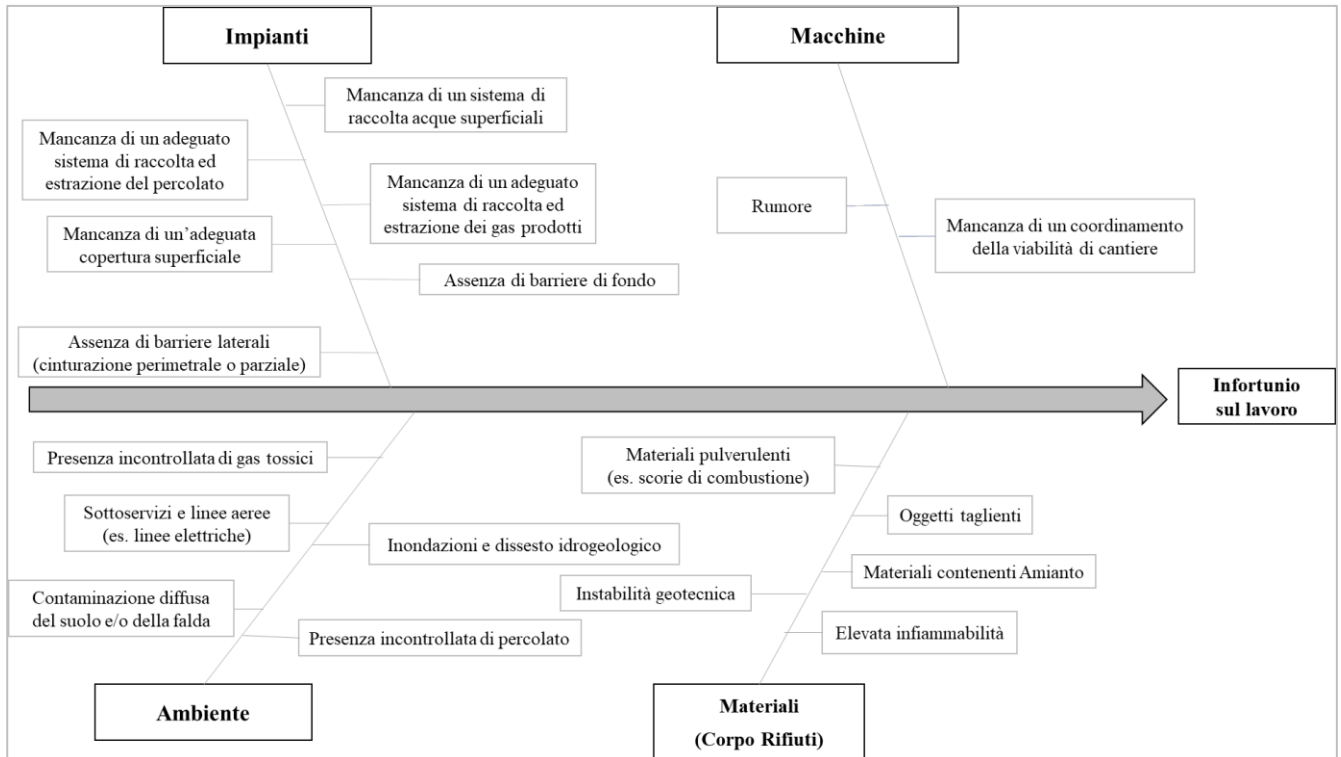


Figura 3.4 Applicazione del grafo Ishikawa a 12 discariche presenti nei SIN

L'applicazione diretta del diagramma Ishikawa alle attività di risanamento delle discariche e ha consentito di rilevare che tale modello:

- È uno strumento di analisi molto flessibile, che ben si presta all'individuazione delle cause di infortunio in svariati contesti;
- non si presta a valutazioni quantitative del rischio, dal momento che non consente l'individuazione dei percorsi logici che conducono alla realizzazione dell'evento;
- il livello di precisione dell'analisi può dipendere:
 - dal livello di dettaglio dei documenti progettuali. A titolo illustrativo, in questa applicazione del modello non sono state considerate tutte le cause di infortunio correlate alle macchine (es. ribaltamento del mezzo etc.) perché i documenti progettuali considerati avevano il grado di dettaglio di un progetto definitivo (art. 23 D.Lgs. 50/2016). Pertanto, i progettisti avrebbero fornito maggiori informazioni sulle tecnologie utilizzate soltanto nella fase di progettazione esecutiva, sulla quale non c'è una specifica approvazione degli Enti nell'ambito del procedimento di bonifica ex art. 242 D.Lgs. 152/2006 (Berardi et al., 2020).
 - dalla capacità dell'esaminatore di identificare le varie attività lavorative e le loro peculiarità, se le informazioni sono tratte da sopralluoghi in campo.

Tabella 3.3 Analisi delle problematiche per la SSL riscontrate nei documenti progettuali di risanamento di 12 discariche incluse nei SIN.

ID discarica	Problematiche per la SSL
ID_01	<ul style="list-style-type: none"> - Incendi nel corpo rifiuti - Instabilità geotecnica dei versanti - Assenza sul fondo di uno strato impermeabile - Assenza di una copertura superficiale impermeabile - Assenza di un sistema di raccolta del percolato - Assenza di un sistema di raccolta del biogas <p>Rischi legati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inalazione di gas o vapori dal suolo - all'ingestione o al contatto dermico e all'infiltrazione del percolato nel sottosuolo e nelle acque di falda
ID_02	<ul style="list-style-type: none"> - diversi superamenti delle CSC (D.Lgs. 152/06) sia per i suoli sia per le acque sotterranee. In particolare emerge che le matrici ambientali risultano pesantemente contaminate da composti organici clorurati (con valori molto elevati per quanto riguarda l'Esacloroetano ed il Tetracloroetilene) riconducibili alla contaminazione presente nella discarica.
ID_03	<ul style="list-style-type: none"> - Incendi nella parte mediana della discarica - franamenti dello strato di terreno utilizzato come copertura dei rifiuti solidi urbani; - Presenza di rifiuti scoperti; - Lungo la strada perimetrale del bacino, presenza di liquido di colore scuro (presumibilmente percolato)
ID_04	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di rifiuti abbandonati in un vallone adiacente alla discarica stessa - Presenza di amianto e di scorie di combustione nella discarica.
ID_05	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di rifiuti della discarica nell'alveo del torrente Canniolo, sul quale si affaccia un fianco della discarica, con una scarpata di 60 m circa. I rifiuti abbancati sono probabilmente RSU e inerti - Possibile presenza di biogas nel corpo discarica
ID_06	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di triclorometano nelle acque di falda emunte dal piezometro P3, ubicato a valle idrogeologico della discarica di RSU, riconducibile alla discarica di RSU
ID_07	<ul style="list-style-type: none"> - dissesto idrogeologico in corrispondenza della sponda sinistra della discarica, con possibile sversamento dei rifiuti nel sottostante torrente Stirone
ID_08	<ul style="list-style-type: none"> - area fortemente soggetta a rischio idraulico - instabilità geotecnica del corpo rifiuti per via dei fenomeni erosivi del Torrente Stirone
ID_09	<ul style="list-style-type: none"> - mancanza di una barriera di fondo e delle pareti laterali impermeabilizzanti; - mancanza di un sistema di raccolta ed estrazione del percolato; - mancanza di pozzi di captazione del biogas; - mancanza di un adeguato sistema di impermeabilizzazione superficiale; - mancanza di un sistema di convogliamento delle acque superficiali - in caso di piene eccezionali del Vallone di Mezzanotte, area soggetta a rischio idraulico con pericolo di erosione al piede della discarica; - instabilità geotecnica del terreno vegetale di copertura - Presenza di rifiuti scoperti (localmente)
ID_10	<ul style="list-style-type: none"> • Mancanza di un sistema di captazione del biogas • mancanza di un adeguato sistema di impermeabilizzazione superficiale (solo terreno vegetale)
ID_11	<ul style="list-style-type: none"> - Assenza nella discarica di sistemi di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti, di sistemi di raccolta del percolato o di captazione del biogas o sistemi di regimazione delle acque meteoriche. • Presenza di rifiuti molto eterogenei (acque di scarico di parte dell'abitato di Manfredonia, rifiuti provenienti dal mattatoio dell'abitato di Siponto, rifiuti industriali provenienti dall'ex Stabilimento Enichem Agricoltura e rifiuti solidi di vario genere scaricati abusivamente, compreso materiale inerte grossolano). <p>Durante le attività di bonifica, non si sono mai verificati incidenti per i lavoratori. Tuttavia, sono state considerate le seguenti criticità con particolare attenzione:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rumore soprattutto nell'area della frantumazione del materiale; • Inalazione di polveri contaminate aerodisperse a seguito delle attività di scavo per il LM; • Interferenza con le attività di campionamento delle acque di falda dalla barriera di MISE; • Presenza di linee elettriche interrato poste a circa 70 cm dal p.c. • Problemi di viabilità nell'area limitrofa al cantiere per la presenza di molteplici mezzi, dovuta alla presenza di altri cantieri di bonifica (gestiti prevedendo il posizionamento di semafori e cartellonistica adeguata).
ID_12	<ul style="list-style-type: none"> • mancanza di un sistema di impermeabilizzazione superficiale; • fenomeni di instabilità geotecnica per la mancanza di un sistema di drenaggio e collettamento delle acque superficiali; • nella discarica controllata, i terrazzi gradonati rilevano un rischio medio di stabilità del corpo rifiuti; • mancanza di un adeguato sistema di raccolta ed estrazione del percolato; • mancanza di pozzi di captazione del biogas

3.7 Modello Bow-Tie per l'analisi del rischio

Nella valutazione della sicurezza di sistemi complessi ad alto rischio, come ad esempio le gallerie stradali ferroviarie e metropolitane o i cicli produttivi industriali, il modello Bow Tie (fig. 3.5) rappresenta una metodologia di riferimento per l'analisi di rischio (Sankar & Siddiqui, 2016). Tale modello include in via generale 5 elementi (Ferdous et al., 2013):

1. Le cause, che determinano guasti, malfunzionamenti, perdite o l'errore umano, definite anche eventi elementari (*basic events*), in quanto indipendenti tra loro e ciascuna autosufficiente all'evento;
2. L'albero dei guasti (*Fault Tree*), che graficamente mostra il percorso di interazioni tra le cause e gli eventi intermedi fino alla realizzazione dell'evento indesiderato, ossia "evento iniziatore";
3. Evento iniziatore, anche detto evento critico (*critical event*), che può dar luogo a una serie di conseguenze;
4. L'albero degli eventi o delle conseguenze (*Event Tree*), che definisce l'insieme delle correlazioni tra le possibili conseguenze sul sistema, sui lavoratori, sull'ambiente entro il quale si inserisce il sistema di un evento iniziatore;
5. Eventi finali, ossia le conseguenze tangibili sul sistema, derivanti dalla sistematica propagazione di un evento iniziatore attraverso il sistema e le misure di mitigazione del rischio (che possono avere successo oppure no).

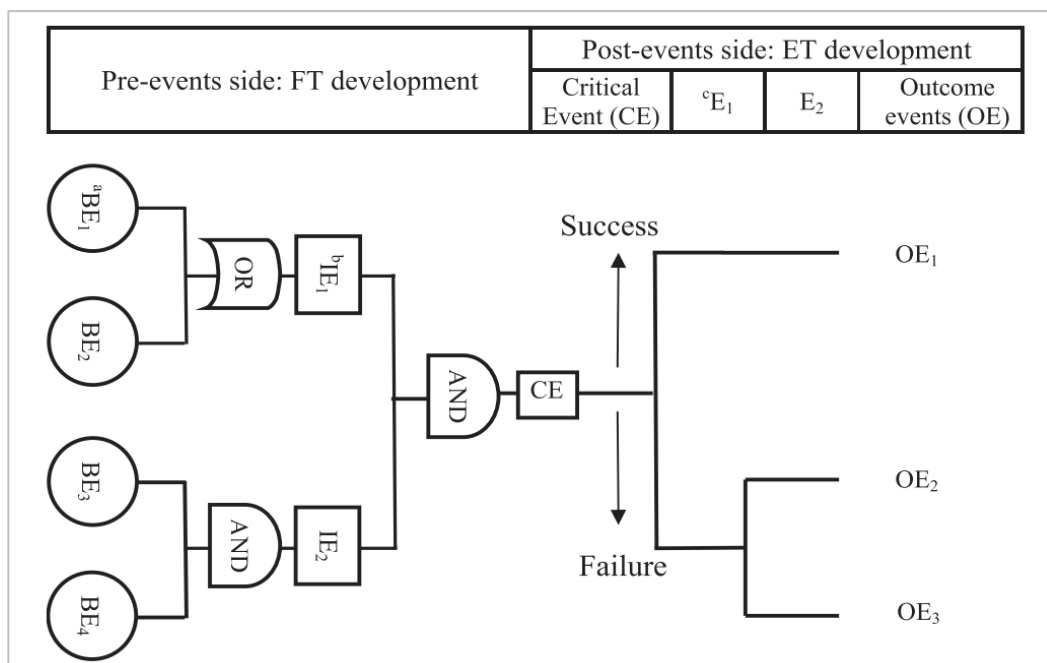


Figura 3.5. Schema del modello Bow Tie. Legenda: ^aBE: Basic Events; ^bIE: Intermediate Events; ^cE: Events (Ferdous et al., 2013)

Ancora più completa risulta la schematizzazione del modello offerta dall' (American Institute of Chemical Engineers, 2018), in cui sono considerati anche i seguenti elementi (fig.3.6):

- Pericolo (*hazard*): un'operazione, un'attività o un materiale che ha il potenziale per produrre un danno (es. sostanze pericolose, gas ad alta pressione; macchinari in movimento etc.);
- Misure di prevenzione (*prevention barriers*), che possono esplicare la loro funzione prevenendo ab origine la causa o bloccando la minaccia prima che si verifichi l'evento iniziatore;
- Misure di mitigazione (*mitigation barriers*) che possono esplicare la loro funzione prevenendo ab origine le conseguenze (misure di prevenzione delle conseguenze) o riducendo la magnitudo del danno (misure di protezione);
- Fattori di degradazione (*degradation factors*): vengono riportati in un modello Bow-Tie qualora l'efficacia delle misure di prevenzione delle cause e di mitigazione dei rischi possa essere influenzata da fenomeni di degradazione;
- Misure di controllo della degradazione (*degradation controls*): sono indicate laddove essenziali per mantenere attive ed efficaci le misure di prevenzione delle cause e di mitigazione dei rischi.

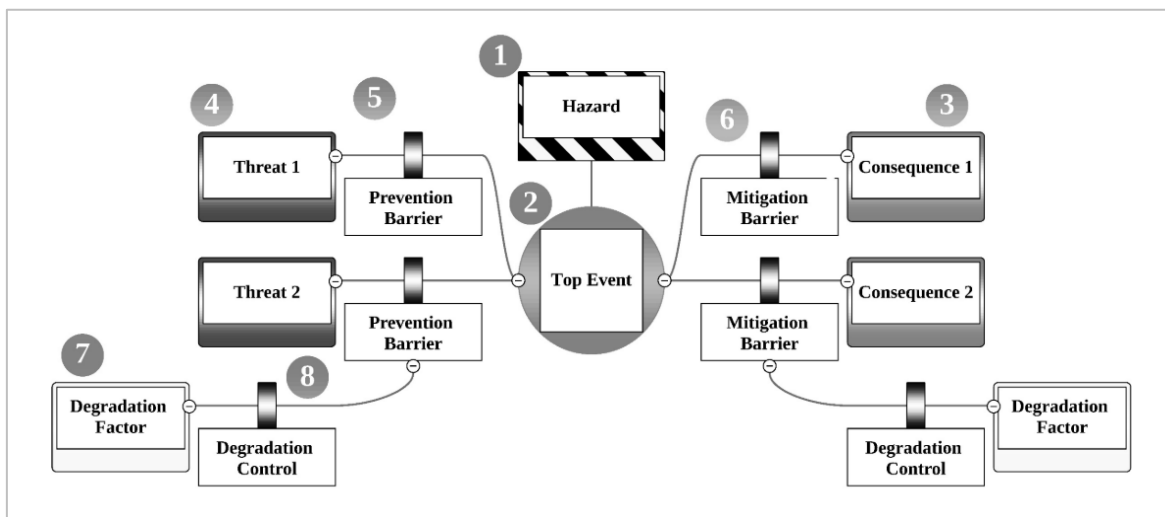


Figura 3.6. Rappresentazione del modello Bow Tie (American Institute of Chemical Engineers, 2018).
 Legenda: 1 Pericolo; 2 Evento iniziatore; 3 Eventi finali; 4 Cause radice; 5 Misure di prevenzione sulle cause; 6 Misure di mitigazione del rischio; 7 Fattori di degradazione; 8 Misure di controllo della degradazione.

Quindi, nel modello Bow Tie il passo cruciale è proprio la corretta identificazione dell'evento iniziatore, che può essere effettuata attraverso:

- una valutazione delle cause (*Fault Tree Analysis*);
- una valutazione delle conseguenze (*Event Tree Analysis*).

In ogni caso, tali valutazioni devono risultare coerenti anche con l'analisi dei pericoli inclusi nel sistema che possono prendere parte all'evento iniziatore.

Così come sottolineato da diversi ricercatori, il modello Bow Tie rappresenta uno strumento di analisi di rischio consistente, adattabile a diverse tipologie di sistema, ma soprattutto in grado di consentire una successiva valutazione quantitativa del rischio (rientra tra le metodologie di *Quantitative Risk Assessment*). Infatti, una volta note le correlazioni delle cause e delle conseguenze rispetto all'evento iniziatore, utilizzando le leggi della probabilità e le tradizionali assunzioni per i modelli FTA e ETA, è possibile attraverso serie storiche di dati attribuire valori quantitativi alla pericolosità e al danno e calcolare così indici di rischio.

3.7.1 *Fault Tree Analysis (FTA)*

La valutazione delle minacce o cause dell'evento iniziatore può essere efficacemente effettuata attraverso la tecnica *Fault Tree Analysis* (analisi ad albero dei guasti), che, nel caso di sistemi ad elevata complessità, è generalizzabile nella tecnica *Causal Tree Analysis* (analisi ad albero delle cause). Utilizzando questa procedura si può ottenere, nel rispetto delle regole di composizione degli eventi aleatori, la quantificazione delle cause elementari e complesse che generano l'incidente, opportunamente correlate tra loro fino al verificarsi dell'evento iniziatore.

L'analisi FTA prevede un approccio di tipo *top-down* (deduttivo): stabilito l'evento iniziatore, si individuano le sue cause complesse, per ciascuna delle quali sono definite le cause elementari (o radice), rappresentate da guasti elementari di componenti del sistema e errori procedurali elementari, se il sistema complesso vede la presenza rilevante del fattore umano.

Nel modello FTA, così come nel modello Bow Tie, le cause radice sono indipendenti tra loro e possono correlarsi secondo le funzioni logiche AND/OR. Se il collegamento tra le cause fino all'evento iniziatore è "in serie", allora le cause sono fra loro correlate con la funzione logica OR. Se viceversa solo la presenza contemporanea di tutti i guasti provoca l'evento considerato (collegamento delle cause "in parallelo"), viene utilizzata la funzione logica AND.

Se sono noti i valori di probabilità delle cause radice è possibile calcolare la pericolosità lungo l'albero dei guasti tenendo presente le seguenti equazioni (Ferdous et al., 2013):

- $P_{OR} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$ (congiunzione)
- $P_{AND} = \prod_{i=1}^n P_i$ (intersezione).

3.7.2 Event Tree Analysis

L'analisi degli eventi rappresenta un metodo induttivo per ricostruire tutti i possibili scenari di rischio conseguenti a un evento iniziatore, attraverso l'applicazione di una logica binaria (ON/OFF) all'attivazione delle misure di mitigazione del rischio (livelli di sicurezza) presenti nel sistema.

Quindi, una ETA prevede (fig. 3.7):

1. L'identificazione dell'evento iniziatore;
2. L'identificazione dei livelli di sicurezza installati per controllare l'evento iniziatore;
3. L'individuazione di tutti i possibili eventi successivi all'evento iniziatore e la loro correlazione booleana "ON/OFF-YES/NOT" all'attivazione o meno dei livelli di sicurezza.

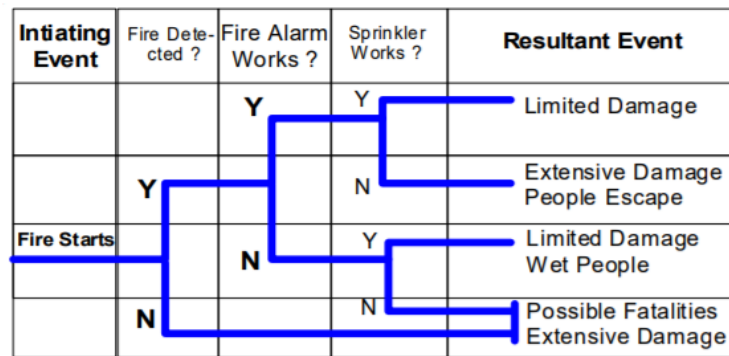


Figura 3.7. Esempio di una Event Tree Analysis (Marhavidas et al., 2014)

Ad ogni evento "Vero/Falso" dell'ETA può essere attribuito un valore di frequenza P_i e di danno D_i . Se gli eventi che si scatenano dall'evento iniziatore sono tra loro indipendenti, la frequenza cumulata dello scenario finale P_j è pari alla produttoria delle singole frequenze P_i ; stessa cosa dicasi per la valutazione del danno associato allo scenario j-esimo.

3.7.3 Elaborazione di indicatori di rischio

Noti i valori di probabilità e danno associati ad ogni ramo del modello ETA e considerata l'indipendenza degli eventi, è possibile valutare l'indicatore di rischio totale con la seguente equazione:

$$RT = \sum_{j=1}^n P_j D_j$$

Il rischio totale è quindi una media ponderata dei danni realizzabili da parte di tutti gli eventi finali in funzione delle probabilità dei singoli scenari. Per questo motivo il rischio totale è detto anche danno atteso.

Nel processo di valutazione del rischio è utile valutare anche il rischio individuale e il rischio sociale. Il primo fornisce una stima del rischio sul singolo individuo ed è calcolato per una specifica area geografica e per un determinato periodo di tempo. In genere, il valore del rischio individuale è ottenuto dividendo il rischio totale per il numero di individui esposti. Nel caso di alcune norme, come ad esempio quelle relative alla sicurezza stradale, il rischio individuale è confrontato con valori di accettabilità assoluta e inaccettabilità assoluta. Laddove il rischio individuale sia compreso tra questi limiti, ossia nella zona ALARP, è necessario motivare perché non sono praticabili e raggiungibili livelli di sicurezza più alti.

Il secondo invece è l'indicatore che rappresenta la correlazione tra frequenza e numero di individui che possono restare vittime di un certo scenario. Generalmente, il rischio sociale è rappresentato nel piano bilogarithmico N-F (numero di vittime-frequenza) e confrontato con curve N-F di accettabilità e inaccettabilità del rischio.

3.7.4 Indicazioni per l'applicazione del modello Bow Tie alle discariche illecite

Premesso quanto sopra, in via generale non si ravvisano motivi ostativi all'applicazione di questo modello per la valutazione dei rischi nelle discariche illecite durante le attività di risanamento. Tuttavia, è opportuno precisare che al momento non esistono criteri di accettabilità del rischio in tale contesto, né valori di probabilità e danno noti in letteratura derivati dallo studio statistico di eventi iniziatori in tali contesti. Pertanto, l'applicazione del modello Bow-Tie allo stato attuale delle conoscenze può condurre solo ad un'analisi degli scenari di rischio di tipo qualitativo, variabile in funzione dell'esperienza e delle specifiche competenze del Responsabile della Sicurezza.

In analogia con l'approccio di valutazione del rischio stabilito nel nuovo Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 3 agosto 2015 e ss.mm.ii.), si ritiene possibile ipotizzare scenari di rischio che tengano conto delle conseguenze sui lavoratori (per esempio, in termini di giornate perse al lavoro per infortunio), sui mezzi/impianti (per esempio, in termini di risorse economiche richieste per la riparazione del danno) e sull'ambiente (a tal proposito, potrebbe essere utile il riferimento a metodologie che valutino il danno sulle diverse componenti ambientali, come suolo, acque sotterranee, biodiversità etc.).

Con riferimento alle conseguenze di un evento iniziatore sui lavoratori, in via preliminare si possono considerare i seguenti scenari, proposti in funzione del vocabolario relativo agli infortuni sul lavoro di cui al successivo cap. 3:

1. Nessuna conseguenza sui lavoratori o qualche infortunio - medicazione¹⁵;
2. Lievi conseguenze sui lavoratori (es. fino a 5 giorni di assenza dal lavoro);
3. Moderate conseguenze sui lavoratori (es. da 6 a 15 giorni di assenza dal lavoro);

¹⁵ Cfr. definizione in norma UNI 7249:2007 "Statistiche degli infortuni sul lavoro"

4. Gravi conseguenze sui lavoratori (es. da 15 a 40 giorni di assenza dal lavoro);
5. Elevate conseguenze sui lavoratori (es. uno o più eventi mortali con infortuni gravi).

Considerate le informazioni disponibili nella letteratura di settore e nei documenti progettuali disponibili presso INAIL, tali scenari potrebbero essere correlati almeno ai seguenti eventi iniziatori:

- a) Sviluppo di un focolaio nel corpo discarica;
- b) Crollo di una massa di rifiuti;
- c) Sversamento incontrollato di percolato nell'ambiente;
- d) Fuoriuscita incontrollata di gas nell'ambiente.

Stabiliti gli eventi iniziatori, la valutazione approfondita delle cause (FTA) per ciascuno dovrà tener conto delle peculiarità del contesto lavorativo e delle singole attività, attraverso l'adozione di specifici modelli di analisi (per esempio, il metodo JHA). Infine, riconosciuti i legami AND/OR tra le cause elementari potranno essere individuate le più opportune misure di prevenzione alla base del modello.

Capitolo 4

Analisi degli infortuni in discarica¹⁶

Tradizionali strumenti per una corretta gestione della sicurezza sul lavoro sono rappresentati da prescrizioni normative, regole tecniche condivise a livello internazionale e/o nazionale, linee guida rilasciate da autorità di controllo, report di analisi e statistiche degli infortuni di settore (Aneziris et al., 2012). Tuttavia, da diversi anni la comunità scientifica ritiene fondamentale analizzare gli infortuni verificatisi nei luoghi di lavoro per acquisire informazioni utili a migliorare la gestione dei rischi da parte di progettisti e responsabili della sicurezza dei lavoratori (Demichela et al., 2011; Jacinto & Soares, 2008; A. K. Lindberg et al., 2010; Lombardi et al., 2019).

4.1 La definizione di infortunio

In Italia, il legislatore fornisce per la prima volta la definizione di infortunio sul lavoro con il D.P.R. 1124 del 30 giugno 1965 (Testo Unico delle disposizioni per l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali), dal momento che rende obbligatoria per i datori di lavoro la stipula di un'assicurazione infortuni per i propri lavoratori. A tal proposito, l'infortunio sul lavoro viene definito come

Evento lesivo avvenuto per causa violenta, in occasione di lavoro, da cui sia derivata la morte o un'inabilità permanente al lavoro, assoluta o parziale, ovvero un'inabilità temporanea assoluta che comporti l'astensione dal lavoro per più di tre giorni.

Quindi, nella definizione proposta nel 1965 le componenti fondamentali di un infortunio sul lavoro sono le seguenti:

- La causa violenta: il danno all'individuo è prodotto da un evento che agisce in modo rapido e concentrato nel tempo e può essere di natura traumatica, virale, termica, elettrica etc.
- L'occasione di lavoro: l'infortunio non deve essere accaduto solamente nell'ambiente di lavoro, ma anche per il lavoro (finalità lavorativa);
- L'inabilità, ossia la menomazione della capacità lavorativa dell'assicurato, strettamente legata alle peculiarità del lavoratore stesso e non dipendente da eventuali fattori economici e sociali.

¹⁶ Da questo capitolo è stata tratta una pubblicazione indicizzata in Scopus e presentata al convegno internazionale "5th European Conference Industrial Engineering and Operations Management" (2022), organizzato dalla IEOM Society

Con la norma UNI 7249:2007 “Statistiche degli infortuni sul lavoro” (aggiornamento della stessa norma rilasciata nel 1995) viene aggiornato il vocabolario sul tema come segue¹⁷:

- Infortunio sul lavoro: *evento fortuito avvenuto in occasione di lavoro che abbia provocato una lesione fisica o psichica* (definizione poi adottata da EuroStat, che comprende le intossicazioni acute, gli atti intenzionali da parte di altre persone, gli infortuni occorsi durante il lavoro ma all'esterno dell'impresa anche se provocati da terzi);
- Infortunio medicazione: *infortunio sul lavoro che abbia comportato solo una medicazione con ripresa immediata del lavoro o con il suo abbandono per la sola parte restante del turno lavorativo nel quale si è prodotto*;
- Infortunio in itinere: *infortunio lavorativo verificatosi nei tragitti da e verso il posto di lavoro* (definizione poi adottata da EuroStat, che comprende anche i tragitti da e verso la mensa, quando all'esterno dell'impresa);
- Infortunio sul lavoro e in itinere: *evento lesivo, avvenuto per causa violenta e in occasione di lavoro da cui sia derivata una lesione all'integrità psicofisica del lavoratore suscettibile di valutazione medico legale. Tale definizione comprende anche l'evento infortunio-malattia rappresentato da una affezione di natura infettiva o parassitaria (ad eccezione dell'anchilostomiasi).*

A livello europeo, invece, l'infortunio sul lavoro è definito come un “*evento occasionale nel corso dell'attività lavorativa che porta a un danno fisico o mentale.*” (Eurostat, 2013).

Ai fini della valutazione dei rischi specifici relativi al particolare contesto delle discariche, sarà considerata la definizione di infortunio sul lavoro di cui alla norma UNI 7249, ripresa anche in ambito europeo.

4.2 L'infortunio come opportunità di miglioramento: i primi modelli di analisi

Le prime ricerche sugli eventi infortunistici risalgono agli inizi del Novecento, quando con lo sviluppo delle scienze umane, prima fra tutte la psicologia, alcuni studiosi tentano di comprendere in maniera razionale eventi fino ad allora considerati il frutto di forze soprannaturali. Pertanto, lo studio degli infortuni inizia sostanzialmente con l'obiettivo di comprendere in che modo il comportamento dell'individuo (ossia il fattore umano) possa condizionare il decorso degli eventi fino alla lesione o alla morte del lavoratore¹⁸.

¹⁷ Alla data di pubblicazione e consultazione della Norma UNI 7249 sono in vigore il D.P.R. 1124/1965 e il D.Lgs. 38/2000 e ss.mm.ii. Ulteriori dettagli sul tema sono inclusi nell'appendice B.

¹⁸ I metodi basati sul fattore umano come unica causa di infortunio hanno condotto alla definizione di due filoni di ricerca: quello della predisposizione individuale e quello della suscettibilità ad infortunarsi. Secondo il primo filone, alcune caratteristiche umane sono inegualmente ripartite tra gli individui e, di

Successivamente, si evolve con lo sviluppo dei modelli decisionali, ispirati alle teorie psicologiche del trattamento dell'informazione, nei quali l'individuo non è più visto come causa unica, diretta ed immediata degli infortuni, ma come il destinatario delle informazioni che riceve sul luogo di lavoro e come soggetto che prende decisioni più o meno rischiose per la sua sicurezza (Laflamme, 2000). Pertanto, in questi modelli l'infortunio è il risultato dell'incapacità individuale di confrontarsi in maniera sicura con i cambiamenti che si succedono nella situazione lavorativa.

Infine, lo studio degli infortuni si perfeziona con l'introduzione dei modelli sistemici, ossia metodi basati contestualmente su:

- la pluralità di fattori che concorrono all'accadimento dell'evento (multifattoriali);
- la presenza di fattori di rischio correlati a diversi ambiti di indagine (uomo, macchine, ambiente etc.).

Ne è un esempio il modello del "Formaggio Svizzero" di Reason (2000), nel quale l'infortunio viene visto come il risultato della concatenazione di una serie di errori (o buchi) riscontrati nelle diverse aree del sistema di gestione della sicurezza aziendale (fig. 4.1).

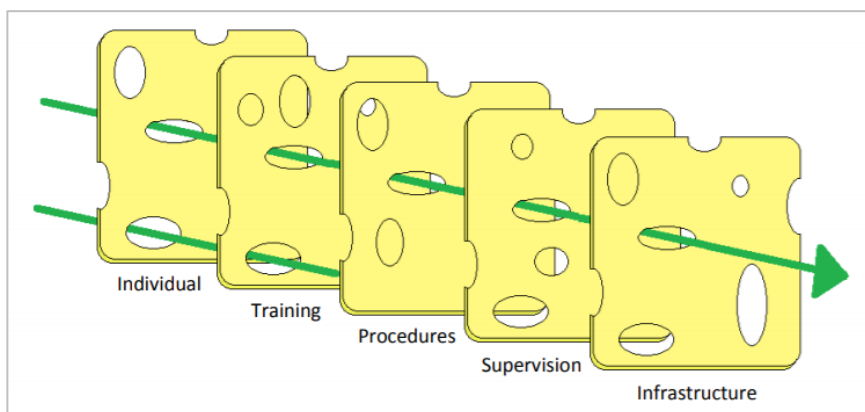


Figura 4.1 Swiss Cheese Model (Reason, 2000)

Con i modelli sistemici emerge l'interesse per la dinamica infortunistica, ossia per l'insieme di interazioni reciproche tra uomo, macchina e ambiente, che sinergicamente concorrono all'accadimento dell'evento, e si inizia a parlare di trasferimento dell'energia dalla macchina o dall'ambiente all'uomo "*come condizione imprescindibile perché vi sia una lesione*" (G. Campo et al., 2006).

conseguenza, alcuni soggetti sono più vulnerabili di altri nel corso di tutta la loro vita lavorativa. Pertanto, l'approccio preventivo degli infortuni consiste nell'individuazione ed eliminazione degli individui con quei tratti immutabili che possono condurre agli infortuni al momento dell'assunzione.

Secondo l'altro filone, invece, è possibile cambiare nel corso del tempo le caratteristiche umane che influenzano la propria sicurezza attraverso la formazione e l'esperienza. Per questo motivo, i ricercatori di questa corrente di pensiero parlavano di suscettibilità all'evento infortunistico (Laflamme, 2000).

Seppur diversi, i modelli di analisi infortunistica sono stati quindi sviluppati con l'obiettivo di trasformare l'infortunio in opportunità, attraverso un processo di apprendimento esperienziale.

Tuttavia, fin qui è stato prodotto un breve quadro riassuntivo dei modelli disponibili in letteratura per l'analisi del singolo evento di infortunio. Negli ultimi anni, invece, è cresciuto l'interesse anche per i modelli che consentano di effettuare prevenzione dei rischi per la sicurezza dei lavoratori, a partire da un database di infortuni accaduti nel medesimo contesto lavorativo (Figura 4.2).

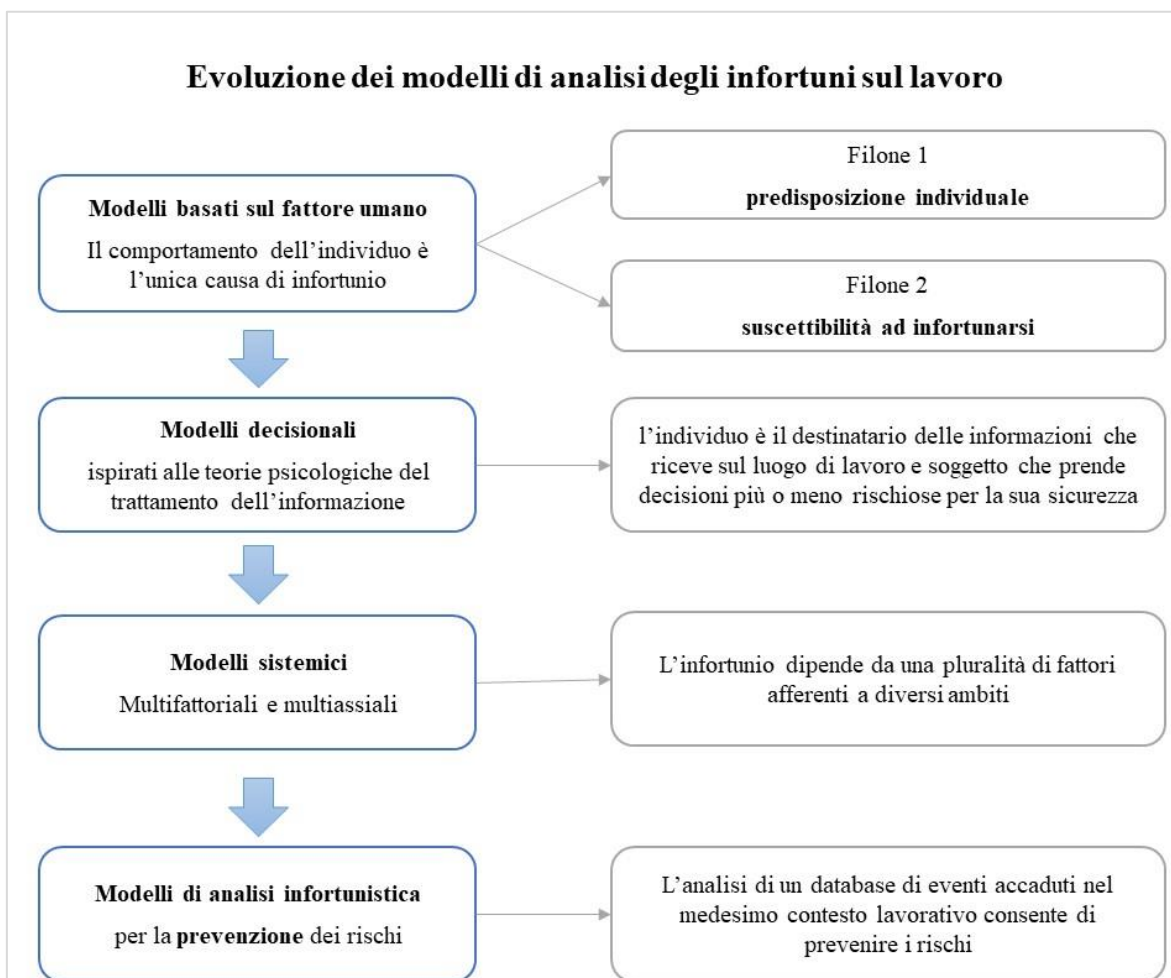


Figura 4.2 Evoluzione dei modelli di analisi degli infortuni sul lavoro

A tal proposito, uno dei primi modelli di analisi infortunistica di quest'ultima tipologia è stato sviluppato nel 2006 dalla Commissione d'Inchiesta sugli Infortuni dell'Autorità Svedese (A.-K. Lindberg & Ove Hansson, 2006; A. K. Lindberg et al., 2010) ed è stato definito "modello a catena" (*chain model*) perché prevede le seguenti fasi successive di valutazione:

1. Gli infortuni e i possibili incidenti (*near-misses*) nei luoghi di lavoro sono segnalati alla commissione/autorità preposta alla vigilanza sugli infortuni (fase di *reporting*);

2. I fascicoli d'infortunio sono analizzati per selezionare gli infortuni e i *near-misses* che meritano una valutazione più approfondita (fase di selezione);
3. Le cause degli infortuni selezionati sono studiate nel dettaglio (questa è la fase di analisi, che riveste un ruolo fondamentale nel metodo);
4. I risultati delle analisi condotte sono comunicati ai responsabili per la sicurezza in luoghi di lavoro con caratteristiche simili a quelli dove sono accaduti gli infortuni (fase di comunicazione dei risultati). Per questa fase di comunicazione l'autorità preposta al controllo e alla prevenzione dei rischi sul lavoro può avvalersi del supporto di altre pubbliche amministrazioni, come gli ispettorati del lavoro e le camere di commercio;
5. Le lezioni apprese dalle analisi infortunistiche sono messe in pratica per prevenire ulteriori infortuni (fase di prevenzione).

Il *chain model* rappresenta un processo di analisi qualitativa "concatenata": se una delle fasi salta per qualche motivo, tutto il processo fallisce. Ciò significa che se gli elementi di ogni infortunio non sono correttamente comunicati all'autorità preposta, o se gli infortuni selezionati non sono quelli dai quali è possibile trarre una lezione importante, o se non è possibile identificare le cause degli infortuni selezionati, o se i risultati dell'analisi infortunistica non raggiungono chi può prevenire ulteriori incidenti, o se le informazioni desunte dall'analisi non possono contribuire ad attuare un programma di prevenzione, allora l'intero modello non ha senso, perché non permette di raggiungere l'obiettivo fondamentale di prevenire nuovi infortuni.

A partire dal 2007, il nuovo metodo di classificazione degli infortuni secondo le variabili ESAW e le tecniche di *data mining* hanno cambiato l'approccio dell'analisi infortunistica da qualitativo a quantitativo. Infatti, la codifica ESAW, rappresentata da codici standard, ben si presta all'adozione di tecniche di analisi statistico-matematica per l'individuazione delle principali dinamiche infortunistiche dei vari settori economici e delle relative cause.

4.3 Il data mining per l'analisi infortunistica

Con l'espressione "data mining"¹⁹ si intende il processo che consente di scoprire nuove e significative correlazioni di variabili a partire da grandi quantità di dati, collezionati in archivi che sfruttano tecnologie di riconoscimento delle proprietà e tecniche statistiche e matematiche (Larose, 2005). Quindi, il *data mining* prevede la combinazione di metodi statistici come la regressione lineare e l'analisi cluster con tecniche relative all'intelligenza artificiale (reti neurali, alberi di decisione) per estrarre informazioni quantitative e preziose da dataset (Palamara et al., 2011).

¹⁹ According to the Gartner Group, "Data mining is the process of discovering meaningful new correlations, patterns and trends by sifting through large amounts of data stored in repositories, using pattern recognition technologies as well as statistical and mathematical techniques".(Larose, 2005)

I metodi di *data mining* presentano oggi numerose applicazioni: lanciando una ricerca su Scopus, è possibile contare più di 170 000 pubblicazioni sul tema, prodotte negli ultimi dieci anni (2010-2020) in tutti i settori bibliografici (scienze informatiche, ambientali, mediche, ingegneristiche, sociali etc.). A titolo di esempio, numerose applicazioni di *data mining* riguardano la valutazione delle cause di alcune malattie tumorali, respiratorie, neurologiche etc. o degli incidenti stradali, al fine di determinare soluzioni utili ad evitare nuovi casi.

Quindi, in via generale, le tecniche di *data mining* sono utilizzate per individuare le relazioni reciproche tra i fattori che governano un fenomeno e per orientare il processo decisionale finalizzato a prevenirne le eventuali conseguenze dannose del fenomeno stesso.

Il processo di *data mining* è articolato in una serie di step successivi:

1. Studio della materia di applicazione delle tecniche;
2. Selezione delle fonti informative e dei dati utili ad estrarre nuove informazioni;
3. Pre-processamento dei dati, basato sull'eliminazione di eventuali *outliers* e/o informazioni superflue per le finalità delle analisi, nonché sulla corretta gestione dei dati con record vuoti;
4. Applicazione di algoritmi finalizzati a estrarre correlazioni;
5. Valutazione critica dei risultati ottenuti;
6. Utilizzo dei risultati per il raggiungimento di obiettivi specifici (es. prevenzione sanitaria).

L'applicazione degli algoritmi di *data mining* richiede sempre l'organizzazione dei dati in modo tale che siano studiabili con tecniche statistiche e/o matematiche. A tal proposito, possono essere utili le mappe neurali (o reti neurali artificiali), basate sulla tipologia di apprendimento non lineare che caratterizza la mente umana o di altri animali (Chumha et al., 2020; Larose, 2005), o la schematizzazione dei dati in forma matriciale con vettori booleani (0-1) per tener conto della contemporanea presenza di più variabili in uno stesso evento (Lombardi et al., 2019).

Quindi, partendo dall'articolazione di un processo di *data mining* e da alcune applicazioni disponibili in letteratura, sono state identificate le possibili fasi di un'analisi infortunistica che sfrutti tecniche statistico-matematiche (Figura 4.3):

1. Selezione di un campione di infortuni da database validati da Autorità nazionali (es. INAIL, ASL) o organismi riconosciuti a livello internazionale (es. EuroStat);
2. Analisi delle cause evidenziate nel fascicolo di infortunio da parte di un tecnico esperto della materia o della dinamica infortunistica;
3. Applicazione di modelli di analisi statistico-matematica alle cause o alle variabili della dinamica infortunistica per valutarne le reciproche correlazioni;

4. Discussione dei risultati ottenuti, attraverso l'individuazione e la valutazione dei rischi specifici e delle relative misure di mitigazione (di prevenzione e protezione).

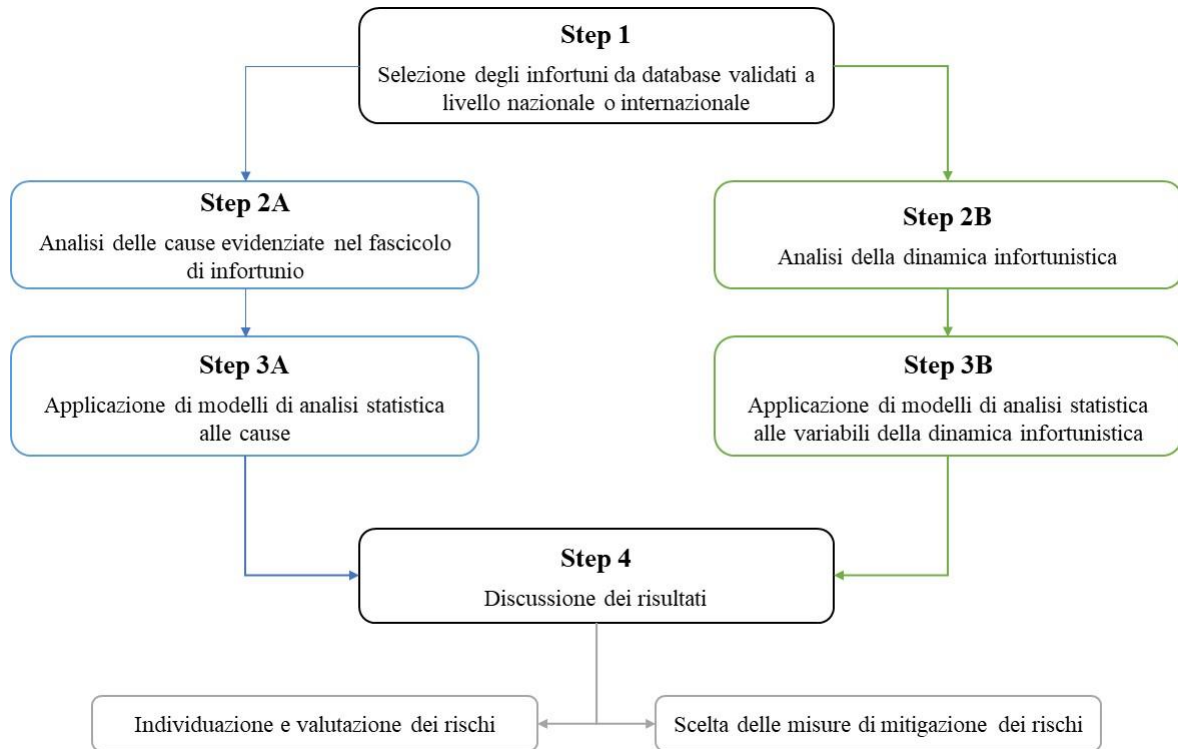


Figura 4.3. Possibili fasi dell'analisi infortunistica

Il diagramma di flusso presentato in Figura 4.3 può essere anche applicato all'analisi di infortuni collezionati in un database aziendale, nell'ambito di un modello di gestione della sicurezza sul lavoro ISO 45001. In tal caso, l'attendibilità del dato di partenza per l'analisi infortunistica è a cura del responsabile del database aziendale.

Si precisa che nel suddetto modello è stata esclusa l'opportunità di partire dall'analisi degli effetti infortunistici, dal momento che tale approccio, di matrice epidemiologica, può diventare particolarmente oneroso per l'analisi dei rischi e scarsamente attendibile, tenuto conto che il medesimo effetto può essere la conseguenza di più rischi.

4.4 Banche dati infortunistiche italiane

In Italia, l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) è l'ente pubblico non economico che gestisce le attività finalizzate al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- ridurre il fenomeno infortunistico;
- assicurare i lavoratori che svolgono attività a rischio;
- garantire il reinserimento nella vita lavorativa degli infortunati sul lavoro;

- realizzare attività di ricerca e sviluppare metodologie di controllo e di verifica in materia di prevenzione e sicurezza.

Considerato l'obbligo per qualsiasi datore di lavoro di comunicazione all'INAIL degli infortuni che comportano l'assenza dal lavoro di almeno un giorno escluso quello dell'evento (ai sensi dell'art. 3, art. 18, co. 1, lett. r) e dell'art. 21 D.lgs. 81/2008), è evidente che l'Istituto rappresenta un punto di riferimento a livello nazionale per la raccolta delle informazioni infortunistiche.

A livello locale, è possibile reperire dati infortunistici anche presso i Servizi di Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro (SPSAL) delle Aziende Sanitarie Locali (ASL), istituiti in seguito all'entrata in vigore della legge 23 dicembre 1978, n. 833 sul Servizio Sanitario Nazionale. Infatti, gli operatori degli SPSAL svolgono attività di controllo e vigilanza, programmate o su richiesta dell'Autorità Giudiziaria, che prevedono anche il riconoscimento delle cause e delle responsabilità nei casi di infortunio e di malattia professionale.

Tuttavia, l'attribuzione alle Regioni di alcune funzioni del SSN (tra queste quelle riguardanti la prevenzione, igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro) ha determinato delle differenze nelle modalità di acquisizione dei dati infortunistici a livello locale, che per una analisi su scala nazionale non permettono di avere un campione omogeneo. A titolo di esempio, il fascicolo infortunistico potrebbe contenere informazioni con diverso grado di dettaglio, se collezionate in forma discorsiva anziché con codici alfanumerici. Pertanto, il lavoro di analisi infortunistica svolto nell'ambito di questa tesi si è concentrato sui dati messi a disposizione dall'INAIL.

Sul sito web dell'INAIL, è possibile accedere ad alcune banche dati (Banca Dati Statistica, Banca dati delle Professioni) che in forma aggregata riportano gli andamenti infortunistici e delle malattie professionali per diversi settori economici, professione lavorativa e/o voce di tariffa premio INAIL per un triennio di riferimento (es. 2017-2019). Da queste statistiche si possono estrarre informazioni di carattere qualitativo: infatti, attraverso un confronto con un settore economico scelto come riferimento, è possibile confrontare i profili di rischio e capire quale sia l'insieme delle attività economiche da migliorare dal punto di vista della sicurezza dei lavoratori.

Allo stesso tempo, sul portale INAIL è disponibile la Banca dati Infor.MO, una raccolta di schede di infortuni gravi e mortali che contengono una descrizione della dinamica infortunistica, con una chiara individuazione delle cause e delle conseguenze per ciascun evento. In letteratura, sono riportate alcune elaborazioni con tecniche di *data mining* sulle schede Infor.MO al fine di migliorare i sistemi di gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro (Lombardi et al., 2019).

Infine, previa richiesta per scopi di ricerca scientifica, è possibile consultare i “Flussi Informativi INAIL-Regioni”, un database ad accesso riservato nel quale sono contenuti tutti gli infortuni accaduti in Italia, collezionati in forma disaggregata secondo la codifica ESAW richiesta dal Regolamento 2011/349/UE e ulteriori sistemi di classificazione utili a descrivere in forma alfanumerica l’evento.

Di seguito è presentato il lavoro di ricerca svolto consultando le ultime due banche dati (Infor.MO e Flussi Informativi), dal momento che:

- sono caratterizzate da un’impostazione diversa;
- essendo costituite da dati disaggregati, si prestano all’applicazione di tecniche di *data mining* e, quindi, all’estrazione di considerazioni sulle cause e/o sulla dinamica infortunistica, utili poi all’analisi e gestione dei rischi per la sicurezza dei lavoratori.

Per selezionare il campione infortunistico è stato stabilito:

- il periodo temporale di riferimento. In prima approssimazione, si è ritenuto ragionevole considerare l’intervallo di tempo compreso tra il 1 gennaio 2002 e il 31 dicembre 2019;
- l’insieme di codici ATECO²⁰ (stabiliti dall’ISTAT) e tariffa INAIL²¹ nel periodo di riferimento, dal momento che non esiste un preciso codice alfanumerico che consenta in maniera diretta di estrarre dai database INAIL gli infortuni accaduti in discarica.

4.4.1 Codifica ESAW degli infortuni sul lavoro

Con l’articolo 9 della Direttiva 89/391/CEE sono stati introdotti in Europa i seguenti obblighi per i datori di lavoro in materia di salute e sicurezza occupazionale:

- Par. c): *tenere un elenco degli infortuni che abbiano comportato per il lavoratore un’incapacità di lavorare superiore a tre giorni;*
- Par. d): *redigere per l’autorità competente e conformemente alle legislazioni e/o prassi nazionali, relazioni sugli infortuni sul lavoro di cui siano state vittime i suoi lavoratori.*

Pertanto, a partire dagli anni ’90 a livello europeo è iniziato un intenso lavoro di armonizzazione delle Statistiche Europee sugli Infortuni nei luoghi di lavoro (*European Statistics on Accidents at Work – ESAW*), al fine di dare attuazione alle prescrizioni di cui sopra e alle Risoluzioni del Consiglio Europeo del 21 dicembre 1987²² e del 27 marzo 1995²³.

²⁰ Attività Economica

²¹ In merito alle classificazioni ATECO e voce di tariffa INAIL sono forniti approfondimenti in appendice B

²² Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee 88/C 28/01 del 03.02.1988

²³ Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee 95/C 168/01 del 04.07.1995

In particolare, il progetto ESAW si è articolato in tre fasi di raccolta dati (rispettivamente negli anni 1993, 1996 e 2001) al fine di individuare delle variabili comuni con le quali descrivere gli infortuni sul lavoro. Con il Regolamento UE n.1338/2008 e il Regolamento UE n.349/2011 è stata resa obbligatoria la trasmissione dei dati infortunistici all'EuroStat attraverso la codifica ESAW, al fine di dotare l'Unione Europea di una base informativa comune. In particolare, la trasmissione obbligatoria degli infortuni con alcune variabili ESAW è iniziata a partire dal 2013.

La classificazione ESAW prevede quindi la descrizione dell'infortunio attraverso:

- Informazioni che consentono di dire dove e quando è avvenuto l'infortunio e chi è la vittima (es. il settore economico del datore di lavoro, l'occupazione della vittima, la posizione lavorativa, il sesso, l'età, la nazionalità, la localizzazione geografica e l'ampiezza dell'unità imprenditoriale locale, la data e l'ora, il luogo di lavoro, la postazione di lavoro e il processo di lavoro);
- Informazioni che consentono di capire come si è verificato l'infortunio, quali sono le circostanze e le modalità che hanno condotto alle lesioni (es. l'attività fisica specifica, la deviazione, il contatto e la modalità della lesione, gli agenti materiali);
- Informazioni sulla natura e sulla severità delle lesioni e sulle conseguenze dell'infortunio (es. la parte del corpo lesionata, la tipologia di lesione e il numero di giorni persi).

È evidente che per la ricerca di infortuni attinenti a specifici luoghi di lavoro, due sono le variabili ESAW particolarmente utili per la selezione del campione oggetto di studio:

- Variabile “luogo di lavoro” – *“l'ambiente geografico in cui si trovava la vittima al momento dell'infortunio, il luogo, cioè, in cui lavorava, passava o semplicemente era presente per via della sua attività lavorativa”*;
- Variabile “processo di lavoro” – *“una descrizione dell'attività svolta dall'infortunato in senso ampio, vale a dire il lavoro che la vittima stava effettuando in un certo spazio temporale fino all'istante dell'infortunio.”*

Nelle tabelle 4.1 e 4.2 sono riportati i codici di variazione delle suddette variabili²⁴, considerati in prima istanza di interesse per il presente lavoro di ricerca.

²⁴ Nell'Allegato I a (Eurostat, 2013) sono disponibili tutti i codici delle variabili ESAW

Tabella 4.1. Codici di interesse per la variabile ESAW “luogo di lavoro”

Variabile ESAW Luogo di lavoro		
Sezione	Codice	Descrizione
010		Sito industriale
	011	Area di produzione, officina, laboratorio
	012	Area per la manutenzione e le operazioni di riparazione
	013	Area utilizzata principalmente per lo stoccaggio e le operazioni di carico e scarico
	019	Altri luoghi di lavoro del gruppo 010 non inclusi nelle precedenti categorie
999		Altri luoghi di lavoro non inclusi nella classificazione

Tabella 4.2. Codici di interesse per la variabile ESAW “processo di lavoro”

Variabile ESAW Processo di lavoro		
Sezione	Codice	Descrizione
50		Altri processi di lavoro correlati alle attività codificate 10, 20, 30 e 40
	51	Installazione, preparazione, montaggio, smontaggio
	52	Manutenzione, riparazione, registrazione, messa a punto
	53	Pulizia di locali, di macchine – industriale o manuale
	54	Gestione dei rifiuti, raccolta e trattamento dei rifiuti di ogni tipo
	55	Controllo, verifica delle procedure di fabbricazione, delle zone di lavoro, dei mezzi di trasporto, delle attrezzature - con o senza attrezzature di controllo
	59	Altri processi di lavoro del gruppo 050 non inclusi nelle precedenti categorie
99		Altro tipo di lavoro non indicato nella presente nomenclatura

4.5 Analisi delle schede Infor.Mo

Durante gli anni '90 in Italia, mentre si registrava un calo degli infortuni non mortali sul lavoro, si rilevava un trend stabile per gli infortuni mortali, che richiedeva un approfondimento delle cause dietro a tali eventi. Così nel 2000 l'ISPESL²⁵ (oggi incorporato nell'INAIL) decise di avviare un progetto di ricerca in collaborazione con 20

²⁵ Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro

regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano per monitorare gli infortuni gravi e mortali in diversi luoghi di lavoro.

Il database Infor.MO²⁶ rappresenta oggi il principale prodotto di tale progetto e raccoglie gli infortuni gravi e mortali avvenuti nei luoghi di lavoro negli anni 2002-2016 (Giuseppe Campo et al., 2020). Per ogni infortunio presente nel database, è stata ricostruita la dinamica incidentale attraverso il metodo utilizzato nel processo investigativo giudiziario: partendo dal danno, ne sono state individuate le cause.

Così come osservato da diversi autori (Lombardi et al., 2019), per ogni infortunio in questo database sono forniti inoltre i seguenti dati:

1. Tipologia di infortunio: es. mortale, grave o infortunio con menomazioni;
2. Dati relativi all'evento: es. data, ora, numero di persone coinvolte, tipologia di attività lavorativa condotta quando si è verificato l'infortunio, tipologia di azienda, settore economico dell'azienda etc.;
3. Tipologia di trasferimento dell'energia: scambio di energia, rilascio di energia, uso improprio dell'energia;
4. Indicatori ESAW (Eurostat, 2013);
5. Informazioni sulla vittima: età, sesso, nazionalità, esperienza di lavoro, lesioni etc.

Nel database Infor.Mo è possibile selezionare gli infortuni per periodo temporale, settore economico, area geografica e parola chiave (tabella 4.3).

Tabella 4.3. Criteri di selezione nel database Infor.Mo (INAIL, 2002)

Criteri di selezione nel database Infor.Mo (INAIL, 2002)	
Periodo temporale	È possibile scegliere infortuni verificatisi nel periodo 2002-2016
Settore economico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costruzioni; ▪ Agricoltura, caccia e silvicoltura; ▪ Trasporti, magazzinaggio e comunicazioni; ▪ Metallurgia, fabbrica di prodotti in metallo (no macchine/impianti); ▪ Commercio all'ingrosso e al dettaglio; riparazione auto, moto e beni personali; ▪ Fabbrica di macchine ed apparecchi meccanici; ▪ Fabbrica di prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi; ▪ Industria del legno e dei prodotti in legno; ▪ Altri servizi pubblici, sociali e personali; ▪ Altri comparti.
Area geografica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nord – Est ▪ Nord – Ovest ▪ Centro ▪ Sud e Isole
Parole chiave	Ricerca libera

²⁶ L'acronimo Infor.Mo sta per "infortuni mortali" (INAIL, 2002)

Campo et al. (2020) classificano gli infortuni sul lavoro contenuti nel database Infor.Mo in due categorie:

- Infortuni causati da un imprevisto rilascio di energia pericolosa (ad esempio, elettrica, meccanica, idraulica, chimica, nucleare, termica, gravitazione o altra forma di energia che alimenta un sistema che consente di svolgere l'attività lavorativa) e da un'azione involontaria che altera il sistema di controllo (procedure, tecniche, metodi, strumenti etc.) dell'energia pericolosa;
- Infortuni causati dall'energia pericolosa che è normalmente presente sul luogo di lavoro, come ad esempio l'energia meccanica (nel caso di ingranaggi e parti meccaniche in movimento non adeguatamente isolati), termica (nel caso di fiamme libere), elettrica (nel caso di cavi elettrici non isolati o difettosi) e chimica (nel caso di container aperti e contenenti sostanze fortemente irritanti e pericolose). Quando l'energia pericolosa è normalmente presente nel luogo di lavoro ed è direttamente accessibile, il contatto tra questa e l'operatore coincide con l'infortunio. Questi eventi accadono generalmente in luoghi di lavoro scarsamente sottoposti a manutenzione.

Inoltre, per ogni infortunio il sistema riporta le seguenti informazioni utili all'analisi infortunistica:

- Codice caso: codice identificativo dell'infortunio (rappresenta un link attraverso il quale accedere alla pagina di dettaglio dell'infortunio);
- la classificazione dei fattori di rischio (determinante o modulatore);
- l'elenco dei determinanti e modulatori associati all'infortunio;
- le categorie di appartenenza dei fattori di rischio.

Si definisce determinante il fattore di rischio che concorre al verificarsi di un incidente aumentandone la probabilità di accadimento. Si definisce modulatore, invece, il fattore che, ininfluente sulla probabilità di accadimento dell'incidente, è in grado di impedire, attenuare (modulatore positivo) o peggiorare (modulatore negativo) il danno biologico che ne consegue. Una volta individuati, ogni singolo determinante e modulatore viene categorizzato secondo il set di attributi riportati nella tabella 4.4.

Successivamente, così come proposto dagli stessi autori di Infor.MO, le cause di infortunio possono essere ricondotte a sei categorie, dettagliate in tabella 4.5.

Quindi, una volta estratto un campione statistico di infortuni, è possibile costruire una matrice dei descrittori dell'infortunio (ossia dei determinanti/modulatori) costituita da vettori booleani (quindi, per esempio, da coefficienti 0 quando è assente una delle categorie di cui alla tab. 4.5 e 1 quando invece è presente), al fine di valutare le reciproche relazioni tra le cause infortunistiche con tecniche di analisi cluster.

Con riferimento al settore di gestione e/o risanamento delle discariche, è stata effettuata nel mese di novembre 2020 una ricerca di infortuni per parole chiave (periodo temporale: 2002-2016) in relazione a tutto il territorio nazionale, che ha prodotto i seguenti risultati:

1. “discaric”: con questa parola sono stati rilevati zero infortuni gravi e 14 infortuni mortali, di cui 6 utili ad elaborazioni statistiche;
2. “contaminat”: con questa parola sono stati rilevati zero infortuni gravi e zero infortuni mortali;
3. “bonific”: con questa parola sono stati rilevati infortuni riguardanti la bonifica delle autocisterne per il trasporto di sostanze pericolose, le attività di bonifica agricola e delle coperture in cemento amianto, che non presentano alcuna analogia con gli interventi di risanamento delle discariche.

In tabella 4.6 sono riportate le cause di ciascun infortunio suddivise in determinanti e modulatori (positivi o negativi), mentre in tabella 4.7 è riportata la matrice dei descrittori con vettori booleani, finalizzata a valutare la presenza/assenza dei determinanti in ogni evento.

Dal momento che il 19 maggio 2022 è stato aggiornato l'intero database, nel mese di giugno 2022 è stata ripetuta la ricerca degli infortuni con le medesime parole chiave considerando il periodo 2002-2019. L'attività ha prodotto i seguenti risultati:

1. “discaric”: con questa parola sono stati rilevati n.2 infortuni gravi e n.15 infortuni mortali, di cui sempre 6 utili ad elaborazioni statistiche (nessuna variazione);
2. “contaminat”: con questa parola sono stati rilevati zero infortuni gravi e zero infortuni mortali (nessuna variazione);
3. “bonific”: con questa parola sono stati rilevati infortuni riguardanti la bonifica delle autocisterne per il trasporto di sostanze pericolose, le attività di bonifica agricola e delle coperture (nessuna variazione).

Tabella 4.4 Set di attributi dei determinanti/modulatori

Proprietà	Descrizione
Asse	Ambito di appartenenza generale dell'elemento in esame. Empiricamente, si è visto che qualsiasi fattore appartenente alla dinamica infortunistica può rientrare in una delle seguenti categorie: attività dell'infortunato, attività di terzi, utensili macchine e impianti, materiali, ambiente, dispositivi di protezione individuale e abbigliamento
Descrizione	Rappresenta la componente descrittiva dell'asse. Permette di esprimere in che cosa consiste l'elemento individuato, ovvero come questo sia entrato in gioco nella dinamica infortunistica.
Tipo di modulazione	Questo attributo riguarda solo gli elementi riconosciuti come modulatori. La modulazione può risultare positiva, l'elemento in questione ha ridotto le conseguenze dell'incidente, o negativa, ovvero il modulatore ha aggravato le conseguenze dell'incidente
Stato	Ogni elemento preesistente all'inizio della dinamica infortunistica e che, nel corso della dinamica, resta invariato. Nella rappresentazione grafica dell'evento, per convenzione, si indica un elemento che ha il carattere di stato con un quadrato.
Processo	Ogni elemento che rappresenta qualcosa che accade nel corso della dinamica infortunistica. Nella rappresentazione grafica dell'evento, per convenzione, si indica un elemento che ha il carattere di processo con un triangolo.
Problema di sicurezza	Spiega il motivo per cui l'elemento sotto esame è stato individuato dall'analista quale elemento che ha influito nella dinamica infortunistica.
Confronto con standard	Fornisce il riferimento di confronto del "Problema di sicurezza". Gli standard sono raggruppati in tre categorie: leggi sulla sicurezza del lavoro, norme di buona pratica, standard e protocolli autoprodotti.
Valutazione dei rischi	Indica se l'elemento in esame è stato preso in considerazione nella "valutazione dei rischi" preventivamente svolta in azienda.

Tabella 4.5. Categorie in cui possono essere compresi i determinanti/modulatori

Categoria	Specificazione
Attività dell'infortunato	Azioni, gesti, movimenti inappropriati compiuti nel corso della dinamica infortunistica
Attività di terzi	Azioni inappropriate compiute da terzi (altri lavoratori o altre persone presenti sulla scena dell'infortunio) nel corso della dinamica infortunistica
Utensili, macchine, impianti	Attrezzatura di qualunque tipo (o sua parte) coinvolta nell'infortunio
Materiali	Materiale in lavorazione/lavorato coinvolto nella dinamica infortunistica
Ambiente	Complesso di caratteristiche ambientali ed elementi strutturali legati a problemi di sicurezza
Abiti, abiti da lavoro, DPI²⁷	Abiti, abiti da lavoro, DPI coinvolti nell'infortunio. Può essere invocato il mancato uso dei DPI solo se essi vengono giudicati necessari per il tipo di attività svolta dall'infortunato al momento dell'infortunio.

²⁷ Si ritiene opportuno sottolineare che le categorie di classificazione non sono omogenee rispetto all'effetto atteso: infatti, la categoria DPI rappresenta una variabile di controllo della gravità delle conseguenze (danno biologico).

Tabella 4.6 Campione estratto dalla banca dati Infor.MO

ID	Determinanti	Modulatori negativi	Modulatori positivi
784	Variazione di marcia di un veicolo	Strada in forte pendenza; strada coperta da neve e ghiaccio	N.D.
1528	procedura pericolosa per sfilare la braca dall'estremità del tubo; caduta dall'alto	ambiente confinato; alte temperature nel foro; mancato uso di protezioni	N.D.
2013	Proiezione di solidi	Fluido in pressione (gas); uso di materiali non idonei a contenere aria fortemente compressa; mancanza di ancoraggi per bloccare la tubazione	Uso DPI (caschetto di sicurezza)
4477	Contatto con macchina in movimento (escavatore)	Presenza di un ostacolo che occlude la via di fuga	N.D.
7649	Caduta del carico sollevato e ribaltamento del mezzo	inadeguatezza della macchina ad eseguire l'operazione; cattive condizioni della sede stradale (rampa con bordi cedevoli, non delineati e privi di protezione)	Presenza di dispositivi di stabilizzazione del mezzo
8105	Errata modalità di riparazione della macchina con avviamento del motore senza utilizzare il commutatore d'accensione ed essersi accertato del bloccaggio e/o frenatura della macchina	il collega non è il guidatore dalla macchina operatrice; errata modalità di conduzione del mezzo (in quanto non si sarebbe dovuto scostare dal posto di guida dello stesso per aiutare l'infortunato); strada in pendenza	N.D.

Tabella 4.7. Rappresentazione della matrice dei descrittori per il campione estratto

ID	Attività dell'infortunato	Attività di terzi	Utensili, macchine, impianti	Materiali	Ambiente	Abiti, abiti da lavoro, DPI
784	0	1	1	0	1	0
1528	1	1	1	0	1	1
2013	0	0	1	1	0	1
4477	1	1	1	0	1	0
7649	1	0	1	0	1	0
8105	1	1	1	0	1	0

4.6 Considerazioni sulle schede Infor.MO

Considerata la scarsa significatività del campione statistico estratto (la numerosità campionaria è inferiore a 10), la banca dati Infor.MO non è stata ritenuta utile per procedere con un'analisi statistica finalizzata all'individuazione dei rischi per i lavoratori

in questo particolare contesto. Tuttavia, tenuto conto che Infor.MO è l'unica banca dati che evidenzia direttamente le cause di infortunio a livello nazionale ed europeo, l'analisi delle schede estratte ha permesso di individuare alcune strategie per rendere tale database una banca dati di riferimento anche a livello internazionale:

- validazione a livello europeo dei descrittori proposti per l'analisi dei determinanti e dei modulatori tramite consultazione di esperti di diversa nazionalità;
- integrazione della classificazione NACE tra i criteri di ricerca degli eventi, al fine di consentire anche l'uso dei codici stabiliti a livello europeo per il settore economico;
- inserimento di una descrizione standard dell'infortunio in più lingue (ad esempio, italiano e inglese), così da permettere anche ai colleghi europei la consultazione di questa banca dati per le proprie analisi infortunistiche.

4.7 Flussi informativi INAIL – Regioni. Database ad accesso riservato

Il database ad accesso riservato “Flussi informativi INAIL – Regioni” costituisce il più ricco set di dati disponibile a livello nazionale per l'analisi infortunistica, in cui ogni infortunio è sostanzialmente un vettore costituito da variabili di natura descrittiva (l'infortunato, la tipologia di strumento o macchina coinvolti nella dinamica infortunistica, l'attività industriale etc.). Al momento, in letteratura le uniche applicazioni disponibili su questo database riguardano l'utilizzo di tecniche di *data mining* (mappe auto-gestite e algoritmi di analisi cluster) da parte di alcuni ricercatori del Politecnico di Torino in collaborazione con INAIL - Contarp Piemonte per l'analisi degli infortuni nell'industria di lavorazione del legno (Comberti et al., 2018; Palamara et al., 2011).

L'analisi infortunistica sui Flussi informativi INAIL-Regioni ad accesso riservato è stata effettuata per raggiungere i seguenti obiettivi:

1. Individuare le principali cause di infortunio nelle discariche;
2. Definire i principali rischi per i lavoratori in tale settore.

Pertanto, è stata effettuata un'applicazione di analisi cluster a un set di dati di riferimento, in relazione ai seguenti determinanti del modello Infor.MO:

- a. Attività dell'infortunato;
- b. Attrezzature di lavoro;
- c. Materiali;
- d. Ambiente.

Sono stati esclusi i determinanti “Attività di terzi” e “Abiti, DPI” perché dal database ad accesso riservato non è possibile trarre informazioni sufficientemente attendibili in merito.

Per il raggiungimento di entrambi gli obiettivi sono state previste le seguenti fasi di lavoro:

1. Estrazione del primo campione di infortuni accaduti nel periodo 2002-2019²⁸;
2. Screening dei dati, finalizzato ad individuare un campione di infortuni accaduti verosimilmente in discarica;
3. Analisi delle dinamiche infortunistiche.

4.8 Estrazione del primo campione di infortuni dal database INAIL

Il database INAIL ad accesso riservato è stato filtrato seguendo la metodologia rappresentata in figura 4.4. In particolare, il primo screening dei dati ha previsto:

- 1) Selezione della voce di tariffa INAIL 04 “Pulizie e nettezza urbana”;
- 2) Selezione dei Codici ATECO, in base ai due scenari temporali A e B, definiti per via del cambio di classificazione (Tabella 4.9);
- 3) Selezione delle seguenti variabili ESAW:
 - a) Luogo di lavoro (di seguito variabile X): 010 (Sito industriale) e 999 (Altri ambienti di lavoro non elencati);
 - b) Processo di lavoro (di seguito variabile Y): 050 (Attività complementari a quelle espresse dai gruppi 10, 20, 30, 40 – non precisato). Si tenga presente che le variabili ESAW sono state fissate in modalità disgiunta: quindi prima è stata fissata la variabile X, lasciando libera Y e viceversa.
- 4) Raggruppamento dei dati per area geografica: Centro, Isole, Nord Est, Nord Ovest e Sud.

Complessivamente, i dati sono stati organizzati in 20 file excel, come denominati in tabella 4.8. Per motivi di tutela della privacy, le attività sopra descritte sono state eseguite in autonomia da un operatore INAIL, che ha fornito un campione con dati anonimizzati.

Si precisa che non è stato possibile utilizzare codici riferiti esclusivamente alle attività previste per il risanamento/gestione di discariche per la selezione dei dati, perché non attualmente previsti nelle sopra citate classificazioni. Pertanto, i codici ATECO/tariffa INAIL/variabili ESAW sono stati scelti secondo un criterio di analogia delle attività con la tematica di interesse.

²⁸ Le attività di estrazione del primo campione di infortuni sono state effettuate nel mese di marzo 2021

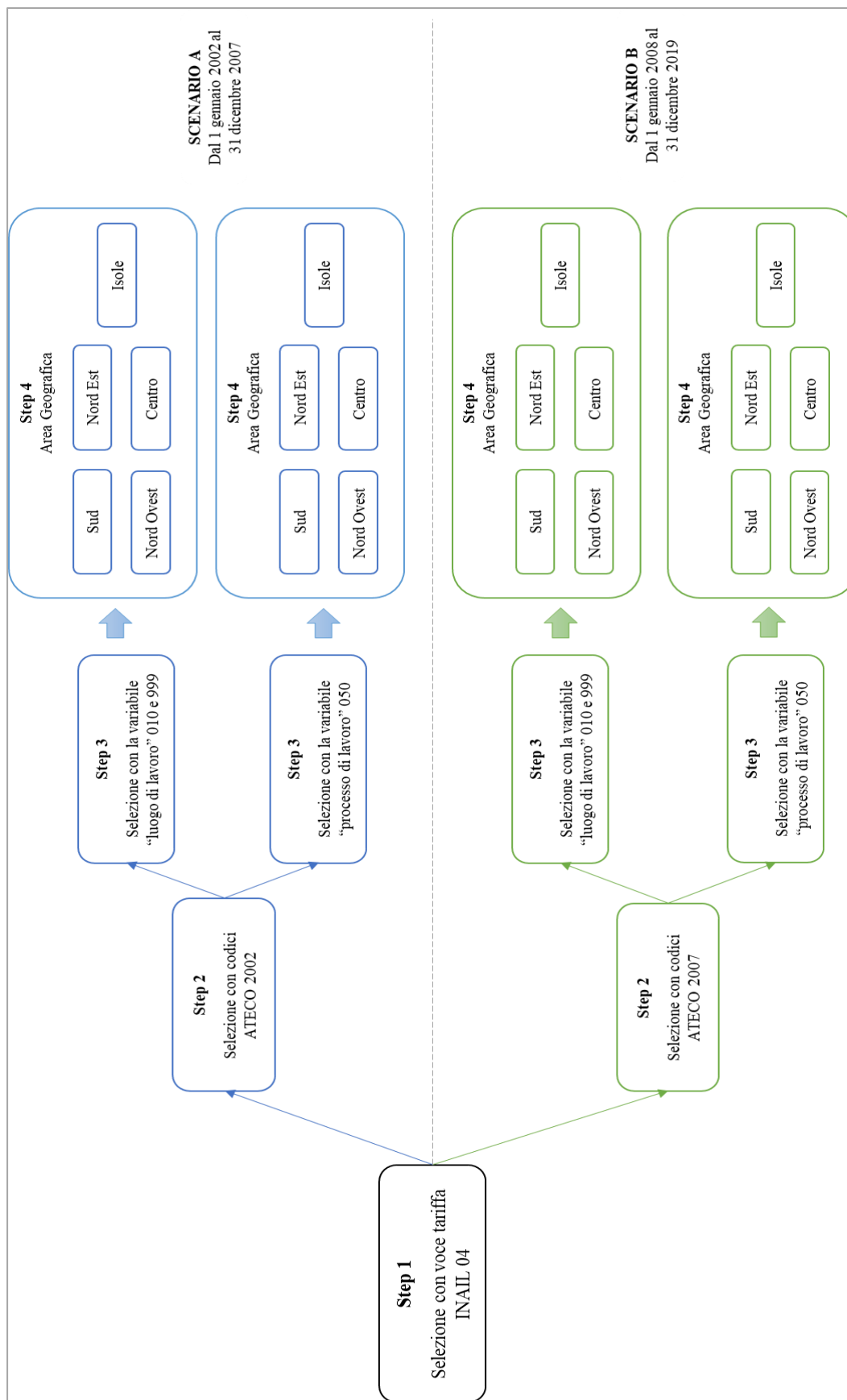


Figura 4.4 Criteri di selezione del primo campione dal database "Flussi informativi INAIL- Regioni" 2019 (database ad accesso riservato)

Tabella 4.8. Organizzazione dei dati - primo campione estratto dal database Flussi informativi INAIL-Regioni 2019 (database ad accesso riservato)

Scenario temporale	Variabile ESAW fissata	n.	Denominazione file
Scenario A Dal 1° gennaio 2002 al 31 dicembre 2007	Ambiente di lavoro Macrogruppo 010 Macrogruppo 999 [varia il processo di lavoro]	1	A_Centro_AmbLav
		2	A_Isole_AmbLav
		3	A_NE_AmbLav
		4	A_NW_AmbLav
		5	A_Sud_AmbLav
	Processo di lavoro Macrogruppo 050 [varia l'ambiente di lavoro]	6	A_Centro_TipoLav
		7	A_Isole_TipoLav
		8	A_NE_TipoLav
		9	A_NW_TipoLav
		10	A_Sud_TipoLav
Scenario B Dal 1° gennaio 2008 al 31 dicembre 2019	Ambiente di lavoro Macrogruppo 010 Macrogruppo 999 [varia il processo di lavoro]	11	B_Centro_AmbLav
		12	B_Isole_AmbLav
		13	B_NE_AmbLav
		14	B_NW_AmbLav
		15	B_Sud_AmbLav
	Processo di lavoro Macrogruppo 050 [varia l'ambiente di lavoro]	16	B_Centro_TipoLav
		17	B_Isole_TipoLav
		18	B_NE_TipoLav
		19	B_NW_TipoLav
		20	B_Sud_TipoLav

Tabella 4.9 Codici ATECO di selezione per i due scenari temporali A e B

Scenario temporale	Classificazione ATECO	Descrizione codici ATECO
Scenario A Dal 1° gennaio 2002 al 31 dicembre 2007	ATECO 2002	O 90.02.0 "Raccolta e smaltimento dei rifiuti solidi"
		F 45.25.0 "Altri lavori speciali di costruzione"
		O 90.03.0 "Pulizia delle aree pubbliche, decontaminazione e disinquinamento dell'ambiente"
Scenario B Dal 1° gennaio 2008 al 31 dicembre 2019	ATECO 2007	E 38.21.09 "Trattamento e smaltimento di altri rifiuti non pericolosi"
		E 38.22.00 "Trattamento e smaltimento di rifiuti pericolosi"
		E 39.00.09 "Altre attività di risanamento e altri servizi di gestione dei rifiuti"

4.9 Screening dei dati estratti

Gli infortuni organizzati nei n.20 file excel sono stati forniti in maniera tale da essere rappresentati attraverso una stringa di codici alfanumerici.

Ogni codice è espressione sintetica di una variabile infortunistica (es. utensili), che può descrivere uno o più fattori infortunistici (es. agente materiale dell'attività, agente materiale della deviazione etc.). Più fattori concorrono a definire una categoria infortunistica, come la dinamica infortunistica, le conseguenze dell'infortunio, l'infortunato, il datore di lavoro o gli elementi complementari alla descrizione dell'infortunio (tabella 4.10).

Tabella 4.10. Struttura dei dati INAIL ad accesso riservato

Categorie infortunistiche	Fattori infortunistici
Dinamica infortunistica	Attività fisica, contatto, deviazione, agente materiale dell'attività, agente materiale del contatto, agente materiale della deviazione, processo di lavoro, luogo di lavoro
Infortunato	Mansione lavorativa, fascia di età, sesso, nazionalità, livello di esperienza lavorativa, studente, atleta
Datore di lavoro	Voce di tariffa INAIL, settore ATECO, tipo di azienda, numero di dipendenti
Conseguenze dell'infortunio	Tipologia di infortunio, tipologia di lesione, parte del corpo lesionata, numero di giorni persi
Elementi infortunistici complementari	Infortunio in itinere (sì/no), incidente stradale, localizzazione geografica (regione), anno dell'evento, indennizzo

Il campione iniziale è stato elaborato mantenendo la distinzione tra scenario A e B per cercare di estrarre gli infortuni più attinenti alla tematica in esame, come di seguito illustrato.

Con riferimento allo **scenario A** (dal 1° gennaio 2002 al 31 dicembre 2007), non essendo disponibile la voce "Mansionario" INAIL, sono stati applicati, nell'ordine, i seguenti filtri:

1. Selezione soltanto di infortuni non itinere (ai fini della valutazione dei rischi specifici);
2. esclusione degli infortuni per cui non risultano informazioni chiare (nel database compare "nessuna informazione" o "non determinato") per almeno una delle seguenti variabili, atte a descrivere la dinamica infortunistica:
 - agente materiale dell'attività;
 - agente materiale del contatto;

- agente materiale della deviazione;
 - attività fisica;
3. Selezione degli infortuni con voci di tariffa INAIL 0420-0421 “Nettezza urbana, discariche e inceneritori di rifiuti solidi urbani.”;
 4. Esclusione degli infortuni con codice ATECO 2002 F 45.25.0 e O 90.03.0;
 5. Selezione degli infortuni con codice 013 per la variabile ESAW “luogo di lavoro”;
 6. Selezione degli infortuni con codice 050 per la variabile ESAW “processo di lavoro”.

In relazione allo **scenario B** (dal 1° gennaio 2008 al 31 dicembre 2019), per cui era disponibile la voce “Mansionario INAIL”, sono state effettuate due selezioni di dati:

- a) Selezione dei dati con voce di mansionario INAIL “discariche di rifiuti solidi – addetto”, che ha portato ad individuare n.10 infortuni, di cui solo n.8 casi validi (per n. 2 casi non erano disponibili informazioni sull’agente dell’attività e sull’agente della deviazione, fondamentali per descrivere la dinamica infortunistica);
- b) Selezione dei dati attraverso l’applicazione dei seguenti filtri:
 1. Selezione soltanto di infortuni non itinere (ai fini della valutazione dei rischi specifici);
 2. esclusione degli infortuni per cui non risultano informazioni chiare (nel database compare “nessuna informazione” o “non determinato”) per almeno una delle seguenti variabili, atte a descrivere la dinamica infortunistica:
 - agente materiale dell’attività;
 - agente materiale del contatto;
 - agente materiale della deviazione;
 - attività fisica;
 3. Selezione degli infortuni con voci di tariffa INAIL 0420-0421 “Nettezza urbana, discariche e inceneritori di rifiuti solidi urbani.”;
 4. Esclusione degli infortuni con voce di mansionario poco probabile in ambiente di discarica (es. “spaccatori di legnami”, “addetto impianto incenerimento rsu”, “cernitore di stracci” etc.);
 5. Esclusione degli infortuni con codice ATECO 2007 E 39 (relativo ad attività di risanamento).

In figura 4.5 è riportato uno schema di sintesi del processo di *screening* dei dati. Si precisa che lo *screening* dei dati è stato effettuato soltanto sui file denominati “Amb_Lav” della tabella 4.8, al fine di considerare nel campione finale di infortuni più

processi di lavoro, tenuto conto che per la valutazione dei rischi specifici il fattore più importante è proprio il “luogo di lavoro”.

Al termine del processo di screening, sono stati ottenuti i risultati di cui alle tabelle 4.11 e 4.12.

Tabella 4.11 Risultati dello screening sullo scenario A

File [Scenario A]	numero iniziale	applicazione punti 1) e 2)	applicazione tariffa INAIL	esclusione ATECO 2002 F 45.25.0	esclusione ATECO 2002 O 90.03.00	Selezione luogo di lavoro 013	Selezione processo di lavoro 050
Centro Amb_Lav	2001	1098	1051	1051	1042	324	102
Isole Amb_Lav	901	573	549	548	546	108	41
NE AmbLav	914	536	494	494	484	178	50
NW AmbLav	2131	1402	1243	1242	1234	423	173
Sud AmbLav	1981	1153	1075	1073	1060	285	83
TOTALE	7928	4762	4412	4408	4366	1318	449

Tabella 4.12. Risultati dello screening sullo scenario B

File [Scenario B]	numero iniziale	numero filtrato con punti 1) e 2)	numero filtrato con tariffa INAIL	numero filtrato con mansionario	numero filtrato escludendo ATECO E 39
Centro Amb_Lav	56	40	36	10	10
Isole Amb_Lav	108	59	58	11	10
NE AmbLav	89	77	74	20	19
NW AmbLav	333	207	165	38	35
Sud AmbLav	50	38	35	10	4
TOTALE	636	421	368	89	78

Considerata l'impossibilità di correlare con sufficiente probabilità i dati dello scenario A ad infortuni in discarica, per via dell'elevato livello di aggregazione dei codici INAIL, ATECO²⁹ ed ESAW antecedenti al 2007, le elaborazioni di cui ai successivi paragrafi sono state condotte con riferimento **soltanto ai 78 infortuni dello scenario B**, filtrato

²⁹ Considerato che gli studi INAIL hanno dimostrato che il settore della raccolta dei rifiuti è ad elevato rischio per gli operatori, si ritiene che nel campione di n.449 infortuni, identificati da un codice ATECO e una voce di tariffa INAIL che considerano congiuntamente le attività di raccolta e trattamento dei rifiuti,

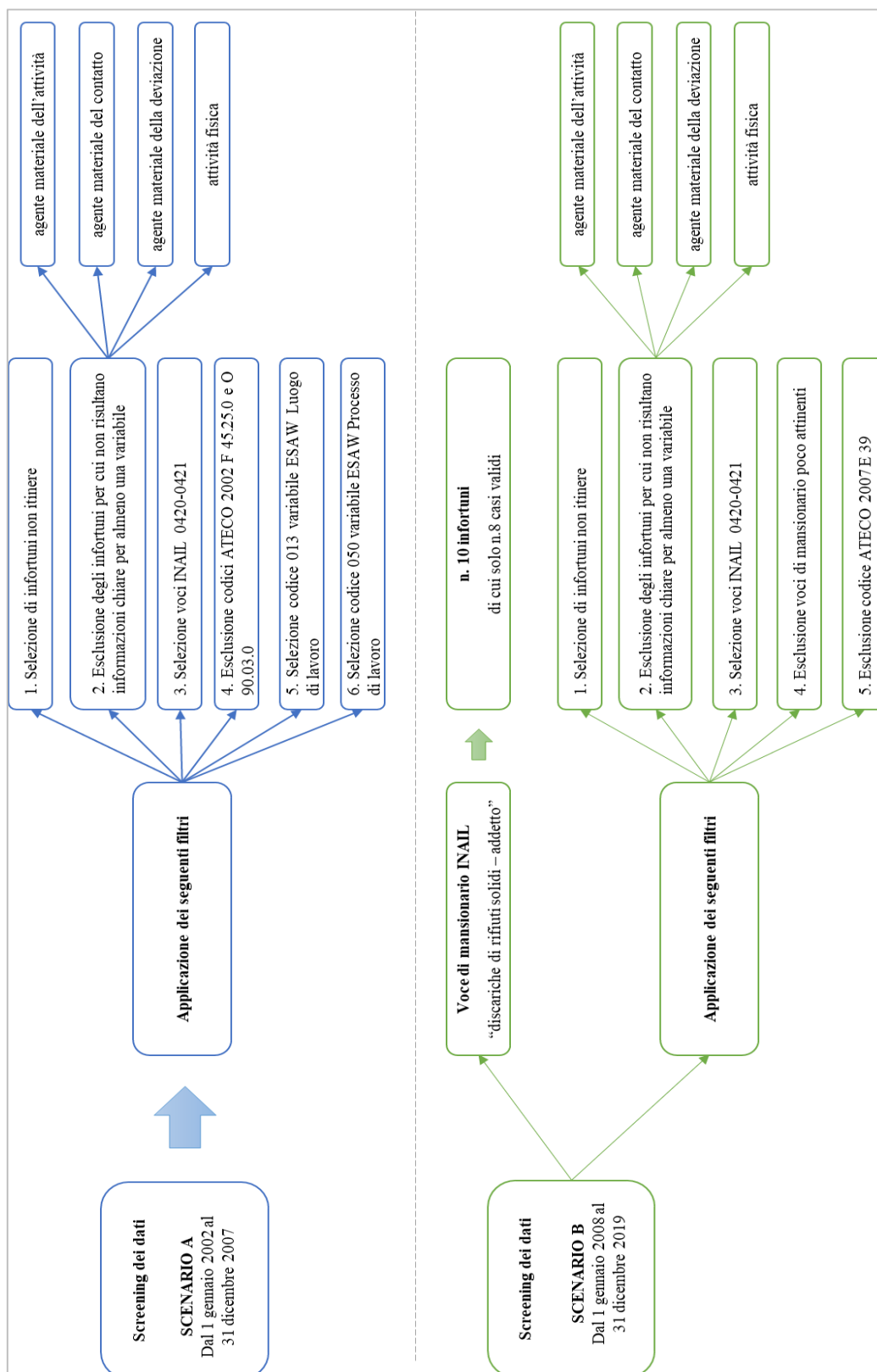


Figura 4.5 Screening dei dati estratti

siano prevalenti gli infortuni occorsi proprio durante la fase di raccolta. Pertanto, ai fini della presente tesi di dottorato tale campione è stato ritenuto scarsamente significativo, non disponendo di ulteriori informazioni utili a distinguere gli infortuni in discarica.

con sistemi di classificazione più specifici, ma soprattutto anche attraverso la voce “Mansionario” INAIL.

Con riferimento al campione di n.78 infortuni dello scenario B, si precisa che sono state incluse le seguenti voci di Mansionario (tabella 4.13).

Tabella 4.13 Mansioni incluse nel campione di n.78 infortuni dello scenario B

Mansionario INAIL	Codice
Autista	133
Elettrauto	381
Escavatorista-ruspista	384
Magazziniere	595
Meccanico manutentore	602
Portiere	702
Meccanico riparatore di veicoli	741
Addetto alle presse piegatrici	797
Conducente di compattatore di rifiuti	1094
Discariche di rifiuti solidi urbani - addetto	1132
Operatore sala pompe	1230
Addetto attività operative	1321

4.10 Analisi della dinamica infortunistica

Con riferimento ai 78 infortuni dello scenario B, è stata condotta un’analisi della dinamica infortunistica, che ha previsto le seguenti fasi di lavoro:

1. Assegnazione di un numero identificativo ad ogni evento di infortunio, secondo il format progressivo ID XX³⁰;
2. Individuazione di n.8 fattori utili a descrivere la dinamica infortunistica, come rappresentato in figura 4.6;
3. Individuazione delle variabili atte a descrivere i suddetti fattori, a partire dal dataset disponibile³¹;

³⁰ Nel campione fornito da INAIL i dati sono stati forniti senza un ID di identificazione univoca

4. Elaborazione di una legenda per le suddette variabili.

L'analisi della dinamica infortunistica ha permesso di:

- a) Individuare la relazione tra variabili, fattori e dinamica nella gestione delle discariche;
- b) valutare l'influenza dei determinanti indicati al par.4.7.

In figura 4.6 si riporta uno schema esemplificativo della relazione di cui al punto a), mentre nelle tabelle da 4.14 a 4.19 si riportano le legenda definite per le variabili infortunistiche.

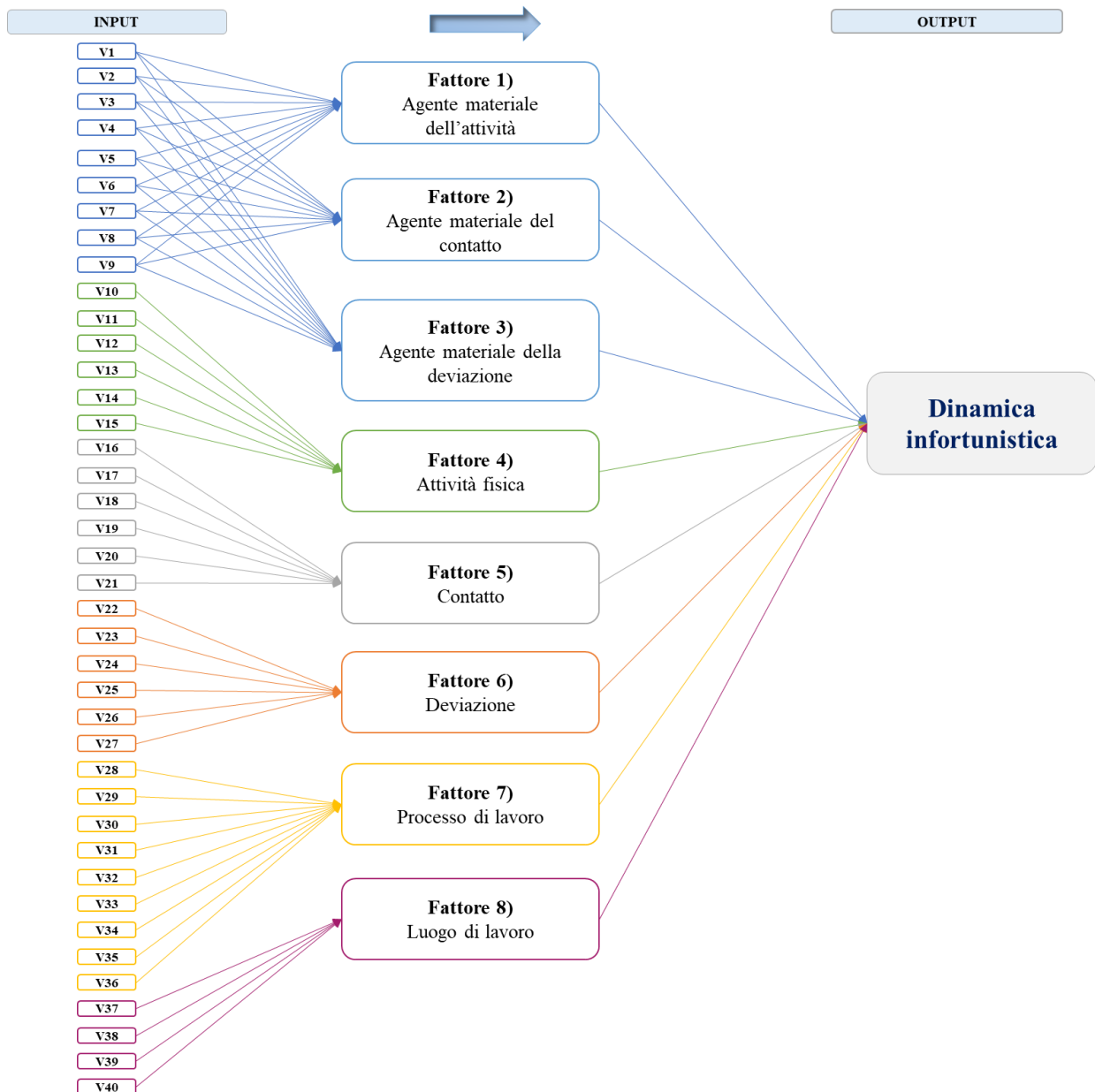


Figura 4.6 Relazione tra variabili, fattori e dinamica infortunistica per il settore della gestione di discariche

³¹ Vd. Par. 3 Appendice C per i codici esatti delle variabili individuate nel dataset iniziale e relativo accorpamento

Tabella 4.14 Variabili “Agente materiale” (V1-V9). Secondo il modello relazionale di fig. 4.6, l’indice j varia tra 1,2 e 3 (indice di fattore)

Agente materiale	
V _{1,j}	Elemento della costruzione (es. scale, pavimento etc.)
V _{2,j}	Materiali
V _{3,j}	Utensili
V _{4,j}	Macchinari
V _{5,j}	Mezzi di trasporto
V _{6,j}	Rifiuti
V _{7,j}	Nessun agente
V _{8,j}	Superfici
V _{9,j}	Altro

Tabella 4.15 Variabili “Attività fisica” (V10-V15)

Attività fisica	
V ₁₀	Operazioni con le macchine
V ₁₁	Manipolazione di oggetti
V ₁₂	Lavoro con utensili
V ₁₃	Trasporto manuale di oggetti
V ₁₄	Movimenti a corpo libero
V ₁₅	Altre attività

Tabella 4.16 Variabili “Contatto” (V16-V21)

Contatto	
V ₁₆	Contatto con fiamma/sorgente di calore
V ₁₇	Schiacciamento
V ₁₈	Urto con un corpo esterno
V ₁₉	Contatto con agente tagliante, abrasivo
V ₂₀	Sforzo fisico
V ₂₁	Altro

Tabella 4.17 Variabili “Deviazione” (V22-V27)

Deviazione	
V ₂₂	Perdita di materiale
V ₂₃	Rottura di materiale
V ₂₄	Perdita di controllo
V ₂₅	Caduta
V ₂₆	Movimenti del corpo
V ₂₇	Altro

Tabella 4.18 Variabili “Processo di lavoro” (V28-V36)

Processo di lavoro	
V ₂₈	Trattamento/trasformazione
V ₂₉	Magazzinaggio
V ₃₀	Lavori edili
V ₃₁	Servizi
V ₃₂	Manutenzione
V ₃₃	Pulizia
V ₃₄	Gestione rifiuti
V ₃₅	Circolazione, con o senza mezzi
V ₃₆	Altro processo

Tabella 4.19 Variabili “Luogo di lavoro” (V37-V40)

Luogo di lavoro	
V ₃₇	Area industriale
V ₃₈	Luogo per la manutenzione/produzione
V ₃₉	Luogo per lo stoccaggio
V ₄₀	Altro luogo

Per chiarezza, si riportano di seguito le definizioni dei fattori infortunistici (Eurostat, 2013; Palamara et al., 2011):

- Attività fisica: attività che l’infortunato stava svolgendo quando è accaduto l’infortunio;
- Agente materiale dell’attività fisica: descrizione dell’oggetto, materiale etc. coinvolto nell’attività;
- Contatto: modalità con cui si è verificato l’evento;
- Agente materiale del contatto: descrizione dell’oggetto, materiale etc. responsabile della modalità di accadimento dell’infortunio;
- Deviazione: evento scatenante l’infortunio;
- Agente materiale della deviazione: descrizione dell’oggetto, materiale etc. che ha causato l’infortunio;
- Processo di lavoro: processo a cui è riconducibile l’attività svolta dall’infortunato;
- Luogo di lavoro: area lavorativa in cui è accaduto l’evento.

Le elaborazioni successive hanno riguardato la profilazione dei rischi in relazione ai risultati di un processo di analisi cluster effettuato rispetto ai determinanti di cui al par.4.7. Infatti, considerata la numerosità del campione infortunistico (N=78), di poco superiore al numero di variabili (n=40), non è stato possibile raggruppare il campione in esame rispetto alle variabili stesse.

4.11 Valutazione dei rischi

La valutazione dei rischi nella gestione delle discariche a partire dal campione di riferimento ha previsto le seguenti fasi di lavoro:

1. Costruzione della matrice dei descrittori e analisi di frequenza;
2. Applicazione della *cluster analysis* rispetto ai determinanti di cui al par. 4.7;
3. Individuazione del predittore principale;
4. Analisi dei rischi associati a tale predittore.

4.11.1 Matrice dei descrittori e analisi di frequenza

A partire dal campione di n.78 infortuni, considerando la dinamica infortunistica di ogni evento come definita in fig.4.6, è stata costruita la matrice dei descrittori con vettori booleani di dimensioni N x d (tab.4.17), dove:

- N = 78, ossia alla numerosità del campione infortunistico in esame;
- d = 4, ossia al numero di determinanti considerati. I determinanti “abiti, abiti da lavoro e DPI” e “attività di terzi” del modello Infor.MO sono stati esclusi perché dalla descrizione della dinamica attraverso coefficienti alfanumerici correlati ai fattori di cui in fig.4.6 non è possibile stabilire in maniera attendibile la presenza/assenza degli stessi.

Tabella 4.20 Estratto della matrice dei descrittori con variabili booleane³²

ID	Attività dell'infortunato [D1]	Materiali [D2]	Attrezzature di lavoro [D3]	Ambiente [D4]
ID_01	1	1	0	0
ID_02	1	0	1	0
ID_03	1	0	1	0

Tale matrice è stata definita nel software IBM SPSS Statistics (versione 28), considerando le variabili D1-D4 come “variabili categoriali”, ossia “con un numero limitato di valori o categorie diversi (ad esempio, stato civile o sesso)”³³. In particolare, tali variabili sono state ritenute “nominali”, dal momento che non esiste una gerarchia tra loro (es. più alto o più basso).

In primis, sono state effettuate analisi di frequenza, rispetto all’assenza (coefficiente zero) o presenza (coefficiente 1) del determinante, i cui risultati sono disponibili nelle tabelle 4.18.

³² La matrice completa dei descrittori è riportata in appendice B. Le elaborazioni sono state eseguite nel mese di giugno 2022.

³³ Cfr. <https://www.ibm.com/docs/it/spss-statistics/beta?topic=variables-level-measurement>

Attività dell'infortunato					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	Assente	27	34,6	34,6	34,6
	Presente	51	65,4	65,4	100,0
	Totale	78	100,0	100,0	

Materiali					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	Assente	71	91,0	91,0	91,0
	Presente	7	9,0	9,0	100,0
	Totale	78	100,0	100,0	

Attrezzature di lavoro					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	Assente	42	53,8	53,8	53,8
	Presente	36	46,2	46,2	100,0
	Totale	78	100,0	100,0	

Ambiente					
		Frequenza	Percentuale	Percentuale valida	Percentuale cumulativa
Valido	Assente	56	71,8	71,8	71,8
	Presente	22	28,2	28,2	100,0
	Totale	78	100,0	100,0	

Tabelle 4.21 Statistiche di frequenza calcolate con IBM SPSS Statistics (vers. 28) per i 4 determinanti considerati

4.11.2 Applicazione dell'analisi cluster

Generalmente con l'espressione "Cluster analysis" si intende un insieme di tecniche finalizzate a raggruppare i dati di partenza in categorie (clusters, per l'appunto), in relazione alle caratteristiche dei dati stessi (similarità e differenze). Di solito, l'analisi cluster prevede la determinazione di alcuni cluster iniziali, la cui "bontà" è perfezionata attraverso una procedura iterativa basata sulla minimizzazione della distanza dei dati dai centroidi dei cluster, al fine di arrivare alla definizione dei gruppi finali.

Il software IBM SPSS Statistics prevede l'opportunità di eseguire analisi cluster con diversi algoritmi. Le elaborazioni sulla matrice dei descrittori sono state effettuate con l'algoritmo "Two Step Cluster", suggerito da IBM per analisi su variabili categoriali³⁴.

Nella procedura Two Step è possibile selezionare o meno il numero di cluster iniziali. Considerata la numerosità n del campione, applicando il criterio proposto da (Szüle, 2016), è stato impostato il numero di cluster iniziali (k) pari a z :

$$z = \sqrt{n/2} = \sqrt{78/2} = 6$$

dove z è il massimo numero di cluster da analizzare.

Inoltre, in maniera automatica, il software ha previsto i seguenti criteri di analisi:

- criterio di distanza: logaritmo della verosomiglianza;
- criterio di clustering: criterio bayesiano di Shwarz (BIC).

La procedura è terminata con l'individuazione di $n.6$ gruppi (i cluster, per l'appunto) e un valore del indice di silhouette pari a 0,9. Secondo quanto riportato sulla documentazione a supporto del software, l'indice di silhouette costituisce una misura di coesione e separazione dei gruppi individuati, con valori variabili tra 0 e 1. Più alto è tale indice, migliore è la qualità del processo di clusterizzazione effettuato (Fig.4.7).

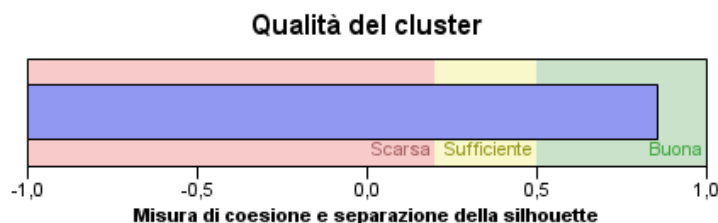


Figura 4.7 Qualità del processo di analisi cluster

Nelle figure 4.8 e 4.9 si riportano invece le caratteristiche dei gruppi individuati, che hanno una dimensione campionaria compresa tra un minimo di 6 e un massimo di 25. Pertanto il rapporto di dimensioni tra il cluster più piccolo e il cluster più grande risulta pari a 4,17.

³⁴ Secondo quanto riportato nella documentazione IBM, l'algoritmo Two Step costituisce uno degli strumenti più versatili di lavoro, particolarmente indicato per analisi su variabili categoriali.

Dimensioni dei cluster

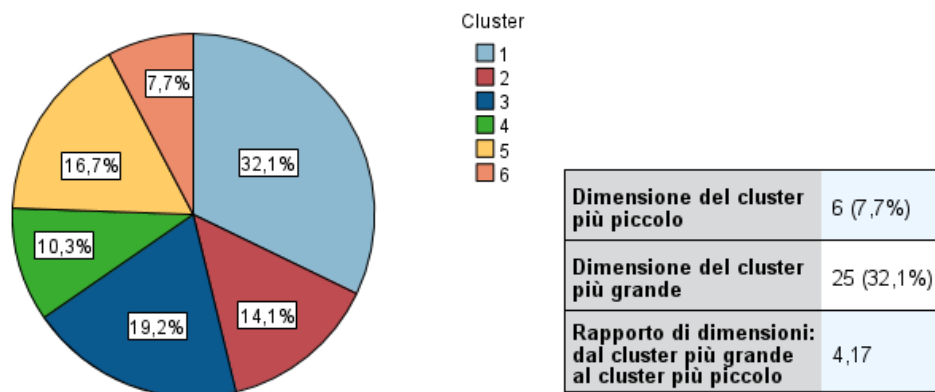


Figura 4.8 Analisi percentuale relativa alle dimensioni dei gruppi individuati

Cluster

Cluster	Etichetta	Descrizione	Dimensione	Importanza (predittore) di input			
				1,0	0,8	0,6	0,4
1			32,1% (25)	1,0	1,0	0,0	0,0
3			19,2% (15)	1,0	1,0	0,33	0,8
5			16,7% (13)	1,0	1,0	1,0	0,0
2			14,1% (11)	1,0	1,0	1,0	0,818
4			10,3% (8)	1,0	1,0	1,0	1,0
6			7,7% (6)	1,0	0,833	1,0	0,0

Figura 4.9 Caratteristiche dei gruppi individuati

4.11.3 Individuazione del predittore principale

Sui cluster con numerosità maggiore di 10 (cluster 1,3,5 e 2) sono stati fatti dei confronti in merito ai determinanti, riportati in Fig. 4.10.

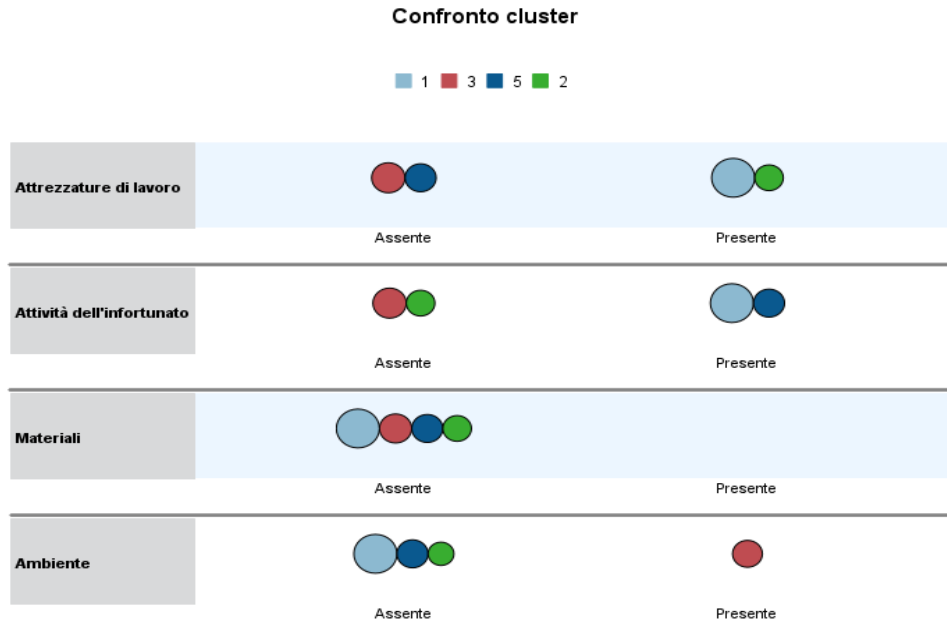


Figura 4.10 Confronto tra i cluster in merito all'assenza/presenza dei determinanti D1-D4

Successivamente, è stata valutata l'importanza dei predittori (determinanti) sul campione di input. Tale analisi, ha condotto all'individuazione del determinante "Attrezzature di lavoro" come predittore principale (Fig. 4.11).

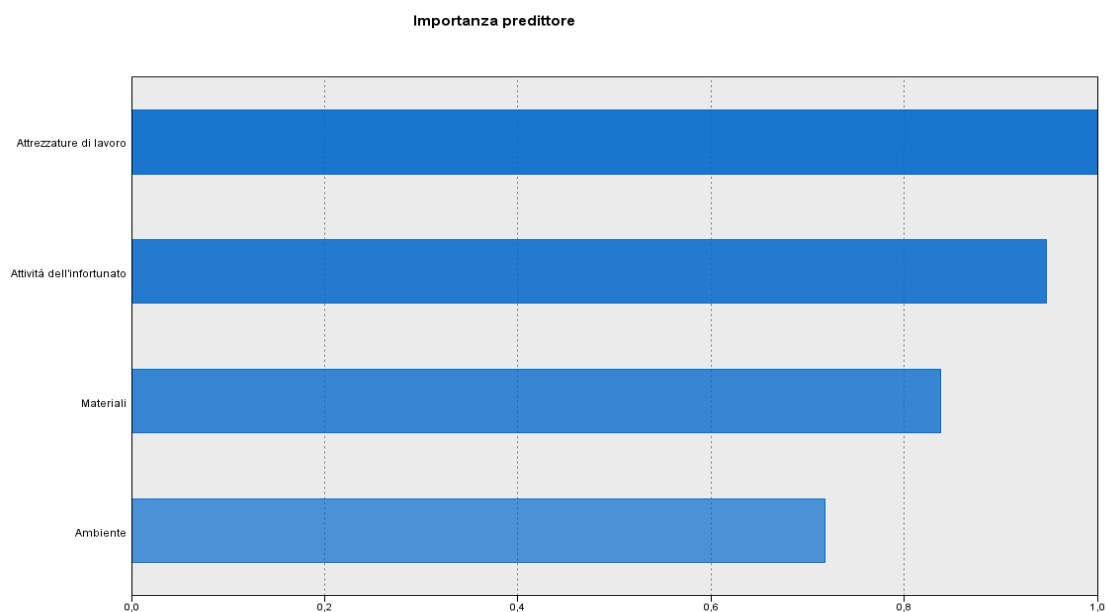


Figura 4.11 Confronto tra i predittori D1-D4

4.11.4 Valutazione dei rischi associati al determinante “Attrezzature di lavoro”

Premessi i risultati dell’analisi cluster, l’analisi dei rischi nelle discariche è stata effettuata con riferimento al principale determinante, ossia le “Attrezzature di lavoro”, in relazione alla mansione INAIL.

Sul campione dei 78 infortuni è stato quindi individuato un sotto-campione di n.36 infortuni, di cui solo n.4 eventi hanno riguardato un operatore di una discarica di rifiuti solidi urbani (cod. 1132). Per questi quattro eventi si riporta la dinamica infortunistica nella tabella 4.22.

Tabella 4.22 Dinamica degli infortuni che hanno coinvolto un operatore di una discarica di rifiuti solidi urbani

ID	Agente materiale dell’attività	Agente materiale del contatto	Agente materiale della deviazione	Attività fisica	Contatto	Deviazione	Processo di lavoro	Luogo di lavoro
ID_23	11090400	11090400	11090400 [Var. V9]	51	71	71	54	010
ID_24	1109020Y	01020101	1109020Y [Var. V9]	51	71	71	10	011
ID_35	11000000	11000000	11000000 [Var. V4]	61	71	50	54	019
ID_66	14030100	14030100	14030100 [Var. V3]	41	53	44	54	012

In riferimento agli eventi di tabella 4.17, sono state quindi riscontrate le seguenti situazioni pericolose:

- ID_23 e ID_24: danni al sistema muscolo-scheletrico per sollevamento di un’attrezzatura pesante (come un contenitore di rifiuti);
- ID_35: scivolamento causato dallo sforzo fisico conseguente al sollevamento di un’attrezzatura di lavoro;
- ID_66: contatto con agente abrasivo o tagliente per via della perdita del controllo dello stesso.

Pertanto, a tali situazioni pericolose, riguardanti un operatore in una discarica di RSU, sono stati associati i seguenti rischi: movimentazione manuale di carichi (MMC), scivolamento e contatto con agenti abrasivi/taglienti.

Alle altre mansioni (incluse nei rimanenti n.32 eventi) sono stati associati i rischi di cui alla tabella 4.23.

Tabella 4.23 Principali rischi nelle discariche per altre mansioni INAIL (n.32 eventi)

Mansione INAIL	Infortuni di riferimento	Principali rischi
Autista [codice 133]	n.22 eventi [ID:02;03;06;07;09;11;12;13;18;20;31; 33;34;44;62;63;65;68;71;72;73;74]	Scivolamento, MMC, caduta dall'alto, caduta di materiale dall'alto, incidenti stradali, investimento, contatto con oggetti taglienti/abrasivi
Meccanico manutentore [codice 602]	n.6 eventi [ID: 19;21;43;51;55;59]	Caduta, urti, contatto con oggetti taglienti/abrasivi
Elettrauto [codice 381]	n. 2 eventi [ID: 53;60]	contatto con oggetti taglienti/abrasivi
Addetto attività operative [codice 1321]	ID_25	contatto con oggetti taglienti/abrasivi
Conducente di compattatori di rifiuti [codice 1094]	ID_16	Sforzo fisico

4.12 Misure di mitigazione dei rischi

Per l'individuazione di adeguate misure di mitigazione dei rischi per la sicurezza sul lavoro, è stato fatto riferimento alla gerarchia dei controlli stabilita nella norma ISO 45001 (ISO, 2018), secondo la quale è opportuno procedere:

1. Eliminando o sostituendo il pericolo, ove possibile;
2. Attuando accorgimenti tecnico progettuali (*engineering controls*) per la mitigazione del rischio;
3. Implementando misure di controllo di carattere gestionale/amministrativo (*administrative controls*);
4. Fornendo ai lavoratori adeguati dispositivi di protezione individuale, per la mitigazione del rischio residuo.

Tanto premesso, laddove non fosse possibile eliminare/sostituire i pericoli, si ritiene possibile l'adozione delle seguenti strategie per la gestione dei rischi sopra individuati:

- definire con maggior dettaglio la sequenza di operazioni e le mansioni lavorative al fine di valutare accuratamente il rischio e le relative misure di mitigazione;
- controllare regolarmente la sicurezza delle attrezzature e dei luoghi di lavoro, per pianificare e fornire adeguata manutenzione ai macchinari;
- pianificare la circolazione dei mezzi nelle aree di pertinenza della discarica, per prevenire incidenti e investimenti;
- utilizzare la segnaletica di sicurezza per segnalare aree pericolose per caduta di materiale e potenziali urti;

- fornire ai lavoratori dispositivi di sollevamento carichi elettricamente assistiti (es. robot collaborativi etc.), per evitare danni all'apparato muscolo-scheletrico;
- in accordo alla politica aziendale, pianificare la rotazione del personale su turni e sulle attività lavorative, per evitare la distrazione dell'operatore;
- formare adeguatamente i lavoratori, in accordo al proprio livello di istruzione, alla nazionalità, al sesso etc.;
- fornire ai lavoratori adeguati DPI per lo svolgimento delle attività, in base alla mansione, alle caratteristiche del contesto e alla valutazione del rischio residuo.

4.13 Discussione dei risultati ottenuti con il database INAIL ad accesso riservato

Il lavoro di analisi infortunistica condotto sul database INAIL ad accesso riservato ha permesso di proporre un approccio *data driven* di analisi dei rischi nella gestione di discariche, che si configura come altamente innovativo nel panorama della prevenzione infortunistica: difatti, poche sono le applicazioni di questo tipo oggi disponibili a livello nazionale e internazionale. Il principale elemento di innovazione risiede nel fatto che quanto proposto costituisce un primo tentativo di valutare i rischi specifici (ossia correlati ai processi e all'ambiente di lavoro) a partire dai dati infortunistici disponibili a livello nazionale nel settore della gestione delle discariche, ampiamente diffuso. Le applicazioni fin ad oggi presentate mirano a una valutazione dei rischi in altri campi e comunque a livello di settore economico, che può inevitabilmente comprendere diversi luoghi di lavoro.

Tuttavia, di seguito si evidenziano anche i limiti del modello presentato, connessi principalmente all'attuale organizzazione dei dati infortunistici a livello europeo.

Nel processo di elaborazione della matrice dei descrittori, propedeutico all'analisi cluster, la valutazione dell'assenza/presenza di ciascun determinante è stata effettuata tentando una ricostruzione della dinamica infortunistica di ciascun evento attraverso l'analisi combinata delle variabili infortunistiche. Tale processo risulta essere fortemente dipendente dal background dell'analista, considerato che i codici delle variabili presentano descrizioni molto generiche nel database INAIL.

Inoltre, nella fase di valutazione dei rischi è stata considerata solo l'influenza del determinante "attrezzature di lavoro" perché costituisce l'unico dei principali determinanti (D3 e D1) facilmente correlabile anche alle variabili infortunistiche con cui può essere descritta la dinamica. Infatti, volendo dimostrare questo risultato senza l'applicazione propedeutica dell'analisi cluster, è possibile selezionare nel database in ambiente Excel gli infortuni per i quali il fattore "agente materiale della deviazione" risulti coincidente con le variabili V3, V4 e V9 di cui alla tabella 4.11. Al contrario, in

riferimento al determinante “attività dell’infortunato” (D1), risulta difficile individuare gli infortuni operando selezioni con le variabili infortunistiche, considerato che le stesse sono state progettate in ambito europeo per rendere anonimi e comparabili i dati. Inoltre, l’attenzione è stata concentrata su tale determinante perché da letteratura risulta una delle più importanti cause di rischio in contesti industriali, quali quello delle discariche (Fagnoli, 2021; Haber et al., 2018).

È necessario sottolineare che la metodologia di analisi di rischio proposta sul database INAIL ad accesso riservato si basa essenzialmente sull’utilizzo dei modelli ESAW e ATECO, che, non risultano sufficientemente dettagliati per la profilazione dei rischi specifici. Tale affermazione trova riscontro anche nel fatto che gli studi infortunistici ad oggi pubblicati riguardano il settore economico (es. industria del legno, costruzioni etc.) e non il luogo di lavoro.

Infine, si evidenzia che i risultati presentati sono dipendenti anche dalle classificazioni INAIL per la mansione lavorativa e il pagamento del premio assicurativo da parte delle imprese, disponibili solo per applicazioni su dati nazionali ed elaborate per fini diversi da quelli di ricerca scientifica. Inoltre, con particolare riferimento alla classificazione della mansione INAIL appare opportuno sottolineare che la stessa è fondamentale per dettagliare la valutazione dei rischi, ma non è disponibile per infortuni antecedenti al 2008. Per questo motivo, non è stato possibile ampliare il campione di analisi.

Capitolo 5

Analisi e gestione dei rischi durante la caratterizzazione di discariche³⁵

Così come riportato da (Gochfeld et al., 2006), nei siti contaminati la mancanza totale o parziale di informazioni sulle caratteristiche del luogo e lo stato di contaminazione ambientale rendono le attività di caratterizzazione particolarmente rischiose per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

In Italia, i riferimenti legislativi che prescrivono l'obbligo di tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori addetti a tali attività sono rintracciabili nel D.lgs. 152/2006 (Allegato 3, Par. "Protezione dei lavoratori") e nel D.Lgs. 81/2008 (art. 26 "Obblighi connessi ai contratti d'appalto o d'opera o di somministrazione"). Tuttavia, nel complesso apparato normativo del nostro Paese e, più in generale dell'Unione Europea, non sono disponibili specifiche procedure per l'analisi e la gestione dei rischi durante la caratterizzazione di siti contaminati. Infatti, il legislatore europeo ha lasciato ai governi nazionali l'opportunità di integrare la tutela dell'ambiente con la gestione delle problematiche riguardanti la salute e la sicurezza sul lavoro nei progetti di risanamento dei siti contaminati.

Pertanto, considerata la scarsità di informazioni sull'analisi e gestione dei rischi nelle attività di caratterizzazione e risanamento di discariche, è stato elaborato un modello di analisi e gestione del rischio, a partire dallo studio delle attività condotte in situ (attraverso un caso studio) e dell'approccio alla gestione della sicurezza stabilito nella norma ISO 45001:2018, come di seguito illustrato.

5.1 Le attività di caratterizzazione della discarica di Donada (Veneto)

Come anticipato, l'input del modello è stato lo studio preliminare delle attività condotte nella pratica professionale per la caratterizzazione delle discariche. A tal proposito, è stato analizzato il piano di caratterizzazione della discarica di Donada (Porto Viro in Veneto) disponibile per la consultazione pubblica sul sito web del comune di Porto Viro dal 2013.

La discarica di Donada, per decenni abbandonata, è diventata una vera e propria discarica abusiva negli anni per ripetuti conferimenti di rifiuti provenienti dai numerosi laboratori manifatturieri che negli anni '60 operavano nella zona nel settore dell'abbigliamento, dalle abitazioni civili, da attività artigianali in genere e da operazioni edilizie sia private che pubbliche (fig. 5.1).

³⁵ Da questo capitolo è stata tratta una pubblicazione indicizzata in Scopus e presentata al convegno internazionale "4th European Conference Industrial Engineering and Operations Management" (2021), organizzato dalla IEOM Society

Il piano di caratterizzazione è stato redatto nel 2012 in accordo alle disposizioni del Titolo V Parte IV del D.Lgs. 152/2006 e ha previsto l'esecuzione di attività sia on-site sia off-site (ad esempio, prove di laboratorio). Tenuto conto che la gestione dei rischi per i lavoratori addetti ad attività di laboratorio è ampiamente disciplinata e nota, l'attenzione è stata focalizzata soltanto sullo studio delle attività condotte in situ.

Le attività on-site sono state organizzate in uno schema logico, in cui sono state correlate agli obiettivi della caratterizzazione (Di Fiore et al., 2017). In particolare, gli addetti ai lavori sono stati impegnati in indagini finalizzate a:

1. Definire l'estensione geometrica della sorgente di contaminazione, in termini di estensione laterale, profondità di scavo e presenza di plume di contaminazione;
2. Caratterizzare i rifiuti (in termini merceologia, proprietà chimico-fisiche e geotecniche) per pianificare le successive attività di risanamento;
3. Valutare l'entità e la tipologia dell'inquinamento nelle acque sotterranee e nel suolo circostanti il corpo discarica.

All'interno del piano di caratterizzazione sono state previste le seguenti attività on-site:

- Sopralluoghi preliminari, pulizia meccanica dell'area e sfalcio della vegetazione;
- Rilievo topografico con stazione totale per delimitare il sito e localizzare i punti di indagine;
- Analisi con il georadar (n. 15 radargrammi per investigare 920 metri di profondità) sul corpo discarica, per escludere la presenza di corpi metallici, bidoni, tubi in cemento o in materiale plastico, pezzi grandi di rifiuti da operazioni di demolizione e ricostruzione edilizia etc. La profondità di investigazione è stata limitata a causa del crescente livello di umidità sotto la superficie di copertura della discarica;
- Esecuzione di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 metri al di sotto della base del corpo discarica per il campionamento dei rifiuti;
- Esecuzione di n.4 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 metri, al di fuori del corpo discarica, attrezzati a piezometro;
- Esecuzione di n. 6 sondaggi geognostici fino alla profondità di 10 metri, al di fuori del corpo discarica, per installare altri 6 piezometri con diametro di 4'';
- Esecuzione di n.23 sondaggi con coclea per caratterizzare i rifiuti presenti in discarica e le altezze degli strati rifiuto-copertura superficiale;
- Installazione di n. 10 piezometri intorno al perimetro della discarica, spinti fino alla profondità di 10 metri.



Figura 5.1. Ex discarica di Donada come si presentava dopo le azioni di pulizia della vegetazione che la ricopriva interamente (immagine tratta dal Piano di caratterizzazione)

Dall'analisi del piano di caratterizzazione della discarica di Donada e dei relativi report è stato estratto uno schema generale per la caratterizzazione del sito che è riportato nella tabella 5.1.

Nella tabella 5.1 è stato introdotto l'obiettivo n.4 "Allestire il sito di lavoro", al quale sono riconducibili tutte le attività preliminari a quelle di caratterizzazione vera e propria.

Tabella 5.1 Caratterizzazione della discarica di Donada.

Obiettivi generali della caratterizzazione	Attività on-site svolte nella discarica di Donada
1. Definire l'estensione geometrica della sorgente di contaminazione, in termini di estensione laterale, profondità di scavo e presenza di plume di contaminazione	Misure topografiche con stazione totale
	Analisi con il georadar (n. 15 radargrammi per investigare 920 metri di profondità)
	Esecuzione di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 metri per il campionamento dei rifiuti
	Esecuzione di n.4 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 metri al di fuori del corpo discarica. I sondaggi sono stati attrezzati con piezometri fino alla stessa profondità con diametro di 4''
2. Caratterizzare i rifiuti (in termini merceologia, proprietà chimico-fisiche e geotecniche)	Analisi con il georadar (n. 15 radargrammi per investigare 920 metri di profondità)
	Esecuzione di n. 23 sondaggi geognostici con coclea
	Esecuzione di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 metri per il campionamento dei rifiuti
3. Valutare l'entità e la tipologia dell'inquinamento nelle acque sotterranee e nel suolo circostanti il corpo discarica	Esecuzione di n. 6 sondaggi geognostici fino alla profondità di 10 metri, al di fuori del sito di discarica, per installare altri 6 piezometri con un diametro di 4''
	Installazione di n.10 piezometri fino a una profondità di 10 metri lungo il perimetro della discarica
4. Allestire il sito di lavoro	Sopralluoghi preliminari, pulizia meccanica dell'area e sfalcio della vegetazione

5.2 Il metodo ISO 45001:2018

Nel 2018 la norma ISO 45001 ha aggiornato ed esteso ad un livello internazionale l'approccio alla gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro, proposto nella norma BS 18001: 2007. L'approccio stabilito dalla ISO 45001:2018 si basa sul noto ciclo "Plan-Do-Check-Act" (PDCA), che è articolato nelle seguenti fasi (Figura 5.2):

- Pianificazione (Plan) degli obiettivi e delle strategie di sicurezza e analisi del contesto, dei compiti e delle attività di lavoro;
- Attuazione delle misure di sicurezza (Do);
- Controllo (Check) delle performance raggiunte in termini di sicurezza sul lavoro;
- Azione (Acting), al fine di migliorare il sistema di gestione della sicurezza, attraverso l'introduzione di nuove tecniche, tecnologie, cambiamenti organizzativi o programmi di formazione, informazione e addestramento più efficaci.

Così come raccomandato dall'*International Standards Organization*, in questo approccio è essenziale:

- Coinvolgere tutti i lavoratori dell'azienda, dall'alta dirigenza al lavoratore di livello più basso, affinché abbiano un ruolo attivo nel sistema di gestione della sicurezza, con sforzi il più possibile sinergici e integrati (specialmente nelle prime due fasi);
- Considerare tutte le parti interne/esterne (Darabont et al., 2017) che possono determinare un impatto sulla sicurezza (indicate nella tabella 5.2), specialmente nelle fasi di Azione e Pianificazione;
- La comunicazione dei risultati raggiunti, a livello sia interno sia esterno all'azienda.

Tabella 5.2. Parti interessate interne/esterne (adattato da Darabont et al., 2017)

Parti interne	Parti esterne
Lavoratori	Popolazione locale
Datore di lavoro	Clienti
Dirigenti	Shareholders
Associazioni sindacali dei lavoratori	Associazioni territoriali interessate
Fornitori	Media
Contrattisti	Pubblica Amministrazione
Alta dirigenza	

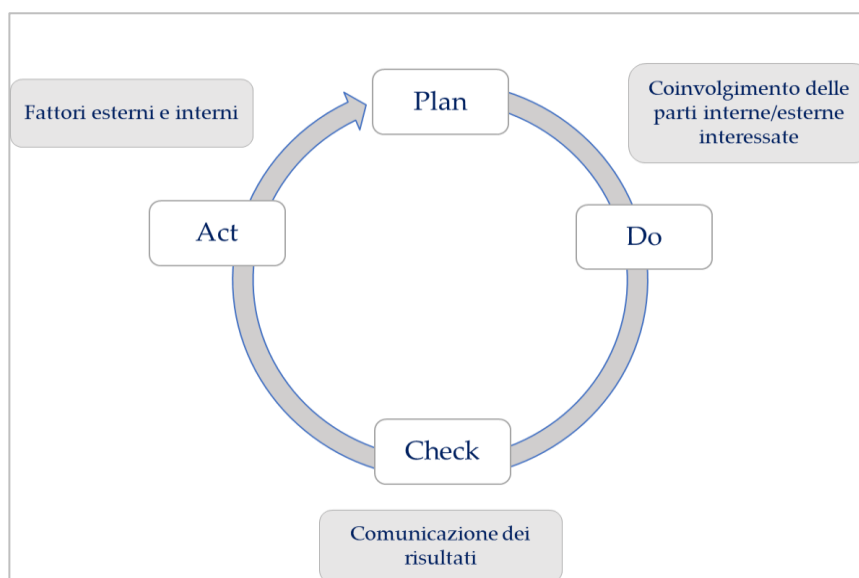


Figura 5.2. Approccio alla gestione delle criticità per la SSL secondo la ISO 45001:2018

Con l'obiettivo di fornire un modello di analisi e gestione dei rischi durante le attività di caratterizzazione di discariche, sono state considerate prevalentemente le indicazioni della norma relative alla fase di "Pianificazione" del ciclo PDCA. Pertanto, focalizzando l'attenzione sulle attività di caratterizzazione delle discariche, i principali step che sono stati considerati della sezione Plan riguardano:

1. L'analisi del contesto e delle aspettative di tutte le parti interessate;

2. La definizione degli obiettivi di sicurezza e delle strategie necessarie a raggiungerli (es. corrette procedure di lavoro);
3. L'analisi dei pericoli, degli eventi pericolosi e di conseguenza dei rischi correlati ad ogni mansione lavorativa (analisi del rischio).

5.3 Safety planning

Partendo dalle considerazioni di cui sopra, dall'analisi delle attività condotte per la caratterizzazione della discarica di Donada, nonché da altre informazioni disponibili nella letteratura di settore, in questa sezione viene presentato e discusso il piano generale di sicurezza per la caratterizzazione delle discariche basato sulle seguenti attività (Figura 5.3):

1. Identificazione di eventuali criticità per la salute e la sicurezza dei lavoratori attraverso l'analisi di contesto;
2. Organizzazione delle attività on-site;
3. Analisi dei rischi per i lavoratori per ogni attività lavorativa;
4. Definizione di adeguate misure per la riduzione dei rischi a un livello accettabile.

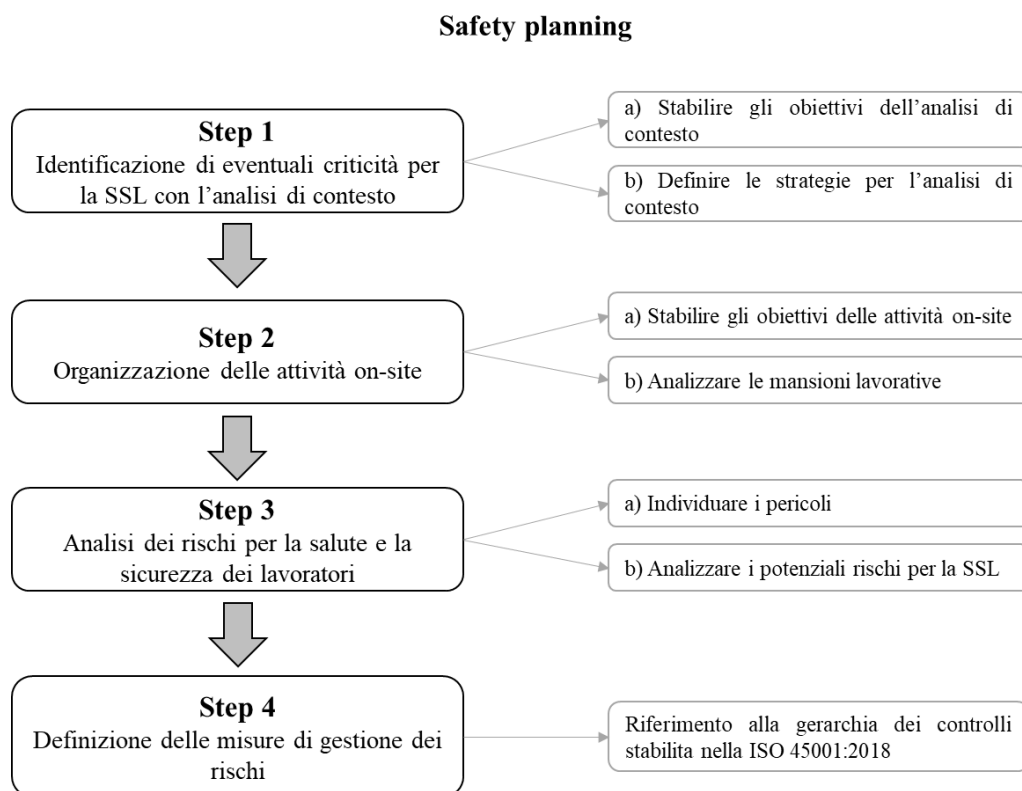


Figura 5.3. Piano generale di sicurezza per la caratterizzazione delle discariche

5.3.1 Analisi del contesto

Analizzare correttamente il contesto di una discarica significa collezionare informazioni relative a:

- Storia del sito, come ad esempio le informazioni riguardanti i rilasci di rifiuti nell'area e lo svolgimento di pregresse attività di lavoro;
- Caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrauliche del sito, per valutare il rischio di catastrofi naturali nel sito (es. terremoti, frane, alluvioni etc.);
- Presenza di vincoli sul sito, associati agli strumenti di pianificazione territoriale vigenti;
- Precedenti fenomeni di contaminazione ambientale nei dintorni dell'area di interesse.

Nel piano di caratterizzazione della discarica di Donada l'analisi di contesto è stata condotta attraverso la consultazione di studi precedenti sul sito, la raccolta di informazioni disponibili negli strumenti di pianificazione territoriale vigenti (ad esempio, e il confronto con i funzionari pubblici competenti sul procedimento amministrativo di risanamento del sito).

Da un lato, gli studi scientifici sul sito consentono la ricostruzione degli eventi di rilascio dei rifiuti e di contaminazione nell'area, che potrebbero influenzare l'esecuzione di future attività sul sito. Dall'altro lato, le leggi regionali, statali, gli atti di pianificazione territoriale etc. danno un contributo alla comprensione delle trasformazioni del sito in termini di destinazione d'uso e dei vincoli su esso vigenti. Tenuto conto che sia gli strumenti di pianificazione territoriale sia gli studi scientifici pregressi sono documenti sottoposti a un processo di validazione, questi sono considerati come le strategie più opportune per fare un'analisi di contesto.

Un'altra strategia utile a collezionare informazioni sul contesto ambientale e sulle problematiche di SSL è l'esecuzione di interviste al proprietario o al gestore del sito, agli occupati del sito, ai funzionari pubblici territorialmente competenti, alle persone che vivono o lavorano nei dintorni del sito e, più in generale, a chiunque possa essere informato sui fatti riguardanti l'area di intervento (EPA, 2002; Uzun et al., 2018). A tal proposito, è opportuno predisporre un questionario ad hoc che consenta di raccogliere ed elaborare le informazioni in maniera efficace e sistematica. Generalmente, in indagini di questo tipo è preferibile la progettazione di un questionario che preveda risposte chiuse (ad esempio, "Il sito ha presentato diverse destinazioni d'uso nel tempo?"; "Ci sono ricettori sensibili nei dintorni del sito?") o in scala Likert (scala con intensità della risposta variabile da 1 a 5), facilmente valutabili con l'ausilio di software di calcolo statistico-matematico.

Inoltre, le immagini acquisite da piattaforme di telerilevamento possono aiutare nell'individuazione delle discariche illecite e nell'identificazione approssimativa delle loro caratteristiche. A tal proposito, è possibile utilizzare le immagini telerilevate (Glanville & Chang, 2015):

- In maniera indiretta, ossia attraverso l'analisi delle firme spettrali di diversi elementi dell'immagine;

- In maniera diretta, attraverso l'analisi dei cambiamenti nel tempo delle firme spettrali degli elementi appartenenti all'area di interesse.

Generalmente, l'individuazione dei depositi di rifiuti avviene attraverso lo studio dei fenomeni connessi al rilascio di contaminanti nell'ambiente, che determinano variazioni dello stato di salute della vegetazione o temperature troppo alte del suolo (causate dalla fermentazione anaerobica dei rifiuti) e, di conseguenza, modificano le firme spettrali delle piante e del suolo. Così come evidenziato da (Silvestri & Omri, 2008), lo studio delle immagini telerilevate richiede la predisposizione di una metodologia di analisi specifica, variabile soprattutto in funzione della merceologia dei rifiuti presenti nel corpo discarica.

Nella tabella 5.3 è riportata la correlazione tra gli obiettivi e le strategie utili all'analisi di contesto per la SSL durante le attività di caratterizzazione delle discariche.

Tabella 5.3. Correlazione obiettivi-strategie per l'analisi di contesto

Obiettivi	Strategie
1. Analizzare la storia del sito	Analizzare gli studi scientifici già disponibili sul sito
	Consultare le leggi regionali, statali e gli atti di pianificazione territoriale
	Esecuzione di interviste al proprietario o al gestore del sito, agli occupati del sito, ai funzionari pubblici territorialmente competenti, alle persone che vivono o lavorano nei dintorni del sito e, più in generale, a chiunque possa essere informato sui fatti riguardanti l'area di intervento
2. Valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrauliche del sito	Analizzare gli studi scientifici già disponibili sul sito
	Consultare le leggi regionali, statali e gli atti di pianificazione territoriale
	Elaborazione di immagini telerilevate
3. Verificare la presenza di vincoli sul sito	Consultare le leggi regionali, statali e gli atti di pianificazione territoriale
4. Considerare precedenti fenomeni di contaminazione dell'area di interesse	Analizzare gli studi scientifici già disponibili sul sito
	Esecuzione di interviste al proprietario o al gestore del sito, agli occupati del sito, ai funzionari pubblici territorialmente competenti, alle persone che vivono o lavorano nei dintorni del sito e, più in generale, a chiunque possa essere informato sui fatti riguardanti l'area di intervento
	Elaborazione di immagini telerilevate

5.3.2 Attività di caratterizzazione on-site

Secondo la ISO 45001:2018, la pianificazione della *safety policy* richiede una completa descrizione delle mansioni e delle attività di lavoro svolte in azienda. Pertanto, a partire dall'analisi del piano di caratterizzazione della discarica di Donada, sono state individuate e definite le attività lavorative che sono effettuate on-site per la caratterizzazione di una discarica.

Il sopralluogo preliminare costituisce la prima attività svolta in situ e può essere considerata di tipo puramente visivo. Infatti, nell'ambito di questa attività gli esperti sono chiamati a stimare visivamente (e quindi in via approssimativa) le caratteristiche del sito, come gli odori, la presenza di pozzi, stagni e lagune, fusti e contenitori di stoccaggio, vegetazione incolta, nonché le caratteristiche del suolo, di eventuali pavimentazioni, di tubazioni e serbatoi (EPA, 2002). Nel caso di discariche, il sopralluogo dovrebbe essere finalizzato anche a valutare la presenza e le condizioni degli impianti a servizio della discarica stessa (es. impianto per la raccolta e l'estrazione del biogas o del percolato). In generale, è possibile affermare che il sopralluogo sia essenziale per comprendere l'uso e le condizioni del sito dove è localizzato il corpo discarica, per individuare le aree dove è necessario investigare con maggiore attenzione e per individuare i possibili bersagli della contaminazione.

Lo sfalcio della vegetazione e la pulizia generale dell'area sono invece le attività di tipo meccanico, preliminari alla caratterizzazione vera e propria (che servono a preparare l'area di lavoro). Generalmente, il taglio della vegetazione viene eseguito con una motosega e, laddove necessario, con l'ausilio di una scala (per raggiungere i rami più alti). Al termine di queste attività, si prevede un livellamento del suolo.

Tra le attività che soddisfano l'obiettivo n. 4 "Allestire il luogo di lavoro", oltre al sopralluogo, alla pulizia e allo sfalcio della vegetazione, troviamo anche le seguenti:

- Delimitazione del sito attraverso l'installazione di una recinzione, della segnaletica di sicurezza e di un sistema di videosorveglianza, al fine di evitare l'accesso ai non addetti ai lavori e a chiunque non sia preventivamente autorizzato;
- Organizzazione dei servizi logistici, come le toilette, gli spogliatoi, le mense ed altre opere provvisorie (es. strade di servizio, aree di stoccaggio dei materiali e dei rifiuti, area per la pulizia dei mezzi e degli strumenti etc.);
- Allestimento degli impianti atti ad assicurare la disponibilità di energia elettrica e acqua.

Dopo queste attività preliminari, i lavoratori sono impegnati nelle attività di caratterizzazione, che possono essere suddivise in due categorie³⁶:

- Indagini dirette, che sfruttano macchinari per il campionamento del suolo, delle acque e dei rifiuti al fine di effettuare successive analisi di laboratorio;

³⁶ Vd. cap.2 per ulteriori dettagli

- Indagini indirette, che attraverso l'uso di dispositivi elettrici/magnetici permettono di acquisire informazioni senza un diretto contatto dell'operatore con i rifiuti o le sostanze pericolose disperse nell'ambiente. Tra le indagini geofisiche, si ritiene utile prendere in considerazione:
 - i metodi geoelettrici (Cardarelli & Di Filippo, 2004), basati sulla valutazione e il confronto delle proprietà elettriche dei materiali (resistiva, polarizzazione indotta);
 - i metodi magnetici (Marchetti et al., 2002b), che permettono di distinguere i rifiuti dal suolo attraverso il confronto delle variazioni di campo magnetico;
 - i metodi termici, che sono particolarmente utili per individuare le discariche di rifiuti solidi urbani, nelle quali il biogas prodotto determina consistenti variazioni della temperatura superficiale;
 - indagini georadar, basate sullo studio delle modalità di propagazione delle onde radar all'interno dei rifiuti solidi e del suolo (Di Fiore et al., 2017b; Orlando & Marchesi, 2001).

I rilievi topografici, che di solito prevedono l'uso di una stazione totale e di prismi retroriflettenti (in qualità di punti di riferimento), non possono essere inclusi in questa classificazione dal momento che sono finalizzati all'esatta localizzazione delle verticali d'indagine e a definire l'esatta geometria del corpo discarica.

5.3.3 Individuazione dei pericoli

La metodologia Job Hazard Assessment (JHA) sviluppata dall'Amministrazione per la Salute e la Sicurezza sul Lavoro statunitense (OSHA, 2002) rappresenta lo strumento per individuare i potenziali pericoli associati ad ogni attività di lavoro. Pertanto, utilizzando questo approccio e le informazioni disponibili nella letteratura scientifica di settore sono stati individuati i pericoli ai quali possono essere esposti gli addetti alle attività di caratterizzazione.

In particolare, durante le attività di caratterizzazione si ritiene opportuno qualificare come potenziali pericoli per la salute e la sicurezza dei lavoratori tutte le sostanze pericolose emesse dalla discarica, sotto forma di gas, polveri e percolato (Limoli et al., 2019).

Così come evidenziato da (Vaverková, 2019), nelle discariche per rifiuti solidi urbani ci sono circa 150-250 kg di carbonio organico per tonnellata di rifiuto, che sono trasformati in biogas contenente metano per il 40-60%, in grado di causare stati di malessere e generare atmosfere esplosive se presente in elevate quantità.

Emissioni di gas tossici possono essere dovute anche a focolai tra i rifiuti, che sono inaspettatamente molto comuni: basti pensare che solo negli Stati Uniti sono stati registrati 840 incendi nel periodo 2004-2010. Gli incendi nelle discariche possono essere superficiali o sotterranei (Chavan et al., 2019). I primi possono essere facilmente rilevati e tempestivamente fermati, in quanto caratterizzati da una combustione visibile; al

contrario, i secondi possono diventare intensi e particolarmente pericolosi, dal momento che non è visibile la propagazione del fuoco.

I lavoratori possono essere soggetti anche infortuni e malattie professionali per esposizione diretta (contatto dermico e ingestione accidentale) o indiretta (inalazione) al percolato. La produzione di percolato è associata prevalentemente alla degradazione anaerobica della sostanza organica e può aumentare per infiltrazioni meteoriche.

Inoltre, i rifiuti stessi rappresentano un pericolo per la SSL. Da un lato, possono determinare tagli e infortuni per la presenza di materiali taglienti e abrasivi; dall'altro lato, possono comportare rischi per la sicurezza dei lavoratori a causa delle loro scarse proprietà geotecniche.

5.3.4 Individuazione dei rischi per la SSL

Attraverso un modello tabellare (tabelle 5.4 e 5.5) sono stati analizzati i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori addetti alle attività di caratterizzazione di discariche. In particolare, il modello comprende e mette in correlazione:

- Gli obiettivi generali della caratterizzazione;
- I principali metodi di indagine utilizzati on-site per il raggiungimento degli obiettivi di cui sopra;
- I principali pericoli per i lavoratori durante lo svolgimento delle attività;
- I principali rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori per ogni attività e ogni obiettivo della caratterizzazione.

Tabella 5.4 Correlazione obiettivi-attività-pericoli-rischi per la fase di caratterizzazione delle discariche (obiettivi 1-2)

Obiettivi generali della caratterizzazione	Attività di caratterizzazione on-site per discariche	Principali pericoli per i lavoratori	Principali rischi per la SSL
1. Definire l'estensione geometrica della sorgente di contaminazione, in termini di estensione laterale, profondità di scavo e presenza di plume di contaminazione	Misure topografiche con stazione totale e prismi di riferimento	rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio incendio, rischio chimico
	<i>Indagine elettrica</i>	rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, elettricità, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio incendio, rischio chimico, rischio elettrocuzione
	<i>Indagine magnetometrica</i>	Gas tossici, elettricità	Rischio incendio, rischio chimico, rischio elettrocuzione
	<i>Indagine termica</i>	Gas tossici	Rischio incendio, rischio chimico
	Sondaggi a carotaggio continuo per il prelievo di campioni di suolo (intorno al corpo discarica)	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici,, instabilità geotecnica, percolato, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine
	Installazione di piezometri per il prelievo di campioni di acqua di falda (intorno al corpo discarica)	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici,, instabilità geotecnica, percolato, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine
2. Caratterizzare i rifiuti (in termini merceologia, proprietà chimico-fisiche e geotecniche)	<i>Indagine georadar</i>	Gas tossici	Rischio chimico, rischio incendio
	<i>Indagine elettrica</i>	rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, elettricità, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio incendio, rischio chimico, rischio elettrocuzione
	<i>Indagine magnetometrica</i>	Gas tossici, elettricità	Rischio incendio, rischio chimico, rischio elettrocuzione
	<i>Indagine termica</i>	Gas tossici	Rischio chimico, rischio incendio
	Sondaggi a carotaggio continuo per il campionamento dei rifiuti	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici,, instabilità geotecnica, percolato, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine
	Sondaggi geognostici con coclea	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici,, instabilità geotecnica, percolato, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine

Tabella 5.5 Correlazione obiettivi-attività-pericoli-rischi per la fase di caratterizzazione delle discariche (obiettivi 3-4)

Obiettivi generali della caratterizzazione	Attività di caratterizzazione on-site per discariche	Principali pericoli per i lavoratori	Principali rischi per la SSL
3. Valutare l'entità e la tipologia dell'inquinamento nelle acque sotterranee e nel suolo circostanti il corpo discarica	Sondaggi a carotaggio continuo per il prelievo di campioni di suolo	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, instabilità geotecnica, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine
	Installazione di piezometri intorno al corpo discarica	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, instabilità geotecnica, rifiuti altamente infiammabili, macchine, batteri e microrganismi patogeni	Rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio di caduta dall'alto, rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio macchine
4. Allestire il sito di lavoro	Sopralluoghi preliminari	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, batteri e microrganismi patogeni	Rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio biologico, rischio chimico, scivolamento e inciampo, rischio incendio
	Delimitazione del sito attraverso la recinzione di sicurezza, la segnaletica e un sistema di video-sorveglianza	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, batteri e microrganismi patogeni	Rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio biologico, rischio chimico, , scivolamento e inciampo, rischio incendio
	Sfalcio della vegetazione e pulizia del sito	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, batteri e microrganismi patogeni, macchine	Rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio biologico, rischio chimico, , scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio macchine
	Organizzazione dei servizi logistici, come toilette, spogliatoi, mensa ed opera provvisoria (aree deposito per i rifiuti, viabilità di servizio, aree di lavaggio mezzi e strumenti etc.)	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, batteri e microrganismi patogeni, macchine	Rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio biologico, rischio chimico, , scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio macchine
	Installazione di impianti per l'elettricità e l'acqua potabile	Rifiuti, corpi taglienti, gas tossici, percolato, batteri e microrganismi patogeni, macchine	Rischio di caduta di materiale dall'alto, rischio biologico, rischio chimico, , scivolamento e inciampo, rischio incendio, rischio macchine

5.3.5 Misure per la mitigazione dei rischi

Secondo la gerarchia dei controlli riportata nella Norma ISO 45001, la mitigazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori può essere ottenuta attraverso le seguenti misure (figura 5.4):

- Eliminazione o riduzione dei pericoli;
- Sostituzione dei pericoli: ad esempio, sostituzione di un elemento pericoloso con uno meno pericoloso;
- Attuazione di misure tecnico progettuali (*engineering controls*): ad esempio, le misure di protezione collettiva;
- Controlli amministrativi (*administrative controls*): ad esempio, lo svolgimento di ispezioni periodiche, il cambiamento dei modelli di lavoro o l'organizzazione di eventi formativi;
- Dispositivi di Protezione Individuale (DPI), che rappresentano l'estrema ratio per ridurre a livelli accettabili il rischio residuo.

Ogni misura indicata nella piramide rovesciata della gerarchia dei controlli è considerata meno efficace di quella che la precede. Generalmente è preferibile la combinazione di diverse misure per mitigare i rischi per la SSL al livello più basso ragionevolmente praticabile (in accordo al principio ALARP).

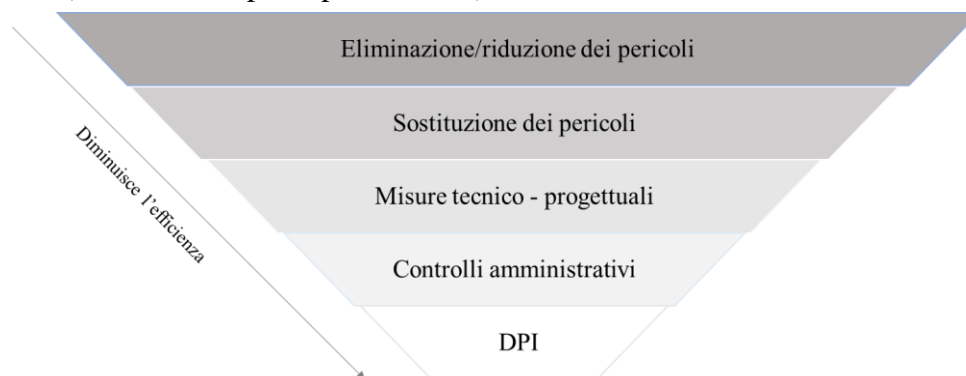


Figura 5.4 Gerarchia dei controlli (ISO 45001)

In relazione alle attività di caratterizzazione di discariche illecite, i responsabili della sicurezza devono tener conto del fatto che è impossibile o eliminare alcuni pericoli, specialmente quelli correlati al contesto ambientale (come ad esempio gli agenti chimici e biologici, i rifiuti/gli oggetti taglienti etc.). Quindi, ridurre i rischi per i lavoratori a livelli accettabili richiede necessariamente:

- a) l'attuazione di misure tecnico-progettuali e di tipo organizzativo e amministrativo;
- b) nella maggior parte dei casi, dotare i lavoratori anche di appropriati DPI.

Di seguito, sono indicate alcune misure utili alla mitigazione dei rischi riportati nelle tabelle 5.4 e 5.5:

- definire con maggior dettaglio la sequenza di operazioni e le mansioni lavorative per ogni attività individuata nel paragrafo 5.3.2, al fine di redigere un'accurata valutazione del rischio e di individuare misure di mitigazione dei rischi specifiche;
- effettuare le indagini geofisiche prima dei sondaggi geognostici, in modo tale da proteggere i lavoratori dal contatto diretto con i rifiuti, dalle pericolose emissioni del corpo discarica e per pianificare le verticali di indagine evitando l'interferenza con materiali pericolosi sepolti o sottoservizi;
- Fornire ai lavoratori strumenti portatili che siano in grado di individuare atmosfere esplosive, determinate dall'alta concentrazione di CH₄ o altri gas facilmente infiammabili, di identificare aree in condizioni anossiche e di valutare la loro esposizione radiologica. In caso di rischio, gli strumenti dovrebbero essere in grado di avvisare i lavoratori con segnali acustici;
- Organizzare le aree di lavoro e le attività in modo tale da evitare/ridurre il più possibile i rischi interferenziali;
- Prima dell'utilizzo, controllare i livelli di sicurezza dei macchinari e valutare l'opportunità di utilizzare macchine dotate di sistemi tecnologici più avanzati e sicuri per le attività di caratterizzazione;
- Formare adeguatamente i lavoratori. Ogni iniziativa di formazione, informazione o addestramento dovrebbe essere pianificata considerando i fattori interni aziendali, come il ruolo di ciascun lavoratore, il suo livello di istruzione, la nazionalità, il sesso etc. Solo considerando questi fattori nel piano formativo è possibile aumentare le competenze dei lavoratori durante lo svolgimento delle attività di lavoro;
- Dare ai fornitori e ad eventuali esperti a contratto checklist e questionari per verificare il loro grado di accordo con la normativa sulla sicurezza sul lavoro e tecnica di settore;
- Fornire ai lavoratori adeguati DPI per lo svolgimento delle attività, in base alla mansione, alle caratteristiche del contesto e alla valutazione del rischio residuo;
- Pianificare la risposta alle emergenze, che tutti i lavoratori dovrebbero conoscere e condividere prima di entrare nel sito di lavoro. Ciò implica l'elaborazione degli scenari di rischio, la comunicazione a tutti i lavoratori dei rispettivi compiti e responsabilità in caso di emergenza, nonché la necessità di stabilire i percorsi e le procedure di esodo, di formare i lavoratori per gestire differenti tipologie di emergenza e di allestire un'area comune per il primo soccorso.

5.4 Considerazioni sul modello proposto

Il modello di analisi di rischio proposto nel presente capitolo rappresenta senza dubbio un passo in avanti nel quadro di gestione della salute e sicurezza sul lavoro durante le attività di caratterizzazione di discariche abusive o di depositi illeciti di rifiuti, attualmente caratterizzato dalla mancanza di indicazioni normative specifiche sul tema.

Inoltre, dal momento che tale modello è stato elaborato a partire dall'approccio proposto nella Norma ISO 45001, ritenuta coerente con gli obiettivi dello sviluppo sostenibile dell'Agenda ONU 2030 ed è possibile affermare che rappresenta uno strumento per il raggiungimento del Target 8.8 *“Proteggere i diritti del lavoro e promuovere un ambiente di lavoro sicuro e protetto per tutti i lavoratori, compresi i lavoratori migranti, in particolare le donne migranti, e quelli in lavoro precario”*.

Tuttavia, in questo paragrafo si ritiene opportuno evidenziarne anche i limiti di tale modello, che possono offrire ulteriori opportunità di ricerca scientifica sul tema.

Nel modello i fattori umani e i pericoli correlati alla presenza di differenti imprese esecutrici non sono stati adeguatamente considerati, perché richiedono una valutazione specifica caso per caso da parte del coordinatore per la sicurezza, che tenga conto delle clausole contrattuali e delle specifiche tecnologie previste per lo svolgimento delle attività. Inoltre, i pericoli e i rischi per la SSL individuati possono essere ulteriormente dettagliati laddove al coordinatore sia nota l'esatta sequenza delle attività e la tipologia di macchine utilizzate per ciascuna di esse. Pertanto, la valutazione sito-specifica delle attività con un elevato grado di dettaglio (in accordo al JHA) può contribuire al miglioramento del modello di analisi proposto.

Infine, è opportuno sottolineare che dal modello sono stati esclusi due pericoli abbastanza comuni nei depositi di rifiuti industriali: l'amianto e la radioattività. Tale scelta è stata effettuata perché la gestione dei rischi per la salute correlati a tali pericoli richiede l'adozione di specifiche procedure di sicurezza, non oggetto del presente lavoro di tesi. Pertanto, laddove si ravvisi la presenza di rifiuti radioattivi o contenenti amianto, è opportuno integrare la pianificazione della sicurezza con ulteriori modelli di valutazione del rischio.

Capitolo 6

La sicurezza sul lavoro durante le attività di risanamento di discariche

Nonostante la portata internazionale del fenomeno dell'*illegal dumping*, al momento non si rilevano procedure specifiche a livello nazionale e europeo per gli interventi di bonifica/messa in sicurezza di discariche. Inoltre, data la forte eterogeneità dei processi di lavoro previsti per il risanamento di discariche (cfr. cap.2), appare difficile l'elaborazione di modelli di valutazione della sicurezza sul lavoro tramite la metodologia JHA.

Pertanto, con l'obiettivo di fornire un contributo scientifico abbastanza flessibile sulla tematica, a seguito di una analisi della letteratura scientifica utile a tale scopo e della documentazione resa disponibile da INAIL sui procedimenti amministrativi inerenti il risanamento di siti di discarica³⁷, nel presente capitolo viene presentato e discusso un modello di valutazione della sicurezza di un cantiere di risanamento di una discarica.

6.1. Analisi della letteratura

6.1.1. Il metodo *HazWOpER*, 29 CFR 1910.120

Nel 1986 la Legge SARA³⁸ ha richiesto all'OSHA di rilasciare delle regole specifiche per la tutela dei lavoratori impegnati in operazioni con rifiuti pericolosi: pertanto, è stato promulgato il metodo *Hazardous Waste Operations and Emergency Response* (*HazWOpER*), 29 CFR 1910.120, che riguarda le seguenti categorie di processi lavorativi:

- Processo di pulizia del sito richiesto da un Ente governativo, che prevede il possibile contatto con sostanze pericolose in aree contaminate da rifiuti pericolosi;
- Processi che prevedono la presenza di rifiuti pericolosi, condotti a strutture di trattamento, deposito o smaltimento;
- Processi che generano rifiuti pericolosi;
- Attività di risposta alle emergenze connesse al rilascio di sostanze pericolose.

Lo standard *HazWOpER* prevede l'elaborazione di un piano di sicurezza che contenga indicazioni relativamente alle seguenti attività: caratterizzazione del sito; controllo del sito; formazione; sorveglianza medica; misure di controllo; monitoraggio; modalità di

³⁷ Nel corso del primo anno la dottoranda ha svolto un'esperienza di tirocinio presso il Laboratorio IX del Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici (DIT) di INAIL. In particolare, sotto la supervisione dell'Ing. Berardi, ha collaborato all'analisi di documenti progettuali riguardanti le attività di caratterizzazione, analisi di rischio, bonifica e messa in sicurezza di aree comprese nei Siti di Interesse Nazionale, per i quali il DIT può essere chiamato a verificare le misure previste per la gestione dei rischi per i lavoratori.

³⁸ *Superfund Amendments Reauthorization Act*

informazione; trasporto dei materiali; decontaminazione; risposta alle emergenze; illuminazione e sanificazione. In tabella 6.1 sono riportati sinteticamente i contenuti richiesti da tale metodologia.

Tabella 6.1 Elementi del HazWOpER Standard adattato da (Lehto, M.R.; Cook, 2012)

Elementi	Descrizione
Caratterizzazione del sito	Identificazione delle condizioni che potrebbero essere immediatamente pericolose per la vita o la salute e definizione di appropriate misure per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori
Controllo del sito	Prevenzione della contaminazione dei lavoratori attraverso la progettazione delle aree di lavoro, di procedure operative, della comunicazione e dell'assistenza medica
Formazione	Assicurare ai lavoratori un programma di formazione di 40 ore off-site e 3 gg on site con supervisor, con rilascio di certificato. Nel programma di formazione devono essere definiti i nomi dei responsabili del personale, i pericoli presenti, la segnaletica e i sintomi di eccessiva esposizione, misure progettuali e attrezzature, procedure di lavoro e i DPI.
Sorveglianza medica	Si richiede la sorveglianza sanitaria per almeno 30 gg/anno per i lavoratori esposti ai pericoli, con un esperto della materia e previa acquisizione del consenso scritto del lavoratore a sottoporsi agli esami medici necessari.
Misure di controllo	Misure progettuali o procedure di lavoro e uso efficace dei DPI. Il programma di utilizzo dei DPI deve comprendere informazioni sui pericoli, sulla durata della singola attività lavorativa, il monitoraggio del corretto utilizzo e la decontaminazione.
Monitoraggio	Monitoraggio dei pericoli finalizzato alla loro identificazione/controllo
Informazioni	Informazioni ai lavoratori sugli strumenti di pianificazione dei rischi. È necessario adottare un piano sito-specifico ufficiale, scritto, che includa i nomi dei responsabili del personale, l'analisi dei rischi per mansione, la formazione per ogni lavoratore, i DPI, le procedure di decontaminazione e di sicurezza negli spazi confinati, nonché le misure per la sorveglianza medica e per la gestione delle emergenze.
Trasporto dei materiali	In questa parte sono stabiliti gli standard per il trasporto di container contenenti rifiuti o sostanze pericolose.
Decontaminazione	È necessario prevedere procedure per la decontaminazione degli addetti ai lavori, del vestiario, dell'attrezzatura etc. e di controllo dell'esposizione al rischio.
Risposta alle emergenze	Richiesta la pianificazione d'emergenza, con la definizione delle responsabilità, delle vie di esodo, delle distanze di sicurezza e delle aree sicure, del primo soccorso e dei dispositivi di protezione individuale e di emergenza e con la valutazione degli scenari di rischio
Illuminazione	Richiesta un'adeguata illuminazione durante le mansioni (min. 5 fc)
Sanificazione	Richiesta un'adeguata fornitura di acqua potabile in situ, l'identificazione delle sorgenti d'acqua non potabile, la presenza di servizi igienici, mensa e dormitori secondo i requisiti di legge

6.1.2 I rating systems per la sostenibilità delle costruzioni

Nel campo dell'ingegneria civile/edile negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi metodi che consentono di valutare la sostenibilità degli edifici/infrastrutture o di un intervento di ristrutturazione in fase di progettazione (cd. *Rating Systems*). Un *rating system* permette di valutare grandezze complesse come la sostenibilità, considerando l'influenza di molteplici fattori: a ciascuno di essi è assegnato un punteggio, che concorre alla valutazione della grandezza finale eventualmente in funzione di specifici "pesi" (se le variabili influenzano diversamente la grandezza finale). A titolo illustrativo, sono esempi di *rating systems* riconosciuti a livello internazionale per la valutazione della sostenibilità dei progetti di infrastrutture:

- Il protocollo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), sviluppato dal U.S. Green Building Council (USGBC) negli anni '90 e aggiornato nel corso degli anni, che prevede la valutazione della sostenibilità degli edifici secondo criteri afferenti a 8 aree: Trasporto e Ubicazione, Sostenibilità del sito, Efficienza risorse idriche, Energia e Atmosfera, Materiali e Risorse, Qualità degli ambienti interni, Innovazione, Priorità Regionale (Kubba, 2016; U.S. Green Building Council, 2022);
- Il protocollo Envision, sviluppato dall'*Institute for Sustainable Infrastructures* (ISI), che prevede la valutazione della sostenibilità in tutto il ciclo di vita di un progetto (Pianificazione, progettazione definitiva, progettazione definitiva, manutenzione ed esercizio, decommissioning) considerando 64 criteri organizzati in 5 categorie: Qualità della vita (14 criteri), Leadership (12 criteri), Allocazione delle Risorse (14 criteri), Mondo naturale (14 criteri), clima & rischi (10 criteri). Ognuno di questi criteri può essere "richiesto/non applicabile" e valutabile in funzione di un giudizio qualitativo su scala Likert (a 5 livelli di intensità crescente). Ad ogni giudizio è poi assegnato un punteggio che viene sommato agli altri punti per definire il livello di sostenibilità complessivo del progetto (ISI, 2022; Trop, 2018);
- Il protocollo ITACA, già sviluppato nel 2015 dall'Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale (ITACA) e codificato a livello nazionale nella UNI-PdR (Prassi di Riferimento) 13:2019, che prevede la valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici residenziali e non residenziali (es. scuole, capannoni industriali, attività commerciali) attraverso l'analisi e l'attribuzione di un punteggio a criteri qualitativi e quantitativi (Asdrubali et al., 2015).

Nel 2009 Rajendran e Gambatese hanno presentato un *rating system* a partire dal modello LEED per lo sviluppo e la pianificazione della sicurezza sul lavoro nei cantieri edili e civili. Il modello ha incluso 50 elementi OHS suddivisi in 13 aree attraverso lo studio di questionari Delphi rivolti a un panel di 12 esperti (Rajendran & Gambatese, 2009).

Purtroppo, altri *rating systems* finalizzati all'analisi della salute e sicurezza sul lavoro non sembrano attualmente disponibili in letteratura.

In via generale, i *rating systems* sviluppati per l'analisi della sostenibilità dei progetti di costruzioni rappresentano:

- strumenti di autocontrollo delle performance di sostenibilità raggiunte dai progettisti, basati su un approccio flessibile (il numero di criteri è variabile), multidisciplinare e globale alla progettazione;
- strumenti di pianificazione delle ispezioni per eventuali Autorità di Controllo nazionali;
- strumenti per incentivare l'innovazione e la ricerca scientifica, laddove il punteggio conseguito sia basso.

6.2 Documentazione progettuale disponibile presso INAIL

L'INAIL, per il tramite del Dipartimento DIT, ai sensi dell'art. 252 del d.lgs. 152/2006, svolge da più di 15 anni attività di consulenza tecnico/scientifica per il Ministero della Transizione Ecologica, nell'ambito dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati (ex art. 242 D.Lgs. 152/2006), inclusi nell'elenco dei Siti di Interesse Nazionale (SIN). L'attività prevede un'analisi critica della documentazione progettuale fornita nell'ambito di tali procedimenti al fine di elaborare una valutazione sintetica sugli aspetti relativi alla salute e sicurezza dei lavoratori.

In analogia a quanto riportato nel cap.2, i documenti possono pertanto riguardare:

- la progettazione di attività di caratterizzazione di siti contaminati;
- l'elaborazione di un'analisi di rischio sanitario-ambientale, propedeutica alla valutazione degli obiettivi di bonifica o messa in sicurezza permanente del sito;
- la progettazione di interventi di bonifica, messa in sicurezza permanente, messa in sicurezza operativa o di emergenza di aree contaminate.

Per l'elaborazione del modello proposto in questo capitolo è stata effettuata un'analisi preliminare dei documenti progettuali relativi a n.11 siti di discarica, localizzati in n.7 Siti di Interesse Nazionale, già menzionati nel precedente cap.3 per un'applicazione del modello Ishikawa.

Successivamente, data l'esiguità del campione, sono stati considerati anche i documenti relativi agli interventi di MISP/MISE/bonifica elaborati per altri siti contaminati, dal momento che presentano un'impostazione analoga, dettata dal fatto che la disciplina sulla bonifica dei siti contaminati non prevede particolari distinzioni per le discariche (vd. cap.2).

Tutti i documenti analizzati sono soggetti ad accesso riservato: pertanto, le informazioni ivi contenute sono state elaborate in forma aggregata, in maniera tale da anonimizzare i contenuti visionati. Inoltre, le informazioni, essendo acquisite nell'ambito di

procedimenti relativi a Siti di Interesse Nazionale, possono essere considerate rappresentative del fenomeno della gestione dei siti contaminati a livello nazionale.

6.3 Approccio di ricerca

Considerata l'analisi di *background* e la documentazione progettuale disponibile presso INAIL sulla materia, in questo capitolo viene proposto un rating system per valutare la sicurezza di un cantiere di risanamento di una discarica.

Il modello è stato progettato a partire dalle attività schematizzate in Figura 6.2.

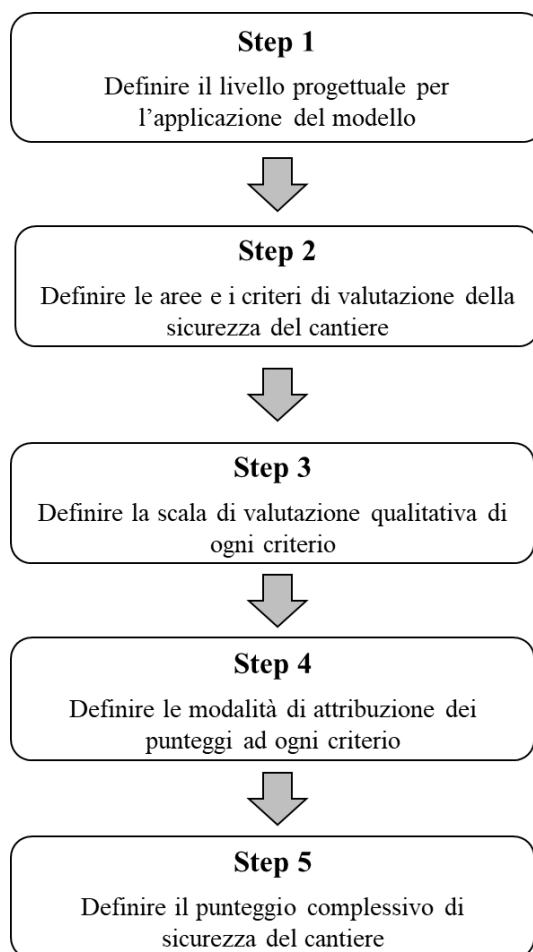


Figura 6.1 Fasi dell'approccio di ricerca seguito per la realizzazione del modello

6.4 Analisi della sicurezza nei cantieri di risanamento di discariche

Con riferimento a ogni fase dell'approccio di ricerca, di seguito sono illustrate le strategie che hanno consentito lo sviluppo di tutto il modello di analisi.

6.4.1 Livello progettuale per l'applicazione del modello

Come evidenziato da (Berardi et al., 2020)³⁹, nel Testo Unico Ambientale (art. 242) il legislatore afferma che per l'esecuzione degli interventi di bonifica di un sito contaminato è necessario predisporre e sottoporre ad approvazione delle PP.AA. un "Progetto Operativo di Bonifica", i cui contenuti possono essere ragionevolmente paragonati a quelli di un progetto definitivo ex art. 23 D.Lgs. 50/2016 (Nuovo Codice dei Contratti Pubblici).

Secondo l'art. 23 D.Lgs. 50/2016, la progettazione di qualsiasi opera/intervento commissionato da un Ente pubblico si articola nei seguenti livelli successivi di approfondimento:

- Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica (PFTE), nel quale il progettista, dopo aver effettuato una disamina del contesto territoriale e ambientale entro il quale si prevede l'intervento, effettua un'analisi delle alternative progettuali utili alla risoluzione del problema (ivi compresa la cd. "opzione zero", ossia la mancata esecuzione dei lavori), scegliendo quella che presenta il miglior rapporto costi/benefici per la collettività. Ai fini della tutela della sicurezza dei lavoratori, in questo livello progettuale il progettista consegna un documento contenente le prime indicazioni in merito (secondo quanto previsto dall'art. 17 D.P.R. 207/2010⁴⁰);
- Progetto Definitivo (PD), redatto dal progettista attraverso una descrizione degli interventi con un grado di dettaglio finalizzato ad acquisire qualsiasi concerto, nulla osta, autorizzazione etc. da parte delle PP.AA. coinvolte nel procedimento di approvazione. Ai fini della tutela della sicurezza dei lavoratori, viene aggiornato il documento contenente le prime indicazioni in merito, sulla base dei dettagli dell'intervento (ex art. 24 D.P.R. 207/2010);
- Progetto Esecutivo (PE), redatto dal progettista in maniera tale che ogni elemento dell'intervento sia definito in termini di dimensioni, forma, posizione, prezzo etc. Ai fini della tutela della sicurezza dei lavoratori, in fase di progettazione esecutiva viene redatto il Piano di Sicurezza e Coordinamento con i contenuti di cui all'Allegato XV D.Lgs. 81/2005.

Premesso quanto sopra, è evidente che il modello proposto debba essere applicato almeno a un progetto definitivo di risanamento di una discarica, che sarà oggetto di approvazione della Conferenza dei Servizi indetta ex art. 242 D.Lgs. 152/2006.

³⁹ Lo studio riguarda la pianificazione della sicurezza nei cantieri di bonifica ed è frutto di una collaborazione scientifica Sapienza – INAIL, da inquadrarsi nelle attività del progetto di dottorato. La pubblicazione si ritiene propedeutica allo sviluppo del modello presentato in questo capitolo.

⁴⁰ Per dettagli sui contenuti del documento si veda Appendice C

6.4.2 Aree e criteri di valutazione del modello

Per la definizione delle aree di valutazione, è stata considerata innanzitutto la letteratura sull'applicazione del diagramma Ishikawa alle potenziali cause di infortunio nei luoghi di lavoro (cfr. cap. 3), dal momento che consente di avere un approccio globale e flessibile al tema "sicurezza sul lavoro". Pertanto, è stata considerata in primis l'opportunità di ricondurre i criteri del modello alle seguenti Aree: Manodopera; Management; Materiali; Metodi; Macchine; Ambiente (Górny, 2017).

Tuttavia, lo studio della documentazione disponibile presso INAIL ha mostrato che in fase di progettazione (sia definitiva sia esecutiva) risulta di difficile attuazione la valutazione di criteri connessi all'Area "Manodopera", considerato che informazioni di questa tipologia sono rese disponibili dalle imprese esecutrici soltanto all'avvio dei lavori. Inoltre, sembrerebbe più che mai discriminante e contrario al principio delle pari opportunità per l'accesso al lavoro la valutazione di criteri riguardanti le peculiarità dei lavoratori (es. nazionalità, età, livello di esperienza nella mansione etc.), ancorché in letteratura i ricercatori abbiano riconosciuto l'influenza di tali fattori sul livello di sicurezza del cantiere (Gao et al., 2017) e sulla necessità di gestire adeguatamente il cosiddetto "Fattore Umano"⁴¹.

Quindi, per i motivi sopra elencati, nel modello sono state considerate soltanto le seguenti Aree di valutazione: Management; Materiali; Metodi; Macchine; Ambiente.

Per quanto riguarda l'individuazione dei criteri di valutazione del livello di sicurezza del cantiere, a partire dalla documentazione progettuale e dalle informazioni disponibili nella letteratura di settore, sono stati stabiliti dei criteri che:

- a) consentissero di elaborare un modello di portata generale, applicabile a diverse tipologie di progetto (es. MISP, MISE, landfill mining);
- b) potessero essere applicabili o meno in relazione alle caratteristiche sito specifiche dei luoghi oggetto di risanamento;
- c) in analogia a quanto previsto nei rating systems per la sostenibilità delle costruzioni, potessero rappresentare in parte delle "minacce" (e quindi dei criteri in cui è preferibile conseguire un punteggio più basso) e in parte delle "opportunità" (ossia dei criteri in cui è bene conseguire un punteggio alto) per la sicurezza dei lavoratori (UNI – PdR 13:2019).

Pertanto, in relazione all'area Management, sono stati definiti i seguenti criteri:

1. Definizione degli obiettivi e delle attività di lavoro;
2. Pianificazione e verifica della sorveglianza sanitaria;

⁴¹ Cnfr. anche Cap. 4 sul tema

3. Valutazione di sanzioni nella scelta delle imprese esecutrici.

Per l'area Materiali, sono stati considerati i seguenti criteri:

4. Presenza di rifiuti scoperti o oggetti taglienti;
5. Presenza di materiali pulverulenti;
6. Stato chimico-biologico dei rifiuti nel corpo discarica.

Con riferimento all'area Metodi, sono stati individuati i seguenti criteri:

7. Digitalizzazione;
8. Definizione del Modello Concettuale del Sito;
9. Cronoprogramma delle attività;
10. Valutazione dei costi per la sicurezza;
11. Definizione delle misure di prevenzione e protezione collettiva e dei DPI per mansione;
12. Formazione dei lavoratori;
13. Pianificazione delle emergenze;
14. Procedure specifiche per la gestione dei rifiuti MCA o radioattivi.

In relazione all'area Macchine, sono stati definiti i seguenti criteri:

15. Valutazione delle attività di manutenzione;
16. Innovazione tecnologica.

Infine, con riferimento all'area Ambiente, sono stati considerati i seguenti criteri:

17. Contaminazione del suolo e delle acque sotterranee;
18. Presenza di sottoservizi o linee aeree;
19. Presenza di aree soggette a rischio sismico;
20. Presenza di aree soggette a rischio idrogeologico.

In tabella 6.2 si riporta una sintesi delle aree e dei criteri di valutazione del modello. In tale tabella è stata esplicitata la categoria a cui ogni criterio può essere ricondotto:

- A. Criterio “*lower is better*” (di seguito, LB), per il quale al diminuire del livello di valutazione si conseguono livelli di sicurezza sul lavoro maggiori. Il punteggio dei criteri LB deve essere sottratto nelle sommatorie previste nella definizione del punteggio complessivo;
- B. Criterio “*higher is better*” (di seguito, HB), per il quale all'aumentare del livello di valutazione si incrementa il grado di sicurezza globale del sistema (nello specifico, il cantiere). Il punteggio dei criteri HB deve essere addizionato nelle sommatorie previste nella definizione del punteggio complessivo.

Spetta all'utilizzatore del modello (es. progettista, funzionario pubblico etc.) valutare l'applicabilità di ciascun criterio al caso specifico. Nel caso in cui un criterio non fosse applicabile, è prevista l'attribuzione di un punteggio nullo al criterio stesso.

Tabella 6.2. Aree e criteri di valutazione del modello

Area di valutazione	Criterio	Categoria del criterio
A. Management	1. Definizione degli obiettivi e delle attività di lavoro	HB
	2. Pianificazione della sorveglianza sanitaria	HB
	3. Valutazione delle sanzioni nella scelta delle imprese	LB
B. Materiali	4. Rifiuti scoperti o oggetti taglienti	LB
	5. Materiali pulverulenti	LB
	6. Stato chimico-biologico dei rifiuti nel corpo discarica	HB
C. Metodi	7. Digitalizzazione	HB
	8. Definizione del Modello Concettuale di Sito	HB
	9. Cronoprogramma delle attività	HB
	10. Valutazione dei costi per la sicurezza	HB
	11. Definizione delle misure di prevenzione e protezione e dei DPI per le diverse attività lavorative	HB
	12. Formazione dei lavoratori	HB
	13. Pianificazione delle emergenze	HB
D. Macchine	14. Procedure specifiche per la gestione dei rifiuti MCA e/o radioattivi	HB
	15. Valutazione delle attività di manutenzione	HB
E. Ambiente	16. Innovazione tecnologica	HB
	17. Contaminazione del suolo e delle acque sotterranee	LB
	18. Presenza di sottoservizi o linee aeree	LB
	19. Presenza di aree soggette a rischio sismico	LB
	20. Presenza di aree soggette a rischio idrogeologico	LB

6.4.3 Valutazione dei criteri e attribuzione dei punteggi

Così come previsto dal Protocollo Nazionale ITACA per la sostenibilità delle costruzioni, in tale modello sono stati definiti degli scenari di tipo qualitativo da considerare come riferimento per l'attribuzione di un coefficiente numerico (cd. punteggio). Per la maggior parte dei criteri sono stati individuati n.3 scenari, definiti anche in base alla

documentazione progettuale visionata presso INAIL. In alcuni casi, invece, sono stati definiti n.2 scenari di riferimento per l'attribuzione del punteggio.

In tabella 6.3 si riportano gli scenari definiti per la valutazione dei criteri e i corrispondenti punteggi (per semplicità di calcolo, sono stati considerati i valori 0,1 e 2).

Tabella 6.3. Scenari di riferimento per i criteri e attribuzione dei punteggi

Area di valutazione	Criterio	Categoria del criterio	Scenari di riferimento	Punteggi
A. Management	1. Definizione degli obiettivi e delle attività di lavoro	HB	Assente	0
			Sufficiente	1
			Ottima	2
	2. Pianificazione della sorveglianza sanitaria	HB	Assente	0
			Una volta all'anno, da parte di ogni impresa	1
	3. Valutazione delle sanzioni nella scelta delle imprese	LB	Con frequenza valutata in relazione alle attività e all'ambiente di lavoro	2
Nella documentazione progettuale si richiede l'affidamento dei lavori a imprese dotate di sistemi di gestione per la tutela della salute e sicurezza sul lavoro			0	
B. Materiali	4. Rifiuti scoperti o oggetti taglienti	LB	Non si prevede alcuna clausola in merito in fase progettuale	1
			Assenti o localizzati in un'area precisa	0
			In quantità limitata, facilmente gestibili	1
	5. Materiali pulverulenti	LB	Tanti, eterogenei	2
			Assenti	0
			In esigua quantità o localizzati in un'area precisa	1
	6. Stato chimico-biologico dei rifiuti nel corpo discarica	HB	Tanti, eterogenei	2
			Degradazione bio-chimica avanzata dei rifiuti	0
			Degradazione incompleta	1
C. Metodi	7. Digitalizzazione	HB	Stato di rifiuto "fresco"	2
			La documentazione progettuale non è stata elaborata con l'uso di software BIM o GIS. È comunque completa	0
	8. Definizione del Modello Concettuale di Sito (MCS)	HB	La documentazione progettuale è stata elaborata con l'uso di software BIM o GIS	1
			Assente nel progetto di bonifica o di MIS	0
			Sono presenti nel progetto in via generale indicazioni sulle indagini eseguite e sull'inquadramento territoriale	1
			Il MCS è definito nel progetto in termini di sorgenti di contaminazione, percorsi e vie di esposizione ai contaminanti. Sono inoltre disponibili informazioni sull'inquadramento territoriale e	2

Area di valutazione	Criterio	Categoria del criterio	Scenari di riferimento	Punteggi
			ambientale e sulle indagini eseguite	
	9. Cronoprogramma delle attività	HB	La documentazione progettuale comprende alcune indicazioni generali sulle tempistiche di realizzazione degli interventi	0
			È disponibile un diagramma di Gantt che per macro aree o interventi fornisce indicazioni sulle tempistiche di realizzazione degli stessi, evidenziando le sovrapposizioni ad alto rischio	1
			È disponibile un diagramma di Gantt che evidenzia eventuali sovrapposizioni spazio temporali delle lavorazioni, discusse e gestite nel progetto	2
	10. Valutazione dei costi per la sicurezza	HB	Stima sommaria, frutto dell'esperienza del progettista	0
			Stima sommaria, suddivisa per macro-categorie di spesa	1
			Stima analitica per singole voce di spesa, riferita a prezziari standard	2
	11. Definizione delle misure di prevenzione e protezione e dei DPI per le diverse attività lavorative	HB	Nella documentazione progettuale sono presenti indicazioni incomplete in merito alle misure di prevenzione e protezione da adottare in cantiere	0
			Nella documentazione progettuale sono presenti indicazioni sommarie in merito alle misure di prevenzione e protezione, senza un riferimento alle attività lavorative	1
			Nella documentazione progettuale, a seguito di un'analisi dei rischi per attività o per mansione lavorativa, sono indicate le misure di prevenzione e protezione che saranno adottate in cantiere	2
	12. Formazione dei lavoratori	HB	Non sono fornite indicazioni in merito in fase progettuale	0
			Il progettista fornisce alcune indicazioni sulle necessità formative dei lavoratori che potrebbero essere correlate agli interventi definiti e all'ambiente di lavoro	1
			In fase progettuale sono definiti i contenuti minimi della formazione in relazione al contesto ambientale e agli interventi proposti, nonché eventuali necessità di addestramento	2
	13. Pianificazione delle emergenze	HB	Sono indicati sommariamente i rischi per gli interventi proposti	0
			Sono indicati alcuni scenari di rischio ricorrenti e a grandi linee le azioni di risposta da mettere in atto	1
			È definito un piano delle emergenze	2

Area di valutazione	Criterio	Categoria del criterio	Scenari di riferimento	Punteggi
			sito-specifico con i contenuti minimi richiesti dalla normativa vigente	
	14. Gestione dei rifiuti MCA e/o radioattivi	HB	Non sono disponibili procedure specifiche, ma solo indicazioni a carattere generale	0
			Sono disponibili procedure specifiche utili a identificare e gestire i rischi per la SSL e le relative misure di mitigazione	1
D. Macchine	15. Valutazione delle attività di manutenzione	HB	Manutenzione eseguita sporadicamente	0
			Manutenzione eseguita 1 volta all'anno da soggetti riconosciuti a livello nazionale e registrata	1
			Manutenzione eseguita frequentemente (es. 2 volte all'anno) da soggetti accreditati ISO 45001	2
	16. Innovazione tecnologica	HB	Nella documentazione progettuale si prevede l'impiego di macchinari di comune utilizzo nei cantieri di bonifica	0
È privilegiato l'uso di macchinari dotati di sensoristica avanzata, che consentono un lavoro guidato, di prevenire eventuali incidenti e di geolocalizzare il lavoratore se svolge attività in solitudine			1	
E. Ambiente	17. Contaminazione del suolo e delle acque sotterranee	LB	Contaminazione puntuale/localizzata del suolo o delle acque sotterranee, che può essere facilmente isolata	0
			Contaminazione diffusa del suolo o delle acque sotterranee, ma facilmente gestibile	1
			Contaminazione persistente del suolo o delle acque sotterranee, con progettazione di interventi di risanamento complessi	2
	18. Presenza di sottoservizi o linee aeree	LB	Completamente assenti	0
			Presenza oltre i 500 metri dalla discarica	1
			Presenza nel raggio di 200-300 metri dalla discarica	2
	19. Presenza di aree soggette a rischio sismico	LB	Il sito presenta un rischio sismico medio - basso ed eventuali criticità per la SSL sono state adeguatamente valutate in fase progettuale nell'analisi dei rischi	0
			Il sito presenta un rischio sismico medio - basso ma eventuali criticità per la SSL non sono state valutate in fase progettuale	1
			Nel sito il rischio sismico è medio-alto e in fase progettuale non sono state previste adeguate misure per mitigare i rischi per SSL derivanti da	2

Area di valutazione	Criterio	Categoria del criterio	Scenari di riferimento	Punteggi
			eventi sismici	
	20. Presenza di aree soggette a rischio idrogeologico	LB	Il sito presenta un rischio idrogeologico medio - basso ed eventuali criticità sono state adeguatamente valutate in fase progettuale	0
			Il sito presenta un rischio idrogeologico medio - basso ma eventuali criticità non sono state valutate in fase progettuale	1
			Nel sito il rischio idrogeologico è medio-alto e in fase progettuale non sono state previste adeguate misure per mitigare i rischi per SSL derivanti da eventi idrogeologici	2

6.4.4 Punteggio complessivo di sicurezza

A differenza dei protocolli di sostenibilità delle costruzioni, in cui il punteggio complessivo è rappresentato da un unico valore ottenuto “pesando” i vari criteri e le categorie con ulteriori coefficienti, in questo modello è stato proposto un punteggio complessivo di sicurezza vettoriale, avente la seguente espressione:

$$\vec{P}_C = [\sum (P_i)_A; \sum (P_i)_B; \sum (P_i)_C; \sum (P_i)_D; \sum (P_i)_E]$$

Dove:

- $\sum (P_i)_A$ è la somma di tutti i punteggi acquisiti nella valutazione dei criteri afferenti alla categoria Management (A);
- $\sum (P_i)_B$ è la somma di tutti i punteggi acquisiti nella valutazione dei criteri afferenti alla categoria Materiali (B);
- $\sum (P_i)_C$ è la somma di tutti i punteggi acquisiti nella valutazione dei criteri afferenti alla categoria Metodi (C). Considerato il numero di scenari definiti e che tale categoria è costituita solo da criteri HB, il punteggio complessivo risulta variabile tra 0 e 14;
- $\sum (P_i)_D$ è la somma di tutti i punteggi acquisiti nella valutazione dei criteri afferenti alla categoria Macchine (D). Considerati gli scenari di riferimento e che tale categoria è costituita solo da criteri HB, il punteggio complessivo è variabile tra 0 e 5;
- $\sum (P_i)_E$ è la somma di tutti i punteggi acquisiti nella valutazione dei criteri afferenti alla categoria Ambiente (E). Considerato che la categoria E prevede solo criteri LB, il cui punteggio deve essere sottratto, la condizione ottimale per tale categoria è rappresentata dal coefficiente nullo.

6.5 Discussione del modello proposto

Come mostrato nelle applicazioni del diagramma Ishikawa riportate nel cap. 3 e, più in generale, dalla letteratura finalizzata all'analisi del *safety climate* (Luo, 2020), la sicurezza sul lavoro costituisce una variabile complessa al pari della sostenibilità ambientale, dal momento che dipende da tanti fattori (es. attività di lavoro, macchine, organizzazione delle attività, personale etc.). Nei cantieri di risanamento di discariche tale concetto risulta particolarmente evidente, sia per le attività di lavoro ivi svolte (a volte relative a interventi di messa in sicurezza permanente, altre volte di bonifica) sia per le peculiarità del contesto ambientale (caratterizzato dalla presenza incontrollata di contaminanti). Inoltre, il dettaglio della documentazione progettuale oggi consegnata alle PP.AA. coinvolte nei procedimenti di bonifica ex art.242 D.Lgs. 152/2006 non prevede l'opportunità di sviluppare metodologie di analisi riconducibili all'approccio *Job Hazard Assessment*, essendo contenute informazioni a un livello di processo.

Pertanto, il modello proposto risponde coerentemente alle esigenze di flessibilità sopra descritte, attraverso la definizione e il confronto della documentazione progettuale con scenari di riferimento qualitativi, che mirano a includere una elevata molteplicità di casi.

Inoltre, il modello si pone come strumento facilmente utilizzabile dalle Autorità di Controllo sanitarie (es. INAIL, Asl etc.) per formulare un giudizio complessivo sulla tutela della salute e sicurezza sul lavoro nella documentazione oggetto di approvazione della Conferenza dei Servizi ex art. 242 D.Lgs. 152/2006. Difatti, il calcolo di un indicatore vettoriale soddisfa in maniera immediata l'obiettivo di permettere l'individuazione dei margini di miglioramento della progettazione.

Tuttavia, la discussione non può prescindere dal mettere in luce anche i potenziali limiti del modello, che risiedono principalmente nei seguenti elementi:

- a) Numero di criteri individuati. In questo modello sono stati individuati solo 20 criteri di valutazione; tuttavia, è noto che i rating systems sono caratterizzati da un numero alto di criteri (es. 50-60) per coprire la valutazione di variabili complesse anche su aspetti peculiari. L'esigenza di proporre uno strumento di valutazione snello e di semplice utilizzo ha portato a ridurre il numero di criteri;
- b) Impostazione qualitativa dell'analisi, dettata dalla necessità di privilegiare l'esigenza di flessibilità del modello stesso per usi in ambito prevalentemente nazionale;
- c) Necessità di validare i criteri proposti con specifiche indagini su un campione di progettisti operanti nel settore delle bonifiche e con ulteriori casi studio. Il modello è stato sviluppato grazie al supporto della documentazione disponibile presso INAIL e di alcuni ricercatori impegnati nelle attività di consulenza tecnico scientifica al MITE sulla gestione dei siti contaminati. Come indicato nella letteratura di settore, l'affidabilità del modello potrebbe essere valutata in maniera quantitativa attraverso

l'uso di questionari somministrati a esperti esterni all'INAIL e all'Università⁴², organizzati in maniera tale da poter elaborare le risposte con software di analisi statistica (Yang et al., 2022).

6.6 L'uso degli Smart DPI per la sicurezza dei cantieri di discarica

Con riferimento ai criteri n.11 e 16, rispettivamente correlati alle misure di prevenzione e protezione e all'innovazione tecnologica, si ritiene opportuno in questa sede fare un cenno anche ai cosiddetti "Smart DPI", che da qualche anno stanno rivoluzionando la gestione dei rischi in diversi settori dell'economia (A Ledda et al., 2019; Thierbach, 2020) e che potrebbero determinare un aumento del punteggio di sicurezza globale del cantiere.

Gli smart DPI possono essere definiti come Dispositivi di Protezione Individuale intelligenti, che integrano materiali (es. tessuti tecnologici) e componenti tipiche dell'*Information and Communication Technology* per migliorare la multifunzionalità del dispositivo. A titolo illustrativo, può essere considerato uno smart DPI un caschetto dotato di microfono e cuffie che consentano la comunicazione tra i lavoratori attraverso la tecnologia Bluetooth, senza prevedere l'uso dei cellulari durante l'attività lavorativa. Tuttavia, così come sottolineato da (Thierbach, 2020), non esiste ancora una definizione condivisa a livello europeo o un regolamento che ne disciplini in maniera sistematica l'uso nei diversi settori economici. Infatti, l'attuale Regolamento vigente sui Dispositivi di Protezione Individuale (Reg. 2016/425/UE) si rivela inadatto a disciplinare la fabbricazione, il commercio e l'utilizzo di tali tecnologie.

Al momento l'unica definizione nota e proposta dal Comitato Europeo di Normazione (CEN) nel 2019 è la seguente: "*gli smart DPI sono dispositivi di protezione individuale che mostrano una risposta intenzionale e sfruttabile sia ai cambiamenti del contesto/ambiente di lavoro sia a segnali esterni*".

Gli smart DPI possono prevedere l'uso o meno di dispositivi elettronici e la raccolta di dati personali (es. temperatura corporea, localizzazione geografica etc.) e/o correlati al contesto ambientale (es. temperatura ambientale, umidità, condizioni meteo etc.) in cui si svolge l'attività lavorativa.

Una proposta di classificazione degli smart DPI sulla base dell'integrazione di componenti elettronici e della capacità di raccolta dati è fornita in figura 6.2.

⁴² Tale attività non è stata inclusa nel presente elaborato di tesi per l'esigenza di indagare più tematiche nell'arco temporale del progetto di dottorato. Pertanto, sarà oggetto di approfondimento successivo.

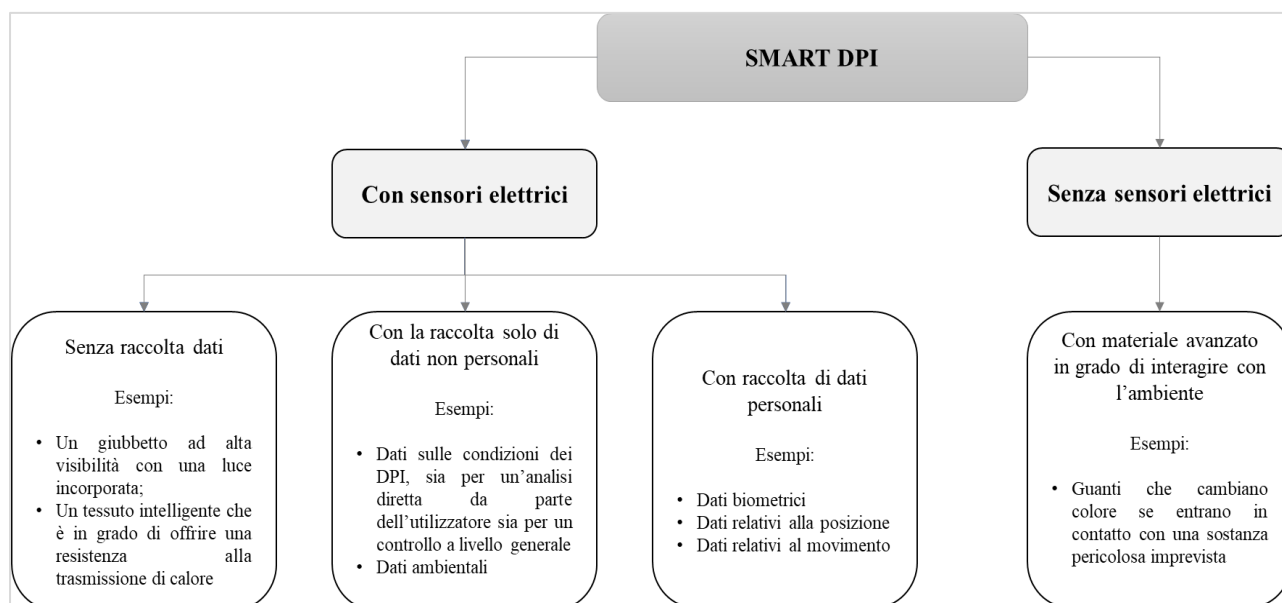


Figura 6.2 Proposta di classificazione degli smart DPI (adattata da (Thierbach, 2020))

In letteratura le applicazioni degli smart DPI sono state discusse prevalentemente in attività di tipo industriale e, recentemente, nei cantieri edili e civili. A titolo illustrativo si riporta in tabella 6.4 una lista di pubblicazioni sull'argomento.

Tabella 6.4 Alcune pubblicazioni sull'utilizzo degli smart DPI (ordinate per anno di pubblicazione)

Autori	Anno	Settore di ricerca
(Chim, B.L.H. et al., 2020)	2020	Cantieri
(Nikulin et al., 2019)	2019	Industria estrattiva (carbone)
(Bemporad et al., 2019)	2019	Siti contaminati
(Shravya et al., 2019)	2019	Guida di motoveicoli
(A Ledda et al., 2019)	2019	Gestione dei rifiuti solidi
(Nikulin & Romanov, 2017)	2017	Industria
(Soukup et al., 2014)	2014	Lotta agli incendi (VVF)

Sebbene in Italia non siano ancora disponibili evidenze sperimentali dell'uso degli smart DPI nei siti contaminati, dal 2019 l'INAIL ha mostrato un interesse verso le potenzialità offerte da tali dispositivi per la gestione dei rischi per la SSL (Bemporad et al., 2019), portando avanti anche la realizzazione di un prototipo in corso di brevettazione.

Nei cantieri di risanamento di discariche gli smart DPI potrebbero consentire un innalzamento del livello complessivo di sicurezza attraverso (Ledda et al., 2019):

- Il monitoraggio in *real-time* dello stato di salute del lavoratore, attraverso sensori opportunamente indossati dal lavoratore stesso. Il monitoraggio delle condizioni di salute del lavoratore risulta particolarmente utile nel caso di attività svolte in aree isolate o in spazi confinati;

- Il monitoraggio in *real-time* delle condizioni dell'ambiente di lavoro, attraverso la valutazione della percentuale di ossigeno nell'area, della presenza di composti tossici volatili, di atmosfere esplosive etc., per avvisare il lavoratore di imminenti situazioni di pericolo;
- La comunicazione tra i diversi DPI indossati dal lavoratore ed eventuali dispositivi di protezione collettiva intelligenti, attraverso il Bluetooth, il Wifi o tecnologie R-Fid;
- La comunicazione tra i lavoratori attraverso i DPI indossati, per prevenire infortuni o per prestare soccorso in caso di emergenza al collega;
- Il controllo del corretto uso dei DPI. La sensoristica installata sugli smart DPI consente di verificare se il dispositivo è indossato correttamente dal lavoratore, attraverso l'invio di segnali acustici in caso di problemi. Per esempio, sono stati progettati guanti che attraverso sensori basati sulla rilevazione del movimento sono in grado di avvisare il lavoratore del mancato utilizzo;
- Il controllo della posizione del lavoratore in tempo reale, particolarmente utile in caso di emergenza;
- La reazione attiva ad eventuali pericoli (es. esistono dei vestiti di protezione che sono in grado di riscaldare il corpo umano in caso di abbassamento repentino della temperatura esterna);
- La possibilità di fornire informazioni sul corretto svolgimento delle attività di lavoro e sul contesto (tale funzionalità riguarda soprattutto i DPI che sfruttano le tecnologie di realtà virtuale).

Tuttavia, nel processo di analisi di rischio si deve tener conto anche dell'inevitabile influenza di questi dispositivi su altri criteri, quali quelli riguardanti:

- La formazione dei lavoratori, che dovrà affrontare le tematiche riguardanti la tutela della privacy, l'uso delle nano-tecnologie nei DPI e la gestione di eventuali guasti nella sensoristica;
- La pianificazione delle emergenze, dal momento che la sensoristica installata negli smart DPI può contribuire alla rapida risoluzione di situazioni emergenziali attraverso l'analisi dei dati raccolti sul lavoratore e sull'ambiente di lavoro;
- La valutazione dei costi per la sicurezza, tenuto conto che al momento gli smart DPI sono disponibili per applicazioni sperimentali e dunque costituiscono prodotti per i quali può essere alta la spesa iniziale;
- Le procedure specifiche per la rimozione di MCA e materiali radioattivi;
- La valutazione delle attività di manutenzione, considerata la possibilità di guasti della sensoristica installata negli smart DPI.

Capitolo 7

Gli impatti sulla sicurezza stradale delle attività di risanamento di una discarica

Con il target 3.6 dell'Agenda ONU 2030 la sicurezza stradale è diventata uno degli obiettivi fondamentali per il raggiungimento dello sviluppo sostenibile, tenuto conto che gli incidenti stradali costituiscono l'ottava causa di mortalità a livello globale (World Health Organization (WHO), 2018). Infatti, così come specificato anche nel Piano Nazionale della Prevenzione 2020-2025 del Ministero della Salute, l'incidentalità stradale rappresenta un serio problema di salute pubblica, che può richiedere l'impiego di ingenti risorse (umane, strumentali ed economiche).

A livello europeo, i dati sull'incidentalità mostrano progressi per la sicurezza stradale, dal momento che negli ultimi vent'anni sono complessivamente diminuiti gli eventi mortali su strada. Tuttavia, l'Europa resta ancora lontana dal suo obiettivo di dimezzare gli incidenti mortali entro il 2020 e di "Vision Zero" per il 2050: a titolo illustrativo, 22700 persone muoiono ogni anno, mentre circa 120000 individui rimangono feriti gravemente per incidenti accaduti sulle strade europee (Parlamento Europeo, 2021).

Inoltre, l'incidentalità stradale non è un fenomeno associato all'uso dei veicoli solo per motivi di svago. Sempre più frequentemente sono coinvolti in incidenti stradali autotrasportatori alla guida di mezzi pesanti e coloro che operano nel trasporto privato di passeggeri (es. taxi, noleggio con conducente etc.) e consegne a domicilio per fini lavorativi (Abrari Vajari et al., 2022; Evgenikos et al., 2016; Kuşkan et al., 2021; Wang et al., 2021).

Con l'obiettivo di fornire un contributo al raggiungimento dei Target 3.6 dell'Agenda ONU 2030, in questo capitolo viene presentato il percorso metodologico sviluppato per l'analisi e la gestione degli impatti di un cantiere di risanamento di discarica sulla sicurezza stradale del contesto. Pertanto, il presente capitolo risulta organizzato come segue: nel successivo paragrafo viene fornita un'analisi del background scientifico disponibile sul tema della sicurezza stradale; nel par.7.2 è descritto il caso di studio preso come riferimento per analizzare i potenziali impatti del cantiere; nel par.7.3 sono forniti i dettagli relativi all'approccio di ricerca; infine, nel par. 7.4 sono messi in luce i risultati del lavoro di ricerca e nel par. 7.5 i potenziali limiti dell'analisi condotta.

7.1. Analisi di background

7.1.1. La valutazione di impatto sulla sicurezza stradale

In Europa il primo passo verso una concreta gestione della sicurezza stradale è stato fatto con la pubblicazione del Libro bianco del 12 settembre 2001 “La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte”, nel quale la Commissione ha segnalato la necessità di effettuare valutazioni di impatto sulla sicurezza e controlli in materia di sicurezza stradale al fine di gestire i tratti ad elevata concentrazione di incidenti sul territorio comunitario.

Successivamente, con la Direttiva 2004/54/CE l’Unione Europea ha disciplinato i requisiti minimi di sicurezza delle gallerie della Rete stradale transeuropea, a seguito dei gravi incidenti avvenuti tra il 1999 e il 2002 in quei Paesi caratterizzati dalla maggiore presenza di gallerie (Austria, Francia, Germania, Italia e Svizzera). La Direttiva 2004/54/CE ha per la prima volta stabilito che l’analisi di rischio costituisce lo strumento essenziale per le valutazioni della sicurezza stradale nelle gallerie, a supporto delle attività decisionali in capo alle figure responsabili della gestione di tali infrastrutture.

Tuttavia, è con la Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali che in Europa si prevede l’istituzione e l’attuazione di procedure relative alla valutazione d’impatto sulla sicurezza stradale sulla rete stradale transeuropea, in fase di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico, lasciando l’opportunità agli Stati membri di applicare o meno tali procedure anche ad altre infrastrutture stradali nazionali.

In particolare, con tale direttiva vengono individuate quattro aree principali di attività:

- la valutazione di impatto sulla sicurezza stradale per un’infrastruttura (VISS - Allegato I);
- Il controllo della sicurezza stradale per un’infrastruttura nelle fasi di progettazione preliminare, progettazione particolareggiata e ultimazione (*Road Safety Audit* - Allegato II);
- Le ispezioni di sicurezza (*Road Safety Inspections*);
- la classificazione della sicurezza della rete e l’individuazione dei tratti stradali ad elevata concentrazione di incidenti (Allegato III).

La direttiva individua le fasi di una VISS e gli elementi da tenere in considerazione (Fig. 7.1 e 7.2), ma di fatto non fornisce una metodologia di analisi dell’incidentalità stradale e/o per la scelta dei siti da candidare a interventi di sicurezza.

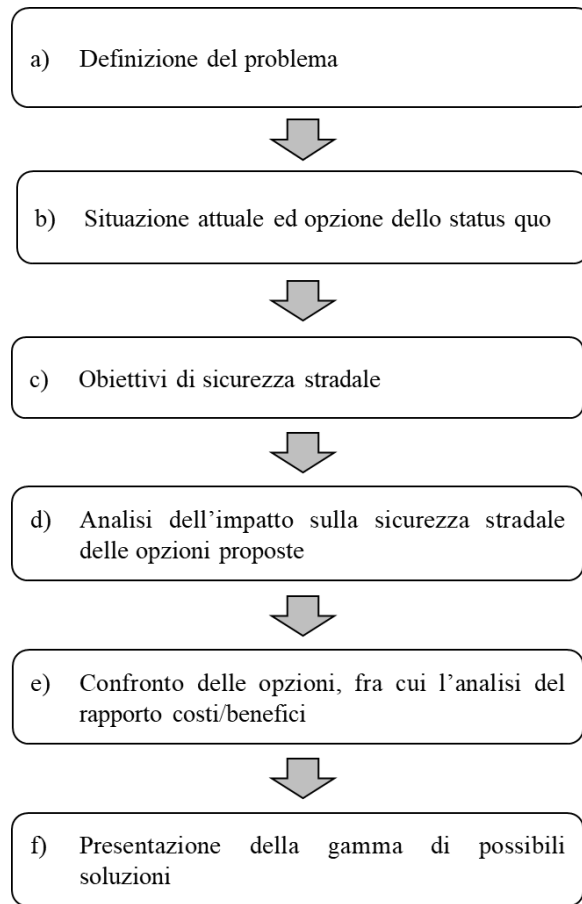


Figura 7.1 Componenti di una VISS (Allegato I, Direttiva 2008/96/UE)

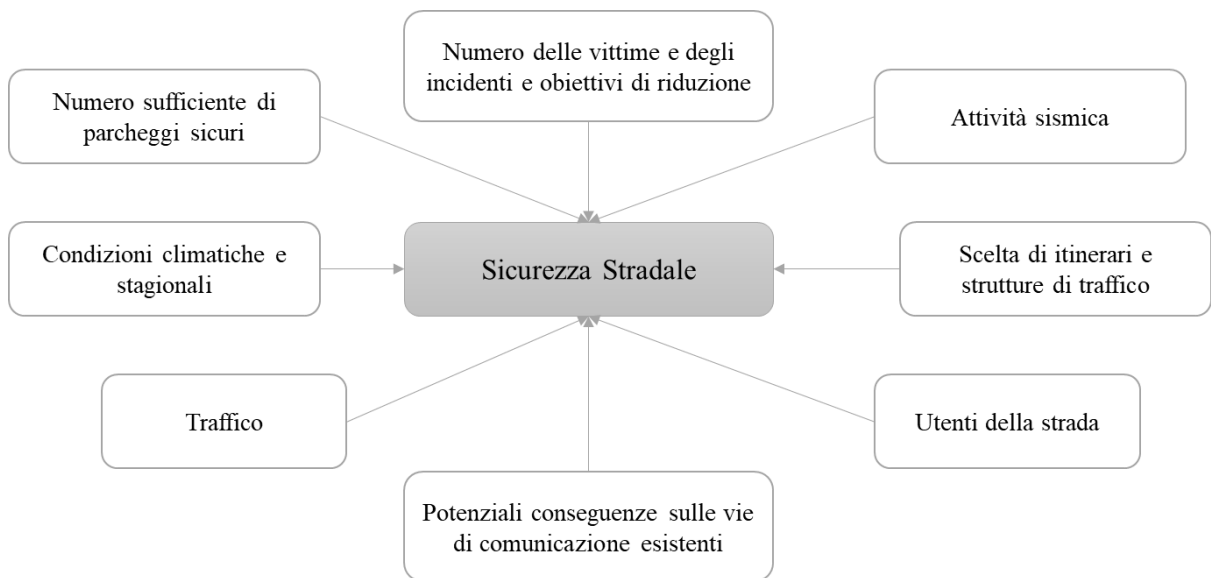


Figura 7.2. Elementi da considerare per una VISS (Allegato I, Direttiva 2008/96/UE)

Per questo motivo, negli ultimi anni la ricerca scientifica si è concentrata sullo sviluppo di modelli di previsione dell'incidentalità a supporto della VISS.

7.1.2. *Impatti di un cantiere sulla viabilità stradale*

Nonostante gli sforzi internazionali per promuovere la sicurezza sul lavoro, il settore dei cantieri continua a qualificarsi come uno dei comparti ad alto rischio: basti pensare che nel 2019 in Europa un quinto di tutti gli infortuni mortali è avvenuto proprio nei cantieri (Eurostat, 2019). Tuttavia, sebbene nell'Allegato XV al D.Lgs. 81/2008 (contenuti minimi del Piano di Sicurezza e Coordinamento) sia richiesta l'analisi degli eventuali rischi che le lavorazioni di cantiere possono comportare per l'area circostante, sia nella direttiva 2008/96/UE sia nel D.Lgs. 35/2011 nessuna considerazione è stata sviluppata dal legislatore sulla necessità di dotarsi di specifici strumenti di gestione degli impatti di un cantiere sulla viabilità stradale.

Nella bibliografia di settore, i primi contributi scientifici tesi a dimostrare la potenziale correlazione cantiere-rischi per la sicurezza stradale riguardano i cantieri stradali. Secondo (Gannapathy et al., 2008), con le *work zones* (aree di lavoro) si creerebbero almeno tre zone di criticità per la viabilità stradale, di lunghezza variabile in relazione al layout della strada (Fig.7.1). Tali zone potrebbero aumentare in presenza di intersezioni con altre strade e definire rischi per gli utenti della strada e per i lavoratori del cantiere per repentine riduzioni della velocità, associate alle riduzioni della carreggiata disponibile per la circolazione.

La dimostrazione che un cantiere stradale possa contribuire al peggioramento delle condizioni di sicurezza del traffico è stata fornita tramite un approccio *data driven* da (Mangones M et al., 2021). Con riferimento ai dati incidentali collezionati nel SIGAT, accaduti tra il 2015 e il 2019 sulle principali arterie stradali di Bogotá, i ricercatori hanno esplorato le potenziali correlazioni tra il cantiere stradale e gli incidenti, dimostrando così la necessità in alcuni casi di migliorare il piano di gestione del traffico.

Alcuni ricercatori russi, invece, hanno identificato nell'incremento del numero di autotreni in circolazione uno dei principali impatti del cantiere sulla sicurezza stradale, specialmente nelle ore di maggior traffico (cd. ore di punta). (Dobromirov et al., 2020) hanno proposto così un modello per l'ottimizzazione del numero di mezzi in circolazione, tenuto conto che mezzi molto grandi da un lato permettono di trasportare più materiale nell'unità di tempo, ma dall'altro lato costituiscono una delle principali cause di incidente in area urbana.

Infine, appare utile menzionare in questa sede lo studio di (Fargnoli & Lombardi, 2019), condotto su due piccole imprese impegnate nella distribuzione di cemento e materiali da costruzione nei cantieri. Con riferimento all'attività di transito stradale per il trasporto di materiale/attrezzature in cantiere, sono state individuate come più frequenti le seguenti

condizioni “error-promoting”: mancata percezione del rischio (n.12); controllo inadeguato (n.17) e irreversibilità dell’errore (n.7).

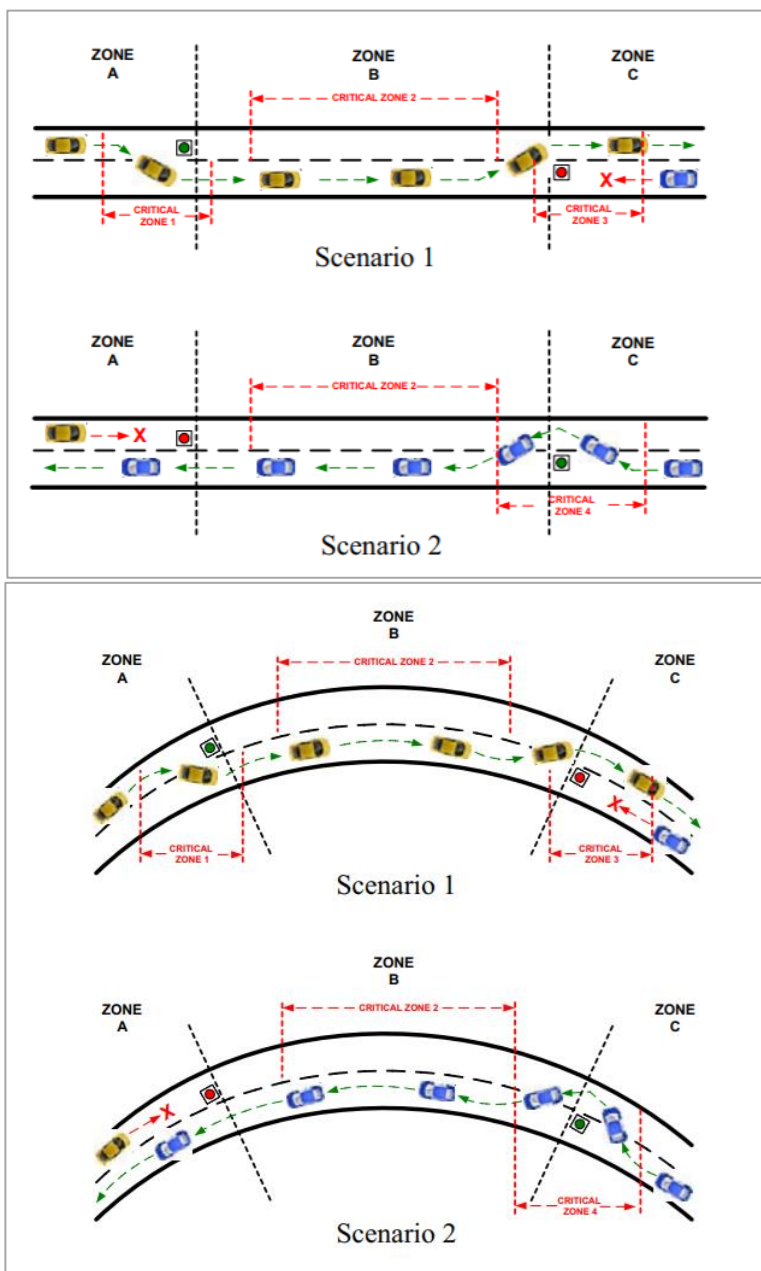


Figura 7.3 zone di criticità indotte sulla circolazione stradale da un cantiere nei due casi a) layout rettilineo della strada; b) layout curvo della strada. (Gannapathy et al., 2008)

7.1.3. Modelli per l’incidentalità stradale

In letteratura, tenuto conto che l’incidente stradale può essere assimilato a un evento casuale, diversi modelli di analisi statistico matematica sono stati sviluppati per analizzarne le cause e individuare le più adeguate misure di prevenzione (Comi et al., 2019; Gupta et al., 2017).

Le prime tecniche sviluppate per analizzare l'incidentalità stradale sono state finalizzate alla definizione delle *Safety Performance Functions* (funzioni di prestazione per la sicurezza – SPF), in grado di esprimere il livello di sicurezza che può essere associato al singolo elemento dell'infrastruttura stradale (incrocio, tronco, etc.). Le SPF sono state sviluppate in relazione a differenti tipologie di infrastruttura stradale (es. autostrada, strada extraurbana con carreggiate a doppia corsia etc.) e a seconda del contesto. Lo Highway Safety Manual redatto dalla *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2010) costituisce un'importante *repository* di SFP per diversi contesti negli Stati Uniti.

In via generale, le SFP sono state classificate come (Basile, 2012):

- di tipo deterministico, se basate sull'attribuzione di indici di incidentalità alle caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura;
- di tipo probabilistico, se in grado di considerare diversi dati di input, come l'ubicazione geografica dell'infrastruttura e le sue caratteristiche (incrocio, curva, rettilineo), le misure di controllo del traffico (semafori, strisce pedonali, autovelox etc.) etc.. Tra i modelli probabilistici, il modello NB (binomiale negativo) rappresenta uno dei più metodi più diffusi per prevedere l'incidentalità (Thakali et al., 2016).

Di recente, lo sviluppo delle tecniche di *data mining* per l'analisi di grandi quantità di dati e la loro sistematica raccolta ha sconvolto la modellistica dell'incidentalità stradale, introducendo un approccio globale alla risoluzione del problema, quindi non più focalizzato esclusivamente sull'infrastruttura. A partire dalla “clusterizzazione” degli eventi⁴³ collezionati in database disponibili a livello locale/nazionale, gli studi scientifici più recenti si sono focalizzati nell'individuazione di dinamiche incidentali di riferimento su differenti scale territoriali (Comi et al., 2022; Pireddu & Bruzzone, 2021).

7.1.4. Database a supporto delle valutazioni di incidentalità stradale

A livello internazionale, la principale fonte di dati a supporto delle valutazioni di incidentalità stradale è rappresentata dall'insieme di Autorità nazionali, che realizzano sul proprio territorio una raccolta sistematica dei dati provenienti dagli accertamenti effettuati dagli organi di polizia. Tuttavia, come riportato da (Chand et al., 2021; Gutierrez-Osorio & Pedraza, 2020), esistono anche altre fonti di informazione, come gli open data o i dati raccolti dai sensori installati a bordo dei veicoli o lungo le infrastrutture stradali, che consentono all'uopo di risalire a eventi incidentali e studiarne le relative cause.

⁴³ In maniera analoga a quanto già visto per gli infortuni sul lavoro (cfr. capitolo 4)

A priori, non si possono escludere da questa ricognizione anche i social media e i giornali, che grazie alla diffusione delle tecniche di analisi testuale e di *opinion mining* costituiscono oggi un supporto informativo importante per gli studi di percezione del rischio da parte degli utenti delle infrastrutture stradali. In tabella 7.1 sono quindi riportate le principali sorgenti di informazione per l'incidentalità stradale, secondo un criterio di maggiore attendibilità del dato.

Tabella 7.1 Schema dei database a supporto delle valutazioni di incidentalità stradale, adattato da (Gutierrez-Osorio & Pedraza, 2020)

Sorgente di dati	Descrizione	Alcuni riferimenti
Database ad accesso riservato	I dataset ad accesso riservato sono in genere realizzati dagli Enti pubblici competenti sulla gestione degli aspetti di mobilità e trasporti sull'intero territorio nazionale. Tali dataset costituiscono la fonte più completa e attendibile di dati. In genere, è possibile la loro consultazione previa formale richiesta di accesso e per scopi di ricerca scientifica.	(Persia et al., 2020; Pireddu & Bruzzone, 2021)
Dataset Open	I dataset open sono generalmente creati dalle Pubbliche Amministrazioni in virtù delle disposizioni europee di cui alla Direttiva 2019/1024 (direttiva Open Data). I dati sono rilasciati in accordo a una licenza d'uso stabilita in maniera unica a livello nazionale e in maniera tale da garantire il rispetto delle norme sulla tutela della privacy.	(Comi, et al. 2019; UK Department of Transport, 2022)
Tecnologia on-board	Tecnologia installata a bordo dei nuovi veicoli per la geo-localizzazione dello stesso veicolo e la comunicazione dei dati a una centrale di controllo in caso di emergenza.	(Colombaroni et al., 2020; Isaenko et al., 2017)
Tecnologia presente sull'infrastruttura stradale	Tecnologia installata lungo l'infrastruttura stradale (es. radar, telecamere etc.) per individuare tempestivamente possibili anomalie di traffico e le relative cause	(Yuan & Abdel-Aty, 2018)
Social Media e testate giornalistiche	Twitter, Facebook etc. possono contenere post da parte degli utenti con informazioni utili a caratterizzare un incidente stradale (in genere, le informazioni ivi contenute sono fortemente influenzate dai sentimenti provati dall'autore). Dagli articoli di cronaca, invece, è possibile dedurre alcuni elementi dell'evento. In entrambi i casi, l'elaborazione di tali testi con tecniche di <i>text analysis & opinion mining</i> può consentire di valutare la percezione del rischio da parte degli utenti.	(Dai, 2019; Zheng et al., 2018)

A livello europeo, con la Decisione del Consiglio del 30 novembre 1993, n.704 (aggiornata dalle disposizioni del Reg. EU 1882/2003) è stato istituito l'obbligo per gli Stati Membri di comunicare le statistiche sugli incidenti stradali “che abbiano provocato lesioni corporali”⁴⁴ nel proprio territorio, al fine di costituire il *Community Database on Road Accidents* (CARE). Tuttavia, con la suddetta decisione è stata lasciata l'opportunità ai singoli Stati di modificare lo standard di raccolta ed elaborazione dati in funzione di esigenze nazionali, purché l'unità statistica di rilevazione sia l'incidente comportante lesioni corporali.

A partire dal 2011 è stato raccomandato dalla Commissione Europea lo standard *Common Accident Data Set* (CADaS), costituito da 73 variabili e 471 valori per la trasmissione dei dati. Tuttavia, l'implementazione di CADaS nei database nazionali è tutt'ora su base volontaria da parte dei singoli Stati (CARE Team (EC), 2021).

In Italia, le informazioni statistiche sugli incidenti stradali sono principalmente prodotte dall'Istituto Nazionale di Statistica (Istat), con riferimento a tutti quegli eventi che accadono su strade e piazze aperte al traffico, in cui rimangono coinvolti almeno un veicolo e una persona e dal quale derivino delle lesioni o la morte entro i 30 giorni successivi (Convenzione di Vienna sulla Circolazione Stradale, 1968). I dati Istat sono collezionati in forma tabellare a partire dai dati trasmessi dalle Autorità Locali (es. Polizia, Carabinieri, ACI, Comune etc.) e in accordo allo standard del CARE, che prevede, in via generale, le seguenti categorie di informazione (Taiano et al., 2021):

- a) Dati incidente (es. numero di veicoli e persone, ID progressivo);
- b) Persone coinvolte (es. nome, cognome, sesso, età, patente di guida, condizione professionale (al lavoro/in itinere) etc.);
- c) Inquadramento spazio-temporale (es. provincia, località, coordinate geografiche, ora, anno, etc.);
- d) Conseguenze (es. frattura, morte, ospedale di ricovero etc.)
- e) Strada (es. ID strada, pavimentazione, tempo, segnaletica stradale, km etc.);
- f) Veicoli (es. tipologia di veicoli, cilindrata etc.).

Tuttavia, come evidenziato da (Taiano et al., 2021) per estrarre campioni di incidenti stradali qualificati come infortuni in itinere o infortuni di lavoratori alla guida di veicoli per motivi di lavoro, e quindi utili a lavori di analisi dei rischi per la sicurezza dei lavoratori, sarebbe necessario un complesso lavoro di record linkage a livello nazionale con il database INAIL (ad accesso riservato). Difatti, le informazioni sulla condizione lavorativa delle persone coinvolte nell'incidente non sono integrate nel modello di

⁴⁴ “per incidente che abbia provocato lesioni corporali si intende qualsiasi urto implicante almeno un veicolo in marcia, circolante su una strada pubblica regolarmente aperta alla circolazione, che abbia comportato il ferimento e/o la morte di uno o più utenti della strada.” [Decisione EU 704/1993]

organizzazione dei dati dell'Istat, perché tale database focalizza l'attenzione sull'unità statistica "incidente" e non sulle singole persone coinvolte.

Le informazioni relative ad altri eventi, che determinano danni a oggetti e/o sono esclusi dal campo di applicazione della Convenzione di Vienna, sono comunque disponibili presso le Autorità Locali (es. Polizia Locale, Comune, ACI etc.), anche sottoforma di open data. A titolo illustrativo, il Comune di Roma ha reso disponibili sul portale web in forma disaggregata i dati di incidentalità occorsi nel territorio di competenza, con esclusione del Grande Raccordo Anulare (Roma Capitale, 2022).

In via generale, l'organizzazione dei database locali è differente da caso a caso, con livelli di dettaglio variabili a seconda delle elaborazioni di interesse dei singoli Enti sui dati.

7.2. Approccio di ricerca

Considerata la precedente analisi di background, è stata definita una metodologia ad hoc per l'analisi e la gestione degli impatti sulla sicurezza stradale di un cantiere di discarica, a partire da un caso studio (la discarica di Malagrotta) e dai principi della Valutazione di Impatto Sanitario (VIS) delle opere di ingegneria civile e industriale⁴⁵. Difatti, la procedura VIS rappresenta uno strumento metodologico, che, al contrario degli studi su scala territoriale, consente d'individuare e gestire gli impatti sulla salute umana di una specifica opera/progetto.

Quindi, sono state sviluppate le seguenti fasi di lavoro:

1. Scelta del caso studio su cui sviluppare il modello. Tale fase è stata completata considerando l'intersezione dei seguenti criteri di selezione:
 - a) disponibilità di informazioni attendibili e facilmente accessibili sul sito di discarica. Per soddisfare tale criterio si è ritenuto opportuno far riferimento ad uno dei casi di competenza del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche, dal momento che tale struttura commissariale⁴⁶ costituisce oggi l'ente pubblico di riferimento per i procedimenti di risanamento di discariche non conformi alle disposizioni del D.Lgs. 36/2003 e ss.mm.ii. e rende disponibili online le informazioni relative all'inquadramento territoriale dei siti di competenza (attraverso la scheda Fossir);
 - b) vicinanza del sito di discarica a un grande centro urbano;
 - c) vastità del sito di discarica in termini di volumetria di rifiuti.

⁴⁵ Cfr. Linee Guida pubblicate dall'Istituto Superiore di Sanità [Dogliotti E, Achene L, Beccaloni E, et al. Linee guida per la valutazione di impatto sanitario (D.lgs. 104/2017), 2019. (Rapporti ISTISAN 19/9)].

⁴⁶ istituita con D.P.C.M. del 24 marzo 2017 per la bonifica/messa in sicurezza delle discariche incluse nella Sentenza della Corte di Giustizia Europea del 2 dicembre 2014

2. Analisi dei pericoli di cantiere che potrebbero comportare rischi per la sicurezza stradale del contesto. Dopo un'analisi della documentazione di inquadramento territoriale disponibile sul sito web del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche, attraverso la metodologia *Job Hazard Assessment*, sono stati individuati i processi di lavoro e i principali pericoli per la sicurezza stradale;
3. Individuazione delle infrastrutture stradali "bersaglio", su cui il cantiere potrebbe esplicare degli impatti in termini di variazione delle condizioni di sicurezza stradale. Tale fase è stata implementata definendo una preliminare area di influenza del sito e facendo riferimento alla classificazione stabilita dal Codice della strada (D.Lgs. 285/1992);
4. Analisi degli impatti causati dal cantiere su ciascuna infrastruttura individuata alla fase precedente;
5. Scelta di possibili misure di mitigazione del rischio incidenti. Tale fase ha richiesto l'analisi degli incidenti stradali occorsi nel periodo 2017-2021 sulle infrastrutture bersaglio, e il riferimento alla gerarchia dei controlli di cui alla norma ISO 45001. Sono stati considerati gli Open Data disponibili sul portale di Roma Capitale.

In figura 7.4 è riportata una sintesi dello schema metodologico sopra descritto.

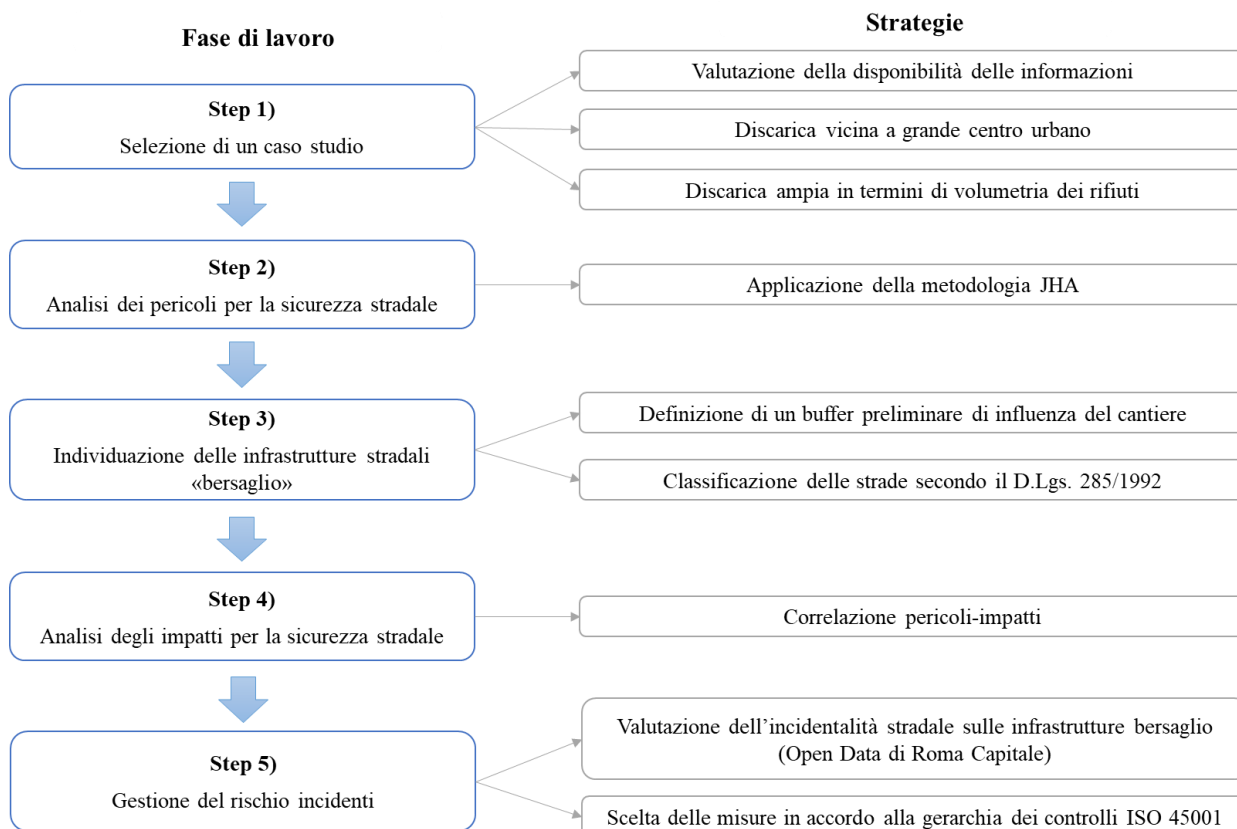


Figura 7.4 Approccio di ricerca

7.3. Il caso di studio: la discarica di Malagrotta (Roma)

L'intersezione tra i criteri di selezione è stata trovata scegliendo come caso di studio la discarica di Malagrotta (Roma) che, prima con il sistema EU Pilot (EU Pilot 9068-16)⁴⁷ e poi, a livello nazionale, con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 18.02.2022⁴⁷, è stata inclusa nell'elenco delle discariche di competenza del Commissario Unico.

Secondo quanto riportato sul portale web del Commissario Unico⁴⁸, il sito è collocato nell'area ovest, a ridosso ed esternamente al Grande Raccordo Anulare. Inoltre, risulta confinante con il comune di Fiumicino a ovest, ed è prossimo alla consolare (SS1) via Aurelia a nord.

La discarica si compone di 10 lotti (da A ad L) per l'abbanco di rifiuti solidi urbani e speciali. Lo spessore dei rifiuti è variabile da 45 a 49 metri.

Dopo aver raggiunto la massima capienza nel 2004, la discarica di Malagrotta avrebbe dovuto chiudere il 31 dicembre 2007 in forza della normativa europea che vieta di conferire in discarica rifiuti allo stato grezzo. Tuttavia, le vicissitudini politiche ne hanno consentito il funzionamento fin quando, nel 2011, l'invaso di discarica, in esercizio in proroga, è diventato oggetto di una procedura di bonifica per l'inquinamento delle acque sotterranee accertato dall'Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio.

Nel marzo 2013 l'Italia è stata denunciata alla Corte di giustizia europea dalla commissione europea per l'ambiente in quanto parte dei rifiuti scaricati nella discarica non avrebbe subito il trattamento meccanico-biologico (TMB), richiesto dai regolamenti europei per ridurre la consistenza volumetrica dei rifiuti, e facilitare un loro eventuale recupero.

Secondo quanto riportato nel sito del Commissario, la discarica sarà soggetta a un intervento di messa in sicurezza permanente (con installazione di capping), finalizzato a garantire:

- Completo isolamento basale e perimetrale (polder) a garanzia della qualità delle acque di falda esterne al sito;
- la stabilità dei versanti del corpo discarica e l'impermeabilità degli argini;

⁴⁷ Secondo quanto riportato sul sito web del Dipartimento per le Politiche Europee della Presidenza del Consiglio dei Ministri, il sistema Pilot “è un meccanismo di scambio di informazioni informale tra la Commissione europea e gli Stati membri su possibili problemi di mancata applicazione del diritto dell'Unione europea, da attivare prima dell'apertura formale di una procedura di infrazione. La locuzione "EU Pilot" è passata poi a denominare anche i singoli casi di pre-infrazione.” Nel caso di specie, la procedura EU-Pilot è stata avviata per violazione degli obblighi imposti dall'art.14 lettere b) e c) della Direttiva 1999/31/CE [DPCM 18.02.2022]

⁴⁸ <https://www.commissariobonificadiscariche.governo.it/it/siti-commissariati/siti-di-discarica-commissariati/discarica-di-eu-pilot-9068-16-malagrotta/sito-di-malagrotta-informazioni-di-di-base/>

- il controllo dei flussi di biogas prodotti.



Figura 7.5 Discarica di Malagrotta (immagine tratta dalla scheda Fossir⁴⁹ redatta dal Commissario Unico)

7.4. Risultati del lavoro di ricerca

7.4.1. *Gli impatti del cantiere sulla sicurezza stradale*

In base a quanto dichiarato nella documentazione, la discarica di Malagrotta sarà interessata da un intervento di messa in sicurezza permanente. Tuttavia, non essendo ancora disponibili specifiche informazioni sugli interventi previsti, attraverso la bibliografia di settore, sono stati ipotizzati i principali processi lavorativi che potranno essere messi in atto:

1. Pulizia dell'area, attraverso la rimozione di rifiuti affioranti e/o sfalcio della vegetazione;
2. Realizzazione di una cinturazione totale per l'isolamento idraulico del corpo rifiuti (tramite diaframma plastico);
3. Realizzazione di un sistema di raccolta e trattamento del percolato presente in situ;
4. Realizzazione di un sistema di aspirazione e trattamento del biogas, nei lotti interessati dalla presenza sacche di gas;
5. Realizzazione del capping finale.

Per ogni processo, attraverso la metodologia JHA, sono stati poi individuati i pericoli insiti in tali processi, che potrebbero determinare variazioni della sicurezza stradale nel contesto territoriale del cantiere. I risultati di tale analisi sono riportati nella tabella 7.2.

⁴⁹ Cfr. Appendice D, par. 1

Tabella 7.2 Correlazione processi di lavoro – pericoli per la sicurezza stradale del contesto

Processo di lavoro	Pericoli per la sicurezza stradale del contesto
1. Pulizia dell'area	Per tutti i processi: <ul style="list-style-type: none"> • Mezzi da cantiere, dotati di capacità di locomozione; • Polveri, prodotte da sollevamento o frantumazione di materiali (es. rifiuti, terreno); • Rumore; • Vibrazioni.
2. Realizzazione di una cinturazione totale tramite diaframma plastico	
3. Realizzazione di un sistema di raccolta e trattamento del percolato	
4. Realizzazione di un sistema di aspirazione e trattamento del biogas	
5. Realizzazione del capping finale	

Facendo riferimento alla classificazione delle strade come stabilita dal D.Lgs. 285/1992 (cd. Codice della Strada), attraverso Google Maps, sono poi state considerate le infrastrutture stradali rilevanti per la valutazione degli impatti del cantiere, definendo un'area di influenza con raggio corrispondente alla minima distanza della discarica da un'infrastruttura autostradale. In questo caso, il raggio del buffer di influenza è stata assunto pari alla distanza del sito dal Grande Raccordo Anulare (circa 2,5 km).

In tabella 7.3 sono riportati i risultati della fase 2, relativa all'individuazione delle infrastrutture stradali "bersaglio".

Tabella 7.3 Individuazione delle infrastrutture stradali nel contesto di Malagrotta

Tipologia di infrastruttura	Denominazione	Caratteristiche [D.Lgs.285/1992]
Autostrade	Grande Raccordo Anulare	<i>strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine; deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.</i>
Strade extraurbane principali	SS1 Aurelia	<i>strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva</i>

Tipologia di infrastruttura	Denominazione	Caratteristiche [D.Lgs.285/1992]
		<i>di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.</i>
Strade locale	Via di Malagrotta Via del Casale Lumbroso Via di Ponte Galeria Via Portuense	<i>strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata ai fini di cui al comma 1 non facente parte degli altri tipi di strade</i>

In tabella 7.4 sono riportati invece gli esiti dell'analisi degli impatti sulla sicurezza stradale del futuro cantiere, ottenuti facendo riferimento alla letteratura di settore. In tale tabella:

- la prima colonna riporta i pericoli insiti nei processi di lavoro per la sicurezza stradale del contesto;
- la seconda colonna classifica i potenziali impatti associati a tali pericoli in tre categorie: a breve distanza (BD, 100-200 metri), a media distanza (MD, 300 – 1000 metri) o a lunga distanza (LD, oltre i 1000 metri).

Tabella 7.4 Impatti del cantiere di discarica sulla sicurezza stradale

Pericoli nel cantiere per la sicurezza stradale	Impatti del cantiere sulla sicurezza stradale
Mezzi da cantiere, dotati di capacità di locomozione	LD; MD; BD
Polveri, prodotte da sollevamento o frantumazione di materiali (es. rifiuti, terreno)	MD; BD
Rumore	BD
Vibrazioni	BD

7.4.2. La gestione del rischio incidenti

La scelta delle misure di mitigazione del rischio incidenti è avvenuta facendo riferimento alla gerarchia dei controlli di cui alla norma ISO 45001. Tuttavia, con particolare riferimento all'impatto LD causato dai mezzi di cantiere, tale scelta ha tenuto conto anche di un'elaborazione statistica dei dati di incidentalità stradale relativi all'area di influenza del cantiere, accaduti nel periodo 2017-2021 (Roma Capitale, 2022)⁵⁰.

In figura 7.6 è schematizzata la metodologia definita per l'analisi del dataset.

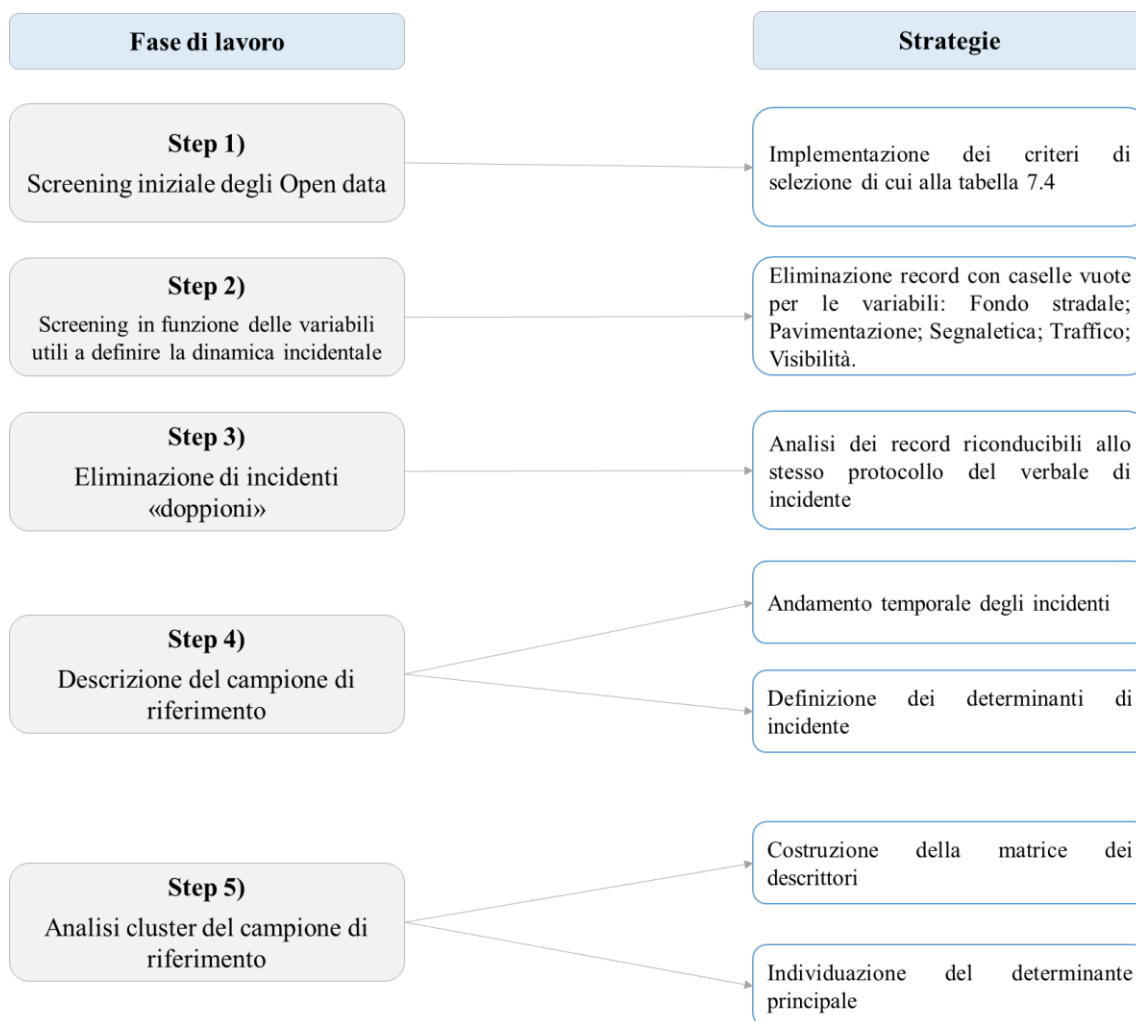


Figura 7.6 Metodologia di analisi degli Open Data di Roma Capitale 2017-2021

Gli eventi selezionati hanno richiesto l'intervento della Polizia Locale di Roma Capitale e presentano informazioni (numeriche/testuali) riconducibili alle seguenti categorie:

- Inquadramento temporale dell'evento (es. mese, anno, ora);
- Inquadramento spaziale dell'evento (es. coordinate geografiche, indirizzi di riferimento);

⁵⁰ Si rimanda al par.2 dell'Appendice D per ulteriori dettagli sugli Open data di Roma Capitale.

- c) Tipologia di incidente (es. investimento di un pedone, collisione con ostacolo, collisione laterale etc.);
- d) Condizioni stradali (es. visibilità, traffico, condizioni della pavimentazione stradale etc.);
- e) Veicoli coinvolti (es. autocarro, automobile per uso privato etc.)
- f) Conseguenze dell'incidente (es. fratture, morti etc.);
- g) Altre informazioni (es. protocollo del verbale di incidente, gruppo di polizia locale, numero di persone coinvolte etc.).

Complessivamente, ogni record degli Open Data è descritto da n.37 variabili, prevalentemente di tipologia testuale (espressioni brevi).

Gli Open data disponibili sul portale web di Roma Capitale sono stati sottoposti a un processo di *screening* per definire un database iniziale su cui effettuare elaborazioni di *data mining*. Premesso che lo studio di incidentalità è finalizzato a stabilire delle misure di gestione rispetto ai lavoratori del cantiere alla guida di mezzi pesanti, lo *screening* iniziale dei dati è avvenuto attraverso:

1. La tipologia di veicolo: ricostruendo dai dati la legenda di variazione di tale variabile, sono stati selezionati eventi che hanno coinvolto un mezzo pesante che può essere ritrovato in/a servizio di un'area di cantiere;
2. Lo stato del veicolo: sono stati selezionati record presumibilmente causati dai mezzi pesanti durante la loro circolazione su strada;
3. La tipologia di persona: conducente del veicolo;
4. La variabile Strada 1: sono state selezionati record con strade coincidenti con le infrastrutture "bersaglio".

Tale processo si è concluso con l'estrazione di n. 289 record dalla raccolta "Open Data" (cd. database iniziale). In tabella 7.5 è riportato il riepilogo dei filtri di selezione.

Tabella 7.5 Criteri di screening degli Open Data di Roma Capitale

Variabile	Tipo di variabile	Filtri di selezione
Tipologia di veicolo	testuale	<ul style="list-style-type: none"> • Autocarro inf. 35 q • Autocarro sup.35 q • Autogru • Autotreno • Macchina operatrice • Motrice.
Stato del veicolo	Testuale	<ul style="list-style-type: none"> • in marcia/fermata/arresto
Tipologia di persona	testuale	<ul style="list-style-type: none"> • conducente

Variabile	Tipo di variabile	Filtri di selezione
Strada 1	testuale	<ul style="list-style-type: none"> • Via Aurelia • Via di Malagrotta • Via del Casale Lumbroso • Via di Ponte Galeria • Via Portuense

Tale database iniziale è stato poi sottoposto a ulteriore screening che ha previsto l'esclusione dei record che non presentano informazioni (i.e. caselle vuote) per le seguenti variabili: Fondo stradale; Pavimentazione; Segnaletica; Traffico; Visibilità. Ciò ha portato a definire un campione di n.282 record.

Il campione di n.282 record è stato poi analizzato per eliminare i cosiddetti “incidenti doppiati” e quindi per ricondurre ogni evento incidentale a un unico protocollo e a un'unica dinamica. Al termine di questa riorganizzazione dei dati:

- sono stati considerati n.262 eventi incidentali nel campione finale, accaduti sulle infrastrutture stradali selezionate con la variabile “Strada 1” (fig. 7.7);
- sono stati ritenuti trascurabili i dettagli in merito alla localizzazione spazio-temporale degli eventi.

Di seguito si riporta un grafico per la descrizione del campione di riferimento.

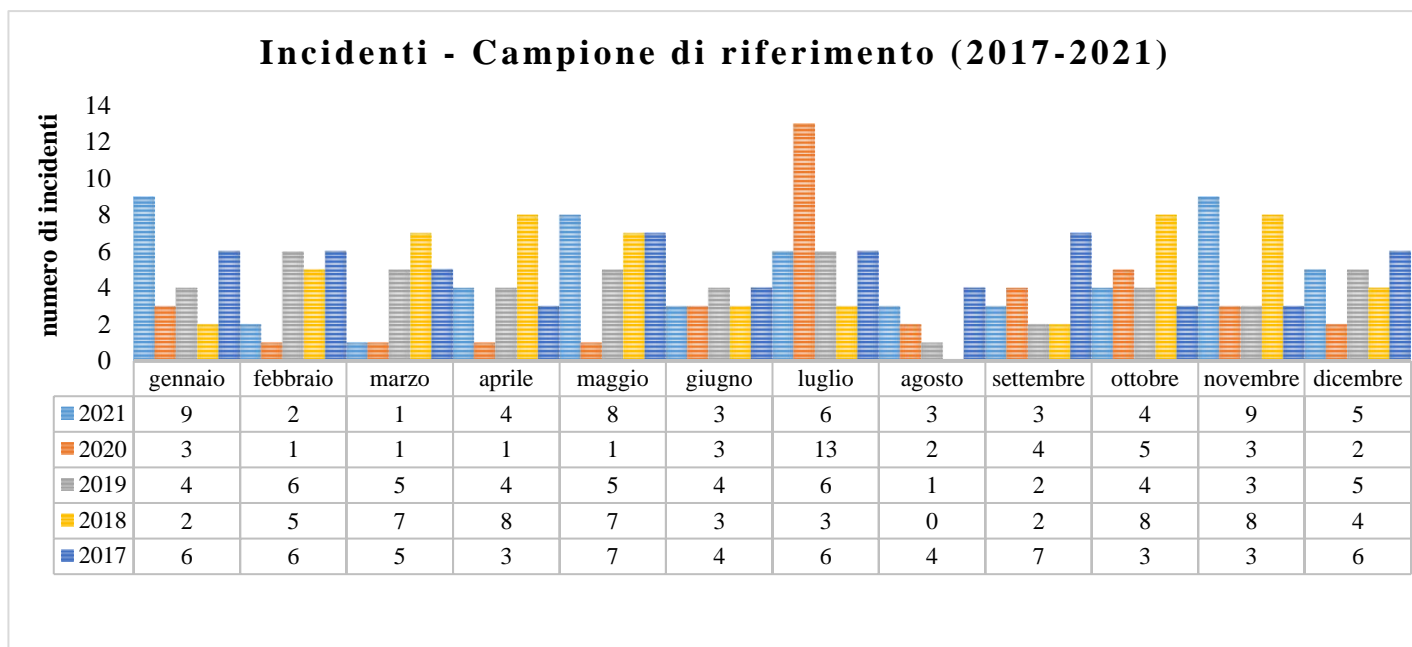


Figura 7.7 Andamento degli incidenti sulle infrastrutture “bersaglio” nel periodo 2017-2021 (elaborazione dati in Microsoft Excel)

Una volta individuato il campione di riferimento, sono stati definiti i determinanti degli eventi.

Tale fase ha richiesto un'analisi delle variabili con cui sono organizzati i dati di incidentalità stradale di Roma Capitale. Tra le 37 variabili, le uniche ritenute utili a una ricostruzione della dinamica degli eventi sono state le seguenti: "Fondo stradale"; "Pavimentazione"; "Particolarità strade"; "Natura incidente"; "Segnaletica"; "Condizione Atmosferica"; "Traffico"; "Visibilità". Difatti, le altre riguardano la localizzazione e la descrizione delle conseguenze dell'evento.

Tutte le variabili sopra indicate sono di tipologia testuale e contengono poche parole di descrizione.

Inoltre, nella definizione dei determinanti si è considerata la necessità di clusterizzare i dati rispetto a cause di rischio che possano essere poi gestite nell'ambito del Piano di Sicurezza e Coordinamento del cantiere di discarica, a vantaggio della sicurezza dei lavoratori. Quindi, tale aspetto ha portato ad escludere l'opportunità di considerare determinanti già adottati in altri studi di *data mining* sullo stesso dataset (Comi et al., 2022), essendo diverso il fine ultimo: infatti, con tale studio si intende individuare le misure di tutela della sicurezza stradale dei lavoratori a servizio del cantiere di discarica (a qualsiasi titolo), e non misure generali di sicurezza stradale del territorio.

Tutto ciò ha condotto a valutare tramite il modello della matrice dei descrittori l'influenza dei seguenti determinanti di incidentalità stradale sul campione di riferimento:

- pavimentazione stradale (D1);
- visibilità (D2);
- traffico (D3);
- segnaletica stradale (D4).

In particolare, attraverso il modello della matrice dei descrittori ad ogni evento del campione di riferimento è stata attribuita la presenza/assenza dello specifico determinante attraverso i coefficienti booleani 0 (assente) e 1 (presente). La matrice dei descrittori che quindi in prima approssimazione è stata definita ha dimensioni $r*d$ dove:

- $r = 262$, pari al numerosità del campione di riferimento;
- $d = 4$, pari al numero di determinanti degli eventi considerati.

Tuttavia, proprio nella fase di costruzione della matrice dei descrittori, alcuni incidenti sono stati esclusi per assenza di tutti e 4 i determinanti (n.96 eventi). Pertanto, la matrice dei descrittori riportata poi nel software SPSS Statistics vers. 28 per effettuare l'applicazione dell'algoritmo Two Steps ha dimensioni r_f*d dove:

- $r_f = 166$, pari al numero di eventi effettivamente considerati per l'analisi cluster;

- $d = 4$, pari al numero di determinanti degli eventi considerati.

L'analisi cluster è stata effettuata con le ipotesi di cui alla tabella 7.6.

Tabella 7.6 Ipotesi per l'analisi cluster degli incidenti stradali

Ipotesi	Descrizione
Numerosità del campione	166 eventi
Algoritmo di analisi cluster	Cluster Two Step, previsto dal software IBM SPSS Statistics nella vers. 28
Variabili	Sono i 4 determinanti. Come suggerito da IBM, tali variabili sono state considerate come variabili categoriali e, più in particolare, come variabili nominali
Numero iniziale di cluster	Applicando il criterio proposto da (Szüle, 2016), è stato impostato il numero di cluster iniziali (k) pari a z $z = \sqrt{n/2} = \sqrt{166/2} = 9$ dove z è il massimo numero di cluster da analizzare
criteri di analisi	<ul style="list-style-type: none"> • criterio di distanza: logaritmo della verosomiglianza; • criterio di clustering: criterio bayesiano di Shwarz (BIC)

La procedura è terminata con l'individuazione di n.9 gruppi (i cluster, per l'appunto) e un valore medio del indice di silhouette pari a 1,0. Secondo quanto riportato sulla documentazione a supporto del software, l'indice di silhouette costituisce una misura di coesione e separazione dei gruppi individuati, con valori variabili tra 0 e 1. Più alto è tale

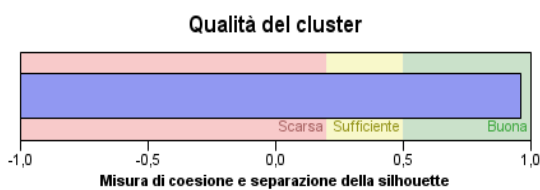
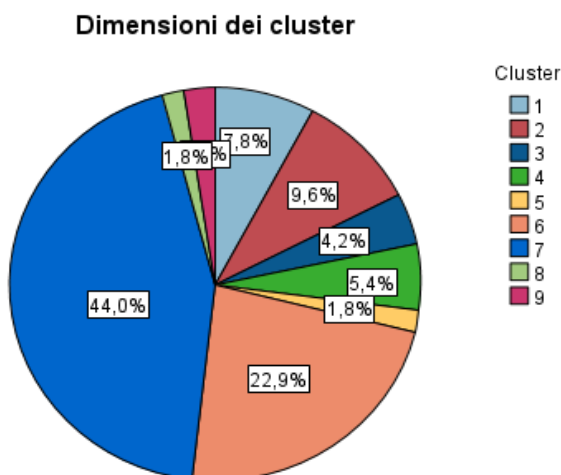


Figura 7.8 Indice di separazione dei cluster

indice, migliore è la qualità del processo di clusterizzazione effettuato (Fig.7.8).

In figura 7.9, invece si riporta la distribuzione percentuale dei cluster, con l'indicazione delle dimensioni del cluster più piccolo e del cluster più grande.



Dimensione del cluster più piccolo	3 (1,8%)
Dimensione del cluster più grande	73 (44%)
Rapporto di dimensioni: dal cluster più grande al cluster più piccolo	24,33

Figura 7.9 Distribuzione percentuale dei cluster e dimensioni

Di seguito si riporta anche la distribuzione degli eventi nei 9 cluster (fig. 7.10).

Cluster

Importanza (predittore) di input
■ 1,0 ■ 0,8 ■ 0,6 ■ 0,4 ■ 0,2 ■ 0,0

Cluster	Etichetta	Descrizione	Dimensione	Input			
7			44,0% (73)	segnaletica Assente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Presente (100,0%)	pavimentazione stradale
6			22,9% (38)	segnaletica Presente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Assente (100,0%)	pavimentazione stradale
2			9,6% (16)	segnaletica Assente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Assente (100,0%)	pavimentazione stradale
1			7,8% (13)	segnaletica Assente (100,0%)	visibilità Presente (100,0%)	traffico Assente (100,0%)	pavimentazione stradale
4			5,4% (9)	segnaletica Assente (100,0%)	visibilità Presente (100,0%)	traffico Assente (88,9%)	pavimentazione stradale
3			4,2% (7)	segnaletica Presente (100,0%)	visibilità Presente (100,0%)	traffico Assente (100,0%)	pavimentazione stradale
9			2,4% (4)	segnaletica Presente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Presente (100,0%)	pavimentazione stradale
5			1,8% (3)	segnaletica Presente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Assente (66,7%)	pavimentazione stradale
8			1,8% (3)	segnaletica Assente (100,0%)	visibilità Assente (100,0%)	traffico Presente (100,0%)	pavimentazione stradale

Figura 7.10 Caratteristiche dei gruppi individuati

Per individuare il/i predittore/i principale/i, l'attenzione è stata focalizzata solo sui cluster 7, 6, 2 e 1 (con numerosità > 10).

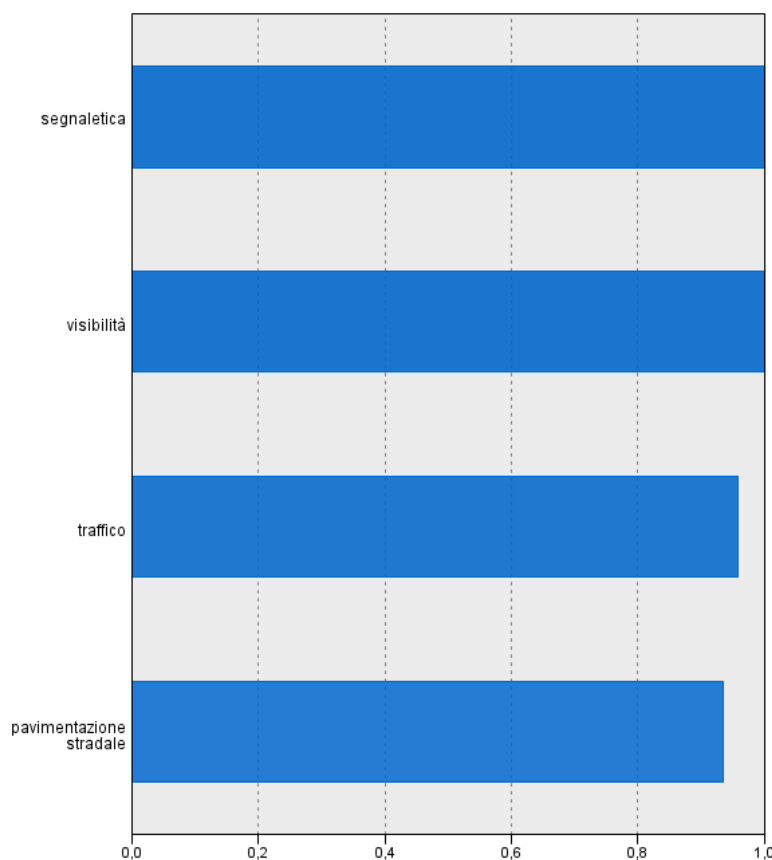


Figura 7.11 Importanza dei predittori rispetto ai cluster con $N > 10$

Quindi, l'analisi cluster si è conclusa con la correlazione degli incidenti stradali dei mezzi pesanti nel contesto di influenza della discarica di Malagrotta alla segnaletica stradale (spesso solo orizzontale o assente) e alle condizioni di visibilità (in parte determinate dalle condizioni meteo avverse e in parte dalla morfologia delle infrastrutture stradali).

Una volta individuati D2 e D4 come determinanti principali dell'incidentalità stradale del contesto della discarica di Malagrotta, le misure di gestione del rischio incidenti sono state individuate tenendo conto anche delle evidenze di letteratura.

Difatti, lo studio dei dati ha permesso di valutare l'influenza solo di alcune delle possibili cause di incidente, ma non di ottenere informazioni circa il comportamento alla guida degli individui coinvolti: a titolo illustrativo, dai dati non è stato possibile capire se l'evento fosse stato causato da un conducente in stato di ebbrezza, sotto effetto di sostanze stupefacenti o distratto dall'uso del cellulare o di altri dispositivi.

Poiché secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità l'uso di alcool (cd. *drink-driving*) ha causato almeno il 27 % degli incidenti globali su strada, mentre l'uso di

sostanze stupefacenti in Europa ha portato alla morte almeno il 15,6% dei conducenti (European Transport Safety Council, 2017; World Health Organization (WHO), 2022), nella scelta delle misure di mitigazione del rischio si è ritenuto opportuno considerare tali aspetti.

Pertanto, in accordo anche alla letteratura scientifica di settore e alla gerarchia dei controlli ISO 45001, le seguenti misure di gestione del rischio sono state definite:

- adottare specifiche procedure per il trasporto sicuro su strada di materiali e attrezzature di lavoro del cantiere (es. uso di teli di copertura per il trasporto di materiali pulverulenti);
- prevedere la turnazione dei lavoratori alla guida, al fine di assicurare il necessario riposo ed evitare incidenti per stanchezza/distrazione;
- dotare i mezzi pesanti di dispositivi di segnalazione al conducente di rallentamenti improvvisi del traffico stradale (cd. avvisatori acustici anti-collisione), di software in grado di replicare sul computer di bordo la segnaletica stradale e di localizzazione geografica del mezzo per l'allertamento dei soccorsi (rilevatori GPS);
- creare una sala operativa per il monitoraggio in *real time* dei percorsi dei mezzi pesanti a servizio del cantiere;
- fornire adeguata formazione ai lavoratori sulle principali cause di rischio e sulla corretta gestione degli eventi incidentali, in base ai fattori interni aziendali (es. nazionalità, età, sesso etc.);
- organizzare una squadra sanitaria per il pronto recupero e soccorso del lavoratore incidentato nell'esercizio delle sue funzioni;
- richiedere alle ditte esecutrici di eseguire screening sanitari per verificare eventuali sospetti sull'uso abituale di sostanze stupefacenti/alcool da parte dei lavoratori alla guida di mezzi a servizio del cantiere.

7.5. Considerazioni finali

Il modello di analisi sviluppato sul caso della discarica di Malagrotta permette di concludere che il cantiere di risanamento di una discarica determina impatti sulla sicurezza stradale del contesto come segue:

- Nel lungo raggio, si potrebbe verificare un aumento del numero di mezzi pesanti in circolazione sulla rete stradale, a servizio del contesto territoriale in cui è ubicato il cantiere;
- Nel medio raggio, si potrebbe assistere a un aumento dei mezzi pesanti in circolazione e delle polveri rilasciate sulla sede stradale;

- Nel breve raggio, la produzione di polveri, rumore e vibrazioni potrebbero incidere sulle condizioni di sicurezza delle strade locali limitrofe al cantiere.

Inoltre, consente anche l'individuazione di alcune misure atte a mitigare gli impatti sopra indicati, secondo la gerarchia dei controlli stabilita nella norma ISO 45001 e in ragione di uno studio dell'incidentalità stradale nel contesto di riferimento.

Complessivamente, si ritiene che il contributo qui proposto possa costituire uno strumento metodologico snello e facilmente riadattabile ad altri casi, essendo, tra l'altro, basato sull'elaborazione di informazioni liberamente accessibili online e raccolte secondo metodologie standard.

Tuttavia, si evidenziano di seguito anche i potenziali margini di miglioramento dell'analisi eseguita.

Il modello consente di valutare gli impatti del cantiere sulla sicurezza stradale da un punto di vista qualitativo: pertanto, la quantificazione delle variazioni di sicurezza deve necessariamente prevedere l'uso di altri modelli, che tengano conto in primis dei continui cambiamenti associati al cantiere, ma anche delle caratteristiche medie dell'infrastruttura, degli utenti e dei veicoli abituali.

Inoltre, con particolare riferimento alla fase di scelta delle misure di mitigazione dell'impatto associato alla circolazione dei mezzi pesanti, alcuni limiti dell'analisi eseguita sono correlati all'organizzazione degli open data su cui è stato costruito lo studio di incidentalità. Nel dataset di partenza alle diverse variabili sono stati attribuiti giudizi sintetici estrapolati dai verbali di incidente: perciò, con difficoltà si riesce ad individuare i determinanti e la loro influenza sugli eventi. Da qui l'esigenza di escludere quei casi in cui con elevata probabilità l'evento è stato causato da altri fattori di rischio (es. distrazione, alcol, stupefacenti etc.) e di tenerne conto attraverso le evidenze di letteratura nella scelta delle misure di controllo.

Pertanto, una certa incertezza dei risultati qui rappresentati dipende dalla sensibilità:

- dell'ispettore che ha compilato il verbale, che in via generale prevede l'opportunità di descrivere la dinamica con un modello molto flessibile, che tende a mettere in luce i soggetti coinvolti, le conseguenze su cose e persone, ma senza definire chiaramente le cause dell'evento (lasciando così margini di azione legale e approfondimento scientifico);
- dell'operatore di Roma Capitale che nel corso delle attività di *data entry* ha sinteticamente rappresentato il contenuto del verbale attraverso le 37 variabili degli open data.

Infine, l'attribuzione dei determinanti ai singoli eventi costituisce un'attività influenzata dall'esperienza e dal background formativo dell'analista, considerata la disponibilità dei dati sottoforma di vettori di variabili incidentali, sinteticamente rappresentati da brevi stringhe testuali (per la maggior parte delle variabili). Pertanto, si segnala la possibilità di ottenere risultati diversi in relazione all'analista.

I risultati del modello proposto potrebbero essere rivisti attraverso le seguenti strategie:

- a) integrando le informazioni del database di partenza con eventuali dichiarazioni testimoniali super partes e con i fascicoli dei pronto soccorso (in caso di incidente con conseguenze sanitarie sugli individui coinvolti), per valutare l'influenza di alcool, sostanze stupefacenti etc. sulla dinamica incidentale;
- b) rivalutando l'organizzazione dei dati di sicurezza stradale a livello europeo/nazionale. Ad oggi, infatti, per via delle disposizioni europee atte focalizzare l'attenzione sull'incidente come unità statistica di rilevazione, non è possibile trarre dai dati informazioni incidentali su lavoratori alla guida di mezzi di cantiere o, più in generale, di mezzi pesanti. Probabilmente un lavoro di record linkage delle banche dati nazionali, già proposto da alcuni ricercatori, potrebbe consentire di sviluppare analisi maggiormente sito specifiche.

Conclusioni

Il presente elaborato di tesi costituisce l'epilogo di un progetto di dottorato portato a termine con la collaborazione scientifica del INAIL-DIT e finalizzato a indagare l'applicazione e lo sviluppo di modelli di analisi di rischio al settore della gestione e risanamento di discariche, ancora inesplorato dal punto di vista della tutela della salute e sicurezza sul lavoro. Difatti, sebbene il fenomeno sia ampiamente diffuso a livello internazionale e sia tristemente noto nella letteratura scientifica per i suoi impatti negativi sulla salute pubblica e l'ambiente, proprio nell'ambito di tale progetto, grazie a un'attività di ricerca bibliografica, è stata riscontrata con la mancanza di specifiche procedure per la tutela dei lavoratori nel complesso di norme nazionali ed europee di natura ambientale, finalizzate alla prevenzione e gestione del fenomeno.

Pertanto, con l'obiettivo di fornire un contributo innovativo nel settore, sono stati sviluppati modelli di analisi di rischio a partire dalla documentazione progettuale e dai dati infortunistici attualmente disponibili presso INAIL.

In particolare, le attività di ricerca hanno determinato la produzione dei seguenti risultati.

Attraverso un'applicazione del diagramma di Ishikawa ai documenti progettuali forniti da INAIL in merito alle attività di caratterizzazione e risanamento previste per alcune discariche localizzate in n. 7 Siti di Interesse Nazionale, si è pervenuti alla sistematizzazione in via preliminare delle possibili cause di infortunio in discariche illecite (cap.3), su scala nazionale.

Successivamente, a partire dall'analisi degli eventi di infortunio collezionati nei database Infor.MO e "Flussi Informativi INAIL-Regioni ad accesso riservato" sono stati analizzati i rischi per la sicurezza dei lavoratori nel settore della gestione di discariche (cap.4). Tale attività ha condotto:

- alla definizione di un percorso metodologico per l'analisi dei rischi attraverso un approccio *data driven*, replicabile (con opportuni accorgimenti) anche su altri database infortunistici europei;
- all'individuazione di alcuni rischi specifici nelle discariche, come per esempio il rischio di movimentazione manuale dei carichi, di scivolamento e contatto con oggetti abrasivi/taglienti per gli operatori di discarica (qualificati secondo il mansionario INAIL) e di opportune misure di mitigazione dei rischi individuati;
- all'individuazione dei margini di miglioramento dei modelli di organizzazione dei dati infortunistici (derivanti dagli attuali standard europei), affinché possano

promuovere analisi di rischio più precise, riferite non soltanto al settore economico, ma anche al luogo di lavoro.

Le attività di dottorato sono poi proseguite focalizzando l'attenzione sulle attività di caratterizzazione e risanamento di discariche illecite.

In particolare, nel cap.5 è stato sviluppato un modello di analisi di rischio per le attività di caratterizzazione on-site delle discariche, a partire dall'approccio definito nella norma ISO 45001:2018, basato sull'applicazione del ciclo Deming (Plan-Do-Check-Act) alla gestione della sicurezza sul lavoro. In particolare, tale modello di analisi di rischio è stato articolato secondo le indicazioni della norma sulla fase "Plan", con i seguenti elementi chiave:

- Correlazione obiettivi-attività-pericoli-rischi per la caratterizzazione delle discariche;
- Correlazione obiettivi – strategie per l'analisi di contesto;
- Indicazione di alcune misure di gestione dei rischi in accordo alla gerarchia dei controlli di cui alla norma ISO 45001.

Nel cap.6, invece, è stato proposto un modello di analisi del livello globale di sicurezza di un cantiere di risanamento di una discarica, a partire dall'analisi della documentazione progettuale disponibile presso INAIL sul risanamento di discariche e dalla letteratura scientifica sui rating systems per la sostenibilità delle costruzioni.

Il modello è stato concepito come strumento flessibile, quindi utile:

- sia per progetti di messa in sicurezza che di bonifica di discariche;
- sia per i progettisti (per un'autoverifica delle scelte progettuali effettuate) sia per gli enti pubblici deputati alle attività di controllo dei progetti di bonifica/messa in sicurezza.

Sono state previste n.4 aree di valutazione, definite a partire dalla letteratura scientifica disponibile sull'applicazione del diagramma Ishikawa alla sicurezza sul lavoro, e n.20 criteri di valutazione, differenziati nelle due tipologie "*Higher is better*" (l'aumento del punteggio del criterio aumenta il livello di sicurezza globale) e "*Lower is Better*" (l'aumento del punteggio del criterio diminuisce il livello di sicurezza globale). Il livello globale di sicurezza è stato stabilito pari al vettore di dimensione $n=4$, con coefficienti derivanti dalla sommatoria dei punteggi conseguiti nei criteri della stessa area di valutazione, per confronto con scenari di riferimento.

Infine, le attività di dottorato sono state completate inquadrando la tematica del risanamento delle discariche rispetto alla sicurezza stradale. Infatti, preso atto dell'impossibilità di sviluppare specifici modelli per la valutazione dei rischi derivanti dall'interferenza discarica – trasporti ferroviari/stradali, non essendo ad oggi disponibili

in forma pubblica i documenti di casi studio per via del risvolto penale associato a tali illeciti ambientali, nel capitolo 7 è stato fornito un contributo metodologico per analizzare gli impatti di un cantiere di discarica sulla sicurezza stradale del contesto e proporre misure per la mitigazione degli incidenti stradali dei lavoratori a servizio del cantiere stesso.

A partire dall'analisi della documentazione progettuale del caso studio di Malagrotta (oggetto di una procedura EU-Pilot), disponibile sul sito web del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche, sono stati individuati gli impatti del futuro cantiere sulla sicurezza stradale del contesto territoriale, tramite una metodologia mutuata dalle linee Guida sulla Valutazione di Impatto Sanitario per le opere di ingegneria civile e industriale. Successivamente, per stabilire le misure di gestione del rischio incidenti per i lavoratori a servizio del futuro cantiere è stato sviluppato uno studio di incidentalità sugli open data di Roma Capitale. Difatti, un semplice studio dell'incidentalità stradale di un'area territoriale non avrebbe permesso di valutare i rischi per la sicurezza stradale derivanti dalla presenza di un cantiere. D'altra parte, l'attuale organizzazione degli incidenti stradali nelle banche dati è finalizzata alla descrizione dell'incidente e non delle singole persone coinvolte.

Pertanto, con un metodo flessibile e riadattabile anche ad altri casi studio, basato sull'elaborazione degli open data oggi disponibili, è stato fornito un contributo per una corretta individuazione e gestione degli impatti sulla sicurezza stradale di una discarica.

Complessivamente, si ritiene che la tesi fornisca un prezioso contributo alla realizzazione del target 8.8 dell'Agenda ONU 2030, ossia alla tutela della sicurezza dei lavoratori in ogni contesto. Più in particolare, la tesi tenta di fornire delle soluzioni per l'analisi e la gestione dei rischi per i lavoratori nelle discariche a partire dalle numerose banche dati oggi disponibili con l'uso metodologie innovative. Tuttavia, l'elaborato mostra anche diversi margini di miglioramento della ricerca scientifica, principalmente connessi all'esigenza di rivedere l'attuale organizzazione e disponibilità dei dati infortunistici e di incidentalità stradale per una più precisa profilazione dei rischi specifici.

Difatti, nella tesi più volte si pone in luce l'esigenza di migliorare gli approcci *data-driven* di gestione del rischio attraverso la riorganizzazione dei dati della ricerca, anche e soprattutto secondo i principi "FAIR" stabiliti dalla Commissione Europea, ossia:

- *Findable*: i dati devono essere descritti e rintracciabili con set di metadati standard, riconosciuti dalle diverse comunità scientifiche disciplinari, e attraverso un codice DOI;

- *Accessible*: i dati devono essere sempre e comunque accessibili a chi ne faccia motivata richiesta e devono essere aperti tutte le volte che ciò sia possibile;
- *Interoperable*: i dati devono essere leggibili e rielaborabili da sistemi conformi ai principi FAIR;
- *Reusable*: i dati devono essere sempre dotati di una licenza d'uso che spieghi quali siano gli usi consentiti.

Molte banche dati oggi disponibili, infatti, anche se organizzate per essere elaborate con tecniche di *data mining*, determinano la produzione di studi scientifici la cui precisione potrebbe essere superiore se le informazioni venissero raccolte e sistematizzate diversamente, considerando maggiormente i cambiamenti associati ai processi di lavoro e al progresso tecnologico.

Ringraziamenti

Al termine di questa esperienza di studio, scrivo di seguito alcuni ringraziamenti per quelle persone che mi hanno accompagnata in questo percorso.

Desidero in primis ringraziare i miei relatori, la Prof.ssa Mara Lombardi, l'Ing. Simona Berardi dell'INAIL e il Prof. Quintilio Napoleoni per tutte le volte che mi hanno corretta, lasciata libera di sbagliare, insomma... per avermi preparato alla ricerca vera! Che non è fatta solo di bei risultati, di complimenti e applausi...ma anche di sbagli e cadute.

Ringrazio anche il Dipartimento Innovazioni Tecnologiche dell'INAIL per aver finanziato e fornito un prezioso supporto allo svolgimento di questa tematica di ricerca, di grande attualità e di grande interesse per me che da sempre mi occupo di ingegneria ambientale.

Grazie anche al Prof. Mario Fagnoli, per avermi trasmesso qualche conoscenza sull'ingegneria e la sicurezza industriale, e all'Ing. Alessandro Ledda per tutte le indicazioni sui DPI intelligenti e per il confronto durante l'esperienza di ricerca all'INAIL.

Ovviamente, non posso che ringraziare tutti i miei amici, che mi sono stati vicino in questi tre anni. Tra questi, ringrazio particolarmente Crescenzo e Francesco per tutte le volte in cui abbiamo condiviso le nostre preoccupazioni da dottorandi e Sara per avermi trascinato in una bella pazzia: partecipare al primo Talent europeo dei giovani ricercatori!

E poi grazie anche alla squadra del Ministero della Salute e dell'ISPRA con cui collaboro quotidianamente per le mie attività da funzionario ormai da due anni. Grazie per le battute in allegria, per gli spunti di riflessione, per qualche discussione accesa... ma soprattutto grazie per avermi sempre sostenuta con una buona parola nei momenti difficili dello studio e del lavoro.

E poi per ultimi, ma non per importanza, ringrazio mamma e papà, Chiara e tutta la famiglia che mi ha sostenuta in questa avventura.

Grazie a tutti voi per esserci stati in questi tre anni di ricerca. Ma soprattutto grazie per avermi detto sempre di rincorrere il mio sogno...

Finalmente, oggi sono riuscita a realizzarlo.

Il vostro "Genio Pazzo"

Appendice A

In questa Appendice si riportano in forma schematica i criteri di valutazione previsti dalla classificazione delle discariche in Malaysia, secondo quanto riportato in (Idris et al., 2004).

Tabella 1. Criteri di valutazione per la classificazione delle discariche in Malaysia

Parametri	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4
Recinzione		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Sbarra di accesso		Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Drenaggio circostante		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Drenaggio in situ		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Drenaggio in situ (sotterraneo)		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Drenaggio area bonificata		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Strada di servizio	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Strade nelle aree di impianto	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Fascia di rispetto		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Strutture per il controllo dei rifiuti		Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Impianti per la rimozione del gas		Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Impianto di raccolta percolato			Sufficiente	Sufficiente
Impianto di ricircolo percolato			Sufficiente	Sufficiente
Impianto di controllo delle infiltrazioni			Sufficiente	Sufficiente
Impianto di trattamento percolato				Sufficiente
Uffici	Insufficiente	Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Pesa rifiuti	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Struttura per il deposito			Sufficiente	Sufficiente
Strutture di sicurezza		Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Impianti per la prevenzione incendi		Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Monitoraggio			Sufficiente	Sufficiente
Area lavaggio mezzi				Sufficiente
Attrezzature di discarica	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Gestione del personale	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Copertura superficiale	Insufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Combustibile	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Approvvigionamento acqua		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Elettricità			Sufficiente	Sufficiente
Insetticidi	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Monitoraggio agenti chimici			Sufficiente	Sufficiente
Principali strutture		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Protezione ambientale		Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Edifici e parti accessorie	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
Manutenzione	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente

Appendice B

1. Definizione di infortunio

Nella definizione di infortunio sul lavoro proposta nella Norma UNI 7249:2007 la causa violenta è individuata dalle seguenti proprietà:

- a) dannosità: ogni causa capace di determinare un danno al lavoratore può essere una causa violenta;
- b) esteriorità: l'antecedente causale deve essere estrinseco alla persona, cioè deve provenire dall'ambiente nel quale grava il rischio lavorativo (per ambiente si intende il luogo connesso topograficamente e cronologicamente con l'attività lavorativa esplicita);
- c) rapidità: la causa violenta deve esplicitare la sua azione sull'organismo umano in modo concentrato nel tempo. Pertanto, la giurisprudenza ha ritenuto opportuno fissare questo breve periodo di tempo in un intervallo che non deve superare un turno giornaliero di lavoro.

Inoltre, ai fini della Norma UNI 7249:

- d) l'occasione di lavoro deve essere sostanzialmente intesa nel senso di "finalità di lavoro";
- e) le malattie infettive e parassitarie devono essere considerate infortuni sul lavoro, dal momento che la "causa virulenta" è equiparata alla "causa violenta". L'anchilostomiasi, elencata tra le malattie professionali, deve essere considerata un'eccezione a tale criterio di classificazione.

2. La classificazione ATECO

Nel 2007 è stato avviato un processo di revisione delle statistiche nazionali per garantire la confrontabilità dei dati a livello internazionale. Pertanto, l'ISTAT, in collaborazione con esperti delle pubbliche amministrazioni coinvolte nell'attività di classificazione delle unità produttive e di numerose associazioni di produttori, ha rilasciato la classificazione ATECO 2007. Tale versione della classificazione delle attività economiche è stata elaborata in base alla classificazione NACE Rev. 2, approvata a livello europeo con Regolamento della Commissione n. 1893/2006. Si tenga presente che a livello mondiale, la classificazione ISIC Rev. 4 elaborata dalle Nazioni Unite è quella di riferimento per tutte le classificazioni nazionali esistenti, adottate dal 2007.

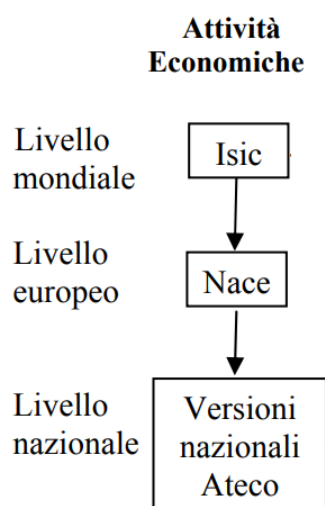


Figura 1. Rapporto tra le classificazioni delle attività economiche disponibili a livello internazionale

La classificazione ATECO 2007 presenta le varie attività economiche raggruppate, dal generale al particolare, in sezioni, divisioni, gruppi, classi, categorie e sottocategorie. Rispetto alla precedente versione (ATECO 2002), ATECO 2007 non presenta più le sottosezioni, precedentemente individuate dalle due lettere.

Tabella 1. Struttura dell'ATECO 2007

CIFRE DEL CODICE	DEFINIZIONE	NUMERO DI CODICI PREVISTI DALLA CLASSIFICAZIONE
1	Sezione	21
2	Divisione	88
3	Gruppo	272
4	Classe	615
5	Categoria	918
6	Sottocategoria	1.224

Le sezioni sono contraddistinte da un codice alfabetico costituito da una lettera maiuscola. Le divisioni, i gruppi, le classi, le categorie e le sottocategorie di attività economica sono contraddistinti da un codice numerico. Solamente il codice numerico vale come numerazione convenzionale in fase di codifica. È da notare che nei casi in cui i codici di divisione (due cifre), gruppo (tre cifre), classe (quattro cifre) o categoria (cinque cifre) non presentano sub articolazioni, al codice di livello immediatamente inferiore (rispettivamente gruppo, classe, categoria e sottocategoria) è imposto uno 0 ed è ripetuta la stessa dizione.

Tabella 2. Esempio di ATECO che non si articola in classi, categorie e sottocategorie

ESEMPIO: il Gruppo 06.1	“Estrazione di petrolio greggio”, che non si articola in classi, categorie e sottocategorie
Gruppo 06.1	Estrazione di petrolio greggio
Classe 06.10	Estrazione di petrolio greggio
Categoria 06.10.0	Estrazione di petrolio greggio
Sottocategoria 06.10.00	Estrazione di petrolio greggio

Ciascuna attività economica è quindi codificata con un numero di sei cifre; le prime due cifre sono separate da un punto dalle seconde due, le seconde due sono a loro volta separate da un punto dalle ultime due.

Per conoscere il codice ATECO 2002 corrispondente alla versione ATECO 2007 è possibile consultare la tavola di raccordo tra le due classificazioni, elaborata dall’ISTAT.

Per lo scenario B (dal 1 gennaio 2008 al 31 dicembre 2019) sono stati individuati i seguenti codici ATECO 2007, appartenenti alla sezione “*E. Fornitura di acqua; reti fognarie, attività di gestione dei rifiuti e risanamento*”:

- 38.21.09 Trattamento e smaltimento di altri rifiuti non pericolosi. Al suo interno comprende dati inerenti a:
 - smaltimento e trattamento che precede lo smaltimento dei rifiuti non pericolosi solidi o non solidi;
 - gestione di discariche per lo smaltimento dei rifiuti non pericolosi;
 - smaltimento dei rifiuti non pericolosi tramite combustione o incenerimento o altri metodi, con o senza la risultante di produzione di elettricità o vapore, combustibili sostitutivi, biogas, ceneri o altri sottoprodotti destinati ad ulteriore uso eccetera;
 - trattamento di rifiuti organici per lo smaltimento.
- 38.22.00 Trattamento e smaltimento di rifiuti pericolosi. Al suo interno comprende dati inerenti a:
 - gestione di impianti per il trattamento di rifiuti pericolosi;
 - trattamento e smaltimento di animali infetti vivi o morti, e di altri rifiuti contaminati;
 - incenerimento di rifiuti pericolosi;
 - smaltimento di beni usati quali frigoriferi, per eliminare rifiuti dannosi;
 - trattamento, smaltimento e stoccaggio di rifiuti nucleari radioattivi, incluso: trattamento e smaltimento di rifiuti radioattivi di transizione provenienti da ospedali, destinati a decomporsi durante il trasporto;
 - incapsulamento, preparazione e altro trattamento di rifiuti nucleari per lo stoccaggio;
 - smaltimento dei rifiuti di amianto.

Per lo scenario A (dal 1 gennaio 2002 al 31 dicembre 2007) sono stati individuati i corrispondenti codici ATECO della classificazione 2002:

- O 90.02.0 "Raccolta e smaltimento dei rifiuti solidi";
- F 45.25.0 "Altri lavori speciali di costruzione";
- O 90.03.0 "Pulizia delle aree pubbliche, decontaminazione e disinquinamento dell'ambiente".

3. La classificazione “voce di Tariffa INAIL”

Con il D.P.R. 1124 del 30 giugno 1965 “Testo Unico delle disposizioni per l’assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali” in Italia è stata resa obbligatoria la stipula di un contratto di assicurazione per tutti i lavoratori regolarmente impiegati.

Pertanto, è stato creato un sistema di tariffe INAIL, che oggi prevede l’articolazione dei premi assicurativi in funzione dell’attività economica svolta dal datore di lavoro. Secondo lo schema 2019 delle voci di tariffa INAIL (preso come riferimento per il lavoro di tesi), le attività economiche sono distinte in quattro sezioni:

1. Industria, che comprende le attività manifatturiere, estrattive, impiantistiche; di produzione e distribuzione dell’energia, gas ed acqua; dell’edilizia; dei trasporti e comunicazioni; della pesca; dello spettacolo; le relative attività ausiliarie,
2. Artigianato, che comprende le attività di cui alla Legge 8 agosto 1985, n. 443 e ss.mm.ii.;
3. Terziario, che comprende le attività commerciali, ivi comprese quelle turistiche; di produzione, intermediazione e prestazione dei servizi anche finanziari; le attività professionali ed artistiche; le relative attività ausiliarie;
4. Altre attività, che comprende tutte le attività non rientranti nelle precedenti categorie (es. attività svolte dagli Enti pubblici).

Nel settore industriale, la voce 0421 comprende l’esercizio di discariche, di termovalorizzatori e di inceneritori.

Il sistema delle voci di tariffa INAIL è periodicamente aggiornato sulla base delle statistiche elaborate dall’INAIL stesso per la prevenzione degli infortuni.

4. Il mansionario INAIL

Attraverso l’analisi del campione di dati infortunistici rilasciato da INAIL per lo sviluppo delle attività di dottorato, si è visto che per lo scenario B i dati sono stati forniti anche con il codice relativo alla mansione dell’infortunato.

Così come illustrato da (Brusco, 2012), i codici di mansionario dello scenario B sono stati definiti nell'ambito di un progetto di ricerca tra INAIL e ISTAT, in maniera coerente anche con il sistema di classificazione ATECO delle voci di Tariffa INAIL. Il mansionario dello scenario B, adottato dopo luglio 2008, è stato realizzato identificando 676 professioni/mansioni, ciascuna corrispondente a un codice a 4 digit. In particolare, la classificazione INAIL delle mansioni è stata definita su una base triennale di infortuni relativa al periodo 2007-2009 e considerando solo le professioni presenti in entrambe le classificazioni. Infatti, le categorie di soggetti assicurate all'INAIL e non presenti nella NUP⁵¹ dell'ISTAT, come gli studenti (categoria assicurata e assimilata ai lavoratori nello svolgimento di attività tecnico-scientifiche), non sono presenti. Analogo discorso è stato fatto per le professioni relative al gruppo delle Forze Armate, presenti nella NUP dell'ISTAT e non assicurate all'INAIL.

Inoltre, come riporta l'autrice, *“La classificazione INAIL differisce dalla nomenclatura dell'ISTAT perché diverse sono le logiche e le finalità per le quali sono state realizzate. La NUP dell'ISTAT, come si è già detto, attraverso una strutturazione ad albero arriva a dettagliare gruppi di mansioni affini ed è molto specifica per alcune professioni (dettaglia per esempio le varie specializzazioni mediche, mentre l'INAIL distingue, in generale, se i medici sono esposti a radiazioni ionizzanti o meno). Il mansionario INAIL è realizzato in un'ottica di analisi del rischio e quindi individua singole professioni, ma resta talvolta generico per alcune attività come quella dell'impiegato amministrativo e dell'operatore (qualifica presente fino a metà anno 2008).”*

Infine, appare opportuno sottolineare ai fini dell'analisi infortunistica che *“la professione dell'infortunato non è un'informazione obbligatoria e infatti, una quota non trascurabile, pari al 15% circa delle denunce, ha qualifica non determinata.”*

5. I codici delle variabili infortunistiche nel dataset INAIL-Regioni ad accesso riservato

Di seguito, si riportano i codici delle variabili infortunistiche, estratti attraverso l'analisi dei n.78 infortuni appartenenti allo scenario B.

Tabella 3. Codici per fattore “Agente materiale”

Agente materiale (dell'attività, del contatto o della deviazione)	Codice
Altre macchine e attrezzature fisse note del gruppo 10, ma non sopra elencate	10990000
Altri agenti materiali non elencati nella presente nomenclatura	99000000
Altri elementi di costruzione, elementi costitutivi di macchine, veicoli	14029900

⁵¹ Nomenclatura Unica delle Professioni

Agente materiale (dell'attività, del contatto o della deviazione)	Codice
Altri rifiuti sfusi noti del gruppo 19, ma non sopra elencati	19990000
Altre superfici sdruciolevoli incluse quelle causate da liquido (diverso da acqua), sostanza sparsa sul terreno (olio, grasso)	0102103
Altri veicoli terrestri noti del gruppo 12, ma non sopra elencati	12990000
Altri utensili a mano per tenere	06129900
Cacciaviti	06050200
Camion, rimorchi e semirimorchi – per il trasporto merci	12010100
Camioncini, furgoni	12020200
Canalizzazioni, (tubi) flessibili, valvole, raccordi, becco erogatore (liquido), erogatori a spruzzo	04010301
Caricatrici, spalatrici e escavatori meccanici	09010203
Carichi movimentati a mano	14120000
Contenitori mobili, benne – imballaggio indeterminato	1107010Y
Convogliatori fissi, attrezzature e sistemi di movimentazione continua - elevatori, a nastro, scale mobili, teleferiche, trasportatori, convogliatori	11010000
Dispositivi di convogliamento, trasporto e stoccaggio - non precisati	11000000
Dispositivi di sicurezza - su macchine	16010000
Edifici, costruzioni, strutture, superfici – in profondità (interno o esterno) – non precisato	03000000
Edifici, superfici a livello del suolo (interne o esterne, fisse o mobili, temporanee o no) - Non precisato	01000000
Elementi da costruzione o elementi costitutivi di macchina, di veicolo, telai, carter, manovelle, ruote etc.	14020000
Ganci, uncini, innesti	11050300
Gru	11030101
Macchine e attrezzature portatili o mobili, non precisate	09000000
Macchine per pitturare, stampare (lavoro in piano) – carte e cartone	1013040E
Manovella	14020300
Materiali, oggetti, prodotti, elementi costitutivi di macchine o veicoli, frammenti, polveri - non precisati	14000000
Mobili	17010000
Nessun agente materiale	00010000
Particelle, polveri	14050200
Particelle, polveri, frammenti, schegge, pezzi, spruzzi, scaglie e altri elementi in frantumi	14050000
Pavimento	01020101
Pezzi lavorati, elementi, parti o utensili di macchine (compresi i frammenti e schegge provenienti da tali agenti materiali)	14030000
Pezzo lavorato	14030100
Pneumatici	14020500
Porte (elementi fissi dell'edificio)	01010200
Prodotti stoccati (oggetti e imballaggi posti in stoccaggio compresi)	14080000
Recipienti, bidoni, fusti, bombole (non per gas) - imballaggio indeterminato	1109020Y
Recipienti morbidi, confezioni plastificate	11090400
Rifiuti sfusi – non precisato	19000000
Scaffali, scaffali per pallets – imballaggio indeterminato	1108010Y
Scale a gradini, scalinate	02010100
Scale fisse (es.scale di sicurezza, scale di emergenza, scale in ferro esterne)	02020100
Scale portatili (a pioli, estensibili, ecc), sgabelli	02030100

Agente materiale (dell'attività, del contatto o della deviazione)	Codice
Schegge, spruzzi, scaglie, pezzi, frammenti, vetri rotti	14050100
Sega per metalli	06010103
Spazzatrice	09040100
Spazzola	06100100
Suoli ingombri (di oggetti piccoli o grandi)	01020104
Superfici e luoghi di transito: suoli (interni o esterni, terreni agricoli, campi sportivi, superfici scivolose, irregolari, ingombre, assi con chiodi)	01020000
Superfici in generale	01020100
Telai, carter	14020100
Terreni sdruciolevoli in seguito a pioggia, neve, ghiaccio	01020102
Trans pallet, muletti	11040104
Trapano portatile (gruppo 07)	07050100
Trasportatore a rulli, piano a rulli	11010602
Utensili a mano senza motore per lucidare, lubrificare, lavare, pulire	06100000
Veicoli terrestri – non precisati	12000000

Tabella 4. Codici per fattore “Deviazione”

Deviazione	Codice
Deviazione dovuta a traboccamento, rovesciamento, perdita, scorrimento, vaporizzazione, emanazione - non precisato	20
Allo stato liquido - perdita, trasudo, fuoruscita, spruzzo, aspersione	22
Polverosità - generazione di fumi, emissione di polveri, particelle	24
Rottura, frattura, scoppio, scivolamento, caduta, crollo dell'agente materiale - non precisato	30
Rottura di materiale, alle giunzioni, alle connessioni	31
Rottura, esplosione con produzione di schegge (legno, vetro, metallo, pietra, plastica, altro)	32
Scivolamento, caduta, crollo di agente materiale posto al di sopra (che cade sulla vittima)	33
Scivolamento, caduta, crollo di agente materiale posto al di sotto (che trascina la vittima)	34
Scivolamento, caduta, crollo di un agente materiale – allo stesso livello	35
Perdita di controllo totale o parziale di mezzo di trasporto/di attrezzatura di movimentazione (motorizzato o no)	42
Perdita di controllo totale o parziale di utensile a mano (motorizzato o no) nonche del materiale lavorato dall'utensile	43
Perdita di controllo totale o parziale di oggetto (portato, spostato, movimentato, ecc.)	44
Scivolamento o inciampamento - con caduta di persona - non precisato	50

Deviazione	Codice
Caduta di persona dall'alto	51
Scivolamento o inciampamento - con caduta di persona - allo stesso livello	52
Movimento del corpo senza sforzo fisico (che porta generalmente a una lesione esterna) - non precisato	60
Essere afferrato, trascinato da qualcosa o dal proprio slancio	63
Movimenti scoordinati, gesti intempestivi, inopportuni	64
Movimento del corpo senza sforzo fisico (che porta generalmente a una lesione interna) - non precisato	70
Sollevando, portando o alzandosi	71
Passo falso, torsione di gamba o caviglia, scivolamento senza caduta	75
Altra deviazione non indicata nella presente nomenclatura	99

Tabella 5. Codici per fattore "Contatto"

Contatto	Codice
Contatto con fiamma viva o con oggetto/ambiente caldo o arroventato	13
Altro contatto conosciuto del gruppo 20 non indicato qui sopra	29
Schiacciamento in movimento verticale o orizzontale su/contro un oggetto immobile (vittima in movimento) - non precisato	30
Movimento verticale, schiacciamento su/contro (caduta)	31
Movimento orizzontale, schiacciamento su/contro	32
Urto da parte di oggetto in movimento, collisione con - non precisato	40
Urto da parte di oggetto in caduta	42
Urto da parte di oggetto che dondola	43
Urto da parte di oggetto in rotazione, movimento, spostamento, ivi inclusi i veicoli	44
Contatto con agente materiale tagliente, appuntito, duro, abrasivo - non precisato	50
Contatto con agente materiale tagliente (coltello/lama)	51
Contatto con agente materiale appuntito (chiodo/utensile acuminato)	52
Contatto con agente materiale duro o abrasivo	53

Contatto	Codice
Altro contatto conosciuto del gruppo 50 non indicato qui sopra	59
Incastramento, schiacciamento ecc. – non precisato	60
Incastramento, schiacciamento in	61
Incastramento, schiacciamento sotto	62
Incastramento, schiacciamento fra	63
Sforzo fisico del corpo, sforzo psichico - non precisato	70
Sforzo fisico a carico del sistema muscolo-scheletrico	71
Altro contatto non indicato in questa nomenclatura	99

Tabella 6. Codici per fattore “Luogo di lavoro”

Luogo di lavoro	Codice
Sito industriale – non precisato	010
Luogo di produzione, officina, laboratorio	011
Area destinata ad operazioni di manutenzione o riparazione	012
Luogo dedicato principalmente al magazzinaggio, al carico, allo scarico	013
Altro tipo di luogo noto del gruppo 010 non indicato sopra	019
Altro tipo di luogo non indicato nella presente nomenclatura	999

Tabella 7. Codici per fattore “Processo di lavoro”

Processo di lavoro	Codice
Produzione, trasformazione, trattamento, magazzinaggio – di ogni tipo – non precisato	10
Produzione, trasformazione, trattamento – di ogni tipo	11
Magazzinaggio – di ogni tipo	12
Altro tipo di lavoro noto del gruppo 10 non indicato sopra	19
Sterro, costruzione, manutenzione e demolizione edili – non precisato	20
Edilizia (costruzione)	22

Processo di lavoro	Codice
Restauro, riparazione, ampliamento - di ogni tipo	24
Attività di servizio all'impresa e/o alla persona umana; lavoro intellettuale – non precisato	40
Manutenzione, riparazione, registrazione, messa a punto	52
Pulizia di locali, di macchine – industriale o manuale	53
Gestione dei rifiuti, raccolta e trattamento dei rifiuti di ogni tipo	54
Circolazione, con o senza mezzi di trasporto	61
Altro tipo di lavoro non indicato nella presente nomenclatura	99

Tabella 8. Codici per fattore “Attività fisica”

Attività fisica	Codice
Operazioni di macchina - non precisata	10
Alimentare la macchina, disalimentare la macchina	12
Sorvegliare, far funzionare la macchina	13
Lavoro con utensili a mano - non precisato	20
Lavorare con utensili a mano manuali	21
Lavorare con utensili a mano motorizzati	22
Alla guida, a bordo di un mezzo di trasporto/attrezzatura di movimentazione - non precisato	30
Condurre un mezzo di trasporto o un'attrezzatura di movimentazione - mobile e motorizzato/a	31
Manipolazione di oggetti - non precisato	40
Prendere in mano, afferrare, strappare, tenere in mano, deporre – su un piano orizzontale	41
Legare, allacciare, sciogliere, disfare, stringere, avvitare, svitare, girare	42
Fissare a, appendere, alzare, installare - su un piano verticale	43
Tirare (ad es. un cassetto), spingere (la porta di un capannone, di un ufficio, d'un armadio)	47
Trasporto manuale - non precisato	50
Trasporto verticale, sollevare, alzare, portare in basso un oggetto	51

Attività fisica	Codice
Trasporto a mano di carichi (portare)	53
Movimenti – non precisato	60
Camminare, correre, salire, scendere etc.	61
Entrare, uscire	62
Alzarsi in piedi, sedersi, ecc.	65
Fare movimenti sul posto	67
Altra attività fisica specifica conosciuta del gruppo 60 non indicata qui sopra	69
Altra attività fisica specifica non indicata in questa nomenclatura	99

I codici contenuti nelle precedenti tabelle sono stati trasformati con la notazione delle matrici identiche attraverso le seguenti matrici di conversione, che hanno accorpato elementi simili per rendere più agevole l'analisi dei dati.

Tabella 9. Matrice di conversione per fattore "Agente materiale"

Agente materiale		
Variabile	Descrizione	Codici Agente materiale
$V_{1,j}$	Elemento della costruzione (es. scale, pavimento etc.)	01000000; 01010200; 01020101; 02010100; 02020100; 02030100; 03000000
$V_{2,j}$	Materiali o parti di macchinari	14000000; 14020000; 14029900
$V_{3,j}$	Utensili	06100100; 07050100; 06100000; 06129900; 06050200; 06010103; 14030000; 14030100; 11050300
$V_{4,j}$	Macchinari	10990000; 09010203; 11010000; 11000000; 16010000; 11030101; 1013040E; 14020300; 09040100; 14020100; 11010602; 09000000; 11040104
$V_{5,j}$	Mezzi di trasporto	12010100; 12020200; 12000000; 12990000
$V_{6,j}$	Rifiuti/frammenti	19990000; 19000000; 14050200; 14050100; 14050000
$V_{7,j}$	Nessun agente	00010000

Agente materiale		
Variabile	Descrizione	Codici Agente materiale
V _{8,j}	Superfici	01020104; 01020000; 01020100; 01020102; 01020103
V _{9,j}	Altro agente materiale	14120000; 1107010Y; 17010000; 14020500; 14080000; 1109020Y; 11090400; 99000000; 1108010Y

Tabella 10. Matrice di conversione per fattore “Attività fisica”

Attività fisica		
Variabile	Descrizione	Codici Attività fisica
V ₁₀	Operazioni con le macchine/mezzi di trasporto	10; 12; 13; 30; 31
V ₁₁	Manipolazione di oggetti	40; 41; 42; 43; 47
V ₁₂	Lavoro con utensili	20; 21; 22
V ₁₃	Trasporto manuale di oggetti	50; 51; 53
V ₁₄	Movimenti a corpo libero	60; 61; 62; 65; 67; 69
V ₁₅	Altre attività fisica	99

Tabella 11. Matrice di conversione per fattore “Contatto”

Contatto		
Variabile	Descrizione	Codici Contatto
V ₁₆	Contatto con fiamma/sorgente di calore	13
V ₁₇	Schiacciamento	30; 31; 32; 60; 61; 62; 63
V ₁₈	Urto con un corpo esterno	40; 42; 43; 44
V ₁₉	Contatto con agente tagliante, abrasivo	50; 51; 52; 53; 59
V ₂₀	Sforzo fisico	70; 71
V ₂₁	Altra modalità di contatto	29; 99

Tabella 12. Matrice di conversione per fattore “Deviazione”

Deviazione		
Variabile	Descrizione	Codici Deviazione
V ₂₂	Perdita di materiale	20; 22; 24
V ₂₃	Rottura di materiale	30; 31; 32
V ₂₄	Perdita di controllo	42; 43; 44; 63
V ₂₅	Caduta	33; 34; 35; 50; 51; 52
V ₂₆	Movimenti del corpo	60; 64; 70; 71; 75
V ₂₇	Altra modalità di deviazione	99

Tabella 13. Matrice di conversione per fattore “Processo di lavoro”

Processo di lavoro		
Variabile	Descrizione	Codici Processo di lavoro
V ₂₈	Trattamento/trasformazione	10; 11
V ₂₉	Magazzinaggio	12
V ₃₀	Lavori edili	20; 22; 24
V ₃₁	Servizi	40
V ₃₂	Manutenzione	52
V ₃₃	Pulizia	53
V ₃₄	Gestione rifiuti	54
V ₃₅	Circolazione, con o senza mezzi	61
V ₃₆	Altro processo di lavoro	19

Tabella 14. Matrice di conversione per fattore “Luogo di lavoro”

Luogo di lavoro		
Variabile	Descrizione	Codici Luogo di lavoro
V ₃₇	Area industriale	010
V ₃₈	Luogo per la manutenzione/produzione	011; 012
V ₃₉	Luogo per lo stoccaggio	013
V ₄₀	Altro luogo di lavoro	019; 999

6. La matrice dei descrittori

La matrice dei descrittori è stata elaborato valutando la presenza (1) assenza (0) di ogni determinante nei n.78 eventi presi come riferimento. Di seguito si riporta la matrice dei descrittori, definita in IBM SPSS Statistics e alla base delle elaborazioni contenute nel cap.4.

Tabella 15. Matrice dei descrittori per gli infortuni INAIL

	Attività dell'infortunato	Materiali	Attrezzature di lavoro	Ambiente
ID	D1	D2	D3	D4
ID_01	1	1	0	0
ID_02	1	0	1	0
ID_03	1	0	1	0
ID_04	1	0	0	1

	Attività dell'infortunato	Materiali	Attrezzature di lavoro	Ambiente
ID	D1	D2	D3	D4
ID_05	0	0	0	1
ID_06	0	0	1	0
ID_07	1	0	1	0
ID_08	1	0	0	1
ID_09	1	0	1	0
ID_10	1	0	0	0
ID_11	1	0	1	0
ID_12	0	0	1	1
ID_13	1	0	1	0
ID_14	0	1	0	1
ID_15	1	0	0	0
ID_16	1	0	1	0
ID_17	1	0	0	0
ID_18	1	0	1	0
ID_19	1	0	1	0
ID_20	1	0	1	0
ID_21	1	0	1	0
ID_22	1	0	0	0
ID_23	1	0	1	0
ID_24	1	0	1	0
ID_25	1	0	1	0
ID_26	0	0	0	1
ID_27	0	0	0	1
ID_28	0	0	0	1
ID_29	0	0	0	1
ID_30	1	0	0	0
ID_31	1	0	1	0
ID_32	1	1	0	0
ID_33	1	0	1	0
ID_34	0	0	1	0
ID_35	0	0	1	0

	Attività dell'infortunato	Materiali	Attrezzature di lavoro	Ambiente
ID	D1	D2	D3	D4
ID_36	1	0	0	1
ID_37	0	0	0	0
ID_38	0	0	0	1
ID_39	0	0	0	1
ID_40	0	0	0	1
ID_41	1	0	0	1
ID_42	1	0	0	1
ID_43	1	0	1	0
ID_44	1	0	1	0
ID_45	0	0	0	1
ID_46	1	0	0	1
ID_47	0	0	0	1
ID_48	1	0	0	0
ID_49	0	0	0	0
ID_50	1	0	0	0
ID_51	0	0	1	1
ID_52	1	0	0	0
ID_53	0	0	1	0
ID_54	1	1	0	0
ID_55	0	0	1	0
ID_56	1	0	0	1
ID_57	1	0	0	0
ID_58	1	0	0	0
ID_59	1	0	1	0
ID_60	0	0	1	0
ID_61	1	0	0	1
ID_62	0	0	1	0
ID_63	0	0	1	0
ID_64	0	1	0	0
ID_65	1	0	1	0
ID_66	1	0	1	0

	Attività dell'infortunato	Materiali	Attrezzature di lavoro	Ambiente
ID	D1	D2	D3	D4
ID_67	1	1	0	0
ID_68	1	0	1	0
ID_69	1	0	0	0
ID_70	1	0	0	0
ID_71	0	0	1	0
ID_72	1	0	1	0
ID_73	1	0	1	0
ID_74	1	0	1	0
ID_75	0	0	0	0
ID_76	0	0	0	1
ID_77	1	1	0	0
ID_78	1	0	0	0

Appendice C

1. Prime indicazioni in materia di salute e sicurezza sul lavoro

Tra le finalità principali della progettazione, il legislatore ha previsto anche “*il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza*” con l’articolo 23, comma 1 del Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50 (e ss.mm.ii.).

Così come previsto dall’art. 216 D.Lgs. 50/2016 ss.mm.ii., in assenza ancora di uno specifico regolamento, i contenuti dei livelli della progettazione sono disciplinati dal D.P.R. 207/2010. In particolare, nell’art. 17 comma 2 di tale decreto sono individuati i contenuti minimi del documento contenente le “Prime indicazioni in materia di salute e sicurezza sul lavoro”, ossia:

- a) *l'identificazione e la descrizione dell'opera, esplicitata con:*
 - 1. *la localizzazione del cantiere e la descrizione del contesto in cui è prevista l'area di cantiere;*
 - 2. *una descrizione sintetica dell'opera, con riferimento alle scelte progettuali preliminari individuate nella relazioni di cui agli articoli 18 e 19;*
- b) *una relazione sintetica concernente l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento all'area ed all'organizzazione dello specifico cantiere nonché alle lavorazioni interferenti;*
- c) *le scelte progettuali ed organizzative, le procedure e le misure preventive e protettive, in riferimento all'area di cantiere, all'organizzazione del cantiere, e alle lavorazioni;*
- d) *la stima sommaria dei costi della sicurezza, determinata in relazione all'opera da realizzare sulla base degli elementi di cui alle lettere da a) a c) secondo le modalità di cui all'articolo 22, comma 1, secondo periodo.*

Appendice D

1. Metodologia di raccolta delle informazioni del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche

A seguito della sentenza della Corte di Giustizia Europea del 2 dicembre 2014, che condannava l'Italia al pagamento di 40 milioni di euro per inadempienze connesse all'errata gestione delle discariche, nel 2017, con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, è stato nominato un Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche, a capo di una struttura appositamente dedicata alla gestione dei procedimenti di risanamento delle discariche oggetto di infrazione europea.

A seguito dell'esperienza maturata nel corso degli anni, la Struttura Commissariale ha definito una metodologia per la raccolta dei dati relativi ad ogni sito di discarica di propria competenza, mutuata dall'esperienza dei Carabinieri Forestali. In particolare, per ogni sito di discarica la struttura si prevede l'elaborazione di tre schede (liberamente accessibili sul portale web):

- La scheda geografica, che contiene la storia generale del territorio in cui insiste la discarica con un inquadramento storico/politico/geologico e ambientale (es. dati su provincia, coordinate, tipologia di superficie, la densità abitativa, la classificazione sismica, presenza di eventuali aree naturali protette etc.);
- La scheda Fossir, che fornisce informazioni in merito alla geolocalizzazione del sito (provincia, comune di pertinenza, coordinate geografiche etc.), al numero della particella catastale di riferimento, alla rete stradale di accesso al sito e al numero di sopralluoghi eseguiti;
- La scheda operativa, che fornisce una sintesi delle attività amministrative e tecniche svolte dalla Struttura e dai vari enti coinvolti nel procedimento di bonifica del sito (es. stipula di accordi di programma, organizzazione di riunioni con gli enti locali, esecuzione di attività di caratterizzazione o analisi di rischio, redazione di documentazione per gare d'appalto dei lavori etc.).

Inoltre, per ogni sito risanato la Struttura Commissariale ha previsto la redazione di un atto ufficiale denominato "Determina di conclusione del procedimento ai sensi dell'art 242 del D.Lgs. 152/2006", che in maniera univoca e sotto la responsabilità del Commissario, riepiloga alla Commissione Europea i momenti salienti del procedimento amministrativo, ossia:

- le varie fasi del processo,
- le ragioni per cui si è giunti a ritenere il sito in sicurezza,

- le azioni amministrative e tecniche messe in atto.

Infine, la Struttura Commissariale comunica sul proprio portale web i risultati delle attività in forma aggregata attraverso l'elaborazione di una relazione semestrale che consente di tener traccia dei siti via via risanati e quindi non più oggetto di sanzione europea.

2. Open Data di Roma Capitale

Nell'ambito delle Linee programmatiche 2016-2021 per il governo di Roma Capitale, è stata definita una linea di indirizzo, denominata "Roma Semplice", che ha previsto lo sviluppo del portale Open Data *"quale strumento di trasparenza per l'attuazione dell'Open Government e quale tematica rispetto alla quale attivare un programma di formazione dei dipendenti capitolini per migliorarne le competenze digitali"* [Roma Capitale, 2022]. Tutti i dati contenuti nei Dataset sono pubblicati secondo le norme della licenza Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0) e sono disponibili in diversi formati, tra cui lo standard CSV (elaborabile in Microsoft Excel). I dati sono distribuiti con licenza d'uso CC BY 4.0.

Il portale Open Data è organizzato in 11 categorie così denominate:

1. Ambiente;
2. Anagrafe e servizi civici;
3. Commercio e impresa;
4. Cultura;
5. Istruzione;
6. Mobilità e Trasporti;
7. Sicurezza Urbana;
8. Sociale;
9. Sport;
10. Sociale;
11. Territorio.

I dati di incidentalità comunale sono ricompresi nella categoria n.6 e derivano da diverse strutture di Roma Capitale (es. Ufficio Stampa; Corpo di Polizia Locale Roma Capitale etc.). Tutti gli eventi ivi compresi riguardano la rete stradale di competenza comunale (con esclusione del Grande Raccordo Anulare) e hanno richiesto l'intervento di una pattuglia della Polizia Locale.

Ciascun record del dataset sull'incidentalità stradale costituisce la narrazione dell'evento a partire dal punto di vista di un individuo coinvolto nell'incidente come pedone, passeggero, conducente di un mezzo etc. Quindi, lo stesso evento (identificato in maniera univoca da un numero di protocollo, tratto dal verbale di incidente) può essere presente

più volte nel dataset, anche in ragione del numero di veicoli coinvolti (identificati in maniera univoca attraverso un “progressivo”).

La descrizione degli eventi avviene per mezzo di n.37 variabili (prevalentemente di tipologia testuale). Per alcune di queste, ancorché utili all’analisi della dinamica incidentale, non sempre sono riportate le informazioni (es. illuminazione, cintura/casco, airbag etc.).

Di seguito si riporta la legenda di organizzazione del dataset di partenza.

Tabella 1. Legenda per gli incidenti stradali di Roma Capitale

	Variabile	Tipologia
1	Protocollo	Numero
2	Gruppo di polizia locale	Numero
3	Data e ora incidente	Timestamp
4	Localizzazione 1	testuale
5	Strada 1	testuale
6	Localizzazione 2	testuale
7	Strada 2	testuale
8	Strada02	testuale
9	Chilometrica	testuale
10	Da Specificare	testuale
11	Natura Incidente	testuale
12	Particolarità strade	testuale
13	Tipo strada	testuale
14	Fondo Stradale	testuale
15	Pavimentazione	testuale
16	Segnaletica	Testuale
17	Condizione atmosferica	Testuale
18	Traffico	Testuale
19	Visibilità	Testuale
20	Illuminazione	testuale
21	Num_feriti	numero
22	Num_riservata	numero
23	Num_morti	numero

	Variabile	Tipologia
24	Num_illesi	numero
25	Longitudine	numero
26	Latitudine	numero
27	Confermato	numero
28	Progressivo	numero
29	Tipo Veicolo	testuale
30	Stato Veicolo	testuale
31	Tipo Persona	testuale
32	Sesso	testuale
33	Tipo lesione	testuale
34	Deceduto	testuale
35	Deceduto Dopo	testuale
36	Cintura Casco utilizzato	testuale
37	Airbag	testuale

3. Matrice dei descrittori per gli Open Data di Roma Capitale

La matrice dei descrittori è stata elaborata valutando la presenza (1) assenza (0) dei n.4 determinanti di cui al cap.7 nei n.166 eventi. Di seguito si riporta la matrice dei descrittori per lo studio di incidentalità, definita in IBM SPSS Statistics e alla base delle elaborazioni contenute nel cap.7.

Tabella 2. Matrice dei determinanti per gli incidenti stradali di Roma Capitale

	DETERMINANTI			
	PAVIMENTAZIONE STRADALE	VISIBILIBILITA'	TRAFFICO	SEGNALETICA
ID INCIDENTE	D1	D2	D3	D4
5219939	1	1	0	0
5227991	0	1	0	1
5233706	1	0	1	0
5239917	0	0	0	1
5254605	0	0	0	1
5257403	1	1	0	0
5260843	0	0	0	1
5261118	1	0	1	0
5280312	1	1	0	0

ID INCIDENTE	DETERMINANTI			
	PAVIMENTAZIONE STRADALE	VISIBILIBILITA'	TRAFFICO	SEGNALETICA
	D1	D2	D3	D4
5308022	0	0	1	0
5359460	0	0	1	0
5378910	0	1	1	0
5394558	1	0	0	0
5403597	0	0	1	0
5416898	0	0	1	0
5417846	1	0	0	0
5428959	0	0	1	0
5456762	0	0	1	0
5473077	0	0	0	1
5481687	0	0	1	0
5512971	0	1	0	1
5514923	0	1	0	0
5519303	0	0	1	0
5523204	0	0	1	0
5544853	0	0	1	0
5568913	0	0	1	0
5587154	0	0	1	0
5605881	0	0	1	0
5609072	0	0	1	0
5627224	1	0	0	0
5658559	1	0	1	1
5689032	0	0	0	1
5702914	0	0	0	1
5708917	0	0	1	0
5717895	1	1	0	0
5723126	1	1	0	0
5743408	0	0	1	0
5752074	0	0	1	0
5755027	1	0	0	0
4739188	1	1	0	1
4776570	0	0	1	1
4827243	0	0	1	0
4840851	0	0	1	0
4951411	0	0	1	0
4963029	0	0	0	1
4979023	0	0	1	0
4986025	0	0	0	1
4999394	0	0	0	1
4999437	0	0	1	0

ID INCIDENTE	DETERMINANTI			
	PAVIMENTAZIONE STRADALE	VISIBILIBILITA'	TRAFFICO	SEGNALETICA
	D1	D2	D3	D4
4999779	0	1	0	1
5005113	0	0	0	1
5005899	0	0	0	1
5029586	0	0	0	1
5044215	0	0	1	0
5044491	0	0	0	1
5069991	1	0	0	0
5109421	0	0	1	0
5151475	0	0	1	0
5190445	1	1	0	0
5196809	0	0	1	1
4162463	0	0	1	0
4167309	0	0	1	1
4168594	0	0	1	0
4180848	0	0	1	1
4234293	0	0	0	1
4246090	0	0	1	0
4255807	0	0	1	0
4271650	0	0	0	1
4293580	1	1	0	0
4295226	0	0	1	0
4321903	0	0	1	0
4321903	0	0	1	0
4358573	1	1	0	0
4360833	0	0	1	0
4363365	0	0	0	1
4408097	0	0	1	0
4419919	0	0	1	0
4435262	0	0	0	1
4475477	0	0	1	0
4489977	0	0	0	1
4493764	0	0	1	0
4531051	1	0	0	0
4601598	0	0	1	0
4628041	0	0	0	1
4629696	0	0	1	0
4652214	1	0	0	0
4655205	0	0	1	0
4662933	1	0	0	1
4686843	0	0	1	0

ID INCIDENTE	DETERMINANTI			
	PAVIMENTAZIONE STRADALE	VISIBILIBILITA'	TRAFFICO	SEGNALETICA
	D1	D2	D3	D4
4687998	1	0	0	0
4697683	0	0	1	0
3632915	0	1	0	0
3666152	1	1	0	0
3666869	1	0	0	0
3684188	1	1	0	1
3689046	1	1	0	0
3704802	0	0	0	1
3715452	1	1	0	1
3719481	0	0	1	0
3721356	0	0	1	0
3757503	1	0	0	0
3762778	0	0	1	0
3777515	0	0	0	1
3777525	0	0	0	1
3782633	0	0	1	0
3793888	0	0	1	0
3803506	0	0	0	1
3805722	1	0	0	0
3808337	1	0	0	0
3824879	1	0	0	0
3846932	0	1	0	0
3867080	0	0	0	1
3879665	0	0	1	0
3890568	0	0	0	1
3903958	0	0	0	1
3974131	0	0	1	0
3987602	0	0	1	0
4021663	0	0	1	0
4022125	1	1	0	0
4039669	0	0	0	1
4061456	1	1	0	0
4077421	0	0	0	1
4081552	0	1	0	0
4096596	1	0	0	0
4100323	0	0	1	0
4101461	1	0	0	1
4109205	1	0	0	0
4111072	0	0	0	1
4133804	0	0	1	0

ID INCIDENTE	DETERMINANTI			
	PAVIMENTAZIONE STRADALE	VISIBILIBILITA'	TRAFFICO	SEGNALETICA
	D1	D2	D3	D4
4134516	1	0	0	0
4158340	0	1	0	1
3130668	0	0	1	0
3147874	1	1	0	0
3147909	0	0	0	1
3151192	0	0	0	1
3179134	0	0	1	0
3182209	0	0	0	1
3204696	0	0	0	1
3215535	0	0	1	0
3219461	0	0	1	0
3256654	0	0	1	0
3295676	0	0	0	1
3318142	0	0	1	0
3319296	0	0	1	0
3319313	0	0	1	0
3320645	0	1	0	0
3348705	0	0	1	0
3359404	0	1	0	0
3388179	0	1	0	0
3391823	0	0	1	0
3417209	0	0	1	0
3418750	0	0	1	0
3419407	0	0	0	1
3442738	0	0	1	0
3454027	0	0	0	1
3457245	0	0	0	1
3461600	0	0	1	0
3475945	0	1	0	0
3508834	0	0	0	1
3520037	0	0	1	0
3523516	0	0	1	0
3556665	0	0	1	0
3575318	1	0	1	0
3607483	0	0	1	0
3610430	0	0	1	0
3611638	0	0	1	0

Bibliografia

Abrari Vajari, M., Aghabayk, K., Sadeghian, M., & Moridpour, S. (2022). Modelling the Injury Severity of Heavy Vehicle Crashes in Australia. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 46(2), 1635–1644. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00673-0>

Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). (2008). Landfill Gas Basics (Chapter 2). In *Landfill Gas Primer: An Overview for Environmental Health Professionals* (pp. 3–14).

American Institute of Chemical Engineers. (2018). Chapter 2. The bow tie model. In *Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety* (pp. 15–52).

Aneziris, O. N., Topali, E., & Papazoglou, I. A. (2012). Occupational risk of building construction. *Reliability Engineering and System Safety*, 105, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.11.003>

APAT. (2006). *Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati*.

Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, F., & Sambuco, S. (2015). A comparison between environmental sustainability rating systems LEED and ITACA for residential buildings. *Building and Environment*, 86, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.001>

Basile, O. (2012). *Strumenti per la valutazione di impatto sulla sicurezza di interventi sulla rete stradale*. Sapienza Università di Roma.

Bemporad, E., Berardi, S., Campanari, S., & Ledda, A. (2019). Ergonomic Issues and Innovations in Personal Protective Equipment for Contaminated Sites Considering European Regulation 425/2016. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 819, 124–131. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96089-0_13

Berardi, S., Bogliolo, M. P., Lombardi, M., Mauro, F., Napoleoni, Q., & Sabatino, R. (2020). La pianificazione della sicurezza nei progetti di bonifica dei siti contaminati. *SiCon 2020. Siti Contaminati - Esperienze Negli Interventi Di Risanamento*.

Bokowa, A., Diaz, C., Koziel, J. A., McGinley, M., Barclay, J., Schauburger, G., Guillot, J. M., Sneath, R., Capelli, L., Zorich, V., Izquierdo, C., Bilsen, I., Romain, A. C., Del Carmen Cabeza, M., Liu, D., Both, R., Van Belois, H., Higuchi, T., & Wahe, L. (2021). Summary and overview of the odour regulations worldwide. *Atmosphere*, 12(2), 1–53. <https://doi.org/10.3390/atmos12020206>

- Bove, R., & Lunghi, P. (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12), 1391–1401. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.08.017>
- Brusco, A. (2012). L'INAIL nel sistema informativo sulle professioni: descrizione del sistema e approccio statistico metodologico alla condivisione della base dati. *Rivista Degli Infortuni e Delle Malattie Professionali*, 1, 255–268.
- Campo, G., Guglielmi, A., Marconi, M., & Pianosi, G. (2006). La ricostruzione delle cause e delle dinamiche infortunistiche negli ambienti di lavoro attraverso il modello “Sbagliando s’impara.” *Prevenzione Oggi*, 2(1–2), 27–40.
- Campo, Giuseppe, Cegolon, L., De Merich, D., Fedeli, U., Pellicci, M., Heymann, W. C., Pavanello, S., Guglielmi, A., & Mastrangelo, G. (2020). The italian national surveillance system for occupational injuries: Conceptual framework and fatal outcomes, 2002–2016. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207631>
- Cardarelli, E., & Di Filippo, G. (2004). Integrated geophysical surveys on waste dumps: Evaluation of physical parameters to characterize an urban waste dump (four case studies in Italy). *Waste Management and Research*, 22(5), 390–402. <https://doi.org/10.1177/0734242X04046042>
- CARE Team (EC). (2021). *CARE Database - CADaS*.
- Chand, A., Jayesh, S., & Bhasi, A. B. (2021). Road traffic accidents: An overview of data sources, analysis techniques and contributing factors. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5135–5141. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.415>
- Chang, J. I., & Lin, C. C. (2006). A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(1), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>
- Chavan, D., Lakshmikanthan, P., Mondal, P., Kumar, S., & Kumar, R. (2019). Determination of ignition temperature of municipal solid waste for understanding surface and sub-surface landfill fire. *Waste Management*, 97, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.002>
- Chiemchaisri, C., Juanga, J. P., & Visvanathan, C. (2007). Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1–3), 13–20. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9707-1>
- Chim, B.L.H.; Ting, C.Y.; Wah, F.K.; Kah, K. S. (2020). The Potential of Implementing Smart Personal Protective Equipment (PPE) To Minimize Work Related Injuries in

Construction Sites. *INTI Journal*, 17.
http://eprints.intimal.edu.my/1425/1/vol.2020_017.pdf

Chumha, N., Funsueb, S., Kittiwachana, S., Rattanapattanakul, P., & Lertrakarnnon, P. (2020). An artificial neural network model for assessing frailty-associated factors in the Thai population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186808>

Colombaroni, C., Fusco, G., & Isaenko, N. (2020). Analysis of Road Safety Speed from Floating Car Data. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 898–905. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.078>

Comba, P.; Bianchi, F.; Fazzo, L.; Martina, L. et al. (2006). Cancer Mortality in an Area of Campania (Italy) Characterized by Multiple Toxic Dumping Sites. *Ann. N.Y. Acad. Sci*, 1076(1), 449–461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1196/annals.1371.067>

Comberti, L., Demichela, M., Baldissoni, G., Fois, G., & Luzzi, R. (2018). Large occupational accidents data analysis with a coupled unsupervised algorithm: The S.O.M. k-means method. An application to the wood industry. *Safety*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/safety4040051>

Comi, Antonio; Persia, Luca; Nuzzolo, Agostino; Polimeni, A. (2019). Exploring Temporal and Spatial Structure of Urban Road Accidents: Some Empirical Evidences from Rome. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 879, 147–155. https://doi.org/https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02305-8_18

Comi, A., Polimeni, A., & Balsamo, C. (2022). Road Accident Analysis with Data Mining Approach: Evidence from Rome. *Transportation Research Procedia*, 62, 798–805. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.099>

Cossu, R.; Raga, R.; Repetti, R.; Salieri, V.; Simion, F. (2010). *SVILUPPO DI UN PROGETTO DI LANDFILL MINING Rapporto Finale*.

Dai, F. (2019). *Measuring Current Traffic Safety Culture via Social Media Mining Report Prepared by: Department of Civil and Environmental Engineering*. http://wtsc.wa.gov/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/10/Measuring-Traffic-Safety-Culture-via-Social-Media-Mining_Oct2019-1.pdf

Darabont, D. C., Antonov, A. E., & Bejinariu, C. (2017). Key elements on implementing an occupational health and safety management system using ISO 45001 standard. *MATEC Web of Conferences*, 121 (11007). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712111007>

- Demichela, M., Baldissone, G., & Murè, S. (2011). Advanced tools for occupational accidents data collection and analysis. *Safety and Reliability*, 31(3), 61–72. <https://doi.org/10.1080/09617353.2011.11690944>
- Di Fiore, V., Cavuoto, G., Punzo, M., Tarallo, D., Casazza, M., Guarriello, S. M., & Lega, M. (2017a). Integrated hierarchical geo-environmental survey strategy applied to the detection and investigation of an illegal landfill: A case study in the Campania Region (Southern Italy). *Forensic Science International*, 279, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.016>
- Di Fiore, V., Cavuoto, G., Punzo, M., Tarallo, D., Casazza, M., Guarriello, S. M., & Lega, M. (2017b). Integrated hierarchical geo-environmental survey strategy applied to the detection and investigation of an illegal landfill: A case study in the Campania Region (Southern Italy). *Forensic Science International*, 279, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.016>
- Dobromirov, V., Meike, U., Evtiukov, S., & Bardyshev, O. (2020). Safety of transporting granular road construction materials in urban environment. *Transportation Research Procedia*, 50, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.011>
- Duc Luong, N., Minh Giang, H., Xuan Thanh, B., & The Hung, N. (2013). Challenges for municipal solid waste management practices in Vietnam. *Waste Technology*, 1(1), 17–21. <https://doi.org/10.12777/wastech.1.1.2013.17-21>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2002). *Technical Approaches to Characterizing and Redeveloping Brownfields Sites : Municipal Landfills and Illegal Dumps Site Profile* (Issue January).
- Environmental Protection Authority (EPA). (2015). *Illegal Dumping Research Report*. www.epa.nsw.gov.au
- European Transport Safety Council. (2017). *Preventing Drug Driving in Europe*. <https://etsc.eu/preventing-drug-driving-in-europe/>
- Eurostat. (2013). *European Statistics on Accidents at Work (ESAW)*. <https://doi.org/10.2785/40882>
- Eurostat. (2019). *Eurostat Accidents at Work—Statistics by Economic Activity*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_-_statistics_by_economic_activity
- Evgenikos, P., Yannis, G., Folla, K., Bauer, R., MacHata, K., & Brandstaetter, C. (2016). Characteristics and Causes of Heavy Goods Vehicles and Buses Accidents in Europe. *Transportation Research Procedia*, 14, 2158–2167. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.231>

- Fargnoli, M. (2021). Design for Safety and Human Factors in Industrial Engineering: A review towards a unified framework. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Singapore*, 7–11.
- Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2019). Preliminary Human Safety Assessment (PHSA) for the Improvement of the Behavioral Aspects of Safety Climate in the Construction Industry. *Buildings* 2019, Vol. 9, Page 69, 9(3), 69. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9030069>
- Fazzo, Lucia; Minichelli, Fabrizio; Pirastu, Roberta; Bellino, Mirella; Falleni, Fabrizio; Comba, Pietro; Bianchi, F. (2014). A meta-analysis of mortality data in Italian contaminated sites with industrial waste landfills or illegal dumps. *Ann Ist Super Sanità*, 50(3), 278–285. https://doi.org/10.4415/ANN_14_03_10
- Fazzo, L., De Santis, M., Beccaloni, E., Scaini, F., Iavarone, I., Comba, P., & Airoma, D. (2020). A Geographic Information System-Based Indicator of Waste Risk to Investigate the Health Impact of Landfills and Uncontrolled Dumping Sites. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5789. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165789>
- Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P., & Veitch, B. (2013). Analyzing system safety and risks under uncertainty using a bow-tie diagram: An innovative approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 91(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.08.010>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Gannapathy, V. R., Subramaniam, S. K., Diah, a B. M., Suaidi, M. K., & Hamidon, a H. (2008). Risk Factors in a Road Construction Site. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 46, 640–643.
- Gao, R., Chan, A. P. C., Utama, W. P., & Zahoor, H. (2017). Workers' Perceptions of Safety Climate in International Construction Projects: Effects of Nationality, Religious Belief, and Employment Mode. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(4), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001226](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001226)
- Gibellini, S., & Vaccari, M. (2020). Application of risk analysis to landfills in Italy: Developed and tested methodology at provincial level. *Waste Management & Research*, 0734242X2094448. <https://doi.org/10.1177/0734242X20944484>
- Glanville, K., & Chang, H. C. (2015). Remote sensing analysis techniques and sensor requirements to support the mapping of illegal domestic waste disposal sites in

Queensland, Australia. *Remote Sensing*, 7(10), 13053–13069.
<https://doi.org/10.3390/rs71013053>

Gochfeld, M., Volz, C. D., Burger, J., Jewett, S., Powers, C. W., & Friedlander, B. (2006). Developing a health and safety plan for hazardous field work in remote areas. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3(12), 671–683.
<https://doi.org/10.1080/15459620601009201>

Goldberg, M.S.; Homsy, N.A.; Goulet, L.; Riberdy, H. (1995). Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal. *Quebec. Arch. Environ. Health*, 50, 416–424.

Górny, A. (2017). Identification of occupational accident causes by use the Ishikawa diagram and Pareto principles Economics & Management Innovations (ICEMI) Identification of occupational accident causes by use the Ishikawa diagram and Pareto principles. *Economics & Management Innovations (ICEMI)*, 1(1), 384–388.

Greiser, E.; Lotz, I.; Brand, H.; Weber, H. (1991). Increased incidence of leukemias in the vicinity of a previous industrial waste dump in North Rhine Westfalia, West Germany. *Am. J. Epidemiol.*, 134, 755.

Griffith, J.; Duncan, R.C.; Riggan, W.B.; Pellom, A. C. (1989). Cancer mortality in U.S. countries with hazardous waste sites and ground water pollution. *Arch. Environ. Health*, 44, 69–74.

Gupta, M., Solanki, V. K., & Singh, V. K. (2017). Analysis of Datamining Technique for Traffic Accident Severity Problem: A Review. *Proceedings of the Second International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering*, 10, 197–199.
<https://doi.org/10.15439/2017r121>

Gutierrez-Osorio, C., & Pedraza, C. (2020). Modern data sources and techniques for analysis and forecast of road accidents: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), 432–446. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.002>

Haber, N., Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2018). A fuzzy-QFD approach for the enhancement of work equipment safety: a case study in the agriculture sector. *International Journal of Reliability and Safety*, 12(3), 306.
<https://doi.org/10.1504/IJRS.2018.10016368>

Ichinose, D., & Yamamoto, M. (2011). On the relationship between the provision of waste management service and illegal dumping. *Resource and Energy Economics*, 33(1), 79–93. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2010.01.002>

Idowu, I. A., Atherton, W., Hashim, K., Kot, P., Alkhaddar, R., Alo, B. I., & Shaw, A. (2019). An analyses of the status of landfill classification systems in developing

- countries: Sub Saharan Africa landfill experiences. *Waste Management*, 87, 761–771. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.011>
- Idris, A., Inanc, B., & Hassan, M. N. (2004). Overview of waste disposal and landfills/dumps in Asian countries. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s10163-004-0117-y>
- INAIL. (2002). *Database Infor.Mo*. <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>
- International Standard Organization (ISO). (2018). *ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*.
- Isaenko, N., Colombaroni, C., & Fusco, G. (2017). Traffic dynamics estimation by using raw floating car data. *5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2017 - Proceedings*, 704–709. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005604>
- ISI. (2022). *ENVISION: The Blueprint for Sustainable Infrastructure*. <https://sustainableinfrastructure.org/envision/overview-of-envision/>
- Ismail, S., Taib, A. M., Rahman, N. A., Hasbollah, D. Z. A., & Ramli, A. B. (2019). Slope stability of landfill with waste degradation. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(1), 393–398. <https://doi.org/10.35940/ijitee.A4148.119119>
- Jacinto, C., & Soares, C. G. (2008). The added value of the new ESAW/Eurostat variables in accident analysis in the mining and quarrying industry. *Journal of Safety Research*, 39(6), 631–644. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.10.009>
- Jahanfar, A., Amirmojahedi, M., Gharabaghi, B., Dubey, B., McBean, E., & Kumar, D. (2017). A novel risk assessment method for landfill slope failure: Case study application for Bhalswa Dumpsite, India. *Waste Management and Research*, 35(3), 220–227. <https://doi.org/10.1177/0734242X16686412>
- Komínková, D., Fabbicino, M., Gurung, B., Race, M., Tritto, C., & Ponzio, A. (2018). Sequential application of soil washing and phytoremediation in the land of fires. *Journal of Environmental Management*, 206, 1081–1089. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.080>
- Krook, J., Svensson, N., & Eklund, M. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management*, 32(3), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.015>

- Kubba, S. (2016). Basic LEED™ Concepts. *LEED v4 Practices, Certification, and Accreditation Handbook*, 29–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803830-7.00002-5>
- Kuşkapan, E., Çodur, M. Y., & Atalay, A. (2021). Speed violation analysis of heavy vehicles on highways using spatial analysis and machine learning algorithms. *Accident Analysis and Prevention*, 155(February). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106098>
- Laflamme, L. (2000). *Modelli e metodi per l'analisi degli infortuni sul lavoro: dall'organizzazione del lavoro alle strategie di prevenzione. Versione italiana a cura di G Pianosi.* (ARPAT (ed.)).
- Lambrechts, D., & Hector, M. (2016). Environmental Organised Crime: The Dirty Business of Hazardous Waste Disposal and Limited State Capacity in Africa. *Politikon*, 43(2), 251–268. <https://doi.org/10.1080/02589346.2016.1201727>
- Larose, D. T. (2005). *Discovering knowledge in data. An Introduction to Data Mining.* Wiley Interscience.
- Ledda, A, Mauro, F., Guercio, A., & Bemporad, E. (2019). Using smart PPE in waste management: advantages and disadvantages. *7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, 1–11.
- Ledda, Alessandro, & Palomba, R. (2019). Innovative Wearable Systems for Improving Workers' Safety. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1018, 332–337. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_51
- Lehto, M.R.; Cook, B. T. (2012). Chapter 25 - Occupational health and safety management. In *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 701–733).
- Limoli, A., Garzia, E., De Pretto, A., & De Muri, C. (2019). Illegal landfill in Italy (EU)—a multidisciplinary approach. *Environmental Forensics*, 20(1), 26–38. <https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1566291>
- Lindberg, A.-K., & Ove Hansson, S. (2006). Evaluating the Effectiveness of an Investigation Board for Workplace Accidents. *Policy and Practice in Health and Safety*, 4(1), 63–79. <https://doi.org/10.1080/14774003.2006.11667676>
- Lindberg, A. K., Hansson, S. O., & Rollenhagen, C. (2010). Learning from accidents - What more do we need to know? *Safety Science*, 48(6), 714–721. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.004>
- Lombardi, M., Fargnoli, M., & Parise, G. (2019). Risk Profiling from the European Statistics on Accidents at Work (ESAW) Accidents Databases : A Case Study in Construction Sites. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

- Luo, T. (2020). Safety climate: Current status of the research and future prospects. *Journal of Safety Science and Resilience*, 1(2), 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2020.09.001>
- Malinowski, M., Wolny-Koładka, K., & Jastrzębski, B. (2015). Characteristics of illegal dumping sites – case study: watercourses. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 4(August 2016), 1475–1484. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2015.4.4.106>
- Mangones M, S. C., García M, J. A., Holguín M, D. O., & Orejuela L, D. A. (2021). Differences in road-Traffic crash rates during construction and non-construction times on arterial streets: A comparative statistical analysis. *Transportation Research Procedia*, 58, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.060>
- Manzoli, L.; Villari, P.; Boccia, A. (2008). *Epidemiologia e management in sanità. Elementi di metodologia*. (Ed. Ermes).
- Marchetti, M., Cafarella, L., Di Mauro, D., & Zirizzotti, A. (2002a). Ground magnetometric surveys and integrated geophysical methods for solid buried waste detection: A case study. *Annals of Geophysics*, 45(3–4), 563–573. <https://doi.org/10.4401/ag-3519>
- Marchetti, M., Cafarella, L., Di Mauro, D., & Zirizzotti, A. (2002b). Ground magnetometric surveys and integrated geophysical methods for solid buried waste detection: A case study. *Annals of Geophysics*, 45(3–4), 563–573. <https://doi.org/10.4401/ag-3519>
- Marhavilas, P., Koulouriotis, D., & Mitrakas, C. (2014). Fault and event-tree techniques in occupational health-safety systems – part I: Integrated risk-evaluation scheme. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(8), 2097–2108. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.232>
- Mazza, A., Piscitelli, P., Neglia, C., Rosa, G. Della, & Iannuzzi, L. (2015). Illegal dumping of toxic waste and its effect on human health in Campania, Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6818–6831. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606818>
- Nikulin, A., Ikonnikov, D., & Dolzhikov, I. (2019). Smart Personal Protective Equipment in the Coal Mining Industry. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(3), 2009–2020. <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp2009http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JTtype=IJCIET&VType=10&IType=3http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JTtype=IJCIET&VType=10&IType=3>

- Nikulin, A., & Romanov, A. (2017). Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection. *Ecology, Environment and Conservation*, 23(1), 384–389.
- Njoku, P. O., Edokpayi, J. N., & Odiyo, J. O. (2019). Health and environmental risks of residents living close to a landfill: A case study of thohoyandou landfill, Limpopo province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12), 10–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph16122125>
- O’ Hare, P. (2019). ‘The landfill has always borne fruit’: precarity, formalisation and dispossession among Uruguay’s waste pickers. *Dialectical Anthropology*, 43(1), 31–44. <https://doi.org/10.1007/s10624-018-9533-6>
- Regulation 1910.120 - Hazardous waste operations and emergency response., (1990). <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.120>
- Orlando, L., & Marchesi, E. (2001). Georadar as a tool to identify and characterise solid waste dump deposits. *Journal of Applied Geophysics*, 48(3), 163–174. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00088-X)
- Palamara, F., Piglione, F., & Piccinini, N. (2011). Self-Organizing Map and clustering algorithms for the analysis of occupational accident databases. *Safety Science*, 49(8–9), 1215–1230. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.003>
- Parlamento Europeo. (2021). *Quadro strategico dell’Europa in materia di sicurezza stradale 2021-2030 — Raccomandazioni sulle prossime tappe verso l’obiettivo «zero vittime»*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Transport_statistics_at_regional_level#Road_safety
- Persia, L., Gigli, R., Azarko, A., & Shingo Usami, D. (2020). Accident data analysis and on-field inspections : do they lead to similar conclusions? *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.016>
- Pireddu, A., & Bruzzone, S. (2021). An analysis of the influence of tunnel length and road type on road accident variables. *Rivista Di Statistica Ufficiale*, 2, 71–102.
- Porta, D., Milani, S., Lazzarino, A. I., Perucci, C. A., & Forastiere, F. (2009). Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 8(1), 60. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-60>
- Rajendran, S., & Gambatese, J. A. (2009). Development and Initial Validation of Sustainable Construction Safety and Health Rating System. *Journal of Construction*

Engineering and Management, 135(10), 1067–1075. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2009\)135:10\(1067\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2009)135:10(1067))

Reconnet. (2021). *Manuale d'uso Leach 8 (vers.2)*.

Ritzkowski, M., & Stegmann, R. (2012a). Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. *Waste Management*, 32(7), 1411–1419. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.020>

Ritzkowski, M., & Stegmann, R. (2012b). Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. *Waste Management*, 32(7), 1411–1419. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.020>

Roma Capitale. (2022). *Open Data Roma Capitale*. <https://dati.comune.roma.it/catalog/organization/roma-capitale-area-tematica-supporto-all-amministrazione>

Sankar, V. K., & Siddiqui, N. (2016). Application of Bow-Tie Analysis in Risk Management University of Petroleum and Energy Studies. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(09), 212–214.

Schiffman, S. S., & Williams, C. M. (2005). Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality*, 34(1), 129–138. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15647542>

Šedová, B. (2016). On causes of illegal waste dumping in Slovakia. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(7), 1277–1303. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1072505>

Senior, K., & Mazza, A. (2004). Italian “Triangle of death” linked to waste crisis. *Lancet Oncology*, 5(9), 525–527. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(04\)01561-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(04)01561-X)

Shravya, K., Mandapati, Y., Keerthi, D., Harika, K., & Senapati, R. K. (2019). Smart helmet for safe driving. *E3S Web of Conferences*, 87(February). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198701023>

Silvestri, S., & Omri, M. (2008). A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 975–989. <https://doi.org/10.1080/01431160701311317>

SNPA. (2018). *Appendice A Campionamento di gas interstiziali in modalità attiva. LG SNPA 15/2018*.

Soukup, R., Blecha, T., Hamacek, A., & Reboun, J. (2014). Smart textile-based protective system for firefighters. *ESTC 2014 - 5th Electronics System-Integration Technology Conference, November 2019*. <https://doi.org/10.1109/ESTC.2014.6962821>

- Szüle, B. (2016). *Introduction to data analysis Corvinus University of Budapest*. <http://www.irisro.org/economics2018january/34BeretzkyZsuzsanna-JamborZsofia.pdf>
- Taiano, L., Massari, S., Tiziano, T., Valentino, L., Bruzzone, S., & Veronico, L. (2021). Work-related road accidents: a data linkage procedure to assess risk factors in traffic accidents at work and commuting. *Rivista Di Statistica Ufficiale*, 3, 9–29.
- Thakali, L., Fu, L., & Chen, T. (2016). Model-Based Versus Data-Driven Approach for Road Safety Analysis Do More Data Help? *Journal of the Transportation Research Board*, 2601, 33–41. <https://doi.org/10.3141/2601-05>
- Thierbach, M. (2020). *Smart Personal Protective Equipment: intelligent protection for the future*.
- Trop, T. (2018). Using Envision™ rating tool to assess the sustainability of public bike sharing systems: A case study of the Tel-O-Fun project in Tel Aviv-Yafo. *Sustainable Cities and Society*, 40, 704–712. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.040>
- U.S. Department of Labour Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2002). *Job Hazard Analysis*.
- U.S. Green Building Council. (2022). *LEED rating system*. <https://www.usgbc.org/leed#rating>
- UK Department of Transports. (2022). *Road Safety Data*. <https://www.data.gov.uk/dataset/cb7ae6f0-4be6-4935-9277-47e5ce24a11f/road-safety-data>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- United Nations Environmental Programme (UNEP). (2005). *Closing of an Open Dumpsite and Shifting from Open Dumping to Controlled Dumping and to Sanitary Landfilling. Training Modules*.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2018). *Metadata related to 11.6 SDG of Agenda 2030*. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-06-01.pdf>
- Uzun, M., Gurcanli, G. E., & Bilir, S. (2018). Change in Occupational Health and Safety Management System: ISO 45001:2018. *5th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2018)*.
- Vaccari, M., Vinti, G., & Tudor, T. (2018). An Analysis of the Risk Posed by Leachate from Dumpsites in Developing Countries. *Environments*, 5(9), 99. <https://doi.org/10.3390/environments5090099>

- Vaverková, M. D. (2019a). Landfill impacts on the environment— review. *Geosciences (Switzerland)*, 9(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>
- Vaverková, M. D. (2019b). Landfill Impacts on the Environment— Review. *Geosciences*, 9(10), 431. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>
- Wang, Z., Neitzel, R. L., Zheng, W., Wang, D., Xue, X., & Jiang, G. (2021). Road safety situation of electric bike riders: A cross-sectional study in courier and take-out food delivery population. *Traffic Injury Prevention*, 22(7), 564–569. <https://doi.org/10.1080/15389588.2021.1895129>
- Watkins, E. (2015). A case study on illegal localized pollution incidents in the EU. *A Study Compiled as Part of the EFFACE Project., London: IE(320276)*, 1–36.
- World Health Organization (WHO). (2018). *Global status report on road safety 2018*. <https://doi.org/https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- World Health Organization (WHO). (2022). *SAFER. Advance and enforce drink driving counter measures*. <https://www.who.int/initiatives/SAFER/drink-driving>
- Wu, T. N., & Huang, Y. C. (2006). Detection of illegal dump deposit with GPR: Case study. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 10(3), 144–149. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2006\)10:3\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(2006)10:3(144))
- Yang, X., Zhao, X., Wang, Y., & Tong, R. (2022). Development of occupational health culture scale: A study based on miners and construction workers. *Frontiers in Public Health, Occupation*, 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.992515>
- Yuan, J., & Abdel-Aty, M. (2018). Approach-level real-time crash risk analysis for signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 119(July), 274–289. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.031>
- Zheng, Z., Wang, C., Wang, P., Xiong, Y., Zhang, F., & Lv, Y. (2018). Framework for fusing traffic information from social and physical transportation data. *PLoS ONE*, 13(8), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201531>

Riferimenti normativi

Cassazione Civile, Sez. Lavoro, sentenze n. 8948 del 14/05/2020; n. 20774 del 17/08/2018; n. 7277 del 10/04/2015; n. 7313 del 13/04/2016

Decisione del Consiglio del 30 novembre 1993, n.704 relativa alla creazione di una banca di dati comunitaria sugli incidenti stradali (CARE)

Decreto Legislativo del 3 Aprile 2006, n.152 (Testo Unico Ambientale)

Decreto Legislativo del 9 Aprile 2008, n.81 “Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro”

Decreto Legislativo del 3 settembre 2020, n. 121 “Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti.”

Decreto Legislativo del 30 aprile 1992, n. 285 “Nuovo codice della strada”

Decreto Legislativo del 15 marzo 2011, n.35 “Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”

Direttiva 2004/54/CE relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea

Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali

Direttiva 2008/99/CE sulla tutela penale dell’ambiente

Direttiva 2019/1024/UE relativa all’apertura dei dati e al riutilizzo dell’informazione del settore pubblico (direttiva Open Data)

Dogliotti E, Achene L, Beccaloni E, et al. Linee guida per la valutazione di impatto sanitario (D.lgs. 104/2017), 2019. (Rapporti ISTISAN 19/9)

D.P.C.M. del 24 marzo 2017 che istituisce la struttura del Commissario Unico per la Bonifica delle Discariche

D.P.R. 1124 del 30 giugno 1965 “Testo Unico delle disposizioni per l’assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali”

Giappone, *Waste Management and Public Cleansing Law*, 1991

IEC 31010:2019 “Risk management - Risk assessment techniques”

ISO 31000:2018 “Risk management – Guidelines”

ISO 45001:2018 “Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use”

ISPRA, *Metodologie per la valutazione delle emissioni odorigene. Doc. di sintesi*, 2018

Legge 23 dicembre 1978, n. 833 sul Servizio Sanitario Nazionale

Ministero della Salute, Piano Nazionale della Prevenzione 2020 – 2025,
<https://www.salute.gov.it/portale/prevenzione/dettaglioContenutiPrevenzione.jsp?lingua=italiano&id=5772&area=prevenzione&menu=vuoto>

Regolamento 2006/1013/UE relativo alle spedizioni di rifiuti

Regolamento 2008/1338/CE relativo alle statistiche comunitarie in materia di sanità pubblica e di salute e sicurezza sul luogo di lavoro

Regolamento 2011/349/UE, recante disposizioni attuative del Reg. 2008/1338/CE in merito alle statistiche comunitarie in materia di sanità pubblica e di salute e sicurezza sul luogo di lavoro

Singapore, *Environmental Public Health Act (EPHA)*, 1987

UNI 11230:2007 “Gestione del rischio – vocabolario”

UNI 7249:2007 “Statistiche degli Infortuni sul lavoro”

UNI-PdR (Prassi di Riferimento) 13:2019, Protocollo ITACA

U.S.A., *Resource Conservation & Recovery (RCR) Act* del 1976

Indice delle figure

Introduzione

Figura 1. Smaltimento rifiuti solidi nel mondo	1
--	---

Capitolo 1

Figura 1.1. Schema di sintesi delle cause dell' <i>illegal dumping</i>	7
--	---

Figura 1.2. Emissioni provenienti da una discarica	8
--	---

Figura 1.3. Composizione del gas in discarica durante le cinque fasi	9
--	---

Figura 1.4 Discarica a "cielo aperto"	12
---------------------------------------	----

Figura 1.5. Schema di una discarica sanitaria (courtesy of Manoj Nishantha)	13
---	----

Figura 1.6. Caratteristiche principali della classificazione italiana	17
---	----

Capitolo 2

Figura 2.1. Fasi di realizzazione di un piezometro	28
--	----

Figura 2.2. Tecniche di aerazione	38
-----------------------------------	----

Capitolo 3

Figura 3.1. Processo di gestione del rischio (ISO 31000:2019)	45
---	----

Figura 3.2. Grafo Ishikawa elaborato da (Górny, 2017)	49
---	----

Figura 3.3. Grafo Ishikawa elaborato da (Chang & Lin, 2006)	49
---	----

Figura 3.4 Applicazione del grafo Ishikawa ai casi INAIL	50
--	----

Figura 3.5. Schema del modello Bow Tie	53
--	----

Figura 3.6. Rappresentazione del modello Bow Tie	53
--	----

Figura 3.7. Esempio di una Event Tree Analysis	55
--	----

Capitolo 4

Figura 4.1 Swiss Cheese Model	60
-------------------------------	----

Figura 4.2 Evoluzione dei modelli di analisi degli infortuni sul lavoro	61
---	----

Figura 4.3. Possibili fasi dell'analisi infortunistica	64
--	----

Figura 4.4 Criteri di selezione del primo campione dal database "INAIL- Regioni"	76
--	----

Figura 4.5 Screening dei dati estratti	81
--	----

Figura 4.6 Relazione tra variabili, fattori e dinamica infortunistica nelle discariche	83
--	----

Figura 4.7 Qualità del processo di analisi cluster	88
--	----

Figura 4.8 Analisi percentuale relativa alle dimensioni dei gruppi individuati	89
Figura 4.9 Caratteristiche dei gruppi individuati	89
Figura 4.10 Confronto tra i cluster in merito all'assenza/presenza dei determinanti	90
Figura 4.11 Confronto tra i predittori D1-D4	90
Capitolo 5	
Figura 5.1. Ex discarica di Donada	96
Figura 5.2. Approccio alla gestione delle criticità per la SSL	98
Figura 5.3. Piano generale di sicurezza per la caratterizzazione delle discariche	99
Figura 5.4 Gerarchia dei controlli (ISO 45001)	107
Capitolo 6	
Figura 6.1 Fasi dell'approccio di ricerca seguito per la realizzazione del modello	114
Figura 6.2 Proposta di classificazione degli smart DPI	125
Capitolo 7	
Figura 7.1 Componenti della VISS	129
Figura 7.2. Elementi della VISS	129
Figura 7.3 Zone di criticità indotte sulla circolazione stradale da un cantiere	131
Figura 7.4 Approccio di ricerca	136
Figura 7.5 Discarica di Malagrotta	138
Figura 7.6 Metodologia di analisi degli Open Data di Roma Capitale 2017-2021	141
Figura 7.7 Andamento degli incidenti sulle infrastrutture "bersaglio"	143
Figura 7.8 Indice di separazione dei cluster	145
Figura 7.9 Distribuzione percentuale dei cluster e dimensioni	145
Figura 7.10 Caratteristiche dei gruppi individuati	146
Figura 7.11 Importanza dei predittori rispetto ai cluster con $N > 10$	147
Appendice B	
Figura 1. Rapporto tra le classificazioni delle attività economiche	158

Indice delle tabelle

Capitolo 1

Tabella 1.1. Classificazione delle discariche secondo (UN-Habitat, 2018) 14

Tabella 1.2. Classificazione delle discariche in Malaysia 15

Capitolo 2

Tabella 2.1. Tecniche di indagine indiretta e principali tipologie di applicazione 22

Tabella 2.2 Possibili trattamenti del materiale escavato (in un progetto di LM) 39

Capitolo 3

Tabella 3.1. Classificazione dei metodi di analisi del rischio (IEC 31010:2019) 46

Tabella 3.2. Caratteristiche dei metodi di analisi del rischio 47

Tabella 3.3. Analisi delle problematiche per la SSL riscontrate in 12 discariche (SIN) 51

Capitolo 4

Tabella 4.1. Codici variabile ESAW “luogo di lavoro” 68

Tabella 4.2 Codici variabile ESAW “processo di lavoro” 68

Tabella 4.3 Criteri di selezione nel database Infor.Mo (INAIL, 2002) 69

Tabella 4.4 Set di attributi dei determinanti/modulatori 72

Tabella 4.5. Categorie in cui possono essere compresi i determinanti/modulatori 72

Tabella 4.6 Campione estratto dalla banca dati Infor.MO 73

Tabella 4.7 Rappresentazione della matrice dei descrittori per il campione estratto 73

Tabella 4.8. Organizzazione primo campione database "INAIL- Regioni" 77

Tabella 4.9 Codici ATECO di selezione per i due scenari temporali A e B 77

Tabella 4.10. Struttura dei dati INAIL ad accesso riservato 78

Tabella 4.11 Risultati dello screening sullo scenario A 80

Tabella 4.12. Risultati dello screening sullo scenario B 80

Tabella 4.13 Mansioni incluse nel campione di n.78 infortuni dello scenario B 82

Tabella 4.14 Variabili “Agente materiale” (V1-V9)	84
Tabella 4.15 Variabili “Attività fisica” (V10-V15)	84
Tabella 4.16 Variabili “Contatto” (V16-V21)	84
Tabella 4.17 Variabili “Deviazione” (V22-V27)	84
Tabella 4.18 Variabili “Processo di lavoro” (V28-V36)	85
Tabella 4.19 Variabili “Luogo di lavoro” (V37-V40)	85
Tabella 4.20 Estratto della matrice dei descrittori con variabili booleane	86
Tabella 4.21 Statistiche di frequenza calcolate con IBM SPSS Statistics	87
Tabella 4.22 Dinamica degli infortuni che hanno coinvolto un operatore	91
Tabella 4.23 Principali rischi nelle discariche per altre mansioni INAIL (n.32 eventi)	92
Capitolo 5	
Tabella 5.1 Caratterizzazione della discarica di Donada	97
Tabella 5.2. Parti interessate interne/esterne (adattato da Darabont et al., 2017)	98
Tabella 5.3. Correlazione obiettivi-strategie per l'analisi di contesto	101
Tabella 5.4 Corr. obiettivi-attività-pericoli-rischi (obiettivi 1-2)	105
Tabella 5.5 Corr. obiettivi-attività-pericoli-rischi (obiettivi 3-4)	106
Capitolo 6	
Tabella 6.1 Elementi del HazWOpER Standard	111
Tabella 6.2. Aree e criteri di valutazione del modello	118
Tabella 6.3. Scenari di riferimento per i criteri e attribuzione dei punteggi	119
Tabella 6.4 Alcune pubblicazioni sull'utilizzo degli smart DPI	125
Capitolo 7	
Tabella 7.1 Schema dei database a supporto delle valutazioni di incidentalità stradale	133
Tabella 7.2 Corr.processi di lavoro – pericoli per la sicurezza stradale del contesto	139
Tabella 7.3 Individuazione delle infrastrutture stradali nel contesto di Malagrotta	139
Tabella 7.4 Impatti del cantiere di discarica sulla sicurezza stradale	140
Tabella 7.5 Criteri di screening degli Open Data di Roma Capitale	142
	200

Tabella 7.6 Ipotesi per l'analisi cluster degli incidenti stradali	145
--	-----

Appendice A

Tabella 1 Criteri di valutazione per la classificazione delle discariche in Malaysia.	156
---	-----

Appendice B

Tabella 1 Struttura dell'ATECO 2007	158
-------------------------------------	-----

Tabella 2. Esempio di ATECO che non si articola in classi, categorie e sottocategorie	159
---	-----

Tabella 3. Codici per fattore “Agente materiale”	161
--	-----

Tabella 4. Codici per fattore “Deviazione”	163
--	-----

Tabella 5. Codici per fattore “Contatto”	164
--	-----

Tabella 6. Codici per fattore “Luogo di lavoro”	165
---	-----

Tabella 7. Codici per fattore “Processo di lavoro”	165
--	-----

Tabella 8. Codici per fattore “Attività fisica”	166
---	-----

Tabella 9. Matrice di conversione per fattore “Agente materiale”	167
--	-----

Tabella 10. Matrice di conversione per fattore “Attività fisica”	168
--	-----

Tabella 11. Matrice di conversione per fattore “Contatto”	168
---	-----

Tabella 12. Matrice di conversione per fattore “Deviazione”	168
---	-----

Tabella 13. Matrice di conversione per fattore “Processo di lavoro”	169
---	-----

Tabella 14. Matrice di conversione per fattore “Luogo di lavoro”	169
--	-----

Tabella 15. Matrice dei descrittori per gli infortuni INAIL	169
---	-----

Appendice D

Tabella 1 Legenda per gli incidenti stradali di Roma Capitale	176
---	-----

Tabella 2 Matrice dei determinanti per gli incidenti stradali di Roma Capitale	177
--	-----