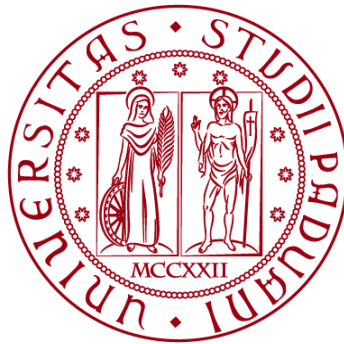


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio



**TESI DI LAUREA**

**ANALISI DEI RISCHI DI SALUTE E SICUREZZA DEI  
LAVORATORI NEL SETTORE ESTRATTIVO:  
Analisi di letteratura**

**Relatore: Chiar.ma PROF.SSA ANNA MAZZI**

**Correlatore: Ing. OLIBONI MARTINO**

**Laureando: ANDREA PIOTTO**

**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**



# Sommario

1.	Introduzione e scopo dello studio .....	3
1.1	Materie prime critiche .....	3
1.2	Critical Raw Material Act .....	4
1.3	Obiettivi dell'elaborato .....	5
2.	Materiali e metodi .....	6
1.2	Il metodo PRISMA .....	6
2.2	Ricerca materiale: database Scopus .....	9
3.	Risultati .....	10
1.2	Scopus .....	10
1.2	Valutazione del rischio ambientale .....	13
1.2	Metalli pesanti e rischio ambientale .....	17
1.2	Materiale estratto .....	20
1.2	Paese di estrazione .....	22
1.2	Indici ambientali .....	24
4.	Discussione e conclusione .....	27
5.	Bibliografia e Sitografia .....	29
1.2	Bibliografia .....	29
5.2	Sitografia .....	31



# 1. Introduzione e scopo dello studio

Il settore minerario estrattivo è uno dei pilastri per l'economia globale in quanto fornisce le materie prime essenziali per lo sviluppo di una serie numerosissima di materiali e produzioni. Negli ultimi anni è aumentata in modo eccezionale la richiesta di materie prime minerarie in quanto con la transizione all'elettrico questi materiali sono molto utilizzati, soprattutto in campo tecnologico-elettronico. L'IEA (International Energy Agency) ha dichiarato che nei prossimi anni i minerali usati per tecnologie verdi aumenteranno la loro richiesta in modo esponenziale.

## 1.1 Materie prime critiche

La Commissione europea ha aperto un elenco, continuamente aggiornato e revisionato di materie prime critiche. Questo è necessario a causa di una forte importanza di queste materie prime per l'economia globale. Infatti, questi materiali sono indispensabili per i processi tecnologici che stiamo affrontando, ad esempio un tablet o uno smartphone contengono fino a 50 metalli, date le produzioni globali di questi dispositivi il totale di materie prime da estrarre è enorme. Inoltre, queste materie sono fondamentali per la produzione di energie pulite come pannelli fotovoltaici, batterie, veicoli elettrici e molto altro.

Le materie prime critiche da inserire nella lista della Commissione europea sono sottoposte ad una valutazione per capire la loro criticità. Nel 2020 sono stati analizzati 83 materiali ma non tutti sono stati inseriti nella lista. Le criticità da considerare sono: l'importanza economica e il rischio di fornitura. Per importanza economica si intende la rilevanza che quel materiale ha per l'economia dei Paesi dell'UE, attraverso un indice di sostituzione (SIEI) si calcola l'importanza della materia se questa non ci fosse e quindi il costo della sostituzione con altri materiali. Il secondo parametro da considerare è il rischio di fornitura che considera il rischio che un paese esportatore blocchi momentaneamente o definitivamente la fornitura del materiale. Questo rischio può essere ridotto dalla sostituzione e dal riciclo della materia prima.

Nella Tabella 1 vengono riportate le materie prime critiche della Commissione Europea: un totale di 34 CRM, costantemente aggiornate.

Bauxite	Carbone coke	Litio	Fosforo
Antimonio	Feldspato	Elementi leggeri delle terre rare	Scandio
Arsenico	Fluorite	Magnesio	Silicio metallico
Barite	Gallio	Manganese	Stronzio
Berillio	Germanio	Grafite naturale	Tantalio
Bismuto	Afnio	Niobio	Metallo titanio
Boro/borato	Elio	Metalli del gruppo del platino	Tungsteno
Cobalto	Elementi pesanti delle terre rare	Roccia fosfato	Vanadio
		Rame	Nichel

Tabella 1: lista delle materie prime critiche (Commissione europea 2023)

## 1.2 Critical Raw Material Act

Il regolamento europeo proposto nel marzo 2023 e approvato a dicembre dello stesso anno dalla commissione europea sulle materie prime critiche è il Critical Raw Material Act (CRM). Il regolamento nasce innanzitutto per soddisfare gli obiettivi climatici e tecnologici per il 2030. Il punto fondamentale è dare ai Paesi membri una sicurezza in termini di approvvigionamento delle materie prime critiche, in modo tale da avere un'economia da questo punto di vista sicura ed efficiente. Questi materiali sono molto importanti per i Paesi, spesso infatti costituiscono gran parte della struttura industriale ed economica. I materiali critici continuano ad aumentare la loro richiesta, per fare un esempio il litio, materiale fondamentale per la produzione di batterie elettriche avrà una crescita della domanda di circa dodici volte entro il 2030.

Un passaggio del regolamento europeo dice: *”Senza un’azione congiunta e tempestiva, un mercato unico ben funzionante, resilienza e competitività, le industrie europee e gli sforzi dell’UE per raggiungere i suoi obiettivi climatici e tecnologici sono a rischio”*.

Questa proposta dovrebbe rafforzare le questioni legate alle materie prime critiche concentrandosi soprattutto sui rischi delle forniture dovuti a dipendenze da altri Paesi, spesso instabili e non affidabili.

Il Critical Raw Material Act spesso viene considerato assieme ad un’altra proposta della commissione europea: il Net Zero Industry Act, fondamentale per ridurre le emissioni di

carbonio dovute ad attività industriali. Questi due regolamenti sono in linea con il Piano più generale della commissione europea, cioè il Green Deal.

Di seguito inseriamo un elenco, composto da quattro voci e definito all'interno del regolamento europeo (CRMA), di parametri e soglie da considerare per i processi che comprendono le materie prime critiche. Questo elenco riassume gli aspetti fondamentali racchiusi nel Critical Raw Material Act:

- Almeno il 10% del consumo annuo dell'EU destinato all'estrazione
- Almeno il 40% del consumo annuo dell'UE destinato alla trasformazione
- Almeno il 15% del consumo annuo dell'UE destinato al riciclo
- Al massimo il 65% del consumo annuo dell'UE di ciascuna materia prima proviene da un singolo Paese terzo.

Tuttavia, l'estrazione mineraria porta con sé numerose problematiche tra cui rischi di diverso tipo. L'estrazione prevede operazione molto complesse e pericolose, pensiamo alle difficoltà di tipo tecnico (spostamenti di carichi, movimentazione di attrezzatura pesante, esplosioni controllate, ecc...) ma anche problematiche dovute alle sostanze che vengono estratte e utilizzate nell'estrazione. Queste attività possono provocare danni alle comunità, ai lavoratori e all'ambiente circostante.

### 1.3 Obiettivi dell'elaborato

La seguente tesi cerca di affrontare e analizzare in modo critico il tema dei rischi e della sicurezza in ambiente estrattivo. Questo è possibile attraverso un'analisi critica di letteratura che descriverà il problema in modo più generale per poi diventare più specifico attraverso alcuni casi studio. Partendo dall'analisi di tecniche sulla valutazione di rischio per affrontare poi veri e propri rischi associati a questo settore.

L'obiettivo primario della tesi, quindi, è quello di estrapolare dall'analisi di letteratura alcune tematiche fondamentali per la valutazione del rischio in ambiente estrattivo. L'elaborato deve inoltre verificare la presenza di analisi sulla salute e sicurezza dei lavoratori e eventuali rischi per l'ambiente circostante. Con il proseguo della tesi si cerca di analizzare e confrontare più aspetti trattati negli articoli selezionati come ad esempio il Paese di estrazione e il materiale estratto. Concentrandosi su tematiche importanti per una successiva valutazione del rischio su questo settore.

## 2. Materiali e metodi

Sono necessari una serie di strumenti e metodi, che verranno qui di seguito analizzati, per seguire un percorso logico finalizzato ad un'analisi di letteratura accurata. In modo tale da seguire una linea scientifica e ripetibile da altri ricercatori.

### 1.2 Il metodo PRISMA

Il metodo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) è una guida per l'organizzazione e la gestione di una revisione sistematica e meta-analisi. Perciò è molto utilizzata nelle analisi di letteratura per gestire l'intero processo. Nasce dal mondo della medicina anche se ad oggi è utilizzata per report di tutto il mondo scientifico. Viene definito in un articolo nel 2009 con successive modifiche e miglioramenti, in questo caso utilizziamo il rapporto aggiornato al 2020.

Tra gli obiettivi del metodo c'è la riproducibilità dei processi svolti, una selezione rigorosa degli articoli e delle fonti con relativa ricerca bibliografica, una definizione chiara di metodi e obiettivi e infine lo stabilire una serie di criteri rigorosi per definire la ricerca. È fondamentale una completa trasparenza e una descrizione accurata dei processi.

Il metodo fornisce una lista di 27 elementi molto dettagliata, questa lista poi viene completata dal ricercatore in base alle sue esigenze, questo metodo infatti è completamente generale e quindi deve essere adattato al nostro caso studio.

#### **Il metodo PRISMA applicato**

Il metodo PRISMA ci restituisce risultati di tipo metodologico e organizzativo, importanti per seguire un filo logico e scientifico nella nostra ricerca, ripercorribile da altri ricercatori per completare o implementare i contenuti.

Il metodo offre la possibilità di completare una tabella direttamente dal sito ufficiale del metodo PRISMA (<http://www.prisma-statement.org/>), in particolare vengono utilizzate le istruzioni aggiornate al 2020. La Tabella 2 è stata completata in base alle esigenze e caratteristiche della ricerca.



Topic	No.	Item	Description
<b>TITLE</b>			
<b>Title</b>	1	Identify the report as a systematic review.	Analisi dei rischi di salute e sicurezza dei lavoratori nel settore estrattivo: analisi di letteratura Health and Safety risk assessment in mining sector: literature review
<b>ABSTRACT</b>			
<b>Abstract</b>	2	PRISMA 2020 for Abstracts	Lettura approfondita degli abstract per scegliere gli articoli adatti all'analisi
<b>INTRODUCTION</b>			
<b>Rationale</b>	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	Avere una valutazione completa dei rischi nel settore estrattivo per dare supporto al progetto europeo sulle nuove strumentazione in ambito estrattivo/minerario. Cercare inoltre di estrapolare dalla letteratura esistente uno studio che sintetizzi ciò che è più importante per essere poi analizzato al meglio.
<b>Objectives</b>	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	Completare la valutazione dei rischi in ambito di salute e sicurezza dei lavoratori in ambiente estrattivo, soffermandosi sulle tecniche più utilizzate di risk assessment. Un altro importante obiettivo è quello di identificare i tipi di rischio in base delle attività/tecnologie utilizzate e della posizione geografica del sito studiato.
<b>METHODS</b>			
<b>Eligibility criteria</b>	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	Publicati dal 2015 Solo articoli in inglese Inclusi solo articoli di riviste scientifiche Esclusi i capitoli di libri
<b>Information sources</b>	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	motori di ricerca scientifica: Scopus/Web of Science. Motori di ricerca. Riviste.. Giornali scientifici.

Topic	No.	Item	Description
<b>Search strategy</b>	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	lingua: inglese/Italiano anno: dal 2015 tipo di database keywords: risk assesment, mining, metals (raw material), heavy metal
<b>Selection process</b>	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Articoli inerenti all'argomento Strategie e criteri verificati Controllo dei risultati ottenuti
<b>Data collection process</b>	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Raccolta dati in tabelle pronte per un confronto e analisi
<b>Data items</b>	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	Tabelle o grafici con le seguenti colonne: -modello di risk assessment analizzato nell'articolo -posizione geografica del sito studiato -tipologia di rischio in base all'attività/tecnologia studiata -tipologia di rischi in base al tipo di materiale estratto  Tutti questi output verranno analizzati e confrontati attraverso tabelle di questo tipo e grafici.
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	Possono venire fatte alcune ipotesi iniziali che seguono I criteri assunti per delimitare alcuni aspetti poco chiari o mancanti negli articoli. Per esempio valori non corrispondenti o mancanza di dati relativi a meccanismi o attività.
<b>Study risk of bias assessment</b>	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Errori da valori errati o poco inerenti Errori da costruzione di tabelle o grafici Errori nel riportare I valori/dati
<b>Effect measures</b>	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	Interpretazione sbagliata dei risultati Distacco dai risultati aspettati

Topic	No.	Item	Description
Synthesis methods	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	Tabelle, grafici.
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	Tabelle excel, minitab o simili

Tabella 2: metodo PRISMA 2020 applicato al caso studio

La tabella 2 descrive solamente i primi punti del metodo in quanto utilizzata per la schematizzazione generale della ricerca e dei criteri per limitare il campo di analisi. Grazie a questi risultati possiamo proseguire la ricerca per la determinazione degli articoli adatti alla tesi.

## 2.2 Ricerca materiale: database Scopus

La ricerca del materiale è il punto fondamentale per un'analisi di letteratura. Trovare documenti scientifici è un'operazione complessa, è necessario cercare tra un'infinità di articoli, libri e raccolte, per questo motivo grazie anche al metodo PRISMA si vanno a definire dei criteri per la ricerca, in modo tale da restringere il campo.

Una delle più grandi banche dati per quanto riguarda la letteratura scientifica è Scopus, creato nel 2004 dalla casa editrice Elsevier. Questo database viene periodicamente aggiornato, offre milioni di articoli provenienti da 5000 editori internazionali. Il portale permette una visualizzazione diretta degli abstract di ogni articolo per avere una panoramica immediata del contenuto.

All'interno del database è presente un sistema di ricerca molto intuitivo, il ricercatore inserisce una serie di parole chiave che identificano il campo di ricerca, a questo punto è possibile attivare una serie di filtri per limitare o estendere la ricerca. È possibile usufruire della base dati con il profilo istituzionale della propria azienda o università.

## 3. Risultati

### 1.2 Scopus

I risultati della ricerca in Scopus sono il frutto di una serie di criteri e filtri applicati dal ricercatore, di seguito vengono elencati i principali:

- Parole chiave: risk assessment, mining, metals, raw material, heavy metal
- data pubblicazione: pubblicazioni dal 2015
- tipo di documento: articoli
- area geografica: tutto il mondo
- lingua: inglese

Questi parametri restituiscono dei risultati che vengono ordinati in base alla loro rilevanza. Sono state scelte le seguenti limitazioni/esclusioni nella ricerca per restringere il volume di articoli da analizzare. Ci si concentra quindi su alcune tematiche escludendone altre per avere un'analisi più approfondita su alcuni aspetti.

Nel nostro caso l'analisi si è focalizzata su una trentina di articoli che sono stati letti e approfonditi in modo tale da ricavarne un'analisi completa sull'argomento della salute, sicurezza e analisi del rischio in ambiente minerario. In particolare, la ricerca ha portato a numerosissimi articoli sul rischio ambientale, mentre sono scarsi o addirittura inesistenti su altri rischi legati al settore estrattivo. Di tutti i rischi ambientali quello maggiormente toccato è quello riferito ai metalli pesanti alle sue contaminazioni in ambienti circostanti a quello minerario. Ci concentriamo quindi su un'analisi di una serie di articoli riguardanti il rischio ambientale riferito ai metalli pesanti. Vengono elencati nella Tabella 3 gli articoli che sono emersi dalla ricerca. Sono 13 articoli ordinati in base alla loro rilevanza, cioè il loro peso e la loro incidenza nel mondo scientifico in particolare nel settore estrattivo. La Tabella 3 analizza il titolo dell'articolo, gli autori, l'anno di pubblicazione, la rivista dove sono stati pubblicati e il codice identificativo degli articoli (DOI).

<b>Titolo</b>	<b>Autori</b>	<b>Anno</b>	<b>Rivista</b>	<b>DOI</b>
Effects of different heavy metal pollution levels on microbial community structure and risk assessment in Zn-Pb mining soils	Yang R., Ma G., Liu C., Wang C., Kang X., Wu M., Zhang B.	2023	Environmental Science and Pollution Research	10.1007/s11356-023-26074-6
Preliminary assessment of health risks associated with consumption of grapevines contaminated with mining effluents in Turkey: Persistent trace elements and critical raw materials	Topal M., Arslan Topal E., Öbek E.	2022	Integrated Environmental Assessment and Management	10.1002/ieam.4491
Pollution and ecological risk assessment of heavy metals in the soil-plant system and the sediment-water column around a former Pb/Zn-mining area in NE Morocco	El Azhari A., Rhoujjati A., El Hachimi M.L., Ambrosi J.-P.	2017	Ecotoxicology and Environmental Safety	10.1016/j.ecoenv.2017.06.051
Impact of mining on the metal content of dust in indigenous villages of northern Chile	Fleming Z.L., Gayo E.M., Manzano C.A., Panagi M., Valdés J., Siegmund A.	2022	Environment International	10.1016/j.envint.2022.107490
Lightweight ceramsite made of recycled waste coal gangue & municipal sludge: Particular heavy metals, physical performance and human health	Wang C.-Q., Duan D.-Y., Huang D.-M., Chen Q., Tu M.-J., Wu K., Wang D.	2022	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2022.134309
Assessment of performance and environmental friendliness of a sorbent-based remediation method for heavy metal and metalloid contaminated soils	Yurak V.V., Apakashev R.A., Lebzin M.S., Malyshev A.N.	2023	Mining Science and Technology (Russian Federation)	10.17073/2500-0632-2023-07-129
Geochemical transformation of soil cover in copper–molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia)	Timofeev I.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Gunin P.D., Sandag E.-A.	2016	Journal of Soils and Sediments	10.1007/s11368-015-1126-2

<b>Titolo</b>	<b>Autori</b>	<b>Anno</b>	<b>Rivista</b>	<b>DOI</b>
Exploring the potential health and ecological damage of lead–zinc production activities in China: A life cycle assessment perspective	Jia Y., Zhang T., Zhai Y., Bai Y., Ren K., Shen X., Cheng Z., Zhou X., Hong J.	2022	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2022.135218
Arsenic(V) immobilization in fly ash and mine tailing-based geopolymers: Performance and mechanism insight	Bah A., Jin J., Ramos A.O., Bao Y., Ma M., Li F.	2022	Chemosphere	10.1016/j.chemosphere.2022.135636
Geochemical exposure of heavy metals in environmental samples from the vicinity of old gas mining area in northern part of Sindh Pakistan. Adverse impact on children	Shaikh R., Kazi T.G., Afridi H.I., Akhtar A., Baig J.A., Arain M.B.	2019	Environmental Pollution	10.1016/j.envpol.2019.113305
Sources and Distribution of Trace Elements in Soils Near Coal-Related Industries	Shangguan Y., Wei Y., Wang L., Hou H.	2016	Archives of Environmental Contamination and Toxicology	10.1007/s00244-015-0232-x
Flash-Calcined Sediments for Zinc Adsorption	Chu D.C., Amar M., Benzerzour M., Kleib J., Abriak N.-E.	2023	Sustainability (Switzerland)	10.3390/su151310230
Occurrence and environmental constraints of gray monazite in red soils from the Campo de Montiel area (SW Ciudad Real province, south central Spain)	Higuera P.L., Jiménez-Ballesta R., Esbrí J.M., García-Giménez R., García-Noguero E.M., Álvarez R., Peco J.D.	2021	Environmental Science and Pollution Research	10.1007/s11356-020-10827-8

Tabella 3: lista articoli analizzati con titolo, autori, data di pubblicazione, rivista e DOI

## 1.2 Valutazione del rischio ambientale

La prima parte dell'analisi di letteratura si concentra sulla valutazione dei rischi in questo ambiente complesso, soffermandosi sul rischio ambientale. Di seguito viene fatta una panoramica sui vari tipi di valutazioni di rischio utilizzate in questo settore.

L'estrazione e la lavorazione in loco dei minerali porta con sé numerosi impatti ambientali come, ad esempio, la movimentazione e l'inquinamento del suolo, la contaminazione delle acque superficiali e sotterranee dovute allo sversamento di inquinanti, l'utilizzo spropositato di energia e sostanze chimiche. Negli ultimi anni alcuni Paesi hanno cercato di limitare il più possibile qualsiasi forma di inquinamento o danno ambientale, anche se le ricerche in questo campo sono in continua crescita. Questo però non è altrettanto vero per alcuni Paesi del mondo con una governance ambientale debole, spesso per questioni economiche o politiche i governi non si concentrano sulla tematica ambientale, provocando veri e propri disastri nel territorio.

In generale negli ultimi anni ci si sta spostando verso processi più sostenibili dettati dal fatto che sia consumatori che produttori si sono avvicinati al "mondo green" per motivi etici o economici. Spesso, i governi attuano una serie di provvedimenti economici come incentivi per chi cerca di salvaguardare l'ambiente e disincentivi per chi inquina di più o non passa ad un modello green. Un altro aspetto da considerare è quello sociale, se il sito estrattivo cerca di essere sostenibile dal punto di vista ambientale nasce un rapporto meno conflittuale con le popolazioni locali. Spesso però alcuni imprenditori contestano questo sistema, descrivendolo come limitante per l'economia e per le quantità di materie prime estratte, sicuramente minori rispetto a metodi più invasivi.

In questo capitolo ci concentriamo sui metodi per valutare i rischi ambientali descrivendo i principali, definiti anche negli articoli analizzati. Spesso uno dei problemi principali per la valutazione è quello di avere a disposizione modelli poco precisi e poco adatti alle situazioni, abbiamo una carenza di dati dovuta al fatto che molti impatti ambientali dipendono da eventi catastrofici difficili da decifrare.

La valutazione ambientale deve includere moltissimi possibili rischi, il sito estrattivo infatti è in comunicazione diretta con l'ambiente. Tra i più importanti impatti ambientali notiamo la distruzione della biodiversità a causa della movimentazione di terreno e rocce, il taglio di piante per rendere praticabile il sito, l'alterazione delle acque sotterranee e

superficiali. Sono poi da considerare tutte le contaminazioni del suolo dovuto a drenaggio acido e metalli pesanti, inquinamento atmosferico da polveri e rumori. Alcuni di questi impatti sono di tipo acuto, perciò, molto veloci nelle loro conseguenze ma alcuni impatti si manifestano anche dopo molto tempo, per questo motivo è necessario un controllo e monitoraggio delle aree di estrazione e di quelle limitrofe per lunghi periodi.

### **Valutazioni tossicologiche**

Questo metodo valuta il rischio ambientale attraverso un'analisi tossicologica. Le materie prime però hanno un potenziale di rischio che non sofferma solo alle loro caratteristiche tossicologiche. Perciò questo metodo può essere utilizzato non singolarmente ma come componente di un metodo più complesso che misuri al suo interno altre proprietà delle materie prime.

### **LCA (Life Cycle Assessment)**

La valutazione del ciclo di vita è uno dei principali metodi di valutazione. Va a definire gli impatti ambientali del materiale per tutte le fasi del ciclo di vita. Nel nostro caso per la valutazione nel sito estrattivo verrà valutata la prima fase quella dell'estrazione e se sono presenti le successive fasi di preparazione della materia prima che avvengono all'interno del sito estrattivo. Per questo tipo di valutazione sono necessari tabelle o inventari con i dati ambientali per ogni materiale, questi dati come spiegato prima sono spesso limitati e portano perciò ad avere alte incertezze. Il metodo inoltre non valuta i potenziali rischi ambientali da incidenti, ma si limita al corretto ciclo di vita delle materie prime.

### **Valutazione di criticità**

Questo metodo mira ad evidenziare le criticità di approvvigionamento e le consecutive analisi in modo tale da programmare delle azioni mirate a gestire queste problematiche. Viene di seguito riportata la definizione di criticità definita dal consiglio nazionale delle ricerche (NCR) degli Stati Uniti del 2008:

*“Un materiale può essere considerato critico solo se svolge una funzione essenziale per la quale esistono pochi e nessun sostituto soddisfacente; inoltre, una valutazione indica anche un'elevata probabilità che la fornitura del materiale possa essere limitata, con conseguente indisponibilità fisica o un aumento significativo dei prezzi per quel materiale.”*



## Metodo OekoRess

Il metodo OekoRess è un metodo innovativo ma già ampiamente utilizzato che valuta i potenziali rischi ambientali nel settore minerario. Questo metodo a differenza di altri non si basa su valutazioni di impatti ambientali da misurazioni ma viene introdotto il termine (EHP) che rappresenta la somma di tutti gli impatti ambientali potenziali. Questo metodo è molto utilizzato nel settore estrattivo e identifica il rischio ambientale associato alle materie prime estratte. L'OekoRess utilizza 11 EHP che poi verranno sommati, questi indicatori si concentrano sui rischi ambientali specifici per ogni attività e materia prima. In particolare, 9 indicatori su 11 si concentrano sull'attività di estrazione dei minerali analizzando quindi in modo molto completo il processo estrattivo.

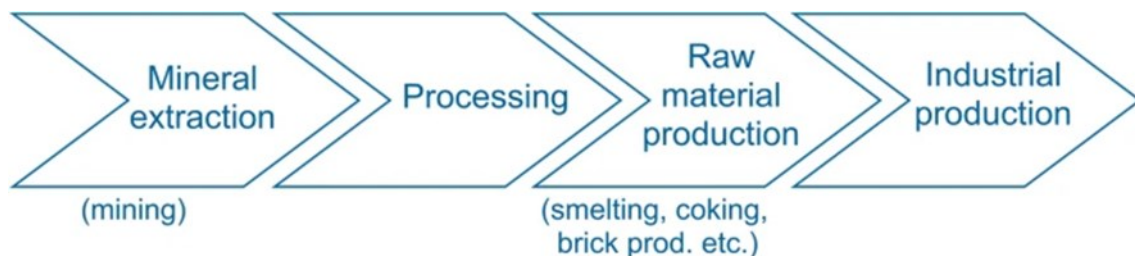


Figura 1: descrizione dei passaggi fondamentali per il calcolo degli EHP

La figura 1 illustra i passaggi fondamentali del processo per il calcolo degli EHP e in generale del percorso delle materie prime: dall'estrazione alla produzione industriale. In particolare, il percorso comincia in miniera con l'estrazione, continua con la fase di lavorazione e trattamento, questa fase spesso è effettuata direttamente nel sito di estrazione o nelle vicinanze per motivi logistici. A questa fase segue la produzione della materia prima, attraverso una serie di processi come ad esempio la fusione. L'ultima fase è quella di produzione industriale dove la materia prima viene utilizzata.

Gli undici indicatori vengono analizzati attraverso una valutazione a tre livelli: considerando EHP alto, medio e basso. Nella Tabella 4 vengono descritti gli 11 parametri considerati:

	<b>Indicatore ambientale</b>
<b>1</b>	Generazione del drenaggio acido delle miniere
<b>2</b>	La paragenesi con metalli pesanti associati
<b>3</b>	La paragenesi con sostanze radioattive
<b>4</b>	Il metodo di estrazione mineraria
<b>5</b>	Sostanze ausiliare tossiche nelle operazioni di lavorazione o di estrazione
<b>6</b>	Pericoli di incidenti dovuti a inondazioni, terremoti, tempeste e frane
<b>7</b>	Indice di stress idrico e aree desertiche
<b>8</b>	Aree protette e siti dell'Alliance for Zero Extinction
<b>9</b>	Domanda cumulativa di materie prime della produzione mondiale
<b>10</b>	Domanda cumulativa di energia della produzione mondiale
<b>11</b>	Governance ambientale nei principali paesi produttori

Tabella 4: Elenco di indicatori del metodo OekoRess

Come possiamo vedere questo metodo non si limita ad un'analisi superficiale dei rischi riferiti alle materie prime ma attraverso questo EHP cerca di identificare tutti i possibili rischi da un punto di vista più generale. Avremo quindi una copertura sia diretta che indiretta su tutto il processo ambientale. Per fare un esempio il metodo considera un tasso di rischio maggiore nel caso in cui ci sia un sito estrattivo in una zona in prossimità di ecosistemi preziosi, questo ci fa capire come un metodo di questo livello sia molto importante per coprire gran parte degli aspetti legati all'estrazione mineraria. Inoltre, questo metodo utilizza un numero ridotto di valori e indicatori che facilitano i risultati creando minore incertezza su casi studio con dati carenti.

## 1.2 Metalli pesanti e rischio ambientale

I metalli pesanti sono un particolare gruppo di elementi chimici, situati principalmente nella parte più bassa della tavola periodica quindi con numero atomico abbastanza elevato. Presentano proprietà metalliche come la conducibilità elettrica, la lucentezza e la duttilità. Tra le caratteristiche principali dei metalli pesanti notiamo:

- **Densità:** presentano densità elevate, cioè una massa importante rispetto al loro volume. Questa caratteristica dà origine al loro nome: metalli pesanti.
- **Punto di fusione ed ebollizione:** la gran parte dei metalli pesanti ha punti di fusione molto elevati.
- **Conduttività elettrica:** presentano un'elevata conduttività elettrica, questa caratteristica li rende ideali per applicazioni in ambito elettronico-tecnologico.
- **Tossicità:** la tossicità è una caratteristica relativa dei metalli pesanti, infatti, per alcuni metalli pesanti una bassa concentrazione può avere effetti dannosi anche gravi per altri metalli pesanti invece è necessaria un'alta concentrazione per essere nocivi.
- **Reattività chimica:** la reattività chimica è una delle caratteristiche principali di questi elementi, infatti, i metalli pesanti sono molto reattivi e quindi reagiscono in composti chimici avendo conseguenze dirette sulla salute e sull'ambiente.

Il rilascio di metalli pesanti deve essere costantemente controllato nei siti di estrazione per salvaguardare la salute delle persone e l'ambiente circostante. I metalli pesanti presentano numerosi impatti ambientali, di seguito ne sono analizzati alcuni:

- **Tossicità per gli organismi:** molti metalli pesanti anche a basse concentrazioni, come già anticipato, sono tossici per gli organismi viventi. Spesso si accumulano nei tessuti e creano danni non solo all'organismo primario ma anche a altri organismi che si trovano più in alto nella catena alimentare.
- **Inquinamento dell'acqua:** questo tipo di inquinamento ha effetti sugli organismi acquatici, può contaminare le falde acquifere e di conseguenza l'acqua potabile che arriva nelle nostre case.
- **Inquinamento al suolo:** il rilascio di metalli pesanti attraverso scarichi e rifiuti non controllati può provocare contaminazione del suolo e di conseguenza influire sulla crescita delle piante e alterare la qualità del suolo.

- **Bioaccumulo:** molti metalli pesanti tendono a accumularsi nei tessuti degli organismi viventi. La concentrazione di metalli pesanti aumenta lungo la catena alimentare, creando notevoli problematiche agli organismi che stanno in cima alla catena alimentare come ad esempio l'uomo.
- **Impatti sulla biodiversità:** tutti gli impatti elencati provocano modificazioni agli ecosistemi, questo provoca cambiamenti radicali alla biodiversità con conseguenze disastrose.

Per limitare i rischi appena analizzati è necessario adottare soluzioni ambientali sostenibili come l'utilizzo di tecnologie green, la corretta gestione dei rifiuti e degli scarichi e una serie di regolamenti e norme per limitare gli impatti sugli ecosistemi.

### **Chimica**

Il drenaggio acido è uno degli impatti ambientali più diffusi al mondo ed è una delle cause dell'inquinamento delle acque. Questo fenomeno può avere un'origine naturale oppure antropica. L'Acid Rock Drainage (ARD) ed è un processo totalmente naturale mentre l'Acid Mine Drainage (AMD) è un processo antropico derivante dalle attività minerarie.

Il contatto tra le mineralizzazioni, l'atmosfera e quindi l'ossigeno e le acque sia meteoriche che sotterranee provoca una serie di reazioni di ossidazione che coinvolgono soprattutto i solfuri. Tra i solfuri metallici più comuni troviamo la Pirite (solfuro di ferro) e la Calcopirite (solfuro di rame e ferro). La conseguenza di queste reazioni è l'acidificazione delle acque e al rilascio di metalli pesanti. Le acque possono arrivare a livelli di  $\text{pH} < 2-3$ , con conseguenze disastrose per l'ambiente.

Queste reazioni avvengono quando sono presenti corpi mineralizzati a solfuri, questi sono instabili e cercano quindi decomporre, la gran parte dei metalli pesanti si associa ai solfuri. Le reazioni di ossidazione, come già anticipato, generano acidità che a sua volta favorisce la decomposizione dei minerali e il rilascio nel terreno di metalli pesanti. Questo processo avviene dopo la movimentazione di rocce che provoca il contatto con i solfuri e l'ossigeno contenuto in atmosfera e nelle acque e quindi l'innesco della reazione. Questo processo naturale (ARD) è molto amplificato dal processo antropico delle miniere (AMD). È necessario conoscere la composizione delle rocce al di sotto del sito di estrazione per monitorare e capire il conseguente drenaggio acido e il rilascio di metalli pesanti. A volte il drenaggio acido è compensato da elementi alcalini come i carbonati. In altri casi è necessario agire con misure di contenimento e tecnologie ad hoc. Questi problemi

ambientali spesso si manifestano in aree dismesse dove le cave e i rifiuti minerari vengono abbandonati, in molti casi queste aree devono essere gestite per lungo tempo anche per anni dopo la chiusura dell'impianto di estrazione.

### **Metalli pesanti e salute umana**

I metalli pesanti sono elementi naturali e spesso sono fondamentali per gli organismi viventi in piccole quantità in quanto la loro presenza è alla base di funzioni fisiologiche di molti organismi viventi, compreso l'uomo. Alcuni metalli pesanti però anche in piccole quantità o in eccesso di concentrazione possono provocare danni anche gravi agli organismi. Di seguito vengono analizzate le problematiche e le caratteristiche dei principali metalli pesanti trovati dall'analisi di letteratura:

- **Cromo:** ci sono numerose forme di cloro, ad esempio il cloro esavalente (Cr(VI)) è una delle più tossiche e cancerogene. L'esposizione avviene attraverso il contatto cutaneo o l'inalazione di polveri. Può provocare problemi polmonari, danni a fegato e reni.
- **Nichel:** L'esposizione avviene attraverso il contatto con oggetti rivestiti come possono essere utensili o gioielli. Può provocare danni respiratori anche gravi, e problematiche cutanee.
- **Cadmio:** L'esposizione avviene attraverso inalazione di polveri, fumo di sigaretta e cibo contaminato tramite catena alimentare. Può provocare danni a polmoni, reni, problematiche al sistema scheletrico, al sistema nervoso e danni immunitari.
- **Arsenico:** L'esposizione avviene attraverso l'inalazione di aria contaminata o attraverso cibo o acqua contaminata. Può provocare danni al sistema nervoso, problematiche cutanee, al fegato e al sistema linfatico.
- **Piombo:** L'esposizione è molto simile a quella dell'arsenico, attraverso aria, acqua e cibo. Può provocare danni al sistema nervoso e gravi danni permanenti nei bambini come malformazioni e disfunzioni alla nascita.
- **Rame:** L'esposizione si verifica attraverso acqua e cibo contaminati. Può provocare in caso di alte concentrazioni problemi al fegato, danni a fegato, reni e cervello.
- **Mercurio:** L'esposizione si verifica attraverso l'accumulo sulla catena alimentare. Può provocare danni gravi al sistema nervoso e al DNA.

- **Zinco:** L'esposizione deriva da contatto con polveri o assunzione incontrollata di integratori. L'eccessiva concentrazione nel corpo può provocare irritazioni al cavo orale, stanchezza, nausea e vomito.

## 1.2 Materiale estratto

Le miniere sono i luoghi centrali del settore estrattivo e possono essere a cielo aperto o sotterranee. Sono diffuse in tutto il mondo essendo uno dei pilastri alla base dell'economia globale. La miniera comprende non solo il luogo dell'estrazione ma include anche le prime fasi di sviluppo della materia prima, come la fase di selezione del minerale e la fase di preparazione. Dal sito estrattivo, perciò, esce solamente la materia prima o le materie prime desiderate. Questo comporta la presenza di rifiuti estrattivi da dover gestire per salvaguardare i lavoratori e l'ambiente. Uno dei punti più importanti da capire è che spesso non sono solo i materiali estratti a contribuire allo sversamento di metalli pesanti, ma soprattutto altri minerali e rocce di scarto.

Dall'analisi di letteratura emergono alcuni tipi di miniere che portano con sé problematiche ambientali e sanitarie dovute al rilascio di metalli pesanti, in particolare il Grafico 1 mette in relazione i materiali estratti con il numero di articoli che analizzano questi materiali.

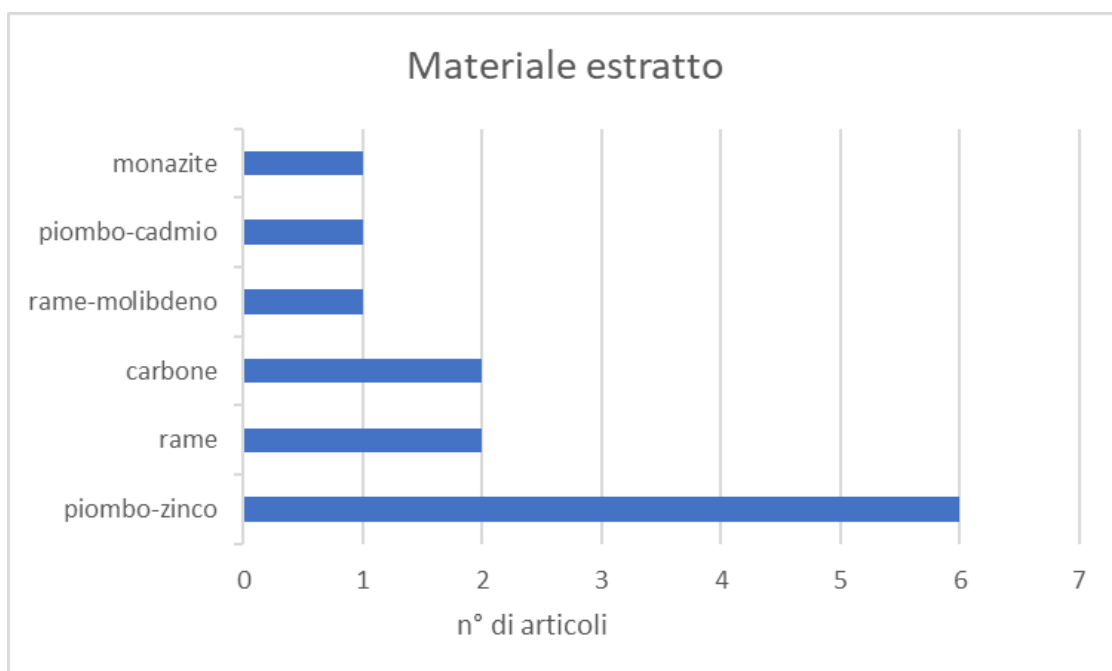


Grafico 1: Grafico a barre raggruppate sul tipo di materiale estratto

- **Piombo-Zinco:** questi due metalli sono spesso combinati, la galena (solfo di piombo) e la blenda (solfo di zinco) vengono spesso estratti assieme in molte miniere ricche di questi minerali. Queste miniere sono distribuite abbastanza uniformemente in molte parti del mondo.
- **Rame:** lo troviamo molto spesso sotto forma di minerali, è presente anche sotto forma di pepite ma più raramente. Le principali miniere (la maggior parte a cielo aperto) sono situate lungo la Cordigliera delle Ande.
- **Carbone:** anche se non è un metallo l'estrazione del carbone comporta una diffusione di metalli pesanti nell'area di estrazione a causa della movimentazione di minerali e rocce nel sito estrattivo.
- **Rame-Molibdeno:** questo minerale viene estratto sotto forma di molibdenite, wulfenite o powellite come minerale primario. Molto spesso però questo materiale viene estratto come sottoprodotto dei processi di separazione del rame da altri minerali.
- **Piombo-Cadmio:** il cadmio è di difficile accesso come minerale puro, è molto più semplice, infatti, reperirlo come sottoprodotto dei processi post-estrazione di zinco e piombo.
- **Monazite:** questo materiale fosfatico contiene metalli delle terre rare ed è per questo motivo una delle principali fonti per l'estrazione delle REE.

## 1.2 Paese di estrazione

Il Paese di estrazione è un altro punto da analizzare nella nostra ricerca. In particolare, il Grafico 2 mette in relazione i Paesi che ospitano miniere o cave negli articoli analizzati.

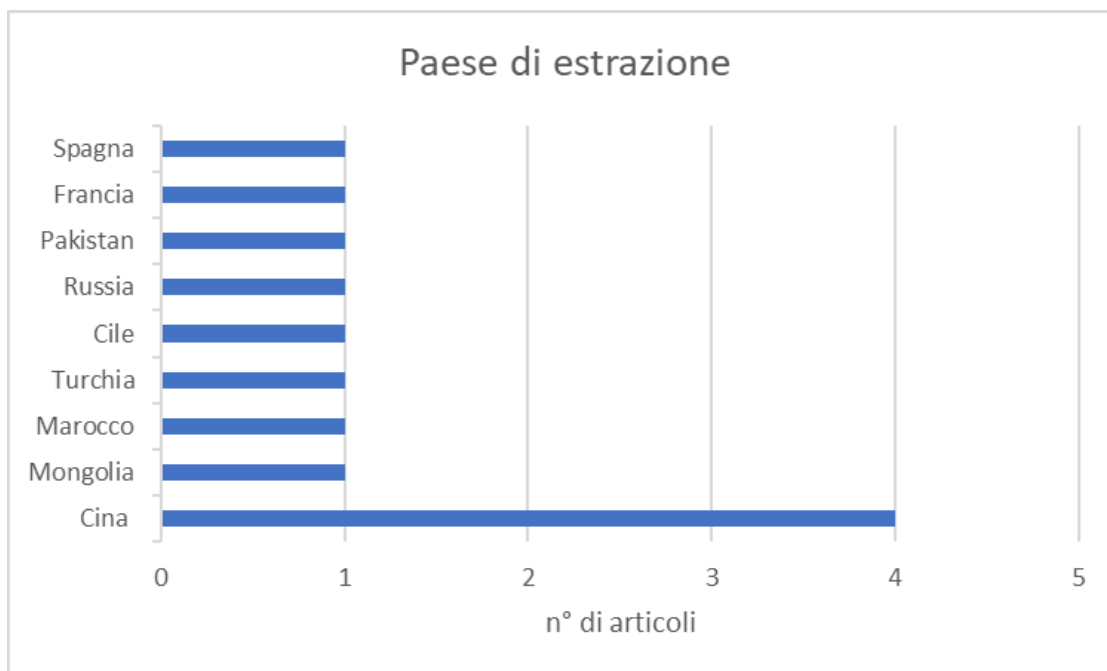


Grafico 2: Grafico a barre raggruppate sul Paese di estrazione

Notiamo dal Grafico 2 che i siti sono diffusi in tutto il mondo, non si concentrano su un solo continente o su unica zona. Ogni Paese considerato avrà zone più o meno minerarie, spesso i materiali estratti devono essere esportati dai Paesi più ricchi di materie prime verso Paesi più poveri dal punto di vista minerario.

Analizziamo i Paesi citati negli articoli:

- **Cina:** la Cina è ricca di moltissimi minerali nel sottosuolo in particolare ne spiccano alcuni di cui ne controlla gran parte del commercio globale. Le riserve di terre rare occupano l'80% del totale mondiale, inoltre sono presenti molti siti di estrazione di zinco e piombo.
- **Mongolia:** la Mongolia dispone di vasti depositi di minerali che rappresentano gran parte della economia industriale del Paese. In particolare, miniere di tungsteno, oro, molibdeno, stagno, rame e carbone.
- **Marocco:** sono presenti grandi giacimenti di fosfati che vengono ampiamente sfruttati, nel Paese sono collocate numerose miniere di cobalto, di argento, di carbone, di rame, di zinco, di piombo e di ferro.



- **Turchia:** la Turchia si colloca all'interno dei 30 Paesi mondiali per estrazione di materie prime, possiede inoltre una vasta varietà di prodotti estratti, spicca l'estrazione di terre rare di cui ha la seconda riserva mondiale.
- **Pakistan:** il Pakistan è ricco di risorse naturali tra cui: silice e zinco, pietre preziose, zolfo, carbone, oro, ferro e rame.
- **Cile:** il Cile è il più grande produttore di rame (2021). Possiede inoltre un'importante riserva di litio, fondamentale per le nuove tecnologie elettroniche.
- **Francia:** la Francia ha un sottosuolo abbastanza ricco di risorse, vengono estratti: bauxite, uranio, rame, zinco e piombo. Entro il 2028 la Francia aprirà un'importante miniera di litio.
- **Russia:** il sottosuolo Russo è tra le riserve mondiali più grandi, sono presenti numerosi minerali, in particolare i giacimenti di carbone e ferro sono tra i più grandi della terra. Il sottosuolo russo ospita 1/3 dei metalli e del carbon fossile mondiale. Esistono inoltre numerosi giacimenti di materie prime per l'industria elettrica e chimica, in continua espansione.
- **Spagna:** la Spagna ha una storia mineraria ricca e diverse miniere del Paese estraggono materie prime come: carbone, rame, piombo, zinco, mercurio e argento.

## 1.2 Indici ambientali

Gli indici ambientali sono molto importanti per la valutazione di rischio dovuto all'estrazione mineraria. Questi indici vengono utilizzati per avere un punto di vista quantitativo per la valutazione e analisi dei rischi ambientali. In particolare, negli articoli analizzati vengono utilizzati tre indici analizzati nel Grafico 3.

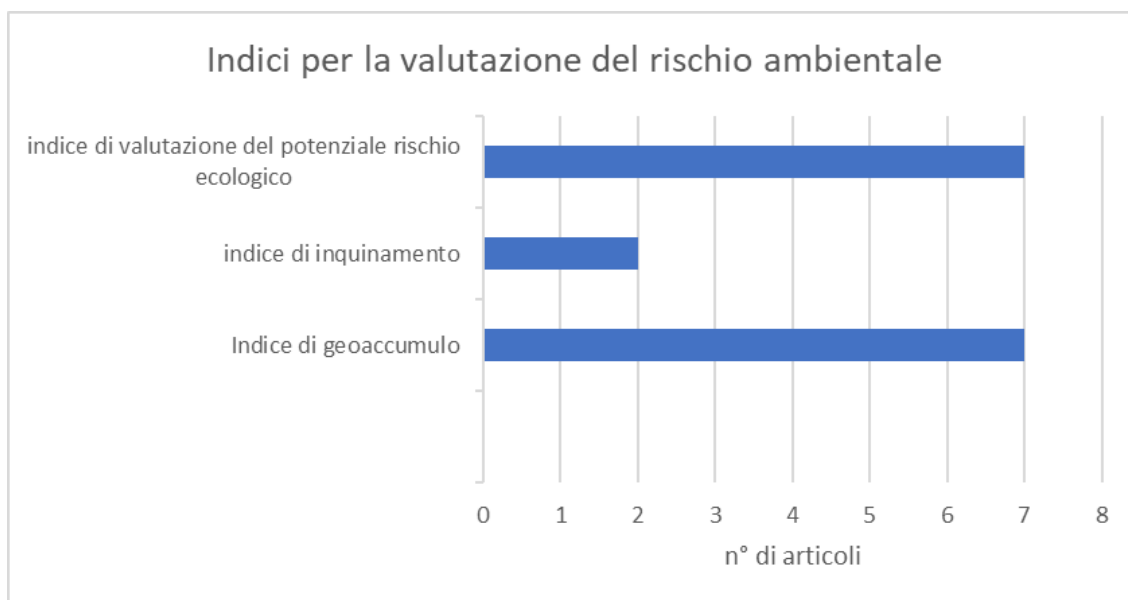


Grafico 3: Grafico a barre raggruppate sugli indici di valutazione del rischio ambientale

Notiamo che per ogni articolo sono stati usati più indici per la valutazione ambientale. Spesso infatti vengono utilizzati più indici per avere un'accuratezza migliore e un riscontro dei risultati ottenuti.

### **Indice di geoaccumulo**

Per valutare la contaminazione in un punto del suolo si utilizza l'indice di geoaccumulo. Questo valore mette a confronto le concentrazioni di metalli pesanti nella parte di suolo più vicina a noi e la parte di suolo più profonda che esprime il valore naturale di concentrazione. Si utilizzano principalmente queste due formule:

Indice di Geoaccumulo:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / (1,5 * B_n)$$

Fattore di Arricchimento:

$$EF = (Bn - Cn) / Cn$$

dove:

Cn = concentrazione di metallo nel sito/punto di campionamento a 20-30 cm di profondità

Bn = contenuto naturale nel sito/punto di campionamento a 90-140 cm di profondità

Si valuta l'indice di geoaccumulo attraverso uno schema classificativo, che divide lo stato del suolo in sei classi distinte.

<b>Classe Igeo</b>	<b>I geo</b>	<b>Stato del suolo</b>
0	< 0	non contaminato
1	0-1	da non a moderatamente contaminato
2	1-2	moderatamente contaminato
3	2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
4	3-4	fortemente contaminato
5	4-5	da fortemente a estremamente contaminato
6	>5	estremamente contaminato

Tabella 4: Tabella sulla classificazione dello stato di contaminazione del suolo riferito all'indice I<sub>geo</sub>

Nella Tabella 4 vediamo la divisione in sei classi distinte di I<sub>geo</sub>, in base al valore che otteniamo dell'indice di geoaccumulo entreremo in una determinata fascia a cui è associata una descrizione dello stato di contaminazione del suolo. In generale se siamo nella classe 0-1 abbiamo un suolo pressoché sano, altrimenti con l'aumentare del numero di classe (da 2 a 6) il suolo sarà contaminato, nei casi più gravi sarà necessario un intervento ambientale sia dal punto di vista fisico che legislativo per limitare la causa della contaminazione.

## Indice di valutazione del potenziale rischio ecologico

$$ER = \sum_{i=1}^n Er_i = \sum_{i=1}^n Tr_i \left( \frac{C_i}{B_i} \right)$$

L'indice di valutazione del potenziale di rischio ecologico (ER)

**ER** rappresenta il potenziale indice di rischio ecologico per fattori integrati, **Er<sub>i</sub>** rappresenta il potenziale indice di rischio ecologico di un singolo metallo pesante, **Tr<sub>i</sub>** rappresenta il fattore di risposta alla tossicità dei metalli pesanti. Il fattore di risposta alla tossicità per Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As e Hg è rispettivamente 5, 5, 1, 30, 5, 10 e 40.

I gradi modificati per il potenziale ecologico sono stati classificati in un gruppo a basso rischio ( $ER \leq 150$ ), a rischio moderato ( $150 < ER \leq 300$ ), ad alto rischio ( $300 < ER \leq 600$ ) e a rischio estremo ( $ER > 600$ ).

## Indice di inquinamento

$$PN = \sqrt{\left( \frac{I_{geoave}^2 + I_{geomax}^2}{2} \right)}$$

**P<sub>N</sub>** rappresenta l'indice di inquinamento complessivo di un campione **I<sub>geoave</sub>** e **I<sub>geomax</sub>** rappresentano rispettivamente il valore medio aritmetico e il massimo di **I<sub>geo</sub>** per ciascun campione.

In base ai valori di **P<sub>N</sub>**, il livello di inquinamento da metalli pesanti può essere suddiviso in gravemente inquinato (SL,  $P_N \geq 5$ ), moderatamente inquinato (ML,  $2 < P_N \leq 4$ ) e pulito (CL,  $1 < P_N \leq 2$ ) livelli.

La norma UNI EN 14902:2005 "Qualità dell'aria" è un metodo utilizzato da molte aziende o enti ambientali per valutare gli impatti ambientali del particolato PM10 in sospensione. In questa misurazione troviamo particelle di piombo, cadmio, arsenico e nichel e perciò questo metodo è di aiuto nell'individuazione dei rischi ambientali.

## 4. Discussione e conclusione

La tesi mira ad un'analisi di valutazione di rischio sulla salute e sicurezza nel settore estrattivo/minerario. In particolare, ci si concentra sui rischi di tipo ambientale andando ad analizzare metodi di valutazione, problematiche e caratteristiche generali che emergono dall'analisi di letteratura. La ricerca, infatti, si è basata sull'analisi di letteratura di alcuni articoli che sono stati selezionati attraverso vari criteri di ricerca. Attraverso il motore di ricerca per articoli scientifici abbiamo scremato la mole di documenti, considerando solo quelli che definivano i rischi ambientali dovuti ai metalli pesanti e alle materie critiche estratte. La tesi si è poi concentrata sull'analisi di questi articoli estrapolando le informazioni e i concetti chiave.

Lo studio ha evidenziato una scarsa letteratura su rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori in ambiente estrattivo, sono presenti invece numerosi articoli sul rischio ambientale. Questo è un risultato importante in quanto ci fa capire che il tema della sicurezza negli ambienti di lavoro non è un tema molto approfondito. Al contrario la tematica ambientale è abbastanza ampia e tratta molti argomenti diversi, questo grazie alla consapevolezza sulla sostenibilità ambientale che negli ultimi anni è molto aumentata.

In generale la tesi analizza in modo completo le materie prime critiche e il conseguente sversamento nel sito e nell'ambiente circostante di metalli pesanti. Le analisi di letteratura si sono concentrate sui metodi di valutazione di rischio, sui paesi coinvolti e sui materiali estratti e le conseguenze ambientali di queste.

Lo studio presenta delle limitazioni, infatti sono stati analizzati articoli presenti solamente su Scopus mentre in realtà esistono altri motori di ricerca scientifici come ad esempio Web of Science. Altre limitazioni sono state di tipo pratico: la scelta di studiare solo articoli e non altri tipi di pubblicazioni, scegliere solo articoli recenti (dal 2015) in modo tale da avere valutazioni e analisi innovative e riferite ai giorni nostri, infine abbiamo scelto articoli solo in lingua inglese.

Ci aspettiamo che questa tesi possa aprire la strada a nuove ricerche su questi argomenti molto critici e importanti per la salute e sicurezza delle comunità e dell'ambiente. In particolare, aprire la strada ad una serie di ricerche sulla salute e sicurezza dei lavoratori, questa tematica è molto importante per salvare vite e migliorare le condizioni dei

lavoratori. Questa tesi è un punto di partenza per ampliare l'analisi dal punto di vista ambientale, in quanto sono molti gli aspetti ambientali trattati negli articoli ma molti di questi riportano solamente una problematica senza cercare di migliorarla. Le tematiche analizzate sono argomenti dei nostri giorni, come già detto l'evolversi verso uno scenario green mondiale amplifica molto l'estrazione mineraria, sono quindi necessarie misure non solo per il monitoraggio dei siti ma soprattutto per la mitigazione delle problematiche attraverso l'utilizzo di tecnologie all'avanguardia. Spesso i siti estrattivi si trovano in zone povere del mondo e questo problema si trasforma in un problema sociale che colpisce i villaggi, le comunità e l'ambiente.

Per concludere, la seguente tesi può quindi essere un punto di partenza per analizzare moltissime altre strade relative alla salute e sicurezza dei lavoratori. Dal mio punto di vista è necessario concentrarsi sui rischi presenti nel sito al di fuori del rischio ambientale, che riguardano i lavoratori del settore. Infine, è necessario cercare di analizzare e implementare nuove metodologie per salvaguardare l'ambiente da rischi ambientali nel settore minerario.

## 5. Bibliografia e Sitografia

### 1.2 Bibliografia

Bah A., Jin J., Ramos A.O., Bao Y., Ma M., Li F., *Arsenic(V) immobilization in fly ash and mine tailing-based geopolymers: Performance and mechanism insight*, 2022, *Chemosphere*, 306, 135636, Export Date: 01 February 2024

Chu D.C., Amar M., Benzerzour M., Kleib J., Abriak N.-E., *Flash-Calcined Sediments for Zinc Adsorption*, 2023, *Sustainability (Switzerland)*, 15, 13, 10230, Export Date: 01 February 2024

El Azhari A., Rhoujjati A., El Hachimi M.L., Ambrosi J.-P., *Pollution and ecological risk assessment of heavy metals in the soil-plant system and the sediment-water column around a former Pb/Zn-mining area in NE Morocco*, 2017, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 464, 474, Export Date: 01 February 2024

Fleming Z.L., Gayo E.M., Manzano C.A., Panagi M., Valdés J., Siegmund A., *Impact of mining on the metal content of dust in indigenous villages of northern Chile*, 2022, *Environment International*, 169, 107490, Export Date: 01 February 2024

Higueras P.L., Jiménez-Ballesta R., Esbrí J.M., García-Giménez R., García-Noguero E.M., Álvarez R., Peco J.D., García-Noguero, C., Campos, J.A., *Occurrence and environmental constraints of gray monazite in red soils from the Campo de Montiel area (SW Ciudad Real province, south central Spain)*, 2021, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 4, 4573, 4584, Export Date: 01 February 2024

Jia Y., Zhang T., Zhai Y., Bai Y., Ren K., Shen X., Cheng Z., Zhou X., Hong J., *Exploring the potential health and ecological damage of lead–zinc production activities in China: A life cycle assessment perspective*, 2022, *Journal of Cleaner Production*, 381, 135218, Export Date: 01 February 2024

Manhart, A., Vogt, R., Priester M. *et al.* *The environmental criticality of primary raw materials – A new methodology to assess global environmental hazard potentials of minerals and metals from mining*, 2019, Mineral Economics, **32**, 91, 107, Export Date: 01 February 2024

Shaikh R., Kazi T.G., Afridi H.I., Akhtar A., Baig J.A., Arain M.B., *Geochemical exposure of heavy metals in environmental samples from the vicinity of old gas mining area in northern part of Sindh Pakistan. Adverse impact on children*, 2019, Environmental Pollution, 255, 113305, Export Date: 01 February 2024

Shangguan Y., Wei Y., Wang L., Hou H., *Sources and Distribution of Trace Elements in Soils Near Coal-Related Industries*, 2016, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 70, 3, 439, 451, Export Date: 01 February 2024

Timofeev I.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Gunin P.D., Sandag E.-A., *Geochemical transformation of soil cover in copper–molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia)*, 2016, Journal of Soils and Sediments, 16, 4, 1225, 1237, Export Date: 01 February 2024

Topal M., Arslan Topal E., Öbek E., *Preliminary assessment of health risks associated with consumption of grapevines contaminated with mining effluents in Turkey: Persistent trace elements and critical raw materials*, 2022, Integrated Environmental Assessment and Management, 18, 2, 517, 527, Export Date: 01 February 2024

Wang C.-Q., Duan D.-Y., Huang D.-M., Chen Q., Tu M.-J., Wu K., Wang D., *Lightweight ceramics made of recycled waste coal gangue & municipal sludge: Particular heavy metals, physical performance and human health*, 2022, Journal of Cleaner Production, 376, 134309, Export Date: 01 February 2024

Yang R., Ma G., Liu C., Wang C., Kang X., Wu M., Zhang B., *Effects of different heavy metal pollution levels on microbial community structure and risk assessment in Zn-Pb mining soils*, 2023, Environmental Science and Pollution Research, 30, 18, 52749, 52761, Export Date: 01 February 2024



Yurak V.V., Apakashev R.A., Lebzin M.S., Malyshev A.N., Assessment of performance and environmental friendliness of a sorbent-based remediation method for heavy metal and metalloid contaminated soils, 2023, Mining Science and Technology (Russian Federation), 8, 4, 327, 340, Export Date: 01 February 2024

## 5.2 Sitografia

<https://formstudelearning.unifi.it/mod/book/view.php?id=1092&chapterid=122>,

consultato il 31/01/2024

<http://www.prisma-statement.org/>, consultato il 31/01/2024

[https://it.wikipedia.org/wiki/Scopus\\_\(base\\_di\\_dati\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Scopus_(base_di_dati)), consultato il 02/02/2024

[https://webbook.arpae.it/export/shared/documenti/SUOLO/Metalli/Su\\_Box1.pdf](https://webbook.arpae.it/export/shared/documenti/SUOLO/Metalli/Su_Box1.pdf),

consultato il 02/02/2024

[https://commission.europa.eu/index\\_en](https://commission.europa.eu/index_en), consultato il 30/01/2024

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/metalli-pesanti/progetto-cartografia-pedogeochemica-a-scala-1-250000-carta-delle-anomalie-geochemiche>,

consultato il 30/01/2024