

## TITOLO DEL PROGETTO

### **Gestione sostenibile di uno *stockpile* minerario guidata da un dataset di dati multidisciplinari di sito (Mira, Ve)**

## IDEA PROGETTO

Gli *stockpile* sono dei volumi di minerale utile e di ganga generati da attività mineraria o industriale che hanno la caratteristica di essere omogenei dal punto di vista mineralogico e chimico (Ridley 2013). Questi sono prodotti secondari che contengono concentrazioni potenzialmente elevate di diverse *commodity* con un valore economico potenzialmente significativo. Nel periodo storico attuale in cui esiste una forte richiesta globale di risorse per lo sviluppo economico, questi prodotti secondari sono considerati delle risorse minerarie (Xu et al. 2019; Kinnunen et al. 2022). In termini economici, il riciclo degli *stockpile* è uno dei modi con cui l'economia circolare può essere messa in pratica dall'industria mineraria moderna (Geng et al. 2019). Questo è possibile perché i minerali utili degli *stockpile* possono essere riciclati con tecniche industriali sostenibili e le *commodity* estratte possono soddisfare le richieste di mercato.

In aggiunta agli *stockpile*, le attività minerarie ed industriali generano altri prodotti secondari alcuni dei quali hanno una definizione ambigua (Young et al. 2021). Si tratta di sottoprodotti indicati come rifiuti o scarti (*waste*), sterili (*tailings*), liquami (*slurry*), riempimenti (*backfill*), scorie (*slag*). In letteratura, tutti questi sottoprodotti sono identificati dal termine generico "scarti" (*wastes*: Young et al. 2021), ma questo termine si presta a fraintendimenti e non è accurato perché non tiene conto della composizione mineralogica e chimica dei materiali. Gli scarti sono composizionalmente eterogenei a causa dei processi fisici e chimici che li hanno generati – come ad esempio i processi metallurgici – e contengono quantità variabili d'acqua e di sostanze potenzialmente pericolose come i solventi organici ed inorganici, gli acidi, ed i metalli pericolosi. Di conseguenza, la loro attitudine ad essere riciclati con profitto (ed il loro valore economico) varia notevolmente. Ciò contrasta fortemente con le caratteristiche intrinseche degli *stockpile*.

Nonostante gli *stockpile* siano i materiali potenzialmente migliori da riciclare, e sebbene siano messi in posto in ambienti ingegnerizzati che permettono soltanto una bassa interazione con l'ambiente circostante, questi volumi di minerali si trovano comunemente in spazi aperti che possono rilasciare componenti chimici pericolosi nell'ambiente circostante, specialmente nelle acque sotterranee. Ciò è possibile se uno o più minerali degli *stockpile* sono

sufficientemente solubili da essere disciolti in acqua e quindi rilasciare componenti chimici nel sottosuolo in seguito ad infiltrazione di acqua superficiale. Questi componenti chimici potrebbero contaminare gli acquiferi o gli ecosistemi locali e di conseguenza diminuire il valore stesso dello *stockpile*. In sintesi, il pericolo generato dalla potenziale contaminazione ambientale di componenti chimici presenti in uno *stockpile* rappresenta un fattore ambientale importante che giustifica il loro monitoraggio continuo (Lottenmoser 2010).

La caratterizzazione mineralogica, chimica e litologica di minerali e rocce permette lo studio ed il monitoraggio degli *stockpile*. Questi metodi permettono di stabilire caratteristiche fondamentali come l'identità dei componenti chimici potenzialmente lisciviabili, la loro concentrazione all'interno di alcune specie mineralogiche (cristalline e non), ed anche le dimensioni di queste specie. Questi dati permettono tuttavia di stimare soltanto qualitativamente il potenziale impatto della lisciviazione di componenti chimici, dal momento che la determinazione *quantitativa* della lisciviazione è determinata con altri metodi come i "test di lisciviazione". Questi test sono l'insieme di procedure ed analisi di laboratorio che hanno l'obiettivo di determinare gli effetti di un'acqua di percolazione attraverso un letto poroso di materiale granulare (Lorenzen 1995). Durante un test, il campione solido produce una soluzione (*eluato*) la cui composizione simula l'acqua d'infiltrazione superficiale che ha lisciviato lo *stockpile*, e la composizione di questa soluzione permette il monitoraggio continuo. I test di lisciviazione sono oggi utilizzati come il metodo preferito di caratterizzazione degli scarti minerari, e sono esplicitamente richiesti dalla legislazione europea (EN12457-2:2002 2002). È tuttavia noto che questi test non permettono di quantificare con accuratezza la presenza di componenti pericolosi negli scarti perché i risultati ottenuti dall'analisi degli eluati non sono affidabili e non possono essere comparati ad esperimenti di lisciviazione in campo aperto (Zandi et al. 2007). Sarebbe quindi auspicabile perfezionare le procedure di realizzazione di questi test per renderli più precisi ed accurati.

Questo progetto si propone di valutare le modalità con cui si possono perfezionare i test di lisciviazione da applicare ad uno *stockpile* realizzato presso il Comune di Mira (Ve). L'area di studio è uno *stockpile* formato da un ammasso di c. 1 Mt di ossidi di Fe ad alta concentrazione che è stato sottoposto a studi precedenti (Giacomella 2025). Il perfezionamento di questi test ha l'obiettivo di stabilire una procedura accurata e replicabile per questo *stockpile*, e di utilizzare i dati per il monitoraggio in corso. Questi nuovi test permetteranno di mettere a punto una strategia di monitoraggio e di coltivazione a lungo termine del sito nel rispetto dell'ambiente circostante.

## **BIBLIOGRAFIA**

- EN12457-2:2002 2002 Characterisation of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges, in: Standardization. E.C.f. (Ed.). Brussels, pp. 1-11.
- Geng Y., Sarkis J., Bleischwitz R. 2019 Globalize the circular economy. *Nature* 565, 153-155.
- Giacomella B. 2025 The interaction between a Fe-oxide rich stockpile and the environment constrained with a multi-technique approach (Venice's lagoon, Italy), MSc Thesis. Department of Biological, Geological Environmental Sciences. University of Bologna, Bologna, Italy, pp. 1-52.
- Kinnunen P., Karhu M., Yli-Rantala E., Kivikytö-Reponen P., Mäkinen J. 2022 A review of circular economy strategies for mine tailings. *Cleaner Engineering and Technology* 8, 100499. doi.org/<https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100499>.
- Lorenzen L. 1995 Some guidelines to the design of a diagnostic leaching experiment. *Minerals Engineering* 8(3), 247-256. doi.org/[https://doi.org/10.1016/0892-6875\(94\)00122-S](https://doi.org/10.1016/0892-6875(94)00122-S).
- Lottenmoser B. 2010 *Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, Third ed. Springer Nature. doi.org/<https://doi.org/10.1007/978-3-642-12419-8>.
- Ridley J.R. 2013 *Ore Deposit Geology*, 1st Edition ed. Cambridge University Press.
- Xu D.-M., Zhan C.-L., Liu H.-X., Lin H.-Z. 2019 A critical review on environmental implications, recycling strategies, and ecological remediation for mine tailings. *Environmental Science and Pollution Research* 26(35), 35657-35669. doi.org/10.1007/s11356-019-06555-3.
- Young A., Marreto M.L., Chovan K. 2021 Towards a circular economy approach to mining operations. Key Concepts, Drivers and Opportunities, in: Canada N.R. (Ed.). Materials Efficiency Research Group and Enviro Integration Strategies Inc. , pp. 1-97.
- Zandi M., Russell N.V., Edyvean R.G.J., Hand R.J., Ward P. 2007 Interpretation of standard leaching test BS EN 12457-2: is your sample hazardous or inert? *Journal of Environmental Monitoring* 9(12), 1426-1429. doi.org/10.1039/B712957B.