

V SIMPOSIO
"ATTIVITA' MINERARIE
NEL BACINO DEL MEDITERRANEO"

29 – 30 Giugno 2018

Aula Magna Istituto Minerario

Via Roma n. 45

IGLESIAS

Editore: Associazione Mineraria Sarda, Via Roma 39, 09016 Iglesias CA Italy;

Presidente : Enrico Contini

ISBN: 9788897214021

Phone – Fax: +39 0781 22387; Mobile: +39 348 9014006;

E-mail: segreteria@assoziazioneminerariasarda.it

Comitato Scientifico AMS

Dott. Geol. Stefano NAITZA

Dott. Ing. Giampaolo ORRU'

Dott. Geol. Fabio GRANITZIO

Dott. Ing. Marco ORUNESU

Dott. Ing. Antonio ZUCCA

Prof. Geol. Sandro TOCCO

Segreteria Organizzativa

Dott. Giampaolo ATZEI

Sig. Erminio COCCO

Dott. Giorgio MADEDDU

Dott. Ing. Massimiliano MANIS

Comitato Scientifico EIT/CNR

Dott. Pier Luigi Franceschini

Dott. Paolo Dambroso

Dott. Davide Peddis

Dott.ssa Floriana La Marca

INDICE

RED MUD FULL RECOVERY: LA "FABBRICA DEI METALLI"	4
LA RICONVERSIONE MINERARIA E L'ECONOMIA CIRCOLARE: NUOVO PARADIGMA DI SVILUPPO INDUSTRIALE	9
RECUPERO DI SPECIE UTILI DAI RESIDUI MINERO-METALLURGICI: POTENZIALITA' E PROBLEMATICHE DELLA SITUAZIONE IN SARDEGNA	23
I RESIDUI DALLO SPAZZAMENTO DELLE STRADE: RIFIUTI O RISORSE?	34
STIMA DELL'EROSIONE EOLICA DELLE SUPERFICI DEI BACINI DI DECANTAZIONE ..	41
USING MINERAL BASED TECHNOLOGY TO BOOST LIQUID-SOLID SEPARATION IN MINE PROCESS, SURFACE WATER AND TAILINGS APPLICATIONS	55
PRE-CONCENTRATION AND GANGUE REJECTION FOR IMPROVING ENVIRONMENTAL FOOTPRINT BY USING THE TRIFLO®	65
3D IMMERSIVE EXPLORATION TOOL FOR THE MINING INDUSTRY	78
FROM BIOMINERALOGY TO BIOMINERALURGY: OPPORTUNITIES TO COMBINE REMEDICATION AND EXPLOITATION.	87
METALLOGENIC FEATURES OF THE SIDERITE AND CO-NI-FE ARSENIDES HYDROTHERMAL SYSTEM FROM USSEGLIO	88
IL CAMPO FILONIANO A NI-CO DEL DISTRETTO ARBURESE (SARDEGNA SW): CARATTERIZZAZIONE GEO-GIACIMENTOLOGICA E MINERALOGICO-GEOCHIMICA DI UNA RISORSA DI INTERESSE STRATEGICO	101
CRITICAL ELEMENTS IN SUPERGENE ORE DEPOSITS: EXAMPLES FROM BAUXITES, Ni-LATERITES AND NONSULFIDE Zn ORES	104
THE GORNO ZN-PB DEPOSIT - PROJECT UPDATE AND APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO THE EXPLORATION OF INACCESSIBLE MINE TUNNELS	115
VALUTAZIONI TECNICHE ED ECONOMICHE RELATIVE ALLA RIAPERTURA DI UNA MINIERA DI "MATERIE PRIME ESSENZIALI UE:" IL CASO DI SILIUS	128
IL GIALLO SAN GIACOMO: UN GRANITO ALTERATO COME LAPIDEO ORNAMENTALE	140
APPLIED PROTOCOL FOR EXTRACTIVE WASTE SUSTAINABLE EXPLOITATION: THE CAMPELLO MONTI CASE STUDY	148

EVALUATION OF IRON AND PHOSPHATE GRADES IN STOCKPILES USING GEOSTATISTICAL METHODS.....	160
DEPOSITI MVT DEL DISTRETTO MINERARIO DI GORNO (ALPI OROBIE): NUOVI STUDI STRATIGRAFICI E GIACIMENTOLOGICI.....	161
COMBINED PROCESS OF CO2 CAPTURE AND RED MUD NEUTRALIZATION.....	163
MARBLE WASTE REDUCTION STRATEGY USING CARBONATE MICROFINE SAWDUST	164
3D MODELLING OF COMPLEX INTERFERENCE ZONE IN THE VARISCAN FORELAND OF SW SARDINIA (MONTEPONI MINE)	172
RED MUD AS ALUMINIUM SOURCE FOR ZEOLITE SYNTHESIS	181
NICO ALLOYS AS CATALYST FOR MAGNETICALLY INDUCED DRY REFORMING OF METHANE	182
OXIDIZED ZN-PB MINERALIZATION IN THE GORNO ZN PROSPECT (BERGAMO, ITALY): NEW DATA ON THE OLTRE IL COLLE-PIAN BRACCA EXPLORATION AREA. ..	183
TULU KAPI: STORIA DI UNA MINIERA D'ORO 'ITALIANA' IN ETIOPIA.....	185

RECUPERO DI SPECIE UTILI DAI RESIDUI MINERO-METALLURGICI: POTENZIALITA' E PROBLEMATICHE DELLA SITUAZIONE IN SARDEGNA

Manca P. P.^{1*}, Massacci G.¹, Mercante C.¹, G. Orrù²

1. University of Cagliari, Department of Civil and Environmental Engineering and Architecture, via Marengo 2, Cagliari 09123, Italy.

2. I.I.S. Technical Mining Institute "Asproni-Fermi", Via Roma 45, Iglesias 09016, Italy.

*Corresponding author: ppmanca@unica.it; Tel : +39 070 675 5529

Abstract

The paper discusses the hypothesis of reprocessing of mineral waste according to the following items: general distribution in Sardinia; distribution of Pb and Zn mining wastes in the Sulcis Iglesiente Guspinese; results of the first batch flotation tests. The application of the mining waste treatment as a reclamation technique is mostly based on the flotation technique that proved to be useful for separating the remaining minerals from the gangue. This provides both an environmental benefit and an economic advantage, which in some cases repays the reprocessing costs, even though several difficulties could be encountered in the application of flotation to mining waste. The paper presents the results of the experimental laboratory batch tests, which proved to be encouraging in the case of the Montevecchio mining district (SW Sardinia). Nevertheless, future work is needed to clarify, as much they are valid for the different situations present on the site.

Keywords: mining wastes; Pb and Zn tailings reprocessing

1. Introduzione

La ricerca rientra tra i temi in cui si articola il Progetto CESA (Centro di Eccellenza per la Sostenibilità Ambientale), finanziato dal Piano Sulcis e a cui partecipano l'Università di Cagliari, la Regione Sardegna, l'AUSI e la Società IGEA. In particolare, il tema del recupero di specie utili intende conseguire un doppio risultato: quello di estrarre concentrati commerciali, residui o non ancora valorizzati e quello di bonificare le stesse aree, trasformando il residuo minerario in un materiale inerte disponibile per altri usi nello stesso territorio. La soluzione proposta attiva un processo di economia circolare con un bilancio economico che può essere anche positivo, nel quale svolgono un ruolo fondamentale i riusi del materiale e in primo luogo il legame tra il processo mineralurgico di estrazione iniziale e il metallurgico di produzione finale. In questo quadro potrà svolgere un ruolo determinante la presenza, ancora attiva, di un impianto metallurgico che opera sia nel polo industriale di Portovesme sia in quello di San Gavino.

Il lavoro presenta alcuni dati riassuntivi sulla distribuzione dei residui minerari in Sardegna e i risultati delle prime prove sperimentali di flottazione, effettuate su materiali prelevati dalle discariche presenti nel sito di Montevecchio Ponente – Incurtosu. Benché si tratti di materiali con caratteristiche particolarmente favorevoli, i risultati ottenuti incoraggiano

approfondimenti su situazioni rese più complesse sia da processi ossidativi in atto sia da basse concentrazioni residue di metalli.

2. I residui minerari come materie prime secondarie

La disponibilità di materie prime minerali è determinante per lo sviluppo sostenibile. Nell'ambito dell'Unione Europea, tuttavia, un'attività mineraria può essere intrapresa solo nel rispetto di severi vincoli ambientali; d'altro canto la presenza di ingenti quantità di rifiuti derivanti dalle attività minerarie e mineralurgiche pregresse rappresenta un rischio ambientale di primaria importanza.

I residui minerari solidi rappresentano infatti la sorgente primaria di inquinamento derivante dalle attività minerarie dismesse.

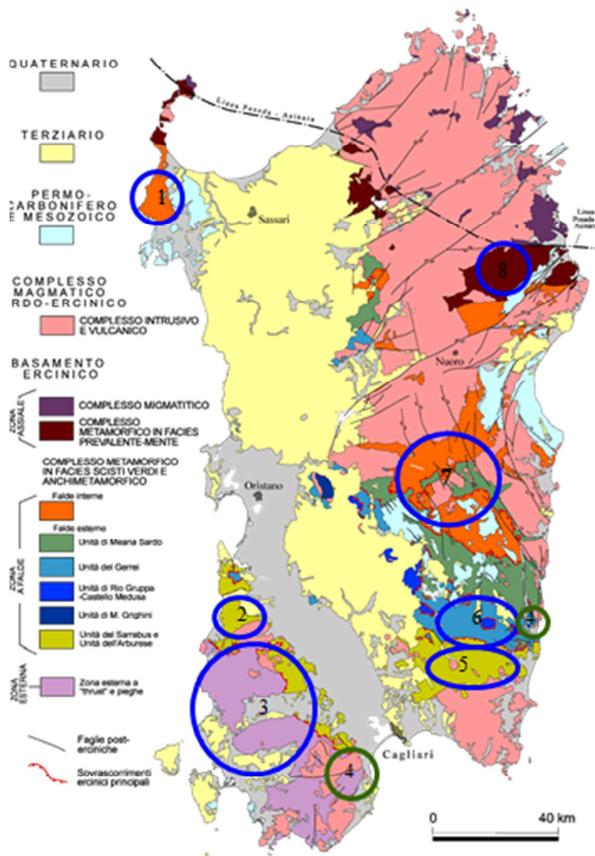
Il recupero di risorse da rifiuti può rappresentare una soluzione a entrambe le problematiche, economicamente e ambientalmente sostenibile (Dentoni et al. 2017), se il ritrattamento mineralurgico dei rifiuti assume come obiettivo fondamentale l'ottenimento di sterili definitivi con concentrazioni di inquinanti non superiori ai valori del fondo naturale e pertanto idoneo al riuso, in particolare come materiali per la realizzazione di interventi di riqualificazione del territorio (riempimento di vuoti, rimodellamento delle aree minerarie abbandonate, sottofondi, rilevati, ecc.), preferibilmente nella stessa area, o come materia prima per vari settori industriali (costruzioni, cemento, ceramica, vetro) (Manca et al. 2014; Manca et al. 2015); il recupero di specie utili, invece, è da considerare un obiettivo secondario, per quanto importante in quanto il loro valore commerciale ripaga - in parte o talora anche totalmente - i costi del processo. Il ritrattamento, d'altronde, è più economico della valorizzazione mineralurgica tradizionale perché si risparmiano i costi di frantumazione e macinazione (che rappresentano una proporzione intorno al 50% dei costi totali di trattamento nelle attività industriali tradizionali).

In tale prospettiva, in linea con i principi dell'economia circolare, i rifiuti minerari e mineralurgici sono visti come potenziali materie prime secondarie. La possibilità di ritrattamento è basata principalmente sulla flottazione, eventualmente preceduta da selezioni dimensionali, macinazioni e preconcentrazioni.

Il procedimento può presentare alcuni aspetti critici. Nel caso dei residui del trattamento di minerali piombozinciferi (ai quali si farà principalmente riferimento, nel seguito, in quanto si tratta della tipologia quantitativamente prevalente in Sardegna e in particolare nell'area del Sulcis-Iglesiente-Guspinese) le criticità principali sono: la granulometria molto fine, i limitati tenori di specie utili residue, la presenza di minerali ossidati di Pb e Zn di difficile trattabilità, i processi di alterazione sviluppatasi nel lungo tempo trascorso dalla loro deposizione (tra 50 e 80 anni), dovuti all'ambiente geochimico e alla elevata superficie specifica.

3. Diffusione regionale dei residui minerari

La bonifica di aree minerarie dismesse attraverso il ritrattamento dei residui minerari ha potenzialità facilmente valutabili attraverso l'esame della diffusione regionale delle attività minerarie, presenti in Sardegna sin dai primi sviluppi industriali del settore, come si può osservare in Figura 1 (Naitza et al. 2014).



	Località	Tipologia	Minerali di
1	Nurra	Filoni dell'Argentiera	Pb-Zn
2	Arburese	Filoni di Montevecchio-Ingurtosu-Gennamari	Pb-Zn
3	Iglesiente-Sulcis	Depositi MVT e karst	Pb-Zn-Ba
4	Sud Sardegna	Depositi minori	Fe, Cu, Sn, Mo, Ni-Co
5	Gerrei Distretto di Villasalto-Ballao	Filoni del Gerrei e di Quirra	Sb-W-As e F-Ba
6	Sarabus	Filoni dell'"Argentifero" e incrociatori	Ag-Pb e F-Ba
7	Barbagia-Ogliastra	Depositi a solfuri misti "tipo Funtana Raminosa" – skarn e skarnoidi	Cu-Zn-Pb
8	Baronie	Filoni di Sos Enattos-Guzzurra-Arghentaria	Pb-Zn

Figura 1 – Quadro di sintesi delle principali attività estrattive in Sardegna (Naitza et al. 2014)

Dal suo esame si evince che i grandi poli di sviluppo minerario in Sardegna sono stati otto, così come sono stati censiti nel Piano di Bonifica della RAS (marzo 2008). Si osserva inoltre che le attività di gran lunga prevalenti sono state le coltivazioni dei giacimenti di Pb e Zn e che il polo di maggior importanza è stato certamente quello Iglesiente – Guspinese. L'osservazione è peraltro testimoniata dalle 133 miniere censite in quel territorio rispetto al totale di 169 dell'intero territorio regionale. La soluzione proposta sarà quindi incentrata prevalentemente sui residui di tali lavorazioni e prenderà in esame, in primo luogo, l'area del Sulcis – Iglesiente Guspinese (Tabella 1).

Tabella 1 – Quadro di sintesi dei residui minerari nell'Iglesiente Guspinese

SITO	VOLUMI m ³	SUB-AREE	VOLUMI m ³	PB%	ZN%
Cabitza	2.100			0,58	1,28
Campera	424.000			0,06	0,34
Campo Pisano	9.340.000			0,34	1,33
Domus Nieddas					
Genna Maiore	18.000			0,22	3,47
Genna Rutta	21.000			0,32	8,53
Laveria Malfidano Buggerru					
Masua	4.460.000	Bacini	3.800.000	0,23	0,98
		Area industriale	660.000	0,50	2,00
Monte Agruxau	320.000			0,58	2,50
Monte Onixeddu	90.000			4,10	0,98
Monte Scorra	231.000			0,90	4,50
Monte Uda	26.300			2,71	0,87
Monteponi	1.650.000	Cungiaus	600.000	1,64	4,40
		S. Marco	170.000	0,76	2,63
		Gravimetria	260.000	1,00	4,80
		Fanghi rossi	620.000	1,20	6,40
Montevecchio	12.660.000	Discariche	60.000	1,12	0,73
		Area industriale	700.000	2,06	2,00
		Bacino	5.000.000	0,28	0,67
		Tailings	6.900.000	0,31	0,25

SITO	VOLUMI m ³	SUB-AREE	VOLUMI m ³	PB%	ZN%
Mont.io Ponente - Ingurtosu	2.870.000	Discariche	2.200.000	0,81	0,76
		Abbancamenti fini	670.000	0,43	1,10
Nebida	215.000			1,57	3,15
Palude Sa Masa					
San Giorgio					
San Giovanneddu	2.320.000		0,83	2,02	
San Giovanni	270.000		2,33	2,34	
Seddas Moddizzis	350.000		1,72	5,03	
Asta fluviale Rio San Giorgio					
Totale m³	35.267.400				
Totale t	56.427.840				

Il primo passo della ricerca è stato la raccolta di informazioni preliminari su volumetrie e concentrazioni residue di Pb e Zn in quel territorio, così come si deduce dai piani di caratterizzazione svolti da IGEA ai sensi del Dlg 152/2006.

I risultati ottenuti relativi al territorio del Sulcis – Iglesiente – Guspinese sono raccolti in forma sintetica nella Tabella 1.

4 Materiali e metodi

I materiali oggetto dello studio provengono dall'area mineraria di Montevecchio-Ingurtosu (Sardegna sud-occidentale) che ha rappresentato uno dei maggiori distretti minerari della Sardegna per la coltivazione del Pb e dello Zn (Caboi et al. 1993).

I corpi mineralizzati dell'area di Montevecchio-Ingurtosu sono legati agli eventi orogenetici varisici in cui le imponenti intrusioni granitiche, nello specifico il granito dell'Arburese, che hanno dato luogo a importanti fenomeni tra cui l'attivazione di circuiti idrotermali con deposizione di mineralizzazioni di vario tipo: mineralizzazioni filoniane idrotermali a blenda, galena argentifera e quarzo, a barite e/o fluorite e subordinatamente con minerali di rame, stagno, molibdeno, wolframio, nichel e cobalto (Salvadori et al. 1973, Naitza et al. 2014; Biddau et al. 2001); nelle mineralizzazioni, oltre ai metalli base, è stata accertata la presenza di un ampio set elementi quali In, Ge, Ga, Ag, etc. (Naitza et al. 2014) in cui la maggior parte di questi elementi oggi sono divenuti critici per l'Europa (Report on Critical Raw Materials 2018).

4.1 Prove di flottazione preliminari

La flottazione è un processo di arricchimento mineralurgico ad alta produttività e bassi costi che si integra facilmente con i processi metallurgici utilizzati negli impianti presenti nel polo industriale di Portovesme (Kawatra et al. 2011, Kursun et al. 2012).

Il primo aspetto che si è inteso verificare è stato la flottabilità di materiali poveri e la possibilità di ottenere da questi l'alto tenore in zinco (sino al 50% richiesto dalla metallurgia) nel concentrato e il basso tenore (sotto la CSC o il Fondo Naturale) nello sterile definitivo.

4.2 I materiali

I materiali campionati sono stati sottoposti ad analisi mineralogica XRD che ha indicato la presenza di muscovite, quarzo e sfalerite. Ai fini delle prove di flottazione, sono state considerate cinque miscele con differenti tenori di Pb e Zn (da sterili molto poveri sino a un campione di sfalerite raccolto nelle stesse discariche).

In Tabella 2 sono riportati i risultati dell'analisi chimica multi elementare dei rifiuti usati come alimentazione nelle prove di flottazione. I reagenti utilizzati sono indicati in Tabella 3.

Tabella 2. Analisi chimica multielementare dei materiali usati (espressi in mg/kg).

Test N.	As	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
Flot_01	158	240	50	1,769	29,207	206
Flot_02	164	259	50	1,762	31,364	209
Flot_03	123	135	53	1,806	17,339	190
Flot_04	120	126	53	1,809	16,290	189
Flot_05	104	78	54	1,826	10,837	181

Tabella 3. Reagenti usati nelle prove di flottazione.

Reagente	Concentrazione	Sezione d'impianto	Ruolo
Na Isopropyl xanthate	100 g/t	Sgrossatura e Finitura	Collettore dei solfuri
CuSO ₄	400 g/t		Attivatore della sfalerite
Dowfroth 1015	100 g/t		Schiumogeno
Na ₂ CO ₃	400 g/t	Esaurimento	Regolatore del pH
Na Oleate	300-400 g/t		Collettore degli ossidati

4.3 Metodi

Le prove di flottazione sono state eseguite in una cella Denver da 2.5 dm³ alimentata con 700 g di solidi. Lo schema di trattamento comprende tre fasi (Fig. 2): Sgrossatura, Finitura ed Esaurimento. Sono stati ottenuti tre prodotti: Flottato Definitivo (il concentrato commerciale), Sterile Definitivo (i residui riutilizzabili), e il Flottato dell'Esaurimento (il concentrato non commerciale). Anche il terzo prodotto deve essere tenuto in considerazione: ricircolare nel

processo il flottato dell'esaurimento non è opportuno, poiché aumenterebbe il tenore dello sterile, mentre la finalità è opposta. Nella sezione di esaurimento maggiore è il tenore di Zn del flottato, minore è il tenore di Zn nel rifiuto.

I campioni sono stati macinati e quindi vagliati. Sulla frazione $-250 \mu\text{m} +5 \mu\text{m}$ è stata eseguita una serie di cinque prove di flottazione secondo lo schema di trattamento di Fig. 2. Nella sezione di sgrossatura è stato aggiunto CuSO_4 e la torbida è stata condizionata per 5 min a pH 6.5. La torbida è stata condizionata con i collettori (tempo di condizionamento 10 min). Come schiumogeno, infine, è stato usato Dowfroth (dosaggio 100 g/Mg). La collezione della schiuma è stata protratta per 10 min. Il Flottato Definitivo, lo Sterile Definitivo e il Flottato dell'Esaurimento sono stati essiccati, pesati e analizzati con uno spettrometro ICP/OES (PerkinElmer 7000 Optima).

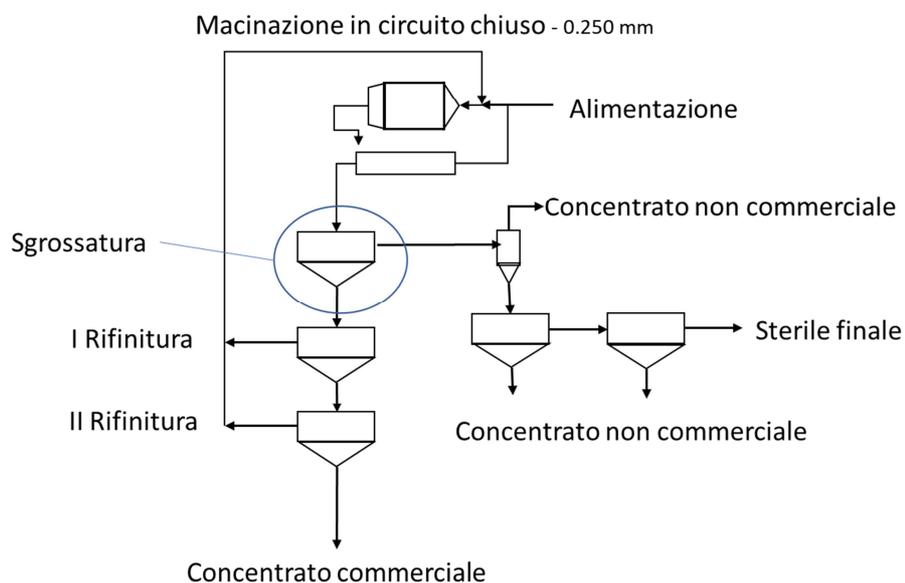


Figura 2. Flowsheet ricostruito dalle prove di flottazione in batch.

Il Flottato Definitivo è stato ottenuto dopo due fasi di finitura. Prima dell'esaurimento, il materiale è stato slimato mediante idrociclone ad alta pressione (0.5 MPa e $d_{50} = 5 \mu\text{m}$). Il tenore di ciascuno dei due prodotti deve soddisfare le condizioni seguenti: il Flottato Definitivo deve avere un tenore di Zn $> 40\text{-}50\%$ (per soddisfare i requisiti della metallurgia); lo Sterile Definitivo Zn $< 1500 \text{ mg/kg}$ (in accordo con le normative ambientali italiane per siti industriali). Il flottato dell'esaurimento è stato considerato come un rifiuto da inertizzare a costo minimo.

4.4 Risultati e discussioni

I risultati dei cinque gruppi di prove di flottazione sono riportati in tabella 4 e negli istogrammi delle figure 3, 4 e 5. Il recupero di metallo nel Flottato Definitivo è risultato

compreso tra 95% e 70%, in funzione delle modalità di esecuzione della rifinitura, indipendentemente dal tenore in Zn dell'alimentazione.

Si è messo in evidenza che le flottazioni di rifinitura dei concentrati e di rilavaggio degli sterili accentuano gli opposti livelli di concentrazione dello Zn sino al conseguimento degli obiettivi proposti; le differenze nei tenori dell'alimentazione producono rese in peso diverse, ma non condizionano i recuperi in metallo.

Gli istogrammi di Figura 5 si riferiscono agli sterili definitivi (tailings) e mettono in evidenza attraverso il rapporto tra le concentrazioni misurate e le CSC dei singoli analiti il rispetto dei limiti di legge definiti dalla 152/2006 per i siti industriali.

Tabella 4. Flottato Definitivo e Sterile Definitivo: risultati dell'analisi chimica multi-elementare

	Flottato mg/kg					
	As	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
Flot_01	366	3,164	27	5,208	502,003	2,535
Flot_02	312	2,425	56	4,894	552,273	2,521
Flot_03	894	99	43	11,109	506,512	88
Flot_04	711	3,675	33	8,900	477,833	3,967
Flot_05	673	454	42	6,449	446,623	466
	Sterile mg/kg					
	As	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
Flot_01	30	7	44	586	1,019	72
Flot_02	28	5	31	834	1,227	52
Flot_03	19	4	30	554	915	63
Flot_04	40	7	34	581	1,028	68
Flot_05	40	8	35	660	1,009	70

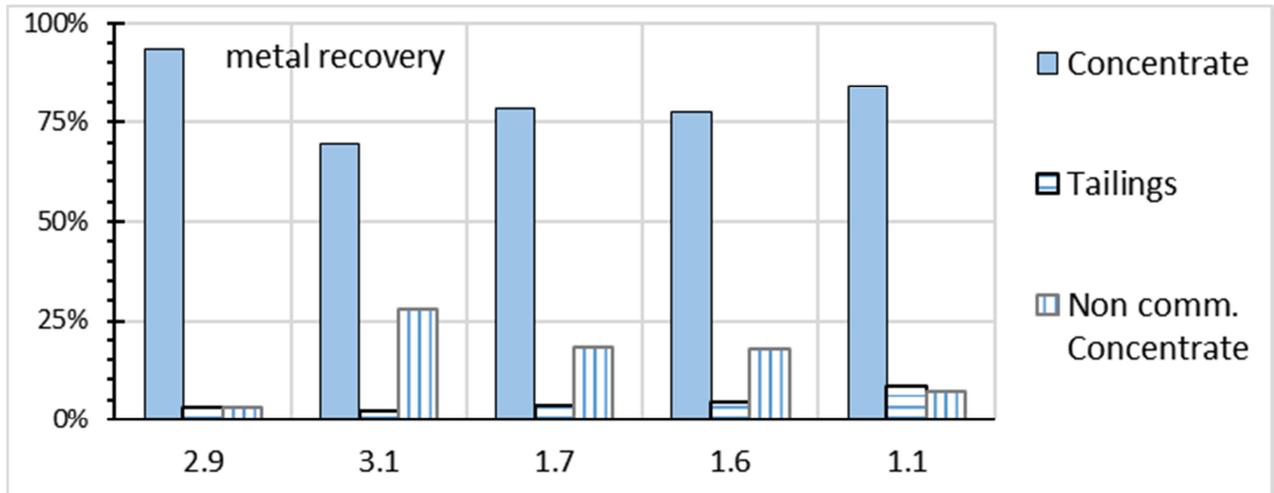


Figura 3. Risultati delle prove di flottazione: recupero dei metalli vs tenore di alimentazione.

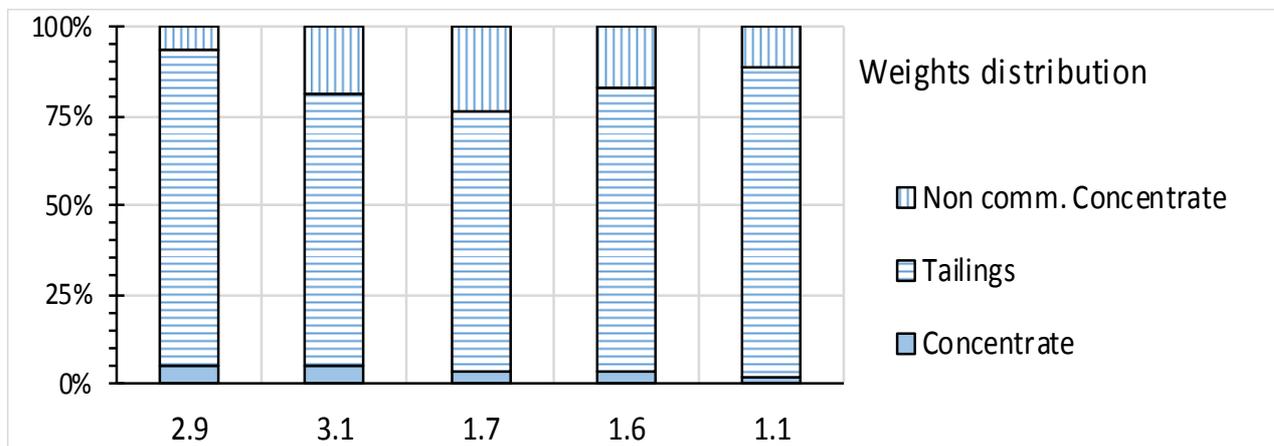


Figura 4. Ripartizione percentuale dei pesi vs tenori di alimentazione.

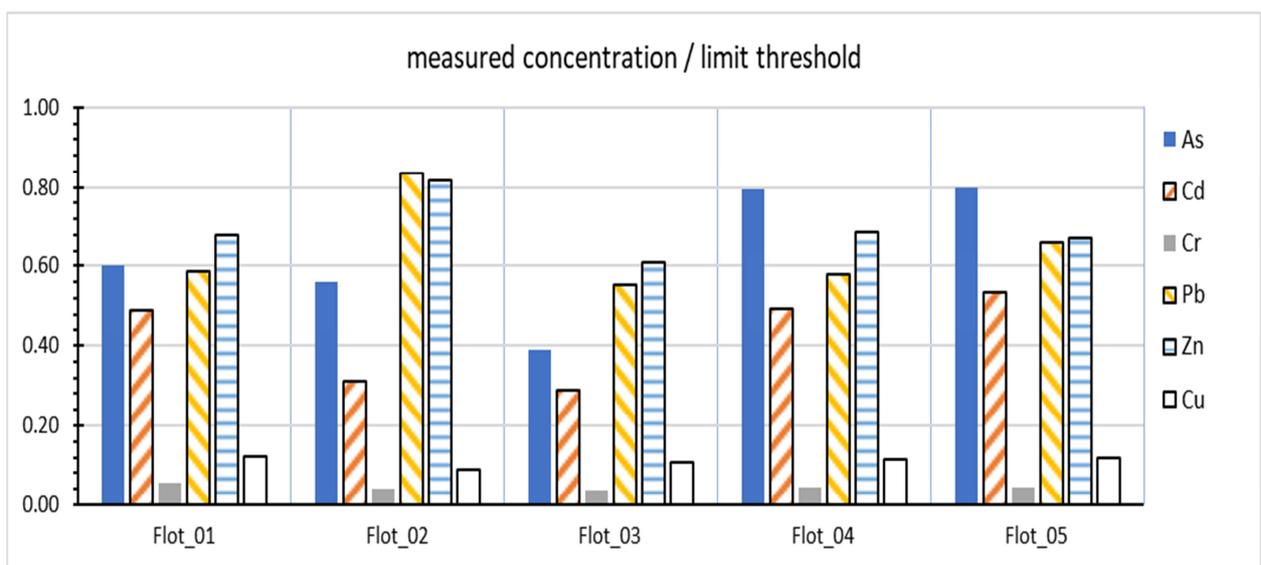


Figura 5. Rapporti tra concentrazioni misurate nel rifiuto di flottazione e CSC.

5. Conclusioni

In sintesi, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Le concentrazioni in Zn ottenute nei due prodotti, concentrato e sterile definitivo, soddisfano le condizioni della metallurgia e i vincoli ambientali;
- i concentrati non commerciali, inertizzati con leganti idraulici, possono essere riutilizzati come materiale di riempimento dei vuoti superficiali presenti nel sito e il cui intasamento potrebbe influire sensibilmente nell'idrologia delle acque circolanti nei vuoti di coltivazione sottostanti.

I residui abbancati nel sito di Montevecchio presentano caratteristiche volumetriche, mineralogiche, dimensionali e di composizione variabili. La ricerca si concentrerà su quelle parti che presentano particolari difficoltà sia per i bassi contenuti in Pb e Zn residui sia lo sviluppo accentuato di processi d'ossidazione e alterazione. La flottazione infatti non risente dei tenori molto bassi dell'alimentazione quanto invece delle modifiche mineralogiche indotte dalla prolungata esposizione a processi ossidativi.

Ringraziamenti.

Il lavoro è stato realizzato grazie al contributo finanziario del Progetto CESA (Centro di Eccellenza per la Sostenibilità Ambientale). Si ringrazia la Società IGEA per la messa a disposizione dei risultati dei Piani di Caratterizzazione svolti sulle aree dell'Iglesiente Guspinese.

Bibliografia

Dentoni V., Grosso B., Manca P.P., Massacci G.: Old mine dumps recovery: an environmental and techno-economical challenge. In: Hu, Z. (ed.): Land Reclamation in Ecological Fragile Areas. Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2017), October 20-23, 2017, Beijing, PR China. CRC Press/Balkema, Leiden (2017) 453-460

Manca, P.P., Desogus, P., & Orrù, G. (2014): The reuse of abandoned Acquaresi mine voids for storage of the Masua flotation tailings. *International Journal of Coal Science & Technology*, 1, 213-220.

Manca, P.P., Orrù, G. & Desogus, P. (2015): Recycling of sludge from ornamental stone processing as resource in civil construction. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 29, 141-155.

Piano di bonifica delle aree minerarie dismesse del Sulcis-Iglesiente-Guspinese, Regione Sardegna, marzo 2008.

Stefano Naitza, Maddalena Fiori & Roberto Peretti: Materie prime strategiche per l'Europa e metalli preziosi: il quadro dei distretti della Sardegna Congresso congiunto della Società

Geologica Italiana e della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia; Milano 10-12 settembre 2014.

Caboi, R., Cidu, R., Cristini, A., Fanfani, L., Massoli-Novelli, R., Zuddas, P.: The abandoned Pb-Zn mine of Incurtosu, Sardinia (Italy). *Eng. Geol.* (1993) 34:211-218.

Salvadori, I., Zuffardi, P.: Guida per l'escursione a Montevecchio e all'Arcuentu. In: *Itinerari Geol. Miner. Giacim.Sardegna* (1973) I:29-46 (in Italian).

R. Biddau, S. Da Pelo, C. Dadea: The abandoned mining area of Montevecchio-Incurtosu, *Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Univ Cagliari* vol 71 (2), pag 109-123, anno 2001.

Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy - Commission Staff Working Document SWD(2018) 36 final ; <http://ec.europa.eu/docsroom/documents/27348> .

Kawatra, S.K.: Fundamental principles of froth flotation. In: Darling, P. (ed.): *SME Mining Engineering Handbook*, third edition, Littleton, CO (2011) 2:1517–1531

Kursun, H., Ulusoy, U.: Zinc Recovery From Lead–Zinc–Copper Complex Ores by Using Column Flotation, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* (2012) 33(5):327-338