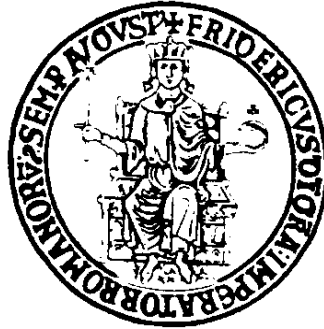


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
“FEDERICO II”**



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

TESI DI LAUREA

**INDAGINE SPERIMENTALE SUI PROCESSI DI SOIL FLUSHING  
PER LA BONIFICA DI SUOLI CONTAMINATI DA METALLI  
POTENZIALMENTE TOSSICI**

Relatore

*Ch.mo Prof. Ing. Massimiliano Fabbricino*

Correlatore

*Ing. Marco Race*

Candidato

*Agostino La Marca  
matricola 324/254*

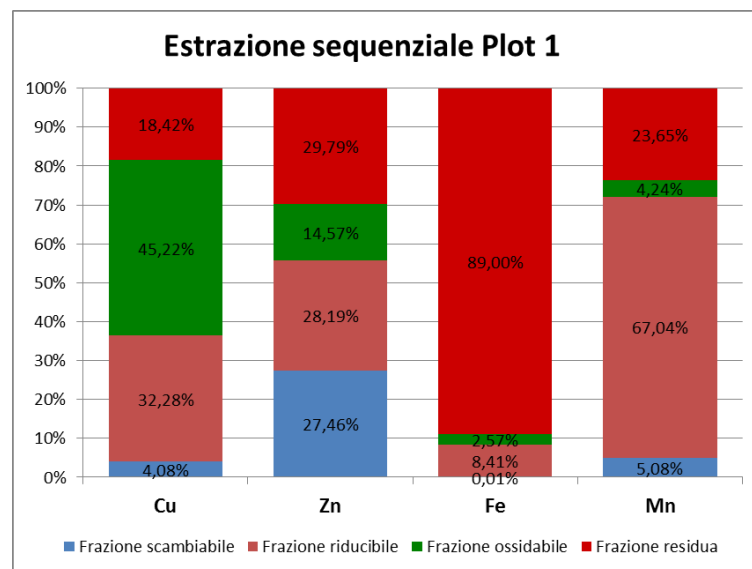
**Anno Accademico 2013-2014**

Il problema affrontato nel presente lavoro di tesi è stata la bonifica di un suolo contaminato da metalli pesanti, mediante il processo di soil flushing e l'utilizzo dell'agente chelante EDDS (acido etilendiamminodisuccinico). Il suolo studiato è stato campionato, in 4 punti, dal sito di interesse regionale (SIR) de "Il Litorale Domizio Flegreo e l'Agro Aversano". Di seguito è riportata la caratterizzazione di tale suolo:

	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	D.lgs 152/2006*	D.lgs 152/2006**
pH	6,98	7,15	6,97	6,78		
S.O. %	7,23%	7,33%	7,79%	6,58%		
Cu [mg/Kg]	285,33	201,40	145,60	69,43	120	600
Pb [mg/Kg]	22,11	31,65	21,92	16,44	100	1000
Cr [mg/Kg]	21,81	40,27	16,80	10,01	150	800
Ni [mg/Kg]	9,77	7,84	8,12	8,31	120	500
Zn [mg/Kg]	260,45	173,86	171,38	88,92	150	1500
Cd [mg/Kg]	0,39	0,52	0,29	0,17	2	15
Fe [mg/Kg]	19639	19542	18875	19243		
Mn [mg/Kg]	864	856	823	801		

D.lgs 152/2006\* Limiti soglia per siti ad uso verde pubblico privato e residenziale

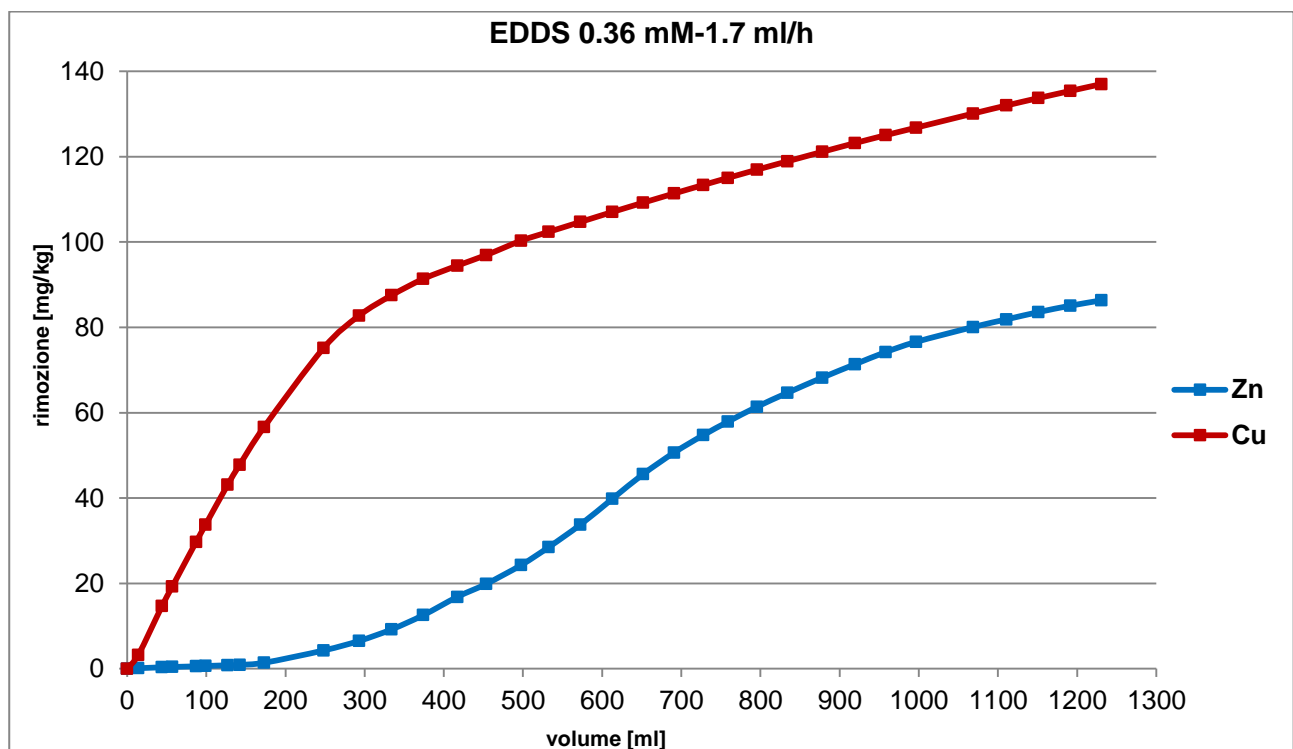
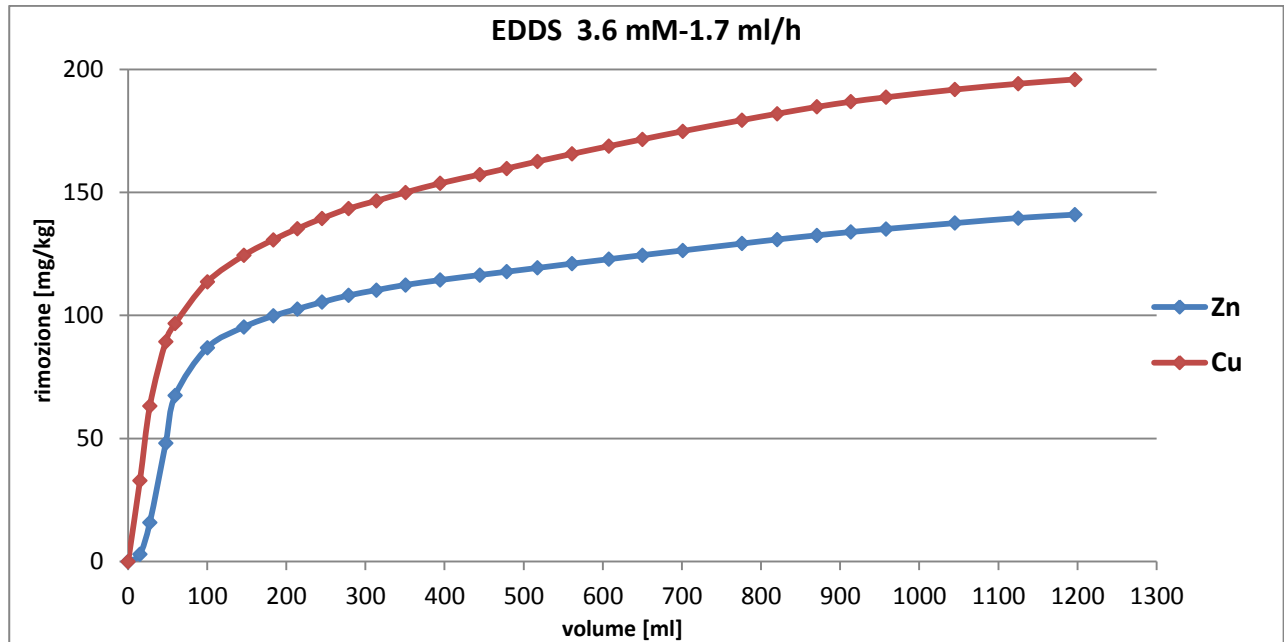
D.lgs 152/2006\*\* Limiti soglia per siti ad uso commerciale ed industriale



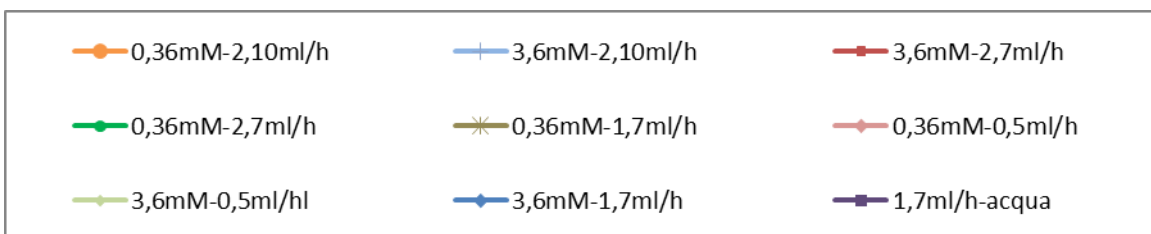
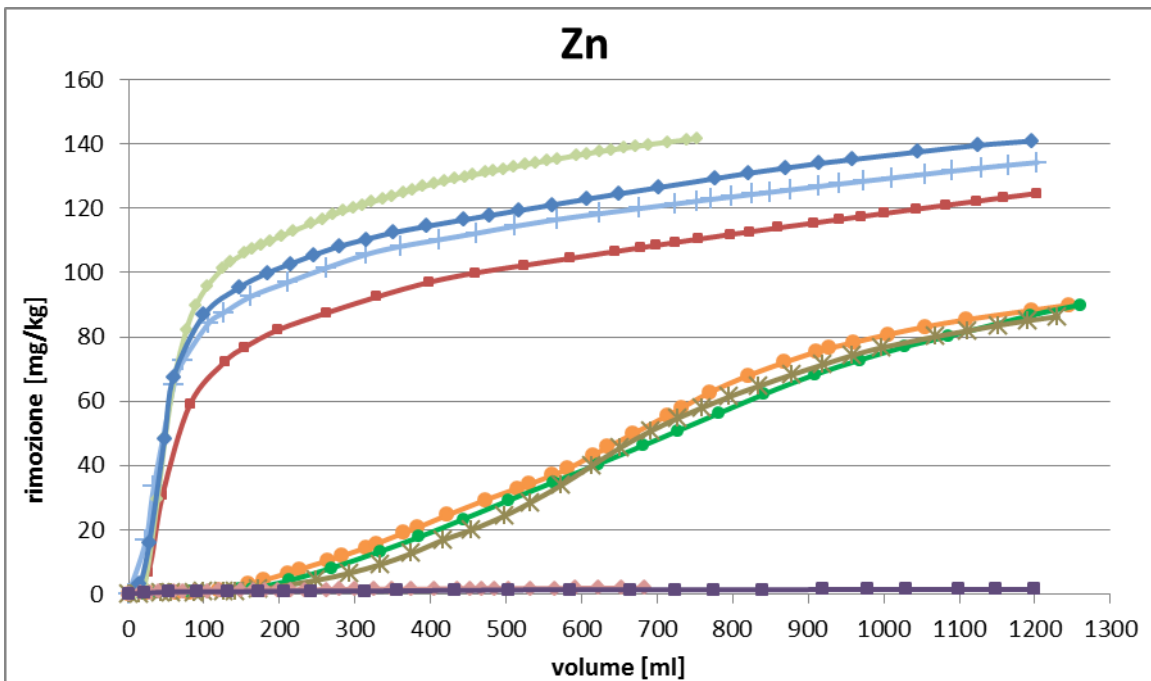
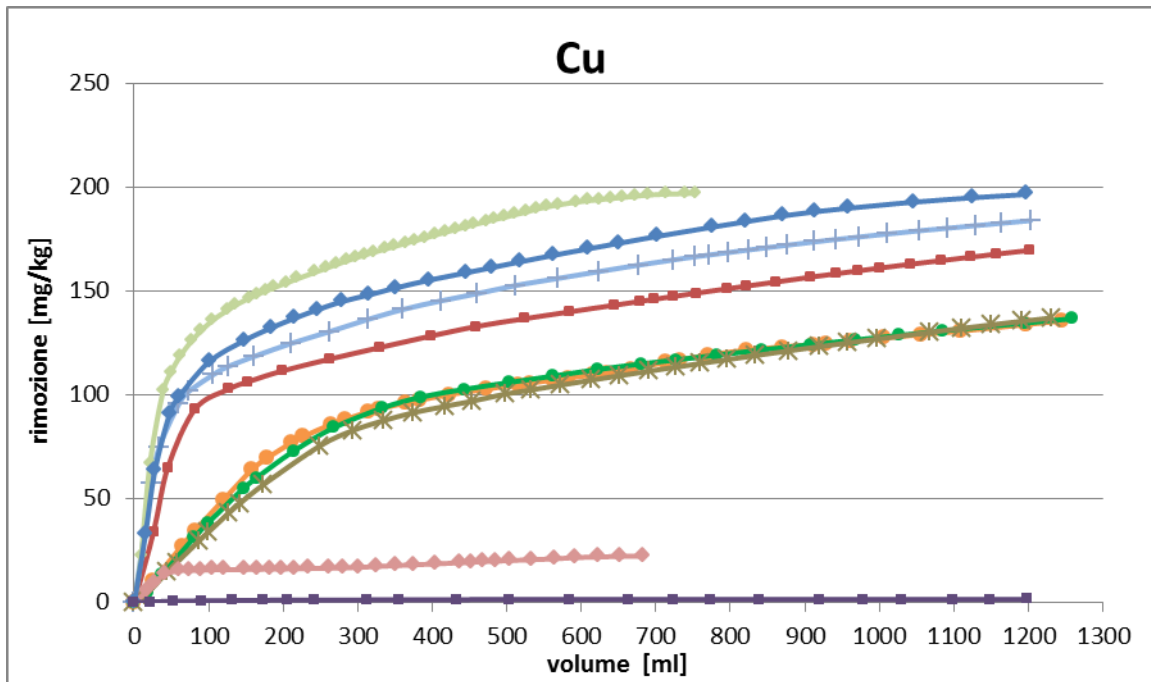
In foto è riportato il set up sperimentale allestito per lo studio del **Soil flushing** in colonna:



Sono state effettuate prove in doppio, variando le concentrazioni di EDDS in acqua e le portate della soluzione estraente. Le soluzioni uscenti dal fondo della colonna sono state analizzate al fine di valutare le concentrazioni di Cu, Zn, Fe, Mn rimossi dal suolo. Nei seguenti grafici sono mostrati i risultati di tali prove:

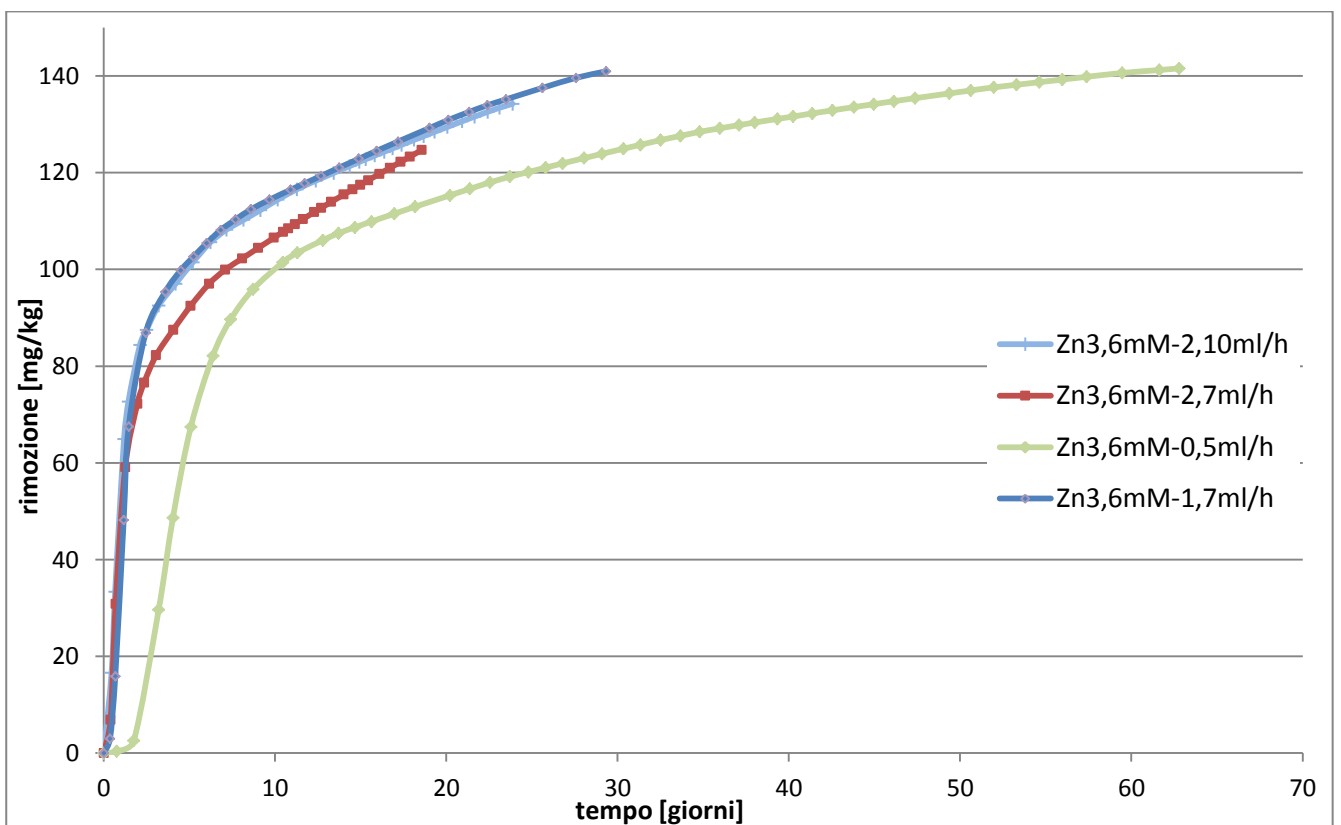
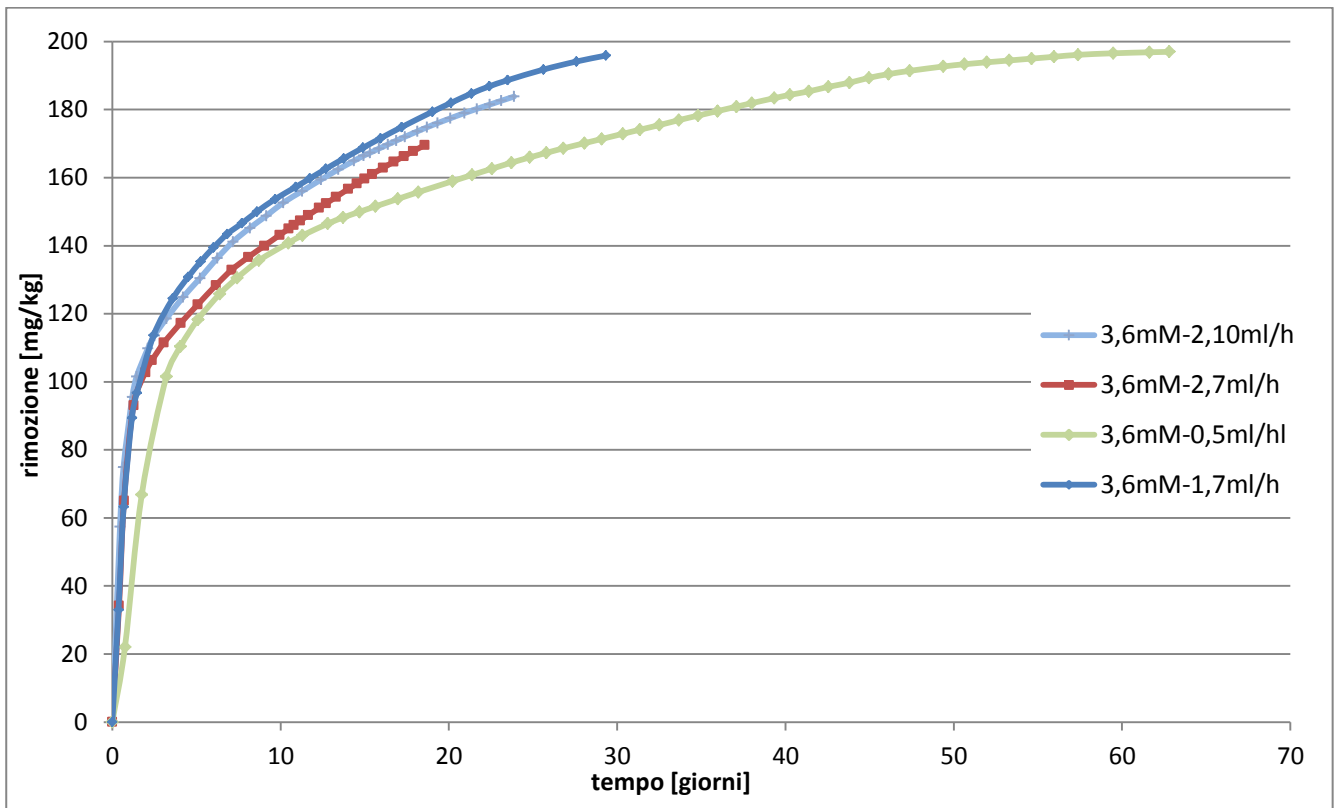


Confrontando le curve di rimozione del rame con quelle dello zinco si nota che a parità di volume si ha una maggiore estrazione di rame in quanto l'EDDS ha una costante di legame maggiore per Cu. Per tale motivo con una concentrazione minore di EDDS (0.36 mM) si ha estrazione di Zn quando inizia a diminuire quella di Cu (dopo circa 200 ml).



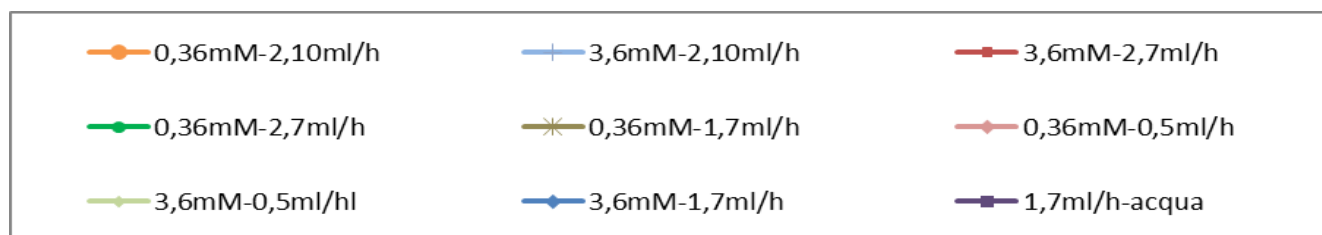
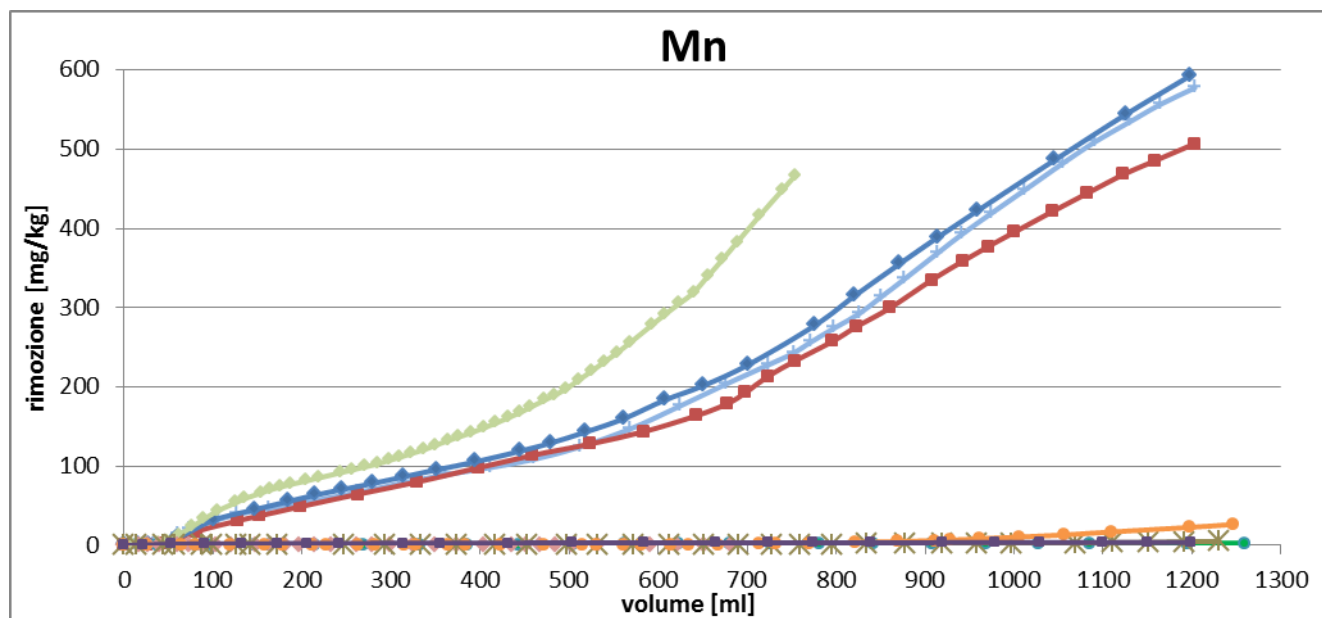
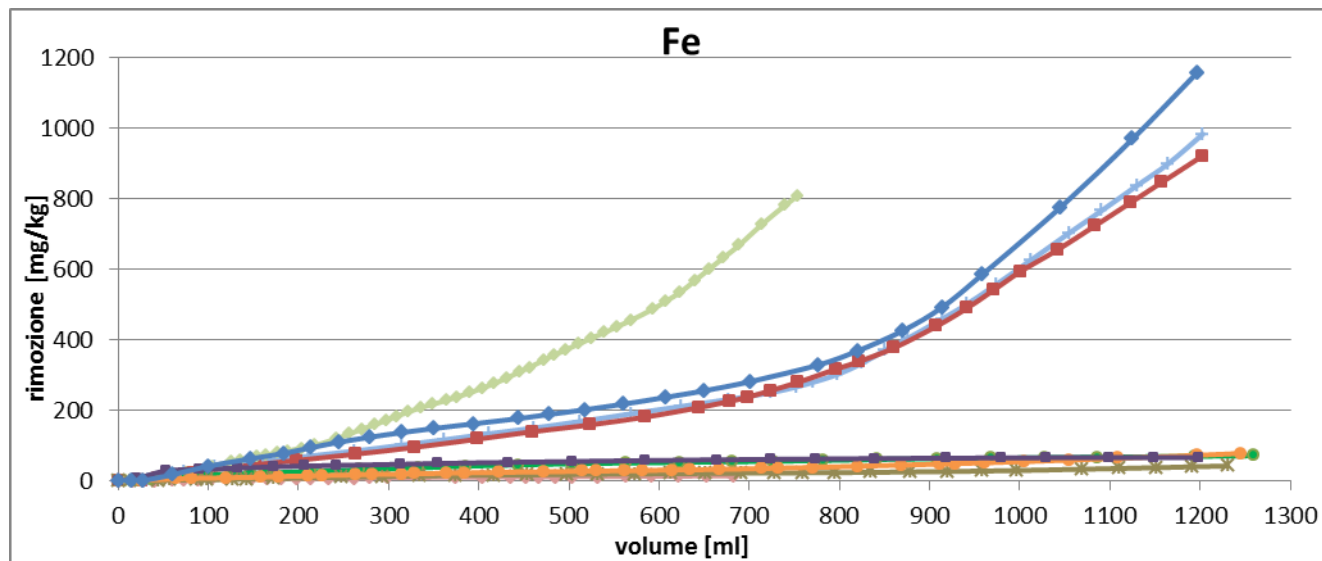
Per le prove condotte con una concentrazione di EDDS pari a 3.6 mM si nota un aumento di estrazione di metalli al diminuire della portata della soluzione estraente. Questo avviene perché una minore portata implica un maggiore tempo di contatto tra suolo e soluzione. Invece per le prove effettuate con concentrazione di EDDS pari a 0.36 mM e portate della soluzione estraente di 1.7 ml/h, 2.1 ml/h e 2.7 ml/h, si nota che le curve si sovrappongono e quindi l'estrazione dei metalli non

dipende dal tempo di contatto tra il suolo e la soluzione, poiché essendoci un minore quantitativo di EDDS in soluzione, esso si satura di metalli e nella soluzione uscente troviamo l'EDDS completamente complessato con i metalli.

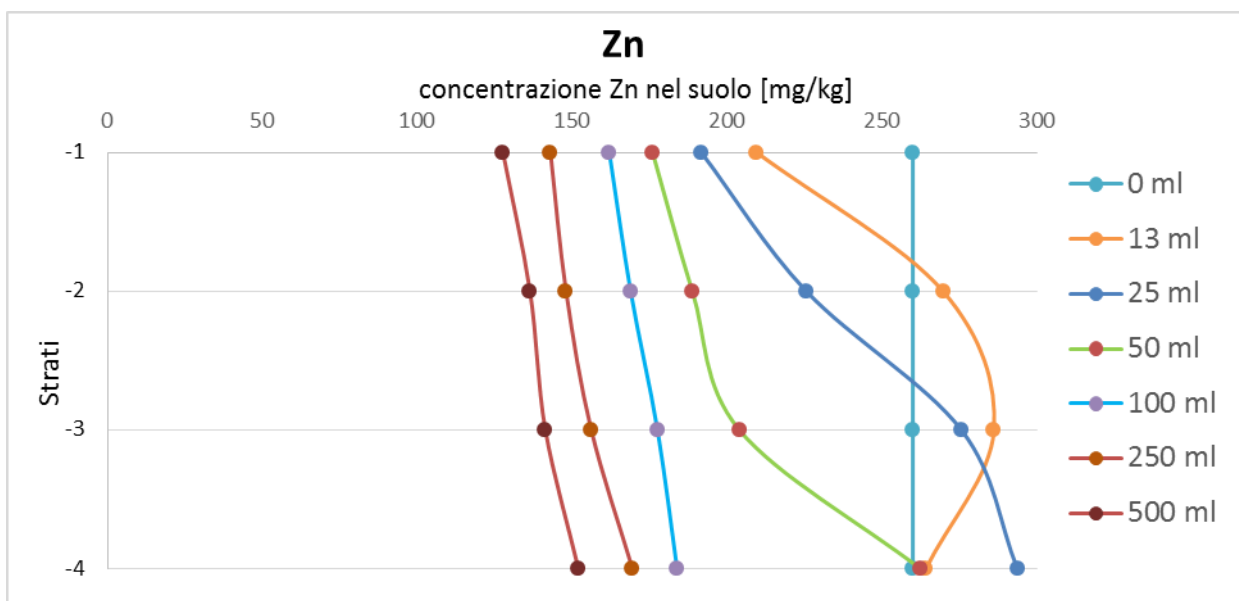
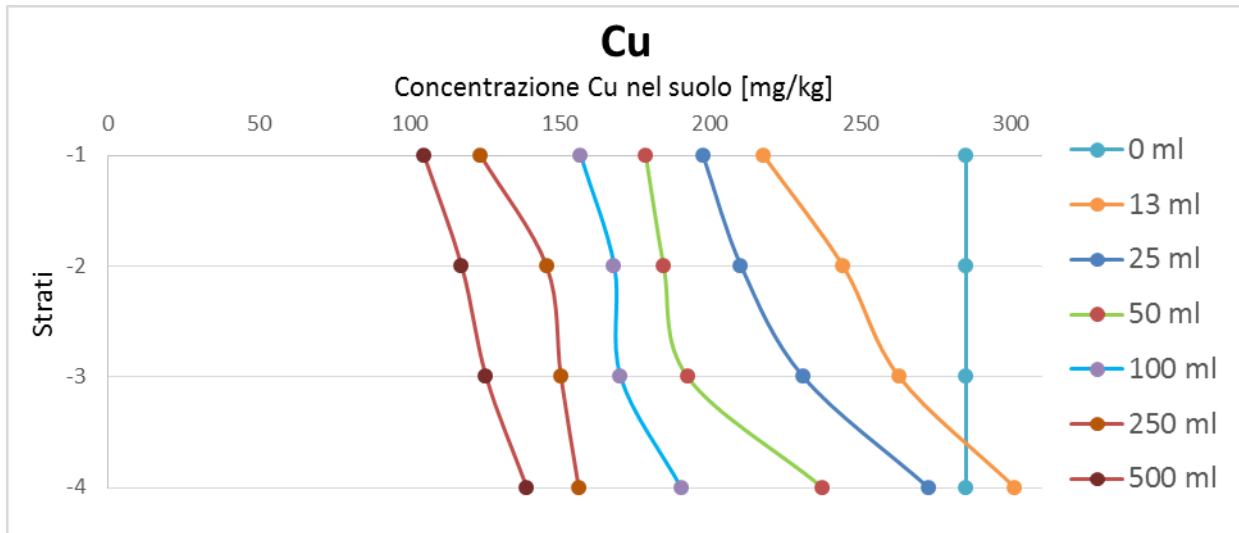


Considerando l'estrazione di Cu e Zn, il volume di soluzione impiegato e la durata della prova si possono considerare parametri ottimali di trattamento una concentrazione di EDDS pari a 3.6 mM e una portata di soluzione estraente pari a 1.7 ml/h.

Nel corso di tale studio sono stati monitorati anche Fe e Mn in quanto non si vuole alterare eccessivamente le proprietà del terreno, ma anche perché tali elementi sebbene non risultino essere inquinanti per il suolo secondo il D.Lgs 152/06, possono esserlo per la soluzione di lavaggio e quindi potrebbero apportare problemi per il futuro smaltimento della stessa.



Nei seguenti grafici è riportato il profilo di rimozione di Cu e Zn lungo la profondità del suolo per la prova condotta con concentrazione di EDDS pari a 3.6 mM e portata della soluzione estraente di 1.7 ml/h:



All'inizio del trattamento con EDDS l'estrazione di Cu e Zn decresce con la profondità. Per lo zinco si osservano fenomeni di rilascio nel suolo. All'aumentare del volume l'estrazione del metallo tende a uniformarsi all'interno dei 4 strati di terreno.

## CONCLUSIONI

Dai risultati di questo studio si può ritenere che il processo di soil flushing mediante l'utilizzo di EDDS può essere applicato per la bonifica di suoli contaminati da rame e zinco, in quanto sono

state raggiunte elevate efficienze di rimozione per tali metalli, ottenendo quindi un suolo con concentrazioni di metalli pesanti inferiori alla concentrazione di soglia imposta dal D.lgs 152/2006.

Considerando la durata delle diverse prove effettuate, il volume di soluzione utilizzato e il quantitativo di Cu e Zn rimossi si possono ritenere parametri ottimali una concentrazione di EDDS pari a 3.6 mM e una portata della soluzione estraente pari a 1.7 ml/h.

I volumi da utilizzare nei processi di soil flushing possono essere funzione della profondità del suolo a causa della mobilizzazione di alcuni metalli da uno strato all'altro.

Confrontando i risultati delle prove di soil flushing con quelli delle prove di soil washing effettuate in precedenti sperimentazioni, si può affermare che con il soil washing si ha una maggiore estrazione di rame dal suolo e circa la stessa rimozione di zinco a parità di volume di soluzione utilizzata e di concentrazione di EDDS. Invece a parità di durata del trattamento, con il soil flushing si ha circa la stessa rimozione di rame rispetto al soil washing, ma una rimozione inferiore di zinco, come si può osservare nelle seguenti tabelle:

A parità del quantitativo di soluzione:

	Soil washing		Soil Flushing	
	Conc.: 3,6 mM EDDS tempo di contatto: 96 h Solido/Liquido=1/5	Conc.: 3,6 mM EDDS tempo di contatto: 96 h Solido/Liquido=1/10	Conc.: 3,6 mM EDDS, portata:1,7 ml/h Volume=200 ml	Conc.: 3,6 mM EDDS, portata:1,7 ml/h Volume=400 ml
Cu [mg/Kg]	109	122.6	133	153.8
Zn [mg/Kg]	101	111.2	101	114,6

A parità di tempo del trattamento:

	Soil washing		Soil Flushing	
	Conc.: 3,6 mM EDDS,, tempo di contatto: 48 h Solido/Liquido=1/10	Conc.: 3,6 mM EDDS,, tempo di contatto: 96 h Solido/Liquido=1/10	Conc.: 3,6 mM EDDS, portata:1,7 ml/h Volume=81.6 ml (48h)	Conc.: 3,6 mM EDDS, portata:1,7 ml/h Volume=163.2 ml (96h)
Cu [mg/Kg]	102.2	122.6	105.9	127.3
Zn [mg/Kg]	97.2	111.2	78.1	97.4