

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE
EDILE E AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

ELABORATO DI LAUREA

**Indagine sperimentale dei meccanismi incidenti sulla stabilizzazione/
solidificazione su un suolo contaminato da metalli potenzialmente tossici.**

RELATORE

CH.MO PROF. MASSIMILIANO FABBRICINO

CORRELATORE

DOTT. ING. MARCO RACE

CANDIDATO

ANDREA SCOPINO

Matr. M67/228

ANNO ACCADEMICO 2016-2017

Abstract

1. Premessa

La stabilizzazione/solidificazione (S/S) è una tecnica di bonifica di siti contaminati che prevede l'inertizzazione degli inquinanti attraverso fenomeni chimico-fisici che incidono sulla mobilità degli elementi. Capace di garantire la stabilizzazione chimica di molti contaminanti, soprattutto di metalli potenzialmente tossici, e di creare un prodotto meccanicamente stabile, la S/S, sebbene sia in uso in Italia già dagli anni '80 risulta ancora in fase di caratterizzazione riguardo ai precisi meccanismi di interazione tra metalli e leganti. I leganti utilizzati possono essere sia organici che inorganici con quest'ultimi che si fanno preferire sia per la facilità con cui essi possono essere reperiti sia perché capaci di garantire una resistenza chimico-fisica durevole. Il legante inorganico più utilizzato è il cemento Portland anche se possono essere usate miscele di pozzolana e calce con cui è possibile ottenere un effetto cementante simile a quello del cemento Portland.

2. Caratterizzazione del suolo

Sul suolo a disposizione è stata effettuata un'estrazione chimica sequenziale secondo la procedura proposta dalla Commissione Europea (*Community Bureau of Reference*), una pratica che consiste nell'utilizzo di una serie di composti estraenti capaci di reagire col suolo ed estrarre da esso metalli associati a sue parti solide. Sono stati estratti progressivamente metalli scambiabili, riducibili, ossidabili e residuali. Dall'estrazione è emersa una contaminazione del suolo da cromo e zinco nonché la presenza, sotto soglia di contaminazione, di rame, manganese, piombo e nichel.

3. Materiali e Metodi

Per la produzione dei provini è stato utilizzato cemento di tipo Portland, con clinker al 95%, a cui sono stati aggiunti materiali a comportamento pozzolanico come la pozzolana naturale e le ceneri volanti (di classe C). L'uso di cemento consente la formazione del gel C-S-H che, tramite la sua struttura micro-porosa, riesce ad effettuare azione di controllo sull'*adsorbimento* dei contaminanti. Altri meccanismi agenti sono l'*incapsulamento fisico* dei contaminati metallici che, sotto forma di idrossidi, vengono racchiusi all'interno della matrice C-S-H e la *precipitazione* dei metalli, o inducendo alla formazione di idrossidi metallici o instaurando dei meccanismi di sostituzione nella matrice gel C-S-H.

Il ricorso a materiali dal comportamento pozzolanico determina un'ulteriore fase di indurimento per l'interazione tra la calce proveniente dall'idratazione del cemento ed il materiale pozzolanico,

sviluppando una matrice C-S-H secondaria. Inoltre, la presenza di materiali pozzolanici tende a riempire i pori capillari tipici del cemento idratato di precipitati rendendo di fatto il calcestruzzo “impermeabile”.

I campioni sono stati prodotti conservando la percentuale in peso di suolo sul totale del 60% e facendo variare le percentuali degli altri leganti utilizzati, secondo tale principio sono state create 4 miscele:

- SK - 60% Suolo, 40% Cemento Portland 52.5R
- SKP - 60% Suolo, 20% Cemento Portland 52.5R, 20% Pozzolana
- SKC- 60% Suolo, 20% Cemento Portland 52.5R, 20% Ceneri Volanti
- SKPC - 60% Suolo, 20% Cemento Portland 52.5R, 10% Pozzolana, 10% Ceneri Volanti

Dopo 28 giorni di maturazione ad umidità controllata (superiore al 90%), parte dei campioni sono stati prelevati per effettuare le prove, gli altri sono stati lasciati in ulteriore maturazione fino a 6 mesi, ad umidità e temperatura ambientale.

Ai fini della determinazione delle caratteristiche di idoneità al recupero di un rifiuto è stato necessario effettuare sui campioni il test di cessione (o di lisciviazione) secondo la norma *UNI 10802:2004* mentre per individuare valide motivazioni legate al diverso comportamento dei campioni si è pensato di effettuare:

- estrazione chimica sequenziale secondo il protocollo della *BCR*;
- prova di assorbimento dell’acqua a pressione atmosferica, secondo la norma *UNI 7699:1989*;
- analisi cristallografica all’XRD.

4. Discussione dei risultati

Il test di cessione ha dimostrato comportamenti diversi in termini di rendimento tra i campioni lasciati in maturazione per 28 giorni e gli omologhi lasciati in maturazione per 6 mesi, come si può vedere in Fig.1.

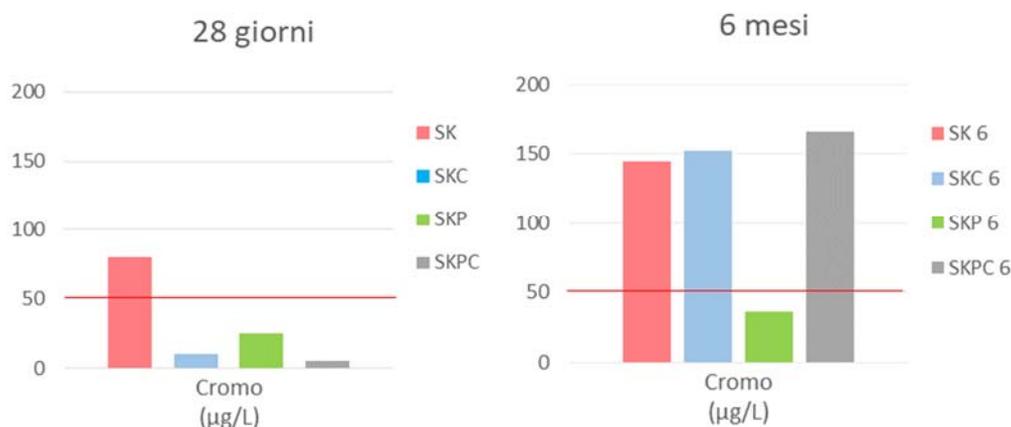


Figura 1 - Risultati dei test di cessione del Cr a 28 giorni e a 6 mesi di maturazione di campioni costituiti da suolo (S), cemento (K), pozzolana (P) e ceneri (C).

L'unico campione capace conservare la capacità di immobilizzare i contaminanti, ed in particolare il Cr, è risultato essere quello ottenuto dalla miscela "suolo, cemento e pozzolana" (SKP) ed è stato possibile riscontrare, attraverso un confronto col Cu, che per tutti gli altri campioni, dopo 6 mesi di maturazione, il meccanismo dominante fosse quello di precipitazione dei metalli sotto forma di idrossidi.

Dal momento che l'estrazione chimica sequenziale ha dimostrato l'assenza di particolari modifiche sulla speciazione chimica dei metalli per opera della S/S, si è provato a dimostrare eventuali differenze di carattere fisico tra i campioni attraverso una prova di assorbimento dell'acqua. Il provino "SKP" invecchiato 6 mesi ha effettivamente dimostrato minore propensione all'assorbimento di acqua e, inoltre, quanto più gli altri campioni si sono mostrati assorbenti tanto più essi hanno ceduto metalli in soluzione.

Analizzando i campioni all'XRD è stata effettivamente riscontrata una diversa composizione della struttura solida dei campioni ed in particolare sono stati rilevati nella cristallografia picchi riconducibili alla formazione di *ettringite secondaria* per i campioni che hanno mostrato un calo di rendimenti dopo l'invecchiamento naturale.

5. Conclusioni

Il ricorso a materiali a comportamento pozzolanico consente al prodotto della S/S di difendersi meglio da fenomeni di degradazione che potrebbero ridurre l'efficienza del trattamento. In particolare si è dimostrato che esiste il rischio di formazione di *ettringite secondaria* in presenza di solfati, su cui si propone un approfondimento all'XRD da effettuare in modo costante. La formazione di *ettringite secondaria* può determinare una forte riduzione della capacità di immobilizzare metalli potenzialmente tossici.

Inoltre, i cambiamenti del sistema, come la variazione di temperatura, umidità e pH, modificano il modo con cui agiscono i meccanismi che governano il processo di immobilizzazione: adsorbimento, incapsulamento fisico e precipitazione sotto forma di idrossidi.