



**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA CIVILE PER
L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**
XIII Ciclo - Nuova Serie (2012-2014)
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

SOMMARIO

STABILIZATION/SOLIDIFICATION PROCESSES FOR THE TREATMENT OF CONTAMINATED SOIL AND WASTE

**PROCESSI DI STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE PER IL TRATTAMENTO DI
SUOLI E RIFIUTI CONTAMINATI**

ROBERTA MAFFETTONE

Advisor:
PROF. ING. VINCENZO NADDEO

Coordinator
PROF. ING. VINCENZO BELGIORNO

Co-advisors:
PROF. ING. VINCENZO BELGIORNO
PROF. COLIN DOUGLAS HILLS

SOMMARIO

Il recupero di suoli contaminati e di rifiuti industriali è uno degli obiettivi prioritari della gestione dell'ambiente. Ad oggi, lo smaltimento in discarica rappresenta il metodo più utilizzato sia nella gestione dei rifiuti pericolosi che negli interventi di bonifica, dove, previa l'escavazione del terreno contaminato, rappresenta ancora il 50% dei metodi optati. L'aumento del costo per lo smaltimento in discarica, insieme agli obiettivi di recupero e di riciclaggio imposti dalla normativa europea e l'attuazione di diverse direttive per la protezione del suolo, come la Soil Strategy, ha indirizzato l'attenzione verso lo sviluppo di nuovi e immediati metodi di intervento e di gestione che riducono la pericolosità del materiale e ne consentono il recupero. Il suolo contaminato delle operazioni di bonifica, quando è escavato per essere trattato, è considerato un rifiuto. Il suo trattamento e il recupero immediato rappresenta uno degli aspetti più rilevanti negli interventi di bonifica.

La stabilizzazione/solidificazione è una tecnologia utilizzata per il trattamento di suoli e rifiuti contaminati che consiste nella miscelazione del rifiuto o terreno contaminato con leganti che, attraverso reazioni di tipo chimico-fisico, riducono la mobilità dei contaminanti e garantiscono resistenza meccanica. Il processo è particolarmente efficace per la stabilizzazione di metalli pesanti. Metodi alternativi prevedono l'utilizzo della carbonatazione accelerata ai processi di stabilizzazione/solidificazione a base cementizia. Tale processo può migliorare le caratteristiche del materiale trattato in termini di lisciviazione dei contaminanti, resistenza meccanica e pH.

La carbonatazione accelerata (ACT) è la forma accelerata della carbonatazione naturale ed è stata sviluppata negli ultimi anni come tecnologia di trattamento di rifiuti industriali e applicata successivamente anche a suoli contaminati. Il processo comporta una rapida reazione tra i minerali o i rifiuti reattivi alla CO₂ esponendoli ad una atmosfera controllata contenente questo gas. La reazione comporta un rapido indurimento del prodotto. La conseguente precipitazione di carbonato di calcio riduce la porosità del materiale e induce ulteriori modifiche alla microstruttura che favoriscono l'immobilizzazione dei contaminanti ed il miglioramento delle proprietà meccaniche del prodotto. La riduzione del pH, inoltre, può comportare una ridotta solubilità di molti metalli pesanti.

I rifiuti in forma fine, come ceneri e residui da impianti di *soil washings*, possono essere recuperati attraverso un processo di agglomerazione per produrre aggregati. Se si combinano i processi di stabilizzazione/solidificazione, carbonatazione accelerata e agglomerazione è possibile produrre aggregati con caratteristiche di resistenza specifica. Tale prodotto può essere riutilizzato in diverse applicazioni ingegneristiche come mezzo di riempimento o per la produzione di calcestruzzo.

Obiettivo del progetto di ricerca, condotto nell'ambito del dottorato in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso l'Università di Salerno, è stato lo studio dei processi di stabilizzazione/solidificazione per il trattamento di suoli e rifiuti contaminati. L'attività si è incentrata sulla formulazione di miscele innovative a base di cemento e ceneri di scarto provenienti da trattamenti termici per il recupero di terreni contaminati da metalli pesanti. Prove di stabilizzazione/solidificazione con cemento Portland e l'effetto della carbonatazione accelerata sul processo sono state condotte su terreni contaminati da metalli pesanti preparati artificialmente in laboratorio. L'attività sperimentale è stata effettuata presso il *Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED)* dell'Università di Salerno.

Il processo è stato valutato con ulteriori prove effettuate su residui fini contaminati da impianti di *soil washing* per la produzione di un aggregato riciclato. Tale attività è stata svolta presso il *Centre for Contaminated Land Remediation* della University of Greenwich (UK) nell'ambito di un accordo *Erasmus Placement*. Il processo implementato consiste nella miscelazione dei residui da impianti di *soil washing* con ceneri da trattamento termico di fanghi e cemento Portland, seguito da una fase di granulazione per la produzione dell'aggregato. Il cemento Portland è stato utilizzato come legante alla base del processo e per la sua reattività all'anidride carbonica.

Prima del trattamento i residui contaminanti, sulla base del test di cessione, sono stati classificati come rifiuti stabili-non reattivi o pericolosi, mentre a seguito del trattamento la pericolosità è stata ridotta comportando valori dei metalli negli eluati del test di cessione inferiori a quelli per rifiuti inerti. L'effetto della carbonatazione accelerata sul suolo contaminato trattato con stabilizzazione/solidificazione è stato valutato con analisi mineralogiche e strutturali. La stabilità chimica del materiale è stata valutata attraverso test di cessione. Gli aggregati prodotti hanno mostrato proprietà comparabili con gli aggregati disponibili in commercio. La carbonatazione accelerata ha comportato un aumento della resistenza e della densità dei granuli, rispetto al quelli sottoposti a normale processo di idratazione. La lisciviazione dei metalli pesanti è stata scarsamente influenzata dalla carbonatazione accelerata.

Ulteriori test sugli aggregati prodotti hanno dimostrato la loro potenziale applicazione nella produzione di blocchi di calcestruzzo leggero. Il conseguente abbassamento del pH a valori vicino la neutralità, oltre a caratteristiche specifiche del materiale, lo rendono adatto per applicazioni come substrato per coperture ("*green roofing*").

L'utilizzo nel processo di un gas sintetico di CO₂ ha comportato anche la cattura di anidride carbonica rendendo l'aggregato prodotto "*low-carbon*".

La ricerca ha dimostrato l'applicazione del processo di stabilizzazione/solidificazione con carbonatazione accelerata per il recupero di residui di *soil washing* e ceneri per la produzione di aggregati da riutilizzare in differenti applicazioni ingegneristiche. Studi successivi sono necessari per valutare in dettaglio l'effetto della carbonatazione accelerata sul processo. Inoltre è necessario effettuare valutazioni sulla variabilità del rifiuto in ingresso. L'applicazione del processo può essere valutata per il recupero di altre tipologie di rifiuti, come ad esempio sedimenti contaminati e altre ceneri reattive all'anidride carbonica.