

GESTIONE DEI SEDIMENTI TRA INNOVAZIONI E RISPETTO DELL'AMBIENTE

L'APPLICAZIONE DELLA **STABILIZZAZIONE DI MASSA**
NELLA GESTIONE DEI **FANGHI DI DRAGAGGIO** PER
CONIUGARE ESIGENZE INFRASTRUTTURALI E **TEMPISTICHE** DI
INTERVENTO CONTENENDO L'**IMPATTO** AMBIENTALE

di W. Bambara*, F. Gubiani*, Q. Napoleoni** e E. Rizzi*

Nell'ambito della gestione dei sedimenti provenienti dagli interventi di dragaggio delle aree portuali, sono sempre più importanti la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie volte al recupero ed alla valorizzazione dei fanghi di dragaggio.

Ad oggi, in alternativa all'oneroso conferimento in discarica, la soluzione è rappresentata dalla gestione dei sedimenti all'interno di strutture di conterminazione o di vasche di colmata.

Pur rappresentando la soluzione apparentemente più agevole, il semplice refluentamento dei fanghi di dragaggio all'interno delle vasche di colmata non permette per molti anni lo sviluppo e l'insediamento delle attività economiche ed industriali nelle aree portuali. In questi ultimi anni è stata sviluppata una nuova tecnologia volta alla risoluzione delle citate problematiche: la stabilizzazione di massa. Allo stato attuale, molti porti del bacino Mediterraneo e più in particolare del Nord Europa, vista la semplicità nell'applicazione della tecnologia ed i vantaggi in termini economici (costi di intervento e tempi realizzazione), stanno procedendo adottando tale soluzione.

La stabilizzazione di massa costituisce un metodo rapido ed economico per consolidare terreni e fanghi di dragaggio con agenti leganti.

IL PROCESSO DI STABILIZZAZIONE DI MASSA

L'applicazione del processo di stabilizzazione di massa, contestualmente alla risoluzione delle problematiche strutturali mediante il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei materiali sciolti, garantisce il raggiungimento di ottimi standard ambientali, fissando chimicamente e/o isolando strutturalmente le eventuali sostanze contaminanti.

Le possibilità ed i principali miglioramenti offerti dall'applicazione della stabilizzazione di massa sono molteplici e riguardano:

- l'aumento della resistenza meccanica dei terreni;
- il miglioramento delle caratteristiche di deformabilità dei suoli (riduzione dei cedimenti);
- l'aumento della rigidezza dinamica dei suoli;
- la bonifica delle matrici ambientali contaminate.

In relazione alle esigenze di progettazione e di realizzazione dell'intervento, la tecnologia può essere impiegata ipotizzando sempre soluzioni flessibili e sito-specifiche.

In particolare, la semplice stabilizzazione di massa può essere applicata in combinazione con la stabilizzazione a colonne o con ulter-

riori tecnologie opportunamente individuate. I notevoli vantaggi tecnico-economici offerti dalla stabilizzazione di massa hanno permesso di "trasferire" l'ormai consolidata applicazione dai terreni ai fanghi di dragaggio. In particolare, la gestione dei sedimenti oggetto degli interventi di dragaggio si adatta perfettamente al nuovo riferimento normativo promulgato per disciplinare gli interventi nei siti di bonifica di interesse nazionale, il comma 996, art. 1 della Legge Finanziaria 2007, che emendando l'art. 5 della Legge 84/94 modifica le procedure all'interno dei siti di interesse nazionale. Il comma 996 introduce un concetto innovativo; consente infatti di svolgere le operazioni di dragaggio legate all'approfondimento ed alla bonifica dei fondali prevedendo in maniera circostanziata i possibili recuperi. Tale innovazione che trova specifiche e precisazioni nel successivo decreto applicativo, il D.M. 7 novembre 2008, garantisce agli operatori del settore una linea guida precisa e ben descritta, dalla caratterizzazione al recupero di detti materiali con particolare attenzione alla soluzione rappresentata dalle strutture di contenimento o vasche di colmata all'uopo progettate e realizzate. Tale passaggio risulta di fondamentale importanza perché eliminando fattori di incertezza procedurale garantisce del-

le tempistiche oggi più che mai importanti, potendosi avvalere di un iter istruttorio e decisivo da concludersi nel termine di 60 giorni. In questo contesto la tecnologia di stabilizzazione/solidificazione all'interno di vasche di colmata e strutture di conterminazione risponde esattamente a tali dettami, coniugando al meglio il concetto di recupero del materiale e considerando il sedimento non più come "rifiuto" ma valorizzandolo come "risorsa", nel massimo rispetto dei principi di sostenibilità ambientale e risparmio economico.

L'applicazione della tecnologia di stabilizzazione di massa all'interno della struttura di conterminazione permetterà, in tempi rapidi, la trasformazione della colmata in una nuova area disponibile per lo sviluppo della portualità.

Tra gli ulteriori vantaggi offerti dalla stabilizzazione di massa applicata ai fanghi di dragaggio si possono citare:

- rapidità d'esecuzione;
- beneficio economico sia in termini energetici sia in riferimento al recupero dei materiali;
- eliminazione dei costi di trasporto del materiale da trattare e dei costi di conferimento in discarica controllata;
- diminuzione dell'impatto ambientale legato all'inquinamento provocato dai mezzi per il trasporto del materiale stesso;
- eliminazione dei costi dovuti all'impiego di materiali provenienti da cave di prestito in compensazione/sostituzione delle volumetrie conferite in discarica.

DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA

L'equipaggiamento utilizzato si basa sulla tecnologia messa a punto dalla ALLU e prevede una strumentazione composta da tre unità:

- Power Mix (PM) – l'unità di miscelazione/omogeneizzazione, allestita su un escavatore;
- Pressure feeder (PF) – l'unità di alimentazione della miscela di leganti;
- Data acquisition and control system (DAC) – l'interfaccia tra la macchina operatrice ed il materiale da stabilizzare; controlla e registra in continuo l'intero processo di stabilizzazione all'interno dei lotti da sottoporre a trattamento.

In tutte le attività di gestione e movimentazione dei sedimenti, la strumentazione ALLU può essere impiegata come rivolta cumuli per i processi di degradazione delle frazioni contaminate, come l'attivazione enzimatica o il biorisanamento.

Inoltre, grazie al continuo sviluppo della strumentazione, è possibile abbinare le unità di iniezione e miscelazione dei leganti (PF e PM) con sistemi di iniezione di ulteriori reagenti, quali ad esempio:

- sabbia, per conferire maggiori capacità meccaniche al materiale da trattare;
- acqua, per garantire una corretta idratazione al processo di stabilizzazione;
- particolari classi di agenti, per regolare eventuali meccanismi di interferenza con i reagenti impiegati.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

La progettazione di un intervento si basa sulle seguenti fasi principali:

- caratterizzazione dei sedimenti da trattare (granulometria, inquinanti presenti, TOC, pH, solfati e carbonati, acidi umici e fulvici);
- prove di laboratorio per la scelta e la qualifica della miscela di leganti, nonché degli opportuni dosaggi;
- studio della logistica per la gestione dei sedimenti;
- adattamento della tecnologia alle esigenze del cantiere (profondità di trattamento, natura dei sedimenti, grado di contaminazione, condizioni ambientali, ecc.);
- esecuzione di un campo prove per la verifica delle caratteristiche finali in sito;
- definizione ingegneristica dell'intervento con le opportune scelte geotecniche e ambientali.

Ogni intervento di stabilizzazione di massa è preceduto da una campagna di caratterizzazione iniziale per definire le caratteristiche chimico-fisiche del sedimento da sottoporre al trattamento. Sulla base dei risultati della caratterizzazione dei sedimenti e delle proprietà meccaniche da conferire al materiale trattato, verrà predisposto uno studio, il *mix design*, propedeutico all'individuazione del tipo di mi-

scela e del dosaggio ottimale dei leganti (kg di legante su m³ di sedimento), da miscelare opportunamente con i sedimenti presenti all'interno della vasca di colmata.

La fase di *mix design*, oltre a dover garantire le rese in termini geotecnici ed ambientali, risulta importante per la definizione del costo dell'intervento. Pertanto, quest'ultimo parametro sarà fortemente dipendente dalle caratteristiche chimico-fisiche del materiale da stabilizzare, dalla campagna di prove preliminari e dal tipo di intervento.

Per caratterizzare il comportamento meccanico e la risposta del materiale trattato, viene programmato un set di prove con miscele diverse tra loro, con lo scopo di esplorare le variazioni di risposta in un ampio spettro di dosaggio e qualità dei leganti. Nelle diverse miscele, individuato il tipo di cemento, varieranno le percentuali di leganti impiegate ed il quantitativo di miscela utilizzato per m³ di sedimento da trattare.

Successivamente, il *mix design* prevede la preparazione di provini da sottoporre a test di compressione ad espansione laterale libera (ELL), per seguire l'evoluzione della resistenza meccanica nel tempo.



Figura 1. Strumentazione impiegata per la stabilizzazione di massa



Figura 3. Stabilizzazione di massa in vasche prefabbricate (trattamento ex situ)

Figura 2. Stabilizzazione di massa in vasca di colmata (trattamento in situ)

Sempre in riferimento alla progettazione dell'intervento, riveste particolare importanza il continuo sviluppo del *mix design*, la ricerca per l'impiego di nuovi leganti sempre più performanti, sia in termini di resa meccanica che ambientale, e l'implementazione della strumentazione ALLU. Lo sviluppo della tecnologia permetterà, in funzione delle diverse casistiche presenti nelle realtà portuali, di adattare in maniera ottimale il processo in funzione delle necessità del committente. In relazione alle possibilità di impiego della tecnologia ALLU sui fanghi di dragaggio, possono essere distinte due differenti situazioni:

- stabilizzazione in situ: i sedimenti dragati vengono refluiti direttamente all'interno della vasca di colmata. Per permettere di controllare in maniera ottimale i parametri di processo, l'area da sottoporre a trattamento viene suddivisa in lotti funzionali di circa 25 m² ciascuno. La logica della stabilizzazione di massa in vasca di colmata consiste nel trattare un'area e nel poter "avanzare" con i mezzi su di essa per stabilizzare il lotto successivo. L'avanzamento sul materiale stabilizzato viene garantito dalla posa di uno strato di separazione in geotessile non tessuto e da uno strato di ricarica in tout-venant di cava di spessore adeguato;
- stabilizzazione ex situ: i sedimenti dragati

vengono trasportati via bettolina e collocati a terra all'interno di vasche prefabbricate opportunamente impermeabilizzate. In funzione delle caratteristiche del materiale, in una fase successiva potrebbe essere prevista una vagliatura propedeutica alla rimozione dei trovanti. Successivamente i sedimenti vengono sottoposti al trattamento di stabilizzazione, rimossi dalle vasche di stoccaggio temporaneo e collocati in via definitiva presso il sito di destinazione finale (es. cassoni cellulari in c.a.).

In riferimento alle modalità operative individuate, viene quindi programmato un campo prova volto alla verifica dell'ottenimento delle caratteristiche finali in sito e all'ottimizzazione ingegneristica dell'intervento.

VERIFICA FINALE EFFICIENZA DI TRATTAMENTO E RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI

Per la verifica in opera del trattamento di stabilizzazione è fondamentale eseguire un programma di prove orientato al controllo delle profondità di trattamento, dell'effettiva distribuzione omogenea del legante e dell'idoneità del comportamento della colmata come piazzale portuale.

Vengono programmate delle perforazioni a carotaggio continuo, delle prove DPSH (Dyna-

mic Probing Super Heavy) ripetute in differenti campagne e delle prove di carico su piastra con doppio ciclo di carico.

In particolare, ai fini del collaudo dell'opera come piazzale portuale, la prova di carico su piastra costituisce il test più significativo, consentendo di confrontare il modulo di deformazione del materiale consolidato con il valore atteso di progetto.

In riferimento alla verifica dei parametri ambientali, viene programmata una campagna di caratterizzazione volta alla determinazione analitica dei parametri critici durante la quale vengono prelevati campioni per l'esecuzione di test di cessione. Inoltre, in funzione della destinazione d'uso del piazzale e di una possibile restituzione agli usi legittimi delle aree sottoposte al trattamento di stabilizzazione di massa, potrà essere elaborata un'analisi di rischio sito-specifica.

COSTI E CONCLUSIONI

Il costo del trattamento di stabilizzazione si attesta tra 25 e 55 €/m³. La variabilità del costo dipende fortemente dal tipo di leganti e dal quantitativo impiegato, nonché dalla logistica del cantiere. Tale costo fa sì che la stabilizzazione di massa possa essere una tecnologia concorrenziale, soprattutto se confrontata con le soluzioni che prevedono dei costi di gestione in discarica, un approv-



Figura 4. Rappresentazione grafica delle fasi del ciclo ex situ

vigionamento di materie prime da cave di prestito e dei costi per il consolidamento e la successiva trasformazione delle vasche di colmata in nuovi piazzali.

I principali vantaggi offerti dalla stabilizzazio-

ne di massa sono legati all'organizzazione del cantiere.

La semplicità della strumentazione impiegata permetterà inoltre di avere degli iter autorizzativi molto più snelli rispetto a quelli previsti per i classici impianti di trattamento e/o recu-

pero. Un altro vantaggio fondamentale è rappresentato dalla tempistica dell'intervento; la stabilizzazione di massa applicata ai fanghi di dragaggio consente infatti di sottoporre al trattamento i sedimenti anche contestualmente alle operazioni di dragaggio stesse permettendo l'applicazione della tecnologia su vasche di colmata all'interno delle quali il refluito dei sedimenti è stato completato, ma anche in strutture in fase di realizzazione. Pertanto, in funzione del basso impatto ambientale legato ai bassi consumi energetici, ai limitati approvvigionamenti di materie prime, alle emissioni sonore ed ai trasporti, è possibile inquadrare la stabilizzazione di massa tra le Best Available Technologies (BAT).

**I.CO.P. S.p.a.*

***Università di Roma La Sapienza,
Dipartimento Idraulica, Trasporti e Strade*

INTERVENTI IN SCALA REALE

Sono numerosi gli interventi di stabilizzazione effettuati in diversi Paesi europei e non solo. In particolare, il ricorso a questa tecnologia è piuttosto frequente nei Paesi del Nord Europa quali Norvegia, Svezia e Finlandia, dove tale tecnologia ha avuto origine, registrando applicazioni sia in ambito strutturale che ambientale.

PORTO DI TRONDHEIM - Il processo di stabilizzazione di massa è stato impiegato per il trattamento di 11.000 m³ di sedimenti portuali dragati dal fondo del porto stoccati precedentemente all'interno di una vasca di colmata. I sedimenti sottoposti a trattamento risultavano contaminati da PCB, IPA, TBT e metalli pesanti.

PORTO DI VUOSAARI - L'applicazione del processo di stabilizzazione di massa ha riguardato attività strutturali e di recupero ambientale. La gestione in vasca di colmata ha previsto il trattamento di circa 500.000 m³ di sedimenti all'interno di un'area di circa 110.000 m² (con una profondità media pari a 5 m). In riferimento alle applicazioni strutturali, in un lotto adiacente al porto la stabilizzazione di massa degli strati superficiali è stata abbinata al processo di stabilizzazione colonnare degli strati sottostanti.

PORTO DI VALENCIA - E' stato realizzato un nuovo piazzale portuale, con un'estensione di 50.000 m², partendo dalla stabilizzazione di massa dei sedimenti marini dragati nell'area marino-costiera antistante il porto e successivamente refluiti all'interno della vasca di colmata. La nuova area portuale è stata adibita come banchina porta container.

LA MADDALENA - La vasca di colmata dell'ex Arsenale Militare rappresenta la prima esperienza in Italia di applicazione del trattamento di stabilizzazione di massa sui fanghi di dragaggio. La realizzazione della vasca di colmata ha permesso la gestione dei sedimenti dragati consentendo al tempo stesso la sua trasformazione in un piazzale portuale con il conseguente recupero dell'area occupata dalla struttura di conterminazione e l'acquisizione di nuove aree disponibili per lo sviluppo del nuovo porto turistico. I tempi di realizzazione della nuova banchina sono stati molto rapidi: il nuovo piazzale infatti è stato realizzato in soli quattro mesi.

