

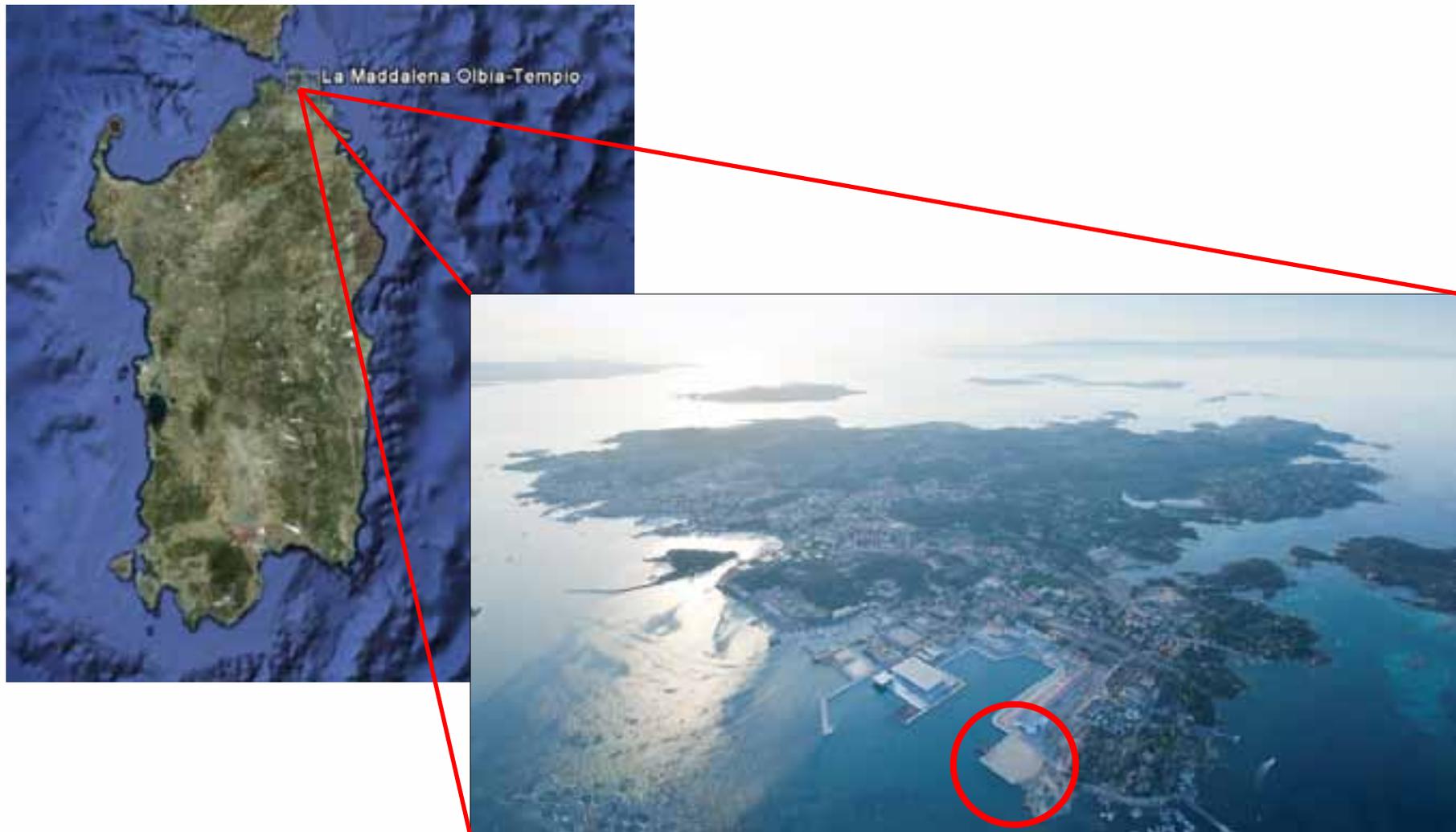


# **ARSENALE MILITARE DI LA MADDALENA: IL METODO ALLU DI STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE PER LA BONIFICA DELL'AREA MARINA E LA REINDUSTRIALIZZAZIONE**

**Walter Bambara**

ICOP

## INQUADRAMENTO DELL'AREA



## DESCRIZIONE DELL'AREA

- **1887**: viene istituito il sito militare di La Maddalena, quale terza base strategica della Marina Militare Italiana.
- **anni '70**: l'Arsenale Militare raggiunge la massima estensione – 134.600 metri quadrati di strutture ed impianti – e si insedia la base della Marina Militare del Stati Uniti.
- **anni '90**: inizia il processo di dismissione della base.



**La base militare è stata chiusa definitivamente il 29 febbraio 2008**

Con la dismissione e il successivo smantellamento della base militare si apre per l'Isola una nuova fase.

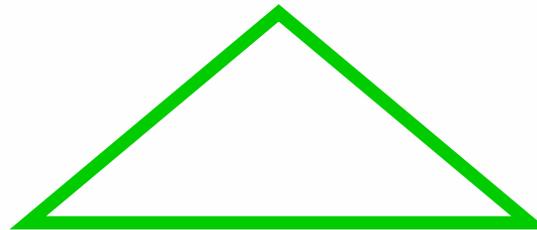
**OBIETTIVI:**

- **valorizzazione e riqualificazione del patrimonio culturale e architettonico**
- **ripristino ambientale e paesaggistico**
- **progettazione ed attuazione un rilancio socio-economico dell'area**



**Summit del G8 a La Maddalena**  
Bonifica

Sviluppo  
economico



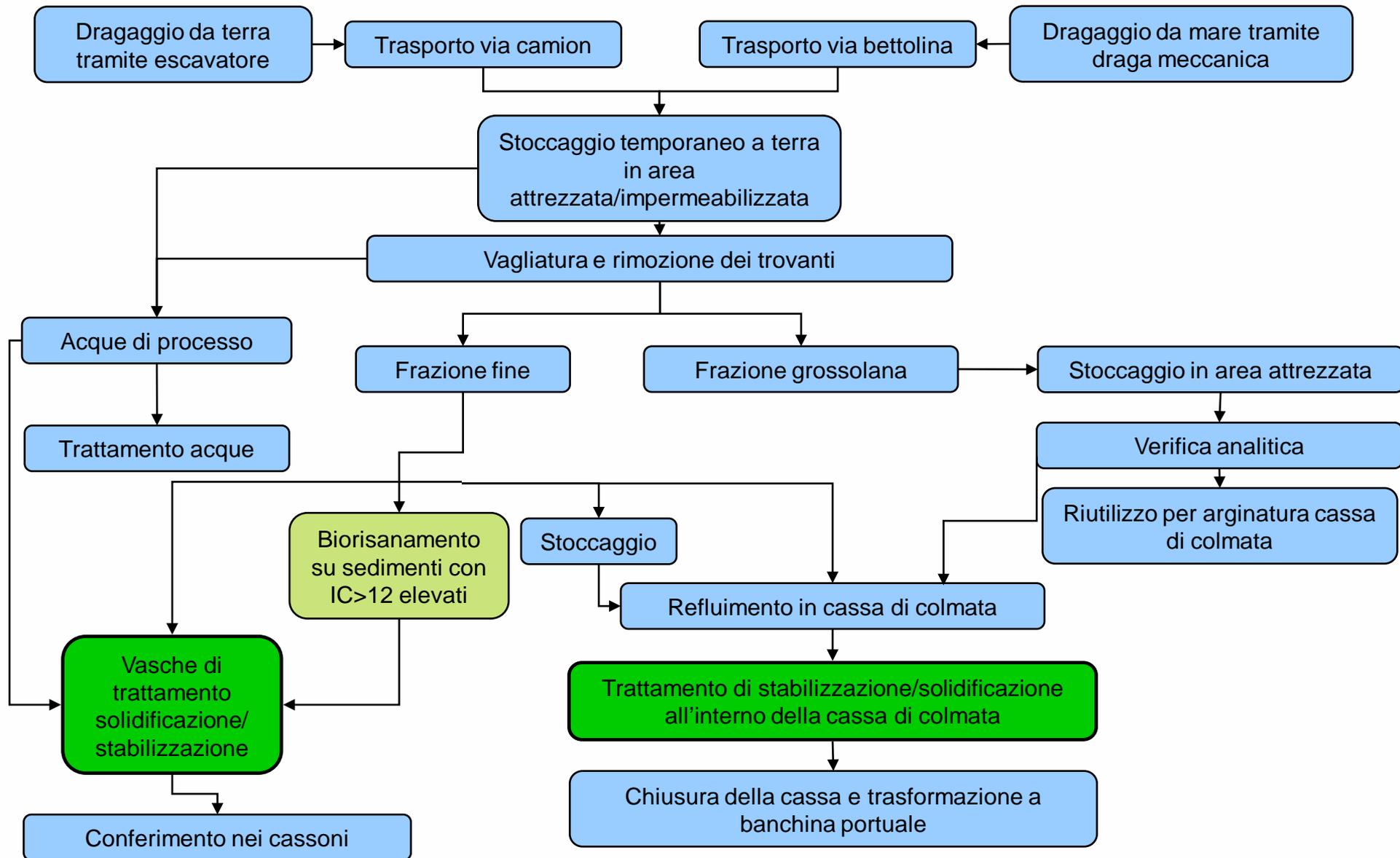
Infrastrutture

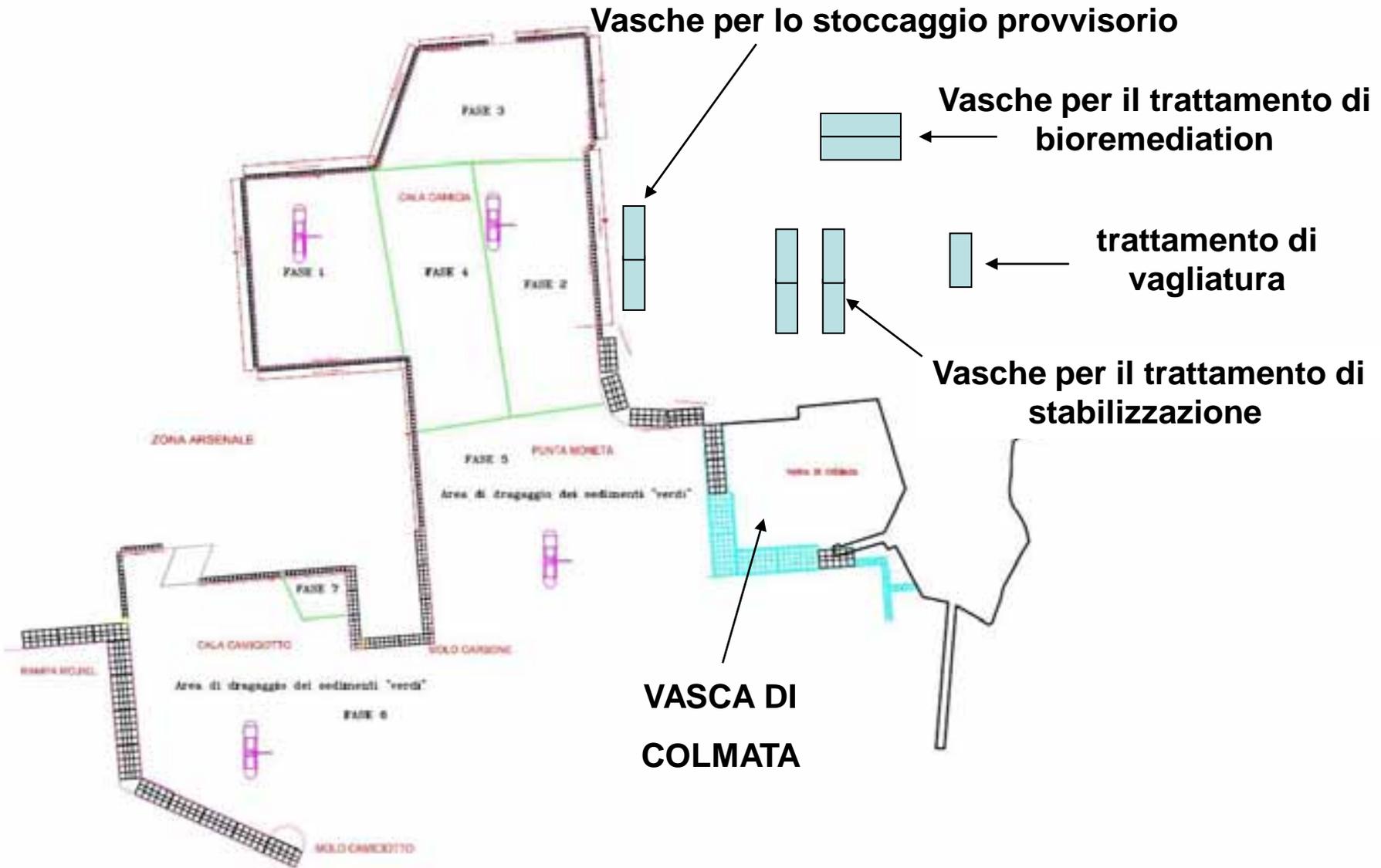
## BONIFICA DEI FONDALI E GESTIONE DEI SEDIMENTI

### BONIFICA AREA A MARE

- ∅ Inizio attività: ottobre 2008
- ∅ Attuazione del piano di caratterizzazione dei fondali
- ∅ Dragaggio e gestione di 70.000 mc di sedimenti con differente grado di contaminazione (As, Hg, Pb, Zn, Idrocarburi IC>12, IPA, PBC, sostanza organica)
- ∅ Trattamento e recupero dei sedimenti in vasca di colmata costruita a Punta Moneta
- ∅ Fine attività: maggio 2008







Sui sedimenti che presentavano una consistente concentrazione di  $IC > 12$  è stato realizzato un processo di biorisanamento.

Per il sito in esame si è scelto di operare mediante miscela batterica M - 1000 H + nutrienti, sviluppata da Micro-Bac, USA, e ampiamente certificata da EPA in termini di rischio e assenza di batteri geneticamente modificati. La concentrazione di miscela è stata di 1.4 l/mc.



La tecnologia ALLU ha consentito, attraverso un tubo coassiale, di dosarla adeguatamente impiegando una pompa a portata variabile, e di ottenere un'omogenea distribuzione del prodotto

## STABILIZZAZIONE DI MASSA DEI SEDIMENTI

Sui sedimenti oggetto degli interventi di dragaggio è stato applicato un processo di stabilizzazione di massa, mediante il sistema ALLU.

Trattamento in vasca di prefabbricata



Trattamento in vasca di colmata



## DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA

La stabilizzazione di massa costituisce un metodo rapido ed economico per intervenire su grandi volumi di terreno, direttamente in sito.

### COME SI REALIZZA

Il consolidamento dei terreni avviene essenzialmente attuando una miscelazione meccanica in situ ed a secco dei terreni stessi con l'aggiunta di leganti opportunamente individuati (solitamente cemento o miscele di calce e cemento).

La miscela farà poi presa grazie all'acqua naturalmente presente nel suolo

### TEST PRELIMINARI

L'intervento di stabilizzazione è preceduto da una campagna di investigazione iniziale mediante verifiche sulle caratteristiche chimico-fisiche del terreno da trattare.

I risultati dei test preliminari costituiscono la base per la scelta della tipologia della miscela di leganti e della quantità da impiegare per la stabilizzazione.

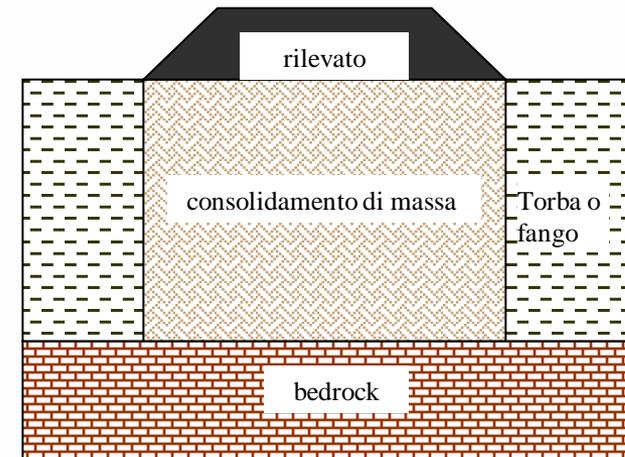
## DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA

Il consolidamento di massa può essere utilizzato tal quale, o progettato in combinazione al consolidamento in colonne, relativamente alle condizioni stratigrafiche e alla destinazione d'uso del sito su cui si è intervenuti

### CASO A

Strato di torba o materiale poco consistente superficiale su un terreno altamente resistente (bedrock)

In questo caso il consolidamento di massa per migliorare la qualità del terreno viene eseguito in maniera omogenea sotto il rilevato

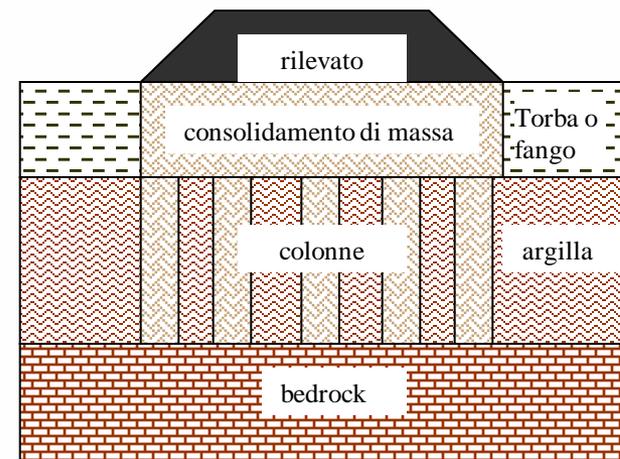


## DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA

### CASO B

**Strato sottile di torba o materiale poco consistente, strato di argilla di spessore maggiore su uno strato di terreno ad elevata resistenza (bedrock)**

In questo caso è possibile progettare una soletta creata tramite consolidamento di massa nello strato con qualità meccaniche scadenti e delle colonne di terreno consolidato (deep mix o colonne di ghiaia) nello spessore relativo all'argilla, che vadano a poggiare direttamente sul bedrock



## SISTEMA DI STABILIZZAZIONE ALLU

Il sistema di stabilizzazione ALLU è costituito da tre componenti.

1. ALLU PM Power Mix, un accessorio idraulico per escavatori.
2. ALLU PF Pressure Feeder, che pressurizza e inietta l'agente legante attraverso la tubazione all'interno del terreno.
3. ALLU DAC, sistema di acquisizione dati in grado di misurare, controllare e relazionare il progetto di stabilizzazione.



**ALLU PM**



**ALLU DAC**



**ALLU PF**

## APPLICAZIONI A CARATTERE STRUTTURALE

### OBIETTIVO

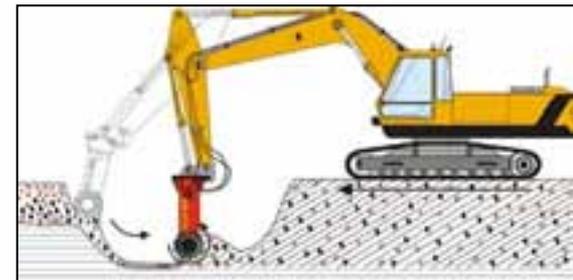
Rendere utilizzabili terreni con scarse caratteristiche meccaniche quali resistenza e deformabilità (torbe o fanghi)

### APPLICAZIONE

Stratigrafie, dove in superficie sono presenti strati di piccolo spessore costituiti da torba, argilla ed altre miscele di terreno ad elevato contenuto organico

### MODALITA' OPERATIVE

1. quando il suolo è poco consistente, può essere aggiunta sabbia in superficie ed il legante è alimentato direttamente in testa al miscelatore, mentre i tamburi ruotano. Il materiale poi così miscelato, è tirato verso l'escavatore dall'operatore e portato al livello desiderato, così da poter avanzare sul terreno trattato
2. quando il terreno è molto umido (torba, fango o argilla soffice), il legante è sempre alimentato attraverso il miscelatore mentre è in movimento; l'operatore esegue il lavoro per blocchi sequenziali per evitare che vi siano dispersioni laterali di additivi; completato un allineamento si passa a quello successivo



## APPLICAZIONI A CARATTERE AMBIENTALE

### OBIETTIVO

Bonificare siti contaminati, impedendo agli inquinanti di migrare nei terreni limitrofi non contaminati (riduzione smaltimento di sostanze inquinanti e minori costi di intervento).

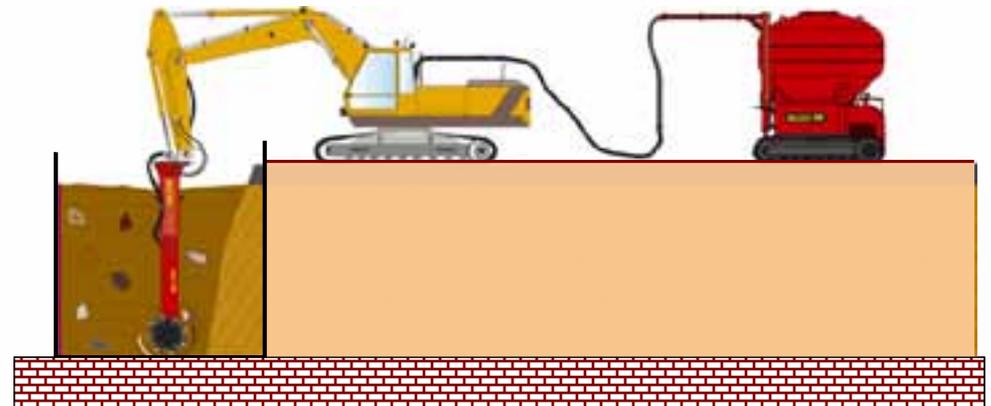
### APPLICAZIONE

Molto efficace nel trattamento di fanghi portuali dragati, considerati inutilizzabili per ogni tipo di costruzione.

### MODALITA' OPERATIVE

L'intervento tipo avviene realizzando bacini (ca. 100 mc), dove disporre i sedimenti dragati o raccogliendo i fanghi in vasche nei pressi dell'area di dragaggio.

Atteso un primo periodo di consolidazione naturale dovuto all'allontanamento dell'acqua per effetto delle sovrappressioni neutre, si procede come negli altri casi alla miscelazione del terreno con il mixer utilizzando le quantità di leganti necessarie che variano di caso in caso.



## LEGANTI

Per leganti si intendono i diversi additivi utilizzabili per il consolidamento, capaci di costituire uno scheletro solido all'interno del terreno miscelato

### L. IDRAULICI

Maturano a contatto con l'acqua. Sono pressoché adatti ad ogni tipo di terreno, ma se la miscelazione meccanica non è avvenuta con accuratezza, il risultato sarà eterogeneo

### L. NON IDRAULICI

Non idraulici, se ha bisogno di un catalizzatore per avviare la maturazione. Reagiscono generalmente con i minerali argillosi presenti nel terreno, i quali ne migliorano le caratteristiche geotecniche

### ALTRI ADDITIVI

Sono ricavati da processi industriali. Possono esser utilizzati per consolidamento di massa e profondo. Miscelati a basi di calce o cemento danno origine a leganti di buona qualità e dai costi contenuti

### QUALI

CEMENTO

CALCE

CENERI

SCORIE DI FORNACE

PRODOTTI DI SOLFATO DI  
CALCIO



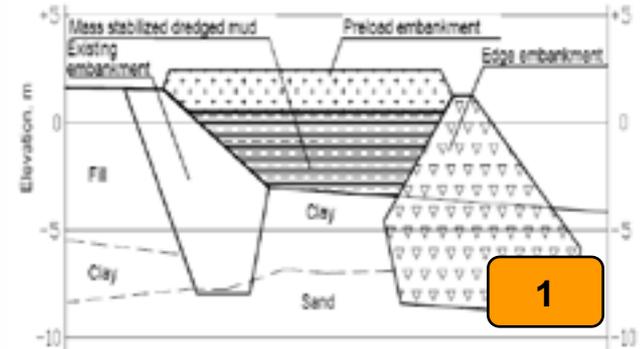
## COSTI E BENEFICI

### VANTAGGI

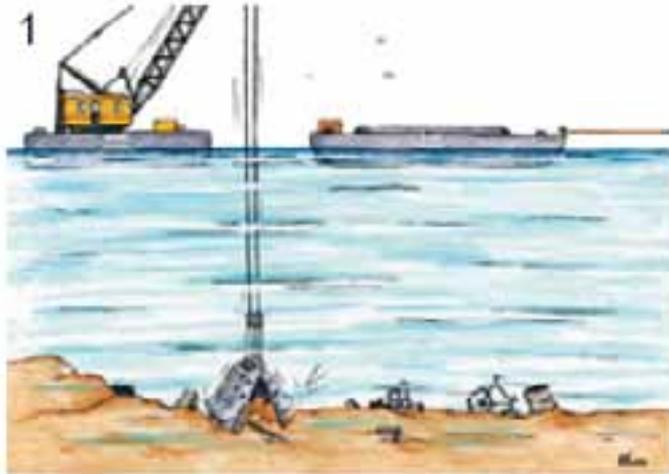
- ∅ **Economicità**
- ∅ **Versatilità e flessibilità**
- ∅ **Drastica riduzione dell'impatto sull'ambiente rispetto ad altre tecnologie utilizzate (es. soil replacement)**
- ∅ **Minimizzazione dell'impianto cantiere (tempi, attrezzature, ecc.)**
- ∅ **Riduzione delle aree di cantiere**
- ∅ **Disponibilità delle aree sottoposte a consolidamento in tempi brevi**

## IL TRATTAMENTO DEI FANGHI DRAGATI

1. Realizzazione dei bacini di stoccaggio (CDF)
2. Dragaggio dei sedimenti inquinati
3. Fase di stabilizzazione diretta in CDF
4. Realizzazione della nuova banchina



## IL TRATTAMENTO DEI FANGHI DRAGATI



## IL TRATTAMENTO DEI FANGHI DRAGATI



## REALIZZAZIONE DELLA VASCA DI COLMATA



## TRATTAMENTO EX SITU



## REALIZZAZIONE DELLA VASCA DI COLMATA

Una volta completata la vasca di colmata, i sedimenti sono stati refluiti direttamente all'interno della stessa.

La vasca è stata suddivisa in 9 lotti funzionali, all'interno dei quali è stato realizzato il trattamento di stabilizzazione.



## REALIZZAZIONE DELLA VASCA DI COLMATA



## REALIZZAZIONE DELLA VASCA DI COLMATA



## GESTIONE DELLE ACQUE DI SFIORO



Le vasche in cls per il trattamento di stabilizzazione *ex situ* sono state utilizzate successivamente per il trattamento delle acque di sfioro della vasca di colmata.

Allestimento di un bacino di sedimentazione con successivo sfioro delle acque in un sistema di filtrazione.

Impianto di filtrazione a letto di sabbia quarzo/silicea

$Q = 64 \text{ m}^3/\text{h}$



## COLLAUDO FINALE DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA

**Per la verifica in opera del trattamento di stabilizzazione è stato eseguito un programma di prove orientato al controllo:**

- ∅ delle profondità di trattamento;**
- ∅ dell'effettiva distribuzione omogenea del legante;**
- ∅ dell'idoneità del comportamento della colmata come piazzale portuale.**

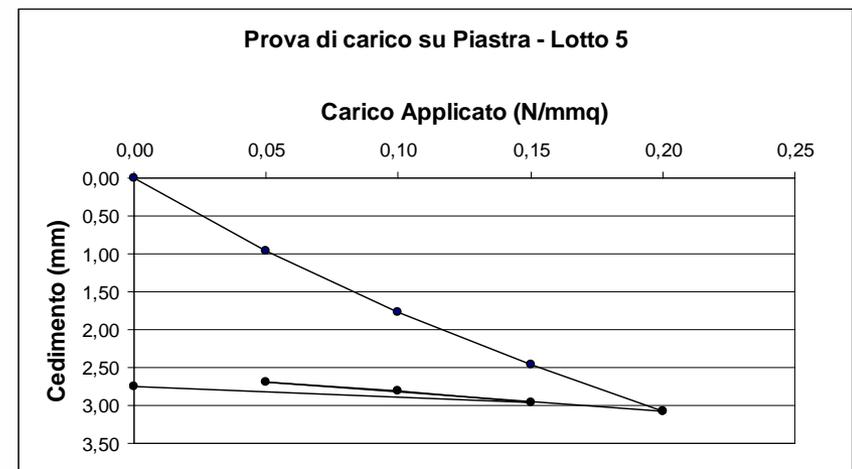
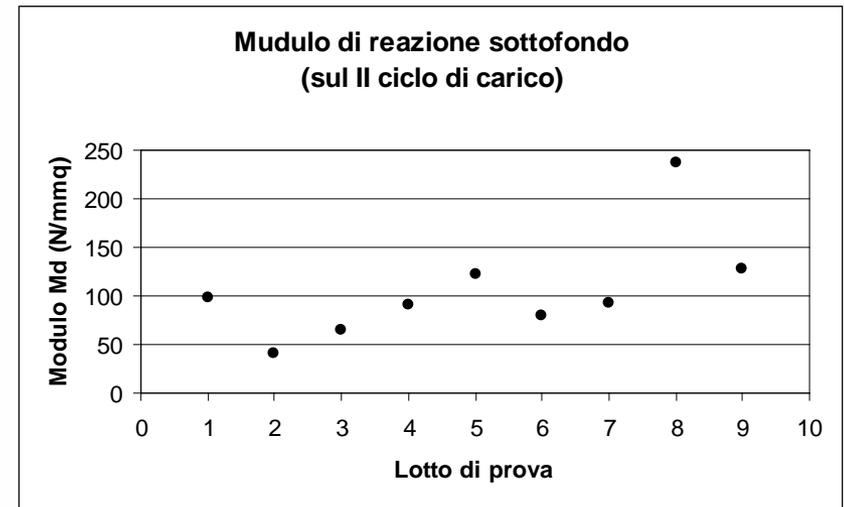
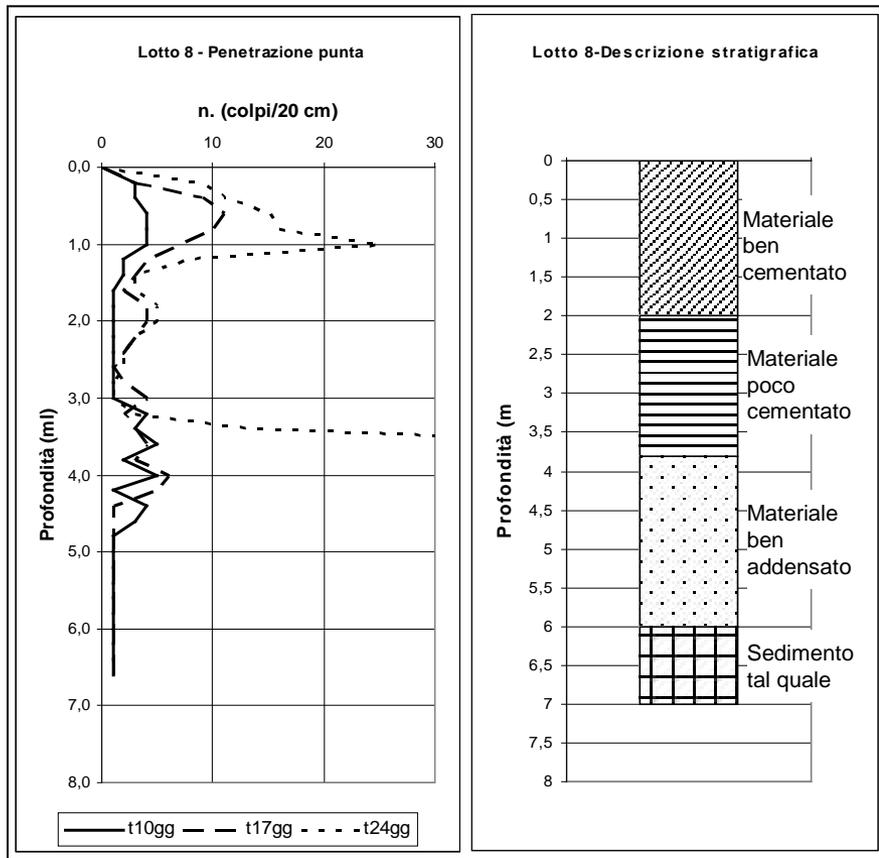
**Sono state eseguite:**

- ∅ perforazioni a carotaggio continuo su ogni lotto (con prelievo di campioni per i test di cessione);**
- ∅ prove DPSH ripetute in tre differenti campagne;**
- ∅ prove di carico su piastra (D=30 cm) con doppio ciclo di carico;**
- ∅ Analisi chimiche e test di cessione sui campioni sia integri che macinati.**

## COLLAUDO FINALE DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA



# COLLAUDO FINALE DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA



## COLLAUDO FINALE DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA



## COLLAUDO FINALE DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA

La strategia di caratterizzazione ha previsto l'esecuzione di n. 27 sondaggi, suddivisi:

- nei nove lotti sulla base dell'estensione superficiale di ciascuno di essi e con una lunghezza delle carote variabile in funzione della profondità della vasca di colmata;
- nei sette cassoni cellulari perimetrali.

Lotto n.	n. stazioni di campionamento	Lunghezza carota (m)
1	3	3,5
2	2	1,5
3	3	1,0
4	2	3,5
5	2	5,0
6	2	5,0
7	2	5,0
8	2	7,0
9	2	8,0

Cassone n.	Lunghezza carota (m)
1	4,4
2	4,4
3	6,4
4	8,9
5	8,9
6	6,4
7	3,9

## COPERTURA DEFINITIVA DELLA COLMATA



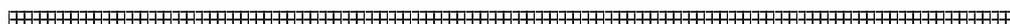
**Pavimentazione piazzale (10 cm)**



**Strato in "misto cementato" (30 cm)**



**Strato in "misto stabilizzato" (50 cm)**



**Protezione in geotessile non tessuto**



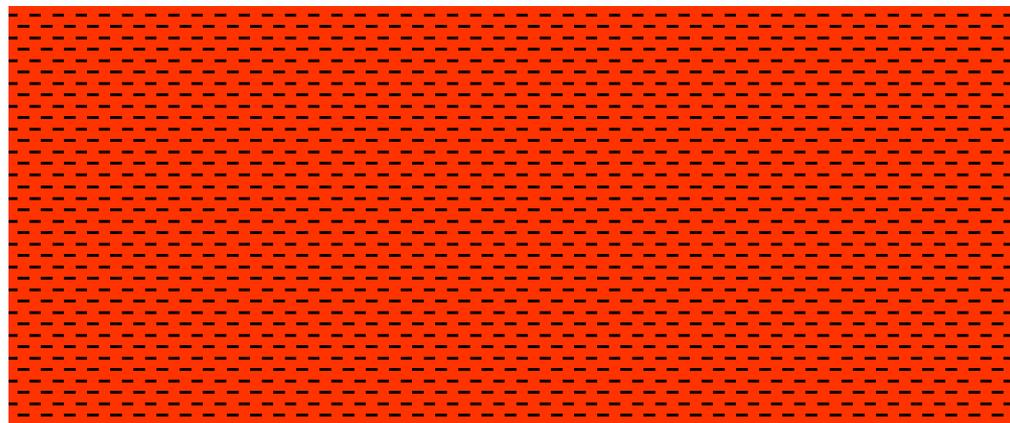
**Geomembrana in HDPE**



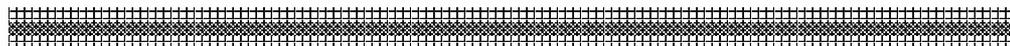
**Ricarica in ciottolame (30 cm)**



**Protezione in geotessile non tessuto**



**Sedimenti stabilizzati**



**Sistema di impermeabilizzazione ( $K = 1.0 \times 10^{-9}$  m/s)**



**Substrato granitico**

## COPERTURA DEFINITIVA DELLA COLMATA



## AVANZAMENTO DEL CANTIERE



**Marzo 2009**

**Aprile 2009**



**Luglio 2009**

## CONCLUSIONI

- **Tecnologia molto versatile in relazione sia alle caratteristiche dei terreni che alle condizioni di utilizzo**
- **Tecnologia che riduce gli impatti ambientali sul consolidamento fanghi (immobilizzazione, riduzione trasporti etc..)**
- **Caratteristiche meccaniche del terreno trattato molto buone e tali da poter trasformare le superfici in aree utilizzabili**
- **Costi relativamente contenuti e ridotti rispetto a soluzioni equivalenti**
- **Velocità elevata di esecuzione del trattamento (> 500 mc /d)**
- **Assenza di materiale da portare in discarica**