

## Le casse di colmata: problematiche geotecniche

Quintilio Napoleoni

**Dipartimento DICEA**  
**«Sapienza» Università di Roma**





# **Le casse di colmata: problematiche geotecniche**

Quintilio Napoleoni

**Conferenza Nazionale dei Porti:  
sedimenti, dragaggi, opere e sostenibilità**

---

**Ferrara, 24 Settembre 2015**

**La necessità delle casse di colmata deriva dalla contingenza di dove gestire grandi quantità di fanghi di dragaggio provenienti da:**

- Manutenzione dei porti esistenti
- Pulizia di canali
- Approfondimento di porti esistenti
- Nuove realizzazioni
- Opere accessorie (posa condotte, scanni etc.)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## PREMESSE

### Fabbisogno di volumi da dragare in porti italiani al 2013

Autorità Portuali	TEU (2013)	Fabbisogno di dragaggio (m <sup>2</sup> )	Profondità attuale (m)	Profondità post dragaggio (m)
Gioia Tauro	3.100.000 *		-18,0	-18,0
Genova	1.988.013	2.956.000	-15,0	-17,5
La Spezia	1.300.432	918.000	-14,0	-15,0
Livorno	560.000*	1.860.000	-13,0	-16,0
Cagliari	685.000*		-16,0	-18,0
Taranto	197.317	19.500.000	-14,0	-16,0
Napoli	490.000*	4.713.000	-15,0	-16,5
Venezia	443.000*	6.650.000	-9,8	-12,0
Trieste	458.497	3.650.000	-18,0	-18,0
Salerno	270.000*	5.000.000	-13,0	-15,0
Ravenna	226.879	6.788.584	-11,5	-14,5
Savona-Vado	75.000*	430000	-18,5	-20,0
Ancona	152.394	2.890.000	-12,5	-14,0
Civitavecchia (Fiumic., Gaeta)	49.600*	413.000	-15,0	-15,0
Palermo (Termini Imerese)	20.647*	434.568	-5,0	-10,0
Catania	27.800*	1.500.000	-8,0	-12,0
Bari	31.412*	200.000	-12,5	-13,0
Marina di Carrara	-*	140.000	-10,5	-10,5
Brindisi	-*	1.350.000	-14,0	-14,0
Augusta	203*	86.914	-16,0	-16,0
Piombino		4.150.000	-12,0	-15,0
Messina			-11,0	-11,0
Olbia-Golfo Aranci		104.350	-10,0	-10,0
<b>TOTALE</b>	<b>10.076.744</b>	<b>63.734.256</b>		

Fonte: Elaborazioni DIPE su dati Autorità Portuali - \*: dati stimati

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## PREMESSE



**Nuovo Aeroporto di Osaka: 21 milioni m<sup>3</sup> di riempimento**

### Problema di gestione dei sedimenti marini/fluviali

- Caratterizzazione
- Dragaggio
- Destinazione finale

### Competenze multidisciplinari:

- Geologia
- Idraulica marittima
- Geotecnica
- Biologia
- Topografia

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## PREMESSE

Classe	Opzioni di gestione
<b>A1</b>	Sabbie (pelite < 10%) da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ripascimento di arenili (previa verifica compatibilità con il sito di destinazione); 2. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa; 3. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 4. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 5. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 6. Immersione in mare.
<b>A2</b>	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa). 2. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 3. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 4. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 5. Immersione in mare.
<b>B1</b>	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattenimento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento (incluso il riempimento di banchine).
<b>B2</b>	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Smaltimento presso discarica a terra.
<b>C1</b>	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale secondo la seguente priorità: 1. Rimozione in sicurezza e avvio di specifiche attività di trattamento e/o particolari interventi che limitino l'eventuale diffusione della contaminazione; 2. Rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Rimozione in sicurezza e smaltimento presso discarica a terra
<b>C2</b>	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale la cui rimozione e gestione devono essere valutate caso per caso.

**Classi A**

**Classi B**

**Classi C**

**Classi A+B**

=

**Casse di colmata**

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

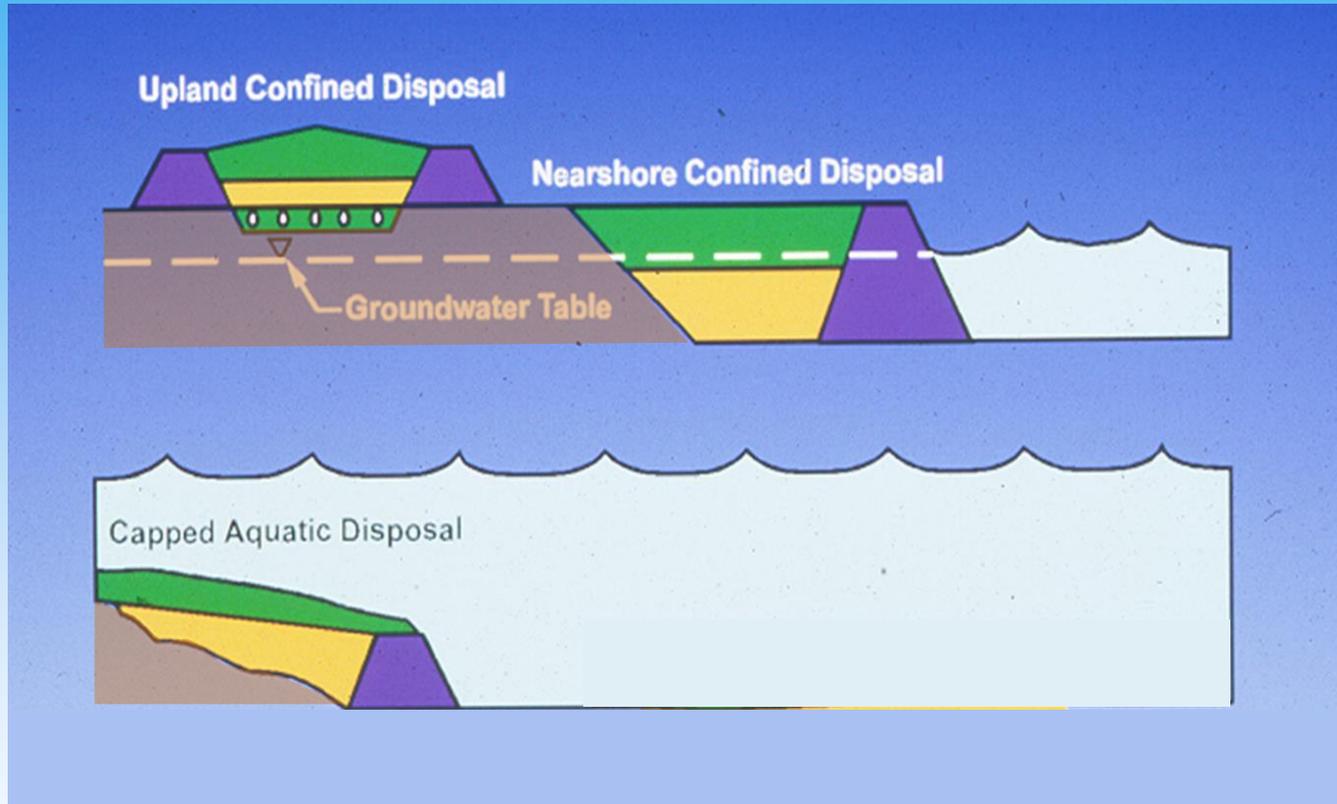
## DESTINAZIONE FINALE DEI DRAGAGGI

**La destinazione finale dei materiali dragati dipende fortemente dalla loro natura e caratteristiche:**

- Refluimento a mare
- Ripascimento spiagge
- Casse di colmata a mare
- Casse di colmata a terra
- Riutilizzo

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

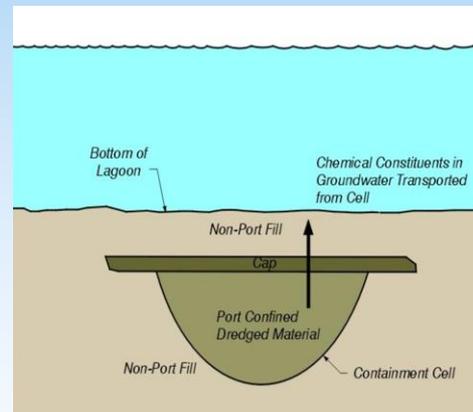
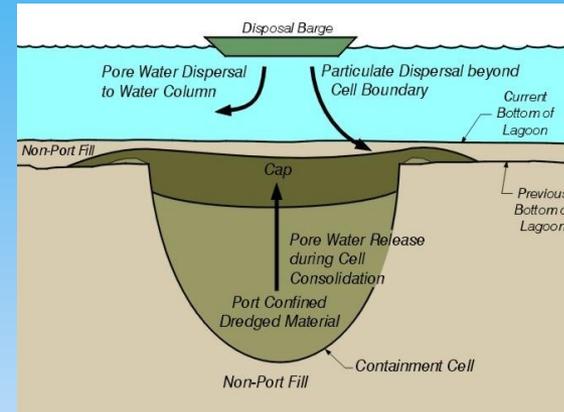
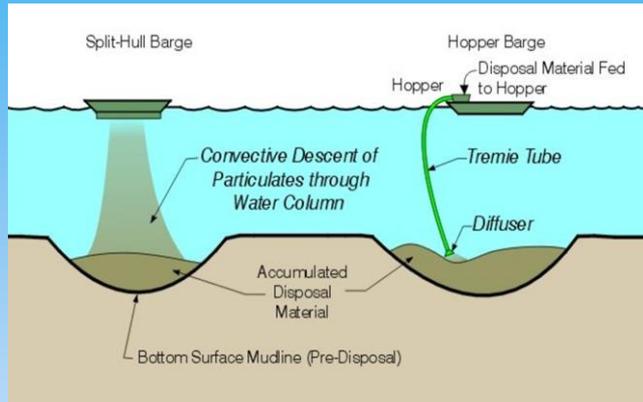
## DESTINAZIONE FINALE DEI DRAGAGGI



### Tipologia di Casse di Colmata

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## DESTINAZIONE FINALE DEI DRAGAGGI



**Casse di colmata sottomarine**

### Principali problematiche geotecniche:

- Confinamento laterale (a mare e a terra)
- Confinamento del fondo (naturale e/o artificiale)
- Modalità di dragaggio e di riempimento
- Gestione dei volumi della cassa (cedimenti del materiale refluito)
- Impermeabilizzazione superficiale
- Caratteristiche meccaniche finali del materiale dragato
- Tempi esecutivi e tempi di riutilizzo dell'area
- Monitoraggio dell'area

Le **prestazioni del confinamento** dipendono dalla qualità del sedimento:

- Classi A1, A2
- Classi B1, B2
- Classi C1, C2

Le tecnologie variano molto a seconda:

- Confinamento a terra
- Confinamento a mare
- Disponibilità di aree

da DL. 24/01/2012

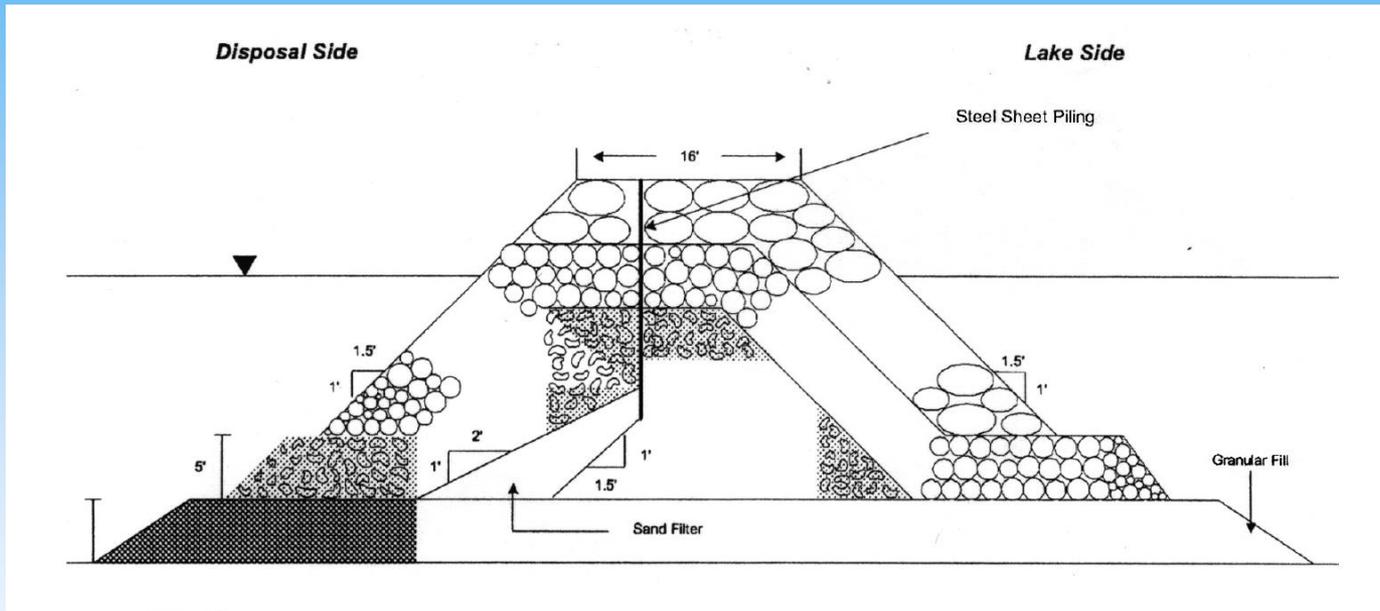
« [...] *Le stesse strutture [vasche di colmata] devono presentare un sistema di impermeabilizzazione naturale o completato artificialmente al perimetro e sul fondo, in grado di assicurare requisiti di permeabilità almeno equivalenti quelli di uno strato di materiale naturale dello spessore di cento centimetri con coefficiente di permeabilità pari a  $1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  [...] ».*

Equivalenza = ?

- Portate filtrate
- Tempi di attraversamento

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



### Sezione tipo di diga a scogliera di confinamento lato mare

Grand Calumet River  
Gary, Indiana

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



**Posa in opera della membrana in HDPE  
e del Geocomposito drenante fuori acqua**

Grand Calumet River  
Gary, Indiana

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



**Posa in opera della membrana in HDPE in acqua**

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



**Posa in opera della membrana in HDPE  
e del geotessile di protezione in acqua**

Porto della Maddalena

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



**Confinamento a mare di una cassa di colmata con palancole metalliche**

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE

### Giunto fra palancole

Le palancole in acciaio sono impermeabili e l'unica possibile via che permette la filtrazione è il giunto.

La tenuta è assicurata da:

- Incastro
- Fenomeni di rifollamento a freddo
- Intasamento di materiale fino durante la filtrazione
- Materiale di tenuta inserito prima o dopo la messa in opera
- Saldatura esterna



# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE

Per il confinamento a terra è molto utilizzata la soluzione di diaframmi plastici:

- Continui
- A pali secanti

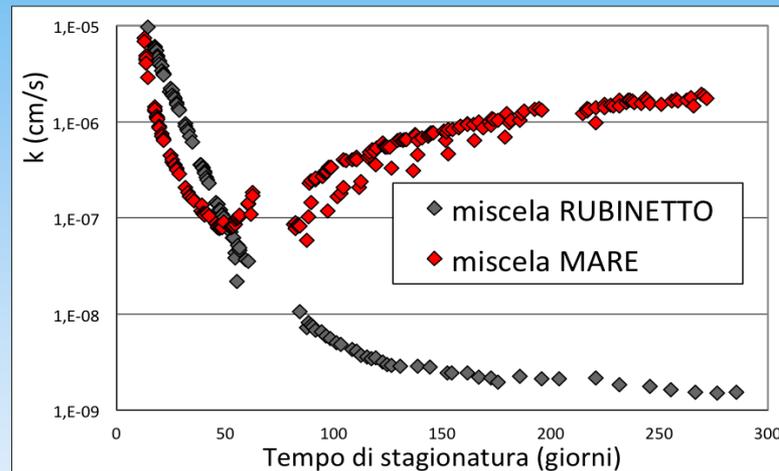
La tecnica si basa su barriere ad escavazione con riempimento di miscele ternarie **acqua-cemento-bentonite**

La miscela ha caratteristiche evolutive nel tempo in dipendenza delle caratteristiche e dosaggio dei suoi componenti:

- Riduce la permeabilità con la maturazione (90-120 gg)
- Interagisce con i fluidi presenti nel sito (acque di falda, acque contaminate, **acque saline**)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE



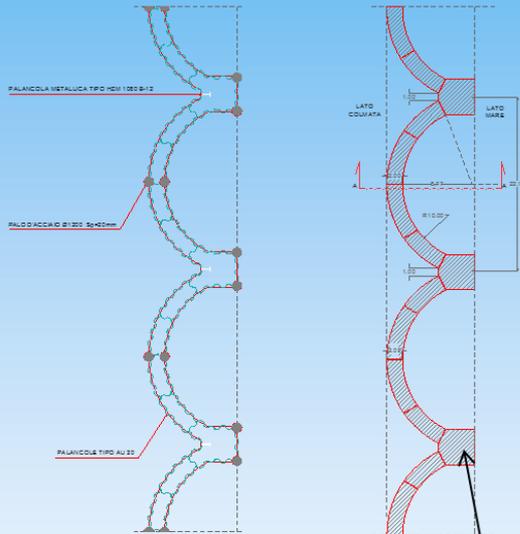
Evoluzione della permeabilità nel tempo di una miscela ACB

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE

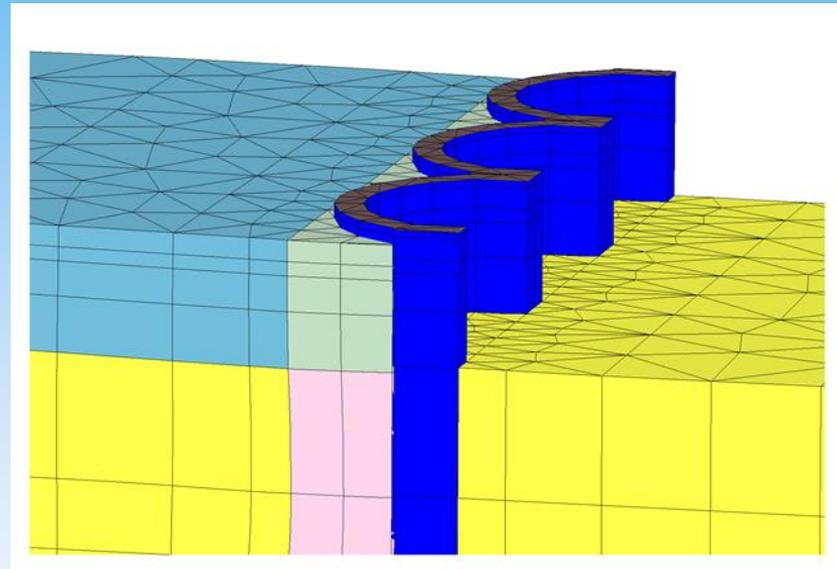
PIANTA PALANCOLE

PIANTA ELEMENTI GEOMETRICI



Palancole AU 20s

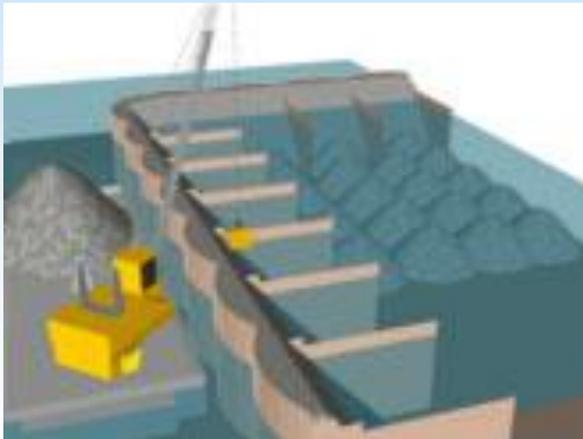
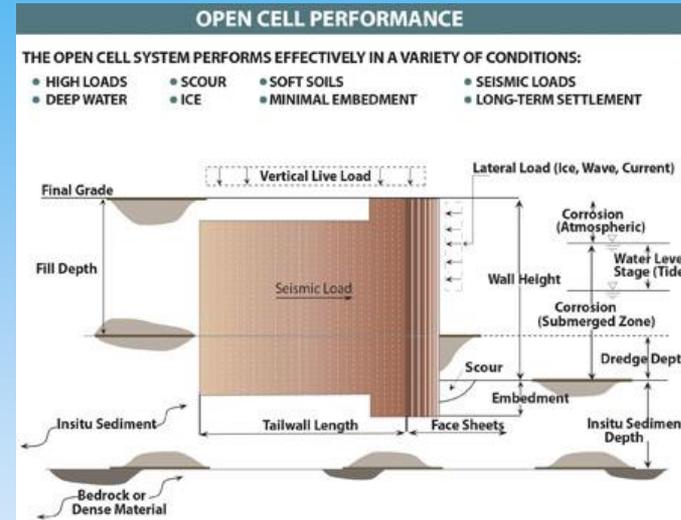
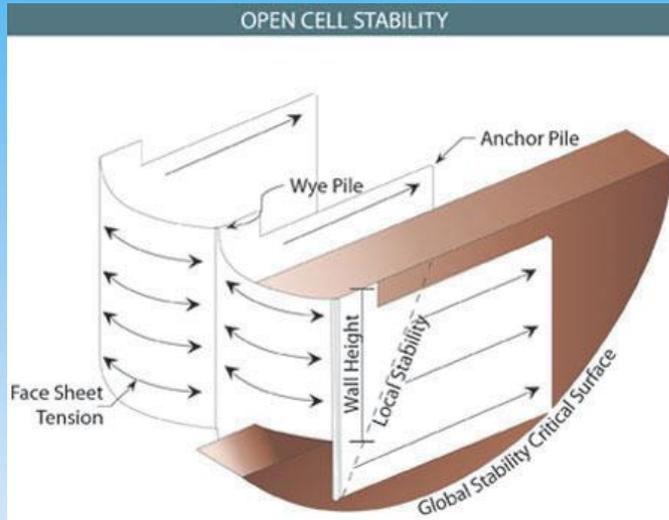
Riempimento con calcestruzzo  
plastico di classe C12/15



Palancolato doppio tipo Cofferdam

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO LATERALE

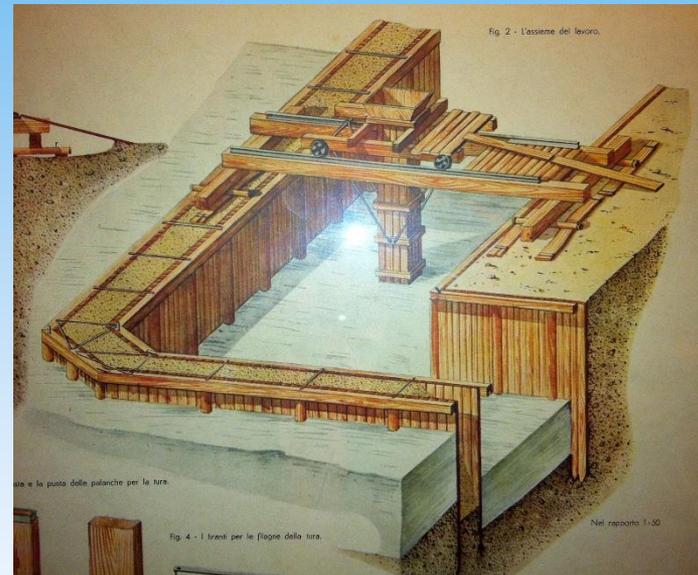
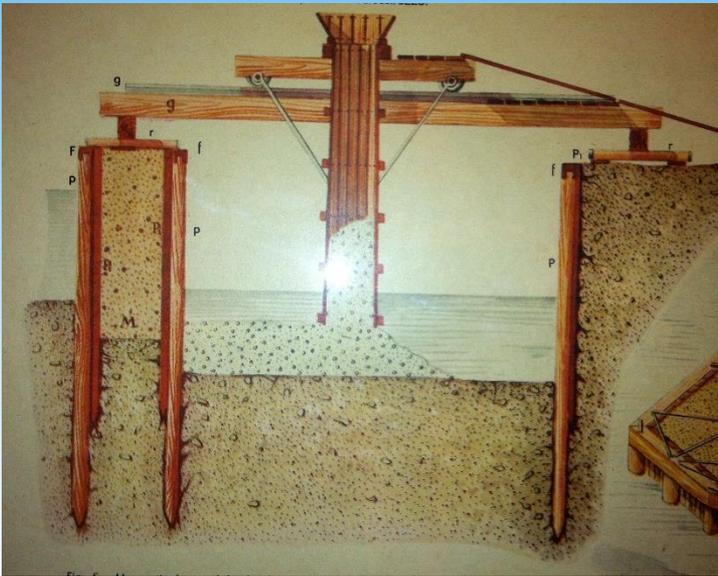


Palancolato tipo «open cell»

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO DEL FONDO

### Getti sul fondo di materiale impermeabilizzante

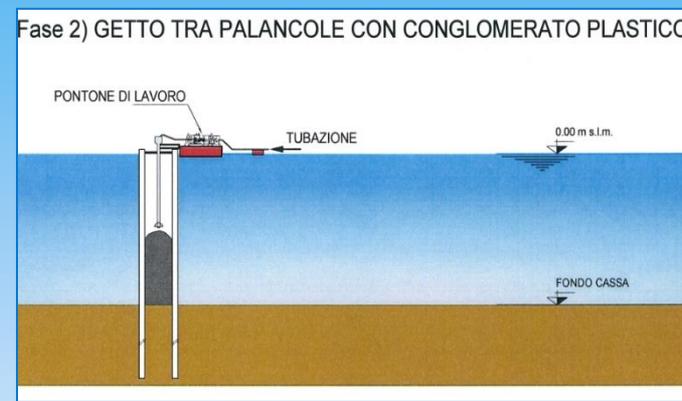


Tampone di fondo e tura laterale con calcestruzzo (primi del '900)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO DEL FONDO

### Getti sul fondo di materiale impermeabilizzante



**Confinamento a mare e tampone di fondo**

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO DEL FONDO

### Getti sul fondo di materiale impermeabilizzante



**Materiale secco messo in opera con benna mordente**

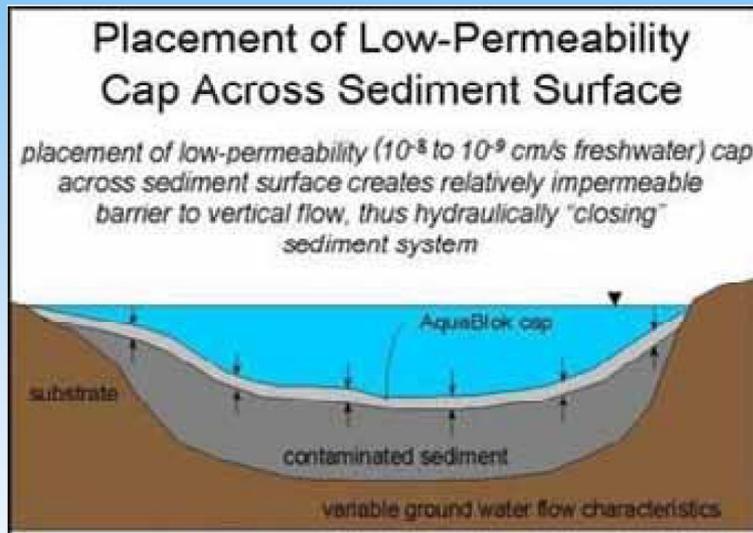
**Materiale secco messo in opera con nastro trasportatore**



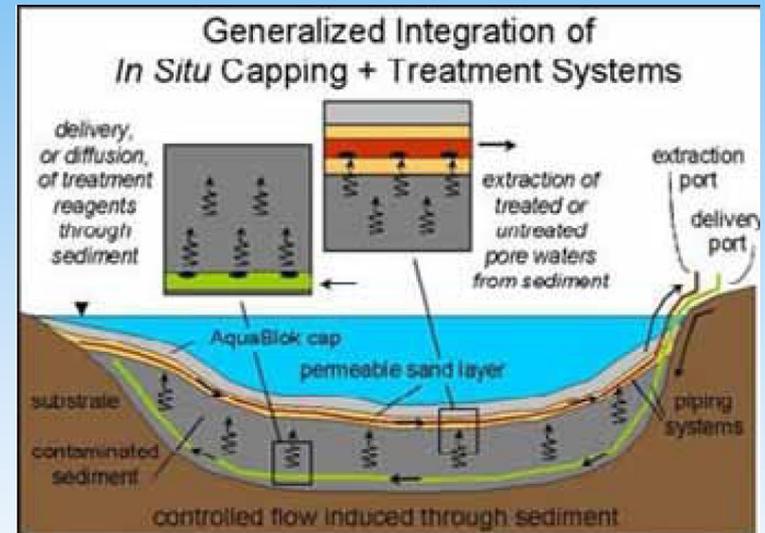
# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONFINAMENTO DEL FONDO

### Impermeabilizzazione del fondo tramite getto subacqueo



Fondo impermeabilizzato



Fondo impermeabilizzato e capping con adsorbimento

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## MODALITÀ DI DRAGAGGIO E DI RIEMPIMENTO

Il dragaggio ha aspetti ingegneristici molto particolari che esulano dalla competenza ordinaria della preparazione di base dei tecnici

Dal punto di vista progettuale sono molto importanti:

- Caratteristiche dei materiali da dragare
- Profondità batimetriche e di fondo escavo
- Volumi e tempistiche di intervento
- Distanze da percorrere per la destinazione finale
- Impiego dei materiali dragati

La scelta della tecnologia di dragaggio ha implicazioni economiche e progettuali condizionanti la progettazione delle casse di colmata soprattutto per quanto riguarda **la gestione dei volumi**

Uno dei grandi problemi da affrontare per la progettazione geotecnica di una cassa di colmata è rispondere alla domanda:

**Il volume a disposizione è sufficiente per accogliere tutto il materiale dragato?**

Il problema è che la risposta non è affatto facile né univoca!

Il prodotto finale del dragaggio che dovrà essere allocato nella cassa di colmata è un materiale (terreno ?) con caratteristiche molto peculiari e, a volte, estremamente eterogeneo.

Il volume finale che sarà occupato dal materiale dragato dipenderà da:

1. Granulometria iniziale
2. Indice dei vuoti iniziale e suo contenuto d'acqua
3. Metodo di dragaggio (diluizione: meccanico (1:1) o refluitamento (1:10))
4. Velocità di dragaggio (500 mc/gg o 3000 mc/gg: costi noleggio)
5. Modalità di prelievo (a strati o per settori)
6. Modalità di trasporto fra il sito di dragaggio e la vasca
7. Tipologia della vasca e modalità di sversamento (in acqua o fuori terra)
8. Forma della vasca di colmata (superficie vs volume)
9. Volume effettivamente dragato (sovrascavo minimo indipendente dallo spessore del dragaggio)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

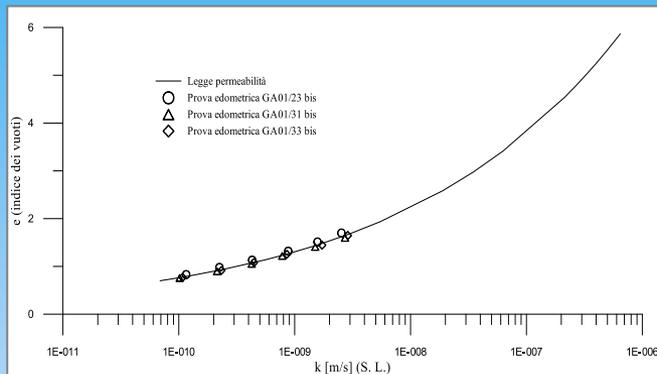
## GESTIONE DEI VOLUMI DI RIEMPIMENTO

Soprattutto per il dragaggio di materiali a grana fine, il problema è tipicamente geotecnico perché è legato ai processi di consolidazione e compattazione, ma ha delle sue particolarità che esulano dal normale approccio nei terreni

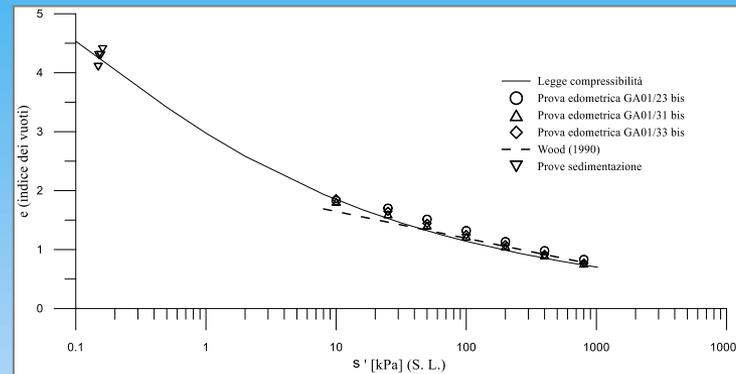
Lo studio deve essere condotto dopo studi specialistici adeguati (ad esempio prove di sedimentazione in acqua) e con approcci teorici non convenzionali (studiando la variazione di permeabilità con l'indice dei vuoti)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

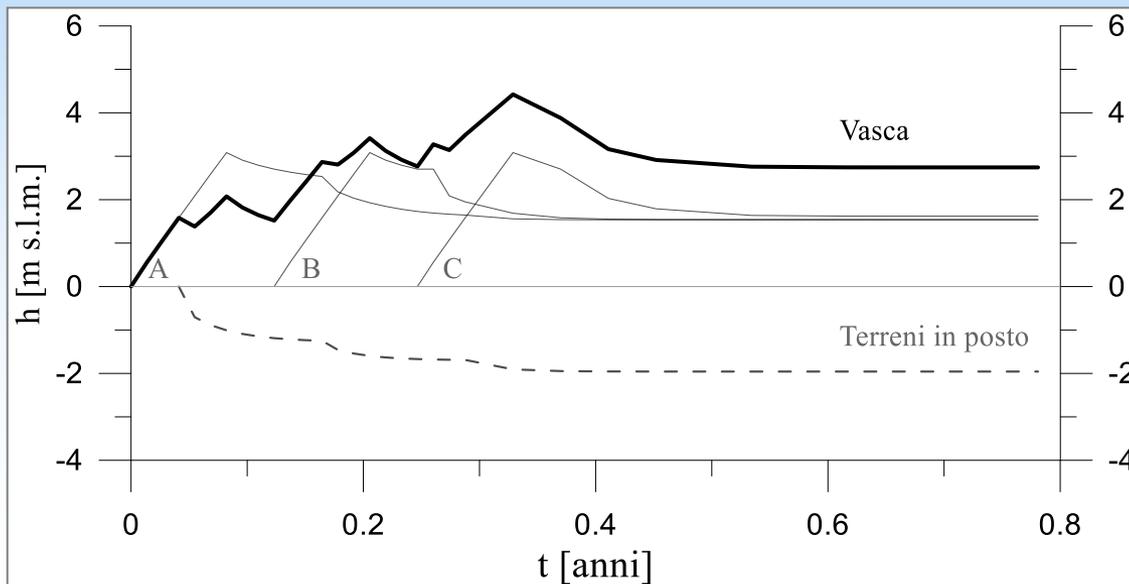
## GESTIONE DEI VOLUMI DI RIEMPIMENTO



Relazione indice dei vuoti - permeabilità



Legge di compressibilità



Curva cedimenti-tempo:

- Fasi di riempimento
- Dreni
- Precarica
- Applicazione del vuoto su strati drenanti intermedi

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CARATTERISTICHE MECCANICHE FINALI DEL MATERIALE DRAGATO

Le caratteristiche meccaniche dei materiali refluiti possono essere molto scadenti.

Esse dipendono essenzialmente da:

- Modalità di dragaggio e riempimento della cassa (idraulico o meccanico)
- Granulometria dei sedimenti (fini o grossolani)

Praticamente sempre è necessario prevedere una stabilizzazione dei sedimenti:

- Durante il riempimento (on line o ex situ)
- Dopo la messa in opera (in situ)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CARATTERISTICHE MECCANICHE FINALI DEL MATERIALE DRAGATO

### I consolidamenti possono essere distinti in base a :

- Aggiunta di leganti (stabilizzazione di massa, deep mix etc..)
- Riduzione del contenuto d'acqua (dewatering)
- Precarica e dreni (dreni a nastro, dreni orizzontali, vacuum)
- Addensamento (vibroflottazione, Heavy dumping etc..)
- Rinforzo (colonne di ghiaia etc..)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CARATTERISTICHE MECCANICHE FINALI DEL MATERIALE DRAGATO

**Le scelta della tecnologia di consolidamento dipende da :**

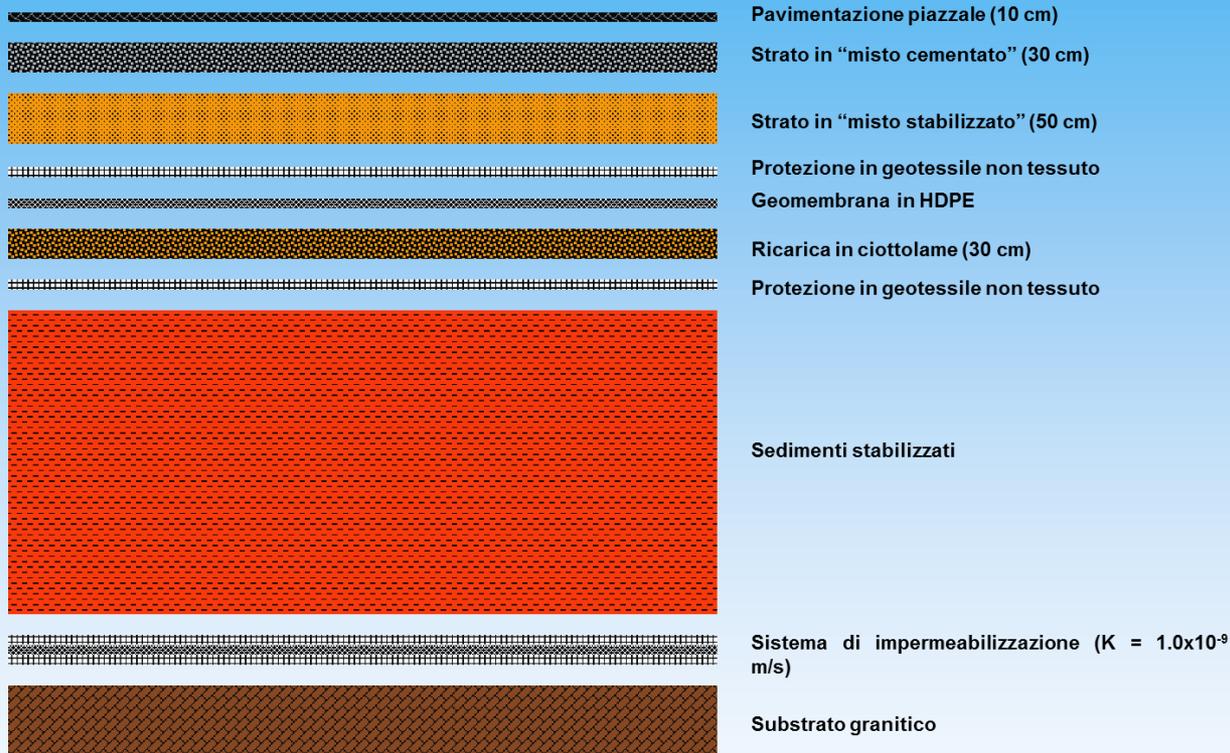
- Granulometria dei materiali
- Destinazione d'uso finale
- Volumi a disposizione
- Spessori del sedimento da consolidare
- Tempi necessari al completamento dei lavori

L'impermeabilizzazione superficiale può essere parte integrante del pacchetto di fondazione oppure appositamente costruita:

- Membrane in HDPE
- Manti Bituminosi
- Argilla compattata (CCL)
- Geocompositi bentonitici (GCL)

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## IMPERMEABILIZZAZIONE SUPERFICIALE



Piazzale Punta Moneta «La Maddalena»

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## IMPERMEABILIZZAZIONE SUPERFICIALE



Piazzale Punta Moneta «La Maddalena»

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## TEMPI ESECUTIVI E TEMPI DI RIUTILIZZO DELL'AREA

Nelle scelte progettuali hanno un ruolo fondamentale sia i tempi di esecuzione dell'opera (dragaggio, costruzione della colmata e riempimento) sia i tempi che sono necessari per l'eventuale riutilizzo dell'area

La tempistica è condizionata da:

- Tecnologia di dragaggio
- Trasporto dei materiali
- Tipologia di cassa di colmata
- Volumi a disposizione
- Tecniche di consolidamento
- Tipologia di pavimentazione

I tempi di riutilizzo delle casse di colmata possono variare da qualche mese a diversi anni

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## COLLADUO E MONITORAGGIO DEGLI INTERVENTI

Il comportamento «geotecniche» e le prestazioni in termini di protezione ambientale della casse di colmata (sia a breve che a lungo termine), presenta delle criticità che possono essere anche difficilmente risolvibili

Le esigenze di collaudo in corso d'opera sugli interventi (confinamento, riempimento, consolidamento) sono spesso non compatibili con le tempistiche e la logistica dei lavori

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## COLLADUO E MONITORAGGIO DEGLI INTERVENTI

Le operazioni di collaudo devono essere attentamente programmate, progettate e contrattualizzate prima dell'inizio dei lavori

Il collaudo in corso d'opera riguarda spesso valutazioni che non sono ripetibili e non sono differibili (ad esempio il controllo del consolidamento dei fanghi)

I sistemi di monitoraggio da mettere in opera devono riguardare non solo gli aspetti geotecnici ma anche di controllo della tenuta dei sistemi di confinamento

# Le casse di colmata: problematiche geotecniche

## CONSIDERAZIONI FINALI



Come in tutte le opere di ingegneria, quello che conta non è solo un bel progetto, fatto bene e che rispetti le normative:

si deve anche avere la capacità di trovare una soluzione che si adatti ad ogni singolo caso che è sempre unico.