

# **Università Degli Studi Di Napoli “Federico II” Scuola Politecnica e delle Scienze di Base**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
EDILE ED AMBIENTALE**



**Corso di Laurea Triennale in  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA:  
USO DI CALCESTRUZZI CELLULARI PER  
COSTRUZIONE DI BARRIERE REATTIVE PERMEABILI**

**RELATORE**

Ch.mo Prof. Ing.  
Gianfranco Urciuoli

**CANDIDATO**

Russo Salvatore N49/265

**CORRELATORE**

Dott. Ing. Raffaele Papa

Anno Accademico 2014-2015

# SINTESI DELL'ELABORATO DI TESI

- Introduzione e obiettivo del percorso di tesi
- Normativa di riferimento
- Barriere Reattive Permeabili
  - Definizioni, classificazione, principi di base
  - Tipologia e modalità di installazione
  - Criteri di dimensionamento, costi, vantaggi e svantaggi
  - Descrizione delle prove sperimentali
- Prove di laboratorio
  - Caratteristiche e realizzazione del calcestruzzo cellulare
  - Prove di permeabilità
  - Elaborazione e analisi dei risultati
- Conclusioni

# INTRODUZIONE



Anni di politiche del territorio condotte senza coscienza ambientale hanno provocato l' inquinamento di numerosi siti.

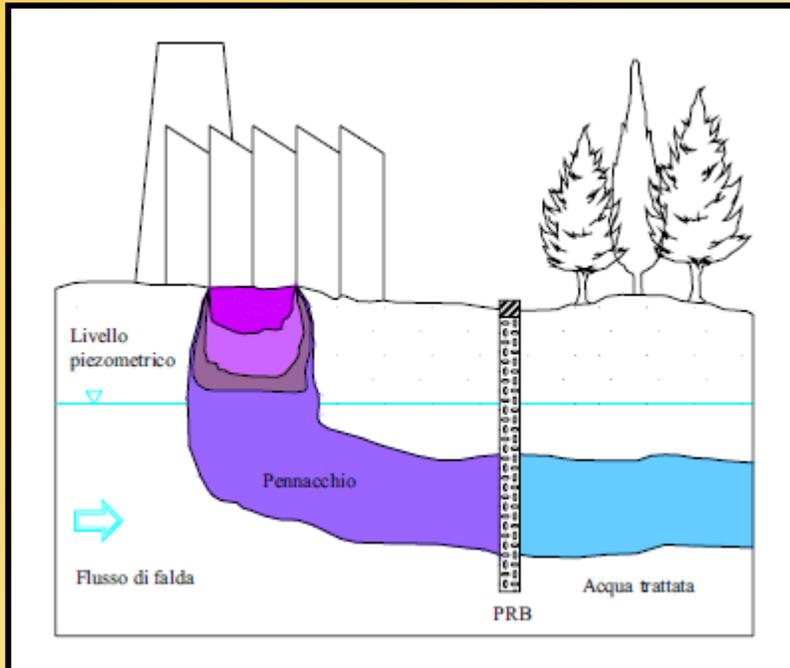


Sviluppo di tecniche innovative:  
BARRIERE REATTIVE PERMEABILI (PRB).



Obiettivo: decontaminazione totale o parziale delle falde.

# BARRIERE REATTIVE PERMEABILI



*”Un’installazione di materiali reattivi nel sottosuolo progettata per intercettare un fluido contaminato, creare un percorso preferenziale attraverso il mezzo reattivo e trasformare il/i contaminante/i in forme non pericolose per l’ambiente così da ottenere gli obiettivi di concentrazione fissati”.*

# REAZIONE TRA FLUIDO CONTAMINATO/BARRIERA REATTIVA:

❑ **Assorbimento:** i contaminanti restano “intrappolati nello scheletro solido della barriera”

❑ **Degradazione (totale o parziale)**

- *chimica*: reazioni prevalentemente di ossidazione o riduzione
- *biologica*: decontaminazione da parte dei microrganismi opportunamente nutriti e supportati
- *Mista chimica/biologica*: sfrutta i due meccanismi precedenti

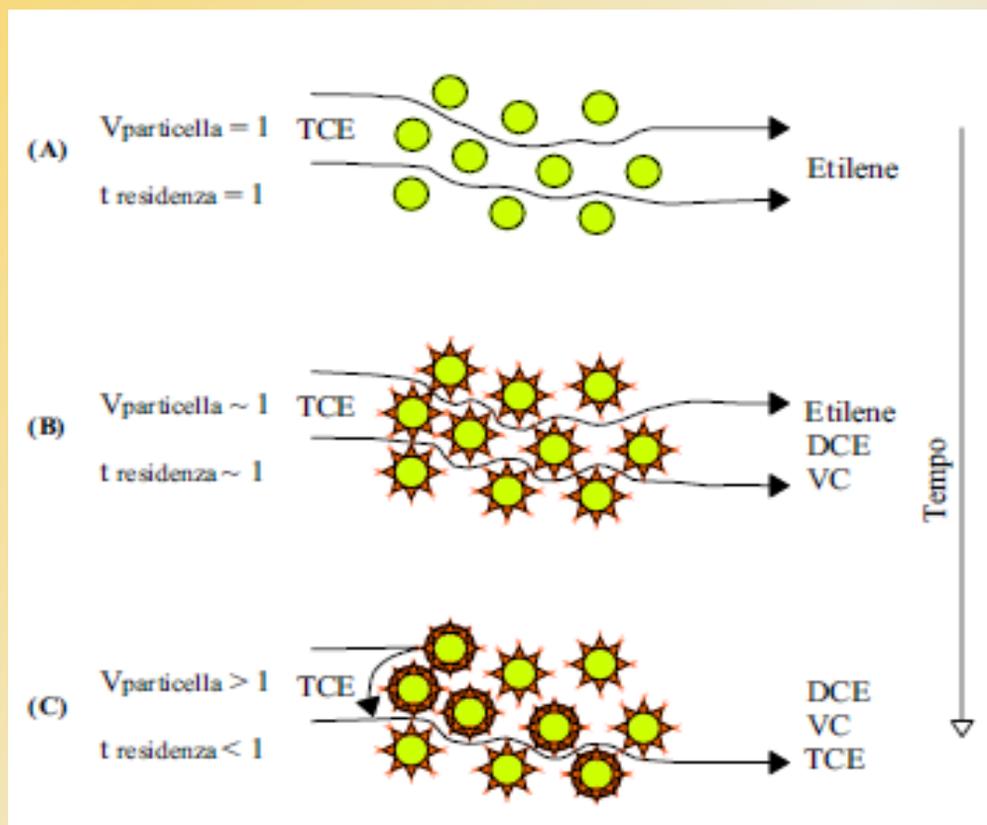
I fenomeni di degradazione devono essere continuamente monitorati



Bisogna evitare:

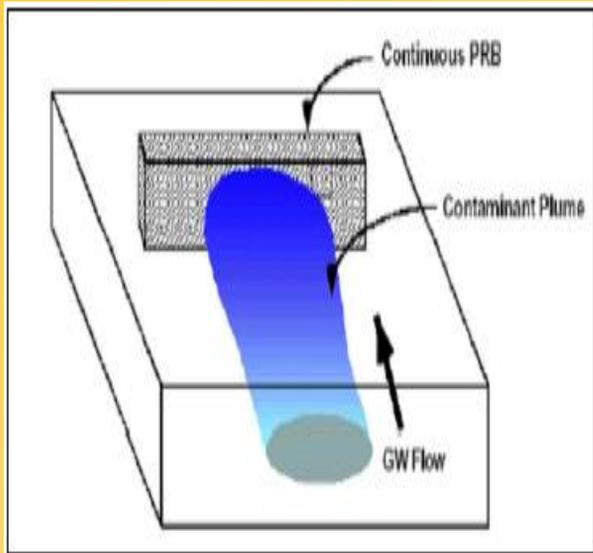
- formazione di biofilm (assorbimento);
- precipitati sulla barriera;

Effetto della precipitazione nel tempo



# TECNOLOGIE E TIPOLOGIE REALIZZATIVE:

## ➤ BARRIERA CONTINUA

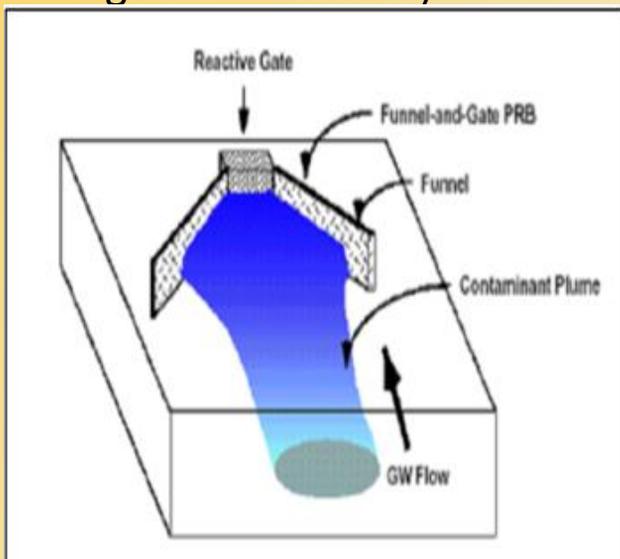


Le acque sotterranee attraversano la barriera solo grazie al gradiente idraulico.

Le dimensioni della barriera variano in base alle caratteristiche del sito e alla dimensione del flusso.

## ➤ SISTEMA “FUNNEL AND GATE”

(installato quando la distribuzione dei contaminanti è molto irregolare ed estesa)



Il *funnel* è una barriera impermeabile che indirizza il flusso verso il *gate* che invece rappresenta la zona reattiva.

Riduzione della quantità totale di materiale reattivo: economicamente vantaggioso.

Velocità maggiori

Tempi di residenza minori

Spessori maggiori

# Metodologie di installazione delle Barriere Permeabili Reattive

(Le caratteristiche specifiche dell'impianto dipendono dal tipo di barriera che si vuole realizzare).

## □ Tecnologie tradizionali:

**Escavatore a braccio rovescio (backhoe):** consentono di scavare trincee con larghezza fino a circa 1.7 m e profondità fino 9 m.



**Benna mordente (clamshell):** consentono di raggiungere profondità anche di circa 25 m.



**Messa in posto con Cassoni:** sono contenitori in acciaio, di grosso diametro, utilizzabili nel caso di configurazione "funnel and gate".



**Fasi del processo:**  
- infissione dei cassoni nel terreno;  
- escavazione del terreno contenuto all'interno;  
- riempimento con materiale reattivo;  
- estrazione dei cassoni.

## **Escavatore a fresa**

*(continuous trenching)*: adatto per profondità contenute.

Lo scavo in continuo avviene mediante un macchinario dotato di:

- dispositivo a motosega, utilizzato per l'escavazione;
- scatola per armare lo scavo;
- tramoggia, per riempire lo scavo con il materiale reattivo.



È necessario durante lo scavo di una trincea nella zona satura garantire sostegno ed isolamento idraulico alle pareti.



Palancola metallica di sostegno



Immissione di fanghi bentonitici biodegradabili

# Riempimento dello scavo

Lo scavo viene riempito con una miscela composta da materiale granulare (generalmente sabbia). La permeabilità globale della cella reattiva si attesta intorno a valori di  $10 \text{ E } -03$ ,  $10 \text{ E} - 04 \text{ m/s}$ . Con il passare del tempo, all'interno della sabbia si formano cunicoli preferenziali per erosione interna.



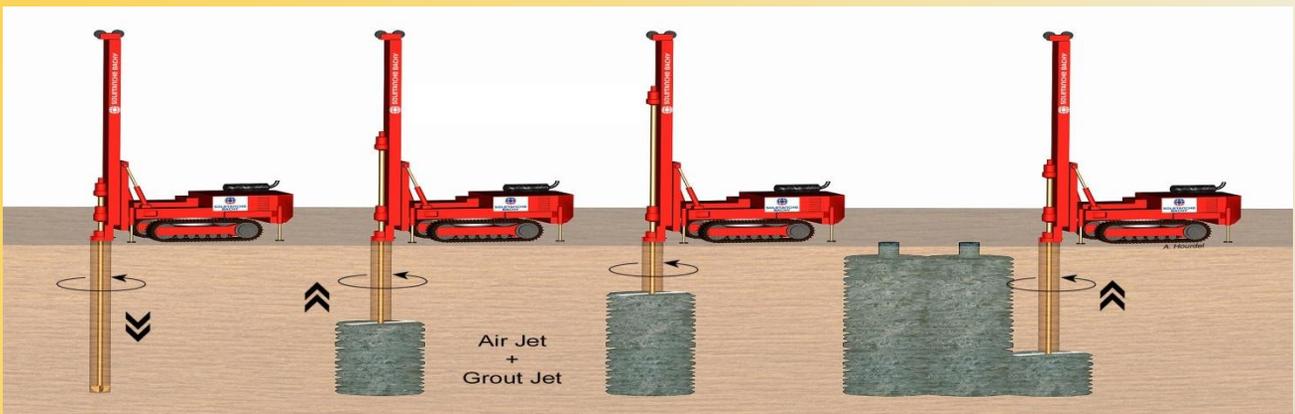
Il calcestruzzo leggero drenante presenta invece una elevatissima resistenza all'erosione interna.



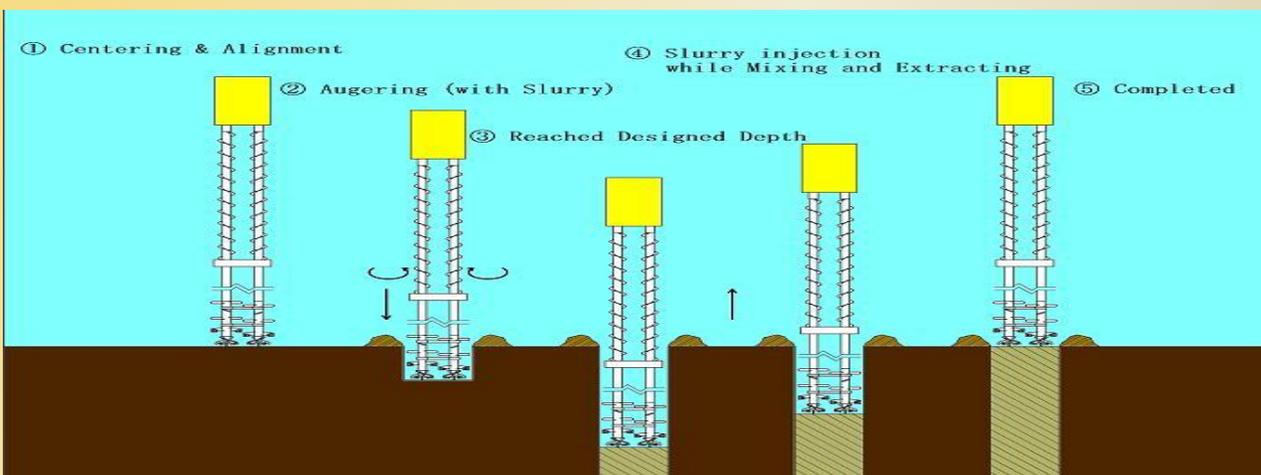
**□ Tecnologie innovative:** Non necessitano di uno scavo in trincea; raggiungimento di profondità maggiori; costi maggiori rispetto alle tecniche tradizionali.

## Gettiniezione ( *jet- grouting* ):

**1)** Perforazione del terreno con un tubo centrale perforante fino alla quota desiderata; **2)** viene e il tubo e contemporaneamente viene iniettata, ad alta pressione, una miscela di ferro granulare, gomma guar, aria ed acqua; **3)** Si ripete tale operazione, in modo da disporre una serie di colonne lungo il profilo della barriera.



**Deep Soil Mixing :** **1)** perforazione del terreno con un sistema multiplo di alberi rotanti cavi ; **2)** pale ad elica solidali al sistema mescolano il terreno con il materiale reattivo introdotto simultaneamente attraverso l'albero cavo.



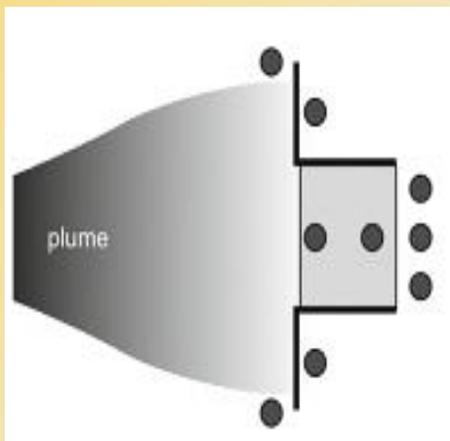
# Monitoraggio

**I controlli in fase di realizzazione** dovrebbero avere lo scopo di:

- Verificare che lo scavo sia perfettamente *verticale*;
- Verificare la *pulizia* dello scavo;
- Ottenere una *miscelazione omogenea* del materiale reattivo, nella fase di messa in opera;
- Monitorare continuamente la qualità delle acque e la *direzione* del flusso per evitare eventuali *aggiramenti* della barriera.

**I controlli post-operam:**

- Verificare l'efficacia del trattamento;
- Verificare la *conformità* della barriera alle specifiche di progetto;
- Fare una stima approssimativa del comportamento a lungo termine del materiale reattivo della barriera, così da pianificare eventuali attività di manutenzione.



Possibile disposizione della rete di monitoraggio.

# Caratteristiche del calcestruzzo cellulare

**Eccellente lavorabilità e grande semplicità di posa in opera.**

**Rapidità di montaggio**

Buona resistenza a compressione

Elevato potere d'isolamento termico e acustico.

Elevata permeabilità al vapore.



Elevata resistenza al fuoco.

Basso peso specifico (massa volumica minima di circa 300 Kg/mc.

Resistenza a gelo e disgelo.

**Totale assenza di scarti di lavorazione.**

**Leggerezza del materiale ed estrema facilità di lavorazione.**

Ottimizzazione dei costi

# PREPARAZIONE DEL CALCESTRUZZO CELLULARE



Cemento in polvere immesso nella tramoggia del mescolatore

È stata utilizzata la pompa in continuo S8 CM. Essa è costituita da:

- Compressore;
- Dosatore attivo;
- Tramoggia e mescolatore continuo;
- Camera di miscelazione e pompaggio;
- Pompa a vite.



Camera di miscelazione.

# Prove di permeabilità



Misurazione del peso e delle dimensioni



Perforazione dei campioni

# PROVA DI IMMISSIONE A CARICO COSTANTE

## STRUMENTI UTILIZZATI:

Ciascun provino forato è stato riempito con acqua fino all'orlo del foro in modo da ottenere un battente d'acqua costante.

Successivamente viene misurata la portata che occorre immettere per mantenere costante il dislivello piezometrico tra foro e terreno circostante.

Circuito idraulico costituito da una tubazione di adduzione e da rubinetti.



$$Q = F \cdot k \cdot h$$

Dalla relazione inversa ricaviamo la permeabilità

Contatore della portata immessa nel foro.

- "Q" rappresenta la portata immessa;
- "k" è la permeabilità;
- "F" è un coefficiente di ingresso, che ha le dimensioni di una lunghezza e dipende dalla forma e dalle dimensioni della sezione filtrante del foro;
- "h" è il dislivello piezometrico tra foro e terreno circostante (nel nostro caso è l'altezza dell'intero provino)



$$F = \frac{3\pi L}{\ln\left(\frac{1.5L}{D} + \sqrt{1 + \frac{1.5L}{D}}\right)^2}$$

Questa relazione vale nell'ipotesi che il foro sia stato effettuato in un terreno uniforme.

# Risultati Ottenuti e Considerazioni

	densità (kg/mc)	K permeabilità (m/s)=Q/(F*h)	pressione aria (bar)	portata acqua (l/h)
provino 8	443.4485476	2.88 E-08	1.5	500
provino 12	450.4944381	1.13 E-07	1.5	600
provino 15	455.9125974	1.72 E-05	1.5	700
provino 1	526.371817	1.03 E-04	1.5	300
provino 30	327.5052252	6.24 E-05	2	700
provino 27	388.7788253	1.75 E-04	2	600
provino 17	410.0330671	9.64 E-05	2	300
provino 21	417.043802	4.93 E-04	2	400
provino 24	466.5935605	4.47 E-04	2	500
provino 40	296.4165358	7.99 E-04	3	400
provino 39	312.6673315	6.24 E-04	3	500
provino 45	313.3266729	2.30 E-03	3	400
provino 46	322.1208269	1.89 E-03	3	400
provino 33	329.687831	2.56 E-03	3	300
provino 36	331.4070592	1.06 E-03	3	400

Per pressioni modeste (1.5 bar) poiché la schiuma è di scarsa qualità, si ha una notevole irregolarità della distribuzione delle proprietà, cioè i valori di permeabilità variano in un intervallo molto ampio (da  $10^{-8}$  a  $10^{-4}$  m/s ). Quando crescono le pressioni i valori di permeabilità sono più stabili; a 2 bar ci si attesta intorno all'ordine di grandezza di  $10^{-4}$  m/s/  $10^{-5}$  m/s. Per pressioni di 3 bar la permeabilità cresce ulteriormente in quanto la schiuma risulta essere caratterizzata da bolle di dimensioni maggiori comunicanti tra loro. Quindi per favorire la formazioni di strutture drenanti è preferibile utilizzare pressioni più alte.

**CONCLUSIONI:** Paragonando i risultati ottenuti dai test di permeabilità con quelli di una PRB, che si attestano intorno al valore di  $10^{-4}$  m/s, è possibile affermare che il calcestruzzo cellulare drenante può essere utilizzato come materiale di riempimento dello scavo.

**GRAZIE PER**  
**L'ATTENZIONE!!!**

***Salvatore Russo***

Università Degli Studi Di Napoli "Federico II"