



*Pianificazione territoriale, prevenzione dei rischi naturali e strumenti per la tutela dell'ambiente*

CCIA Trieste, 16 ottobre 2017

# **Pianificazione per la salvaguardia del territorio dalle esondazioni: il protocollo geofisico EMAR+ per il monitoraggio degli argini fluviali**

**Massimo Giorgi<sup>1</sup> e Roberto Francese<sup>1,2</sup>**

1. OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
2. Università di Parma, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra



# Problematiche e motivazioni

Il problema della tenuta dei rilevati arginali durante gli episodi di piena è particolarmente attuale e richiede grande attenzione viste anche le recenti precipitazioni che hanno spesso carattere di forte intensità con regime di nubifragio prolungato.

OGS, assieme ad Università e Aziende private, sta lavorando da quasi un decennio alla definizione di un **robusto metodo di scansione geofisica (non invasiva) dei rilevati arginali** al fine di identificarne potenziali zone di criticità.

## GRUPPO DI LAVORO

1. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS;
2. Università di Parma;
3. Università di Lisbona;
4. n.2 Aziende high-tech della toscana;
5. n.1 Azienda high-tech canadese.

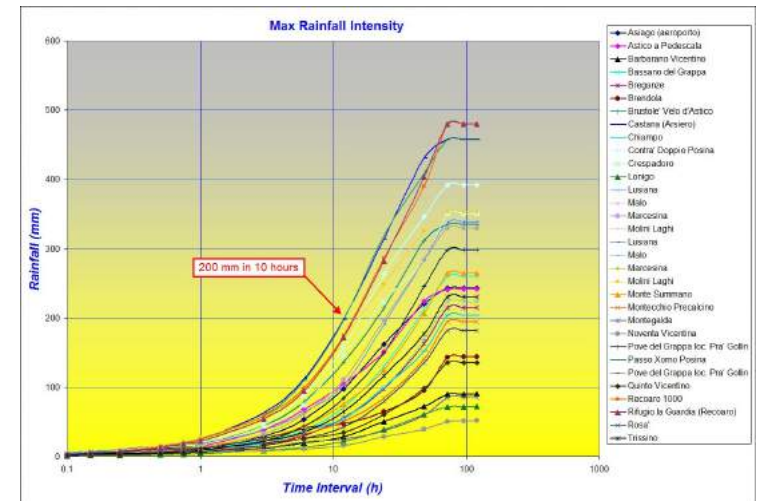
MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI



# Problematiche e motivazioni

## Evento del novembre 2010 in Veneto

Pioggia caduta in 48 ore

Vicenza → 530 mm (2723 km<sup>2</sup>)

Padova → 350 mm (2142 km<sup>2</sup>)

Verona → 386 mm (3121 km<sup>2</sup>)

Treviso → 370 mm (2477 km<sup>2</sup>)

Belluno → 586 mm (3678 km<sup>2</sup>)

- Area: 140 km<sup>2</sup>
- Comuni interessati: 131
- Popolazione interessata: 500.000
- Capi di bestiame persi: 151.000
- Principali strade chiuse: 55
- Area alluvionata: 140 km<sup>2</sup>

- Frane : 51
- Alluvioni: 29
- Argini collassati: 15



Stima dei danni:  
426 milioni di €  
principalmente per rottura argini



MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI

# Il sistema EMAR+

Il risultato dello studio è un sistema, denominato **EMAR+**, caratterizzato da elevata risoluzione, costo contenuto e celerità delle misure che vengono effettuate in modo dinamico muovendo i sensori lungo l'asse arginale, il petto e/o la banca

Il sistema è di tipo duale e si basa sull'uso congiunto di **induzione elettromagnetica (EMI)** e di **onde radar (GPR)** per investigare la struttura interna del corpo arginale. Le anomalie rilevate in fase di scansione veloce vengono poi risolte geometricamente mediante **tomografie elettriche tridimensionali (ERT)**.



MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

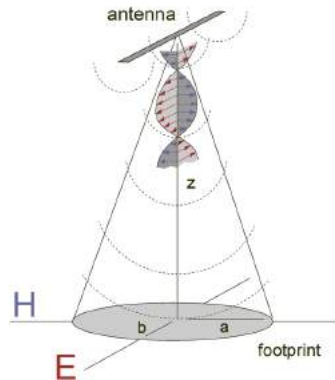
ESEMPI

SINTESI



# Il sistema EMAR+

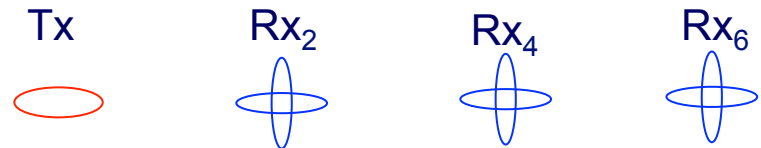
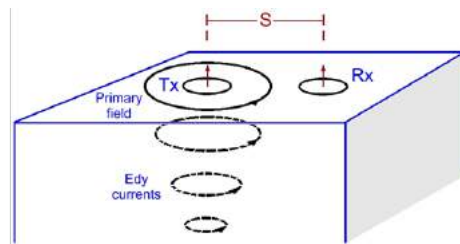
## Il radar (GPR) multicanale



Il sistema radar multicanale, detto anche GPR (*Ground Penetrating Radar*), è solitamente composto da una serie di **dipoli ricetrasmittenti**, di frequenza centrale compresa tra 200 MHz e 1000 MHz, combinati in canali monostatici e bistatici con spaziature variabili da 0.05 m a 0.20 m.

## Il sistema FDEM (EMI) multispaziatura

Il sistema elettro-magnetico induttivo EMI Dualem642 è composto da un trasmettitore (TX) e da 6 ricevitori (Rx) spazati di 2 m, 4 m e 6 m, rispetto al trasmettitore. I ricevitori sono doppi e cioè hanno bobina co-planare e cross-planare.



La possibilità di avere più sensori monofrequenza (9 KHz) a diverse distanze (2, 4, 6 m) risulta nella misura cinematica simultanea di 6 punti posti a profondità diverse che possono anche essere **invertiti** a sezione di vera conducibilità elettrica. La sezione di conducibilità elettrica, a parità di condizioni di saturazione, può essere trasposta a sezione di tessitura granulometrica (argilla, limi, sabbie, ghiaie).

MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI



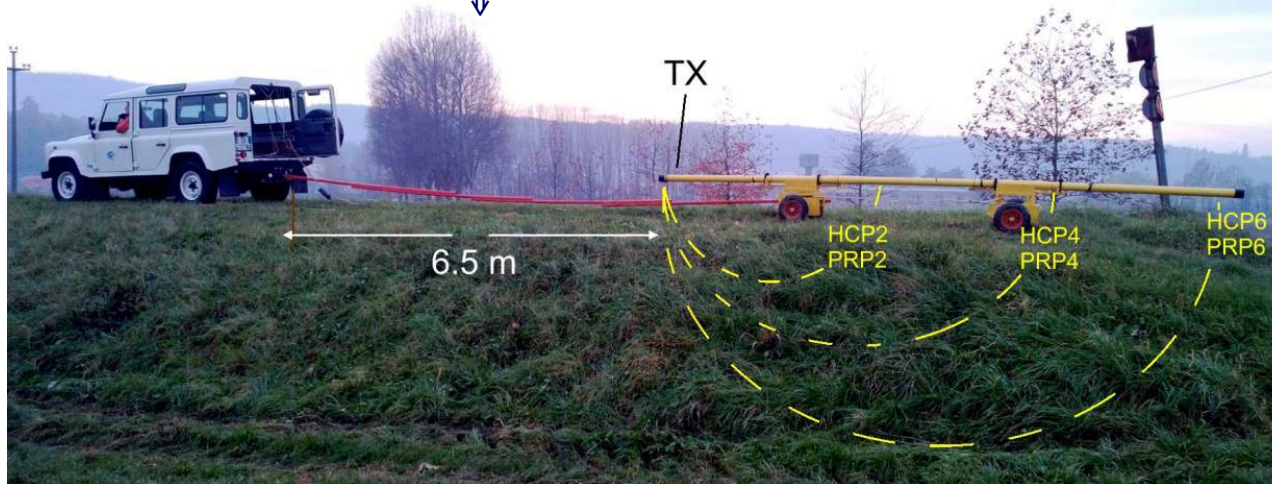


# Il sistema EMAR+

Il radar (GPR) multicanale ⇒



Il sistema FDEM (EMI) multispaziatura



+  
3D ERT

MOTIVAZIONI

**SISTEMA**

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI

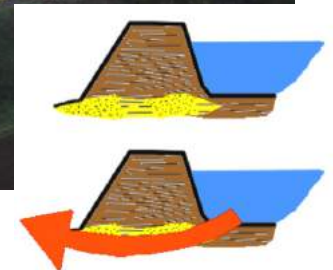


# Criticità individuabili con il sistema di misura

## Discontinuità strutturali nel corpo dell'argine



Sifonamento attraverso livello sabbioso basale



MOTIVAZIONI

**SISTEMA**

VALIDAZIONE

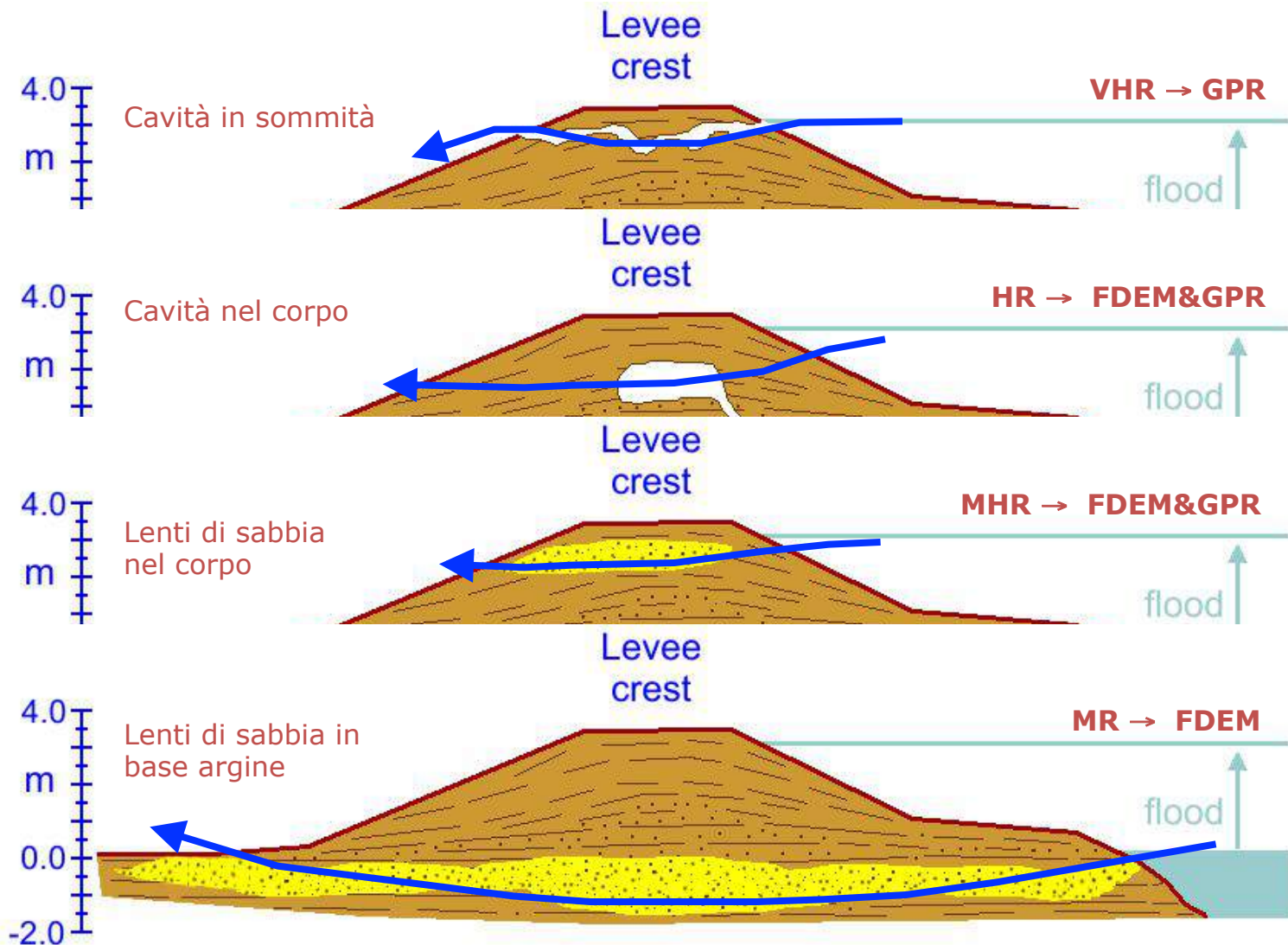
ESEMPI

SINTESI



# Criticità individuabili con il sistema di misura

- MOTIVAZIONI
- SISTEMA**
- VALIDAZIONE
- ESEMPI
- SINTESI

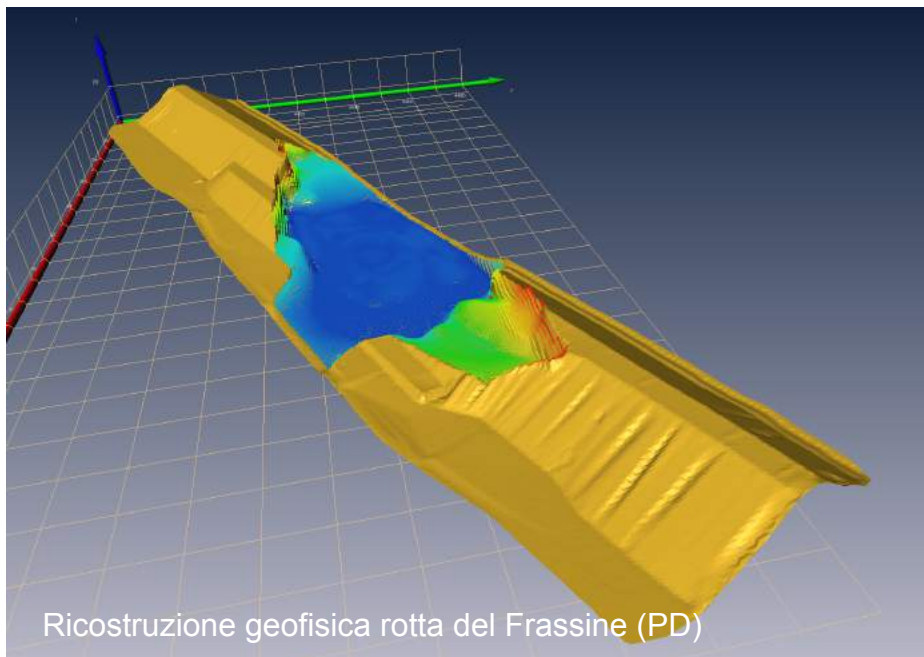




# Sperimentazione e validazione

Il sistema è stato sperimentato e validato investigando, in rilievi di produzione, oltre 300 km di rilevati arginali di aste fluviali in Italia centrale (Toscana) e nord-orientale (Veneto e Friuli Venezia-Giulia).

La sperimentazione e messa a punto del metodo è stata possibile attraverso una serie di progetti finanziati dalla Direzione Difesa del Suolo della Regione Veneto ed anche da diversi Enti della regione Emilia-Romagna. La ricerca sta continuando con un nuovo progetto finanziato dalla Fondazione CARIPLO assieme al Politecnico di Milano. All'inizio di settembre 2017 è stato infine presentata una richiesta di finanziamento su bando LIFE-ambiente dell'Unione Europea.



Ricostruzione, mediante tomografia elettrica 3D di un volume occupato da materiali granulari permeabili nel corpo di una argine ricostruito in emergenza a seguito di una rotta avvenuta del 2010.

MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI

# Sperimentazione e validazione

MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

SINTESI





# restituzione dei risultati

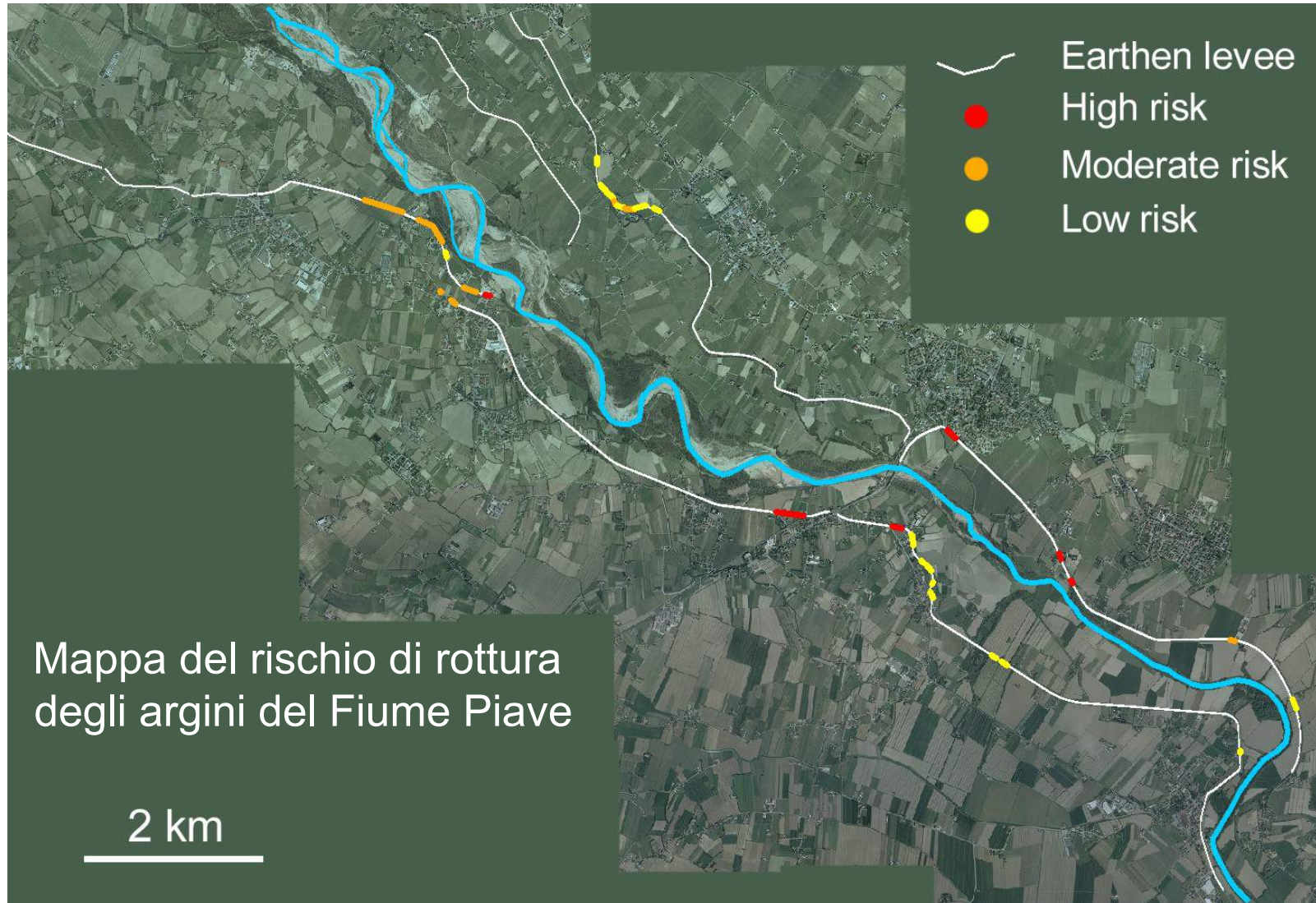
MOTIVAZIONI

SISTEMA

**VALIDAZIONE**

ESEMPI

SINTESI

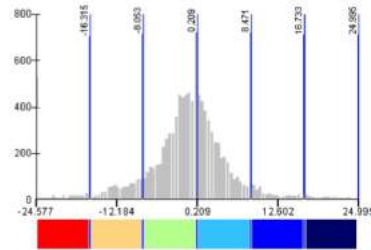


# Esempio 1: base arginale del Torrente Alpone (Verona)

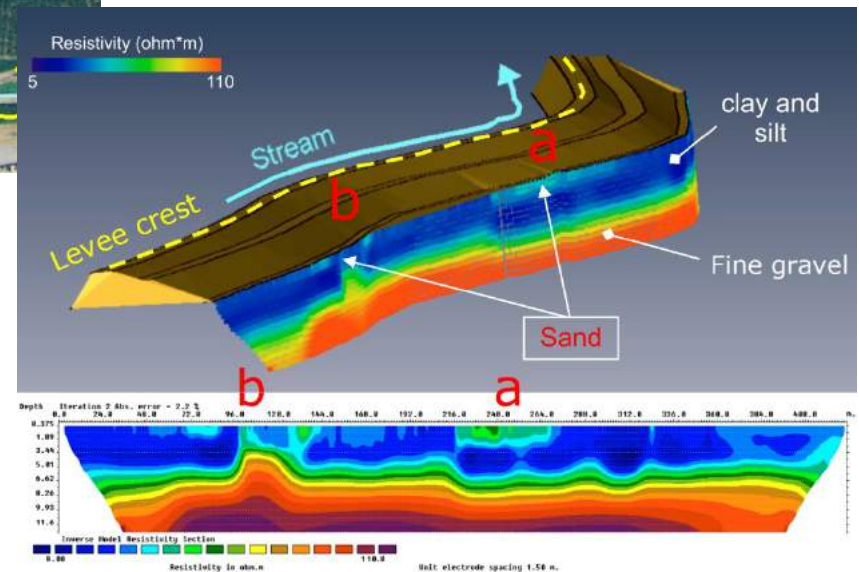


## Zone di anomalia a e b

Nella misura sono visibili due zone di anomalia (a e b). La zona a era attesa data la presenza di sifoni a piede argine. La zona critica b era del tutto sconosciuta.



Validazione delle anomalie a e b mediante tomografia di resistività (ERT)



L'apertura di una piccola trincea, nel sito b, ha messo in luce un livello sabbioso saturo in acqua a circa 1 m di profondità sotto la superficie

MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

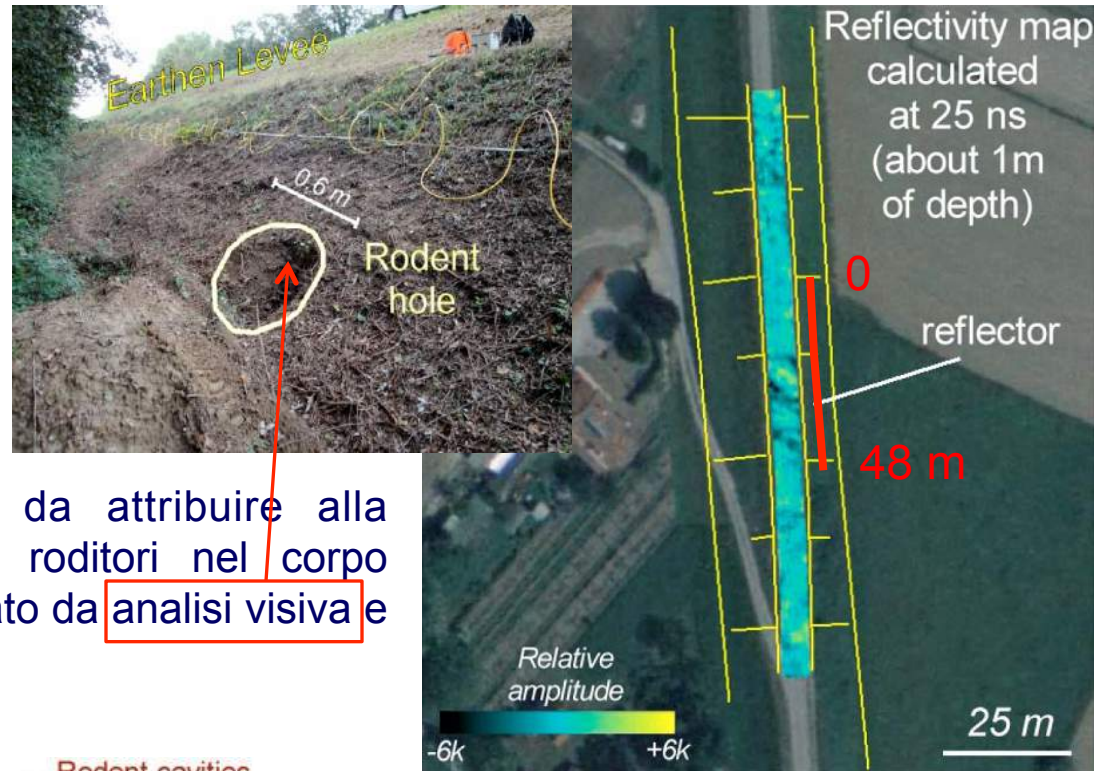
SINTESI





## Esempio 2: corpo arginale del Fiume Piave (Treviso)

Nella mappa radar calcolata alla profondità di circa 1 m da sommità arginale sono visibili delle riflessioni anomale.



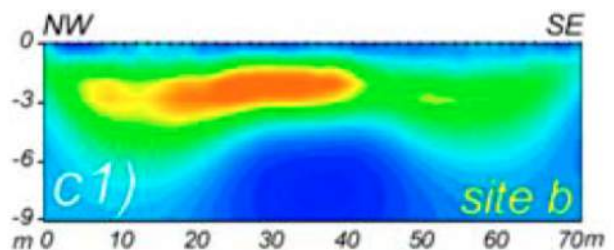
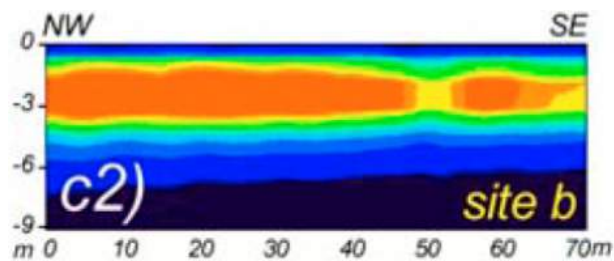
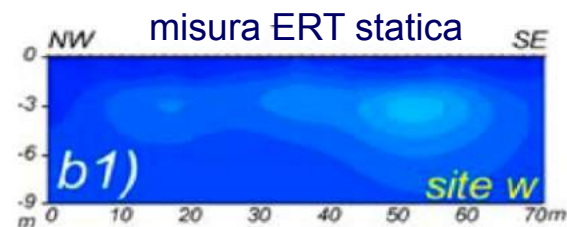
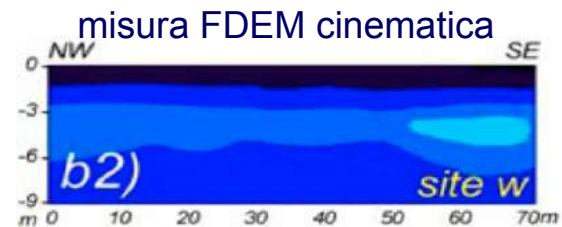
Questi riflettori sono da attribuire alla presenza di cavità di roditori nel corpo arginale come confermato da analisi visiva e tomografie di resistività.

MOTIVAZIONI  
SISTEMA  
VALIDAZIONE  
ESEMPI  
SINTESI



# Esempio 3: Sperimentazione e validazione

- MOTIVAZIONI
- SISTEMA
- VALIDAZIONE
- ESEMPI**
- SINTESI



misura FDEM cinematica

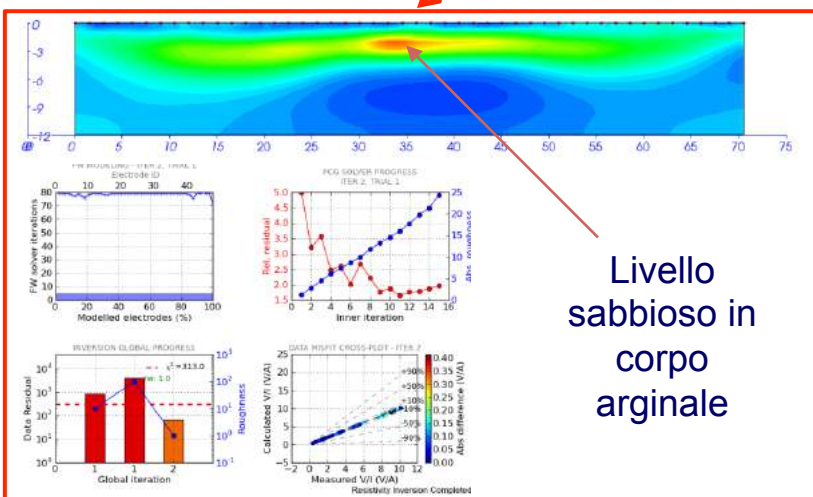
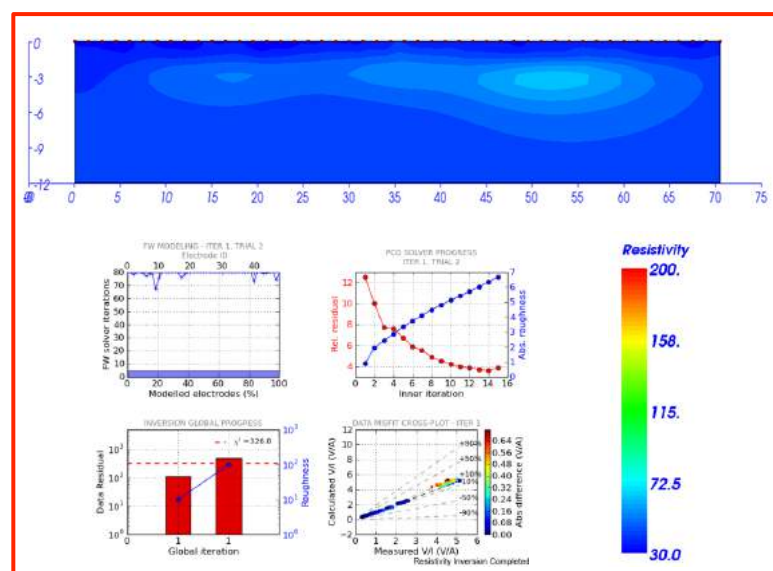
misura ERT statica

La misura cinematica è virtualmente coincidente con quella statica



# Esempio 3: corpo arginale del Fiume Bacchiglione (Vicenza)

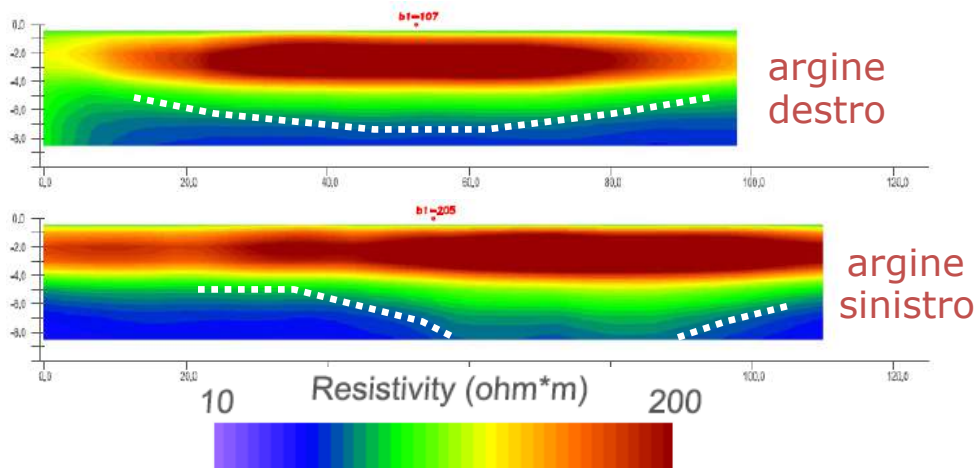
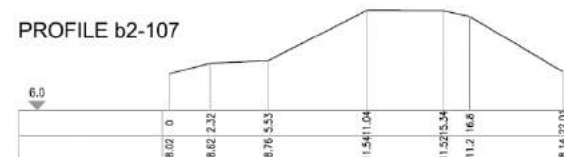
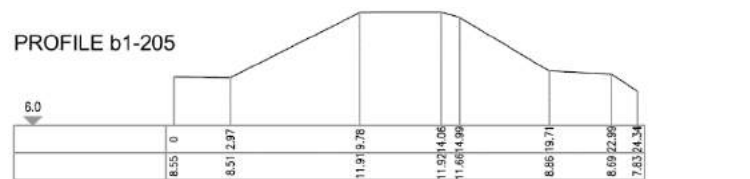
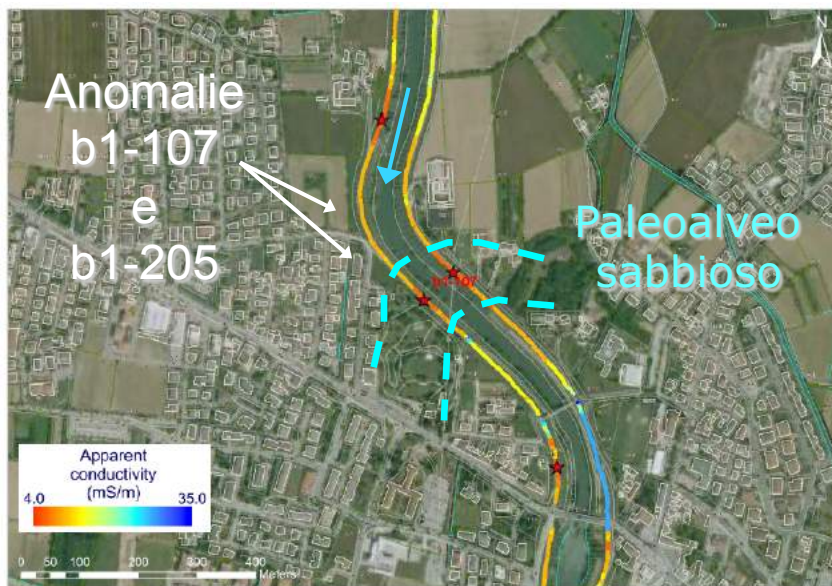
- MOTIVAZIONI
- SISTEMA
- VALIDAZIONE
- ESEMPI
- SINTESI



La mappa evidenzia un'anomalia negativa nella zona **b**. L'anomalia è stata validata e confermata mediante tomografia elettrica (a sx). Per completare la validazione è stata acquisita anche una tomografia elettrica (sopra) in zona **w** dove non erano visibili anomalie.



# Esempio 4: base arginale del Fiume Bacchiglione (Padova)



## misure FDEM (EMI)

(Tomografia elettromagnetica dinamica)

L'argine presenta due anomalie resistive simmetriche in sottobase determinate dalla presenza di un paleoalveo in sabbia che durante le piene causa filtrazione.

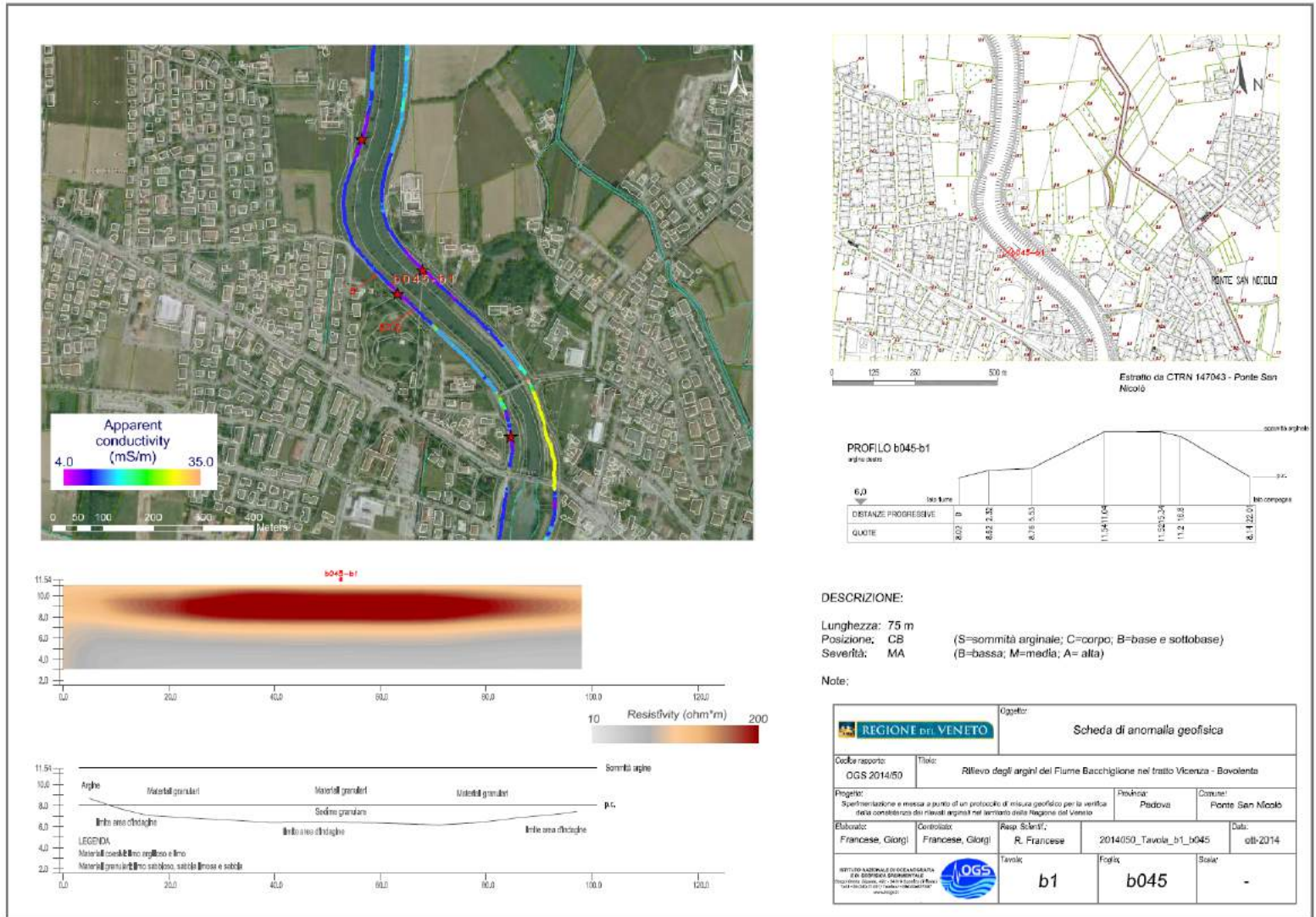
- MOTIVAZIONI
- SISTEMA
- VALIDAZIONE
- ESEMPI**
- SINTESI





# Sintesi: restituzione dei risultati

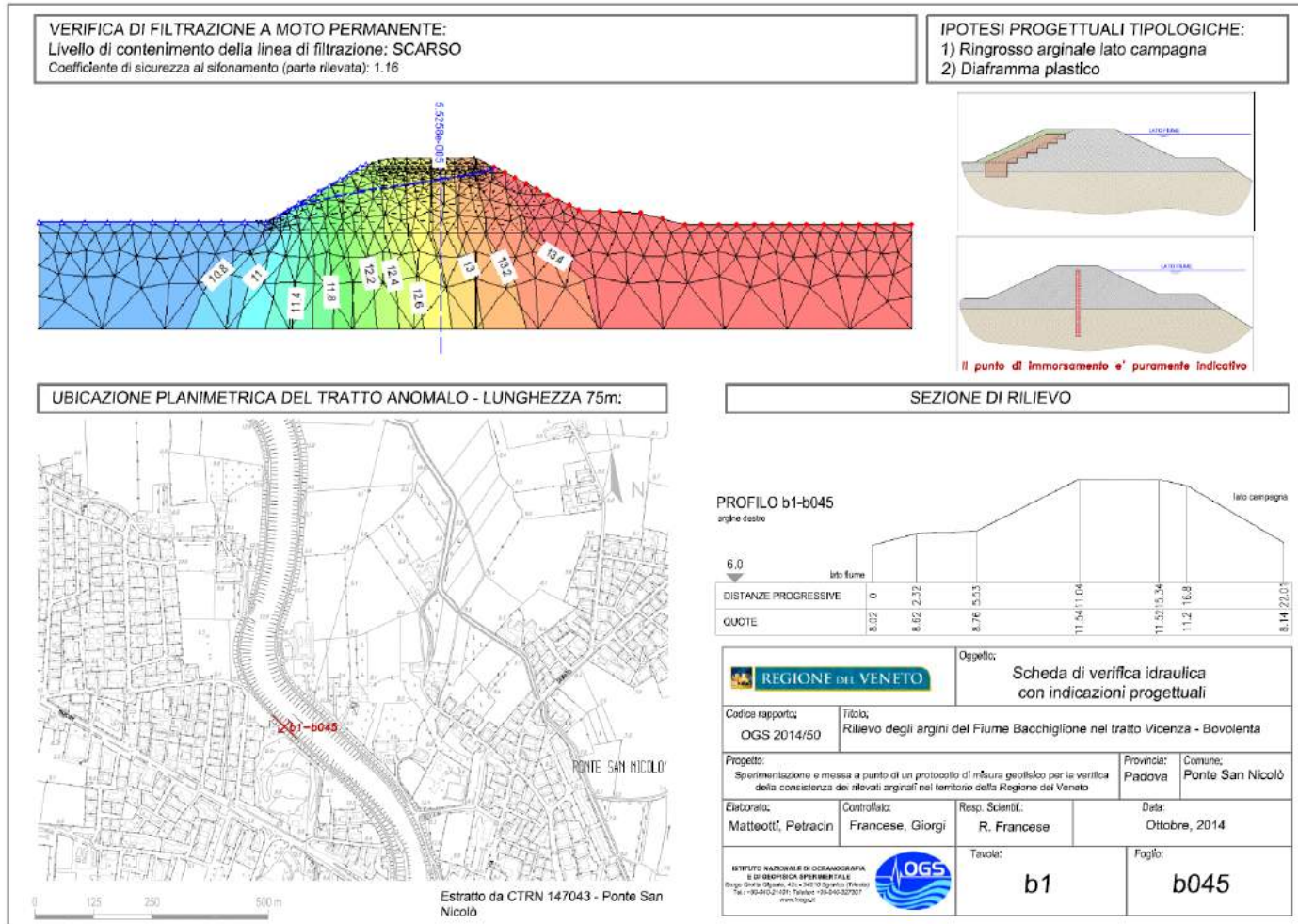
MOTIVAZIONI  
 SISTEMA  
 VALIDAZIONE  
 ESEMPI  
**SINTESI**



# Sintesi: verifica di filtrazione

## aspetto ingegneristico

MOTIVAZIONI  
 SISTEMA  
 VALIDAZIONE  
 ESEMPI  
**SINTESI**



# Sintesi e Considerazioni generali

La prevenzione del rischio alluvioni nelle medie e basse pianure richiede, oltre ad un'azione di laminazione delle portate con casse di espansione, una conoscenza approfondita delle caratteristiche interne delle strutture arginali. In questo contesto la moderna tecnica geofisica dispone di strumenti risolutivi ed efficaci.

Il protocollo **EMAR+** è stato sperimentato, validato, ottimizzato per diversi contesti applicativi ed infine applicato su alcune centinaia di km di argini, risultando una metodologia geofisica veloce ed efficiente per il monitoraggio strutturale dei rilevati arginali.

Il metodo consente di ottenere sezioni di resistività dinamiche confrontabili con le classiche tomografie elettriche statiche, permettendo di evidenziare zone caratterizzate da «anomalie geofisiche» attribuibili a caratteristiche tessiturali diverse dei materiali costituenti i rilevati arginali: più del 90 % delle anomalie riscontrate risultano date da presenza di livelli sabbiosi o da presenza di cavità.

MOTIVAZIONI

SISTEMA

VALIDAZIONE

ESEMPI

**SINTESI**

*In materia, la Struttura di Missione creata per contrastare il dissesto idrogeologico e/o gli Enti Pubblici (Regioni, Autorità di bacino, Consorzi, etc.) preposti alla sorveglianza e controllo dei rilevati arginali dovrebbero dotarsi di un organo tecnico-scientifico capace di predisporre specifiche adeguate per poter validare i risultati degli studi e dei monitoraggi.*

*Sarebbe opportuno procedere come già fatto per altri tipi di studi (e.g. microzonazione sismica) con delle specifiche tecniche di tipo prescrittivo e non solo con delle linee guida e di indirizzo.*





## *Pianificazione territoriale, prevenzione dei rischi naturali e strumenti per la tutela dell'ambiente*

CCIA Trieste, 16 ottobre 2017

***.....grazie per l'attenzione***

Massimo Giorgi  
mgiorgi@inogs.it

Roberto Francese  
rfrancese@inogs.it  
roberto.francese@unipr.it

