



POLITECNICO
MILANO 1863

Sperimentazione di un sistema di monitoraggio elettrico permanente per la valutazione della vulnerabilità dei rilevati arginali in terra



A cura di:
GRETA TRESOLDI
greta.tresoldi@polimi.it



fondazione
cariplo



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA E REGGIO EMILIA

20 giugno 2017
Politecnico di Milano

Il progetto PROACTIVE



- Nuova modalità di approccio alla sicurezza del territorio
- Coniugare le azioni della PA con nuove tecnologie di telecomunicazioni e con l'uso di reti sociali
- Sensoristica di nuova generazione e coinvolgimento dei cittadini

PeopleOnTheMove
SnowWatch
LeakWatch



- 1) Monitorare le perdite della rete idrica urbana con metodi acustici
- 2) **Monitorare la filtrazione concentrata attraverso gli argini in terra di canali irrigui**



POLITECNICO
MILANO 1863



2. Gli obiettivi

- Prospezioni geoelettriche *time lapse* per il riconoscimento di filtrazione concentrata
- Progettazione di un sistema di monitoraggio geoelettrico permanente
- Implementazione e installazione del sistema di monitoraggio, test di confronto con uno strumento commerciale
- Analisi dei dati di monitoraggio
- Studio della dipendenza che intercorre tra resistività, temperatura e precipitazioni
- Calibrazione di una curva resistività/contenuto d'acqua
- Discussione dei vantaggi derivanti dall'utilizzo di dati provenienti dal monitoraggio per implementare analisi di filtrazione e stabilità

3. Il rischio idrogeologico connesso all'instabilità arginale

Rischio= f(Pericolosità, Esposizione, Vulnerabilità)

- Monitoraggio degli argini grazie a Vigilanza e Polizia Idraulica (R. D. 523/1904)
- Ricognizione grazie ai volontari della PC
- Manutenzione ordinaria ad opera dei Consorzi di Bonifica (L.R. 7/2003)
- Normative delle singole regioni

MONITORAGGIO PERIODICO E VISIVO AD OPERA DI PERSONALE TALVOLTA SENZA ADEGUATA PREPARAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA



*Rottura dell'argine del Secchia
(Modena, gennaio 2014)*

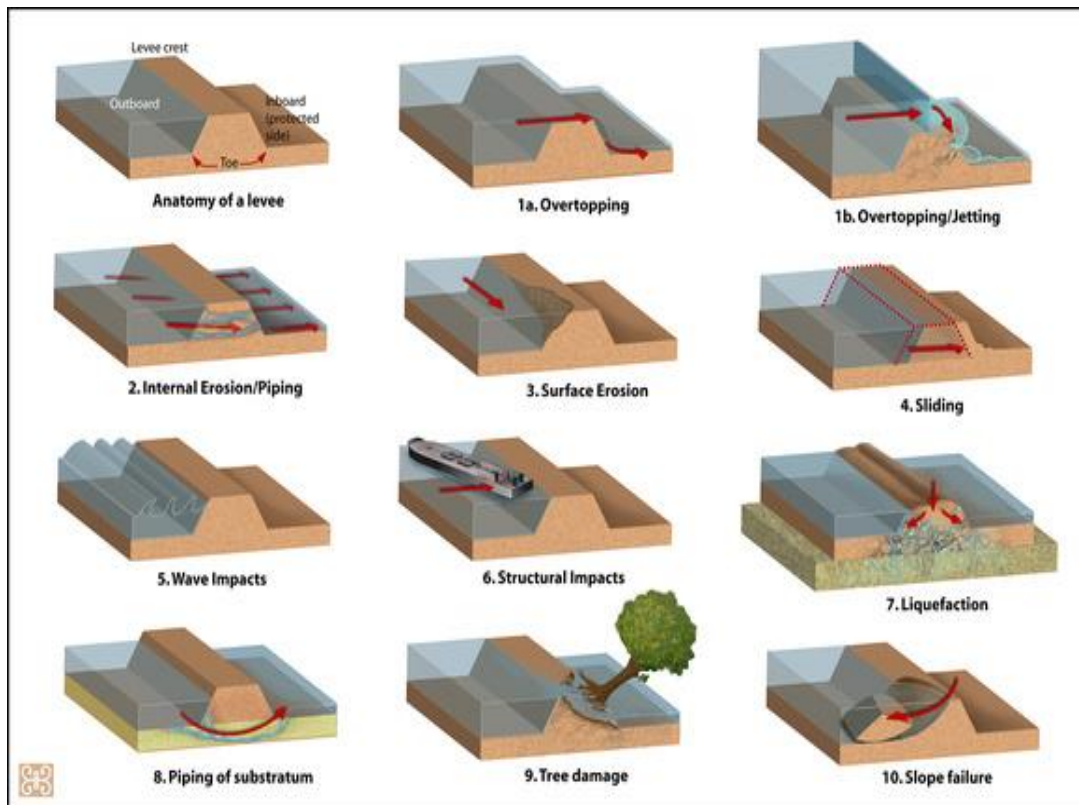


*Scavo di un argine causato da nutrie
(Legnago, agosto 2015)*

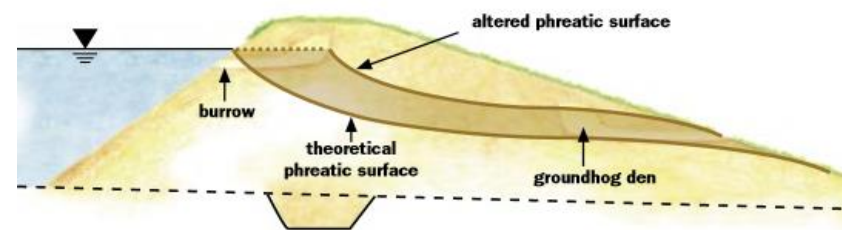
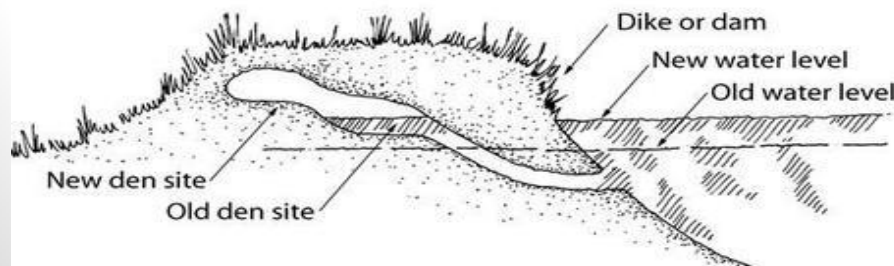
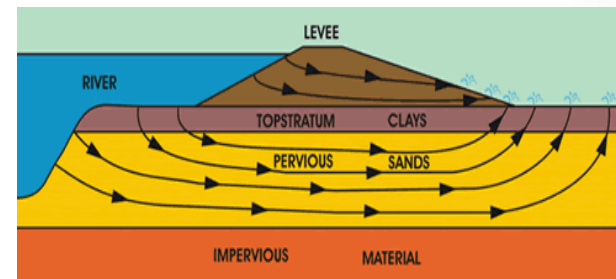


*Rottura dell'argine del Serchio
(Nodica, dicembre 2009)*

3. Il rischio idrogeologico connesso all'instabilità arginale



- 1) UnderSeepage
- 2) Piping

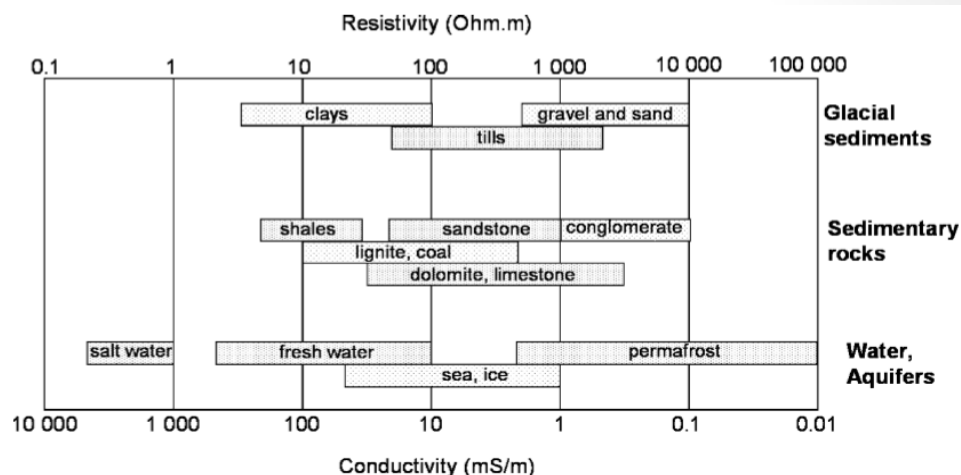


4. L'influenza di temperatura e precipitazioni sulla resistività

La temperatura

Resistività funzione di:

- Natura dei componenti del suolo
- Caratteristiche spaziali dei vuoti
- Contenuto d'acqua
- Resistività dei fluidi circolanti
- **Temperatura**



(Samouelian, 2005)

- L'innalzamento della temperatura provoca una diminuzione di resistività
- Modelli che legano le due variabili: lineare (Hayashi, 2004; Corwin and Lesh, 2005), a potenza (Besson et al, 2008), esponenziale (Sheet and Hendrickx, 1995; Durlless, 1999; Luck et al., 2005), polinomiale (Rhoades et al., 1999)

Secondo Ma et al. (2010):

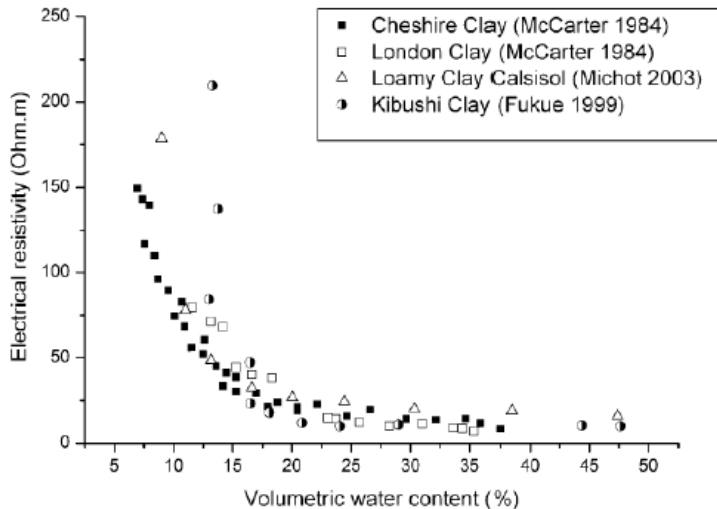
$$\rho_{25} = \rho_t [1 + \delta(T - 25)]$$

POCHI ESEMPI DI CORREZIONI DI MISURE IN CAMPO
DIFFICILE APPLICAZIONE SU UN MONITORAGGIO DI
LUNGO PERIODO

Dove ρ_{25} : resistività riportata a 25 °C; ρ_t : resistività alla temperatura dell'aria T (°C); δ : fattore che indica la variazione di resistività legata alla variazione di 1 °C, variabile da 0.0191 °C⁻¹ (Hayashi, 2004) a 0.025 °C⁻¹ (Besson et al., 2008).

4. L'influenza di temperatura e precipitazioni sulla resistività

Le precipitazioni



Indagini time lapse:

- Possibilità di evitare le precipitazioni
 - Studio del tempo da far trascorrere per ripetere la misura
- Li L., Li H., Xiang B., et al. (2009)
variabili considerate: durata precipitazione, quantità di pioggia

Monitoraggio permanente:

- Importanza di registrare le precipitazioni
- Possibilità di valutare l'infiltrazione
- Influenza delle piogge su resistività e contenuto d'acqua

MANCANZA DI FORMULAZIONI TEORICHE CHE LEGHINO I PARAMETRI DELLE PRECIPITAZIONI ALLA VARIAZIONE DI RESISTIVITA'

ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO PER VALUTARE QUALITATIVAMENTE LA RISPOSTA DEL TERRENO ALL'EVENTO PRECIPITATIVO

5. Inquadramento del sito d'indagine

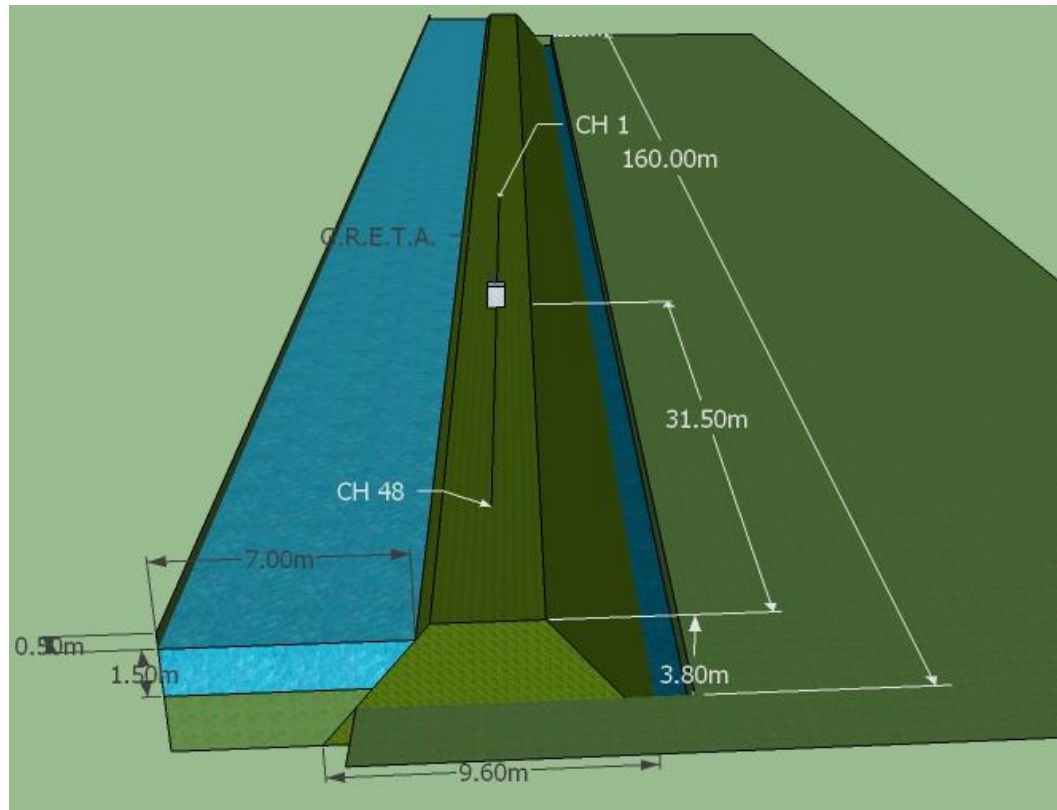
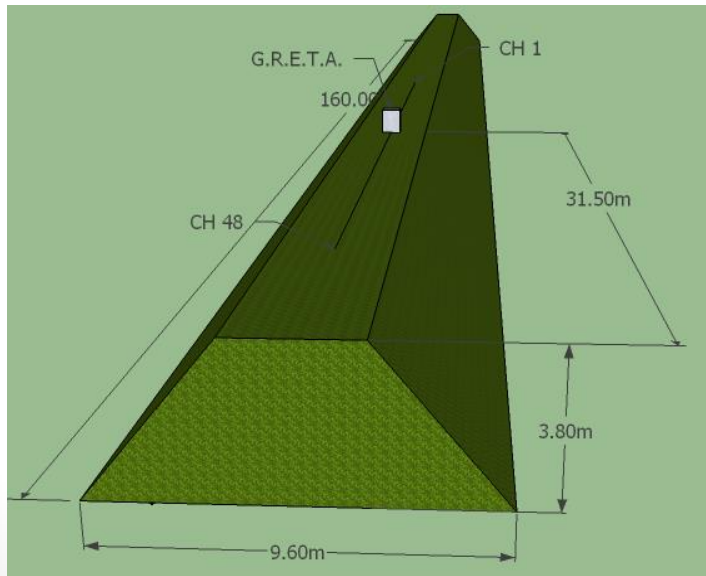


San Giacomo delle Segnate (MN)

- 1) Via Marconi
- 2) Via Dugale



5. Inquadramento del sito d'indagine



Temperatura	20 °C
Conducibilità	410 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Resistività	24 $\Omega\cdot\text{m}$
Concentrazione di sali	200 mg/l

6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro

Criteria di progettazione:

- Installazione permanente
- Parti sepolte resistenti agli agenti esterni
- Misure e programmazione da remoto
- Invio dati a frequenza prefissata via internet
- Strumento non esigente energeticamente
- Profondità di indagine limitata
- Costo contenuto



6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro

- 2 cavi con 48 elettrodi
- Massima corrente iniettabile 200 mA
- Sensibilità della tensione a 25 μV
- Profondità di indagine di circa 10 m
- Filtro notch a 50 Hz
- Registrazione dei parametri di misura: corrente iniettata, tensione misurata, deviazione standard
- Misura delle resistenze di contatto
- Modifica da remoto dei parametri e dell'intervallo di misura
- Modem per invio dei dati



6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro



4 settembre 2015

6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro

Elettrodi a piastra:
Spaziati 1 m
Guaina anti-roditore
Resina bicomponente



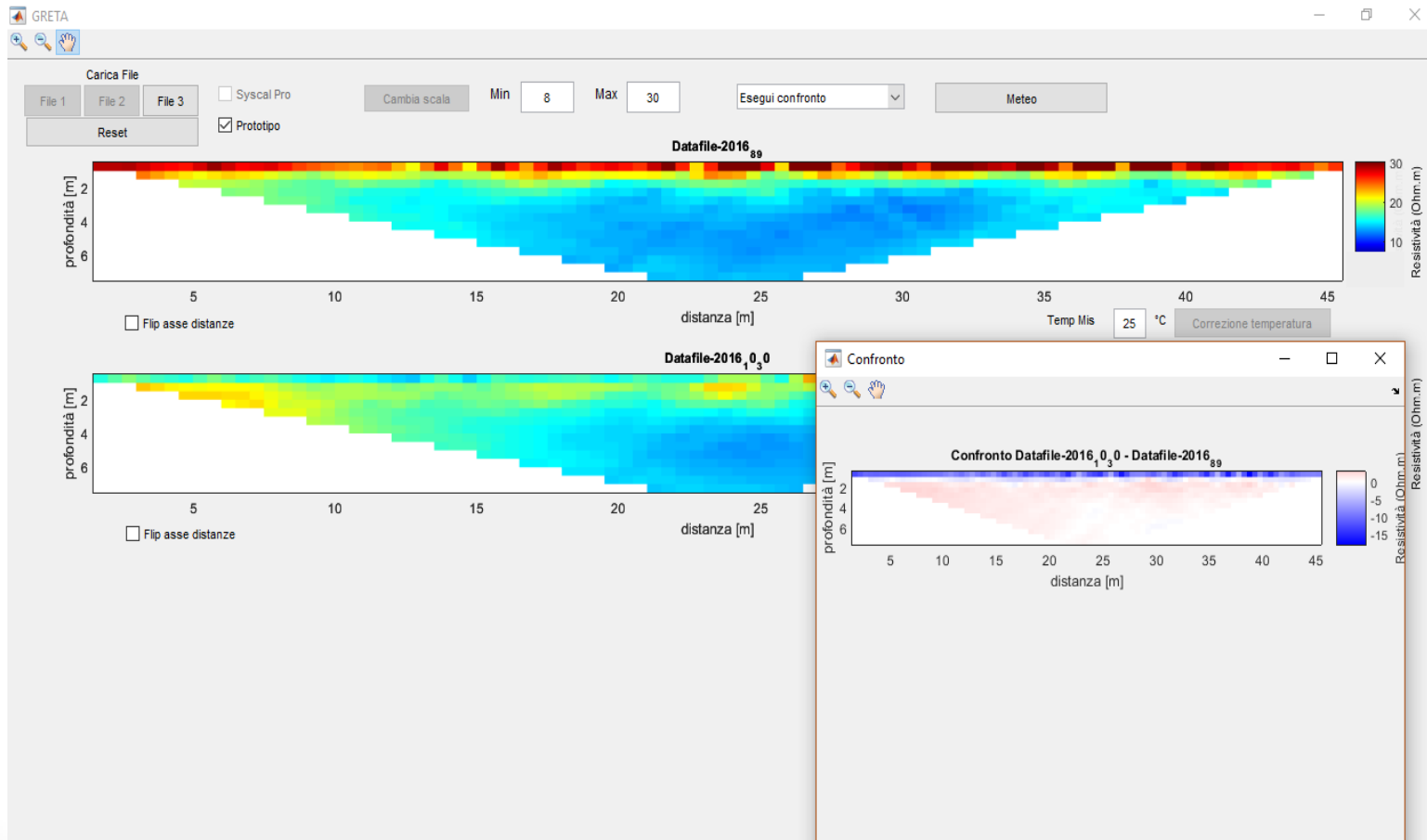
Stazione meteo:
-Precipitazioni
-Temperatura aria
-Umidità aria
-Livello canale
-Sonda TDR



Sonda TDR
-Temperatura suolo
-Costante dielettrica

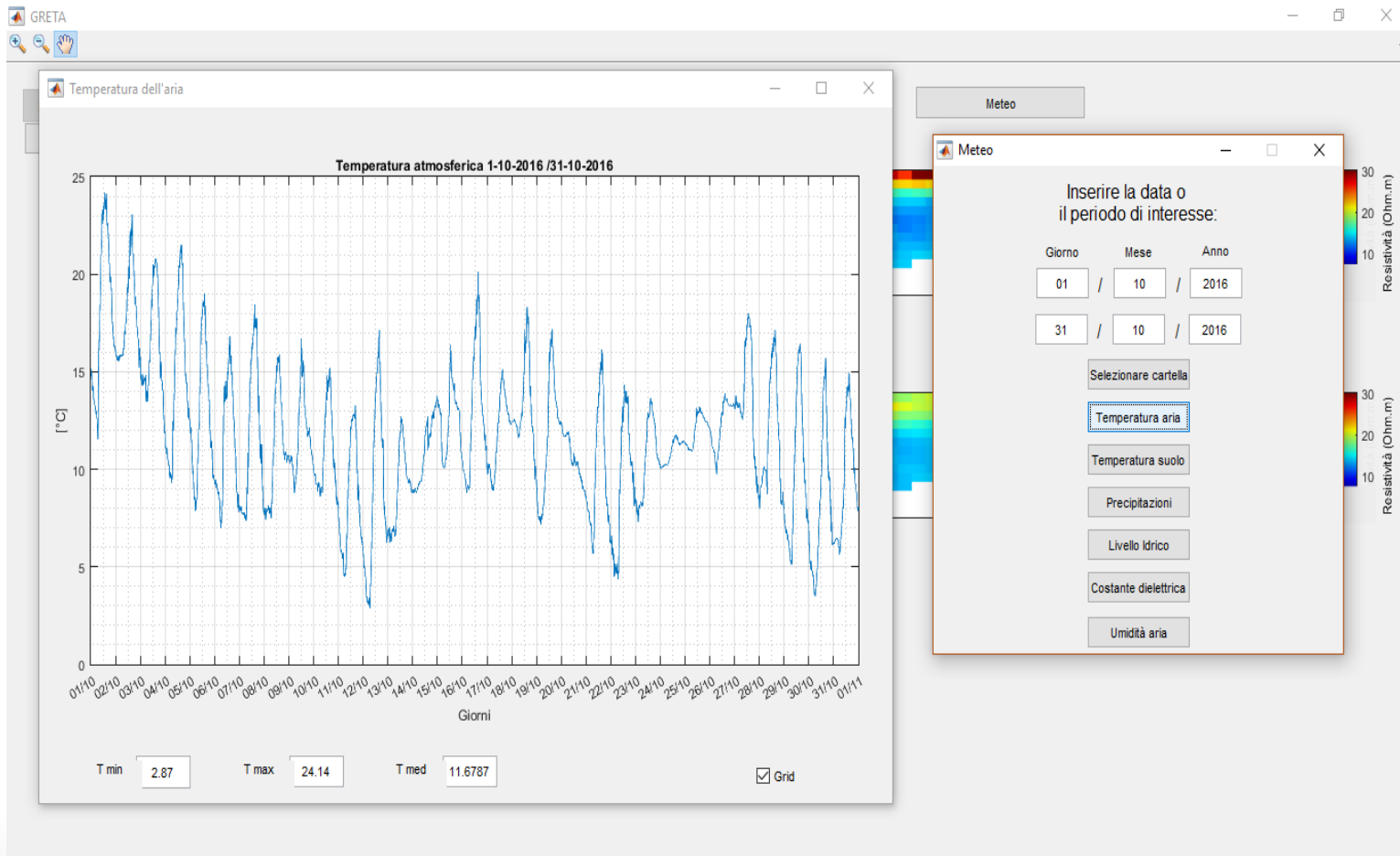
6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro

Il software: dati di resistività



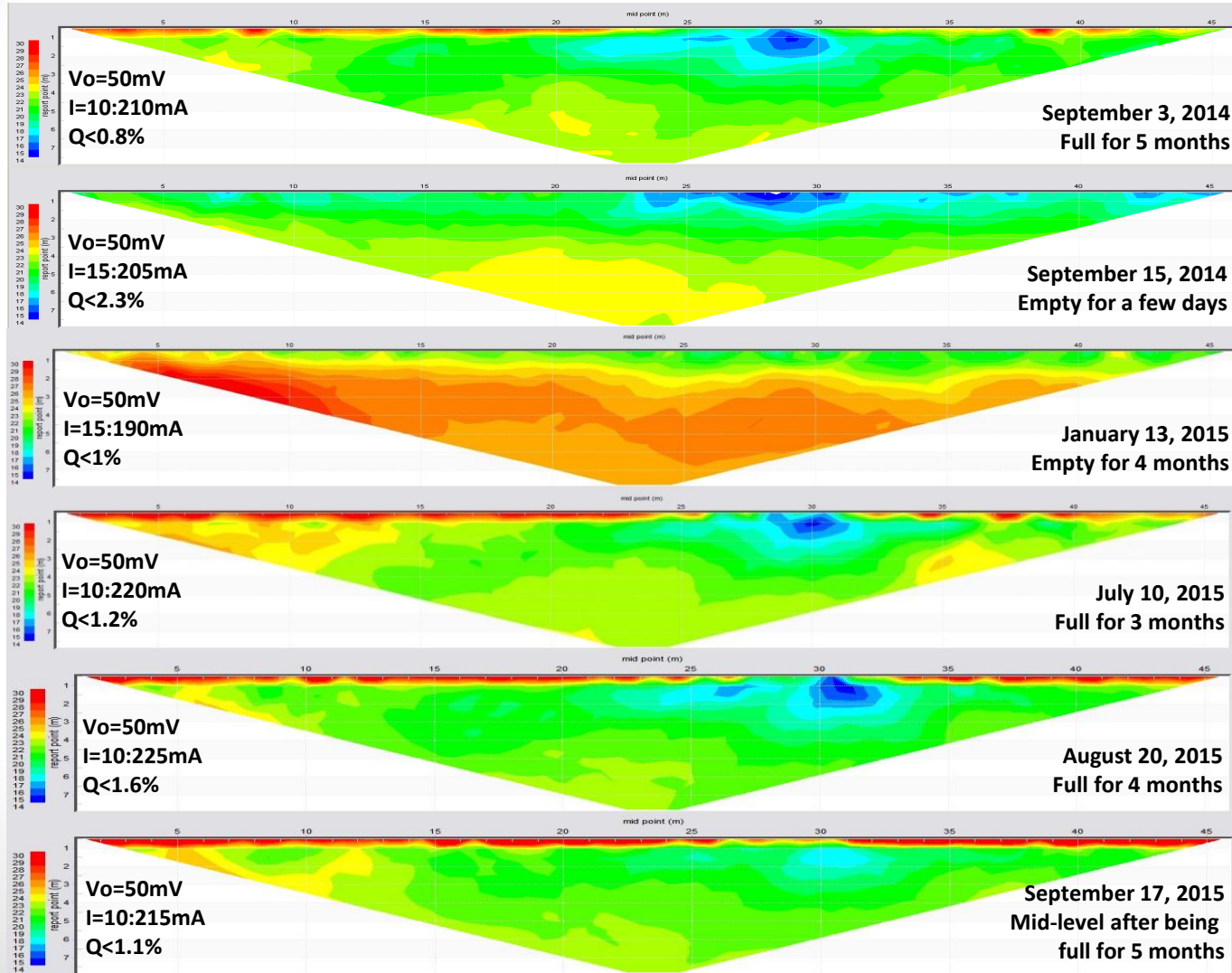
6. Progettazione ed installazione del geo-resistivimetro

Il software: dati meteo



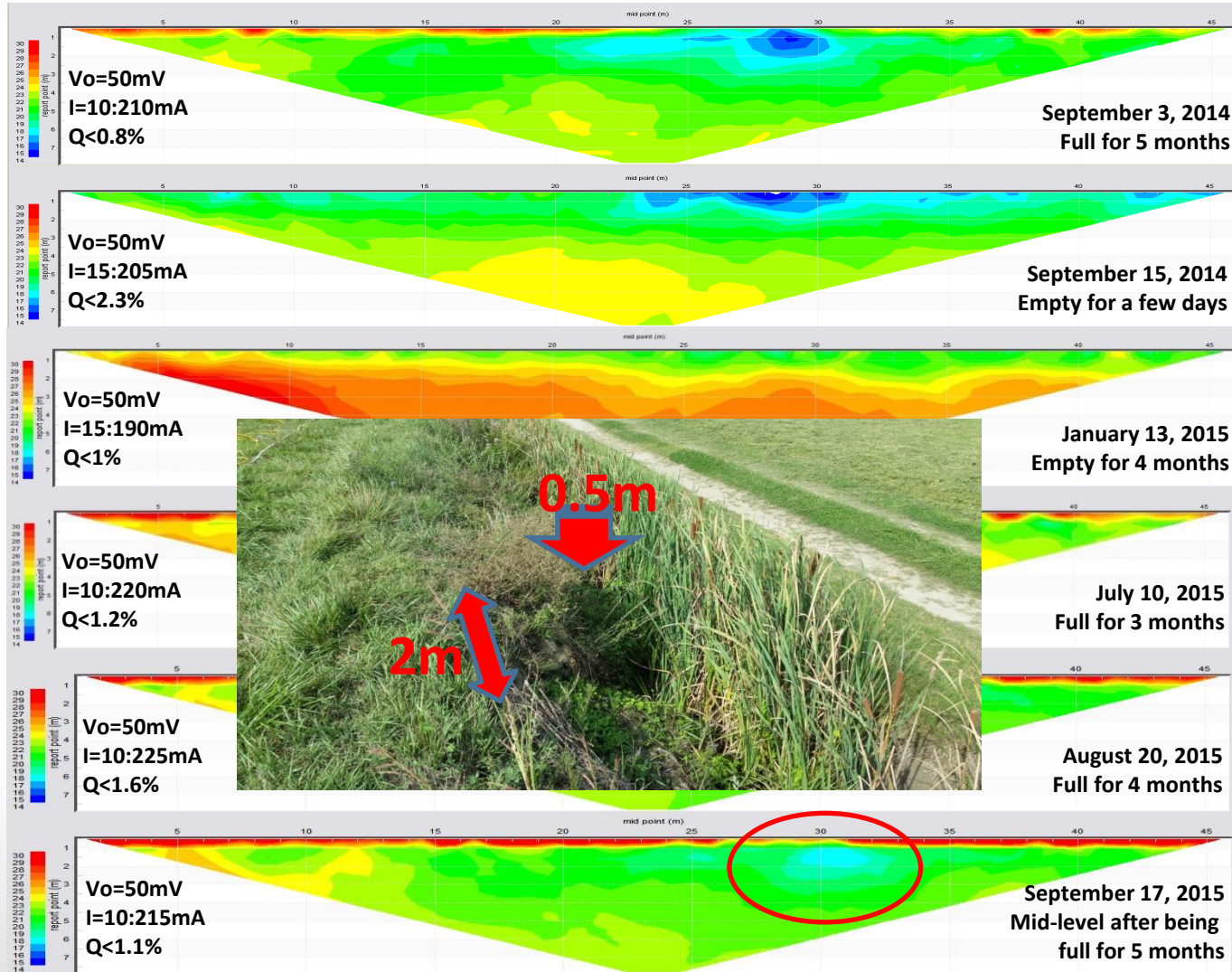
7.1 Misure preliminari

Via Dugale



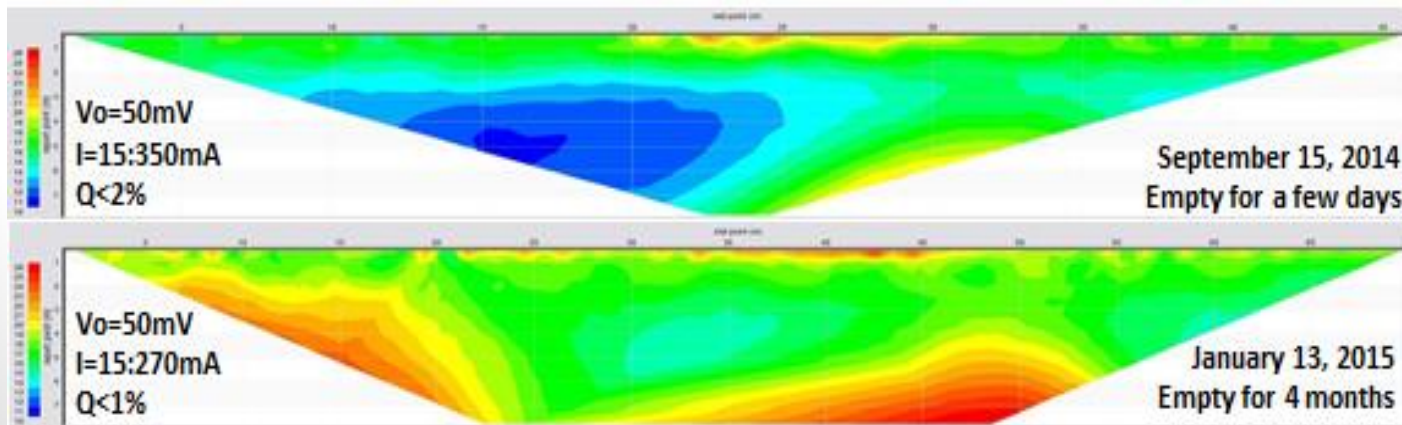
7.1 Misure preliminari

Via Dugale



7.1 Misure preliminari

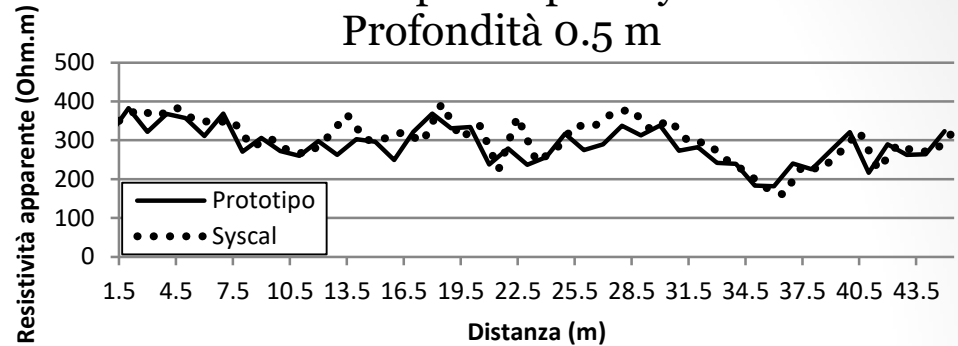
Via Marconi



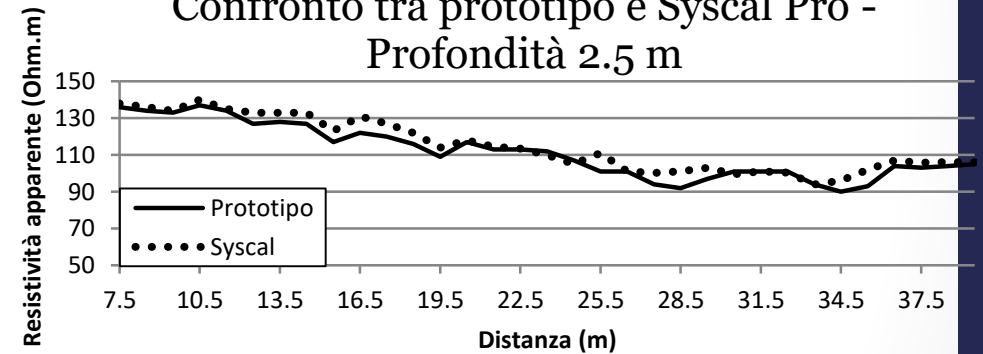
7.2 Misure di confronto



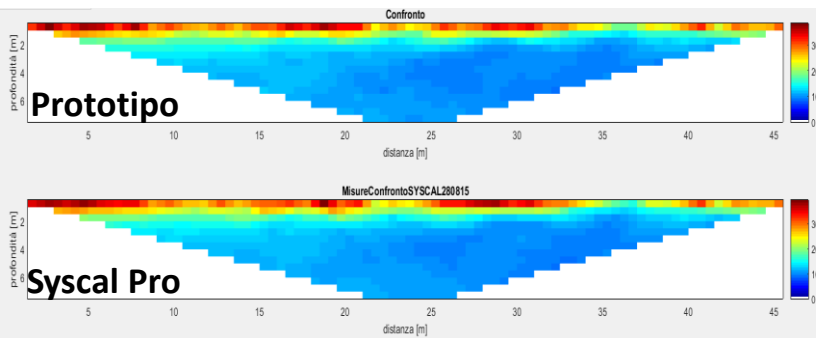
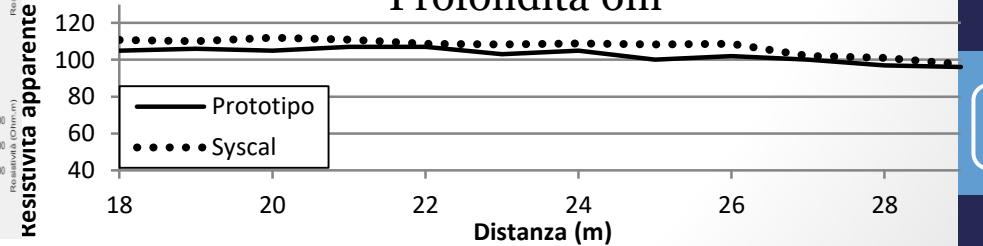
Confronto tra prototipo e Syscal Pro -
Profondità 0.5 m



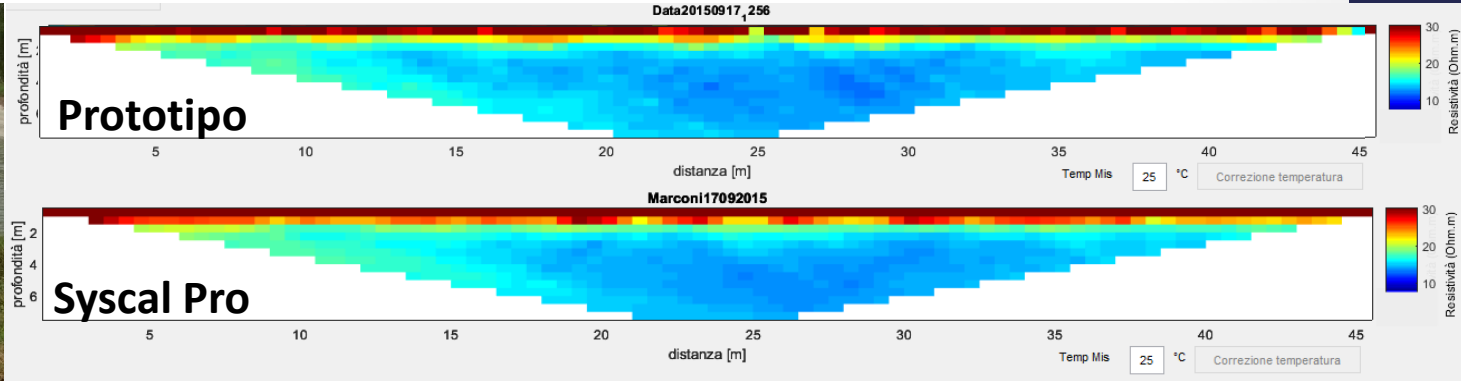
Confronto tra prototipo e Syscal Pro -
Profondità 2.5 m



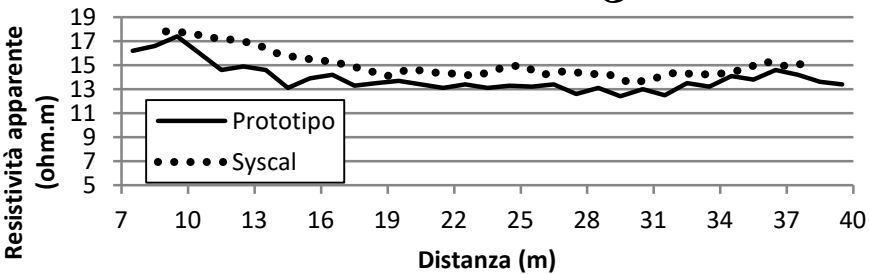
Confronto tra prototipo e Syscal Pro -
Profondità 6m



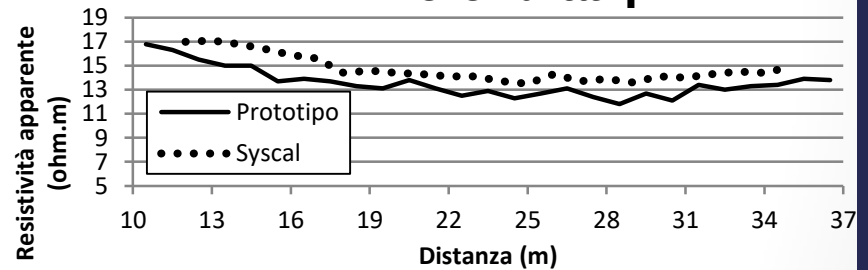
7.2 Misure di confronto



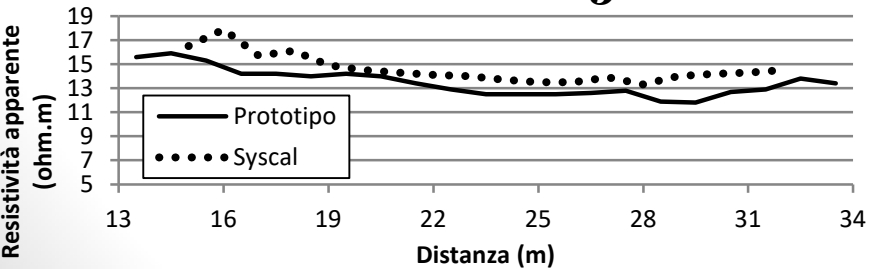
Profondità 3 m



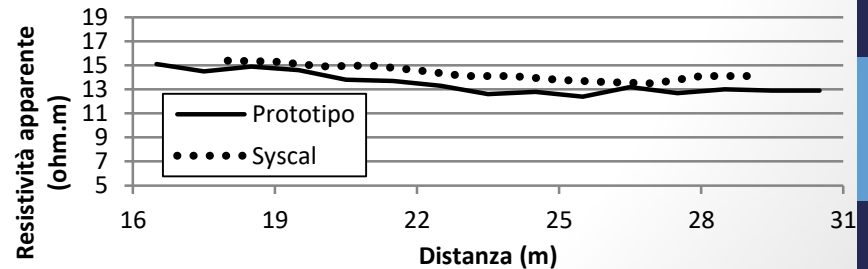
Profondità 4 m



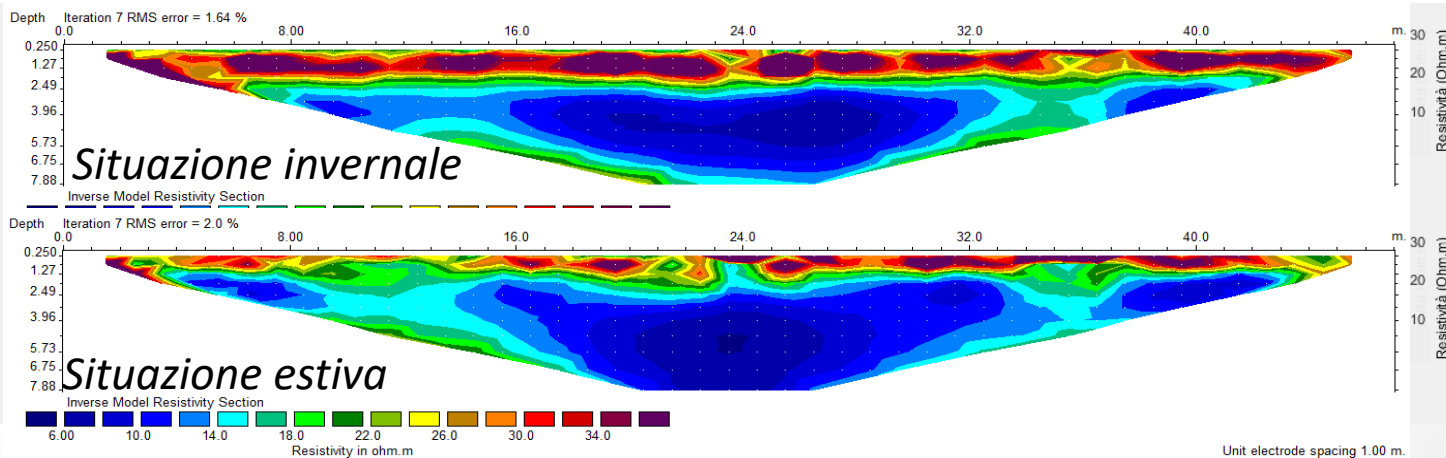
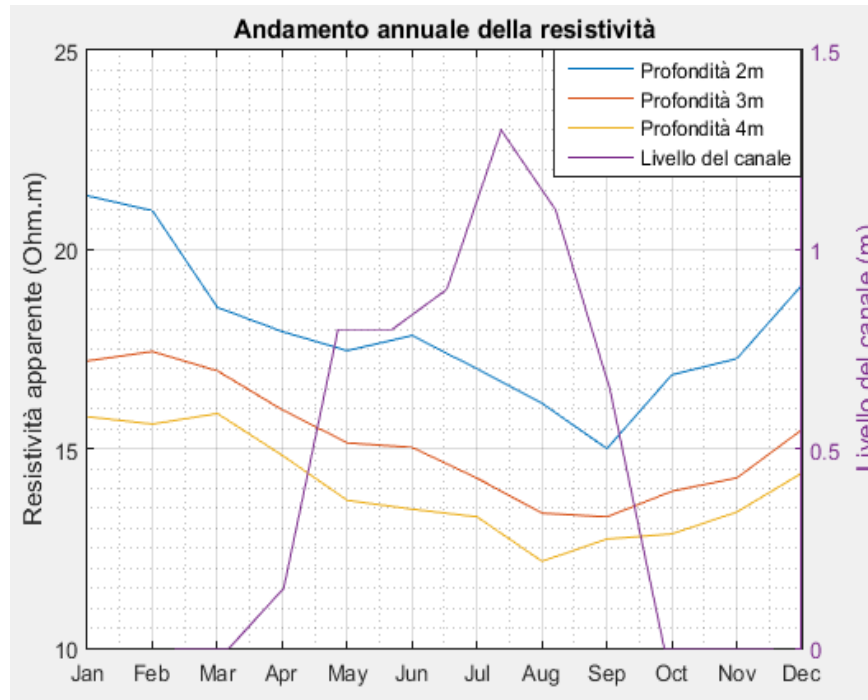
Profondità 5 m



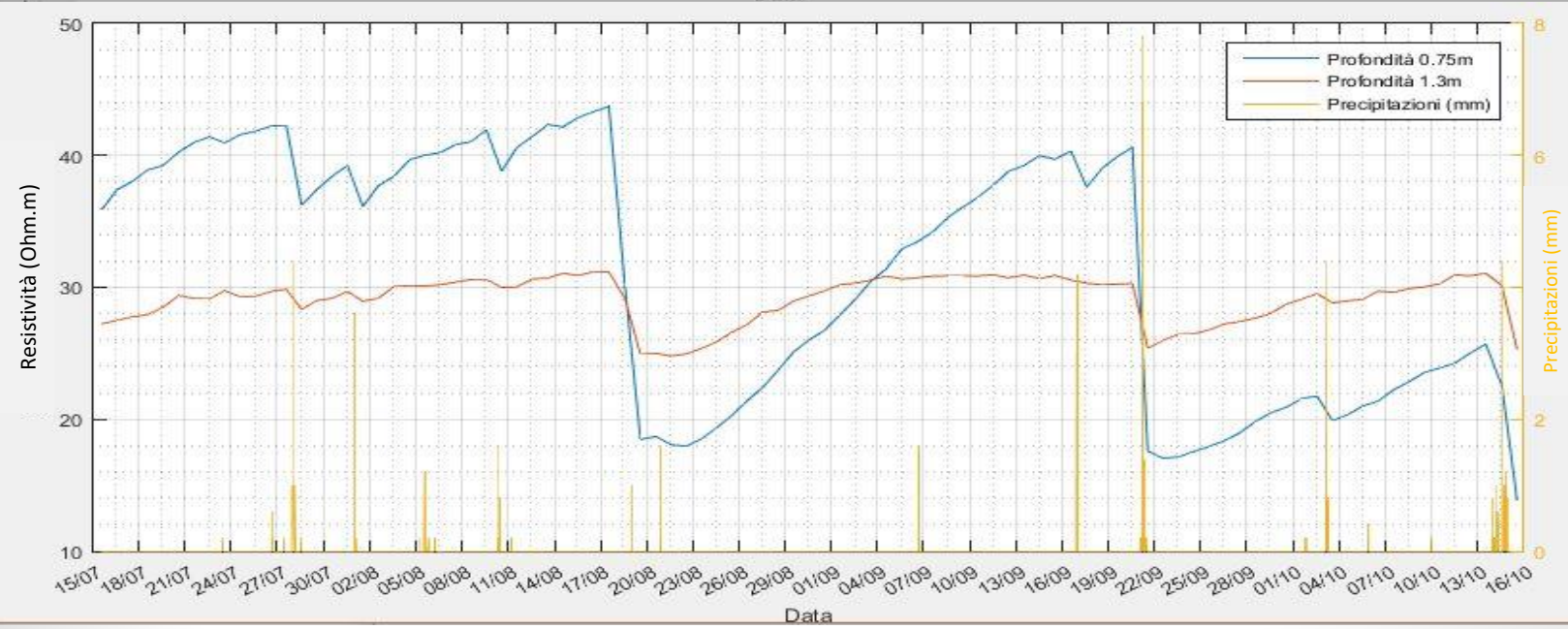
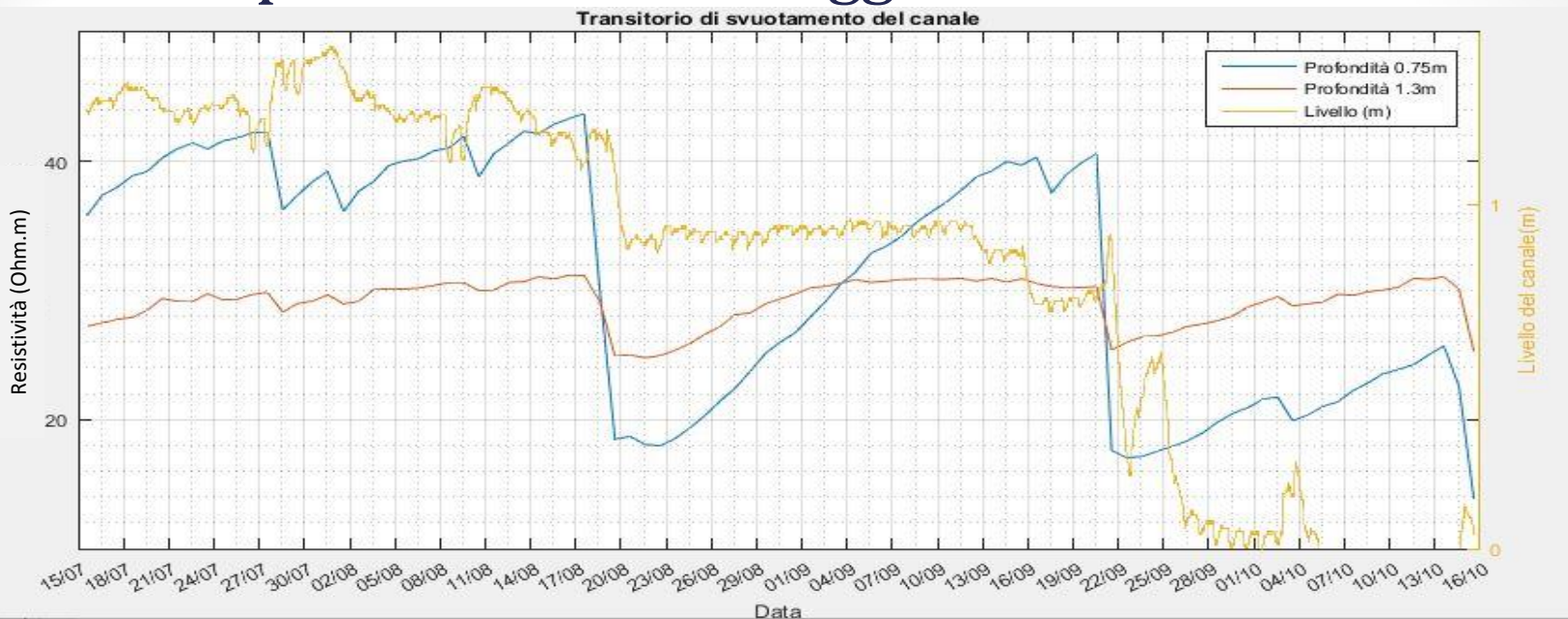
Profondità 6 m



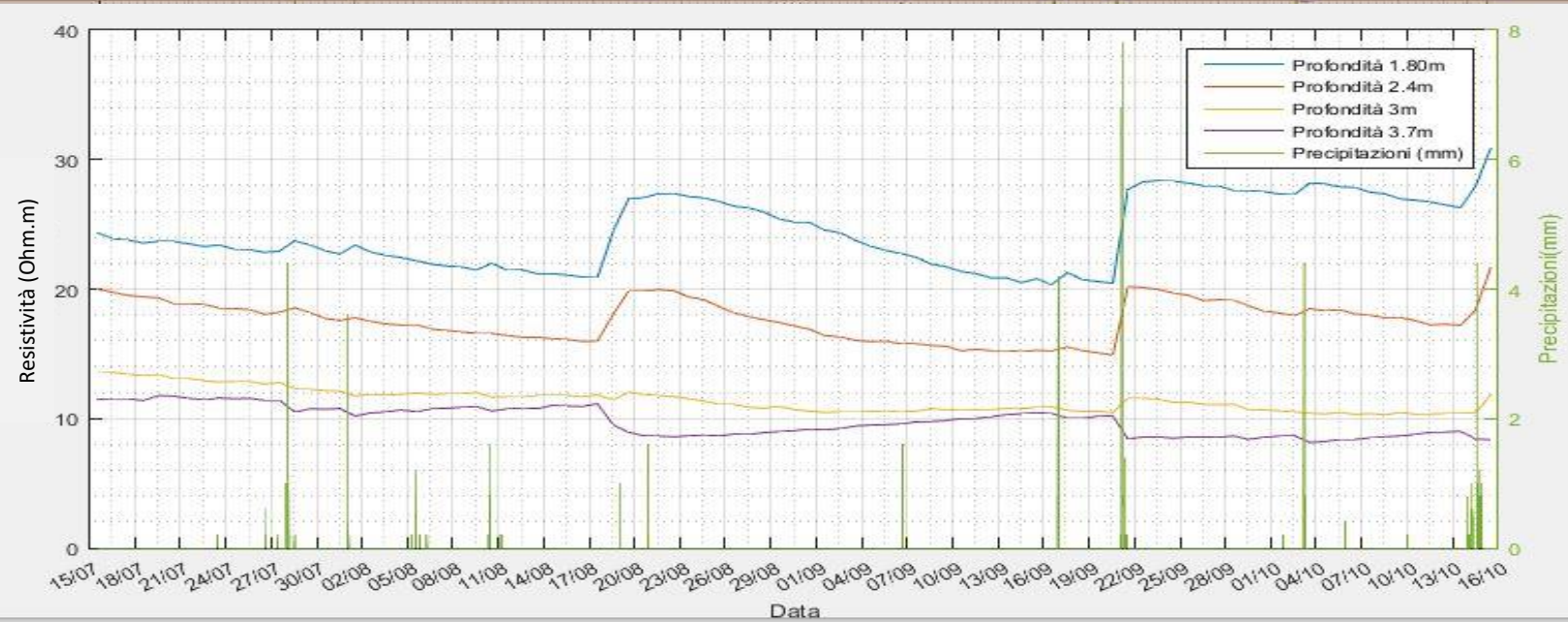
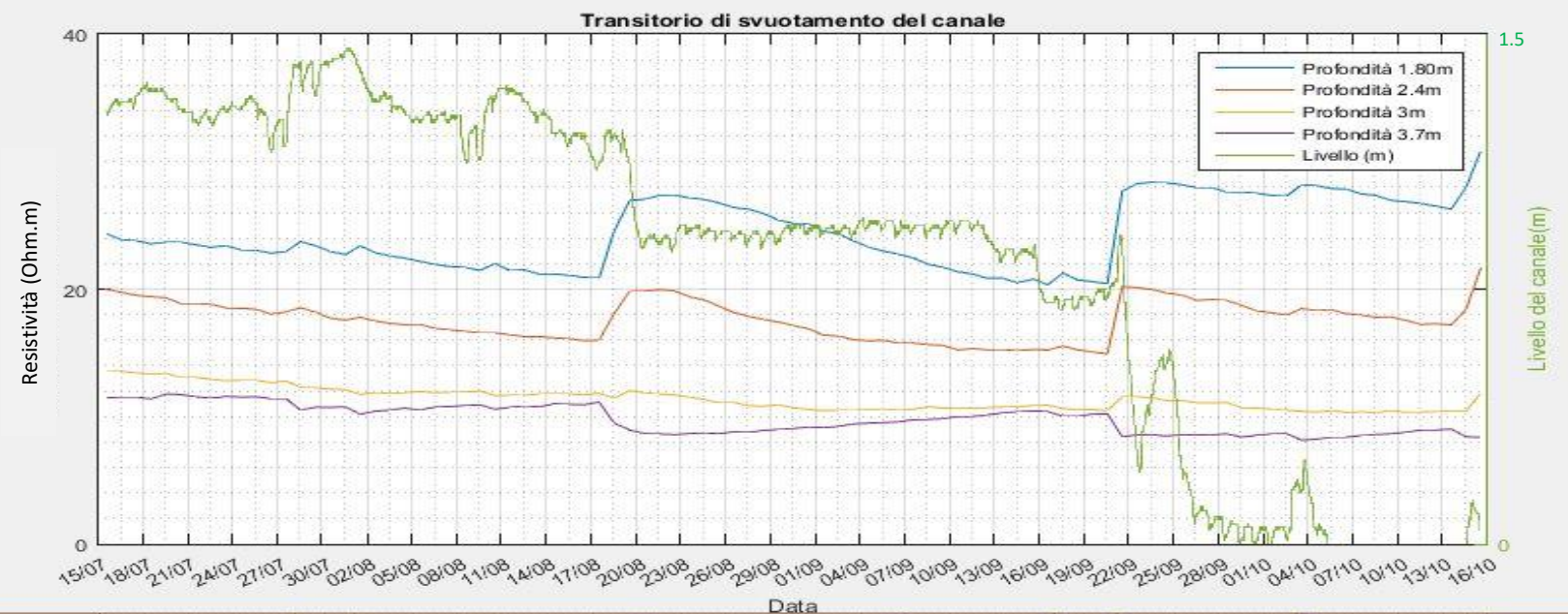
8. Il periodo di monitoraggio *Il livello del canale*



8. Il periodo di monitoraggio *Transitorio di svuotamento*

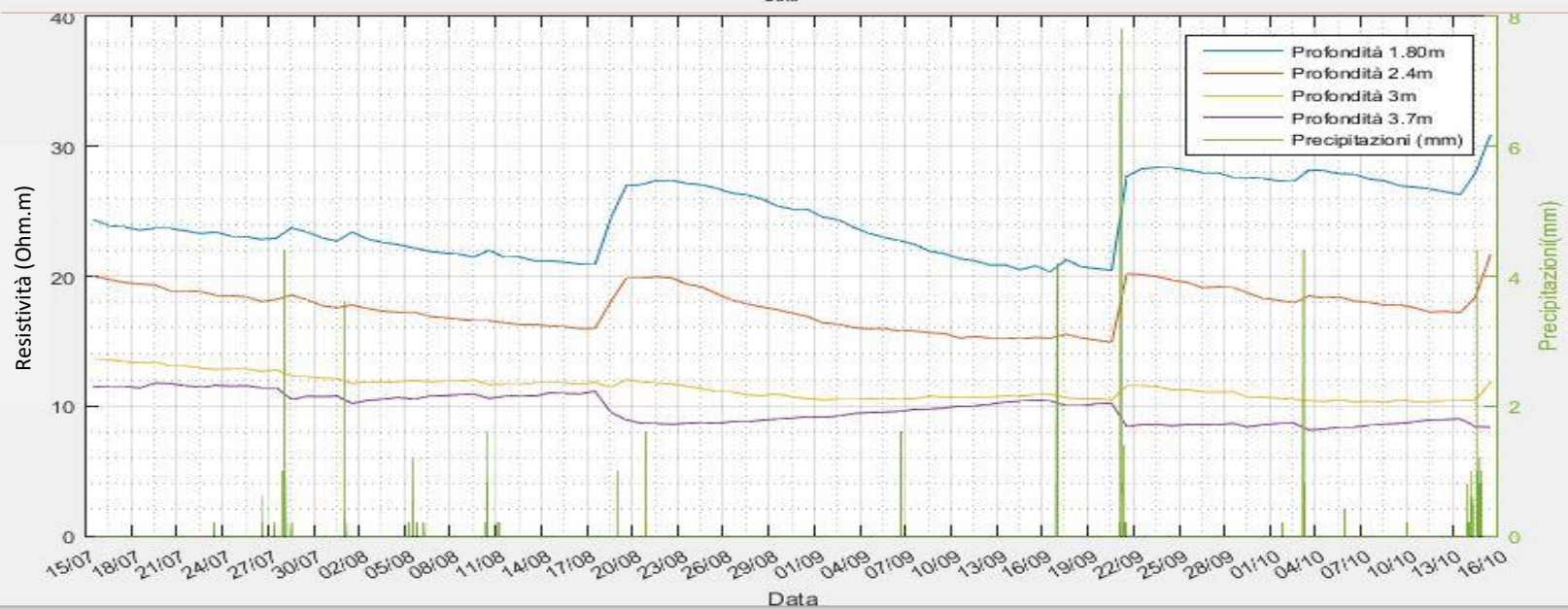
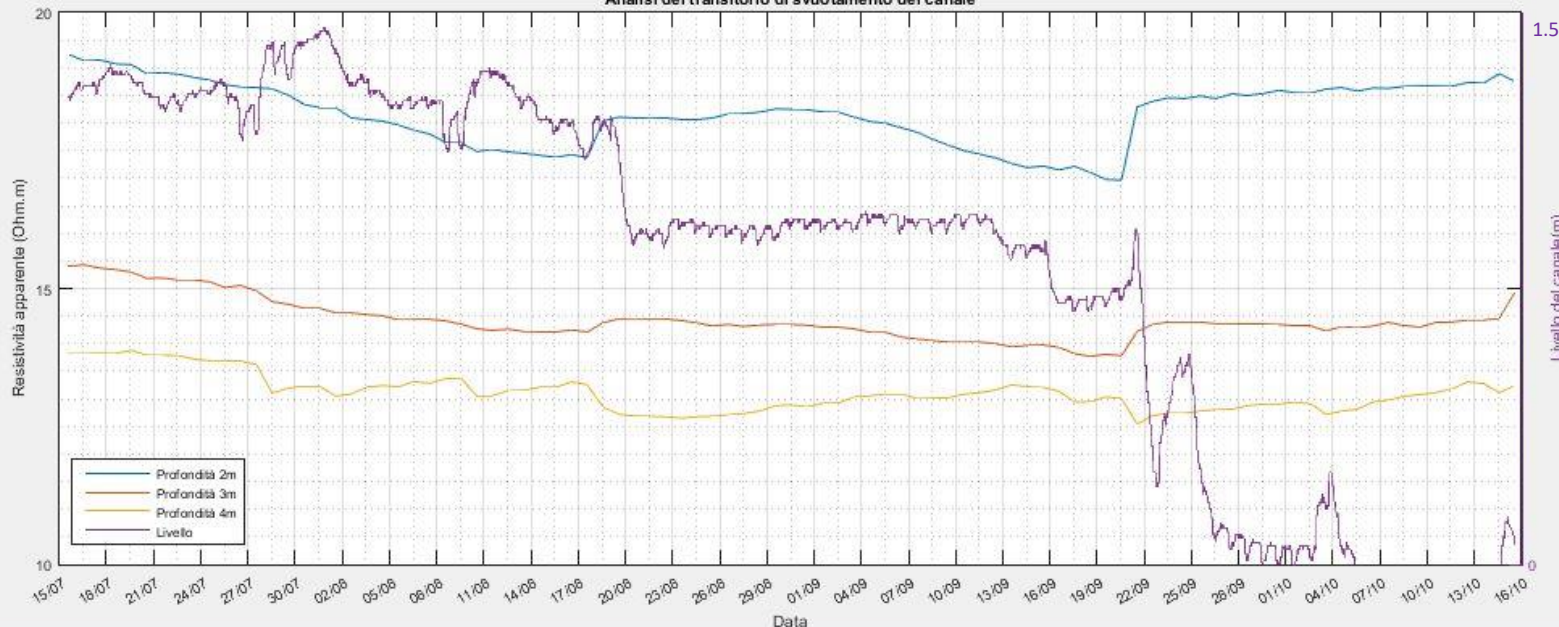


8. Il periodo di monitoraggio *Transitorio di svuotamento*



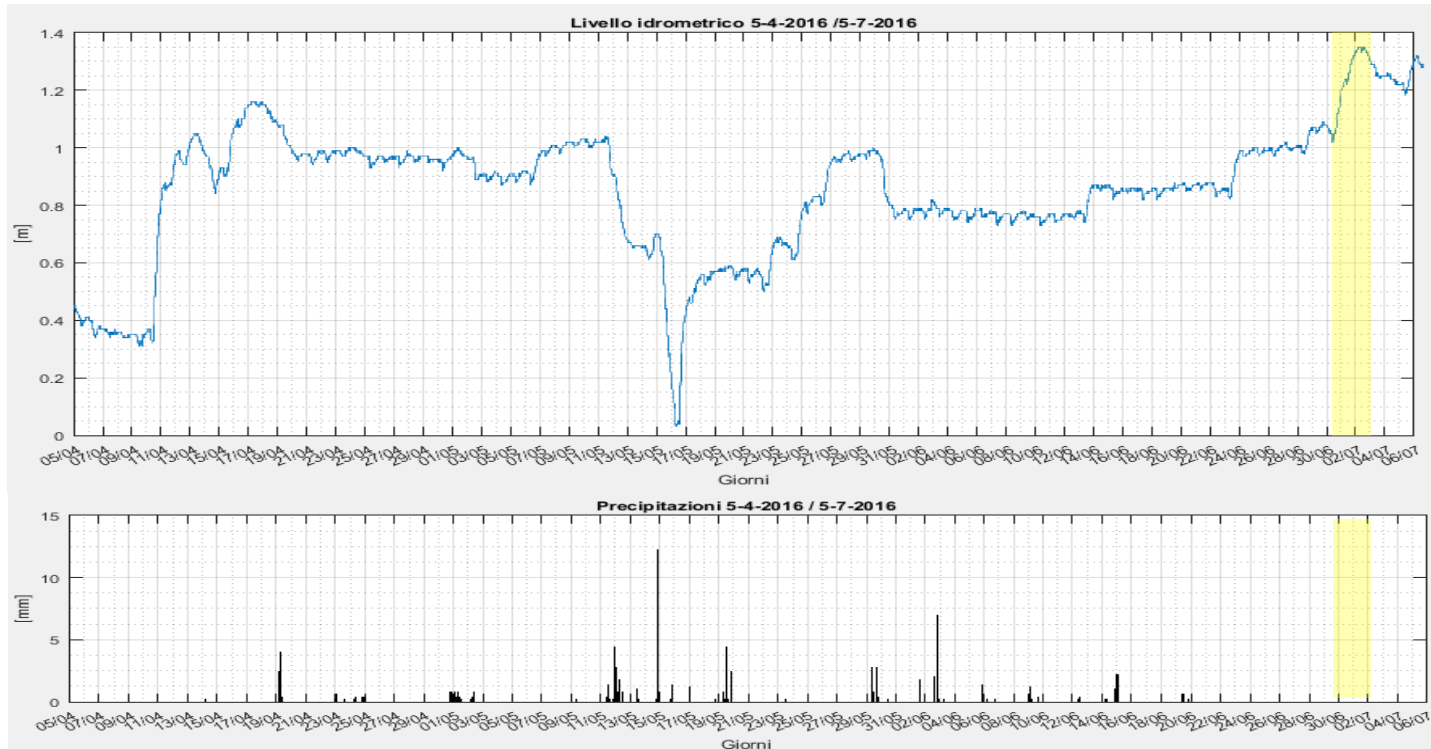
8. Il periodo di monitoraggio *Transitorio di svuotamento*

Analisi del transitorio di svuotamento del canale

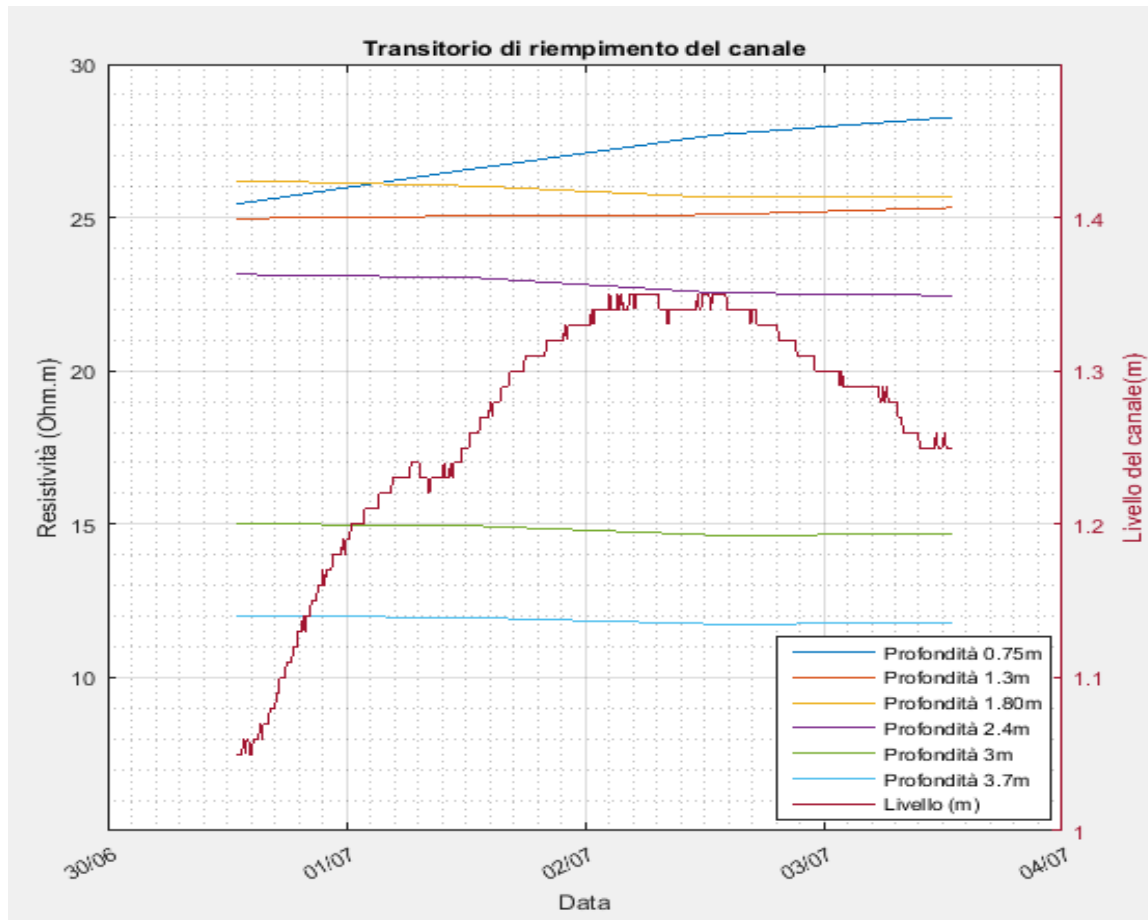




8. Il periodo di monitoraggio *Transitorio di riempimento*

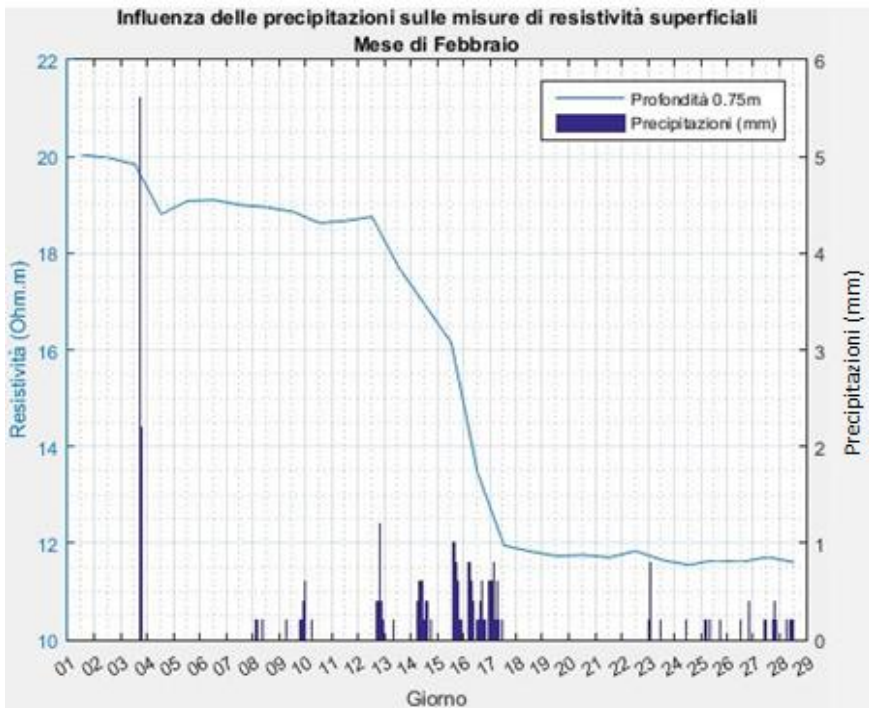


8. Il periodo di monitoraggio *Transitorio di riempimento*

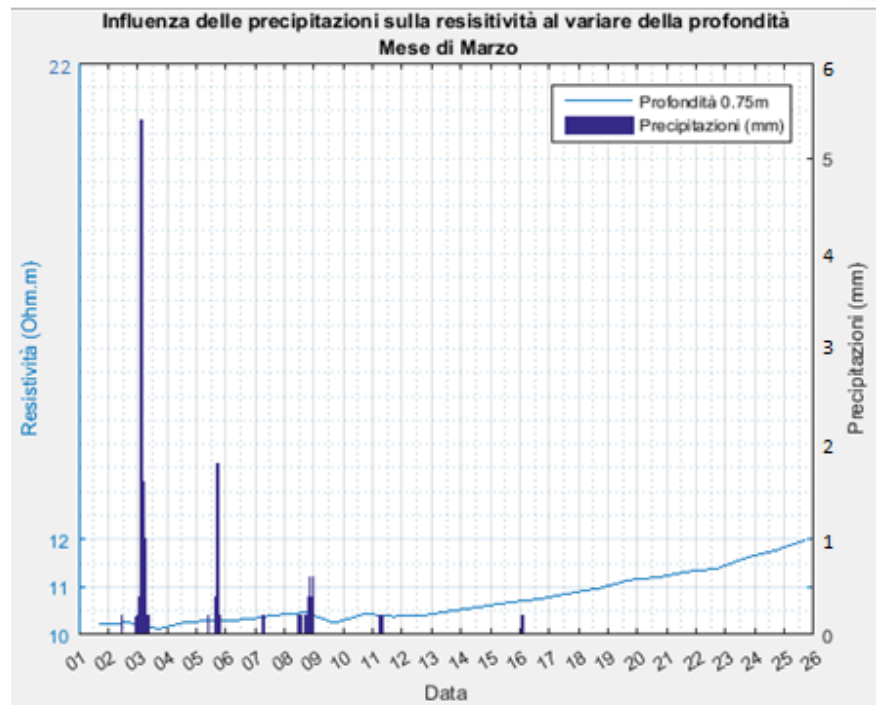


8. Il periodo di monitoraggio *Le precipitazioni*

Mese di febbraio

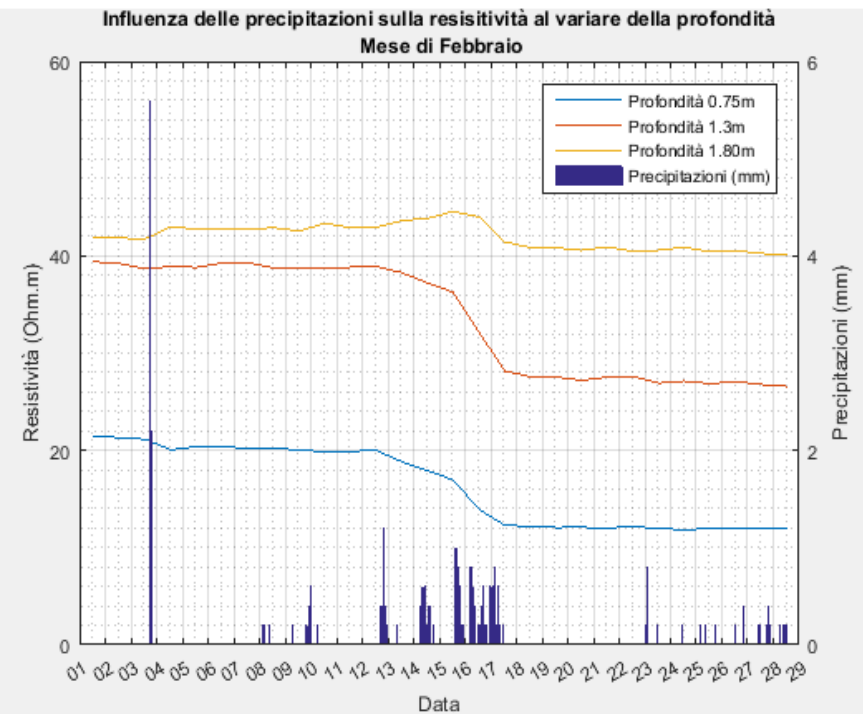


Mese di marzo

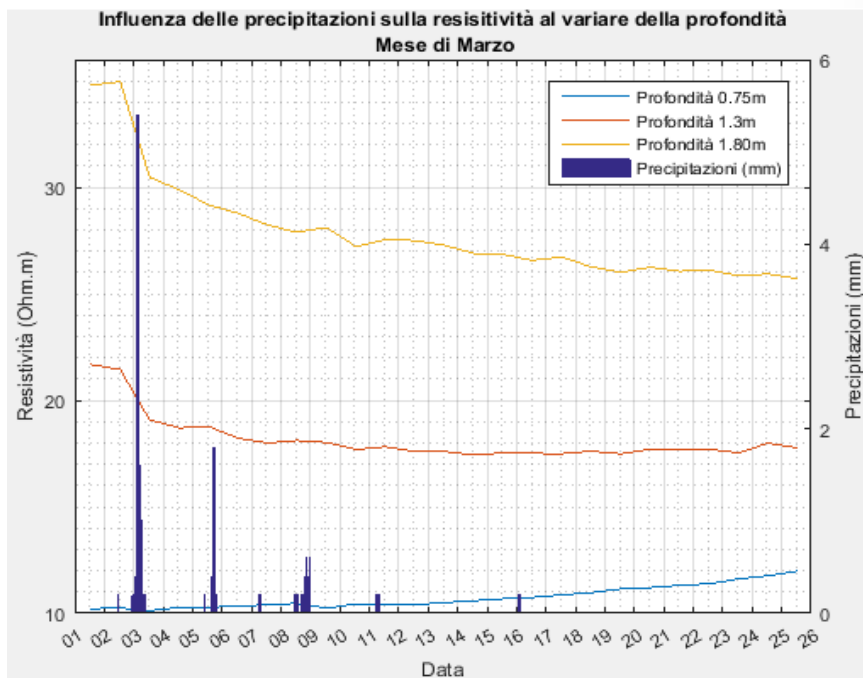


8. Il periodo di monitoraggio *Le precipitazioni*

Mese di febbraio

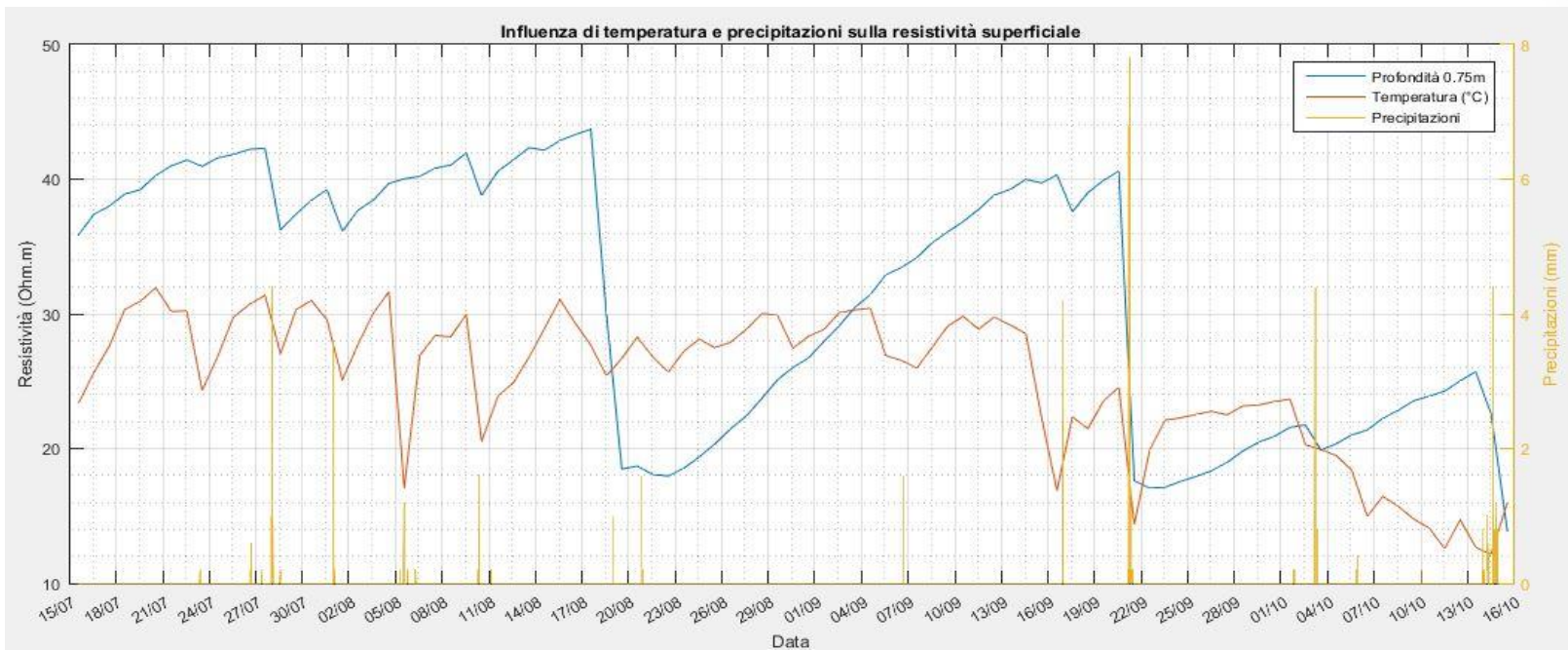


Mese di marzo



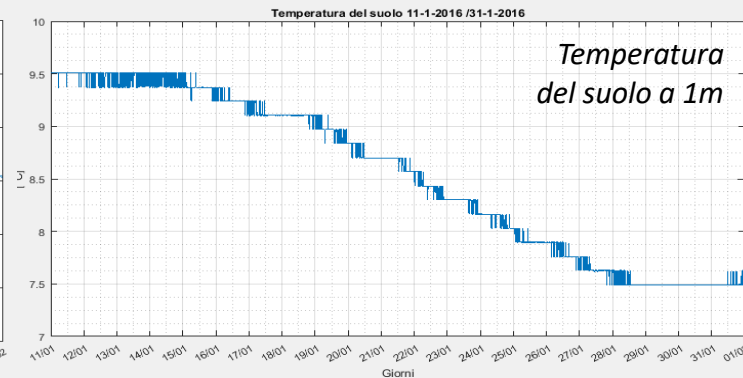
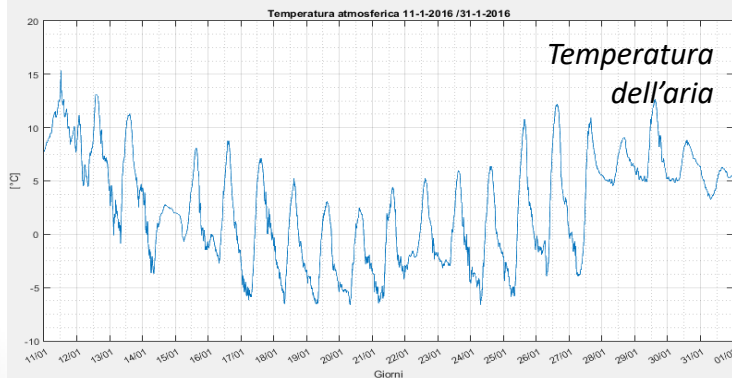
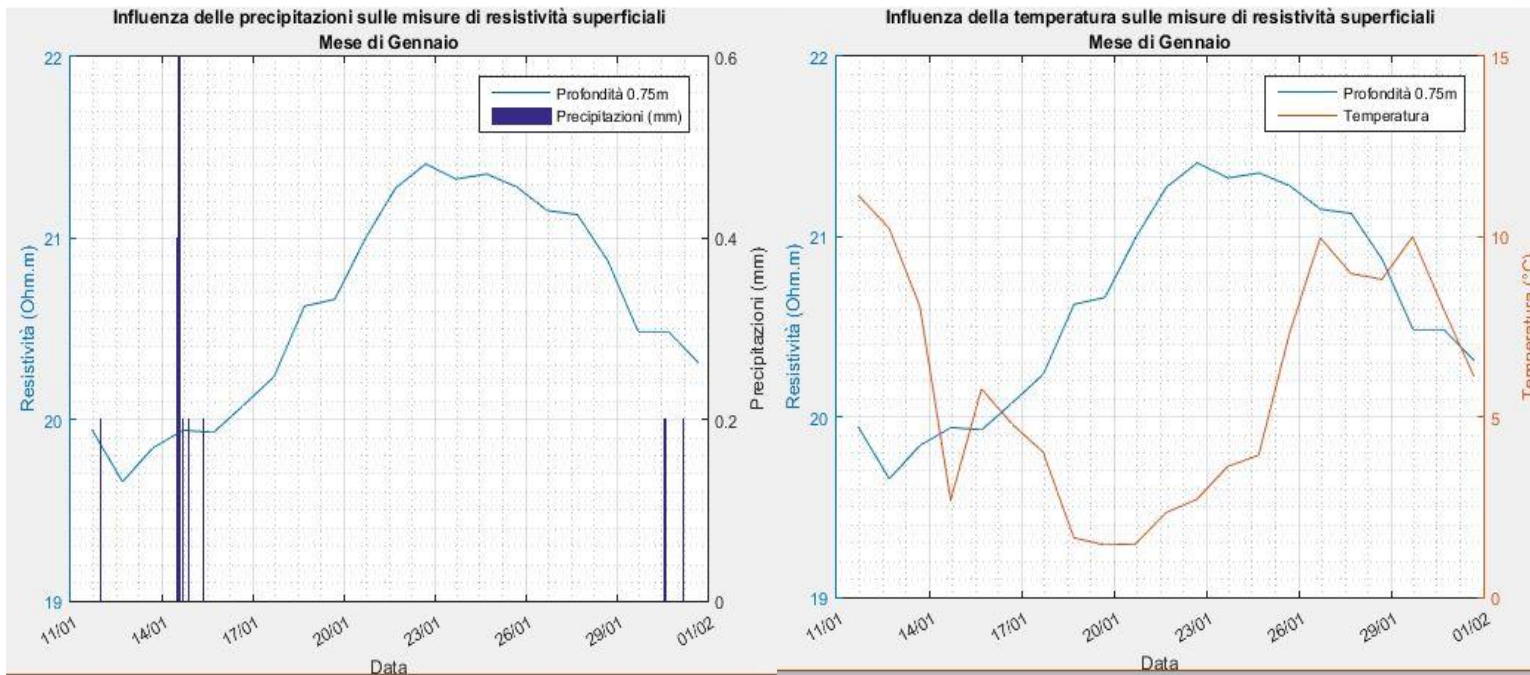
8. Il periodo di monitoraggio *La temperatura*

Transitorio di svuotamento



8. Il periodo di monitoraggio *La temperatura*

Mese di gennaio



9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua

Misure:

- Dirette
- Indirette

Metodologie utilizzate:

- Analisi di laboratorio
- Sonde a emissione di neutroni
- Sonde TDR
- Misure satellitari
- GPR



PROBLEMI LEGATI ALLA SCALA,
ALLA RISOLUZIONE,
ALL'APPLICABILITA'

UTILIZZO DEI DATI
DI RESISTIVITA'

NON FACILE CALIBRAZIONE DEI PARAMETRI
MAL SI ADATTANO AL CASO STUDIO

CALIBRAZIONE DI UNA RELAZIONE
RESISTIVITA'/CONTENUTO D'ACQUA

Relazione di Archie (1942):
$$S = \left(\frac{R_o}{R}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{FRw}{R}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{\alpha\Phi^{-m}Rw}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$$

S: saturazione; R: resistività della roccia; Ro: resistività tot saturo in acqua; Rw: resistività del fluido;
n, m: parametri funzione della saturazione e della cementazione; Φ : porosità

Relazione di Waxman e Smith (1967):
$$C_o = \frac{1}{F^*} (C_e + C_w) = \frac{1}{F^*} (BQ_v + C_w)$$

Co: conducibilità roccia; Ce: conducibilità da scambio cationico; Cw: conducibilità per circolazione di fluidi;
F*: fattore di formazione modificato per componente argillosa; B: conducibilità da radicali liberi in relazione a conducibilità del fluido; Qv: concentrazione dei cationi scambiati

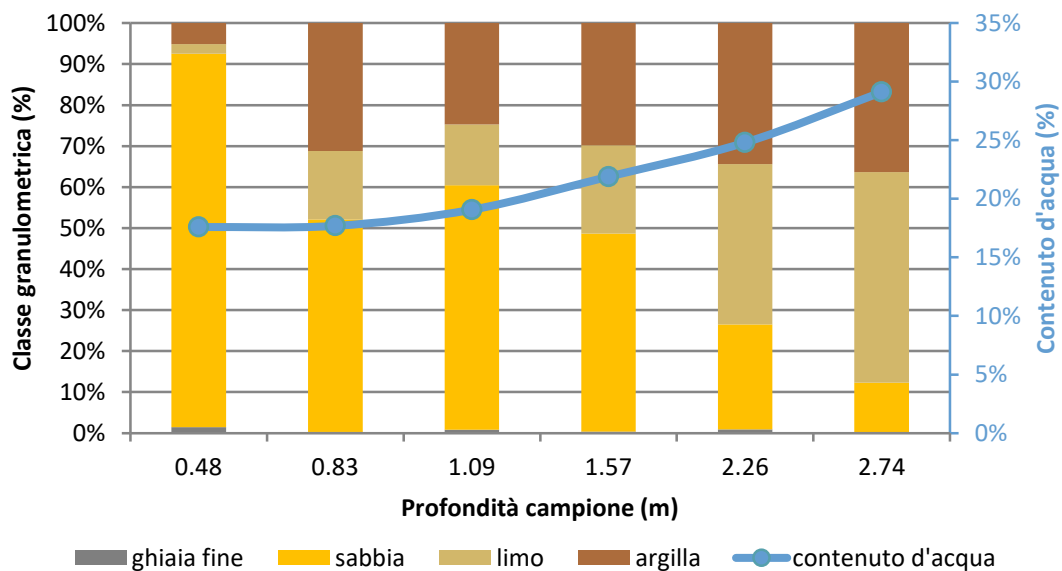
9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua

Il carotaggio (08 agosto 2016) e le analisi di laboratorio

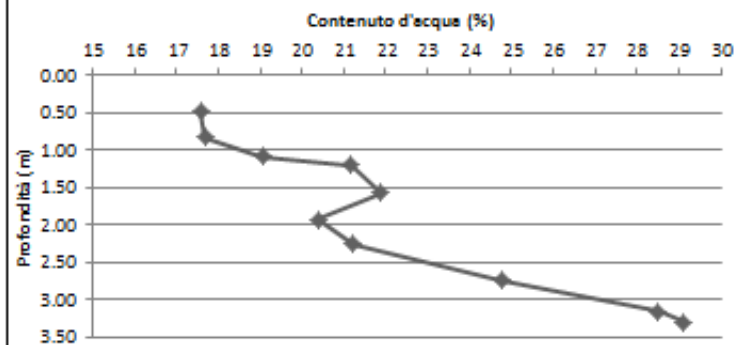


9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua

Granulometria campioni a seguito di analisi di laboratorio e contenuto d'acqua

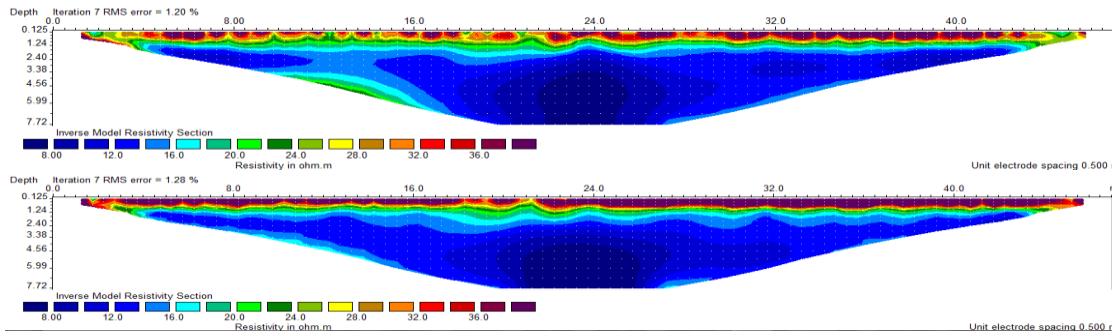


Contenuto d'acqua dei campioni al variare della profondità



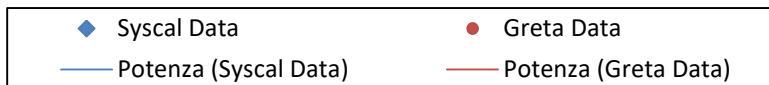
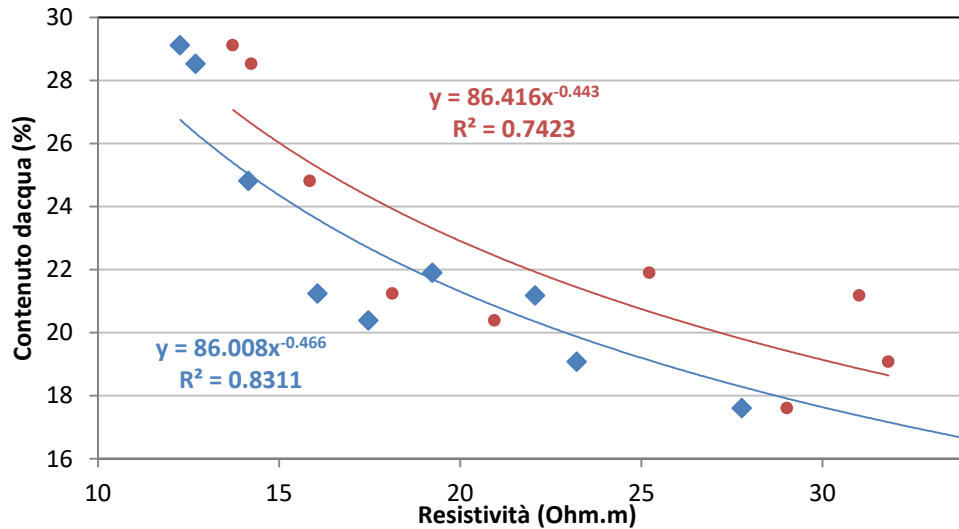
Profondità (m)	Contenuto d'acqua (%)
0.48	17.59
0.83	17.69
1.09	19.07
1.2	21.17
1.57	21.89
1.93	20.38
2.26	21.23
2.74	24.80
3.15	28.52
3.3	29.11

9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua



Profondità (m)	Contenuto d'acqua (%)
0.48	17.59
0.83	17.69
1.09	19.07
1.2	21.17
1.57	21.89
1.93	20.38
2.26	21.23
2.74	24.80
3.15	28.52
3.3	29.11

Resistività vs Contenuto d'acqua

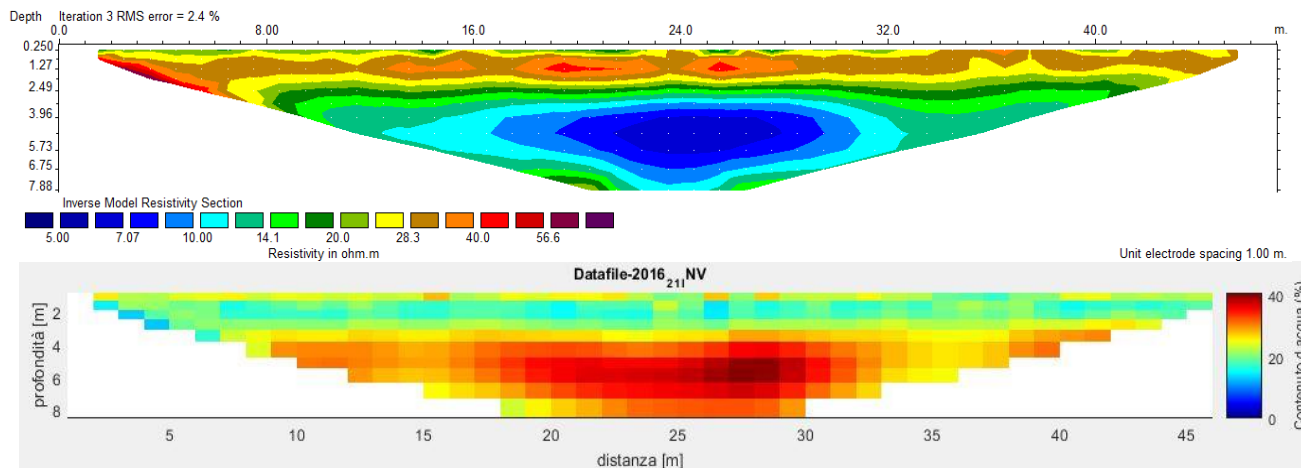


$$S = \alpha R^{-\beta}$$

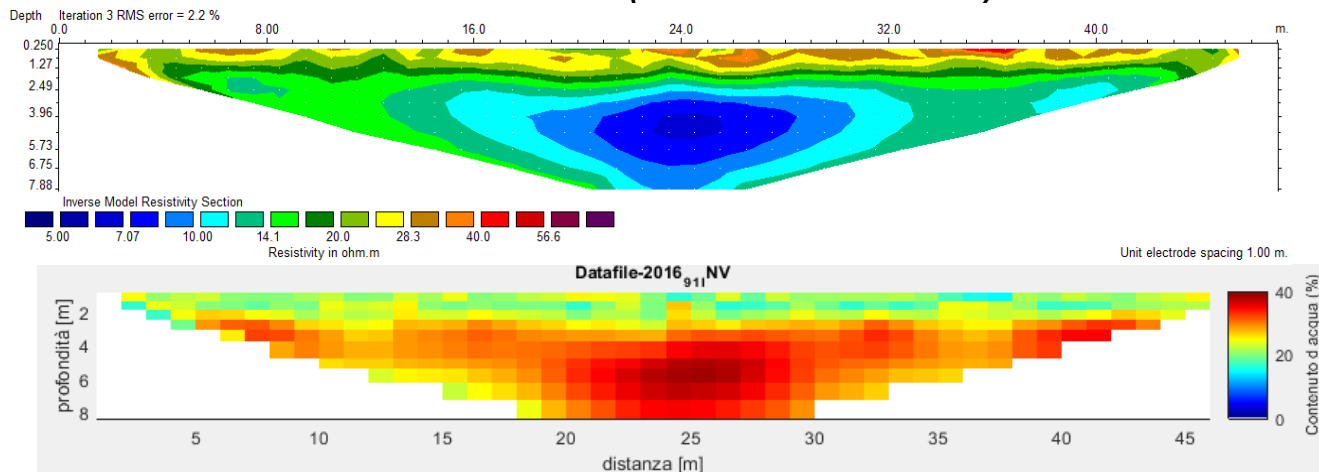
Serie di dati	α	β
Syscal	86.006	0.466
G.R.E.T.A.	86.416	0.433

9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua

Situazione invernale (1 febbraio 2016)

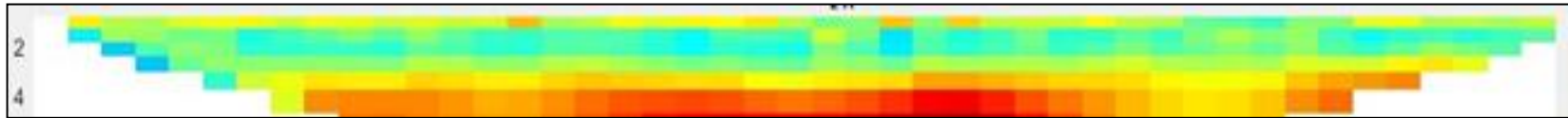


Situazione estiva (1 settembre 2016)

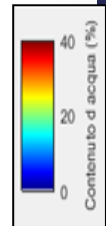
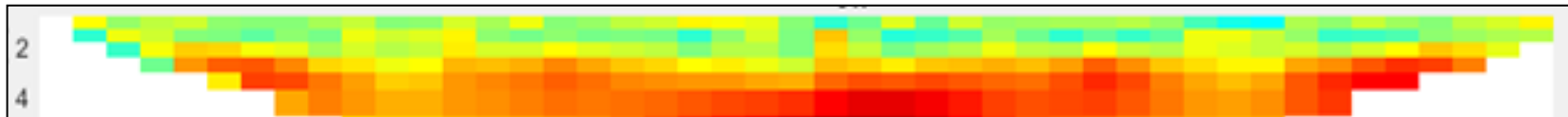


9. Ottenimento della relazione resistività/contenuto d'acqua

Situazione invernale (1 febbraio 2016)



Situazione estiva (1 settembre 2016)



10. Le potenzialità derivanti dall'utilizzo dei dati di monitoraggio per un'analisi di filtrazione e stabilità

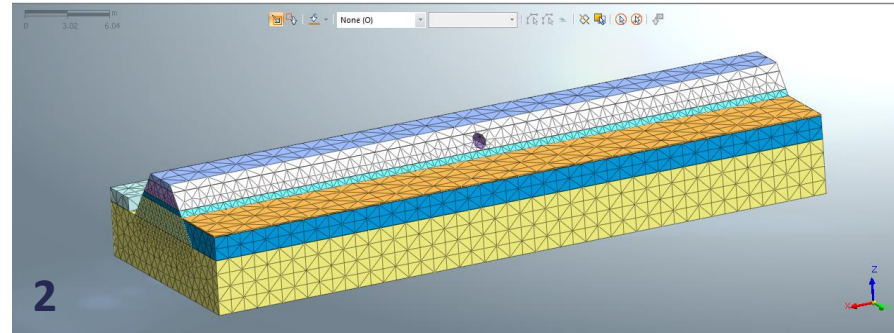
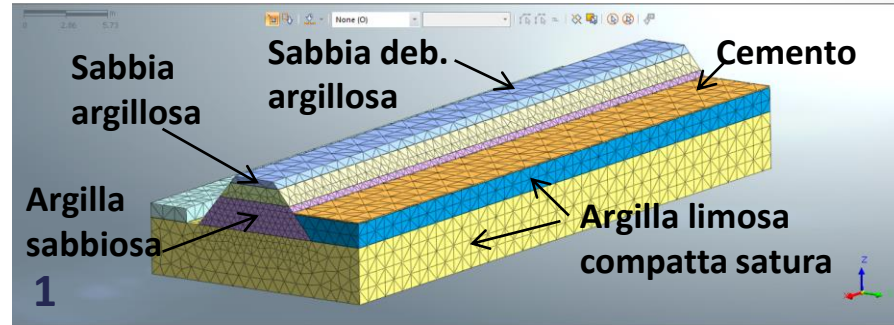
- **Caso 1:** Analisi di filtrazione senza la modellizzazione delle zona di *piping*
- **Caso 2:** Introduzione nella modellizzazione della zona di *piping*

Parametri geometrici *piping*

Lunghezza	3 m
Diametro	1 m
Profondità del centro dalla cresta	1 m

Stage analisi in transitorio

Incremento	Tempo (s)	Livello canale (m)
0	0	1.50
1	86400	1.20
2	172600	0.90
3	259200	0.60
4	345600	0.30
5	432000	0

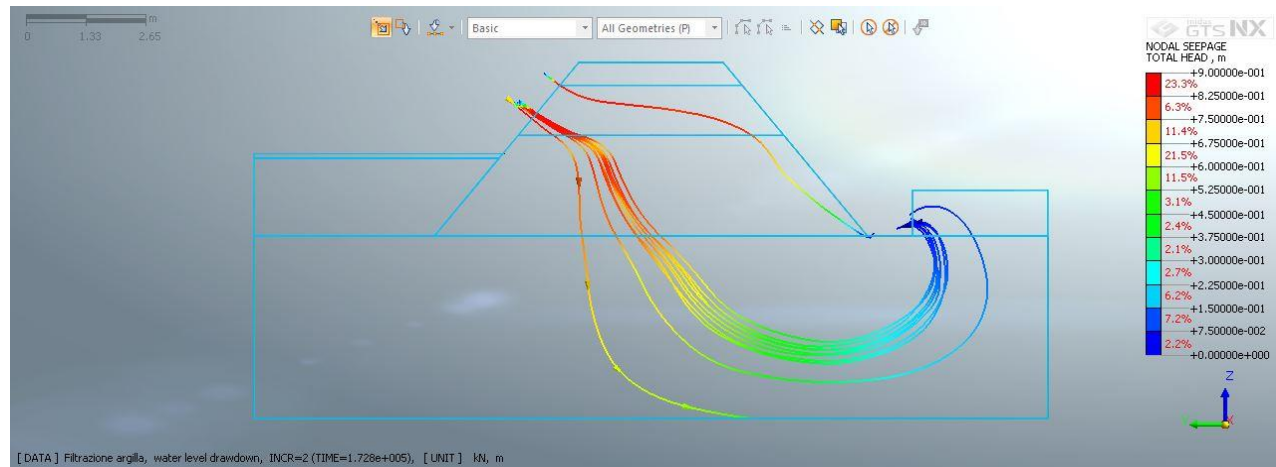
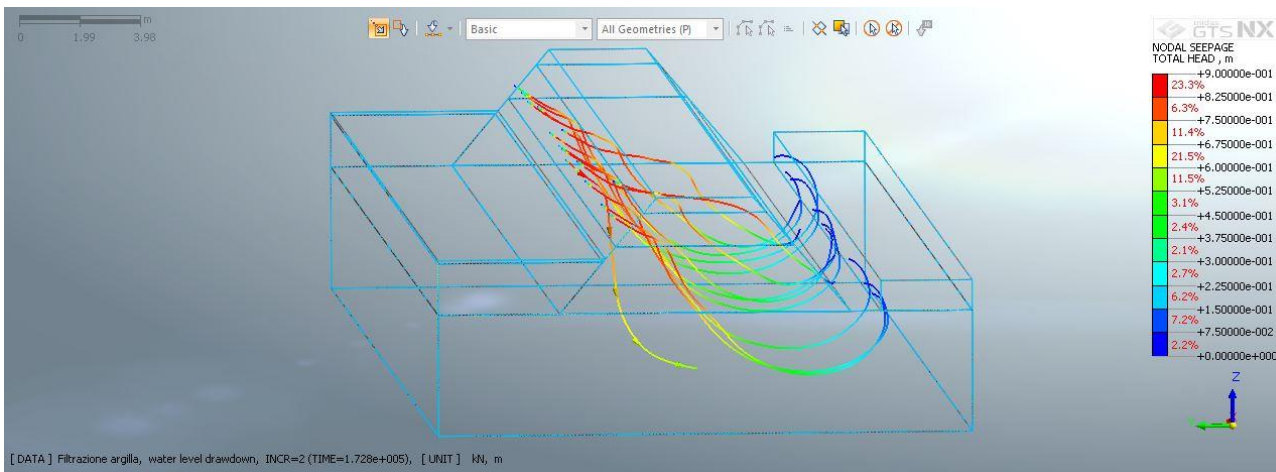


Parametri materiali del modello

Terreno	Angolo d'attrito ¹³ (°)	Coesione ^{13,14} (kPa)	Peso specifico ¹³ secco (kN/m ³)	Modulo di Young ¹⁵ (MPa)	Volume dei vuoti ¹³	Permeabilità ¹³ (m/s)
Sabbia deb. argillosa	38	0	21	50	0.4	10 ⁻⁶
Sabbia argillosa	35	10	19.5	20	0.3	10 ⁻⁷
Argilla sabbiosa	30	13	18.5	5	0.25	5.10 ⁻⁹
Argilla limosa compatta satura	32	13	20	20	0.5	10 ⁻⁹

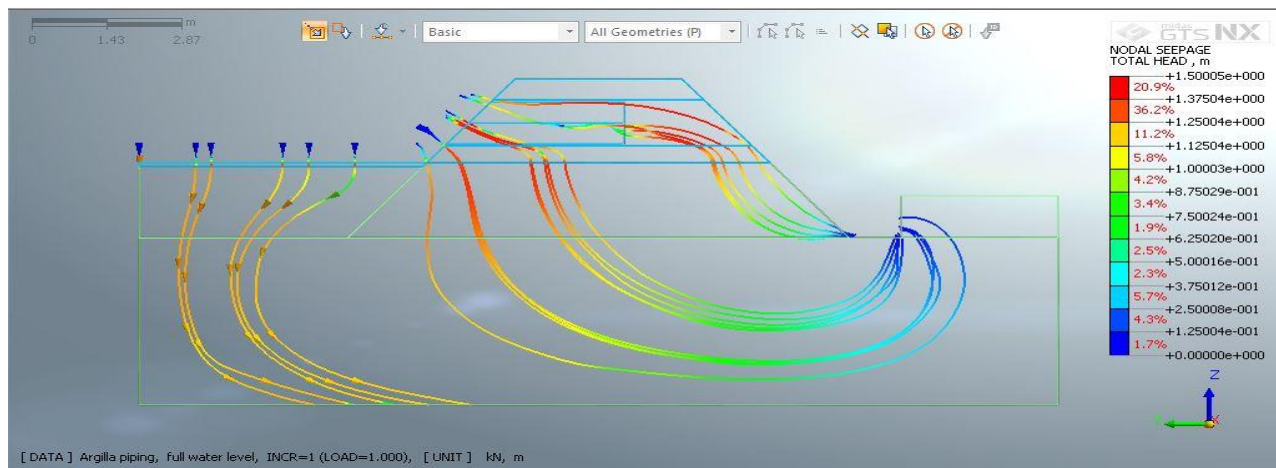
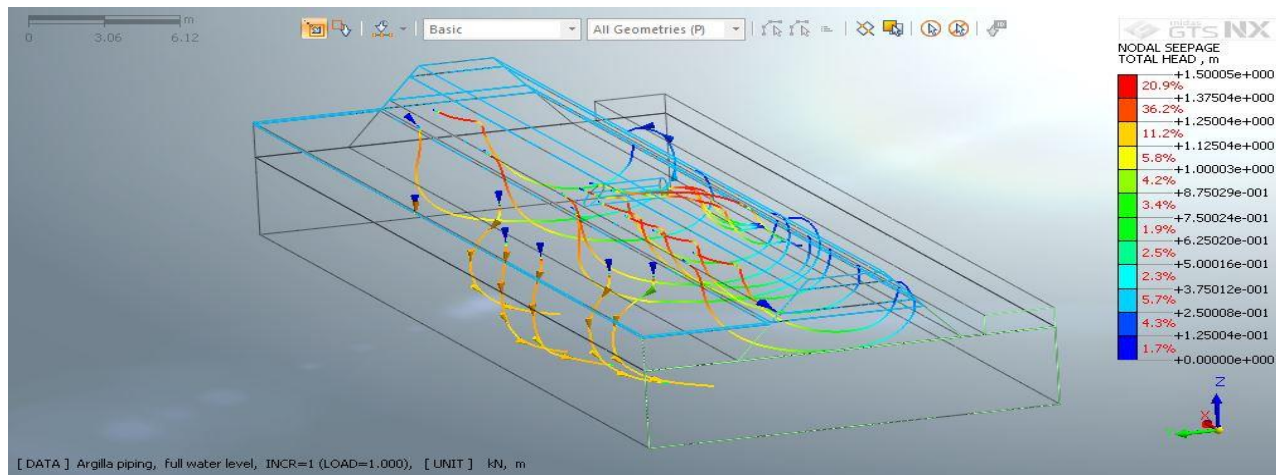
10. Le potenzialità derivanti dall'utilizzo dei dati di monitoraggio per un'analisi di filtrazione e stabilità

- *Caso 1*: Analisi di filtrazione senza la modellizzazione delle zona di *piping*



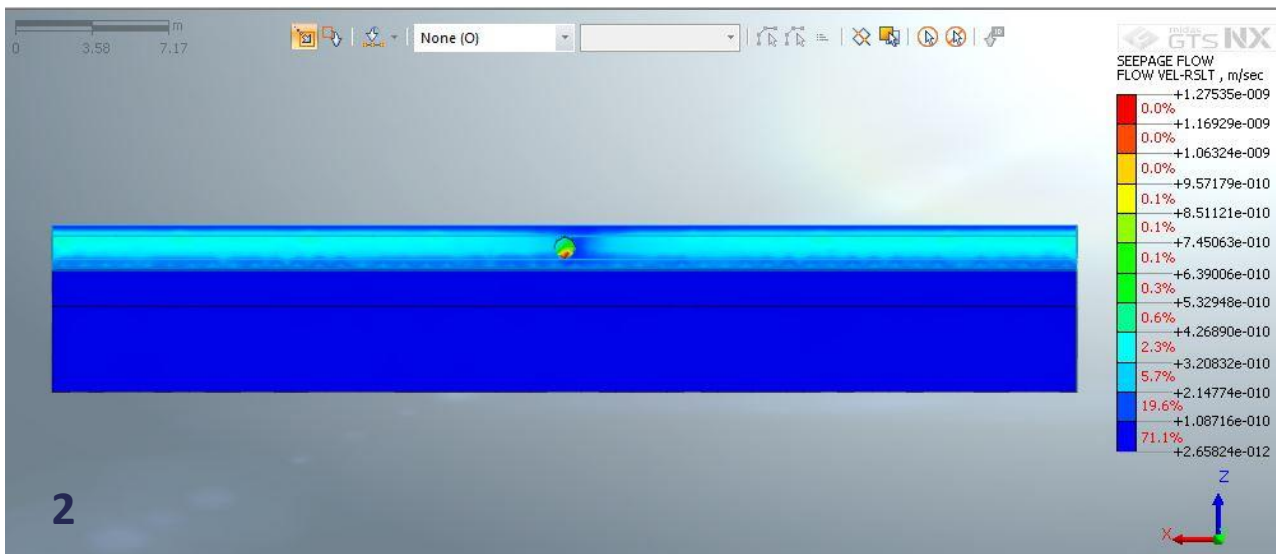
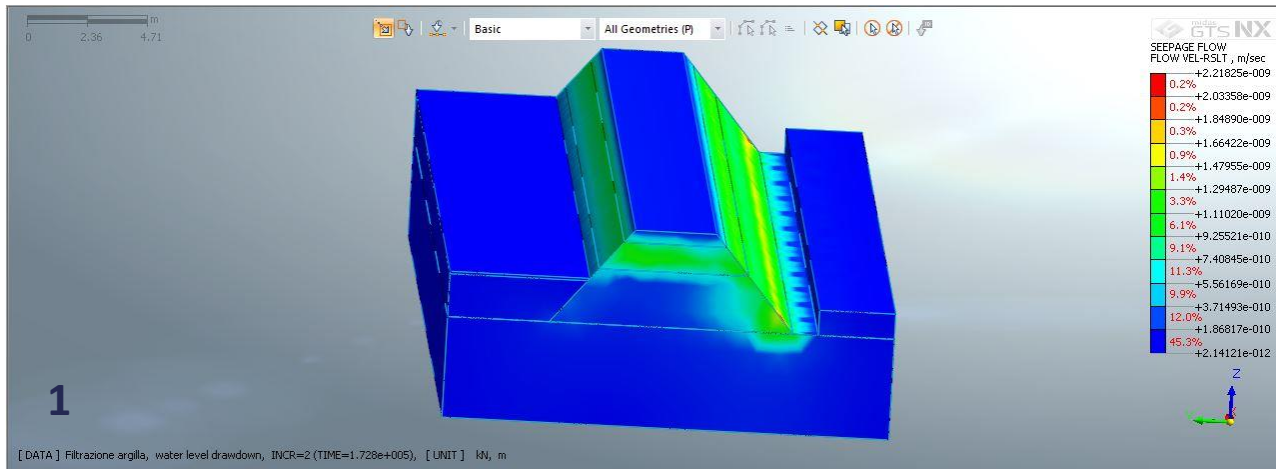
10. Le potenzialità derivanti dall'utilizzo dei dati di monitoraggio per un'analisi di filtrazione e stabilità

- *Caso 2*: Introduzione nella modellizzazione della zona di *piping*



10. Le potenzialità derivanti dall'utilizzo dei dati di monitoraggio per un'analisi di filtrazione e stabilità

Velocità di filtrazione



Conclusioni

- Adeguatezza della metodologia geoelettrica per lo scopo
- Efficienza energetica, costo contenuto e risultati affidabili del prototipo
- Possibilità di comprendere le dinamiche di filtrazione nel rilevato ma necessità di ulteriori dati
- Differente influenza delle precipitazioni con la profondità in funzione del livello del canale
- Influenza della temperatura trascurabile
- Ottenimento di una relazione per conversione resistività/contenuto d'acqua in maniera empirica grazie ai dati di un carotaggio
- Miglioramento della modellizzazione in analisi di filtrazione e stabilità e risultati più affidabili utilizzando i dati di monitoraggio

Applicabilità

- Monitoraggio di zone ad alto rischio (pericolosità, esposizione, vulnerabilità)
- Implementazione di una rete di «punti a rischio»
- Monitoraggio da parte di PA e PC
- Determinazione delle priorità di intervento durante eventi straordinari o per la manutenzione

Sviluppi futuri

- Analisi di filtrazione e stabilità con dati da analisi geotecniche del terreno in sito
- Confronto tra il contenuto d'acqua calcolato dai software di simulazione e ottenuto con la relazione empirica
- Esecuzione di prove di laboratorio di rottura arginale
- Definizione di soglie di stabilità connesse a situazioni di contenuto d'acqua



POLITECNICO
MILANO 1863

Descrizione di Tech-Levee-Watch, progetto finanziato da Fondazione Cariplo



fondazione
cariplo



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA E REGGIO EMILIA

20 giugno 2017
Politecnico di Milano

Ricerca dedicata al dissesto idrogeologico: un contributo per la previsione, la prevenzione e la mitigazione del rischio



*Tech Levee Watch
Integrated technologies
for diagnostic and
monitoring of levees and
flood prevention*

- Valutazione della vulnerabilità arginale
- Introduzione di una procedura oggettiva di controllo
- Utilizzo sinergico di nuove tecnologie geofisiche
- Generazione di allerte per la popolazione
- Previsione e prevenzione del rischio idrogeologico

Tech Levee Watch

1. Fast Scanning

1.1 *Metodologia Radar e Elettromagnetica mobile*

1.2 *Ispezione su larga scala*

1.3 *Identificazione siti critici*

2. Monitoraggio Permanente

2.2 *Installazione nei siti critici*

2.3 *Controllo in tempo reale*

3. Scenari e Soglie

3.1 *Calibrazione curva resistività/contenuto d'acqua*

3.2 *Esperimenti di laboratorio*

3.3 *Definizione soglie di pericolosità*

4. Allarme

4.1 *Per autorità e popolazione*

4.2 *Priorità di intervento*

4.3 *Previsione e prevenzione del rischio idrogeologico*

2.1 *Metodologia geoelettrica*

Ringraziamenti



fondazione
c a r i p l o

