



Interpretazione dei risultati del monitoraggio di un argine dell'Adige in Provincia di Bolzano

Paolo Simonini, Simonetta Cola, Veronica Girardi, Fabio De Polo

Convegno Ecomondo - AGI

**Monitoraggio geotecnico delle opere per la difesa del territorio e la
tutela dell' ambiente**

Rimini, 3 Novembre 2020

CONTENUTI



- Motivazioni
- Obiettivo
- Il sito di indagine
- Caratterizzazione geofisica
- Indagini geotecniche
- Strumentazione per il monitoraggio
- Interpretazione dell'evento di piena ad ottobre 2018
- Conclusioni



MOTIVAZIONE PRINCIPALE: valutare e controllare il livello di sicurezza di argini fluviali

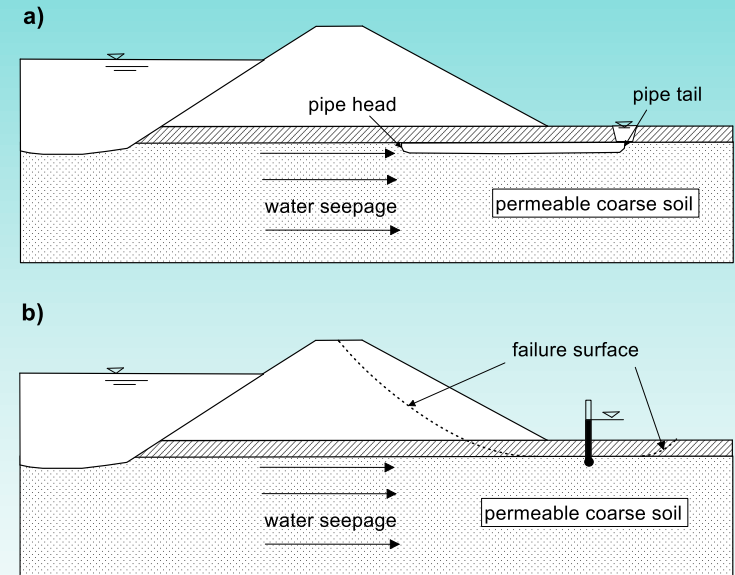
La sicurezza valutata rispetto a due specifici meccanismi di instabilità:

A) *erosione retrogressiva interna*

B) *instabilità globale per sollevamento al piede*

PROBLEMI:

- Forte dipendenza dalle eterogeneità locali
- Difficoltà sperimentali e nella modellazione numerica
- **Difficoltà nell' identificare con metodologie di controllo usuali (sopralluoghi)**
- Identificazione con strumenti di monitoraggio classici (es. piezometri) richiede costi eccessivi in relazione all'estensione del tratto da monitorare





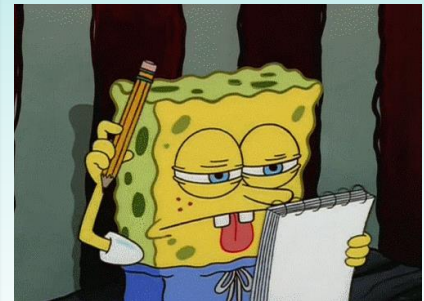
Obiettivo

Testare le potenzialità di un sistema di monitoraggio con fibra ottica nell'identificare l'insorgenza di piping o sollevamento al piede arginale

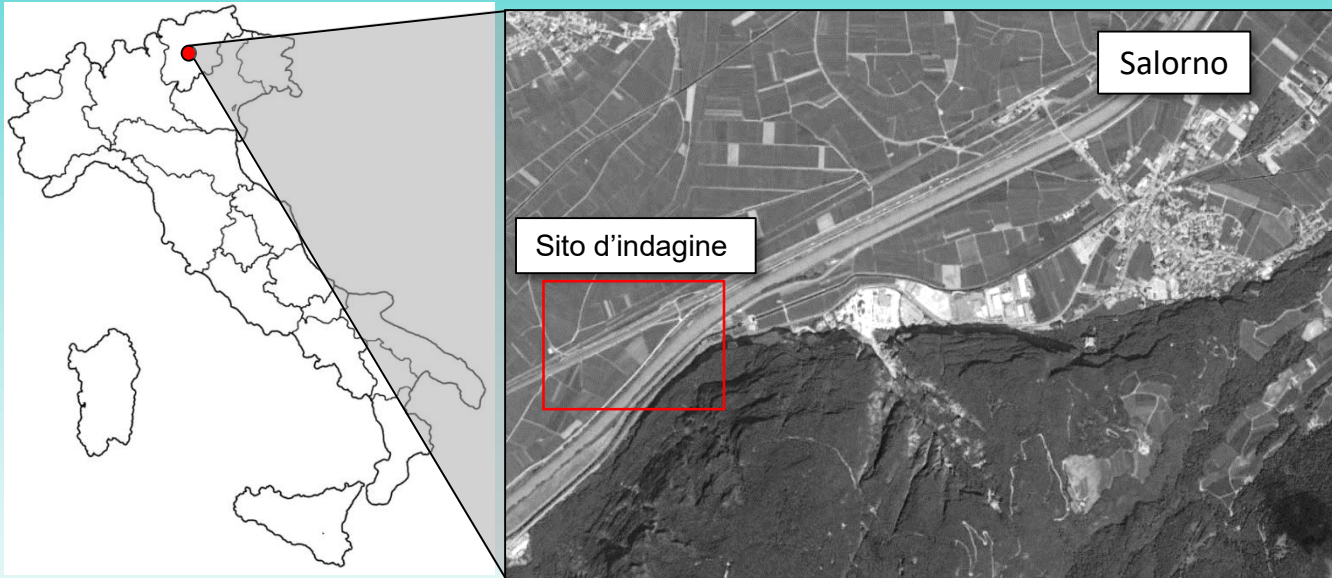


Aspetti della progettazione ottimale di un sistema di monitoraggio

- Affidabilità
- Economicità
- Installazione senza pregiudicare la sicurezza dell'opera
- Riscontro con le caratteristiche delle strutture del sottosuolo in sito, ricavate mediante tecniche di caratterizzazione tradizionale (affidabili)



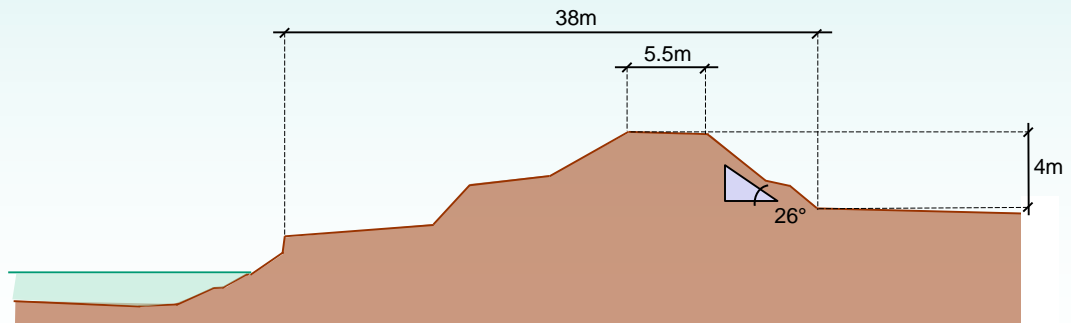
IL SITO DI INDAGINE



Argine in affiancamento
all'autostrada



> RISCHIO



Sezione tipo dell'argine a Salorno

IL SITO DI INDAGINE

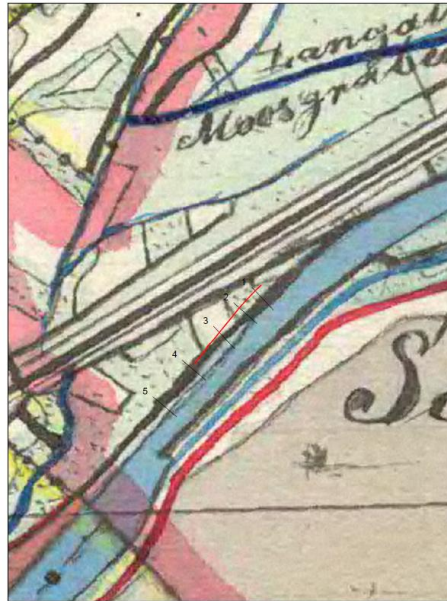
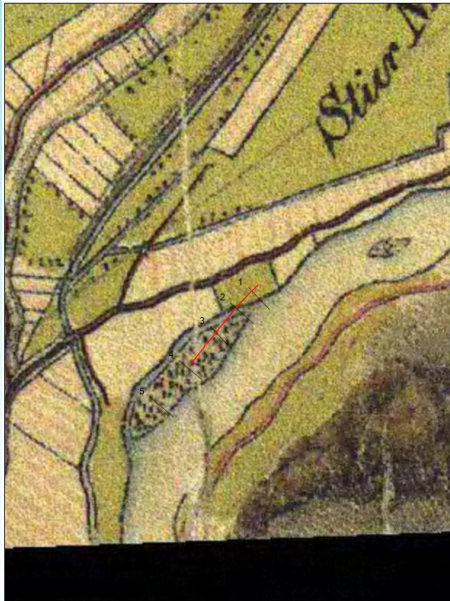


1820

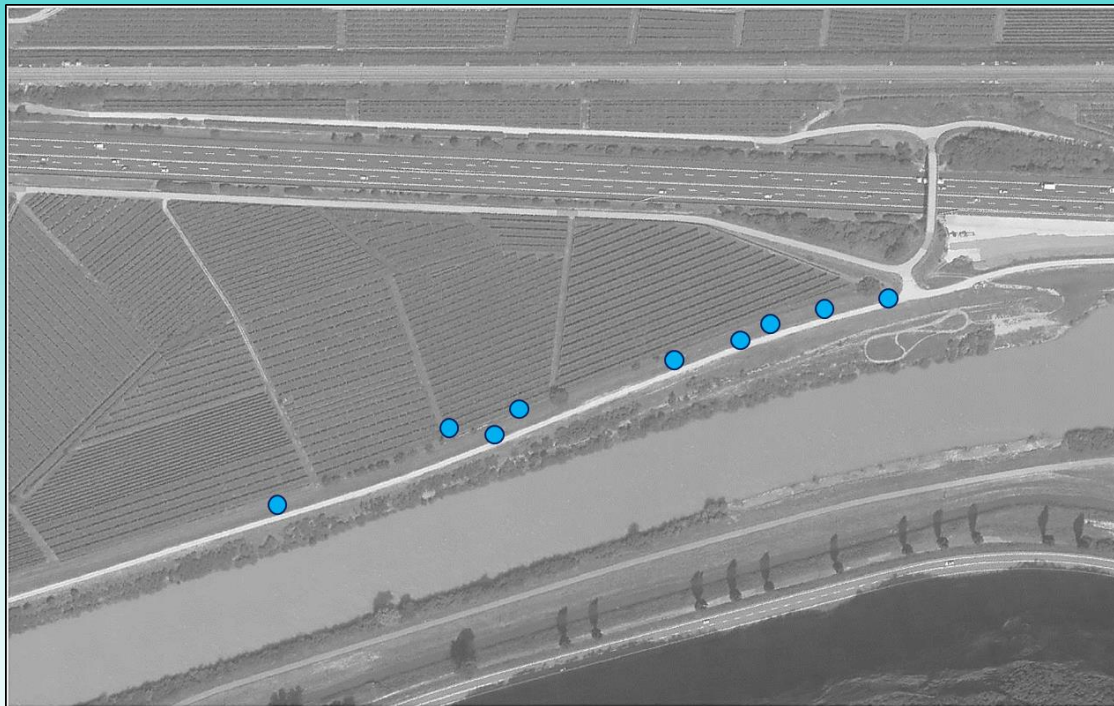
1856

Catasto storico
(circa 1883)

OGGI



IL SITO DI INDAGINE



Argine costruito su
un preesistente
paleoalveo



> **RISCHIO**



Confermato dalla
presenza di
fontanazzi storici



Nel 1998: realizzazione
di un diaframma in jet-
grouting di L=10m

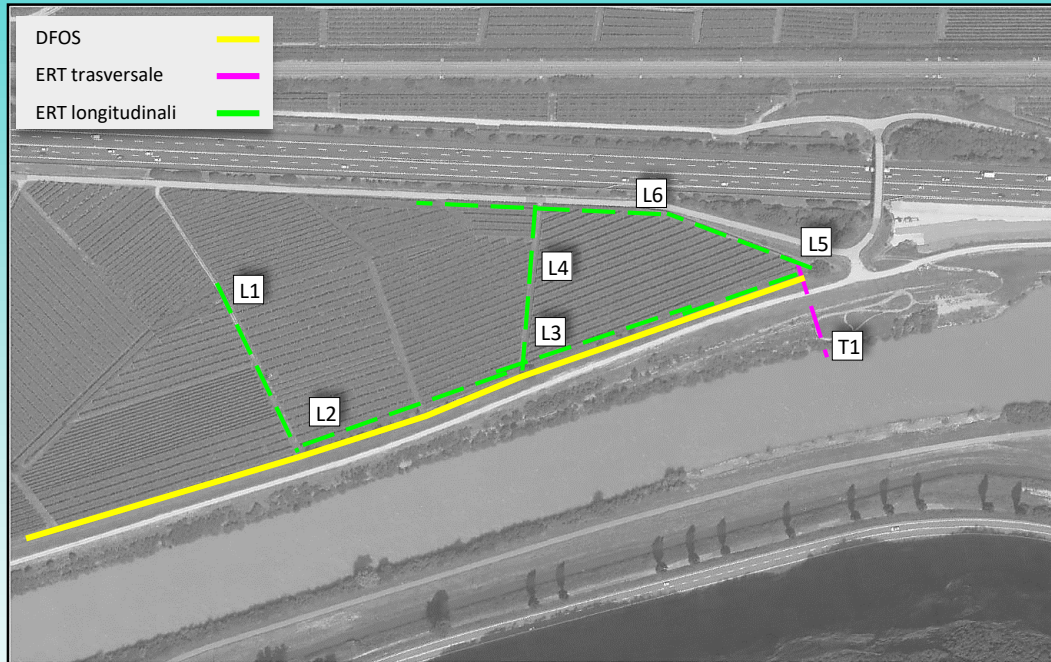


Tuttavia, il problema dei fontanazzi persiste



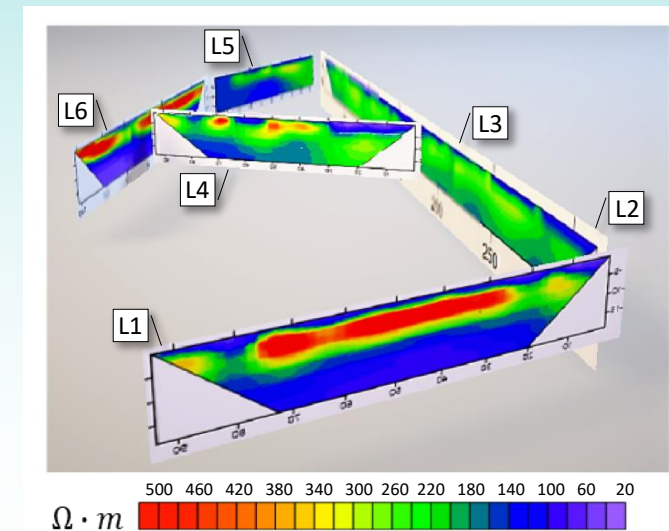
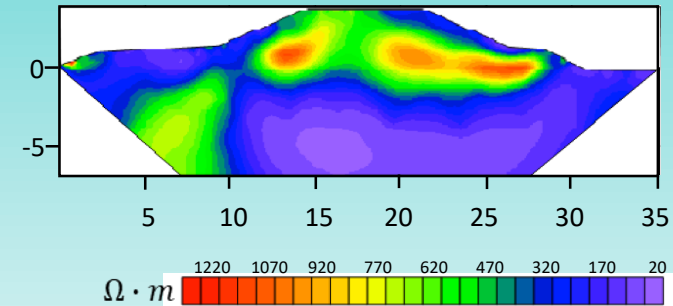
Per strutturare il sistema di monitoraggio e interpretarne i dati si rende necessaria una caratterizzazione del sito mediante indagini:

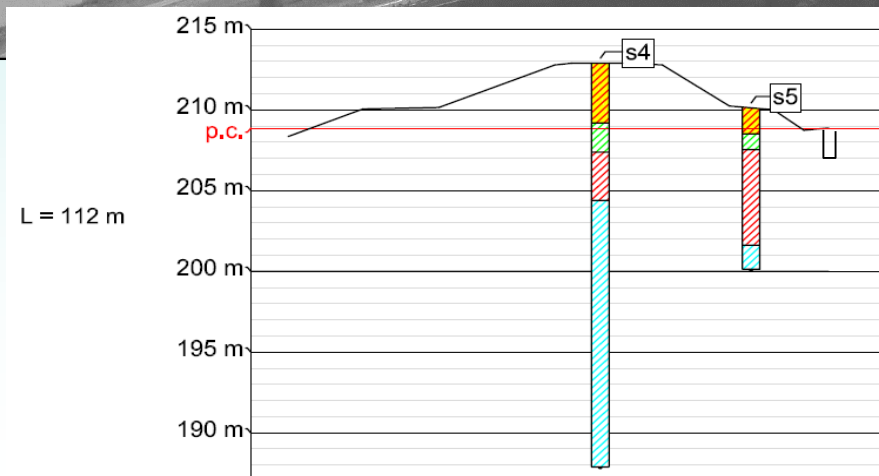
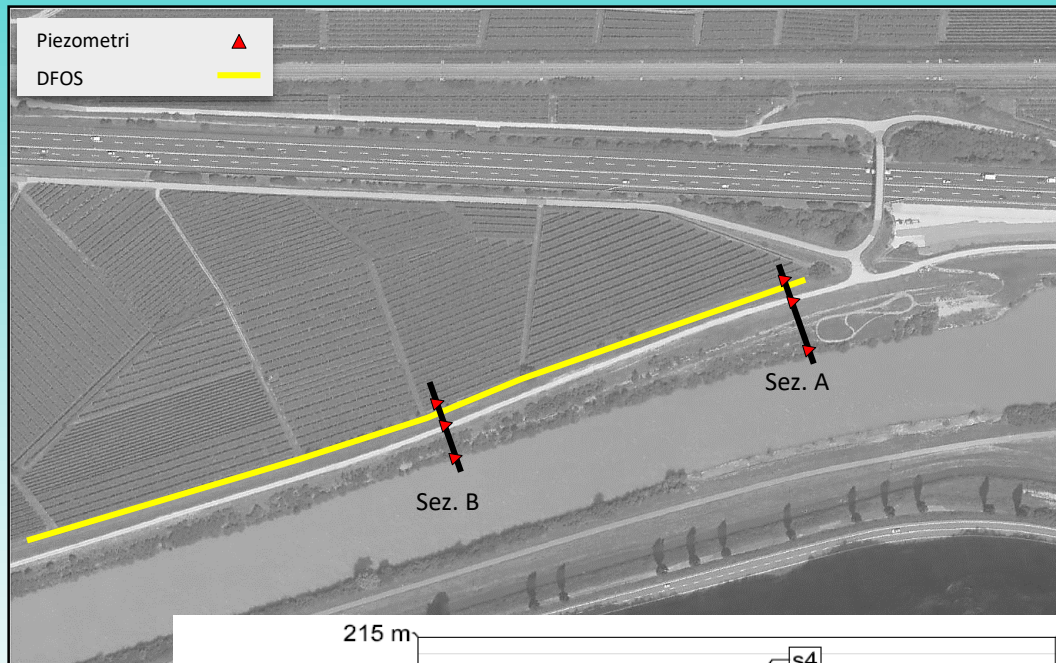
- **Geofisiche**
- **Geotecniche**



ERT trasversali e longitudinali, georesistivimetro a 48 o 72 canali, distanza interelettrodo range 0.75/ 2m.

- Etereogeneità spaziale delle formazioni
- Depositi di paleo-canali a maggiore resistività → **Lenti di ghiaia**



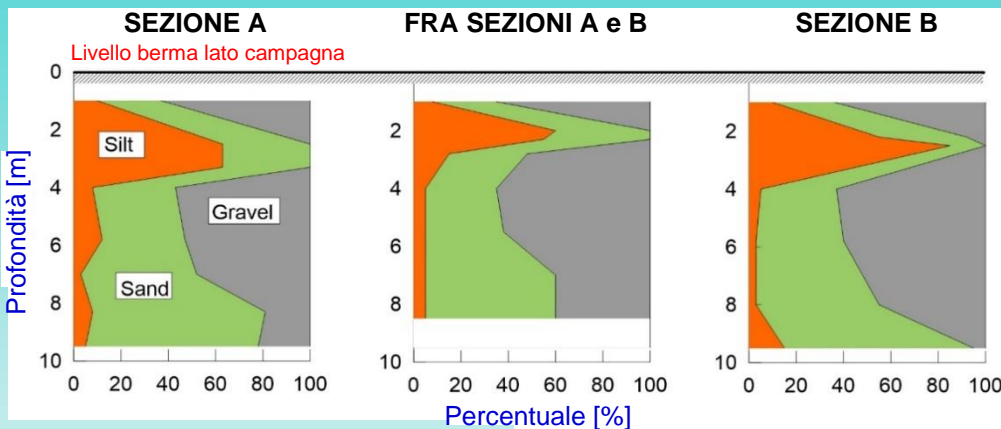


- Sondaggi da testa argine e dalla berma lato campagna
- Campioni disturbati in fase di scavo della trincea per la fibra

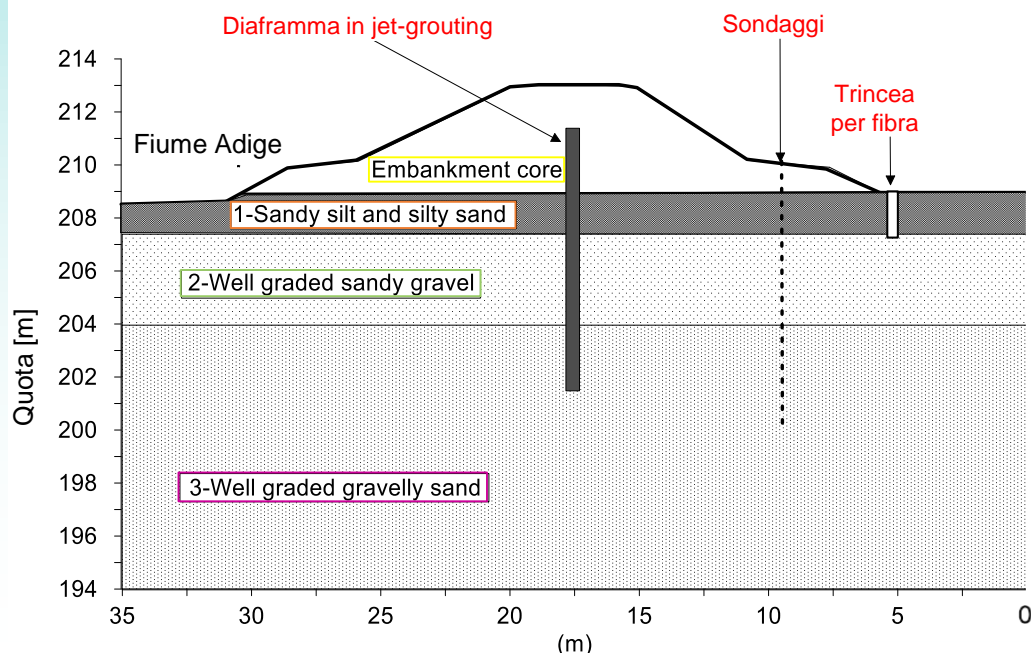
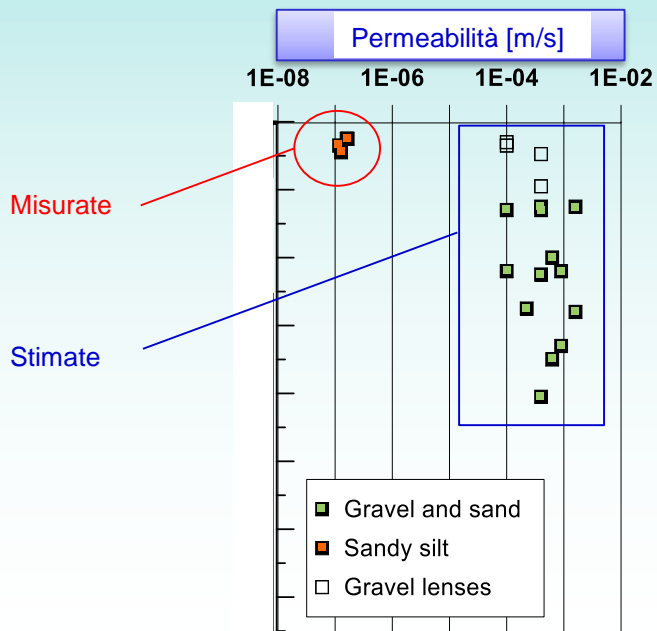


- Caratterizzazione completa (granulometria e limiti di Atterberg)
- Permeabilità in laboratorio con pompa di flusso e stimata dalla granulometria

INDAGINI GEOTECNICHE

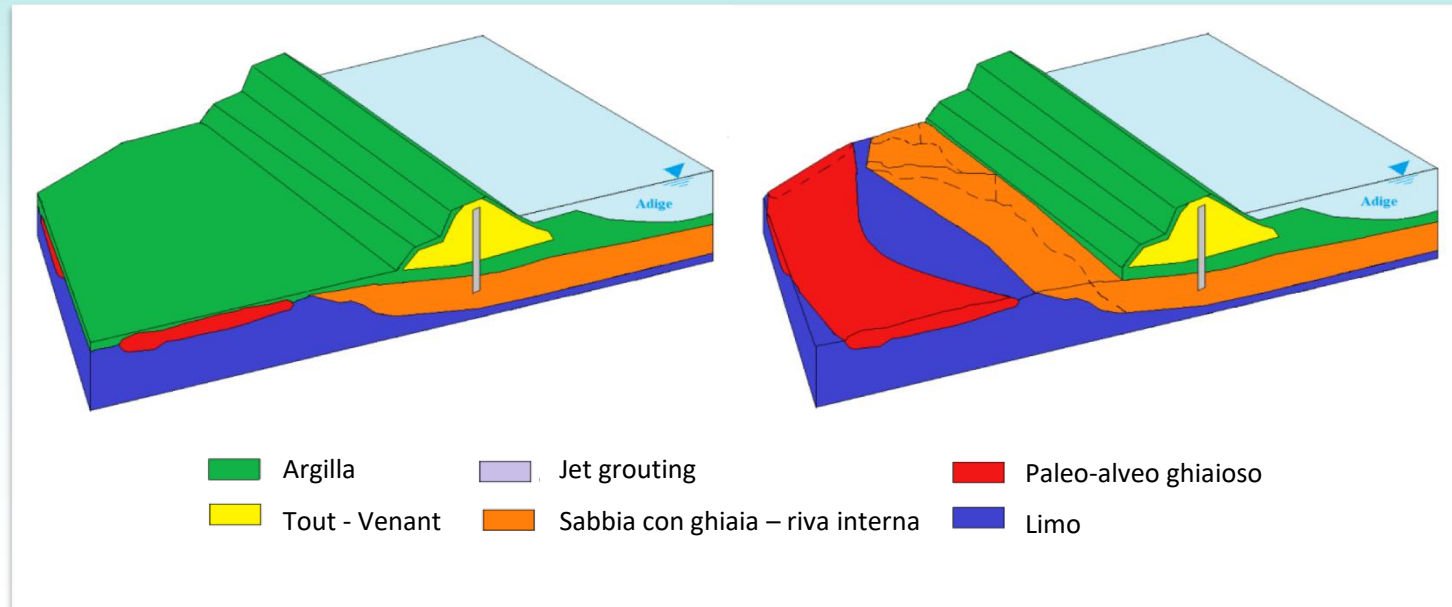


Limiti di Atterberg
 passante 200 ASTM:
 LL=36%
 PI=4%.





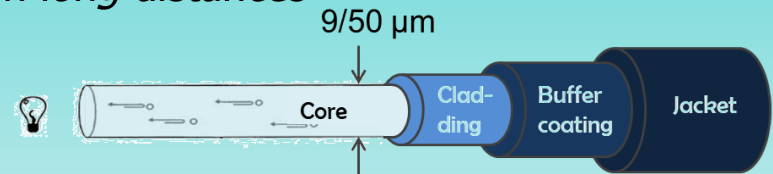
Attraverso i risultati delle indagini viene costruito un Modello geotecnico 3D dell'argine



STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO



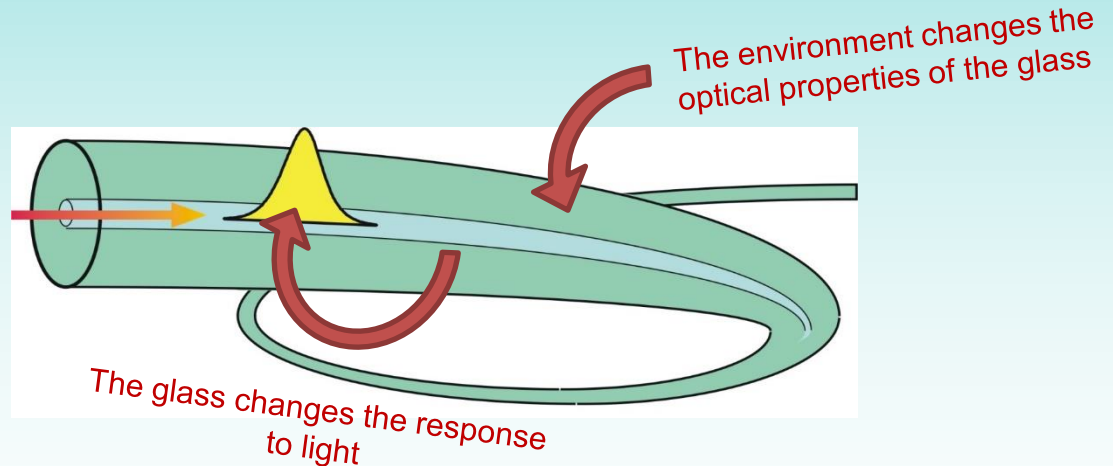
An optical fiber is a guide to transmit light signals on long distances



Le deformazioni meccaniche e/o **termiche** della fibra inducono modificazioni locali delle proprietà ottiche della fibra

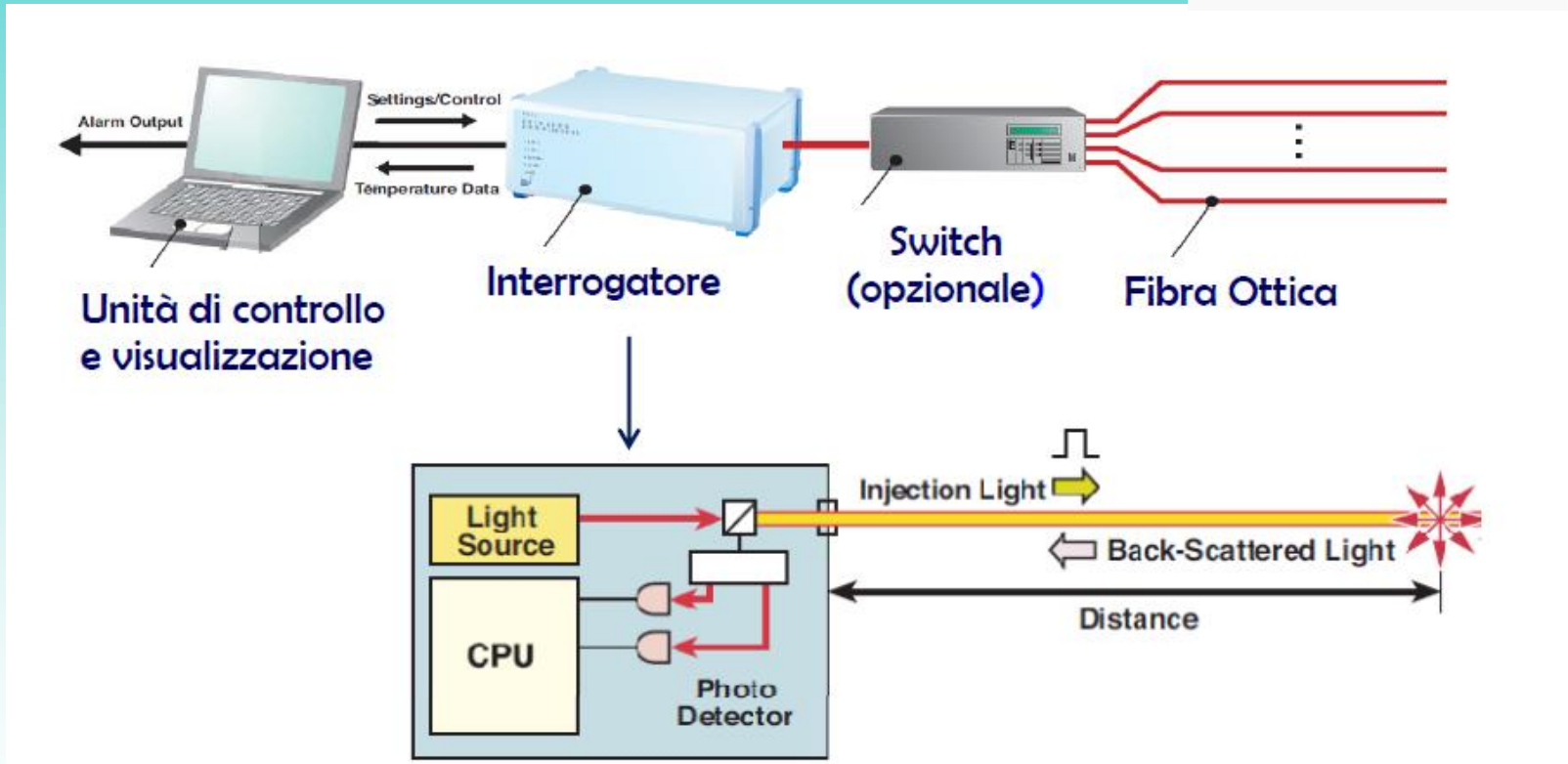


La fibra è il **sensore** stesso



Con una singola fibra è possibile monitorare tratti di lunghezza chilometrica con una risoluzione spaziale di 0.5-2m e una precisione di 0.1-0.5°C

STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO



Il sistema di misura è l'interrogatore, composto da un laser che invia l'impulso luminoso alla fibra, e da un'unità di lettura che analizza il segnale retrodiffuso determinando il punto da cui proviene la riflessione, ricotruendo così il profilo longitudinale della temperature o della deformazione.

STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO



La misura di **temperatura** consente misure indirette/qualitative del **flusso di filtrazione** (in terreni saturi)

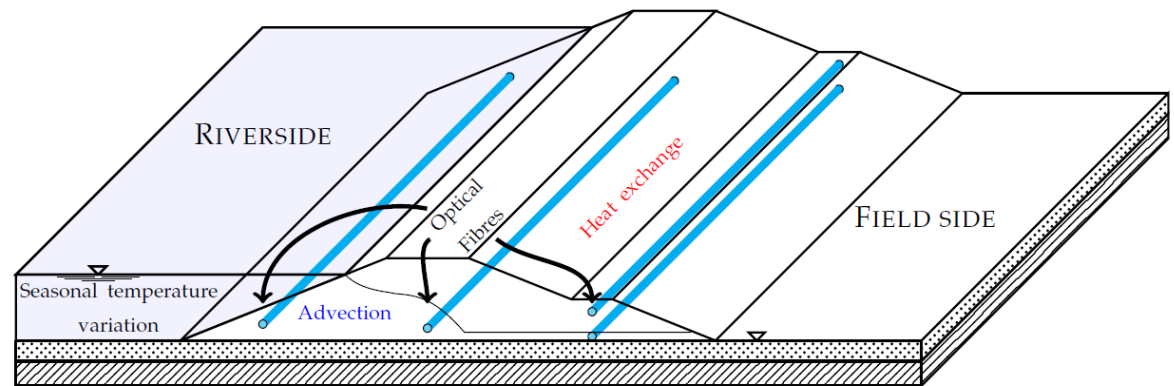
??



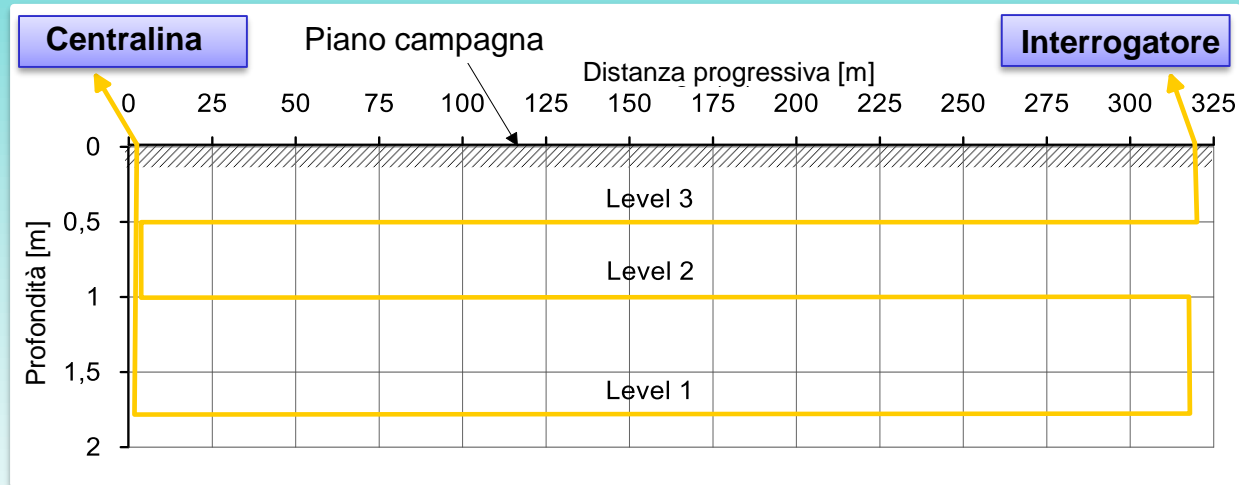
Principio di base

In condizioni di flusso di filtrazione normale le fluttuazioni di temperatura sono controllate dalla conduzione di calore dall'aria al terreno.

Viceversa, se il flusso di filtrazione è alterato, gli incrementi di temperatura corrispondono a fenomeni di avvezione del flusso dal fiume.



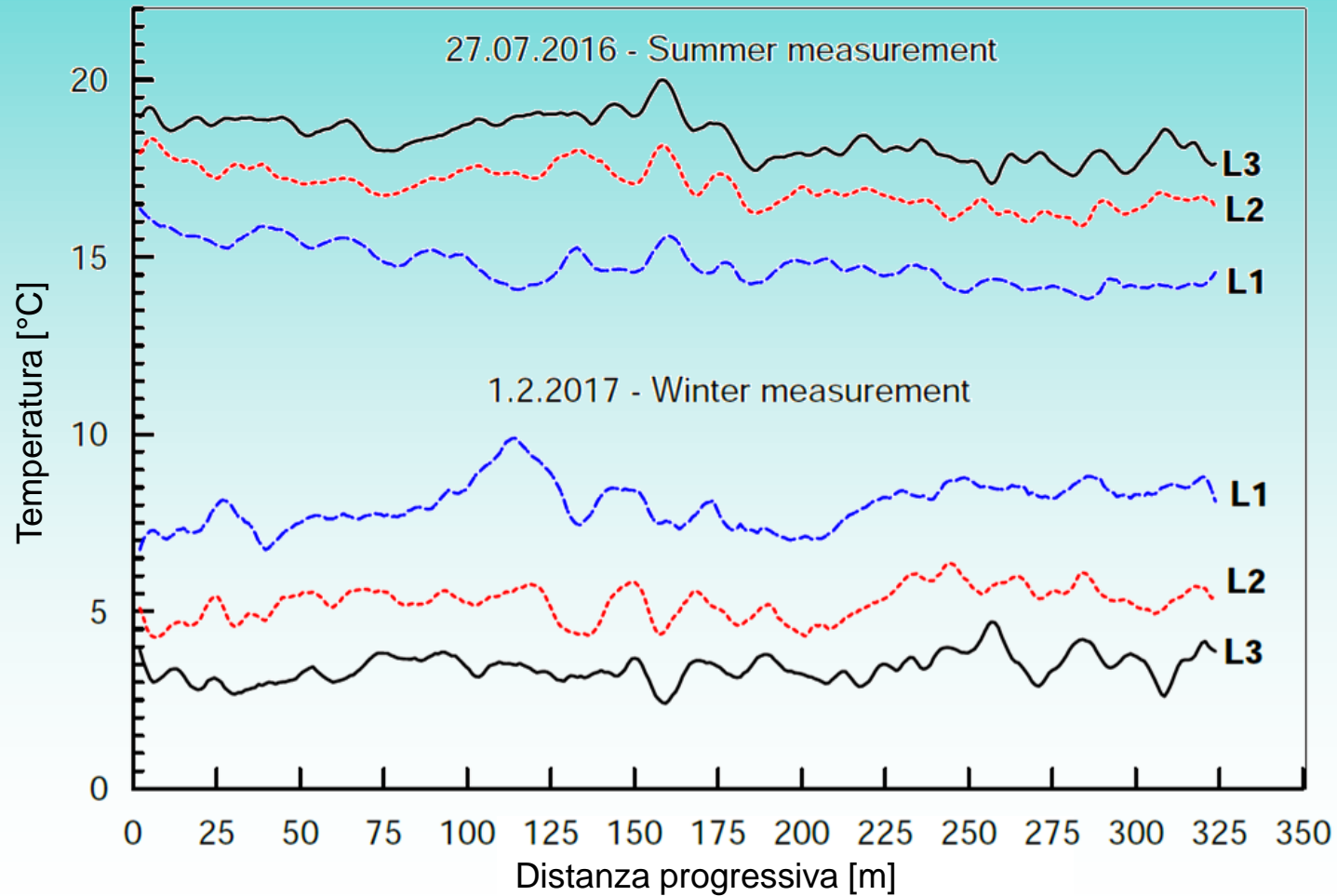
STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO



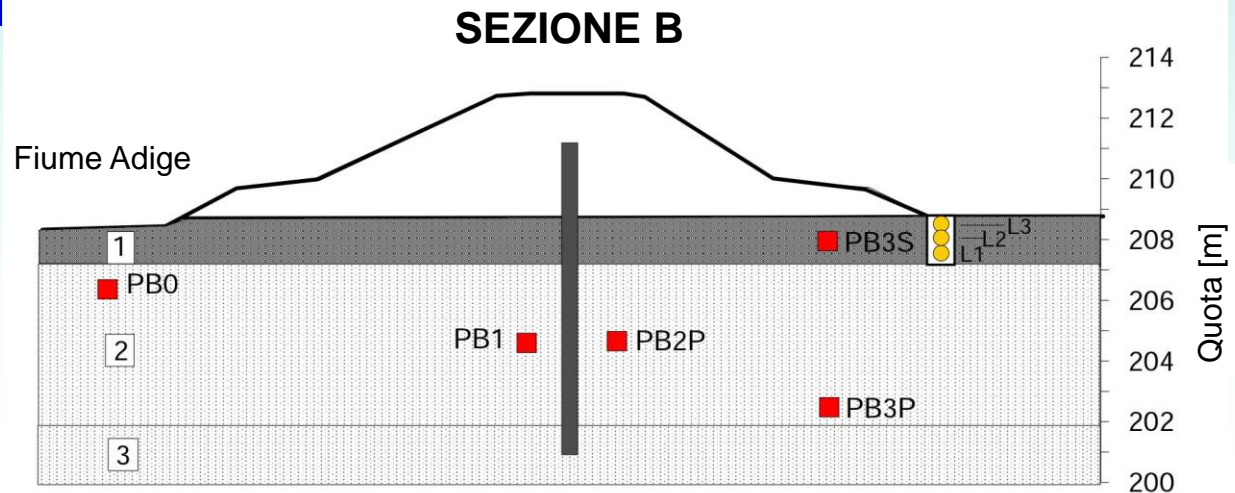
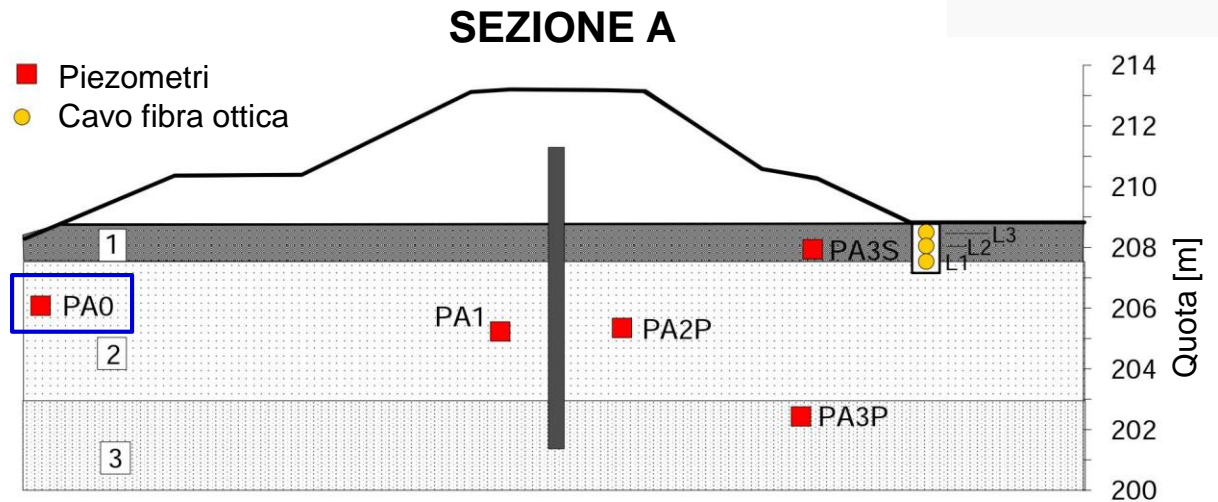
- Fibra posata in una trincea di circa 350m
- 3 livelli interspaziati verticalmente di 50cm
- Posa in opera minimizzando il livello di disturbo



ESEMPIO LETTURE IN DIVERSE STAGIONI



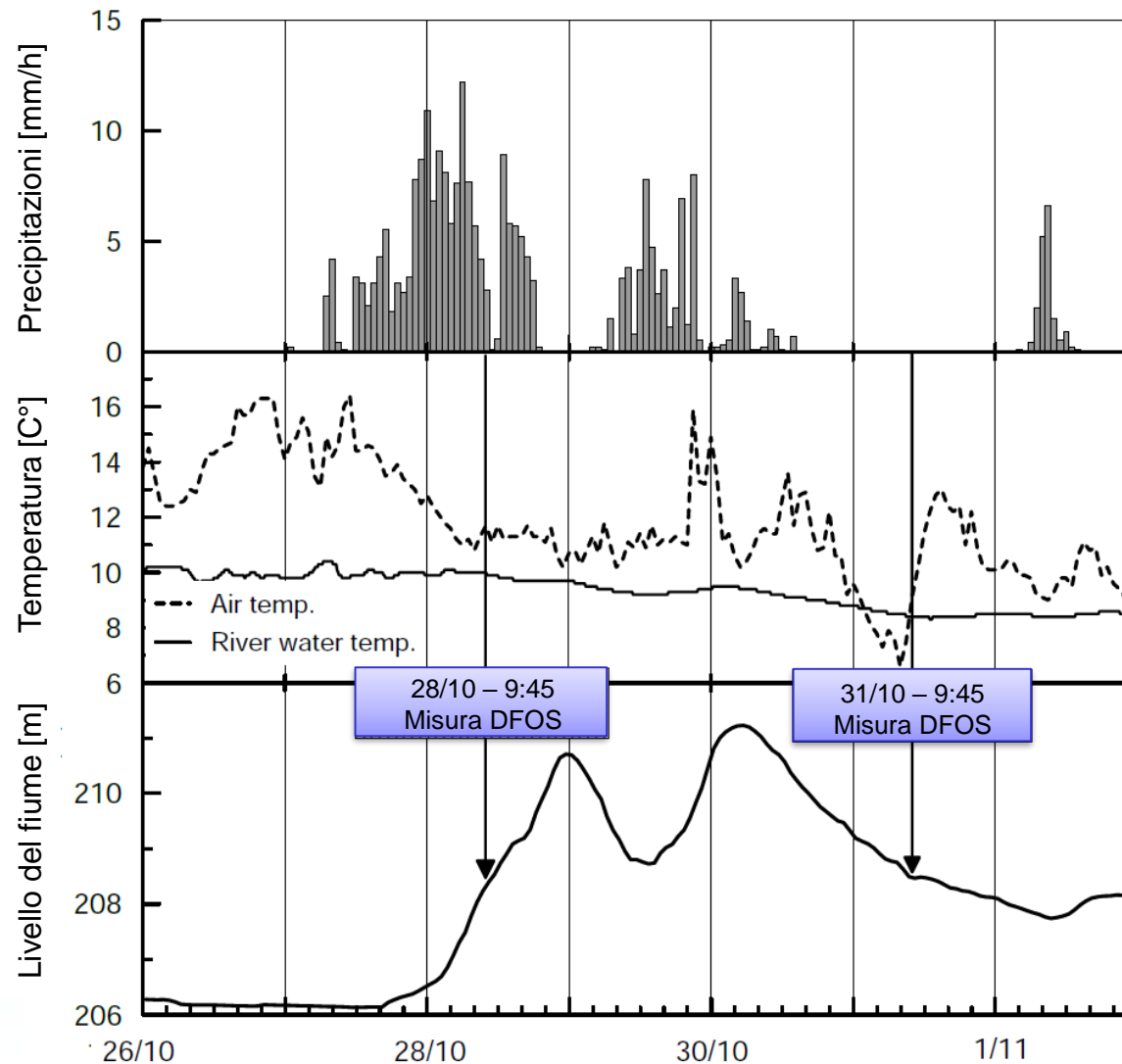
STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO



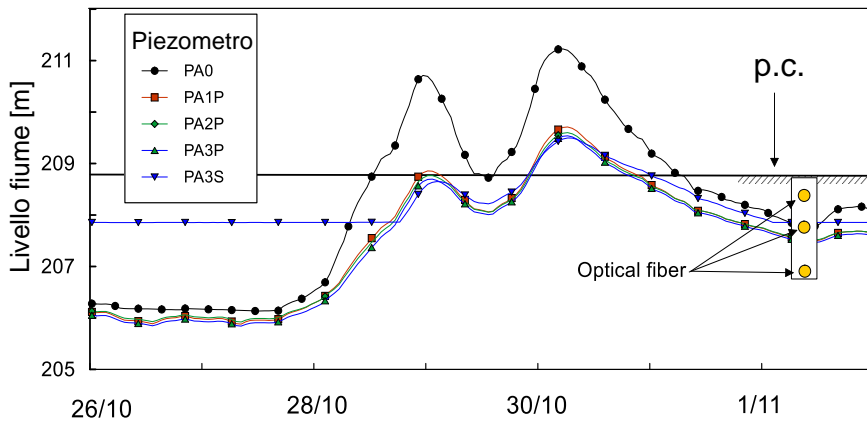
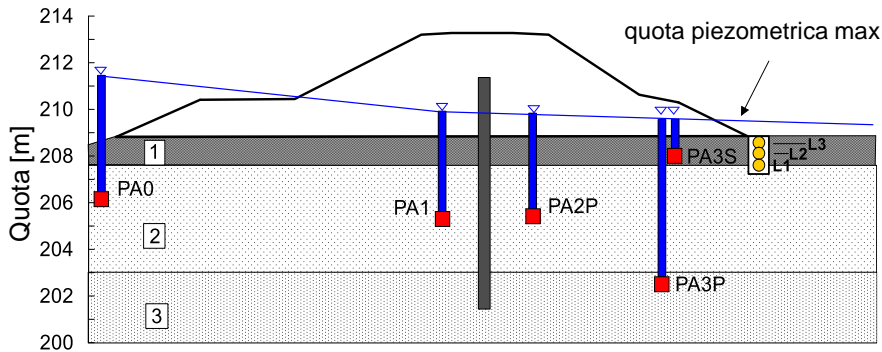
La tempesta Vaia, 26-30 ottobre 2018, e l'evento di piena conseguente



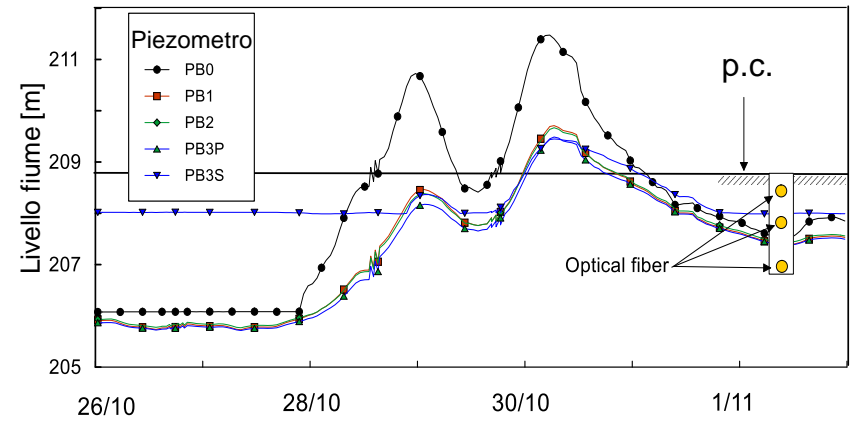
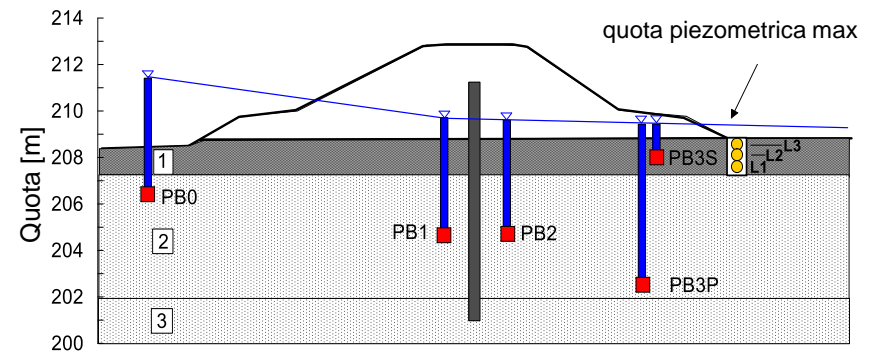
INTERPRETAZIONE DELL' EVENTO DI PIENA



SEZIONE A

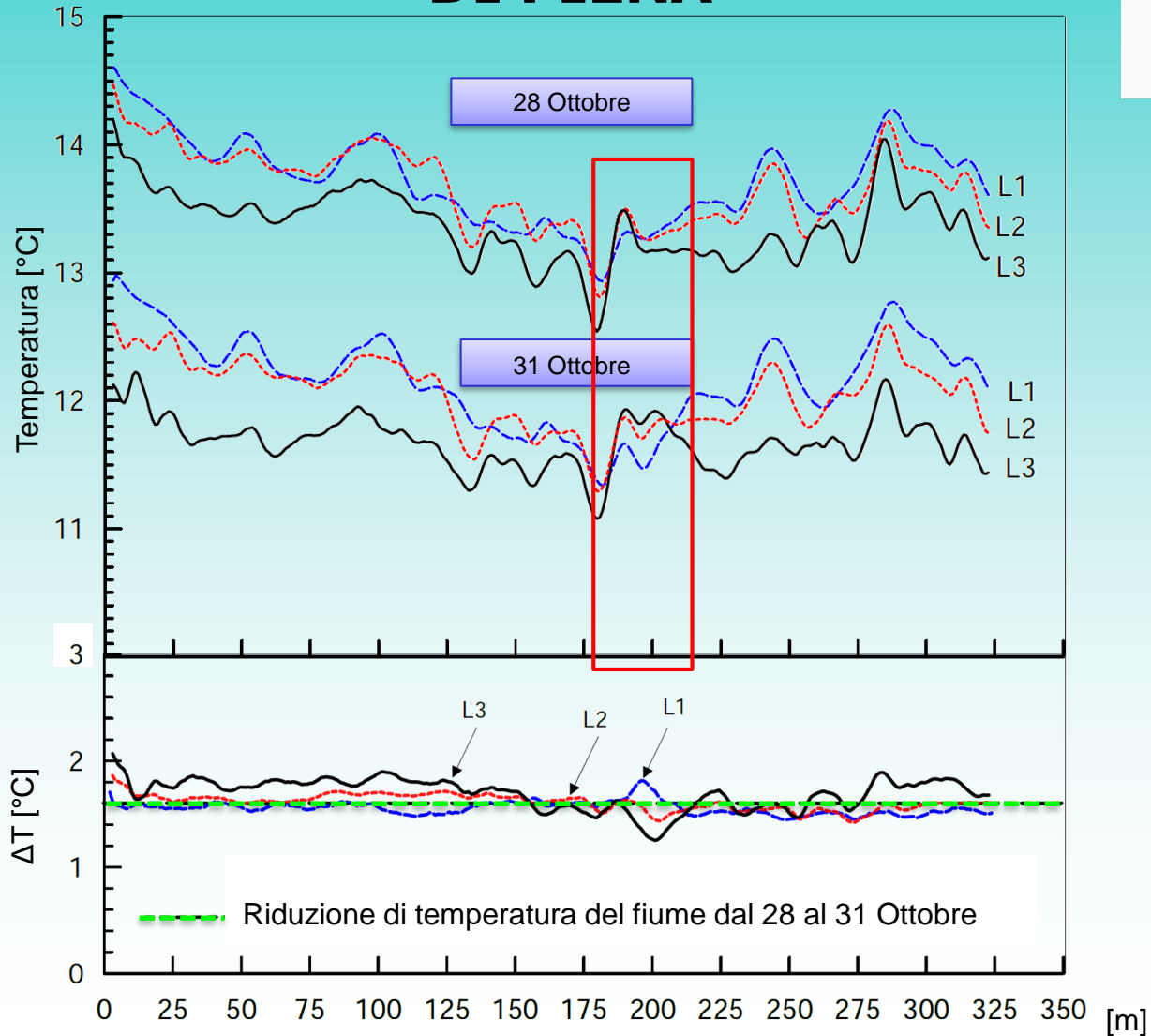


SEZIONE B

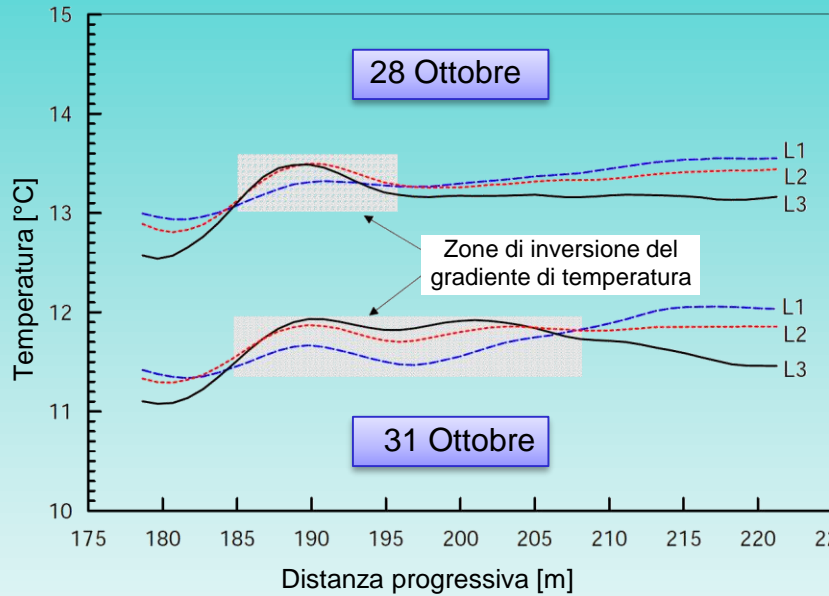


Le quote piezometriche confermano condizioni favorevoli ai fenomeni di piping ed erosione retrogressiva.

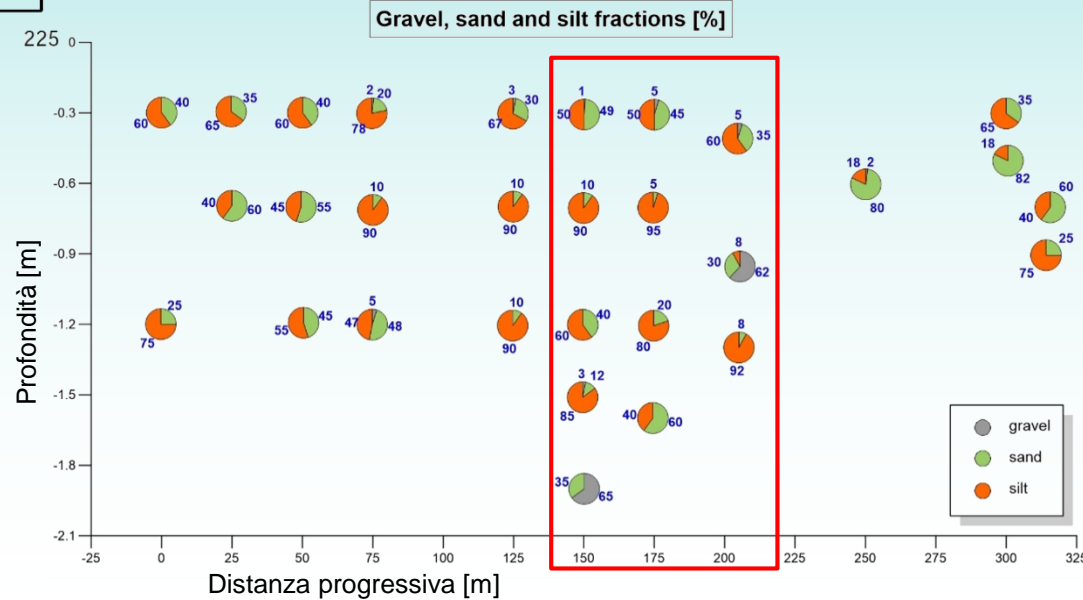
INTERPRETAZIONE DELL' EVENTO DI PIENA



INTERPRETAZIONE DELL' EVENTO DI PIENA



Inversione di temperatura ascrivibile a zone di flusso preferenziale, in corrispondenza di lenti di materiale ghiaioso





CONCLUSIONI

- Le caratteristiche principali della progettazione e messa in opera di un sistema di monitoraggio arginale con fibre ottiche sono state presentate e discusse in dettaglio
- I benefici di tale sistema risiedono nella possibilità di monitorare tratti estesi con costi ridotti e con il minore impatto in fase di installazione
- L'efficienza del sistema è stata valutata considerando un evento di doppia piena recente; i relativi effetti hanno messo in luce due aspetti principali:
 - a) il livello della fibra inferiore mostra una riduzione di temperatura nello stesso range del fiume: ciò indica che il flusso di filtrazione nella fondazione, indotto dalla differenza di carico idraulico monte-valle, ha sostituito l'acqua che risiedeva in precedenza nel terreno, caratterizzata da temperatura maggiore;
 - b) alterazioni locali (inversione) dei valori di temperatura, considerando i tre livelli della fibra, evidenziano una diretta corrispondenza fra le formazioni ghiaiose e la risposta della fibra ottica nei pressi delle stesse. L'identificazione di un flusso localizzato, «spia» della potenziale insorgenza del meccanismo di erosione interna, è correttamente svolta dalla fibra.

Il sistema di monitoraggio attualmente in opera potrà essere implementato con la funzionalità di allerta in tempo reale, e costantemente utilizzato per valutare lo stato del danno e dell'evoluzione del danno nel tempo (Structural Health Monitoring)



BIBLIOGRAFIA

- Amabile, A., Pozzato, A. & Tarantino, A. (2020). Instability of flood embankments due to pore water pressure build-up at the toe: lesson 2 learned from the Adige river case study. *Canadian Geotechnical Journal*, in press.
- Beck Y.-L., Khan A. A., Cunat P., Guidoux C., Artières O., Mars J., Fry J.J. (2010). Thermal monitoring of embankment dams by fiber optics. *Proc. 8th ICOLD European Club Symposium on dam safety*, Innsbruck, Austria; September 22-23, 2010
- Bersan, S. (2015). “Piping detection in dike foundations by distributed temperature sensing: Understanding the development of thermal anomalies.” Ph.D. thesis, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Univ. of Padova.
- Bossi G., Bersan S. , Cola S., Schenato L., De Polo F., Menegazzo C., Boaga J., Cassiani G., Donini F., Simonini P. (2018). Multidisciplinary analysis and modelling of a river embankment affected by piping. 26th Annual Meeting of European Working Group on Internal Erosion. Milano, 10-13 September 2018.
- Busato, L., Boaga, J., Peruzzo, L., Himi, M., Cola, S., Bersan, S., Cassiani, G. (2016). Combined geophysical surveys for the characterization of a reconstructed river embankment. *Engineering Geology*. 211: 74-84, doi:10.1016/j.enggeo.2016.06.023.
- Inaudi D., Cottone I. and Figini, A. (2013). *Monitoring Dams and Levees with Distributed Optic Sensing*. The 6th International
- Schenato L (2017). A Review of Distributed Fibre Optic Sensors for Geo-Hydrological Applications. *Appl. Sci.*, 7(9), 896; doi:10.3390/app7090896.
- Scorpio, V., Surian, N., Cucato, M., Dai Prá, E., Zolezzi, G., and Comiti, F. (2018). Channel changes of the Adige River (Eastern Italian Alps) over the last 1000 years and identification of the historical fluvial corridor. *JOURNAL OF MAPS*. VOL. 14, NO. 2, 680–691. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1531074>.
- USSD Committee on Levees and USSD Committee on Monitoring of Dams and Their Foundations (2016). *Monitoring of Levees*. ISBN 978-1-884575.
- Zen S, Bogoni M, Zolezzi G, Lanzoni S, Scorpio V. (2016). Modeling the Long-term Planform Evolution of Meandering Rivers in Confined Alluvial Valleys: Etsch-Adige River, NE Italy. *American Geophysical Union, Fall General Assembly 2016*, abstract #EP51A-0855.
- Zhu, P. Y. , Zhou, Y., Thévenaz, L., Jianga, G. L. (2008). Seepage and settlement monitoring for earth embankment dams using fully distributed sensing along optical fibers. *Proc. of SPIE Vol. 7160* 716013-7.

Grazie per l'attenzione!



Veronica.girardi.1@phd.unipd.it