

UTILIZZO DEL TRASDUTTORE NSHT COME INCLINOMETRO "SMART": PRIME APPLICAZIONI DI CAMPO

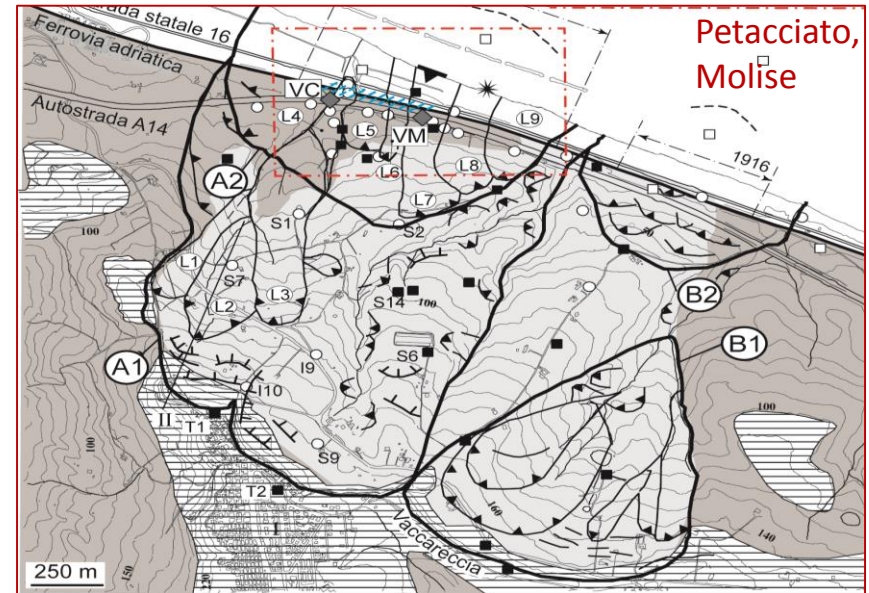
E. Damiano, L. Di Gennaro, M. De Cristofaro, L. Olivares
A. Coscetta, A. Minardo, L. Zeni

Inquadramento della ricerca: obiettivi

Improve the already existing early warning systems for both rapid and slow slope movements

❖ Rainfall-induced flowslide

- high speed of movement
- shallow covers
- lack of warning signs and limited predictability
- high-density distribution



❖ Deep-seated landslide

- great areal extension
- complex movements with different sliding surfaces
- multiple landsliding bodies
- interaction between landslide and engineering works

Esperienze pregresse per monitoraggio di frane rapide

Testing the OF sensors by means of physical modeling



- standard optical fiber single mode (PVC buffer 900 μm thick) embedded into the soil
- BOTDA technique
- comparison with standard monitoring system (laser sensors displacement transducers, PIV technique)

Longitudinal OF strands

(Olivares et al., 2009)

- Far from failure, loose unsaturated deposits exhibit volumetric deformations as a result of suction decrease
- Evidence of cracking appears some minutes before failure

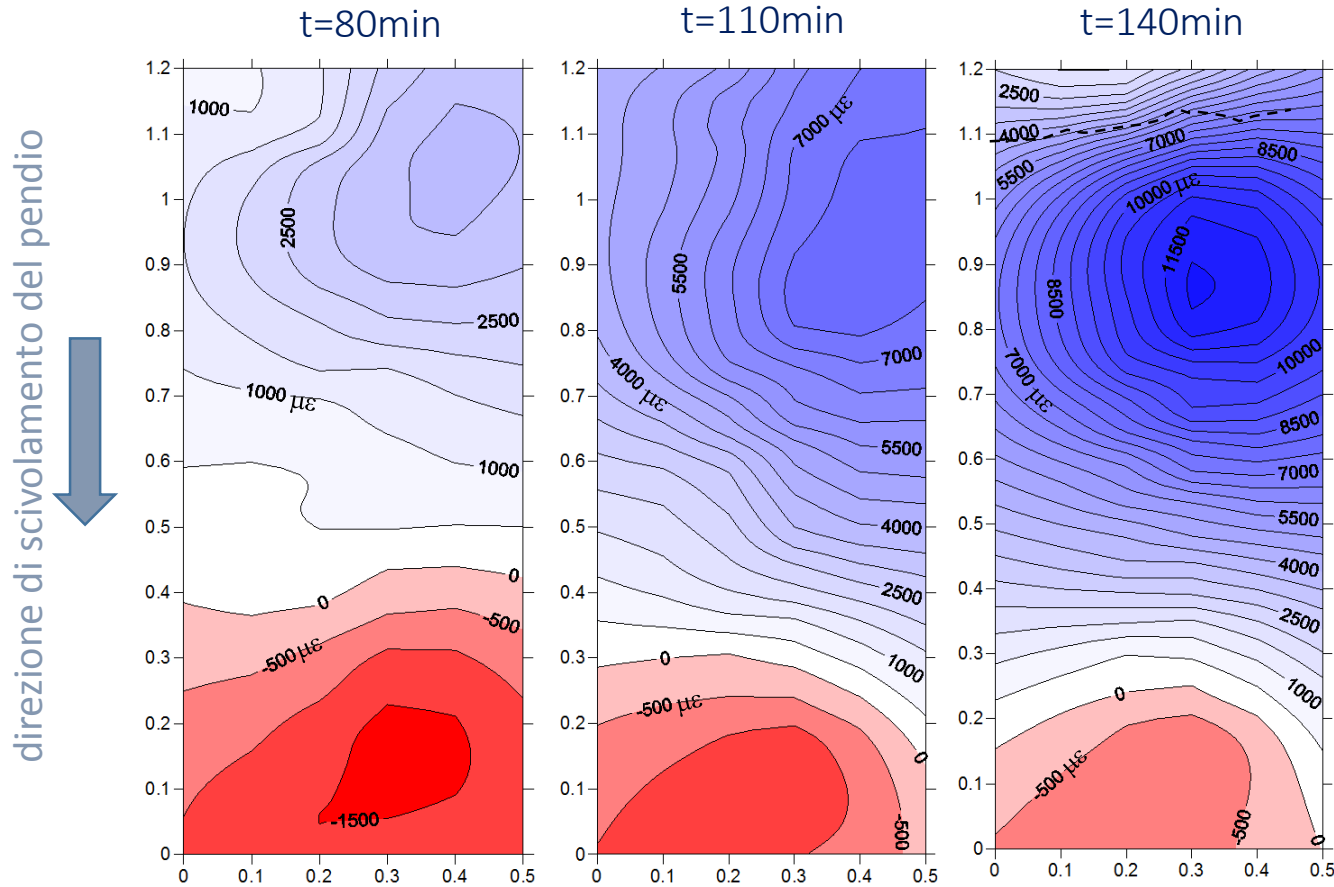


Esperienze pregresse per monitoraggio di frane rapide

❖ Infiltration stage

$n=73\%$; $i = 50\text{mm/h}$; $\alpha = 38^\circ$

*Spatial resolution: $\cong 20\text{ cm}$
Temporal resolution: $\cong 10\text{ min}$*



- The fiber sensor can discriminate between uphill and downhill soil deformations
- The fiber can detect both the generalized deformation process induced by the volumetric soil collapse and local effects due to cracking

(Darban et al., 2018)

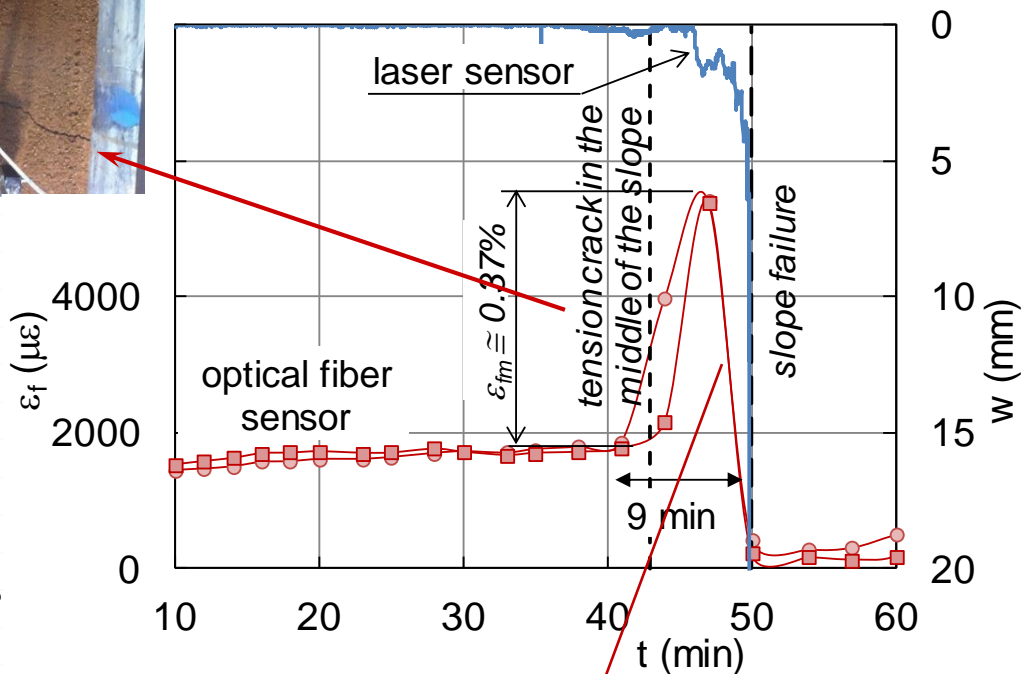
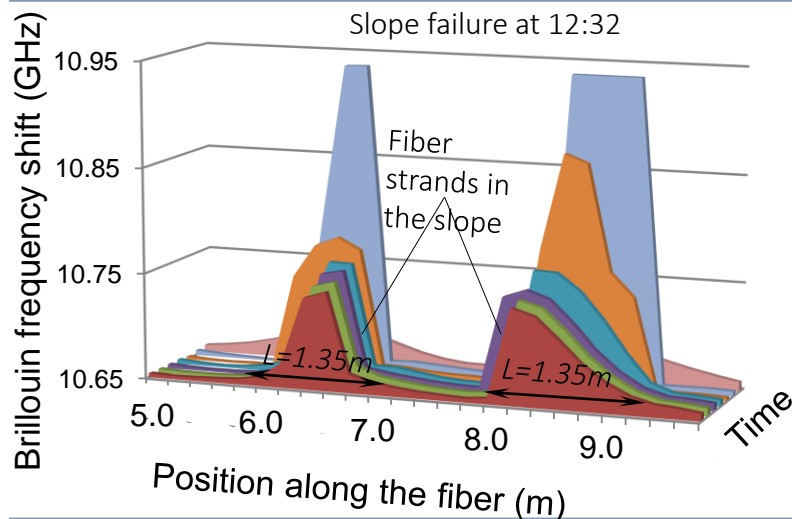
Esperienze pregresse per monitoraggio di frane rapide

❖ Pre-failure and failure stages

- The fiber undergoes a sharp increase in tensile strain due to the formation of a crack normal to the slope direction.



Spatial resolution: $\cong 1m$
Temporal resolution: $\cong 4-5min$

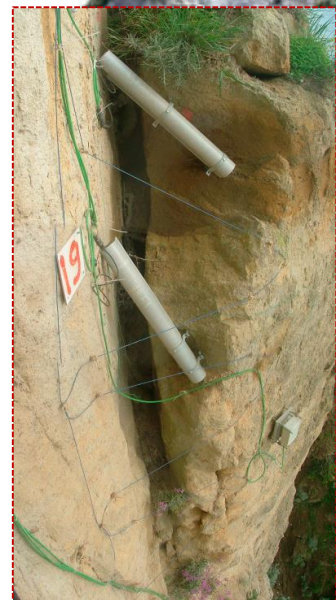
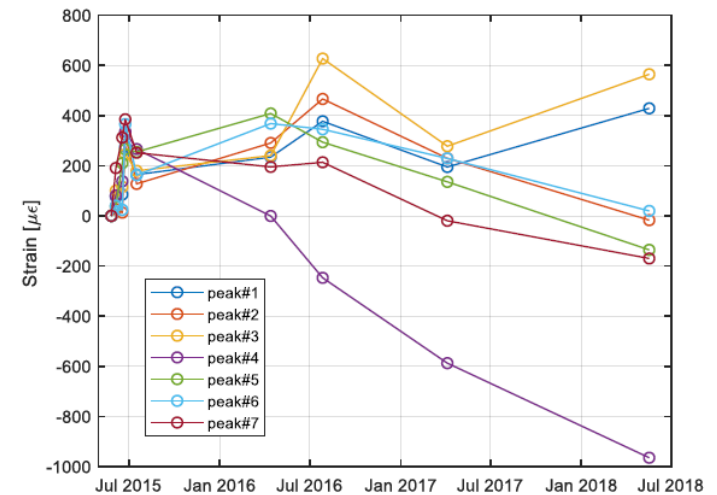
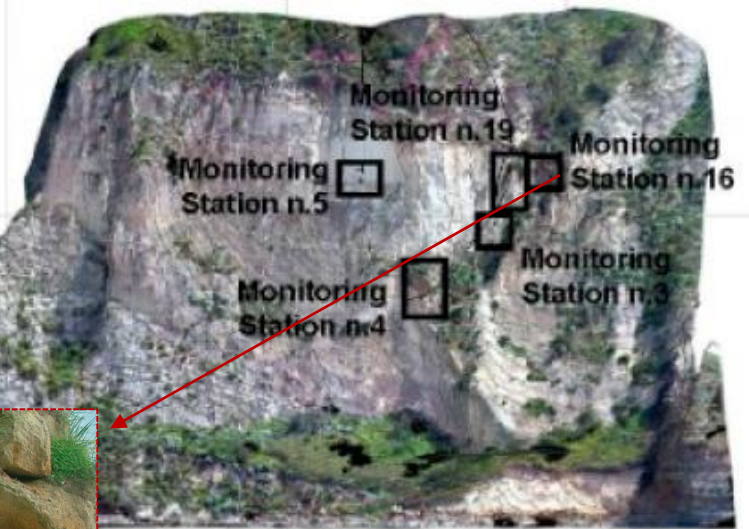


(Damiano et al., 2017)

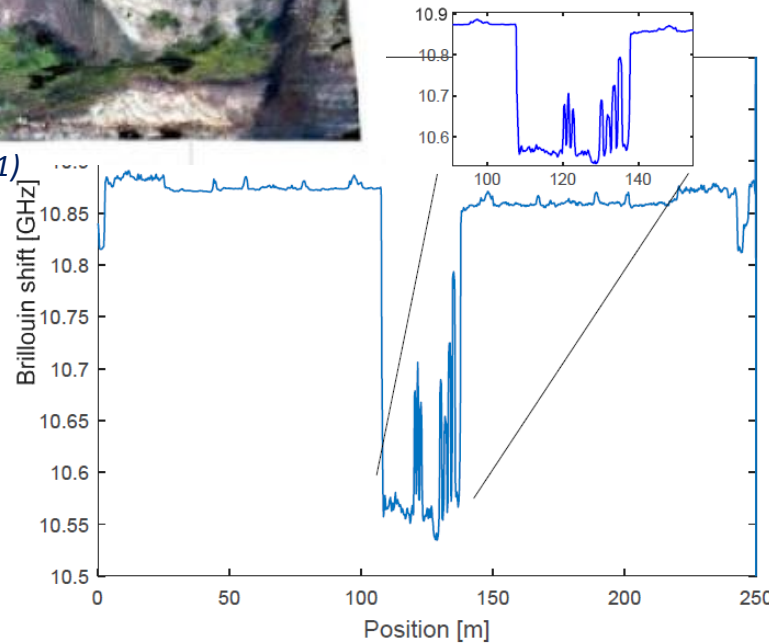
- A relative displacement between soil and fiber occurs
- Optical fiber sensing monitoring can reveal soil strain only when a fully coupled strain condition is realized between soil and sensor

Esperienze pregresse per monitoraggio di frane rapide

Monitoraggio nel sito campione di Coroglio (coastal tuff cliff – Naples)

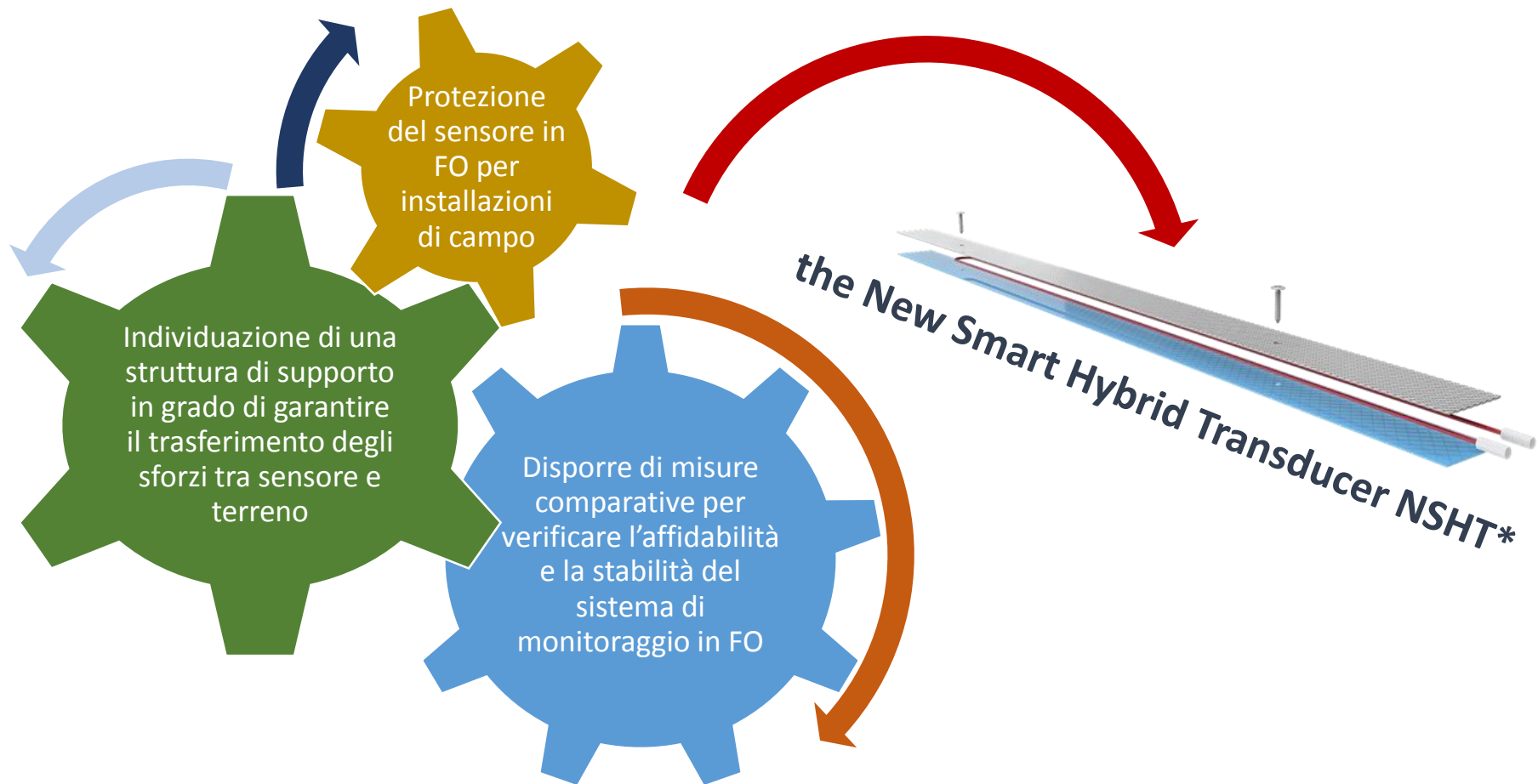


(Minardo et al., 2021)



- the small values recorded were mostly related to periodic, thermal dilations of the rock

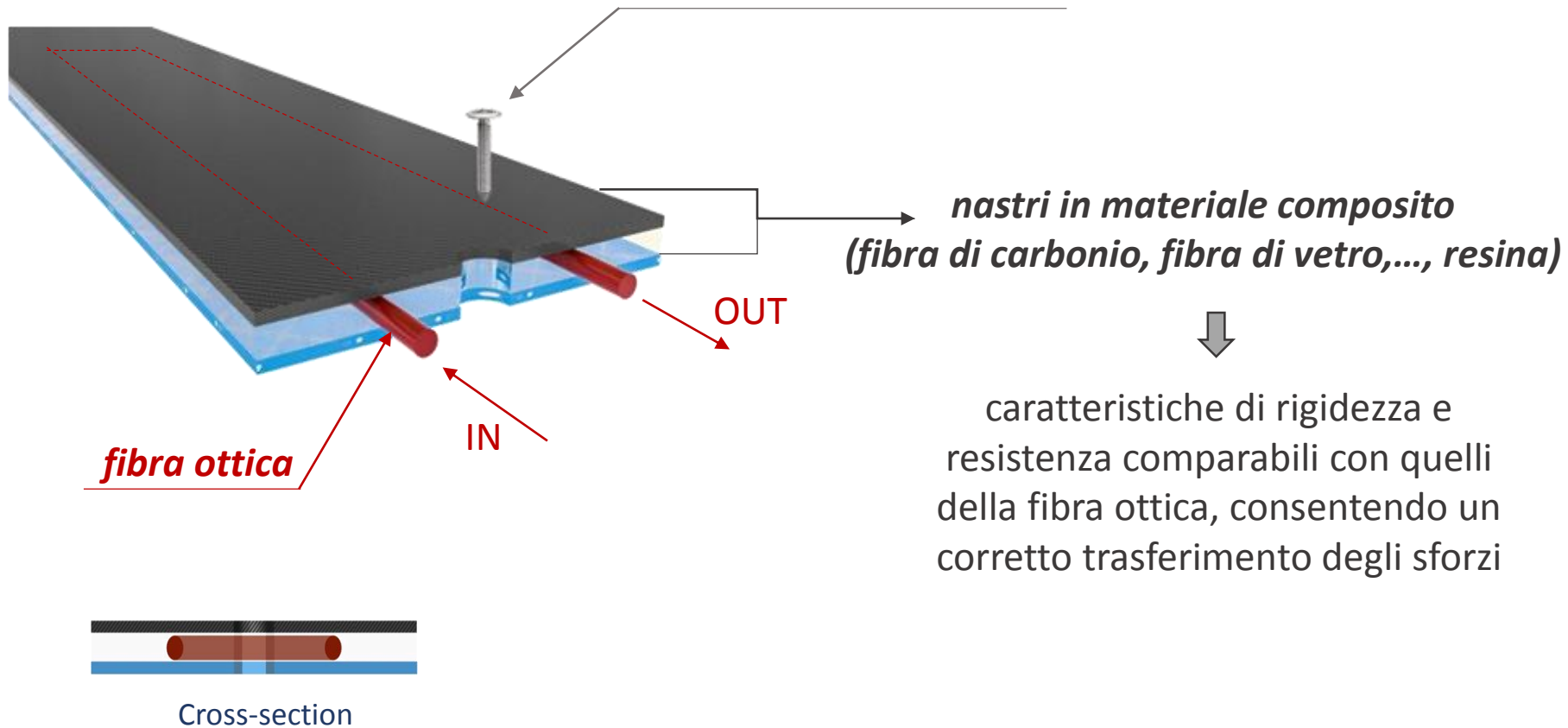
Limiti dei precedenti utilizzi: verso il trasduttore NSHT



*brevetto dell'Università degli Studi della Campania «L. Vanvitelli»

Il trasduttore NSHT

elementi di connessione



Il sistema di rilevamento dati è basato sul fenomeno dello **scattering di Brillouin** stimolato lungo la fibra ottica. L'analisi dei dati è del tipo **BOTDA** (Brillouin Optical Time Domayn Analysis).

Il trasduttore NSHT



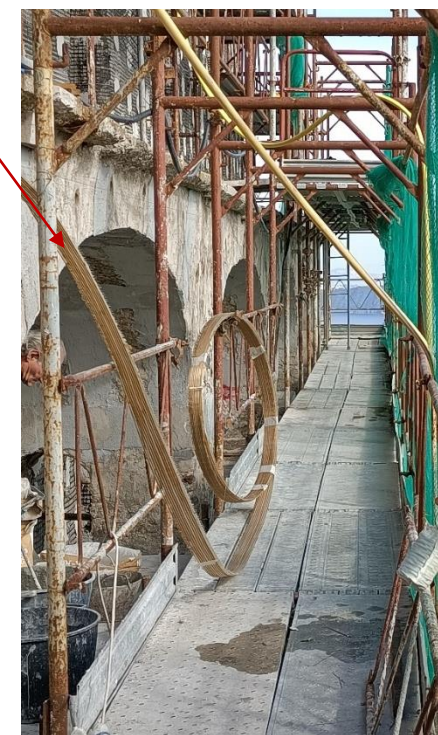
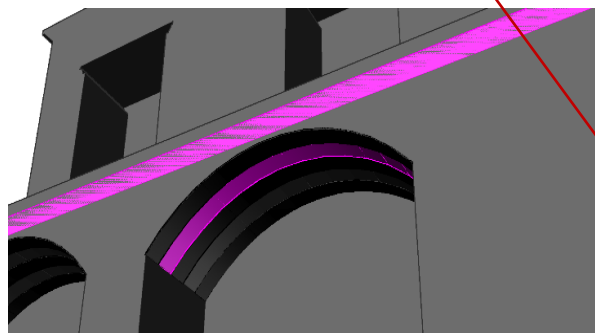
La presenza di materiale composito che funge da armatura per il sensore e la possibilità di ottenere informazione con elevata risoluzione spaziale offre innumerevoli vantaggi:

- ✓ Elevata Durabilità
- ✓ Realizzazione standardizzata in stabilimento
- ✓ Facilità di trasporto
- ✓ Compatibilità moduli elastici fra nastri e fibra per un corretto trasferimento degli sforzi
- ✓ Possibilità realizzazioni lunghezze importanti
- ✓ Elevata adattabilità al supporto
- ✓ Installazione in ambienti aggressivi
- ✓ Esecuzioni monitoraggi ad elevata risoluzione
- ✓ Realizzazione sistemi EWS, SHM, SHMR
- ✓ Elevata Versatilità per applicazioni sia in campo geotecnico che strutturale



APPLICAZIONE IN AMBITO STRUTTURALE

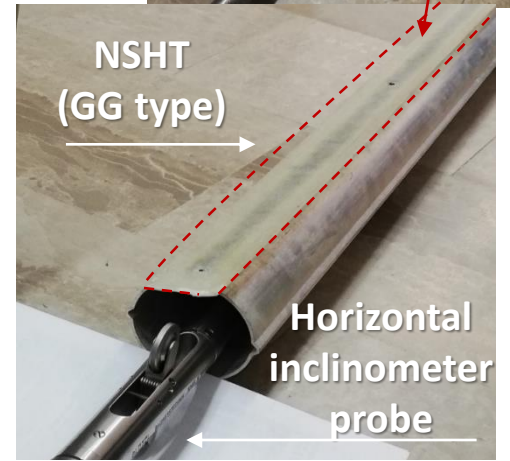
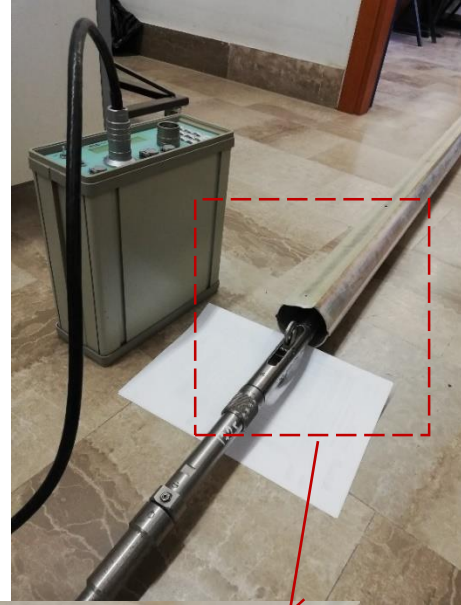
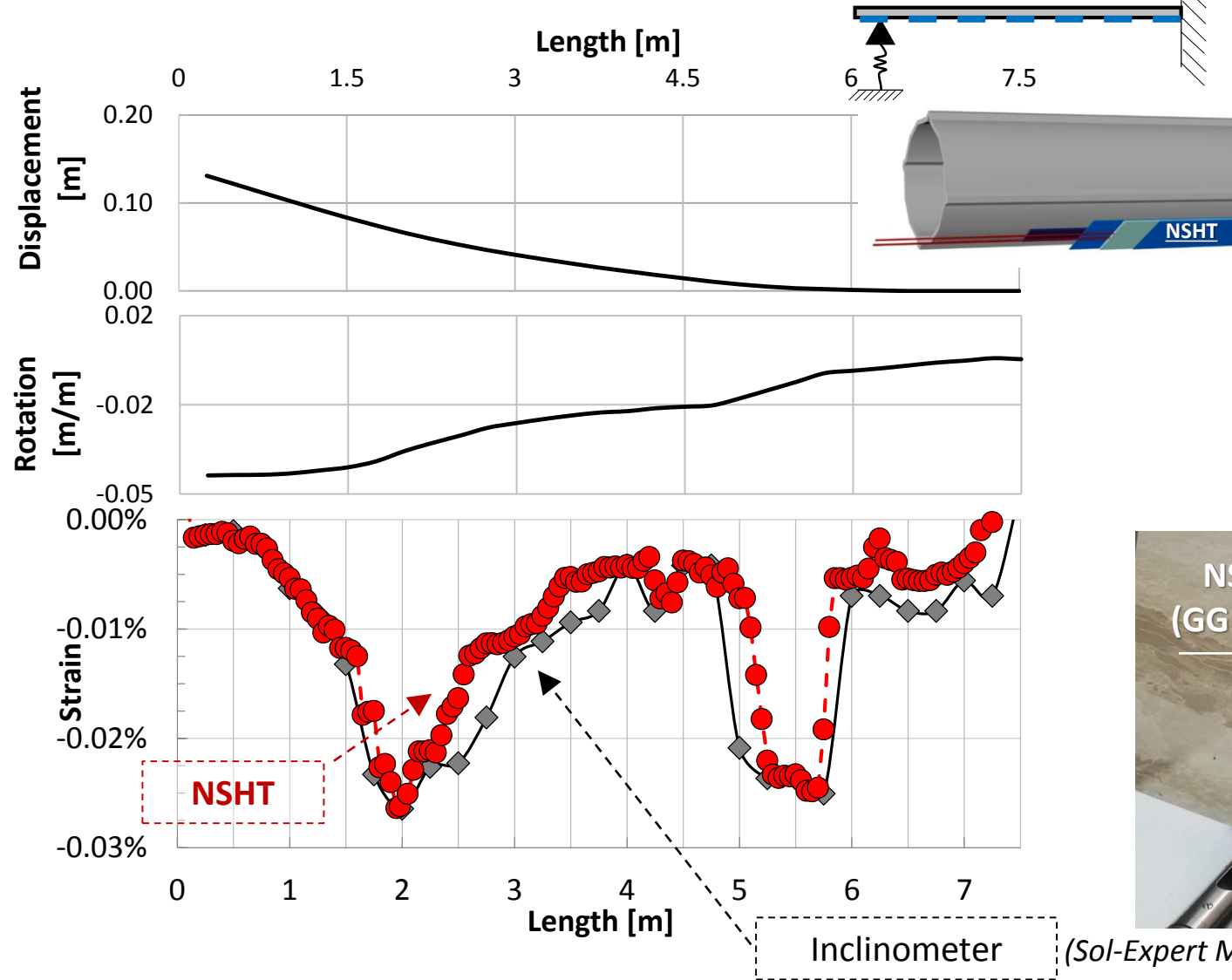
Trasduttori NSHT realizzati con coating in fibra di vetro e PBO per applicazioni in presenza di rinforzi strutturali in matrice cementizia su murature



Monitoraggio strutturale chiesa Santa Maria delle Grazie nel Comune di Barano (NA)

APPLICAZIONE IN AMBITO GEOTECNICO: utilizzo del NSHT come inclinometro smart

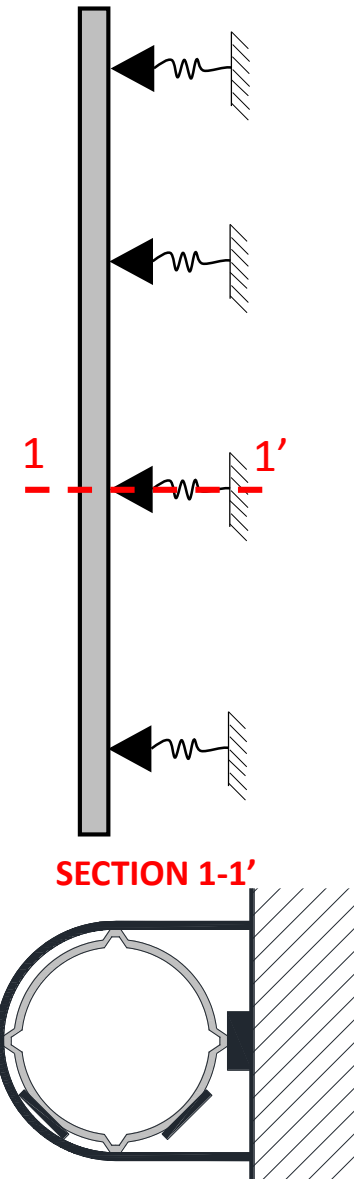
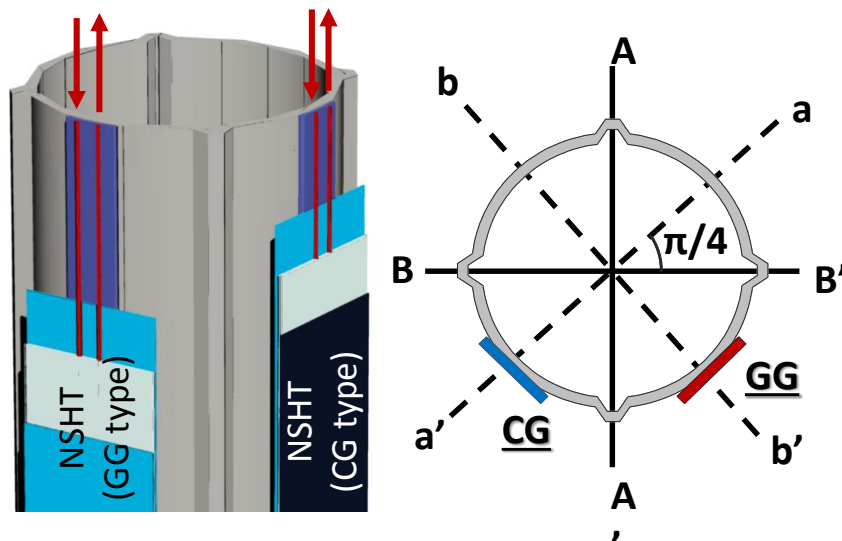
❖ Test di laboratorio *Spatial resolution of 0.05 m*



APPLICAZIONE IN AMBITO GEOTECNICO: utilizzo del NSHT come inclinometro smart

❖ Test di laboratorio

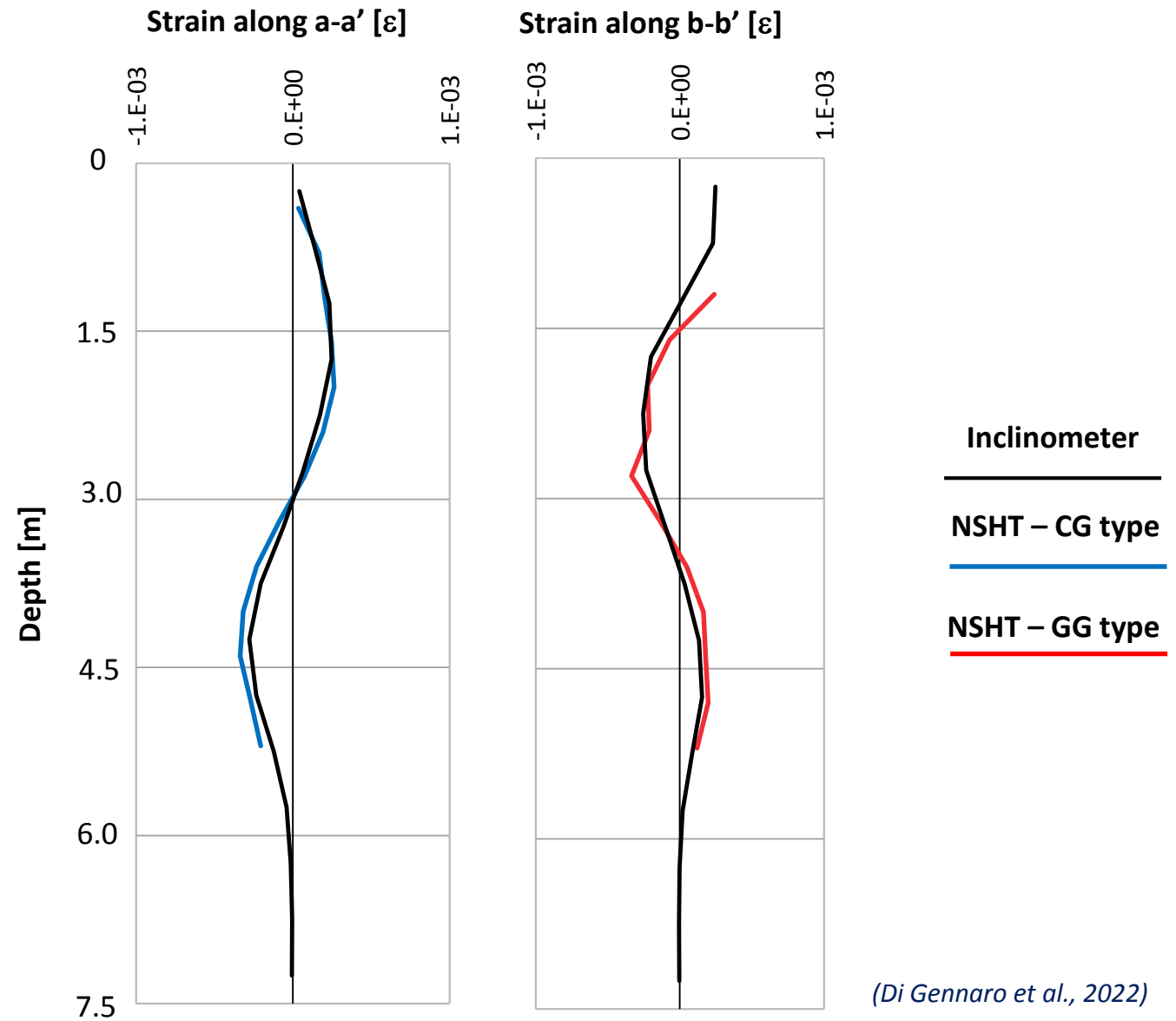
Spatial resolution of 0.2 m



Test di verifica per utilizzo del trasduttore NSHT
come inclinometro verticale

APPLICAZIONE IN AMBITO GEOTECNICO: utilizzo del NSHT come inclinometro smart

❖ Confronto tra inclinometro tradizionale ed NSHT



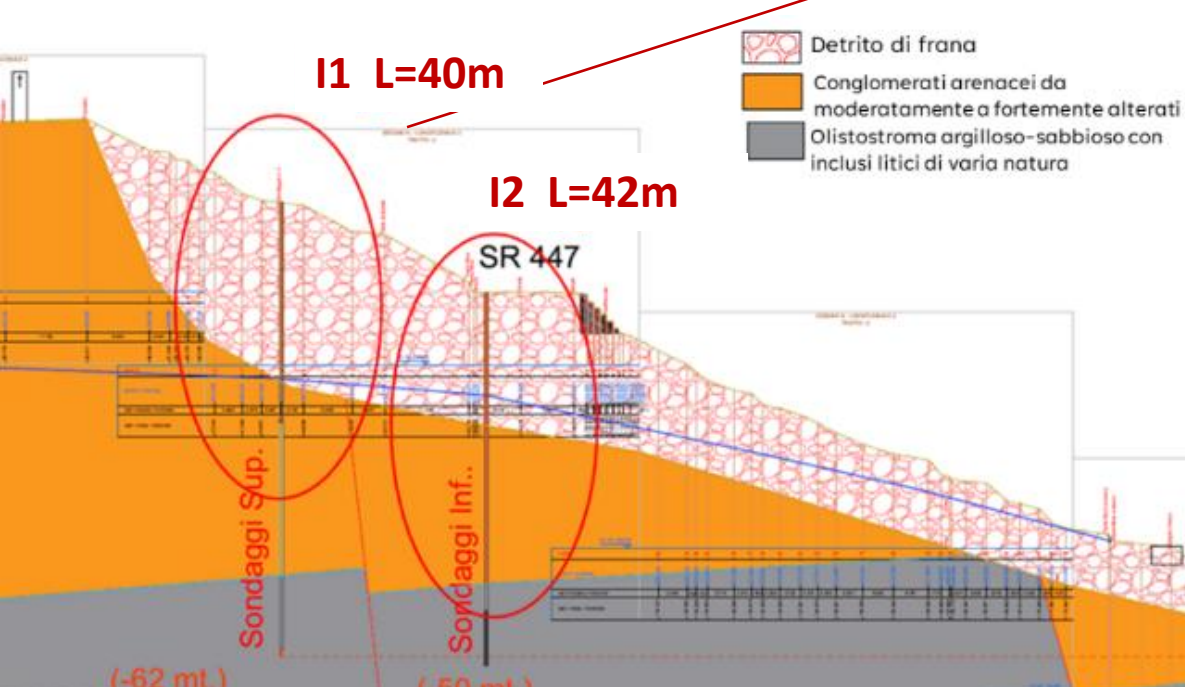
(Di Gennaro et al., 2022)

INSTALLAZIONE IN CAMPO PROVA

Monitoraggio geotecnico frana di Centola (SA)

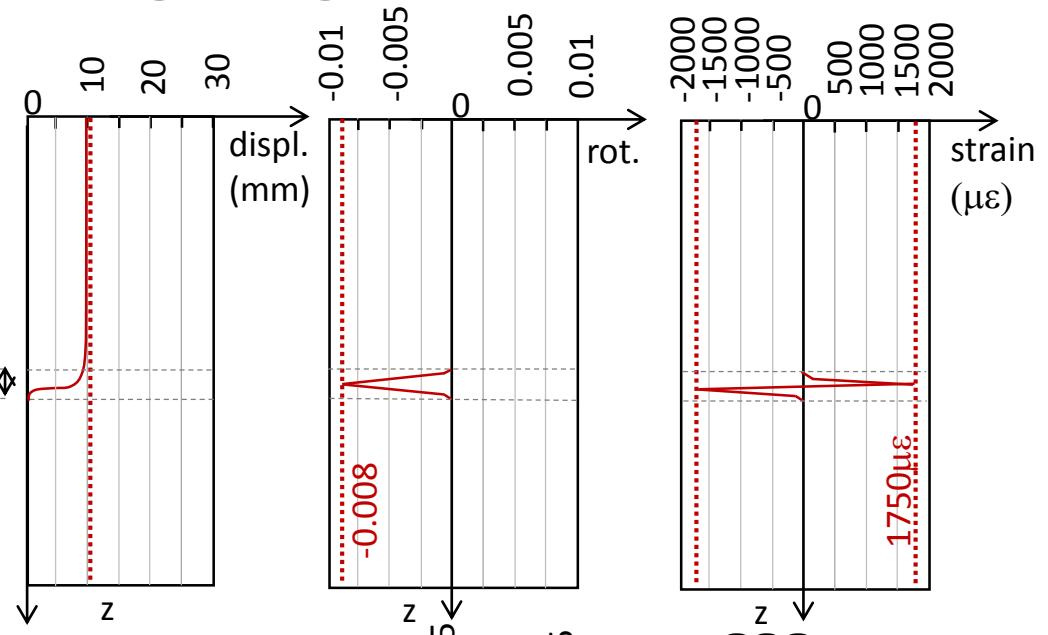
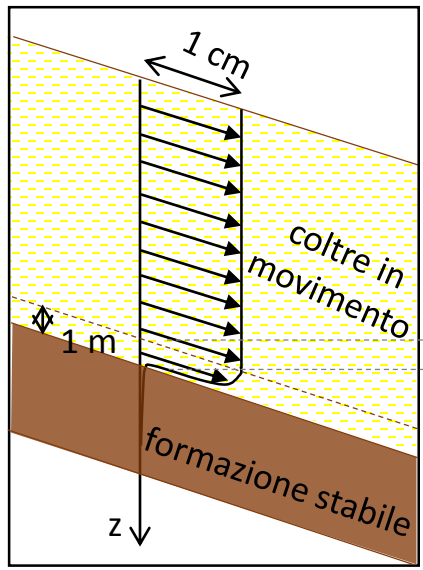


Tubazione inclinometrica equipaggiata con NSHT

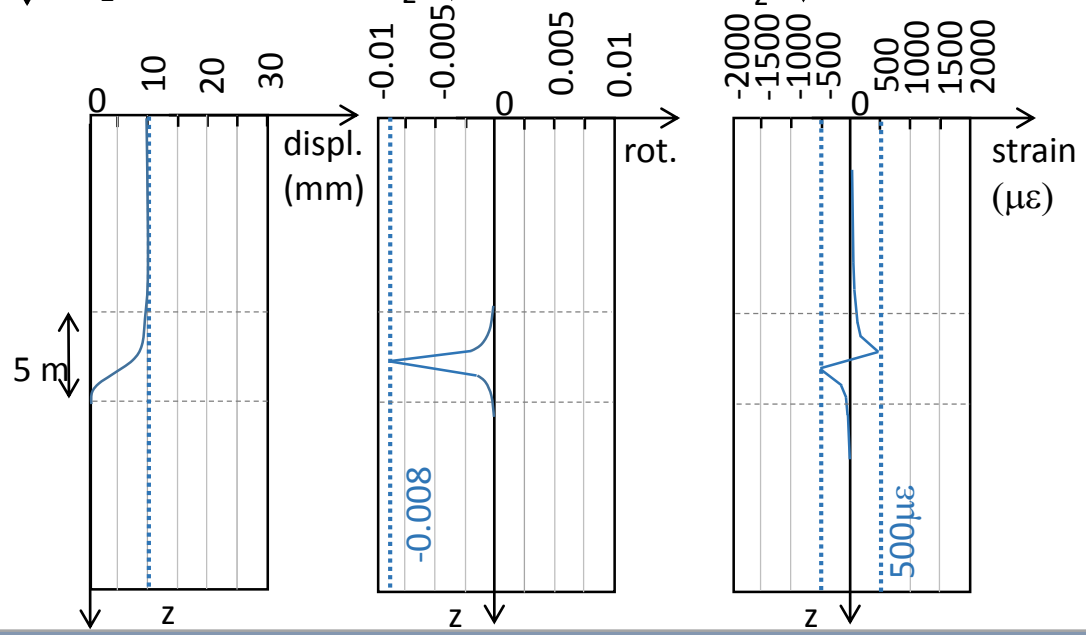
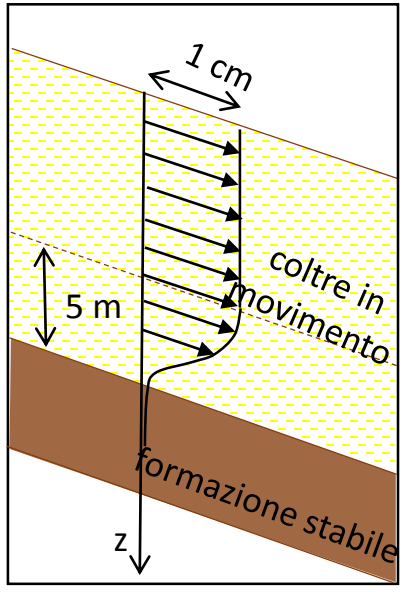


SOGLIE DI ALLERTA IN TERMINI DI DEFORMAZIONE

CASO 1

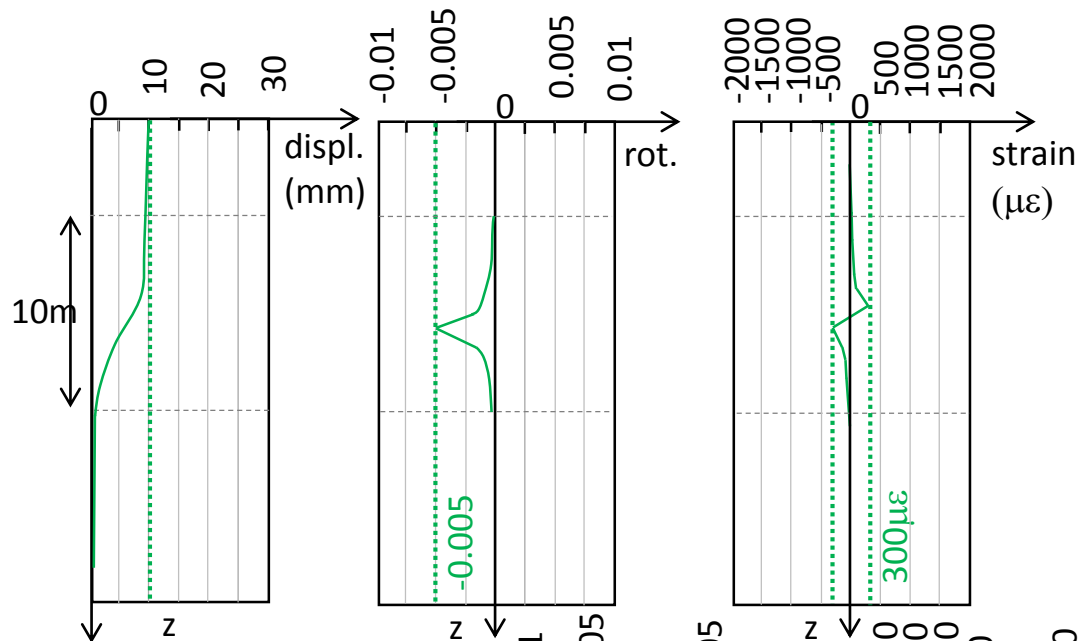
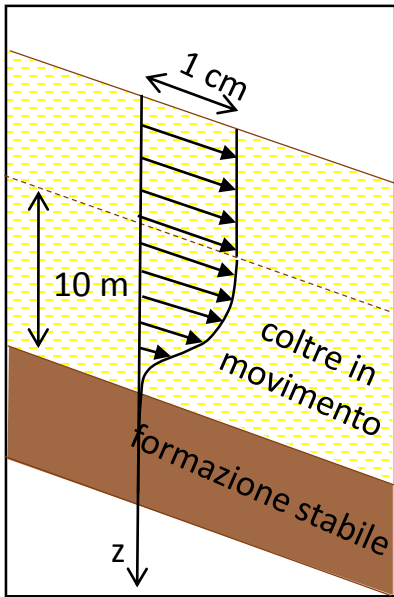


CASO 2

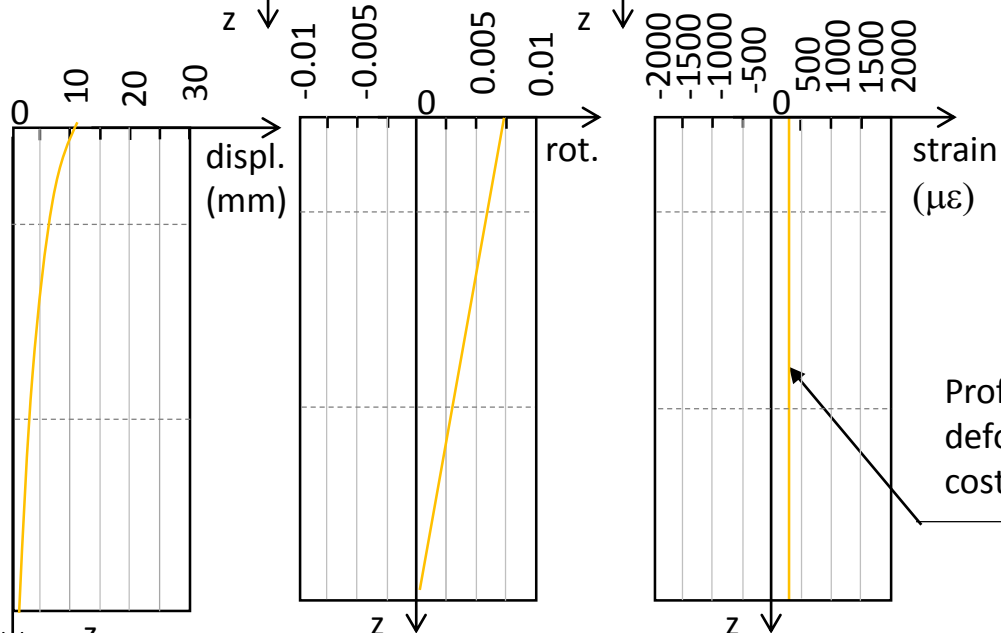
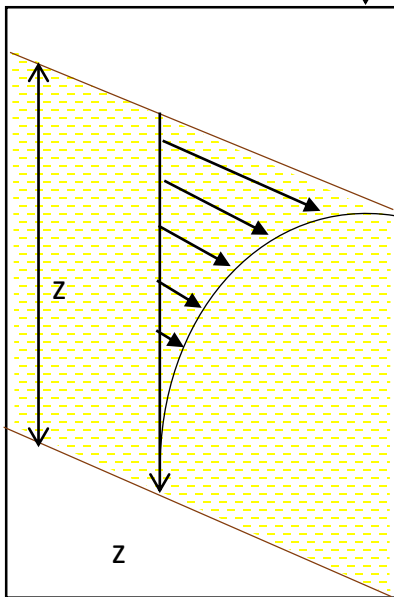


SOGLIE DI ALLERTA IN TERMINI DI DEFORMAZIONE

CASO 3



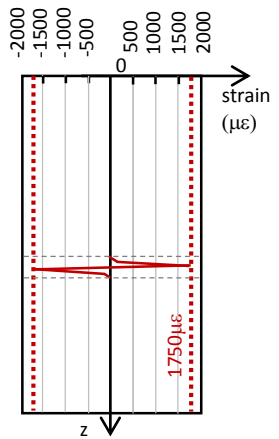
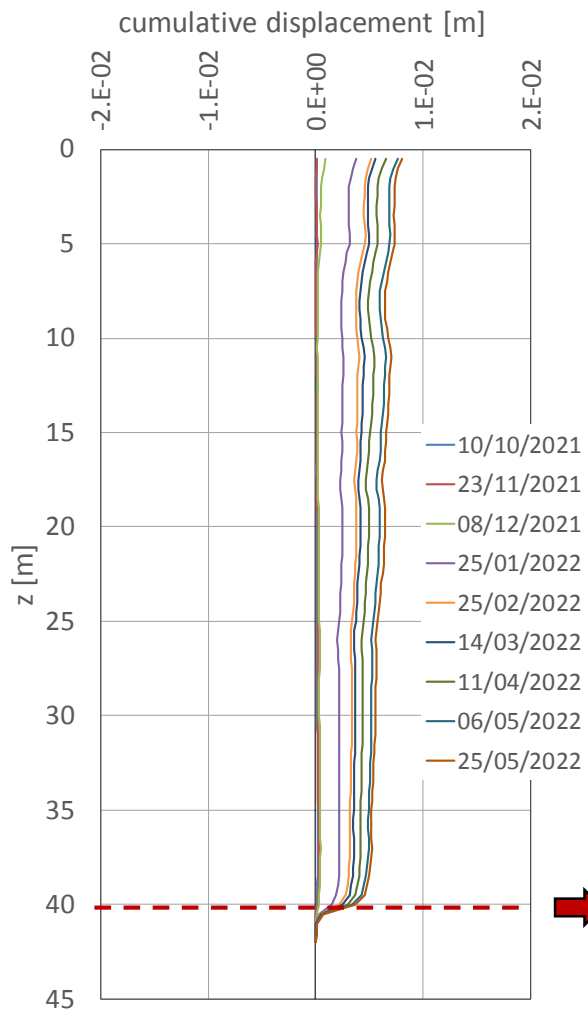
CASO 4



Profilo di deformazione costante

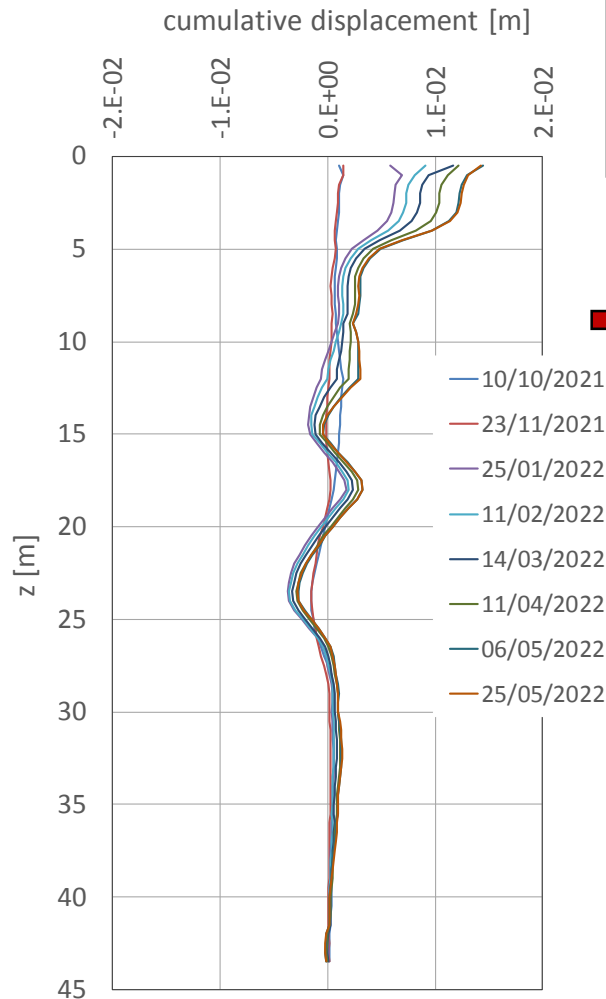
Primi risultati

Inclinometro I2

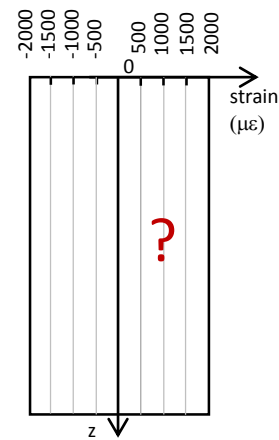


individuazione
superficie di
scorrimento a
circa 40m di
profondità

Inclinometro I1



scorrimenti
multipli



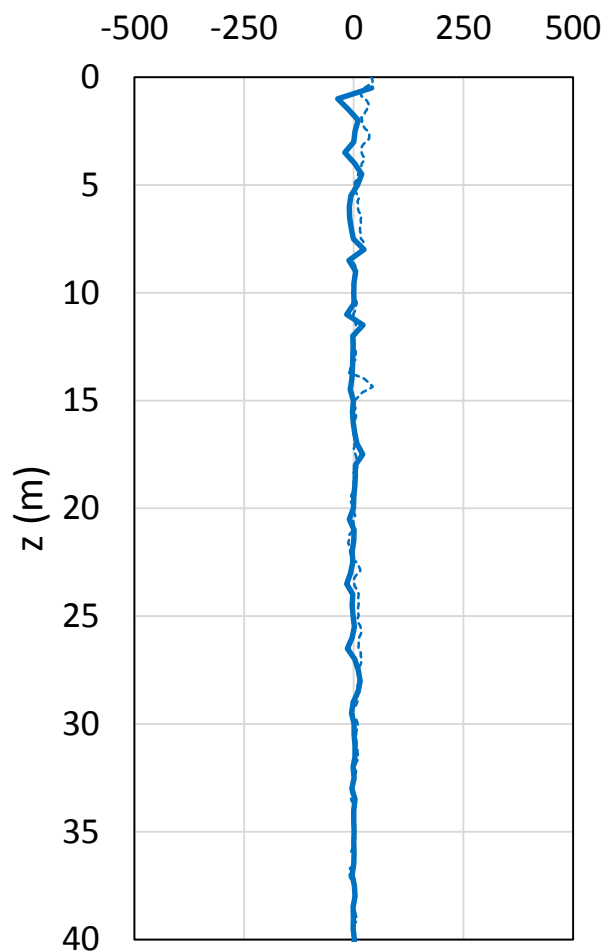
Primi risultati

Confronto misure inclinometriche e NSHT

NS AXIS

Novembre 2021

strain ($\mu\epsilon$)



Misure di
deformazione
effettuate con
NSHT di entità
comparabile con
quelle derivate da
strumenti
tradizionali

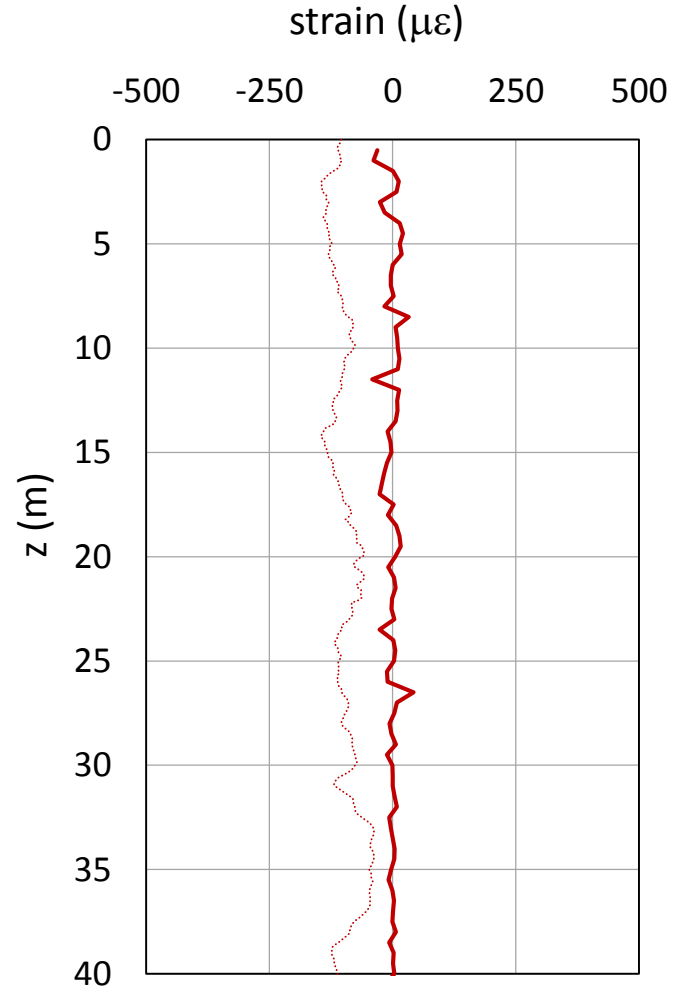
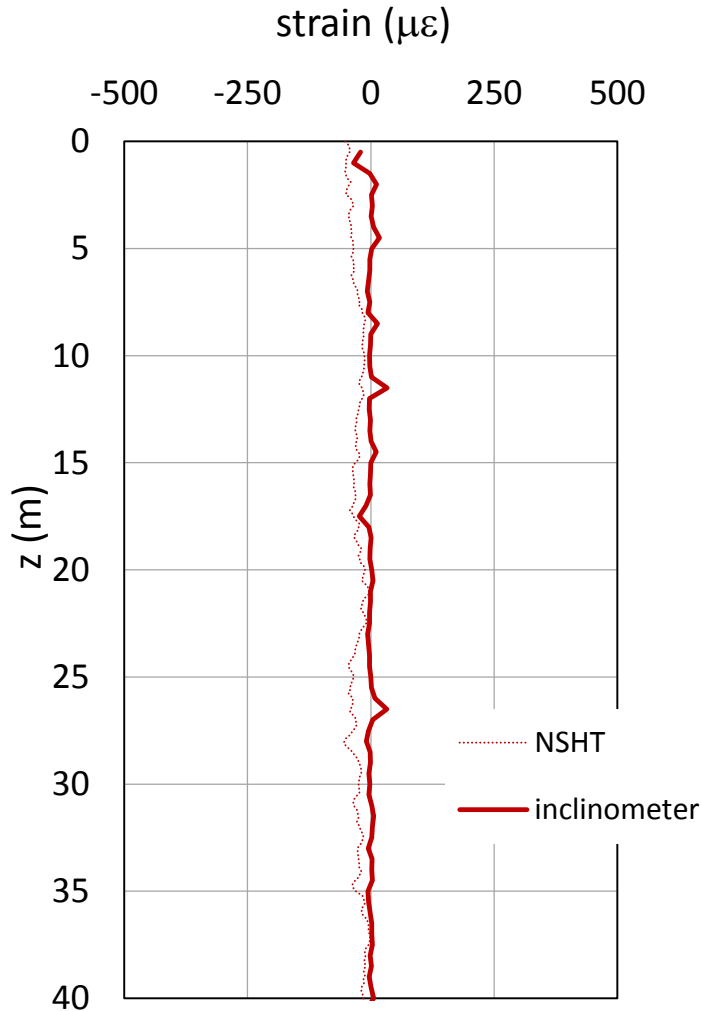
Primi risultati

Confronto misure inclinometriche e NSHT

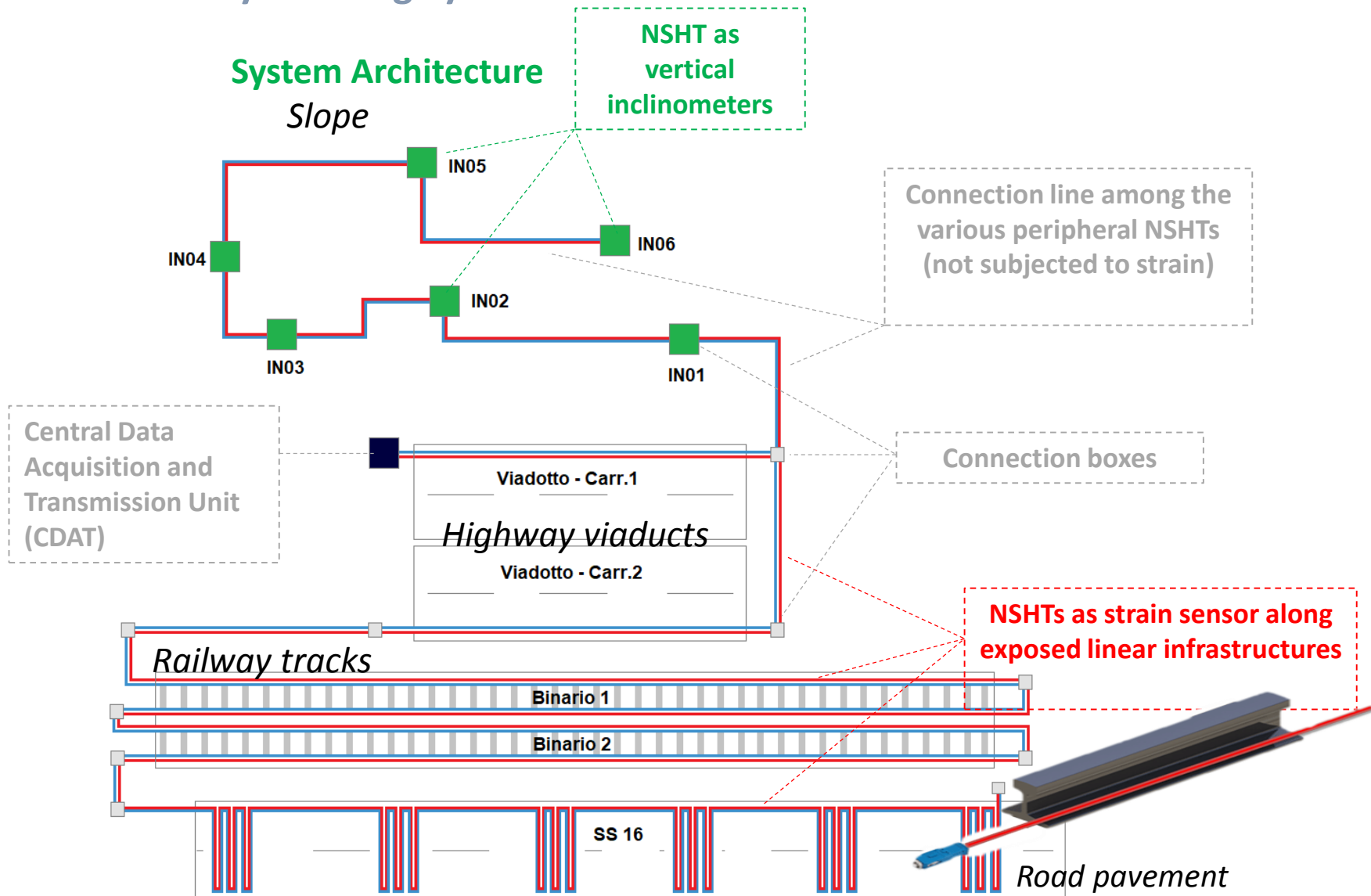
EW AXIS

Novembre 2021

Febbraio 2022



Potential use of the NSHT for development of an Integrated Structural and Geotechnical Early Warning System



Conclusioni

- ❖ Lo sviluppo del nuovo trasduttore ibrido NSHT consente di superare alcuni dei limiti di utilizzo della sola fibra ottica utilizzata come sensore distribuito in ambienti aggressivi o non controllati
- ❖ In prospettiva l'utilizzo del nuovo NSHT in sistemi di monitoraggio integrati di tipo strutturale e geotecnico per allerta frane appare promettente in quanto consentirebbe di effettuare un monitoraggio di larga scala di costo contenuto ed in tempo reale
- ❖ Test di laboratorio hanno consentito di verificarne l'affidabilità mediante il confronto con misure effettuate con strumenti tradizionali
- ❖ In applicazioni di campo la fase interpretativa dei dati risulta complessa e necessita di ulteriori fasi di indagine

Ringraziamenti

- *Cartflow Soc.*
- *HPSystem.it*
- *CUGRI*

Grazie per l'attenzione!

Bibliografia di riferimento

- Damiano, E., Avolio, B., Minardo, A., Olivares, L., Picarelli, L., Zeni, L. A laboratory study on the use of optical fibers for early detection of pre-failure slope movements in shallow granular soil deposits. (2017) *Geotechnical Testing Journal*, 40 (4), pp. 529-541. DOI: 10.1520/GTJ20160107
- Darban, R., Damiano, E., Minardo, A., Olivares, L., Zhang, L., Zeni, L., Picarelli, L. An investigation on the effects of rainwater infiltration in granular unsaturated soils through small-scale laboratory experiments. (2018) *Springer Series in Geomechanics and Geoenvironmental Engineering*. DOI: 10.1007/978-3-319-97112-4_145
Conference Paper
- Di Gennaro L., et al. 2022. "An innovative geotechnical and structural monitoring system based on the use of NSHT". *Smart Materials and Structures*, 31(6).
- Minardo, A. et al. 2015. "Soil Slope Monitoring by Use of A Brillouin Distributed Sensor." In *2015 Fotonica AEIT Italian Conference on Photonics Technologies*, Turin, 1–4.
- Minardo, A. et al. 2021. "Distributed Optical Fiber Sensor Applications in Geotechnical Monitoring". *Sensors* 2021, 21, 7514.
<https://doi.org/10.3390/s21227514>
- Minutolo, V., Cerri, E., Coscetta, A., Damiano, E., Cristofaro, M.D., Gennaro, L.D., Esposito, L., Ferla, P., Mirabile, M., Olivares, L., Zona, R. NSHT: New smart hybrid transducer for structural and geotechnical applications. (2020) *Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (13) DOI: 10.3390/app10134498
- Olivares, L., De Cristofaro M., Coscetta, A.. 2019. "NSTH New Smart Distributed Optical Fiber Transducers Made of Hybrid Composite Material for Civil and Environmental Monitoring."
- Picarelli, L., Damiano, E., Minardo, A., Olivares, L., Zeni, L. The use of optical fibres for early prediction of slope failure. (2016) 1st IMEKO TC4 International Workshop on Metrology for Geotechnics, *MetroGeotechnics 2016*, pp. 269-275. Conference Paper
- Zeni, L. et al. 2015. "Brillouin Optical Time-Domain Analysis for Geotechnical Monitoring." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7(4): 458–62.