



## The Use of a Robotized Inclinator System to Measure Deep-Seated Ground Deformation in a Monumental Area During TBM Tunnel Excavations. The Case of Rome Subway, New Line C

Paolo Allasia<sup>(1)</sup>, Danilo Godone<sup>(1)</sup>, Diego Guenzi<sup>(1)</sup>, Giorgio Lollino<sup>(1)</sup>, Ivan Mammone<sup>(2)</sup>,  
Eliano Romani<sup>(2)</sup>, Giorgio Pezzetti<sup>(3)</sup>

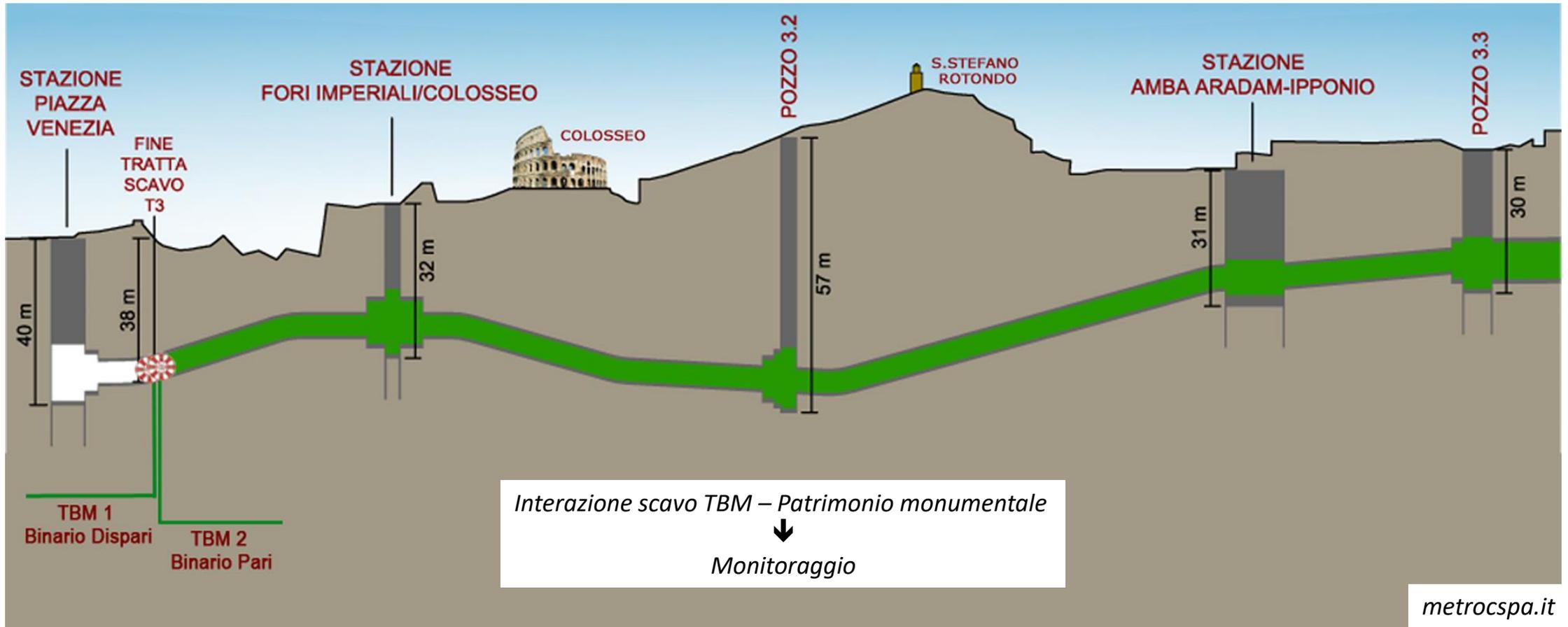
<sup>(1)</sup> CNR-IRPI Turin, National Research Council of Italy, 10135 Turin, Italy

<sup>(2)</sup> Metro C S.c.p.A., Rome, Italy

<sup>(3)</sup> SMAK S.a.s., Bergamo, Italy

e-mail: [danilo.godone@irpi.cnr.it](mailto:danilo.godone@irpi.cnr.it)

# Metro C: la nuova sezione T3



# Tunnel Boring Machine



- HERRENKNECHT, Tipo EPBS (Earth Pressure Balance Shield);
- Diametro di 6.70 m;
- Velocità 8/12 metri al giorno (max 20);
- Squadra di 25 persone.

*Foto e info da metrocsipa.it*

# Patrimonio monumentale

## Portato alla luce dai cantieri



## Già documentato

1. Mura Aureliane a Porta Asinaria
2. Mura Aureliane a Porta Metronia
3. Chiesa di Santa Maria in Domnica
4. **Chiesa di Santo Stefano Rotondo**
5. Acquedotto Celimontano
6. Colosseo
7. **Basilica di Massenzio**
8. Colonnacce del Foro di Nerva
9. Foro di Cesare
10. Vittoriano
11. Colonna Traiana
12. Palazzo Venezia e Museo
13. Chiesa di San Marco
14. Chiesa di Santa Maria di Loreto
15. Palazzo Valentini e Chiesa di SS. Nome di Maria
16. Palazzo dell'antica Zecca
17. Palazzo Bonaparte
18. Amministrazione Doria Pamphilj
19. Chiesa delle stimmate e pertinenza
20. Palazzo Grazioli
21. Palazzo Altieri
22. Pertinenza di Palazzo Altieri
23. Palazzo Origo
24. Palazzo Datti
25. Palazzo Pescatori Serventi
26. Palazzo Vidoni Caffarelli
27. Palazzo Bufalo della Valle
28. Convento e Chiesa di Sant'Andrea della Valle
29. Palazzo dei SS. XII Apostoli
30. Palazzo Massimo Istoriato
31. Palazzo Massimo alle colonne
32. Palazzo Massimo di Pirro
33. Palazzo Massimo di Camillo
34. Chiesa di San Pantaleo
35. Convento di San Pantaleo
36. Palazzo Braschi
37. Palazzo Strozzi Besso
38. Palazzo della Cancelleria e chiesa di San Lorenzo in Damaso
39. Palazzo Fieschi Sora
40. Palazzo Avogadro Martel
41. Chiesa Nuova Santa Maria in Vallicella
42. Oratorio e convento dei Filippini
43. Palazzo Sforza Cesarini

fonte metrocspa.it

# Valorizzazione del patrimonio – “stazioni museo”

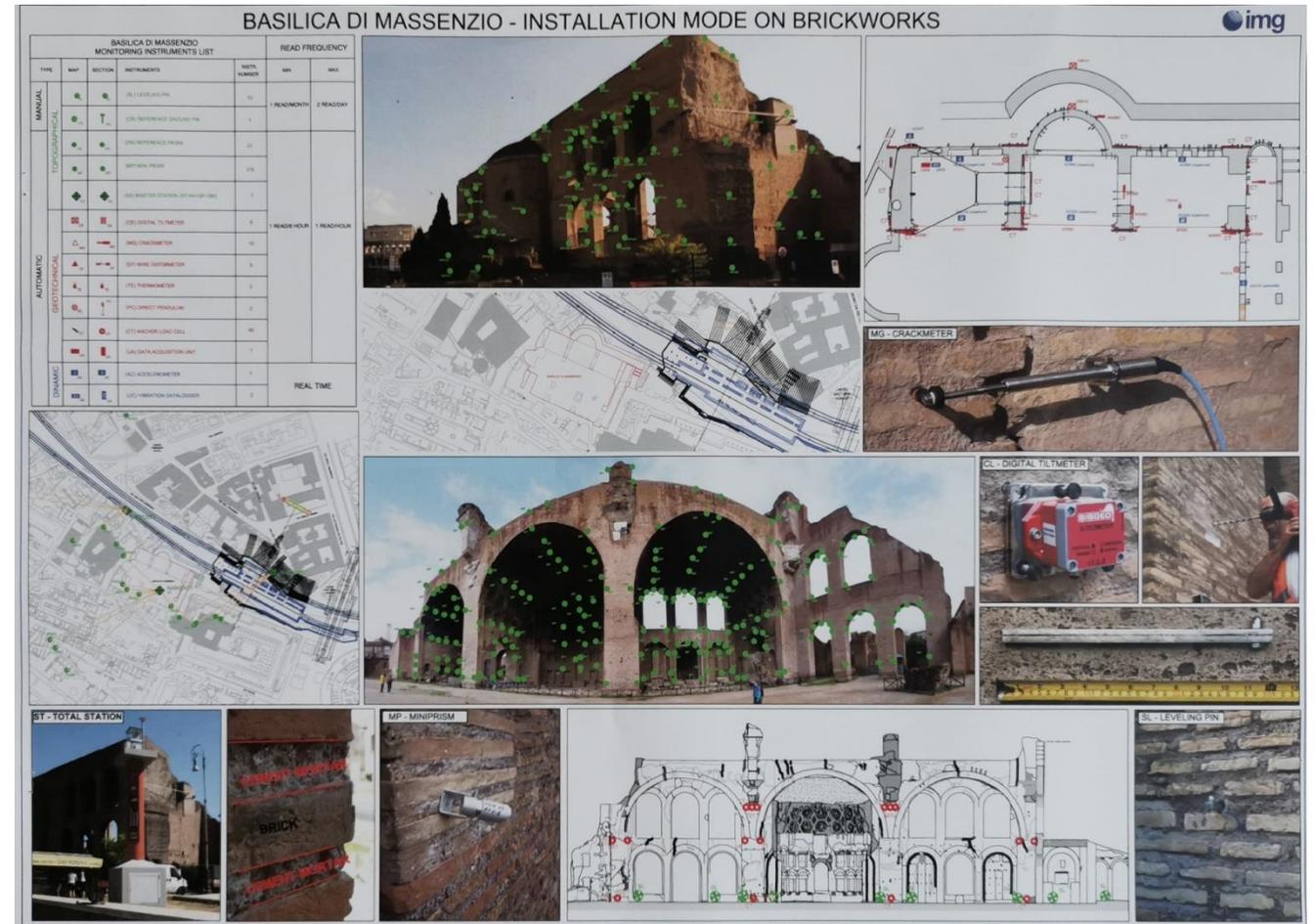
## Stazione San Giovanni



# Rete di monitoraggio

Instrument	Installed Quantity	Readings
Prisms	3012	Automatic
Levelling Pins	1467	Manual
Strain Gauges	1050	Automatic
Wall Clinometers / Tilt Beams	353	Automatic/Manual
Casagrande Piezometers	88	Automatic/Manual
Joint Meters / Crackmeters	286	Automatic/Manual
Inclinometers	105	Automatic/Manual
In Place Inclinometers	564 (1128 ch)	Automatic
Rod Extensometers	42 (126 ch)	Automatic
Electric Piezometers	88	Automatic
Load Cells	43	Automatic
Extenso-Inclinometers	67	Manual
Pendulums	2	Automatic
Triaxial Accelerometers	161	Automatic
<b>Total of measuring points</b>	<b>7976</b>	<b>Automatic/Manual</b>
Data Acquisition units	74	

Romani E., Mammone I., Moretti S., Pezzetti G. (2018) "Rome Metro Line Monitoring System: the C Line experience". FMGM 2018

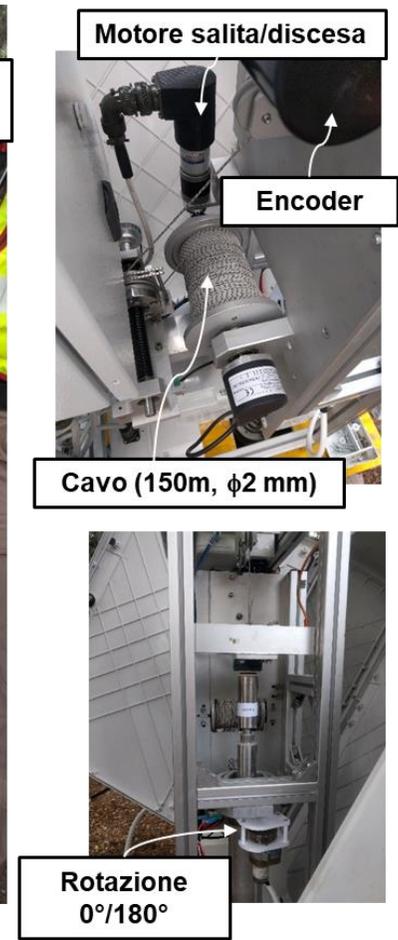
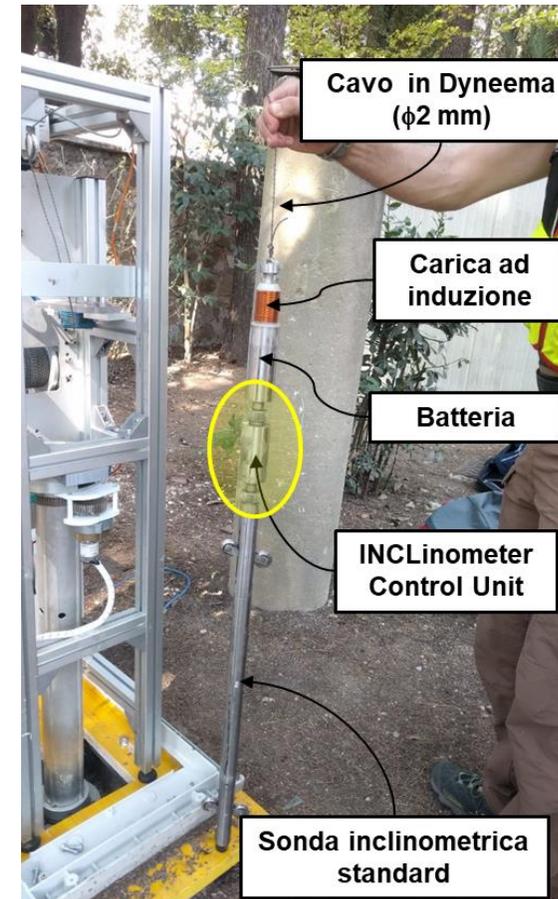
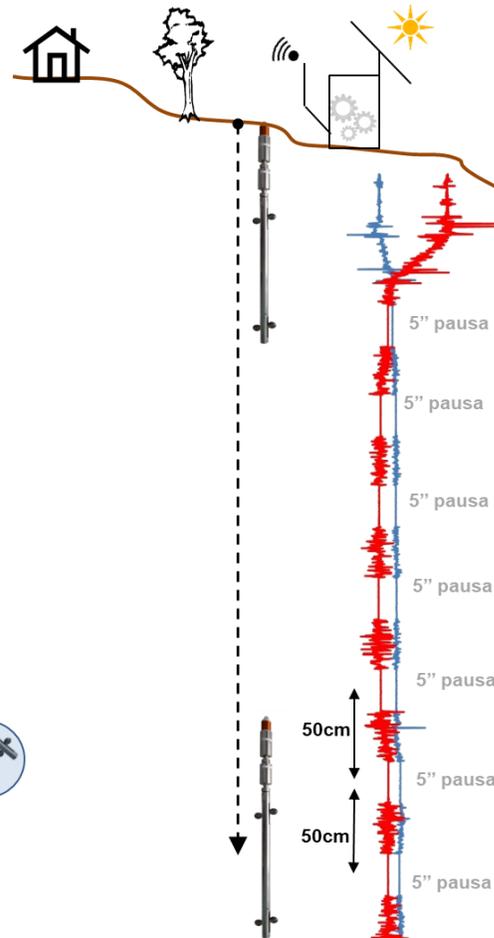
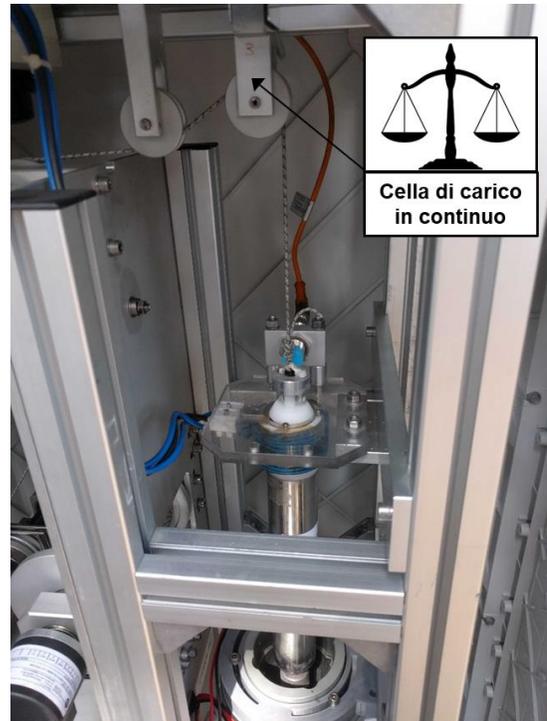


Img-srl.com

# Inclinometro robotizzato

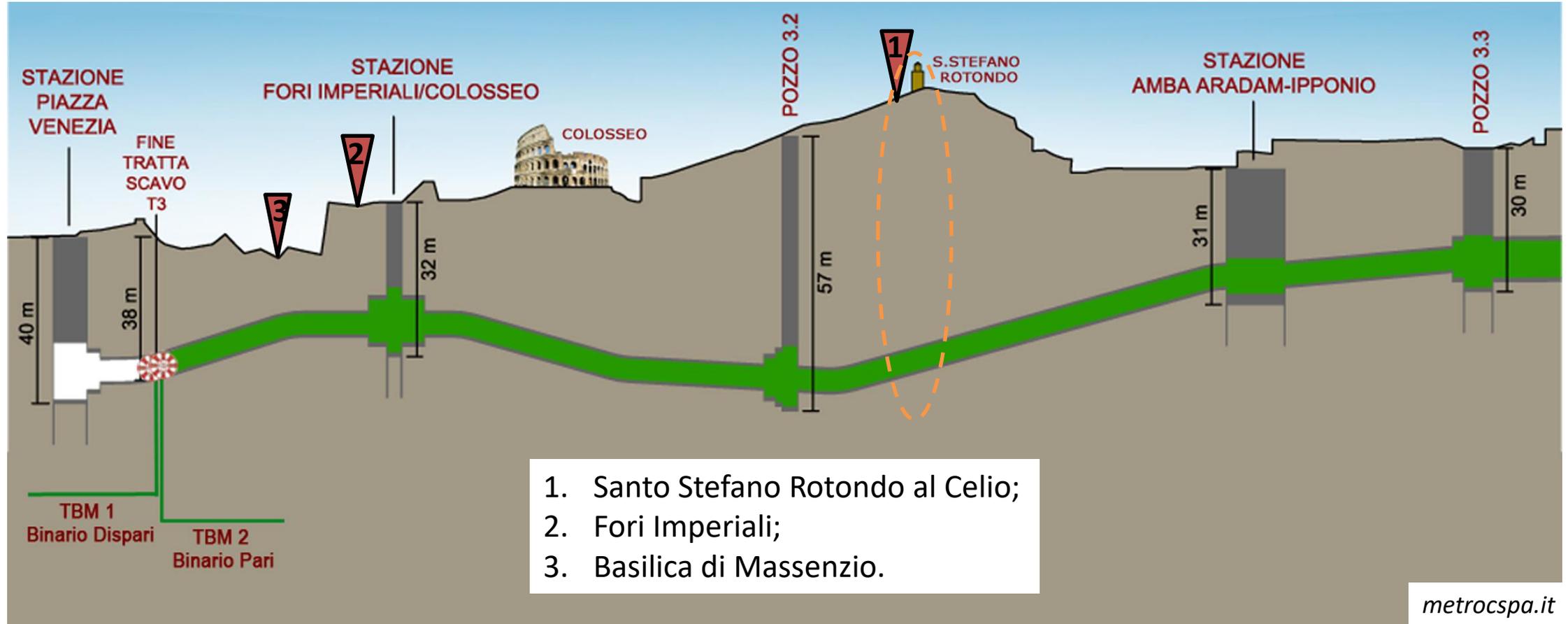
## Brevetto UIBM 0001391881 – 2012

Sito/Accuratezza	Canale A [mm]	Canale B [mm]
S. S. Rotondo	±0.35	±1.25
Fori Imperiali	±0.42	±1.76
Massenzio	±0.36	±0.54
Media	±0.4	±1.2

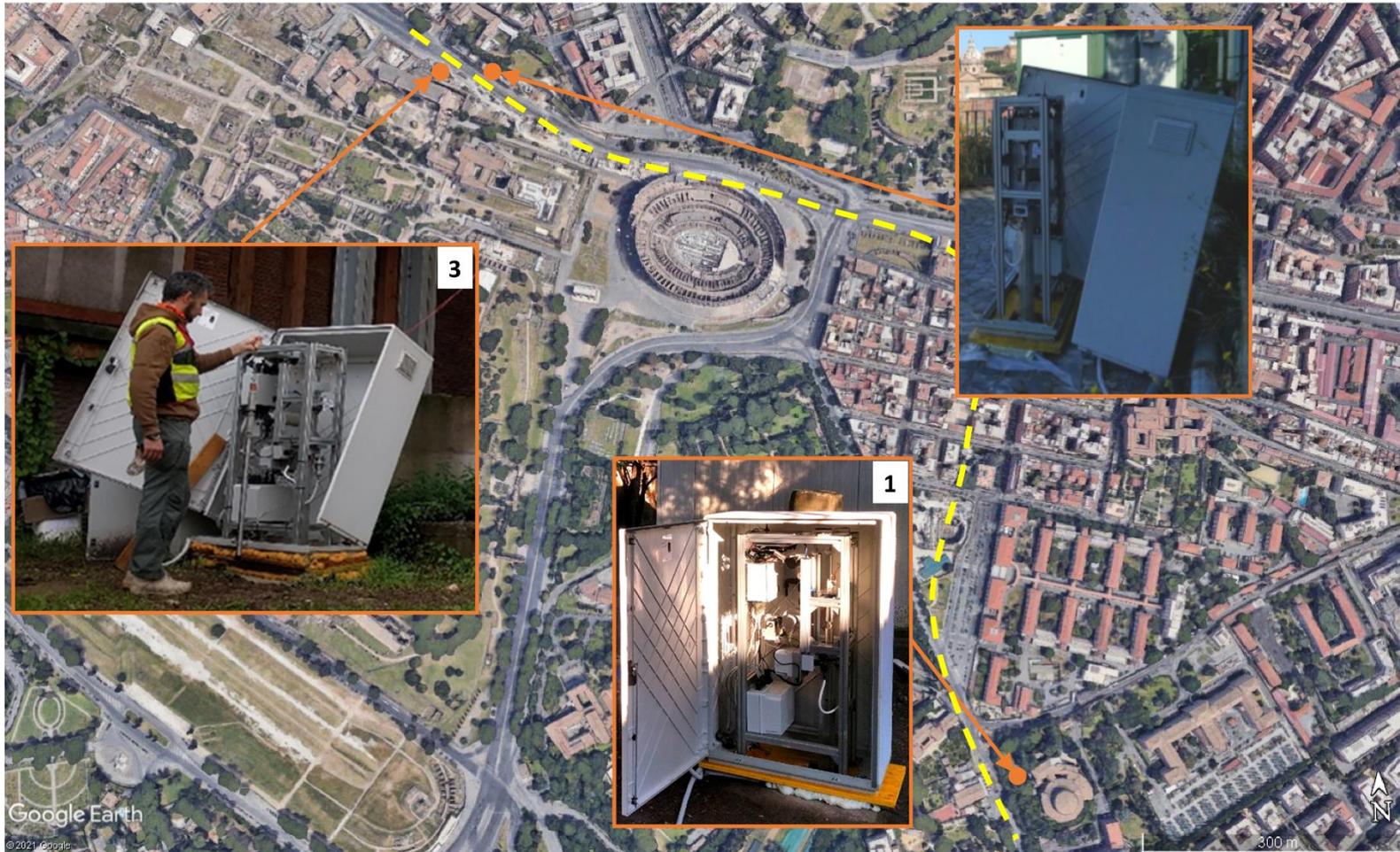


Allasia P, Godone D, Giordan D, Guenzi D, Lollino G. Advances on Measuring Deep-Seated Ground Deformations Using Robotized Inclinometer System. Sensors. 2020; 20(13):3769. <https://doi.org/10.3390/s20133769>

# Siti di monitoraggio - AIS



# Siti di monitoraggio - AIS



Installazioni (stesso strumento e sonda)

1. Santo Stefano Rotondo al Celio;
2. Fori Imperiali;
3. Basilica di Massenzio.

Tempo di reinstallazione ~4h

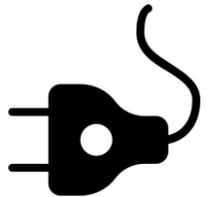
# Caratteristiche misure/tubi

Sito	L. tubo [m]	Durata [h:min]	Prof. Asse [m]	Distanza tubo/scavo [m]	Materiale (alla profondità di scavo)
S. S. Rotondo	62.5	1:25	55	5	Argilla
Fori Imperiali	42.5	1:5	36	2.5	Sabbia/Ghiaia
Massenzio	33.5	0:54	28	1.5	Sabbia/Ghiaia



Sito	Inizio misure	Fine misure	Transito TBM	N° misure
S. S. Rotondo	06/03/2019	12/06/2019	11/05/2019	290
Fori Imperiali	25/06/2019	18/09/2019	12/09/2019	272
Massenzio	05/10/2019	31/12/2019	08/11/2019	160

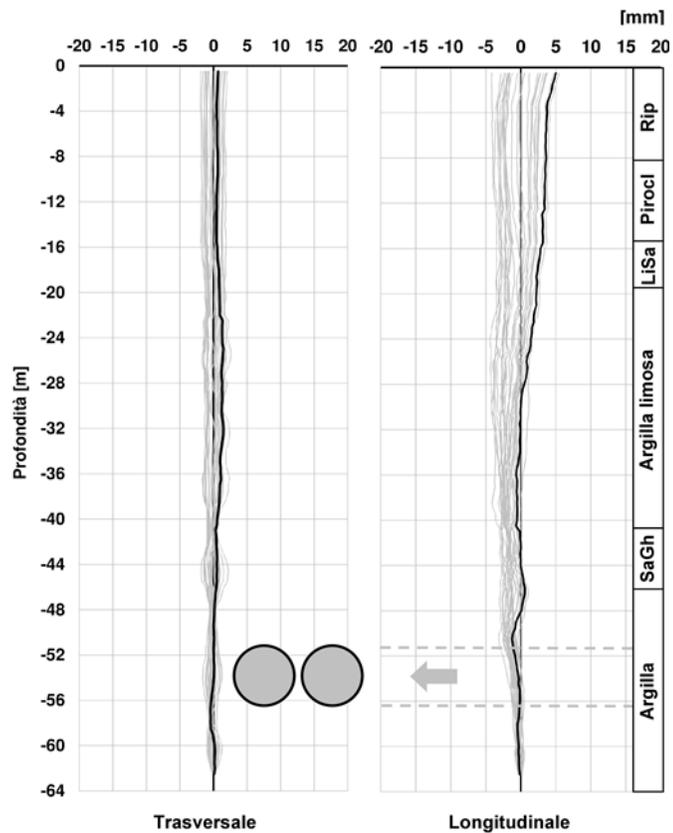
Max  
6 – 8  
misure/giorno



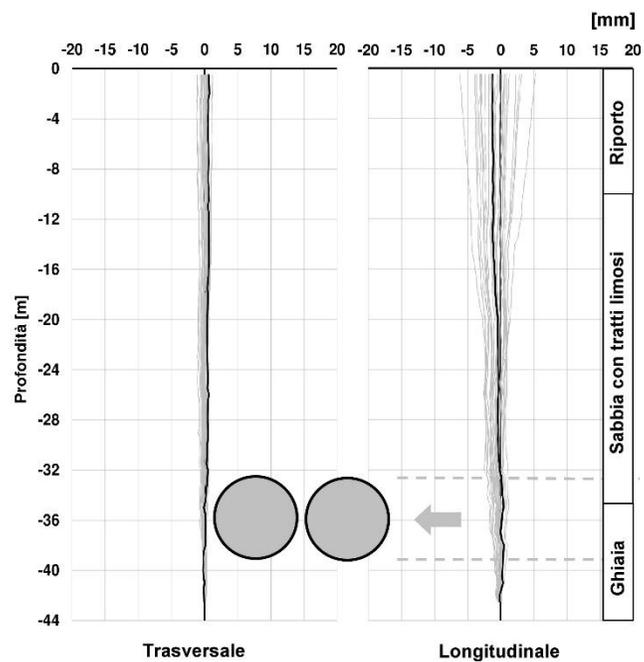
Allasia P., Godone D., Pezzetti G., Mammone I., Romani E. (2021) The Use of a Robotized Inclinator System to Measure Deep-Seated Ground Deformation in a Monumental Area During TBM Tunnel Excavations. The Case of Rome Subway, New Line C. In: Shehata H., Badr M. (eds) *Advancements in Geotechnical Engineering. Sustainable Civil Infrastructures*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62908-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62908-3_4)

# Risultati

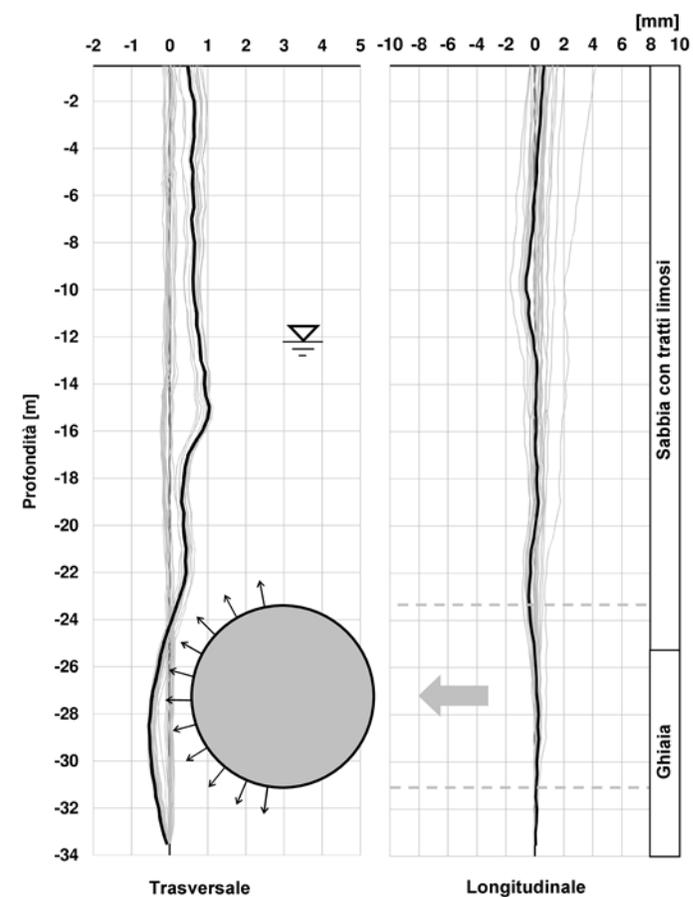
*Santo Stefano Rotondo*  
Distanza TBM-tubo 5 m



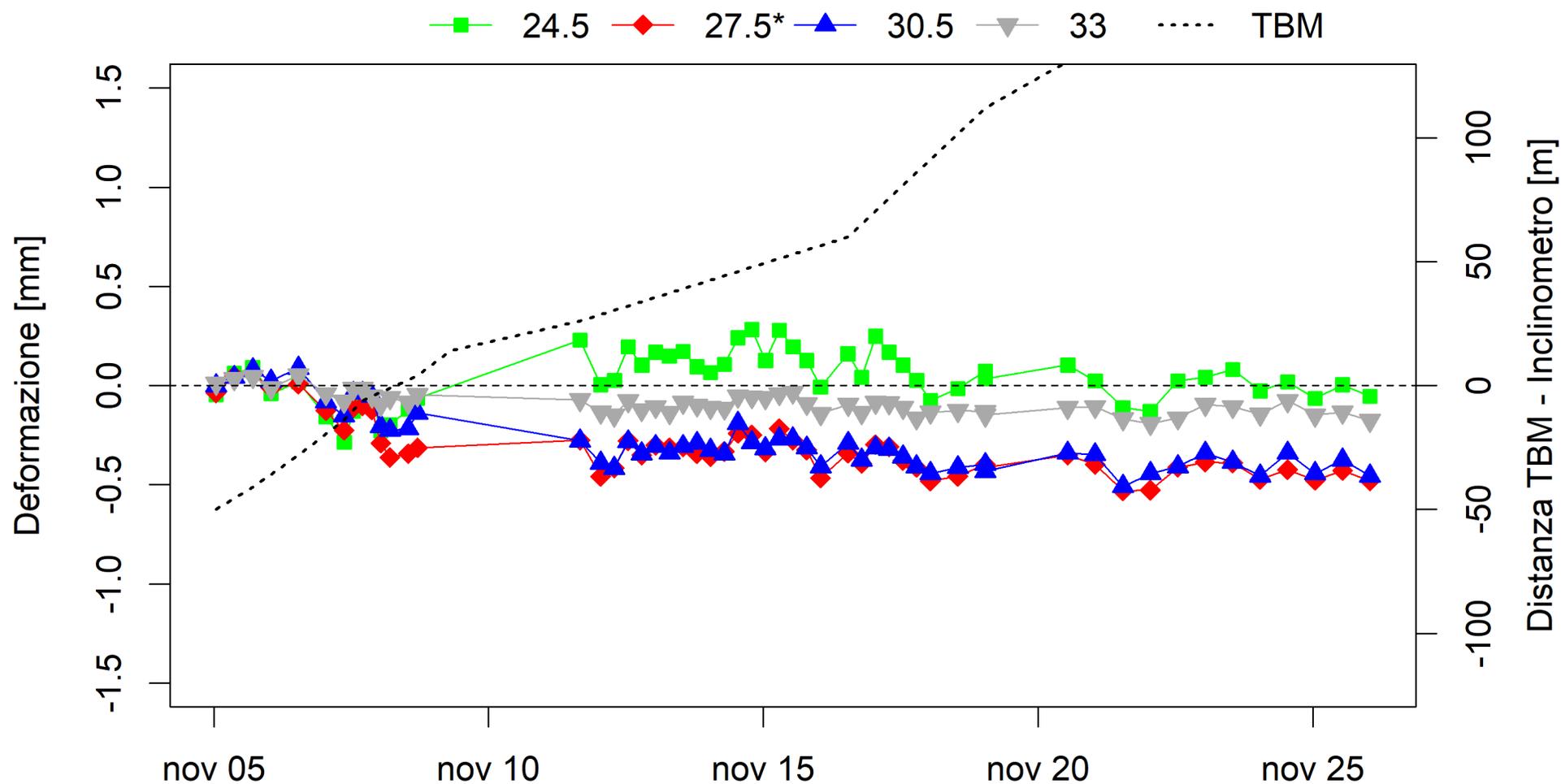
*Fori Imperiali*  
Distanza TBM-tubo 2.5 m



*Basilica di Massenzio*  
Distanza TBM-tubo 1.5 m



# Risultati – Serie temporale



# Conclusioni

- L'analisi delle misure su tubo "indisturbato" ha confermato la validità delle misure ottenute dall'inclinometro robotizzato;
- L'inclinometro robotizzato consente, grazie all'elevata frequenza delle misure di caratterizzare nel tempo il fenomeno oggetto di monitoraggio → *serie temporali*;
- Nel caso del monitoraggio di grandi opere, data la velocità di avanzamento dei lavori, una maggiore frequenza è necessaria per un adeguato monitoraggio → "*near real time*";
- Per avere un maggiore controllo del fenomeno è opportuno operare in contemporanea con monitoraggi di superficie → *crosscheck strumentale*. 

# Grazie per l'attenzione!!!



Danilo Godone, PhD

[danilo.godone@irpi.cnr.it](mailto:danilo.godone@irpi.cnr.it)