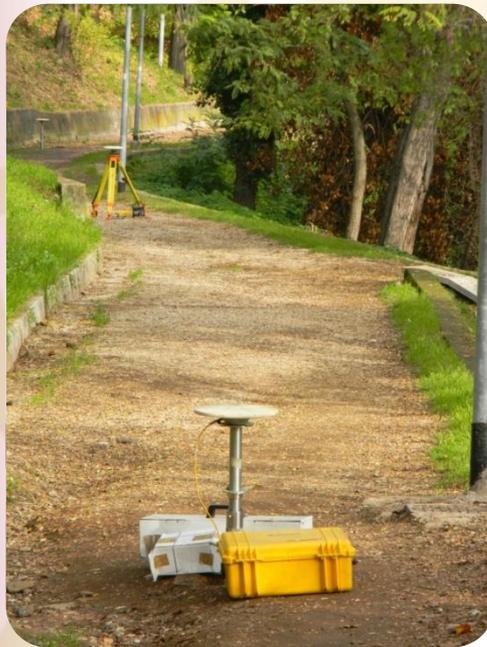


Monitoraggio Inclinometrico e GPS

Calcaterra S., Gambino P., Puzzilli L.M.

(SUO-GFI)

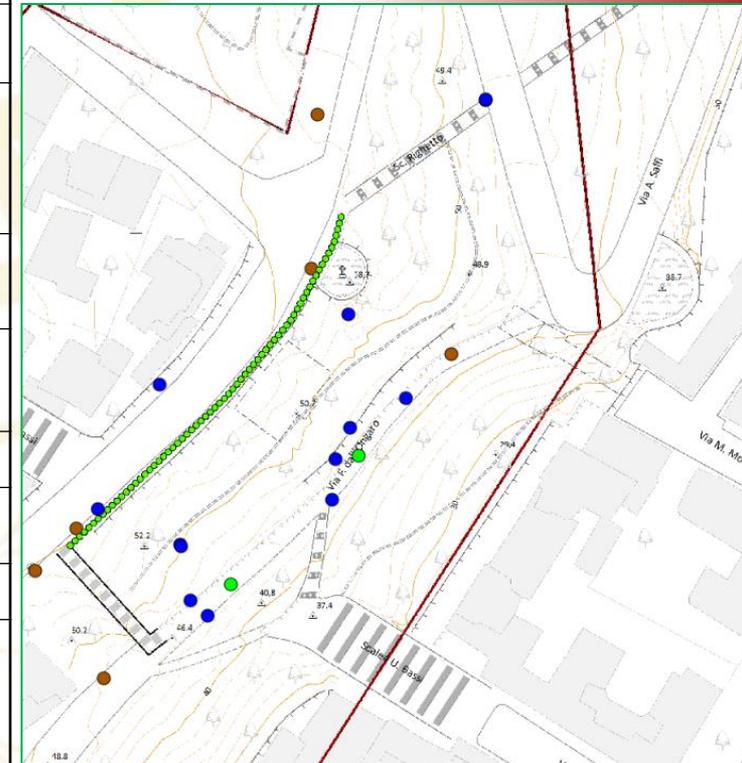


- Analisi dei dati derivati da studi precedenti
- Rete di monitoraggio deformazioni profonde (inclinometri) e superficiali (GPS)
 - Confronto ed analisi dei dati
 - Risultati e futuri sviluppi



L'opera ingegneristica di maggior rilievo è rappresentata dalla paratia di pali di grande diametro ($D=1200$ mm) realizzata nel 1984-85 per il consolidamento della pendice in frana insieme ad altre opere minori. Vengono realizzati subito dopo molti inclinometri (poco profondi) e la "rete" si amplia nel tempo con lo scopo di monitorare il comportamento dell'opera di consolidamento.

Anno	Esecutori	Durata	Risultati	Δt (anni)	Num. Tubi
1985-86		Luglio- Gennaio	3 misure – Spostamenti erratici in tutta l'area, 2.5mm a valle della paratia nell'16.	1	7
1988	GEOSONDA	Aprile- Ottobre	5 misure – Spostamenti a varie profondità a valle della paratia, una deformazione di 45mm/49 giorni si registra in un inclinometro a SW della paratia.	3	7-15(?)
1990	GEOTER	12 mesi	2 misure – Prima zonazione dell'area circostante la paratia sulla base di differenti ratei di spostamento orizzontale.	5	15
1990-1995	S.A.G.-C.I.M.	5 anni	Misure geodetiche eseguite in tutta l'area: massimo rateo di spostamento di 16 mm/anno a valle della paratia (Via dall'Ongaro)	10	
1996	Vengono installati 9 nuovi inclinometri				
1997	SOGEA	Dicembre- Maggio	2 misure – tasso di deformazione molto basso in tutti gli strumenti	12	15(?)
2004	Vengono installati 4 nuovi inclinometri				
2004		Gennaio	1 misura- dati collegati a quelli del 1997 mediante l'utilizzo della stessa sonda inclinometrica. Vel. di 1-3 mm/anno	19	4
2004-2005	GEOAMBIENTE	Giugno- Marzo	4 misure- dati non collegati a quelli di gennaio (sonda differente). Gli spostamenti orizzontali, rinvenuti anche a tergo della paratia, vengono attribuiti ad una frana in atto. Vel. di 1-3 mm/anno	20	15
2008-2009	Amanti & Catalano	1.5 anni	3 misure – dati collegati a quelli del 2005, spostamenti solo a valle della paratia attribuiti ad un movimento franoso con superficie di scorrimento a 10-12 m di profondità dal p.c.	23	15



● Tubi 1988

● Tubi 1996

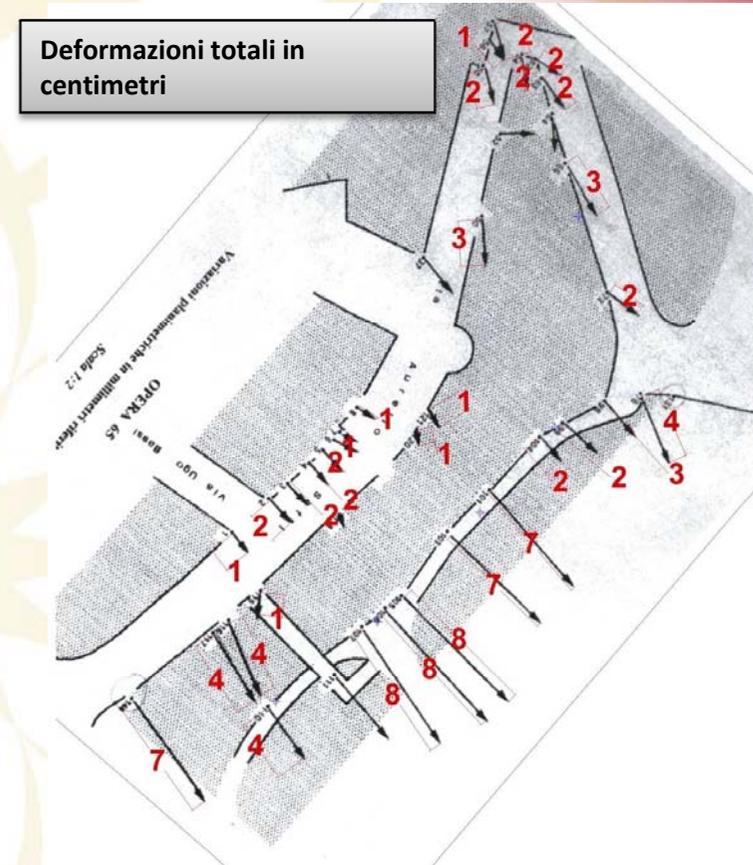
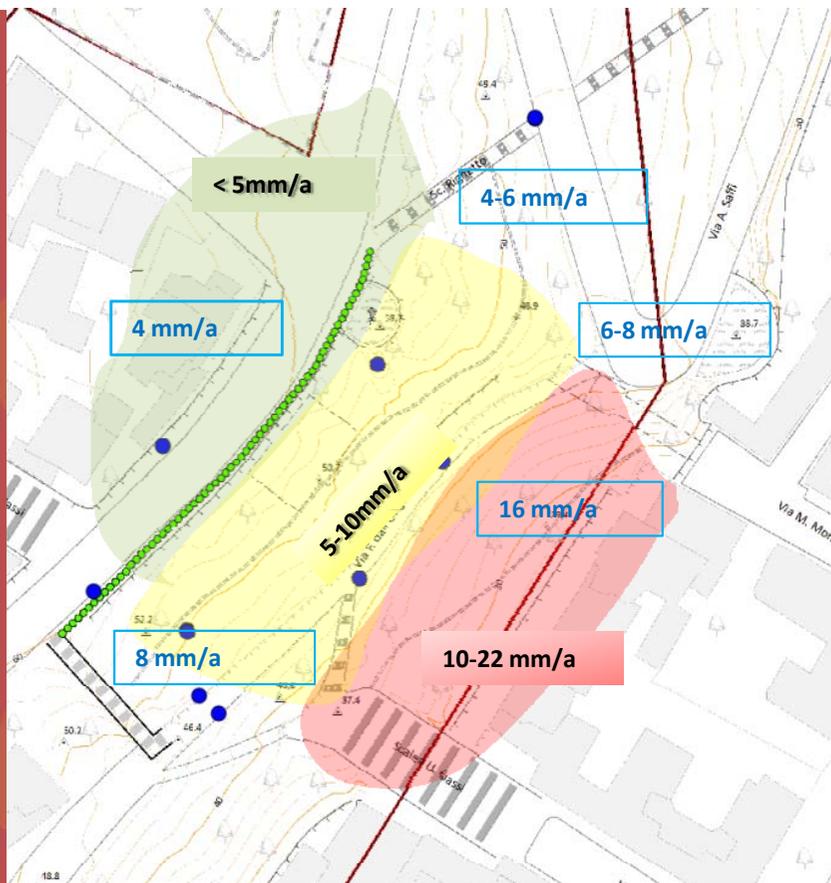
● Tubi 2004

SPOSTAMENTI ORIZZONTALI 1984 - 1990

Dal 1985 al 1988 le misure inclinometriche (lungo tubi non tutti oggi esistenti) danno indicazioni non estendibili all'intera area.

Nel 1990-91 la GEOTER monitora gli inclinometri a monte e valle della paratia, zonando l'area sulla base della velocità di deformazione orizzontale.

Dal 1990 al 1995 su incarico del comune di Roma vengono realizzati controlli geodetici estemporanei dalla S.A.G.-C.I.M., il rapporto conclusivo denuncia riaprirsi di lesioni (precedentemente suture) in costante evoluzione lungo le Mura Gianicolensi ed in generale sui manufatti in tutta l'area, i movimenti si registrano a valle della palificata e nelle aree non interessate dalla stessa.



Anche se a livello qualitativo, si apprezza la notevole differenza dei ratei di spostamento a monte e a valle della palificata. Lungo via dall'Ongaro si registrano spostamenti di 80 mm in 5 anni pari a 16 mm/anno in discreto accordo con quanto stimato dalla Geoter 1990 in 1 anno circa.

OSSERVAZIONI SULLA STABILITA' DELL'AREA (1997)

1997 – A 12 anni dalla costruzione della paratia i movimenti risultano praticamente assenti...ma non importa...

dal Rapporto sulla revisione dell' "Indagine geognostica per la sistemazione di via Ugo Bassi ed aree limitrofe" del 1996"

....., si evince che i fenomeni di dissesto che si sono susseguiti nel tempo appaiono essere tuttora attivi e :

- le masse coinvolte non risultano essere state stabilizzate dall'intervento del 1984, pertanto il versante appare potenzialmente instabile con rotture di pendio secondo superfici pseudocilindriche ad elevata potenzialità di innesco;
- nel complesso il versante appare fortemente decompresso e in condizioni di equilibrio limite.

10/02/1997 Relazione Geologico-tecnica dell'Indagine geognostica per il progetto di riqualificazione ambientale della scalinata Ugo Bassi" utilizzando dati della campagna geognostica GeoTecnosond 1996

- eseguire verifiche di stabilità attraverso modellazioni matematiche appare quantomeno poco realistico,
- l'individuazione e la quantificazione dei processi gravitativi del versante dovranno essere realizzate sulla base della interpretazione di auspicabili letture strumentali sugli inclinometri appena installati;

...2004 - contrordine, i movimenti sono ovunque !!!

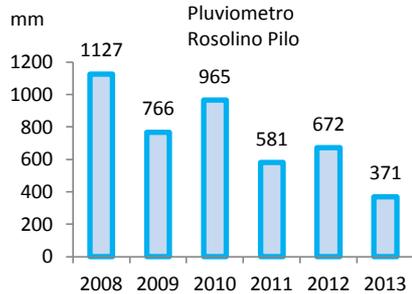
Particolare attenzione va riservata ai tubi inclinometrici, I_2_96, I_8_96 e I_9_96, ubicati a monte dell'area di Via dell'Ongaro dove si individuano con certezza movimenti lungo superfici di scollamento ben individuabili. Il controllo inclinometrico effettuato su queste installazioni individua

.....anzi no.....

presenza di questi spostamenti ancora non può essere definita con certezza come risultato di
movimenti lungo superfici di scollamento per frana in quanto si osserva la presenza diffusa di
errori accidentali causati dall'inevitabile spazio di tolleranza esistente tra le ruote della sonda e le
guide del tubo (incrostazioni, impurità, assestamenti ai manicotti di giunzione) della stessa
ampiezza degli spostamenti con azimut compatibile con movimenti verso valle.

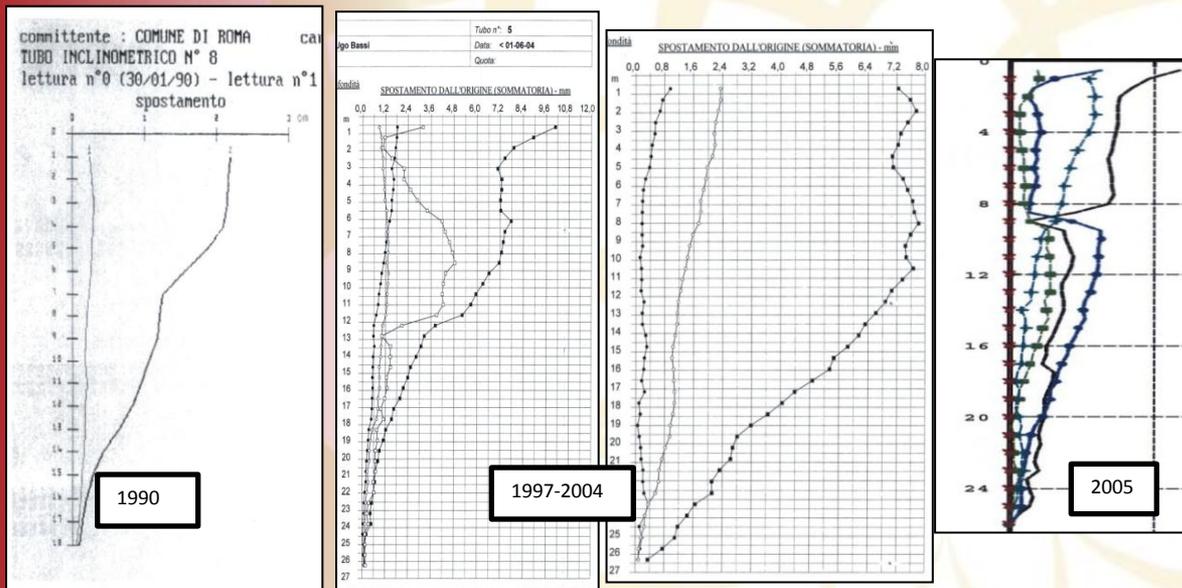


I risultati delle differenti campagne di misura degli spostamenti orizzontali provengono da differenti campagne, effettuate da differenti soggetti che forniscono informazioni non coerenti tra di loro per vari motivi:



- tempi di monitoraggio molto differenti
- letture riferite a inclinometri differenti (qualche volta non più esistenti)
- letture eseguite con sonde inclinometriche differenti
- stato di conservazione molto carente per alcuni inclinometri
- mancanza di precisi riferimenti nel collegamento tra le misure delle campagne 1997-2004 e per l'ultima del 2008-2009

Non ci sono monitoraggi delle teste tubo, nessun tentativo di correlazione con i dati di pioggia...

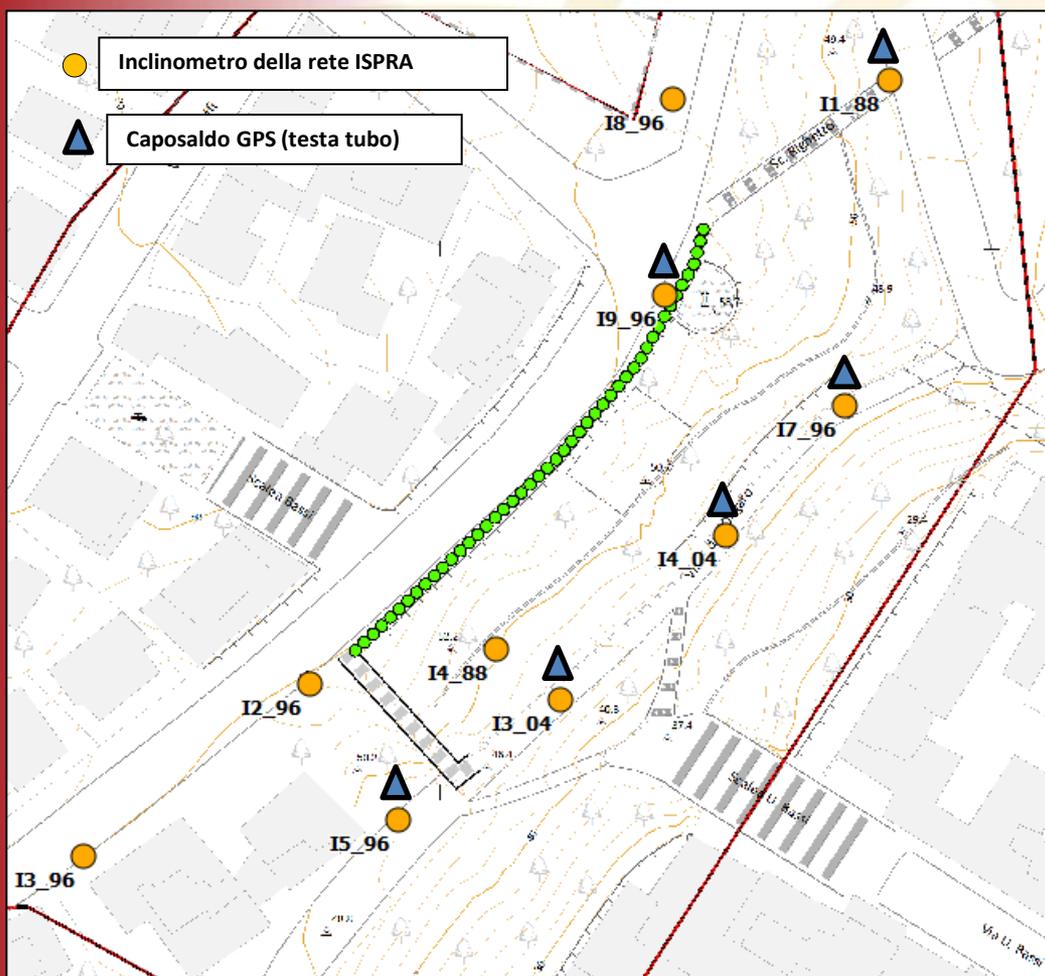


...dopo 10 anni dalla costruzione erano state effettuate solo 10 misure di spostamento...



Tenendo presente i risultati di tutte le campagne è stata stimata una velocità annua massima attesa pari a 0.5 cm per le verticali inclinometriche a valle della paratia

La rete di monitoraggio ISPRA degli spostamenti superficiali e profondi si compone di 11 inclinometri pre-esistenti, alcuni dal 1988, 6 dei quali sottoposti a controllo periodico delle teste tubo mediante GPS. Sono state realizzate 16 campagne di letture inclinometriche e 3 campagne di lettura GPS.



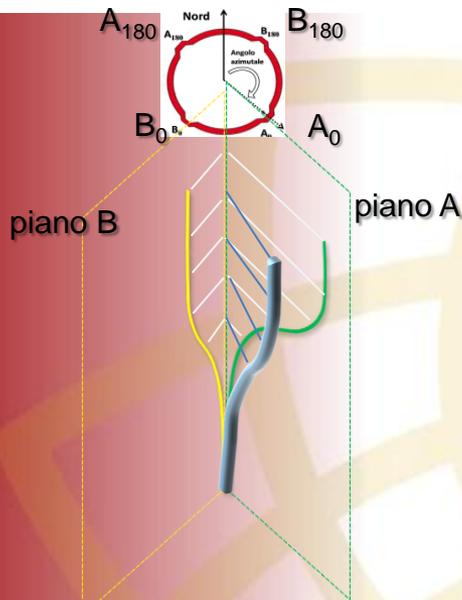
2011				
Data	ID	Lettura	Tubo	Camp.
27/10/11	1	L0A	I1_88	0
	2	L0B	I1_88	
	3	L0A	I5_96	
	4	L0B	I5_96	
	5	L0A	I4_88	
	6	L0B	I4_88	
28/10/11	7	L0A	I3_04	1
	8	L0A	I7_96	
	9	L0B	I7_96	
	10	L0A	I4_04	
	11	L0B	I4_04	
	12	L0A-1m	I9_96	
18/11 e 23 /11/2011 Letture zero GPS				
28/11/11	14	L1A	I7_96	2
	15	L1B	I7_96	
29/11/11	16	L1A	I1_88	2
	17	L1A	I3_04	
	18	L0A	I2_96	
	19	L0B	I2_96	
	20	L1A	I5_96	
	21	L1B	I5_96	
	22	L1A	I4_04	
	23	L0A	I9_96	
	24	L0B	I9_96	
	2012			
17/01/12	25	L2A	I7_96	3
	26	L2B	I7_96	
18/01/12	27	L2A	I5_96	4
	28	L2B	I5_96	
31/01/12	29	L1A	I4_88	5
	30	L1A	I2_96	
	31	L1A	I9_96	

ID: num. progressivo lettura
Camp: num. progressivo campagna di monitoraggio

2012				
Data	ID	Lettura	Tubo	Camp.
02/02/12	32	L2A	I4_04	6
	33	L2A	I3_04	
07/03/12	34	L3B	I5_96	7
	35	L3A	I4_04	
	36	L3A	I3_04	
	37	L2A	I1_88	
08/03/12	38	L2A	I4_88	8
	39	L3A	I7_96	
29/03/12	40	L0A	I3_96	9
18/4 e 26 /4/2012 Lettura 1 GPS				
05/06/12	41	L4A	I4_04	10
	42	L4A	I3_04	
	43	L3A	I1_88	
08/06/12	44	L4B	I5_96	11
	45	L4A	I7_96	
	46	L3B	I7_96	
	47	L3A	I4_88	
30/10/12	48	L5A	I7_96	12
	49	L4B	I7_96	
	50	L5A	I3_04	
	51	L4A	I1_88	
05/11/12	52	L2A	I2_96	13
	53	L2A	I9_96	
	54	L1A	I3_96	
	55	L5A	I4_04	
	56	L1B	I4_04	
26/11/2012 Lettura 2 GPS				
2013				
10/01/2013 Lettura 2 GPS				
28/01/13	57	L3A	I5_96	14
	58	L5B	I5_96	
27/03/13	59	L6A	I7_96	15
	60	L5B	I7_96	
	61	L6A	I4_04	
	62	L2B	I4_04	
	63	L4A	I4_88	
03/04/13	64	L1B	I4_88	16
	65	L6A	I3_04	
	66	L0B	I3_04	

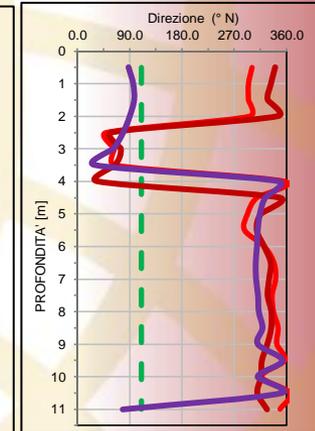
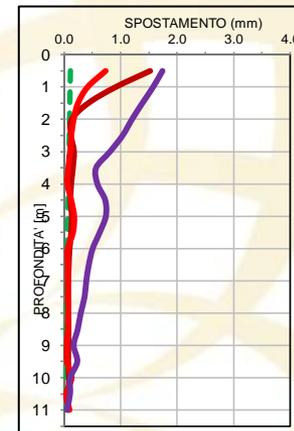
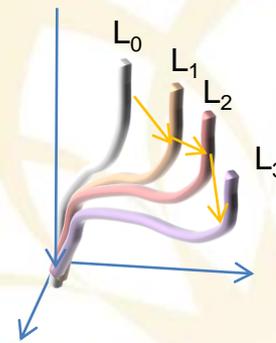
Misura degli spostamenti orizzontali profondi mediante inclinometri

La strumentazione inclinometrica è costituita da una tubazione posizionata all'interno del terreno (spesso si utilizzano fori di sondaggio) e resa solida con esso mediante cementazione dell'intercapedine tubo-terreno. Lo scopo è quello di assicurare che lo strumento possa deformarsi in modo "solidale" con il terreno consentendo di ricavare informazioni geotecniche (p.es. deformazione/velocità di deformazione orizzontale, identificazione di superfici di rottura, cinematismo ecc). **Il tubo viene inserito nel terreno avendo cura che la guida A sia posta lungo la direzione di previsto movimento.**



Le letture, realizzate seguendo standard internazionali (ASTM D4622-86), consentono di definire nello spazio la posizione del tubo rispetto alla verticale. Le misure vengono ripetute N volte ad intervalli di tempo, ottenendo misure di spostamento differenziale.

Per semplicità si utilizzano rappresentazioni grafiche 2D fornendo i dati di spostamento integrati e cumulati in associazione a valori di direzione dello spostamento (rispetto al Nord).



Prof. (m)	Pos.A mm	Pos.B mm
-0.5	33.2	3.2
-1.0	26.0	3.9
-1.5	23.7	3.4
-2.0	21.5	2.8
-2.5	16.4	1.8
-3.0	7.8	-0.7
-3.5	6.4	-1.3

Le misure, ottenute con letture coniugate sui due assi, sono affette da errori accidentali ϵ^r e sistematici ϵ^s che dovrebbero essere evitati o quantomeno identificati per salvaguardare la qualità dei dati spostamento.

$$A = \frac{A_0 - A_{180}}{2}$$

$$B = \frac{B_0 - B_{180}}{2}$$

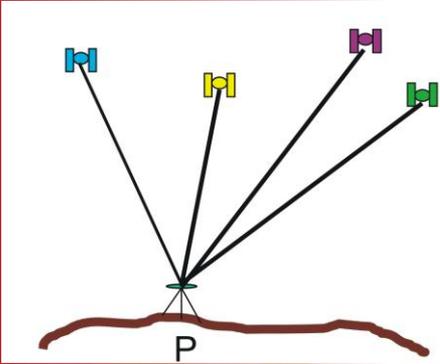
Una stima preliminare dell'errore è dato dal valore delle semisomme di controllo (checksum) lungo gli assi A e B (S_A e S_B)

$$S_A = \frac{A_0 + A_{180}}{2} = \epsilon_A^s + \epsilon_A^r$$

$$S_B = \frac{B_0 + B_{180}}{2} = \epsilon_B^s + \epsilon_B^r$$

Sistema di rilevamento superficiale delle deformazioni mediante GPS

Il GPS è un sistema di posizionamento spaziale e temporale basato sulla misura del tempo impiegato da un opportuno segnale elettromagnetico a percorrere la distanza compresa tra i satelliti della costellazione GPS (almeno quattro) ed un ricevitore, fermo o in movimento, posto in prossimità o sulla superficie terrestre P(Barzaghi,2007)

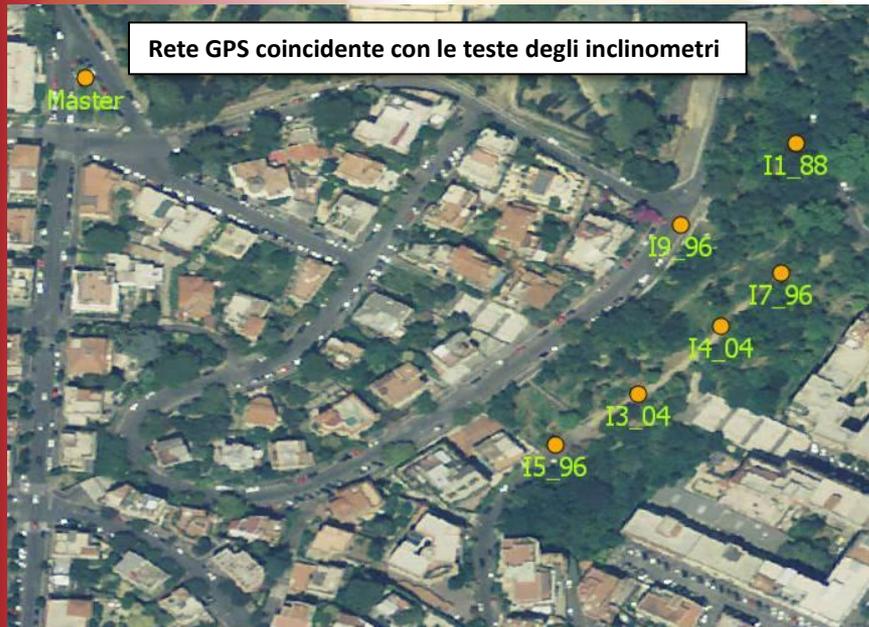


- **Non richiede** intervisibilità tra capisaldi e può funzionare con qualsiasi condizione atmosferica
- **Permette** misure periodiche o in continuo

L'uso può essere limitato dalla vegetazione fitta, dalla presenza di ostacoli e interferenze elettromagnetiche

Il monitoraggio eseguito in corrispondenza della testa degli inclinometri consente di:

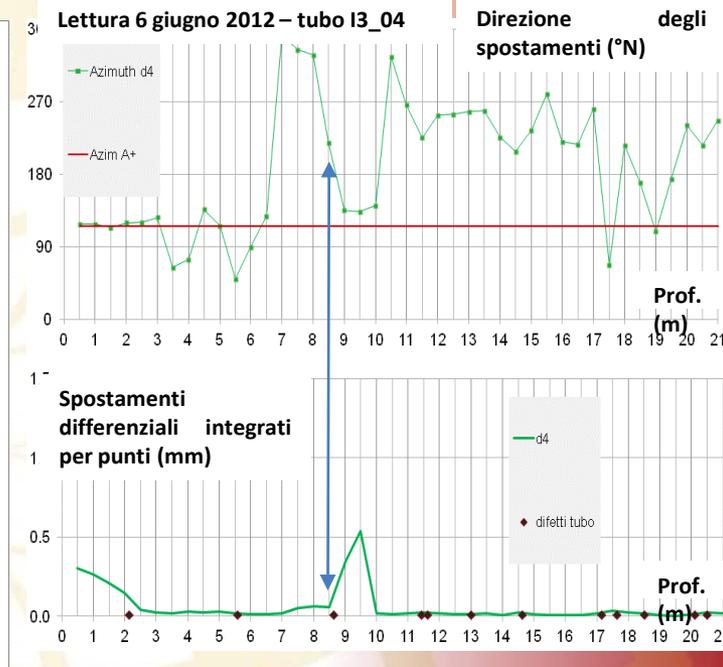
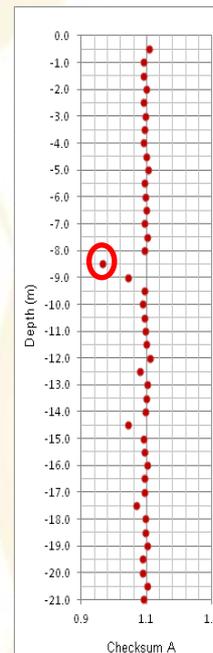
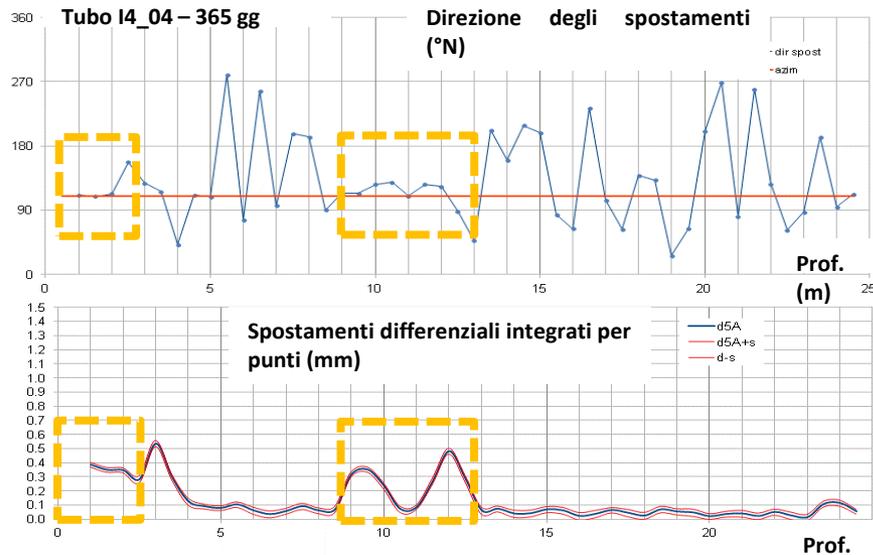
- verificare l'ancoraggio del tubo inclinometrico ad un *bedrock* stabile
- valutare l'esistenza di eventuali movimenti più profondi di quelli individuati con l'inclinometro
- proseguire il monitoraggio degli spostamenti in futuro nell'eventualità di interruzione del tubo inclinometrico
- controllo reciproco della bontà delle misure inclinometriche e GPS



N° sessioni > 2
durata sessioni > 5h
rate acquisizione = 15 sec
cut off = 15°



L'età e lo stato di conservazione dei tubi ha reso necessaria una procedura di **controllo statistico** delle misure (Simeoni e Mongiovi, 2007). La procedura prevede l'individuazione con il criterio di Chauvenet di valori di lettura "sospetti", il ri-calcolo dei valori delle somme di controllo S_A e S_B "corretti" da cui viene stimata la accuratezza delle letture. I valori S_A e S_B "corretti" rappresentano una **stima dell'errore sistematico** che, in caso di misure di bassa qualità, propagandosi aritmeticamente lungo la verticale, maschera spostamenti di alcuni millimetri. Vengono considerati allora gli **spostamenti differenziali integrati** alle singole profondità e la corrispondente direzione di spostamento, congruente o meno con la direzione della guida A_0 .

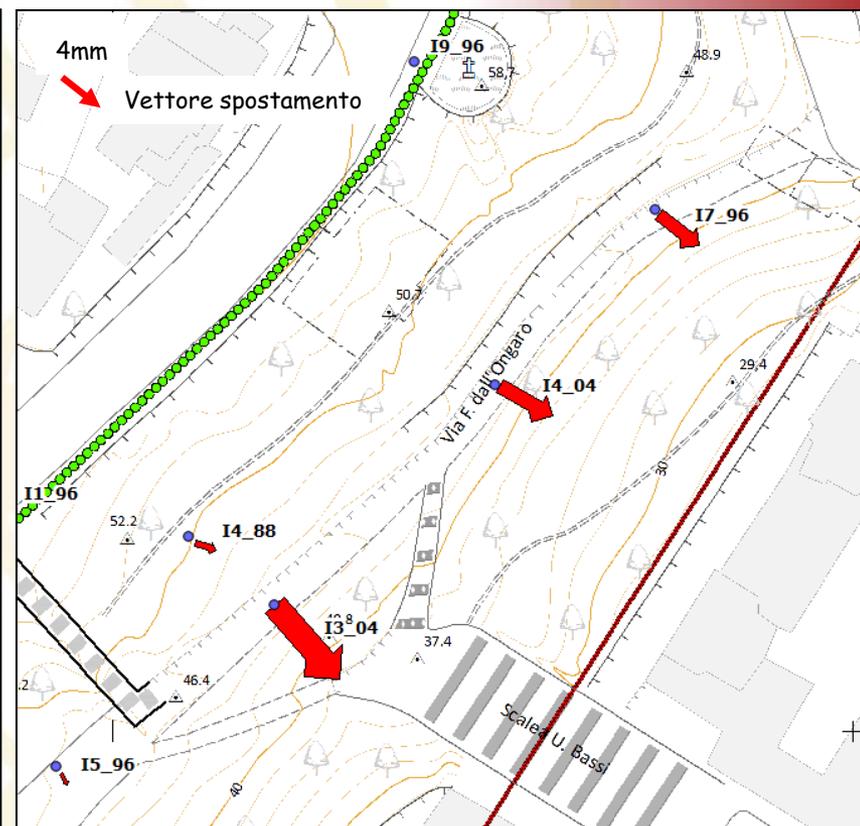
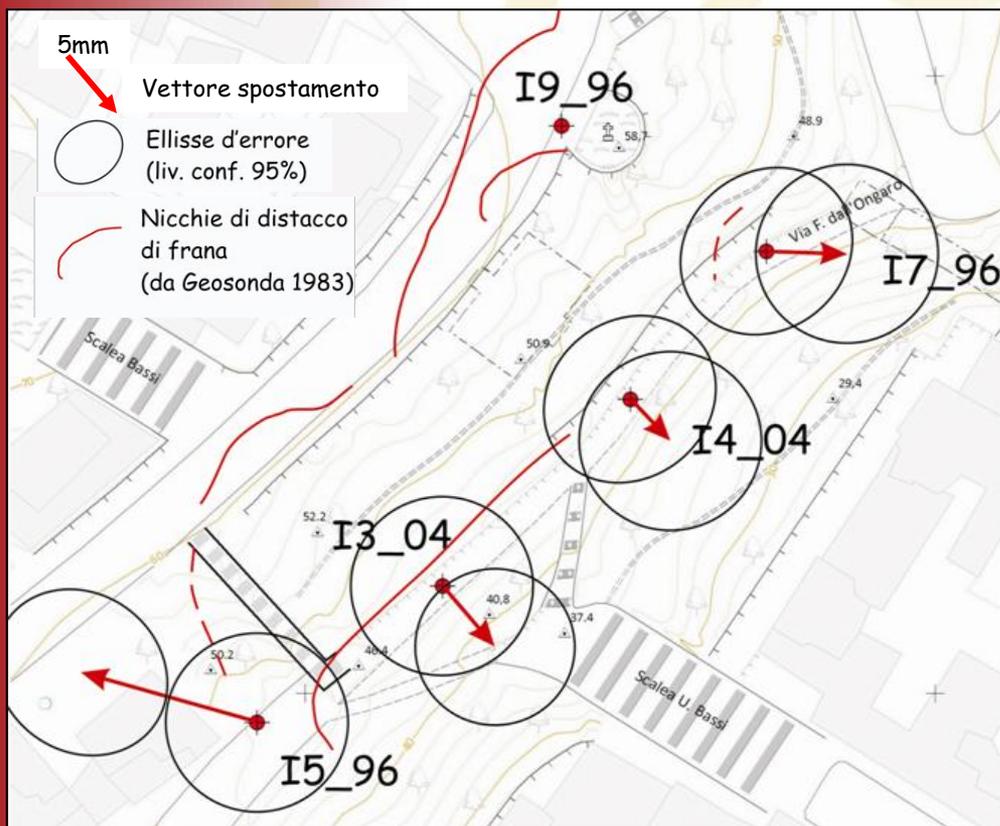


Passa attraverso questa analisi anche il riconoscimento degli intervalli di profondità interessati da movimento

Il valore di checksum a 8.5 m è sospettato di contenere un errore grossolano in base al controllo statistico per il rigetto delle misure, la direzione degli spostamenti cumulati a 8.5 m profondità è molto distante dalla direzione A_0 .

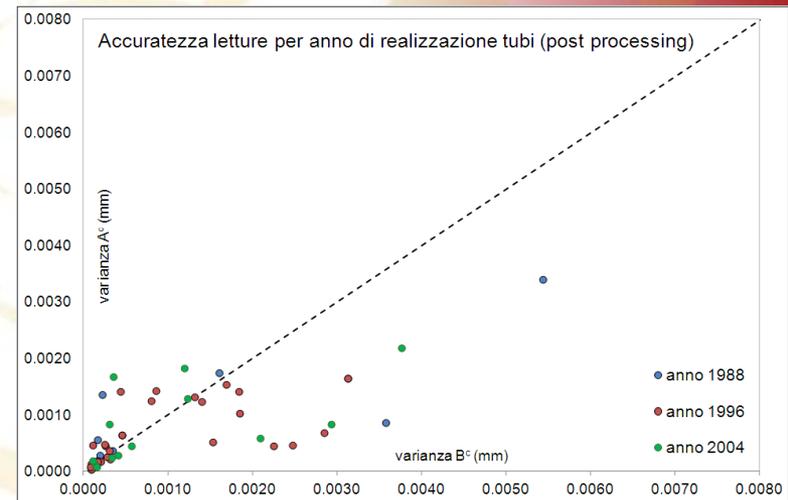
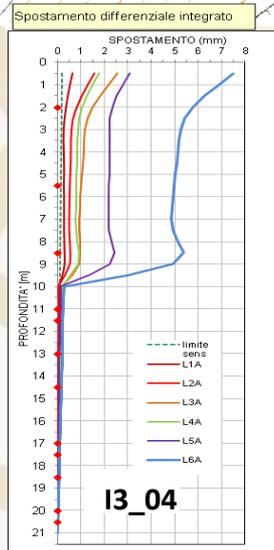
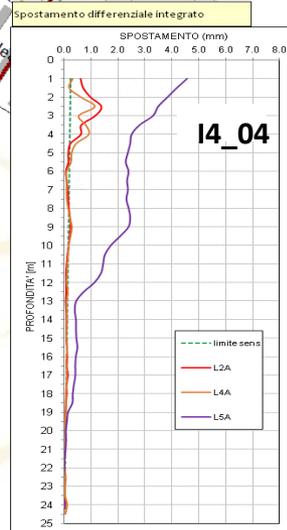
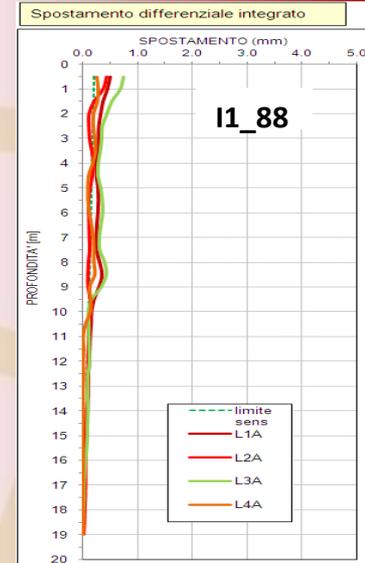
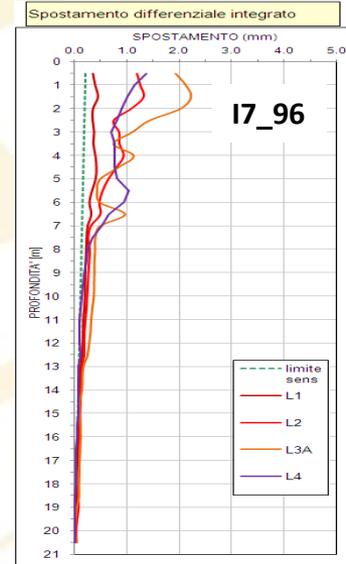
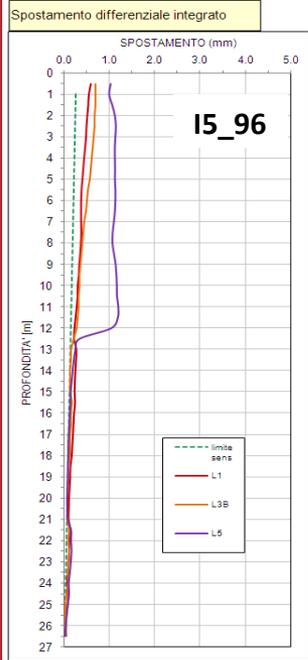
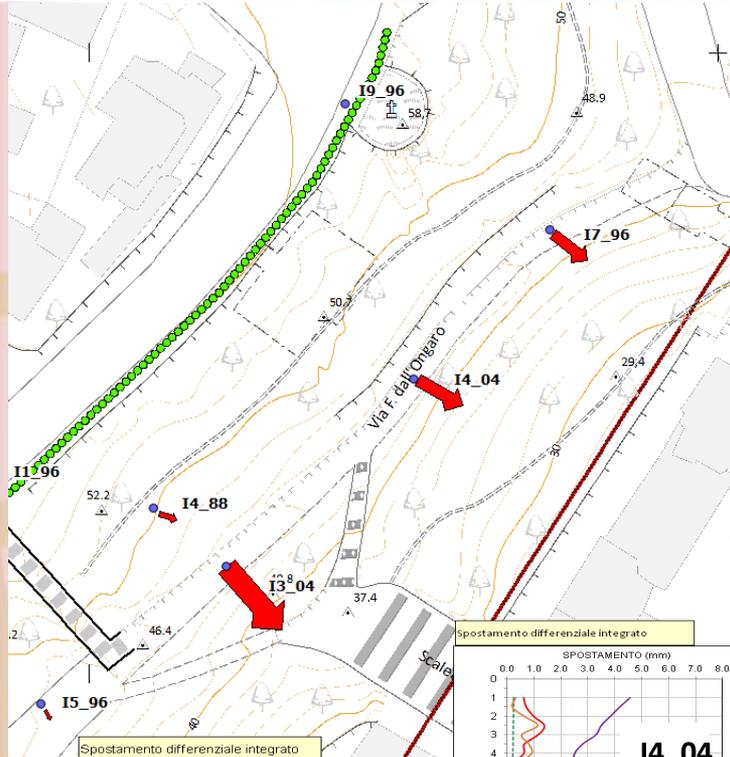
Il confronto dei movimenti ottenuti dalle misure GPS con le deformazioni rilevate dalle misure inclinometriche evidenzia quanto segue:

- Gli inclinometri a monte della paratia non presentano movimenti;
- I4_04 : spostamenti molto simili in modulo e direzione (5mm GPS, 4.6 mm INCL)
- I3_04 : i metodi rilevano spostamenti molto simili (7mm verso SE) in modulo e direzione;
- I7_96 : i metodi rilevano spostamenti differenti in modulo e direzione (7mm verso E per le misure GPS, 4mm verso SE INCL)
- I5_96: movimenti GPS di 16mm verso NW, le misure inclinometriche mostrano spostamenti pressoché nulli



LE FRANE IN AREE URBANE IL CASO DI MONTEVERDE A ROMA

Spostamento differenziale integrato a testa tubo



Esecutori delle misure:
Roberto Curatella,
Enzo Mariani

Risultati del monitoraggio degli spostamenti

- Il monitoraggio ISPRA può essere considerato il primo vero e proprio periodo di osservazione degli spostamenti specie se paragonato, in termini di quantità e qualità dei dati, con quelli precedenti.
- Gli strumenti deputati al controllo degli spostamenti orizzontali **a monte della paratia indicano la sostanziale assenza di movimento sia superficiale che profondo.**
- I movimenti del versante riscontrati ad una certa profondità attraverso il monitoraggio inclinometrico sono rappresentati da **spostamenti di entità variabile da 2-3 a 4-5 mm a profondità variabili tra i 9 e 12 metri** (quota s.l.m. 34-36 m nei tubi lungo Via dall'Ongaro)
- Tali movimenti hanno mostrato nelle ultime misure un **trend in lieve aumento** e sono confortati dal confronto con le misure GPS
- Inoltre l'esperienza dimostra che, contrariamente a quanto fatto in tutte le precedenti campagne, per definire i ratei di spostamento, **sono necessarie misure ravvicinate nel tempo con un controllo accurato della qualità delle misure e soprattutto elevati standard di acquisizione dati.**
- In base all'analisi e revisione dei dati precedenti, le profondità dei piani di scivolamento ipotizzate nelle precedenti campagne sono state talvolta confermate e/o precisate, le velocità di spostamento meglio definite. Quest'ultime divengono "anomale" solo quando si considerano valide misure di qualità non adeguata (2004-**compaiono movimenti centimetrici a tergo della paratia dopo oltre 12 anni dalla sua costruzione...**) o nel tentativo di unire misure di campagne differenti.

Tubo	GEOAMBIENTE 2004-2005				Amanti & Catalano			ISPRA	
	d _i 1997-2004 (mm)	Prof. dal p.c. 1997-2004 (m)	d _i 2004-2005 (mm)	Prof. dal p.c. 2004-2005 (m)	d _i 2005-2009 (mm)	d _i 2008-2009 (mm)	Prof. dal p.c. 2008- 2009 (m)	d _i 2011-2013 (mm)	Prof. dal p.c. 2011- 2013 (m)
I5_96	1.9	11.5-12	0.8	11.5	2.9	<3	12-13	1	11-12.5
I4_04			0.6	<u>9.5</u>	13.4	4.7	<u>9-12</u>	4.6	<u>9-12.5</u>
I3_04			0.8	<u>8.5</u>	11.5	3.4	<u>8.5-9.5</u>	7.5	<u>8.5-9.5</u>
I4_88					17.5	4.9	0-3	1.7	2.5-4
I7_96	14	6-5.5	1.6	<u>5.5</u>	21.2	2.6	<u>6-7</u>	3.8	<u>5.5-7</u>
I1_88	9	7.5-8	1.5	7.5	20.9	4.5	8-10		non conf.
I3_96	1.5-3	6.5-7.5	0.4	6.5			non conf.		non conf.
I2_88			0.9	11.5			non conf.		non conf.

Futuri sviluppi

Prosecuzione delle campagne di monitoraggio GPS e inclinometriche in contemporanea per almeno un altro anno

Correlazione degli spostamenti con i dati di pioggia della stazione pluviometrica Rosolino Pilo

Grazie alla collaborazione con l'ing. Daniela Niceforo è in corso una analisi statistica dei dati della campagna 2008-2009 (gentilmente concessi dal dr. Catalano) che dovrebbe portare alla ricostruzione, dal 2008 al 2013, degli spostamenti orizzontali lungo i tubi a valle della paratia ed a possibili correlazioni con i dati di pioggia



Grazie per l'attenzione