



Università degli Studi della Basilicata



*Dipartimento delle Culture Europee e
del Mediterraneo*

ANALISI DI PERICOLOSITÀ E MONITORAGGI FINALIZZATI ALLA SALVAGUARDIA E FRUIZIONE DEL PATRIMONIO DELLE CIVILTÀ IPOGEE

Prof. Giuseppe Spilotro

Dr. Roberta Pellicani

Dr. Ilenia Argentiero

STATO DELL'ARTE – PATRIMONIO DELLE CIVILTÀ IPOGEE



Sassi di Matera



Ginosa



Gravina in Puglia

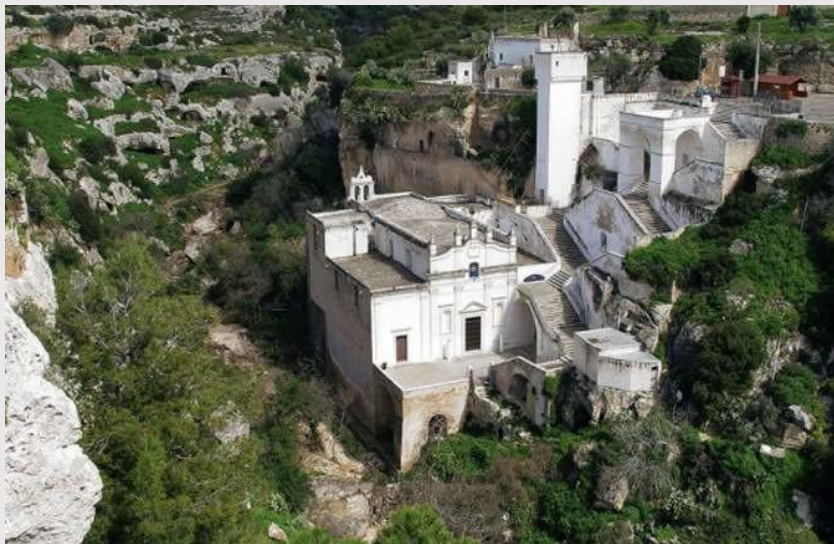
STATO DELL'ARTE – CHIESE RUPESTRI



Santa Maria dell'Idris, Matera



Convicinio di Sant'Antonio, Matera



Santuario Madonna della Scala, Massafra



Madonna della Buona Nuova, Massafra

STATO DELL'ARTE – PERDITA DEL PATRIMONIO CULTURALE E ARTISTICO



Crollo Ginosa, 2014

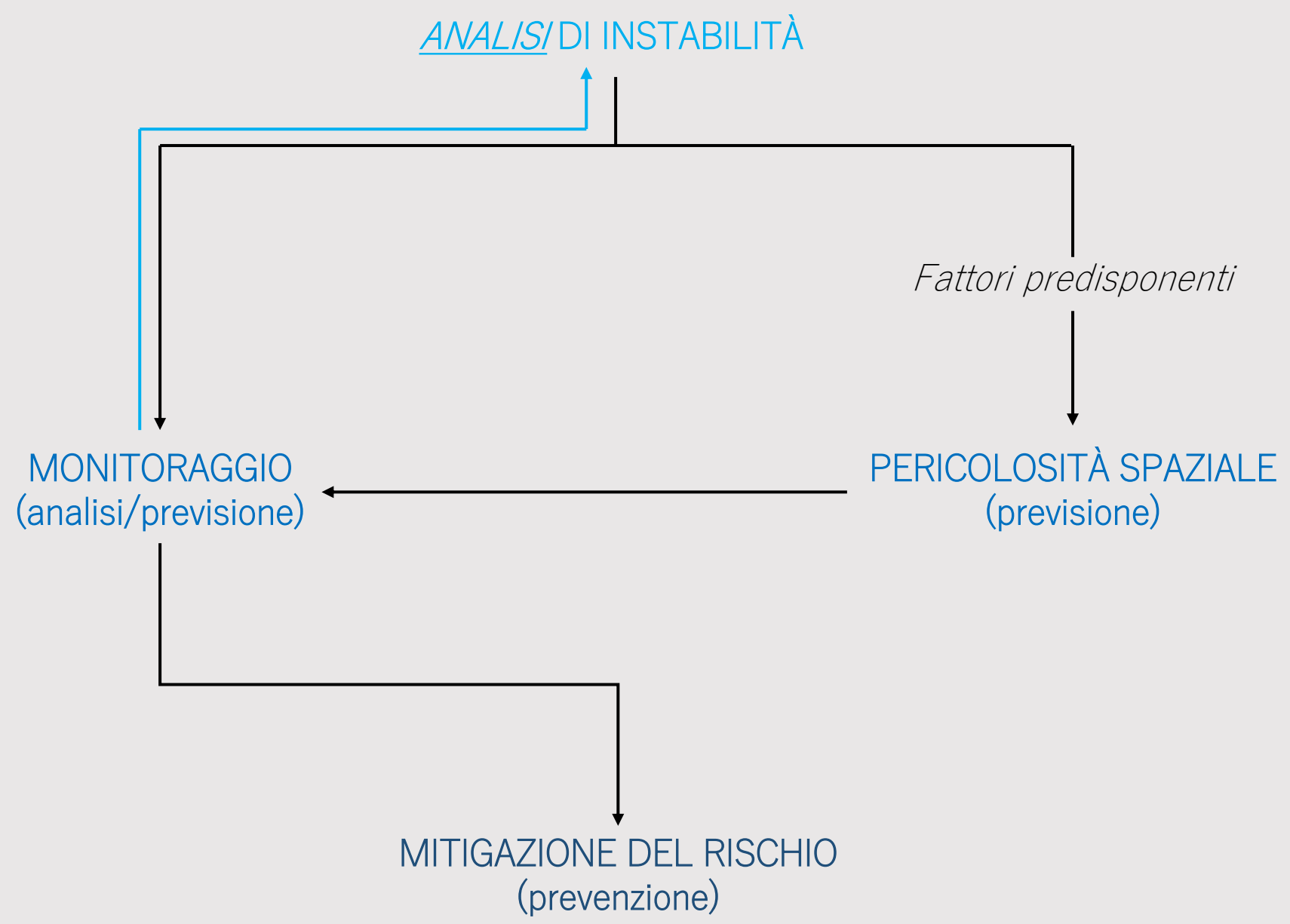


*Tipici crolli di
chiese e
insediamenti
rupestri
(Matera)*



*Crollo Madonna della Buona Nuova,
Massafra, 2017*

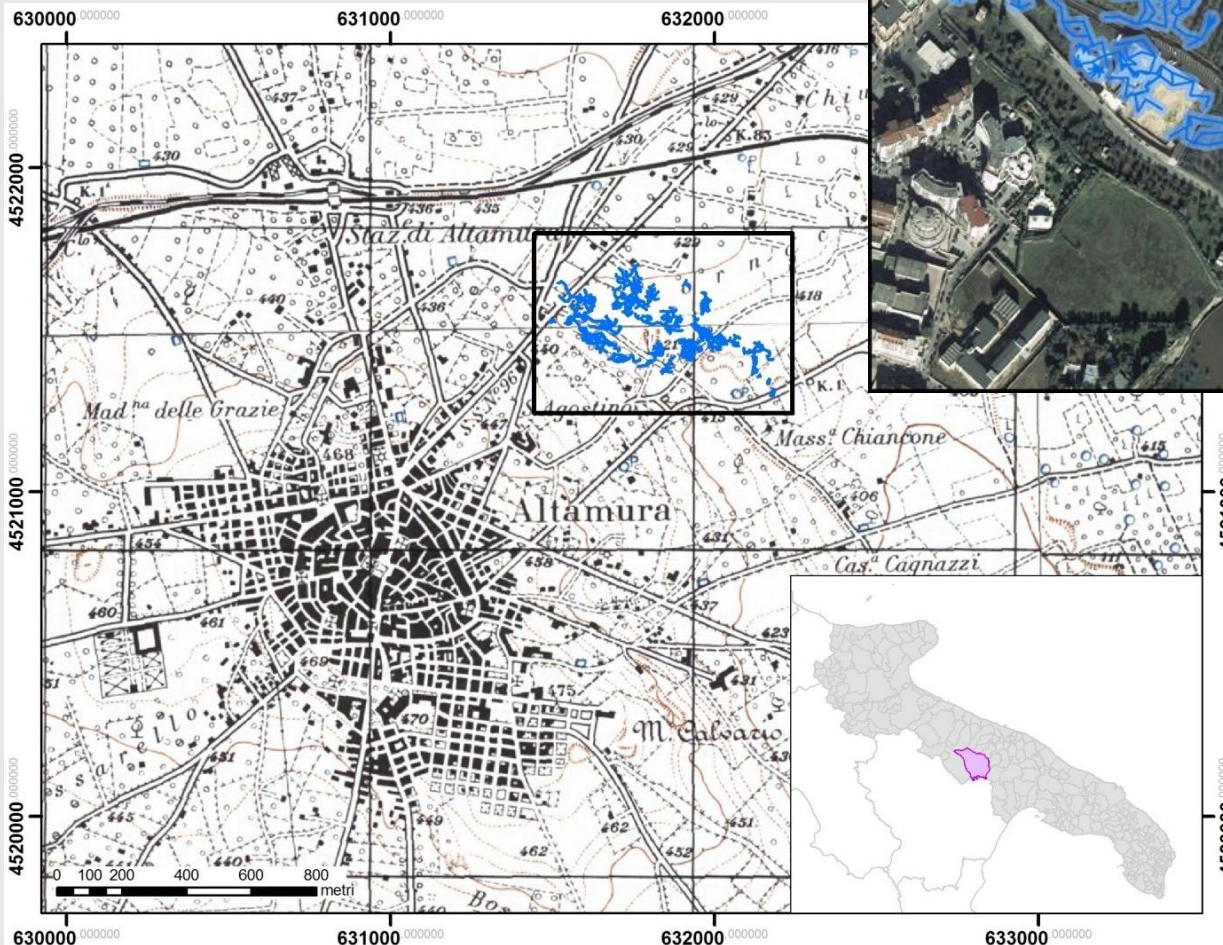
ANALISI, PREVISIONE E PREVENZIONE DEL RISCHIO



ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE - SUSCETTIBILITÀ

Caso di studio – Altamura

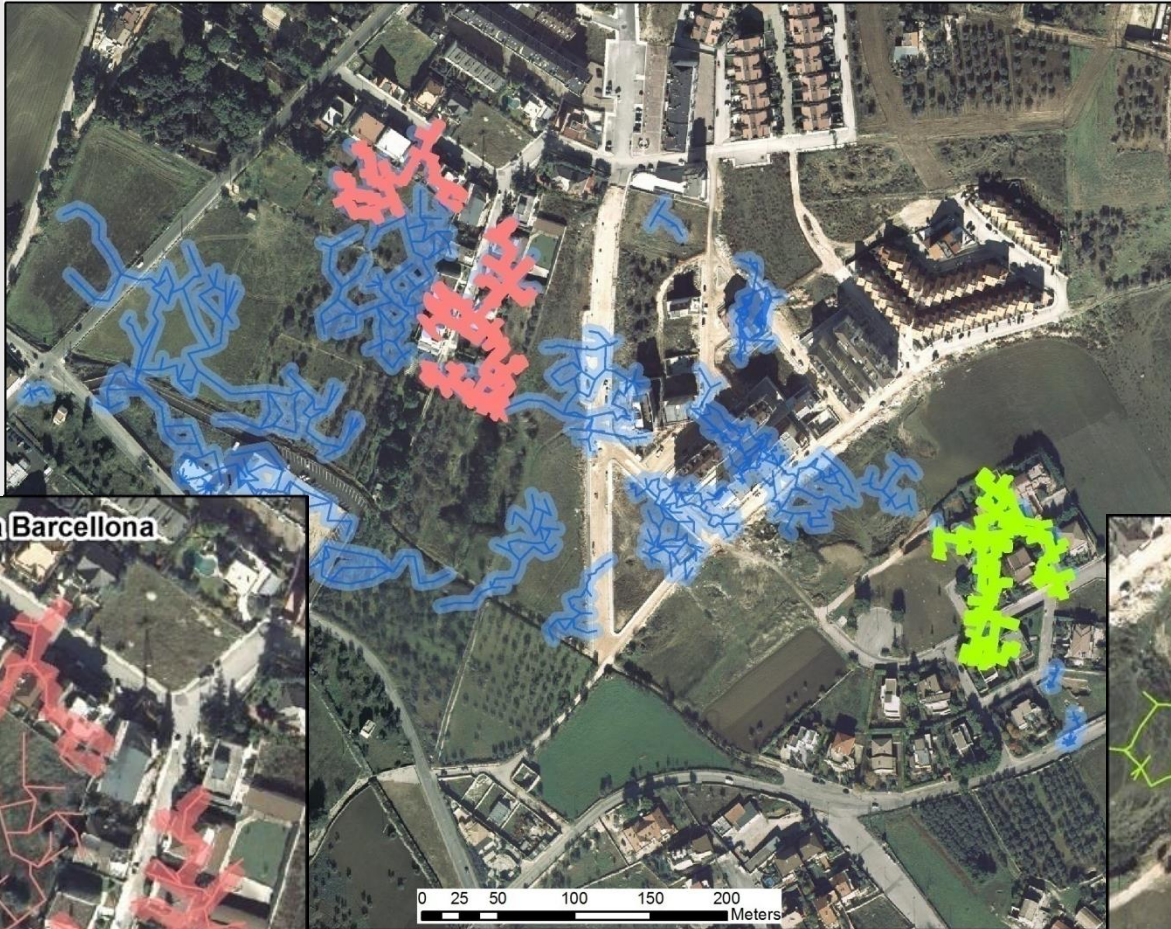
Cave di tufo in sotterraneo scavate secondo direzioni molto irregolari ad una profondità variabile da 5 a 25 metri dal piano campagna.



Le altezze e larghezze medie sono di circa 4-5 metri con punti che raggiungono sia in altezza che in larghezza i 10 metri.

Pellicani R., Spilotro G., Gutiérrez F. (2017) Susceptibility mapping of instability related to shallow mining cavities in a built-up environment. *Engineering Geology*, 217: 81-88. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.12.011.

ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE - SUSCETTIBILITÀ



ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE – SUSCETTIBILITÀ

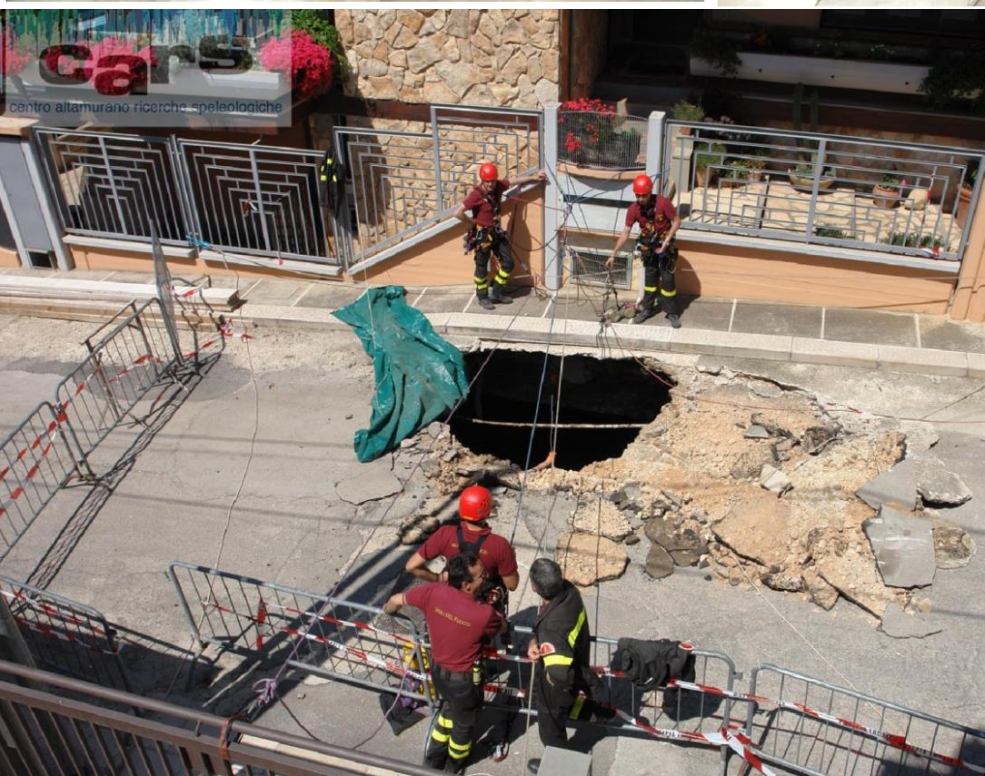
TIPOLOGIE DI DISSESTO DELLA RETE CAVEALE



(a) Crolli con conseguente accumulo di materiale



(b) Distacco totale di lastre sub-parallele o inclinate verso l'alto dalle pareti



Sinkhole in Via Barcellona (2007)



(c) Distacco di blocchi colonnari dalle pareti

ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE - SUSCETTIBILITÀ

Probabilità che in una determinata area si possa verificare un fenomeno di dissesto nelle cavità, potenzialmente causa di sprofondamenti



*Assetto stratigrafico
Naturale degrado del materiale
Attività antropiche di superficie
Condizioni ambientali (allagamenti e saturazione igroscopica)*



Mappatura della suscettibilità

Individuare le zone con maggiore potenzialità di dissesto, che richiedono un continuo monitoraggio o interventi di bonifica

ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE – SUSCETTIBILITÀ

MODELLI STATISTICI MULTIVARIATI

*Analisi
Discriminante*

$$L = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_mX_m$$

L: variabile dipendente
(percentuale di dissesto);
Xn: variabili indipendenti (fattori
predisponenti l'instabilità);
Bn: coefficienti di correlazione.

*Regressione
Logistica*

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_mX_m$$

p: variabile dipendente (probabilità
spaziale di dissesto);
Xn: variabili indipendenti (fattori
predisponenti l'instabilità);
Bn: coefficienti di correlazione.

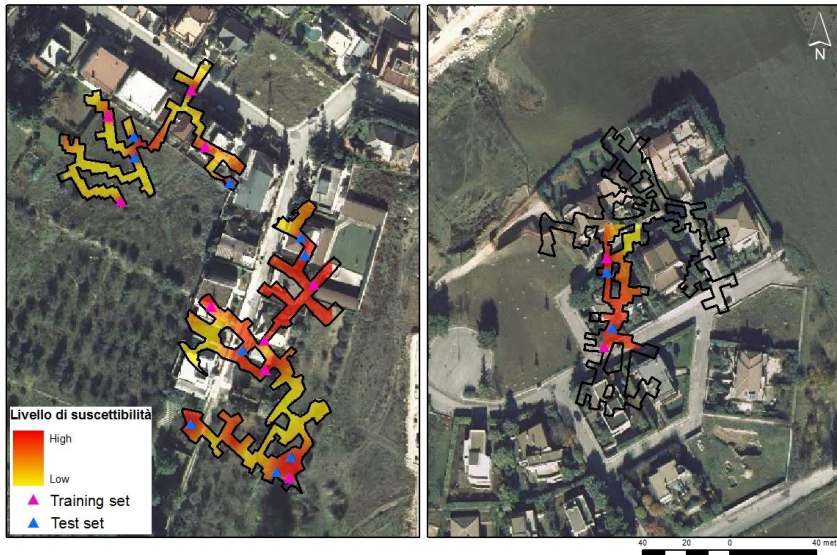
Coefficienti di correlazione relativi ai fattori di instabilità

Fattore	Variabile	Analisi Discriminante	Regressione Logistica
Geometrico	Altezza max	-0.532	-0.735
	Altezza min	-	0.824
	Larghezza max	-0.233	-0.357
	Larghezza min	-	-
	Estensione max	-0.241	-0.145
	Estensione min	0.004	0.313
Stratigrafico	Spessore calcarenite	0.127	-0.010
	Spessore argilla	-0.204	-0.098
	Spessore terreno misto	-0.111	1.000
	Spessore totale	0.101	-
Di carico	Fattore strutturale	-0.460	-0.756
	Fattore di carico	-0.130	-0.169
	Presenza edifici	-0.642	-0.802

ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SPAZIALE – SUSCETTIBILITÀ

MAPPATURA DELLA SUSCETTIBILITÀ

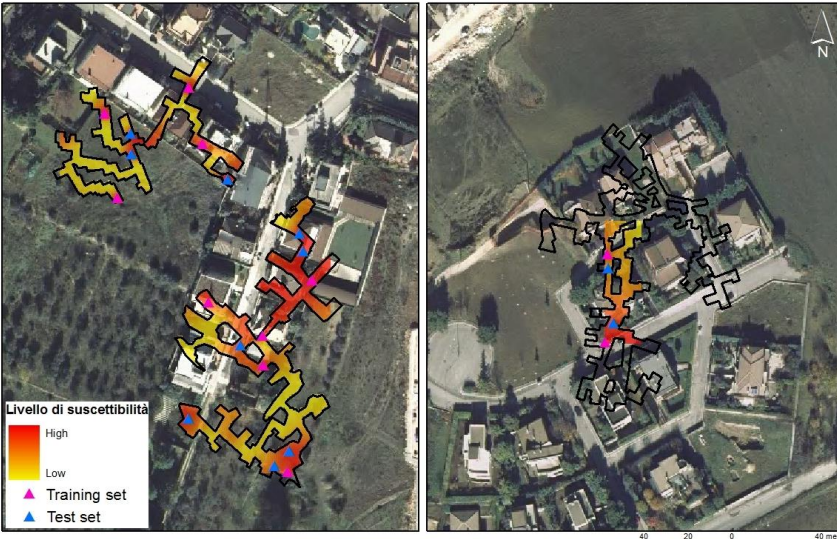
Analisi Discriminante



Via Barcellona

Zona Parco Pepe

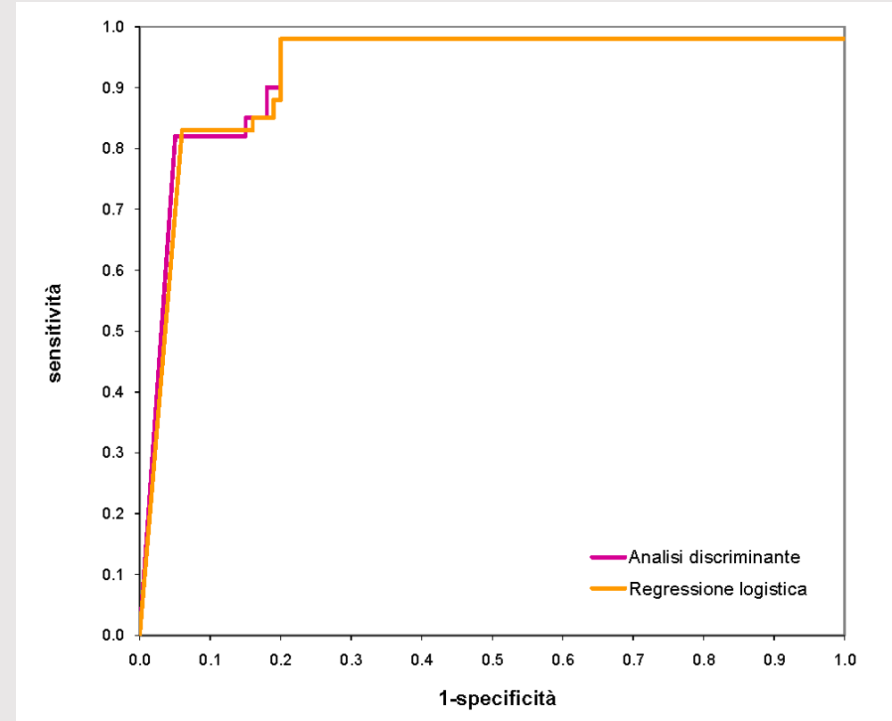
Regressione Logistica



Via Barcellona

Zona Parco Pepe

Valutazione delle performance ROC Curves



Modello	AUC	Error std	Intervallo di confidenza al 95% asintotico	
			Limite inferiore	Limite superiore
Analisi Discriminante	0.970	0.022	0.926	0.957
Regressione Logistica	0.967	0.022	0.923	0.947

↓
rappresentativa della qualità complessiva del modello

MONITORAGGIO INTEGRATO

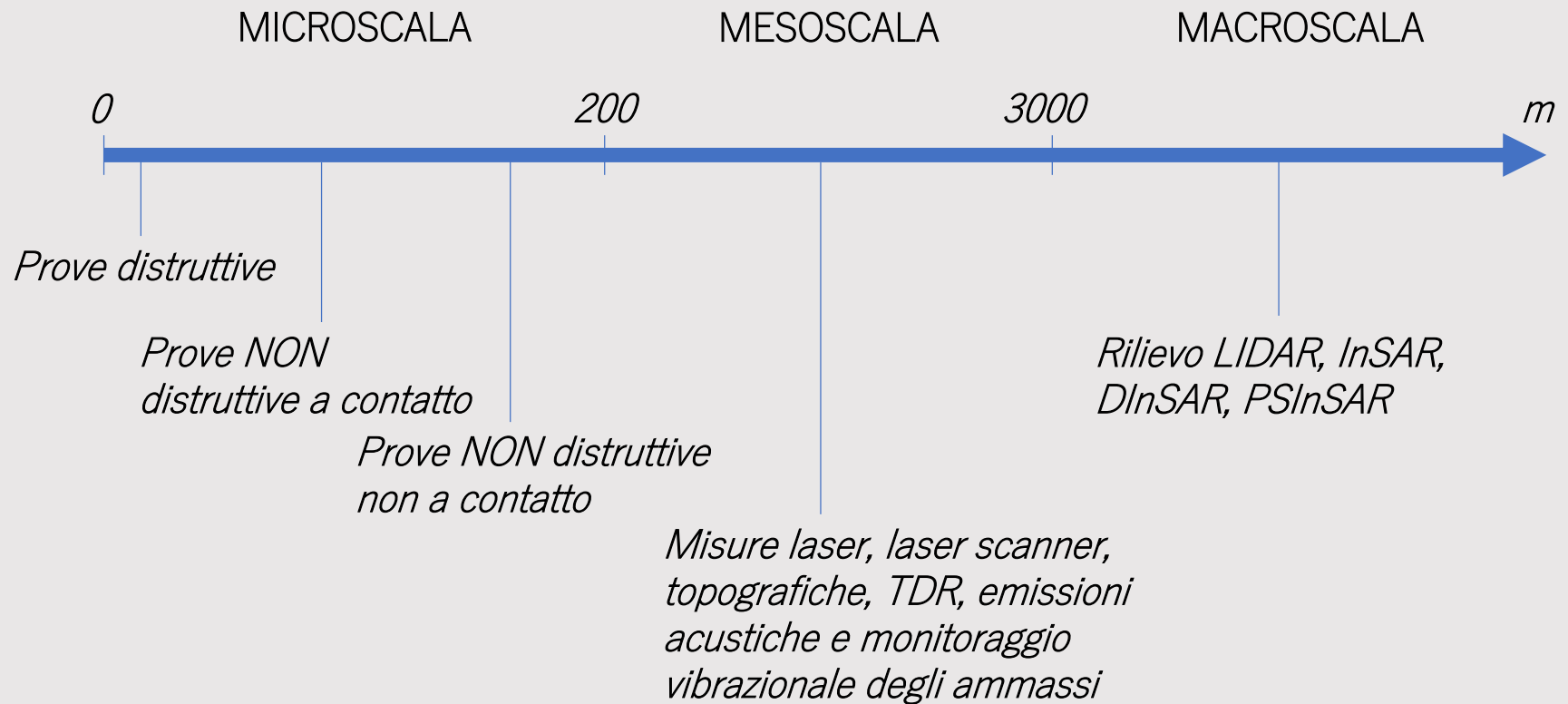
*Il buon funzionamento dei modelli previsionali proposti evidenzia la possibilità di **analisi della suscettibilità** su ampie aree in termini di **convenienza economica** e di **velocità di analisi**, rispetto a metodologie di modellazione deterministica, basate su costose caratterizzazioni geomeccaniche dei materiali coinvolti, necessariamente puntuali, di complessa estendibilità all'intero dominio di analisi.*



Reti di monitoraggio

*Integrazione di tecniche di monitoraggio
per valutare la **vulnerabilità** strutturale delle cavità ipogee*

MONITORAGGIO: TECNICHE E SCALA DI APPLICAZIONE



MONITORAGGIO A MICROSCALA

PROVE DISTRUTTIVE

Prelievo campioni

Analisi di laboratorio

γ , ϕ' , \mathcal{I}_f , E' , w

Pull out test, flat jack, point load test

PROVE NON DISTRUTTIVE

A contatto

Umidità, temperatura, velocità sonica e ultrasonica, ecc.

R_h , T , E_{din} , ecc.

NON a contatto

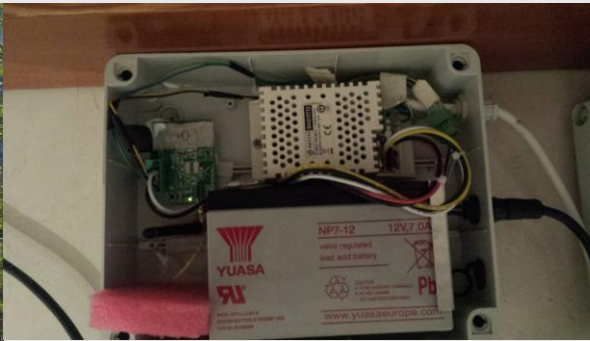
Termografia, umidità relativa dell'ambiente, ecc.

T , R_h , ecc.

Creazione di un database e ricerca di relazioni tra i parametri

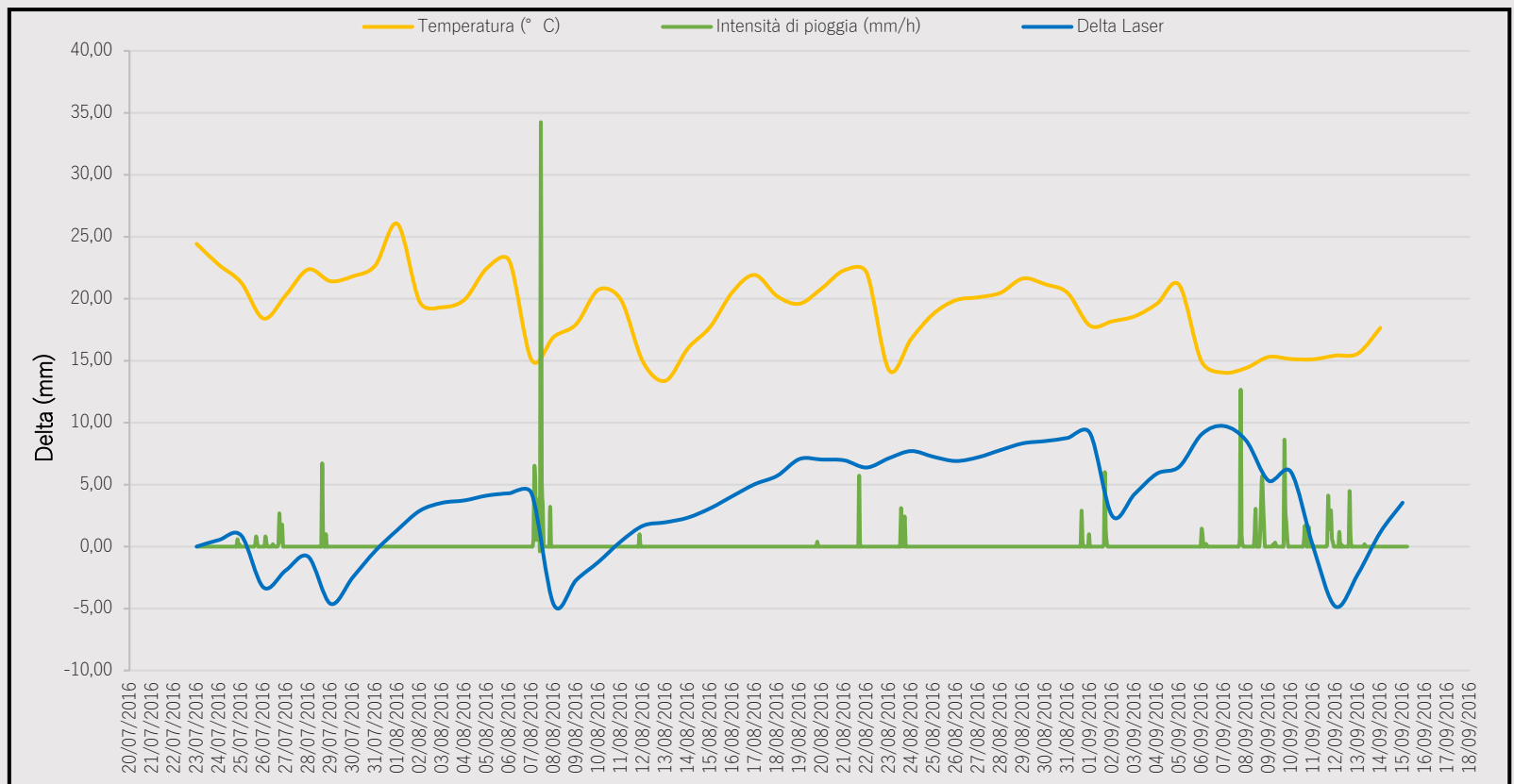
MONITORAGGIO A MESOSCALA

MULTI POINT SINGLE BEAM LASER SYSTEM



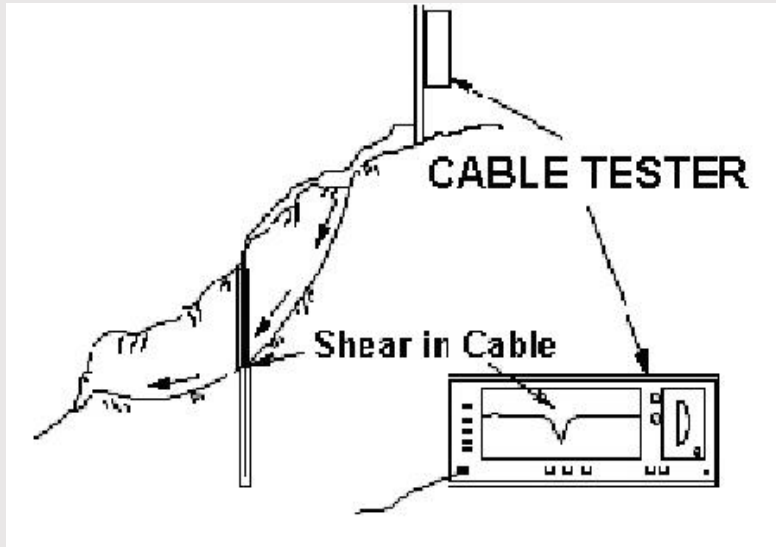
Laser e centralina utilizzati nel sistema di monitoraggio

Esempio di grafico ricavato dalle misure in continuo della centralina laser integrate con misure di temperatura e pioggia



MONITORAGGIO A MESOSCALA

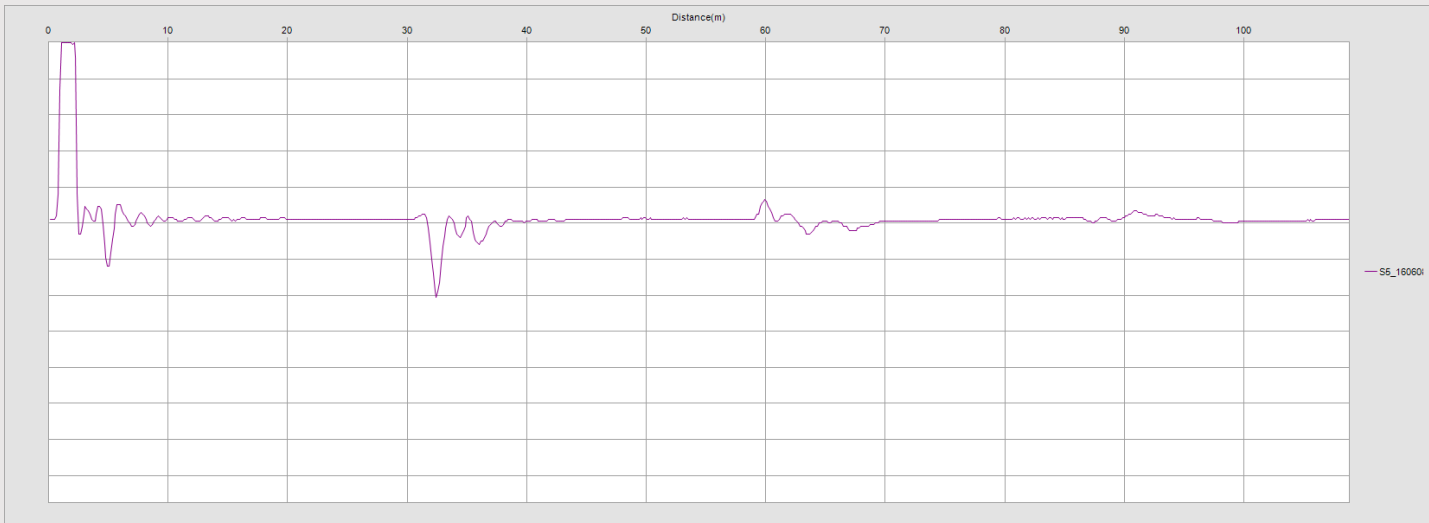
TDR (Time Domain Reflectometry)



Esempio di sistemazione di un cavo coassiale per letture TDR



Centralina TDR portatile



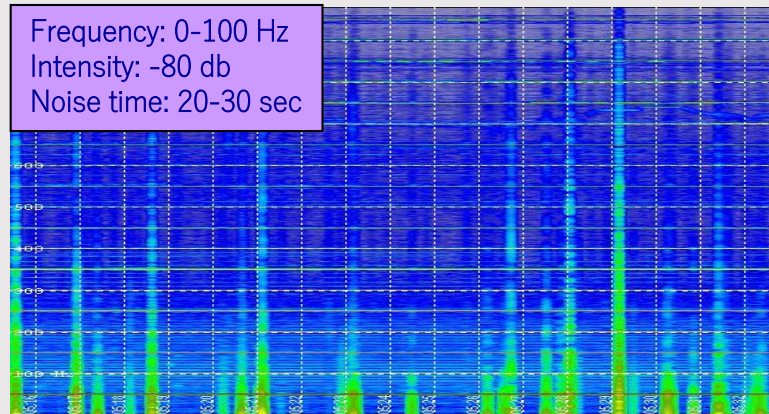
Tipica curva rilevata da una centralina TDR

MONITORAGGIO A MESOSCALA AE (ACOUSTIC EMISSION)

- Registrazione e campionamento
- Analisi dei dati con FFT e analisi temporale
- Selezione del dato fisiologico da quello patologico

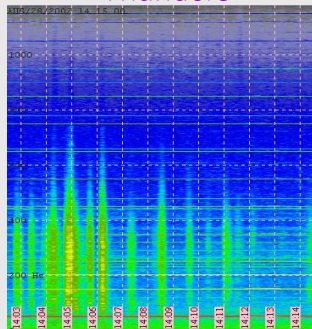
Sampling of different types of signals, relative to a specific source

Characteristic acoustic emission of Aliano landslide



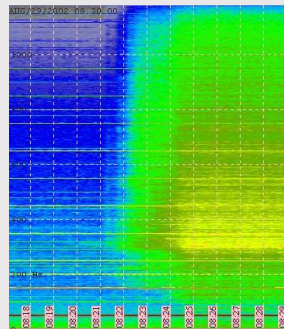
Signal characterized by a discrete series of single emissions, which show a low frequency spectrum (lower than 100 Hz)

Thunders



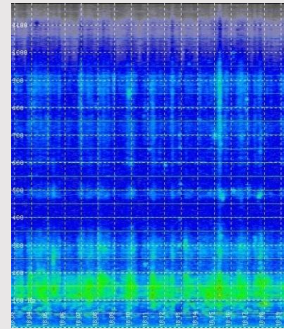
Frequency: 0-700 Hz
Intensity: -60, 70 db
Noise time: 10, 20 sec

Rainfall



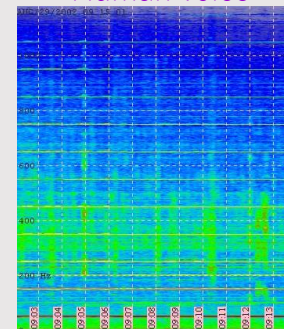
Frequency: 50-1200 Hz
Intensity: -70, 45 db
Noise time: variable

Traffic



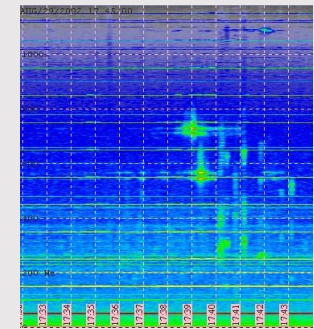
Frequency: 100-350 Hz
Intensity: -90 db
Noise time: variable

Human voice



Frequency: 50-550 Hz
Intensity: -90 db
Noise time: variable

Animals



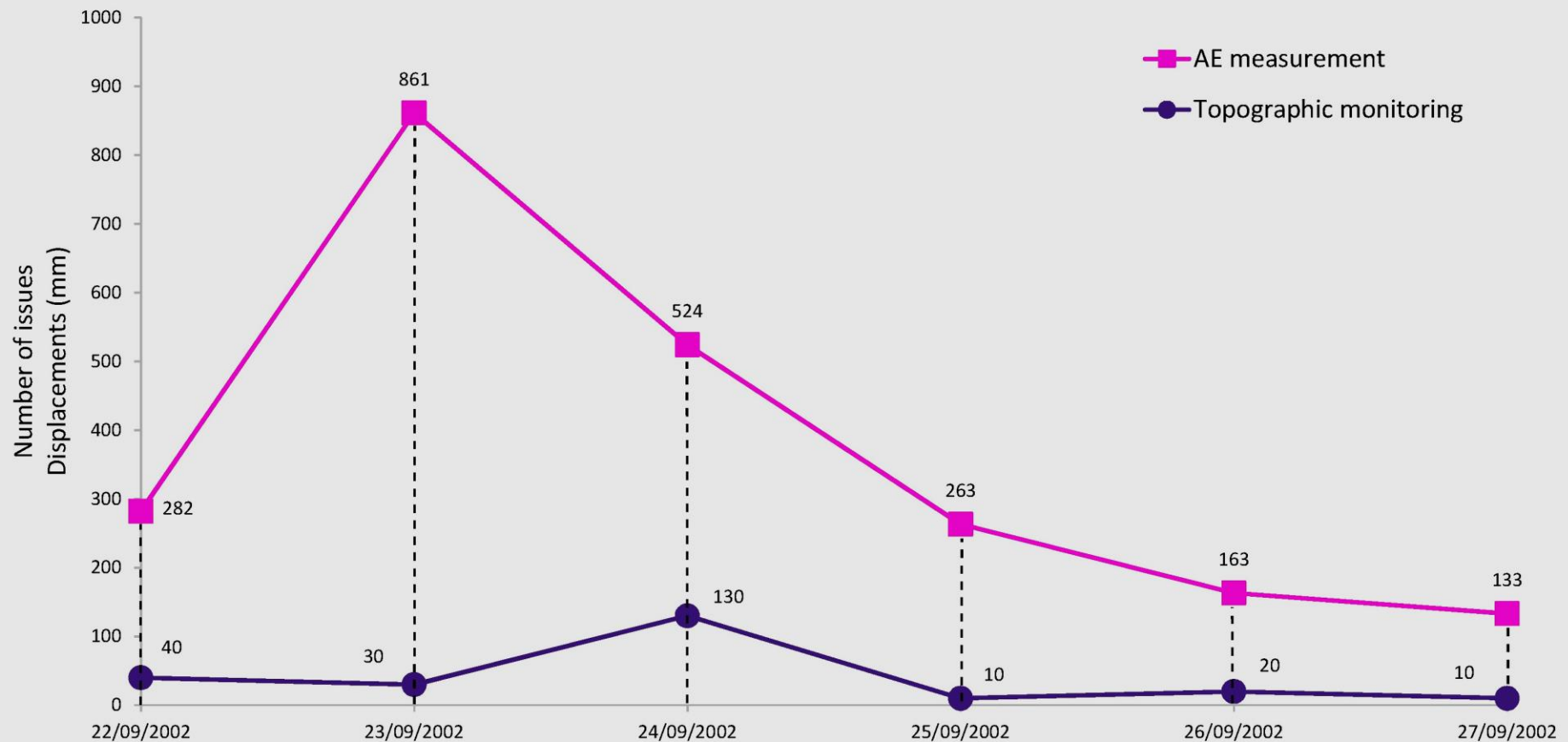
Frequency: 100-750 Hz
Intensity: -90 db
Noise time: variable

MONITORAGGIO A MESOSCALA

AE (ACOUSTIC EMISSION)

- Conta dei segnali di attenzione

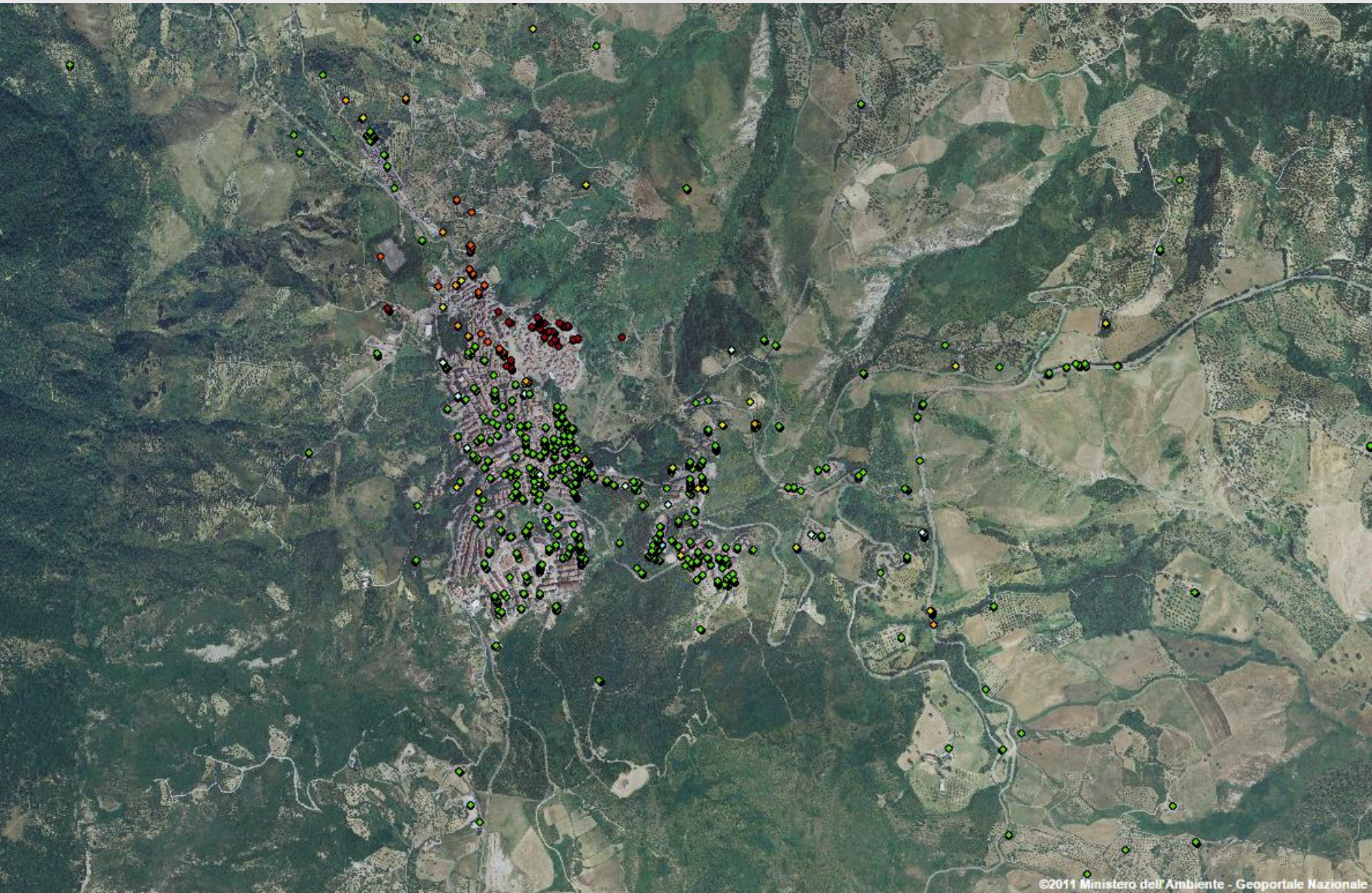
Spilotro G., Pellicani R., Canora F., Allasia P., Giordan D., Lollino G. (2017) Evolution of techniques for monitoring unstable slope. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, vol. 1: 5-17. DOI: 10.4408/IJEGE.2017-01.O-01.



MONITORAGGIO A MACROSCALA

PSInSAR – PERSISTENT SCATTERERS INTERFEROMETRY

Prodotti interferometrici ENVISAT ascending da Geoportale Nazionale, Ministero dell'Ambiente



CONCLUSIONI

L'analisi previsionale della probabilità che si verifichi in una determinata area un fenomeno d'instabilità può essere utilizzata come strumento di indirizzo per la progettazione di una rete di monitoraggio.

L'integrazione delle tecniche di monitoraggio «dalla micro alla macroscale» è utile per valutare la vulnerabilità strutturale ma anche per definire database e protocolli che permettano una più speditiva valutazione del rischio.

La valutazione del RISCHIO, associato, in questo caso, ad una doppia esposizione, ovvero l'esposizione del bene e di vite umane, è finalizzato alla salvaguardia, all'uso in sicurezza e alla riqualificazione del patrimonio culturale delle civiltà ipogee.