



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Landslide monitoring in the peri-Vesuvian area of Campania region

Pantaleone De Vita





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Piacenza dell'Ambiente



Indice

1. Introduzione
2. Distribuzione dei depositi piroclastici da caduta lungo i versanti peri-vulcanici
3. Monitoraggio idrologico delle coltri piroclastiche (frane pluvio-indotte)
4. Stima di soglie pluviometriche mediante approccio deterministico
5. Le stazioni di monitoraggio del progetto GEOSCIENCES IR WP 3 – UNINA 02





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



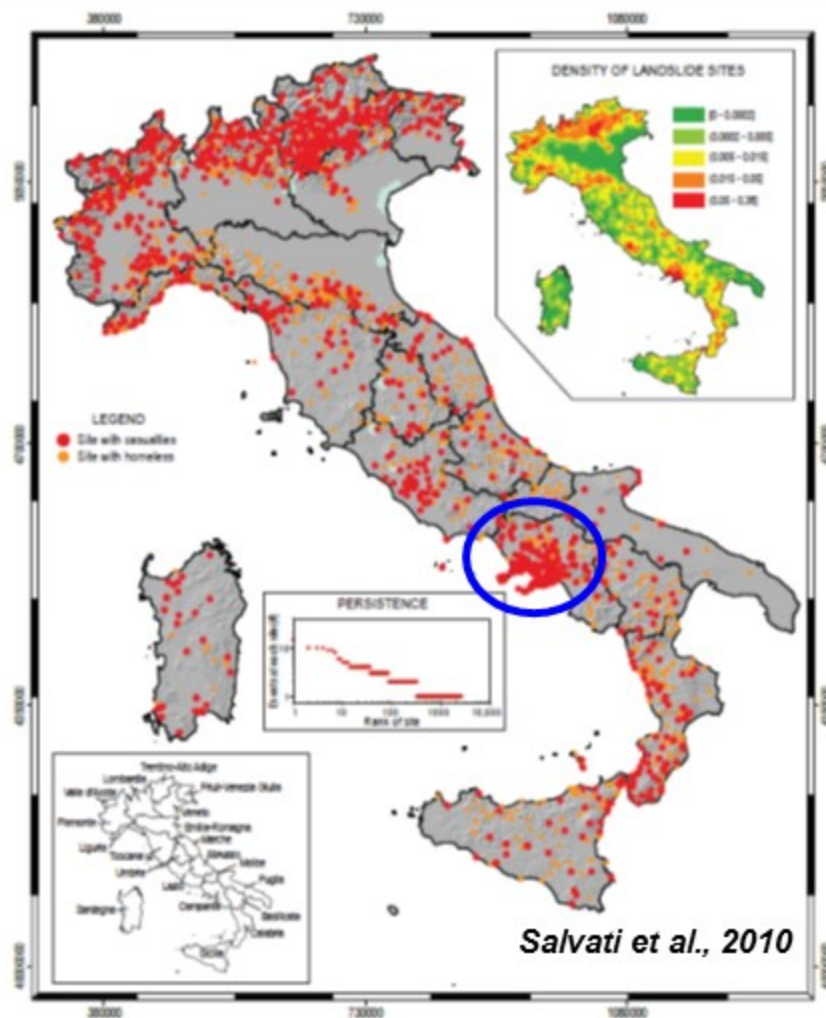
Systema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

1. Introduzione

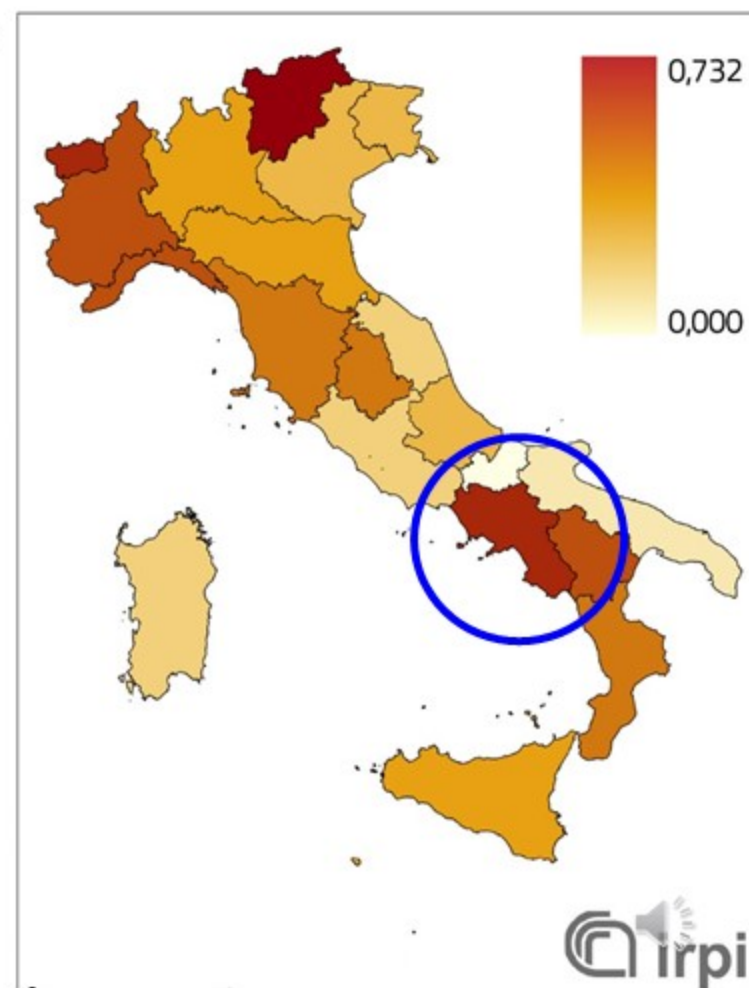




Frane in Italia (650 d.C. – 2008)



Mortalità per frana in Italia (1967 – 2016)





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

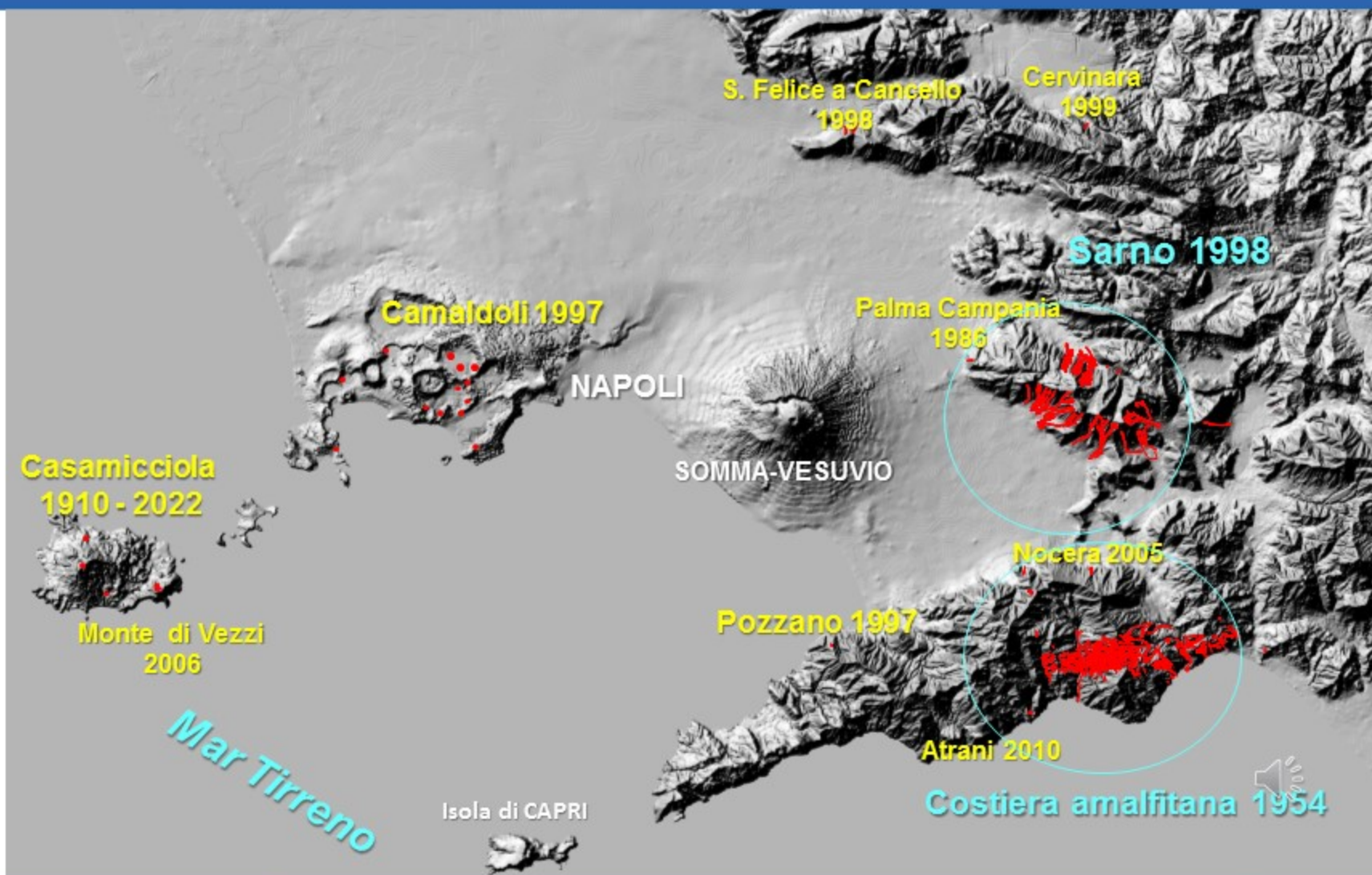


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

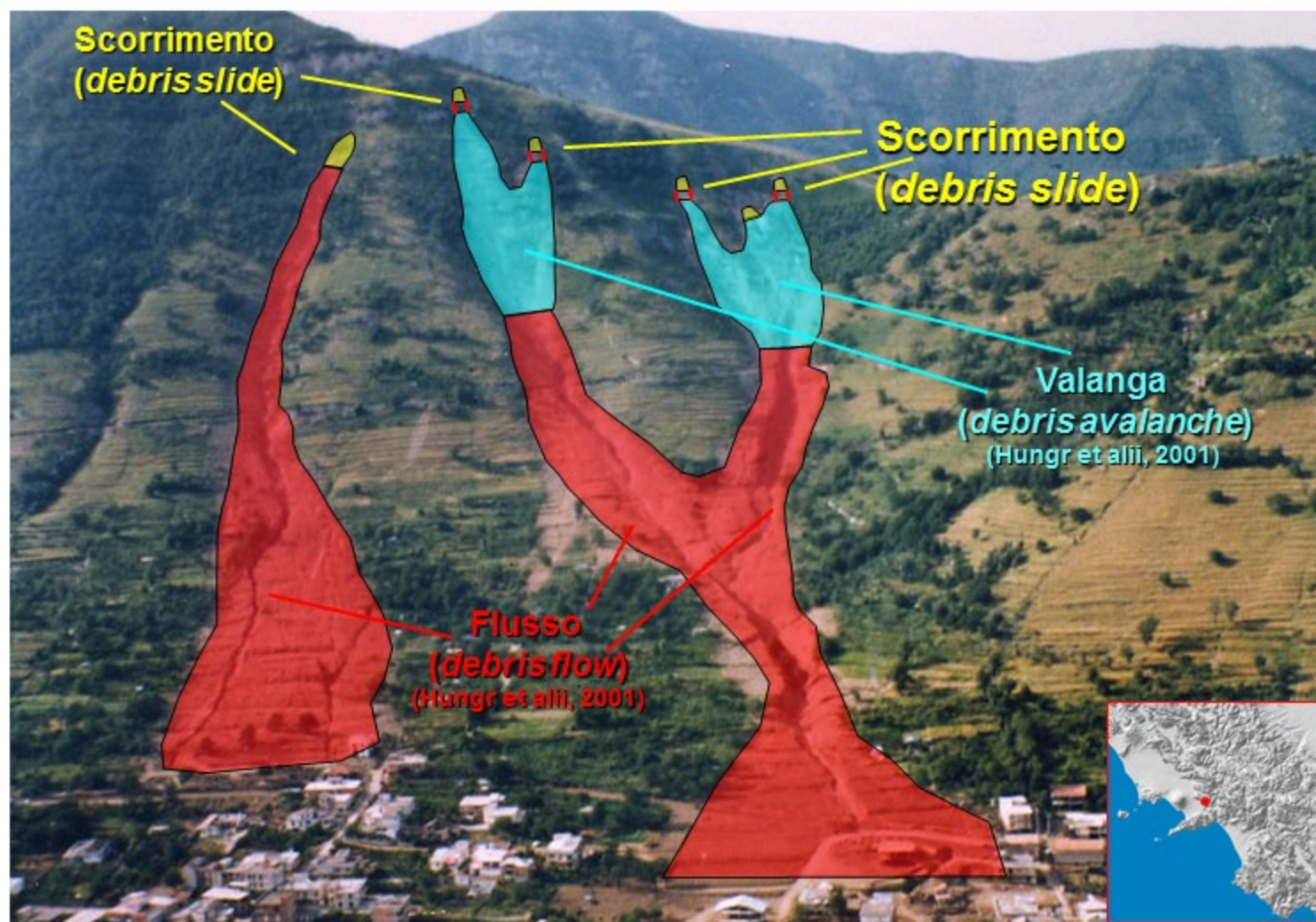


Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Eventi di scorrimento-colata detrítica (*debris flow*) nell'area peri-vesuviana (1954-2010)

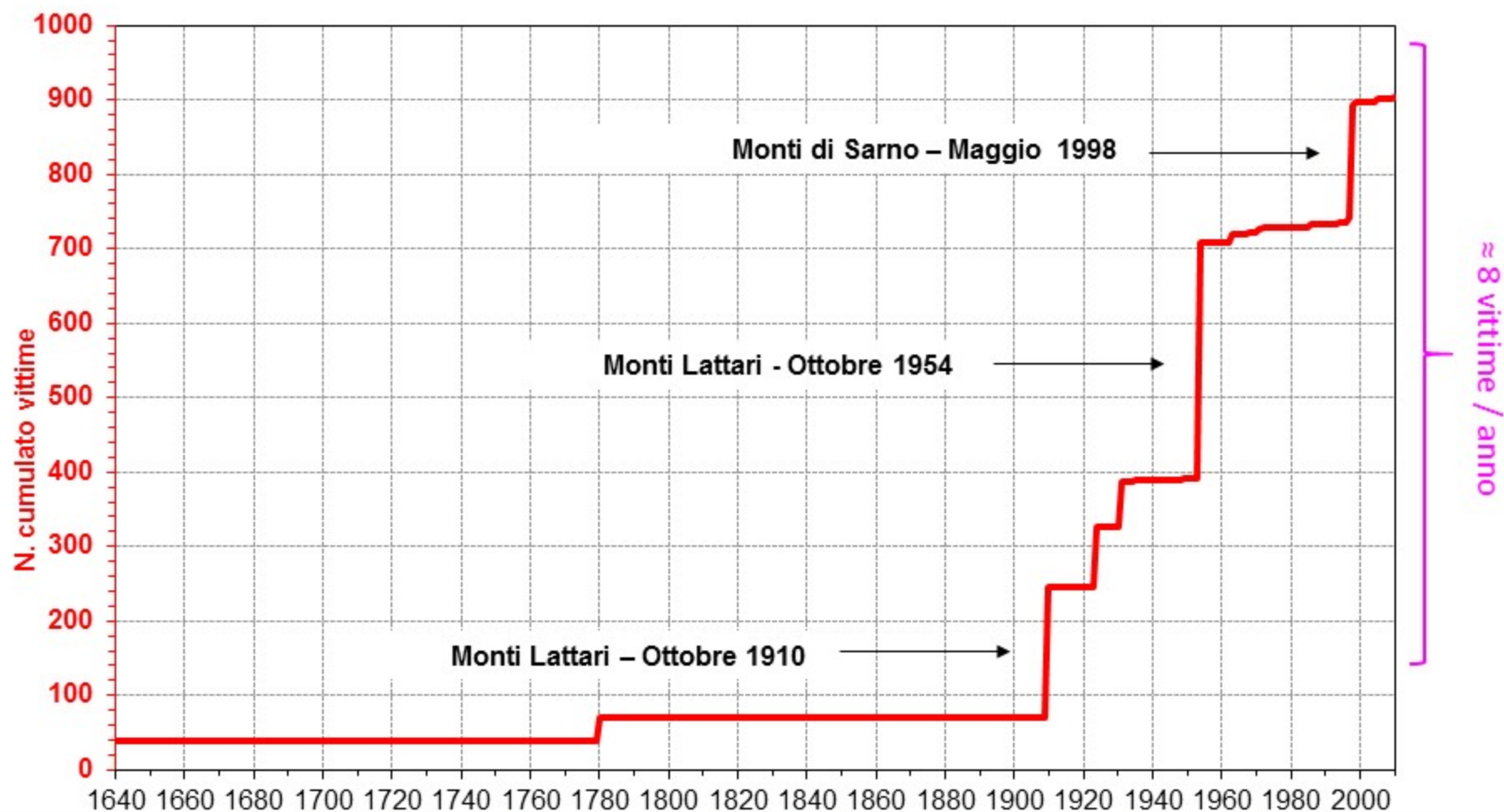


Meccanismi evolutivi





Vittime per frane nei Monti di Sarno e Lattari (1640-2010)





Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Salerno e Vietri sul Mare, 25-26 ottobre 1954

- 316 vittime
- 350 feriti
- 10.000 senza tetto



504 mm pioggia cumulata in 16 ore

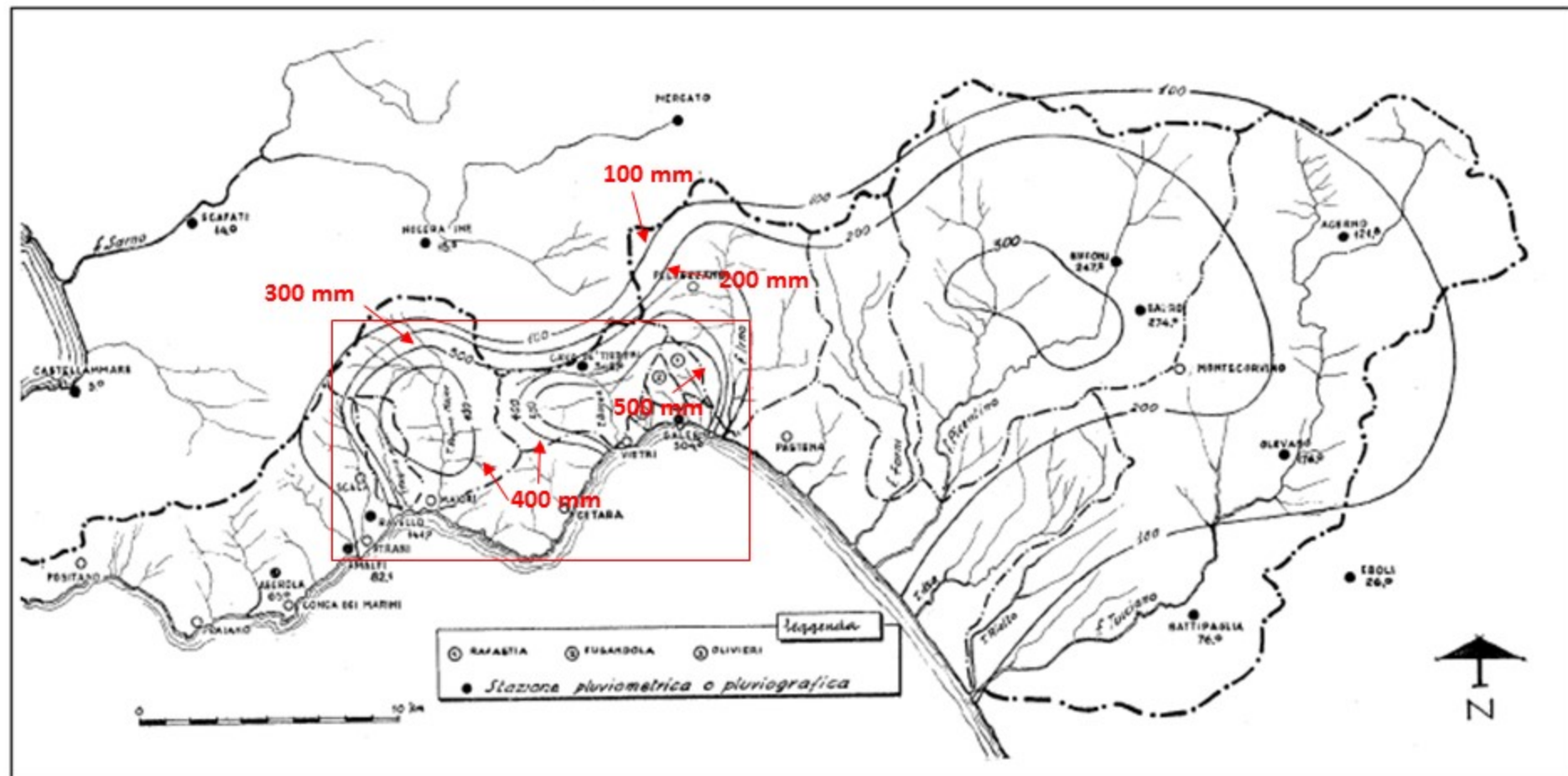
1/3 del totale annuo

T > 1000 anni

$i_{max} = 150 \text{ mm/h}$



Analisi dell'evento pluviometrico del 25-26 ottobre 1954



Isoiete dell'evento, tratte dagli Annali Idrologici 1954 (parte II), ricostruite dal Servizio Idrografico (Istituto Poligrafico dello Stato, 1958).



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

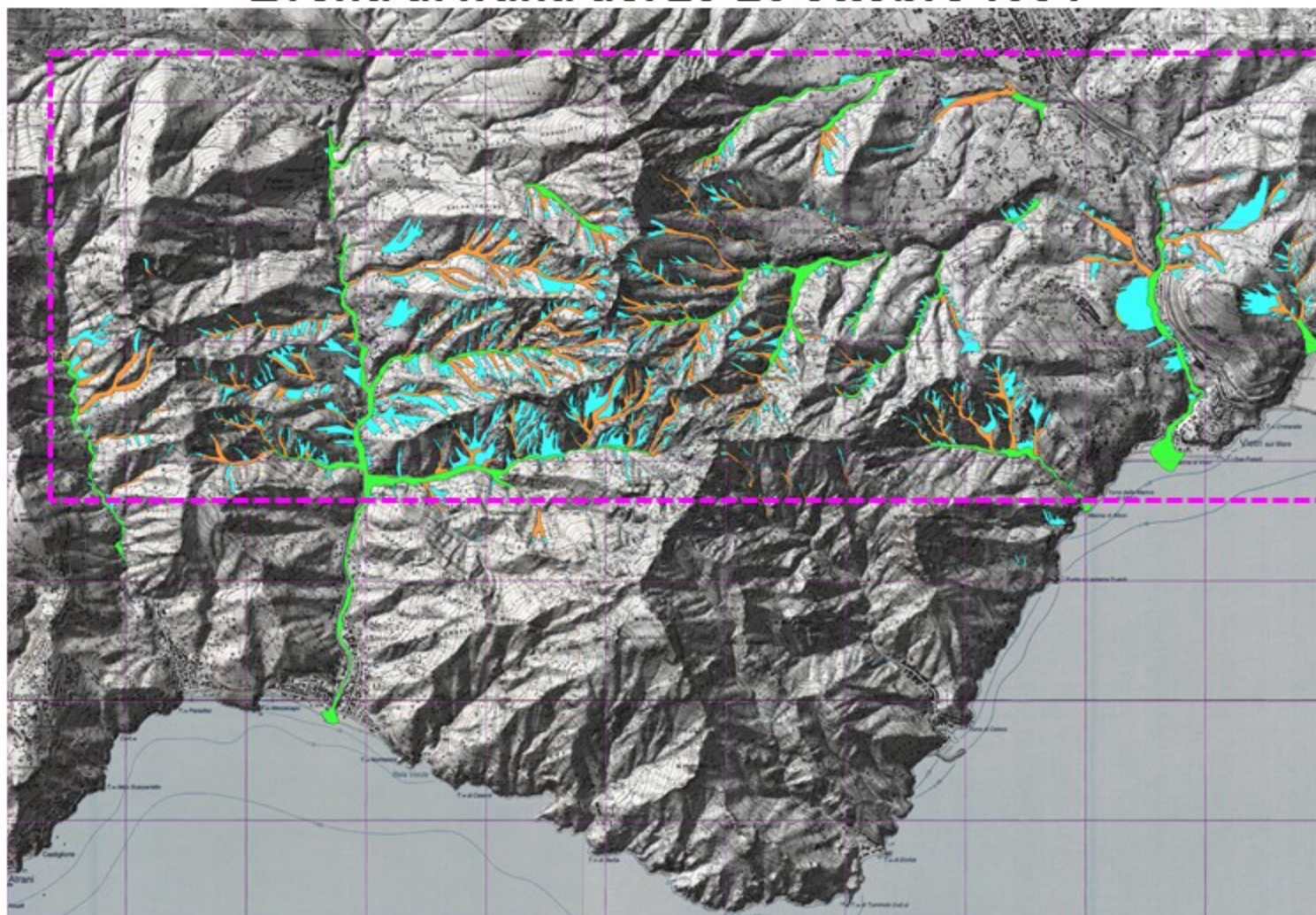


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Eventi di frana del 25-26 ottobre 1954



50 km²



De Vita & Smaldone, 2011



Eventi di frana del 5 e 6 maggio 1998 nei Monti di Sarno



- **160 vittime**
- **178 abitazioni distrutte**





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

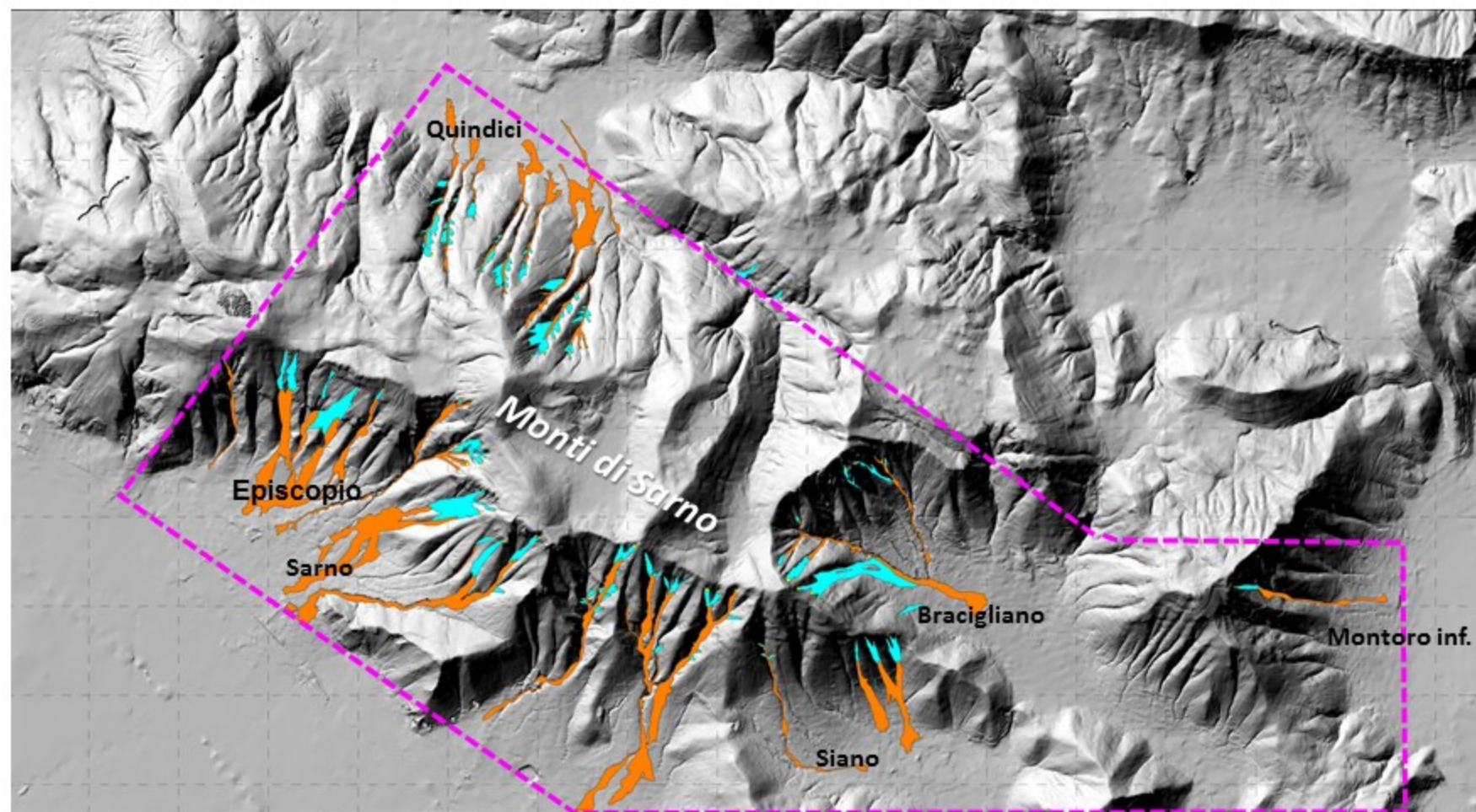


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Eventi di frana del 5 e 6 maggio 1998 nei Monti di Sarno





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Systema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Nocera Inferiore (SA), 4 marzo 2005

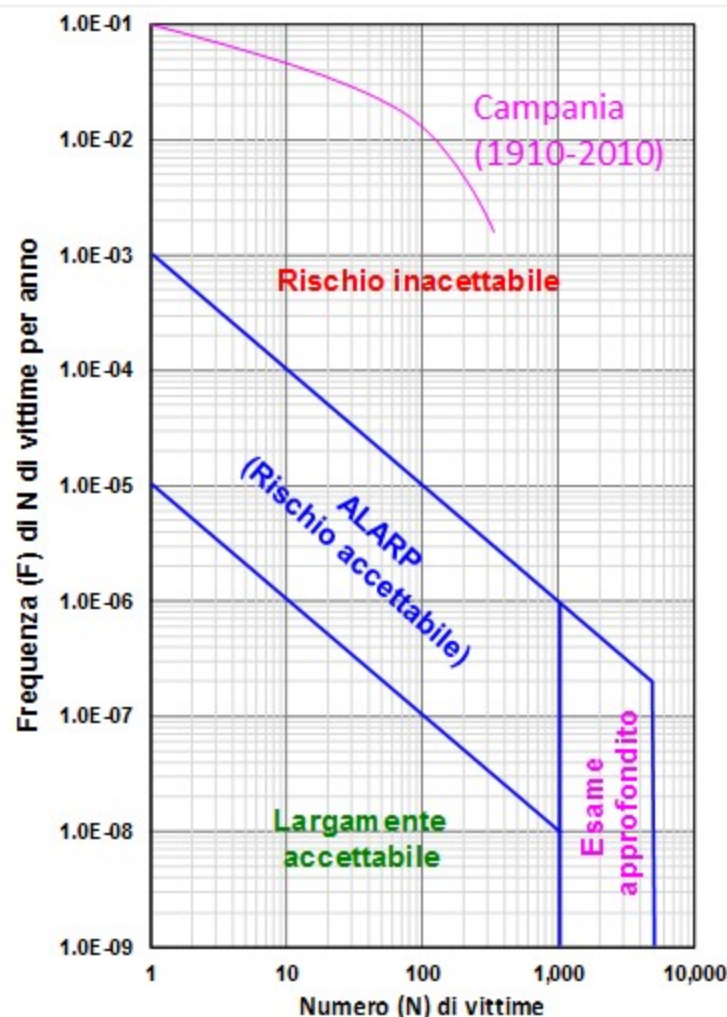


 **3 vittime**



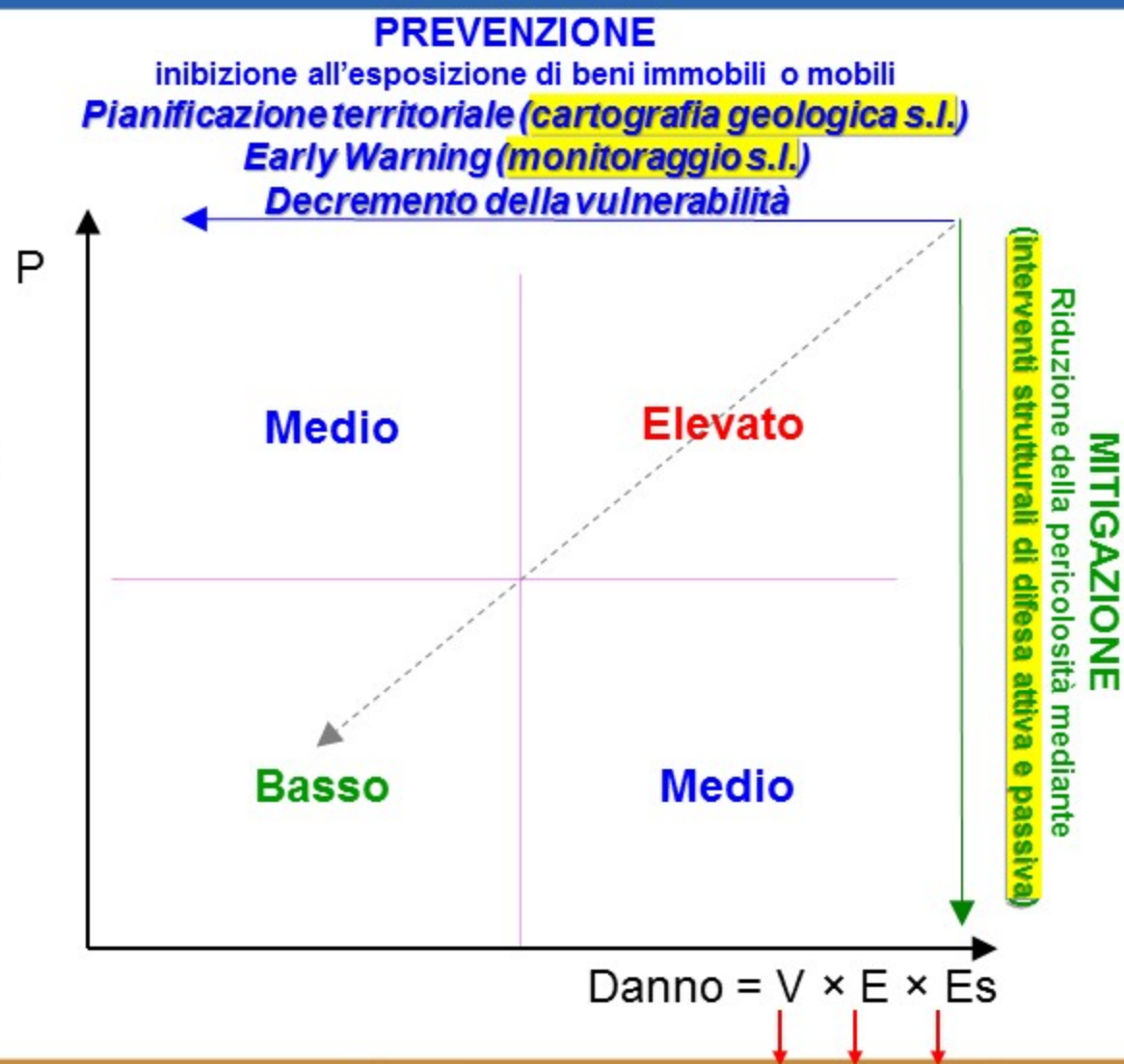
GEOTECHNICAL ENGINEERING
OFFICE - CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT
THE GOVERNMENT OF THE HONG
KONG (1998)

Rischio da frana per la
popolazione



Principi per la riduzione del rischio da frana

$$R = P \times V \times E \times \underline{Es}$$





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

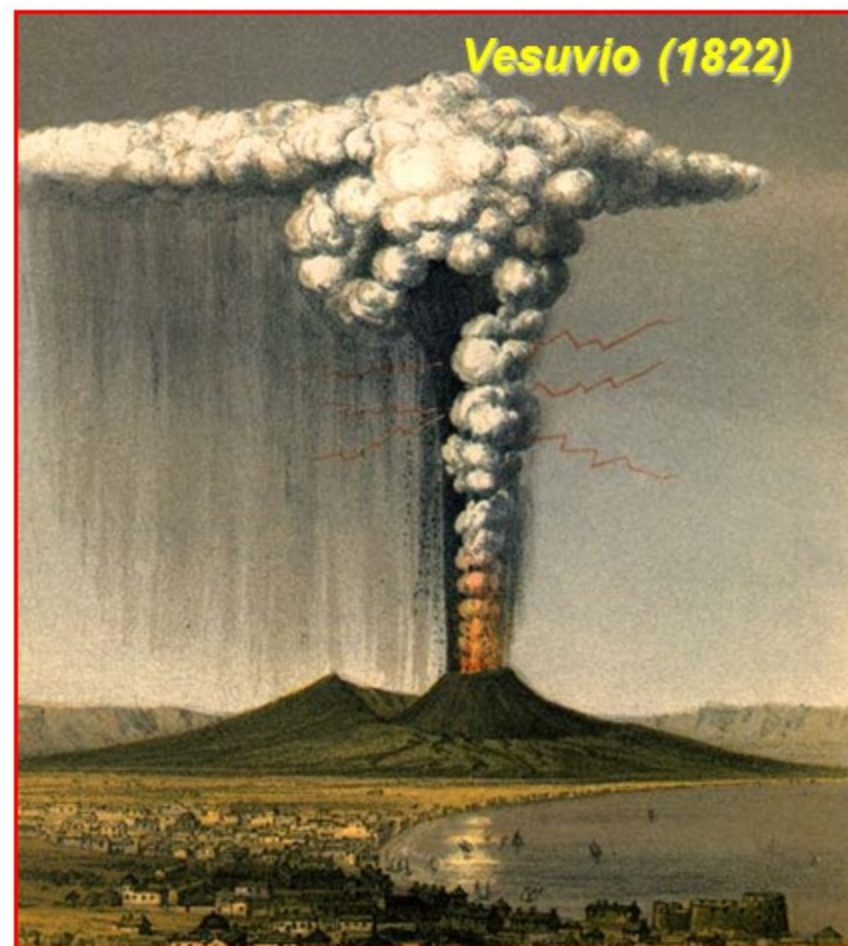
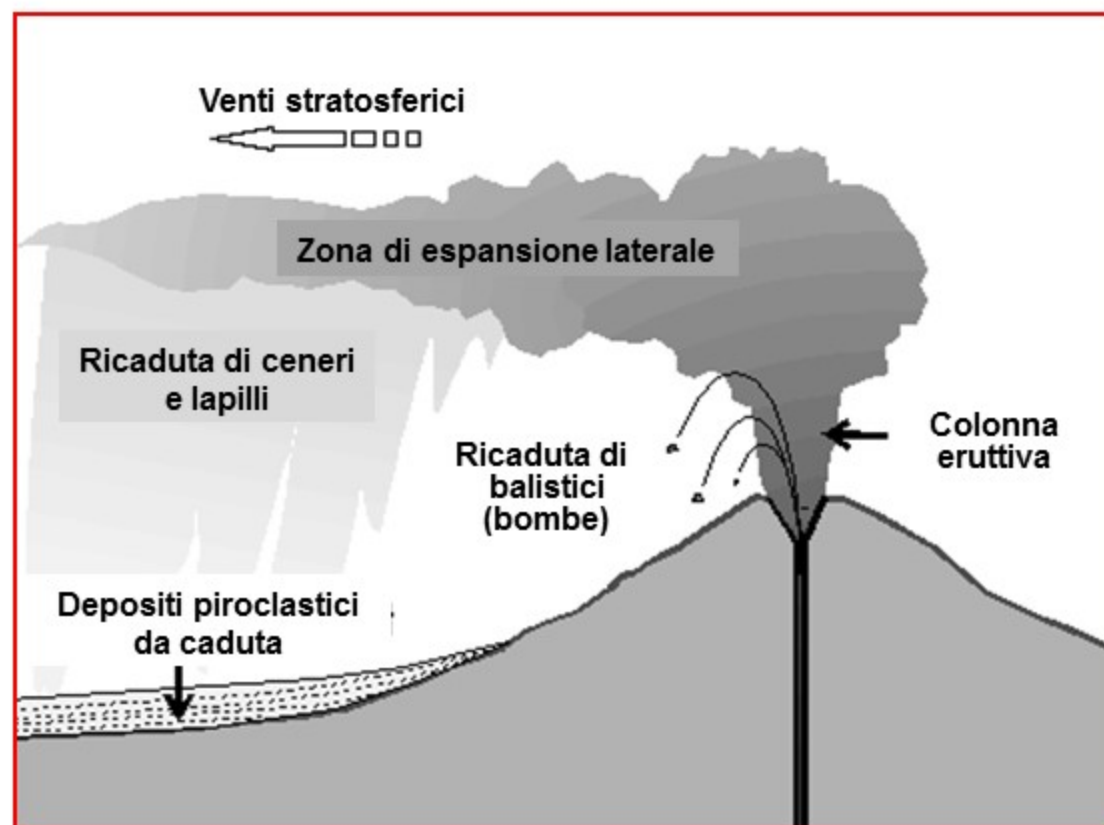


2. Distribuzione dei depositi piroclastici da caduta lungo i versanti peri-vulcanici





Deposizione dei prodotti piroclastici da caduta (eruzioni pliniane)





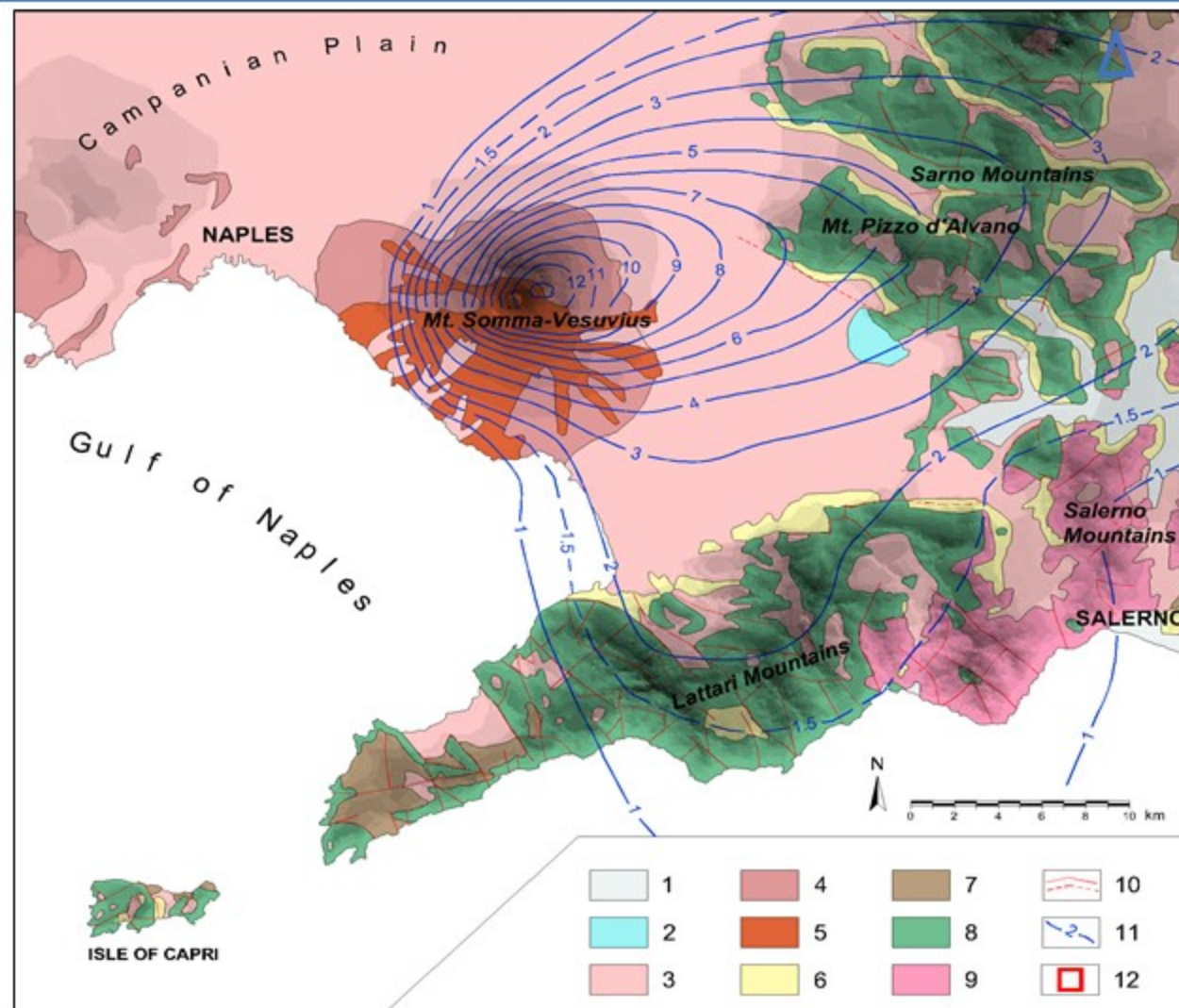
1. Eruzione di Sarno: 17 k-anni
- +
2. Eruzione di Ottaviano: 8 k-anni
- +
3. Eruzione di Avellino: 3.5 k-anni
- +
4. Eruzione del 79 d.C.
- +
5. Eruzione del 472 d.C..
- +
6. Eruzione del 1631

=

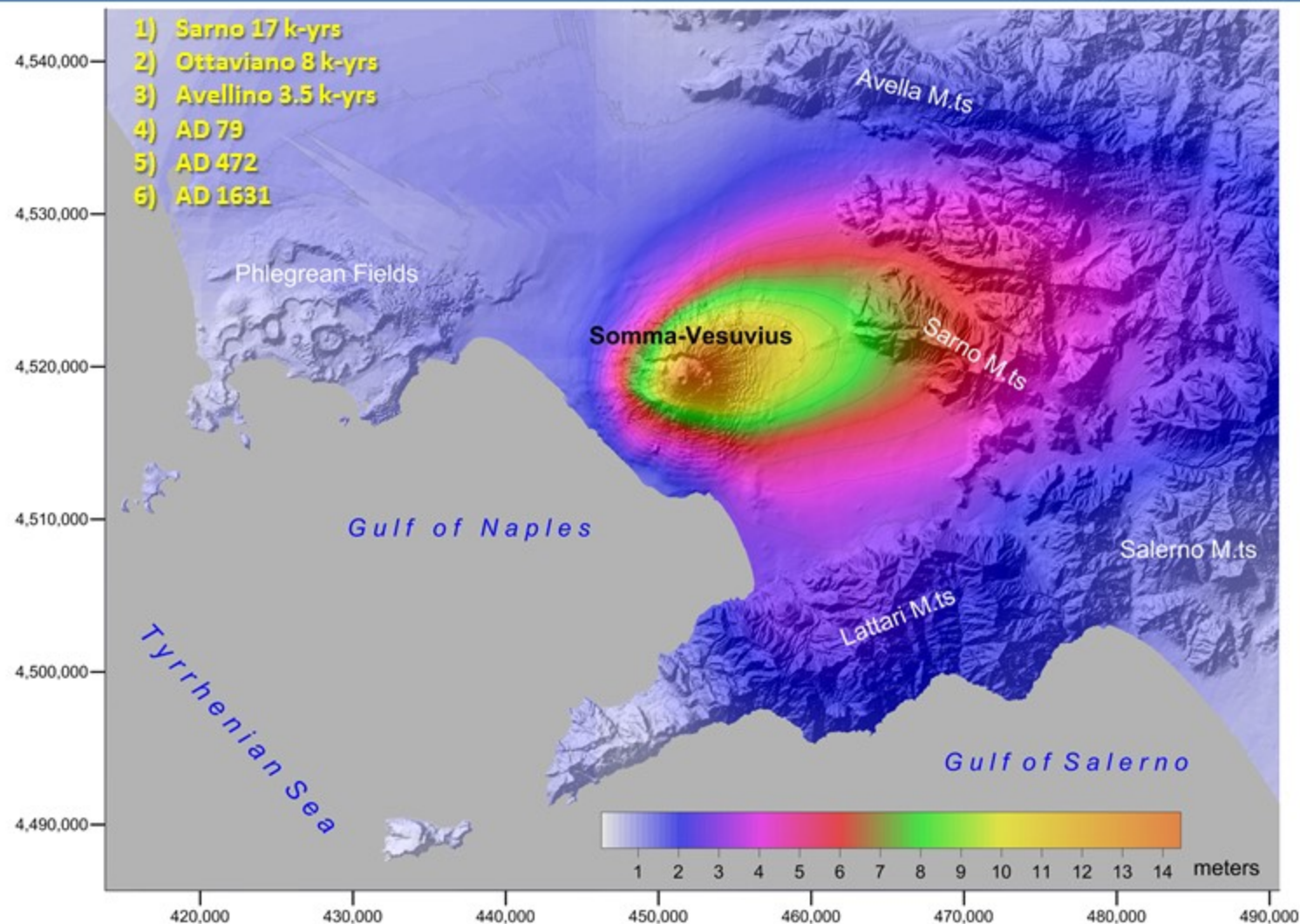
**COMPLESSO PIROCLASTICO
RECENTE**

($\approx 5.9 \text{ km}^3$)

(Rolandi *et alii*, 2000)



Spessore totale atteso della coltre piroclastica



De Vita et alii, 2018



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



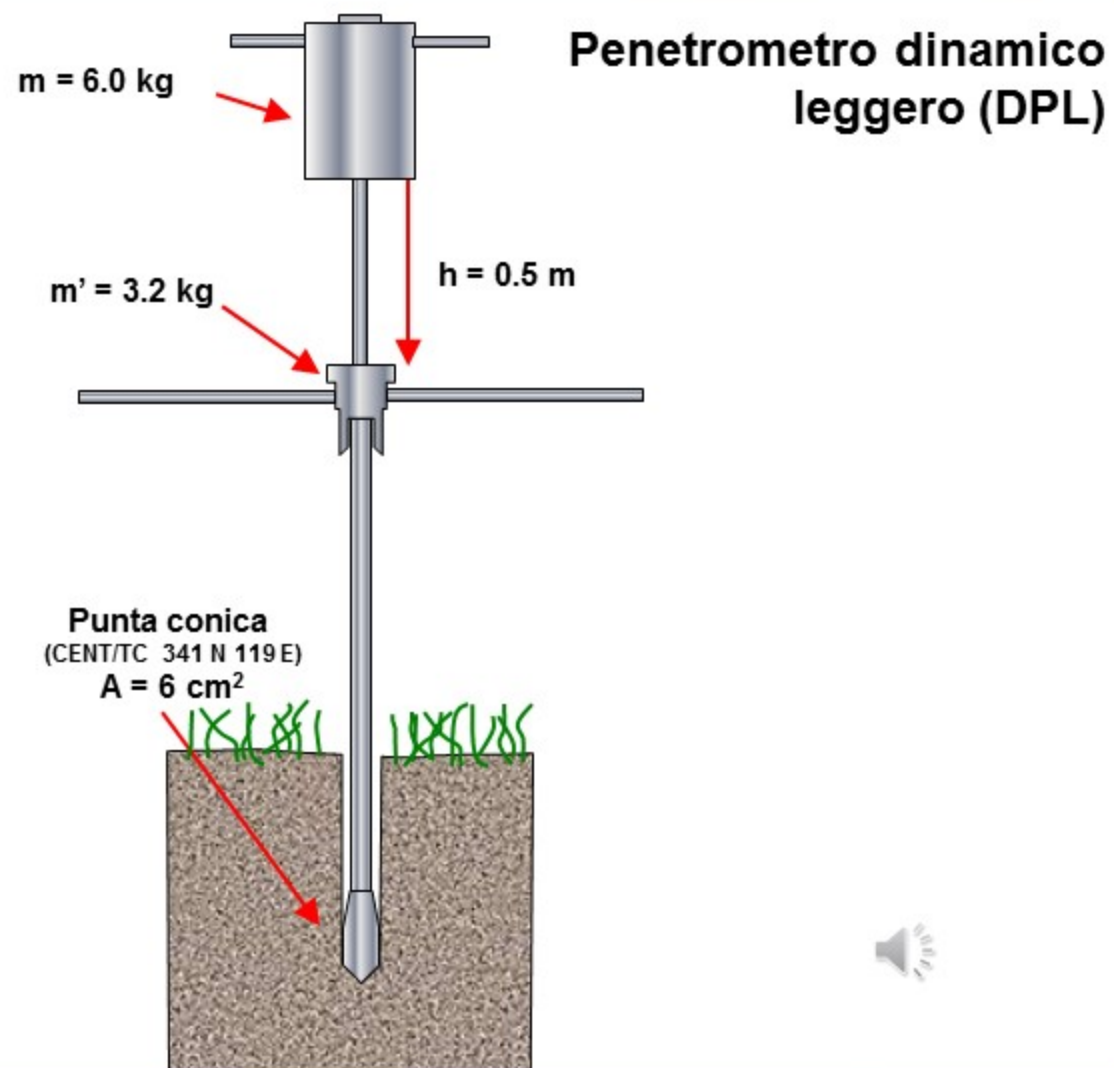
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

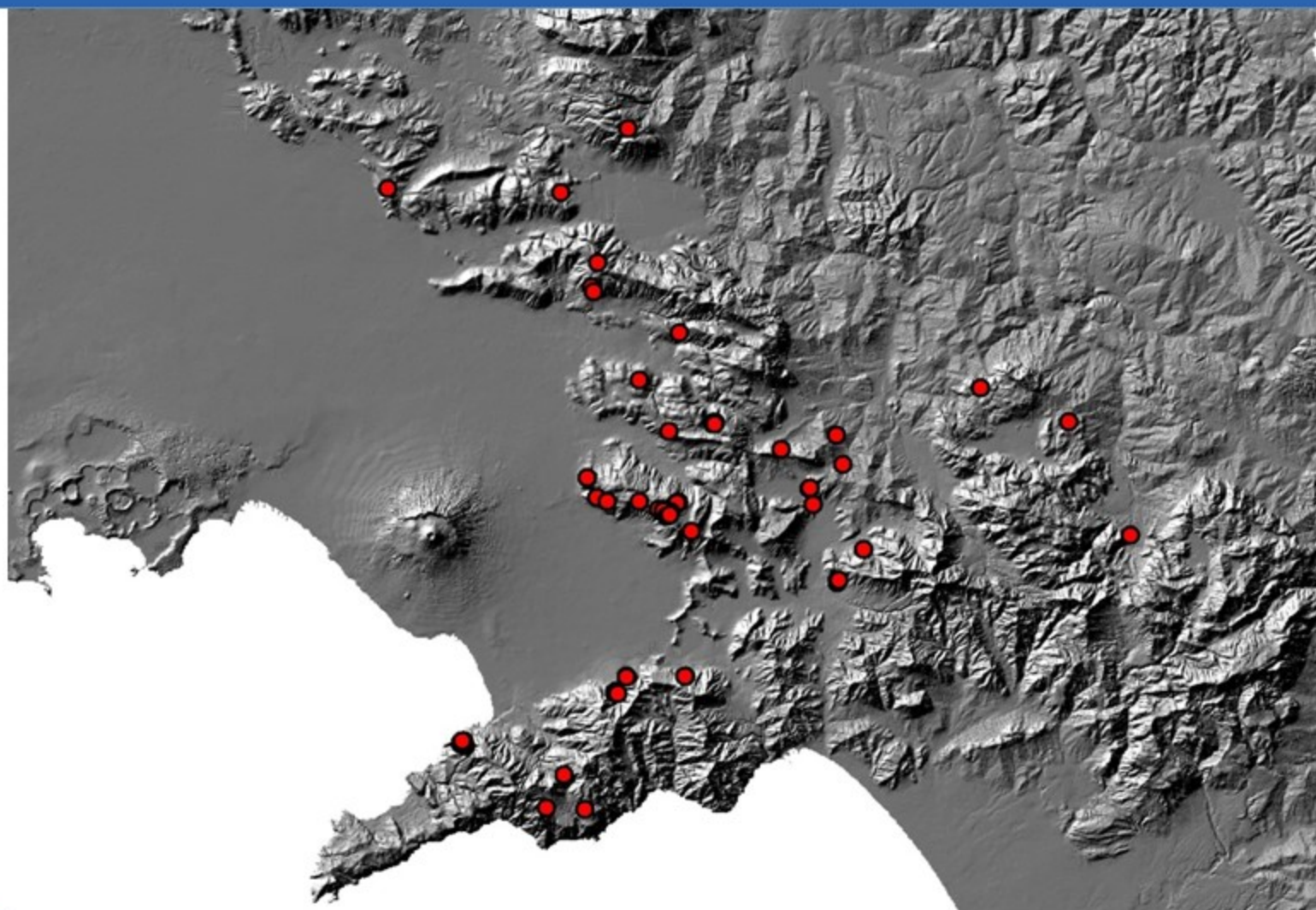


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Indagini in campo

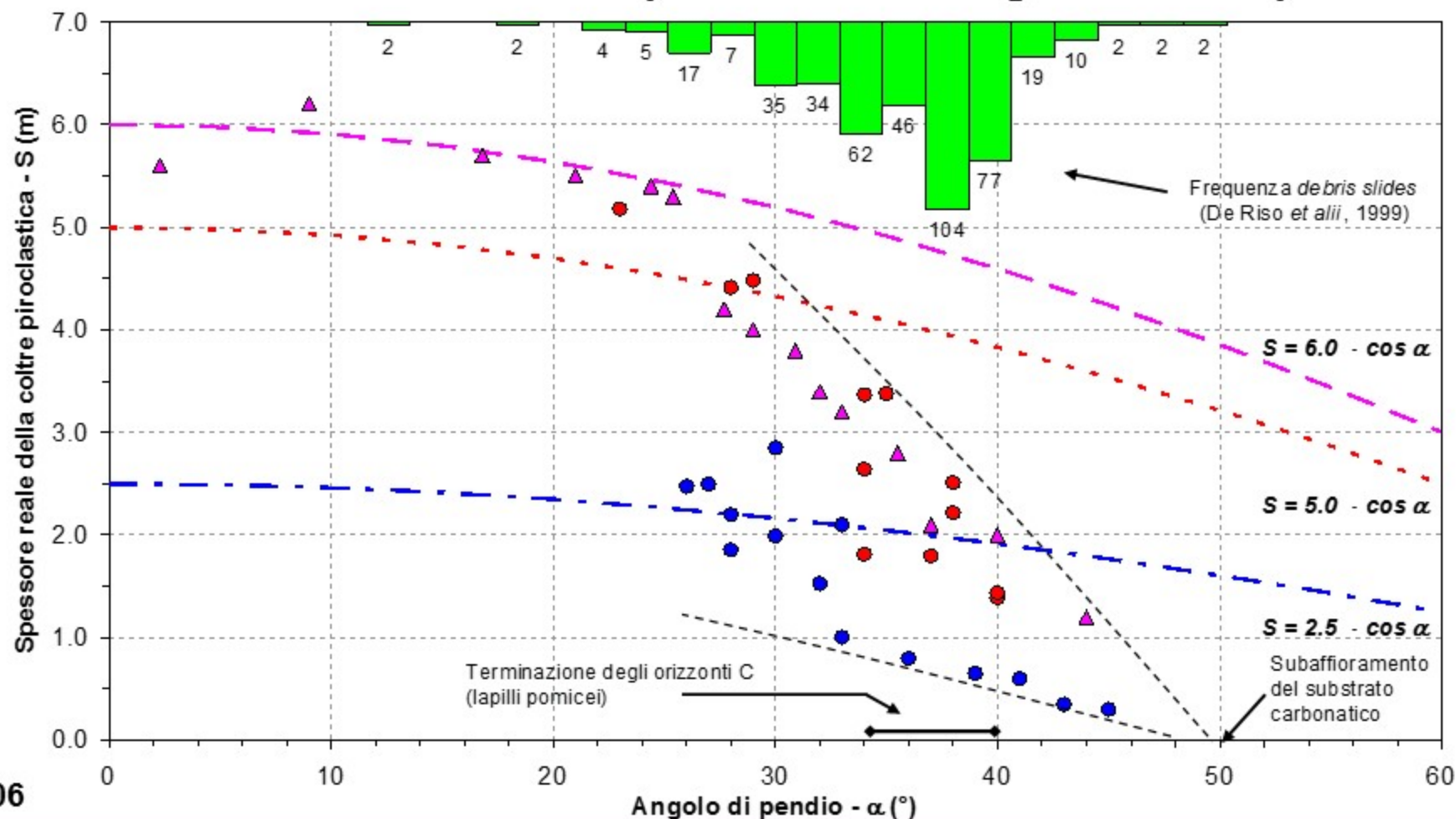


De Vita & Nappi, 2011



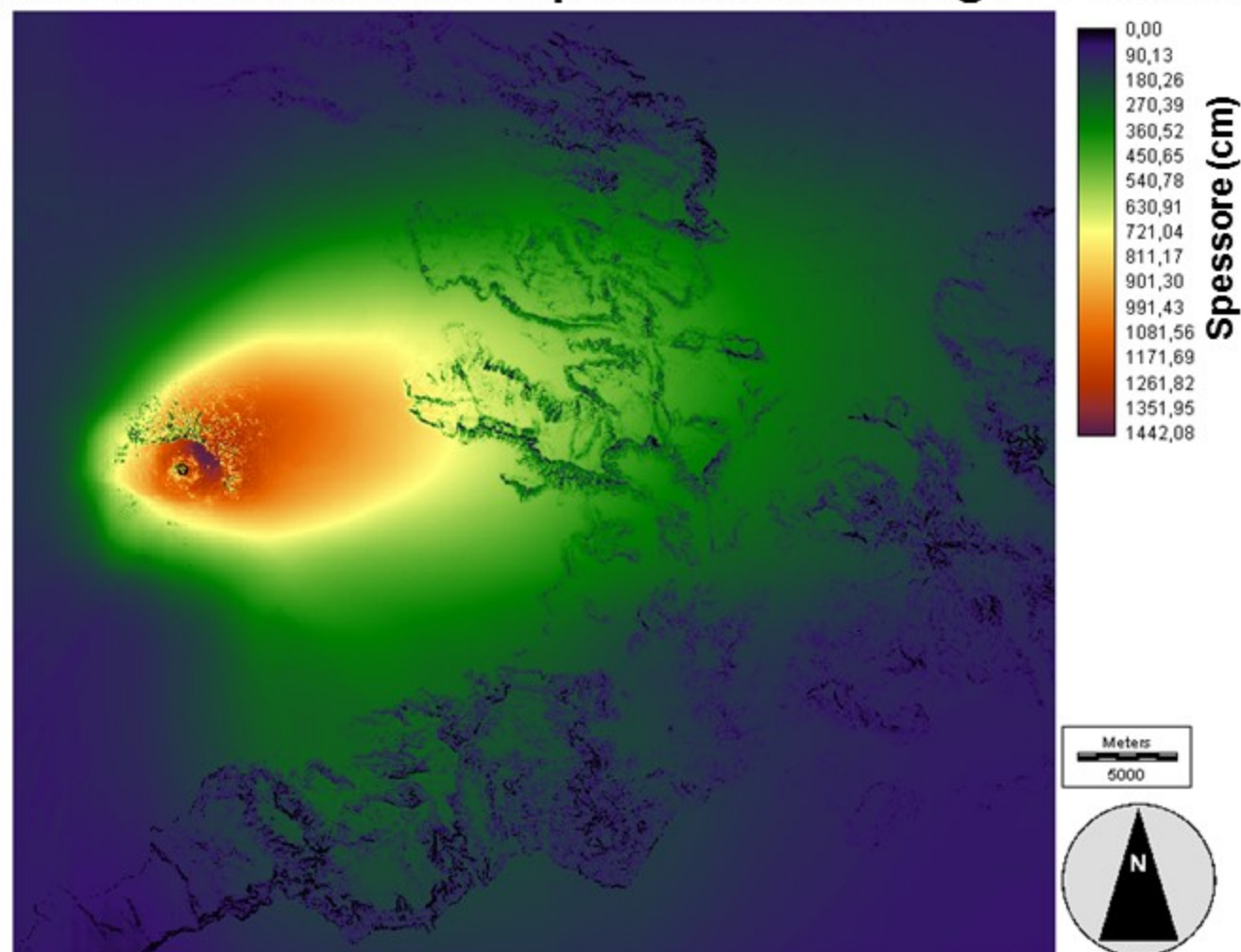


Modello di distribuzione delle coltri piroclastiche lungo i versanti peri-vesuviani



De Vita et al., 2006

Modello di distribuzione delle coltri piroclastiche lungo i versanti peri-vesuviani

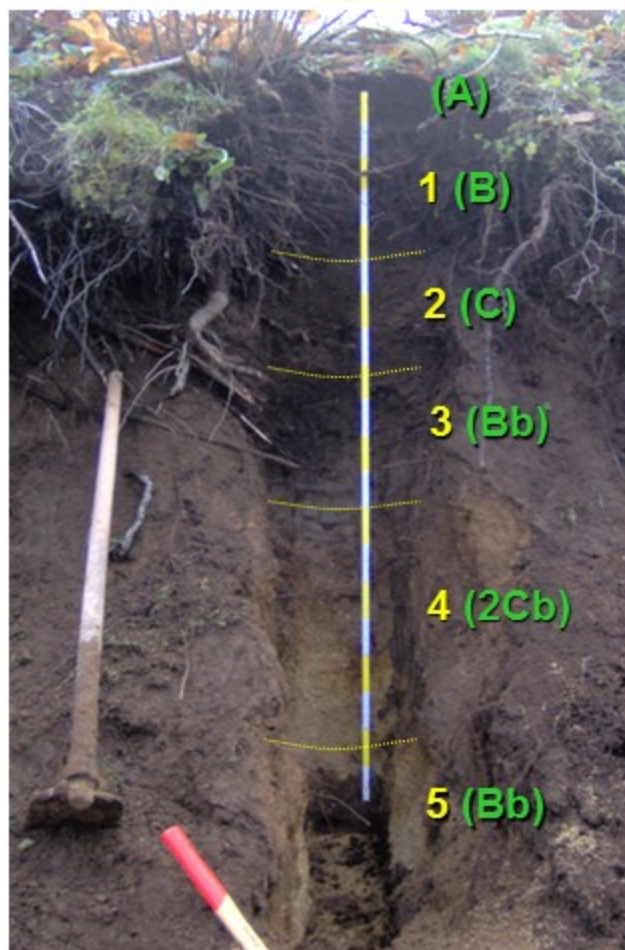


$73 \times 10^6 \text{ m}^3$
di depositi piroclastici da
caduta «sospesi» sui
versanti peri-vulcanici
($28^\circ - 50^\circ$)

De Vita & Nappi, 2011



Caratterizzazione stratigrafica delle coperture piroclastiche



(Soil Survey Staff, 1998; Terribile et alii, 2000)



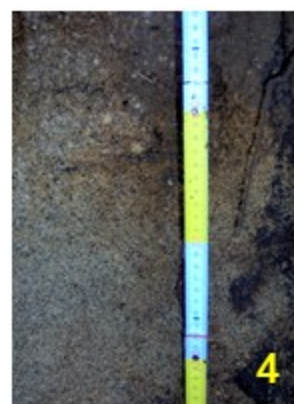
Piroclastiti medie e fini
pedogenizzate e humificate
(orizzonti **A+B**)



Lapilli pomicei scarsamente
alterati (orizzonte **C**)



Piroclastici medie e fini
pedogenizzate (paleosuolo
superiore - orizzonte **Bb**)



Lapilli pomicei scarsamente
alterati (orizzonte **2Cb**)



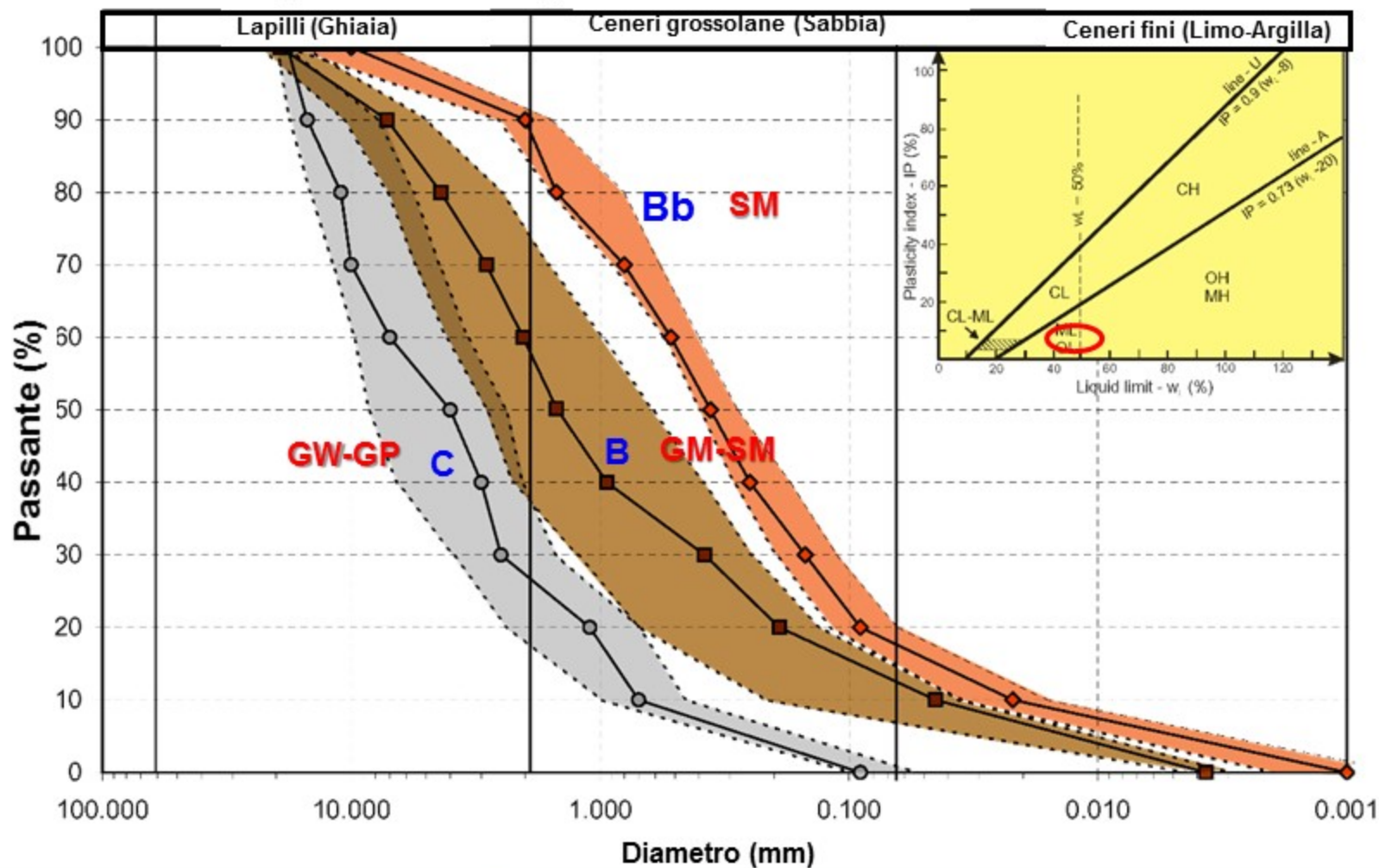
Piroclastici medie e fini
pedogenizzate (paleosuolo
Inferiore - orizzonte **Bb**)



Piroclastici pedogenizzate e argillificate
(paleosuolo basale - orizzonte **Bb** basale)

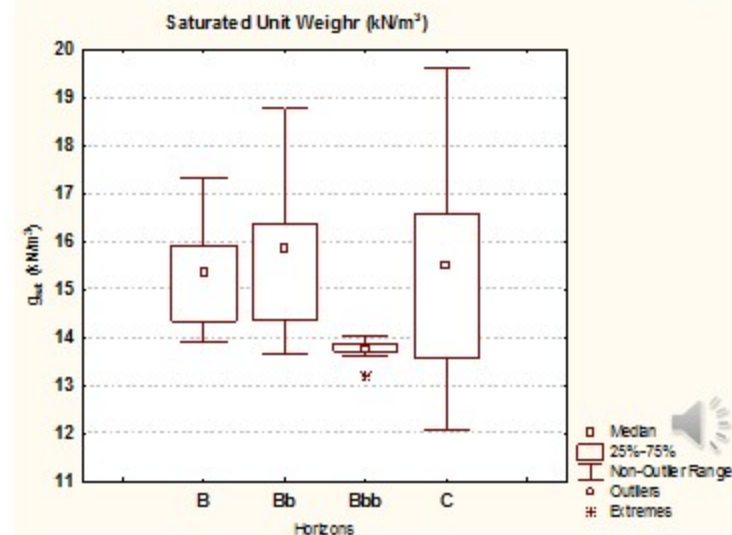
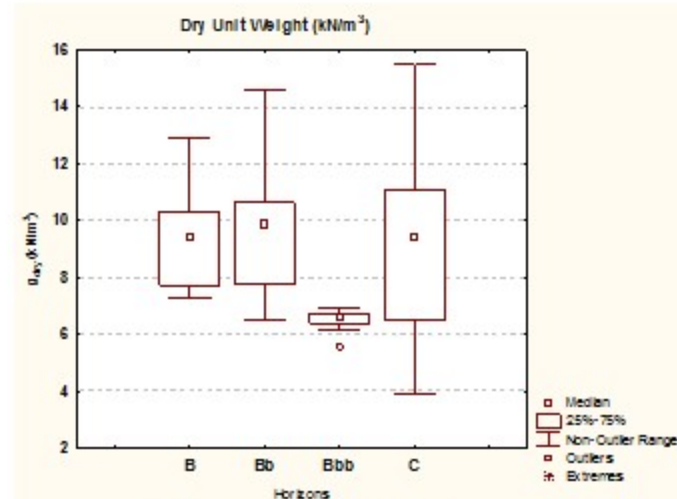
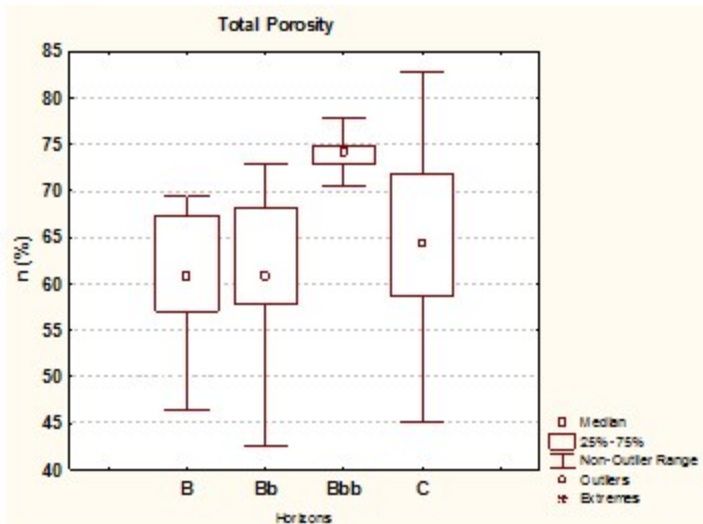
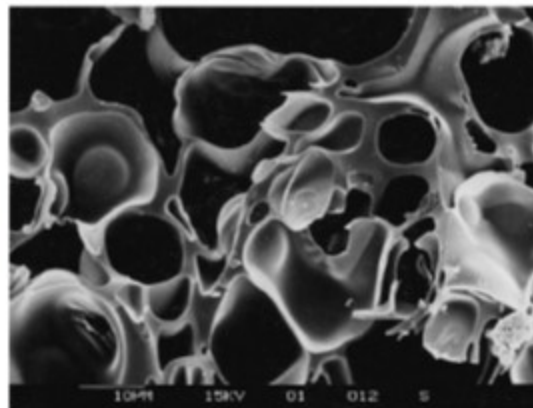


Classificazione degli orizzonti piroclastici e caratterizzazione idraulica



De Vita et alii, 2013

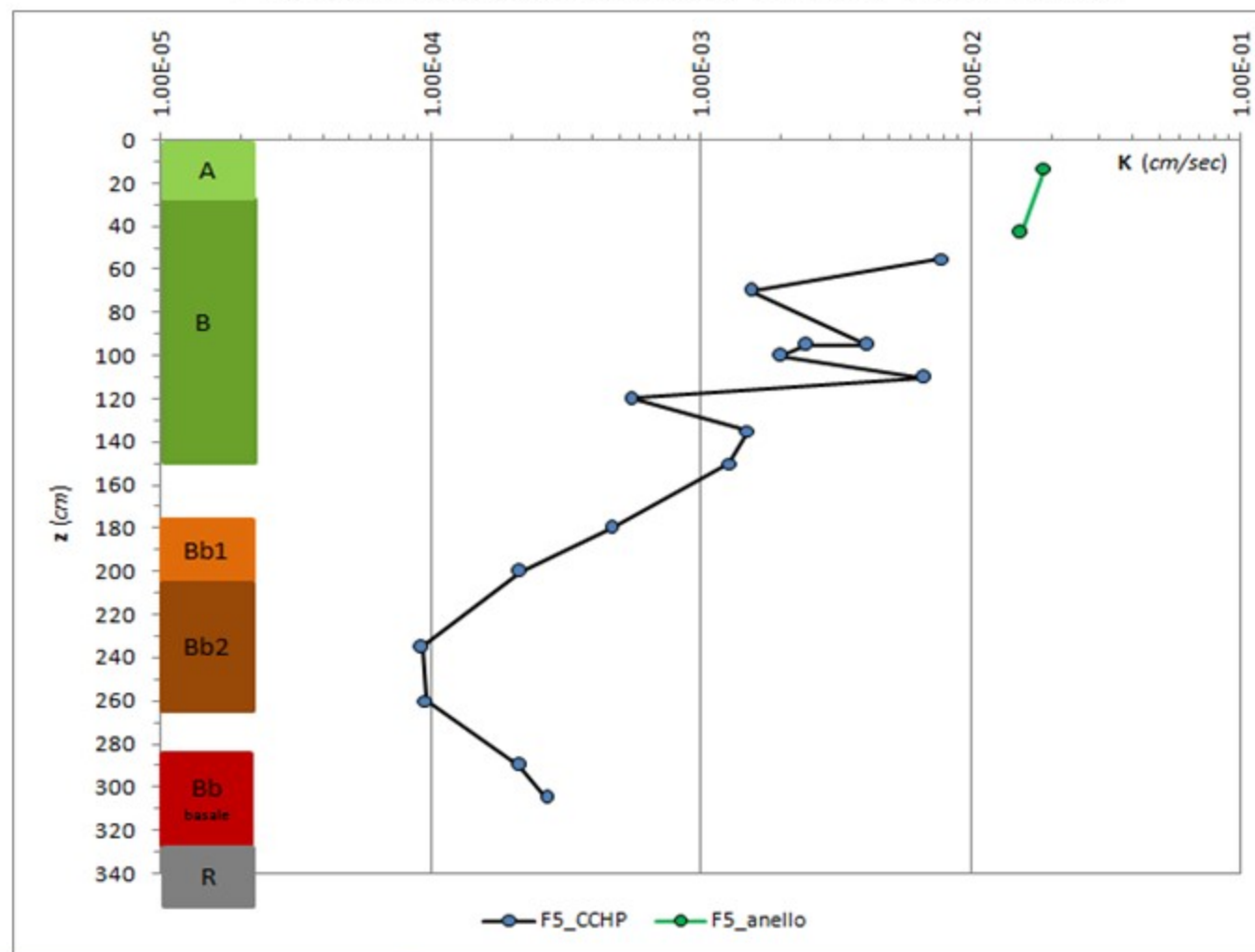
Proprietà geotecniche dei depositi piroclastici da caduta

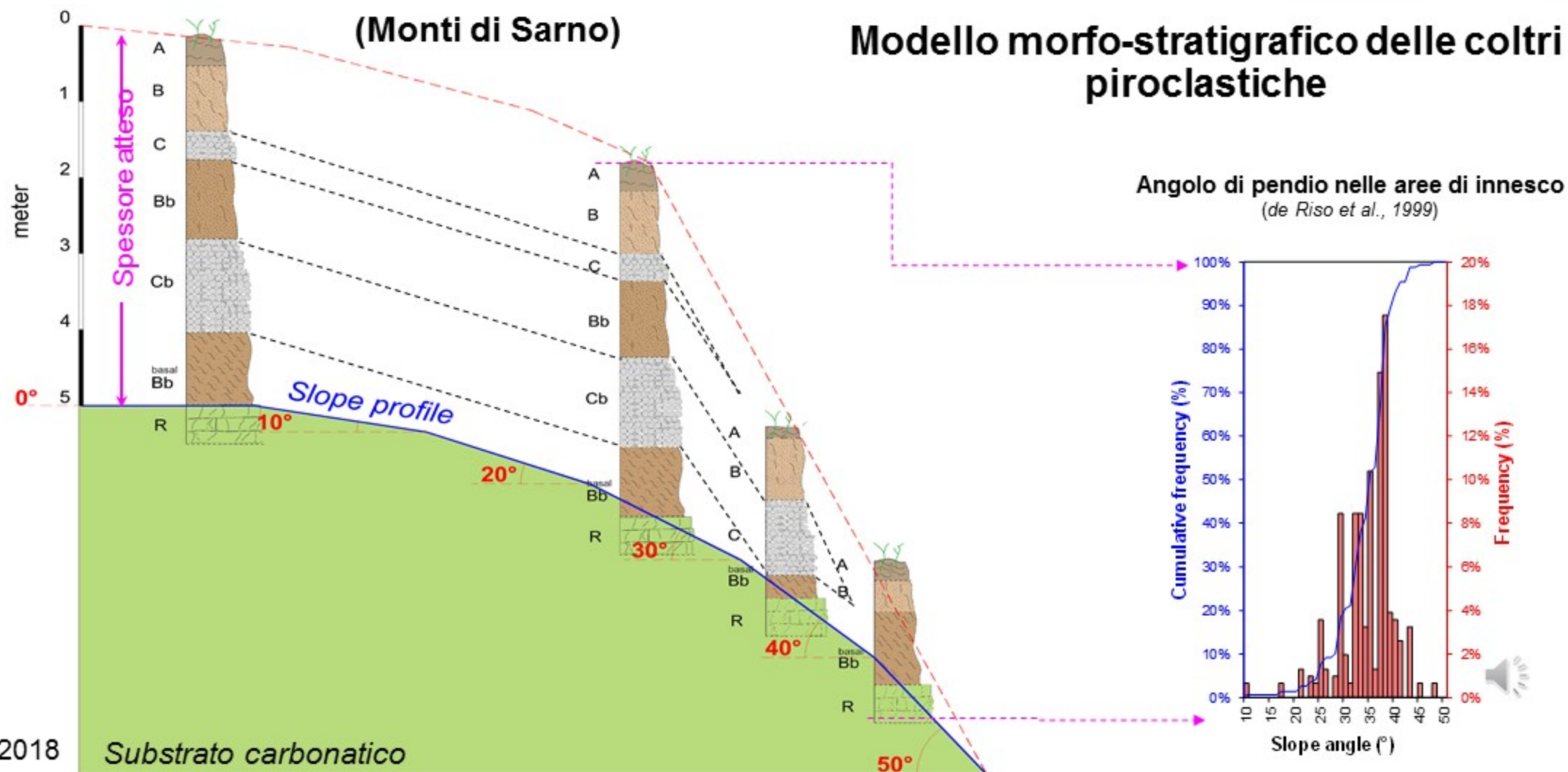


De Vita et alii, 2013



Conducibilità idraulica a saturazione (K_{sat})







Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

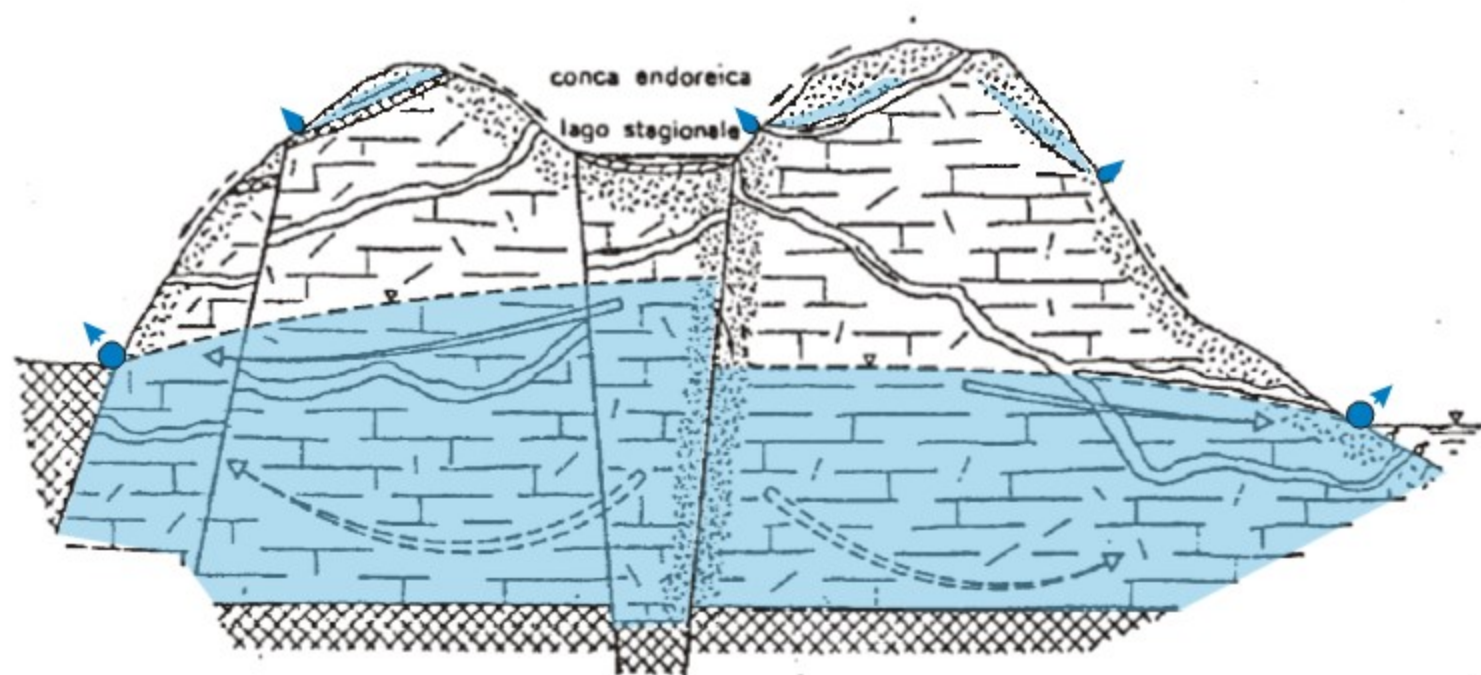


3. Monitoraggio idrologico delle coltri piroclastiche (*frane pluvio-indotte*)



Substrato carbonatico

- Elevato grado di permeabilità dovuto alla deformazione fragile (fratturazione) e al carsismo
- Elevata ricarica
- Circolazione idrica sotterranea prevalentemente basale (profonda) con ingente deflusso



Celico, 1988



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

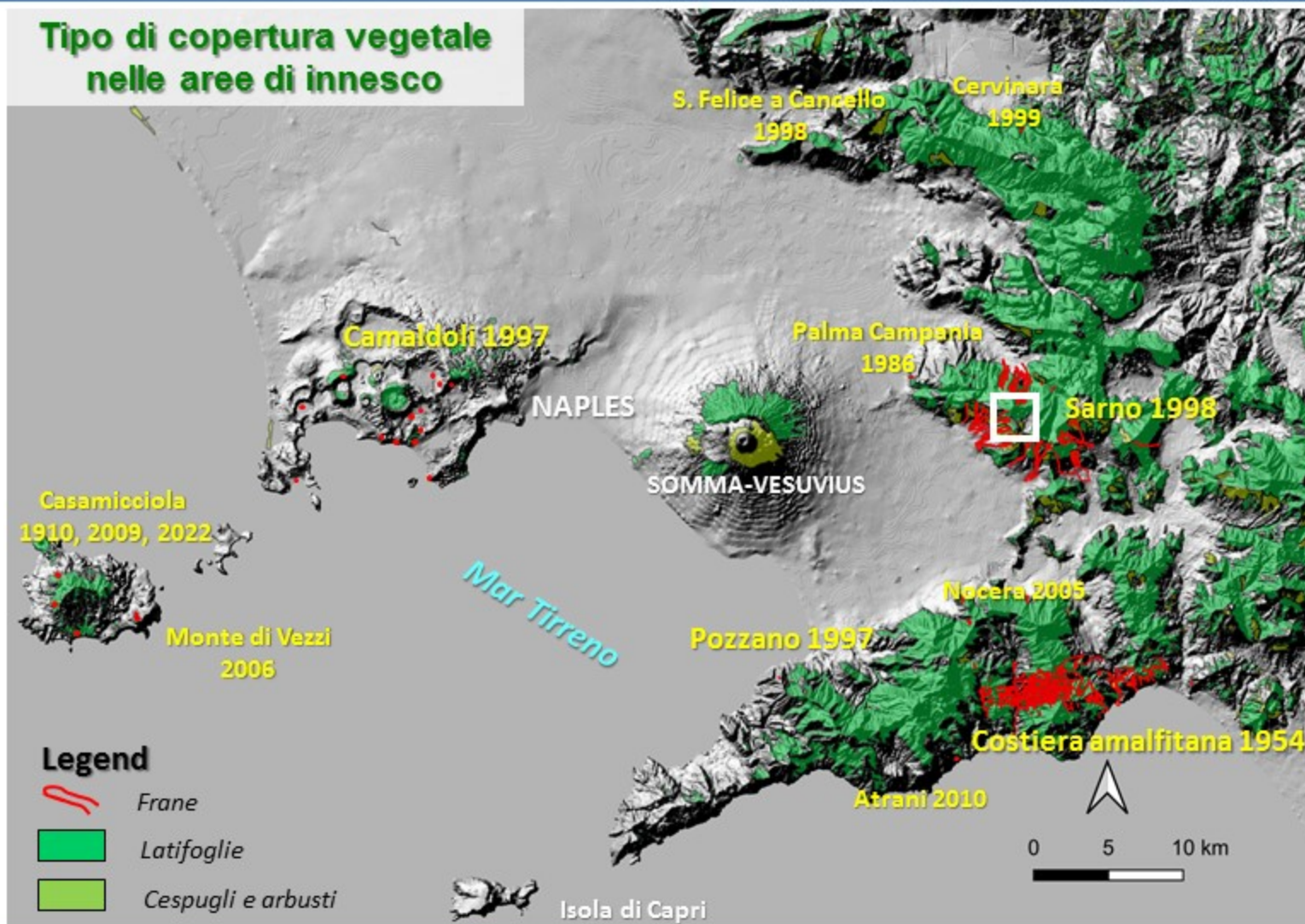


Sistema idrogeologico superficiale coltre piroclastica-substrato carbonatico





Tipo di copertura vegetale nelle aree di innesco





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

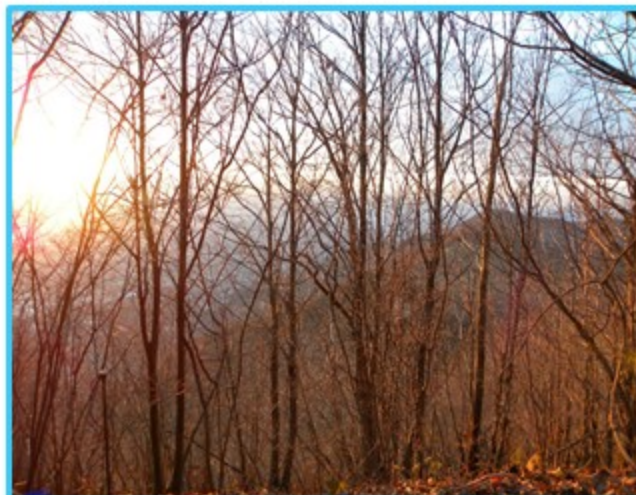


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

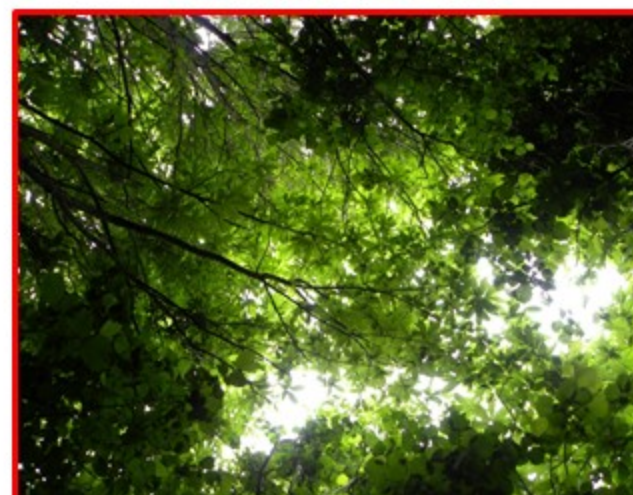


Copertura vegetale – Bosco ceduo di castagno (*Castanea sativa*)

Autunno-Inverno



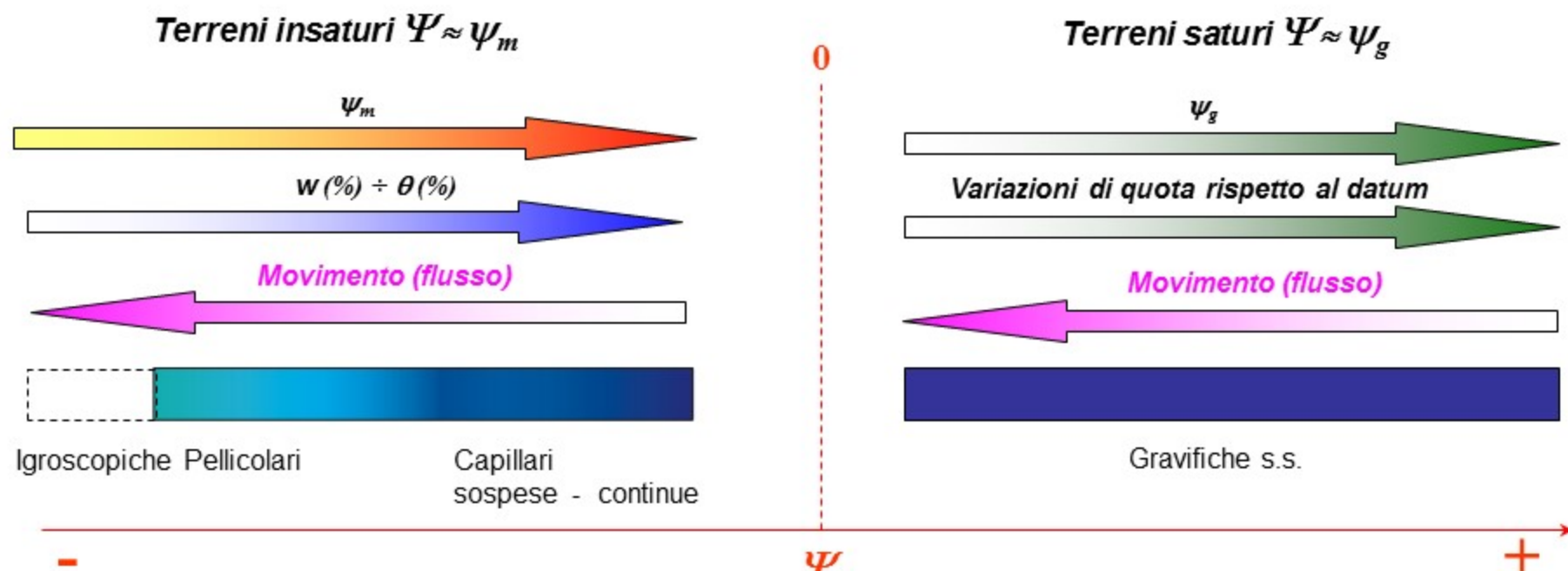
Primavera-Estate



Il potenziale dell'acqua nei terreni

Potenziale idraulico totale (ISSS Bull., 1976):

$$\Psi = \psi_g + \psi_m + \psi_o + \psi_a + \psi_s$$



Definizione: Una variazione di potenziale ($\Delta\Psi$) è rappresentata dal lavoro necessario (Δ_{lavoro}) per unità di massa (Δ_{massa}). Dal punto di vista dimensionale esso può essere espresso mediante unità di misura di pressione (Atm, bar, Pa, h_{Hg} , h_{H_2O}).

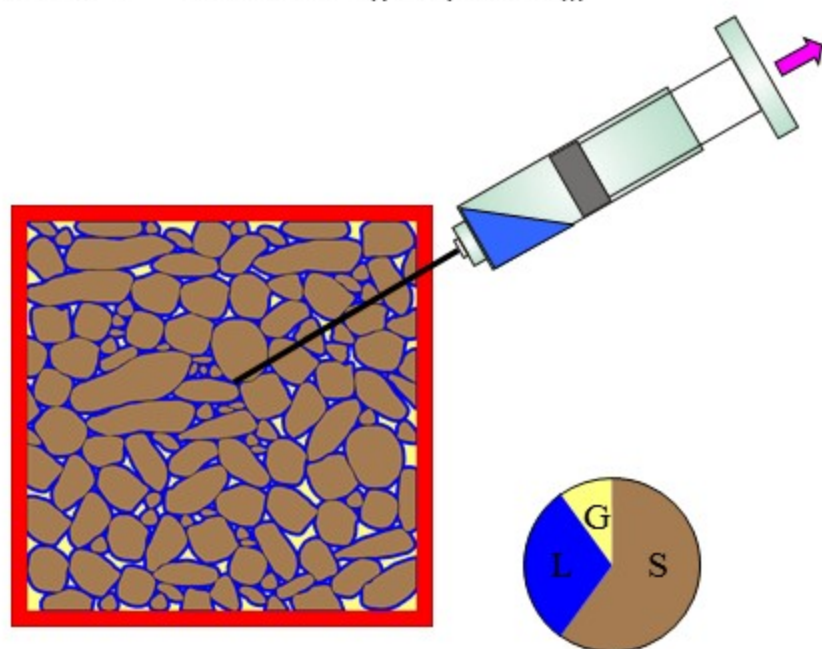
$$\Delta\Psi = \frac{\Delta_{lavoro}}{\Delta_{massa}} = \frac{\Delta_{lavoro}}{\Delta_{volume}} \Rightarrow [J \cdot m^{-3}] = [N \cdot m^{-2}]$$



Il potenziale dell'acqua nei terreni

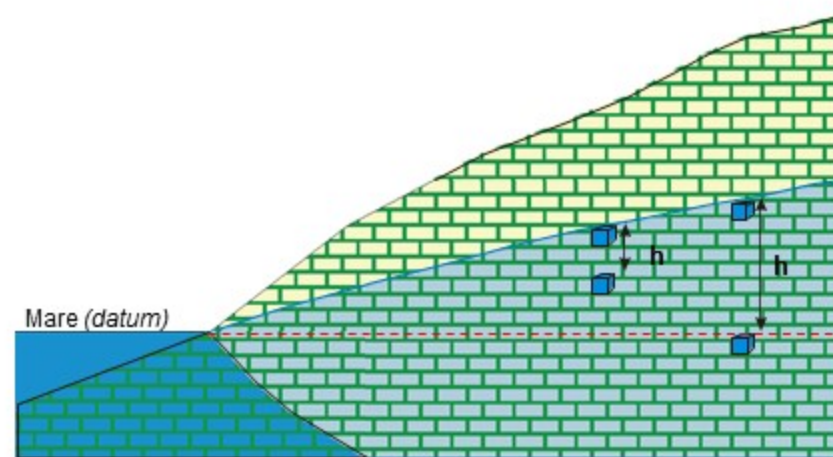
Terreni insaturi $\Psi \approx \psi_m$

Lavoro = massa $\times f(\gamma, \alpha) \times \Delta\Psi_m$



Terreni saturi $\Psi \approx \psi_g$

Lavoro = massa $\times g \times \Delta h$



Il potenziale matriciale Ψ_m e la curva di ritenzione idrica

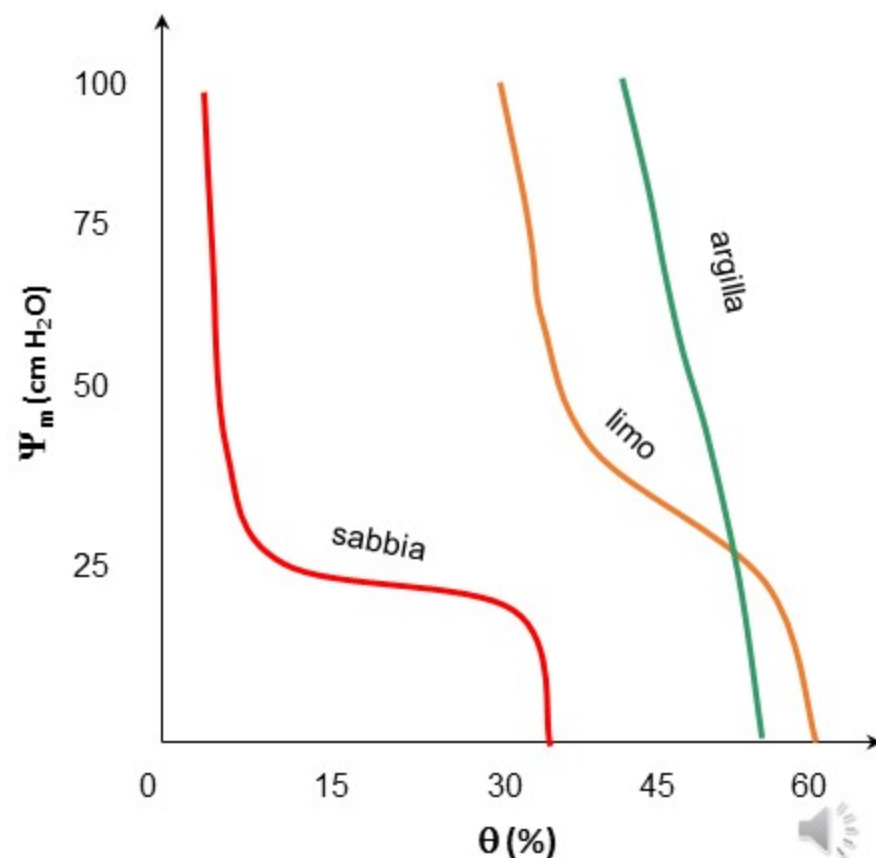
Curva di ritenzione idrica

La curva di ritenzione idrica è una relazione empirica esistente tra il potenziale matriciale del terreno Ψ_m ed il contenuto d'acqua dello stesso (θ).

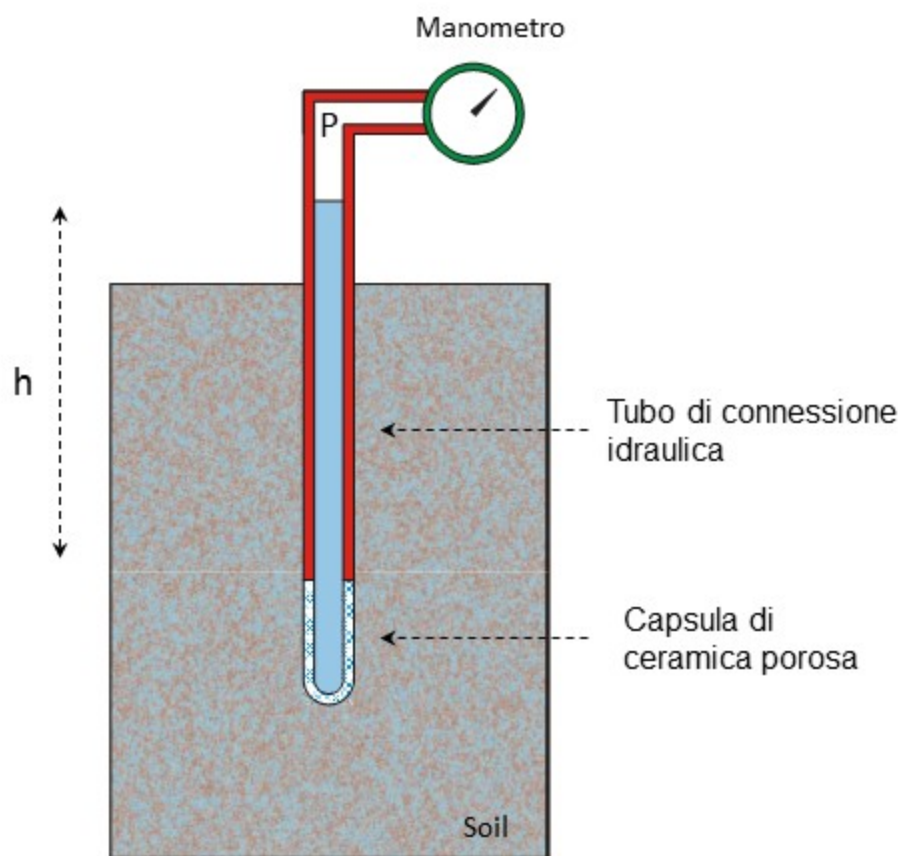
Il **potenziale matriciale** si può esprimere con qualsiasi unità di pressione, ma usualmente si utilizza l'unità h_{H_2O} (cm).

Il potenziale matriciale corrisponde a valori positivi di suzione (pressione negativa), mediante la quale possono essere sottratte acque di ritenzione al terreno.

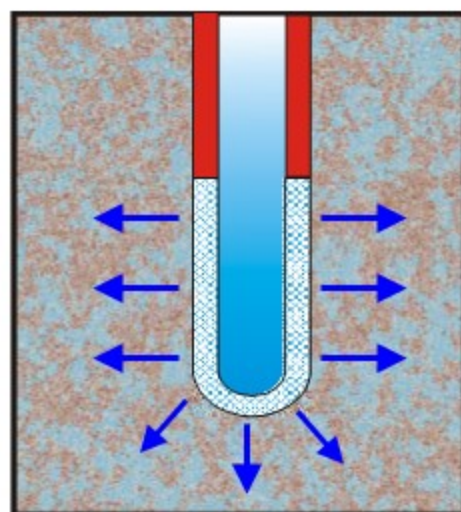
$$\theta (\%) = \frac{V_W}{V_T}$$



Misura del potenziale matriciale Ψ_m



$$\Psi_m = P - (h \times \gamma_w)$$



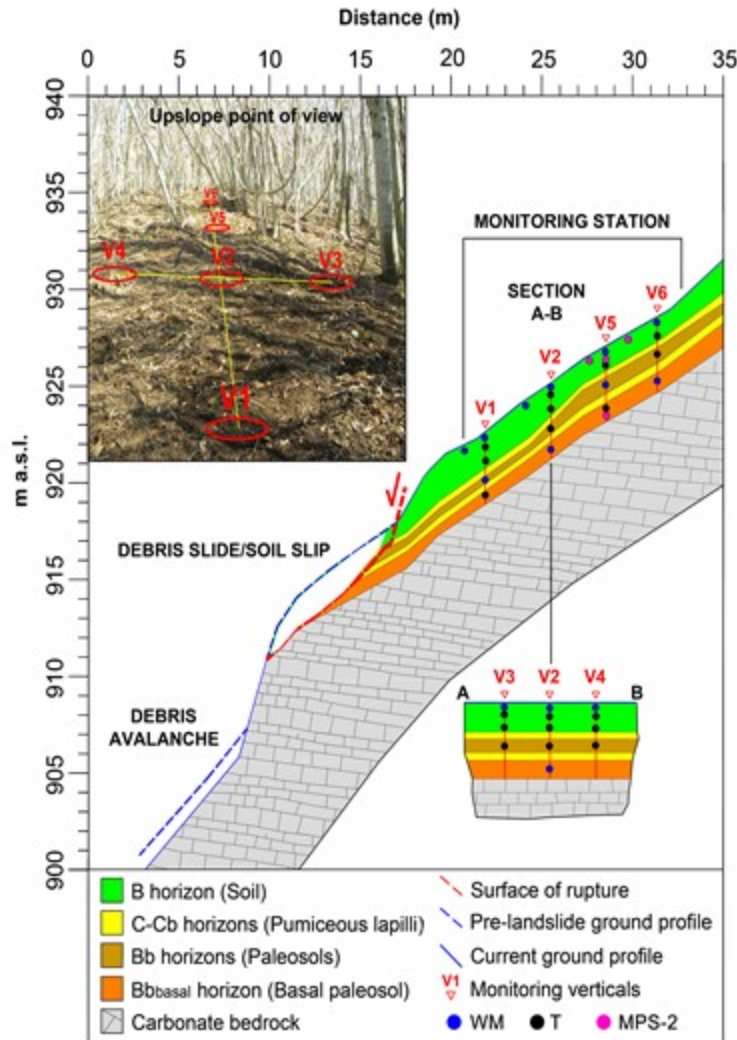
Il potenziale matriciale può essere misurato in maniera diretta mediante il tensiometro, uno strumento di misura che riesce a stabilire un contatto idraulico con le acque di ritenzione ed a misurare la suzione.

Il tensiometro può essere utilizzato nel campo di pressione compreso tra 0 e -75 kPa, corrispondente all'altezza di una colonna d'acqua compresa tra 0 e -765.6 cm, $pF = 2.88$, oltre il quale l'acqua è soggetta a cavitazione (passaggio da liquido a gas) nelle condizioni di temperatura ordinarie.





Monitoraggio idrologico delle coltri piroclastiche



Fusco et al., 2017

Sensori installati

Orizzonte	Jet-fill Tensiometer	Irrrometer Watermark	Decagon MPS-2	Depth Range (m)
B	16	8	3	0.0 ÷ 1.5
Bb	5	2	1	1.8 ÷ 2.5
Bb _{basal}	2	2	1	3.5 ÷ 4.0



40 sensori distribuiti in 6 verticali di misura

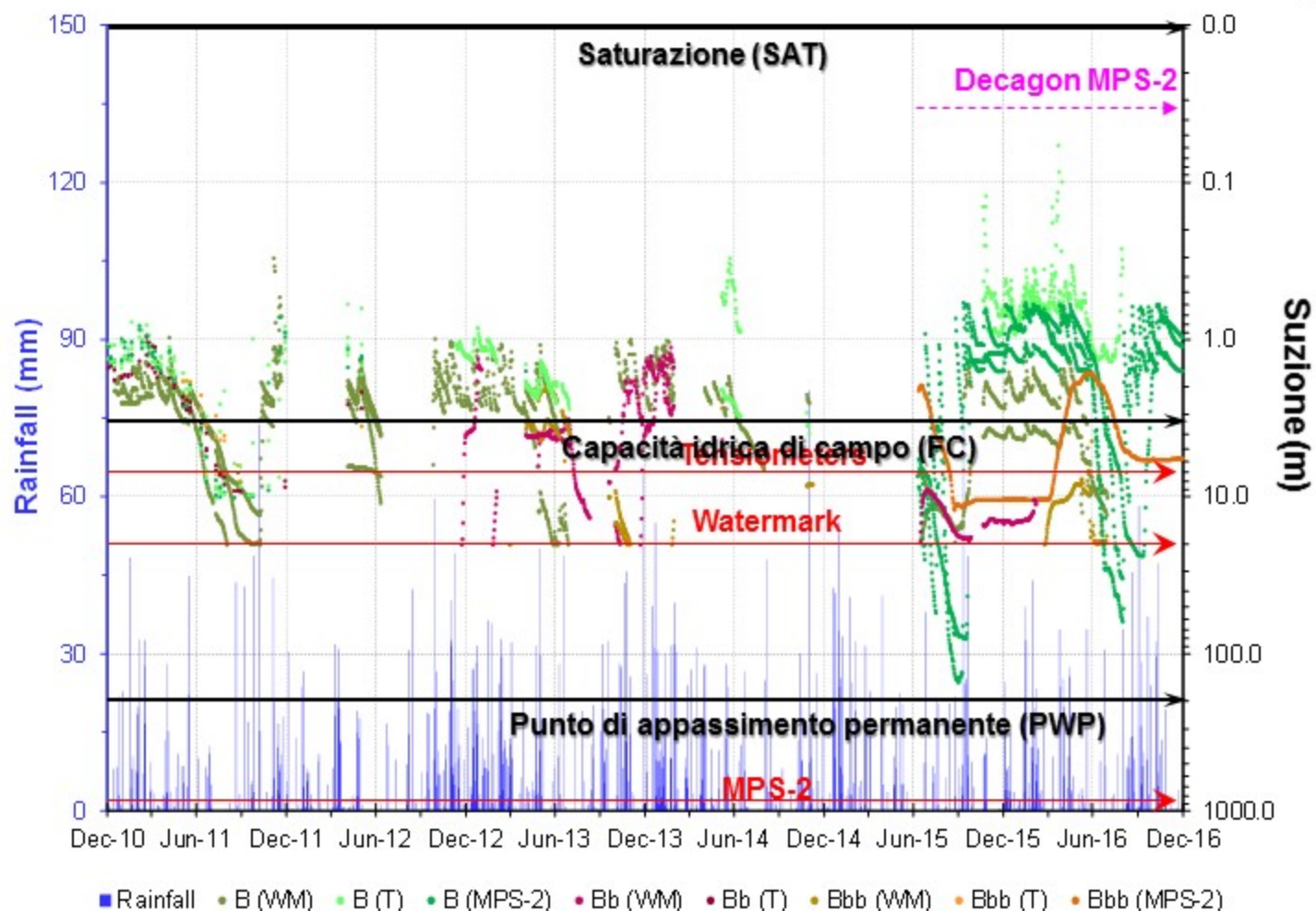




Sensoristica per il monitoraggio idrologico



Risultati del monitoraggio

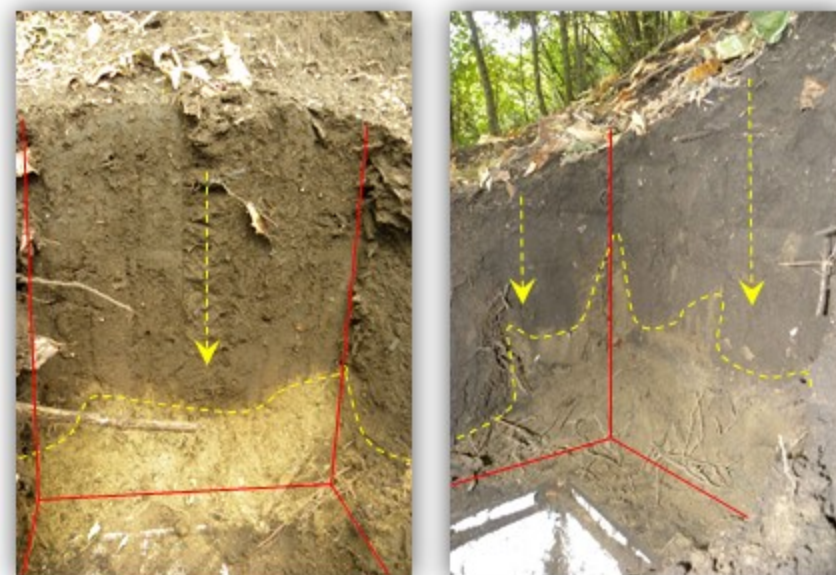
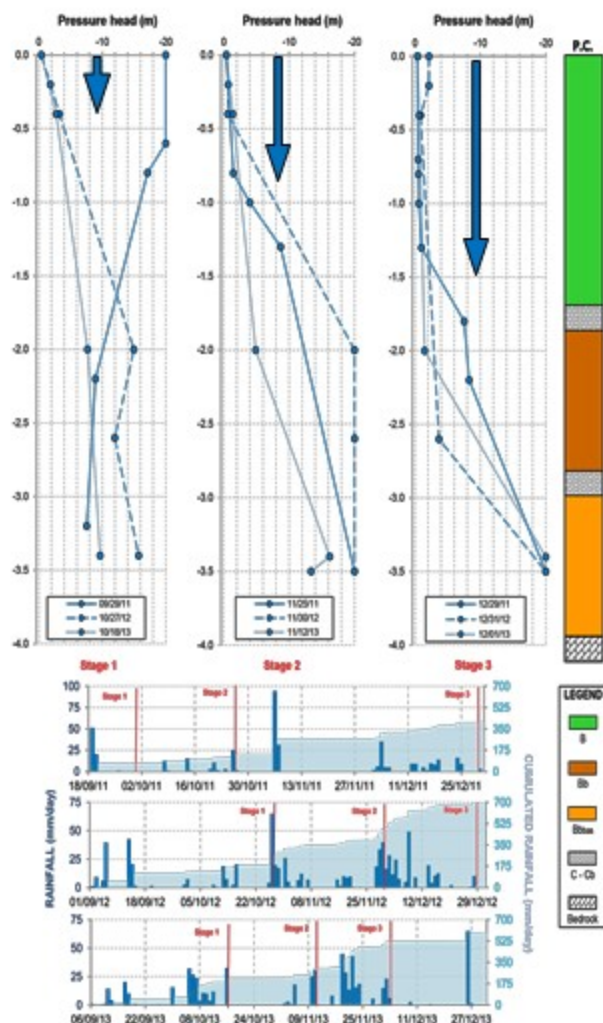


	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
B	-2.2	-1.6	-2.2	-2.4	-4.0	-1.0	Mediana
Bb	-2.5	-2.7	-4.5	-2.5	-14.7	-14.2	
Bb _{bas}	-3.2	-3.6	-4.2	-8.4	-10.5	-5.9	
Cover	-2.3	-2.1	-3.4	-2.5	-7.6	-5.8	

Fusco et al., 2017

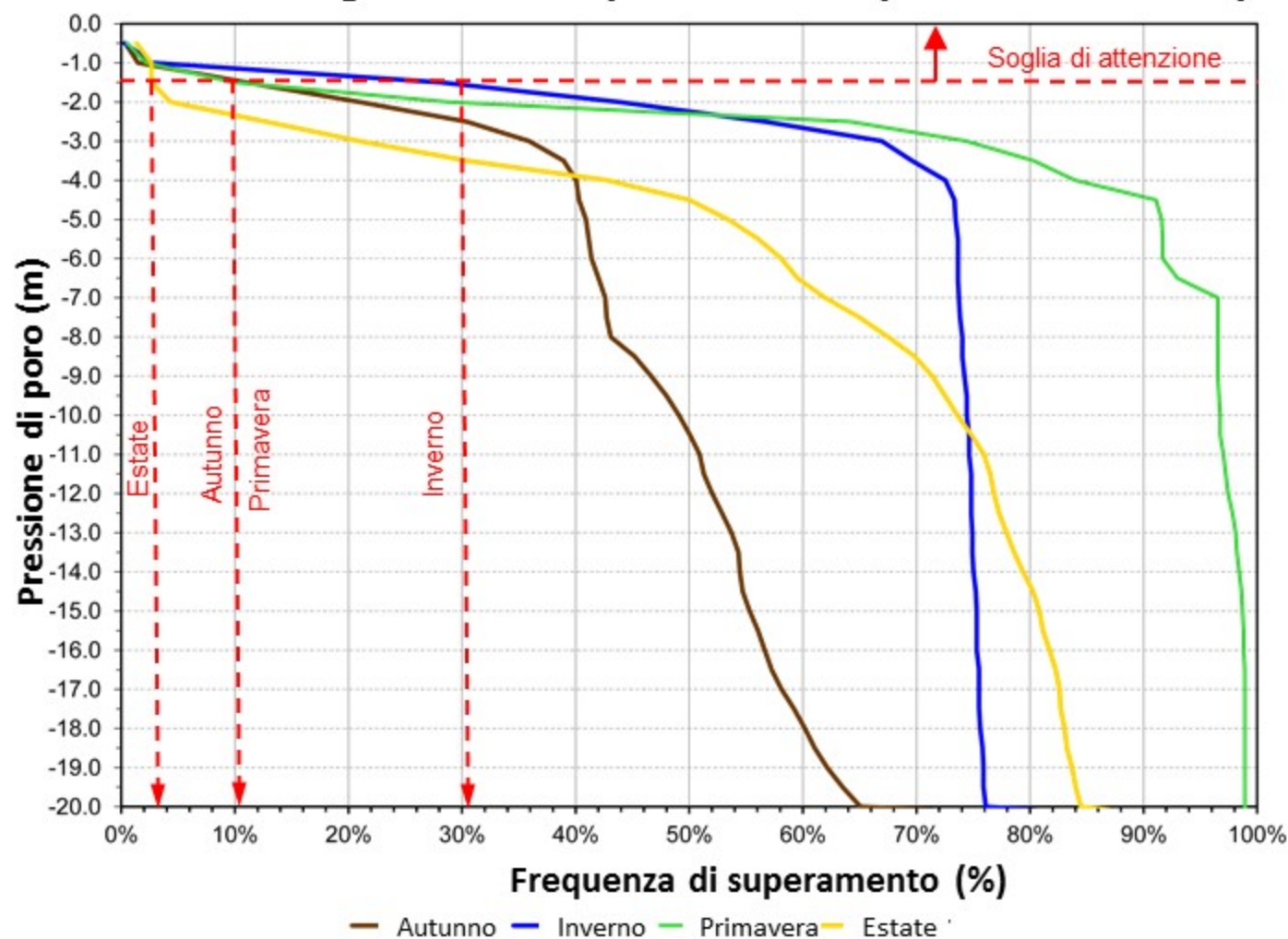


Risultati del monitoraggio



Approfondimento graduale del fronte di infiltrazione

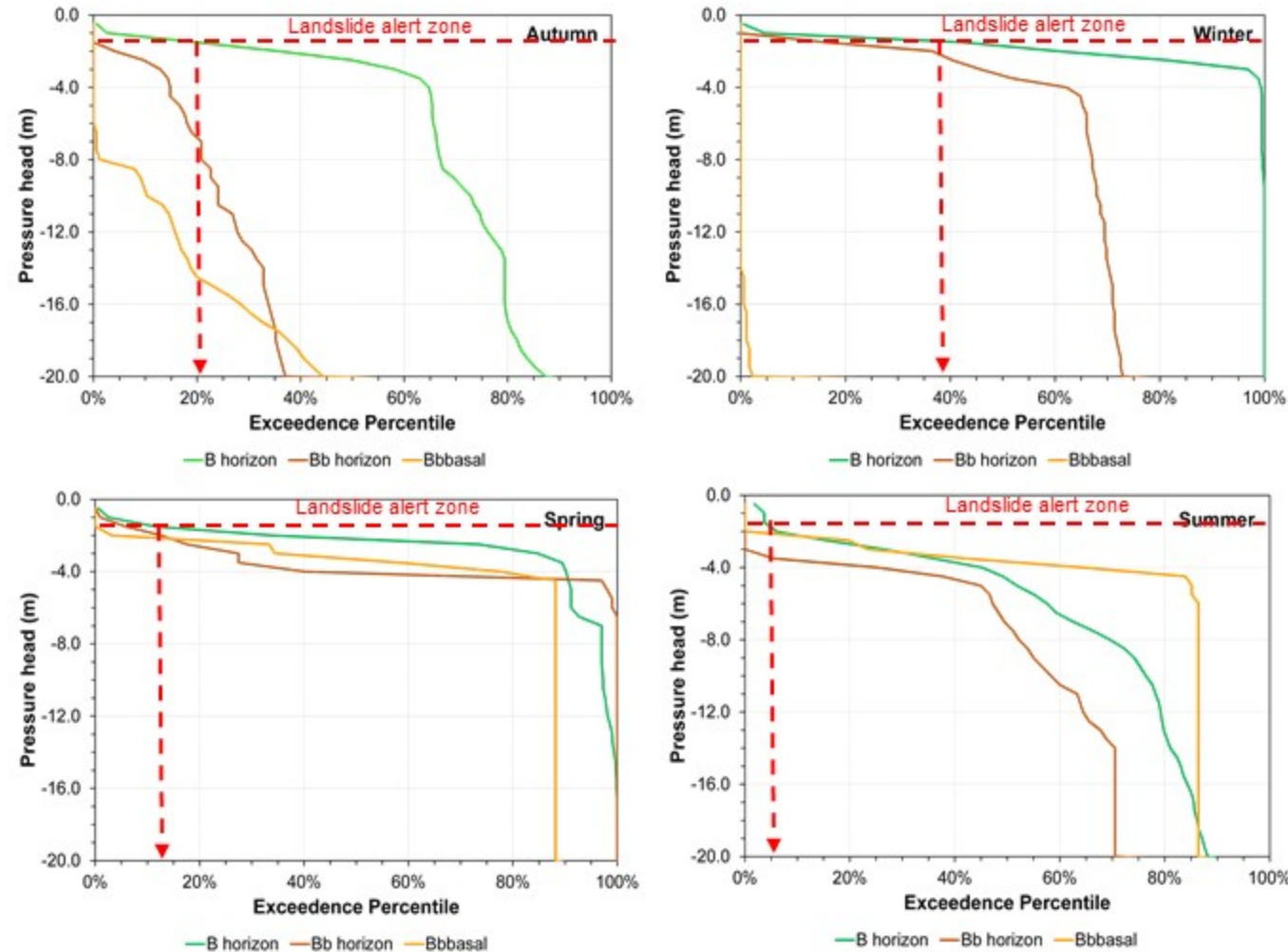
Curve di durata stagionali della pressione di poro della coltre piroclastica



Fusco et al., 2017



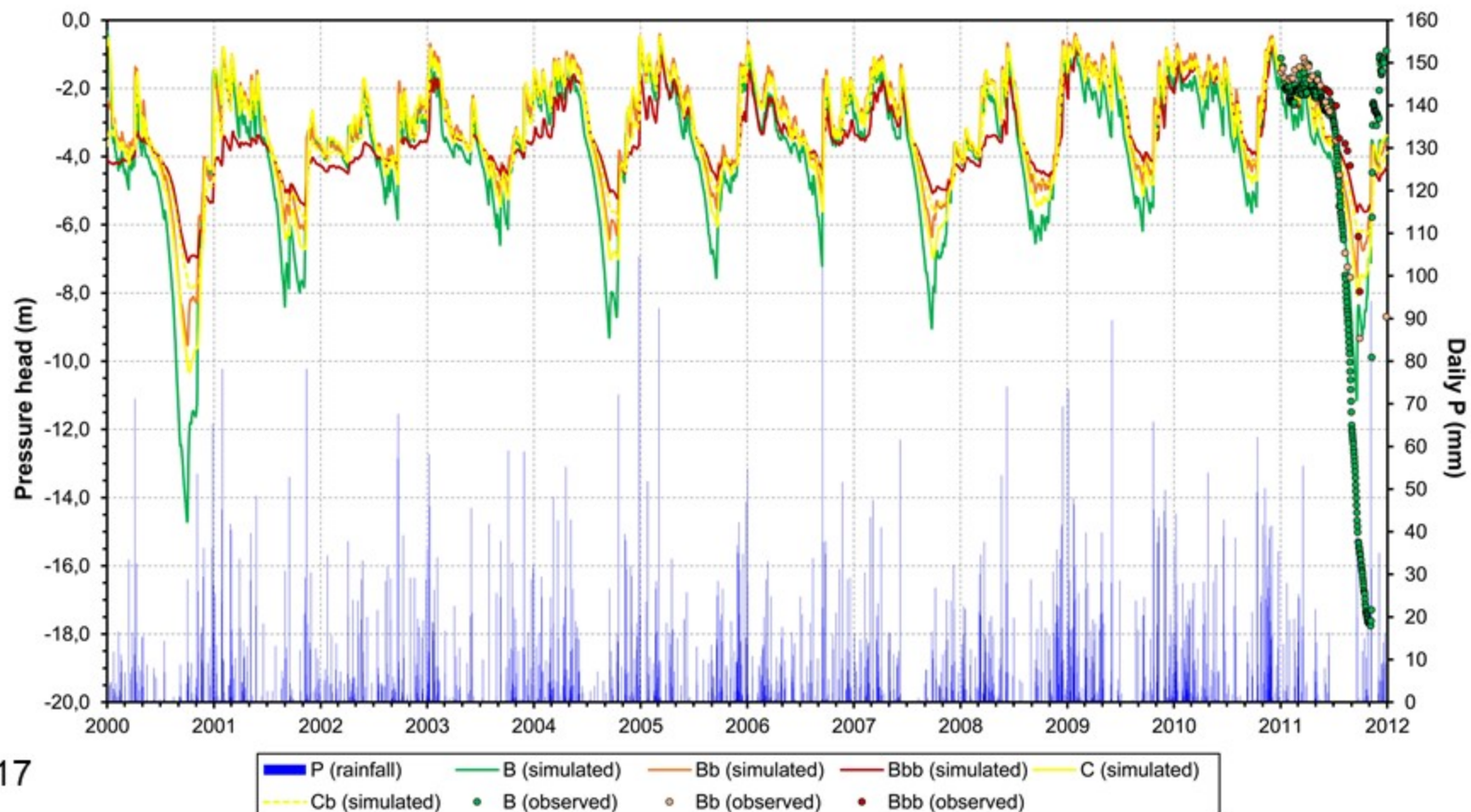
Curve di durata stagionali della pressione di poro dei singoli orizzonti piroclastici



Fusco et al., 2017



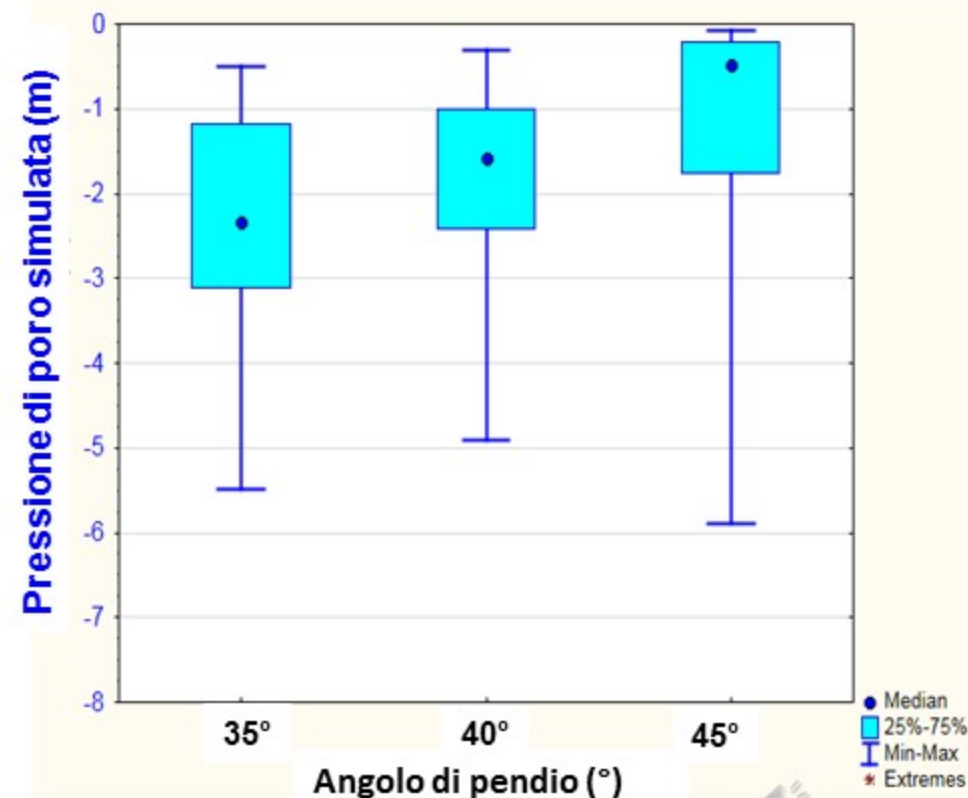
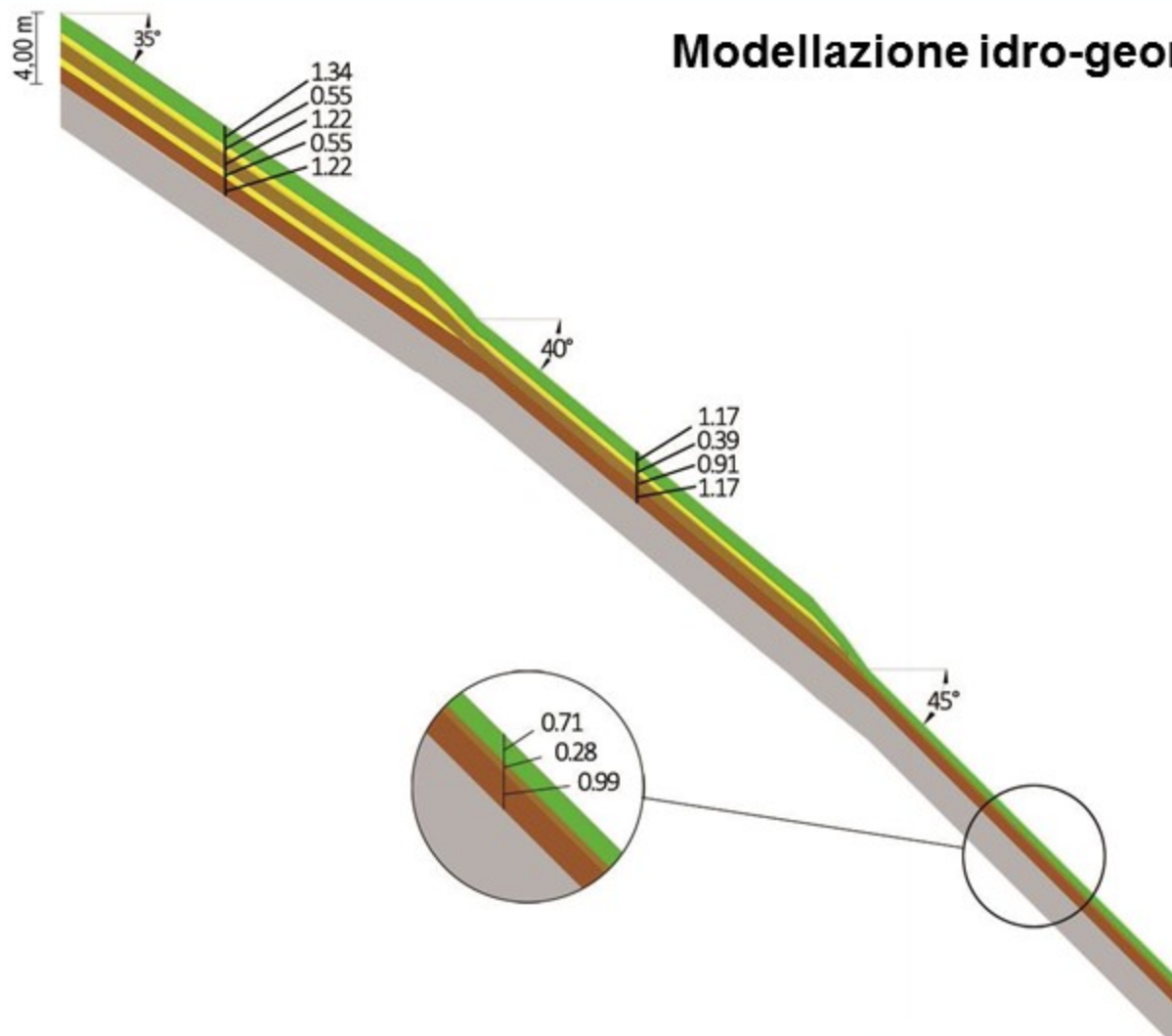
Monitoraggio e modellazione numerica (VS2DTI) della coltre piroclastica



Fusco et al., 2017



Modellazione idro-geomorfologica





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



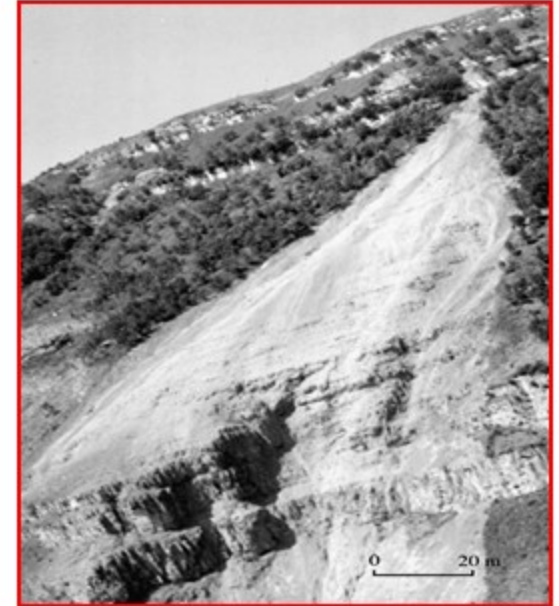
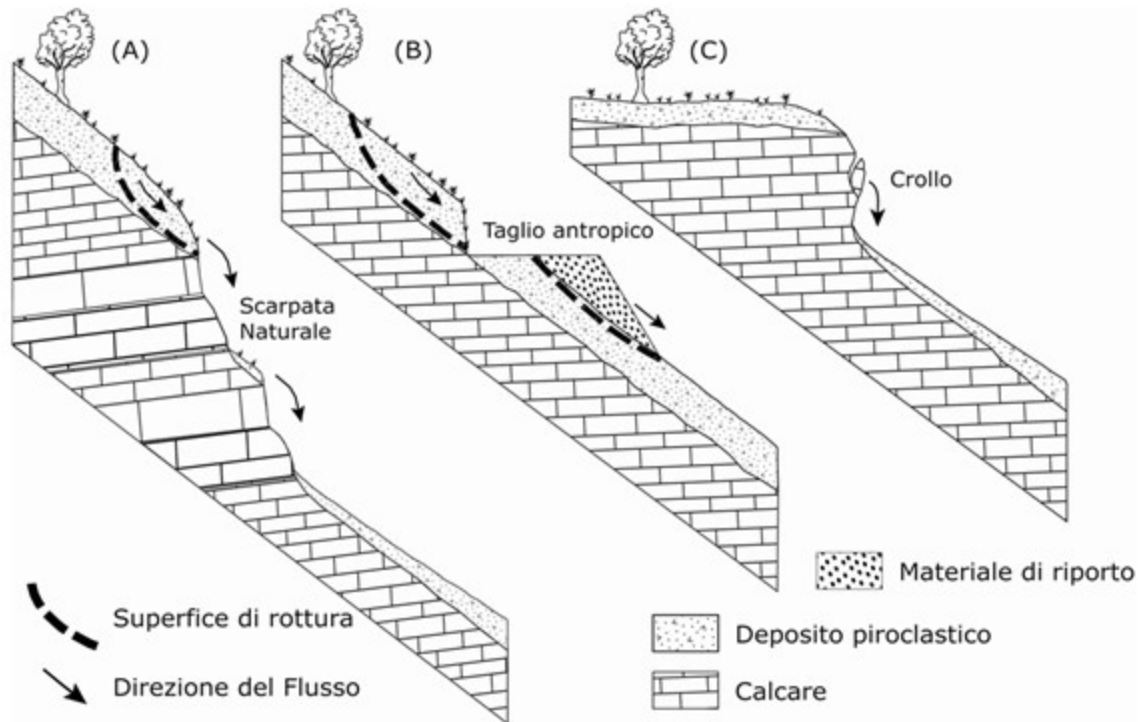
4. Stima di soglie pluviometriche mediante approccio deterministico





Condizioni di elevata suscettibilità all'innescio di frane superficiali

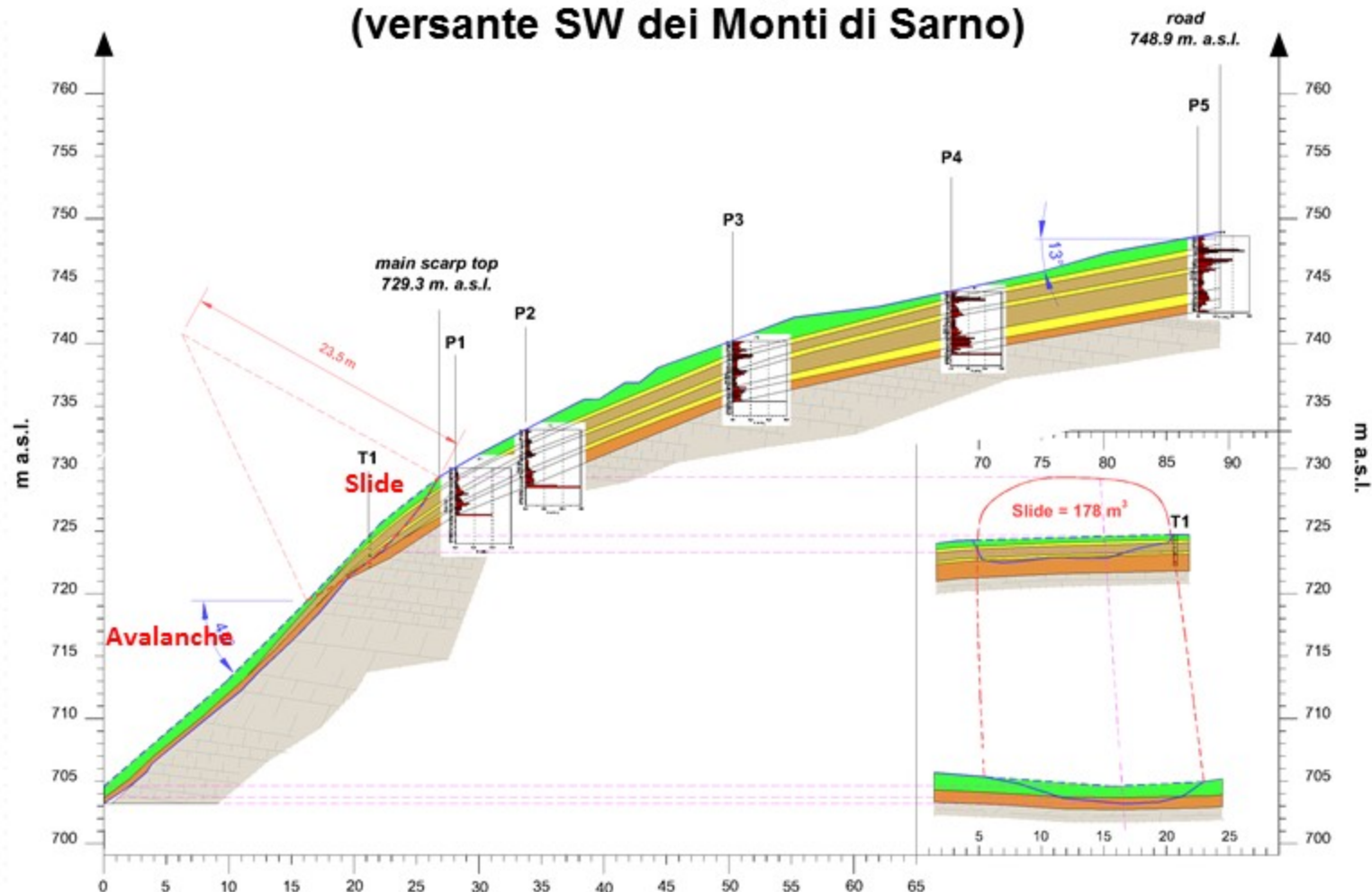
- ✓ Cornici litologiche e tagli stradali
- ✓ Angolo di pendio $30^\circ < \alpha < 50^\circ$



Guadagno *et alii*, 2005

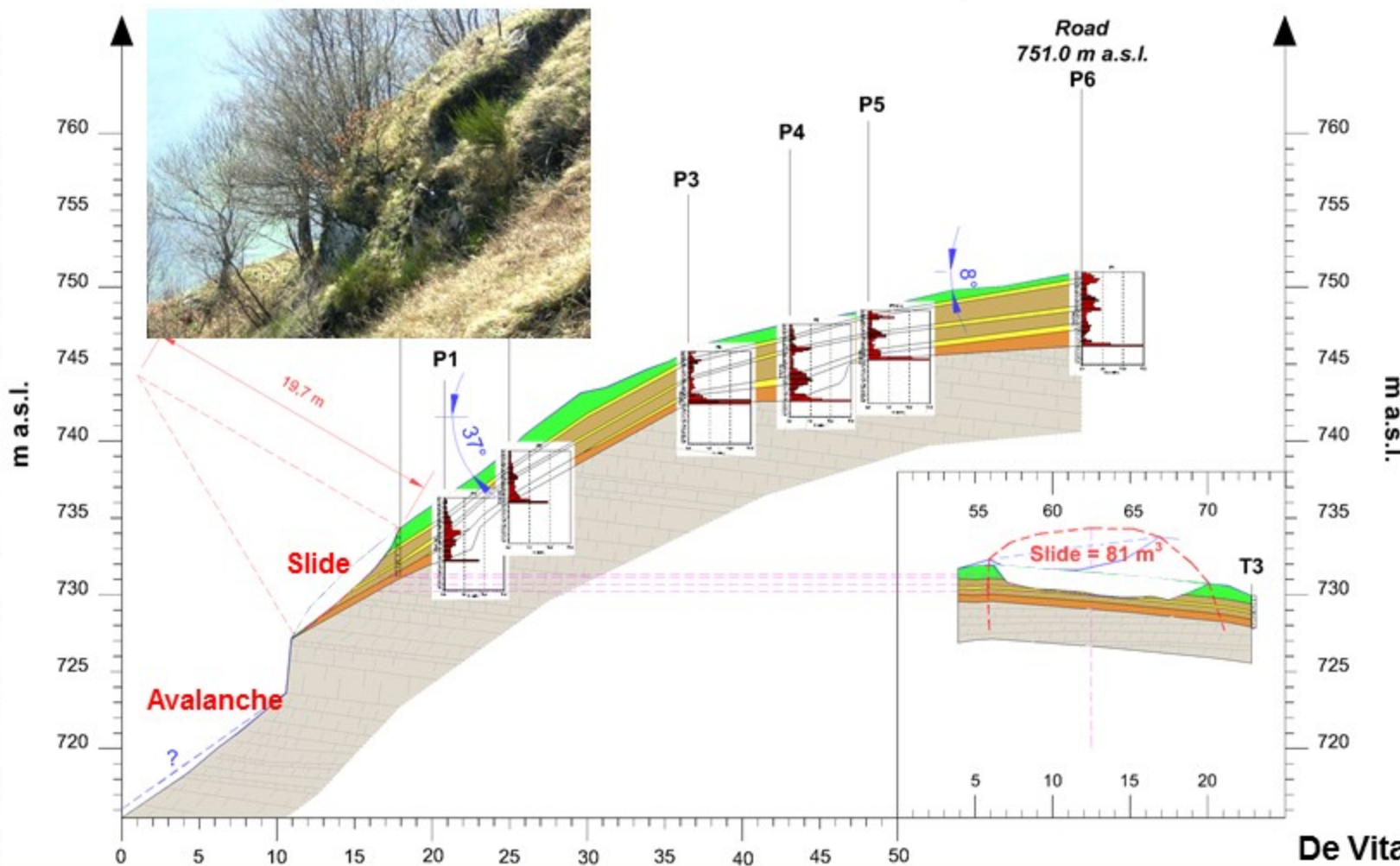


Ricostruzione di modelli geologici nelle aree di innesco (versante SW dei Monti di Sarno)



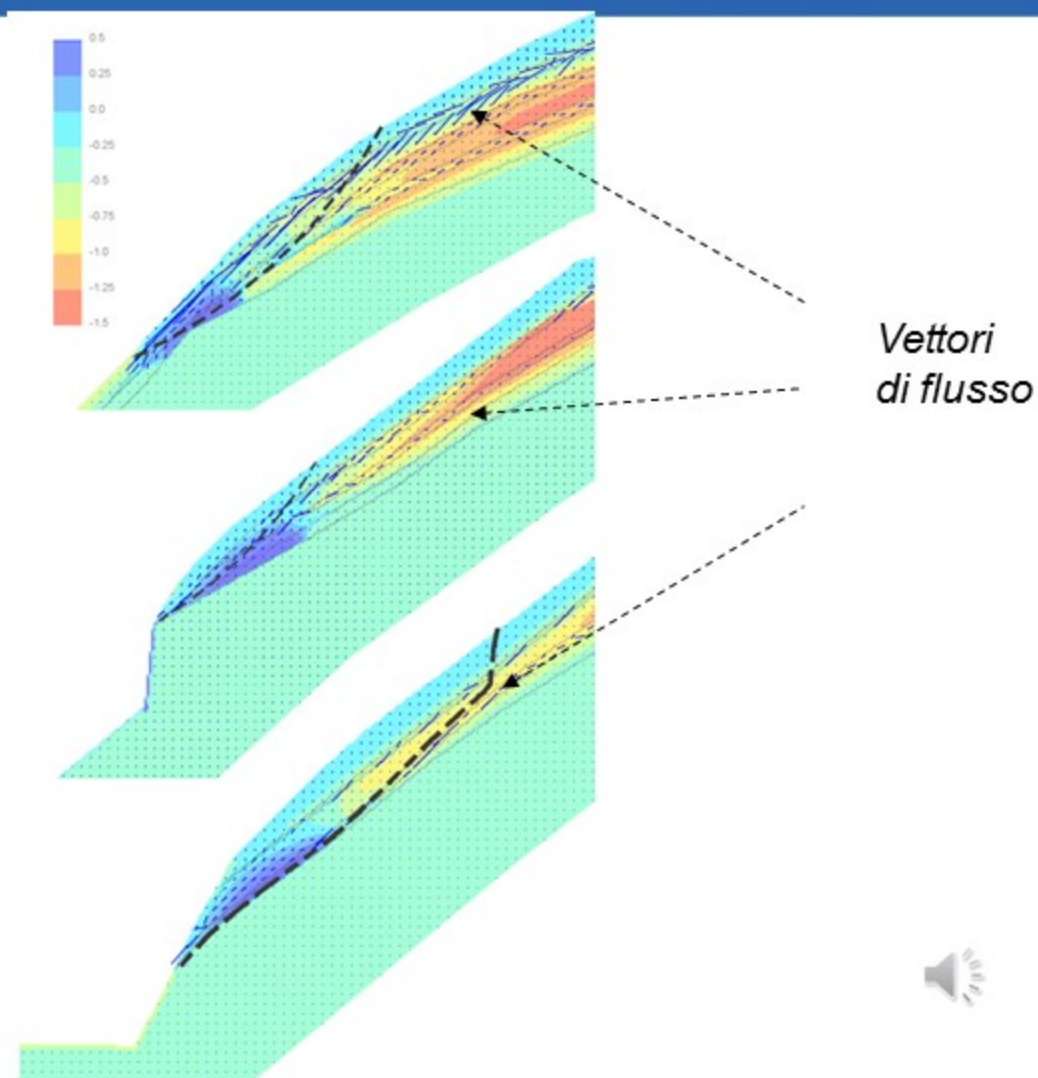
De Vita et al., 2013

Ricostruzione di modelli geologici nelle aree di innesco: (versante SW dei Monti di Sarno)



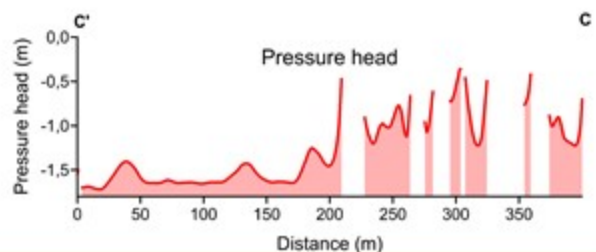
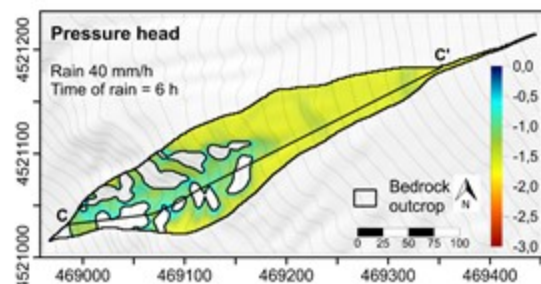
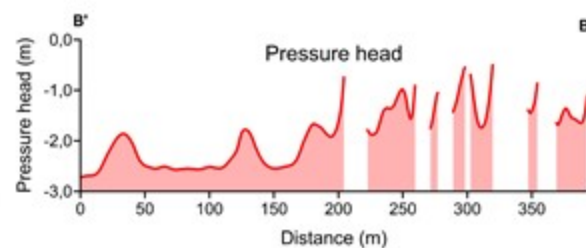
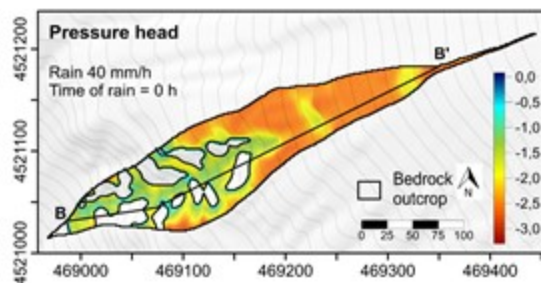
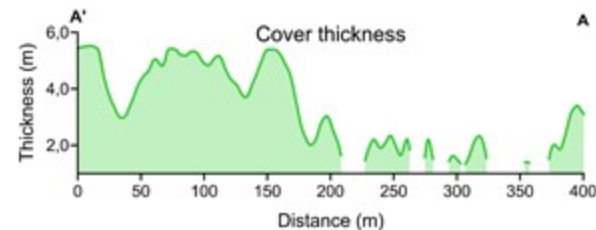
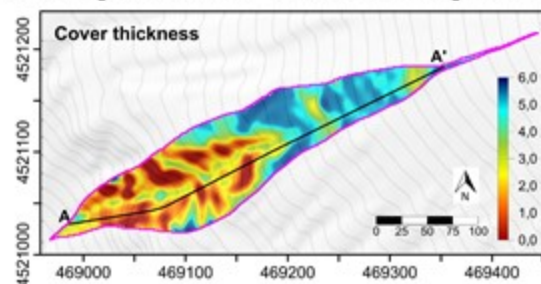
De Vita, 2008; Napolitano, 2011

Modellazione idrologica delle aree di innesco con codice di calcolo VS2DTI (Hsieh *et alii*, 2000)



De Vita *et al.*, 2013

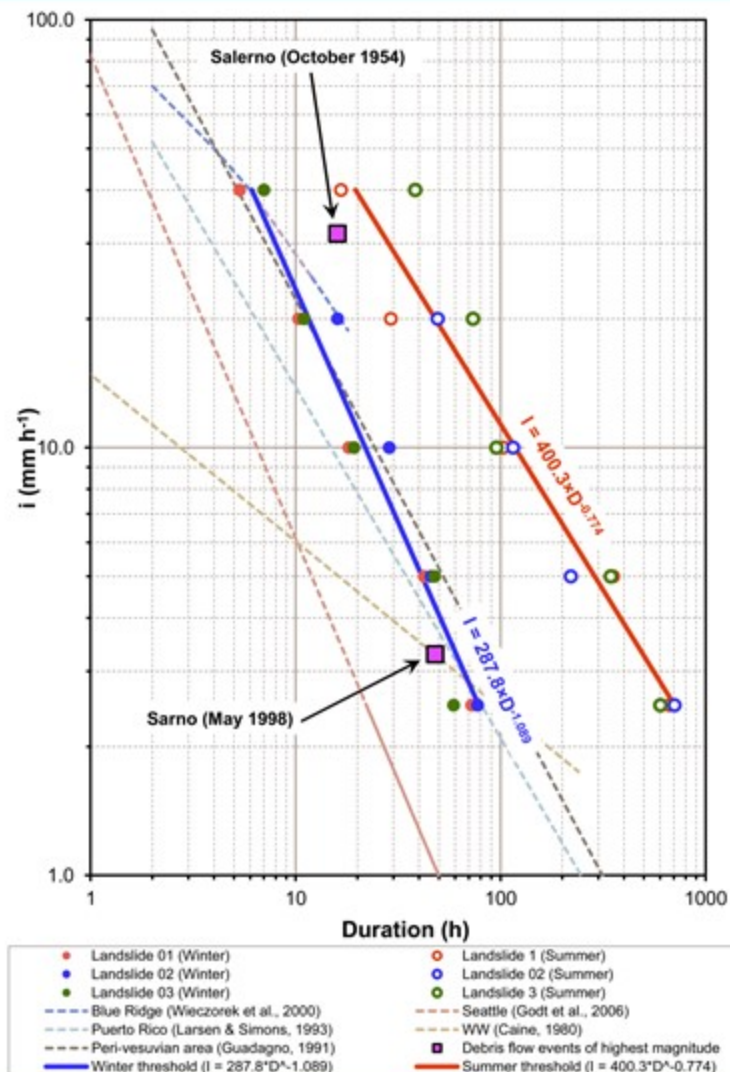
Variabilità spaziale della risposta idrologica delle coperture piroclatiche



Tufano et alii, 2021



Soglie pluviometriche Intensità-Durata per l'innescò delle frane nelle coperture piroclastiche



Napolitano *et alii*, 2016

5. Le stazioni di monitoraggio del progetto GEOSCIENCES IR WP 3 – UNINA 02





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



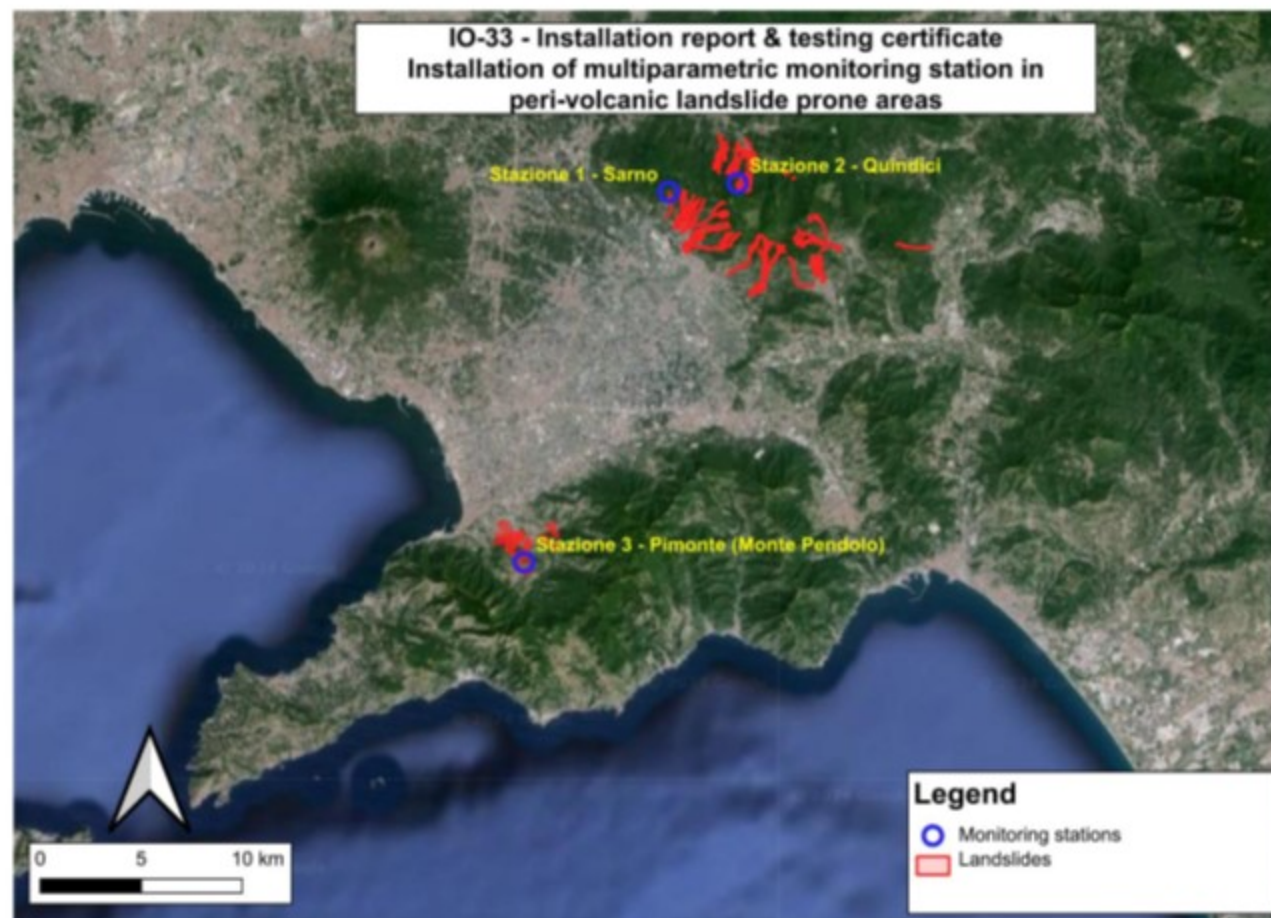
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



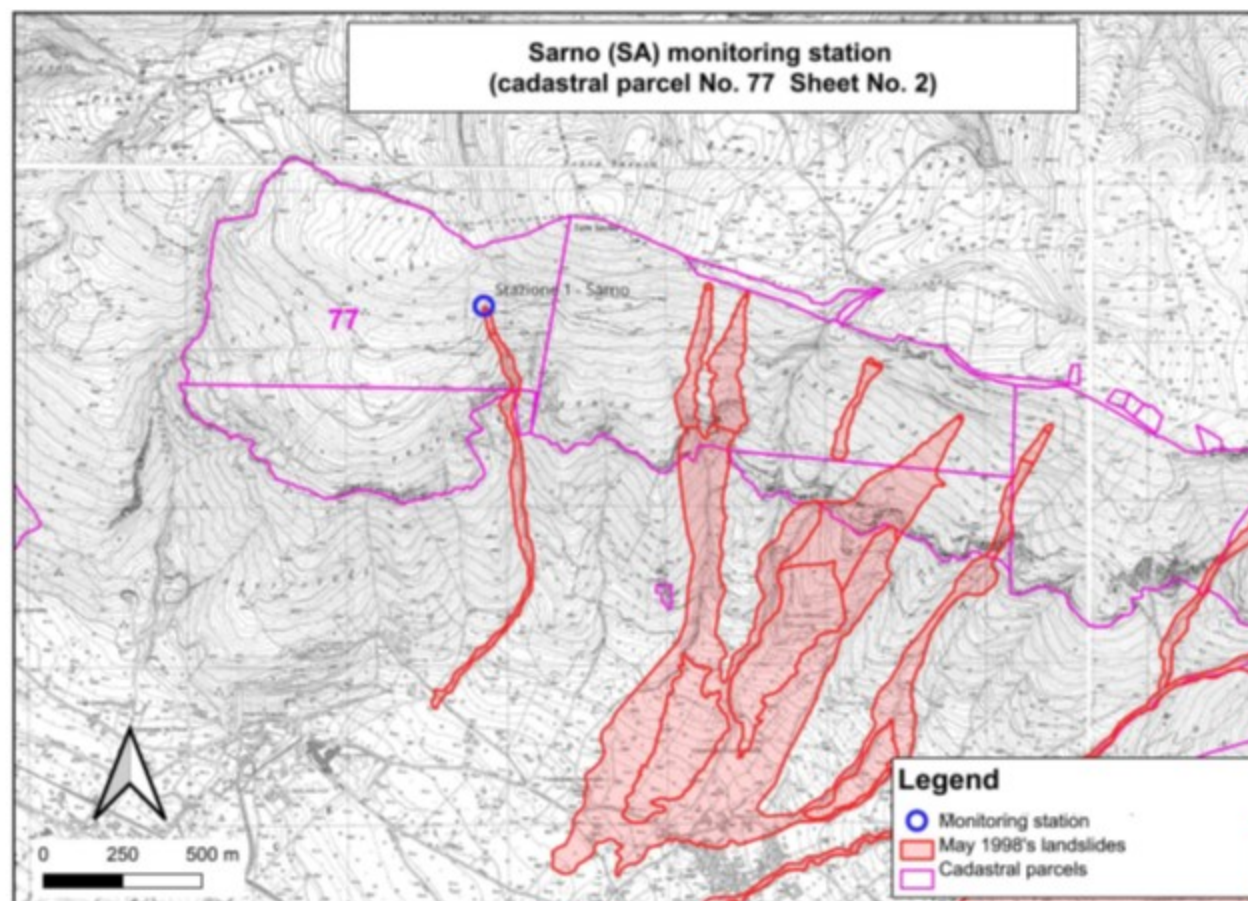
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



GeoSciencesIR





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



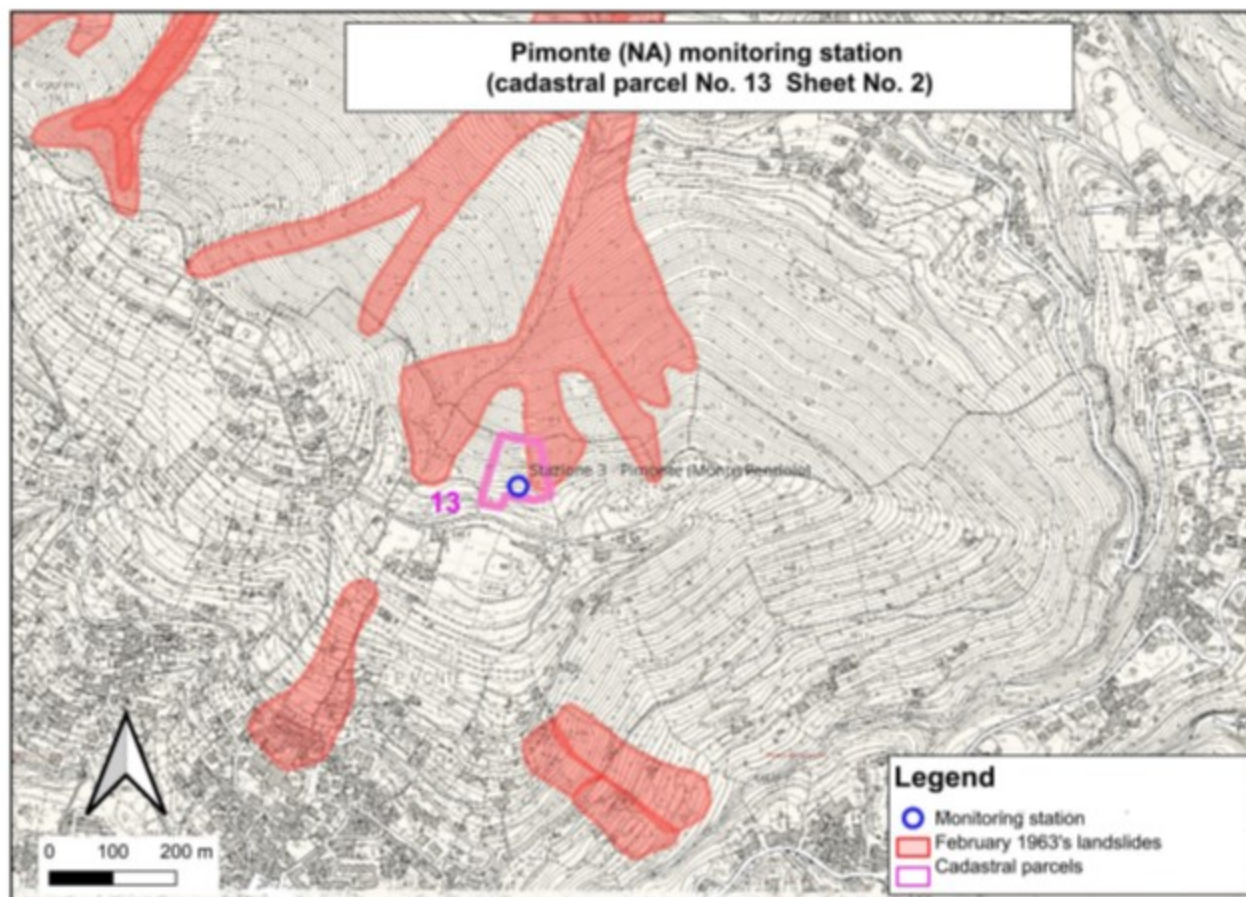
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



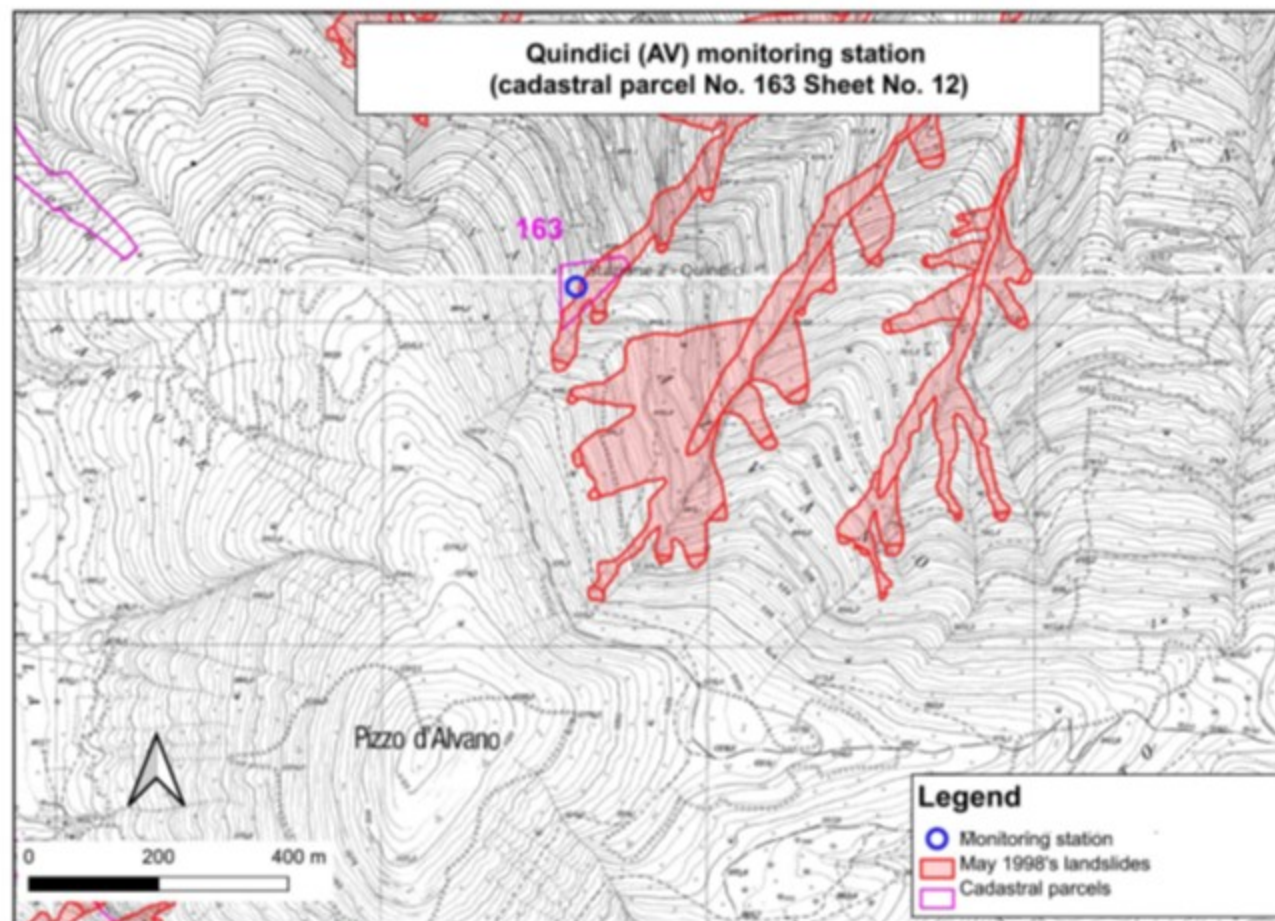
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale





Potenziale matriciale

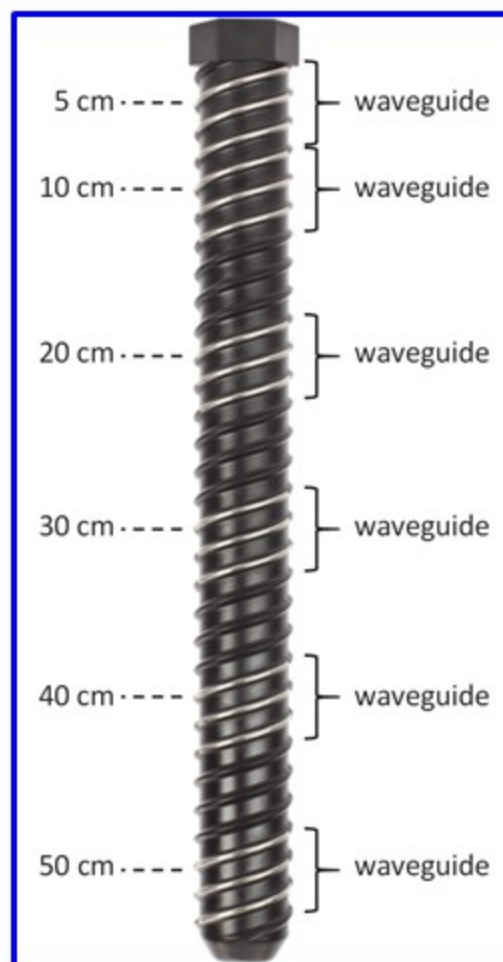
TEROS 21

- range esteso (-5.0 / -100,000 kPa);
- risoluzione di misura: 0.1 kPa;
- accuratezza: $\pm 10\%$;



TEROS 32

- range -85 / +50 kPa;
- accuratezza: 0.15 kPa;
- risoluzione di misura: 0.0012 kPa



SOILVUE (Campbell scientific Inc.) Sonda multiprofilo

- lunghezza delle sonde: 105 cm;
- numero dei punti di misura (sensori) per ciascuna sonda: 9;
- altezza dei punti di misura per ciascuna sonda: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 100 cm;
- range umidità del suolo (contenuto d'acqua volumetrico): 0 – 100 %;
- accuratezza umidità del suolo (contenuto d'acqua volumetrico): 1.5%;





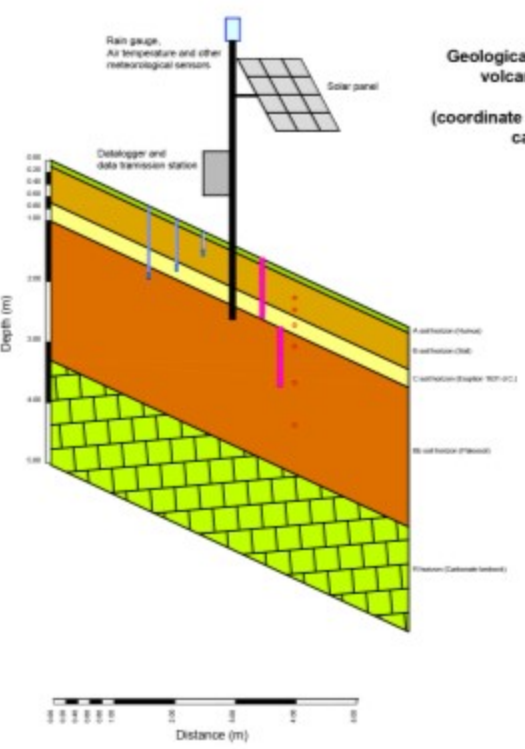
Stazione meteo integrata

- Pioggia (range: 0 – 400 mm/h; risoluzione 0.017 mm);
- Pressione atmosferica (range: 1–120 kPa; risoluzione: 0.01 kPa);
- Temperatura dell'aria (range: -50 / +60 °C; risoluzione: 0.1 °C);
- Umidità relativa dell'aria (range: 0 – 100 %; risoluzione: 0.1 %);
- Velocità e direzione del vento (range: 0 – 30 m/s; risoluzione: 0.01 m/s; 0 – 359°N, 1°);
- Radiazione solare (range: 0–1750 W/m²; risoluzione: 1 W/m²);

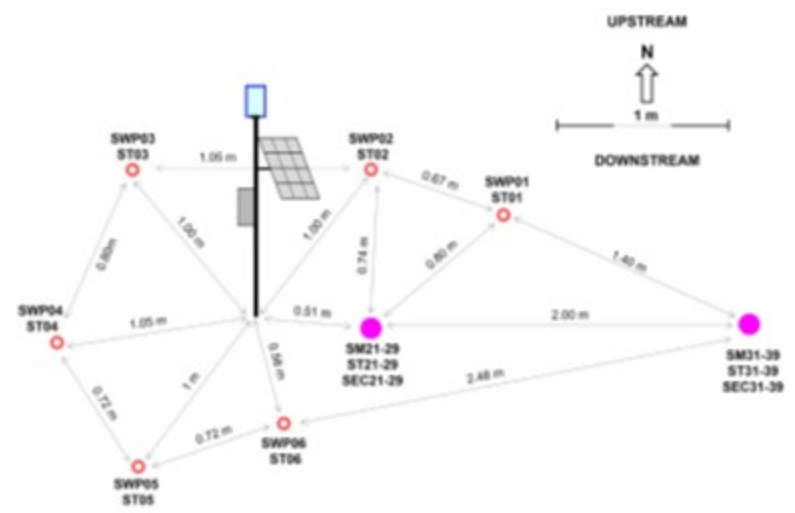


Progetto stazione Sarno (SA)

Geological project of the monitoring station in perivolcanic landslides prone area: Sarno (SA)
(coordinate system UTM WGS84 466.306 E, 4.521.502 N, cadastral parcel No. 77 Sheet No. 2 of Sarno (SA) municipality)



- Legend**
- ATMOS: Meteorological sensors (WS, WD, RH, AT, RG, GR, AP, PTemp)
 - TEROS 21: Soil water potential sensor in the unsaturated field (SWP, ST)
 - TEROS 32: Soil water potential sensor from unsaturated to saturated field (SWPT, ST)
 - SOIL VUE 10: TDR soil moisture and temperature profile sensor (SM, ST, SEC)



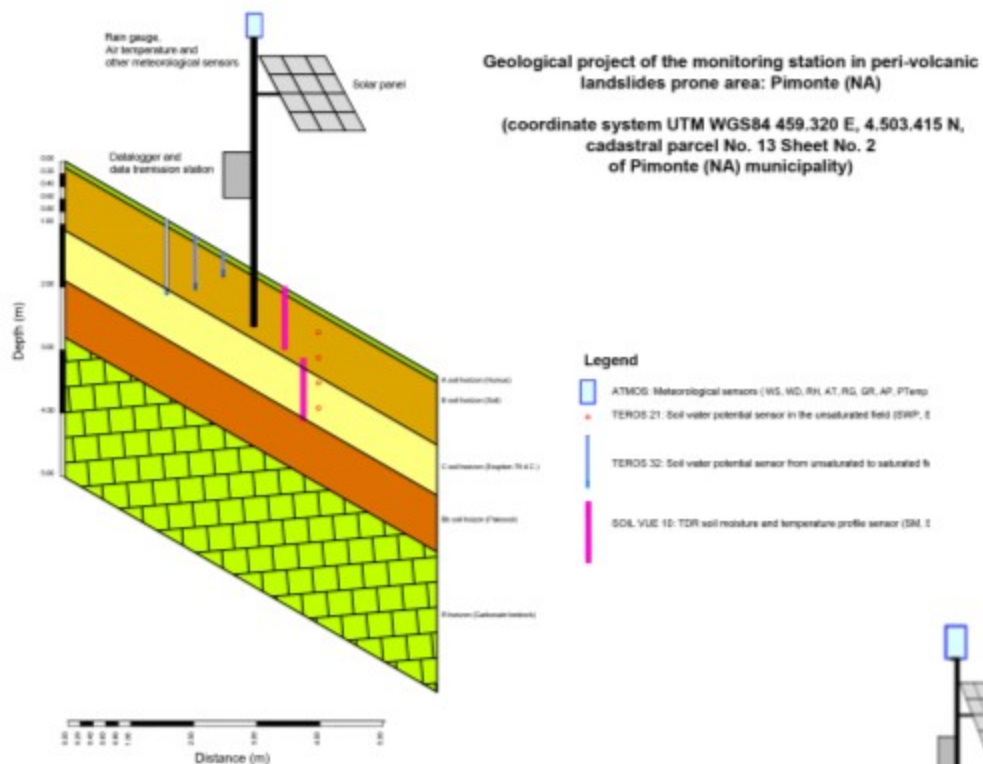
Legend

- ATMOS 41: Meteorological sensors and data transmission station (WS, WD, RH, AT, RG, GR, AP, PTemp, Batt)
- TEROS 21: Soil water potential sensor in the unsaturated field (SWP, ST)
- TEROS 32: Soil water potential sensor from unsaturated to saturated field (SWPT, ST)
- SOIL VUE 10: TDR soil moisture and temperature profile sensor (SM, ST, SEC)

STATION	SENSOR	PARAMETER	DEPTH (m)	ID
METEO STATION	ATMOS 41	WS, WD, RH, AT, RG, GR, AP, PTemp, Batt		
SOIL STATION	TEROS 21	SWP01, ST01	0.40	ID_1
	TEROS 21	SWP02, ST02	0.60	ID_2
	TEROS 21	SWP03, ST03	0.85	ID_3
	TEROS 21	SWP04, ST04	1.20	ID_4
	TEROS 21	SWP05, ST05	1.80	ID_5
SOIL STATION	TEROS 32	SWPT11, ST11	0.40	ID_7
	TEROS 32	SWPT12, ST12	0.80	ID_8
	TEROS 32	SWPT13, ST13	1.20	ID_9
PROFILE STATION NO. 1	SOIL VUE 10	SM21-29, ST21-29, SEC21-29		ID_D
PROFILE STATION NO. 2	SOIL VUE 10	SM31-39, ST31-39, SEC31-39		ID_E

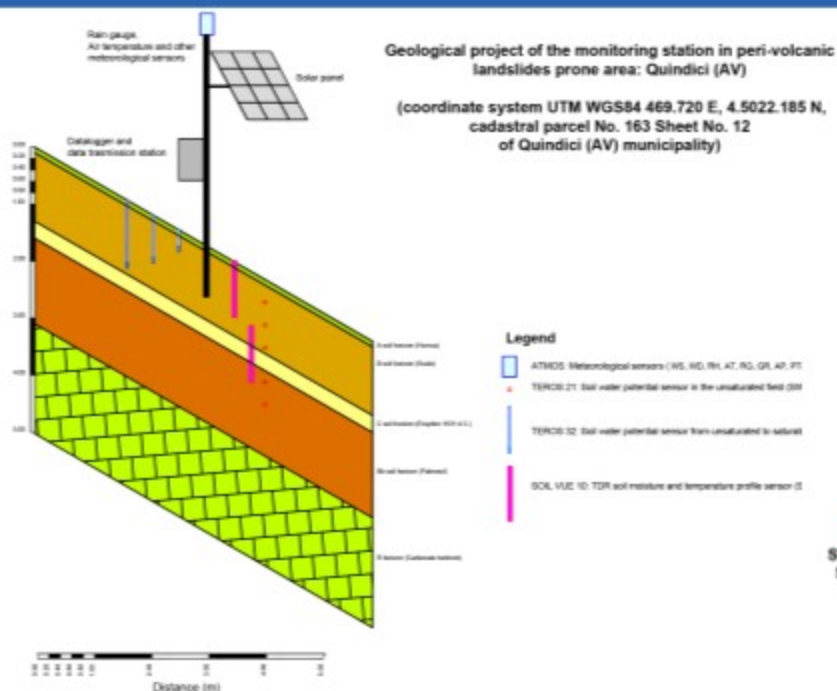


Progetto stazione Pimonte (NA)



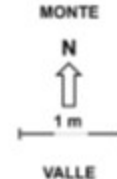
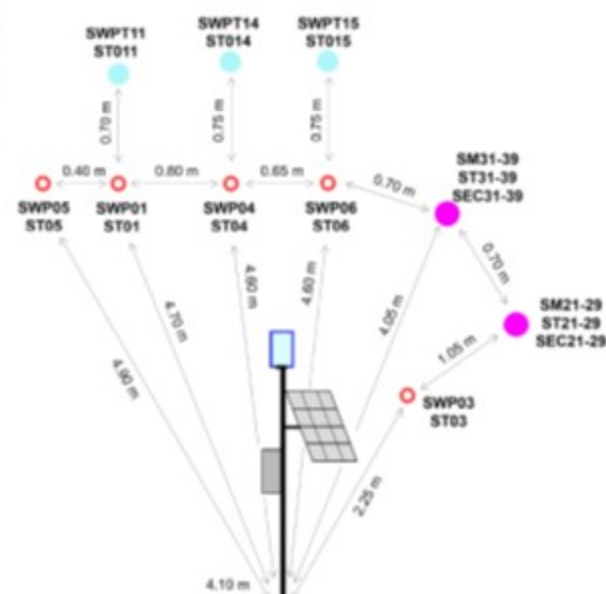
MULTIPARAMETRIC MONITORING STATION IN PERI-VOLCANIC LANDSLIDES PRONE AREA: PIMONTE (NA)





Progetto stazione Quindici (AV)

MULTIPARAMETRIC MONITORING STATION IN PERI-VOLCANIC LANDSLIDES PRONE AREA: QUINDICI (AV)



STATION	SENSOR	PARAMETER	DEPTH (m)	ID
METEO STATION	ATMOS 41	WS, WD, RH, AT, RG, GR, AP, PTemp, Batt		
SOIL STATION	TEROS 21	SWP03, ST03	0.40	ID_3
	TEROS 21	SWP05, ST05	0.80	ID_5
	TEROS 21	SWP01, ST01	1.20	ID_1
	TEROS 21	SWP04, ST04	1.80	ID_4
	TEROS 21	SWP06, ST06	2.20	ID_6
	TEROS 32	SWPT11, ST11	0.40	ID_7
SOIL STATION	TEROS 32	SWPT14, ST14	0.80	ID_A
	TEROS 32	SWPT15, ST15	1.20	ID_B
	PROFILE STATION NO. 1	SOIL VUE 10	SM21-29, ST21-29, SEC21-29	0-1
PROFILE STATION NO. 2	SOIL VUE 10	SM31-39, ST31-39, SEC31-39	0-1	ID_E



Stazioni di monitoraggio del progetto GEOSCIENCES IR - WP 3 – UNINA 02



Stazione Sarno (SA)



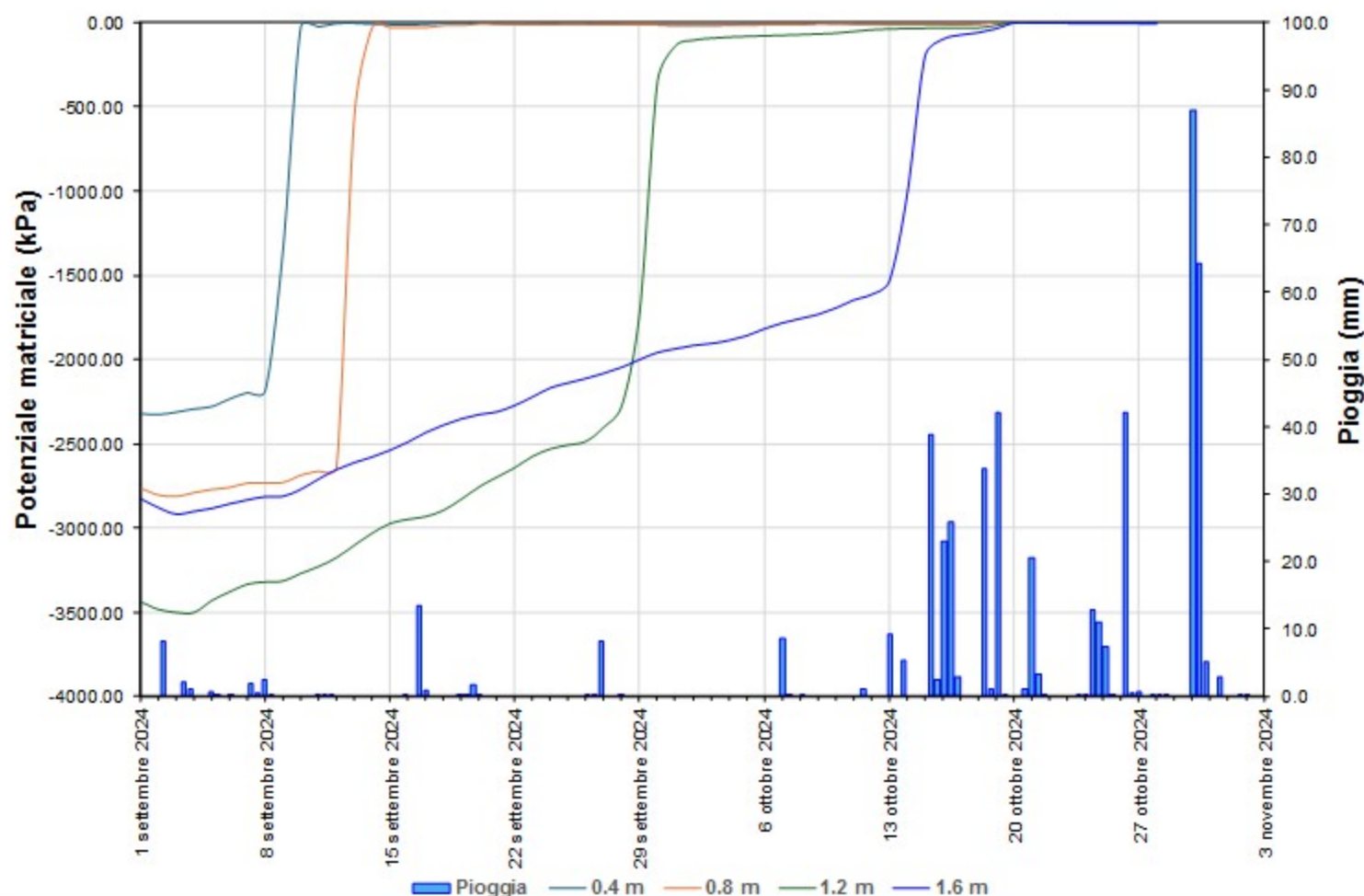
Stazione Pimonte (NA)




Stazione Quindici (AV)



Risultati del monitoraggio



CONCLUSIONI

- Ai fini dell'Early Warning da colate detritiche rapide (*debris flows*), il monitoraggio idrologico dei depositi di copertura è da effettuare in **aree significative per le condizioni idrogeomorfologiche locali**.
- **Le condizioni idrologiche antecedenti (stagionali)** esercitano un **ruolo fondamentale** nell'intensificazione o riduzione degli effetti di un singolo evento di pioggia sulla stabilità del pendio. Pertanto esse devono essere considerate per la stima delle soglie pluviometriche mediante **attività di monitoraggio**.
- La pericolosità all'innescò delle colate detritiche può essere considerata come la **probabilità composta** dell'occorrenza di una determinata condizione idrologica antecedente (p.e. $h > -1.5$ m) e di un determinato evento pluviometrico innescante. 

Disclaimer

L'Autore/gli Autori è/sono pienamente responsabile/i di tutti i contenuti inseriti nella presentazione. I contenuti di questa presentazione (testo, grafica, immagini e altri materiali) non violano i diritti di terzi e sono nella piena e libera disponibilità, avendo acquisito da ogni eventuale terzo avente diritto su di essi espressa autorizzazione alla pubblicazione; pertanto saranno utilizzati per le finalità strettamente connesse al progetto GeoSciencesIR.



PNRR "GeoSciences IR" - Missione 4 "Istruzione e Ricerca" - Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa"
Linea di investimento 3.1 "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione"
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU. CUP: I53C22000800006





Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Landslide monitoring in the peri-Vesuvian area of Campania region

Pantaleone De Vita

