



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Politecnico
di Bari

MITIGAZIONE DEI RISCHI NATURALI PER LA SICUREZZA E LA MOBILITÀ NELLE AREE MONTANE DEL MEZZOGIORNO

PRESENTAZIONE DEL PROGETTO E DEI PRIMI RISULTATI – 5 Aprile 2022, Potenza

Unità di ricerca del **Politecnico di Bari**



Studio sperimentale dell'efficacia di vegetazione selezionata a radicazione profonda per la mitigazione della franosità

Componenti del Gruppo: Vito TAGARELLI, Federica COTECCHIA, Nico STASI, Osvaldo BOTTIGLIERI, Francesco CAFARO



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Ministero dell'Università
e della Ricerca*



PON
RICERCA
E INNOVAZIONE
2014 - 2020



Estratto da: Convegno di presentazione del progetto MITIGO e dei primi risultati - 4-5 Aprile 2022 –
Sommari degli interventi e presentazioni

© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432850



9 788899 432850

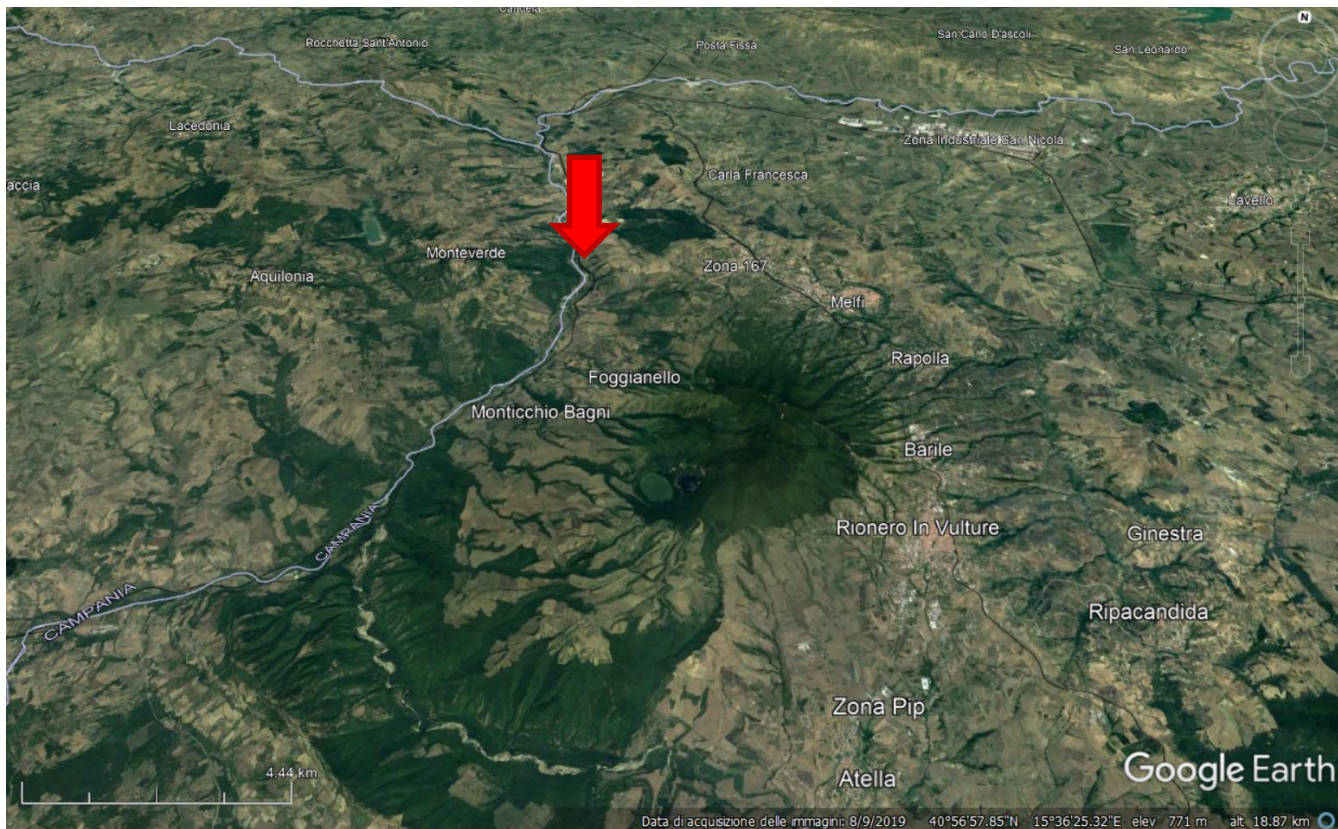
Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

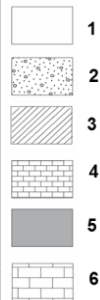
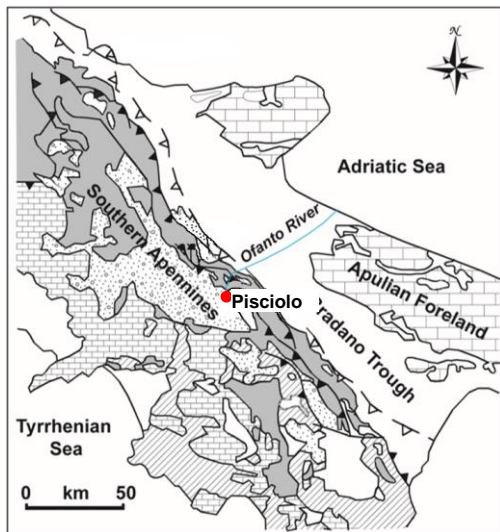
www.ponricerca.gov.it



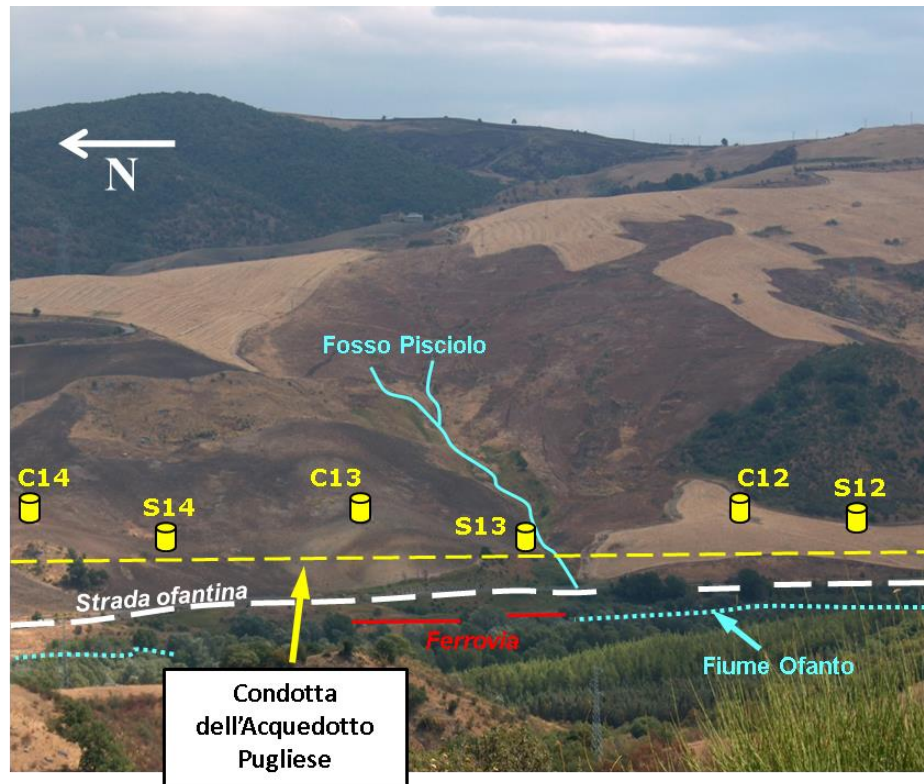
Alta valle dell'Ofanto

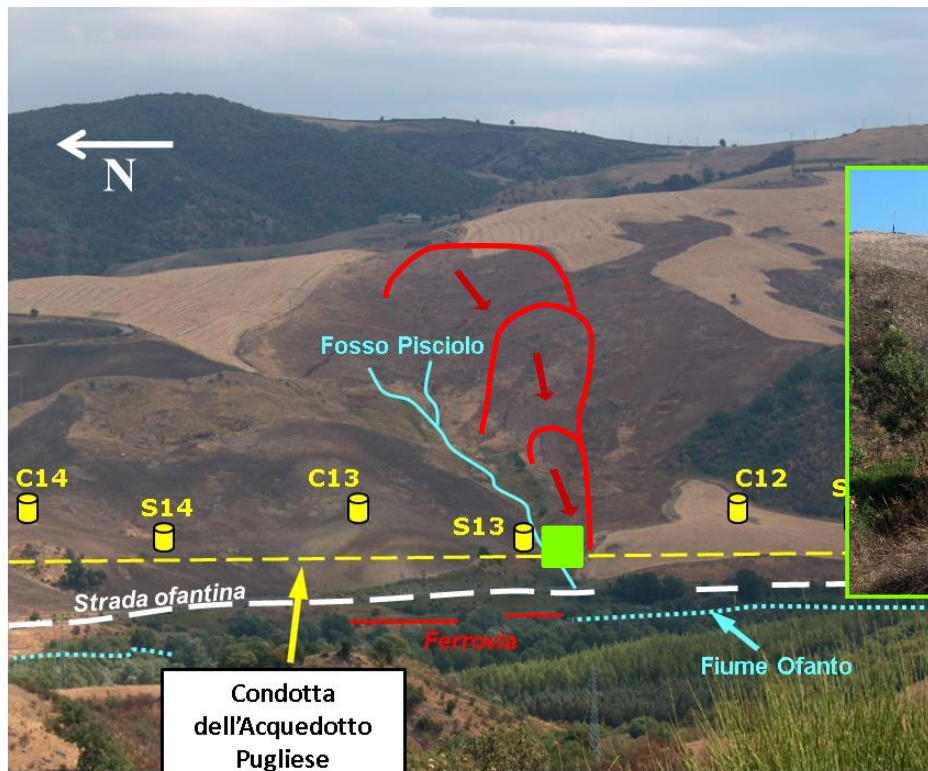
IL CASO DI STUDIO È RAPPRESENTATIVO DI UN CONTESTO G-H-M D'INTERESSE NEL PON MITIGO

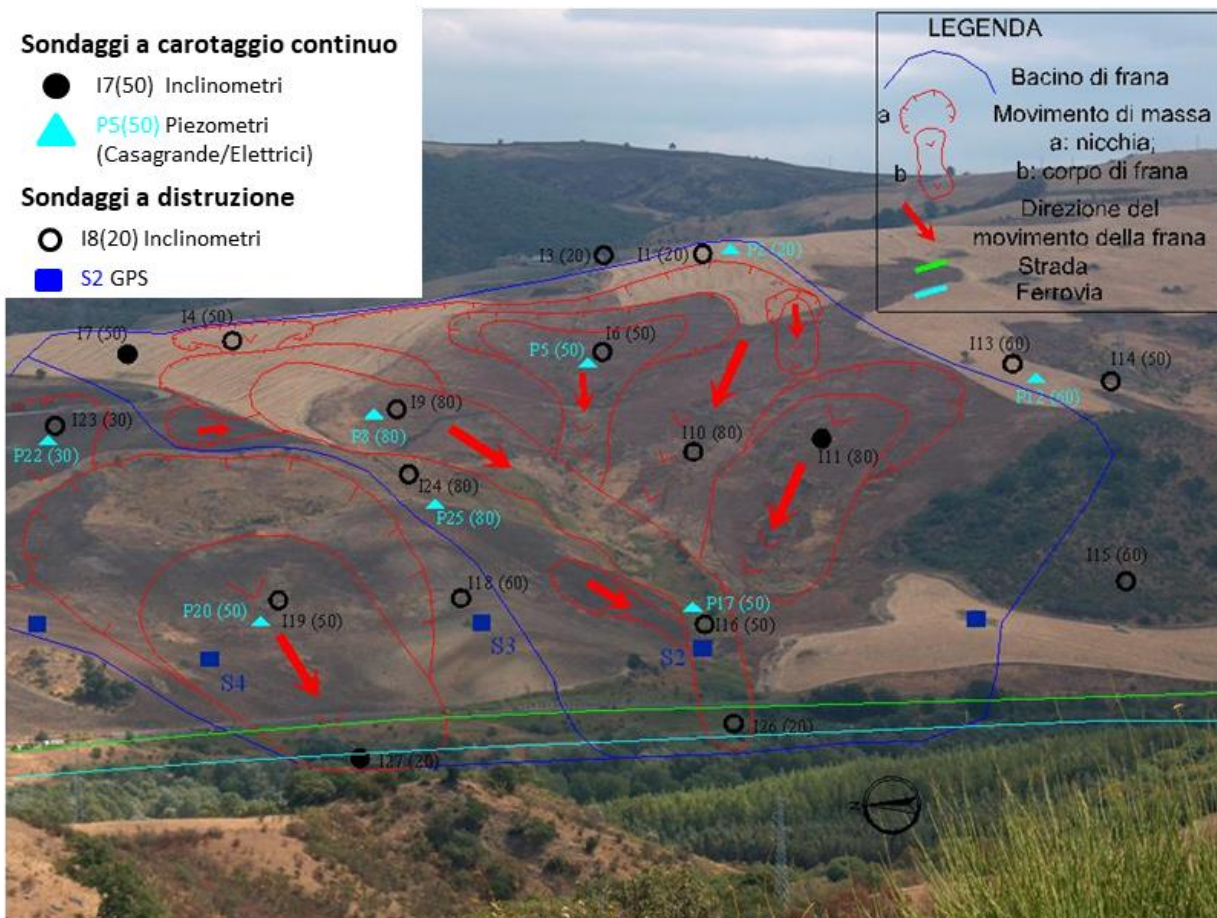


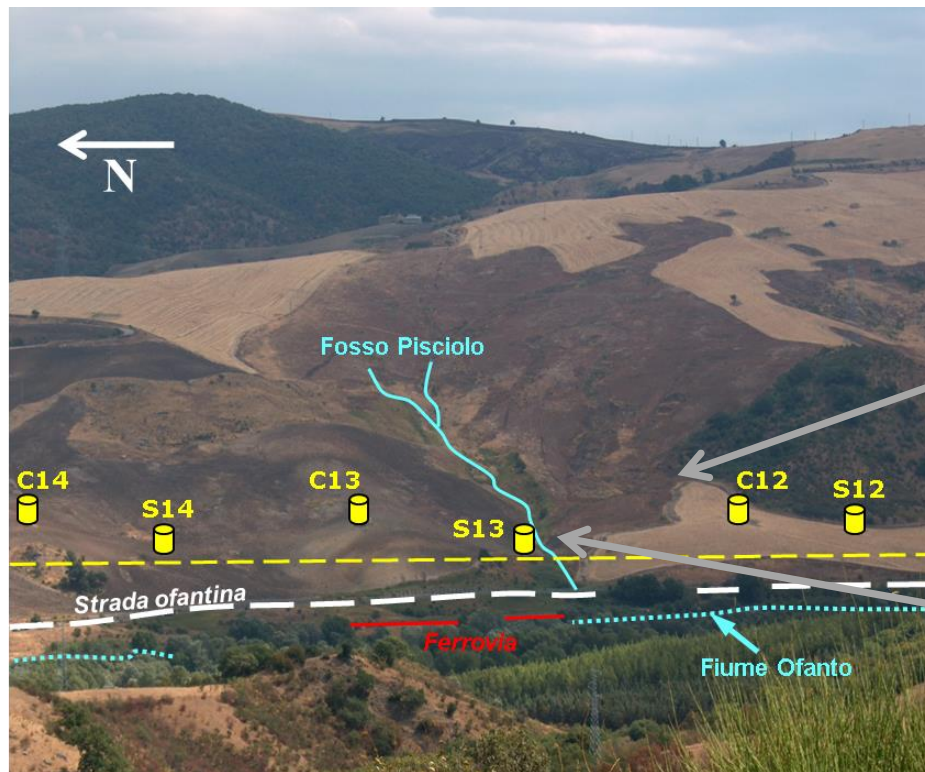


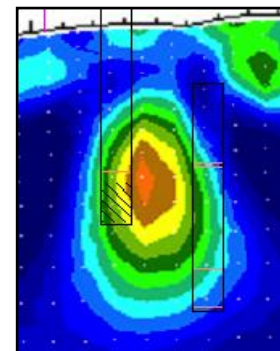
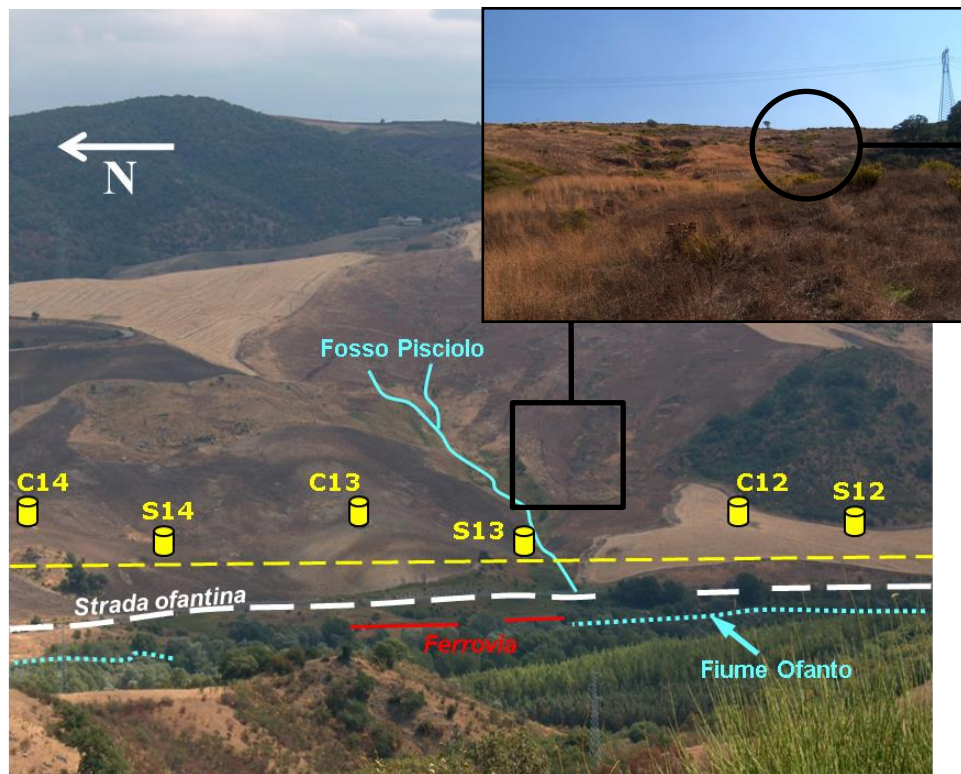
1. Depositi marini, vulcanici e continentali (Medio Pliocene-Olocene)
2. Depositi marini (Tardo Tortoniano-Pliocene Superiore)
3. Sedimenti terrigeni appenninici interni (Liguridi and Sicilide Unità)
4. Piattaforma carbonatica appenninica
5. Sedimenti terrigeni appenninici esterni (Lagonegresi-Molisane Unità)
6. Piattaforma carbonatica apula







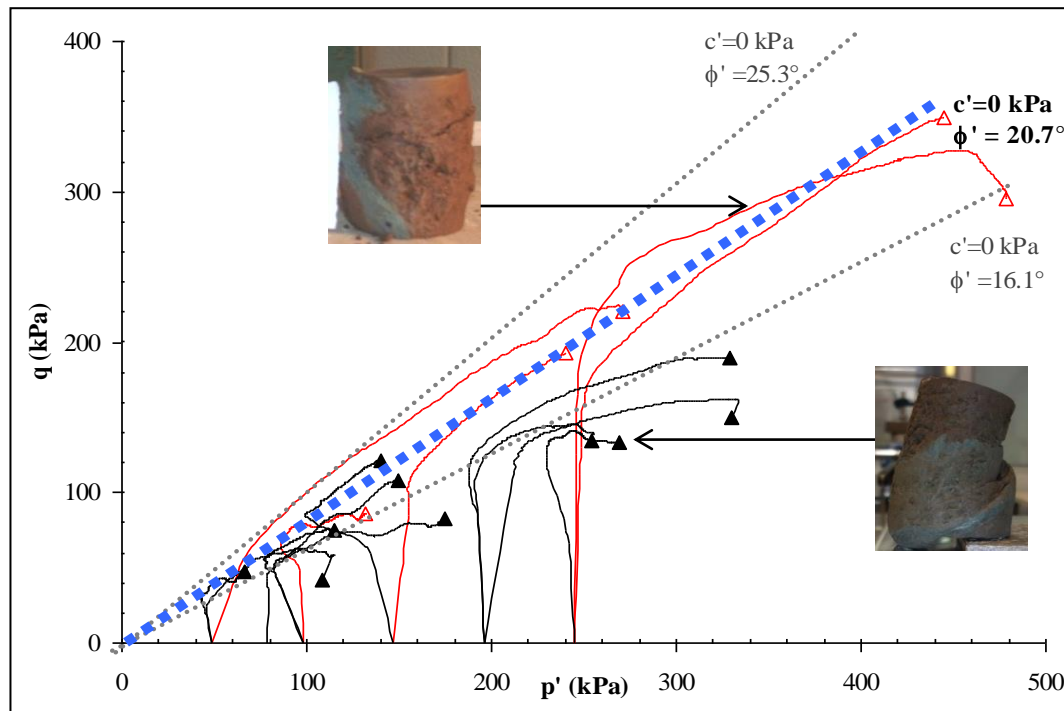


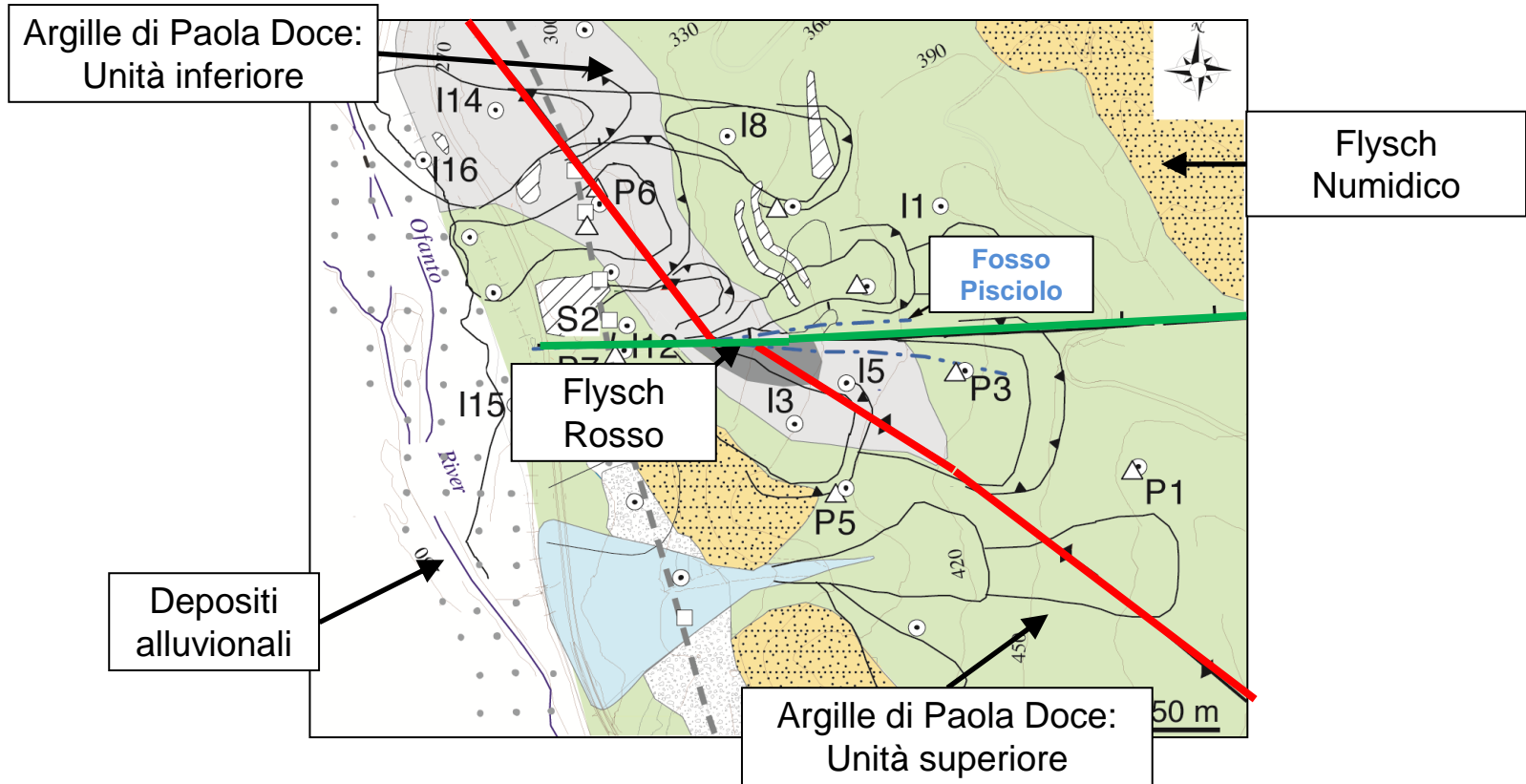


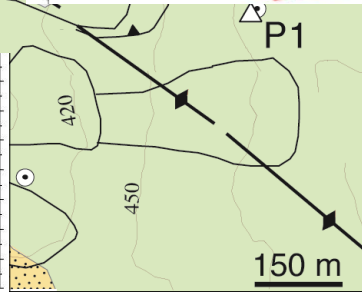
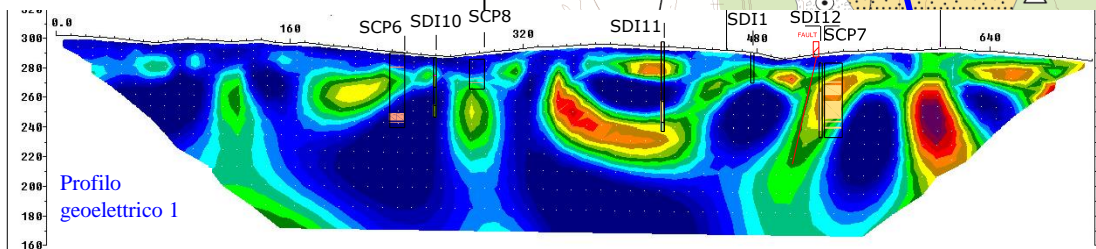
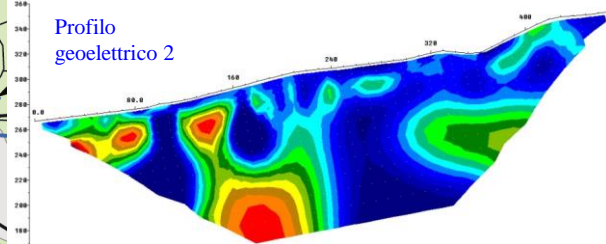
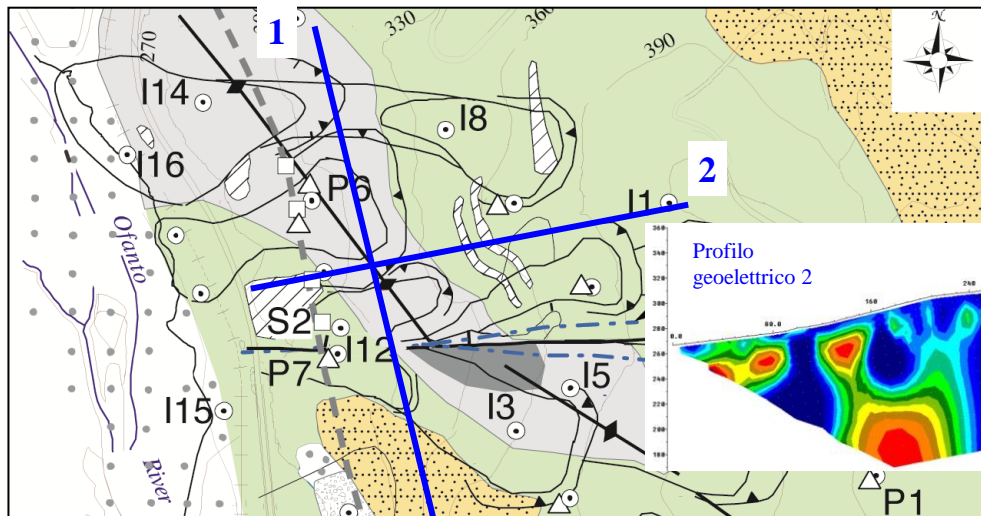
Indice di Plasticità = 33-45%

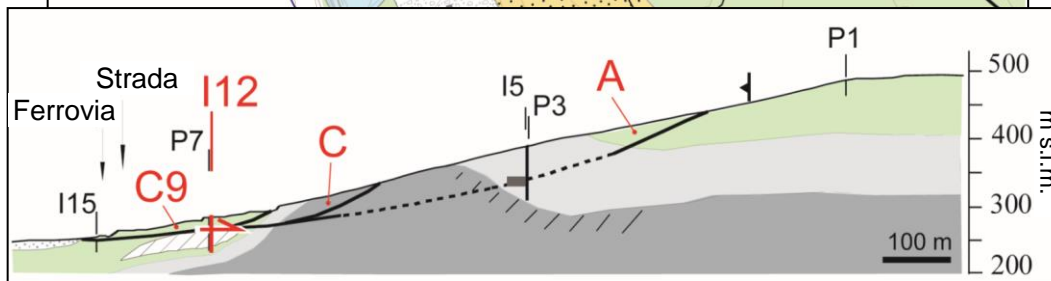
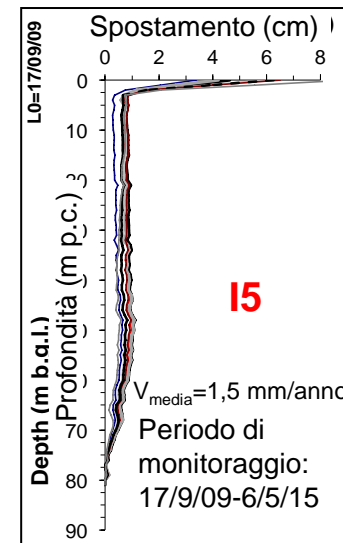
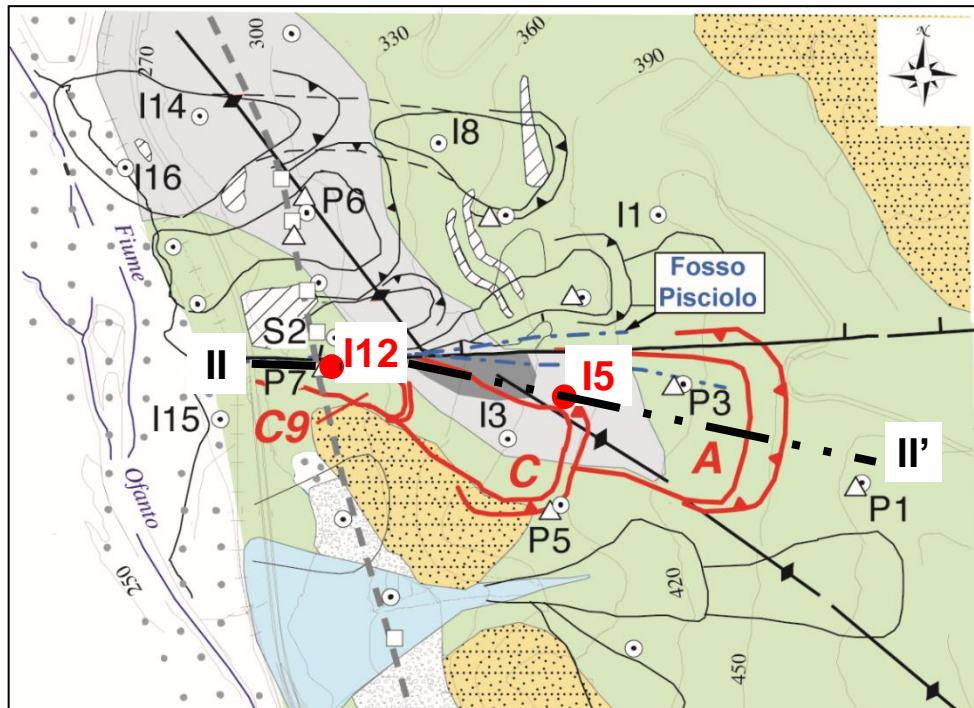
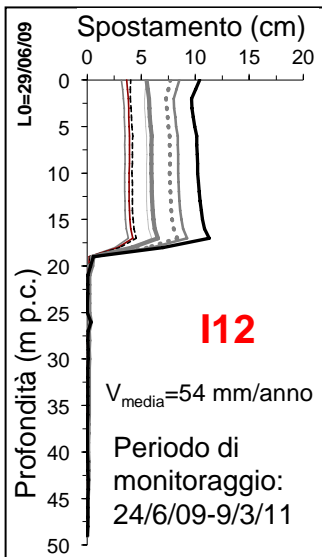
Indice di attività = 0.8-0.9

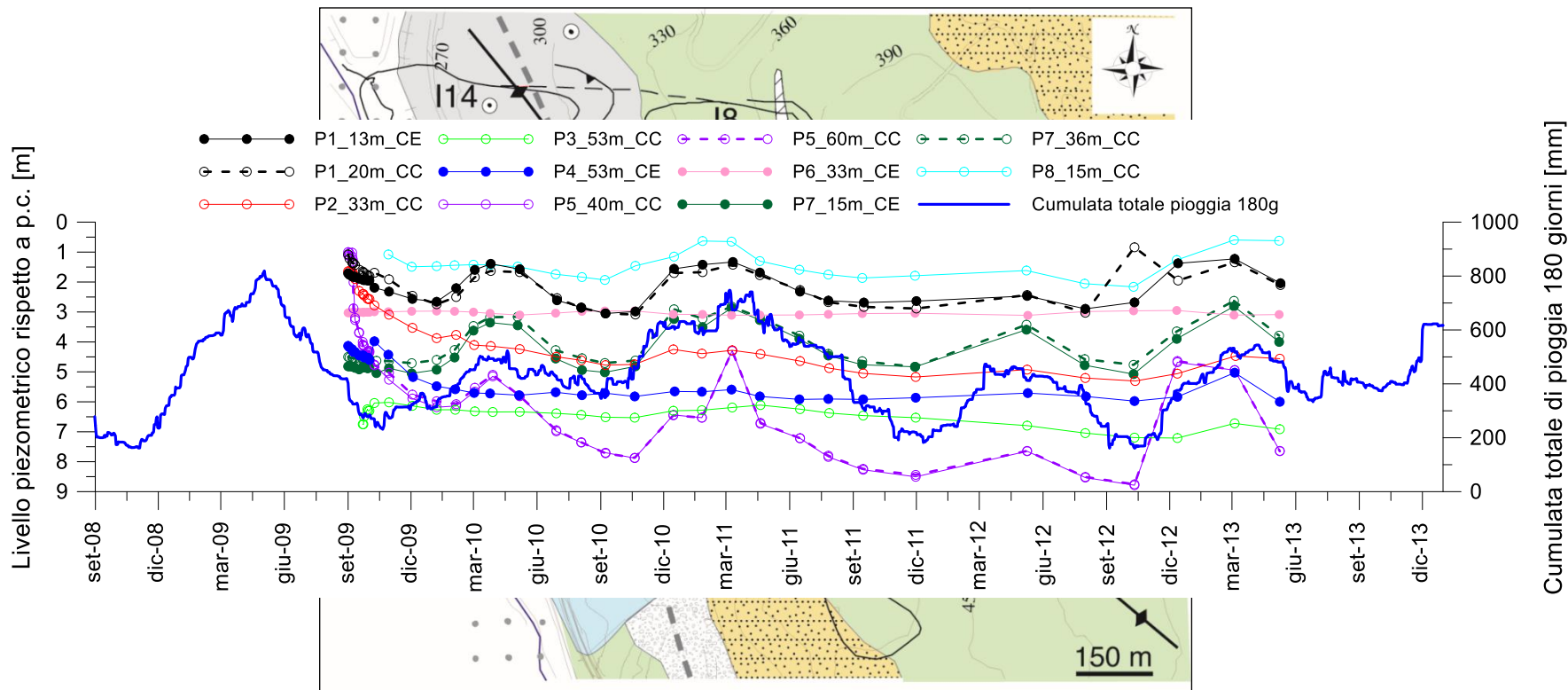
Comportamento al taglio:
Prove triassiali non drenate

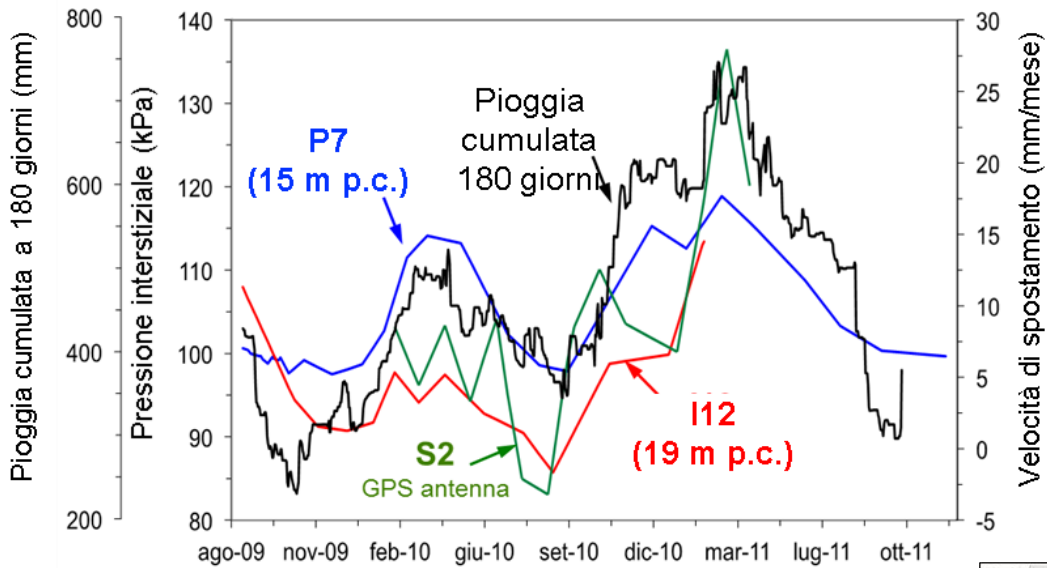
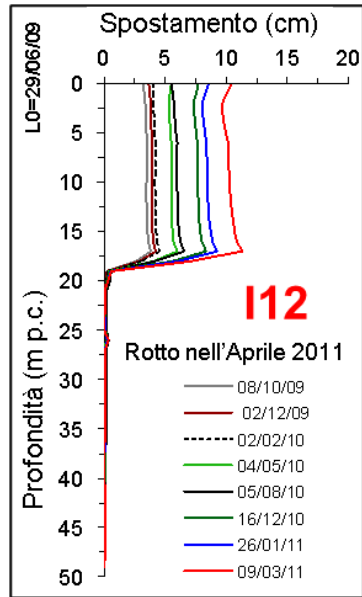




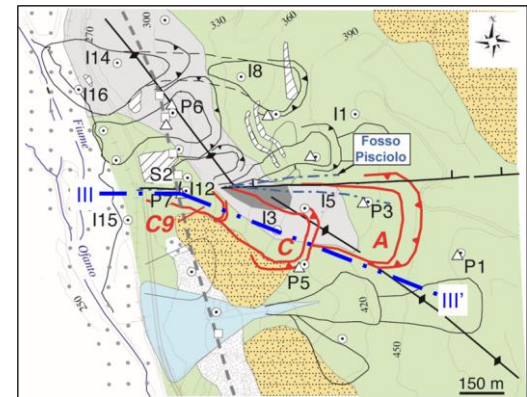
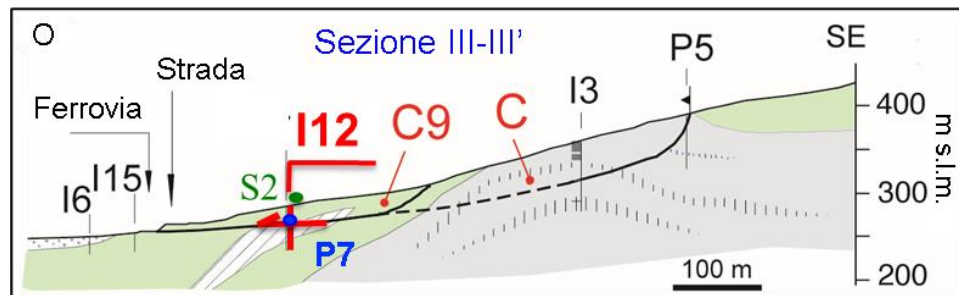


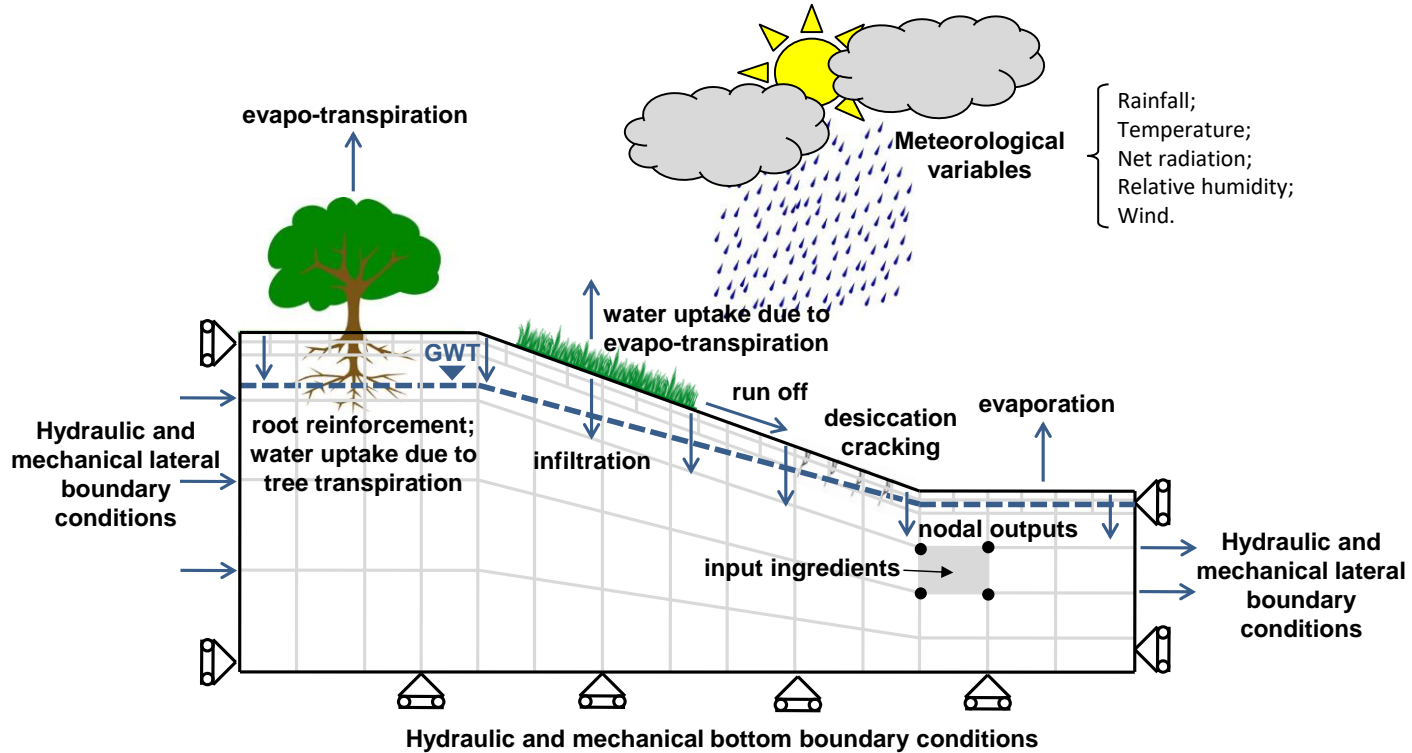






Cotecchia et al., (2014)





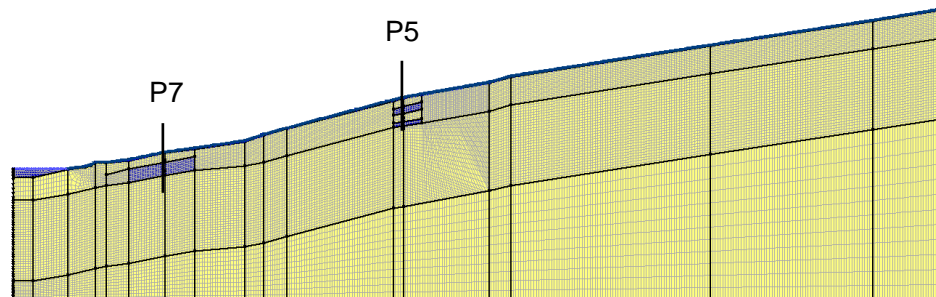
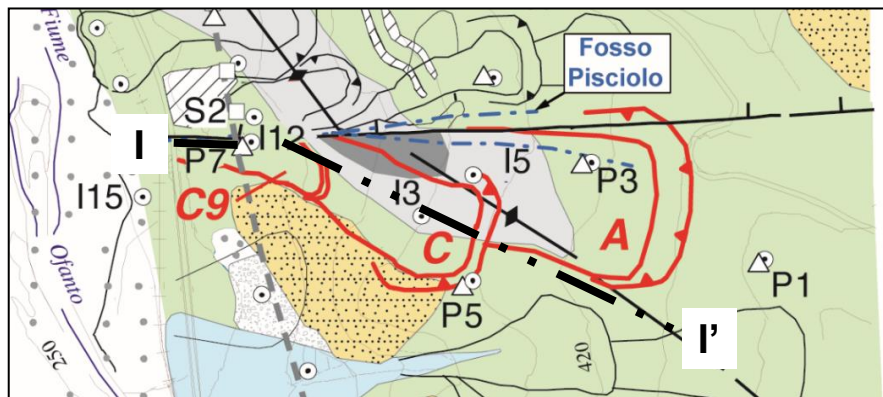
MODELLAZIONE NUMERICA IDRAULICA DISACCOPPIATA

Analisi numerica
disaccoppiata (**H disaccoppiata**)
dell'interazione
Pendio-Vegetazione-Atmosfera

Equazione di Richard's (1931)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(u_w) \left(\frac{\partial u_w}{\partial z} + 1 \right) \right] = \frac{\partial \vartheta_w(u_w)}{\partial t}$$

$\vartheta_w(u_w) = nS_r$ **Curva di ritenzione del terreno**
 $k(u_w)$ **Funzione di conducibilità idraulica**



MODELLAZIONE NUMERICA IDRAULICA DISACCOPIATA

Equazione di Richard's (1931)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(u_w) \frac{\partial u_w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(u_w) \left(\frac{\partial u_w}{\partial z} + 1 \right) \right] = \frac{\partial \vartheta_w(u_w)}{\partial t}$$

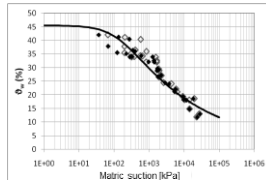
$$\vartheta_w(u_w) = nS_r$$

$$k(u_w)$$

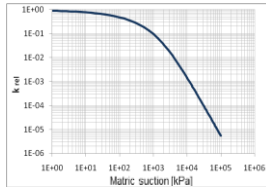
Curva di ritenzione del terreno

Funzione di conducibilità idraulica

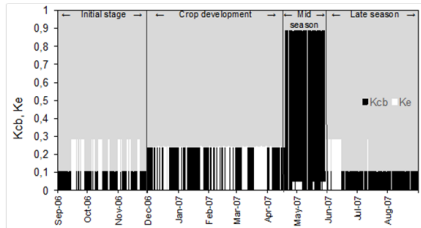
Curva di ritenzione terreno



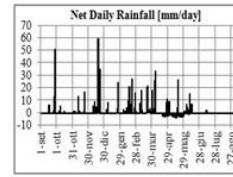
Funzione di conducibilità idraulica



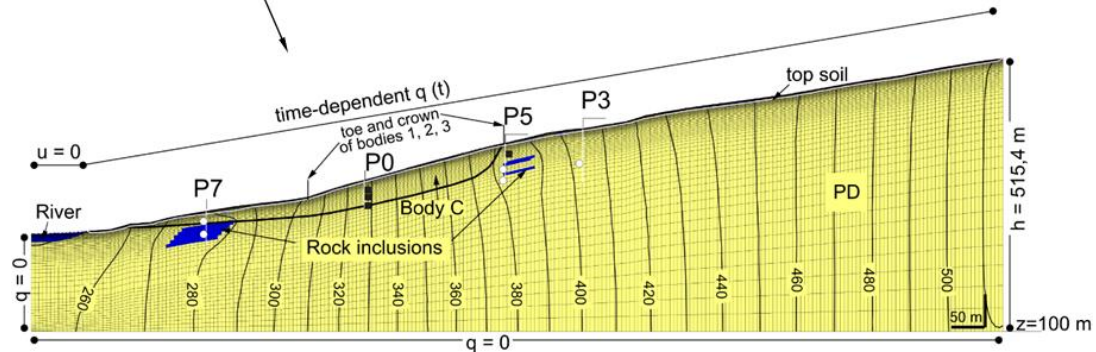
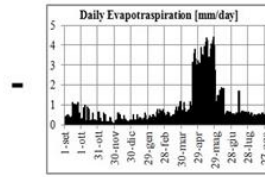
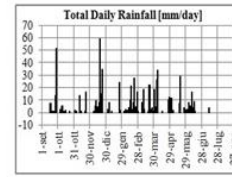
Evapotraspirazione



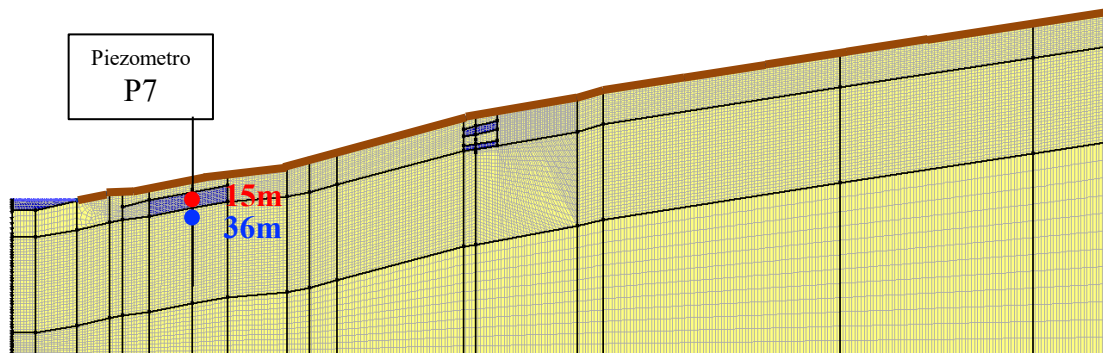
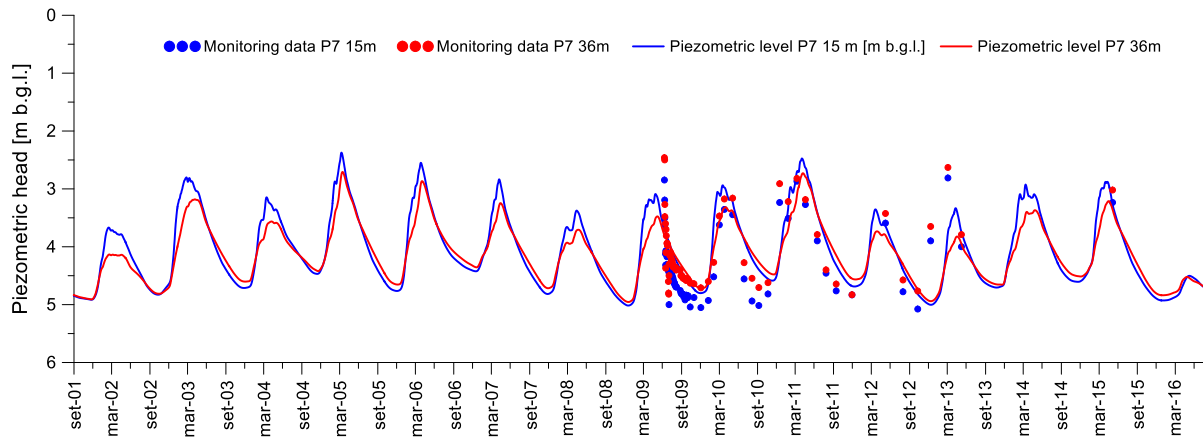
FAO Penman-Monteith a doppio coefficiente



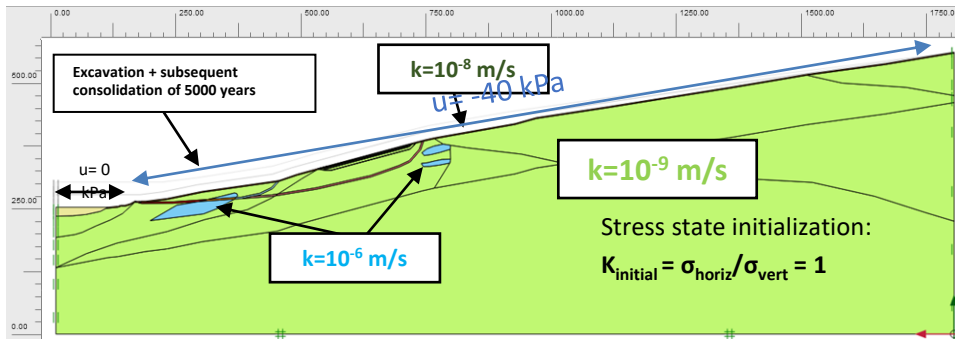
=



RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA IDRAULICA DISACCOPIATA



MODELLAZIONE NUMERICA IDROMECCANICA ACCOPPIATA



Geometria e condizioni al contorno per l'analisi stazionaria dell'interazione pendio-vegetazione-atmosfera

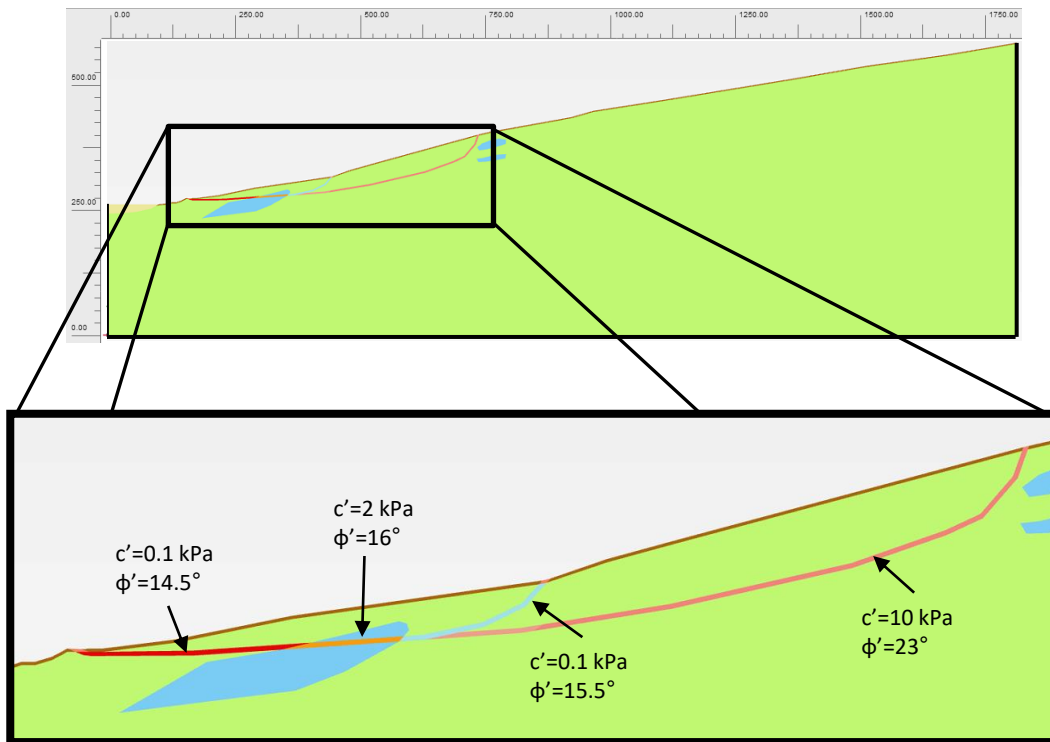
Accoppiamento di condizioni di parziale saturazione:

$$\sigma'_{Bishop} = \sigma - u_a + \chi * (u_a - u_w)$$

$$\chi \approx S_{r,eff} = \frac{S_r - S_{r,res}}{S_{r,sat} - S_{r,res}}$$

Proprietà del materiale	Peso per unità di volume		Parametri di rigidità e resistenza (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)					Proprietà idrauliche
	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{unsat} [kN/m ³]	ν'	E' [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	ψ [°]	
Argilla di Pisciole	21	19	0,3	15000	15	23	0	3*10⁻⁹

MODELLAZIONE NUMERICA IDROMECCANICA ACCOPPIATA



Proprietà meccaniche
corrispondenti alla
banda di taglio
preesistente

MODELLAZIONE NUMERICA IDROMECCANICA ACCOPIATA

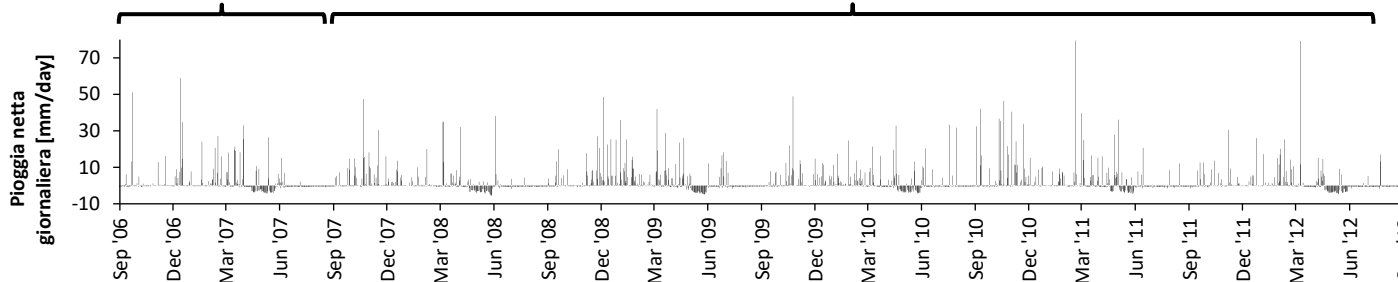
$$\text{Pioggia netta} = \text{Pioggia totale} - \text{EvapoTranspirazione}$$

Stazione meteorologica di Melfi (PZ)

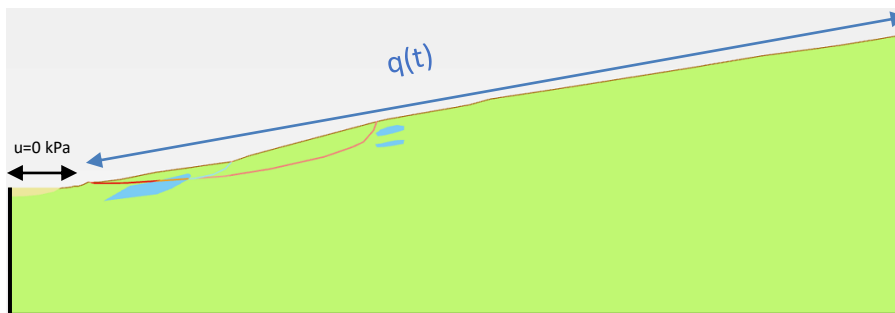
Metodo di FAO Penman-Monteith

10 anni di pioggia netta 2006-2007

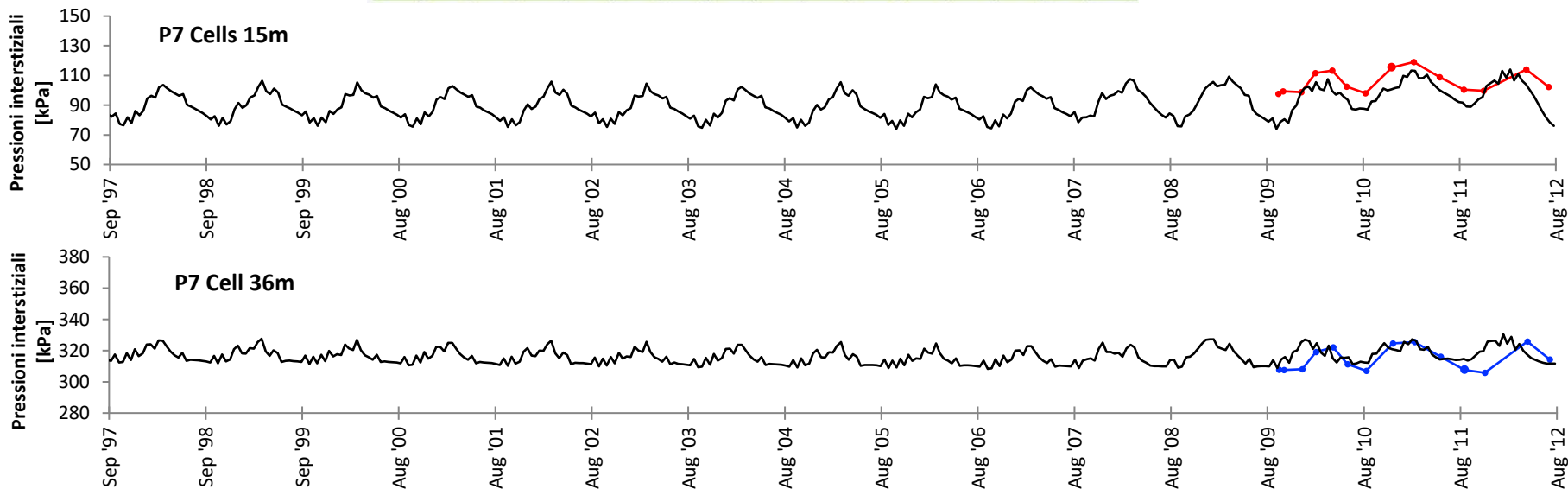
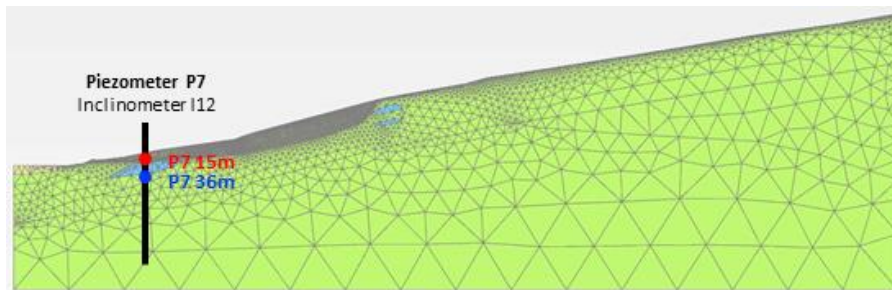
Pioggia netta 2007-2012



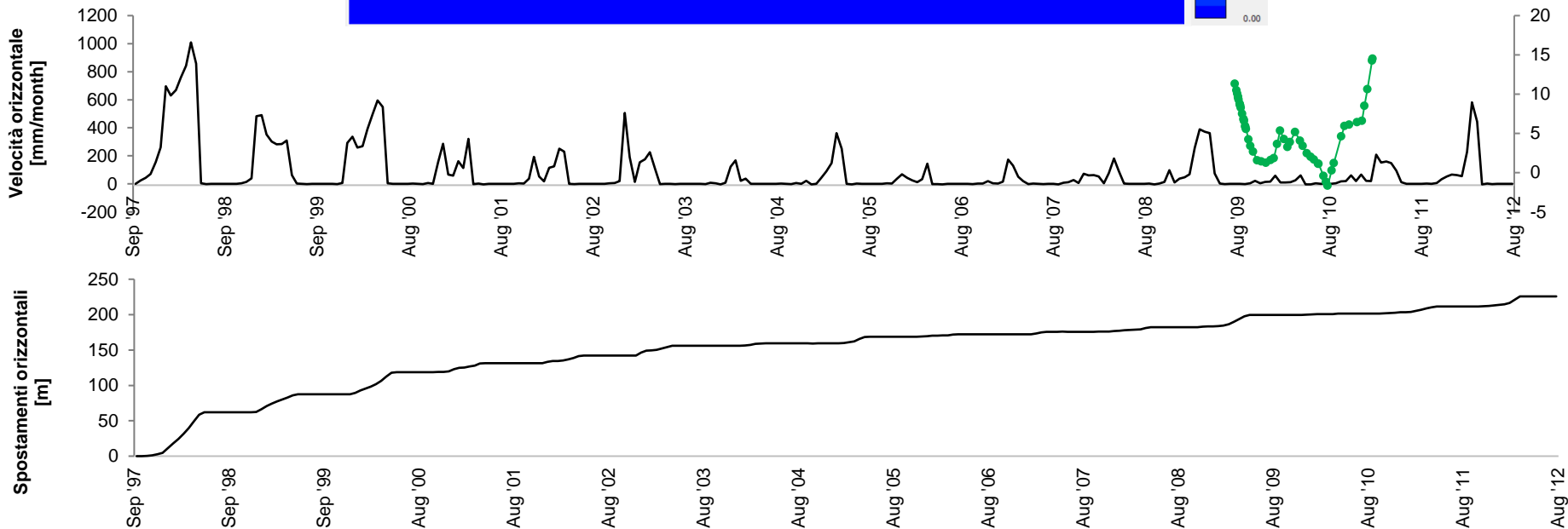
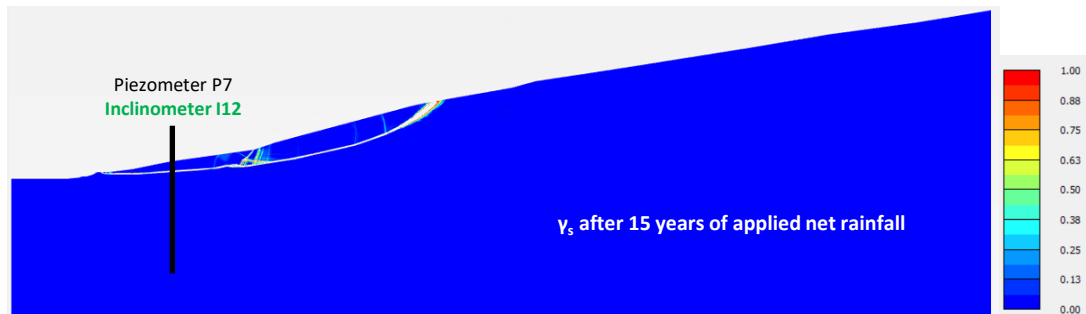
CONDIZIONE AL
CONTORNO TRANSITORIA
PER LA SIMULAZIONE
DELL'INTERAZIONE
PENDIO-VEGETAZIONE-
ATMOSFERA



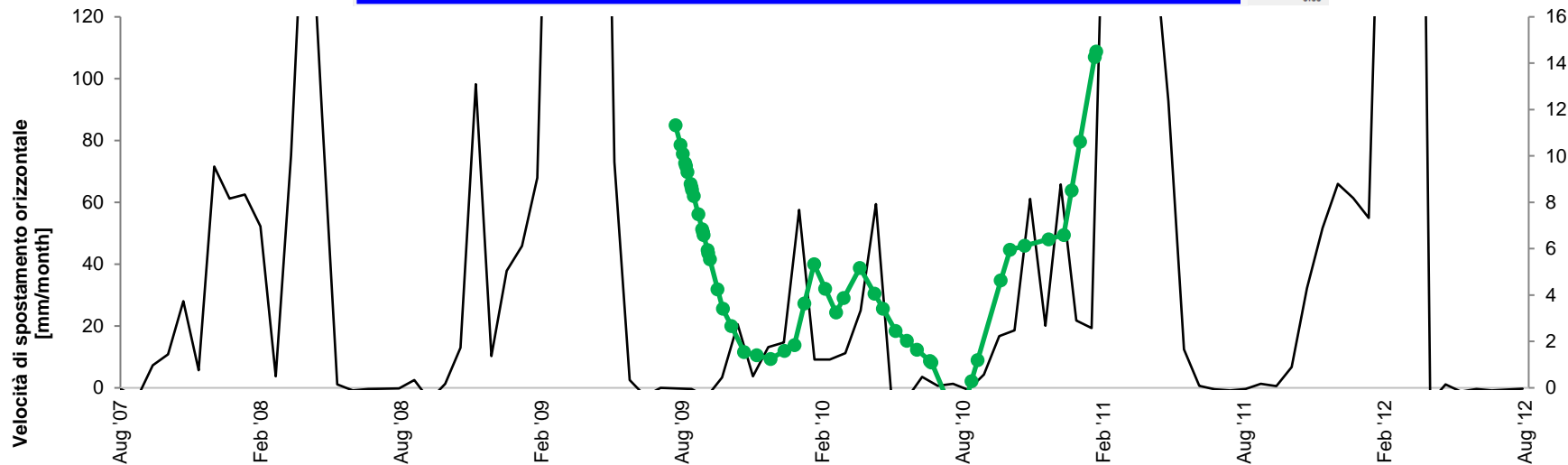
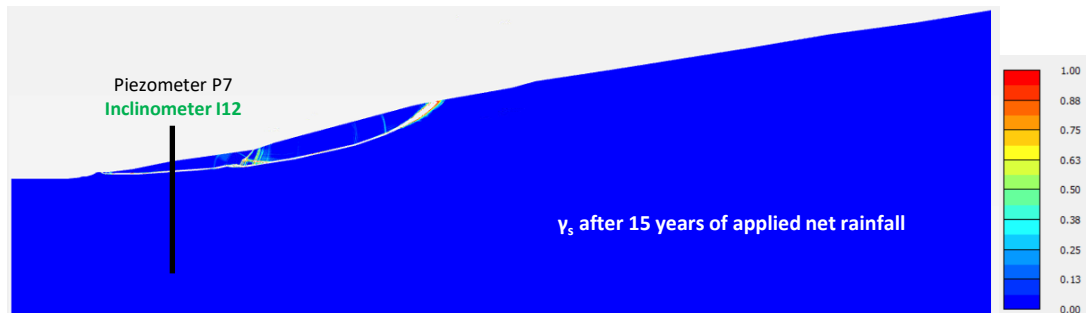
RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA IDRO-MECCANICA ACCOPPIATA



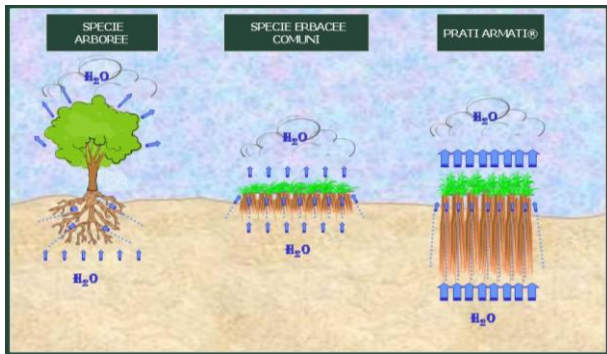
RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA IDRO-MECCANICA ACCOPPIATA



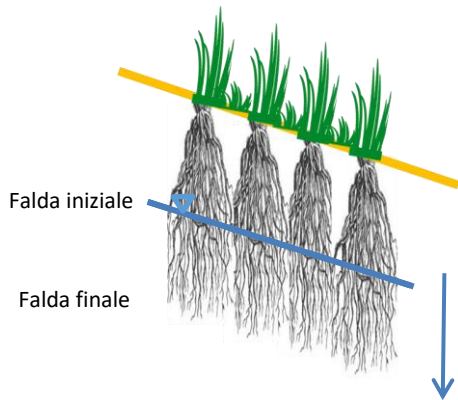
RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA IDRO-MECCANICA ACCOPPIATA



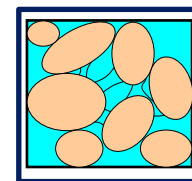
Il bilancio idraulico e la vegetazione L'EVAPOTRASPIRAZIONE



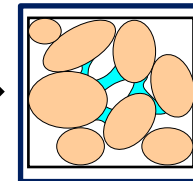
(PratiArmati)



Abbassamento della
superficie piezometrica



$$u_{iniziale} > 0$$



$$u_{finale} \leq u_{iniziale}$$

$$u_{finale} \leq 0 \text{ (Sr} \leq 100\%)$$



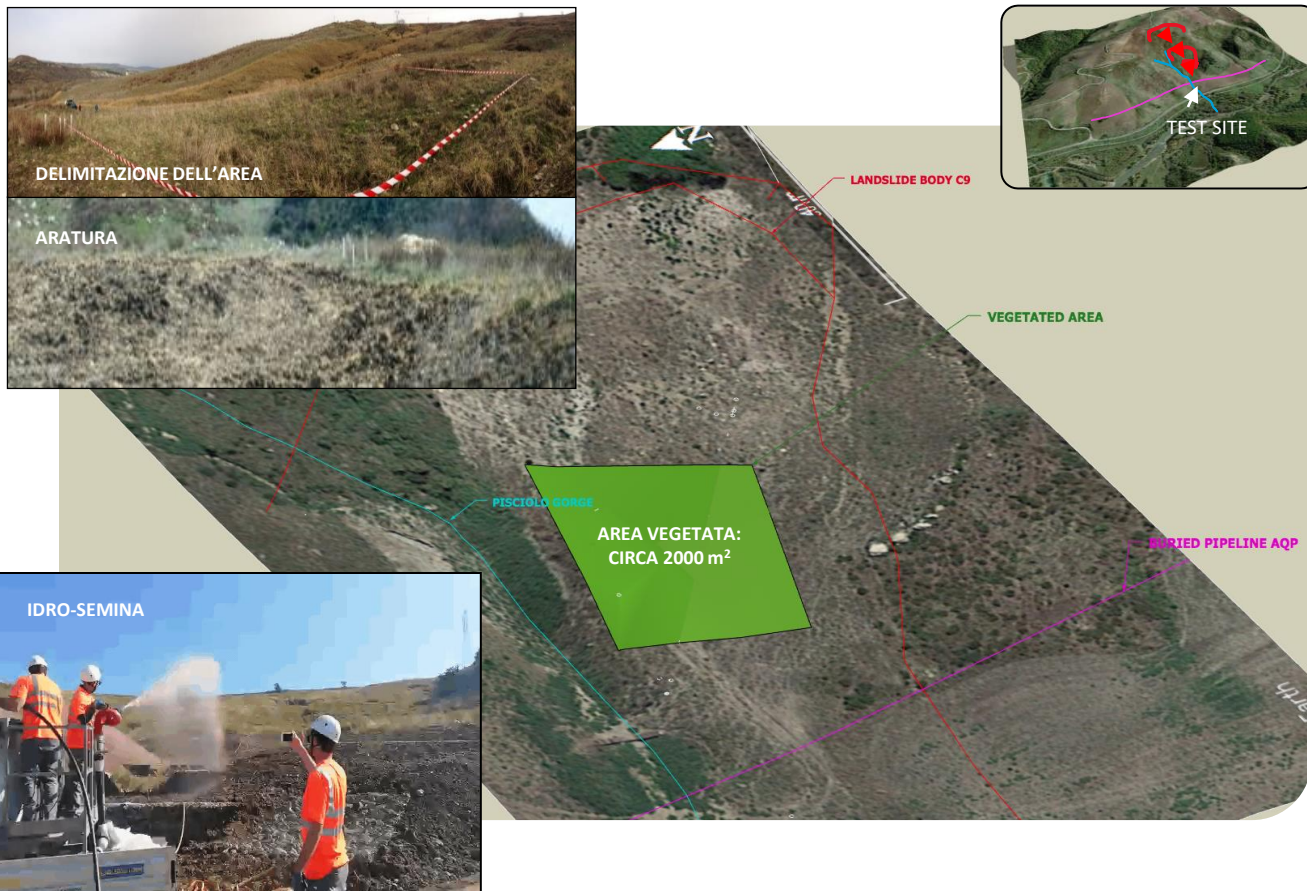
Principio degli sforzi efficaci
(Terzaghi, 1934)

Criterio di rottura
Mohr-Coulomb-Terzaghi

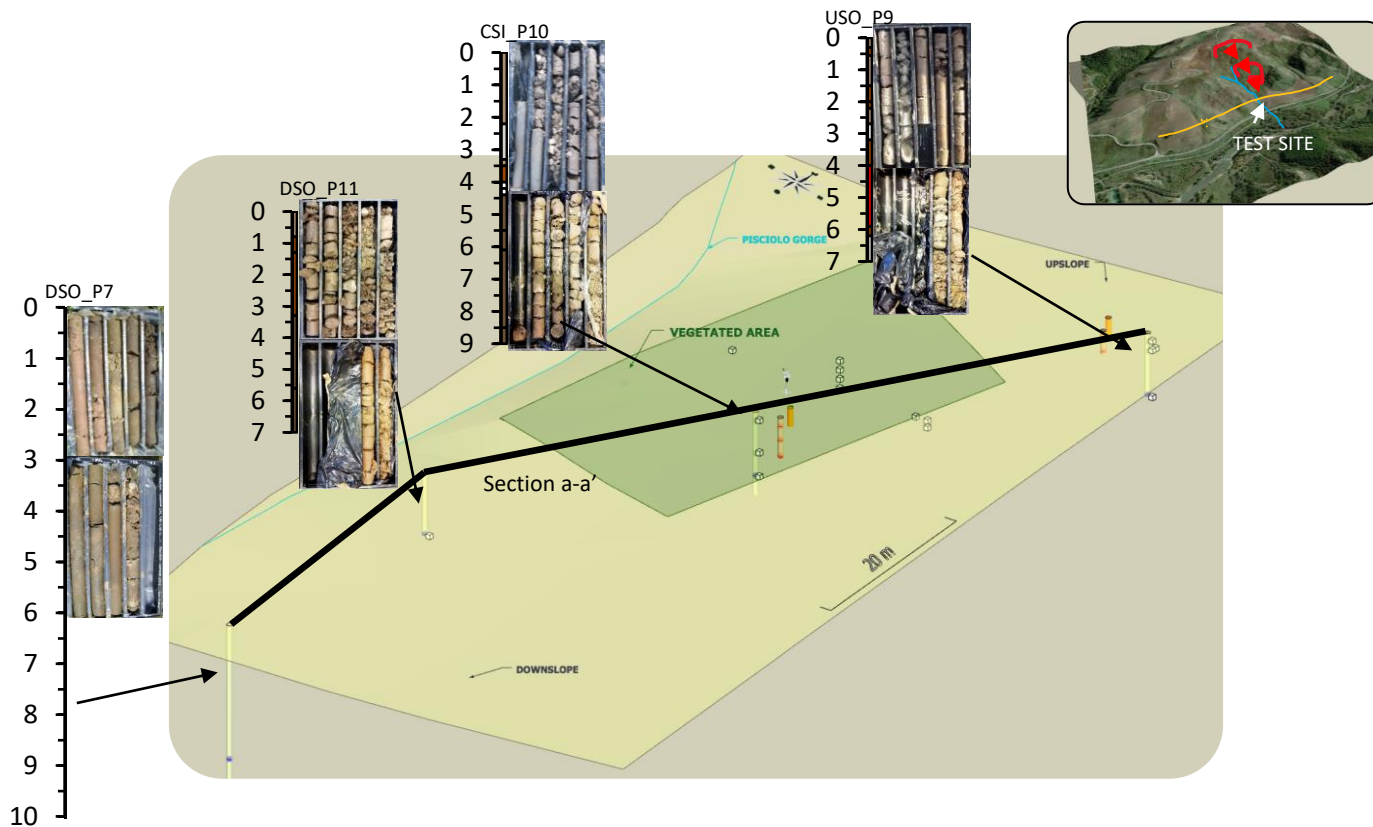
$$\tau_f = c' + (\sigma - u)tg\phi'$$

**INCREMENTO DELLA RESISTENZA AL
TAGLIO DEL TERRENO**

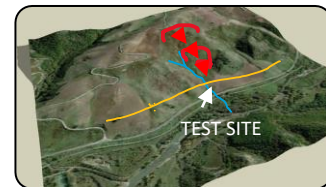
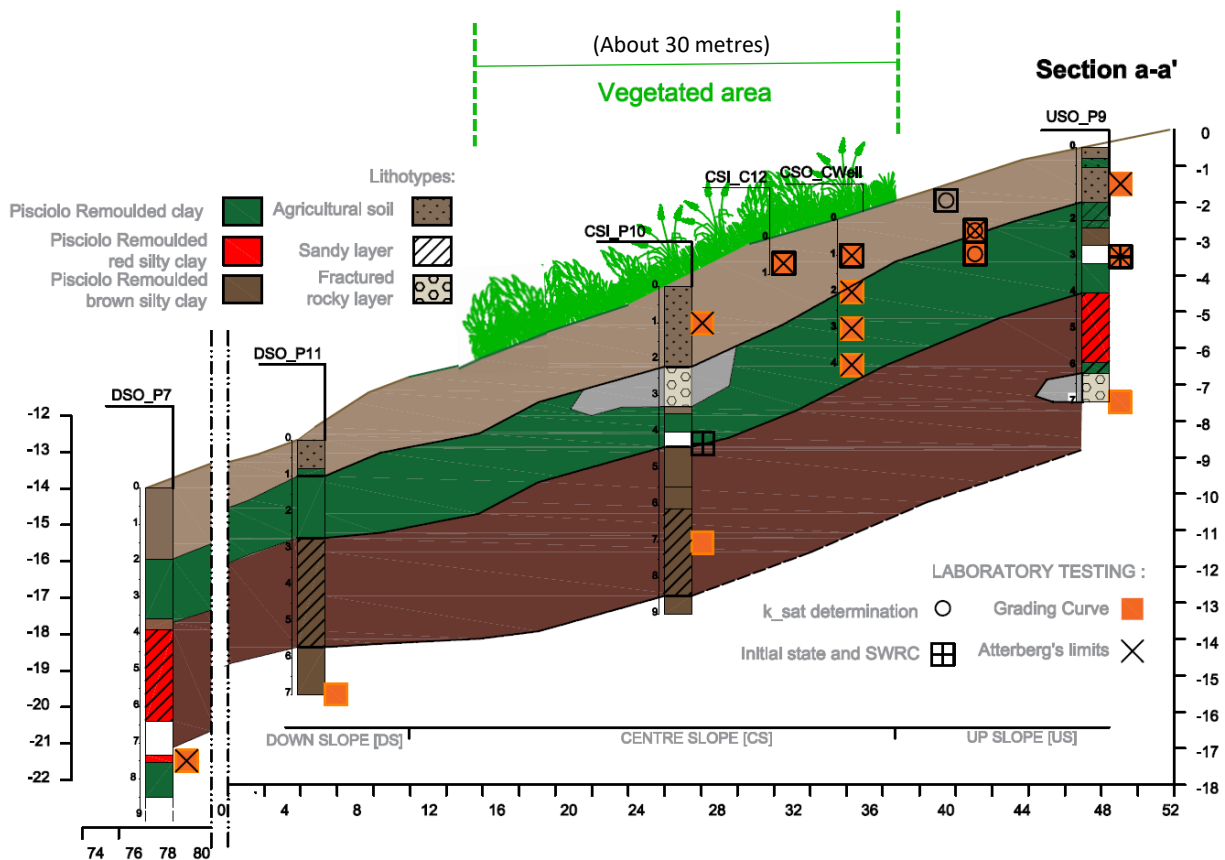




TASK 2.2: Indagini e Rilievi



TASK 2.2: Indagini e Rilievi



(Tagarelli, Cotecchia, Stasi 2020)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)

TASK 2.2: Indagini e Rilevi

**DETERMINAZIONE
DELLA
CONDUCIBILITÀ
IDRAULICA**

CONTROLLING :
- FLUXES
- HYDRAULIC GRADIENTS



PERMEAMETER

k_{sat} about
 $5 \cdot 10^{-9}$ m/s



OEDOMETER TEST
(Pedone 2013)

BACKANALYSIS OF THE
CONSOLIDATION PROCESS

k_{sat} about
 $5 \cdot 10^{-8}$ m/s



MARIOTTE'S BOTTLE
(Pedone 2013)

IN-SITU
CONSTANT HEAD
TEST

**DETERMINAZIONE
DELLA CURVA DI
RITENZIONE DEL
TERRENO
 $s=s(\vartheta)$**

SUCTION
MEASURES

HIGH CAPACITY
TENSIO METER:
($s=100 \div 1500$ kPa)



(Pedone 2013, Tagarelli)

FILTER PAPER
TECNHIQUE:
($s=100 \div 30000$ kPa)



(Tagarelli, Stasi 2020)

(Tagarelli, Cotecchia, Stasi 2020)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)

IL MATERIALE È CARATTERIZZATO DA UNA MATRICE FINE E MANIFESTA ALTA CAPACITÀ RITENTIVA

TASK 2.2: Indagini e Rilievi

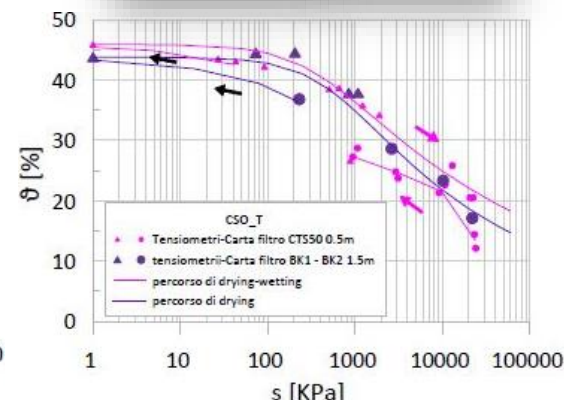
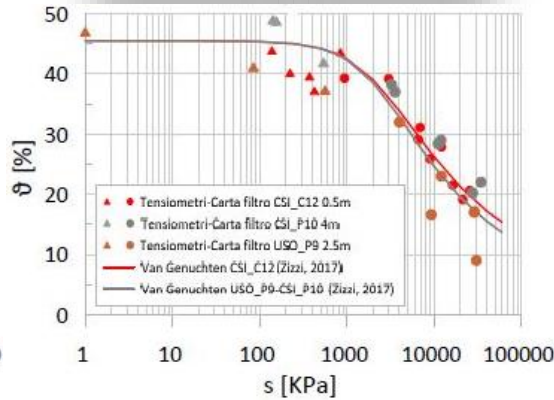
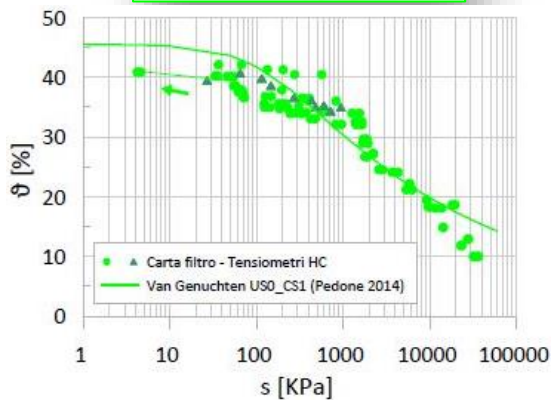
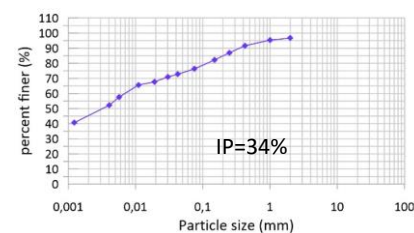
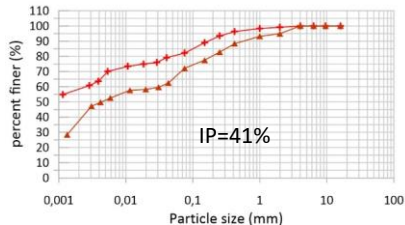
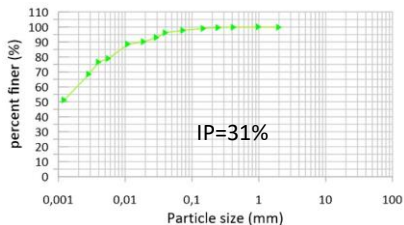
Analisi
Granulometriche

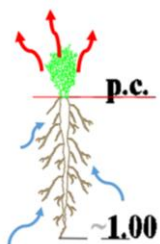


Stato
Iniziale

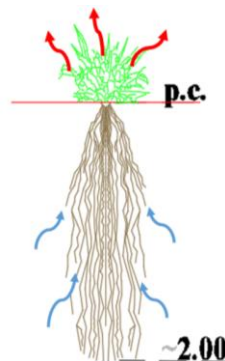


Curva di
Ritenzione





Fabacee (leguminose) azoto-fissatrici
Vegetazione a ciclo C3

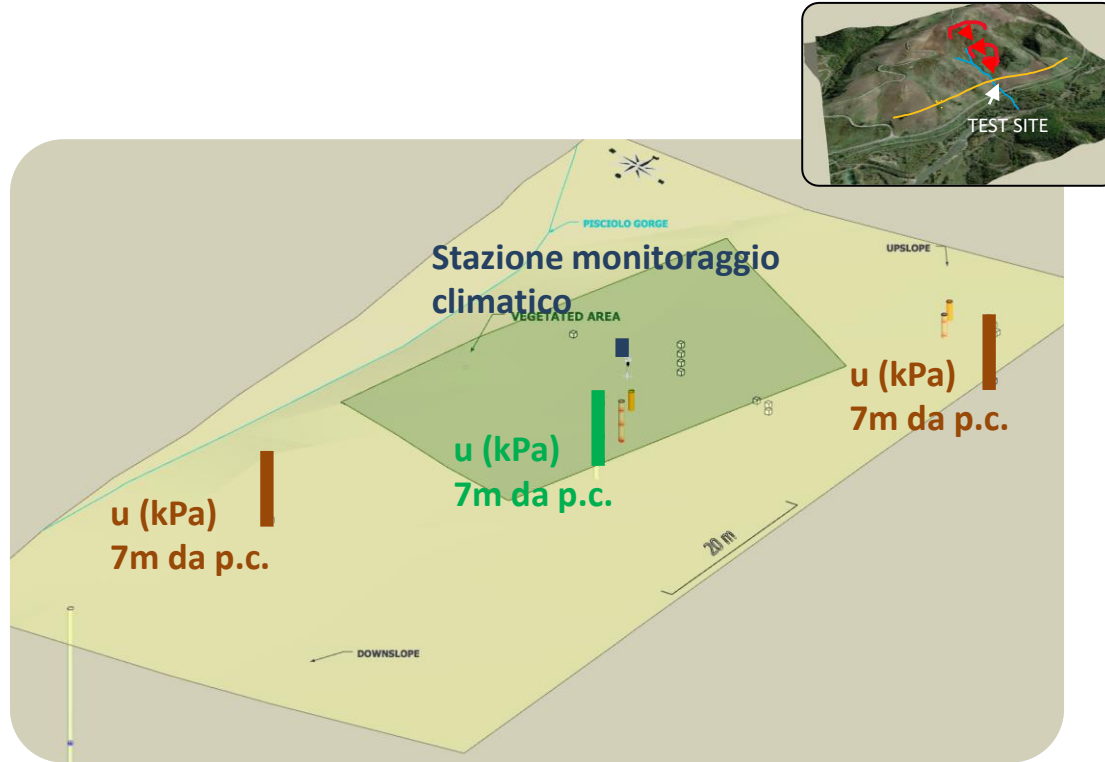


Poacee (graminacee) con radici profonde
Vegetazione a ciclo C4



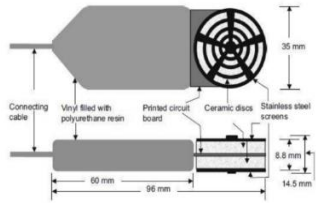


Monitoraggio della pressione interstiziale tramite piezometri elettrici

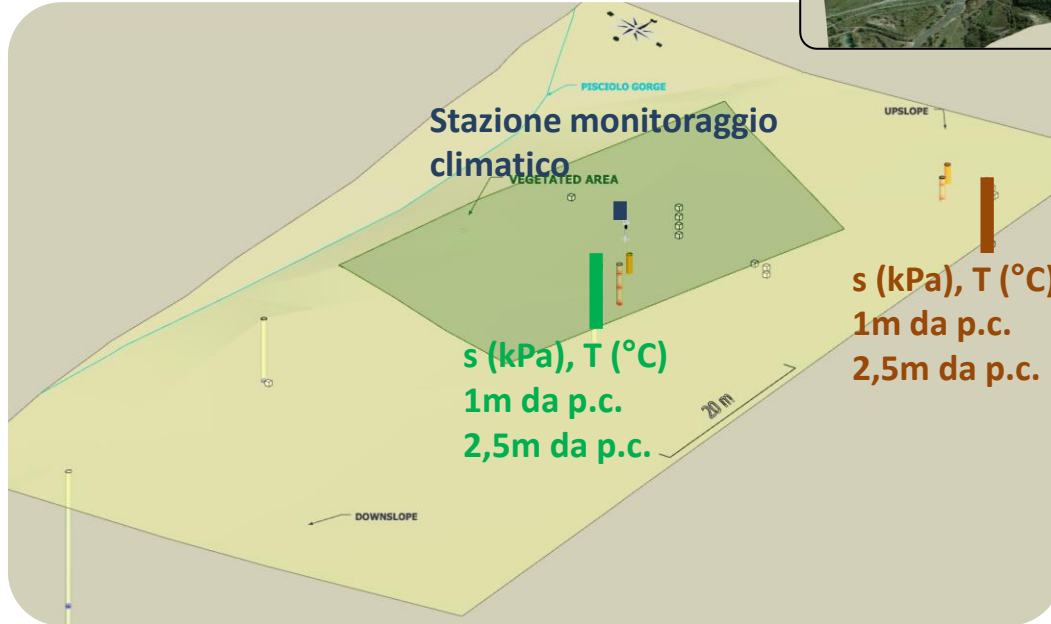
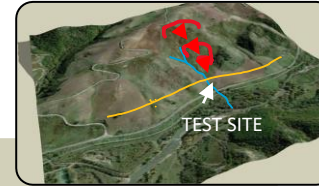


(Tagarelli, Cotecchia, Stasi 2020)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)



Sonda per il monitoraggio di suzione e temperatura (sonda MPS-6)





Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità (Diviner 2000)



(Tagarelli, Cotecchia, Stasi 2020)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)

TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ

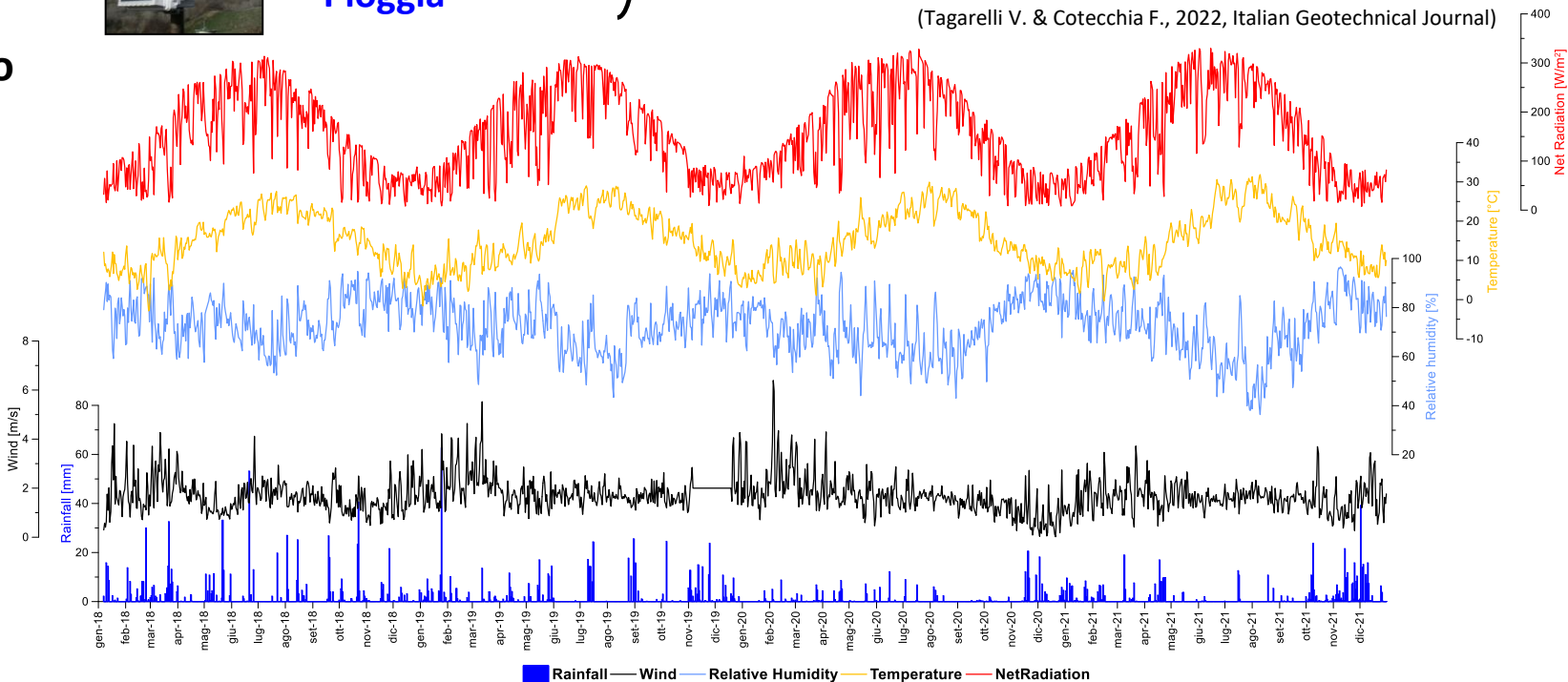


- **Radiazione netta**
- **Temperatura**
- **Umidità relativa**
- **Vento**
- **Pioggia**

4 ANNI DI
MONITORAGGIO DELLA
FORZANTE CLIMATICA
AGENTE SULLA COLTRE
OGGETTO DI STUDIO

**“CLIMA MEDITERRANEO DA
SUBCONTINENTALE A
CONTINENTALE, DA
PARZIALMENTE SEMIARIDO
AD ARIDO”**
(Costantini et al. 2013)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)

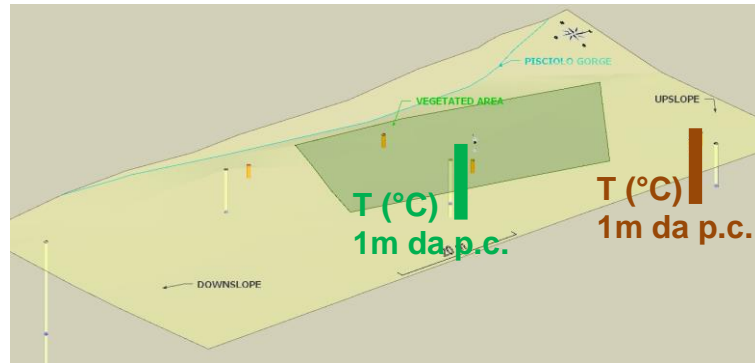


TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

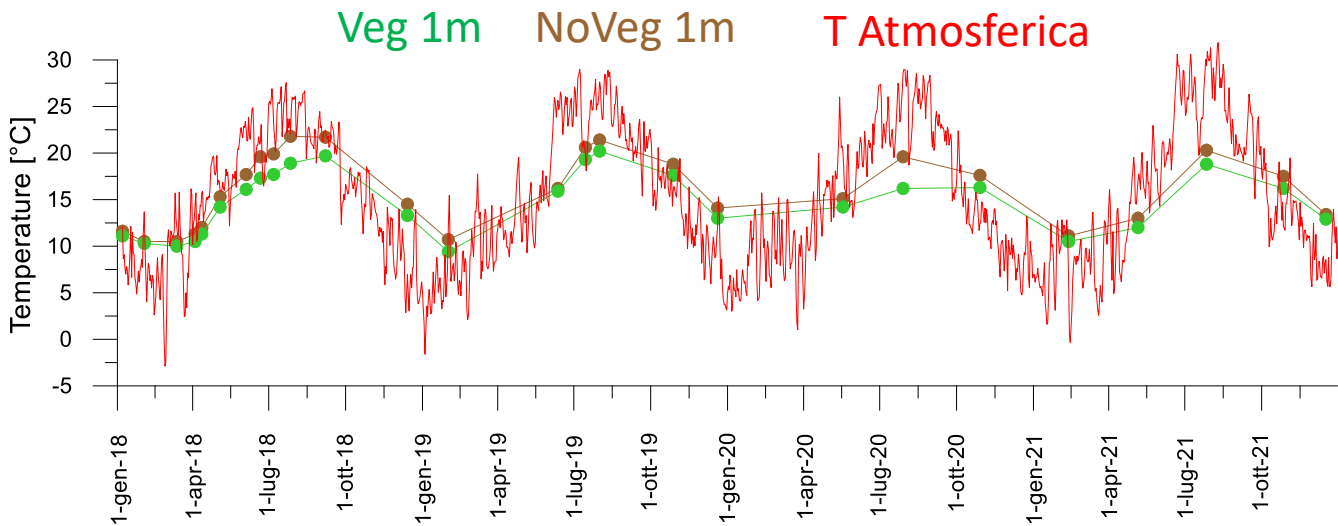
TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



Monitoraggio di temperatura tramite sonda MPS-6



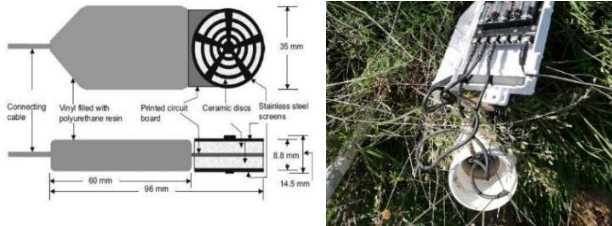
Temperatura nel
terreno con il
tempo, dentro e
fuori la zona
vegetata



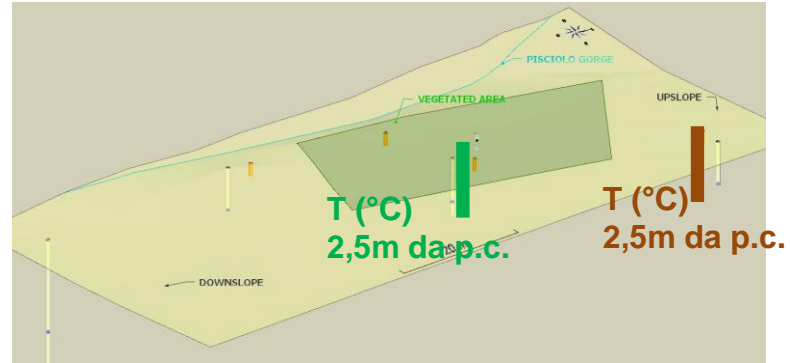
Monitoraggio dell'interazione terreno-vegetazione-atmosfera: TEMPERATURA

TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



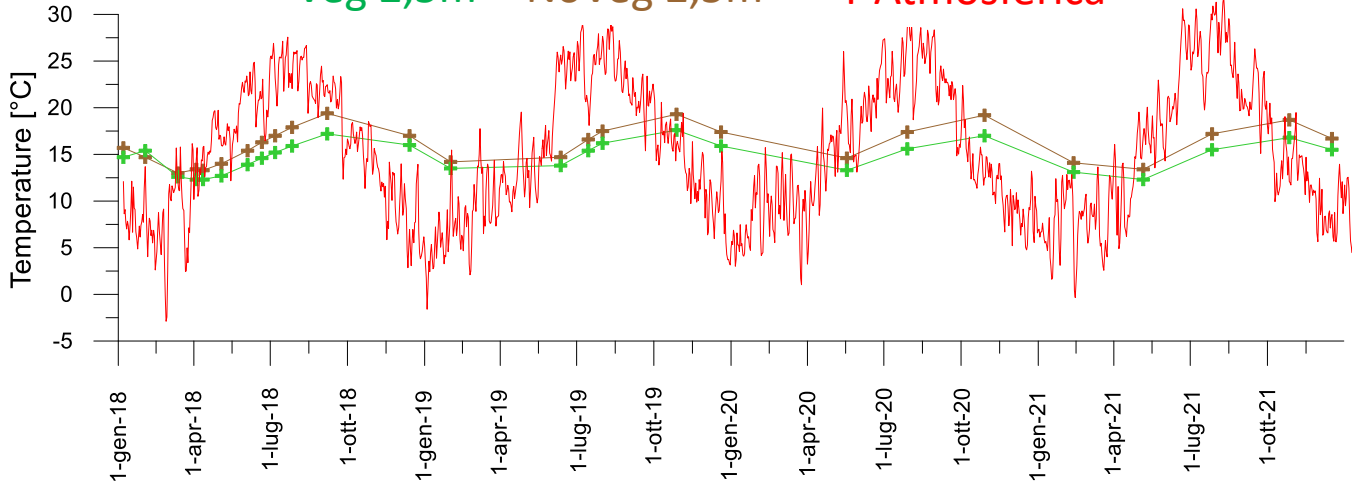
Monitoraggio di temperatura tramite sonda MPS-6



Veg 2,5m

NoVeg 2,5m

T Atmosferica



**EFFETTO TAMPONE
DELLA VEGETAZIONE
SULLA
PENETRAZIONE DEL
CALORE**

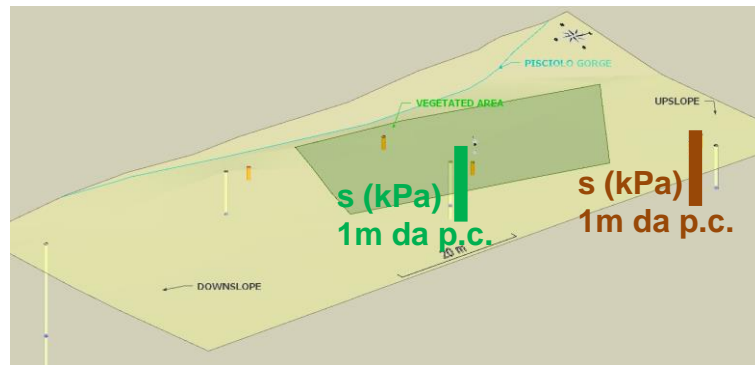
**EFFETTO
OMBREGGIAMENTO
DELLA VEGETAZIONE**

TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

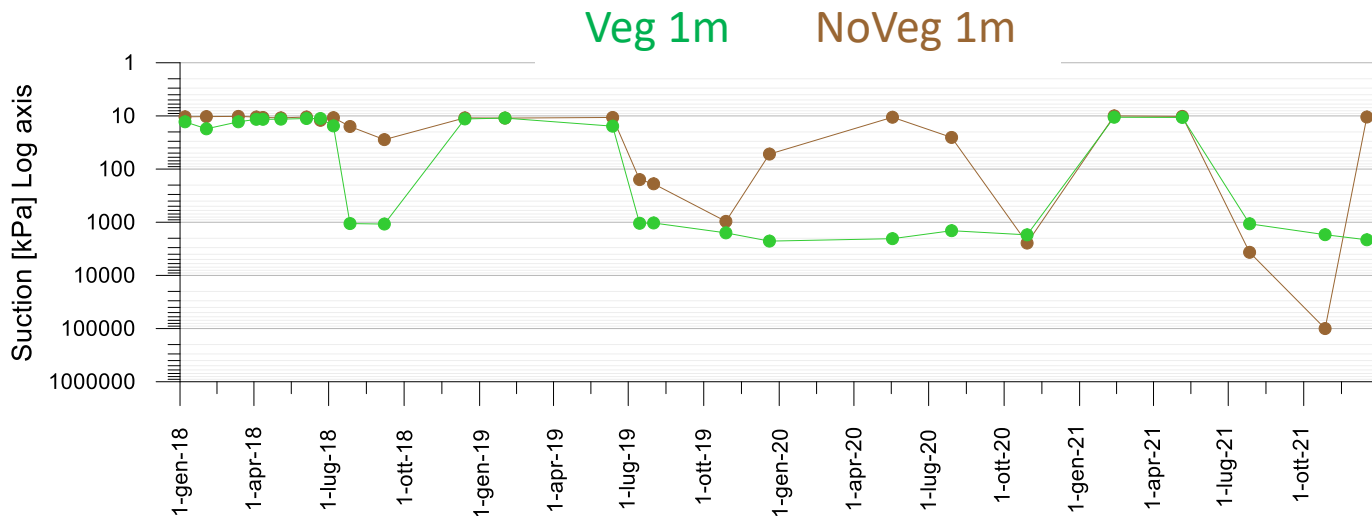
TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



Monitoraggio della Suzione tramite sonda MPS-6



**Suzione nel terreno
con il tempo, dentro
e fuori la zona
vegetata**

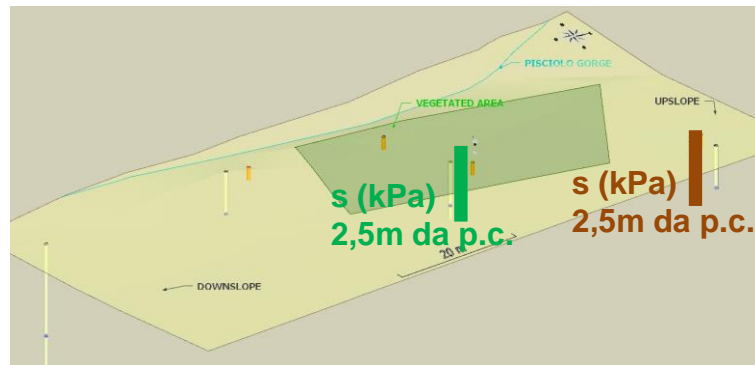


TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

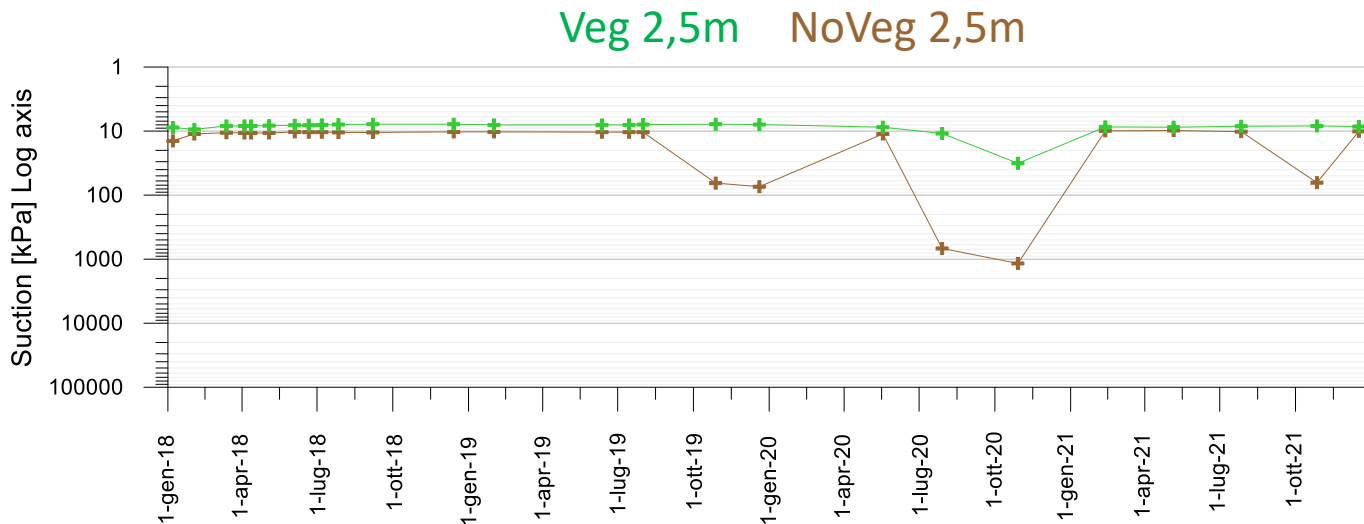
TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



Monitoraggio della Suzione tramite sonda MPS-6



**Suzione nel terreno
con il tempo, dentro
e fuori la zona
vegetata**

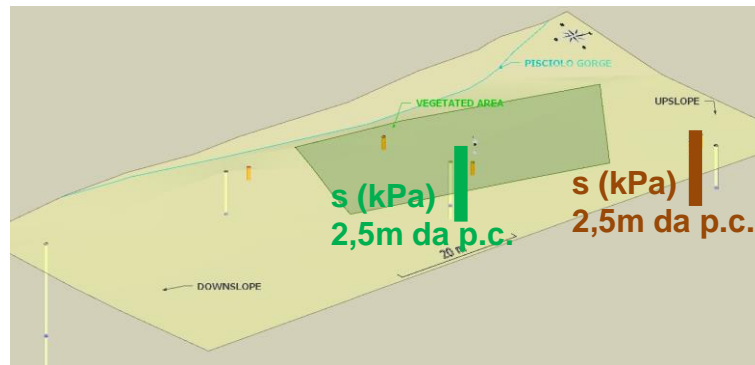


TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



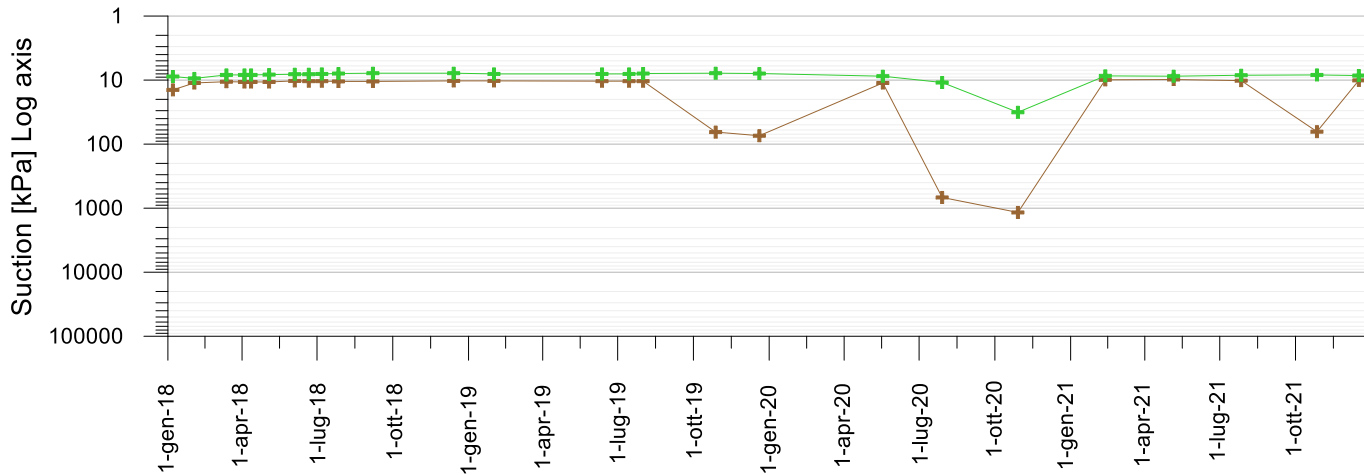
Monitoraggio della Suzione tramite sonda MPS-6



LA SUZIONE NELLA ZONA VEGETATA TENDE AD ESSERE BASSA (INCLUSO GROSSOLANO)

LA ZONA NON VEGETATA SUBISCE FLUTTUAZIONI DI SUZIONE AMPIE ANCHE A 2,5m

Veg 2,5m NoVeg 2,5m



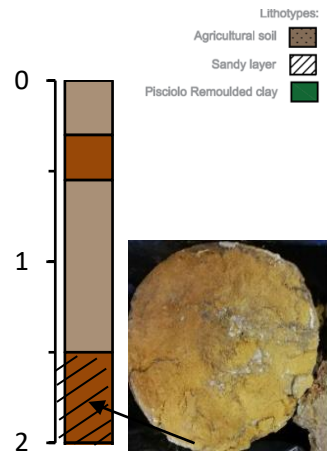
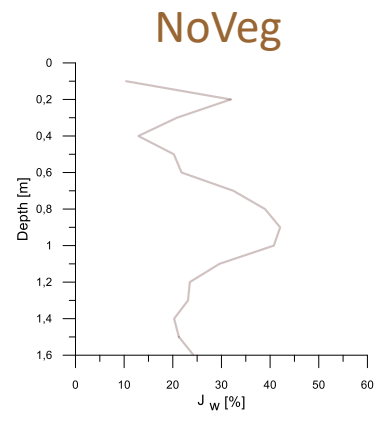
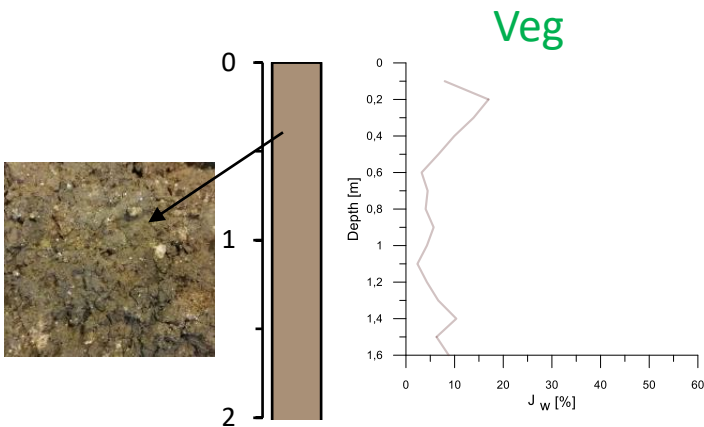
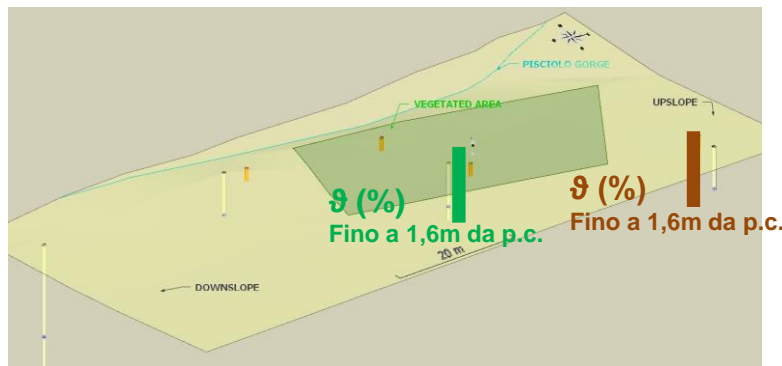
TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata



Periodo di riferimento da da un'Ottobre al successive Ottobre

— 28 October 2019

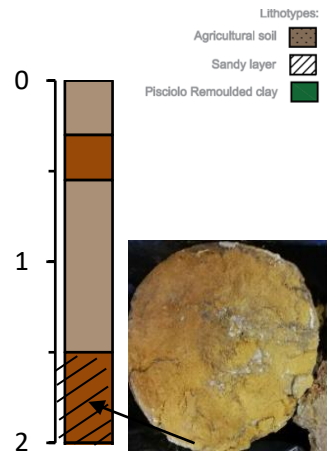
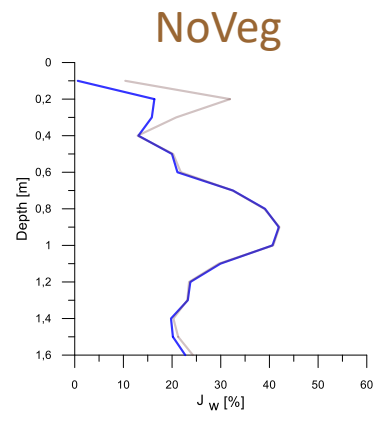
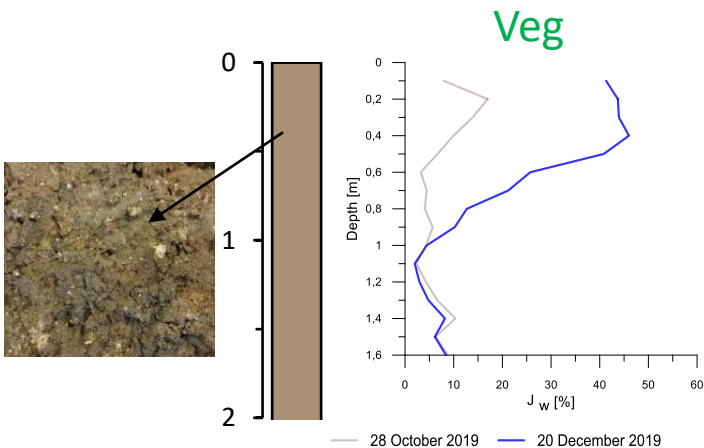
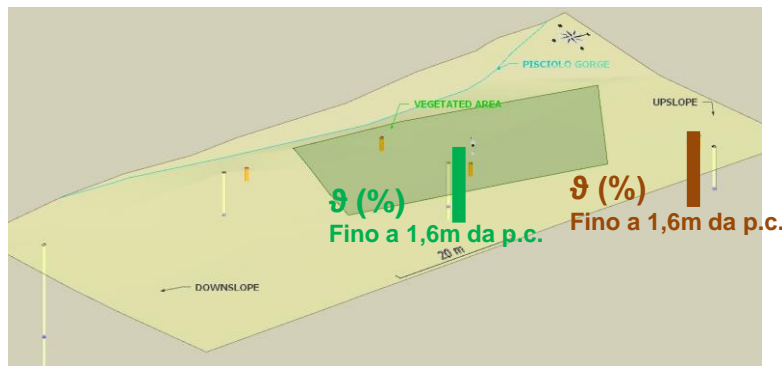
TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata



Periodo di riferimento da da un'Ottobre al successive Ottobre

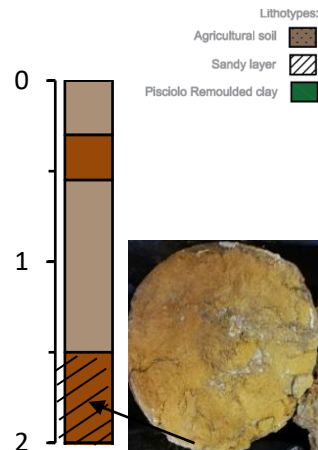
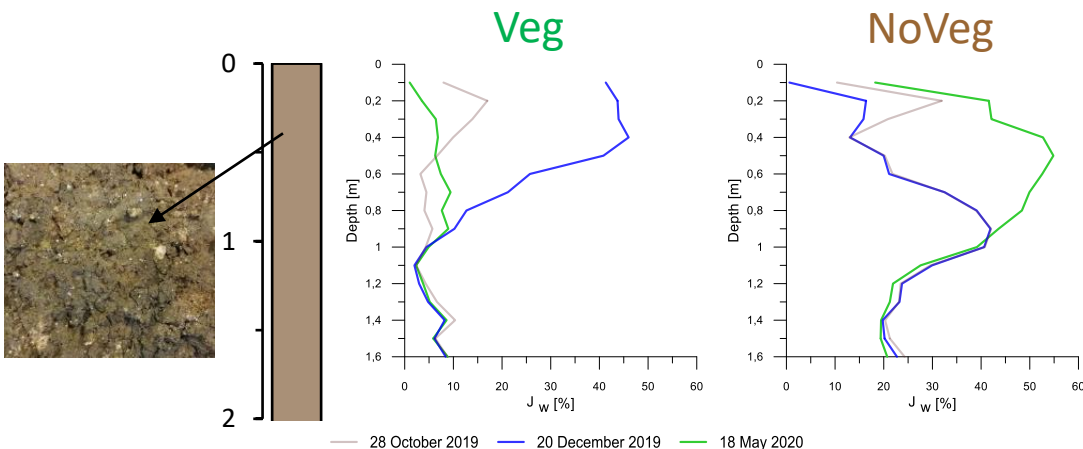
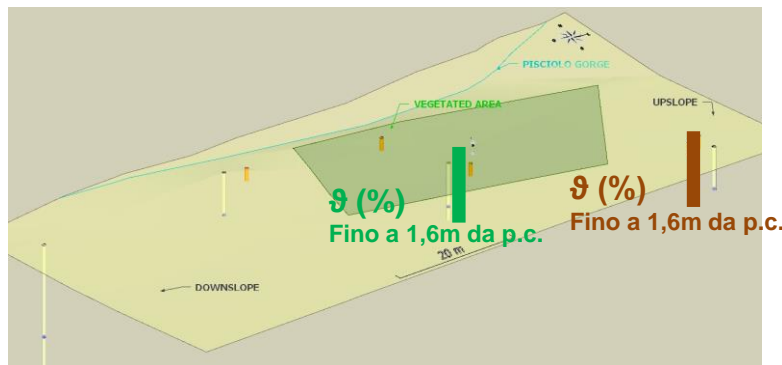
TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata



Periodo di riferimento da da un'Ottobre al successive Ottobre

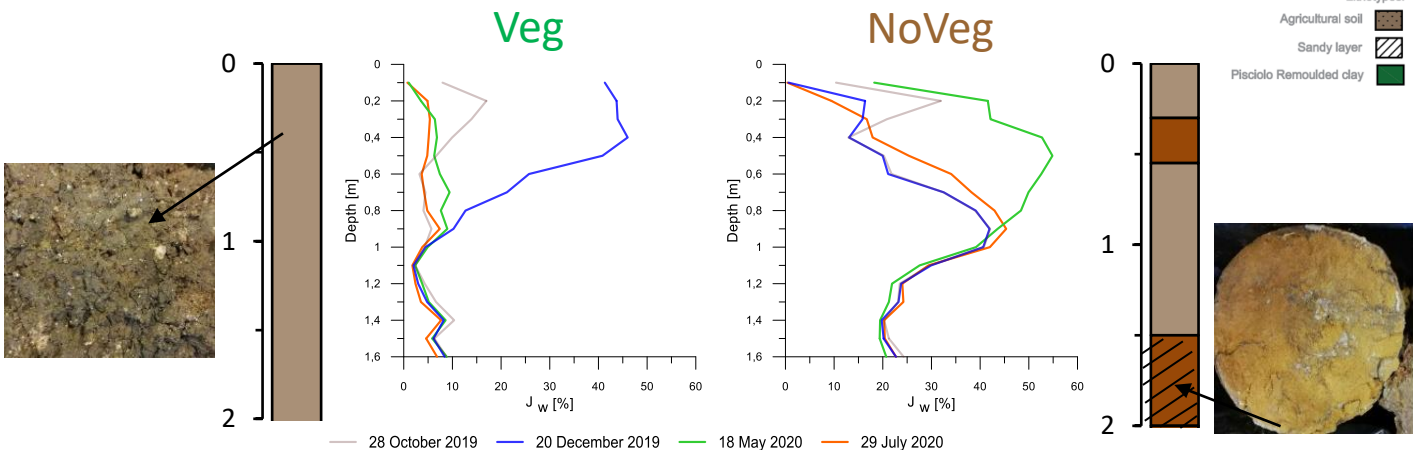
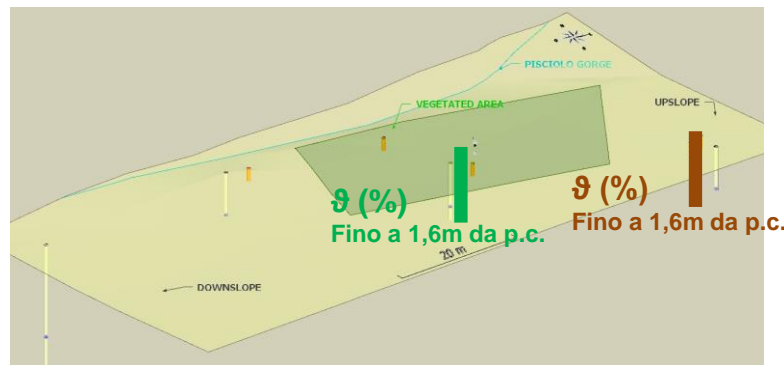
TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata



Periodo di riferimento da da un'Ottobre al successive Ottobre

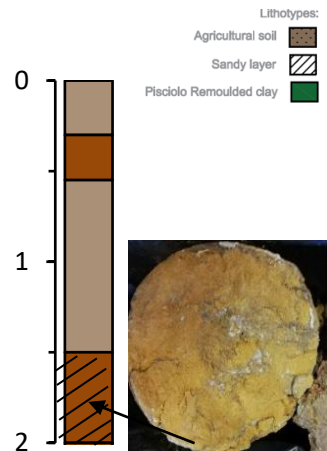
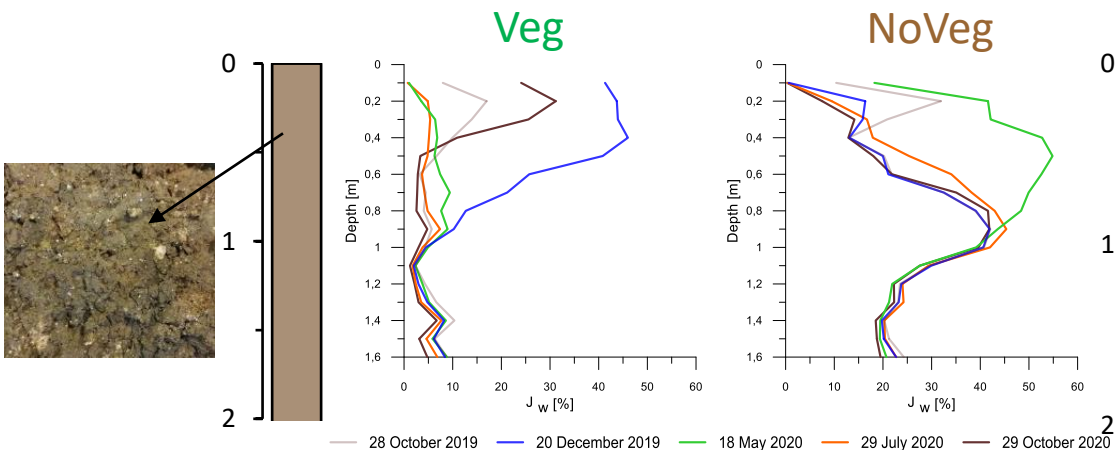
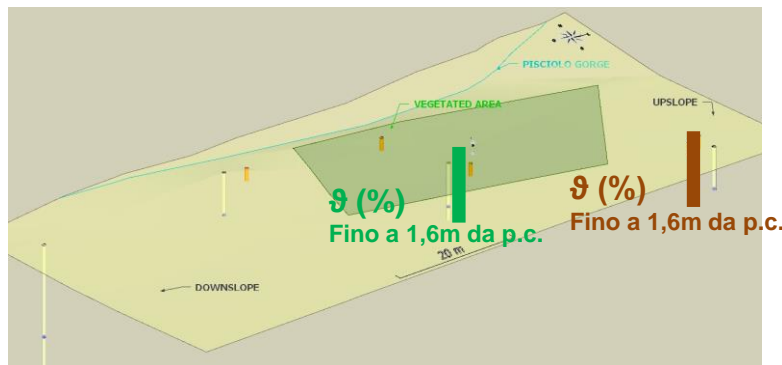
TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata



Periodo di riferimento da da un'Ottobre al successive Ottobre

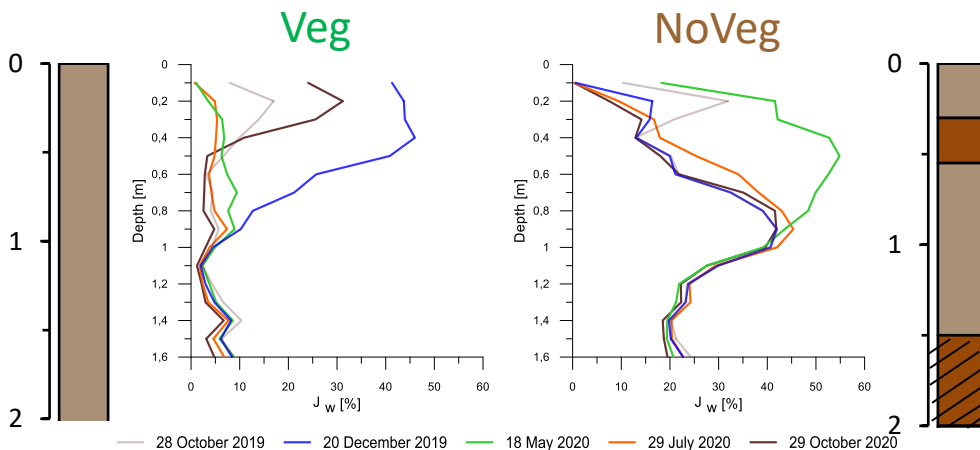
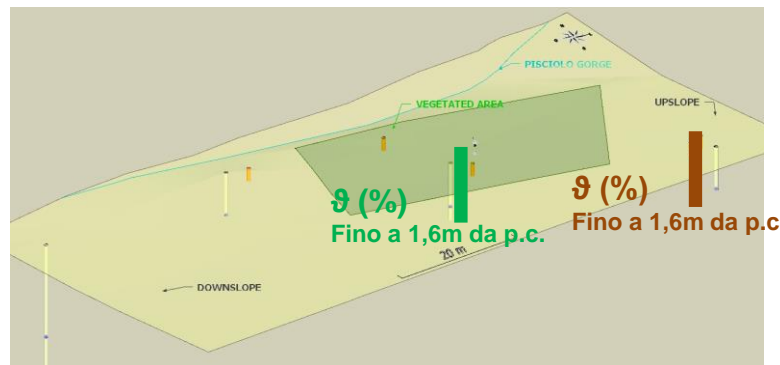
TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



Sonda capacitiva per il monitoraggio del contenuto d'acqua con la profondità

Contenuto d'acqua con la profondità nel terreno con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata

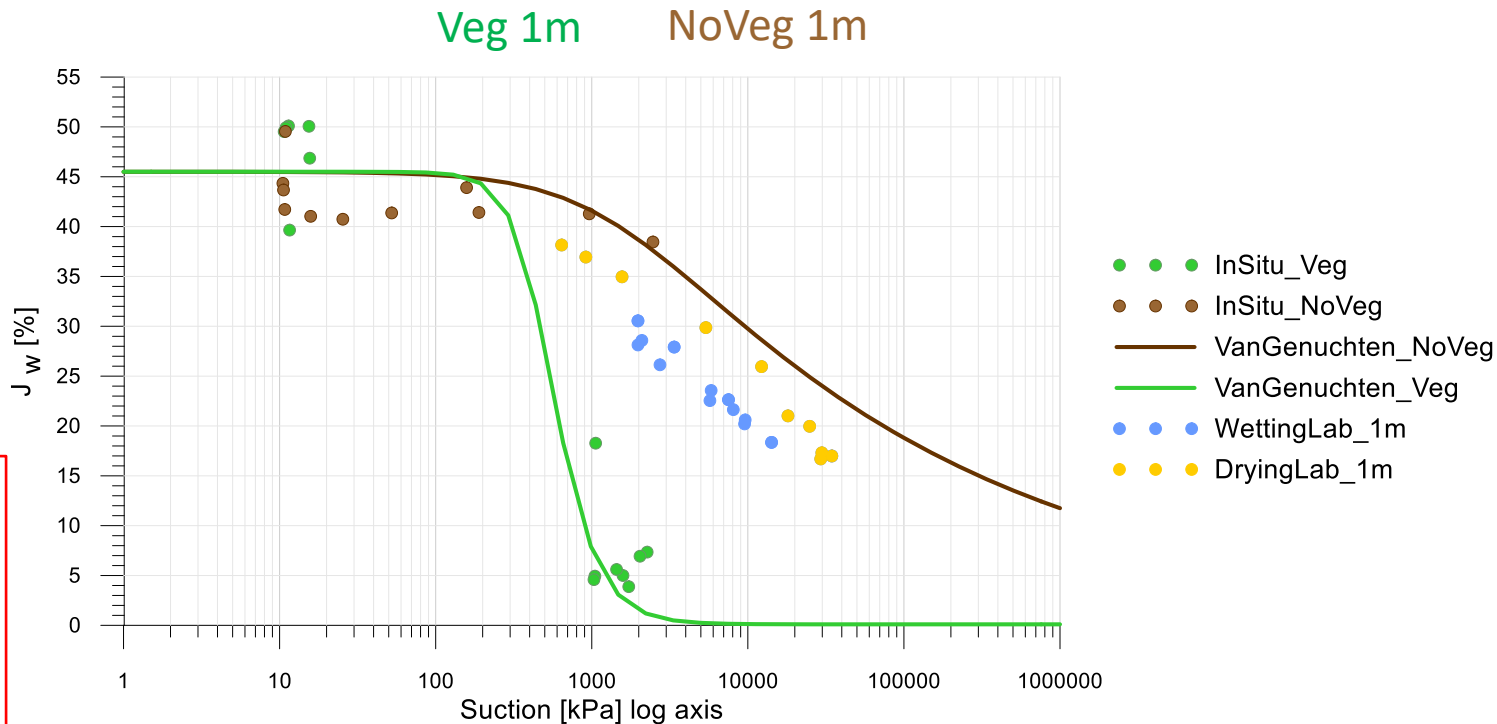


NELLA ZONA VEGETATA I CONTENUTI D'ACQUA SI MANTENGONO MEDIAMENTE PIÙ BASSI

LA VEGETAZIONE DISCONNETTE PARZIALMENTE IL TERRENO DALLA FORZANTE CLIMATICA

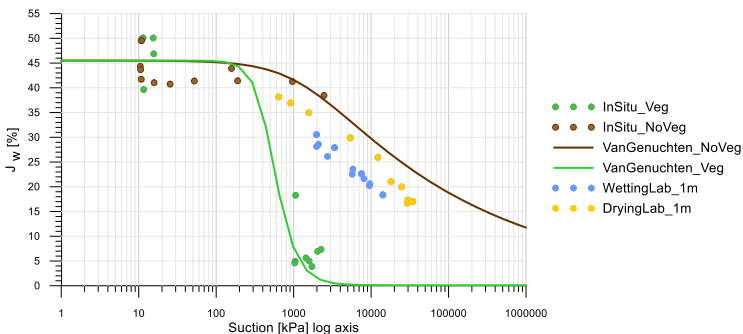
TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi
TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ

**LA RADICE TENDE
A MODIFICARE LO
STATO FISICO DEL
MATERIALE E NE
CAMBIA LE
CAPACITÀ
RITENTIVE**



TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



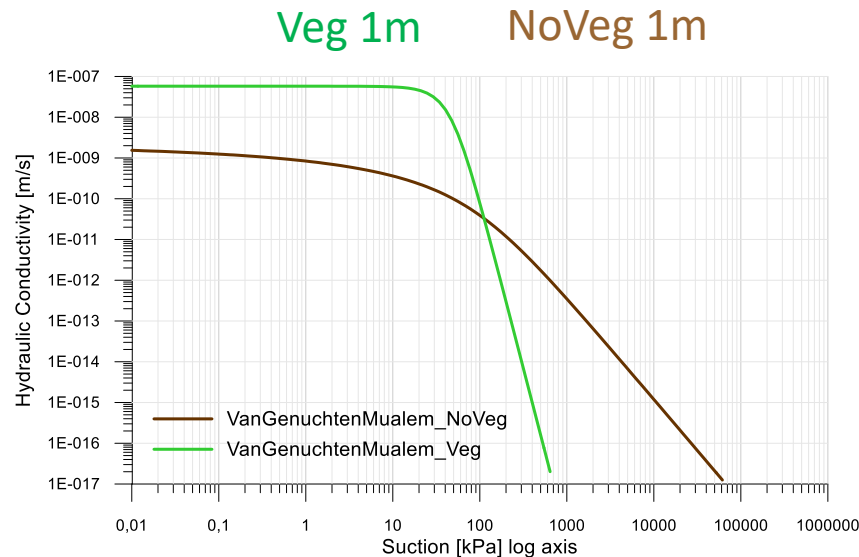
Determinazione della conducibilità idraulica saturata in situ a 0,5 m da p.c. (Permeametro di Guelph)

(Tagarelli V. & Cotecchia F., 2022, Italian Geotechnical Journal)

LA CRESCITA DELL'APPARATO RADICALE TENDE AD AUMENTARE LEGGERMENTE LA PERMEABILITÀ SATURA DEL MATERIALE

$$k_{sat} = 5,77 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

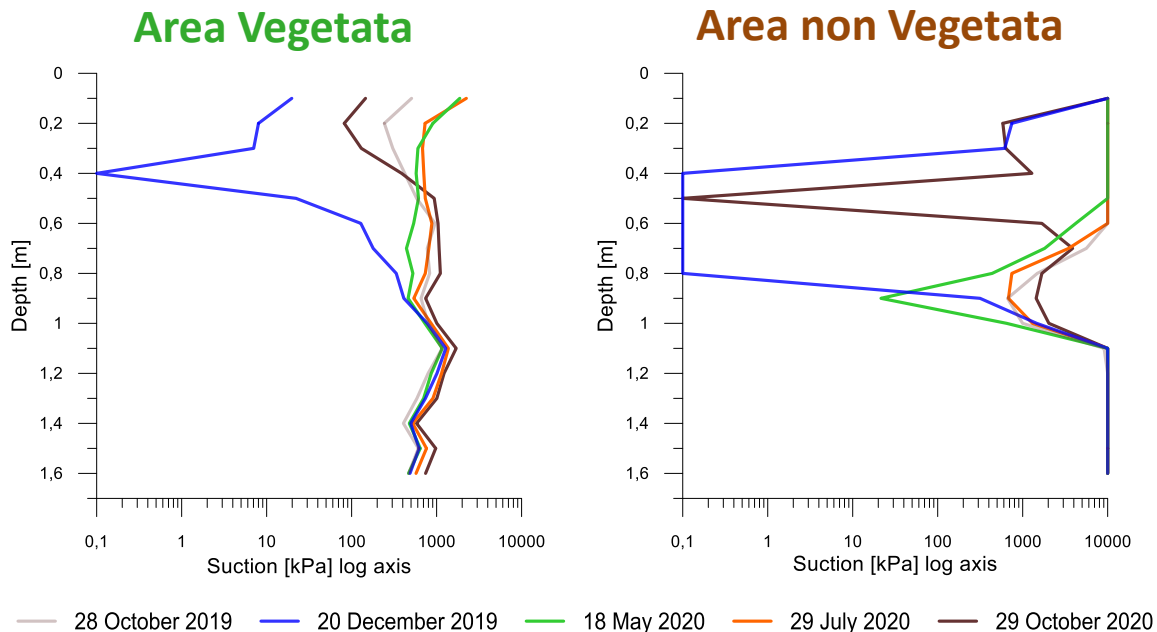
$$k_{sat} = 1,54 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$



TASK 2.2:
Indagini e Rilievi

TASK 4.2:
Sistema di monitoraggio in situ

Profili di suzione ottenuti a partire dai profili di contenuto d'acqua e dalle curve di ritenzione in situ



LE SUZIONI NELLA ZONA VEGETATA SONO MENO FLUTTUANTI NEL TEMPO

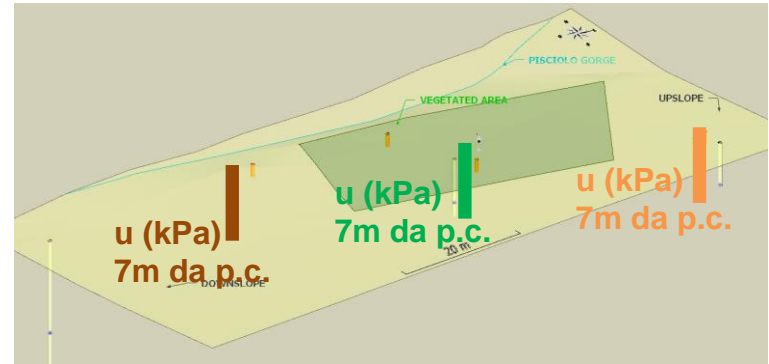
LE SUZIONI NELLA ZONA NON VEGETATA SONO PIÙ FLUTTUANTI NEL TEMPO E DIVENTANO POTENZIALMENTE ALTISSIME A PIANO CAMPAGNA

TASK 2.2: Indagini e Rilievi

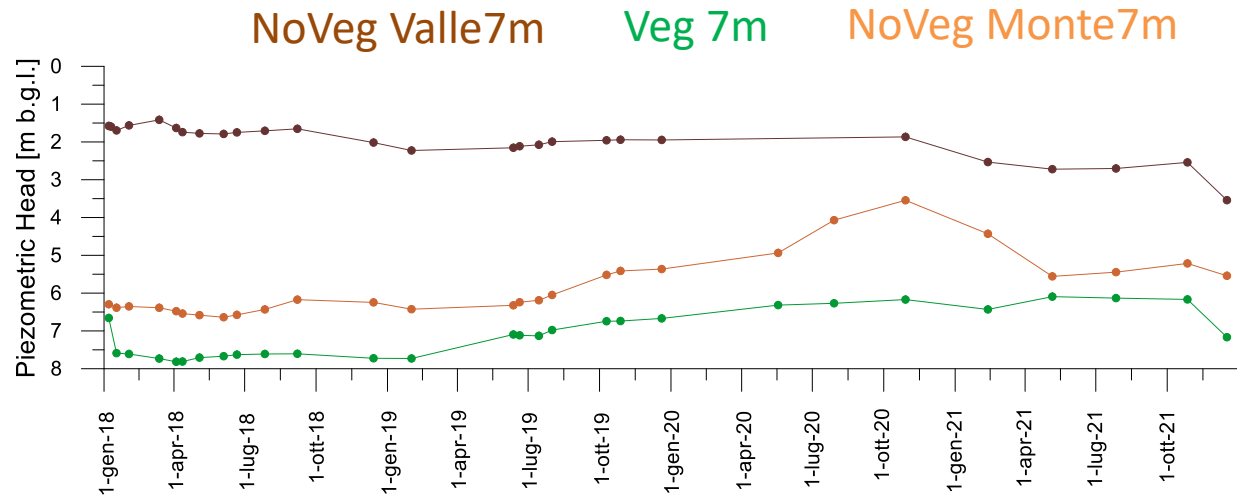
TASK 4.2: Sistema di monitoraggio in situ



Monitoraggio della pressione interstiziale tramite piezometri elettrici



Pressione interstiziale nel terreno a 7 metri di profondità con il tempo, dentro e fuori la zona vegetata

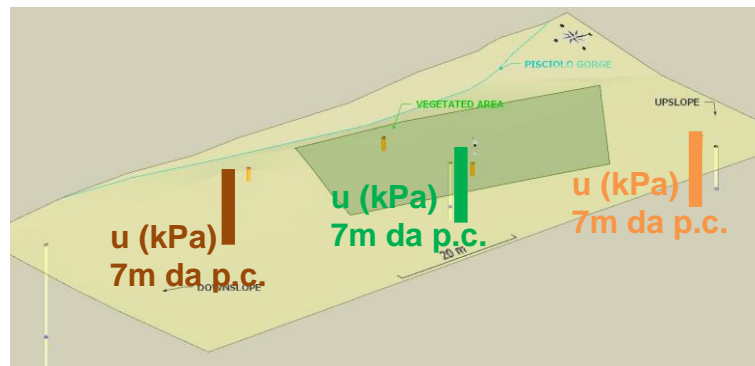


TASK 2.2:
Indagini e
Rilievi

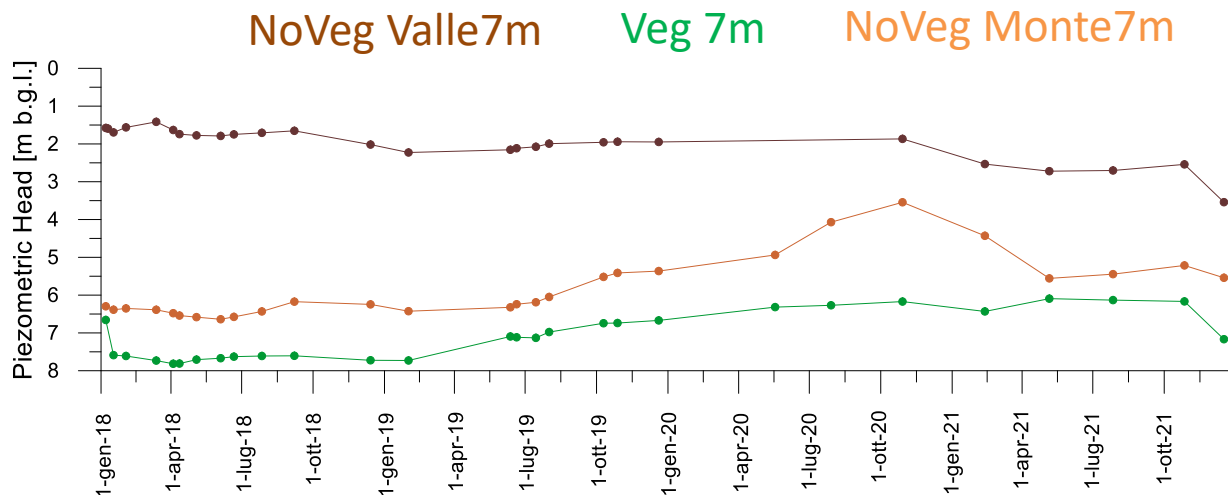
TASK 4.2:
Sistema di
monitoraggio
in situ



Monitoraggio della
pressione
interstiziale tramite
piezometri elettrici



**LA VEGETAZIONE
APPIATTISCE ANCHE LE
FLUTTUAZIONI DELLE
PRESSIONI INTERSTIZIALI,
CHE FUORI INVECE SONO
PIÙ VARIABILI NEL TEMPO**



Misure in campo dell'apparato epigeo per la determinazione della altezza e della copertura areale della vegetazione



Scansioni dell'apparato epigeo per calcolo del LAI (Leaf Area Index)



Leguminose



Graminacee

1. La caratterizzazione idro-meccanica condotta, in condizione satura e parzialmente satura, ha permesso di mostrare come la curva di ritenzione del terreno nella zona vegetata vari rispetto a quella corrispettivo al materiale intatto; in particolare la tendenza del terreno nella zona vegetate va verso una minore capacità di ritenzione dell'acqua;
2. La vegetazione selezionata riduce il contenuto d'acqua nel terreno, come potenzialmente atteso, e questo dovrebbe causare con il tempo la riduzione delle pressioni interstiziali più in profondità;
3. Le suzioni corrispondenti ai profili di contenuto d'acqua misurati non oscillano nel tempo in un vasto range di valori di suzione, a causa della nuova capacità ritentiva assunta, e questo è positivo visto che il terreno della coltre non sperimenta fratturazione da essiccamento;
4. La coltre occupata dalla vegetazione selezionata pare essere in grado di disconnettere parzialmente le variazioni dello stato del terreno in profondità rispetto alla forzante climatica; questa circostanza non appare altrettanto vera dove è presente la vegetazione spontanea.

CONCLUSIONI:

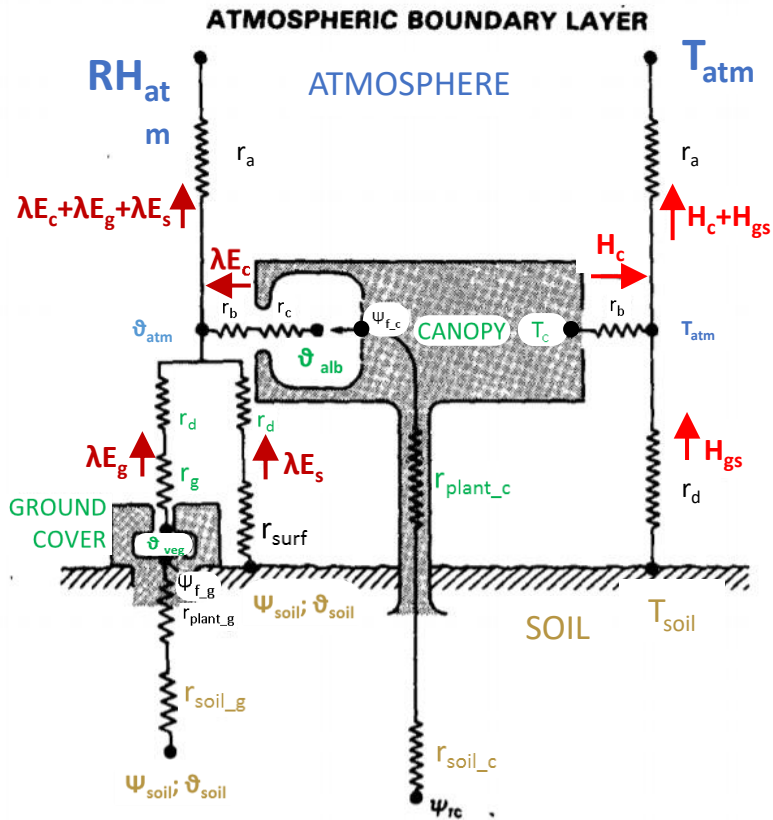
- I risultati della ricerca danno fiducia l'utilizzo della vegetazione selezionata a radicazione profonda per la mitigazione degli effetti instabilizzanti del clima sull'equilibrio del pendio.

SVILUPPI FUTURI:

- Si sta effettuando un upgrade del sistema di monitoraggio in situ, che vedrà un incremento dei punti di misura, ed il passaggio ad una acquisizione in continuo ed in remoto;
- Si adotteranno inoltre tecniche di misura avanzate per il monitoraggio dell'interazione terreno-vegetazione-atmosfera, come ad esempio, tecniche indirette per il monitoraggio della crescita dell'apparato radicale, e per l'evoluzione nell'anno della vegetazione;
- Verrà effettuata una modellazione numerica, prima semplificata e poi avanzata, dell'interazione pendio-vegetazione-atmosfera implementando i flussi traspirativi della vegetazione nonché le proprietà costitutive del terreno con radici, per simulare l'azione della vegetazione selezionata.

CALORE LATENTE

λE



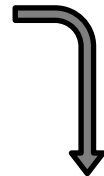
CALORE SENSIBILE

H

Gradienti di temperatura (T), e di umidità relativa (θ) tra il terreno, la vegetazione e l'atmosfera

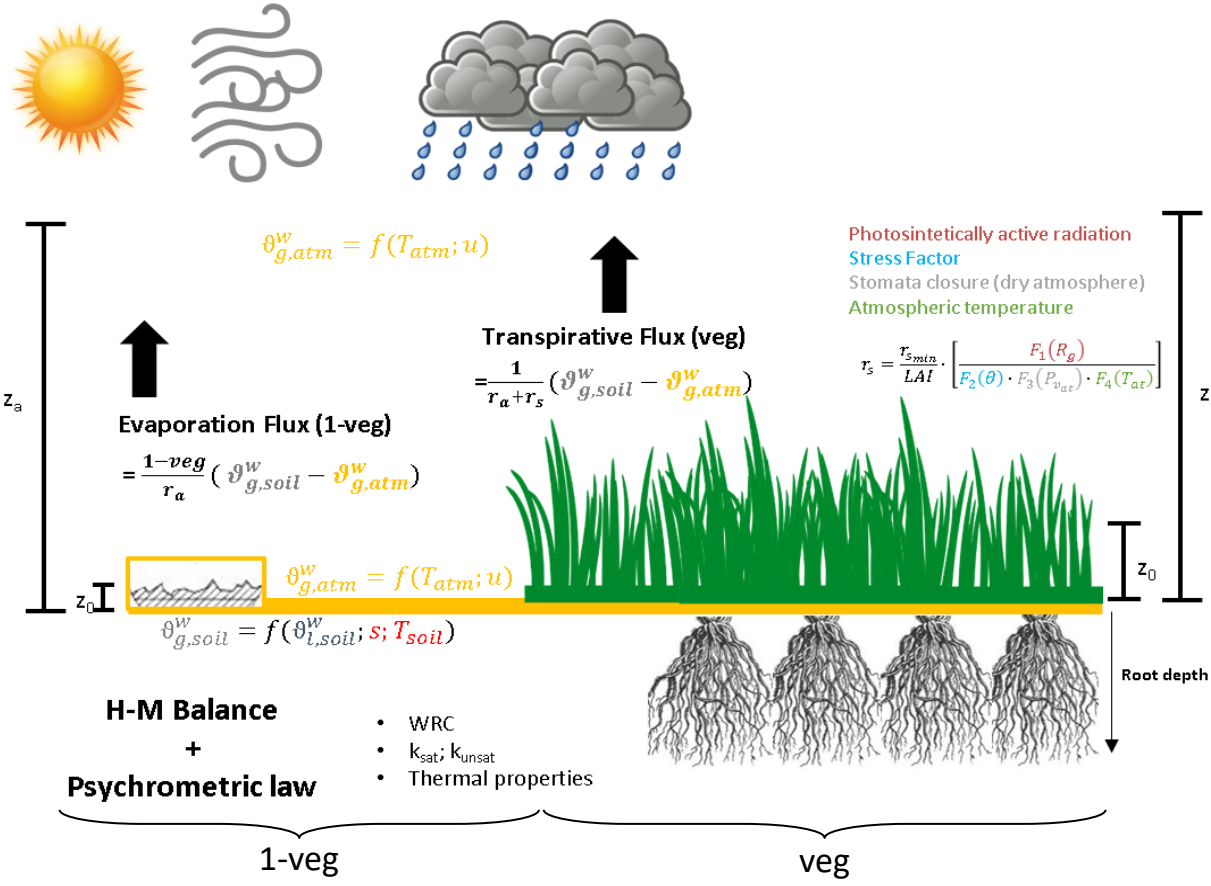
Determinano flussi di:

- Calore SENSIBILE (H)
- Calore LATENTE (λE)

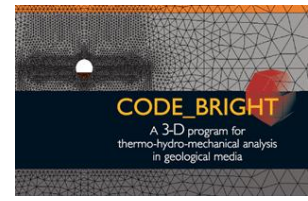


FLUSSI DI VAPORE

Sellers, et al. (1986). "A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models". Journal of the Atmospheric Sciences.



Samat & Vaunat, PhD Thesis (2016);
 Tagarelli, PhD thesis (2019)



Grazie a tutti per la cortese attenzione