

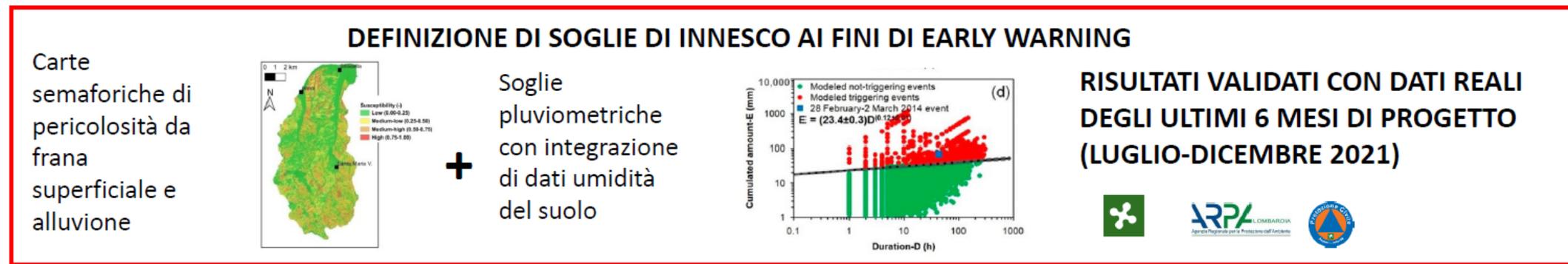
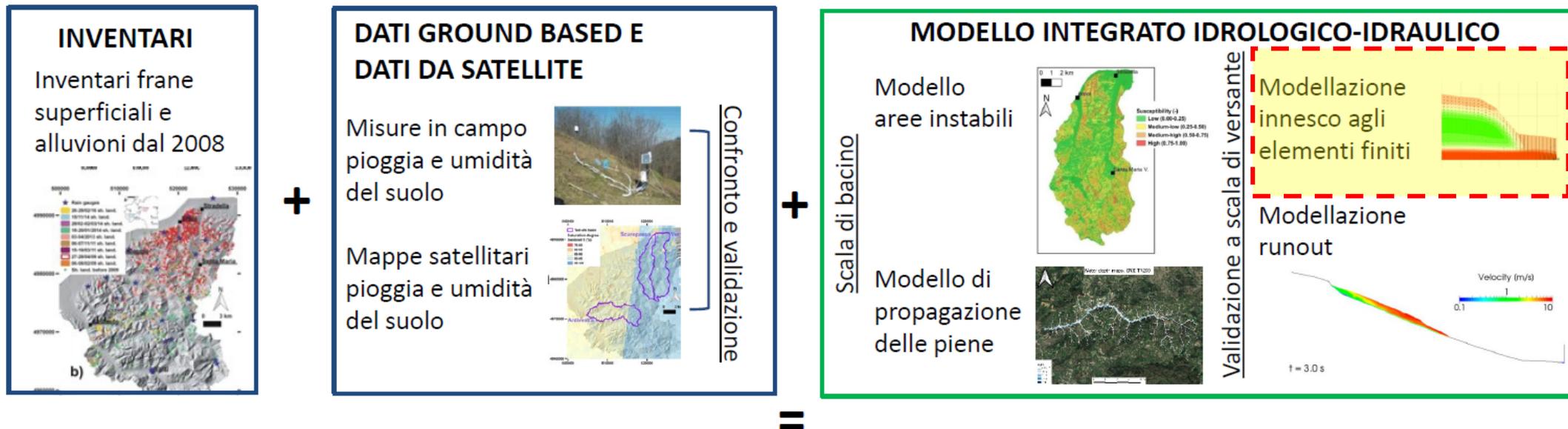
# Analisi numeriche per la stima delle soglie pluviometriche del versante di Montuè

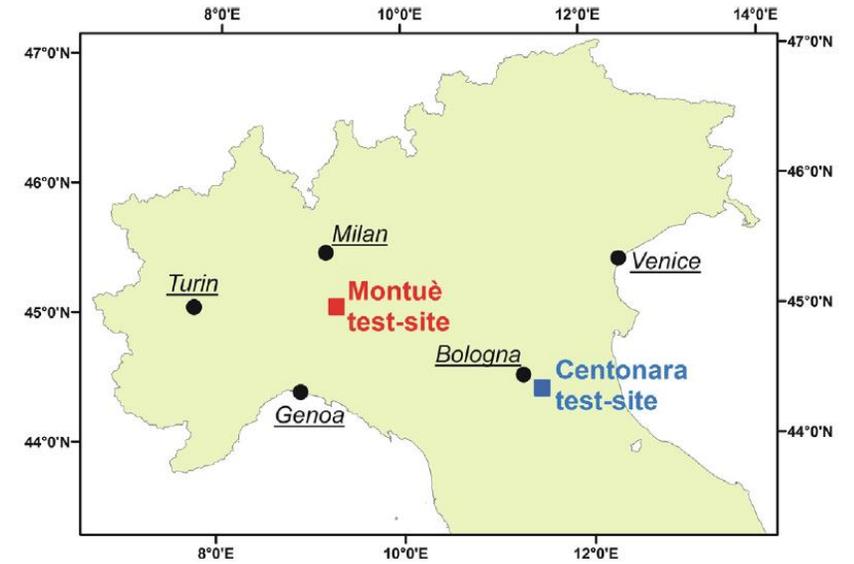
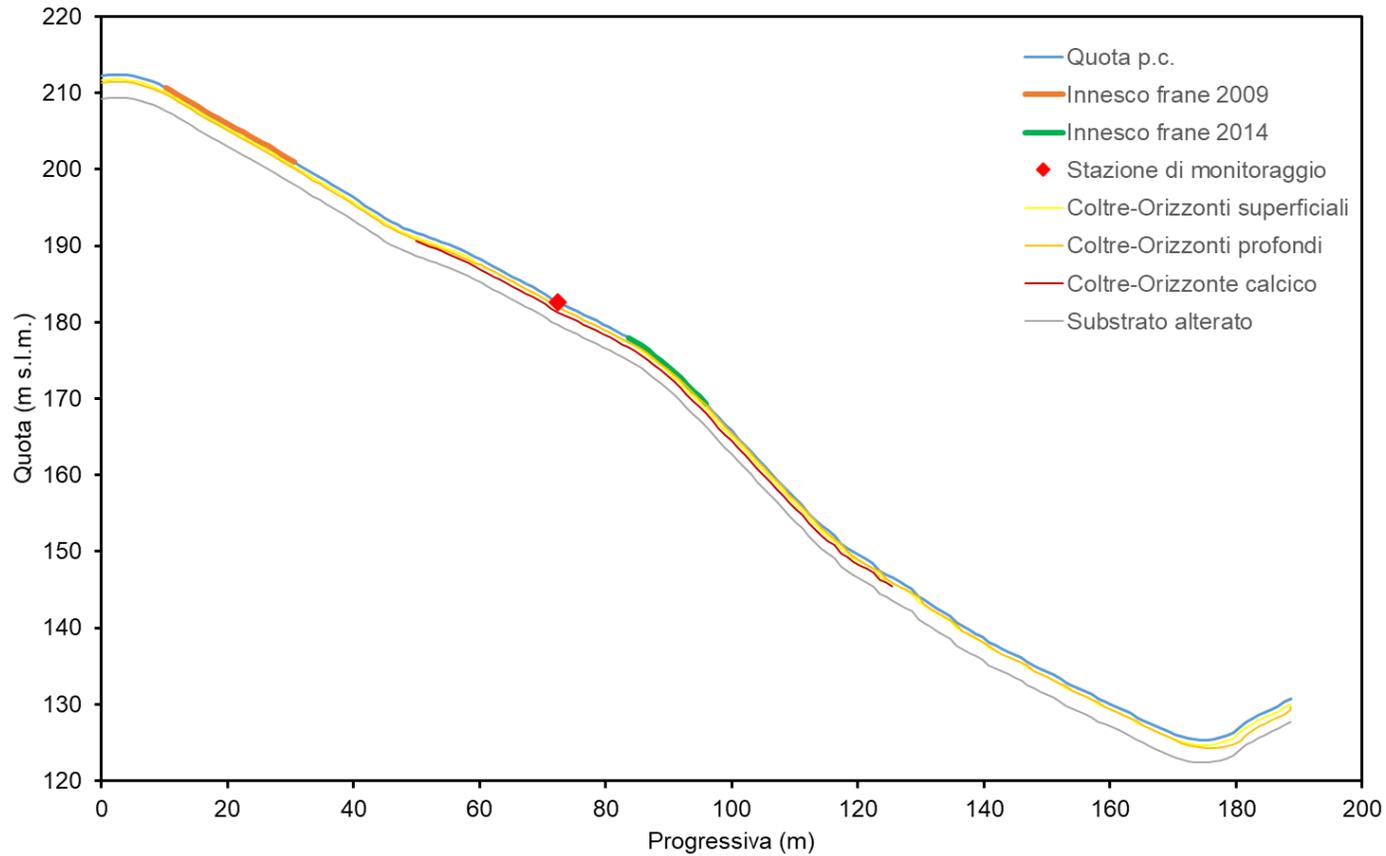
Prof. Domenico Giofrè – Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura DICAr



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA



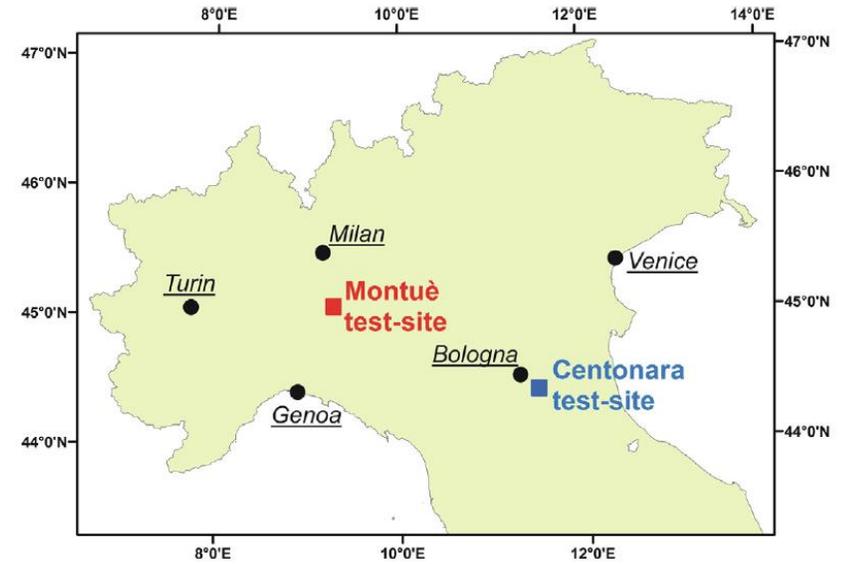
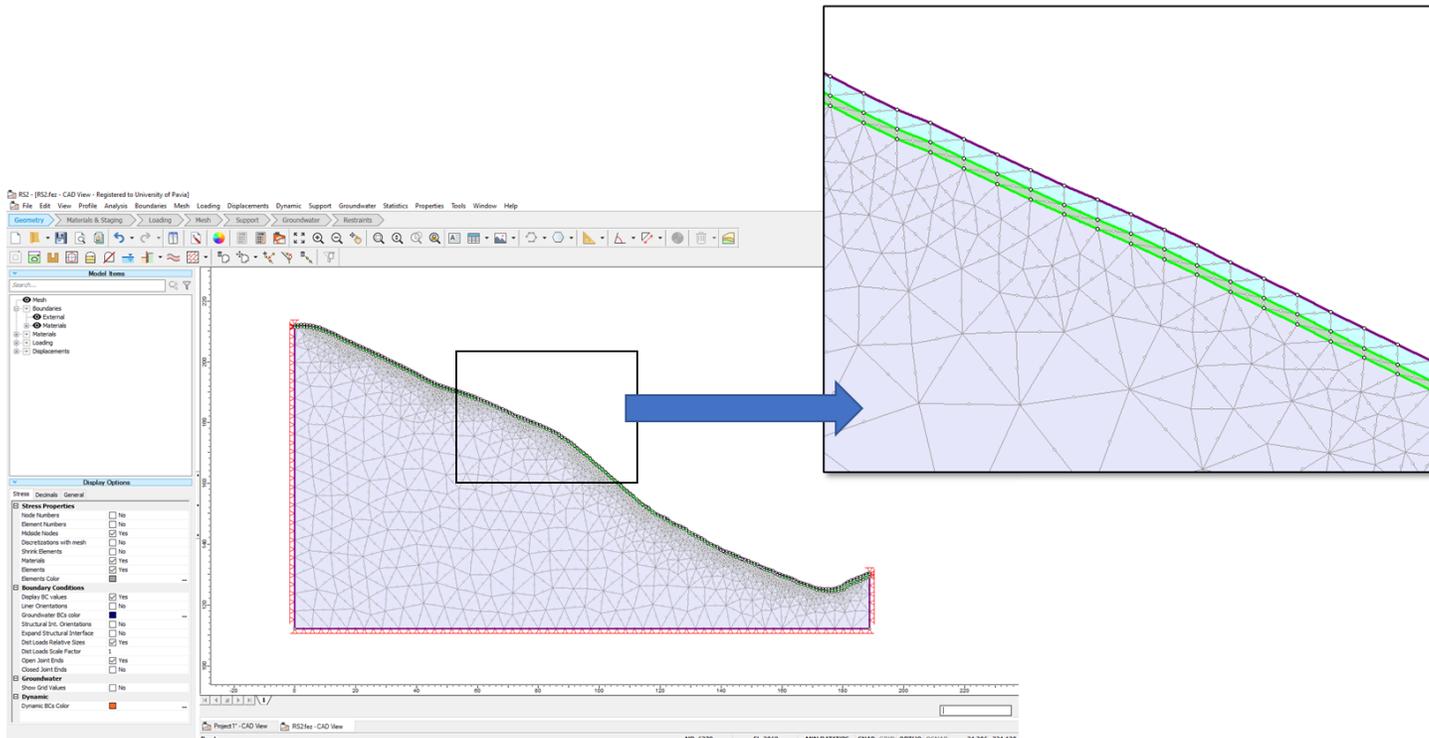




Valutazione dei meccanismi di innesco

Variazione del fattore di sicurezza

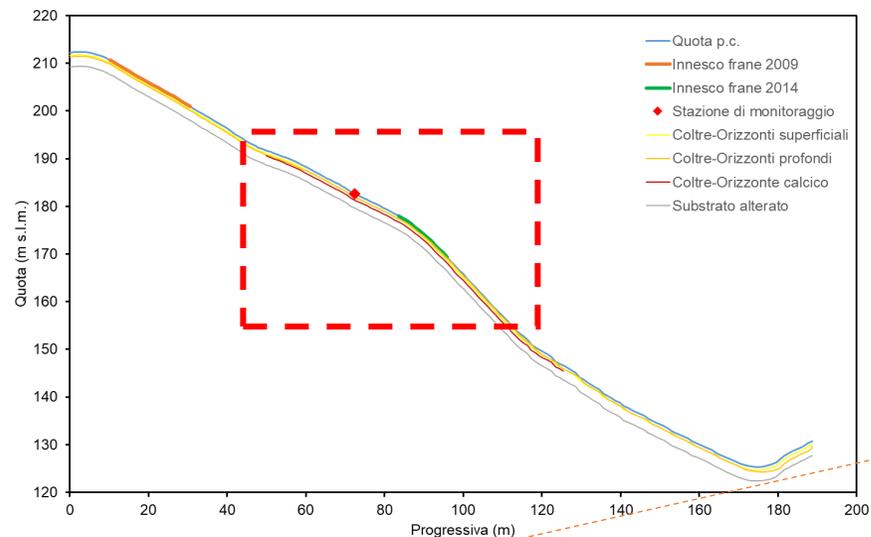
# Modello numerico



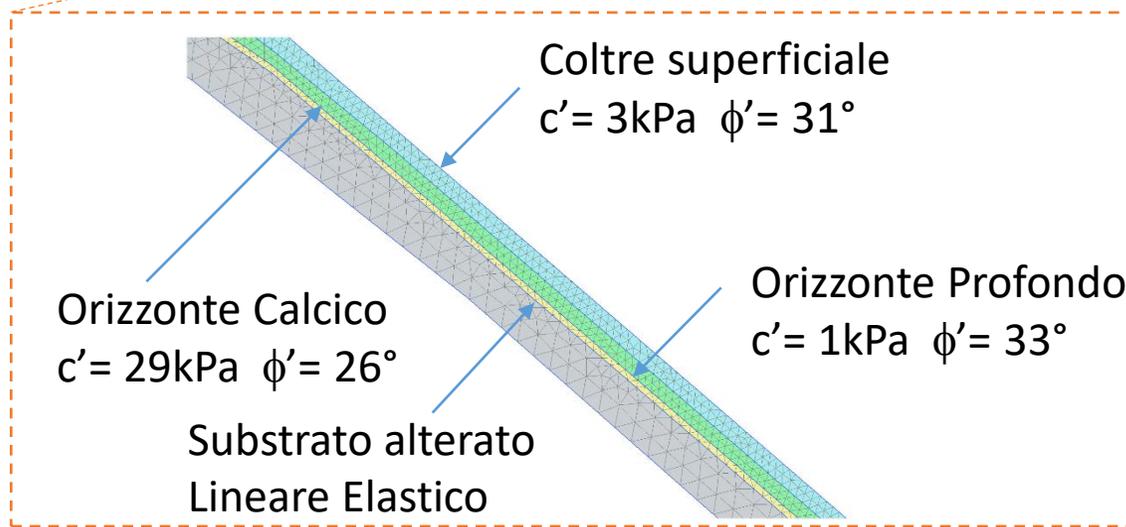
Valutazione dei meccanismi di innesco

Variazione del fattore di sicurezza





5'500 elementi 15-nodi  
45'000 nodi

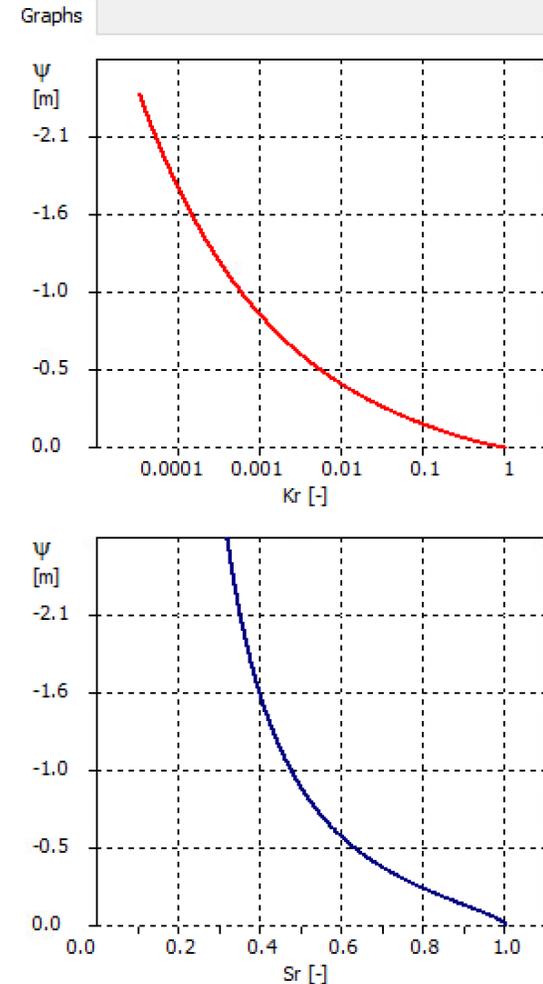


Comportamento idraulico di terreni parzialmente saturi

Soil Water Characteristic Curve (SWCC) – Curva di ritenzione

Hydraulic Conductivity Functions (HCFs) – Conducibilità idraulica

Valutate considerando i risultati delle indagini ed implementate nel software Plaxis con le equazioni di Van Genuchten's (1980)

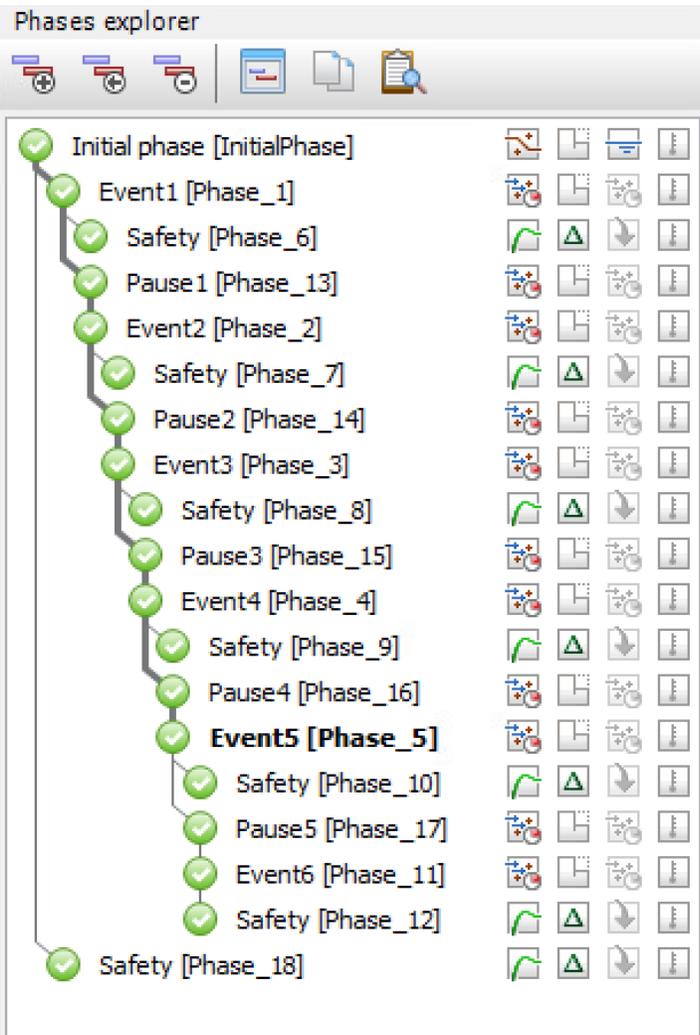


**Table 2**  
Van Genuchten equation fitting parameters of field fitted MDCs and MWCs for the studied soil horizons.

	MDC					MWC				
	$\alpha_d$ kPa <sup>-1</sup>	$n_d$	$\theta_{sd}$ m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	$\theta_{rd}$ m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	RMSE m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	$\alpha_w$ kPa <sup>-1</sup>	$n_w$	$\theta_{sw}$ m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	$\theta_{rw}$ m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	RMSE m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>
C	0.016	1.30	0.370	0.01	0.0159	–	–	–	–	–
E	0.007	1.35	0.425	0.01	0.0165	0.010	1.43	0.395	0.01	0.0104
G	0.004	1.20	0.390	0.01	0.0092	0.006	1.26	0.370	0.01	0.0103

*Bordoni et al., 2015; Bordoni et al., 2017*



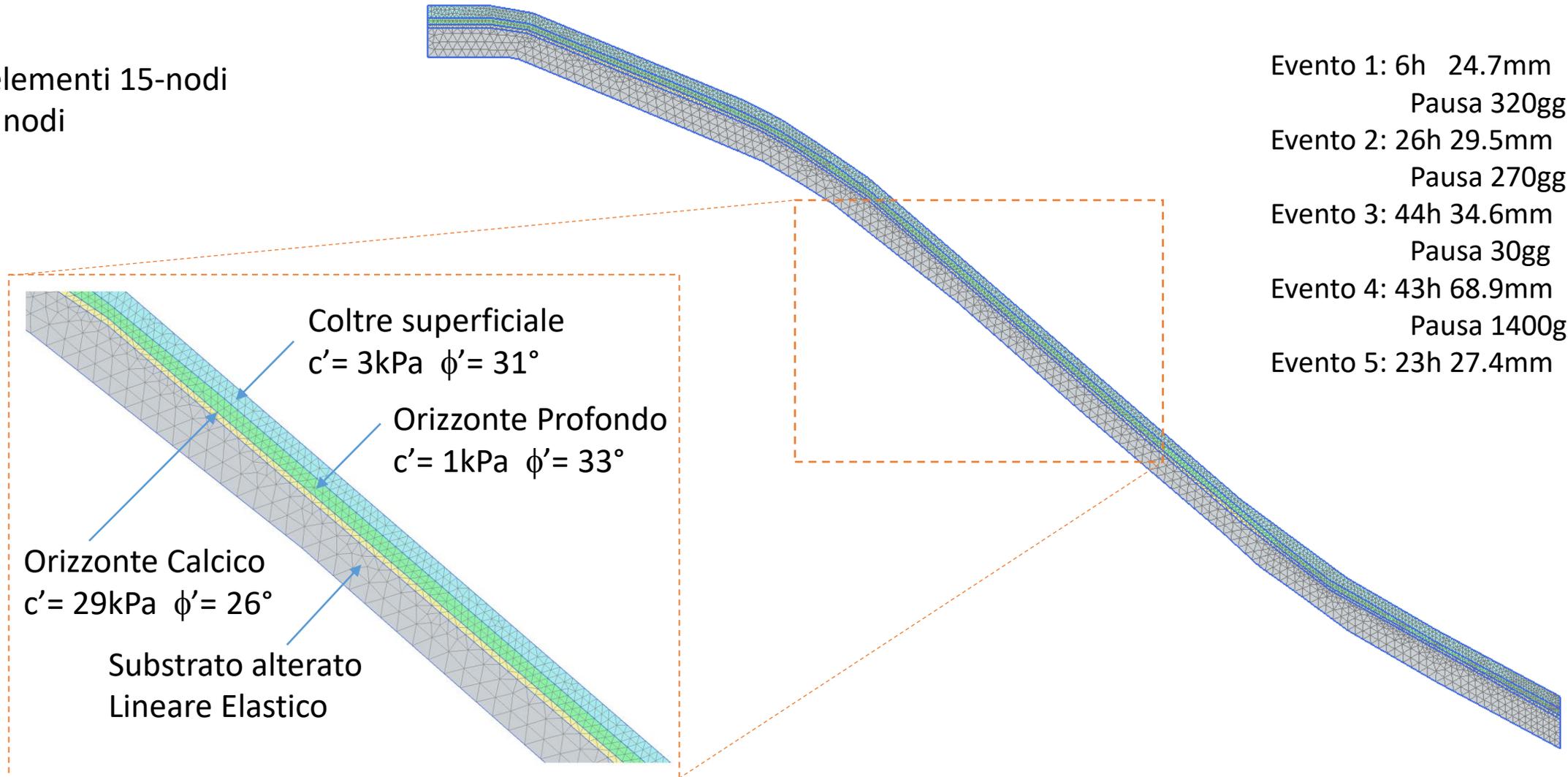


Rainfall event	Data	Durata (h)	Precipitazione cumulata (mm)
1	1 Maggio 2012	6	24.7
2	4-5 Aprile 2013	26	29.5
3	18-20 Gennaio 2014	44	34.6
4	28 Febbraio – 2 Marzo 2014	43	68.9
5	18-19 Marzo 2018	23	27.4
6	1-2 Maggio 2018	33	20.0

*Bordoni et al., 2019*

PLAXIS

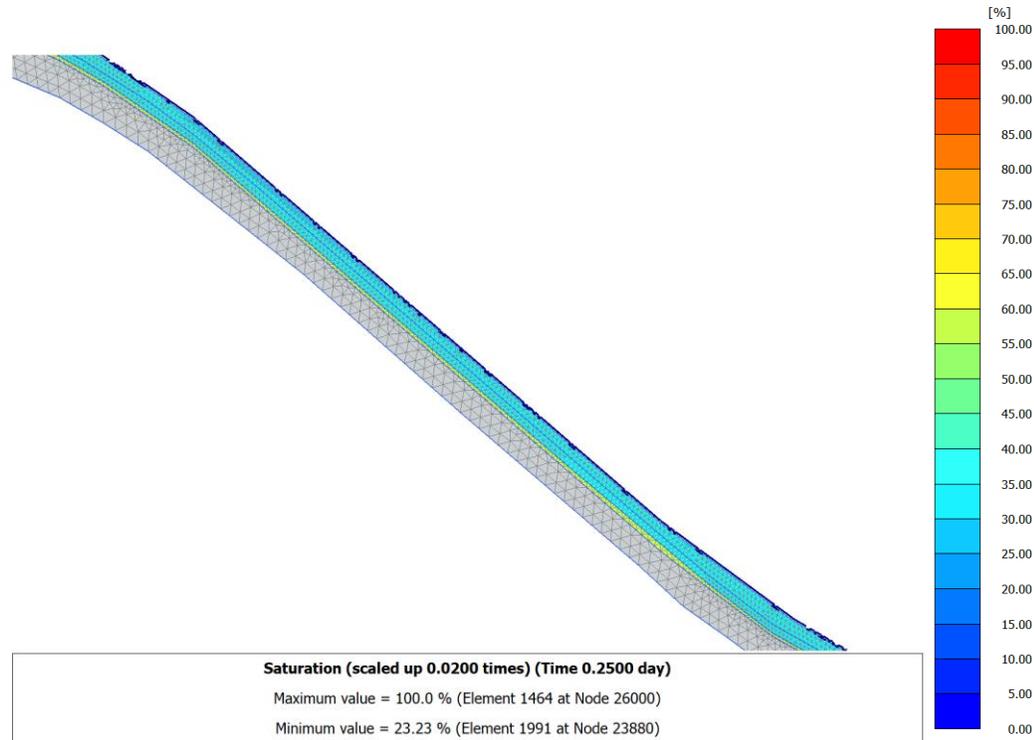
5'500 elementi 15-nodi  
45'000 nodi



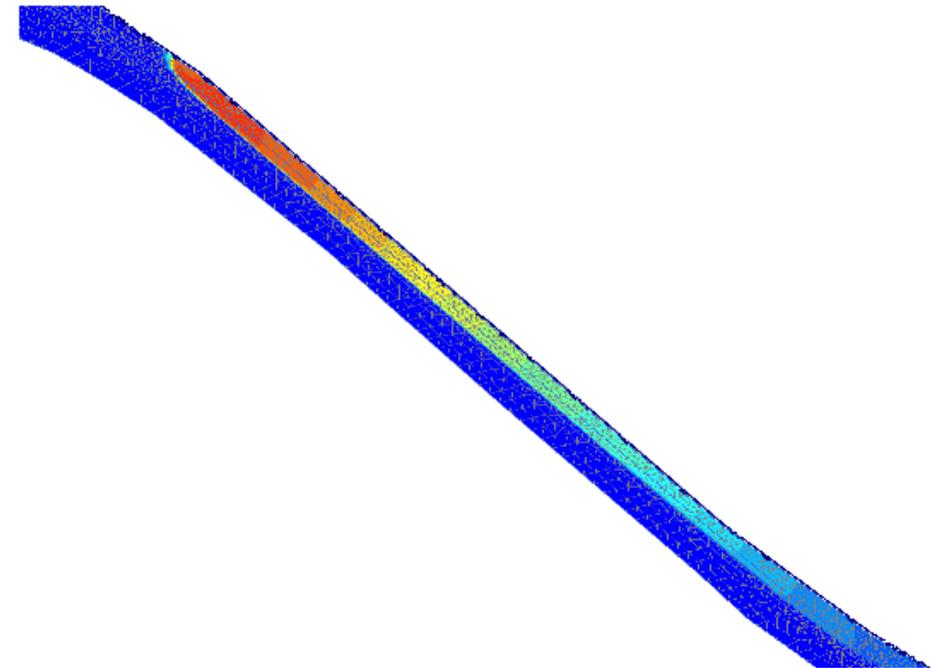
- Evento 1: 6h 24.7mm  
Pausa 320gg
- Evento 2: 26h 29.5mm  
Pausa 270gg
- Evento 3: 44h 34.6mm  
Pausa 30gg
- Evento 4: 43h 68.9mm  
Pausa 1400gg
- Evento 5: 23h 27.4mm



## Grado di saturazione



## Spostamenti incrementali

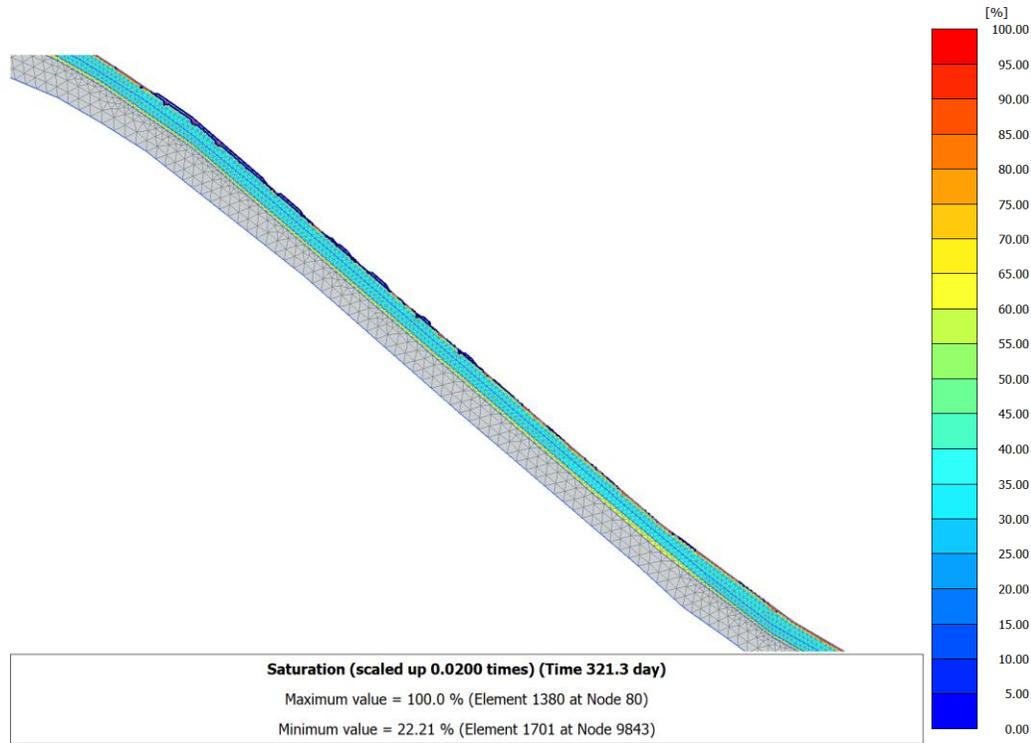


**FS = 1.286**

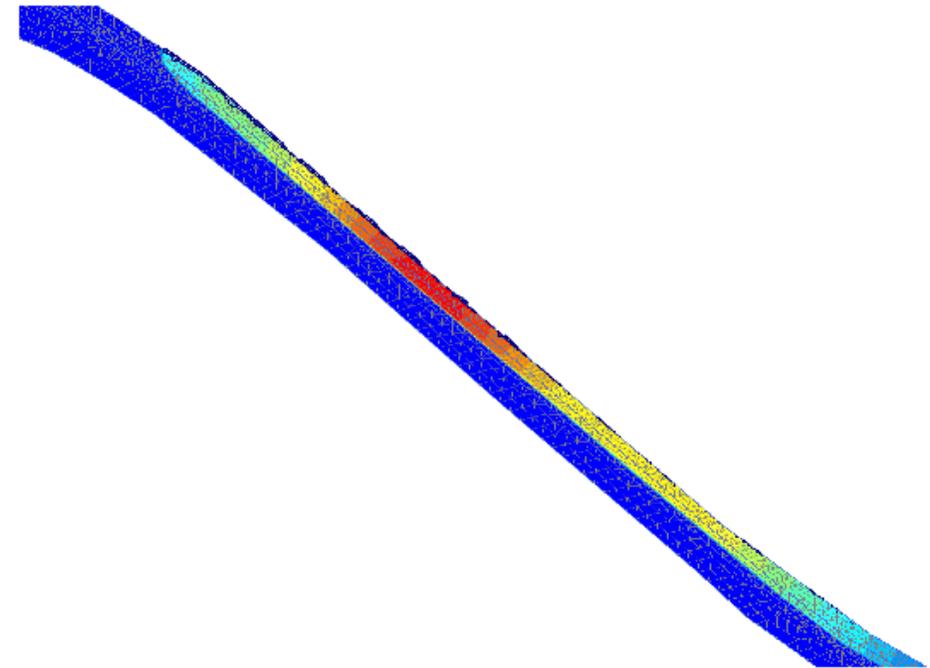
**Evento 1** 1 Maggio 2012  
6h 24.7mm

PLAXIS

## Grado di saturazione



## Spostamenti incrementali

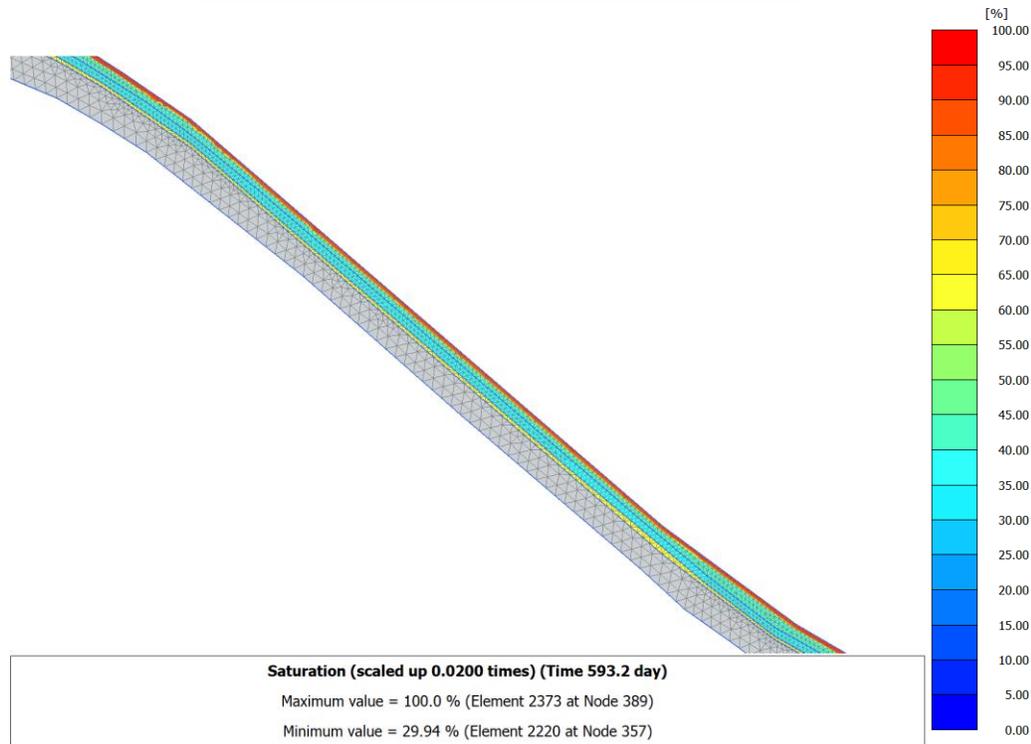


**FS = 1.268**

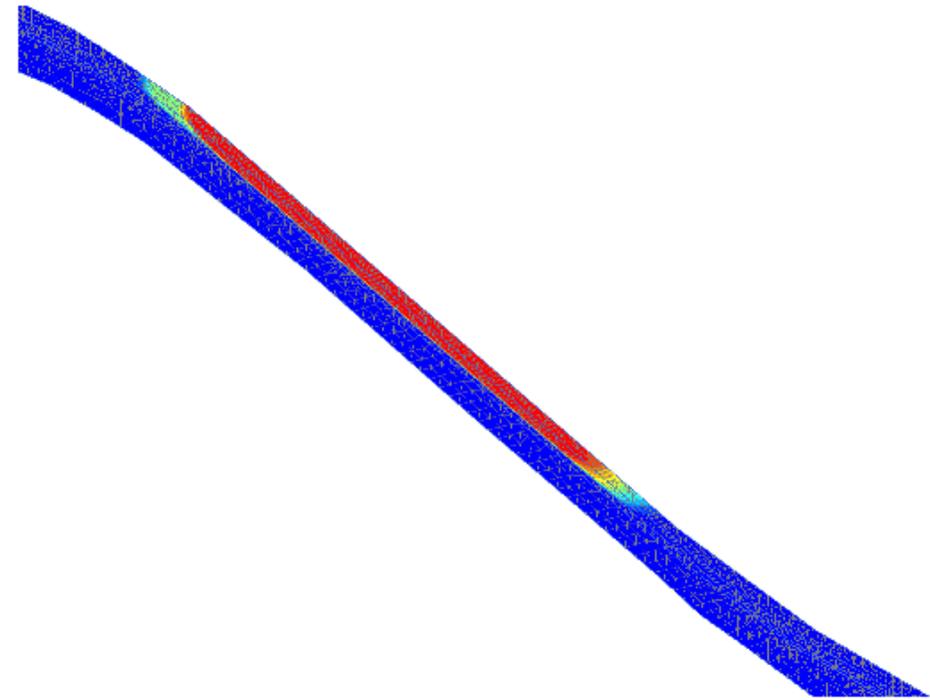
**Evento 2** 4-5 Aprile 2013  
26h 29.5mm

PLAXIS

## Grado di saturazione



## Spostamenti incrementali

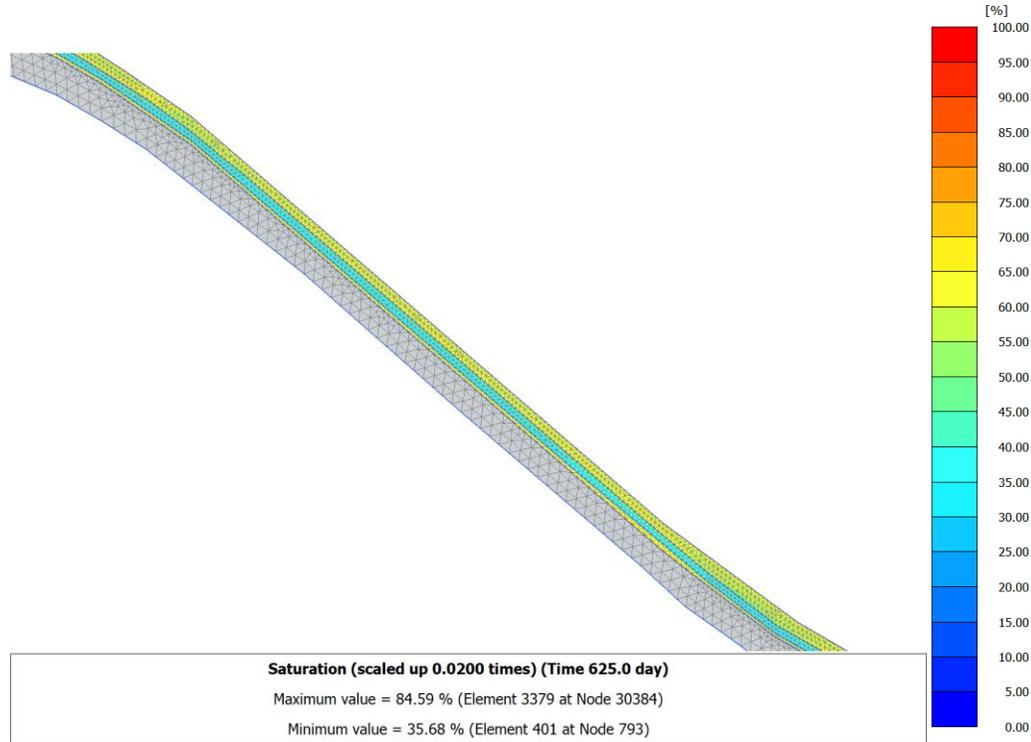


**FS = 1.117**

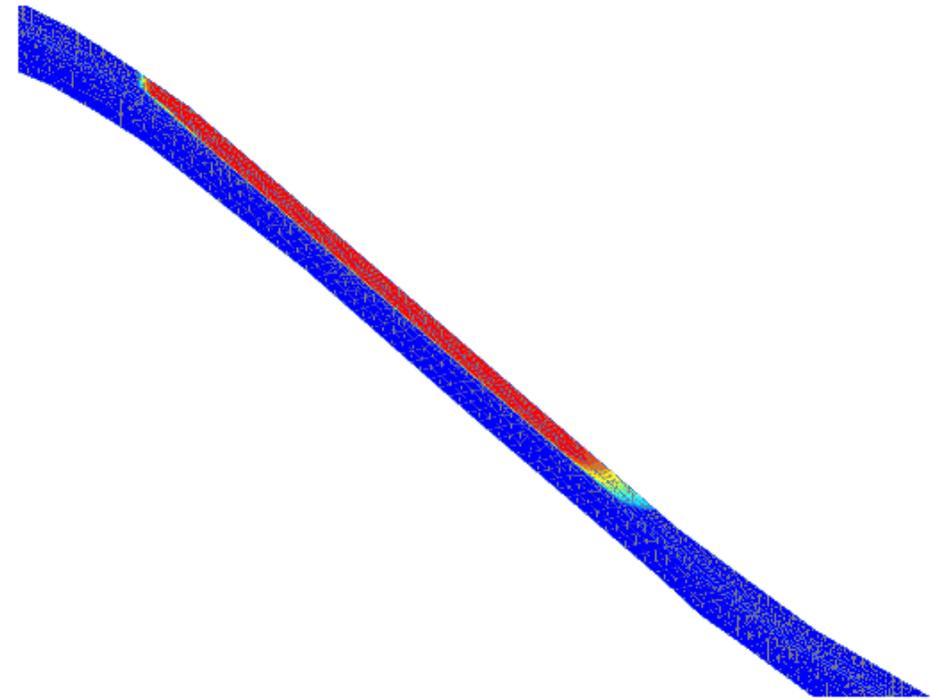
**Evento 3** 18-20 Gennaio 2014  
 44h 34.6mm

PLAXIS

## Grado di saturazione



## Spostamenti incrementali

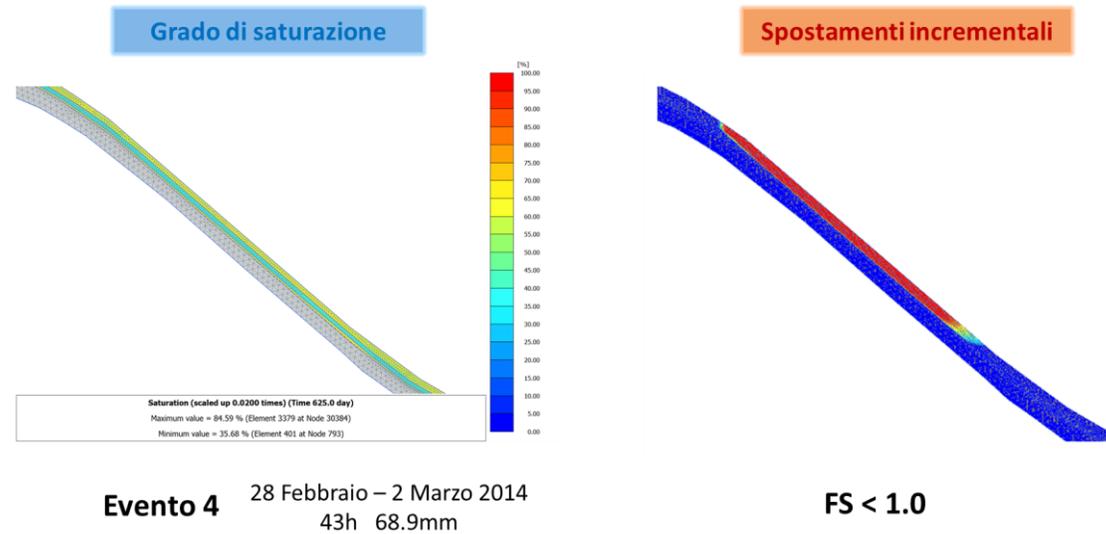


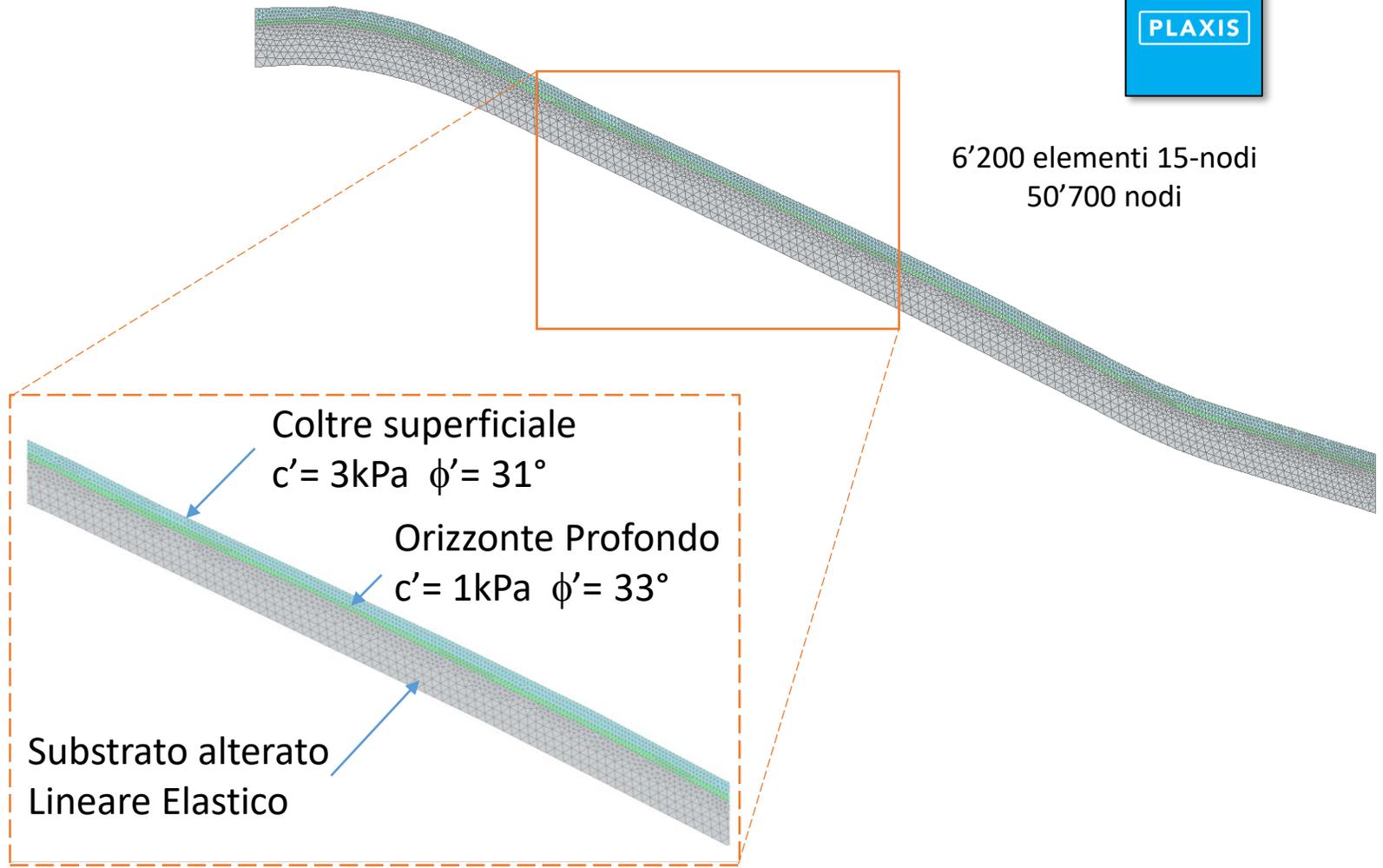
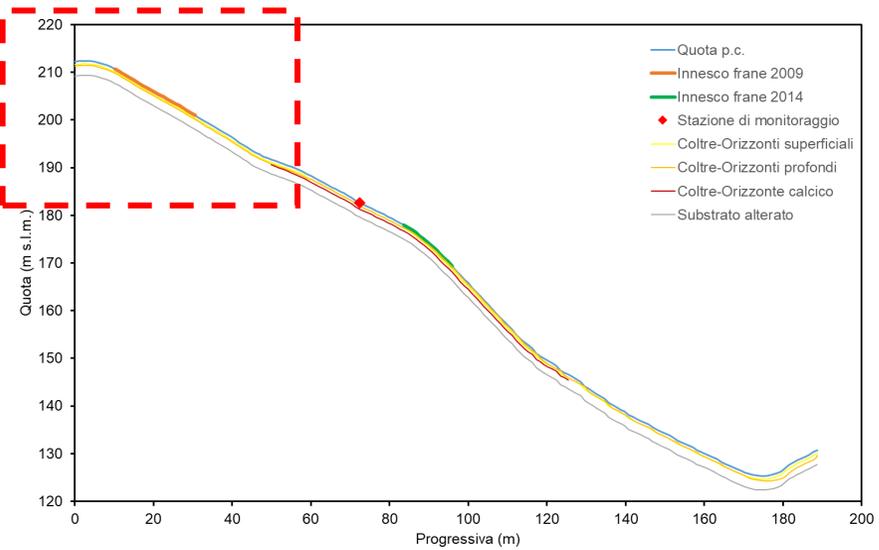
**FS < 1.0**

**Evento 4** 28 Febbraio – 2 Marzo 2014  
 43h 68.9mm

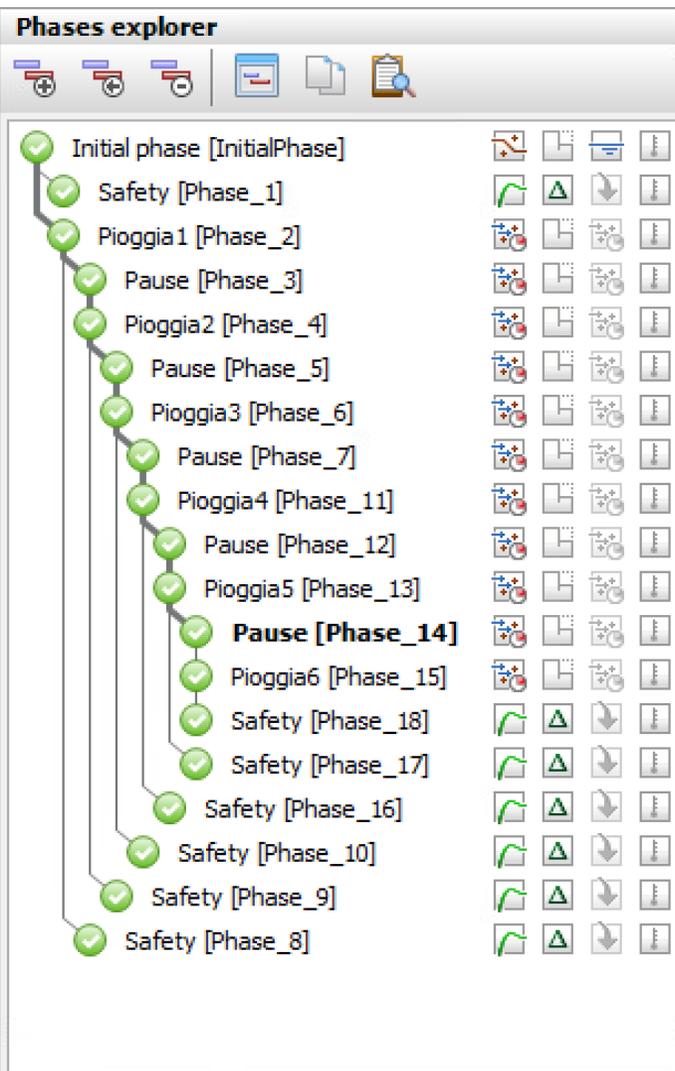
PLAXIS

Rainfall event	Data	Durata (h)	Precipitazione cumulata (mm)	FS
1	1 Maggio 2012	6	24.7	1.286
2	4-5 Aprile 2013	26	29.5	1.268
3	18-20 Gennaio 2014	44	34.6	1.117
4	28 Febbraio – 2 Marzo 2014	43	68.9	< 1.0





PLAXIS



Rainfall event	Durata (h)	Precipitazione cumulata (mm)	Pausa tra gli eventi
1	44	34.6	30 gg
2	44	34.6	
3	44	34.6	
4	44	34.6	
5	44	34.6	
6	44	34.6	

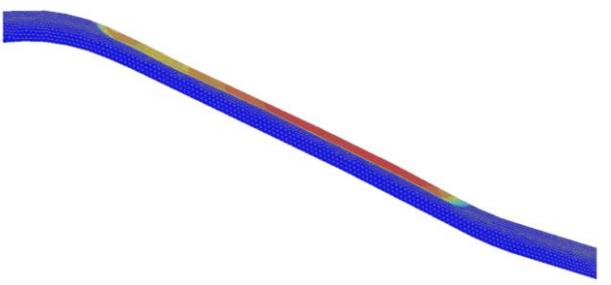
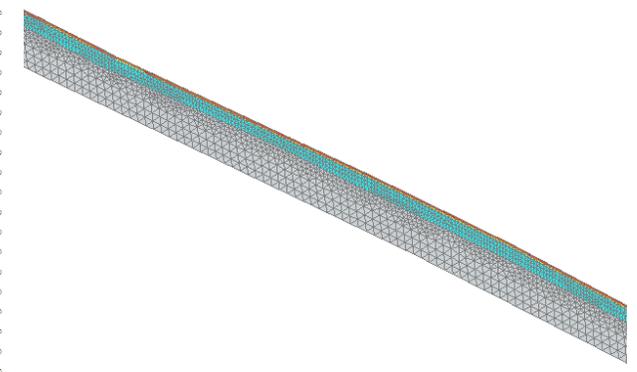
Grado di saturazione

Spostamenti incrementali

PLAXIS

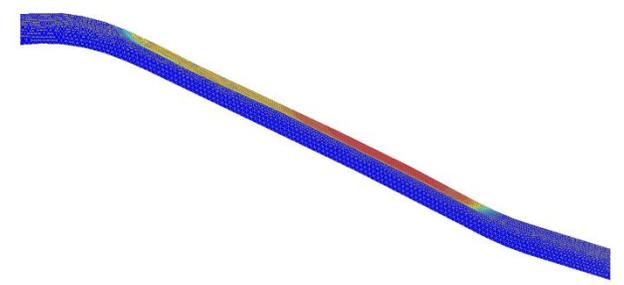
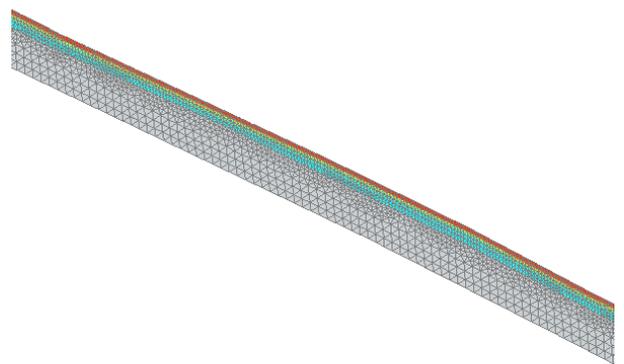


Evento 1



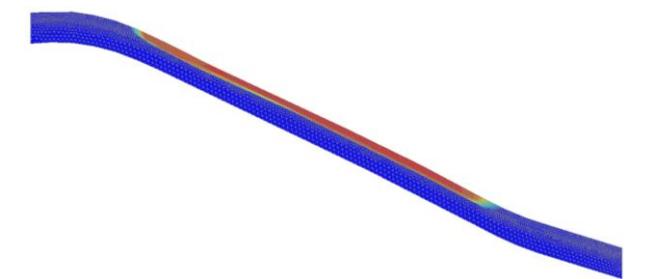
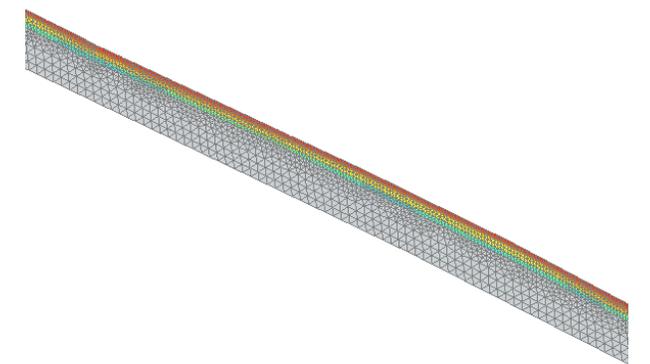
FS = 2.245

Evento 2



FS = 2.043

Evento 3



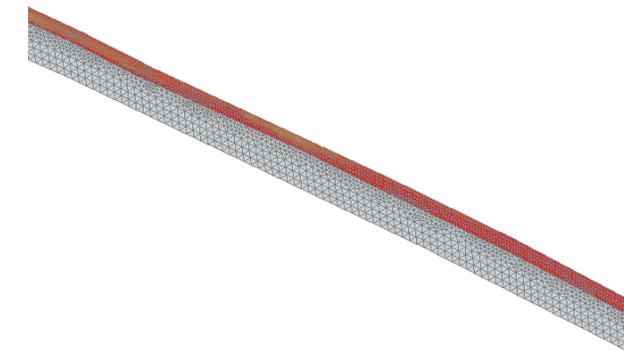
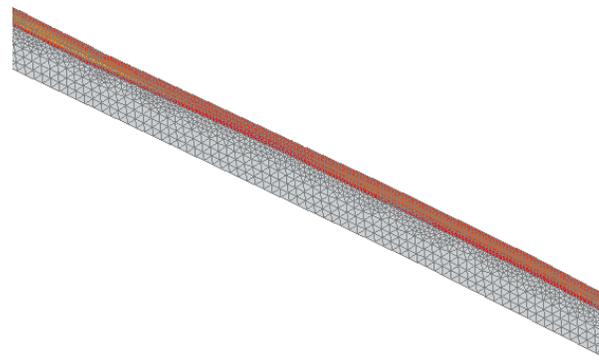
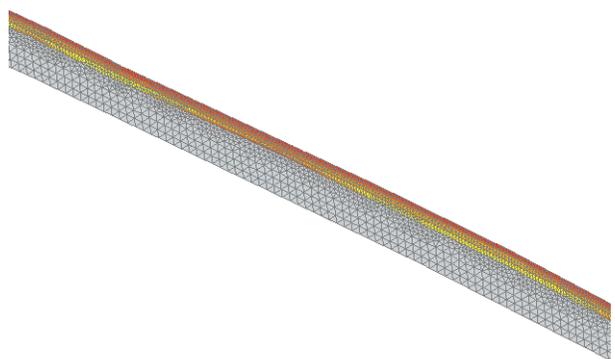
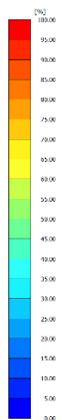
FS = 1.829

Evento 4

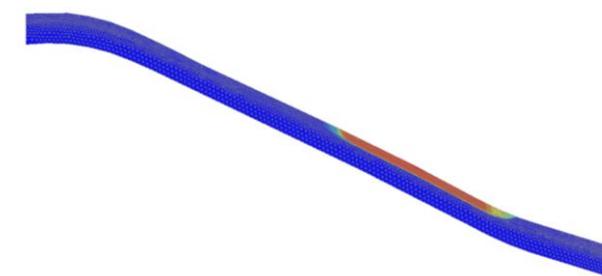
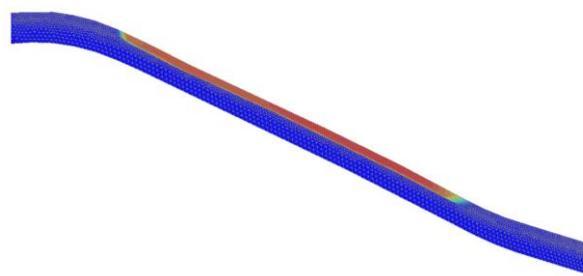
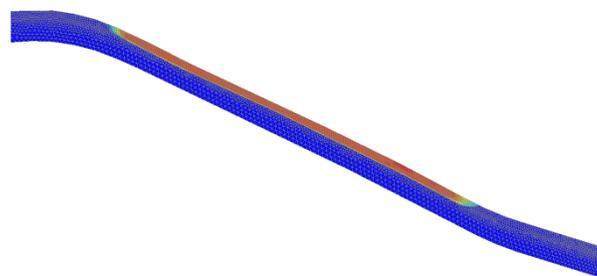
Evento 5

Evento 6

Grado di saturazione



Spostamenti incrementali



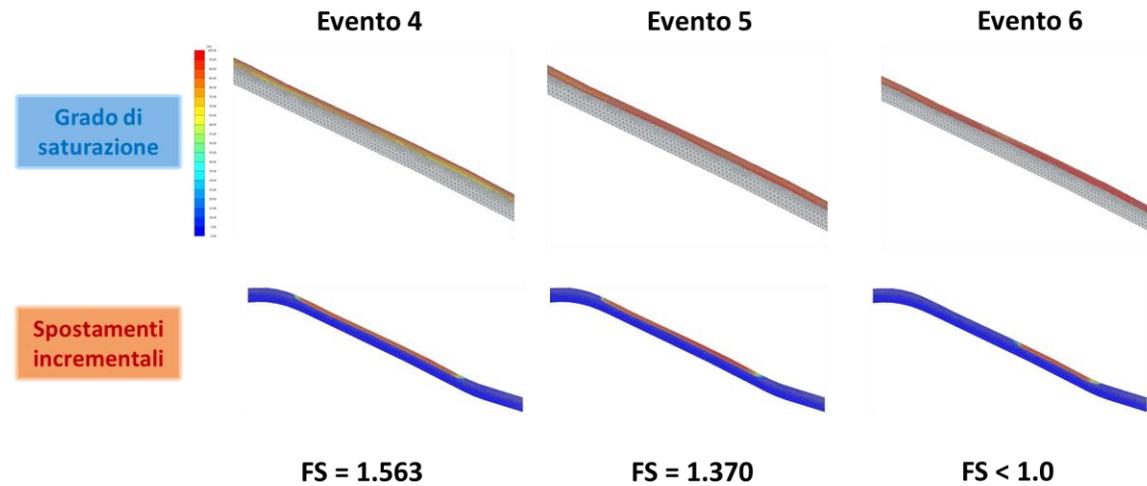
FS = 1.563

FS = 1.370

FS < 1.0

PLAXIS

Rainfall event	Durata (h)	Precipitazione cumulata (mm)	FS
1	44	34.6	2.245
2	44	34.6	2.043
3	44	34.6	1.829
4	44	34.6	1.563
5	44	34.6	1.370
6	44	34.6	< 1.0



L'analisi numerica consente di tener conto delle condizioni di parziale saturazione e di tener conto dell'effetto della suzione sulla stabilità del pendio per l'individuazione dell'evento piovoso critico che induce l'innesco del cinematisimo.

È dunque possibile valutare l'effetto delle precipitazioni per qualunque geometria del sito e stratificazione del sottosuolo.

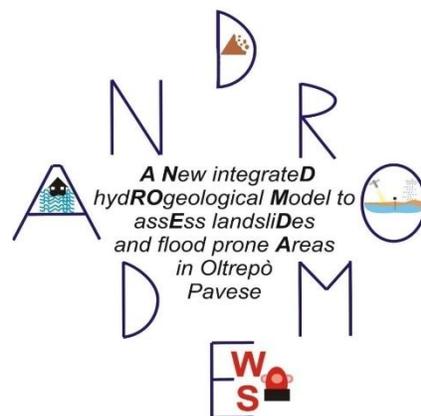
Sono di fondamentale importanza i risultati di misure in situ per la corretta calibrazione dei parametri del modello.

Il contributo stabilizzante dell'apparato radicale può essere considerato attraverso un valore di coesione efficace che spiega la stabilità del pendio con pendenze anche molto superiori a quelle teoriche di equilibrio.

Il contributo della suzione svanisce con la progressiva saturazione del terreno, innescando movimenti franosi al raggiungimento di valori del grado di sicurezza prossimi all'unità qualora il contributo delle radici non consenta da solo di garantire l'equilibrio.

Le condizioni idrologiche dei terreni antecedenti un evento di pioggia hanno un ruolo primario nel predisporre o prevenire instabilità del pendio superficiale.

Fondazione  
**CARIPLO**



# Grazie per la cortese attenzione



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA



Il progetto ANDROMEDA: nuovi metodi di previsione di frane superficiali e alluvioni