

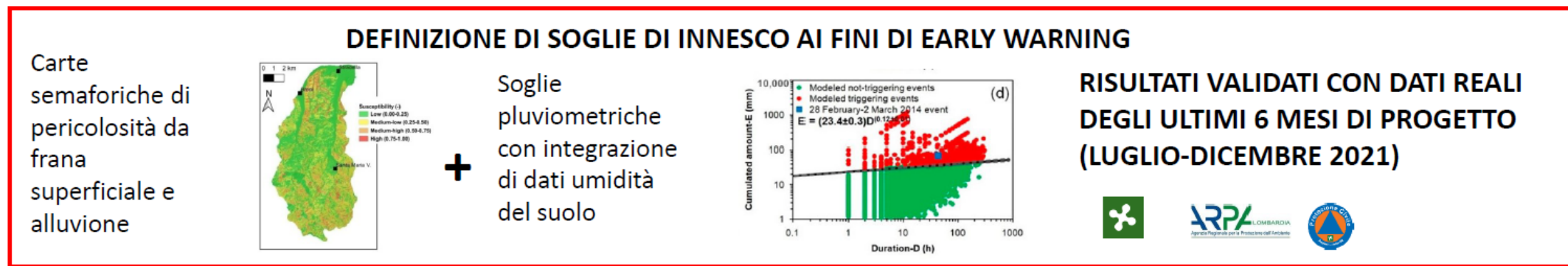
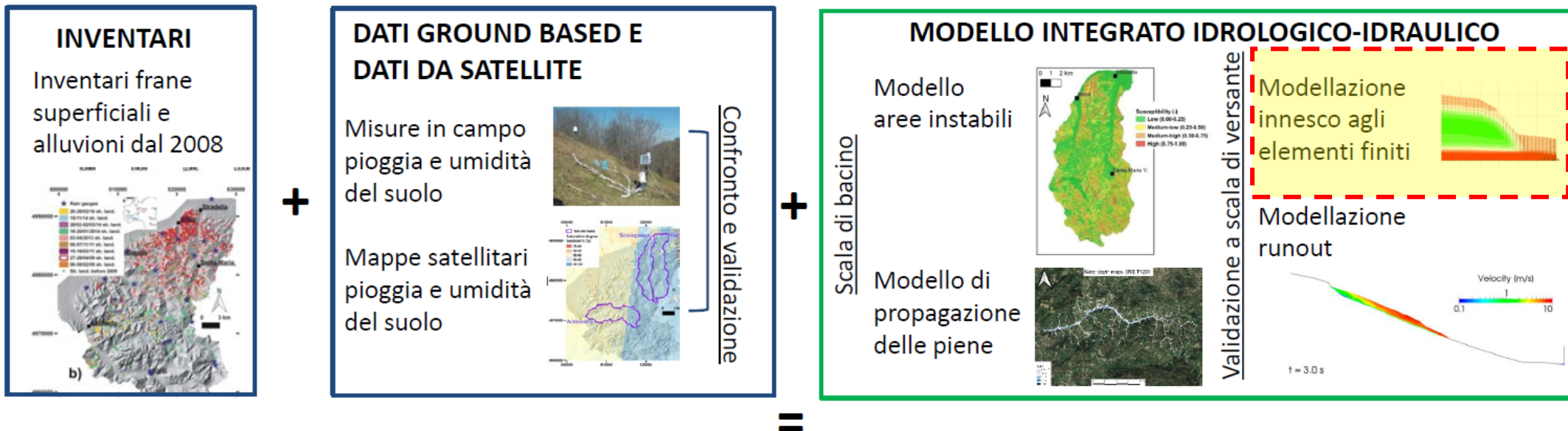
Analisi numeriche per la stima delle soglie pluviometriche del versante di Montuè

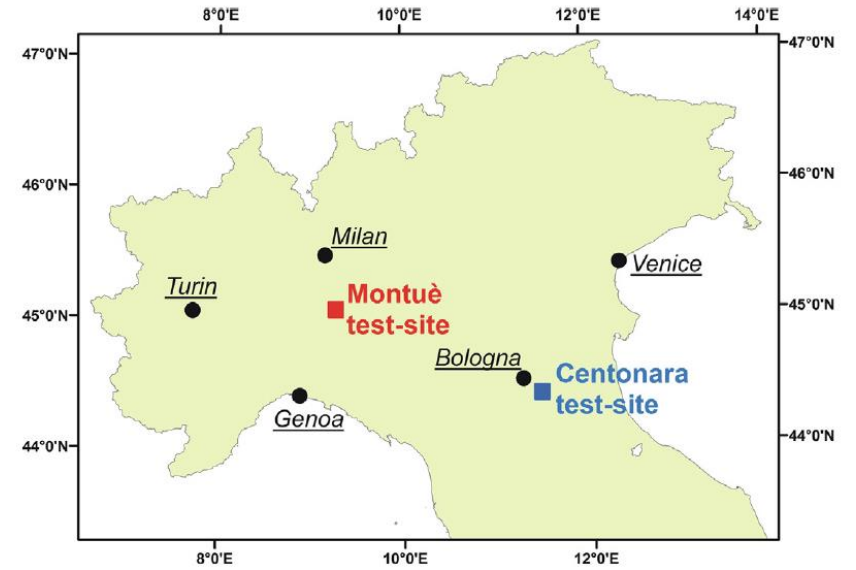
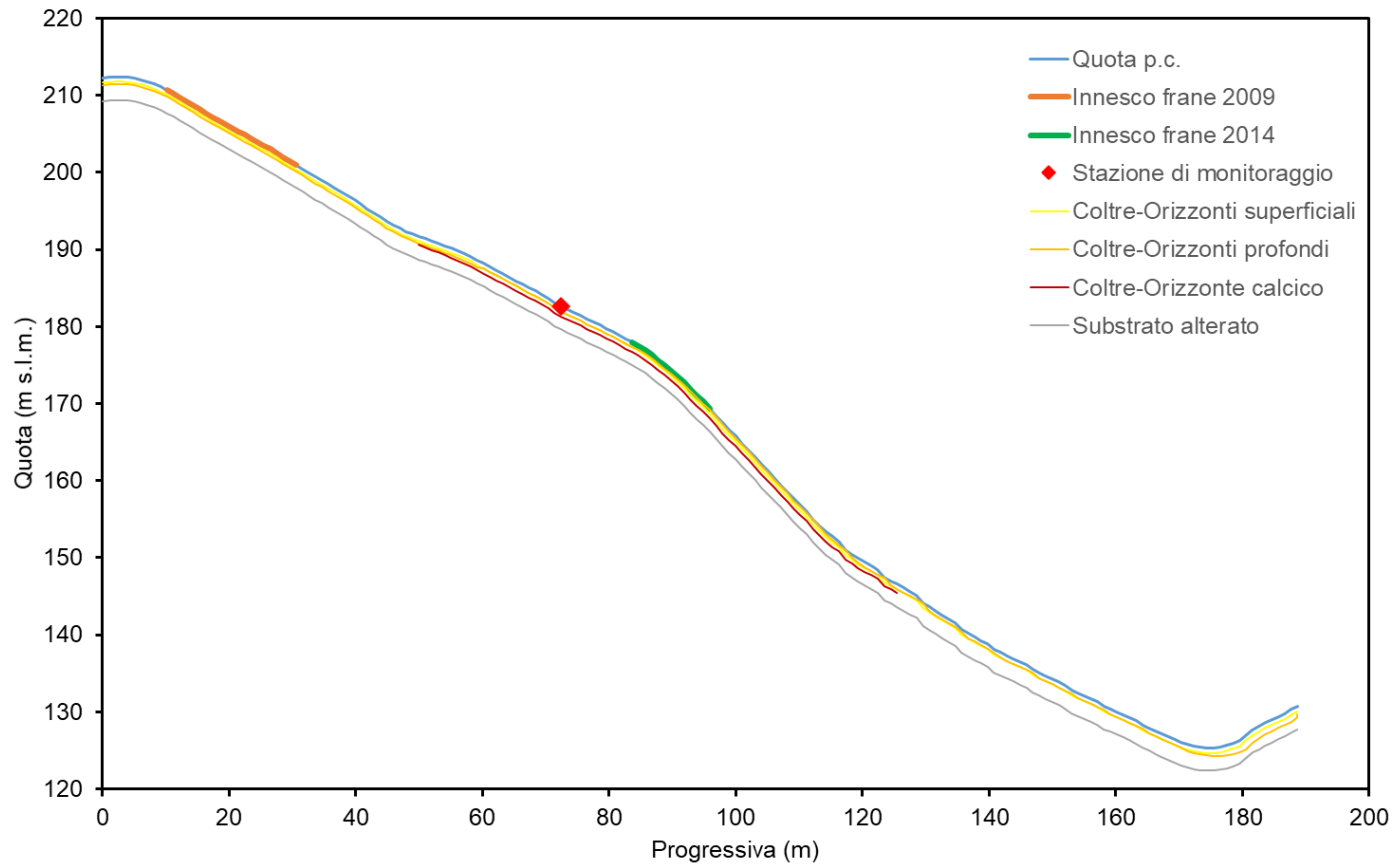
Prof. Domenico Giofrè – Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura DICAr



UNIVERSITÀ
DI PAVIA



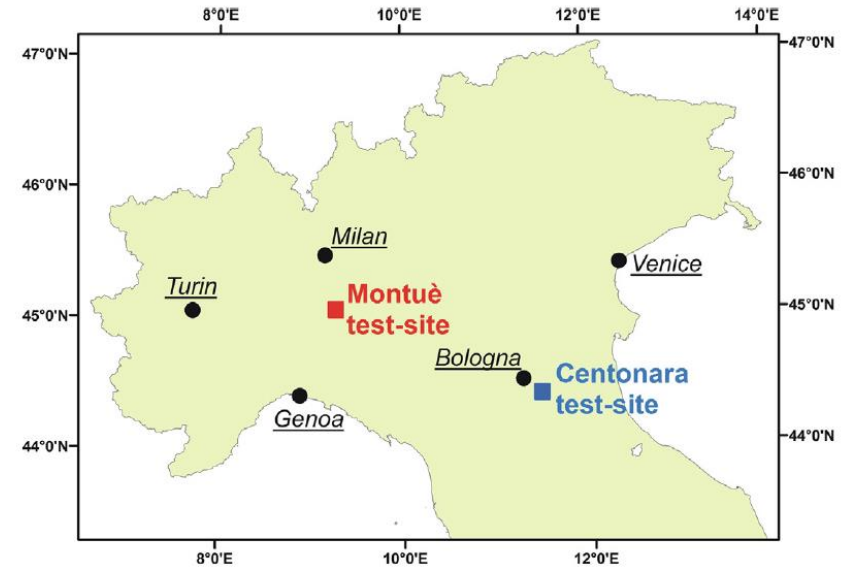
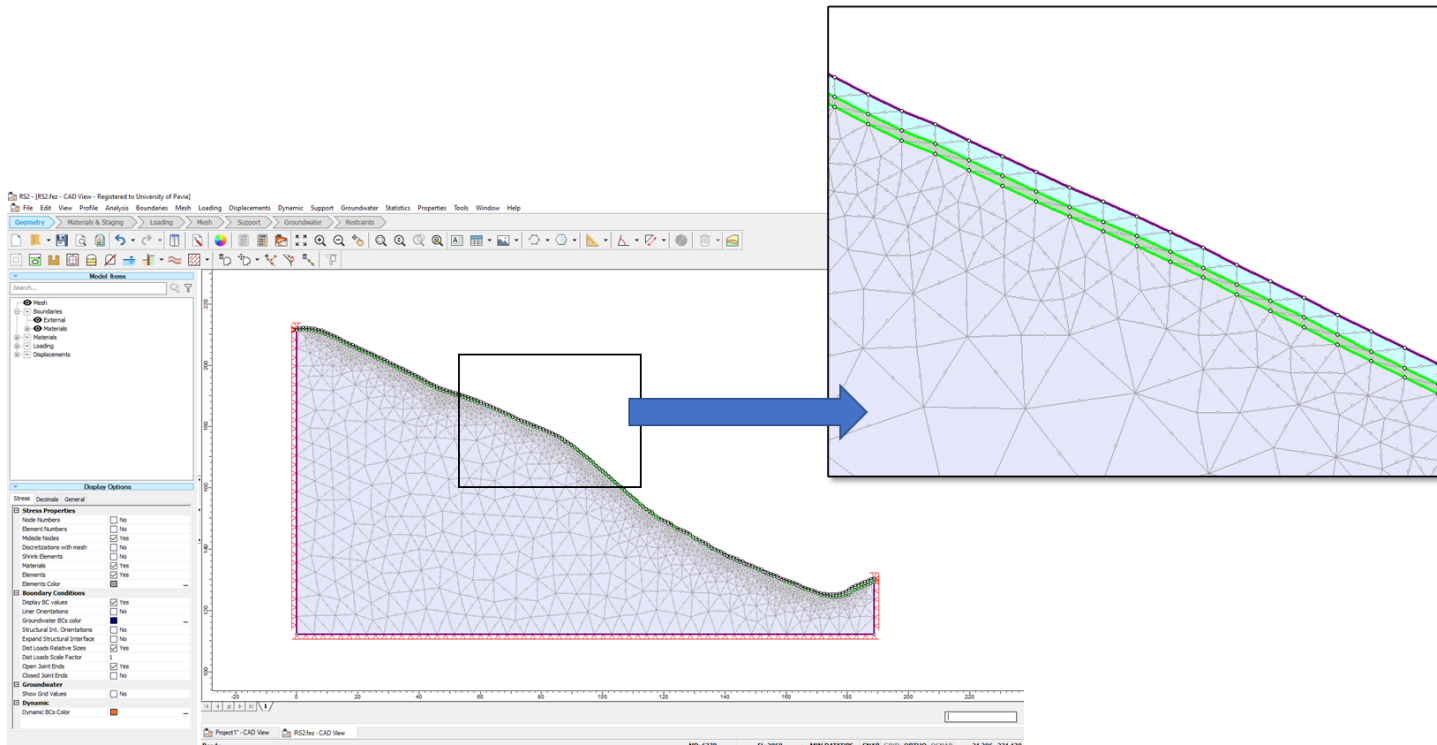




Valutazione dei meccanismi di innesco

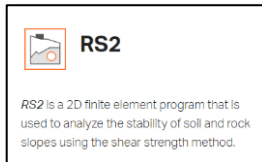
Variazione del fattore di sicurezza

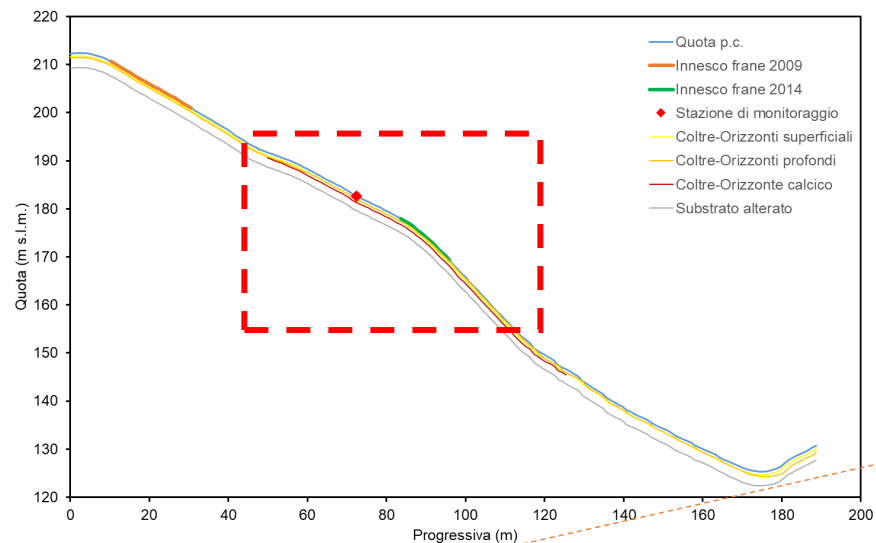
Modello numerico



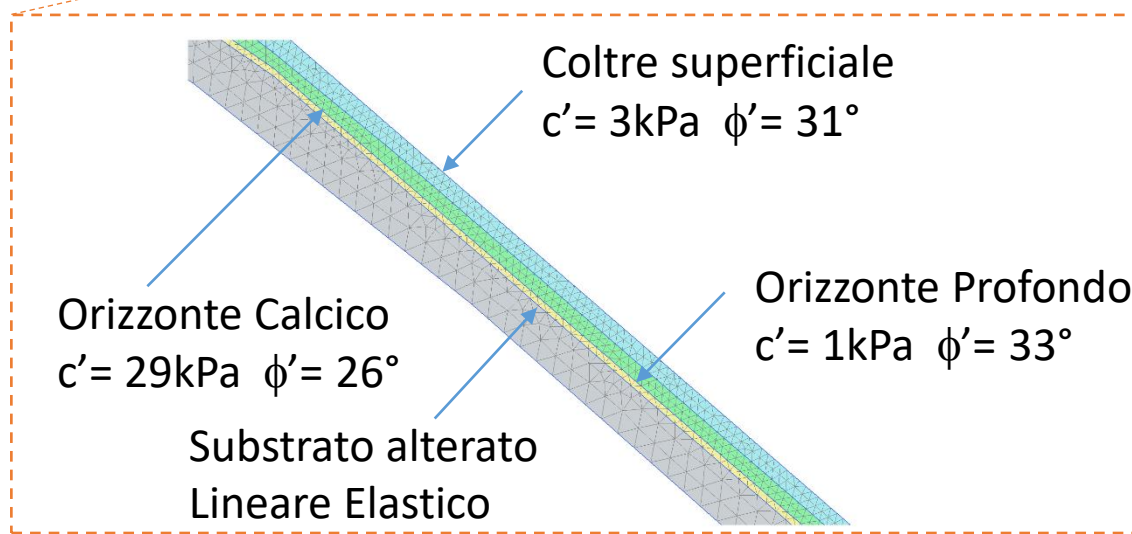
Valutazione dei meccanismi di innesco

Variatione 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

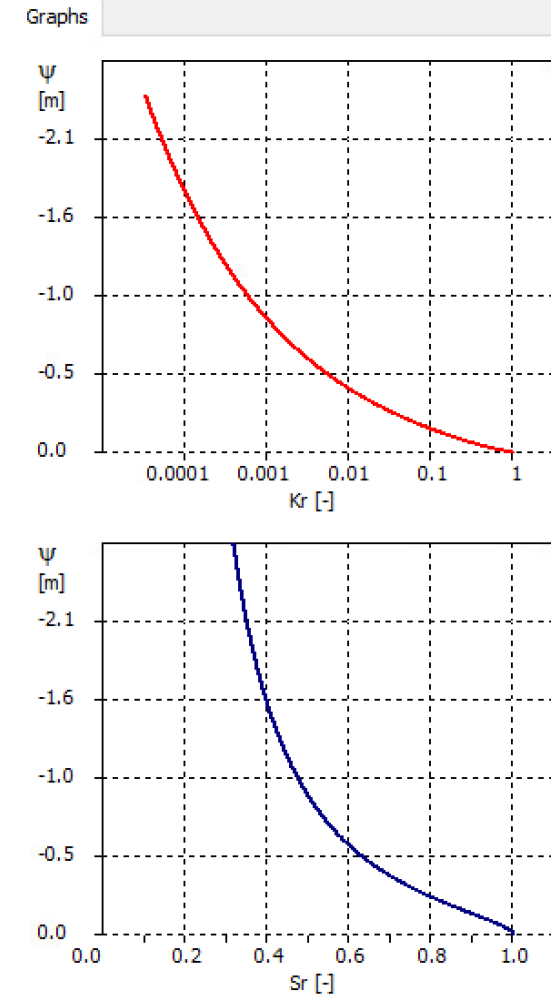
Hydraulic Conductivity Functions (HCFs) – Conducibilità idraulica

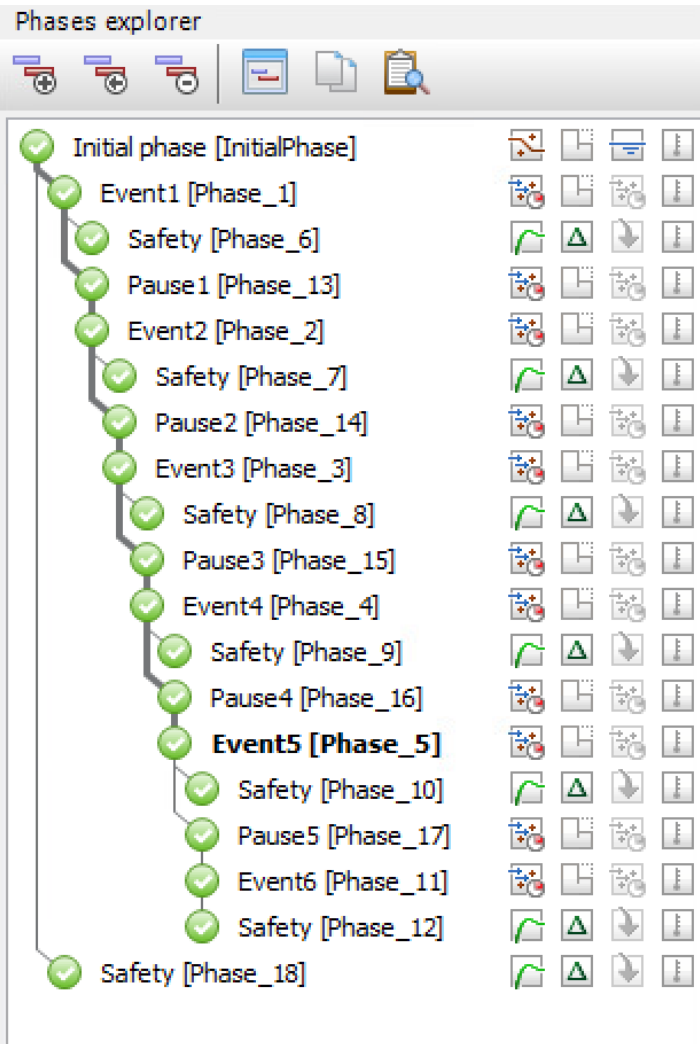
Valutate considerando i risultati delle indagini ed implementate nel software Plaxis con le equazioni di Van Genuchten's (1980)

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

	MDC					MWC				
	α_d kPa ⁻¹	n_d	θ_{sd} m ³ ·m ⁻³	θ_{rd} m ³ ·m ⁻³	RMSE m ³ ·m ⁻³	α_w kPa ⁻¹	n_w	θ_{sw} m ³ ·m ⁻³	θ_{rw} m ³ ·m ⁻³	RMSE m ³ ·m ⁻³
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



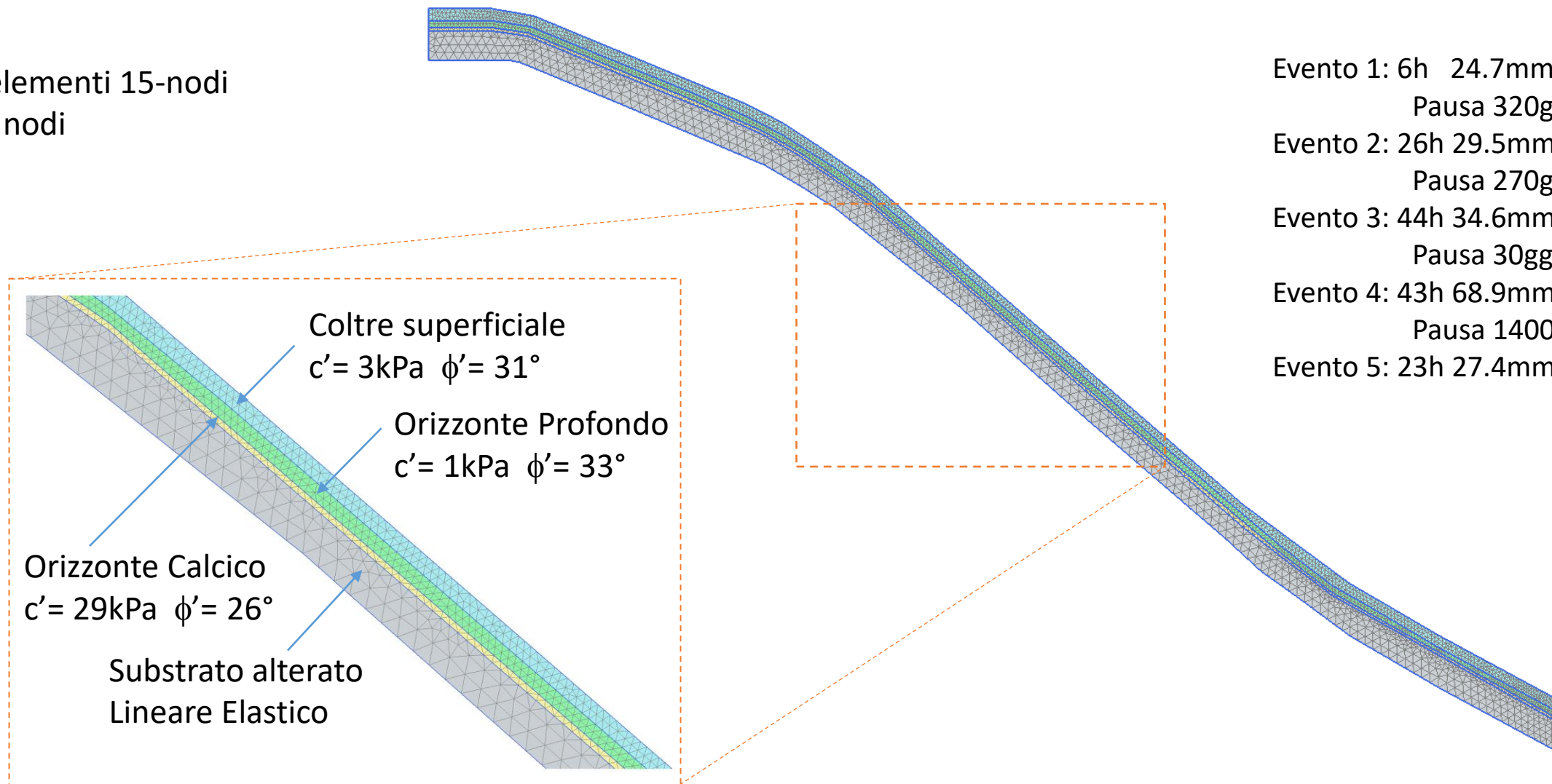


Rainfall event	Data	Durata (h)	Precipitazione cumulata (mm)
1	1 Maggio 2012	6	24.7
2	4-5 Aprile 2013	26	29.5
3	18-20 Gennaio 2014	44	34.6
4	28 Febbraio – 2 Marzo 2014	43	68.9
5	18-19 Marzo 2018	23	27.4
6	1-2 Maggio 2018	33	20.0

Bordoni et al., 2019

PLAXIS

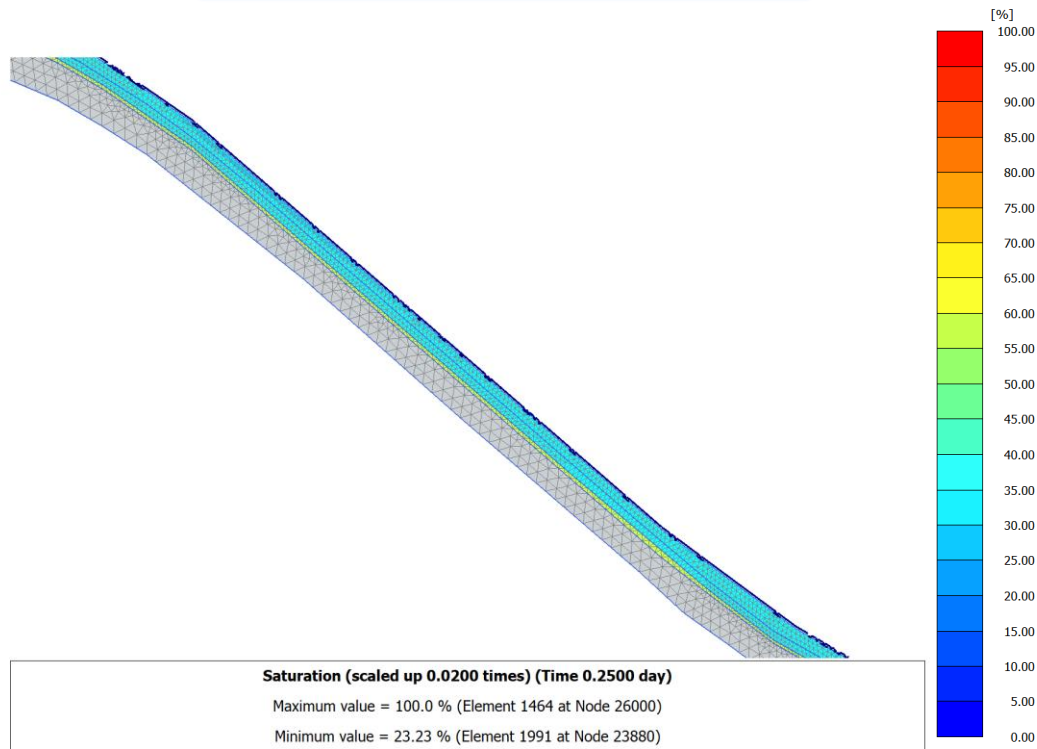
5'500 elementi 15-nodi
45'000 nodi



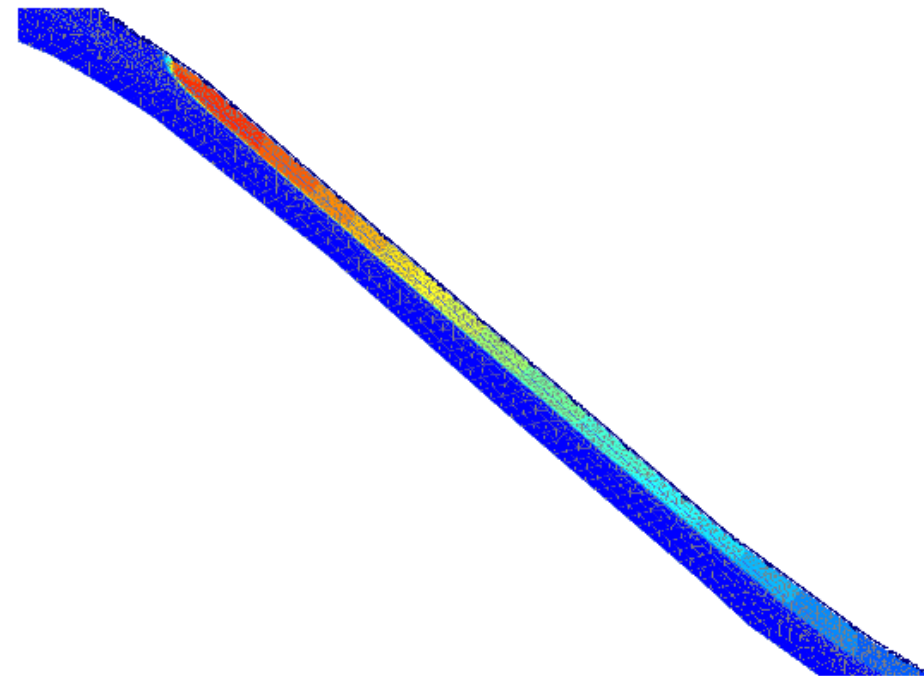
- Evento 1: 6h 24.7mm
Pausa 320gg
- Evento 2: 26h 29.5mm
Pausa 270gg
- Evento 3: 44h 34.6mm
Pausa 30gg
- Evento 4: 43h 68.9mm
Pausa 1400gg
- Evento 5: 23h 27.4mm



Grado di saturazione



Spostamenti incrementali

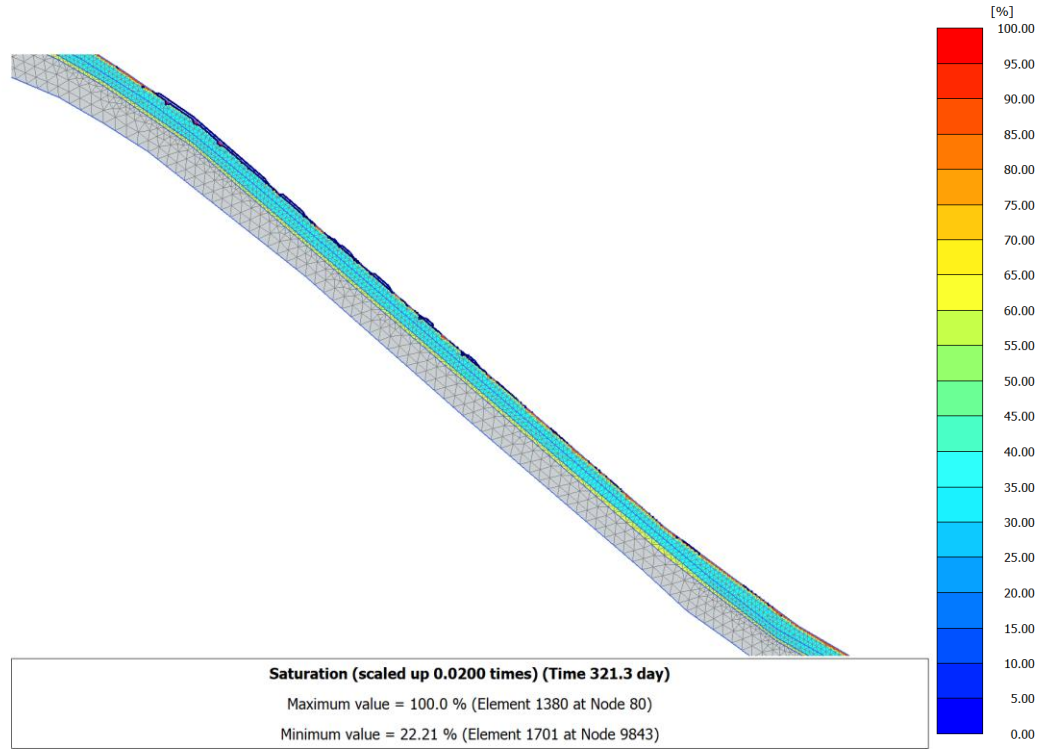


FS = 1.286

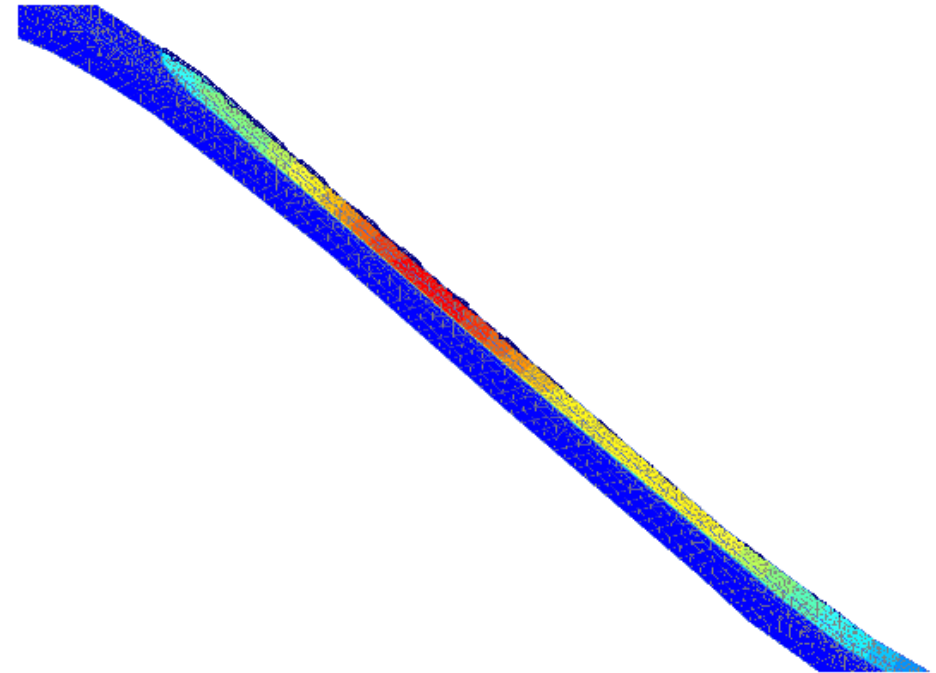
Evento 1 1 Maggio 2012
 6h 24.7mm

PLAXIS

Grado di saturazione



Spostamenti incrementali

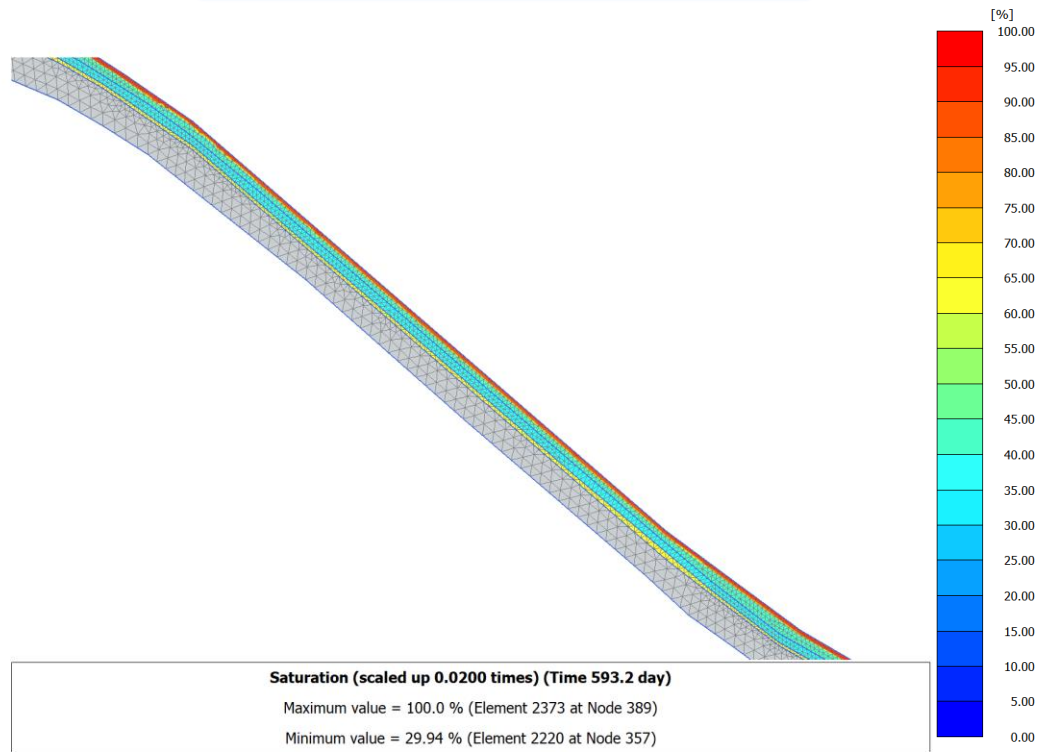


FS = 1.268

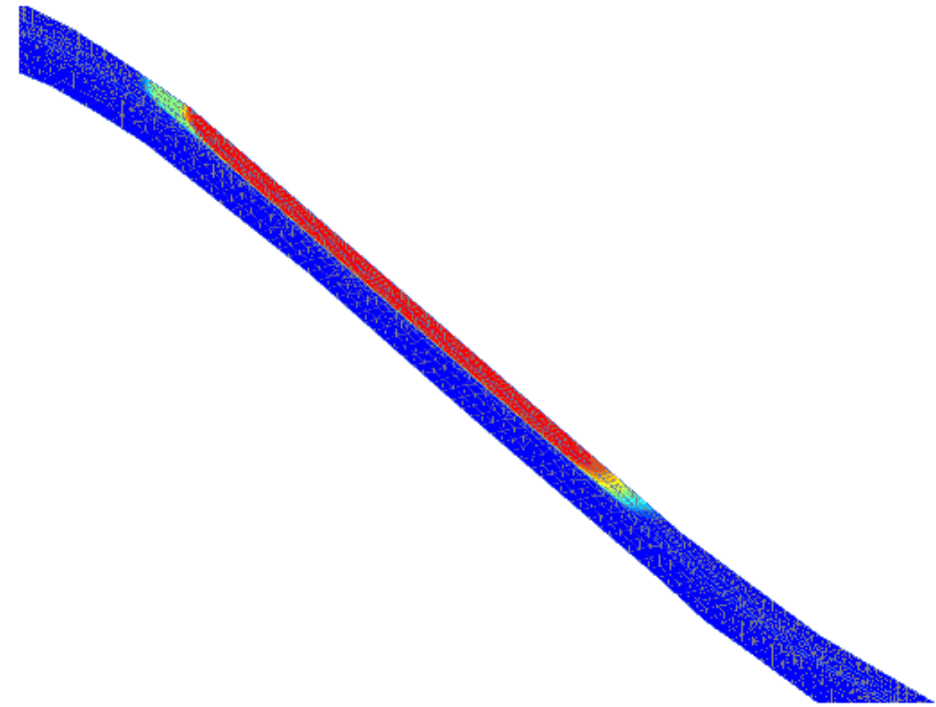


Evento 2 4-5 Aprile 2013
 26h 29.5mm

Grado di saturazione



Spostamenti incrementali

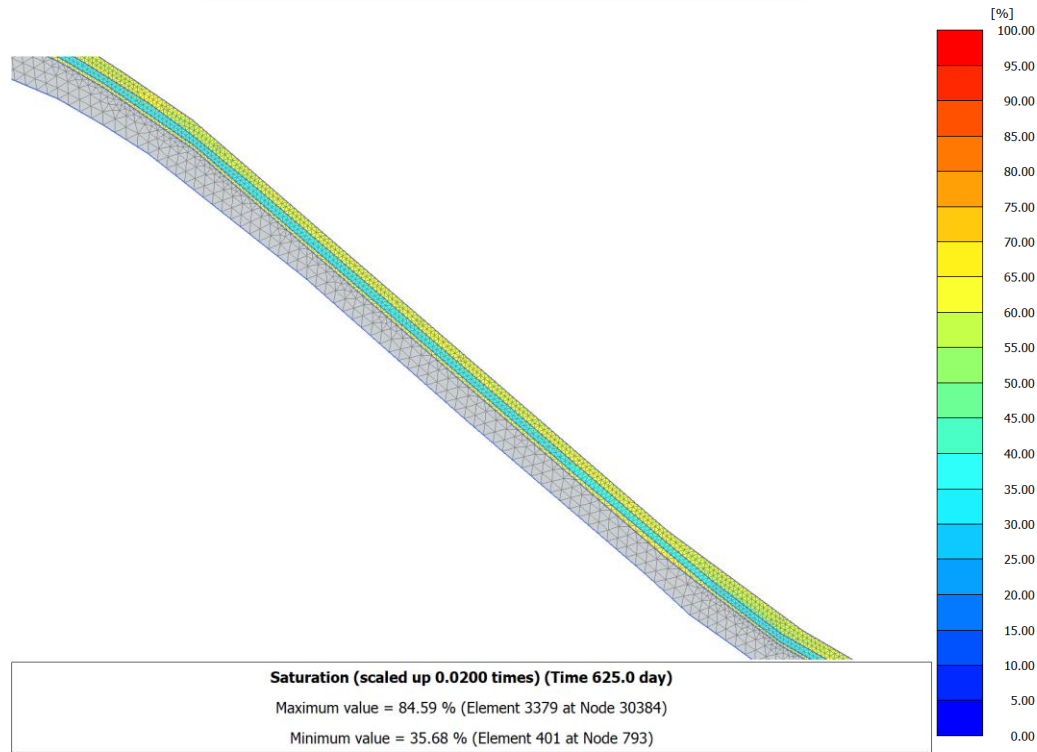


FS = 1.117

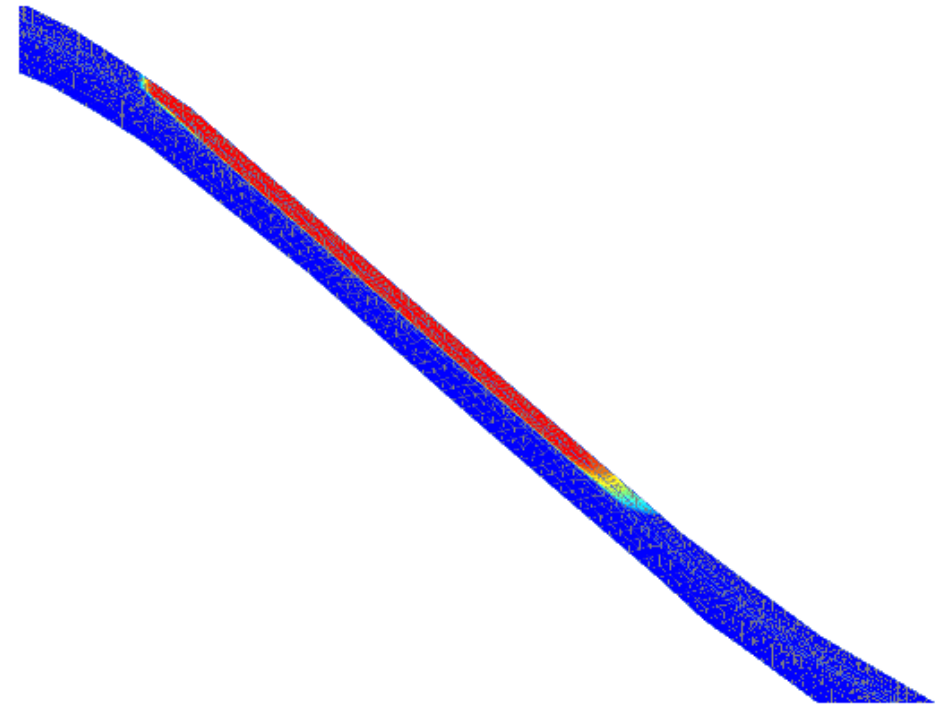
Evento 3 18-20 Gennaio 2014
 44h 34.6mm

PLAXIS

Grado di saturazione



Spostamenti incrementali

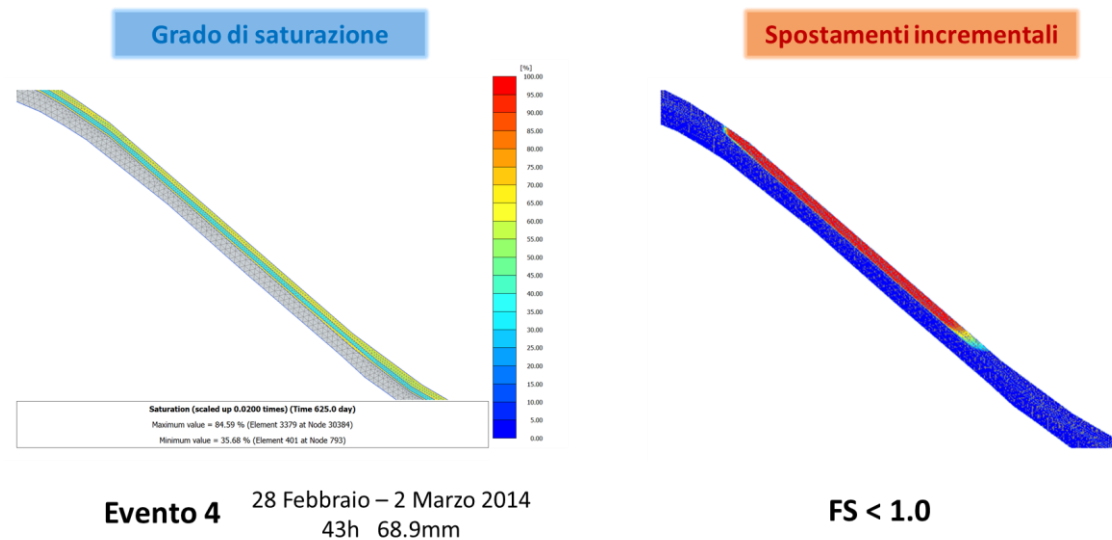


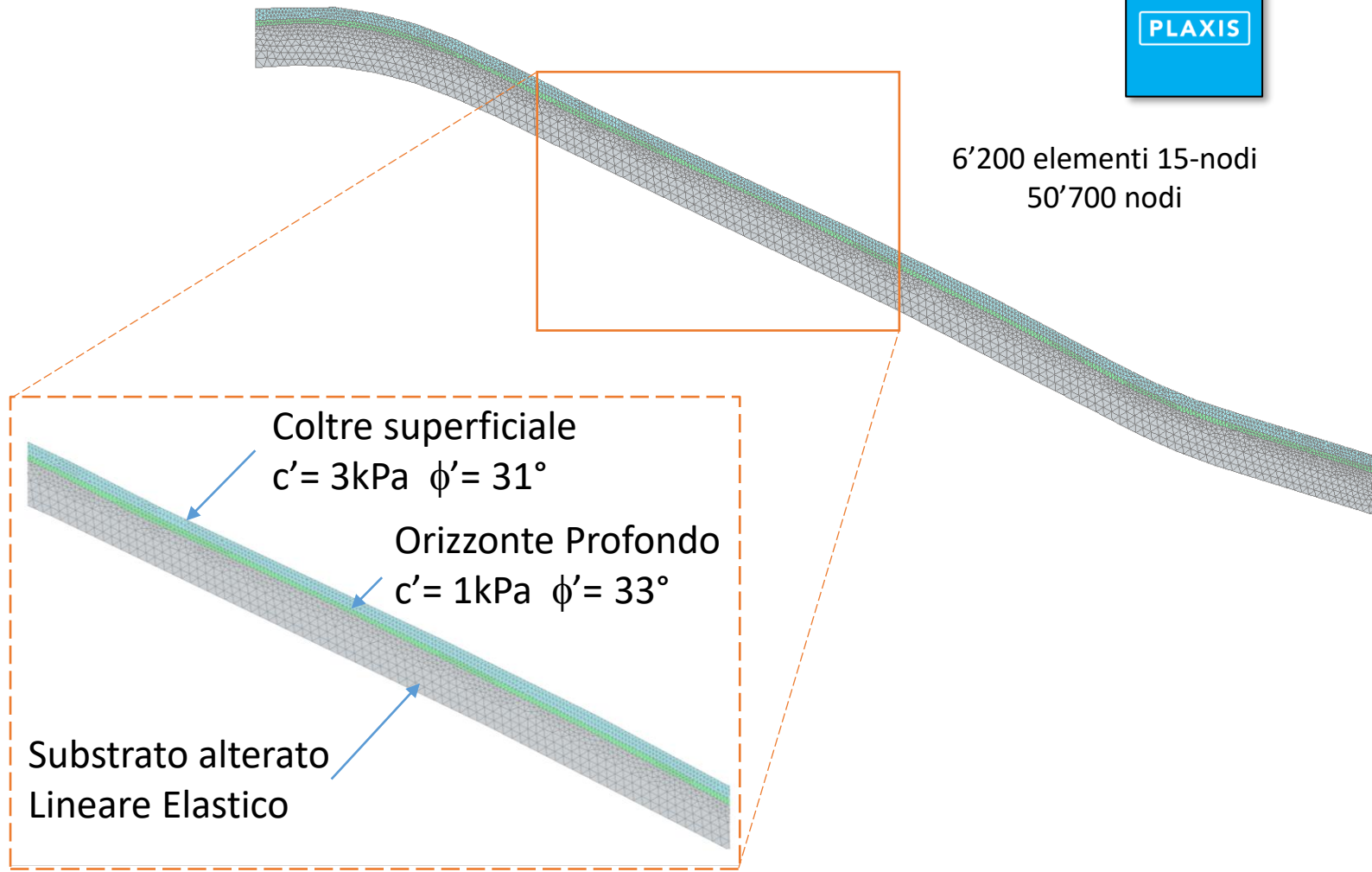
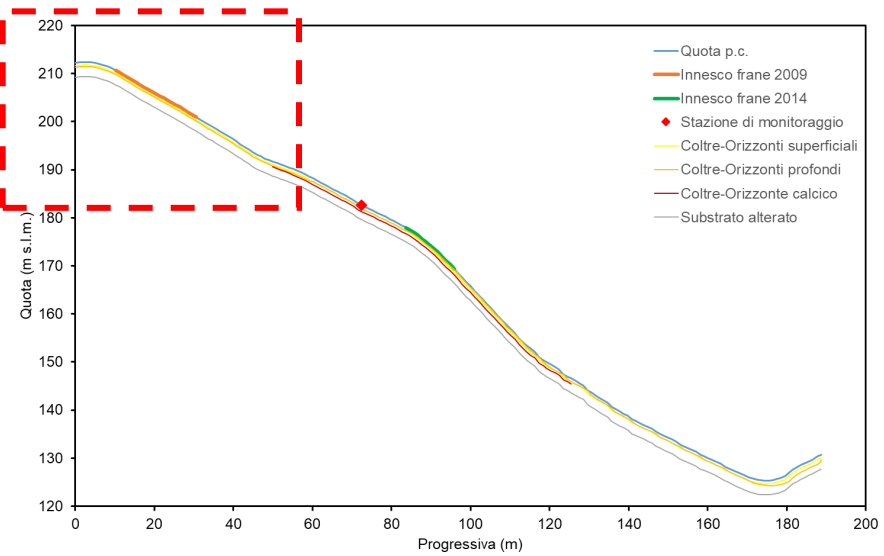
FS < 1.0

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

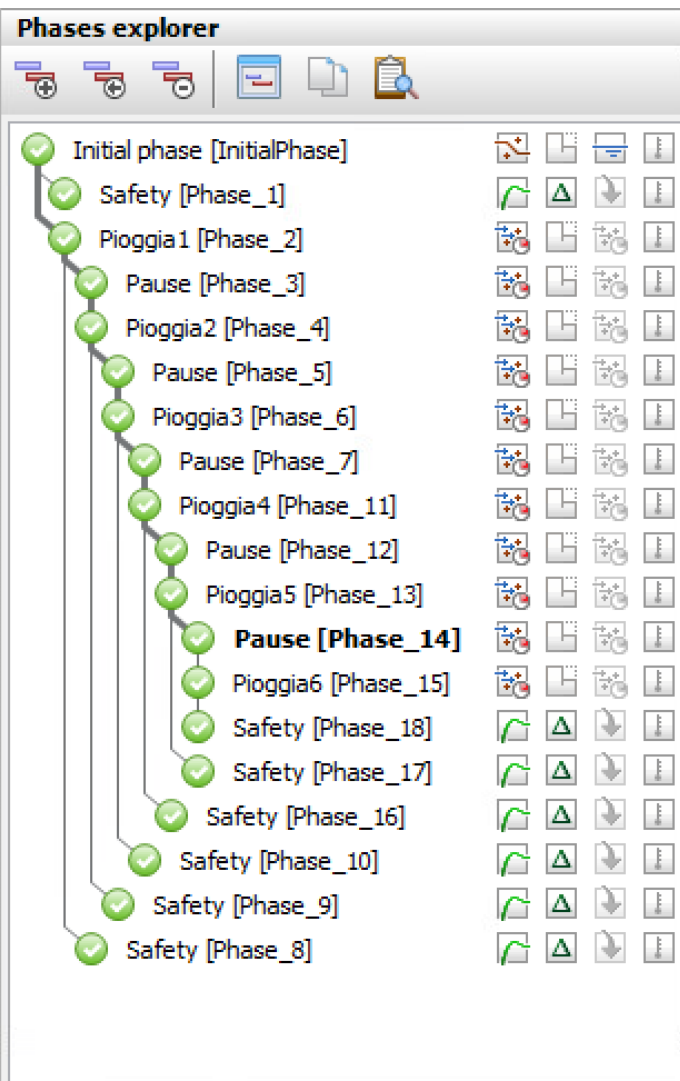
PLAXIS

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	

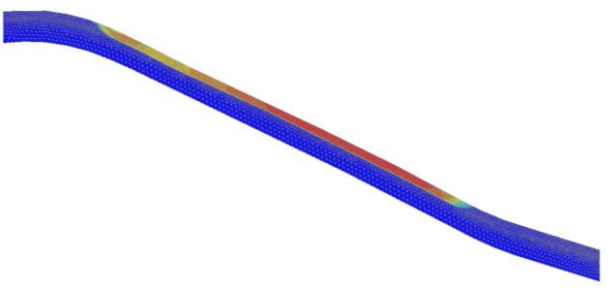
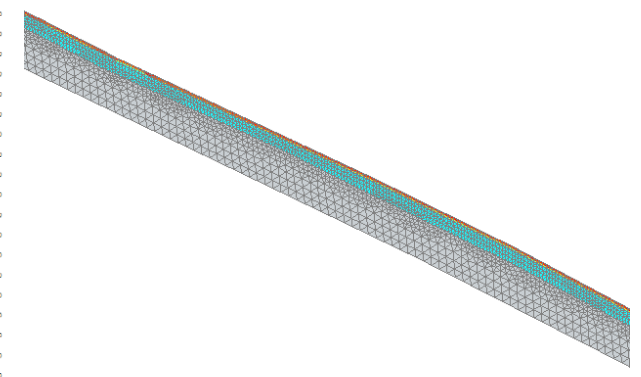
Grado di saturazione

Spostamenti incrementali

PLAXIS

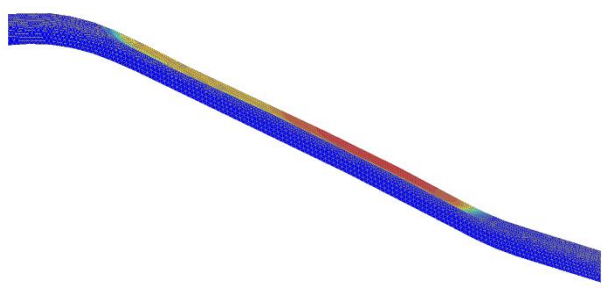
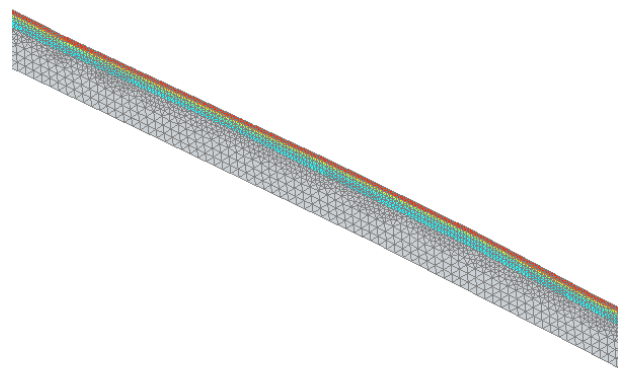


Evento 1



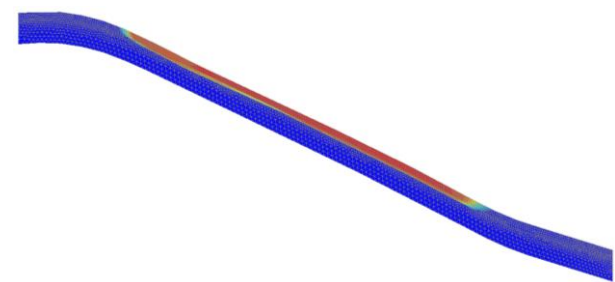
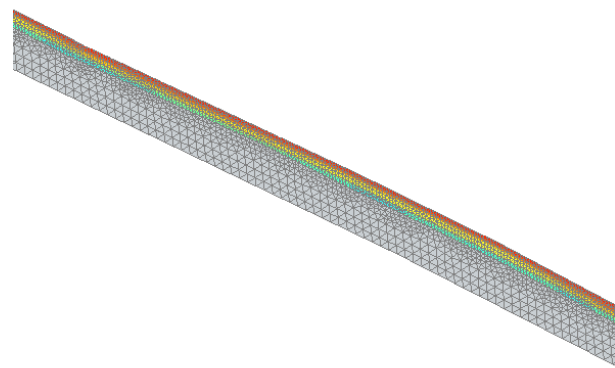
FS = 2.245

Evento 2



FS = 2.043

Evento 3



FS = 1.829

Grado di saturazione

Spostamenti incrementali

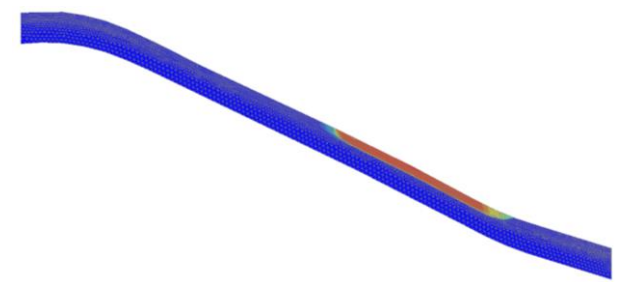
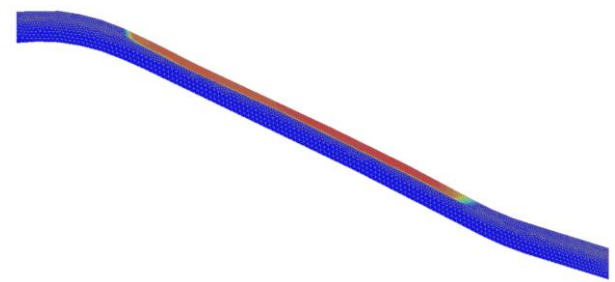
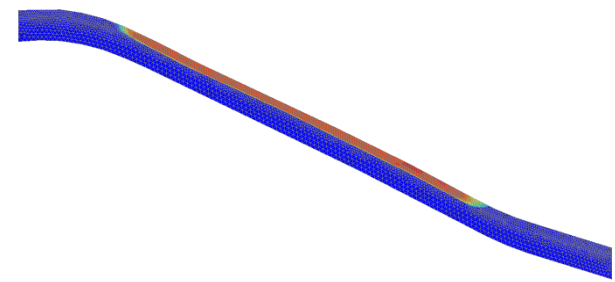
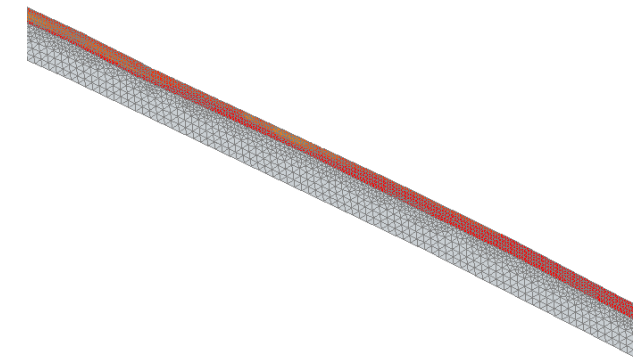
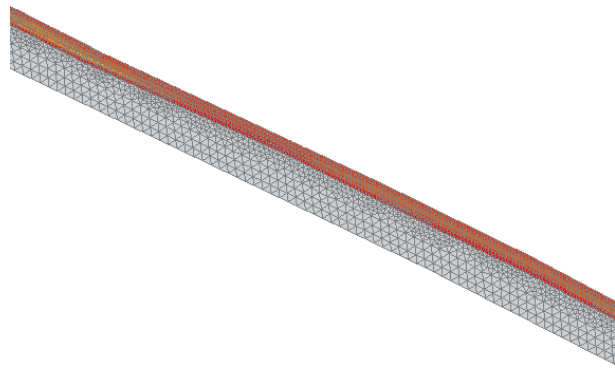
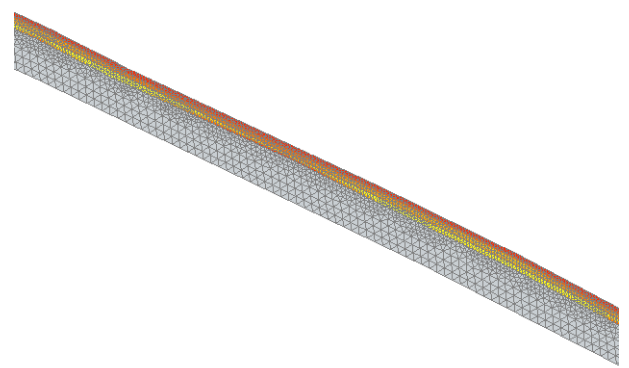
PLAXIS



Evento 4

Evento 5

Evento 6

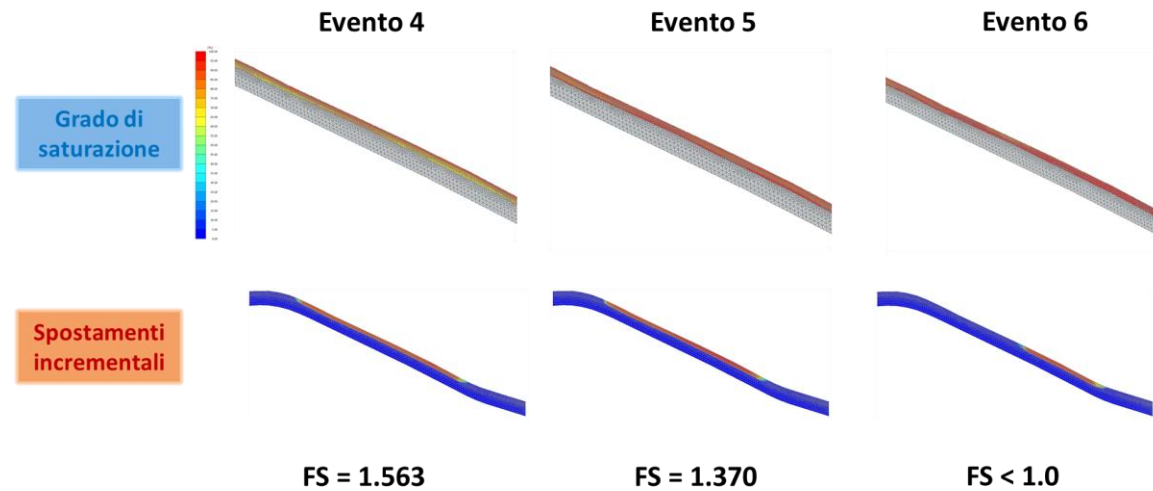


FS = 1.563

FS = 1.370

FS < 1.0

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.

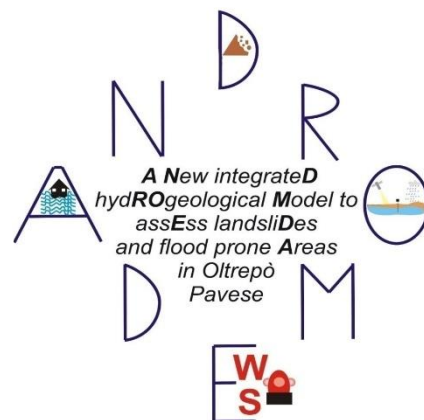
Sono di fondamentale importanza i risultati di misure in situ per la corretta calibrazione dei parametri del modello.

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