



La protezione superficiale dei suoli come prevenzione dall'erosione
e contributo alla manutenzione di frane stabilizzate

BARI – 17 giugno 2011

VEGETAZIONE, EROSIONE DEL SUOLO E STABILITA' DEI VERSANTI: ESPERIENZE IN CORSO

Prof. Ing. Francesco Gentile

email francesco.gentile@agr.uniba.it

Dipartimento di Scienze Agroambientali e territoriali
Facoltà di Agraria
Università degli Studi di Bari "A. Moro"



Crescente interesse per l'uso
della vegetazione negli interventi
di difesa del suolo

Es. cosiddette “Tecniche di
Ingegneria naturalistica”

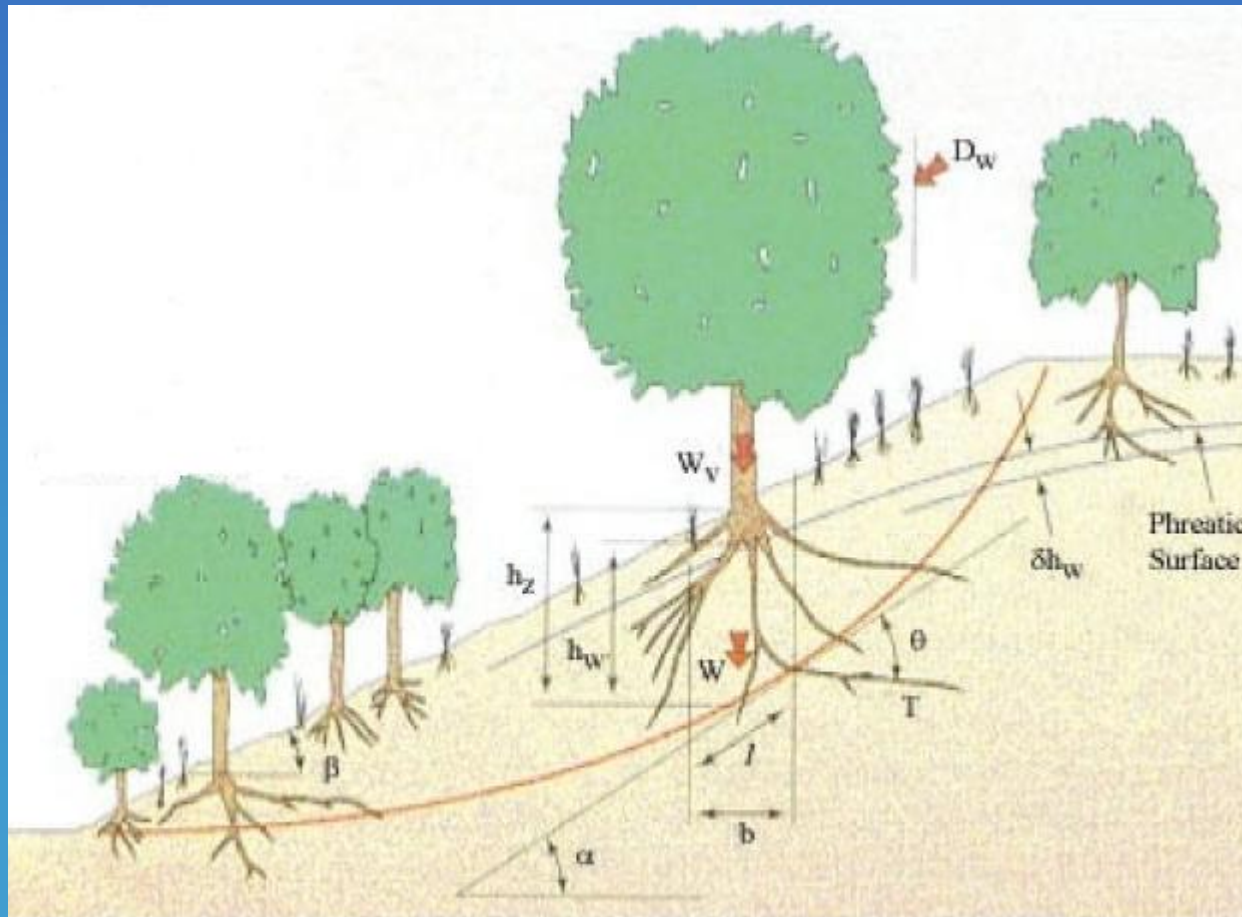


Effetti della vegetazione sulla stabilità dei pendii:

	Stabilizzanti	Destabilizzanti
Meccanici	<ul style="list-style-type: none">- Incremento di coesione offerto dall'apparato radicale;- Ancoraggio del suolo a substrati sottostanti più stabili o alla roccia;- Sostegno del terreno a monte delle ceppaie.	<ul style="list-style-type: none">- Sovraccarico determinato dal peso della biomassa.-Vento: trasmissione dei momenti flettenti tramite il fusto e le radici al terreno.- Scardinamento dell'apparato radicale che può produrre:<ul style="list-style-type: none">a) fratturazione;b) perdita di coesione;c) crolli o schianti.
Idrologici	<ul style="list-style-type: none">-Intercettazione ed evapotraspirazione-Incremento dell'aliquota di ruscellamento superficiale	<ul style="list-style-type: none">-Concentrazione di deflusso, ristagni, percorsi preferenziali di infiltrazione oppure riduzione della velocità di scorrimento delle acque di ruscellamento;-- Aumento dell'infiltrazione nei substrati interessati dalle radici.

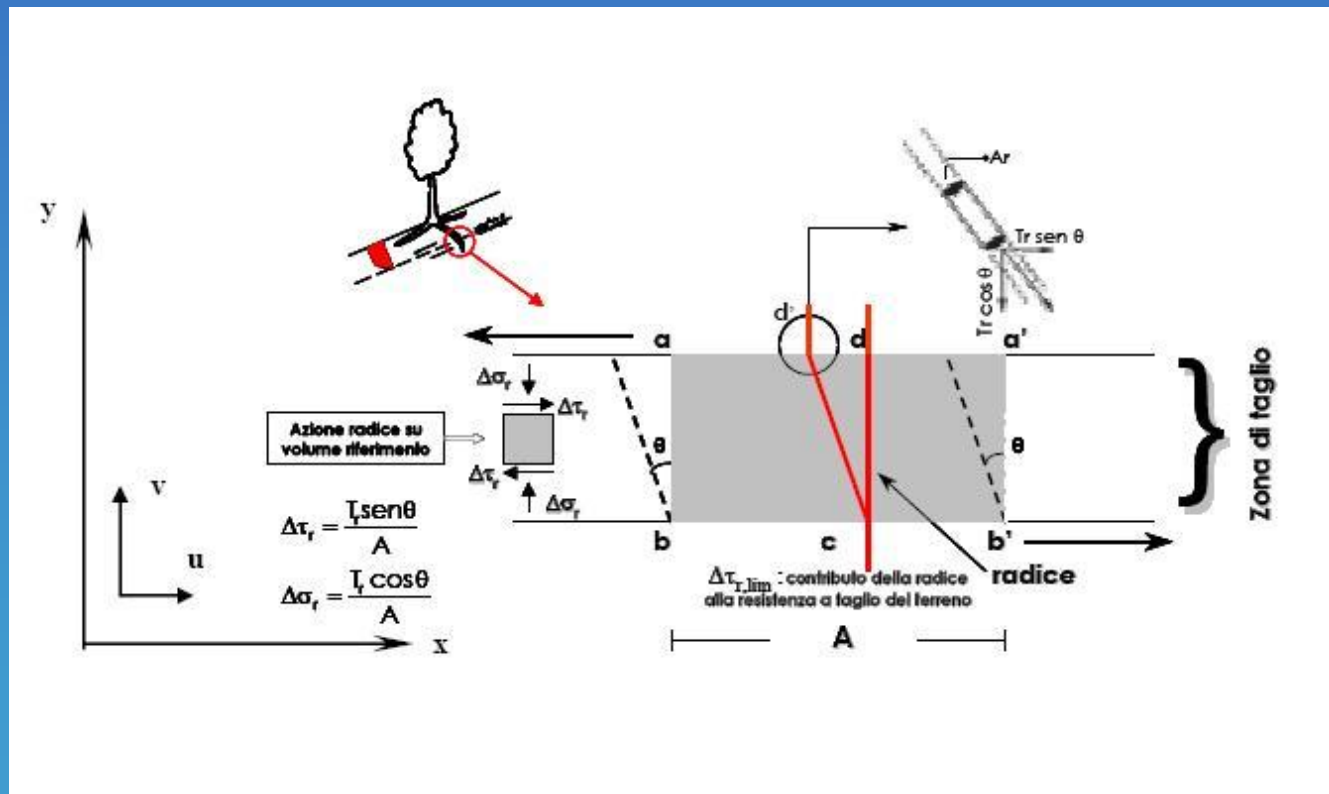


Effetti della vegetazione sulla stabilità dei pendii





Un approccio generalmente utilizzato per studiare l'interazione meccanica radice - terreno è quello formulato da Wu *et al.* (1979), in cui si considera un elemento di volume nella zona di taglio attraversata da una radice.



Stato tensionale nella generica radice



E' possibile determinare l'incremento di resistenza a taglio del terreno dovuto alla presenza delle radici, ΔS :

$$S_r = S + \Delta S$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta S = \Delta \tau_{r, \text{lim}} = \Delta \sigma_r \tan \varphi' + \Delta \tau_r = t_r \cos \theta \tan \varphi' + \sin \theta \\ t_r = T_R \frac{A_R}{A} \end{array} \right. \longrightarrow \Delta S = T_R \frac{A_R}{A} \cos \theta \tan \varphi' + \sin \theta$$
$$\downarrow$$
$$\Delta S = 1.2 T_R \frac{A_R}{A}$$

La coesione apparente del terreno (c_R) può essere introdotta nel criterio di resistenza di Mohr - Coulomb:

$$\tau = c' + c_R + \sigma' \tan \varphi' = c' + c_R + \sigma - u \tan \varphi'$$



I valori di resistenza a trazione delle radici dipendono dalla specie, dalle dimensioni, dall'orientamento e dalle caratteristiche stazionali e stagionali.



Lygeum spartum L.



Atriplex halimus L.



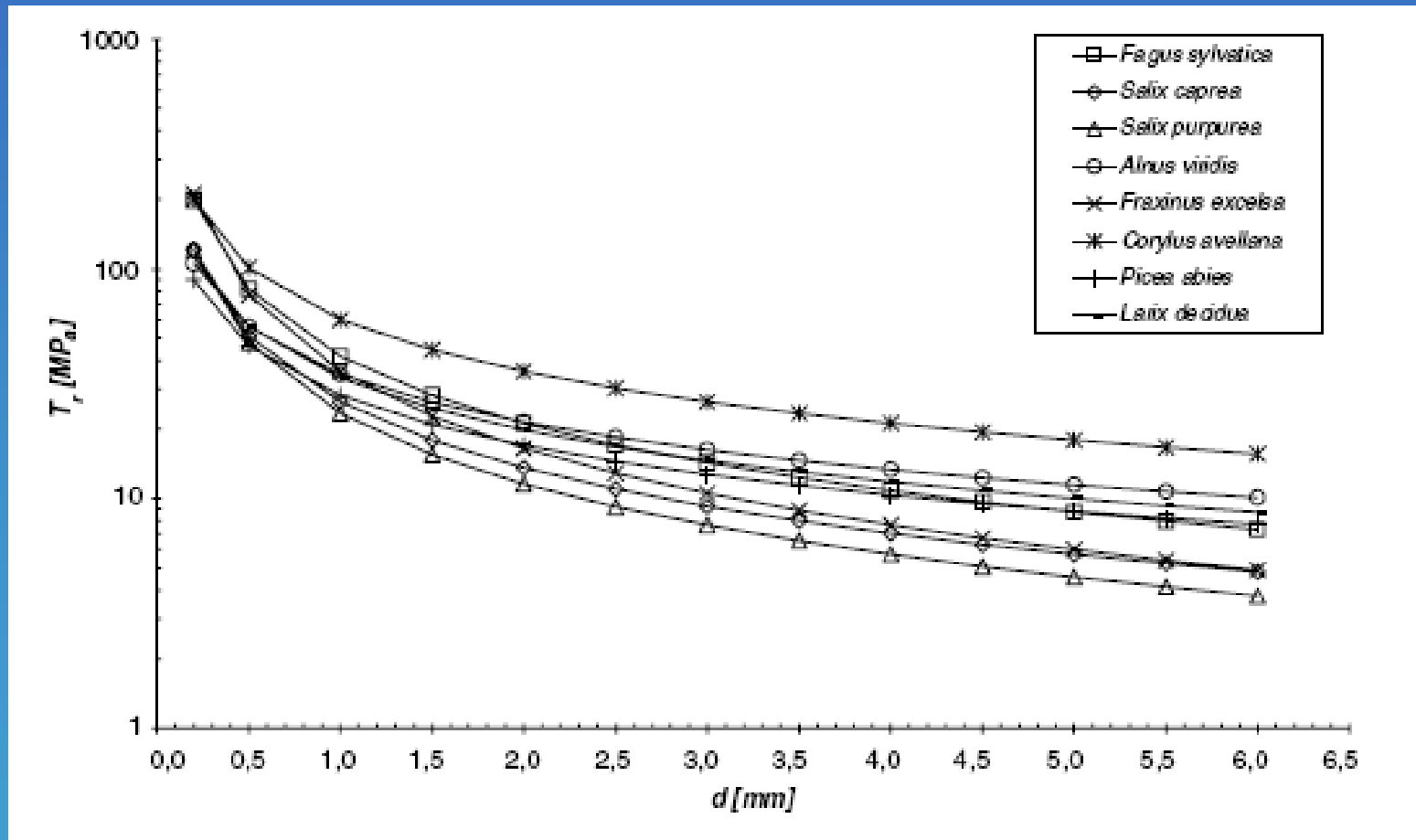
La resistenza a trazione della singola radice dipende dal diametro: i valori nella maggioranza dei casi sono compresi fra 10 e 40 MPa.



Apparecchiatura per la misura della resistenza a trazione (da Mattia *et al.*, 2005)



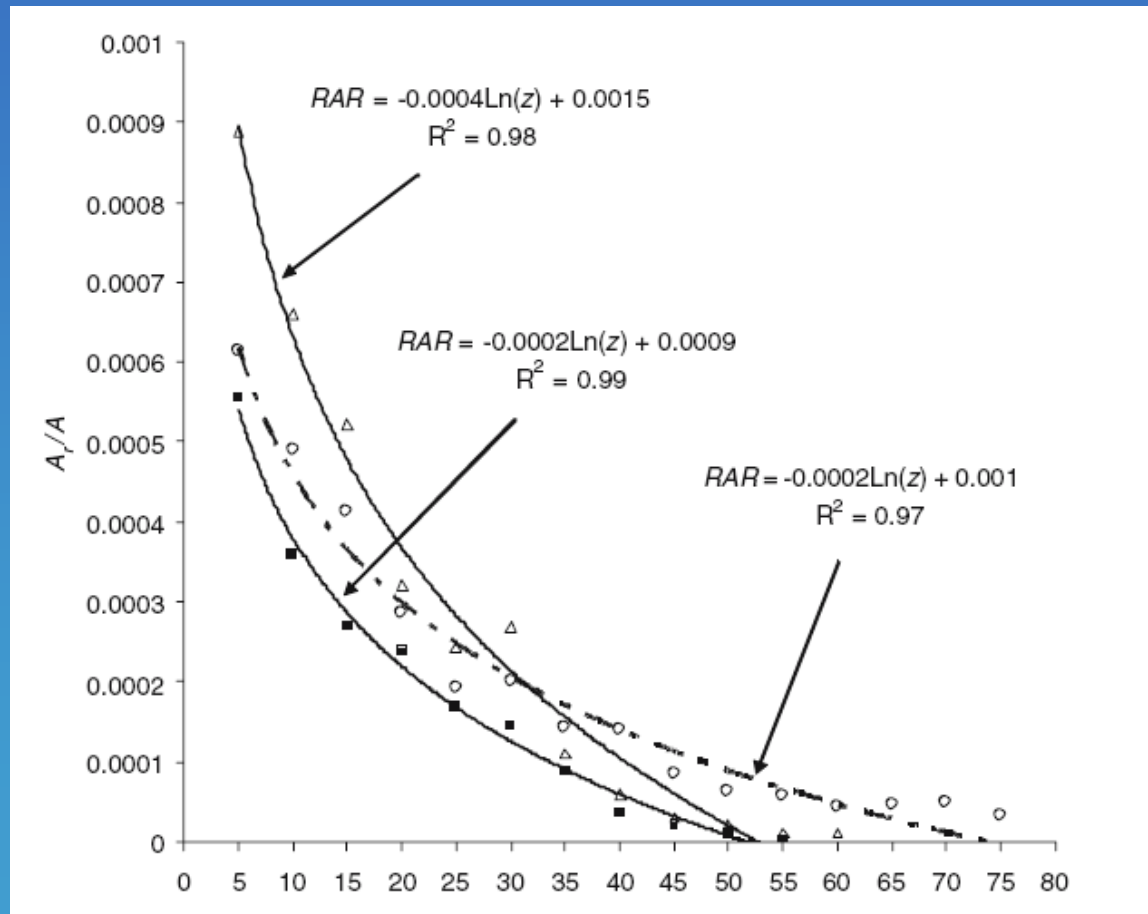
Tale resistenza diminuisce all’aumentare del diametro delle radici.



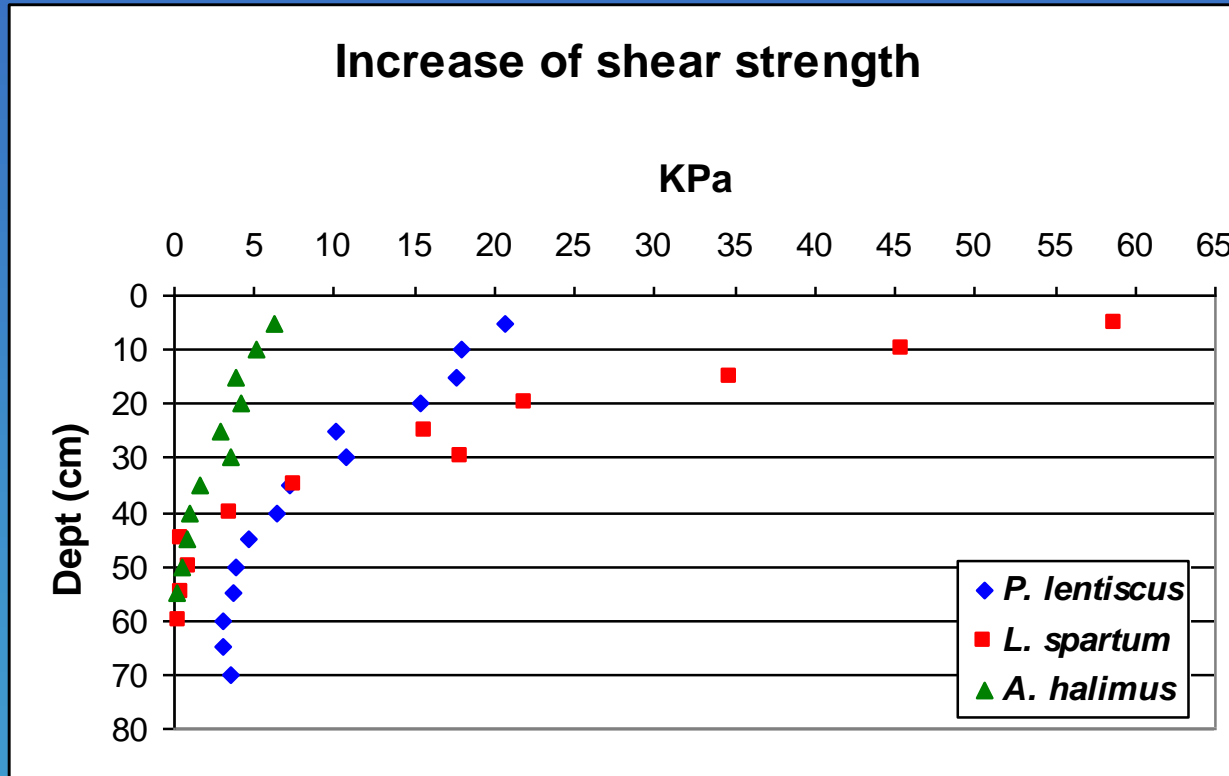
Variazione della resistenza a trazione con il diametro delle radici



I valori di rapporto di area radicata (RAR) diminuiscono con l’allontanamento dalla superficie.



Variazione della RAR con la profondità radicale



Valori di coesione radicale in funzione della profondità



Questioni:

Influenza del valore della coesione radicale e della profondità dell'apparato radicale a scala di versante

Influenza della posizione della vegetazione sul versante

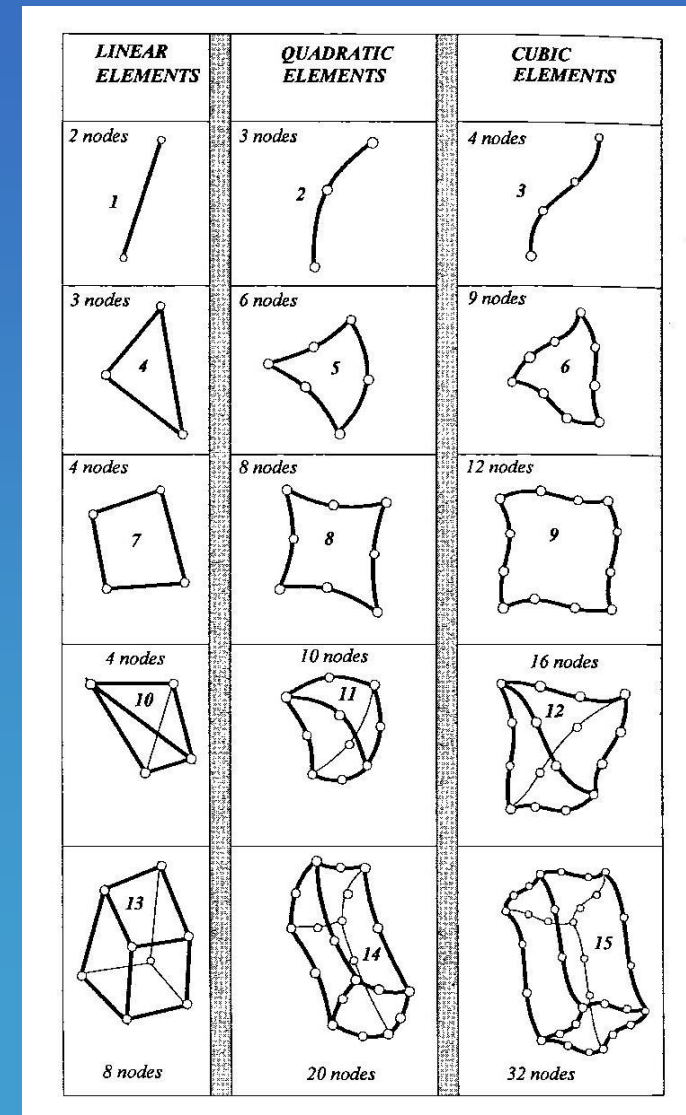
Terreni incoerenti e coesivi

Terreni non saturi e saturi

METODO FEM

Finite Element Method

- Il metodo degli elementi finiti (FEM) consiste nel discretizzare il dominio (continuo) di analisi in un numero finito di elementi connessi tra loro.
- Tale metodo permette di ottenere lo stato tensionale e deformativo in ogni punto della griglia di discretizzazione utilizzata per schematizzare il pendio in esame.
- E' possibile ricavare il valore del coefficiente di sicurezza (FOS) relativo alla superficie di scivolamento critica che interessa il pendio.





Casi A e B : assenza di falda

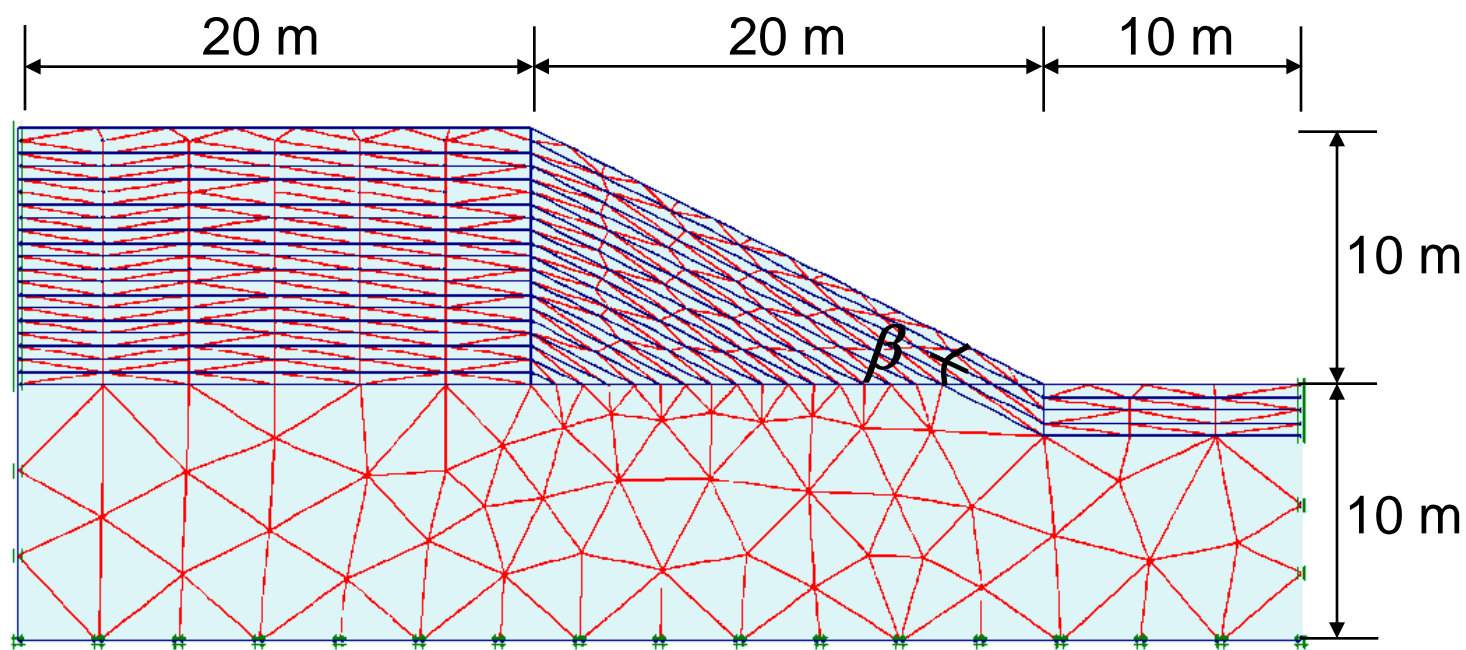
$$\beta = 26.5^\circ$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$$

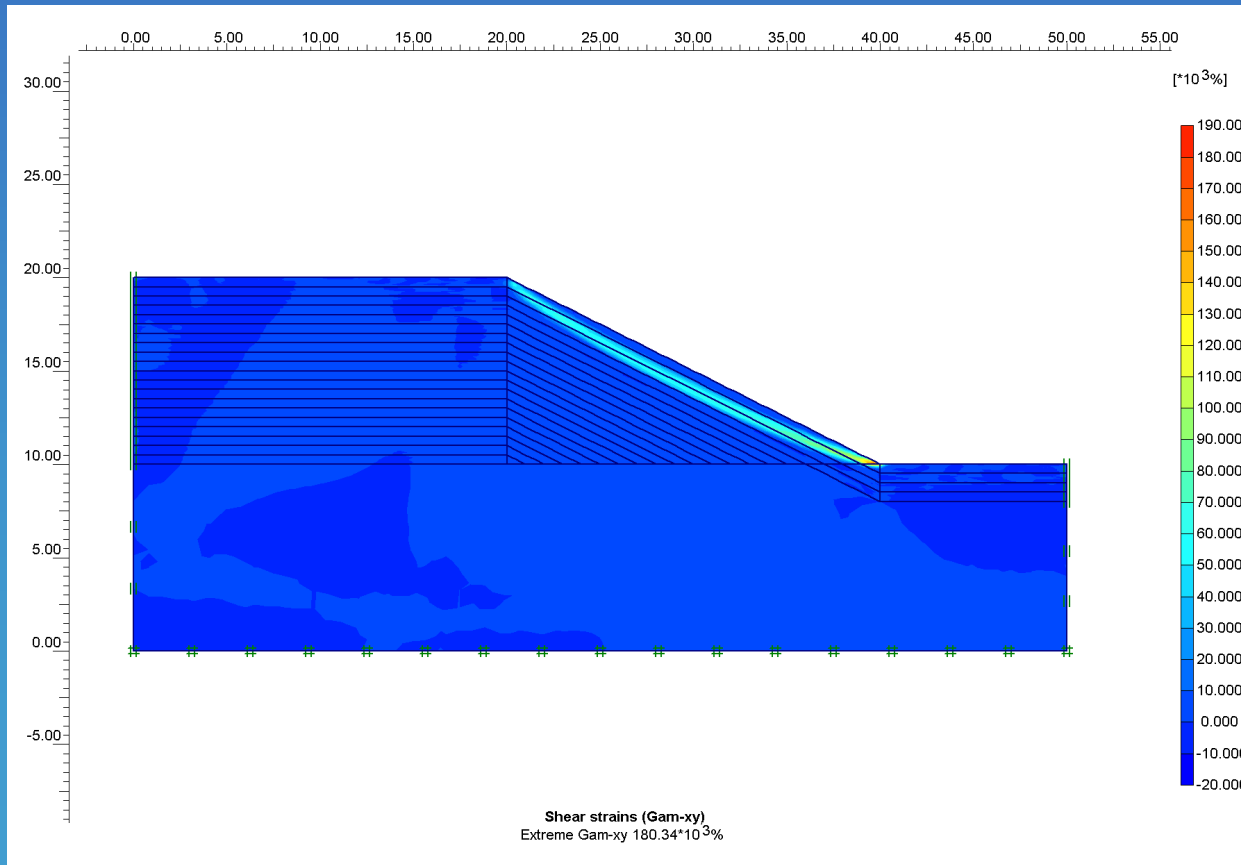
$$c' = 0 \text{ kPa} \longrightarrow \text{Caso A}$$

$$c' = 5 \text{ kPa} \longrightarrow \text{Caso B}$$





Caso A : pendio senza vegetazione ($c' = 0$ kPa; $\phi' = 25^\circ$; $c_R = 0$ kPa, $h_R = 0$ m)

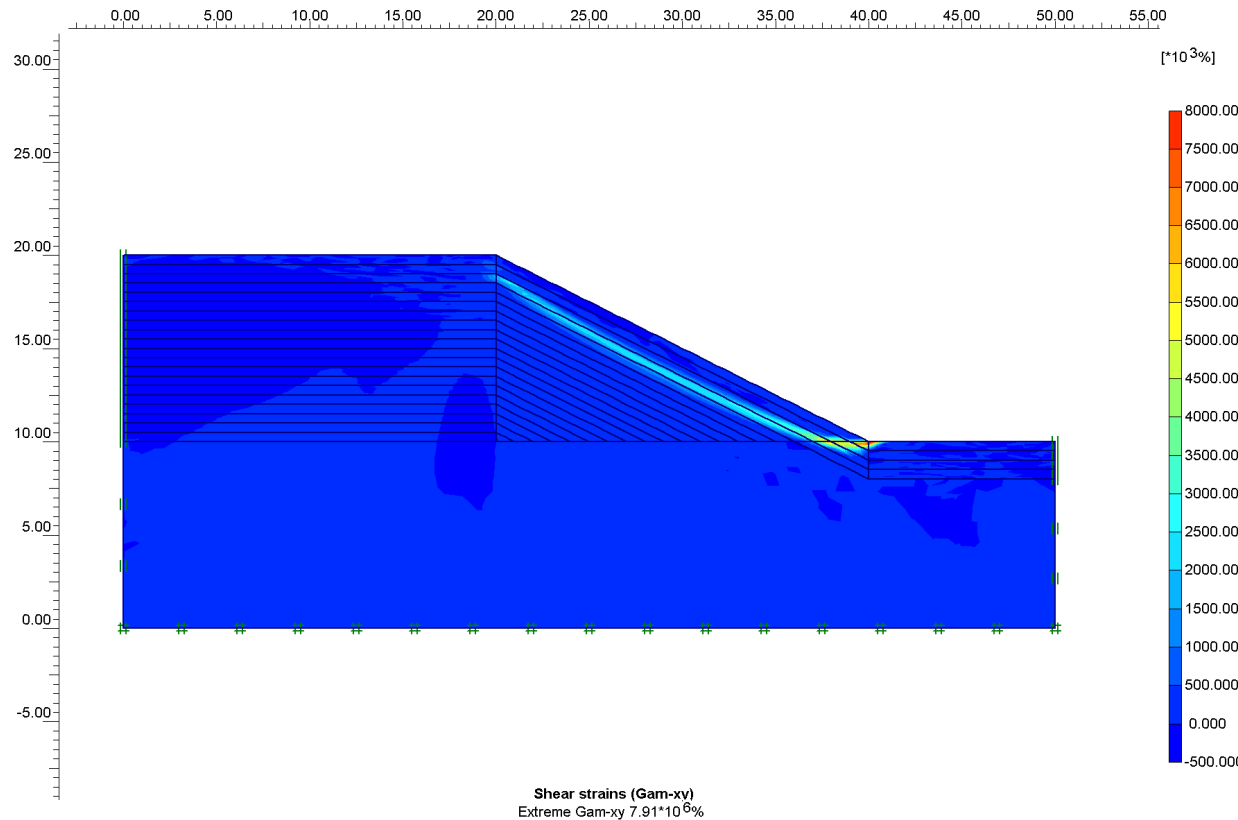
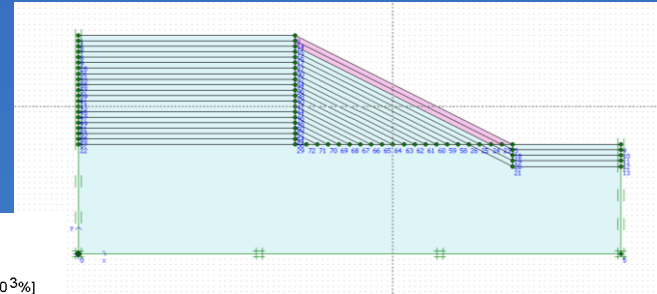


FOS = 0.97
Prof. Sup. Crit. = 1.4 m

Isolinee delle deformazioni di taglio a rottura



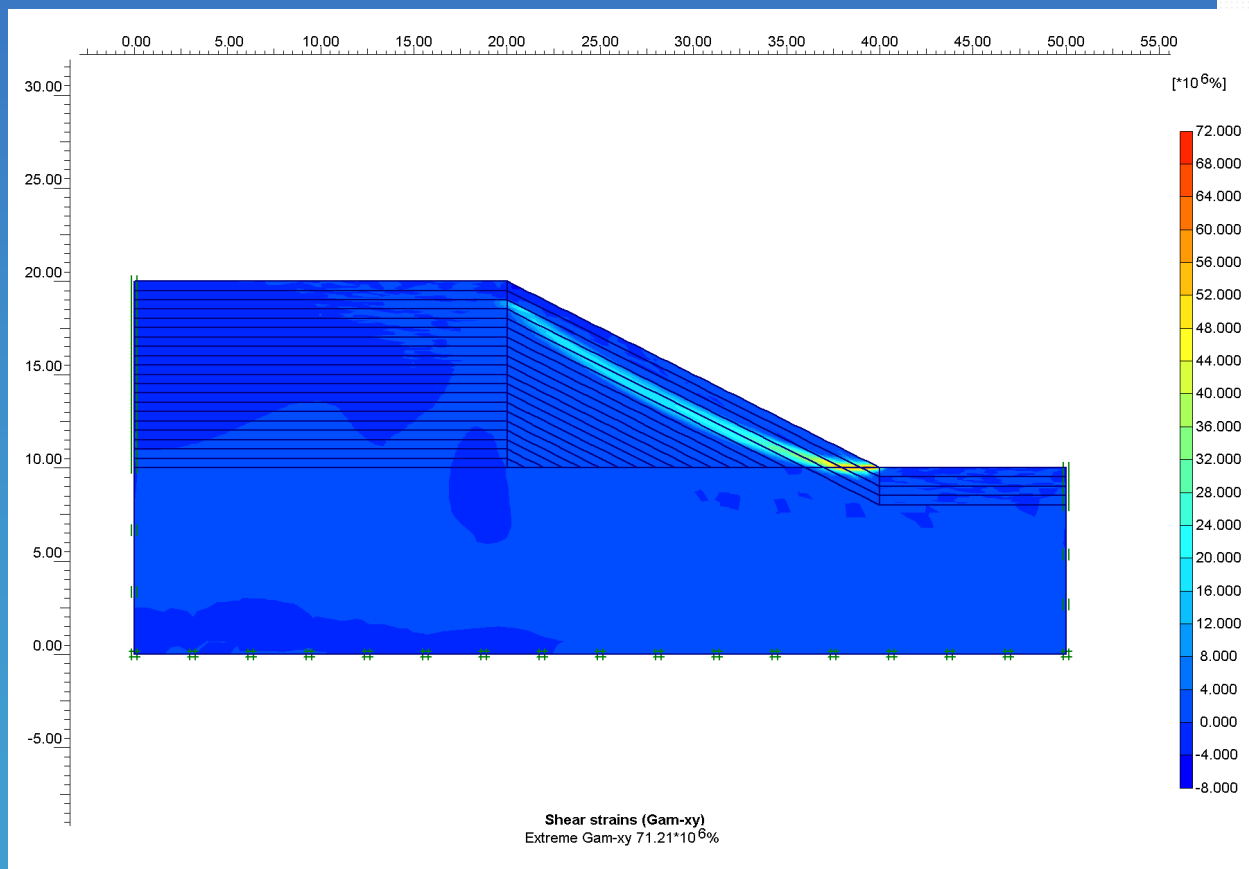
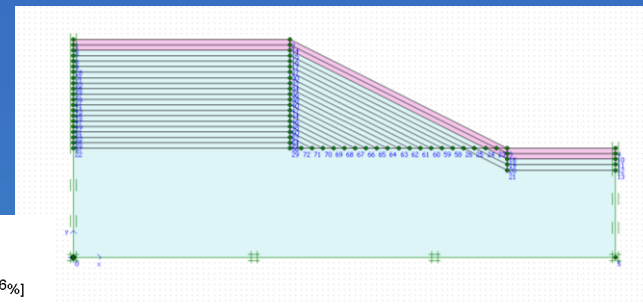
Caso A : pendio con vegetazione sul solo versante
($c' = 0$ kPa; $\phi' = 25^\circ$; $c_R = 5$ kPa; $h_R = 1$ m)



FOS = 1.02
 Δ FOS = 5.9%
Prof. Sup. Crit. = 2 m



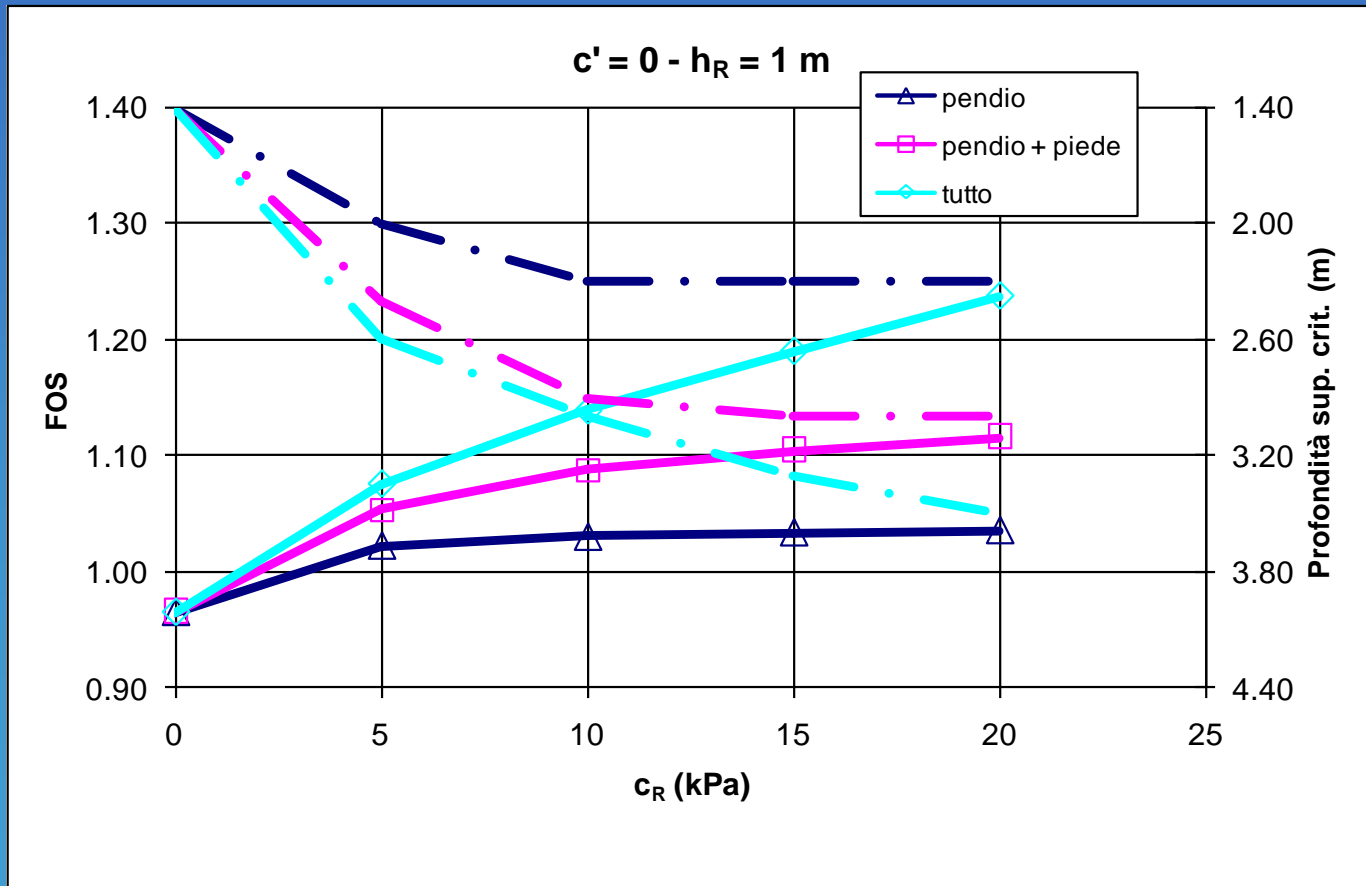
**Caso A : pendio con vegetazione su tutto il piano
campagna ($c' = 0$ kPa; $\phi' = 25^\circ$; $c_R = 5$ kPa; $h_R = 1$ m)**



FOS = 1.08
 Δ FOS = 11.5%
Prof. Sup. Crit. = 2.6 m



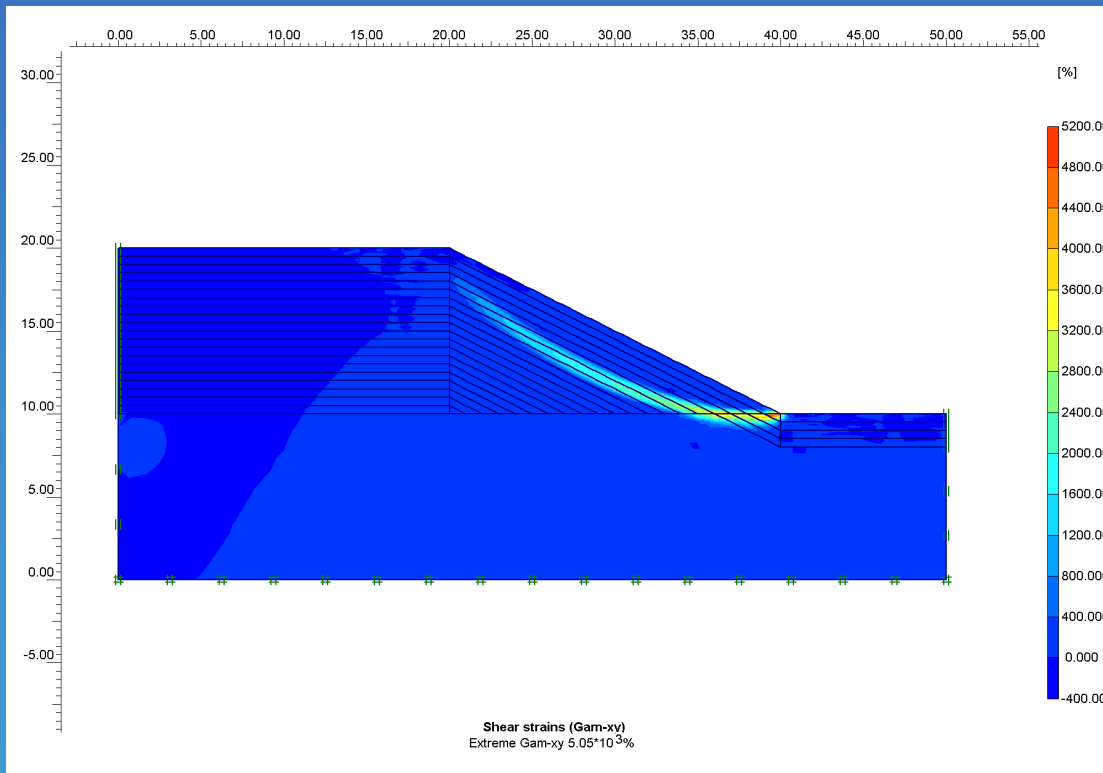
Caso A : $c' = 0$ kPa; $\phi' = 25^\circ$



Risultati dell'analisi parametrica



Caso B: $c' = 5 \text{ kPa}$; $\phi' = 25^\circ$ pendio privo di vegetazione

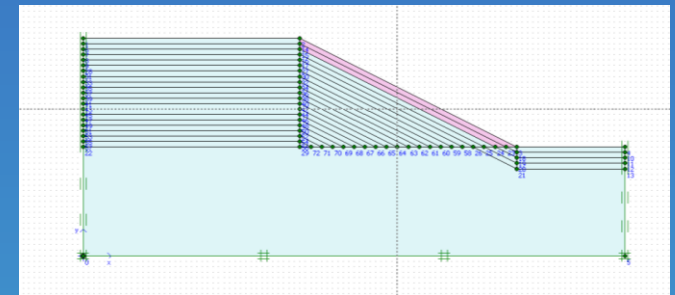
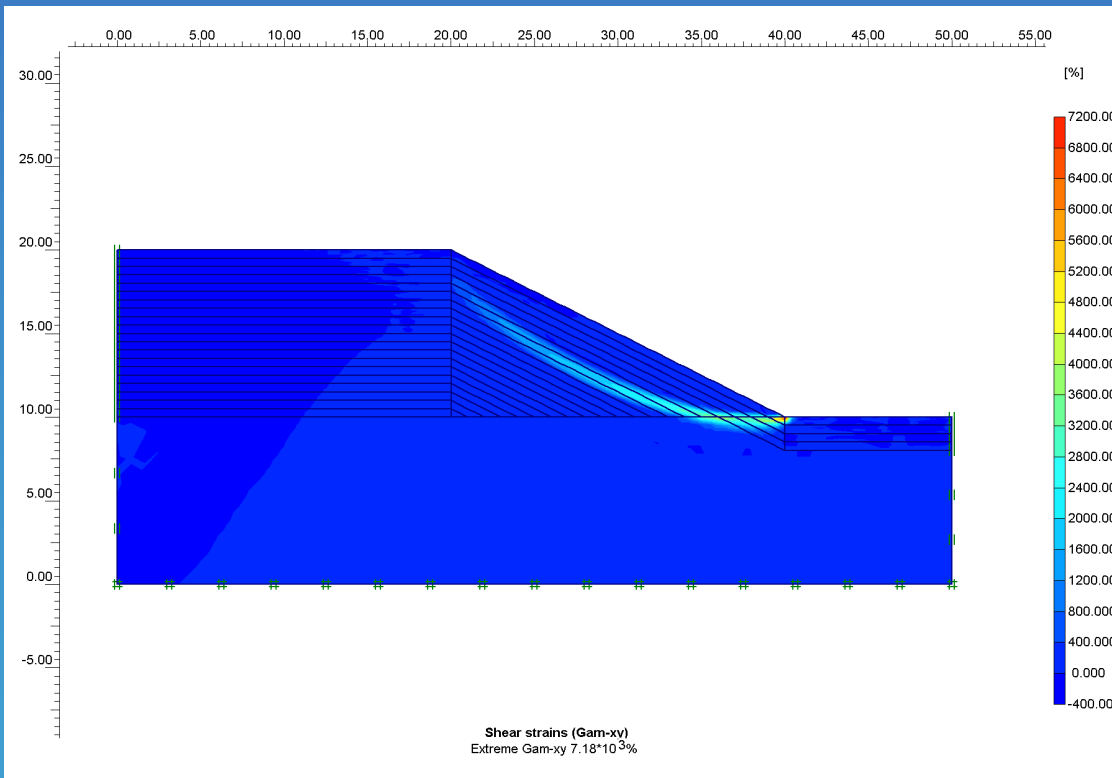


FOS = 1.34
Prof. Sup. Crit. = 3.6 m

Isolinee delle deformazioni di taglio a rottura (Caso B)



Caso B : $c' = 5 \text{ kPa}$; $\phi' = 25^\circ$
pendio con vegetazione limitata alla sola superficie del versante
 $c_R = 10 \text{ kPa}$; $h_R = 1 \text{ m}$)

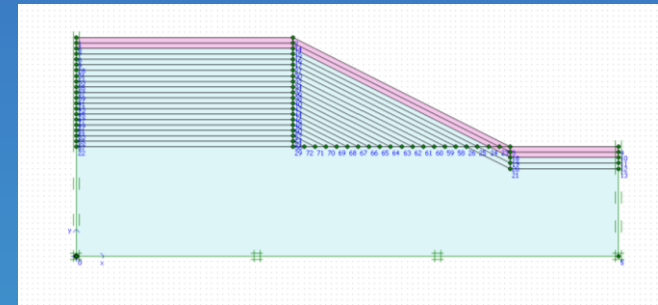
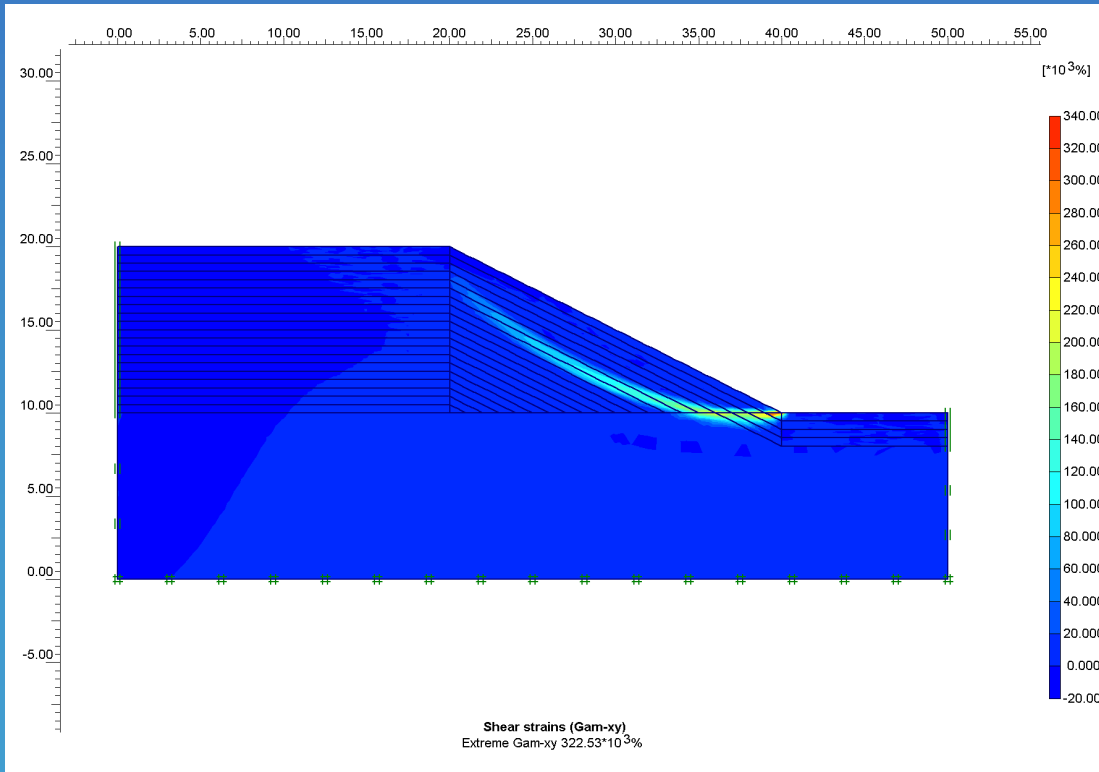


FOS = 1.35
Prof. Sup. Crit. = 3.6 m
 Δ FOS = 0.1%

Isolinee delle deformazioni di taglio a rottura (Caso B)



Caso B : $c' = 5 \text{ kPa}$; $\phi' = 25^\circ$
pendio con vegetazione su tutta la superficie del piano campagna
 $c_R = 10 \text{ kPa}$; $h_R = 1 \text{ m}$

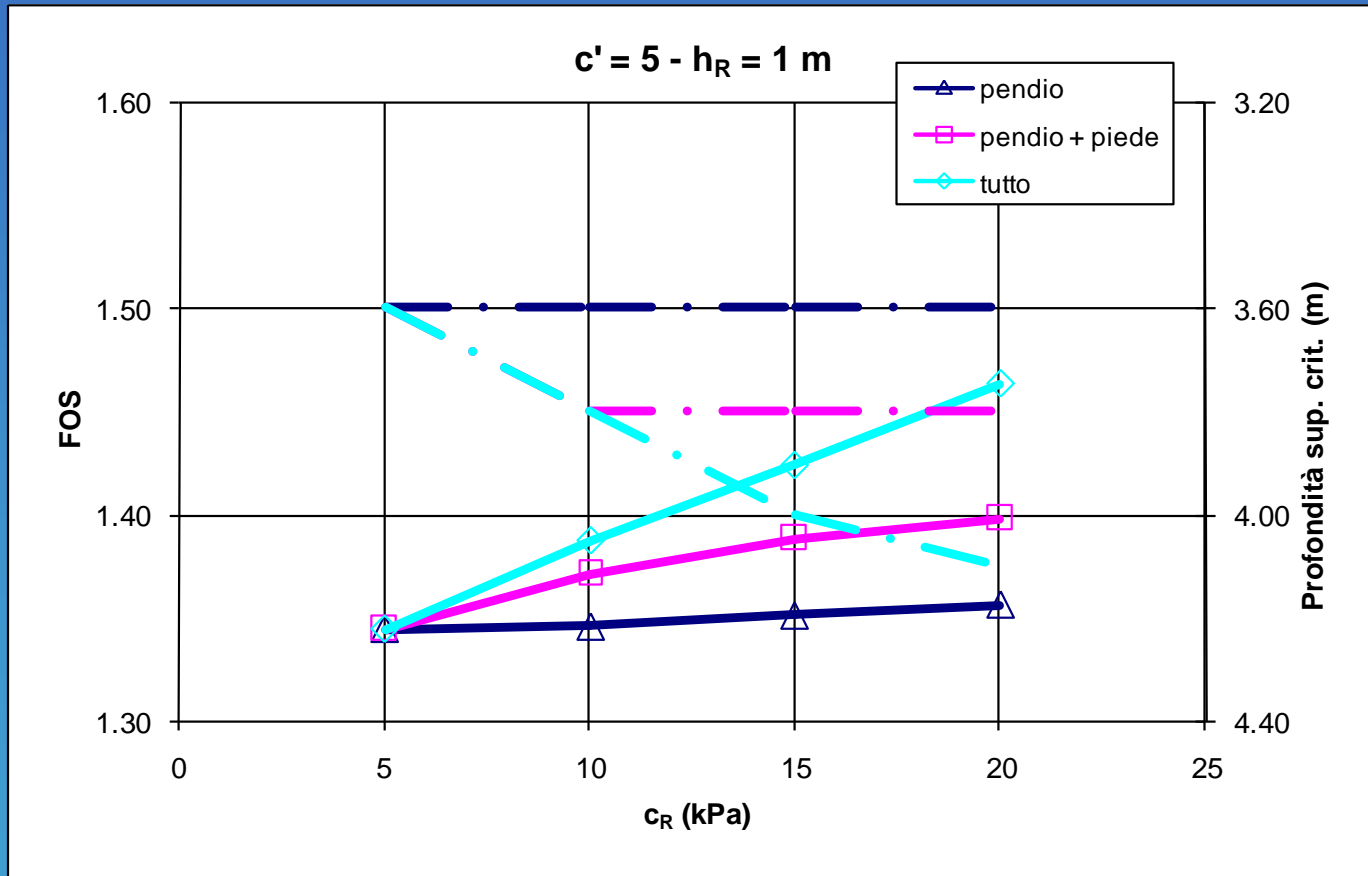


FOS = 1.39
Prof. Sup. Crit. = 3.8 m
 Δ FOS = 3.2%

Isolinee delle deformazioni di taglio a rottura (Caso B)



Caso B: $c' = 5$ kPa; $\phi' = 25^\circ$



Risultati dell'analisi parametrica



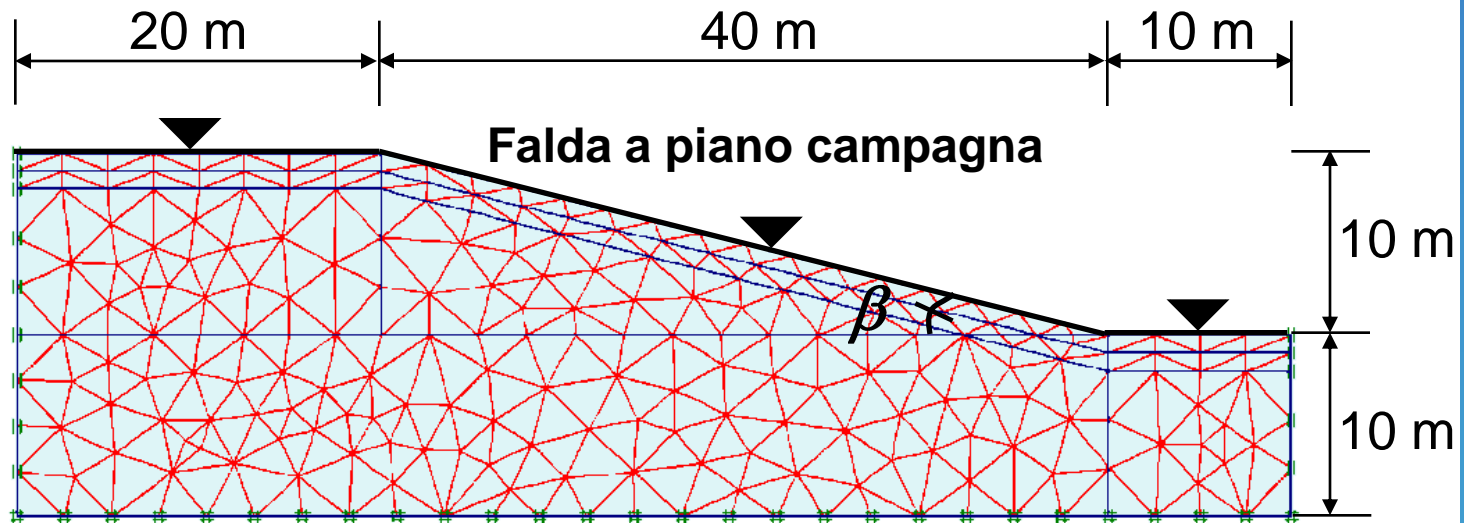
Caso C : presenza di falda

$$\beta = 14^\circ$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

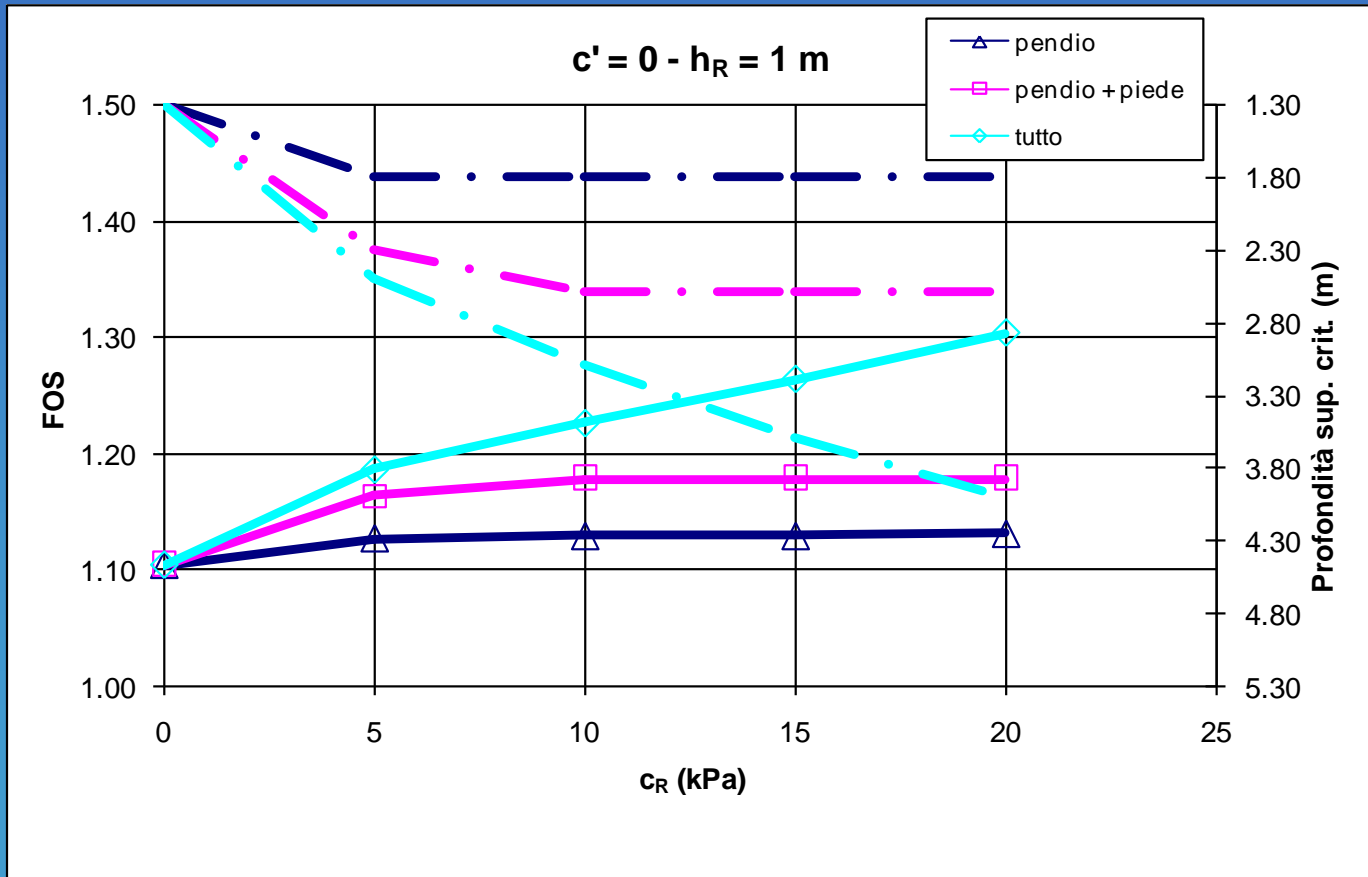
$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$$





Caso C: $c' = 0$ kPa; $\phi' = 30^\circ$



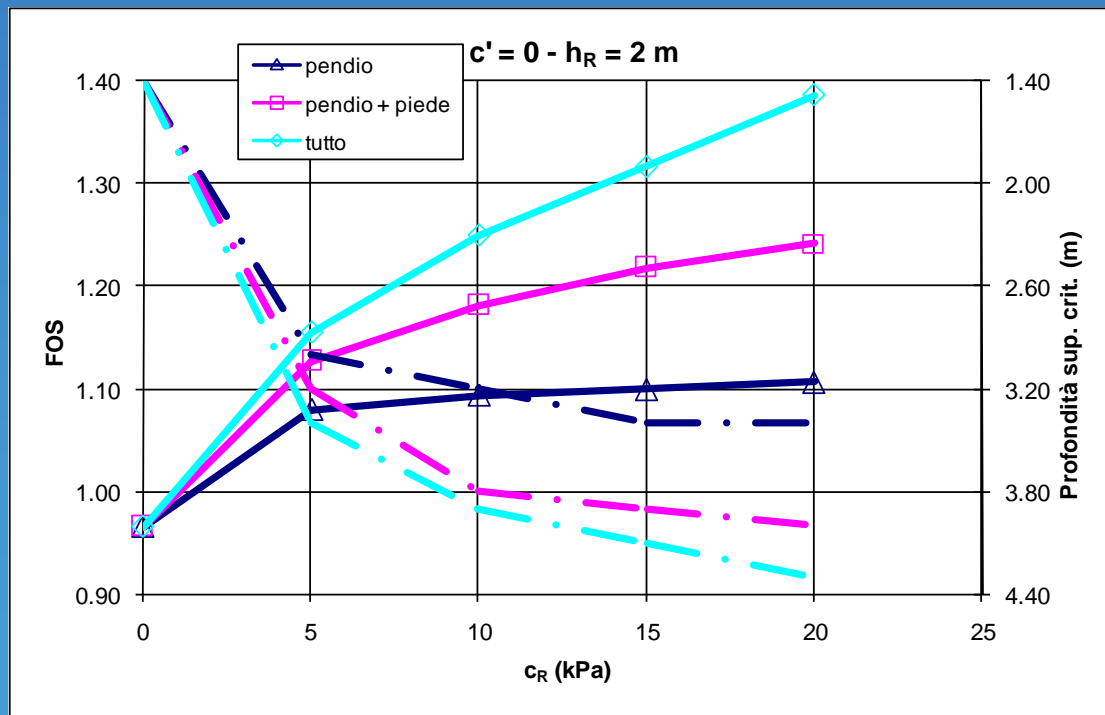
Risultati dell'analisi parametrica



*Andamento del FOS e della profondità della superficie critica con la coesione
apparente per*

$$h_R = 2 \text{ m}$$

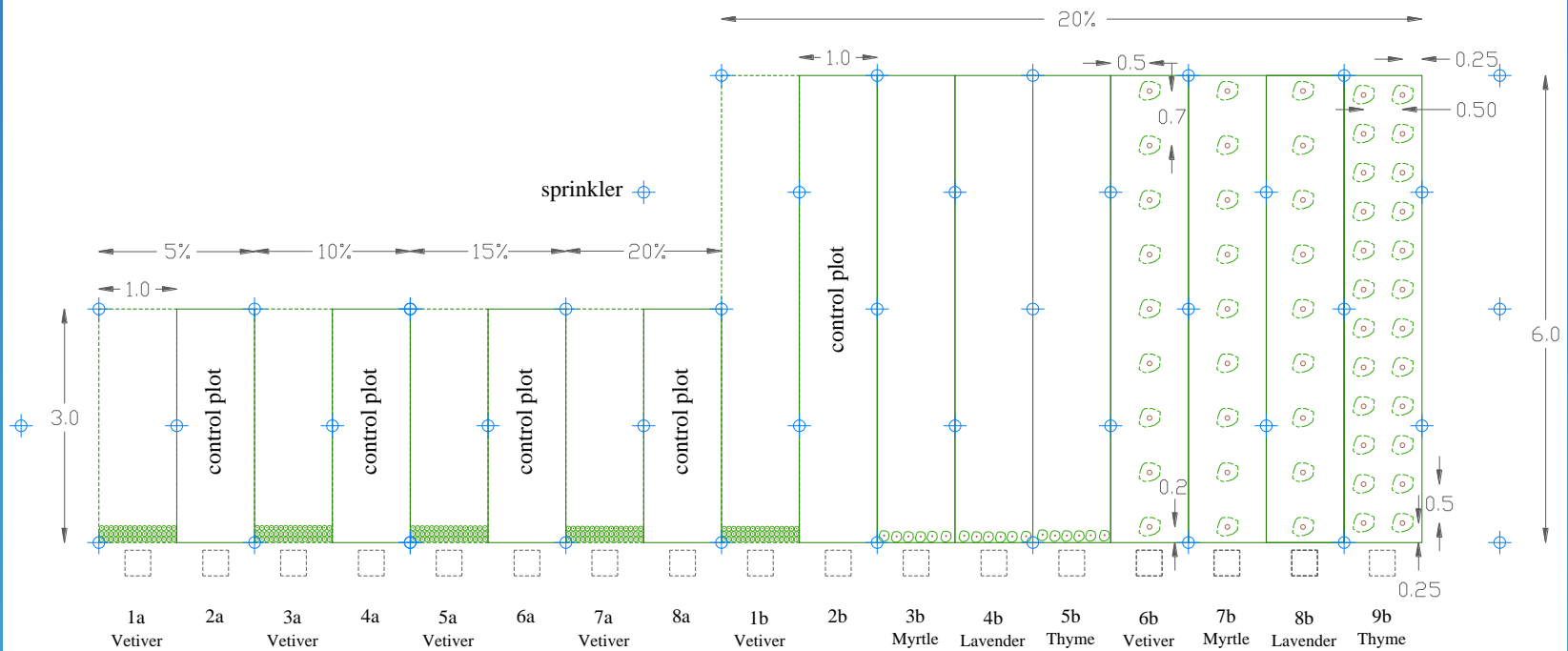
Caso A : $c' = 0 \text{ kPa}$; $\phi' = 25^\circ$



MISURA DELL'EROSIONE IN PARCELLE SPERIMENTALI



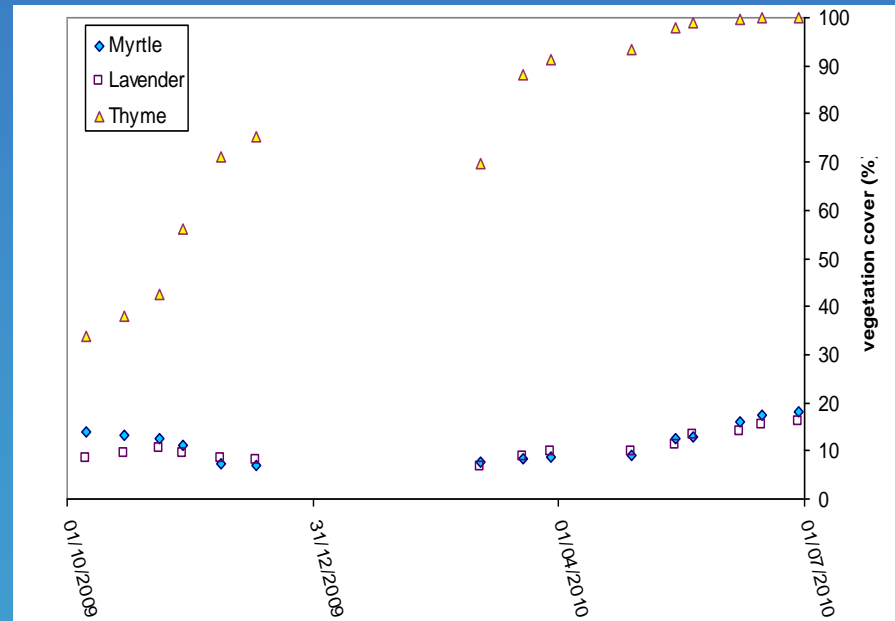
Planimetria set sperimentale





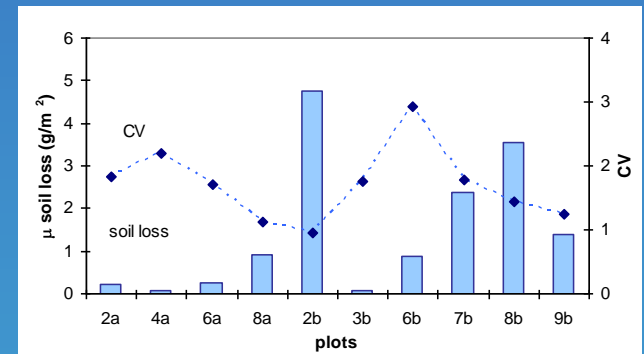
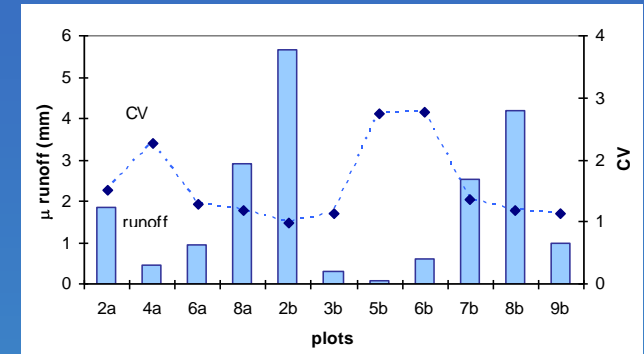
	Myrtle	Lavender	Thyme
08/10/2009	13.9	8.3	33.9
22/10/2009	13.1	9.5	37.9
04/11/2009	12.6	10.6	42.7
13/11/2009	11.2	9.3	56.1
27/11/2009	7.2	8.4	71.0
10/12/2009	7.1	7.9	75.1
03/03/2010	7.8	6.6	69.6
19/03/2010	8.5	8.8	88.2
29/03/2010	8.6	9.6	91.3
28/04/2010	9.2	9.8	93.3
14/05/2010	12.5	11.2	97.9
21/05/2010	13.0	13.1	98.9
07/06/2010	15.9	13.9	99.6
15/06/2010	17.3	15.2	100
29/06/2010	18.2	16.2	100

Grado di copertura vegetale (in %)





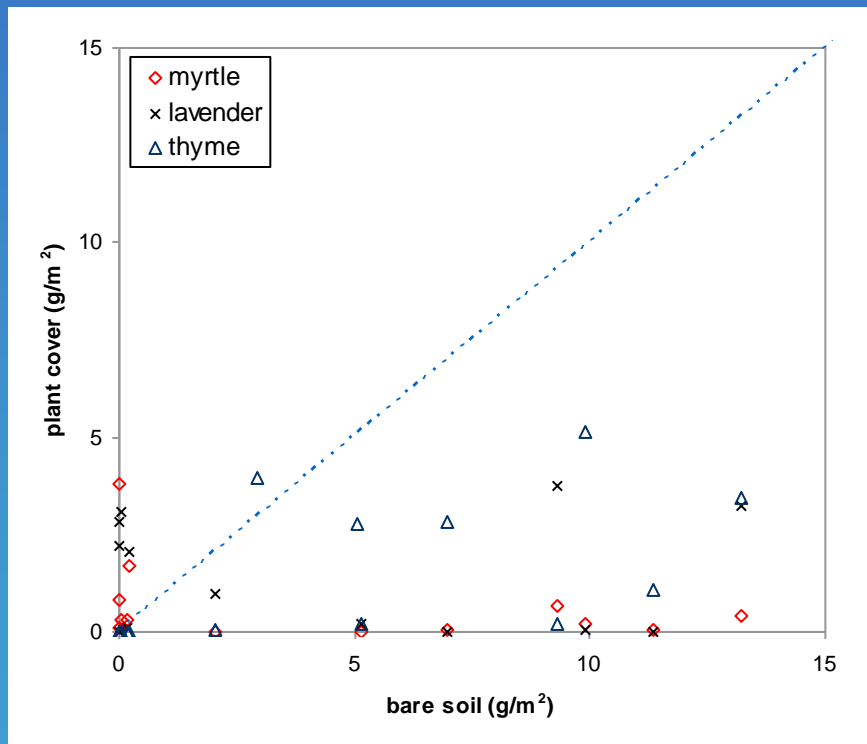
	Plot	Runoff (mm)	Soil loss (g/m ²)
Vetiver - barriera	1a	-	-
	2a	1.86	0.23
Vetiver - barriera	3a	-	-
	4a	0.45	0.09
Vetiver - barriera	5a	-	-
	6a	0.96	0.24
Vetiver - barriera	7a	-	-
	8a	2.90	0.91
Vetiver - barriera	1b	-	-
	2b	5.66	4.74
Mirto - barriera	3b	0.31	0.06
Lavanda - barriera	4b	-	-
Timo serpillio - barriera	5b	0.08	0.03
Vetiver – copertura uniforme	6b	0.61	0.87
Mirto – copertura uniforme	7b	2.53	2.39
Lavanda – copertura uniforme	8b	4.21	3.54
T. serpillio – copertura uniforme	9b	0.99	1.40



Valori medi di deflusso superficiale e perdita di suolo da ogni parcella



Grado di efficacia della copertura vegetale uniforme



(a)	Bare soil	Vetiver	Myrtle	Lavender	Thyme
Runoff	0	89.2	55.3	25.6	82.5
Soil loss	0	81.6	49.6	25.3	70.5
(b)	Bare soil	Vetiver	Myrtle	Lavender	Thyme
Runoff	0	1	0.62	0.29	0.92
Soil loss	0	1	0.61	0.31	0.86

Valori percentuali (a) e standardizzati (b) di scorrimento superficiale e perdita di suolo dalle parcelle con copertura vegetale uniforme

CONSIDERAZIONI

- ✓ L'uso del codice di calcolo agli elementi finiti ha consentito di quantificare l'effetto del contributo meccanico fornito dalle radici sul coefficiente di sicurezza del versante.
- ✓ L'effetto della vegetazione sulla stabilità risulta rilevante quanto più le radici coinvolgono la zona di piede o l'intera superficie del piano campagna.
- ✓ L'effetto è decisamente più rilevante nel caso di pendii costituiti da terreni non coesivi.
- ✓ Anche nel caso di pendio con falda a piano campagna, la presenza della vegetazione produce un effetto benefico sulla stabilità del versante, aumentandone il FOS.

Riferimenti bibliografici

GENTILE F., ROMANO G., TRISORIO LIUZZI G. L'uso della vegetazione negli interventi di difesa del suolo in ambiente mediterraneo. *Genio Rurale*, n. 2, 42-51, 1998.

MATTIA C., BISCHETTI G.B., GENTILE F. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. *Plant and soil*, 278, 23-32, 2005.

GENTILE F., ELIA G., ELIA R. Analysis of the stability of slopes reinforced by roots. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 138, 189-200, 2010.