



Accademia Italiana
di Scienze Forestali

CONVEGNO

FIRENZE
25 OTTOBRE 2022
ORE 9,30

**PASSATO, PRESENTE E FUTURO
DEI RIMBOSCHIMENTI PER LA TUTELA
DEL TERRITORIO
E LA SALVAGUARDIA AMBIENTALE**

Auditorium della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze,
Via Folco Portinari 5



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DAGRI

DIPARTIMENTO DI SCIENZE
E TECNOLOGIE AGRARIE,
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI

prof. ing. **Federico Preti**
(Università di Firenze e AIPIN)

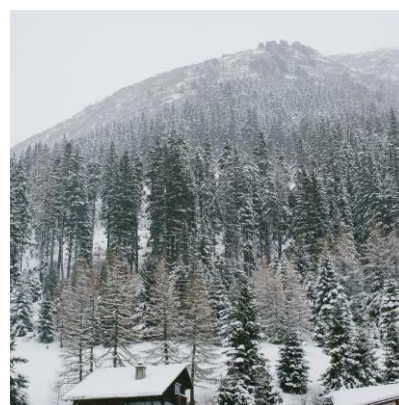
Sezione
Ingegneria Agraria Forestale
e dei Biosistemi

s.s.d.
Idraulica agraria e
Sistemazioni Idraulico-Forestali

**RIMBOSCHIMENTI
E STABILITÀ DEI
VERSANTI**



1968



2015



2016

Lavori di
**sistemazione
idraulico-forestale**
D.M. 20 -08 -1912

Testi SIF de Horatiis,
Benini, Grazi, ...

Art. 3

Opere di carattere
estensivo, cioè quelle
forestali,
i **RIMBOSCHIMENTI** veri
e propri con tutti i mezzi
preparatori per ottenerli,
e che hanno lo scopo di
consolidare e tutelare il
terreno, prevenendo le
frane

(e valanghe, caduta massi, alluvioni,
etc.)



Andermatt
Starke Momente



Foto: Stefan Margreth, SLF

alessio.cislaghi@unimi.it



...il

BOSCO
protegge

...

04/2017

San Carlo, Val Poschiavo,
Cantone dei Grigioni (Svizzera)

IN2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

Corso di formazione e aggiornamento Professionale

https://www.aipin.it/wp-content/uploads/2022/09/Manuale_I.N.2.0_con-copertina.pdf

Prof. Gian Battista Bischetti
DiSAA - Ingegneria agraria

*Bosco di protezione (Gracco, UD, foto di A. Hofmann)
Hofmann A.A., Preti F., 2019, Politiche di promozione del
potere regimante del bosco, Quaderno. CESBIM n. 5*



Rischi naturali



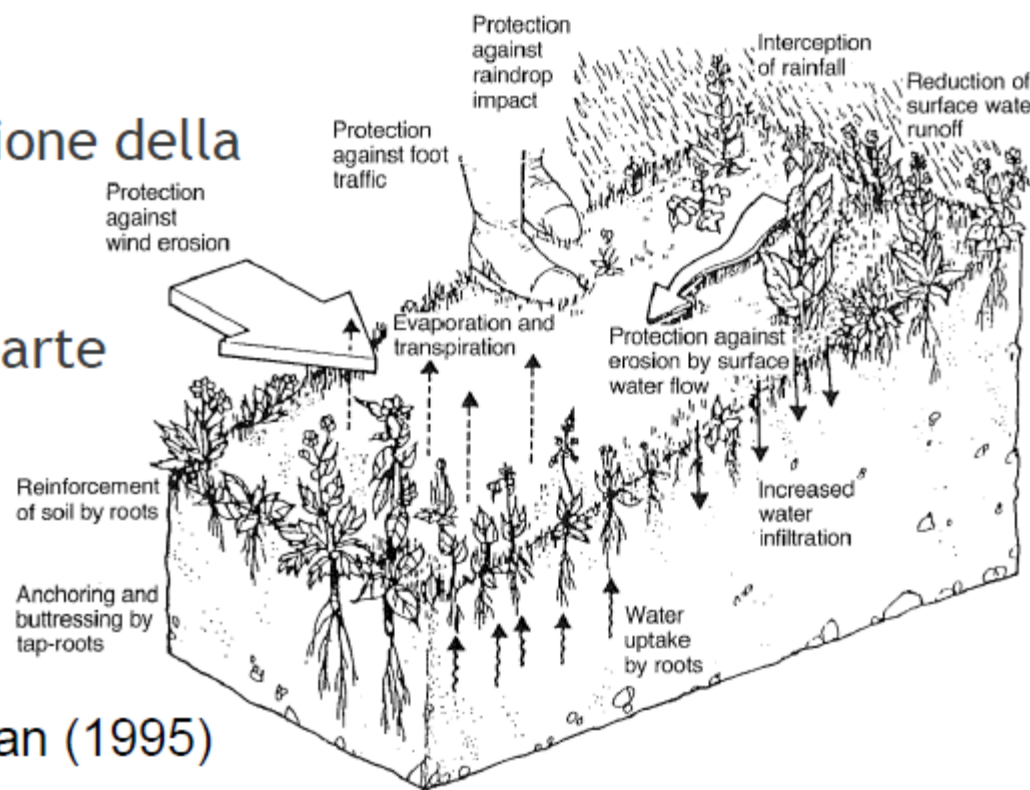
Bosco di protezione diretta

Abitazioni, infrastrutture, piloni elettrici

Effetti antierosivi della vegetazione

La presenza di vegetazione comporta:

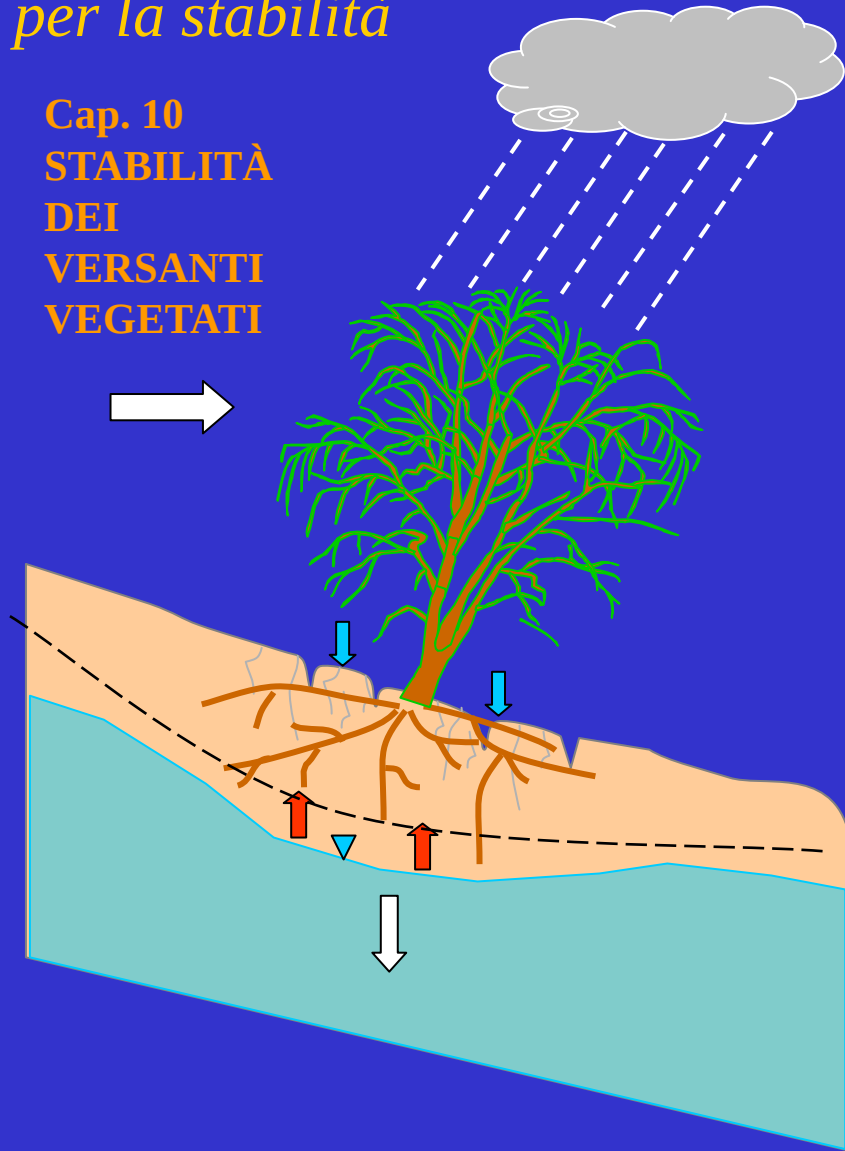
- Riduzione dell'energia cinetica della pioggia
- Maggiore infiltrazione nel suolo e riduzione del deflusso superficiale
- Maggiore scabrezza e riduzione della velocità di scorrimento
- Trattenuta del terreno da parte dell'apparato radicale



Styczen e Morgan (1995)

Effetti della vegetazione sulla stabilità di un pendio: il simbolo + indica un effetto positivo, mentre il simbolo – un effetto negativo per la stabilità

Cap. 10 STABILITÀ DEI VERSANTI VEGETATI



EFFETTI IDROLOGICI

- Intercettazione (+ +)
- Traspirazione (+ +)
- Aumento di permeabilità del suolo (-)

EFFETTI MECCANICI

- Rinforzo ad opera delle radici per coesione "radicale" (+ + +) e "chiodatura" (+ +)
- Sovraccarico dovuto al peso (-/+)
- Trasmissione delle forze dinamiche causate dal vento (--)

AUMENTO DELLA RESISTENZA AL TAGLIO

Azione di Tipo GEOMECCANICO

**Rinforzo
terreno**

Ancoraggio

Azione di Tipo IDROLOGICO

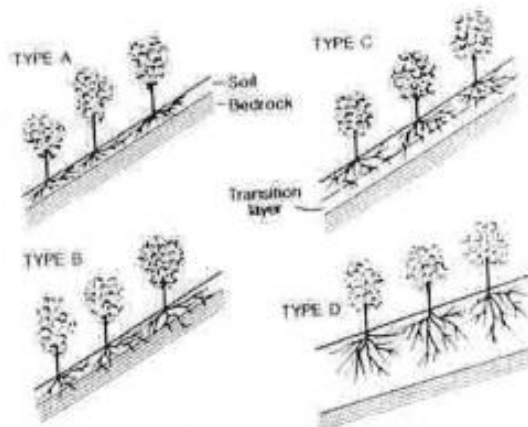
**Diminuzione
grado di
saturazione**

Assorbimento,
traspirazione ed
evaporazione

Intercettazione
delle piogge

Regolazione
dell'infiltrazione

TIPO A Probabile piano di debolezza al contatto tra il terreno/copertura detritica e il substrato
Le radici non penetrano nel substrato roccioso



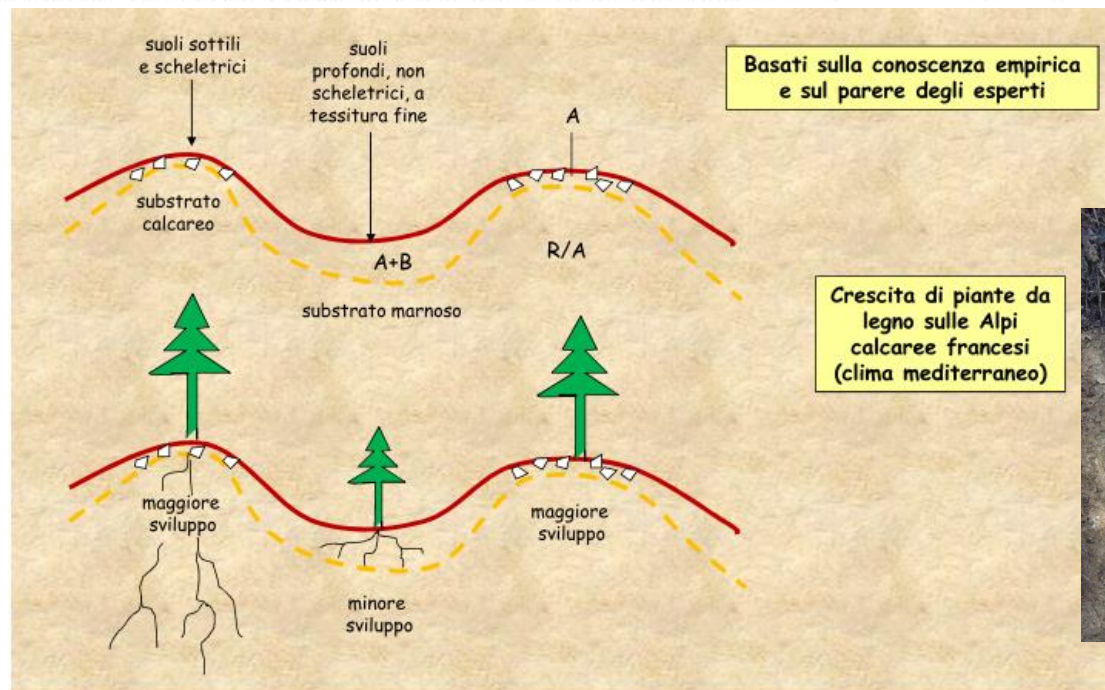
TIPO B Le radici degli alberi penetrano nel substrato e contribuiscono a stabilizzare il pendio

TIPO C Piano di debolezza all'interno dei terreni di copertura. Le radici degli alberi contribuiscono a stabilizzare il pendio

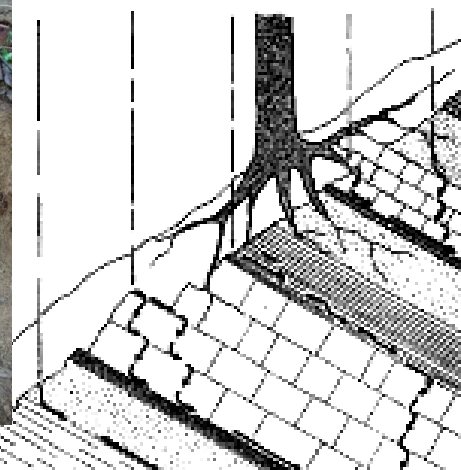
TIPO D Fenomeni di instabilità profonda; gli alberi "galleggiano" nella copertura detritica con nessun effetto positivo sulla stabilità del pendio



Figura A6.3 - Interazioni vegetazione-versante che influenzano la stabilità (da Greenway, 1987)

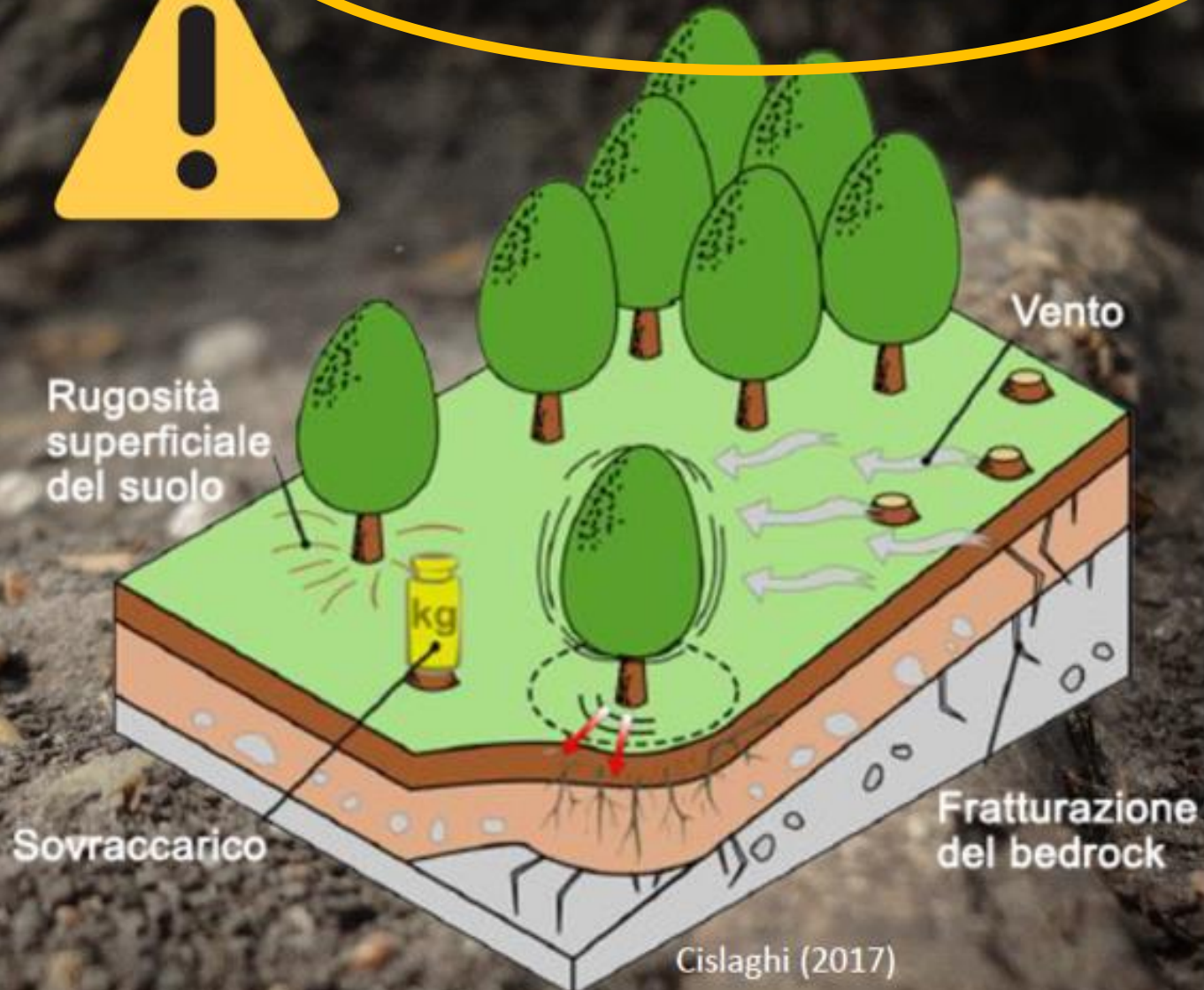


Crescita di piante da legno sulle Alpi calcaree francesi (clima mediterraneo)

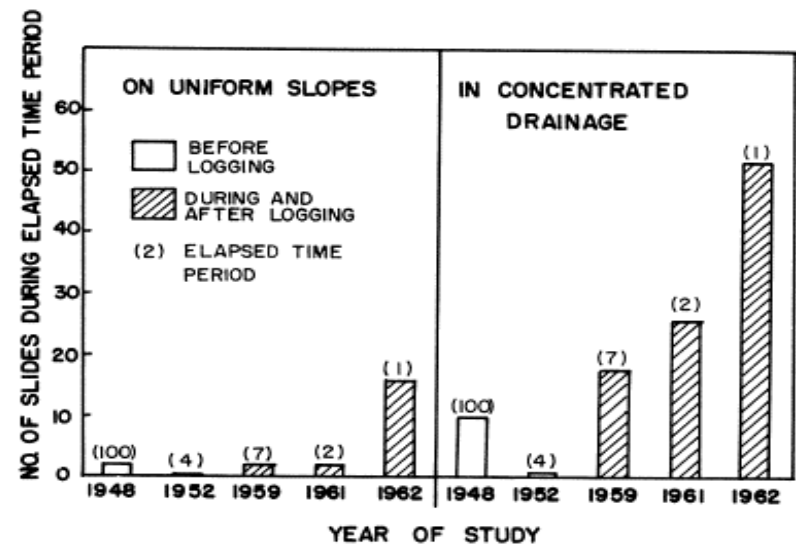
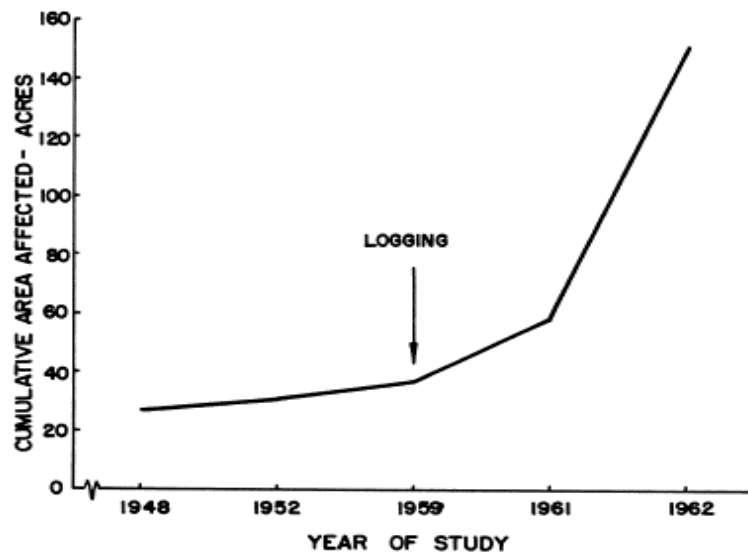


Generalmente la rimozione di vegetazione dai pendii comporta un aumento della probabilità di accadimento del fenomeno franoso

Sidle e Bogaard (2016)



Cislaghi (2017)



05/2004-Manawatu (New Zealand)



Photo: Chris. Phillips

La frequenza delle frane diminuisce grazie alla vegetazione, ovvero il tempo di ritorno delle frane aumenta coi rimboschimenti

Preti, F., 2013. Forest protection and protection forest: tree root degradation over hydrological shallow landslides triggering. Ecol. Eng. 61, 633–645. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.11.009>.



05/2004-Manawatu (New Zealand)

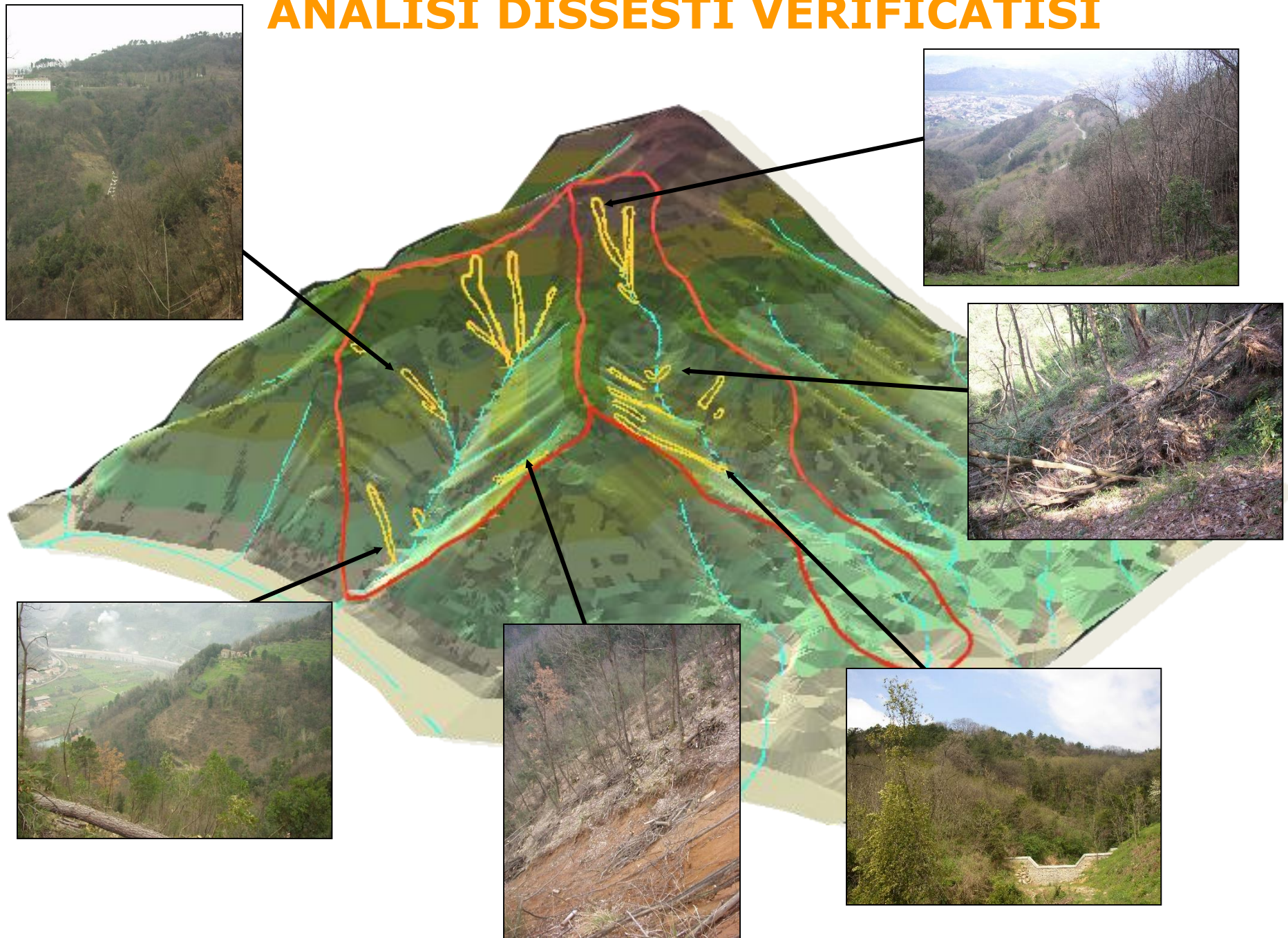
Photo: Peter Scott



Photo: United Nations Conference on Sustainable Development (2012)

12/2007-Curtis, Washington State (USA)

ANALISI DISSESTI VERIFICATISI



Contenuto d'acqua
e suzione

Granulometria

Contenuto in
sostanze organiche

Mineralogia

Densità

Storia tensionale

Porosità

Terreno

*Terreno
radicato*

Radici

Il terreno influenza le radici

Le radici influenzano il terreno

Modellazione del
fenomeno molto
complessa

Diametro

Resistenza a
trazione

Morfologica

Numero/densità

Tortuosità

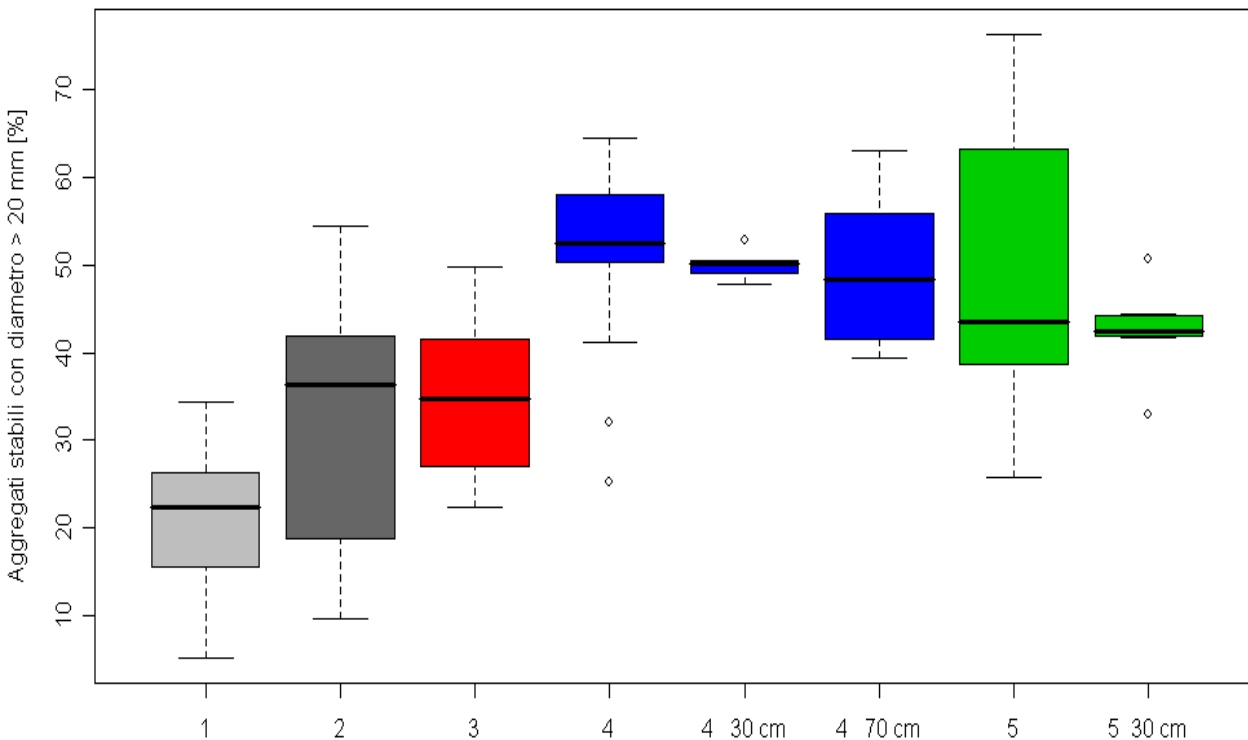
Salute ed Età

Struttura

Architettura

Aggregati
stabili del
terreno in area
di studio
situata nella
Svizzera
orientale, nel
cantone dei
Grigioni, in un
sottobacino del
torrente
Landquart

Distribuzione della percentuale in peso secco degli aggregati stabili > 20 mm nelle diverse aree campione



Area N°

Area		Altitudine [m]	Esposizione	Inclinazione
1	Area di controllo	1280	Est	41°
2	1 anno dopo gli interventi di I.N.	1340	Est	42°
3	2 anni dopo gli interventi di I.N.	1340	Est	41°
4	8 anni dopo gli interventi di I.N.	1260	Est	39°
5	Soprassuolo non franato e senza interventi di I.N.	1260	Est	40°

Tab. 1: Caratteristiche delle aree campione.

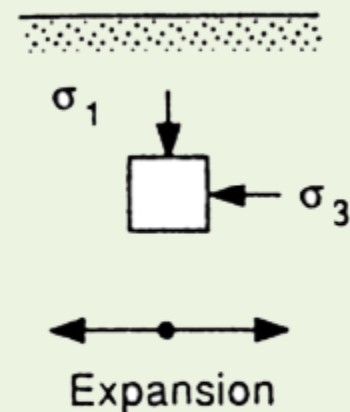
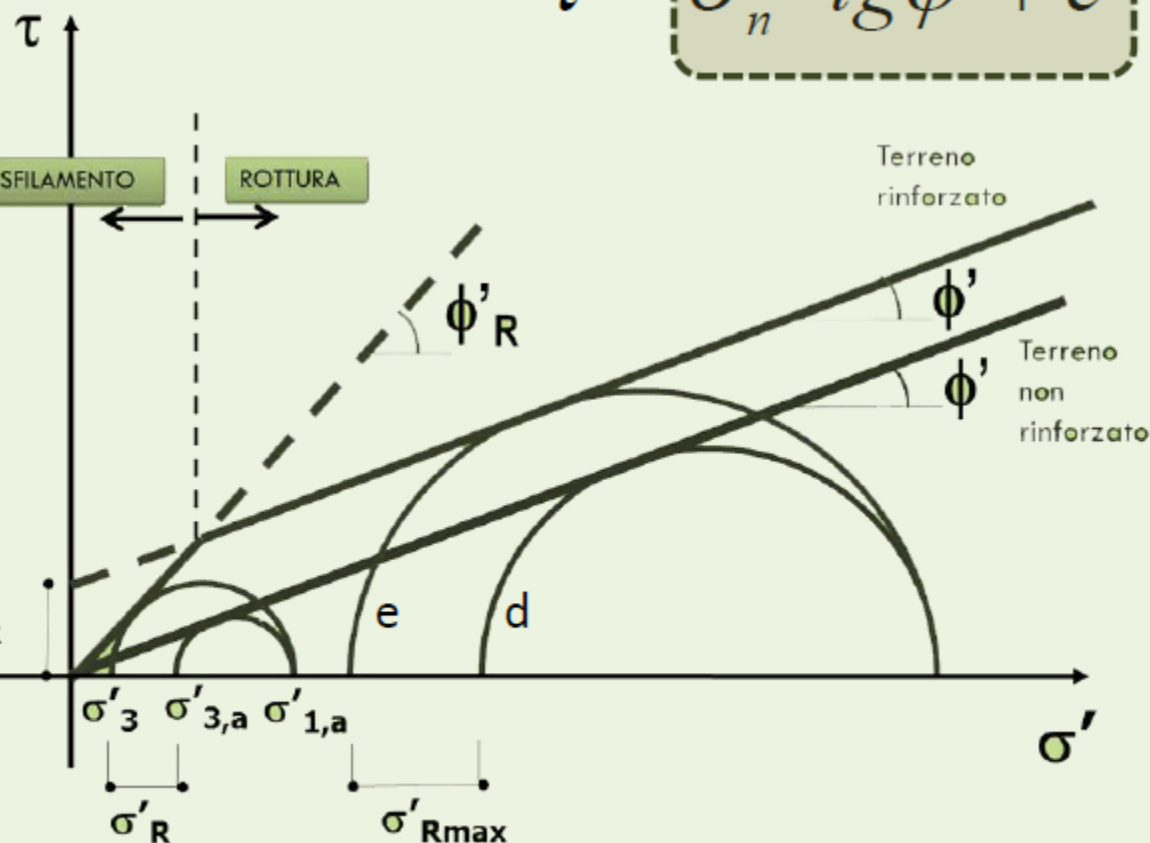
COMPORTAMENTO TERRENO RINFORZATO

CONTRIBUTO TERRENO



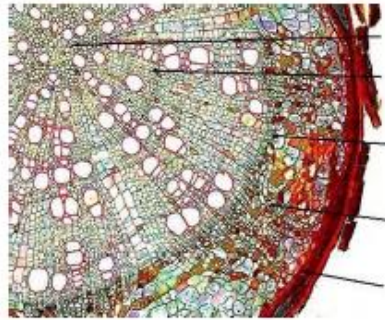
CONTRIBUTO RADICI

$$\tau = \sigma'_n \cdot \operatorname{tg} \phi' + c' + c'_R$$

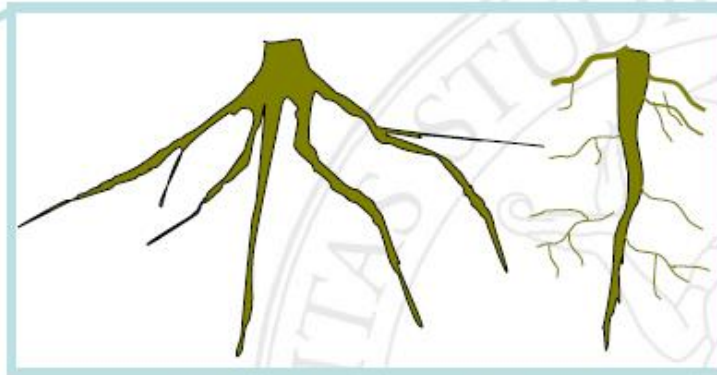


Incremento di resistenza al taglio con radici

$$c_R \approx 1.15 t_R$$



$$t_R = T_R (A_R / A)$$

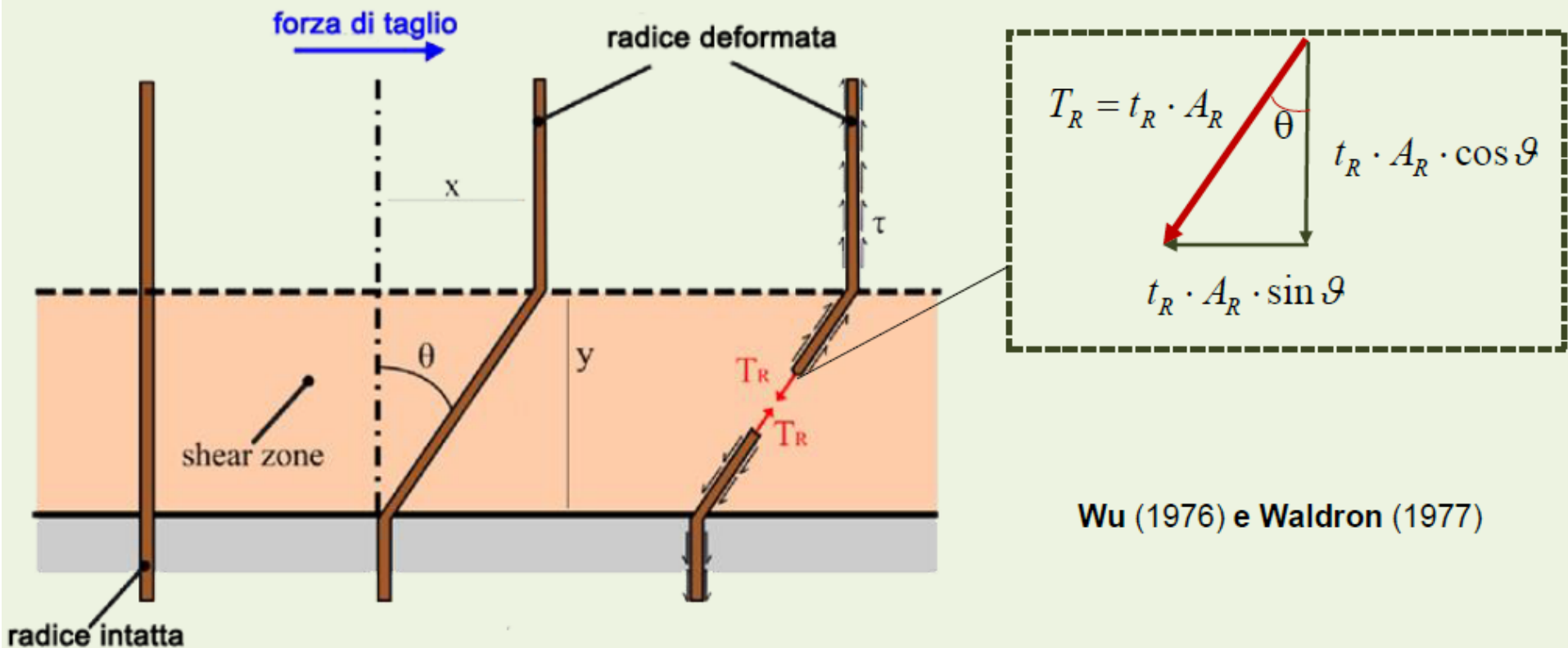


T_R resistenza media alla trazione mobilizzata per unità di area effettivamente occupata dalle radici

A_R area effettivamente occupata dalle radici

A sezione trasversale di terreno considerata





$$c'_R = \left[t_R A_R (\sin \theta + \cos \theta \tan \phi') / A \right] = \left[t_R (\sin \theta + \cos \theta \tan \phi') \right] \cdot (A_R / A)$$

Considerando N classi di diametro differente

k'' Fenomeni di rottura progressiva

$k' \cong 1.2$

$$c'_R = 0,5 \cdot k' \cdot \sum_{i=1}^N \left[t_{R_i} \cdot \frac{A_{R_i}}{A} \right]$$

Risultati:

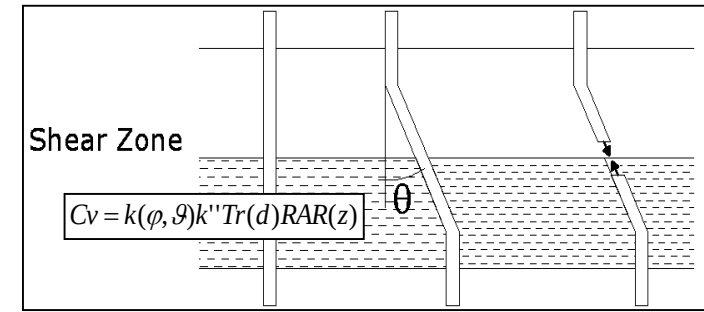
sovrastima Wu Model

Curva deformazione – sforzo
per un fascio di radici.

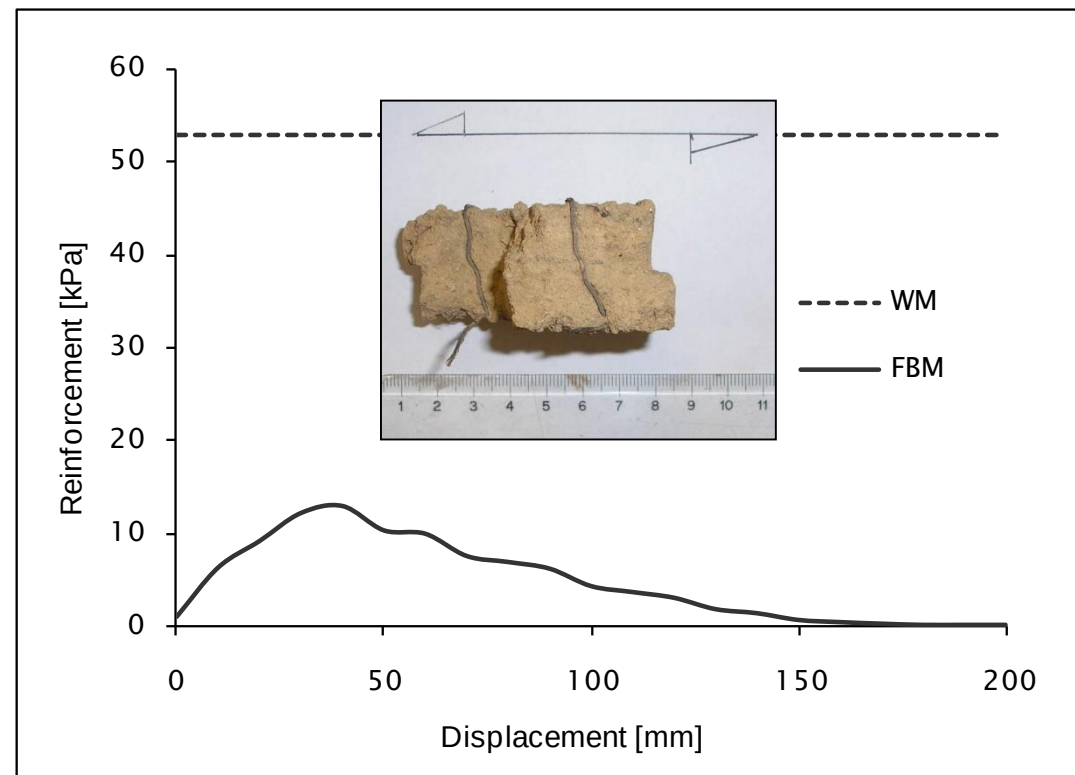
Differenza fra WM e FBM.

$k'' = C_vWM / \max(C_vFBM)$

*Schwarz, M., Preti F., Giadrossich F.,
Lehmann P., Or D., (2009),
Quantifying the role of vegetation in
slope stability: A case study in Tuscany
(Italy). Ecol. Eng. (2009),
doi:10.1016/j.ecoleng.2009.06.014*



$$C_v(z) = K \sum_{j=1}^n Tr_j(R.A.R._j) = k' k'' \sum_{j=1}^n Tr_j \left(\frac{Ar(z)_j}{Ars(z)} \right)$$



Risultati:

modello FBM

sovrastima WM

$$k'' < 1$$

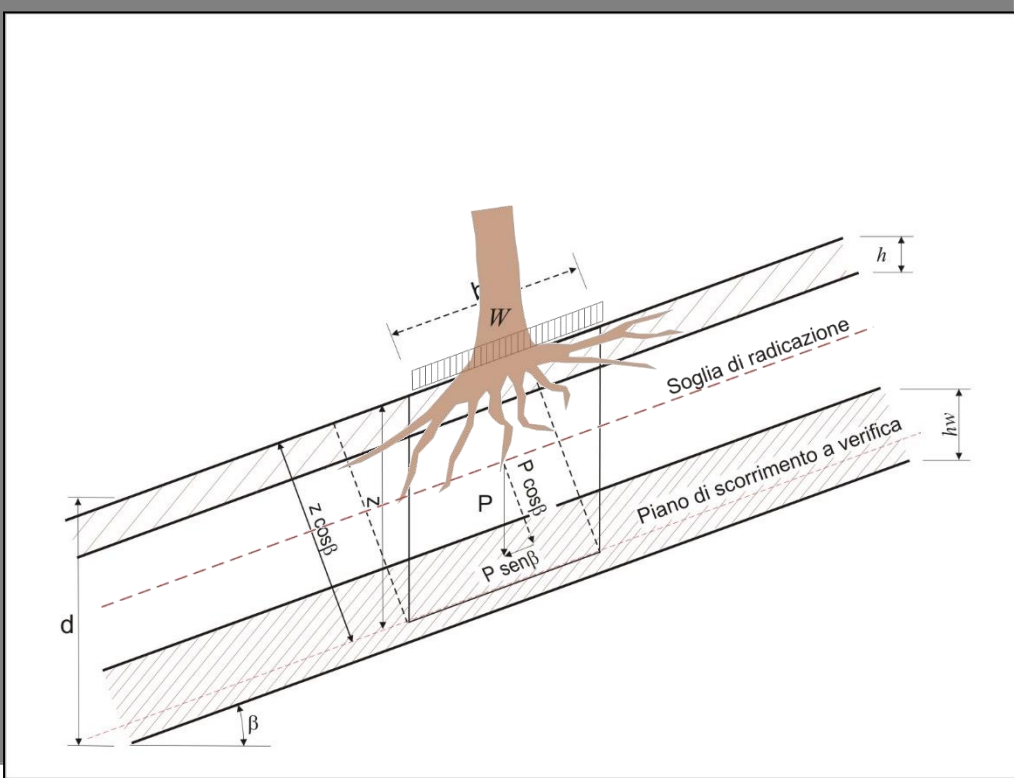
WM sovrastima la coesione radicale c'v (diametri ed elasticità delle radici diversi fra loro, rottura non simultanea, tortuosità, etc.).

Preti, F. and Schwarz, M., 2006. On root reinforcement modeling. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, EGU General Assembly 2006, 2–7 April, ISSN: 1029–7006.

Bischetti et al., 2009

<i>Case study</i>	<i>Author</i>	<i>c'v (kPa)</i>	<i>Methods used for the verification of c'v</i>	<i>Verified values of c'v (kPa)</i>	<i>k''</i>
<i>Salix esigua</i> Sandbar Willow	<i>Pollen et al., 2004</i>	3	Cumulative displacement-stress curve	1,5	0,5
Grass roots	<i>Pollen et al., 2004</i>	17,5	Direct shear-box tests	6	0,34
<i>Platanus Occidentalis</i> , Eastern Sycamore	<i>Pollen et al., 2004</i>	5,6	Cumulative displacement-stress curve	2,31	0,41
<i>Platanus Occidentalis</i> , Eastern Sycamore	<i>Pollen et al., 2004</i>	5,6	RipRoot model	2,48	0,44
14 wood	Shewbridge & Sitar, 1989	3,7	Shear tests	1,8	0,49
6 reed	<i>Gray et al., 1983</i>	1,5 [kN]	Laboratory shear tests	0,6 [kN]	0,40
Copper	<i>Gray et al., 1983</i>	0,72 [kN]	Laboratory shear tests	0,3 [kN]	0,42

Stabilità di un pendio indefinito in presenza di vegetazione e infiltrazione



Parametri considerati:

Coesione del terreno c' in kPa

Peso del volume di terreno γ_d in kN/m³

Angolo di attrito interno del terreno ϕ' in °

Angolo di inclinazione del pendio β in °

Angolo di attrito terreno-substrato ϕ_{BR} in °

Profond. del piano di scorrimento z

Sovraccarico W (peso della vegetazione valutato come carico nell'intorno di 1 m. dal fusto) in kPa

Coesione dell'apparato radicale c_v in kPa

Soglia di radicazione

τ_f = resistenza al taglio media disponibile lungo la superficie di scorrimento

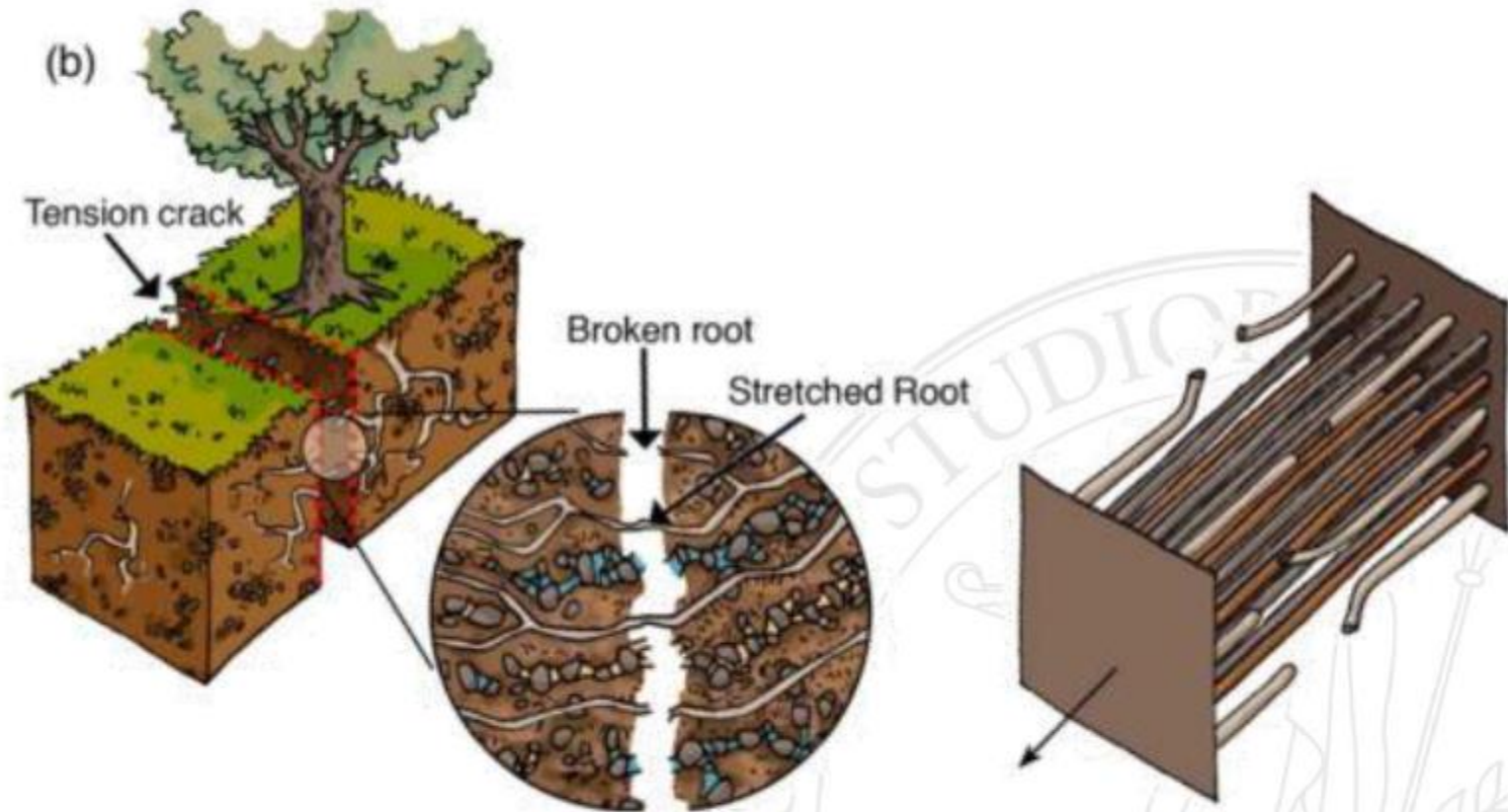
$$F_s = (\tau_f / \tau_m) \geq 1$$

τ_m = resistenza media mobilitata, cioè sforzo tangenziale medio che equilibra il peso del volume di terreno e degli eventuali carichi applicati lungo la superficie di scorrimento.

$$F_s = \frac{c' + c_v}{(z\gamma_d \cos \beta + W) \sin \beta} + \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

Fonte: Barneschi (2002)

Fiber Bundle Model

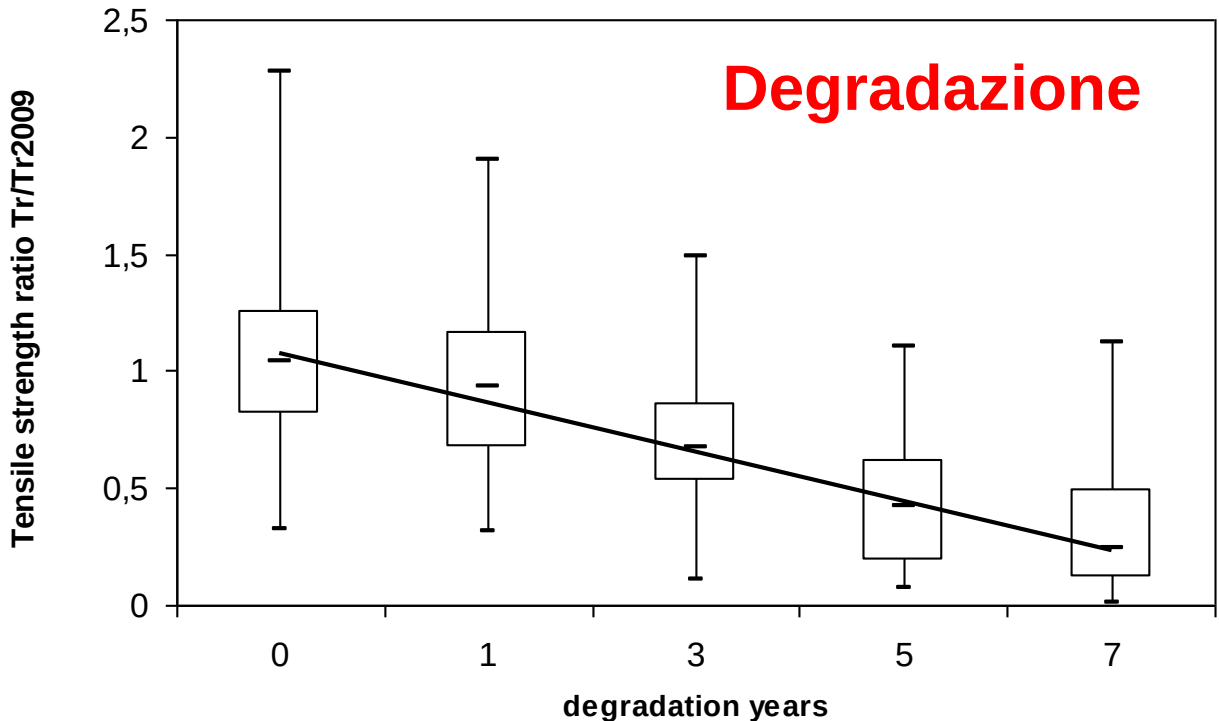
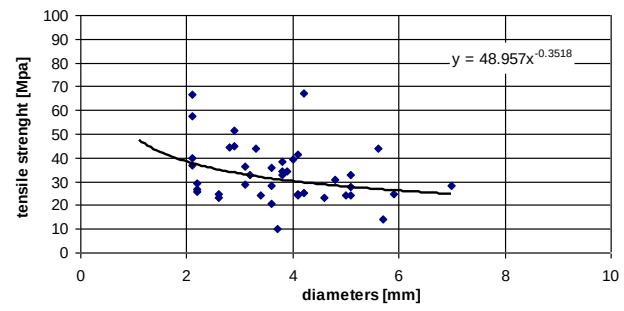


Fiber bundle model
(Pollen and Simon, 2005)

Preti, F., 2013.
 Forest protection and
 protection forest: tree
 root degradation over
 hydrological shallow
 landslides triggering.
 Ecol. Eng. 61, 633–
 645. [https://doi.org/
 10.1016/j.ecoleng.201
 2.11.009](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.11.009).

Resistenza a trazione

$$Tr = Tr_1 d^{-\beta}$$

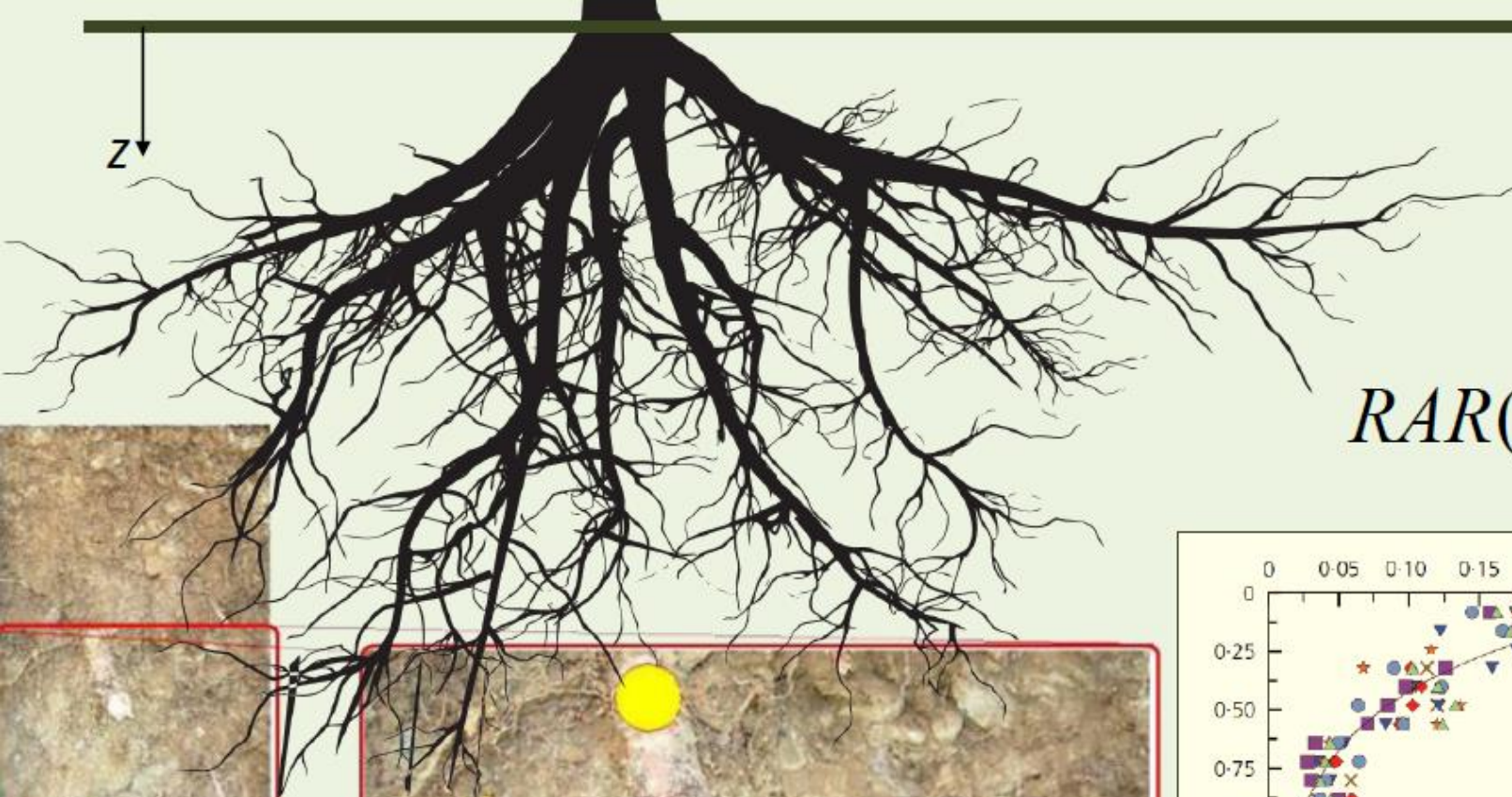


N = 276
 campioni
 di
 apparati
 radicali
 d = 1,9-9,5
 mm
 L > 4 cm

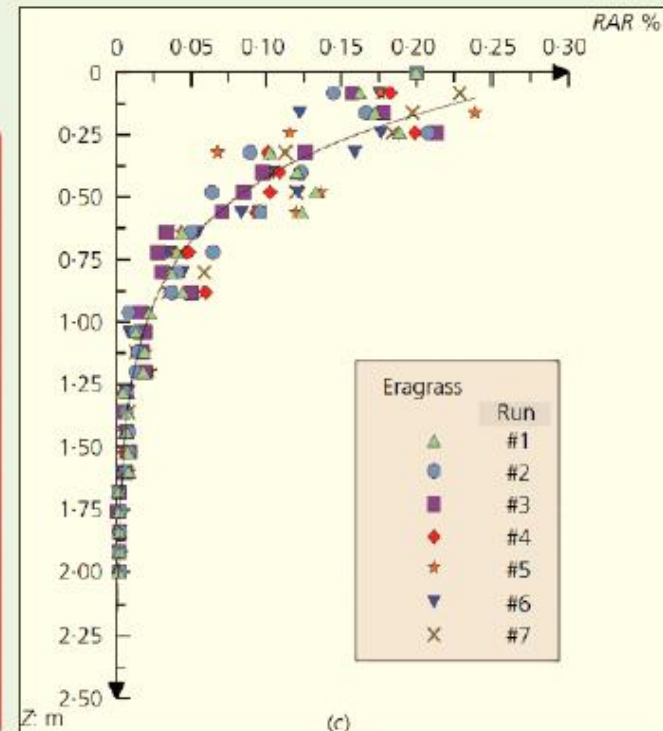
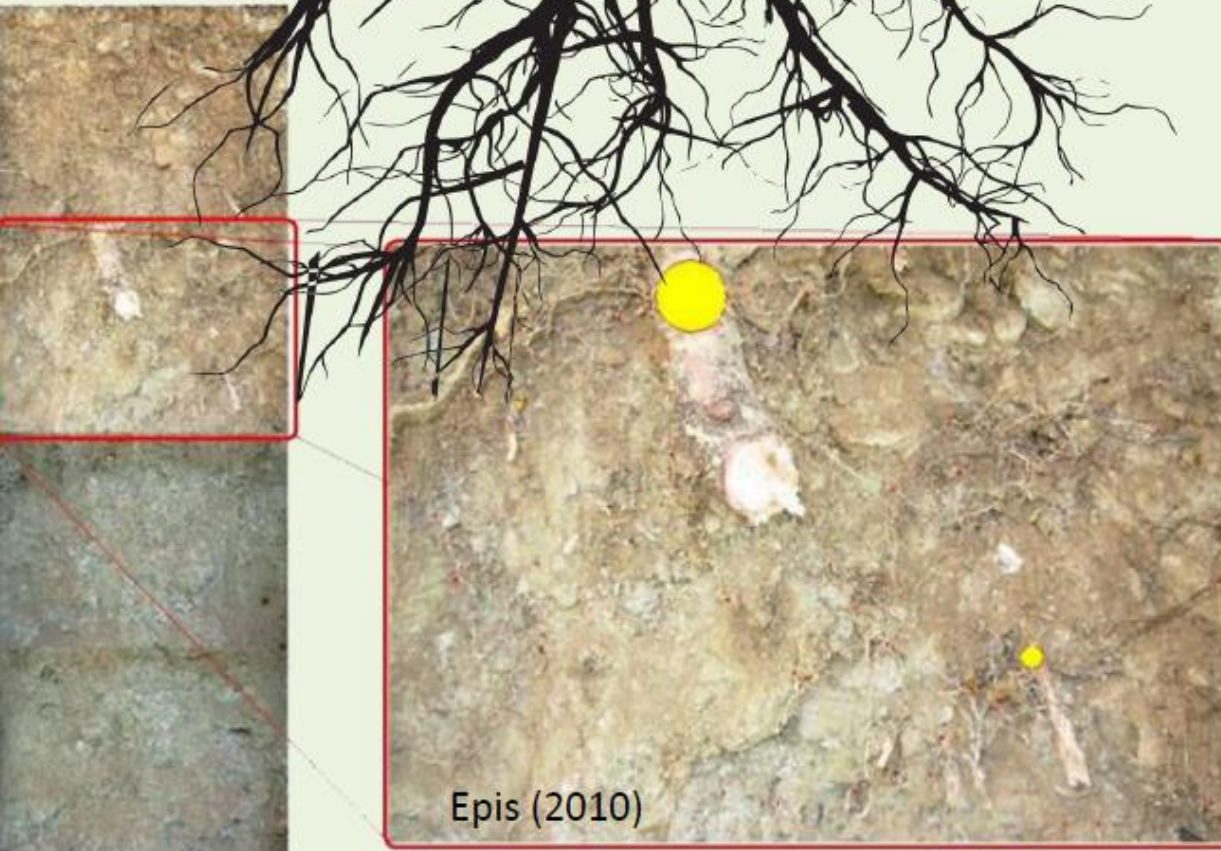
Fig. Resistenza a trazione adimensionalizzata rispetto al valore Tr(d) del 2009 per anni di degradazione crescenti (in asse x: 0= 2009, 1=2008, 3=2006, 5=2004 and 7=2002)

The plotted values are: minimum and maximum, first quartile, third quartile, median.

Regression line $y = -0,1168x + 1,0322$ $R^2 = 0,9958$



$$RAR(z) = \frac{A_{R_i}}{A}$$



Profilo radicale Ar (z)

modello PM

Confronto tra area delle radici Ar(z) misurata (cerchi rossi con R2=0,854) e modellata

b = profondità di radicazione media

$$b = \frac{\alpha}{AWC(1 - 1/DI)}$$

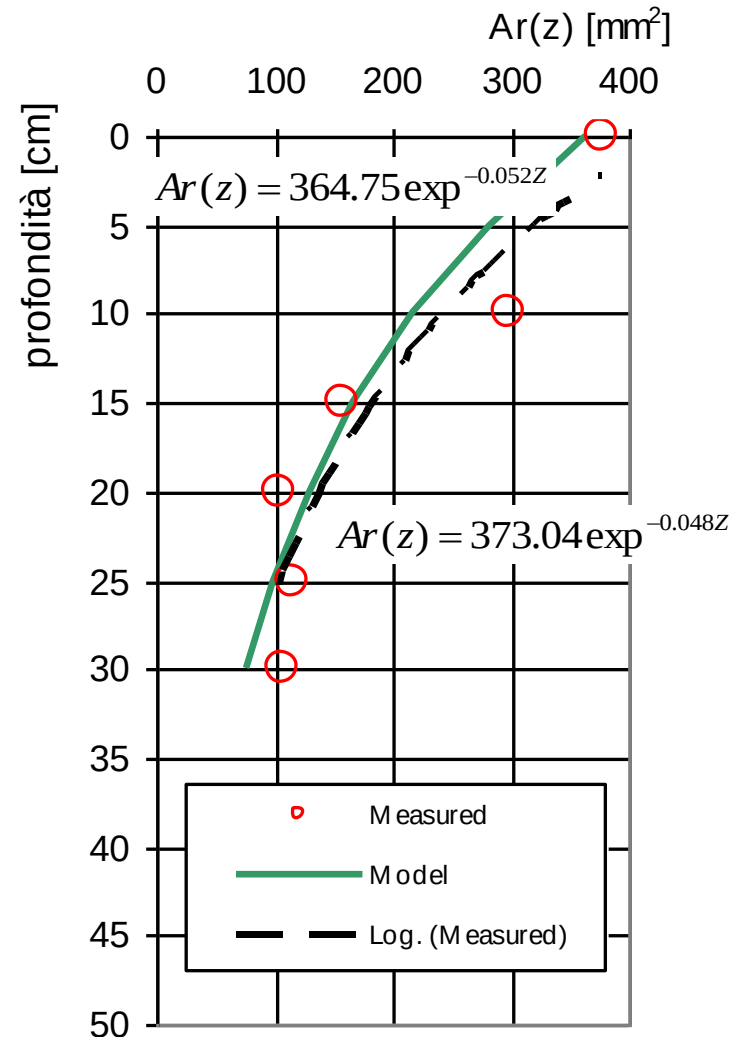
α = intensità media degli eventi di pioggia [mm/evento]
in fase di crescita vegetativa

DI = $T_p / \lambda \alpha$ Budyko Dryness index in fase di crescita vegetativa

λ_0 = frequenza media degli eventi di pioggia [n. eventi/giorno]

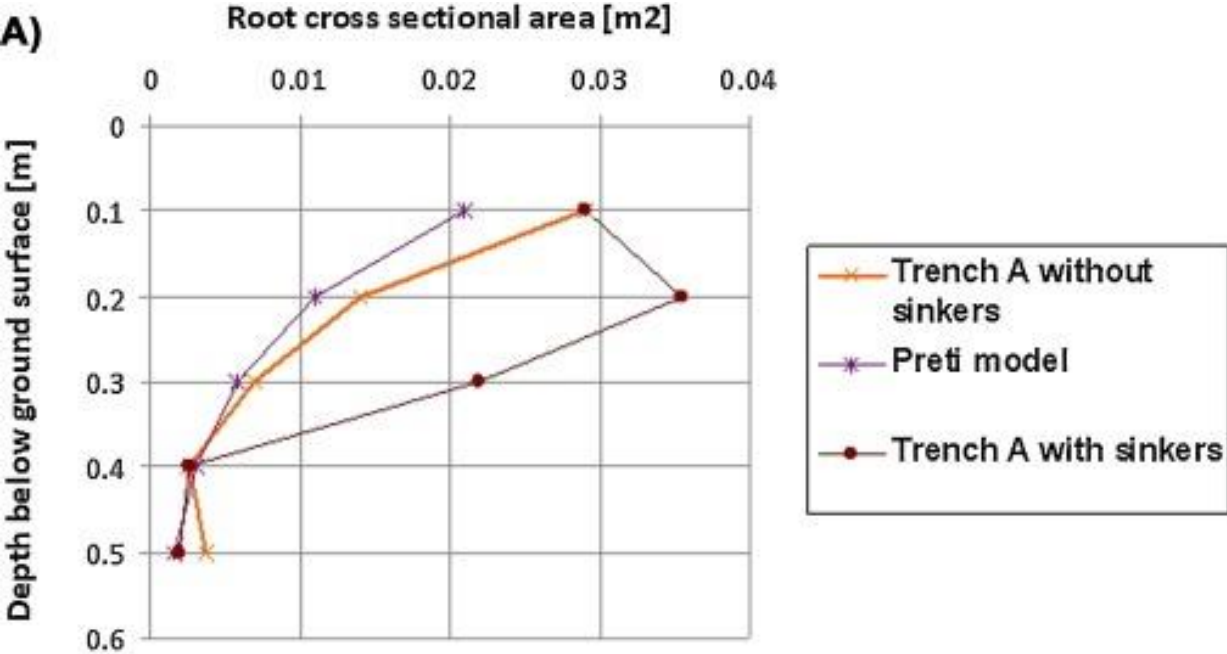
T_p = frazione di evapotraspirazione potenziale [mm/giorno]

AWC = acqua disponibile [mm]

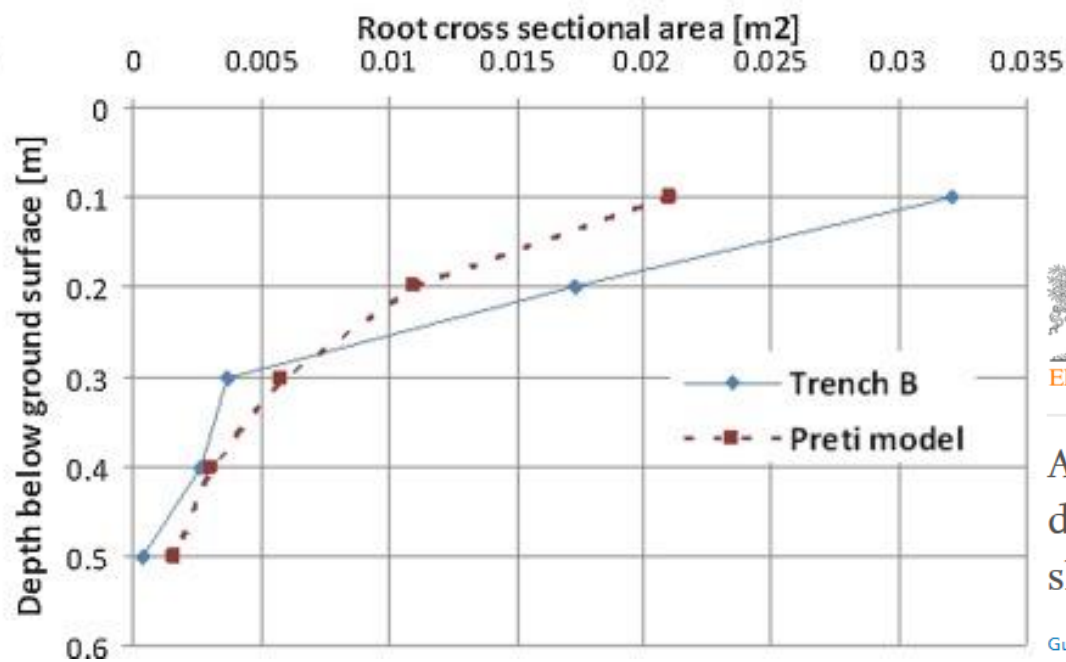


Preti, F., Dani A., Laio F., Root profile assessment by means of hydrological, pedological and above-ground vegetation information for bio-engineering purposes. Ecol. Eng. (2009), doi:10.1016/j.ecoleng.2009.07.010

A)



B)



Ecological Engineering
Volume 97, December 2016, Pages 46–57



A non-invasive preferential root distribution analysis methodology from a slope stability approach

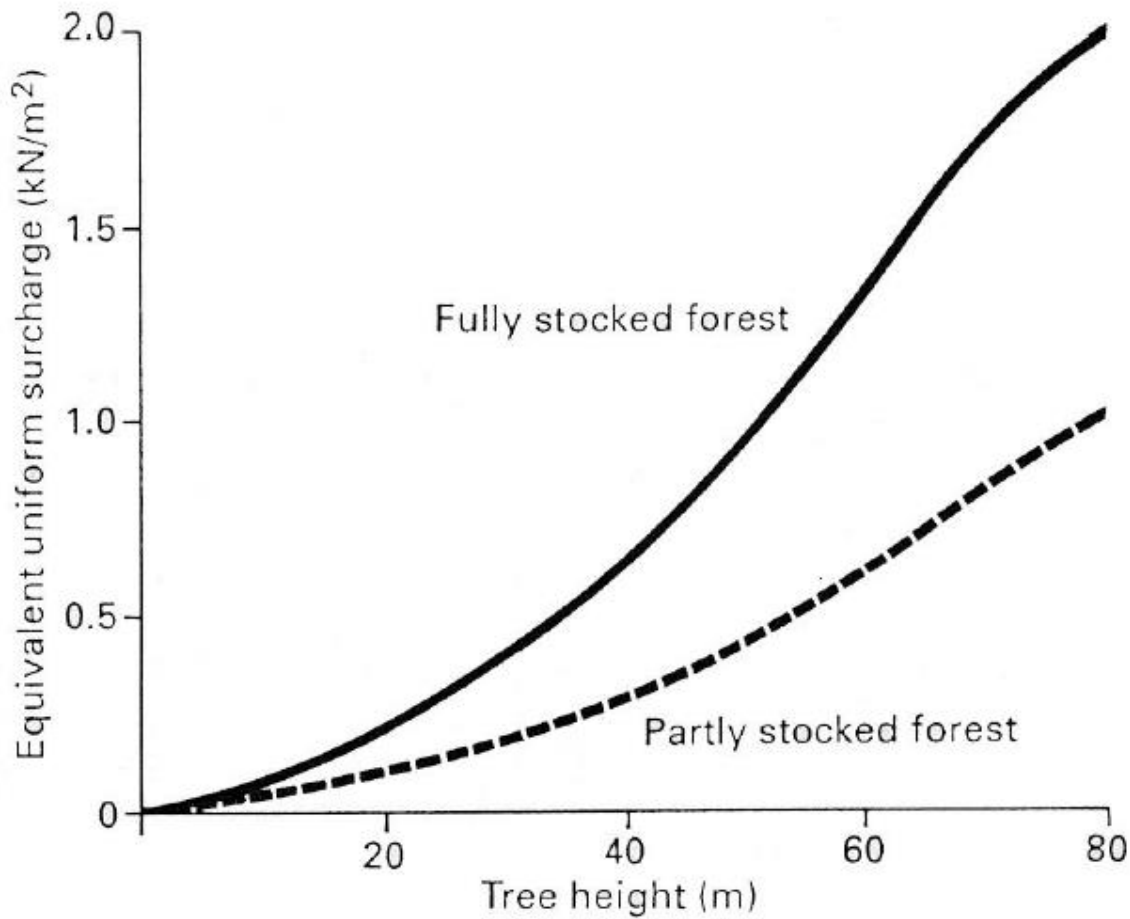
Guillermo Tardío ^a, Alejandro González-Ollauri ^b, Slobodan B. Mickovski ^b

Show more

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.005>

Get rights and content

Sovraccarico



da Coppin e Richards (1990)





1998



2000

Pomezana (Stazzema, LU)

Alluvione 19 giugno 1996

Castagno abbandonato «killer»???

=> Ontaneto

=> Ostrieto naturale



2003



2012

Variazione del Fattore di Stabilità FS con il peso della vegetazione W.
Il sovraccarico dovuto ad un bosco denso con piante alte $30 \div 50$ m è dell'ordine di **$0.5 \div 2$ kN/mq**.

$$1 \text{ kPa} = 1 \text{ k N/mq} = 0,1 \text{ kg/mq} = 1000 \text{ kg/ha} =$$

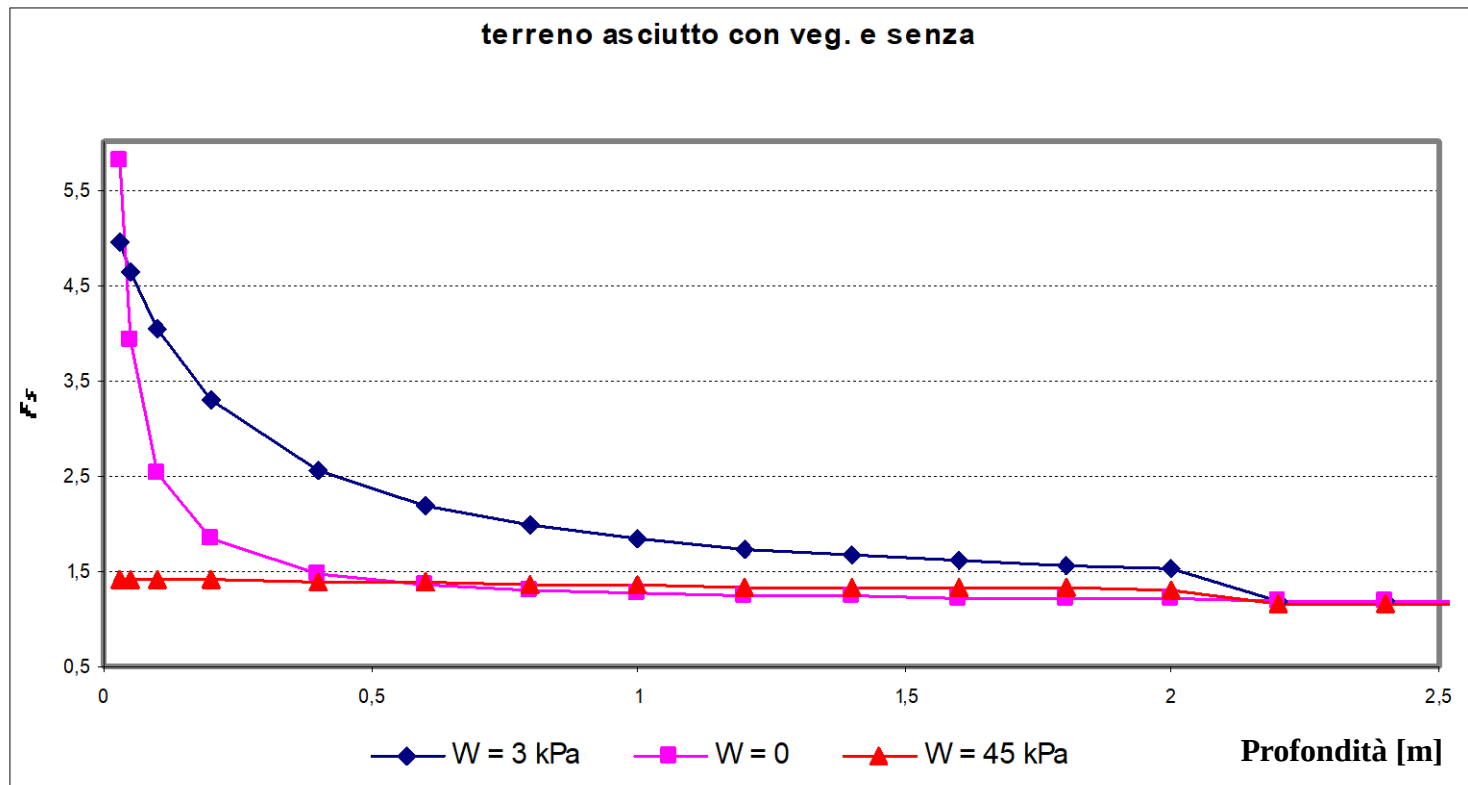
Peso specifico legno * sezione fusto * altezza piante * densità
(piante/ha) =

$$700 * 3,14 * 0,2 * 0,2 * 100 \text{ piante/ha}$$

$$1000 \text{ kg/ha} / 2000 \text{ kg/mc} = 0,5 \text{ mc/ha} = 0,05 \text{ m} =$$

5 cm suolo equivalente

Metodi a conchi: piante nella parte alta o al piede del versante FS = +/- 10%

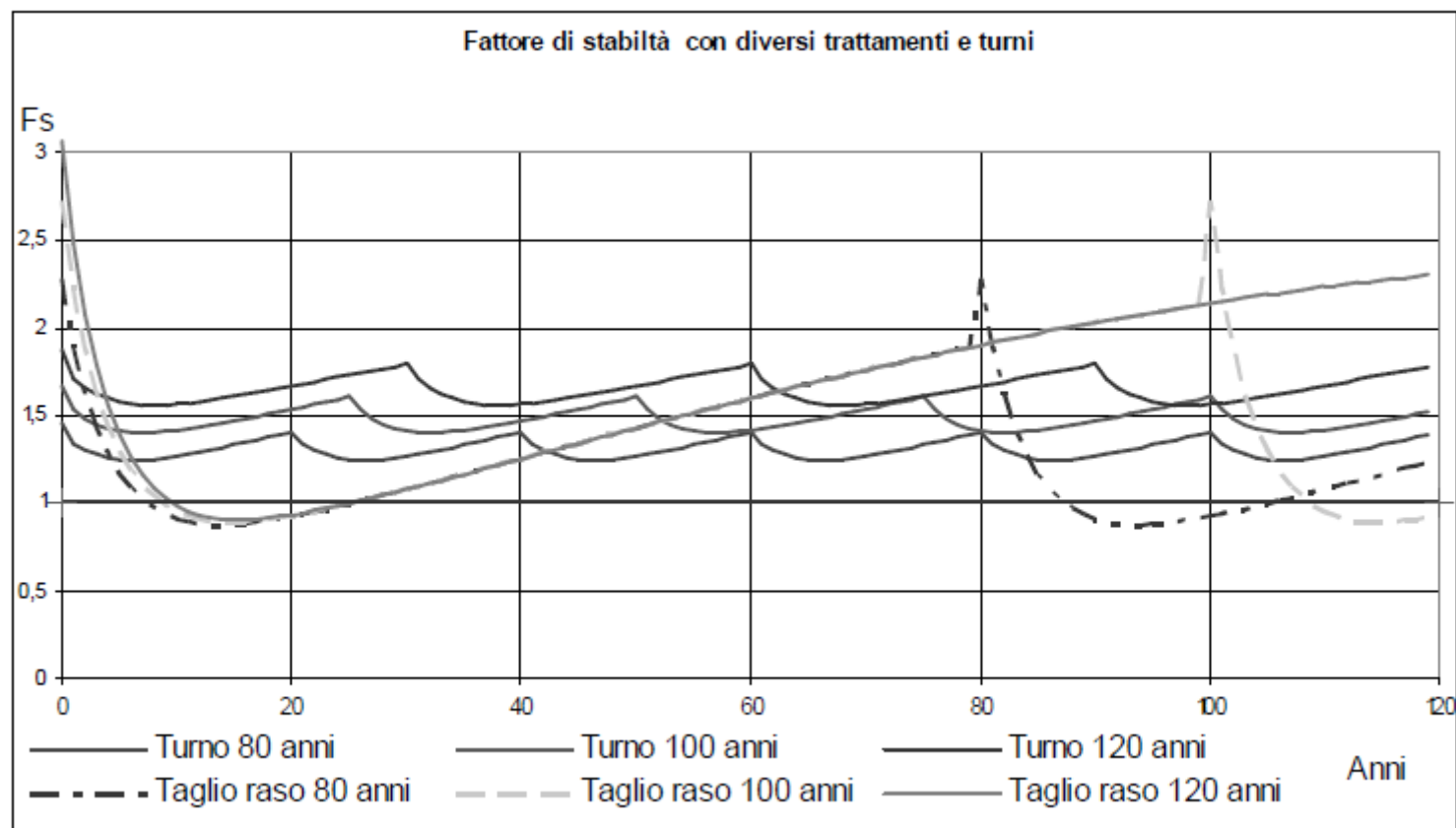


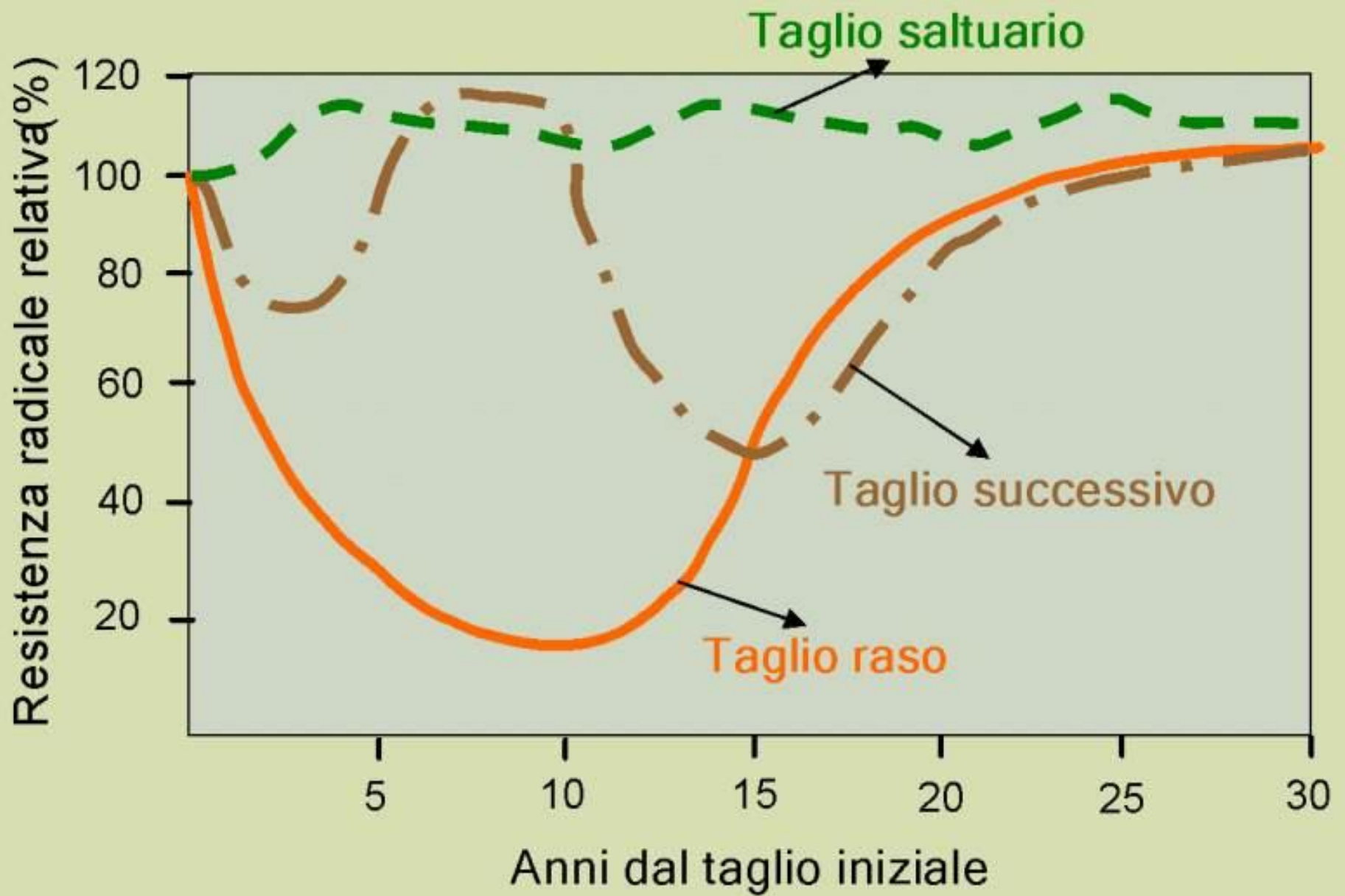
FS = FATTORE DI SICUREZZA PER LA STABILITÀ

Confronto tra situazione priva di vegetazione e con vegetazione: la coesione radicale c'_v migliora la stabilità e il peso della vegetazione W influisce solo superficialmente (equivale ad alcuni cm di terreno)

EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA STABILITÀ DI VERSANTE A SEGUITO DI TRATTAMENTI SELVICOLTURALI

Andrea Dani¹, Federico Preti¹

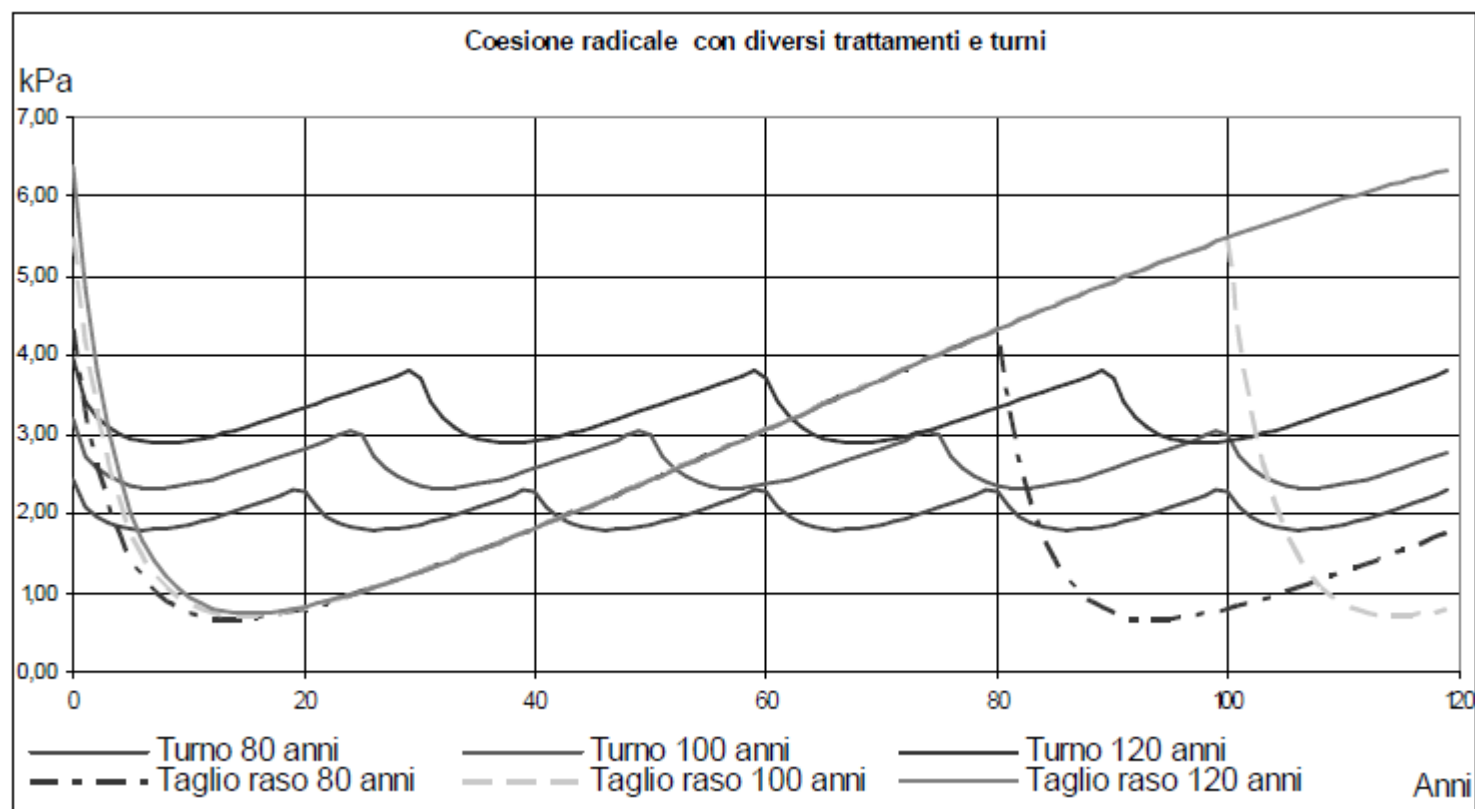




Ziemer et al., 1991 valido per conifere
cfr. con dati IDRA2010 per cedui

EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA STABILITÀ DI VERSANTE A SEGUITO DI TRATTAMENTI SELVICOLTURALI

Andrea Dani¹, Federico Preti¹



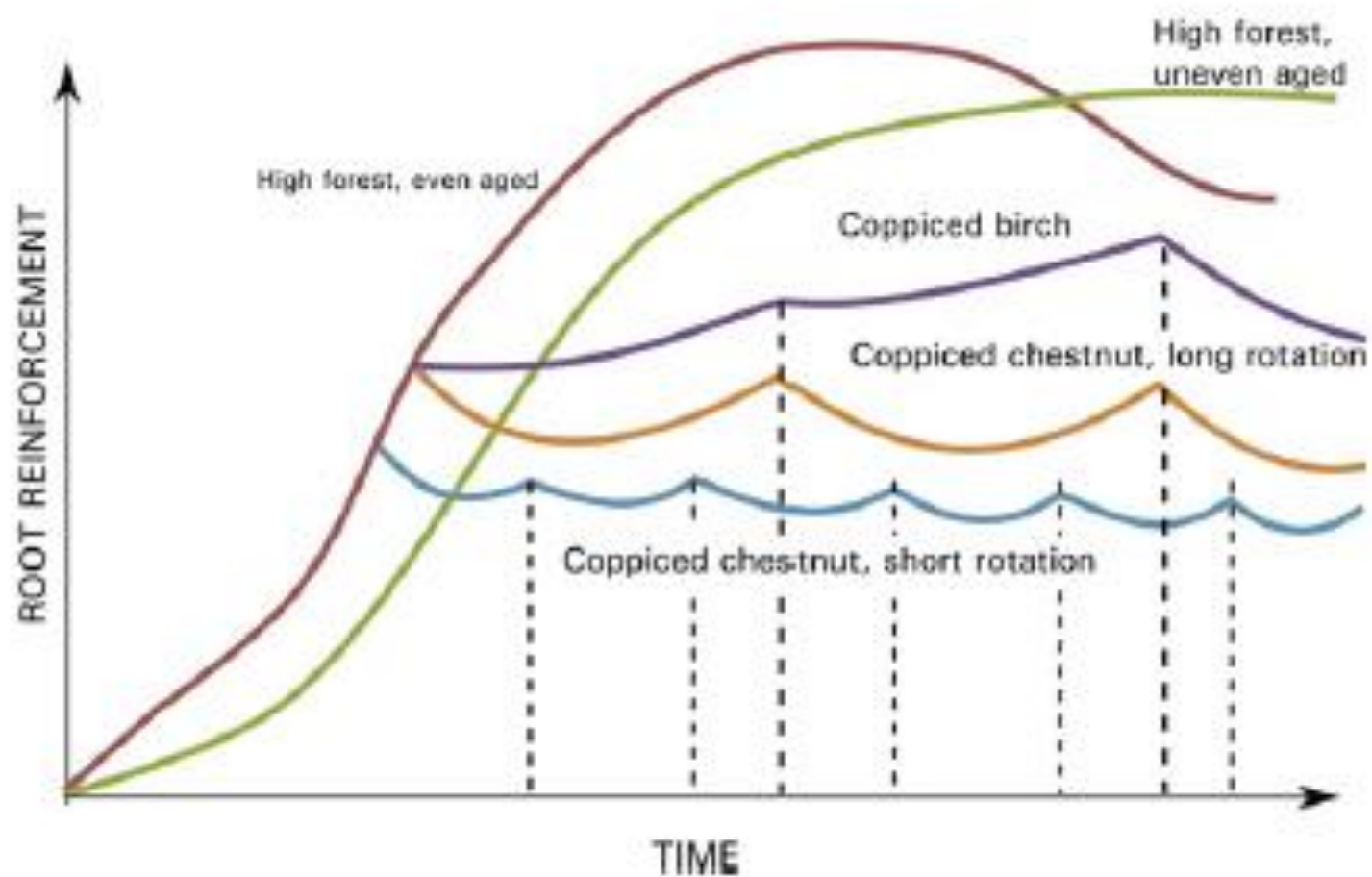


Fig. 10. Conceptual illustration of the long term development of root reinforcement at the stand scale as function of the silvicultural system and the species.

Contro la caduta massi: effetto barriera



I boschi riducono
l'intensità di eventi
come la caduta massi
intercettando i
blocchi di roccia e/o
assorbendo
parzialmente la loro
energia.



1/2016-Entremont Le Vieux, Savoie (Francia)

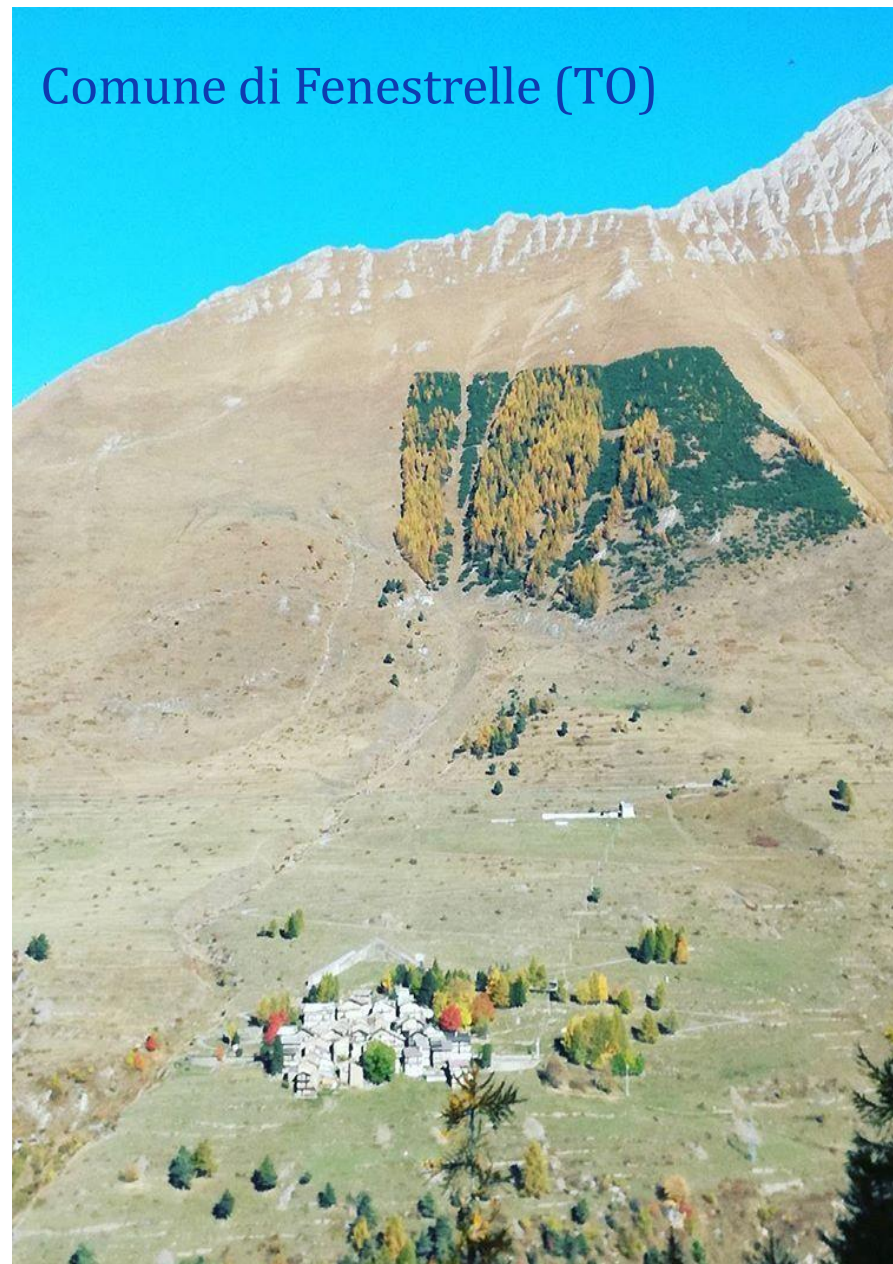
bischetti@unimi.it

alessio.cislaghi@unimi.it

Contro la valanghe: effetto barriera +

Comune di Fenestrelle (TO)

- Il bosco di protezione, come nel caso della difesa dalla caduta di massi, è una barriera in grado di proteggere infrastrutture e/o abitazioni.
- La copertura boschiva attenua la formazione delle valanghe, modificando l'accumulo della copertura nevosa ed influenzando le sue proprietà rispetto ad aree a suolo nudo.
- I processi connessi alla presenza del bosco sono:
 - l'intercettazione della neve attraverso la chioma;
 - la riduzione della velocità del vento vicino alla superficie;
 - la modifica del regime di radiazione solare e delle temperature. (Teich et al., 2013).



**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**

20 4:37AM