

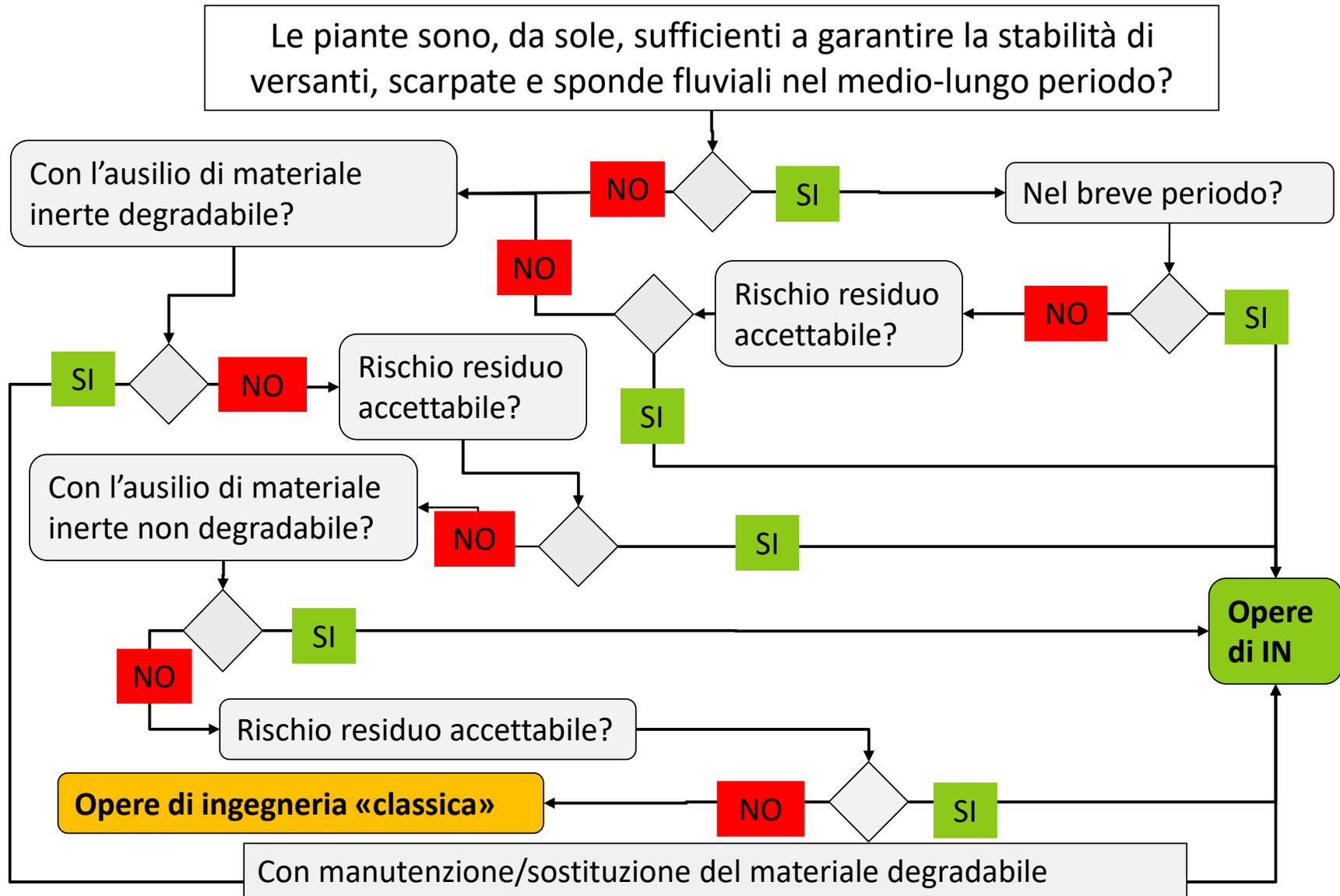
La vegetazione nella modellazione geotecnica classica

Gian Battista Bischetti

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Università degli Studi di Milano

bischetti@unimi.it



Come considerare la
vegetazione nella
modellistica geotecnica
«classica»

Per valutare la stabilità di un versante occorre:

- caratterizzare il sito dal punto di vista geologico
- individuare il cinematismo di collasso potenziale o avvenuto
- caratterizzare il materiale dal punto di vista geotecnico
- determinare le pressioni neutre e le loro variazioni nel tempo
- scegliere il modello più adeguato

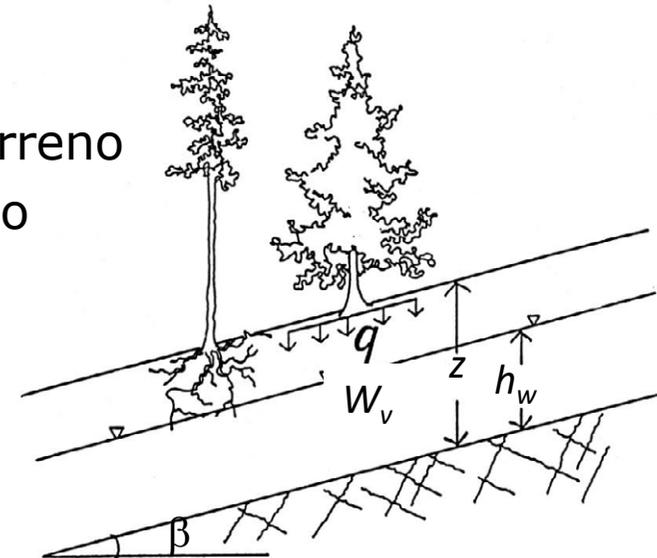
Modelli per la valutazione

- **metodi all'equilibrio limite**
- metodi agli elementi finiti
- metodi alle differenze finite

FS con vegetazione (pendio indefinito)

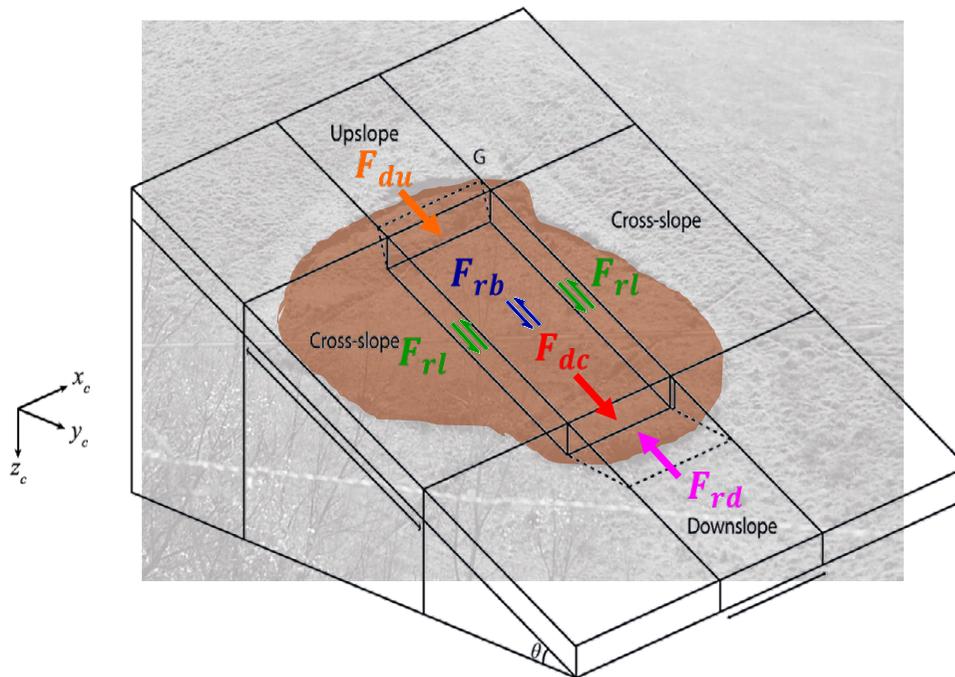
$$FS = \frac{(c' + c'_R) + \{[(\gamma z - \gamma_w h_w) + W_v] \cos^2 \beta + T \sin \theta \cos \beta\} \operatorname{tg} \phi'}{[(\gamma z + W_v) \sin \beta + D - T \cos \theta] \cos \beta}$$

- c' coesione del terreno
- γ peso specifico del terreno
- γ_w peso specifico dell'acqua
- ϕ angolo di resistenza al taglio del terreno
- z profondità del piano di scivolamento
- h_w altezza dello strato saturo
- β pendenza
- c_R contributo della vegetazione
- W_v sovraccarico del versante
- D carico del vento
- T ancoraggio con angolo θ



Modificato da Hammond, 1992

Modelli tridimensionali



$$FS = \frac{F_{rb} + 2 F_{rl} + F_{rd} - F_{du}}{F_{dc}}$$

PARAMETRI:

- dimensione del blocco: larghezza (w) and lunghezza (l);
- pendenza del blocco (θ);
- parametri geotecnici: peso per unità di suolo (γ_s); angolo di attrito interno (ϕ'); coesione efficace (c');
- profondità (z);
- rinforzo radicale (C'_r);
- altezza della falda (m).

$$F_{rb} = (C'_{rb} + (\gamma_s - \gamma_w m)z \cos^2 \theta \tan \phi') wl$$

$$F_{rl} = 0.5 K_0 (\gamma_s - \gamma_w m^2) lz^2 \cos \theta \tan \phi' + C'_{rl} lz \cos \theta$$

$$F_{rd} = 0.5 K_p z^2 (\gamma_s - \gamma_w m^2) w$$

$$F_{du} = 0.5 K_a z^2 (\gamma_s - \gamma_w m^2) w$$

$$F_{dc} = \gamma_s z w l \sin \theta \cos \theta$$

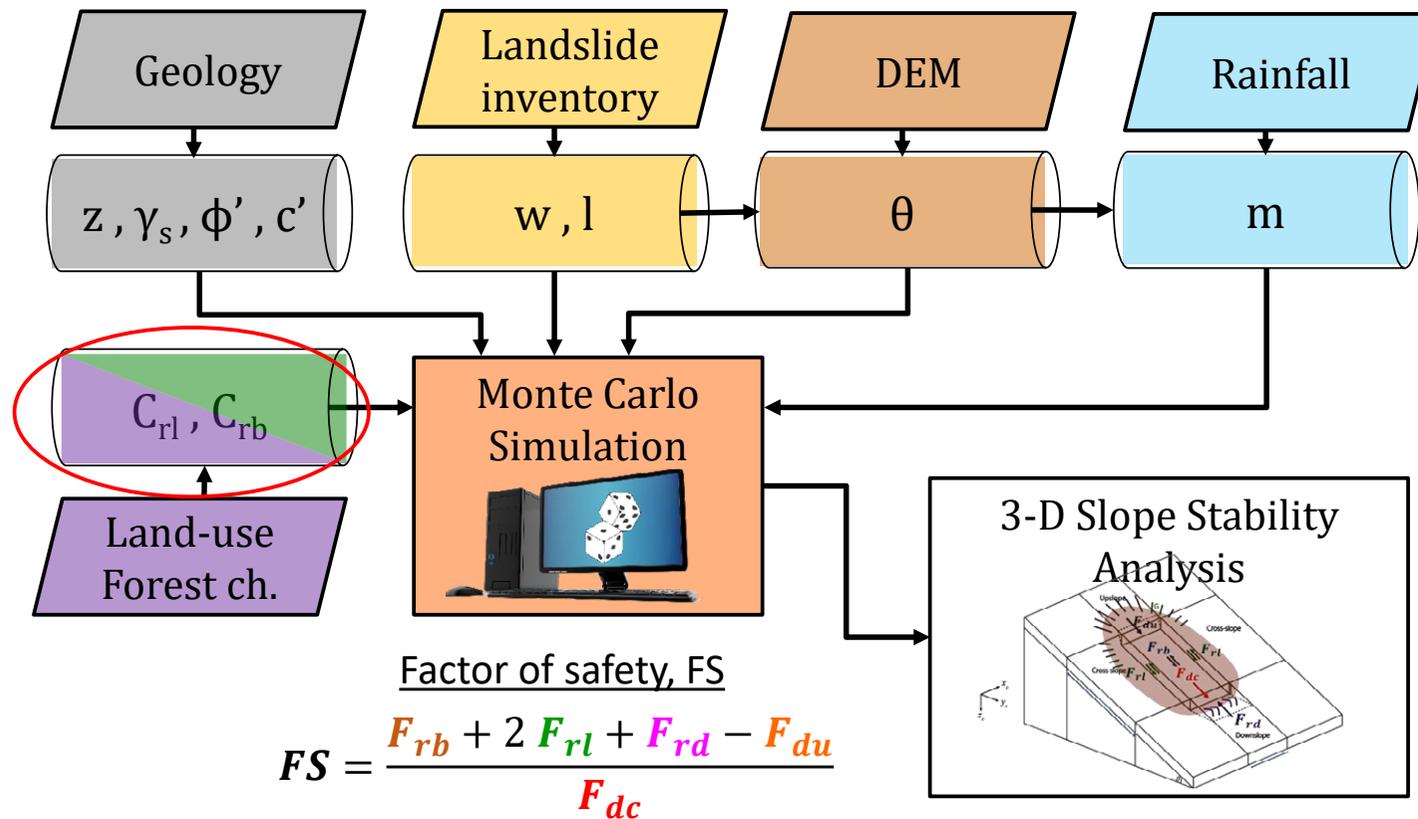
Cislaghi et al. 2017. Including root reinforcement variability in a probabilistic 3D stability model. Earth Surface Processes and Landforms 42, 1789–1806. <https://doi.org/10.1002/esp.4127>

PRIMULA - PProbabilistic MULTidimensional shallow Landslide Analysis

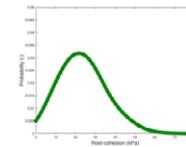
EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS
Earth Surf. Process. Landforms (2017)
 Copyright © 2017 John Wiley & Sons, Ltd.
 Published online in Wiley Online Library
 (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.4127

Including root reinforcement variability in a probabilistic 3D stability model

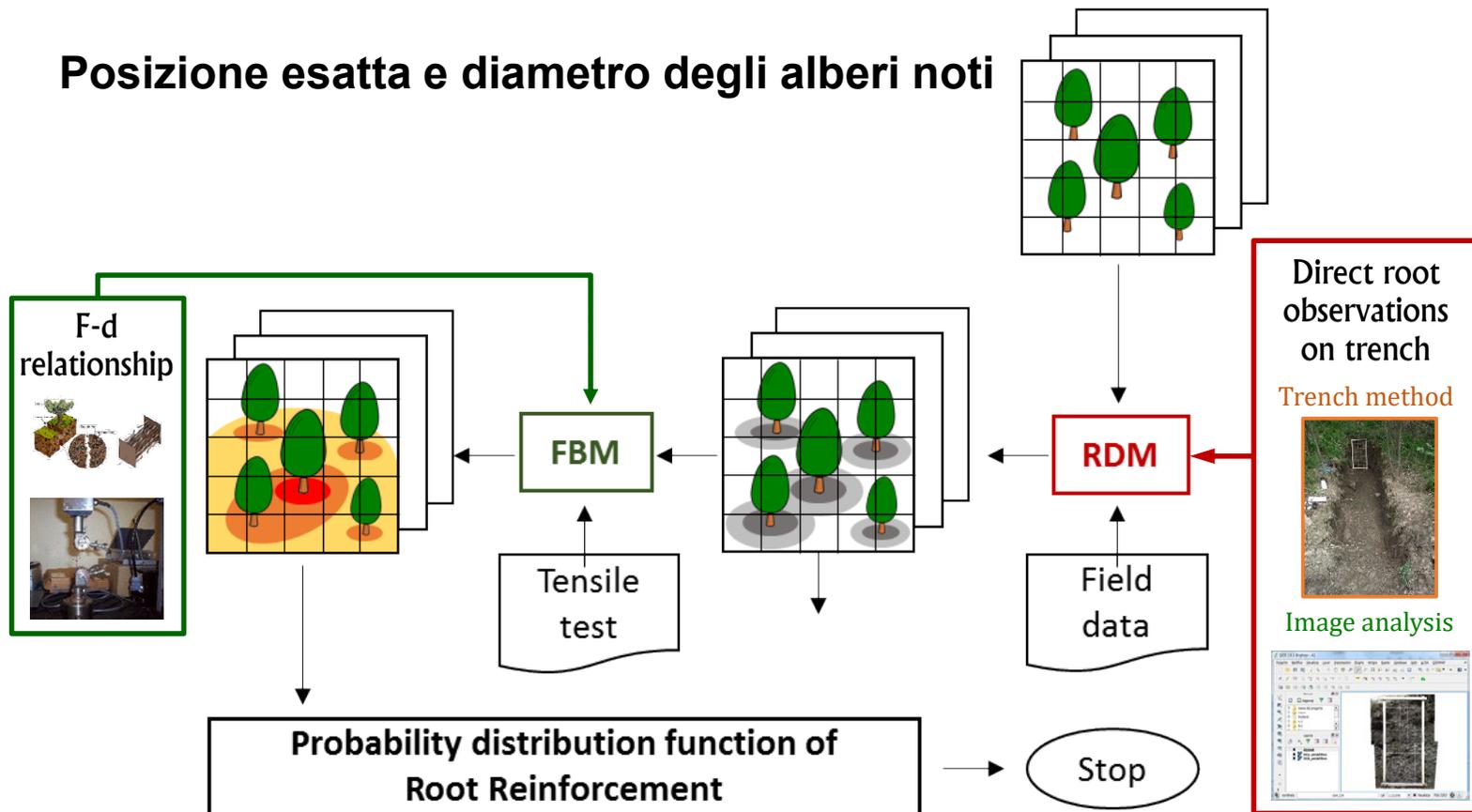
Alessio Cislighi,^{1*}  Enrico Antonio Chiaradia¹ and Gian Battista Bischetti^{1,2}
¹ Department of Agricultural and Environmental Sciences (DiSAA), University of Milan, Milan, Italy
² Centre of Applied Studies for the Sustainable Management and Protection of Mountain Areas (Ge.S.Di.Mont), University of Milan, Edololotaly



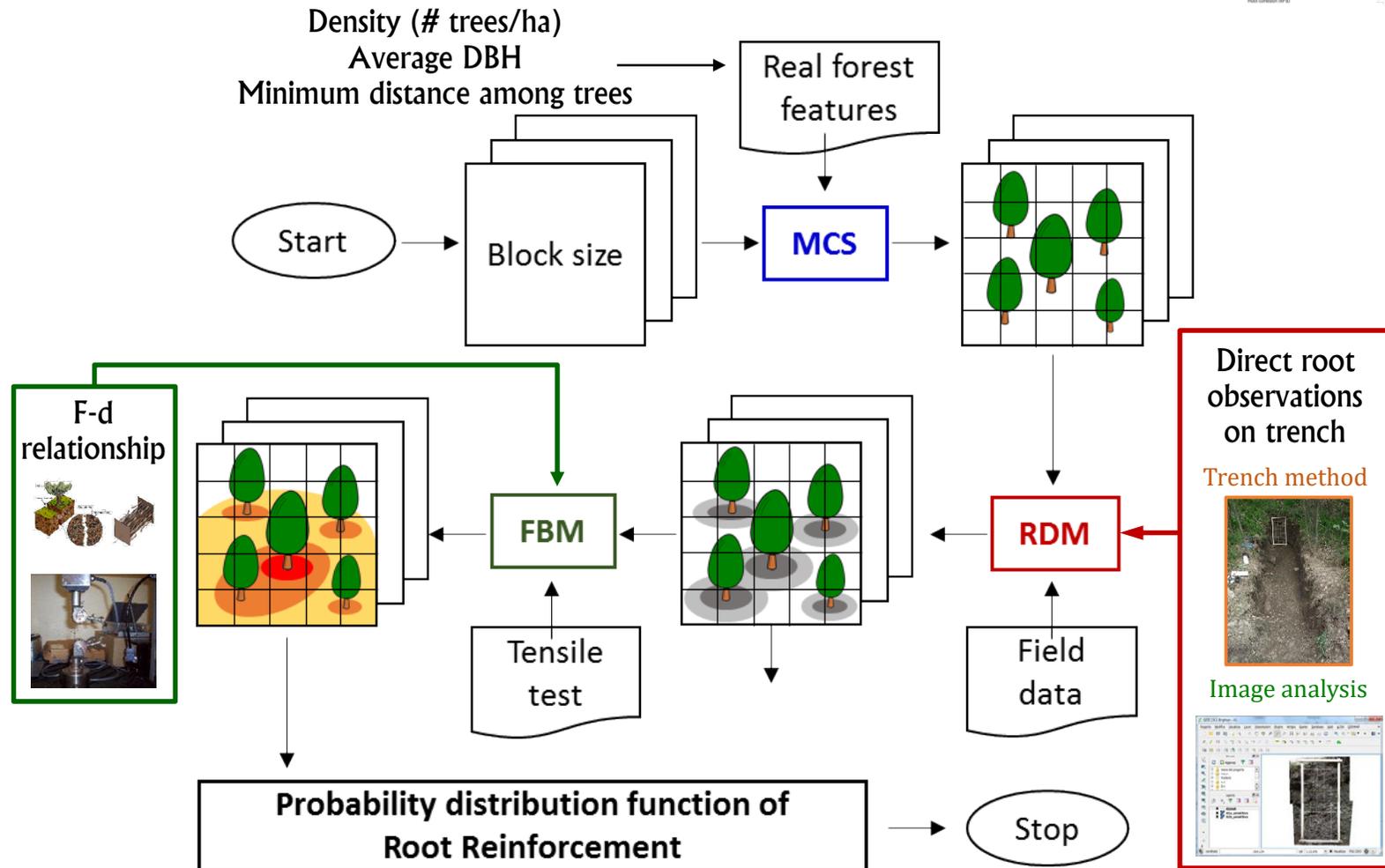
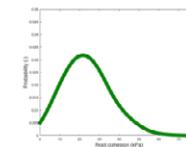
How to evaluate the PDF of C_r ? Prob-RR



Posizione esatta e diametro degli alberi noti



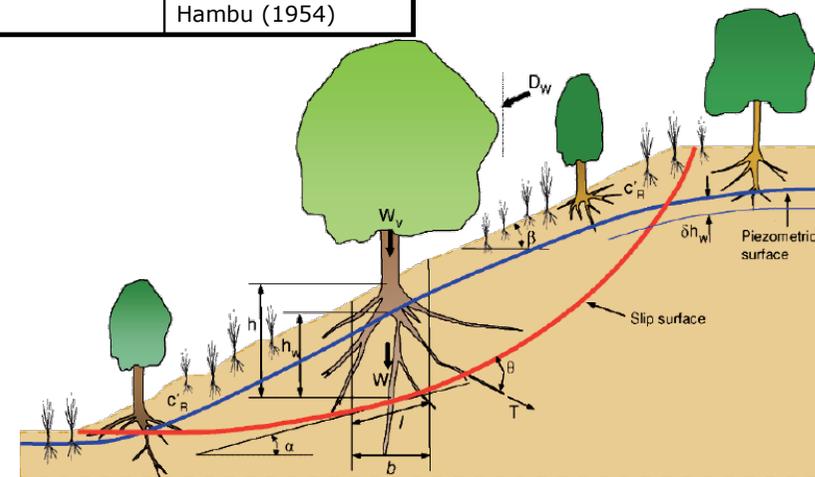
How to evaluate the PDF of C_r ? Prob-RR



valutazioni di C_r

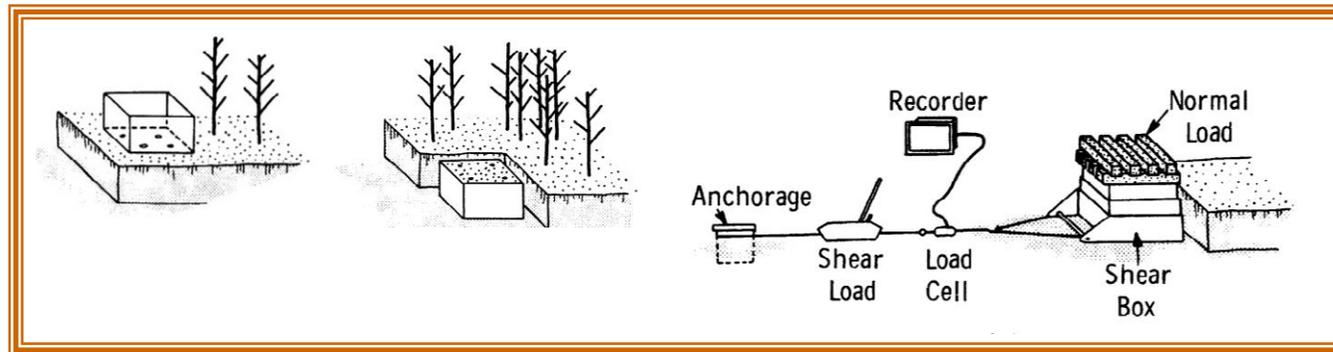
C_r da Back analysis su eventi avvenuti

Sup. rottura	metodo	Ipotesi	Riferimento
Planare	Pendio indefinito	Pendio uniforme illimitatamente lungo	Taylor (1948)
	Culmann	Superficie di rottura piana che si interseca con la base del pendio	Culmann (1966)
Piani che si intersecano	cuneo	Blocco singolo o blocchi scivolanti	Hoek-Bray (1981) NAVFAC (1982)
Circolare	Conci	Forze laterali sui duellati del concio uguali	Fellenius (1936)
	Cerchio di attrito	Risultante forze agenti su arco di rottura tangenti a un cerchio concentrico con $R \sin \phi$	Taylor (1948)
	Bishop	Sistema di forze interconco	Bishop (1955)
	Bishop mod.	Sistema semplificato di forze interconco	Bishop (1955)
	Spencer	Forze interconco parallele	Spencer (1967, 1981)
Irregolare	Morgsten-Price	Equazioni generali dell'equilibrio	Morgstein-Price (1965)
	Janbu	Considera le forze interconco	Hambu (1954)

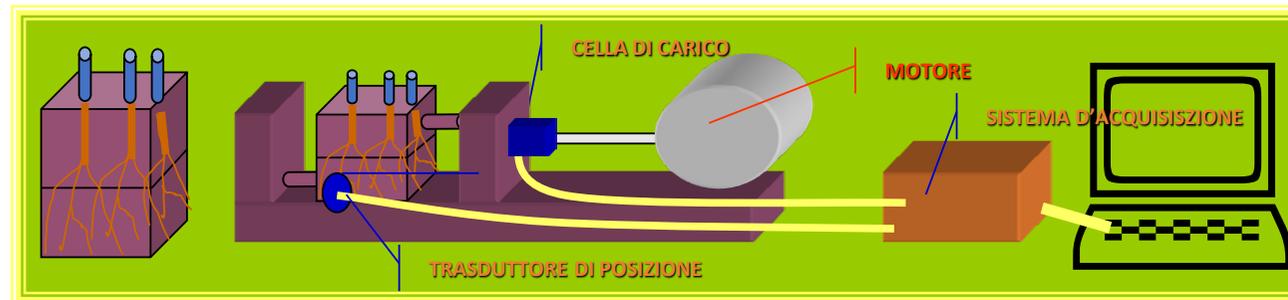


Autore	C_r [kN/m²]	ambito
Swanston (1970)	3.4÷4.4	abete canadese e abete in Alaska (USA)
O'Loughlin (1974)	1.0÷3.0	conifere in British Columbia (Canada)
Buchanan e Savigny (1990)	1.6÷2.1	Prato, carici, arbusti e felci (USA)
	2.6÷3.0	ontano rosso, abete canadese, douglasia e cedro nello Stato di Washington (USA)
Sidle e Swanston (1982)	2.02	mirtillo in Alaska (USA)
O'Loughlin e Ziemer (1982)	3.3	foresta mista sempreverde in Nuova Zelanda
Gray e Meghan (1981)	10.3	conifere in Idaho (USA)
	2.8÷6.2	pino giallo, douglasia, abete Engelmann
Bischetti et al (2002b)	4.5÷6.5	latifoglie miste (nocciolo, faggio) in Valcuvia (Italia)

IN SITO



IN LABORATORIO





Autore	C_r [kN/m²]	ambito
<i>Prove di taglio in situ</i>		
Endo e Tsuruta (1969)	2.0÷12.0	vivaio di ontano (Giappone)
Abe e Iawamoto (1986)	1.0÷5.0	cedro giapponese (Giappone)
Ziemer (1981a)	3.0÷21.0	pino contorto in California (USA)
O'Loughlin e Ziemer (1982)	6.6	faggio in Nuova Zelanda
<i>Prove di taglio in laboratorio</i>		
Waldron (1977)	1÷2.5	orzo
	5÷10	erba medica
	1÷1.7	pino giallo
Waldron e Dakessian (1981)	5.0	pino giallo di 52 mesi
	1.0	orzo
Waldron et al. (1983)	3.7÷6.4	pino giallo 54 mesi

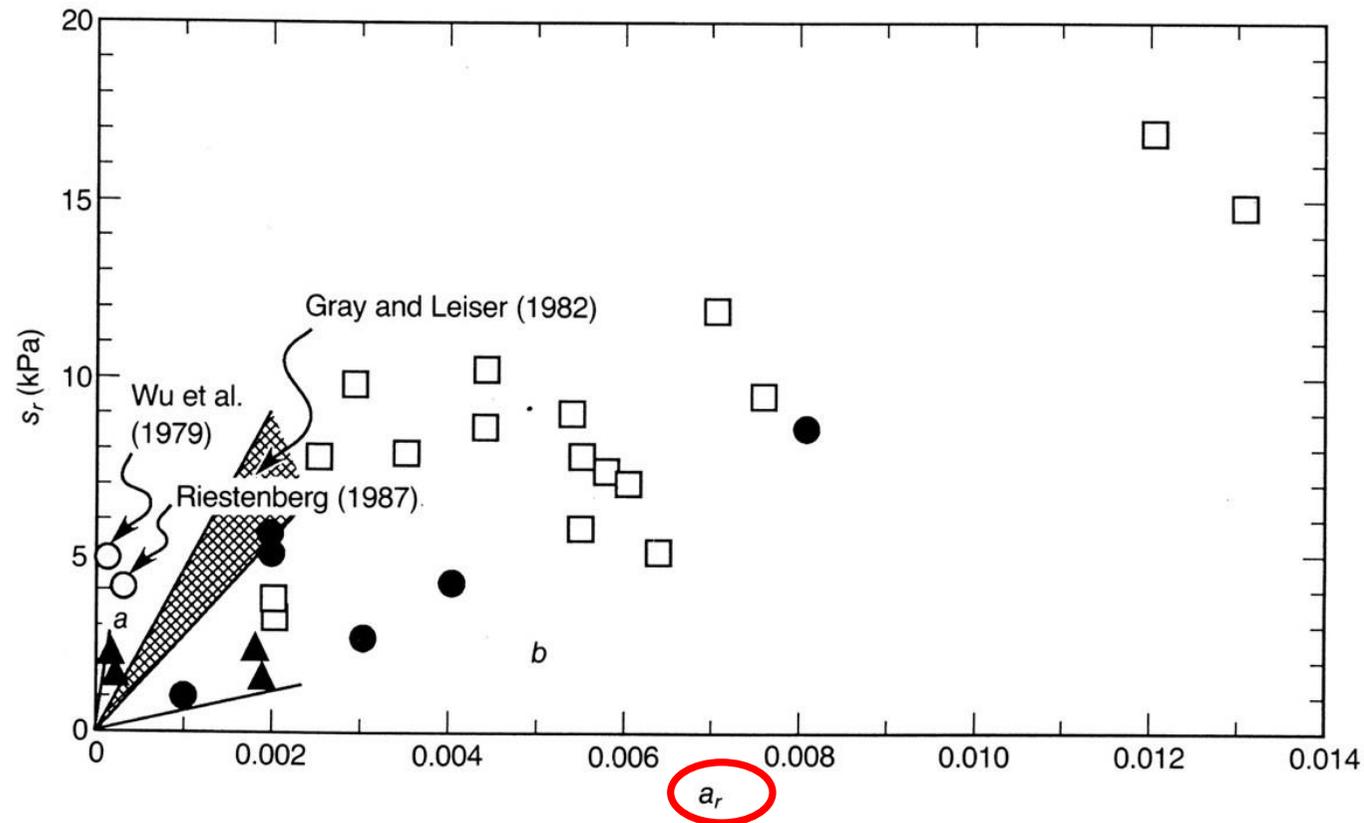
Valori sperimentali di coesione radicale

Reference	C_r [kPa]	Species and landscape
<i>Shear tests in situ</i>		
Endo & Tsuruta (1969)	2.0÷12.0	Alder in nursery (Japan)
Ziemer (1981)	3.0÷21.0	<i>Pinus contorta</i> California (USA)
O'Loughlin & Ziemer (1982)	6.6	beech in New Zealand
<i>Shear tests in laboratory</i>		
Waldron (1977)	1÷1.7	Yellow pine
Waldron et al. (1983)	3.7÷6.4	Yellow pine (54 months)
<i>Back analysis</i>		
Swanston (1970)	3.4÷4.4	spruce in Alaska (USA)
O'Loughlin (1974)	1.0÷3.0	coniferous in British Columbia (Canada)
Buchanan & Savigny (1990)	2.6÷3.0	Red alder, spruce, douglas fir and cedar Washington (USA)
O'Loughlin & Ziemer (1982)	3.3	Mixed forest in New Zealand
Gray & Meghan (1981)	10.3	coniferous in Idaho (USA)
Bischetti et al (2002)	4.5÷6.5	Mixed ash and hazel trees in Valcuvia (Italy)

$$C_R = 1 \div 21 \text{ kPa}$$

Valid for tested species, sites, soil depth and root density

Valori sperimentali di coesione radicale

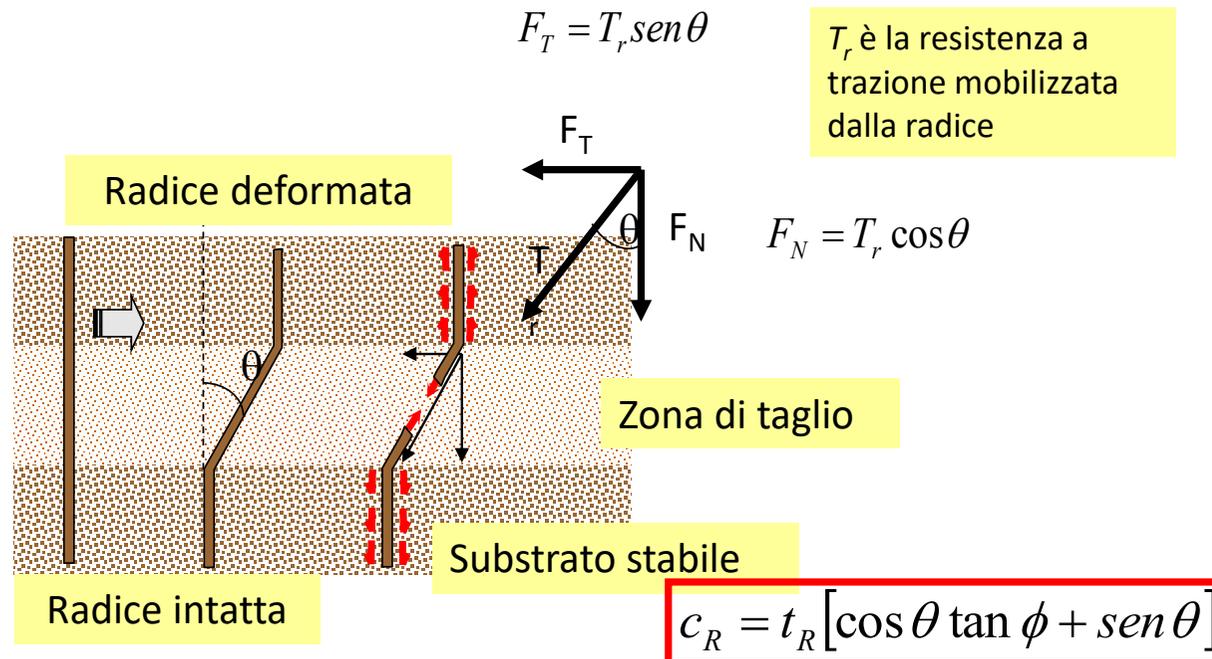


modellizzazione di C_r

Da cosa dipende l'azione meccanica delle radici?

- Quanto resistono le singole radici
 - Specie
 - Diametro
- Quante radici ci sono nel terreno

Modello di Wu (1976) e di Waldron (1977) –W&W



Incremento di resistenza al taglio con radici W&W

resistenza alla trazione media mobilizzata per unità di area del terreno

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

$$c_R = t_R [\cos \theta \tan \phi + \text{sen } \theta]$$

Per $25^\circ < \phi < 40^\circ$ e
 $40^\circ < \theta < 70^\circ$

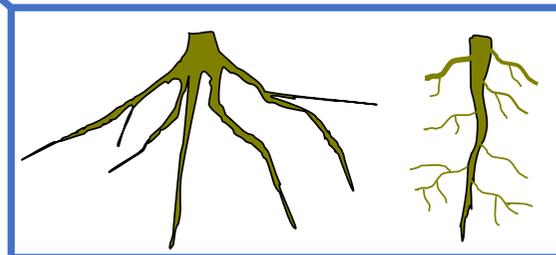
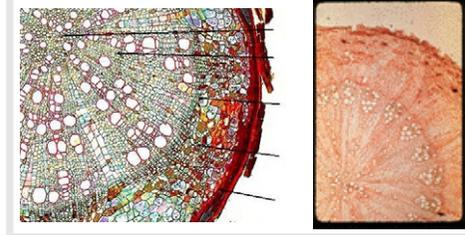
$$[\cos \theta \tan \phi + \text{sen } \theta] = 1 \div 1.3$$

$$c_R \approx k t_R$$

Incremento di resistenza al taglio con radici -W&W

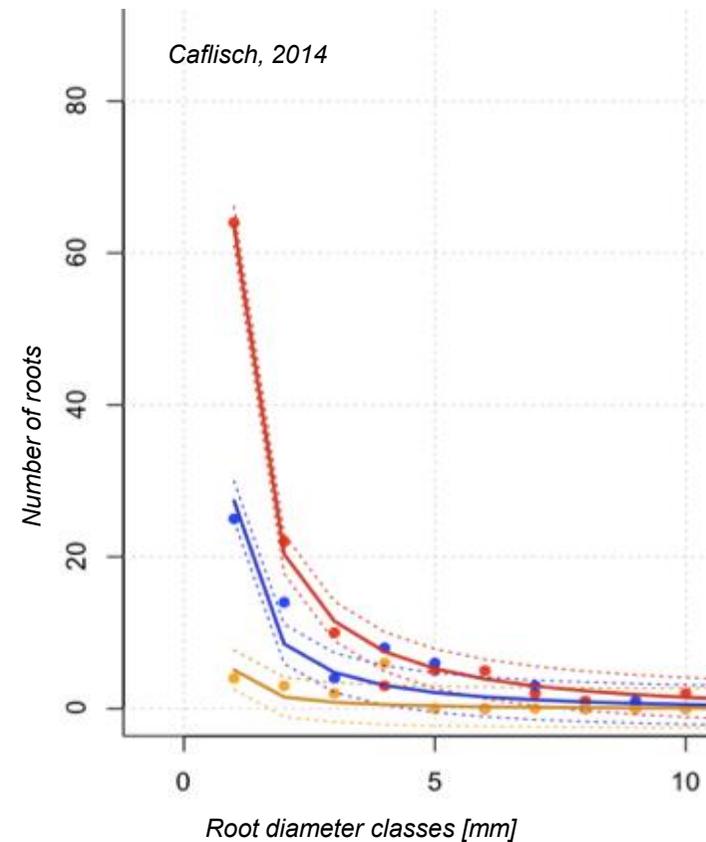
$$t_R = T_R \left(\frac{A_R}{A} \right)$$

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

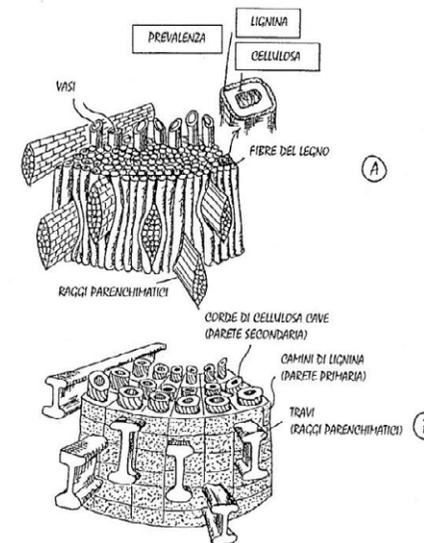
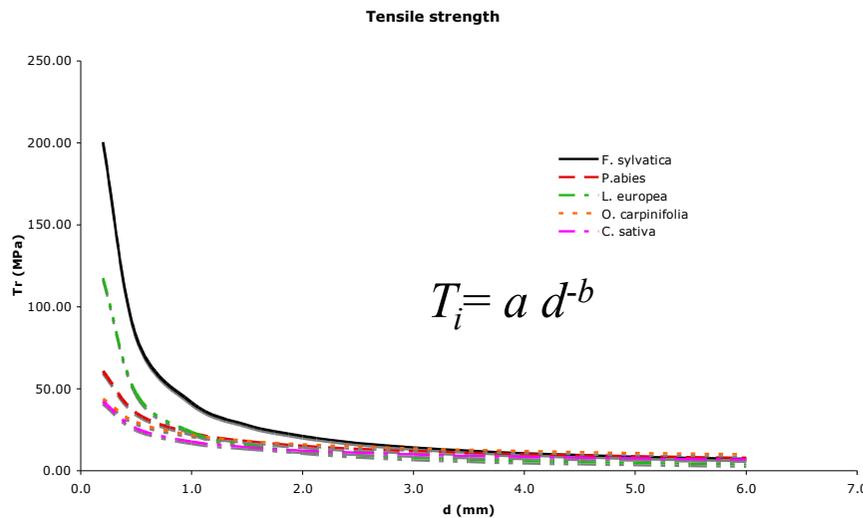


rapporto di area radicata, cioè la frazione di sezione trasversale di suolo (A) effettivamente occupata dalle radici (A_R)

Eterogeneità della dimensione delle radici nel suolo



Resistenza delle radici di diverso diametro



$$T_R = \frac{\sum T_i n_i a_i}{\sum n_i a_i}$$

T_i è la resistenza alla trazione per unità di area mobilizzata da radici con diametro d_i
 a_i è la sezione media delle radici di classe i
 n_i è il numero di radici di classe i che si trovano nella sezione di suolo A

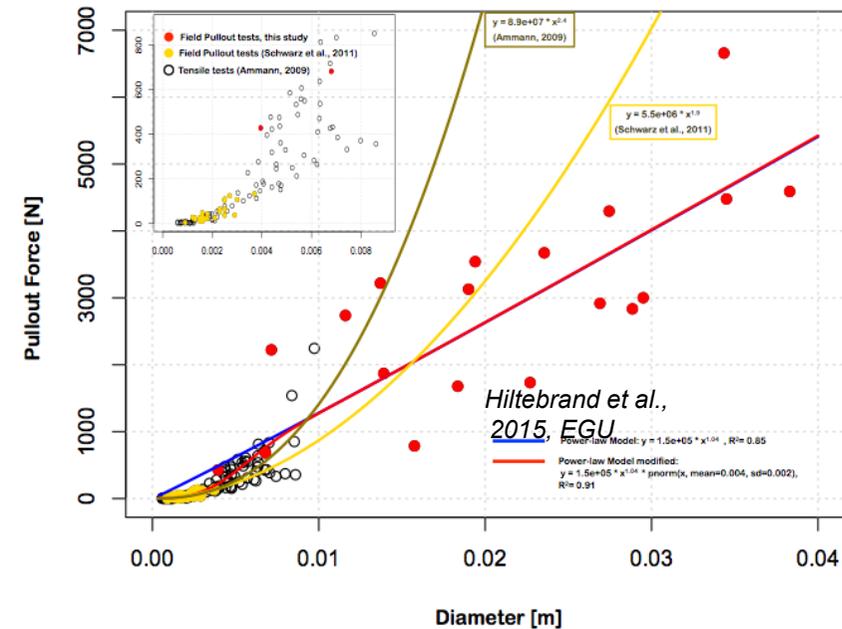
Misura della resistenza delle radici



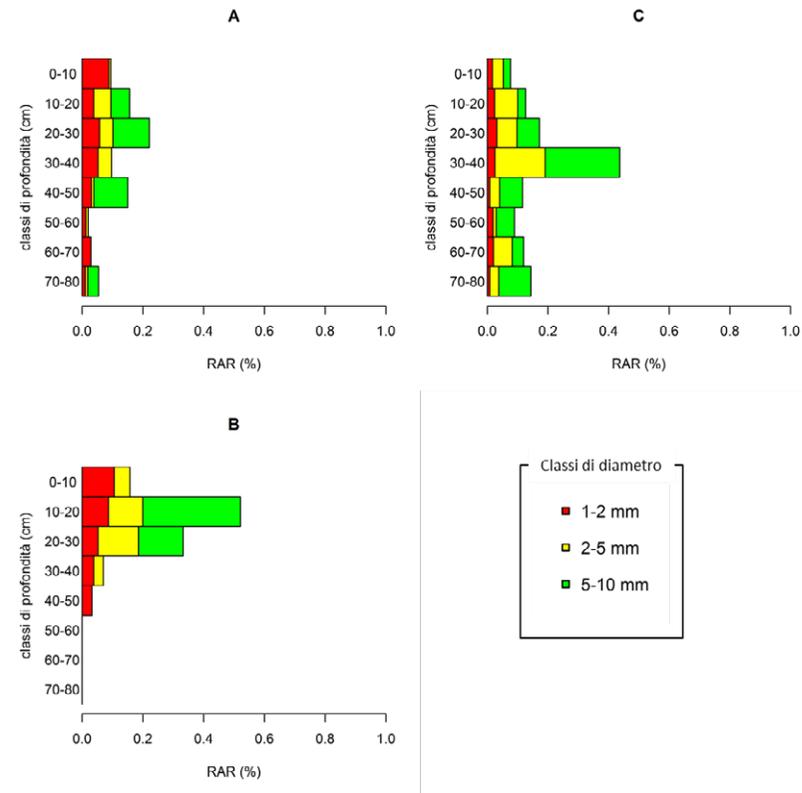
Table 4-3. Root strengths of shrub and tree species. Most tensile testing was carried out on roots with diameters ranging from 0.5 – 15 mm. Key: σ_T – mean tensile strength (MPa); σ_C – mean compression strength (MPa); σ_B – mean bending strength (MPa); a.s.l. – above sea level.

Author	Species	Common Name	σ_T	σ_C	σ_B
SHRUB SPECIES					
Mattia et al. (2005)	<i>Atriplex halimus</i>	Mediterranean saltbush	57		
Schiechl (1980)	<i>Castanopsis chrysophylla</i>	Golden chinkapin	18		
Schiechl (1980)	<i>Ceanothus velutinus</i>	Ceanothus	21		
Norris (2005a)	<i>Crataegus monogyna</i>	Hawthorn	8		
Schiechl (1980)	<i>Cytisus scoparius</i>	Scotch broom	32		
Mattia et al. (2005)	<i>Pistacia lentiscus</i>	Gum mastic	55		
Norris and Greenwood (2003)	<i>Spartium junceum</i>	Spanish broom	17		
Schiechl (1980)	<i>Lespedeza bicolor</i>	Scrub lespedeza	71		
Norris and Greenwood (2003)	<i>Phillyrea latifolia</i>	Privet	11		
Schiechl (1980)	<i>Vaccinium</i> spp.	Huckleberry	16		

Norris et al. (2008) Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions, Springer

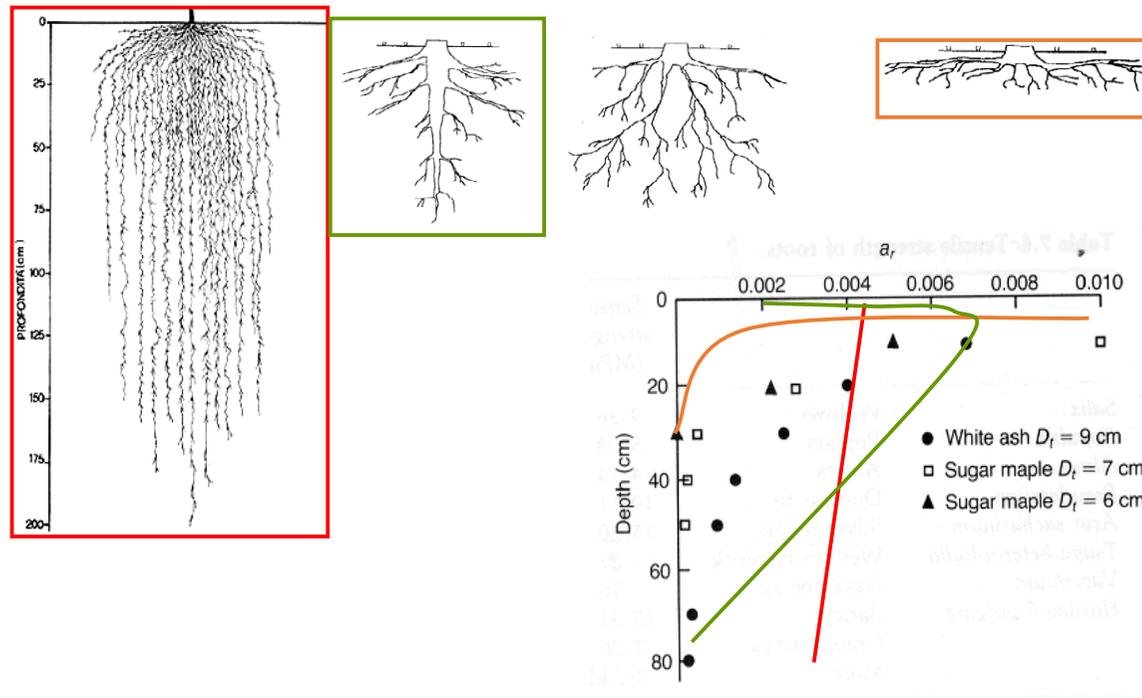


Misura della densità di radici

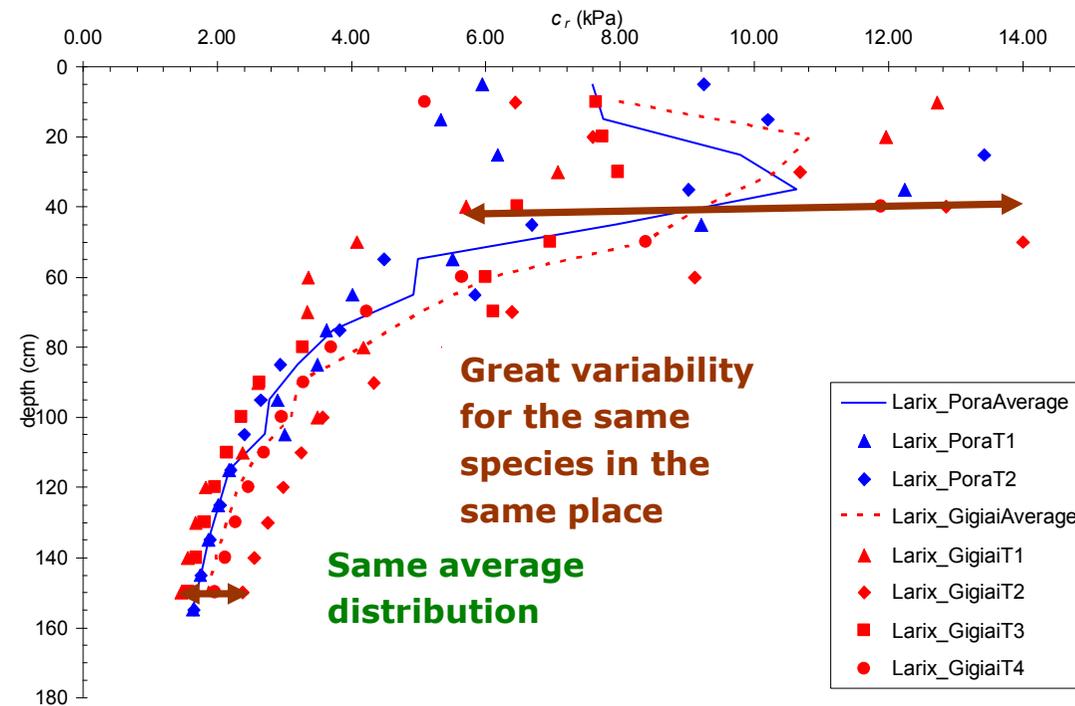


Metodo della trincea (Burke e Raynal, 1994; Schmid e Kazda, 2001 e 2002) combinato con l'analisi d'immagine (Vogt e Persson, 1991)

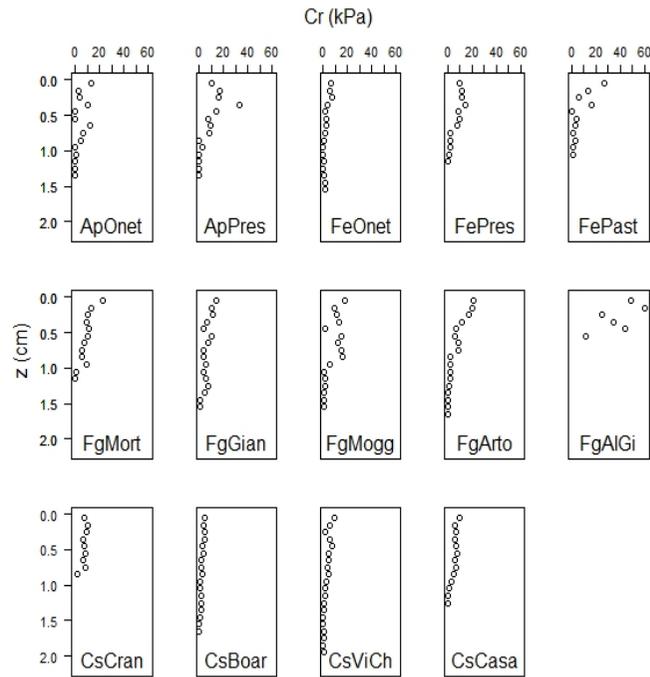
Distribuzione delle radici nel suolo



root cohesion - e.g. *Larix decidua*

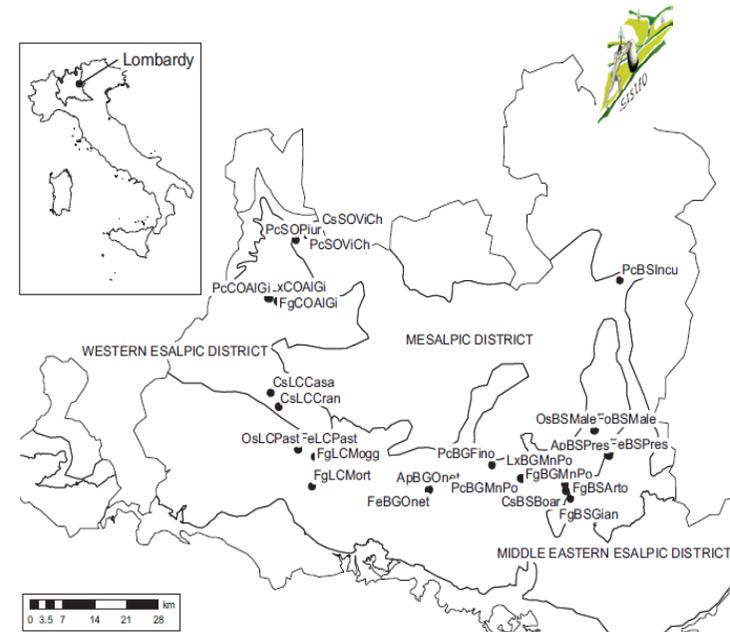


Profili di coesione addizionale

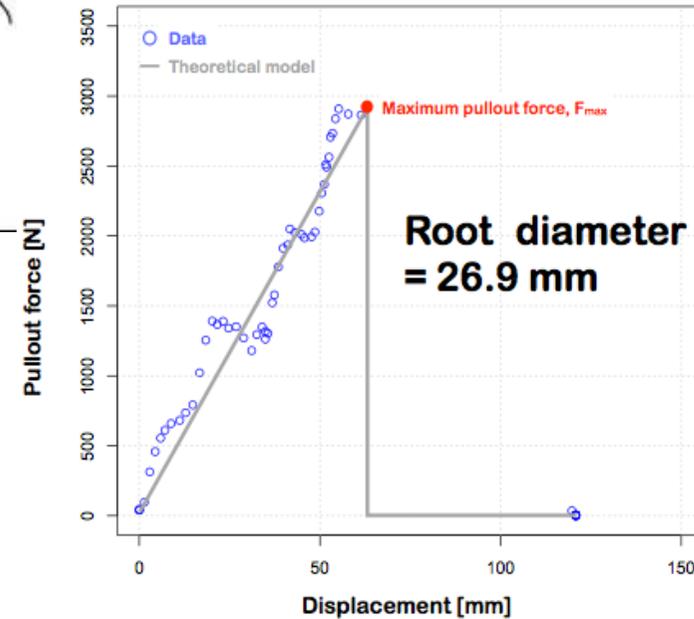
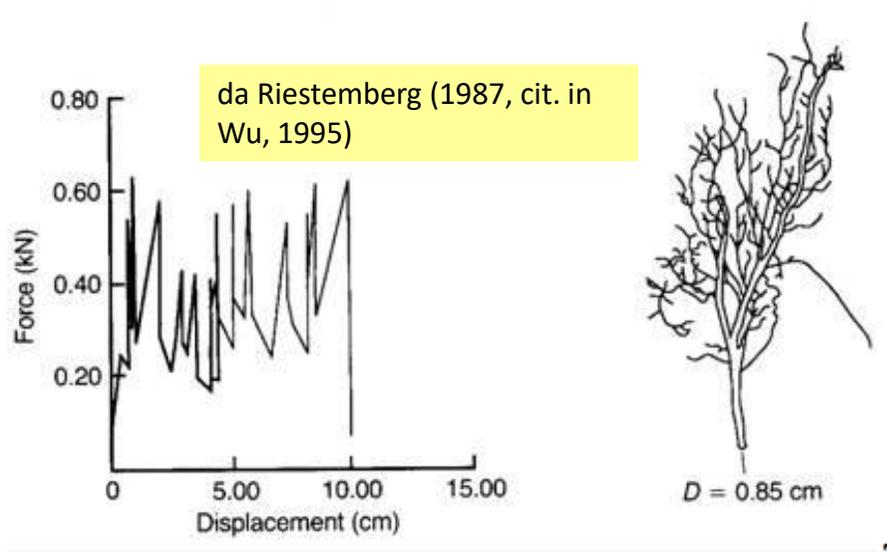


Grande variabilità non ancora completamente spiegata in termini di fattori

SIStemazione Idraulico FOrestale dei bacini montani
 Regione Lombardia - DG Agricoltura
 Piano per la ricerca e lo sviluppo 2007
 (d.g.r. n. 5214 del 02/08/2007),



Le radici non sono fibre singole



Valutazione di C_r con il modello Wu&Waldron

considera l'orientamento delle radici e della rottura non simultanea

$$c_R = (k' \cdot k'') T_R (A_R / A)$$

Reinforcement models

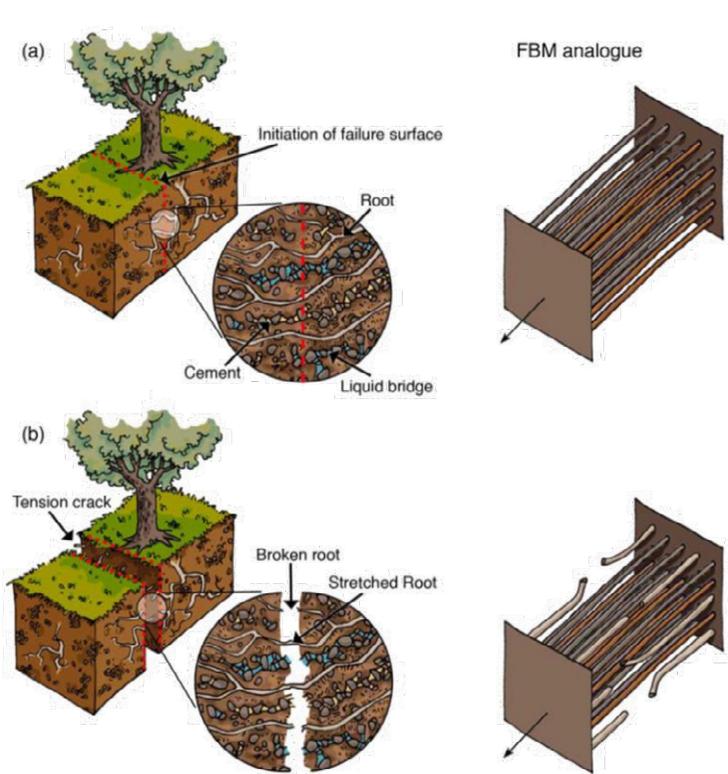
Wu (1976) and Waldron (1977), the first, developed a simplified model for soil additional resistance due to roots presence. This model involves many unrealistic assumptions, but give a simple method to estimate root reinforcement in terms of additional cohesion.

To relax some of the unrealistic hypothesis of the Wu and Waldron model, some “new” models have been proposed in more recent years:

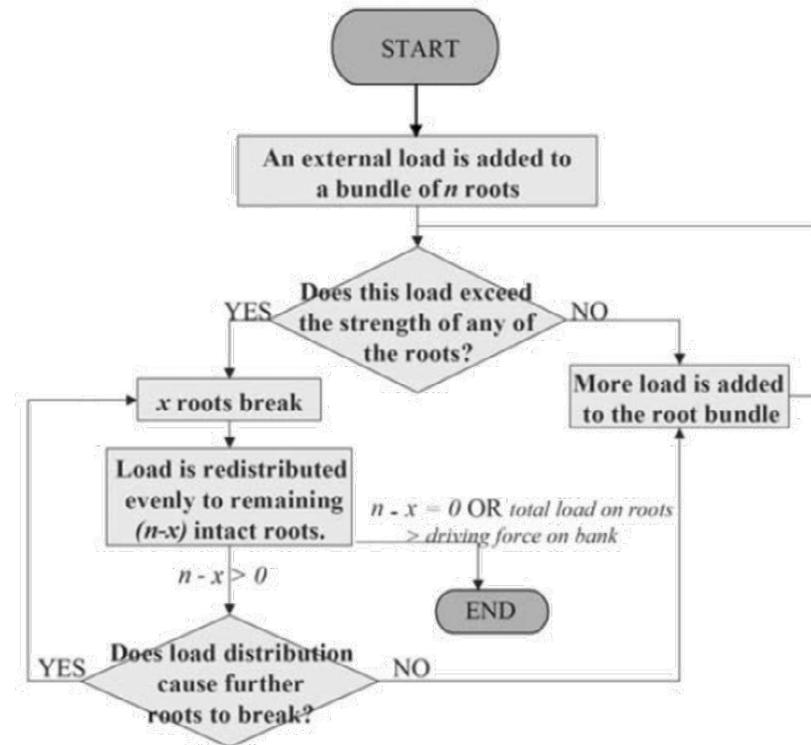
- Modified versions of Wu and Waldron model (e.g. Bischetti et al., 2009)
- Fibre Bundle Model (e.g. Pollen and Simon, 2005)
- Root Bundle Model (Schwarz et al., 2010)

Whatever the model, however, **root resistance** and **root density** are the key factors in accounting for root presence in hillslope stability models.

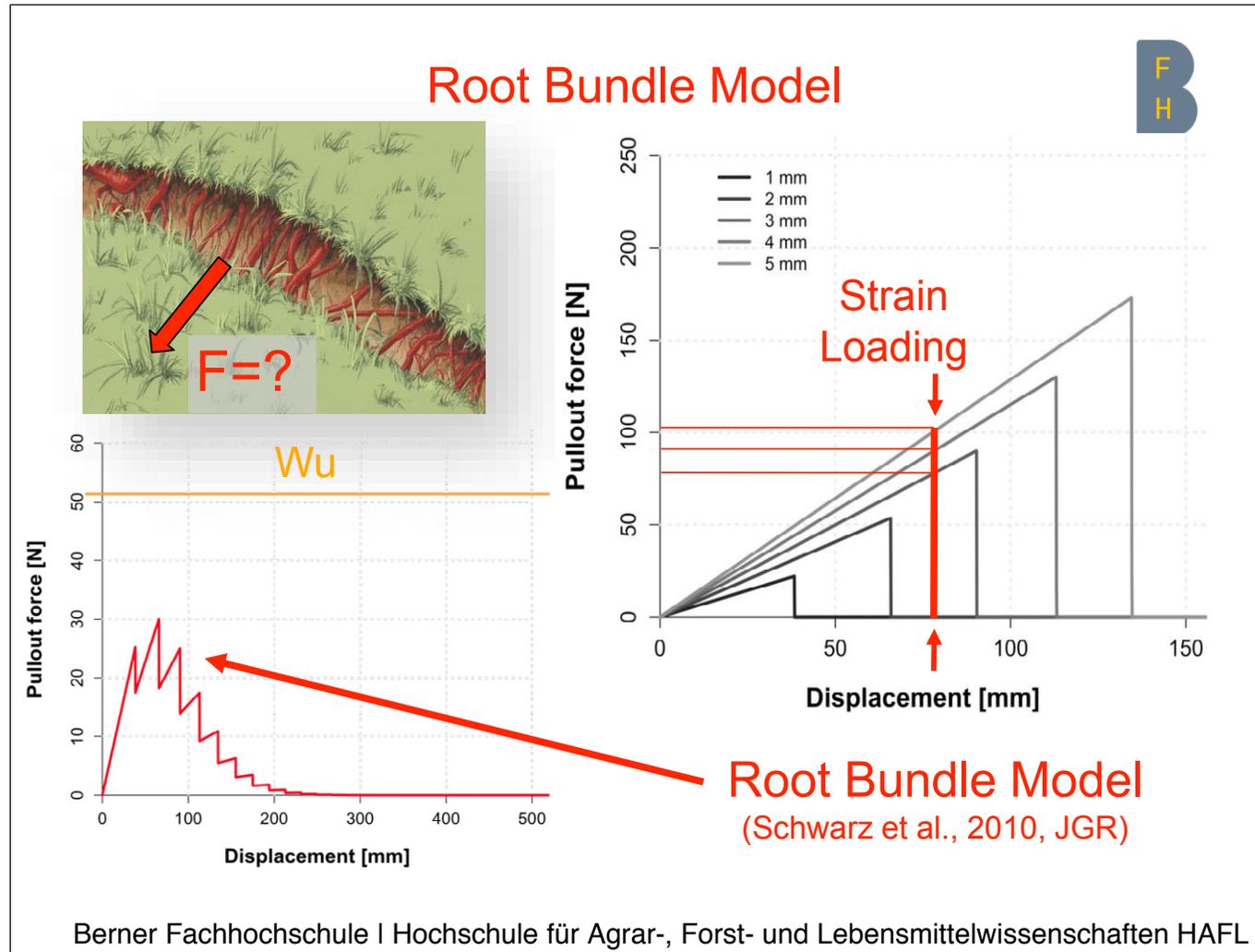
Fiber Bundle Model (FBM)



Cohen et al. (2009) WRR



Pollen and Simon (2005) WRR

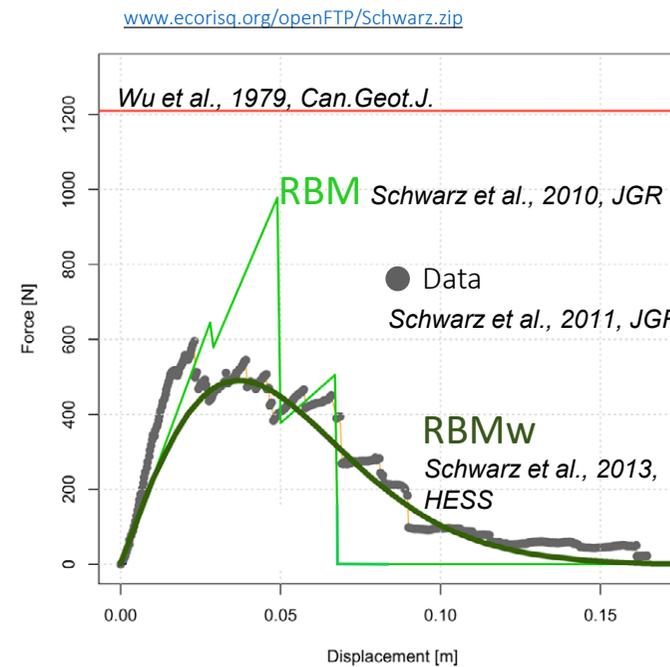


Il modello RBM

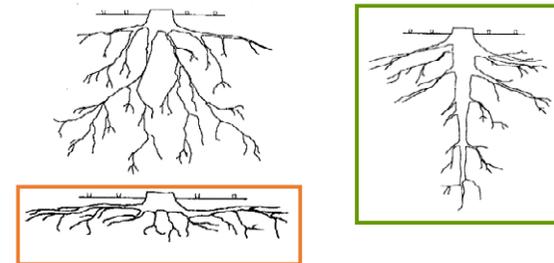
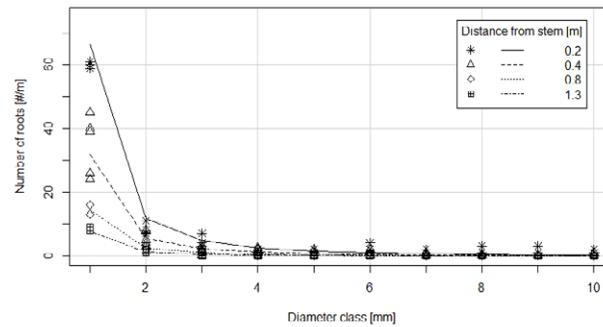
$$F_{tot}(\Delta x) = \sum_{i=1}^N F(\phi_i, \Delta x) S(\Delta x^*) \quad S(\Delta x^*) = \exp\left[-\left(\frac{\Delta x^*}{\lambda}\right)^\omega\right]$$

$$F(\phi_i, \Delta x) = \frac{\pi E_0}{4 L_0} \phi_i^{2+\beta-\alpha}$$

E_0 Young's modulus of elasticity
 L_0 root length
 ϕ_i diameter i

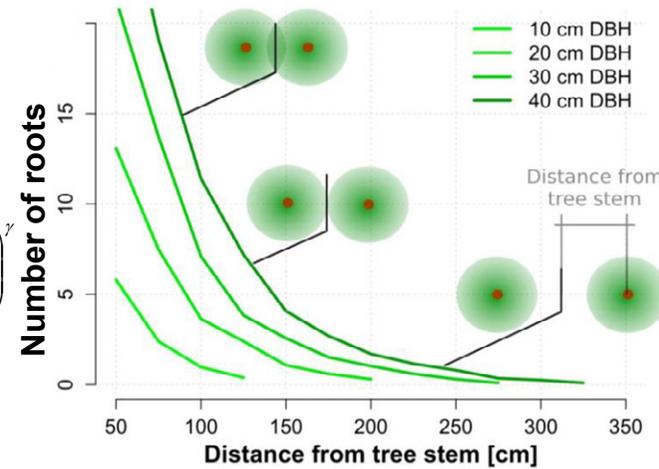


Densità delle radici rispetto al tronco

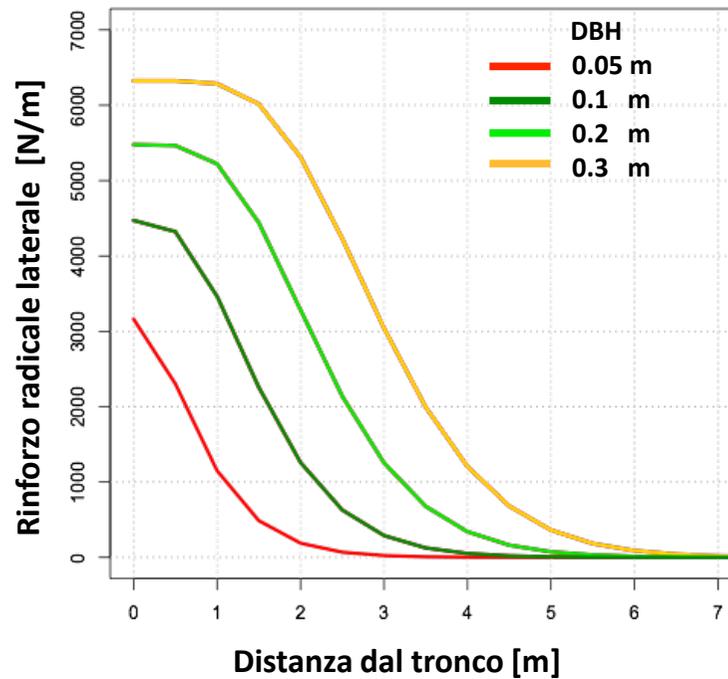


$\rho_{CR}(\phi_i, \Theta, d)$ as function of the considered root size (ϕ_i), the size of trees (Θ), and distance (d):

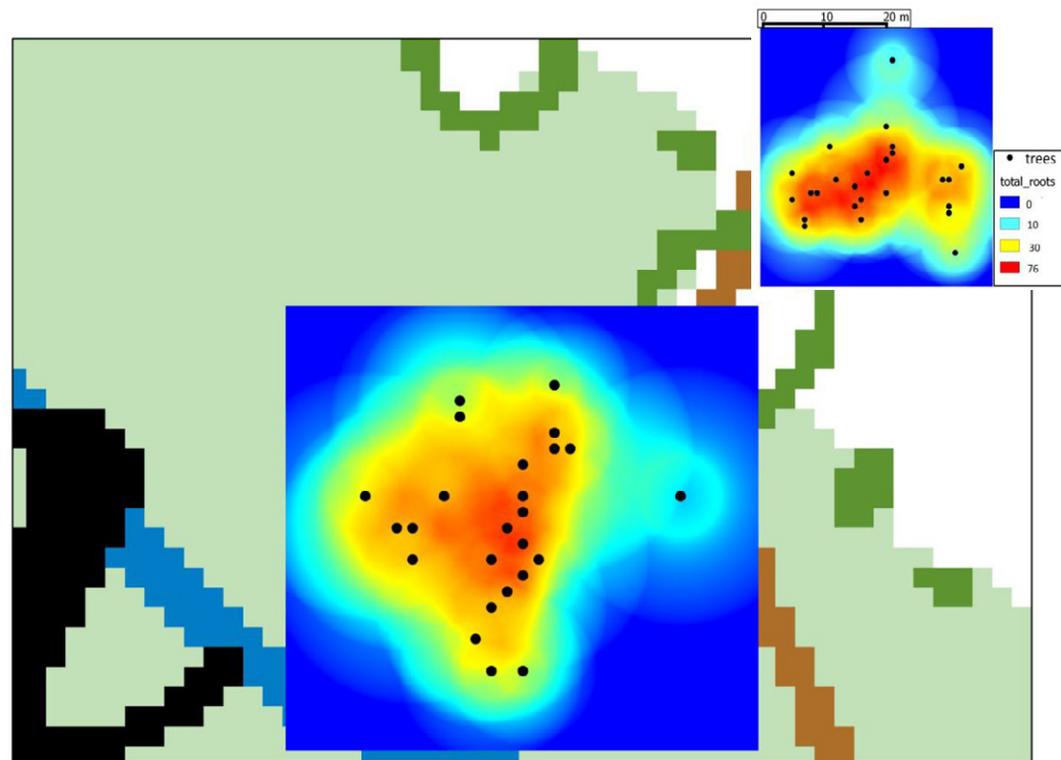
$$\rho_{CR}(\phi_i, \Theta, d) = \rho_{FR} \left(\frac{\ln(1 + \phi_{\max}) - \ln(1 + \phi_i)}{\ln(1 + \phi_{\max})} \right) \left(\frac{\phi_i}{\phi_0} \right)^\gamma$$



„Upscaling“ del rinforzo radicale



Distribuzione spaziale del rinforzo radicale



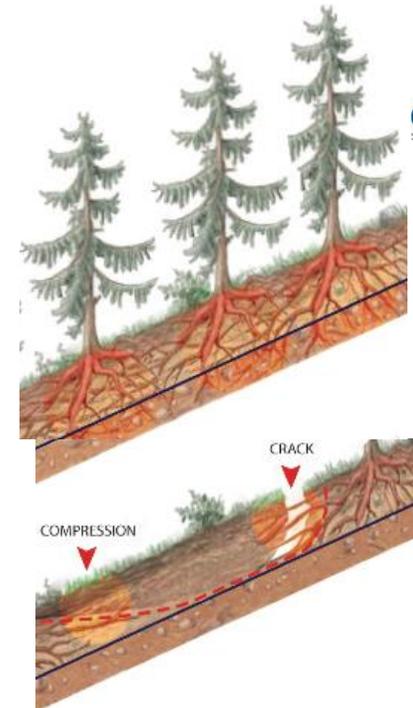
Rinforzo basale vs laterale



Frane superficiali: tipi di rinforzo radicale

1. Sulla superficie di scorrimento.
"Rinforzo basale". (dal 1977).

2. Rinforzo laterale (dal 2001).



Rinforzo delle radici

$$c_{r_{lat}}^Z = \frac{[\sum_{z=1}^M \sum_{i=1}^N \alpha d_{i,z}^{-\beta} a_{r_{i,z}}]}{Z} \cdot \Delta Z$$

$$c_{r_{base}}^Z = \sum_{i=1}^N \alpha d_{i,Z}^{-b} a_{R_{i,Z}}$$

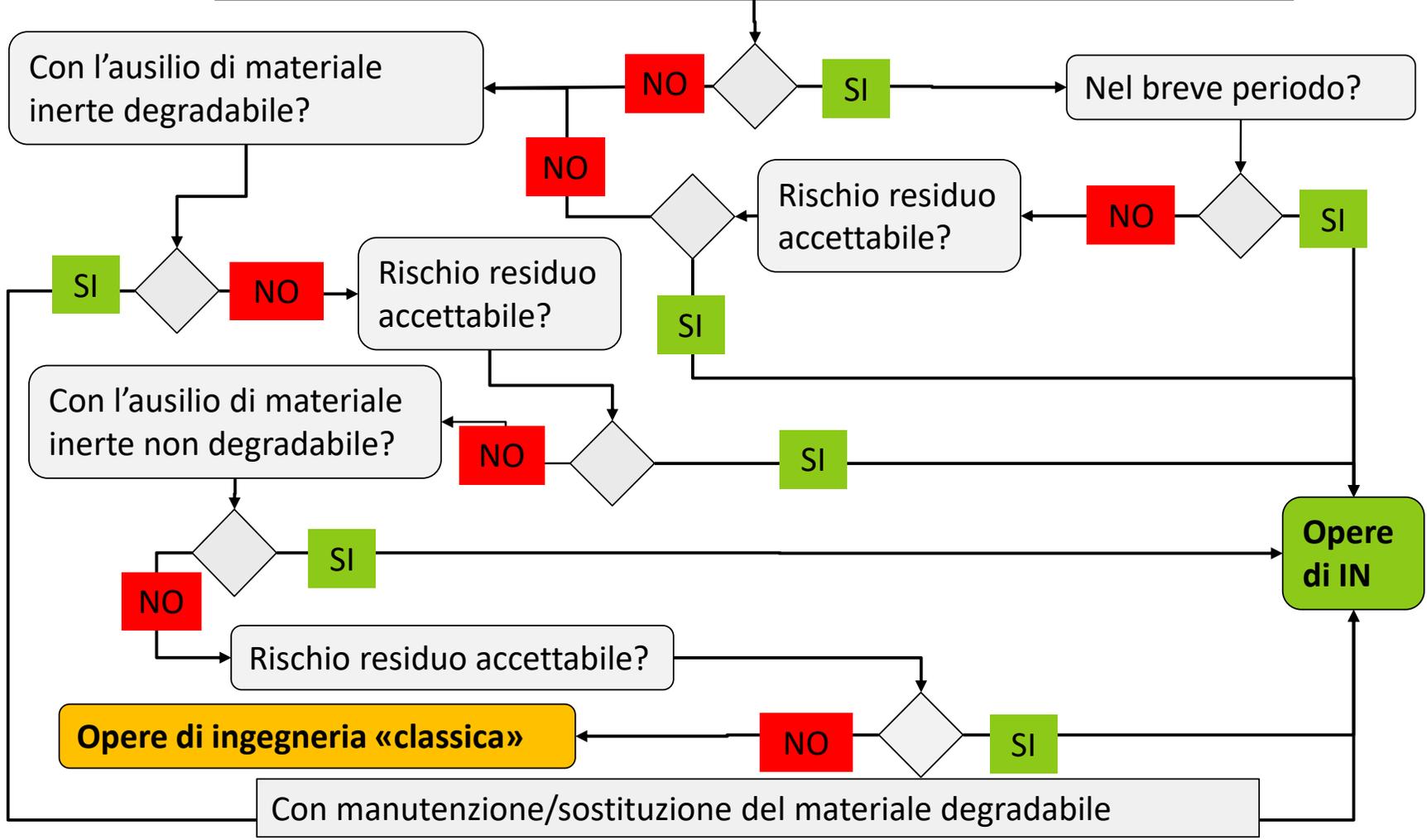
$$c_r^Z = (K' + K'') (c_{r_{laterale}}^Z + c_{r_{base}}^Z)$$

Superficie di distacco laterale

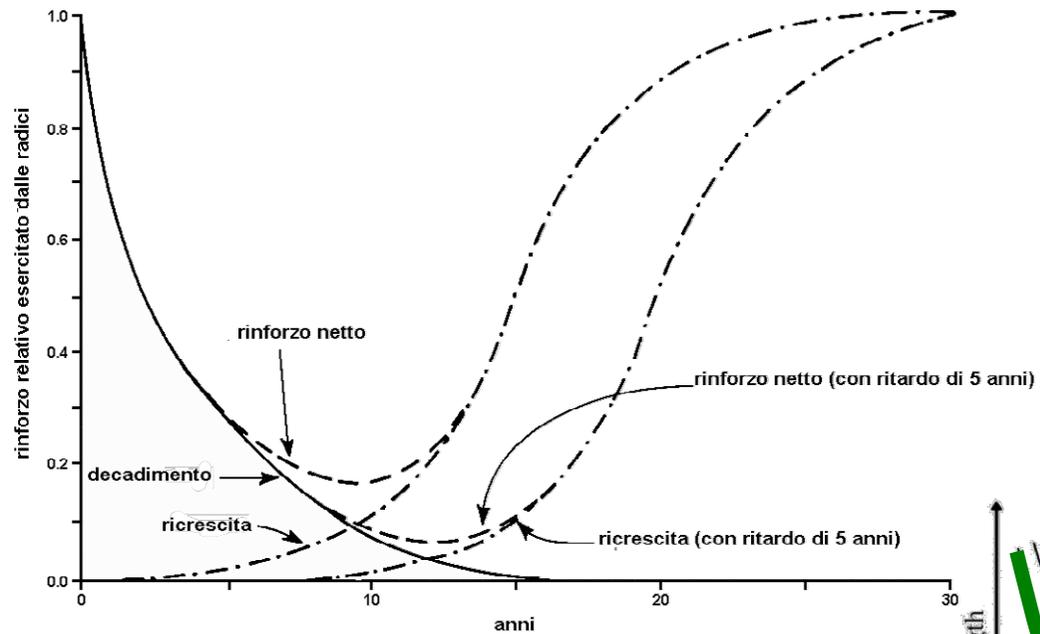
Superficie di distacco basale



Le piante sono, da sole, sufficienti a garantire la stabilità di versanti, scarpate e sponde fluviali nel medio-lungo periodo?



Effetto della gestione



(da Ziemer, 1981)

Decay of root population

(Sidle and Bogaard, 2016)

