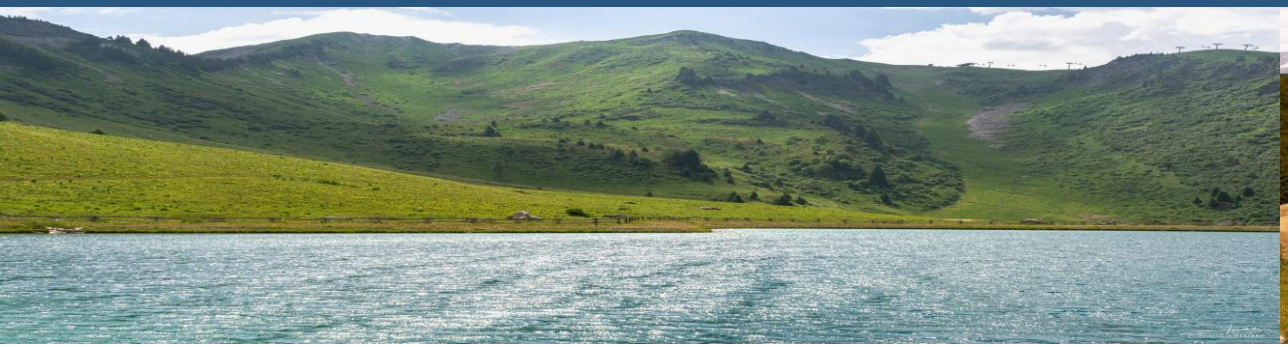
Conférence finale / Conferenza finale — Aoste, 04.11.2026

Gestion de la végétation sur les remblais en terre

Gestione della vegetazione sugli sbarramenti in terra





Monica BARBERO — Politecnico di Torino

Interreg
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
France – Italia ALCOTRA

BECCA

Région Autonome Vallée d'Aoste
Regione Autonoma Valle d'Aosta
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité
INRAE
1859 Politecnico di Torino
UNIVERSITÉ SAVOIE MONT BLANC
REGIONE PIEMONTE

Effets positifs de la vegetation sur un versant

Effetti positivi della vegetazione su un pendio

Effets mécaniques (racines)

Effetti meccanici (radici)

- Amélioration des propriétés mécaniques du sol
- *Miglioramento delle proprietà meccaniche del suolo*

↑ Résistance au cisaillement du sol
↑ *Resistenza a taglio del terreno*
↑ Peut être modélisée par une cohésion apparente (selon le critère de Mohr-Coulomb)
↑ *Modellabile con una coesione apparente (secondo criterio Mohr-Coulomb)*

Effets hydrauliques (racines et feuillage)

Effetti idraulici (radici e fogliame)

- Amélioration des propriétés hydrauliques du sol
- *Miglioramento delle proprietà idrauliche del suolo*

↑ Infiltration superficielle (racines)
↑ *Infiltrazione superficiale (radici)*
↓ Concentrations localisées d'eau (feuillage)
↓ *Concentrazioni localizzate di acqua (fogliame)*
↓ Pressions interstitielles (↑ contraintes effectives)
↓ *Pressioni interstiziali (↑ tensioni efficaci)*

Effets positifs de la vegetation sur un versant

Effetti positivi della vegetazione su un pendio

Succion racinaire (évapotranspiration)
Suzione radicale (evapotraspirazione)

↑ Stabilité (jusqu'à environ 15 %, effet temporaire)
↑ *Stabilità (fino a ~15%, temporaneo)*

Protection superficielle
Protezione superficiale

↓ Érosion pluviale (interception et dispersion des précipitations grâce au feuillage)
↓ *Erosione da pioggia (intercettazione e dispersione grazie al fogliame)*
↓ Érosion éolienne (feuillage)
↓ *Erosione eolica (fogliame)*

Effets positifs de la vegetation sur un versant

Effetti positivi della vegetazione su un pendio

De manière générale, en référence au critère de résistance de Mohr-Coulomb
In generale, con riferimento al criterio di resistenza di Mohr-Coulomb:

$$\tau_{res} = (\sigma_n + S_r \times s)\tan\varphi' + c' + c_r$$ pour S_r=1 sol saturé
per S_r =1 suolo saturo

$$\tau_{res} = (\sigma_n - u_w)\tan\varphi' + c' + c_r$$ pour S_r<1 sol non saturé
per S_r <1 suolo non saturo

S_r : degré de saturation
S_r è il grado di saturazione
s : succion matricielle, $s=u_a-u_w$
s è la suzione: $s = (u_a - u_w)$
c_r : cohésion équivalente due aux racines
c_r è la coesione equivalente dovuta alle radici

Décroît avec la profondeur, en fonction du type et de la répartition des racines. C'est pourquoi la végétation est efficace pour atténuer les phénomènes d'instabilité **superficielle**.
*Decresce con la profondità, in funzione della tipologia e distribuzione delle radici. Per questo motivo la vegetazione è efficace per mitigare fenomeni di instabilità **superficiali***

Effets positifs de la vegetation sur un versant

Effetti positivi della vegetazione su un pendio

$$T_{res} = N \tan\varphi' + T_R \times RAR \cos\vartheta \tan\varphi' + T_R \sin\vartheta$$

Avec :

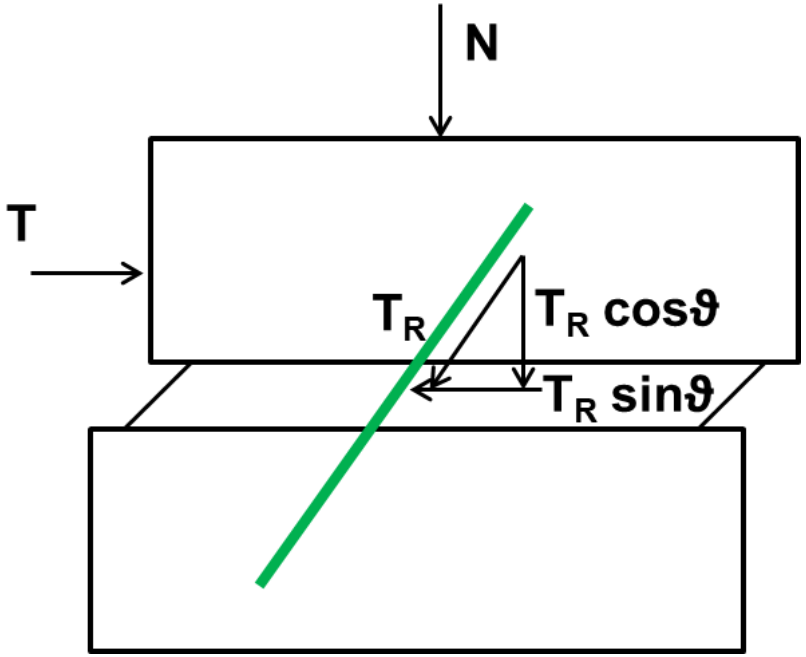
Essendo:

T_{res}: résistance à la traction des racines, fonction de l'espèce végétale

T_{res}: resistenza a trazione della radice, funzione della specie

RAR: quantité de racines présentes dans un volume unitaire de sol

RAR: la quantità di radici presenti in un volume unitario



Effets positifs de la vegetation sur un versant

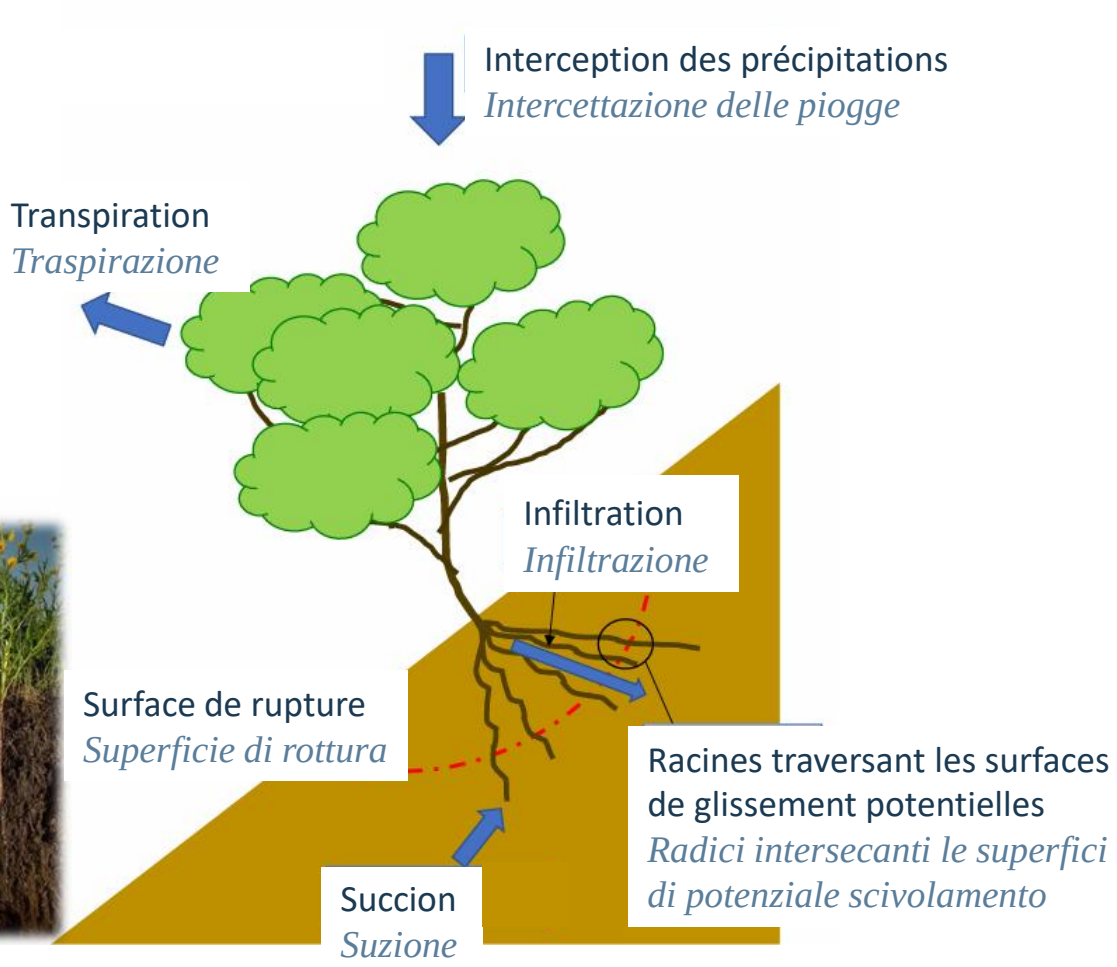
Effetti positivi della vegetazione su un pendio

En résumé :

Riassumendo:

- Renforcement hydrologique
- *Rinforzo idrologico*
- Modification de l'infiltration de l'eau dans le sol
- *Variazione dell'infiltrazione di acqua nel suolo*
- Renforcement mécanique dû aux racines
- *Rinforzo meccanico dovuto alle radici*
- Modification de la structure du sol
- *Cambiamento nella struttura del suolo*





Modificato da : D. Boldrin – Associazione Geotecnica Italiana «L'avanzamento della conoscenza nelle dinamiche di impatto della vegetazione sulla sicurezza e l'esercizio dei versanti collinari e montani - Bolzano 26/05/2026

Effets négatifs de la vegetation sur un versant

Effetti negativi della vegetazione su un pendio

Problématiques mécaniques

Criticità meccaniche

- Les racines créent des discontinuités dans le corps du barrage, en interférant avec les armatures et les systèmes d'étanchéité
- *Le radici creano discontinuità nel corpo diga, interferendo con rinforzi e sistemi di impermeabilizzazione*

↓ Stabilité locale (ouverture de discontinuités le long des interfaces)
↓ *Stabilità locale (apertura di discontinuità lungo le interfacce)*
↓ Résistance interne du remblai due à l'endommagement des renforts et/ou des éléments d'étanchéité (perforation des membranes, etc.)
↓ *Resistenza interna del rilevato per danneggiamento dei rinforzi e/o degli elementi di impermeabilizzazione (perforazione membrane, etc.)*

Problématiques hydrauliques

Criticità idrauliche

- Les racines créent des chemins préférentiels d'écoulement de l'eau et peuvent interférer avec les systèmes de drainage
- *Le radici creano percorsi preferenziali dell'acqua e possono interferire con i drenaggi*

↑ Pressions interstitielles
↑ *Pressioni interstiziali*
↑ Infiltration profonde
↑ *Infiltrazione profonda*
↑ Risque d'obstruction des drains / perte d'efficacité des systèmes de drainage
↑ *Rischio di ostruzione dei drenaggi/ perdita efficienza*

Effets de la végétation sur un versant rocheux

Effetti della vegetazione su un pendio in roccia

Si le versant est constitué de roche affleurante, la végétation peut avoir un double effet :
Se il pendio è in roccia esposta, la vegetazione può avere un doppio effetto:

Végétation arborée au niveau de la zone d'initiation

Vegetazione arborea all'innesco

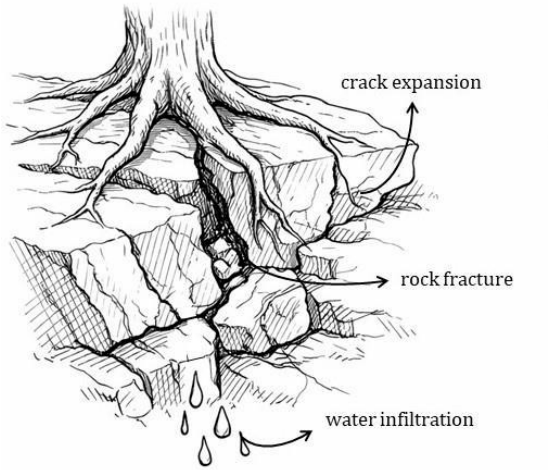
Les racines empêchent le déplacement des blocs rocheux déjà isolés ou constituant des dépôts susceptibles d'être remobilisés

Le radici impediscono il movimento dei blocchi di roccia già isolati o costituenti depositi riattivabili

Les racines, en particulier celles des grands arbres, pénètrent dans les fractures de la roche, agissant comme des coins et favorisant le détachement des blocs rocheux

Le radici, soprattutto dei grandi alberi, penetrano nelle fratture della roccia agendo come cunei e favorendo il distacco dei blocchi





Effets de la végétation sur un versant rocheux

Effetti della vegetazione su un pendio in roccia

- En se développant, les racines exercent des pressions à l'intérieur des fractures, favorisant leur propagation et la formation de nouvelles fractures
- *La radice, crescendo, genera pressioni interne alla frattura inducendo la sua propagazione e creandone di nuove*
- Les racines accélèrent l'altération chimique de la roche
- *Le radici accelerano l'alterazione chimica della roccia*
- Les mouvements oscillatoires des arbres sous l'effet de la neige ou du vent, en exerçant un effet de levier sur les racines, peuvent accentuer les contraintes que celles-ci induisent sur les fractures
- *Il movimento oscillatorio degli alberi causato da neve o vento, facendo leva sulle radici, può accentuare la sollecitazione indotta da queste sulle fratture*

- La présence de végétation dans les zones du versant traversées par les trajectoires des blocs rocheux en mouvement constitue un facteur d'atténuation
- *La presenza di vegetazione nelle aree del versante interessate dalle traiettorie di volumi di roccia in movimento è un elemento di mitigazione*
- Principales actions de la végétation arbustive et arborée : Arrêt, Déviation, Ralentissement. Dans tous les cas, l'énergie cinétique des blocs rocheux en mouvement est réduite
- *Principali azioni della vegetazione arbustiva e arborea: Arresto, Deviazione, Rallentamento. In ogni caso si riduce l'energia cinetica del volume di roccia in movimento*

Observations conclusives

Osservazioni conclusive

- Les arbres instables ou dont les racines sont profondément ancrées dans la paroi rocheuse devraient être éliminés
- *Gli alberi instabili o con grandi radici inserite nella parete rocciosa dovrebbero essere rimossi*
- La végétation présente sur le versant traversé par les trajectoires des blocs rocheux doit être préservée et entretenue
- *La vegetazione sul versante interessato dal transito di volumi di roccia deve essere salvaguardata e manutenuta*
- La végétation est un système dynamique qui évolue au fil du temps, en fonction de la croissance et de la maturation des plantes, des saisons ainsi que des conditions climatiques et environnementales
- *La vegetazione è un sistema dinamico che cambia nel tempo con la crescita e la maturazione della pianta, con le stagioni e con le condizioni climatiche e ambientali*
- Une végétation non contrôlée sur un versant équipé d'ouvrages de protection peut entraîner leur détérioration au fil du temps
- *La vegetazione incontrollata lungo il versante su cui sono installate opere di protezione può causare il loro deterioramento nel tempo*

Il est nécessaire de sélectionner les espèces végétales admissibles
L'entretien et le suivi périodique sont indispensables

Occorre selezionare le specie ammissibili
La manutenzione e il monitoraggio periodico sono indispensabili