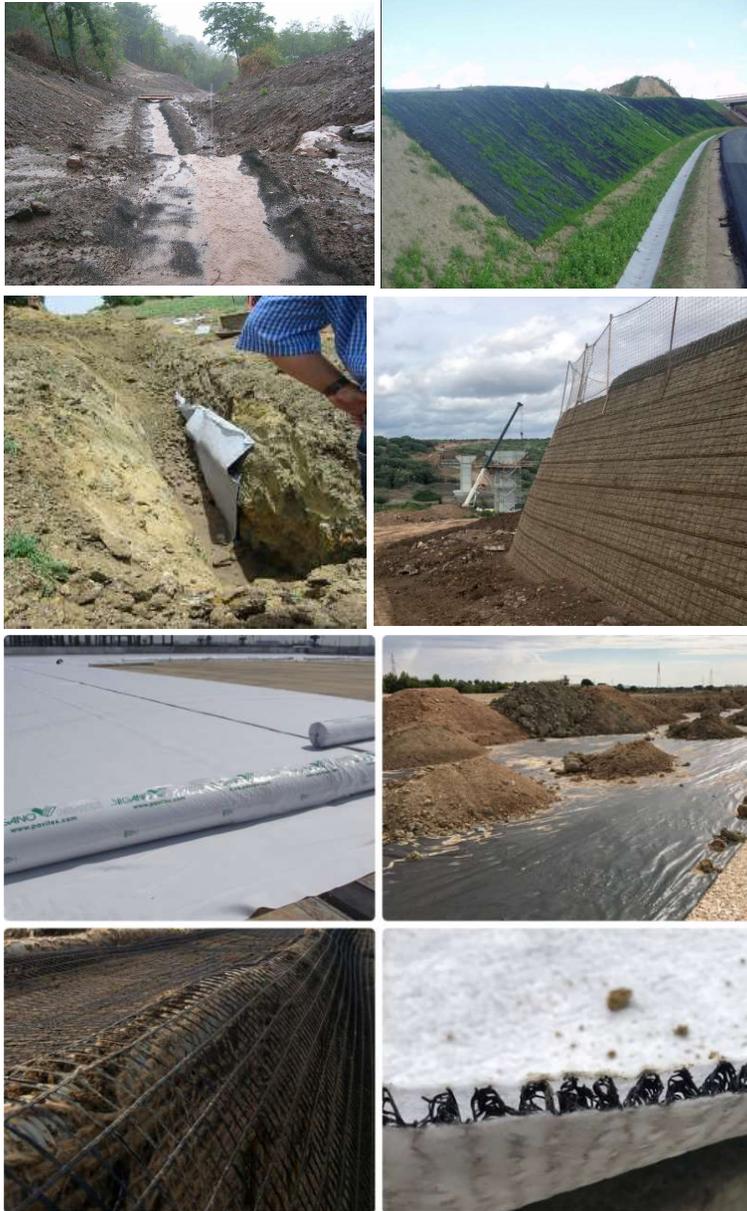


Giovedì 20 Febbraio 2025

Seminario: Soluzioni innovative per la difesa del suolo e la prevenzione del dissesto idrogeologico



Organizzato da:



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PALERMO

## Impiego dei geosintetici nella difesa del suolo nel dissesto idrogeologico.

Relatore:

Ing. F. Angelillo  
S.A.T.  
Viganò Pavitex S.p.A.

con il contributo incondizionato di:

VIGANO  PAVITEX<sup>®</sup> S.p.A.

VIGANÒ PAVITEX S.p.A. – DIVISIONE GEOSINTETICI

## INGEGNERIA NATURALISTICA

L'Ingegneria Naturalistica mette a disposizione un ventaglio di tecniche, particolarmente efficaci per la sistemazione di corsi d'acqua e di versanti, limitando l'azione dell'erosione ed effettuando il consolidamento dei terreni unitamente al recupero dei processi ecologici e al reinserimento paesaggistico di ambienti degradati dal dissesto idrogeologico o dall'attività dell'uomo.

Le tecniche di rivegetazione infatti hanno l'obiettivo di proteggere con la vegetazione la superficie del suolo dall'effetto battente delle piogge, assicurando il corretto assorbimento nel terreno delle acque, evitando così che l'acqua non assorbita si disperda in superficie con velocità che possono diventare erosive. Tale obiettivo può essere ottenuto con la corretta gestione della vegetazione presente o con l'impiego di tecniche che prevedono l'uso del materiale vegetale vivo, come quelle di Ingegneria Naturalistica, descritte successivamente nelle tipologie esaminate.



**APAT**

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente  
e per i servizi Tecnici

## Atlante delle opere di sistemazione dei versanti



10/2002

MANUALI E LINEE GUIDA

Schema della scelta progettuale delle tecniche di ingegneria naturalistica secondo principi tecnici e deontologici (da Sauli G., Cornelini P. & Preti F., 2002)

## LIVELLO MINIMO DI ENERGIA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

SEMPLICI INTERVENTI  
A VERDE

TECNICHE DI INGEGNERIA  
NATURALISTICA A MAGGIOR  
CONTENUTO TECNOLOGICO

NESSUN INTERVENTO



IDROSEMINA

0°



STUOIA IN  
JUTA

35°



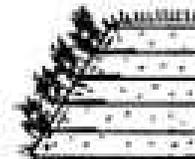
PALIFICATA  
VIVA

40°



GRATA  
VIVA

50°



TERRA  
RINFORZATA  
VERDE

60°



RIVESTIMENTO  
VEGETATIVO A  
MATERASSO

70°

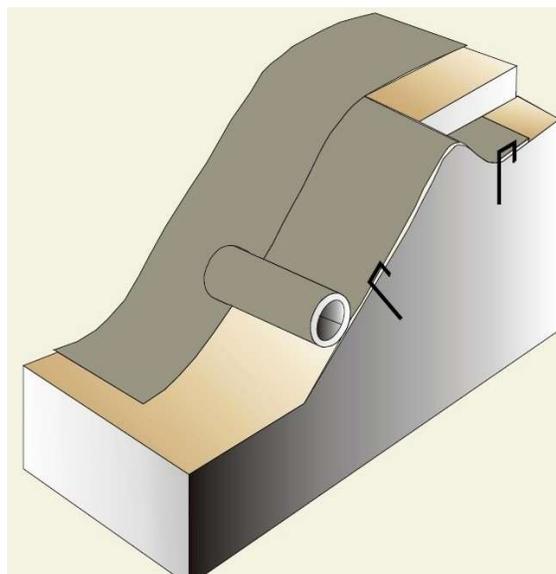
LIMITE D'IMPIEGO INGEGNERIA NATURALISTICA

TECNICHE RIGIDE TRADIZIONALI

## TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA CON GEOSINTETICI

CONTENUTO ENERGIA	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
<p>Soluzione a <b>BASSO CONTENUTO TECNOLOGICO (MINIMA ENERGIA)</b></p>	<p><b>TECNICHE DI INERBIMENTO CONTRO L'EROSIONE SUPERFICIALE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Semina a spaglio;</li> <li>b) Tecniche di IDROSEMINA;</li> <li><b>c) BIOSTUOIE/BIORETI;</b></li> <li><b>d) GEOSTUOIE;</b></li> <li>[...]</li> </ul>
	<p><b>INTERVENTI DI DRENAGGIO SUI VERSANTI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>a) DRENAGGI SUPERFICIALI ;</b> ( Canalizzazioni )</li> <li><b>b) DRENAGGI DI SOTTOFONDO.</b> ( Trincee drenanti )</li> </ul>
<p>Soluzione ad <b>ALTO CONTENUTO TECNOLOGICO (MASSIMA ENERGIA)</b></p>	<p><b>INTERVENTI CONTRO INSTABILITÀ PROFONDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>[...]</li> <li><b>a) TERRA RINFORZATA.</b></li> </ul>

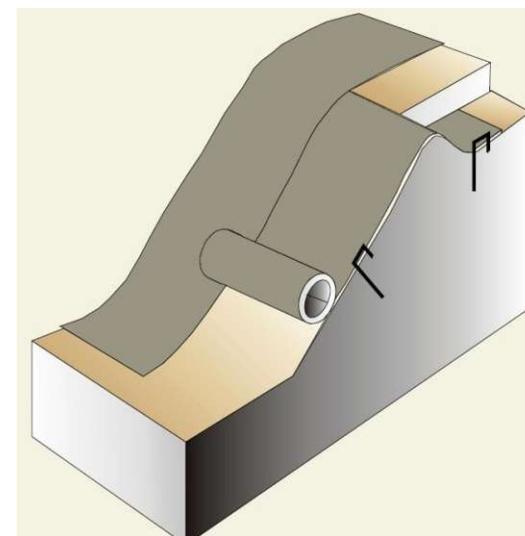
## ANTIERSIVO – BIORETE tipo PAVIMANT K e J



STRUTTURA	FIBRE	PRO	CONTRO
maglia aperta trama e ordito	JUTA COCCO	Buon impatto visivo Buon inerbimento Costi contenuti	Durata limitata



## ANTIERSIVO - BIOSTUOIA tipo PAVIMANT P-C-P/C



STRUTTURA	FIBRE	PRO	CONTRO
A	PAGLIA e/o COCCO	Buon impatto visivo	Durata limitata

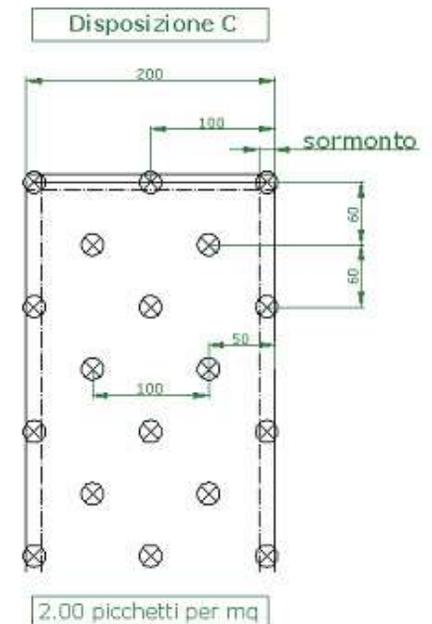
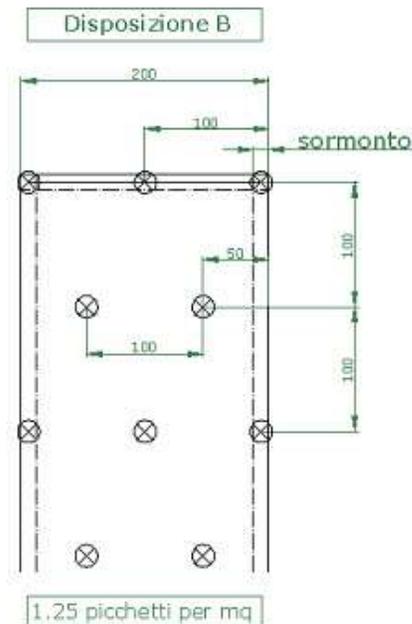
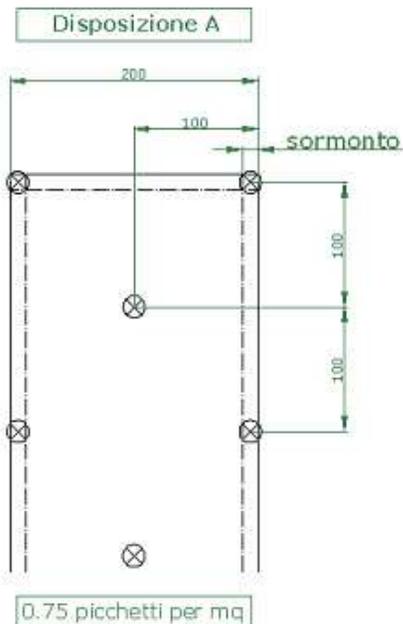
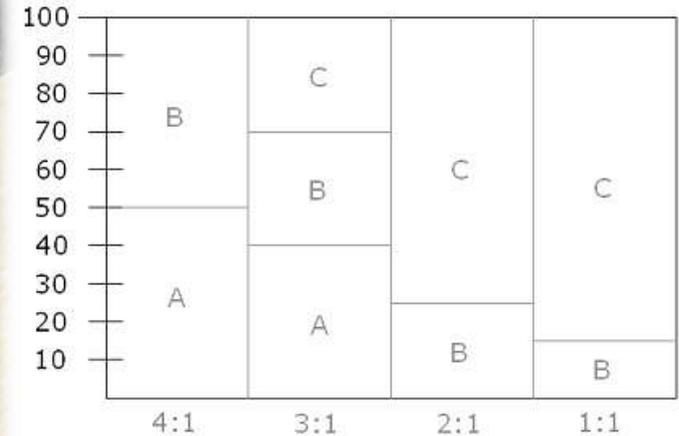


## PICCHETTI Sta.So

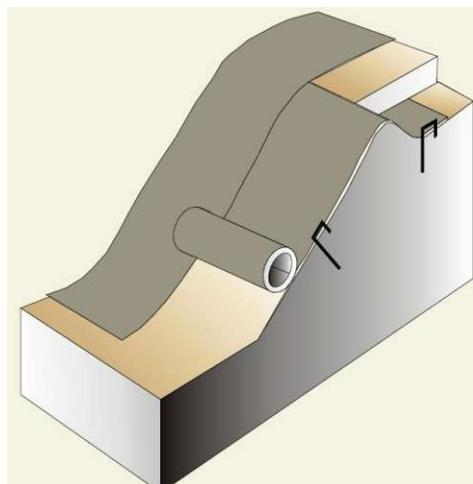
Sono realizzati con PLA (Polilattide) polimero **biodegradabile al 100%** che deriva dal mais. La biodegradazione inizia solo quando vengono inseriti nel terreno.



Determinazione della disposizione dei picchetti



## ANTIEROSIVO – GEOSTUOIE GRIMPANTI tipo **MEGAMAT**



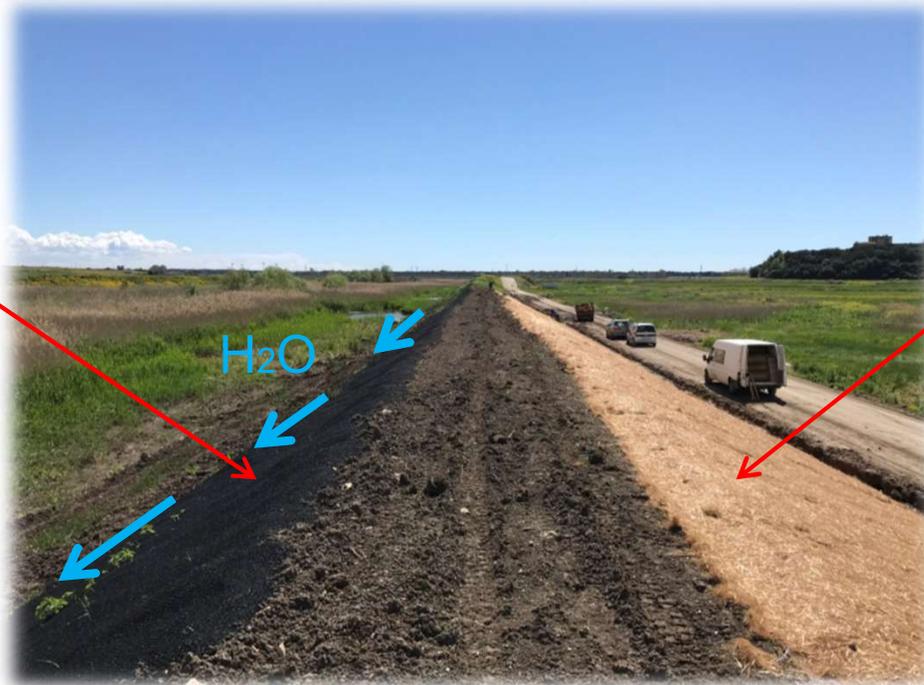
STRUTTURA	FIBRE/ POLIMERO	PRO	CONTRO
Cuspidata Geogriglia di rinforzo	PP / PET	Lunga durata Grande resistenza	Costi maggiori





**GEOSTUOIA**

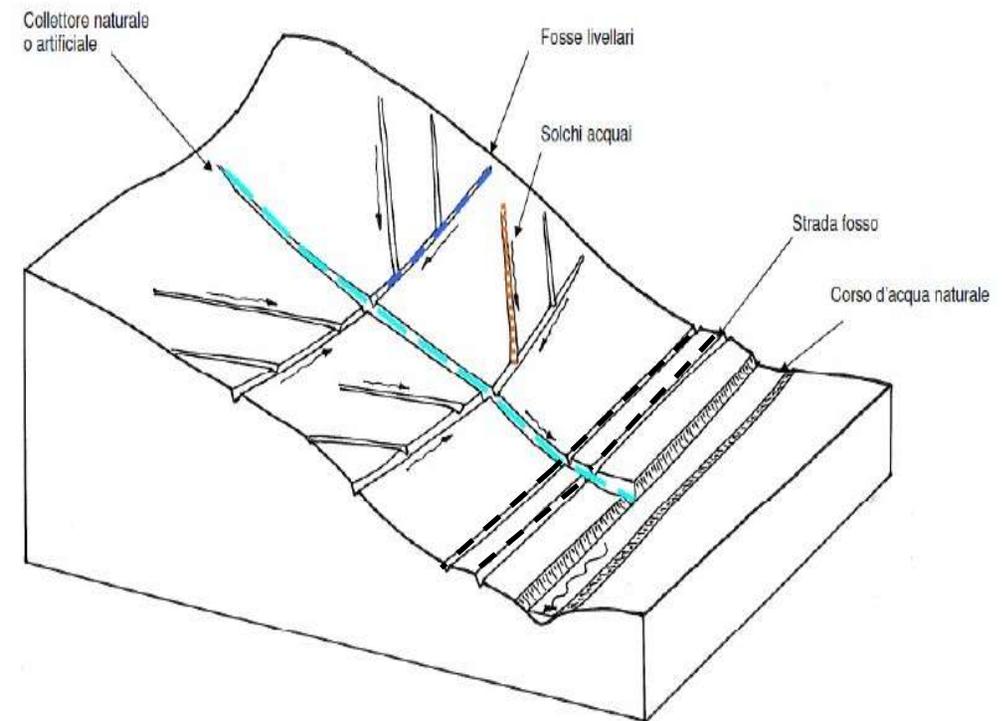
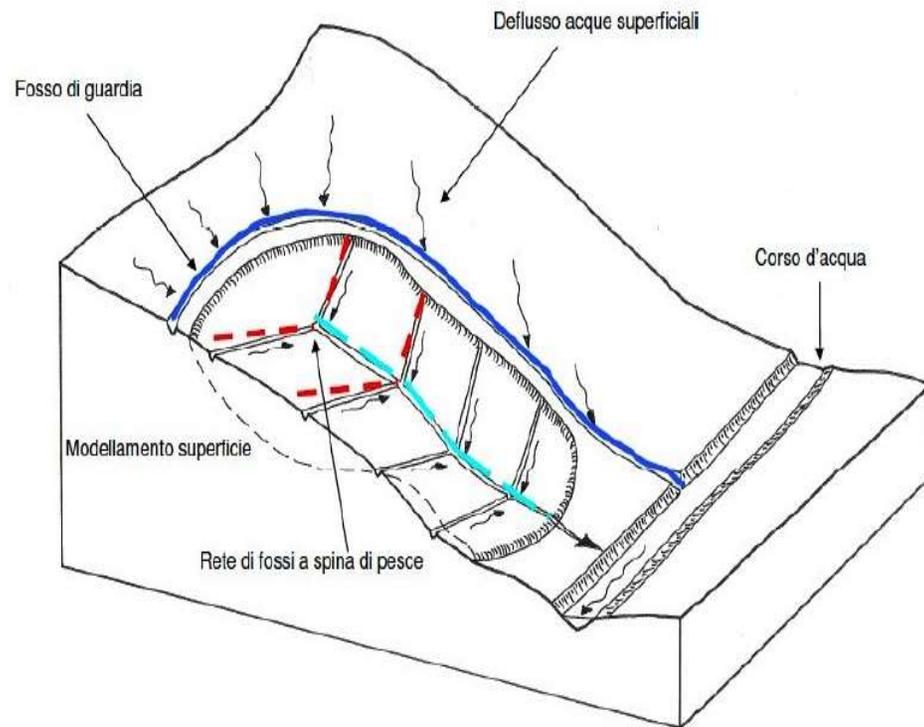
**BIOSTUOIA**



**ESEMPI APPLICATIVI**

## CANALI DI GUARDIA

Sono canali secondari di dimensione limitata con lo scopo di contenere e convogliare le acque di ruscellamento superficiale evitando che queste raggiungano infrastrutture, aree in frana e più in generale aree dove l'acqua non controllata possa costituire pericolo ed instabilità.



## CANALI DI GUARDIA

- Proteggono dall' erosione; 
- Sistemi rigidi o semirigidi;   
(costi notevoli di trasporto e messa in opera)
- non rinverdibili.   
(medio/alto impatto ambientale)

I due principali fenomeni che possono compromettere sostanzialmente la funzionalità di queste strutture sono:

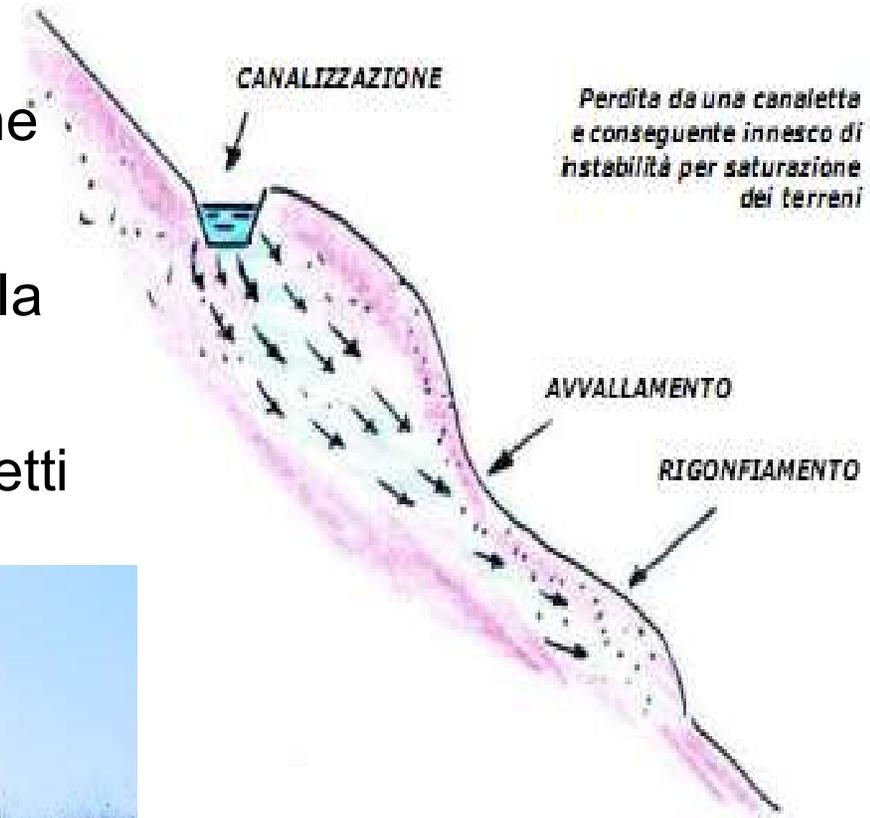
- **L'INTERRUZIONE della CONTINUITÀ ;**
- **IL SIFONAMENTO.**



## CANALI DI GUARDIA

**L'INTERRUZIONE della CONTINUITÀ** in genere è legato al cedimento per saturazione del terreno di supporto, ed è dovuto a:

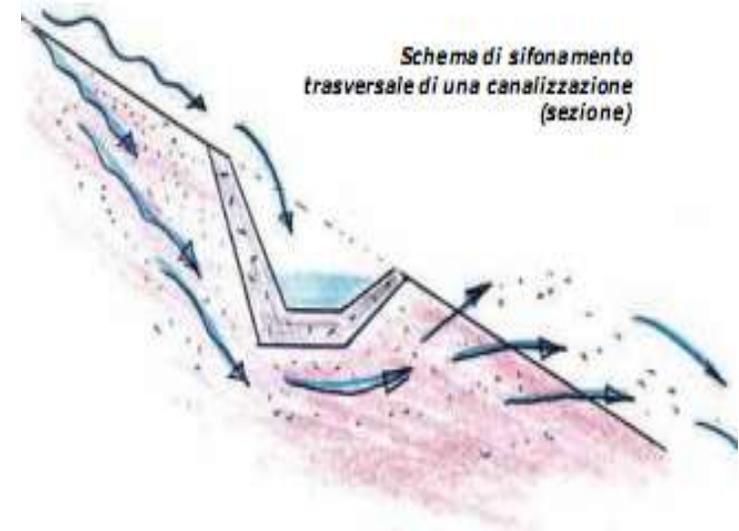
- Eccesso di deposito solido (occlusione della sezione);
- Eccessiva permeabilità delle canalette (difetti di montaggio);



## CANALI DI GUARDIA

**IL SIFONAMENTO** del sistema di canalizzazione si distingue in:

- Sifonamento trasversale e longitudinale (differenza fisica tra elementi a contatto).



*Schema di sifonamento longitudinale di una canalizzazione (pianta e sezione)*

## CANALI DI GUARDIA

### RIVESTIMENTO CON GEOMEMBRANE

- Protegge da erosione; 
- Impermeabilizza il fosso; 
- Impattante e non rinverdibile;  (breve durata)

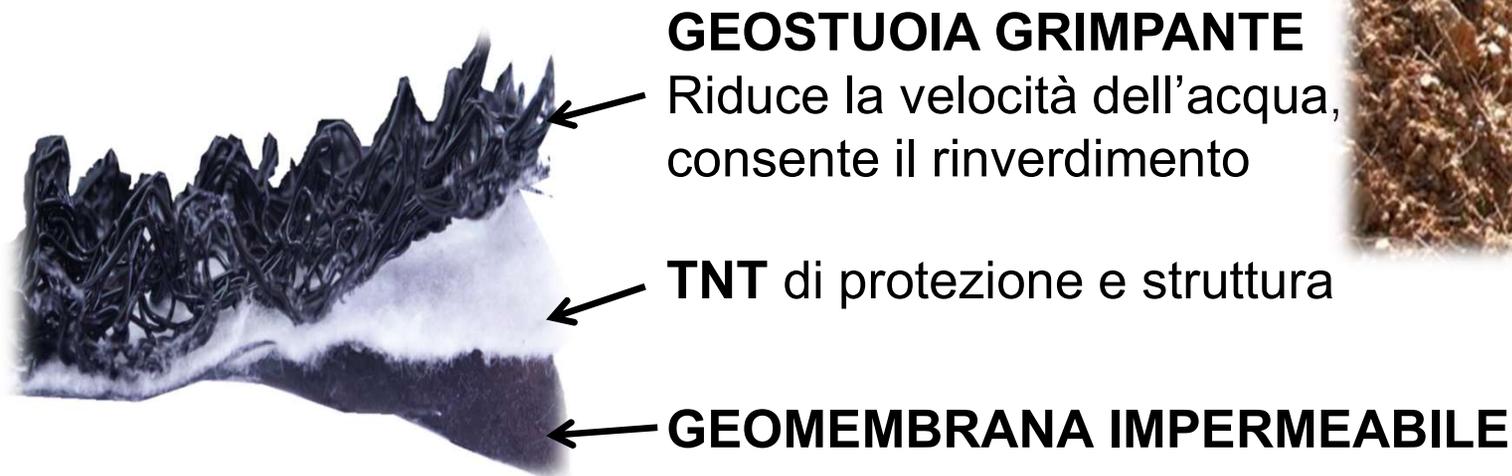
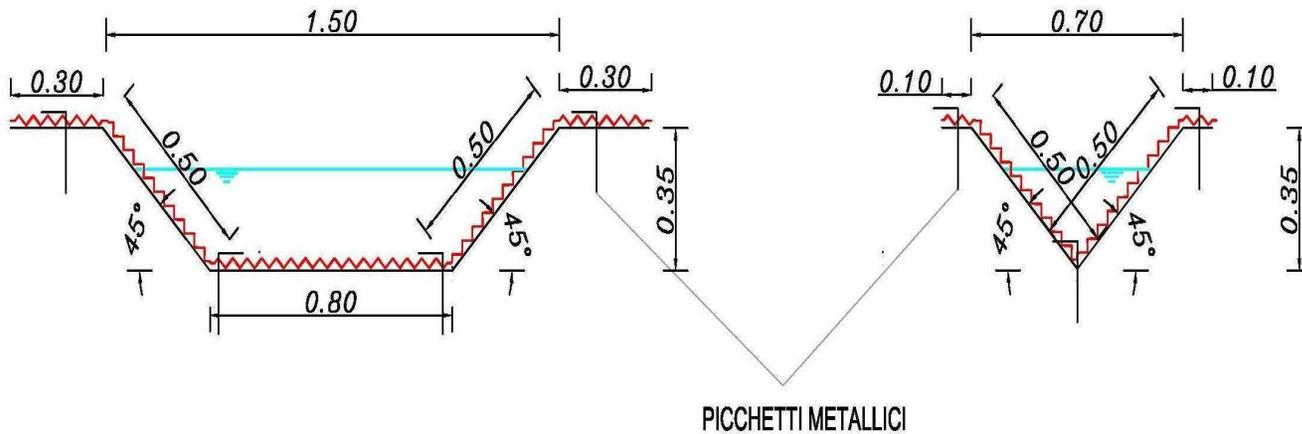
### RIVESTIMENTO CON GEOSTUOIE

- Protegge da erosione; 
- Non impermeabilizza il fosso; 
- Rinverdimento incontrollato;  (Possibile occlusione della sezione)

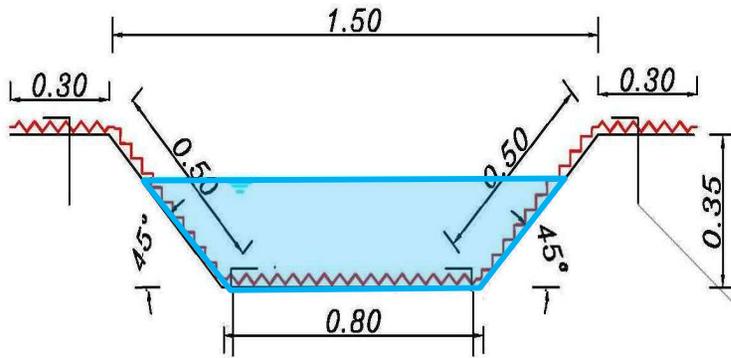


## CANALI DI GUARDIA TRENCHMAT S

Per i canali secondari caratterizzati da pendenze e velocità di deflusso non elevate sono ideali le canalette in terra a sezione trapezoidale o triangolare, protette con **GEOCOMPOSITI ANTIEROSIVI, IMPERMEABILI, FLESSIBILI a BASSO IMPATTO AMBIENTALE.**



## CANALI DI GUARDIA TRENCHMAT S



Equazione di Gauckler-Strickler per moto uniforme

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$V = Q / A$$

Dove:

Q = portata (m<sup>3</sup>/s)

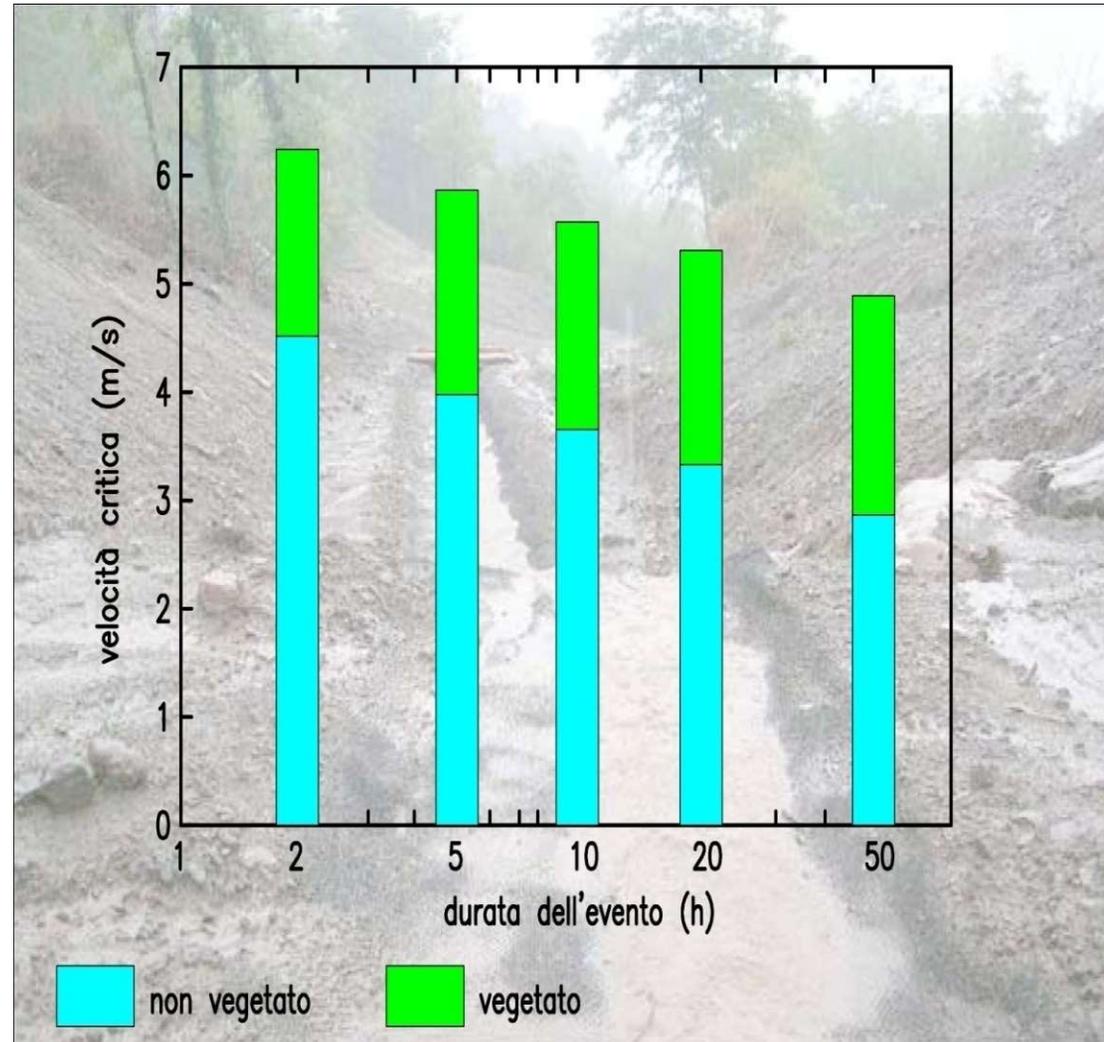
V = velocità (m/s)

K = coeffic. scabrezza (m<sup>1/3</sup>/s)

A = area liquida (m<sup>2</sup>)

R = raggio idraulico (m) = A/P

i = pendenza del fondo (m/m)



L'eq. di Gauckler-Strickler è anche riportata come Eq. di Manning, dove il parametro K è sostituito da n (K=1/n)

## CANALI DI GUARDIA TRENCHMAT S

Rispetto ai sistemi tradizionali, i nuovi geocompositi consentono:

- Facilità di trasporto e messa in opera (minor peso);
- Tempi di posa notevolmente ridotti (posa manuale);



Rotoli 1,20/2,40 mt x 25,00 ml  
Peso 0,85 kg/mq



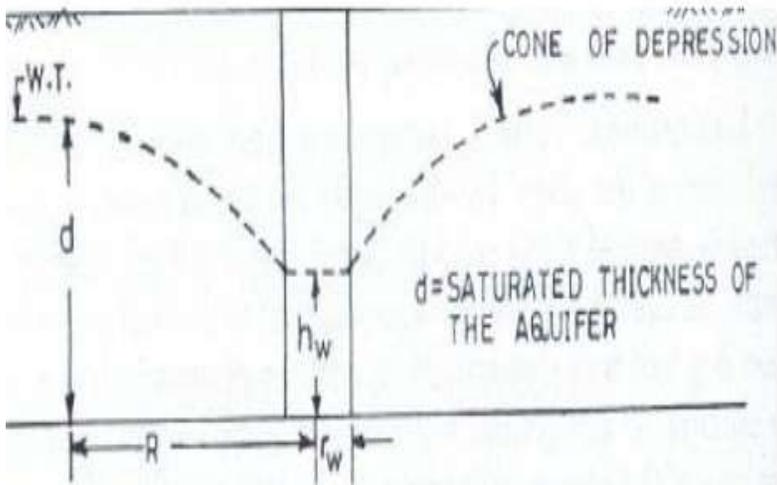
## CANALI DI GUARDIA TRENCHMAT S



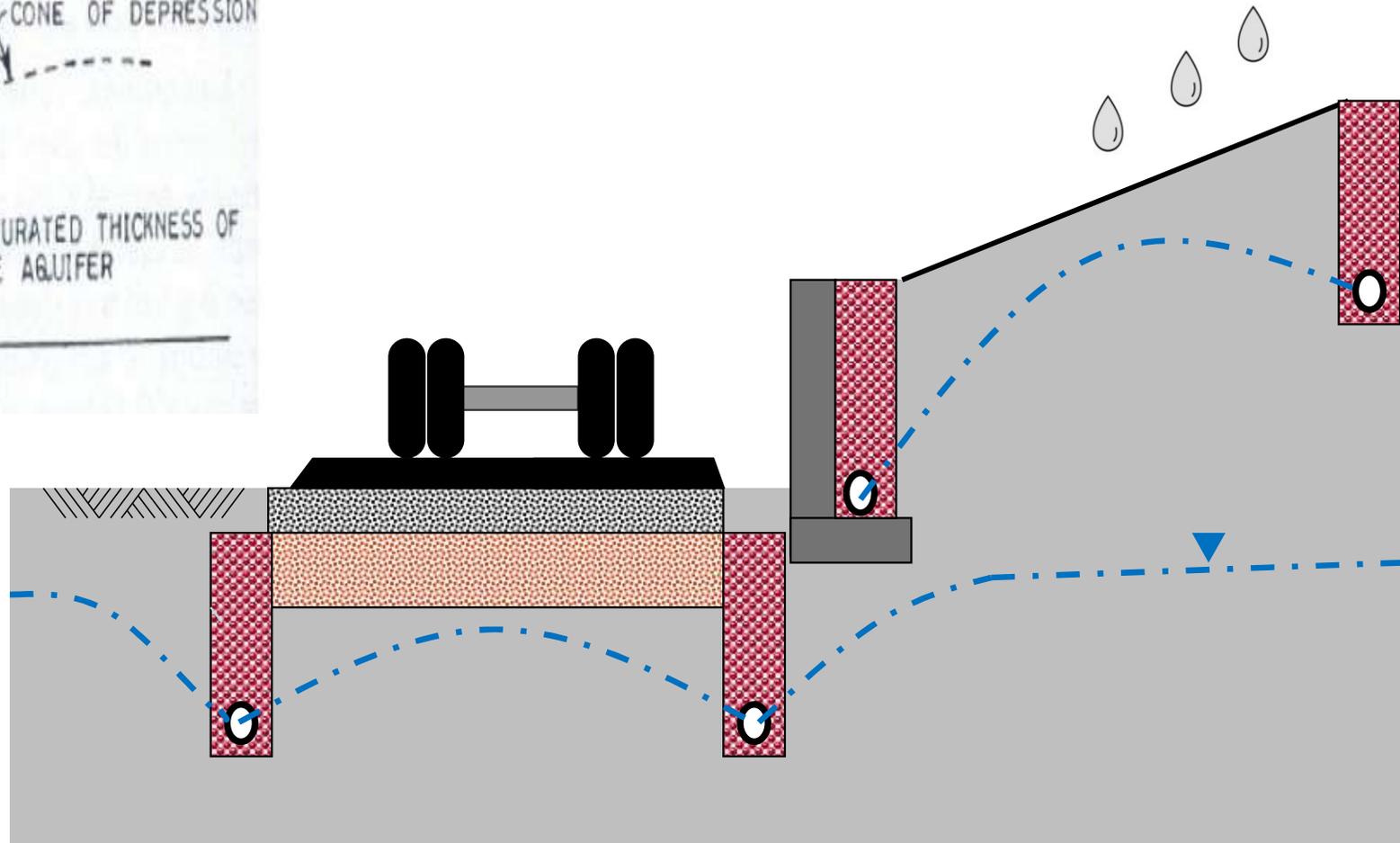
Geocomposito  
in varie tonalità



Progettare con drenaggi di sottofondo vuol dire ridurre gli effetti negativi dell'acqua con conseguente aumento/mantenimento delle prestazioni delle infrastrutture stesse



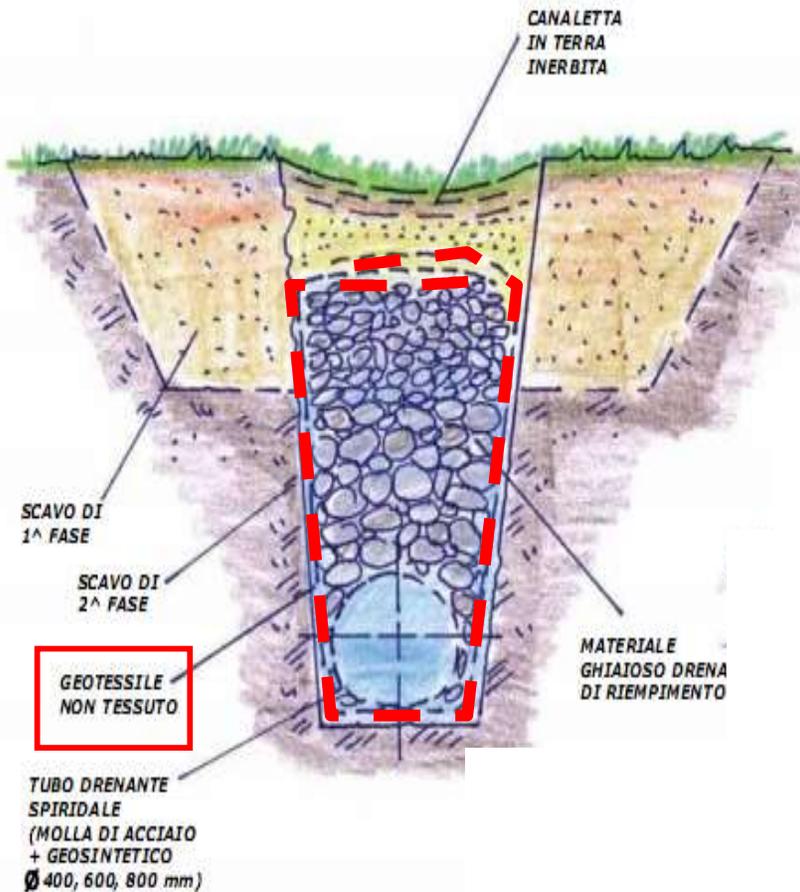
$$Q = \frac{\pi K (d^2 - h_w^2)}{2.3 \log_{10} \frac{R}{r_w}}$$



### TRINCEA DRENANTE TRADIZIONALE

Sistemi drenanti generalmente composto da due parti:

- Un dreno (GHIAIA);
- Un filtro-separatore (GTX-N /GTX-W).

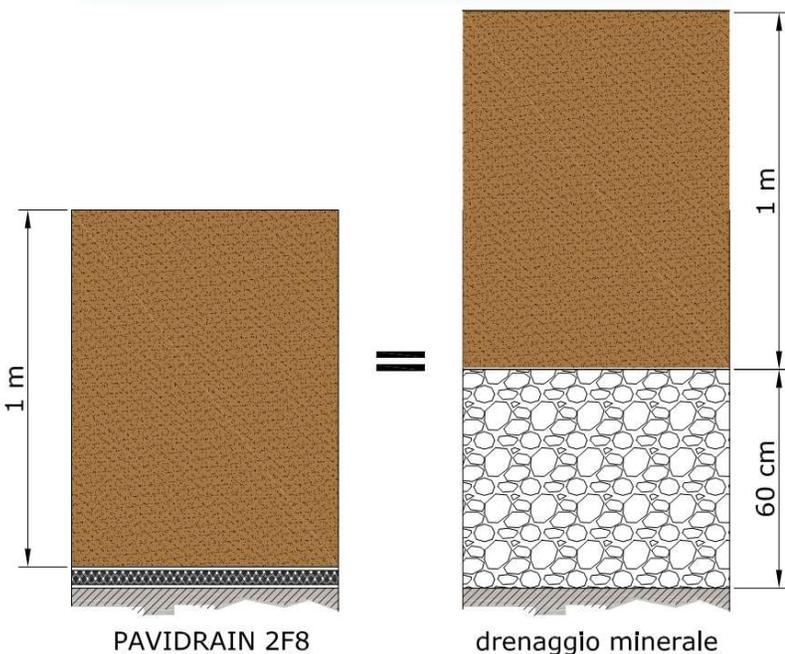


$$Q_g = S_g * K_g * i \text{ (legge di Darcy)}$$

Dove

- $Q_g$  è la portata idraulica smaltibile dal drenaggio in ghiaia (mc/s);
- $S_g$  è la superficie drenante, pari alla larghezza del drenaggio  $t$  per il suo spessore  $s$  (mq);
- $K_g$  è la permeabilità della ghiaia (m/s);
- $i$  è il gradiente idraulico (adimensionale).

### GCO DRENANTE



Oggi esistono dei sistemi drenanti di nuova concezione, detti **GEOCOMPOSITI DRENANTI**, studiati per ottimizzare i processi di emungimento nei terreni e in grado di rendere l'intervento non solo efficace, ma anche efficiente dal punto di vista dei tempi di realizzazione ( **minori volumi di sbancamento, assenza di materiale naturale drenante, reimpiego del materiale sbancato, posa manuale del geocomposito drenante** ) .

Alla base è prevista una tubazione drenante per evacuare la portata d'acqua intercettata.



### CAPACITA' DRENANTE NEL PIANO di un GEOCOMPOSITO DRENANTE

cioè la portata d'acqua che viene drenata da un metro lineare di geocomposito:

- SOTTO UN CERTO CARICO “q” (pressione di confinamento);
- PER UN DATO GRADIENTE IDRAULICO “i” (inclinazione);
- A DIFFERENTI SUPERFICI DI CONTATTO “R/M-M/M-R/R”.



#### CARATTERISTICHE DEL GEOCOMPOSITO

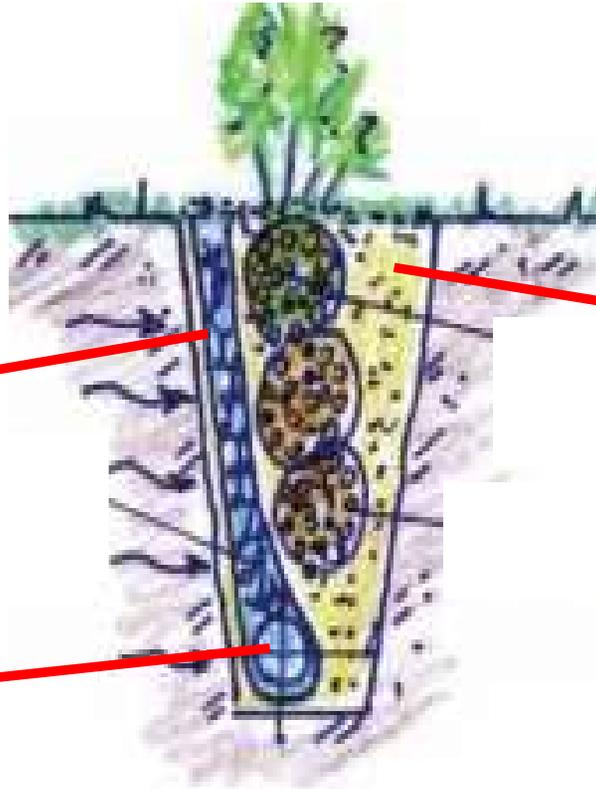
		2F5	2F8	2F20L	2F20	
Massa areica	g/m <sup>2</sup>	600	700	700	900	EN ISO 9864
Spessore a 2 kPa	mm	5,0	8,0	20,0	20,0	EN ISO 9863
Resistenza a trazione longitudinale MD	kN/m	16,0	16,0	16,0	16,0	EN ISO 10319
Resistenza a trazione trasversale CMD	kN/m	16,0	16,0	16,0	16,0	EN ISO 10319

#### CAPACITA' DRENANTE NEL PIANO MD (l/s\*m)



20 kPa	i = 1	1,00	2,50	5,40	5,00	EN ISO 12958
	i = 0,1	0,20	0,75	1,65	1,60	EN ISO 12958
	i = 0,04	0,12	0,40	0,90	0,85	EN ISO 12958
50 kPa	i = 1	0,80	2,20	1,90	2,60	EN ISO 12958
	i = 0,1	0,15	0,65	0,50	0,70	EN ISO 12958
	i = 0,04	0,10	0,35	0,30	0,45	EN ISO 12958
100 kPa	i = 1	0,70	1,60	0,40	0,55	EN ISO 12958
	i = 0,1	0,10	0,50	0,10	0,16	EN ISO 12958
	i = 0,04	0,05	0,25	0,05	0,05	EN ISO 12958

## TRINCEA DRENANTE con GCO DRENANTI





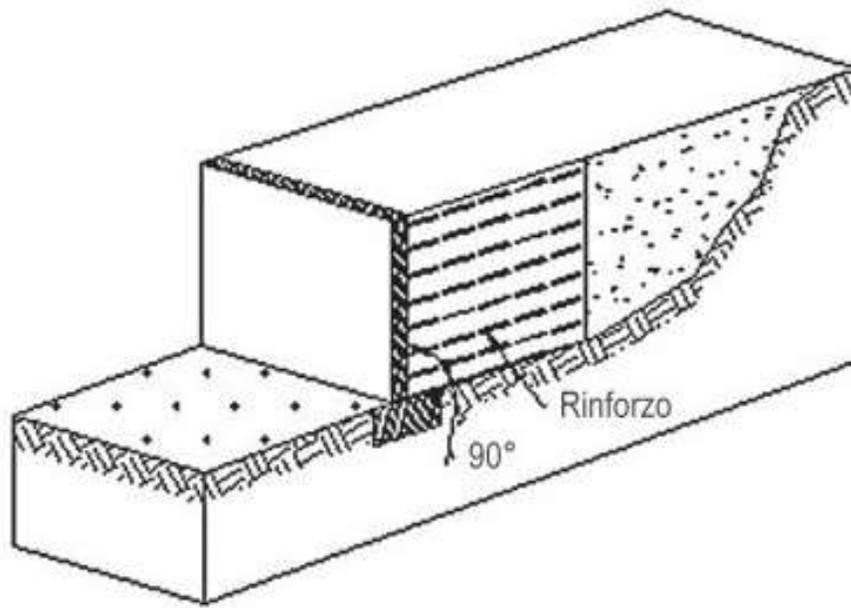
La **TERRA RINFORZATA** è un'opera di sostegno a gravità costituita da terreno naturale rinforzato con elementi sintetici.

inclinazione del paramento  $\beta \geq \varphi$  ( $\varphi$  = angolo interno di resistenza al taglio del terreno)

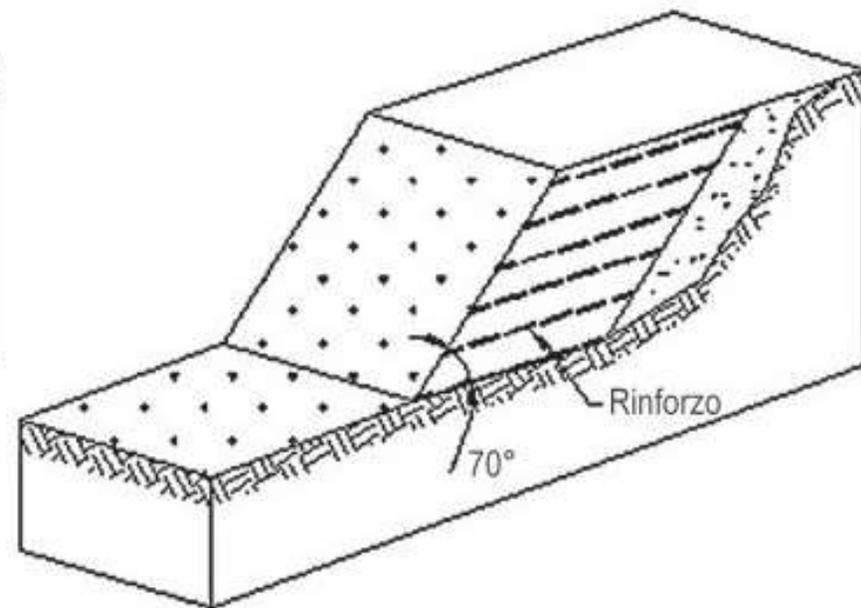
Le **TERRE RINFORZATE** si distinguono in due classi principali in relazione all'inclinazione della scarpata rinforzata:

- **MURI IN TERRA RINFORZATA**, con inclinazione sull'orizzontale  $\geq 70^\circ$ ;
- **PENDII IN TERRA RINFORZATA**, con inclinazione sull'orizzontale  $< 70^\circ$ .

( Inclinazione consigliata compresa tra  $60^\circ$  e  $70^\circ$ ; Inclinazioni  $< 60^\circ$  - problemi di installazione;  
Inclinazioni  $> 70^\circ$  - problemi di rinverdimento. )



a)



b)

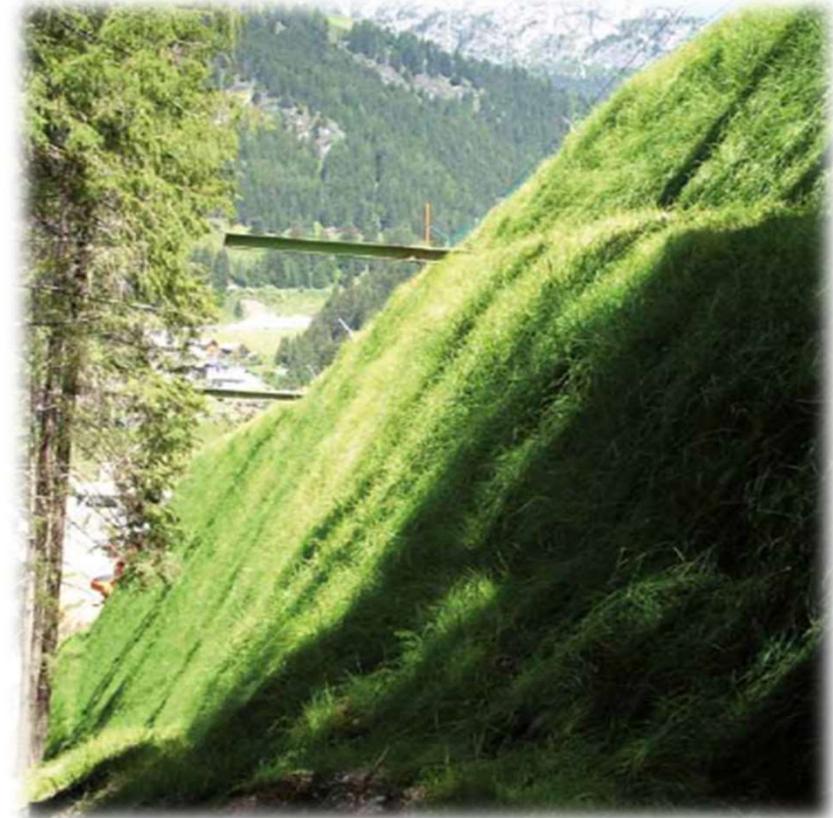
Terre rinforzate: a) muro in terra rinforzata; b) pendio in terra rinforzata

- **MURI IN TERRA RINFORZATA**, con inclinazione sull'orizzontale  $\geq 70^\circ$ .



(costi maggiori; non rinverdibili; ingegneria civile; opere più impattanti; aree urbanizzate)

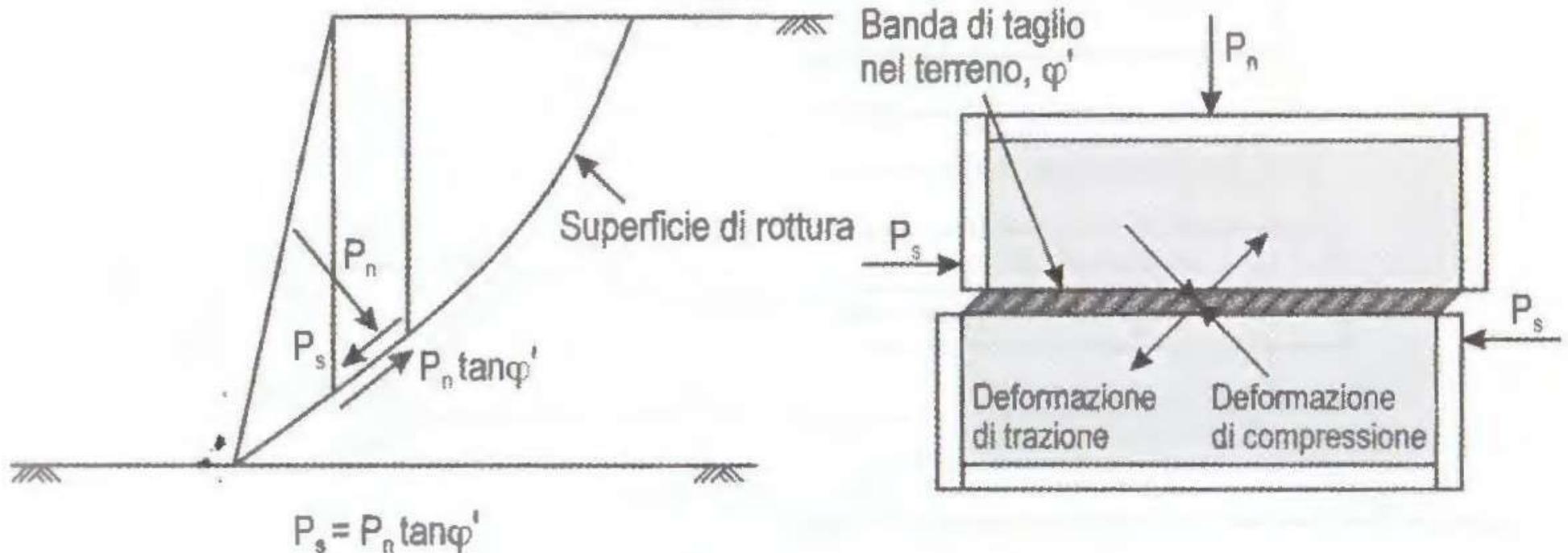
- **PENDII IN TERRA RINFORZATA**, con inclinazione sull'orizzontale  $< 70^\circ$ .



( costi minori; rinverdibili; ingegneria naturalistica; opere eco-compatibili; aree urbanizzate ed extraurbane, tecnica costruttiva molto semplice )

## PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

### Materiale granulare non rinforzato



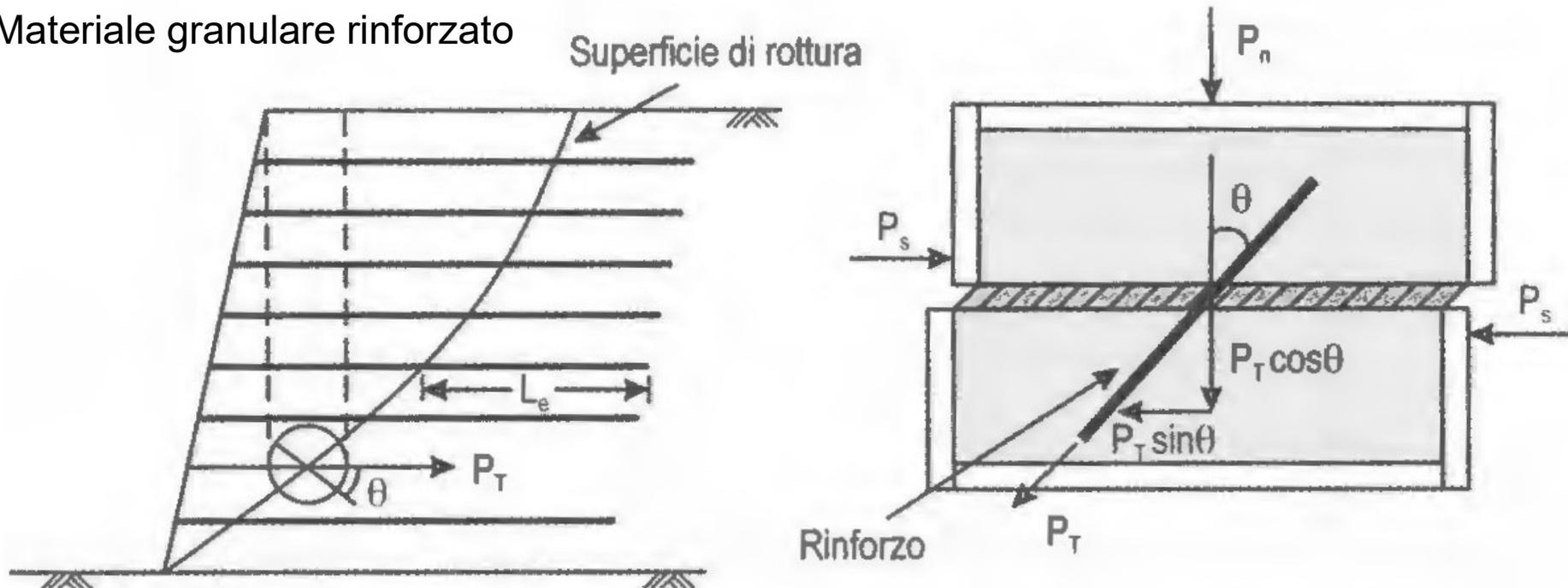
Il terreno, per causa delle forze esterne e al peso proprio, è sottoposto a deformazioni di taglio.

La resistenza al taglio  $P_r$  mobilizzata dal terreno lungo un tratto  $\Delta L$  di una potenziale superficie di rottura può essere correlata alla forza normale  $P_n$  (confinamento) agente lungo la superficie stessa tramite l'angolo di resistenza al taglio efficace  $\varphi'$ :

$$P_r = P_n \tan \varphi' \text{ (criterio di rottura di Coulomb)}$$

## PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

Materiale granulare rinforzato



L' inserimento di un rinforzo nel terreno modifica l' equilibrio delle forze agenti al suo interno. Il rinforzo interagisce con il terreno e, se opportunamente orientato ( $\theta$ ), si oppone alla deformazione di trazione determinando l' insorgere di una forza  $P_T$  che si aggiunge alla forza resistente mobilizzata dal terreno:

$$P_{r \text{ tot}} = P_n \tan \varphi' + P_T (\cos \theta \tan \varphi' + \sin \theta).$$

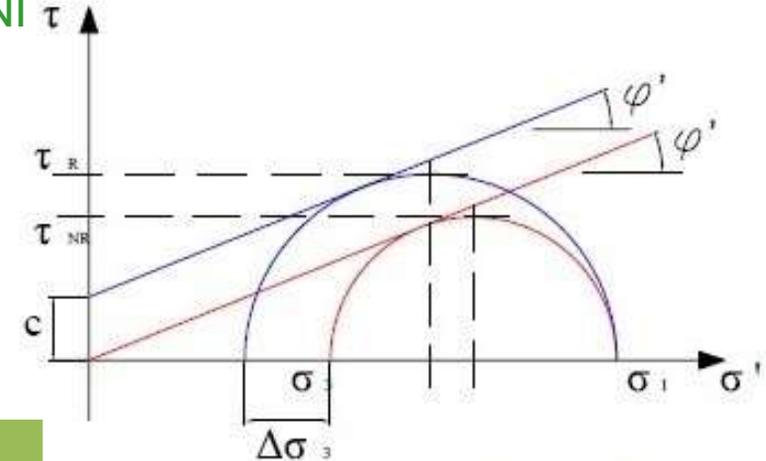
L'equilibrio su una potenziale superficie di scorrimento si raggiunge quando:

$$\text{RESISTENZA mob. TERRENO} + \text{RESISTENZA mob. RINFORZO} \\ = \\ \text{RISULTANTE SFORZI TAGLIO applicati}$$

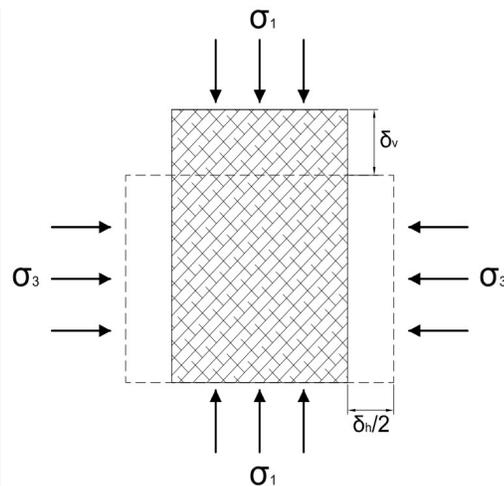
## PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

### Criterio di rottura Mohr-Coulomb

Se il **TERRENO NON RINFORZATO** è confinato con uno sforzo  $\sigma_3$  costante all'aumento dello sforzo  $\sigma_1$  il terreno sarà soggetto ad un aumento progressivo degli sforzi di taglio

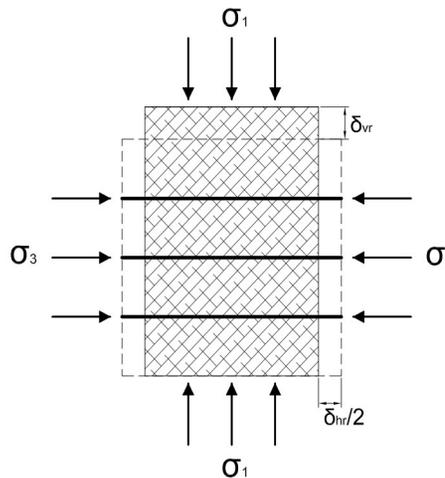


#### TERRENO NON RINFORZATO



$$\tau_{NR} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \leq \tau_{amm}$$

#### TERRENO RINFORZATO



$$\tau_R = \frac{1}{2} (\sigma_1 - (\sigma_3 - \Delta\sigma_3)) \leq \tau_{amm}$$

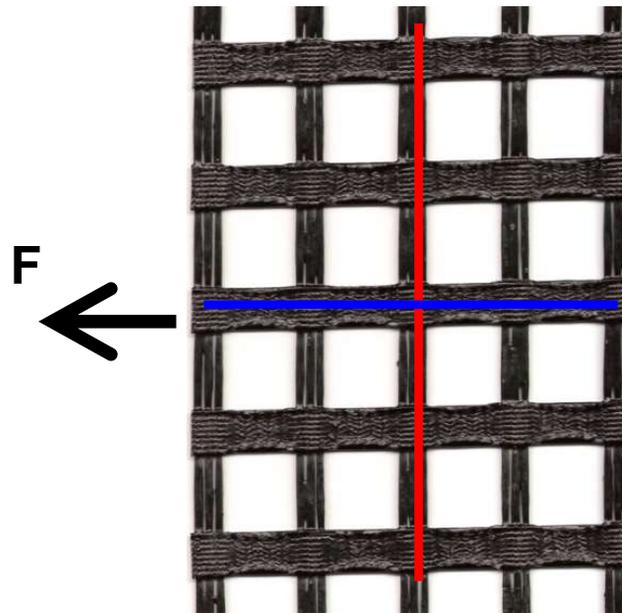
Applicando gli stessi carichi esterni  $\sigma_1$  al **TERRENO RINFORZATO** si assiste all'aumento della sua resistenza.

La riduzione delle deformazioni è diretta conseguenza dello sforzo di **confinamento interno  $\Delta\sigma_3$**  generato **DALL'INTERAZIONE TRA IL TERRENO ED IL RINFORZO.**

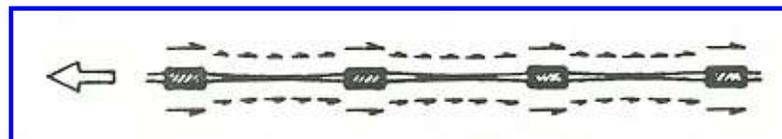
Ad ogni incremento di  $\sigma_1$  corrispondono piccoli incrementi degli sforzi di taglio

## PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

Il trasferimento delle tensioni tra terreno e rinforzi avviene attraverso l'**Interazione** tra i due elementi. Questa si manifesta lungo la superficie di contatto tra i due materiali e può essere rappresentata sotto forma di sforzi.



### SFORZI TANGENZIALI



Lungo le nervature longitudinali

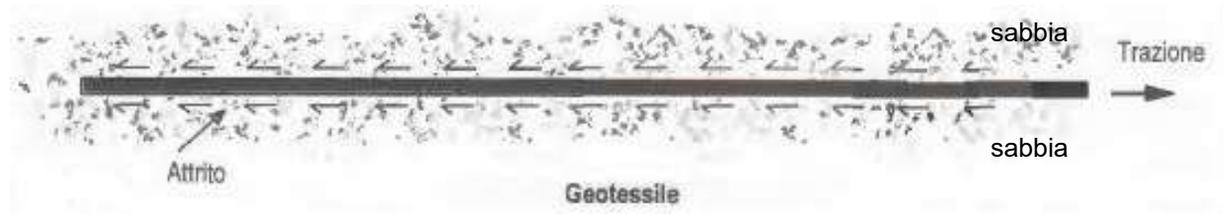
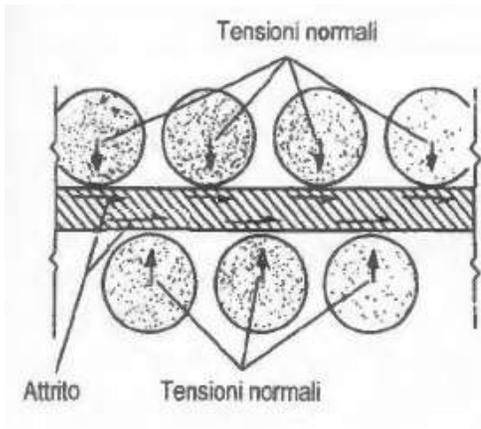
### SFORZI NORMALI



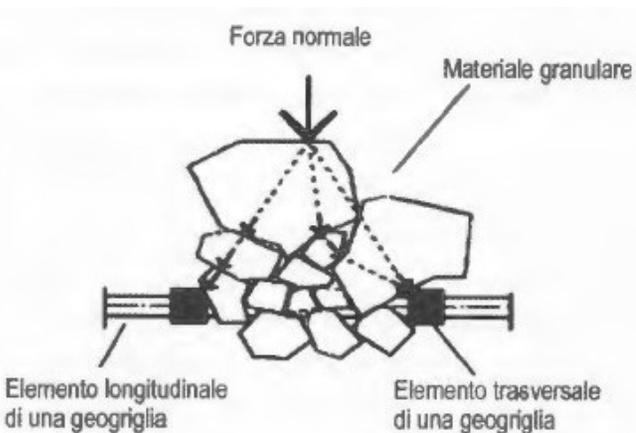
Lungo le nervature trasversali

## PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

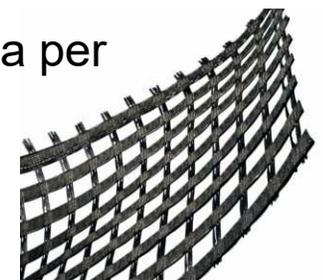
Il fenomeno dell' **Interazione** è principalmente legato alla struttura del rinforzo e alle caratteristiche fisiche dei granuli costituenti il terreno.



**Interazione** legata unicamente all'attrito d'interfaccia (meno efficace).



**Interazione** legata anche alla resistenza passiva per compenetrazione tra elementi (più efficace).



## RINFORZO – RESISTENZA A TRAZIONE DI PROGETTO

La progettazione di Terre Rinforzate richiede che venga stimata la **RESISTENZA A TRAZIONE** dei rinforzi alla **FINE DELLA VITA UTILE** dell'opera (LUNGO TERMINE).  
La resistenza a trazione di progetto utilizzata per il dimensionamento delle geogriglie viene ricavata conformemente ai metodi presentati in letteratura, come ad esempio il metodo **FHWA GRI (USA)** :

$$T_{ALL} = \frac{T_{ULT}}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_{BD} \cdot RF_{CD} \cdot RF_{JNT}}$$

$$T_D = \frac{T_{ALL}}{FS_D}$$

$T_{ALL}$	= Resistenza a trazione ammissibile a lungo termine [kN/m]
$T_{ULT}$	= Resistenza a trazione nominale ultima [kN/m]
$T_D$	= Resistenza a trazione di progetto [kN/m]
$RF_{CR}$	= Fattore di riduzione per CREEP
$RF_{ID}$	= Fattore di riduzione per danneggiamento meccanico
$RF_{BD}$	= Fattore di riduzione per danneggiamento biologico
$RF_{CD}$	= Fattore di riduzione per danneggiamento chimico
$RF_{JNT}$	= Fattore di riduzione per sovrapposizioni
$FS_D$	= Fattore di sicurezza per la progettazione ed esecuzione

### COEFFICIENTI DI RIDUZIONE per:

- CREEP
- DANNEGGIAMENTO MECCANICO
- CHIMICO/BIOLOGICO



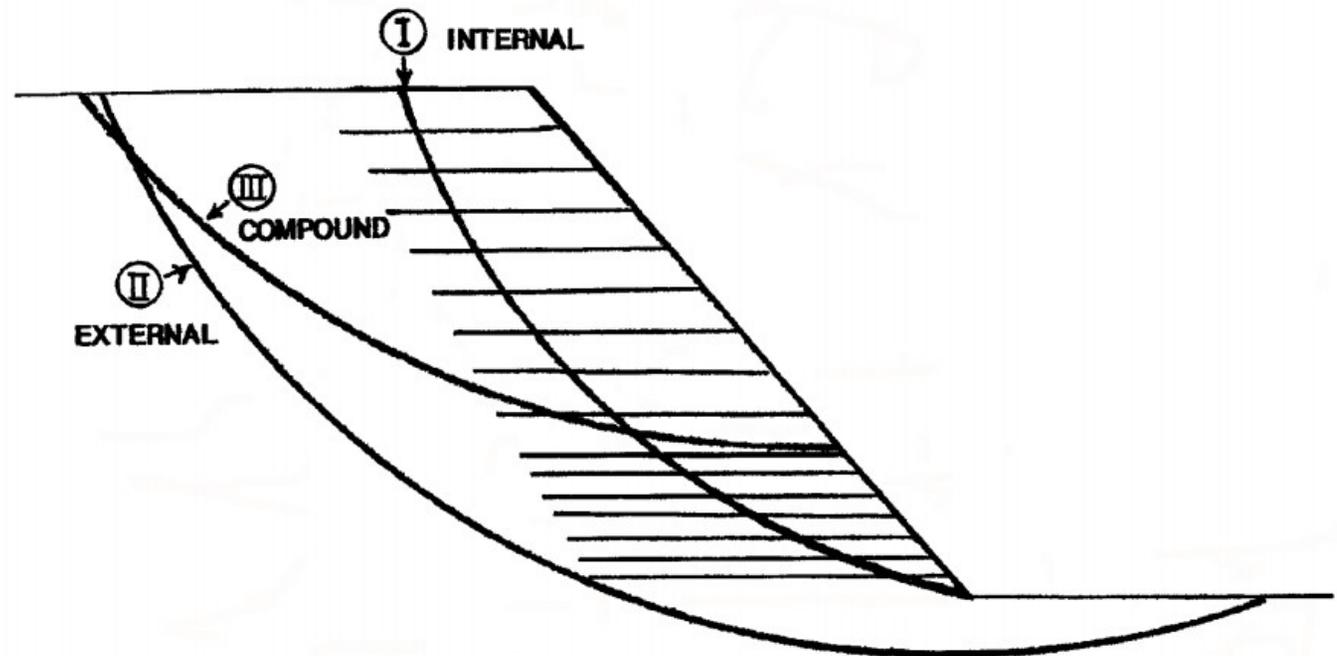
## PROGETTAZIONE - MECCANISMI DI ROTTURA

PREMESSA...

“ [...] La progettazione di strutture di Terra Rinforzata viene attualmente eseguita utilizzando Norme Nazionali di Paesi Esteri come la **BS 8006 (1995)**, la **NF 94-220 (1998)** e la **FHWA-NHI-00-043 (2001)**. ”

Ai fini delle **verifiche di stabilità** le Norme Nazionali propongono **3 MECCANISMI DI ROTTURA** per le Terre Rinforzate:

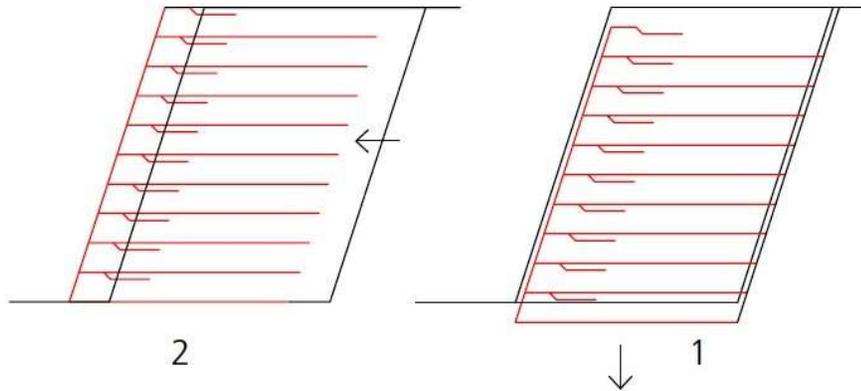
- **ESTERNA**
- **INTERNA**
- **COMPOUND**



## PROGETTAZIONE - MECCANISMI DI ROTTURA

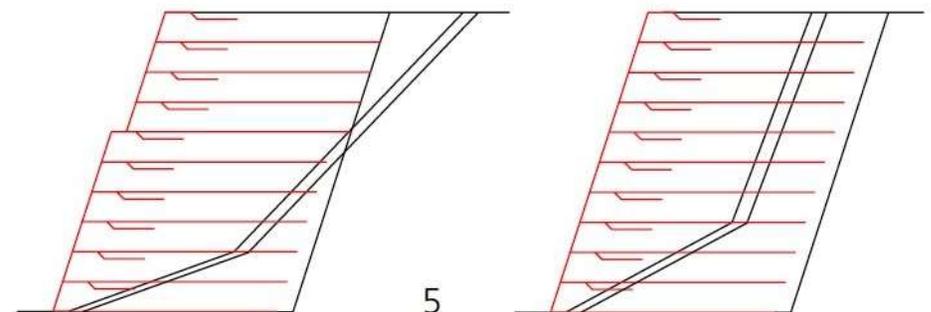
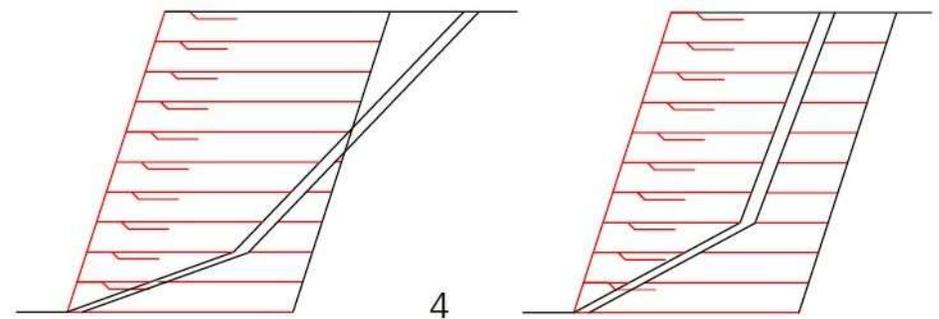
### Verifica di stabilità ESTERNE:

- Verifica di **CAPACITÀ PORTANTE DEL SOTTOFONDO** (1);
- Scivolamento traslazionale del blocco rinforzato (**DIRECT SLIDING**) (2);
- Scivolamento rotazionale attorno al volume rinforzato (**STABILITÀ GLOBALE**) (3).
- **RIBALTAMENTO** ( paramento  $\geq 70^\circ$  )



### Verifica di stabilità INTERNE / COMPOUND:

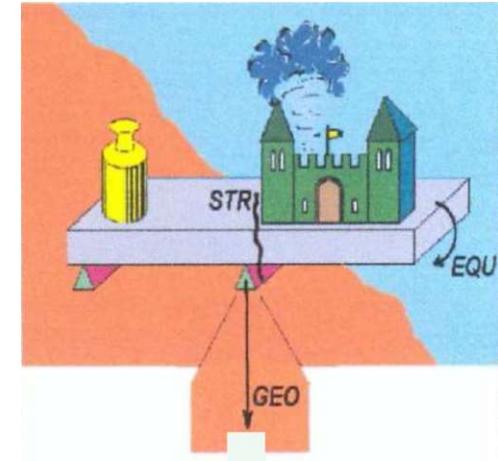
- **ROTTURA A TRAZIONE** del singolo rinforzo (4);
- Sfilamento del singolo rinforzo (**PULLOUT**) (5);
- Scivolamento traslazionale interno (**DIRECT SLIDING**) (5);
- verifica di stabilità della facciata



## PROGETTAZIONE - NORMATIVA ITALIANA

### NTC 2018 (D.M. 17.01.2018)

NTC 2018 si applicano a “[...] **STRUTTURE MISTE** che **esplicano la funzione di sostegno** anche per effetto di trattamenti di miglioramento e **per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento**”.



Le STRUTTURE MISTE devono essere **VERIFICATE** con riferimento **ALMENO AI SEGUENTI STATI LIMITE**:

#### **SLU** di tipo **GEOTECNICO (GEO)**:

- **STABILITÀ GLOBALE** del complesso opera di sostegno-terreno;
- **SCORRIMENTO** sul piano di posa;
- **COLLASSO** per carico limite dell'insieme **FONDAZIONE-TERRENO**;
- **RIBALTAMENTO**.

#### **SLU** di tipo **STRUTTURALE (STR)**

- Raggiungimento della **RESISTENZA** negli **ELEMENTI STRUTTURALI**.

## SEQUENZA DI POSA – 0. Preparazione del piano di posa e del drenaggio



## SEQUENZA DI POSA – 1. Posizionamento del cassero



## SEQUENZA DI POSA – 2. Stesa della biostuoia



## SEQUENZA DI POSA – 3. Stesa della geogriglia



## SEQUENZA DI POSA – 4. Fissaggio della staffa di rinforzo.



## SEQUENZA DI POSA – 5. Stesa del terreno di riempimento.



## SEQUENZA DI POSA – 6. Posa del terreno vegetale

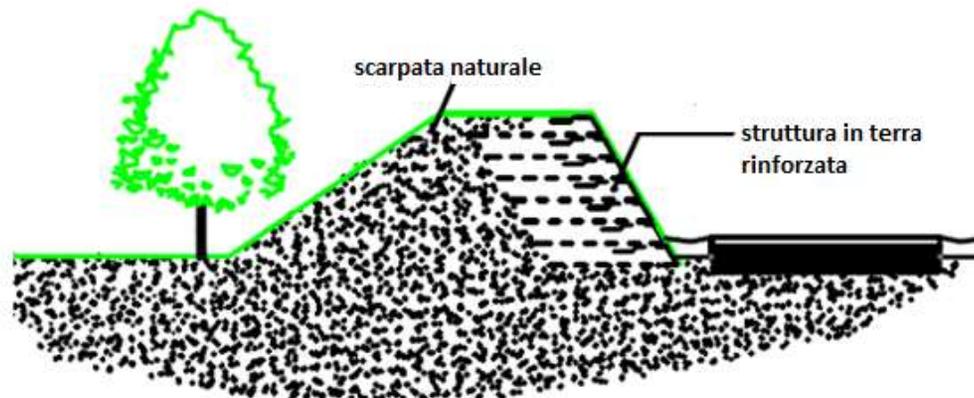


SEQUENZA DI POSA – 7. Risvolto della biostuoia e della geogriglia; ripetere dal punto 1 fino alla quota di progetto.



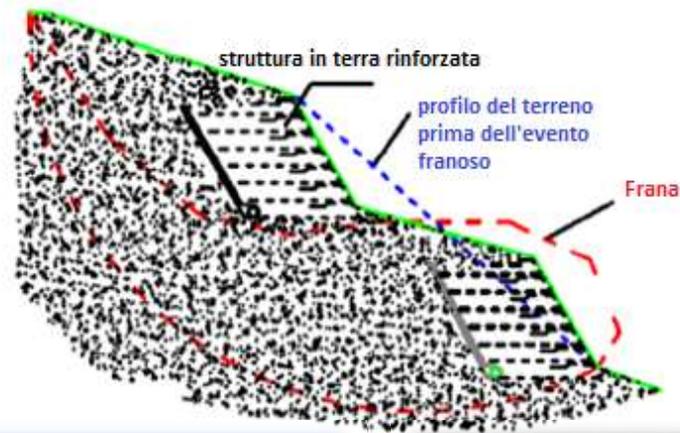
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

BARRIERE FONOASSORBENTI / RILEVATI PARAMASSI / DEVIATORI DI COLATE



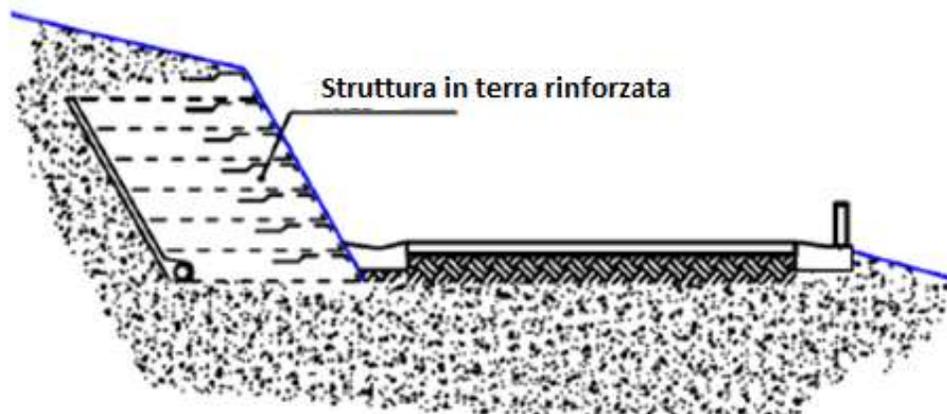
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### RICOSTRUZIONE PENDII E RIPRISTINO AREE IN FRANA



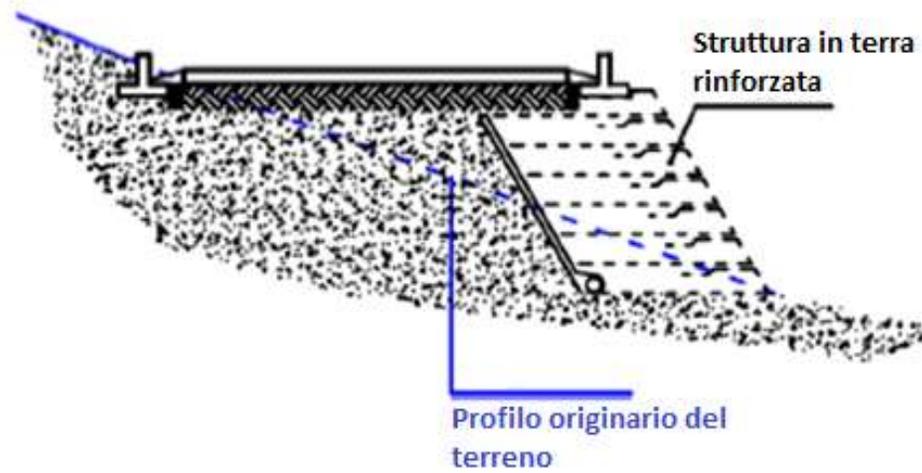
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### CONTRORIPA



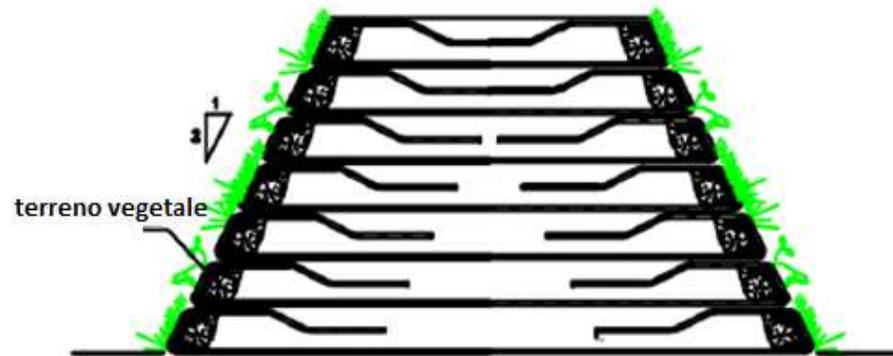
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### SOTTOSCARPA



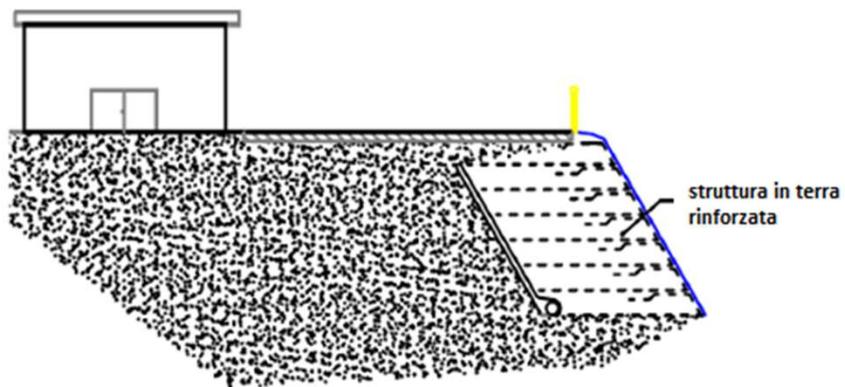
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

RILEVATI STRADALI E FERROVIARI



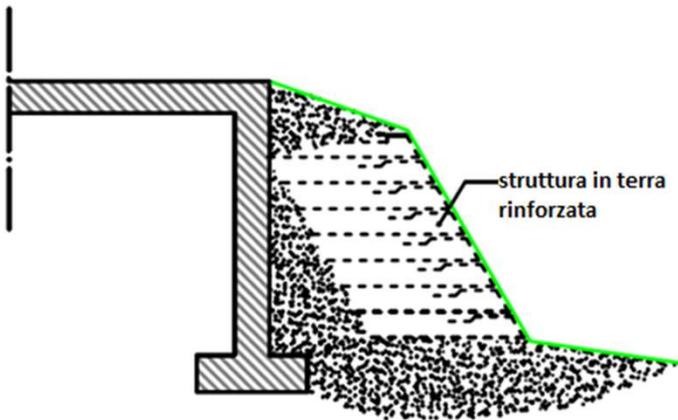
## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### ALLARGAMENTO PIAZZALI



## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### MASCHERAMENTO DEI MURI IN CEMENTO ARMATO



## POSSIBILI APPLICAZIONI...

### OPERE SPECIALI



***Grazie per la cortese attenzione....!!!!!!***

**WWW.PAVITEX.COM**

Ing. F. Angelillo  
S.A.T. Viganò Pavitex S.p.A  
335.5418876  
[f.angelillo@pavitex.com](mailto:f.angelillo@pavitex.com)



035.201911  
[geo.it@pavitex.com](mailto:geo.it@pavitex.com)