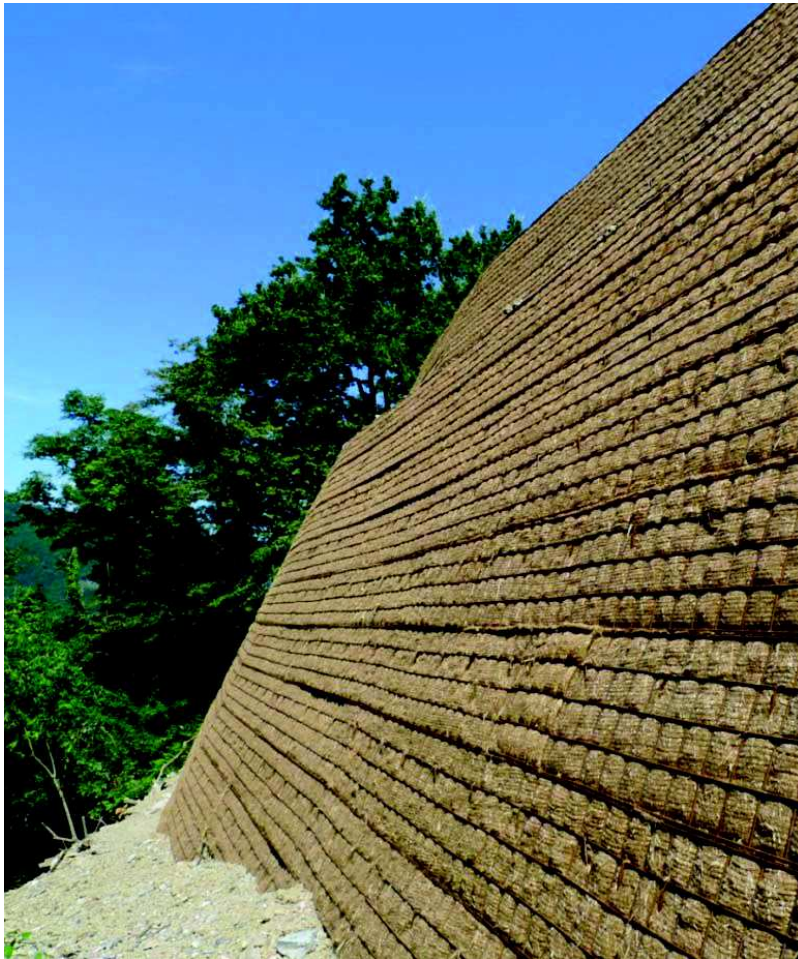


STRUTTURE IN TERRE RINFORZATE, STABILIZZAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI E OPERE DI DIFESA DALLE FRANE IN ROCCIA, DI VERSANTE E COLATE DETRITICHE

Giovedì 29 Marzo 2018 - Cosmopolitan Business Hotel, Civitanova Marche (MC)



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

Approcci progettuali per il calcolo e la verifica

Ing. Dario Carnevali
S.A.T.
Viganò Pavitex S.p.A.

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

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 ambiti 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

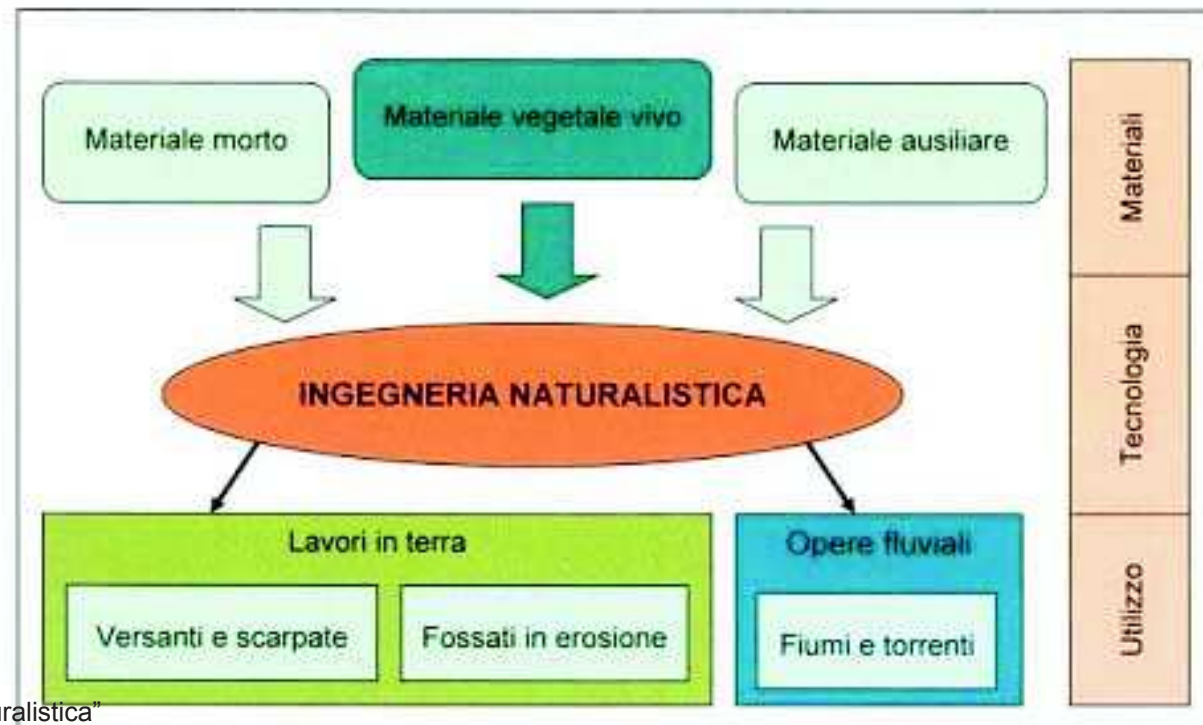
Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

INGEGNERIA NATURALISTICA

Per von Kreudener “è una **TECNICA COSTRUTTIVA INGEGNERISTICA, CHE SI AVVALE DI CONOSCENZE BIOLOGICHE** nell'eseguire costruzioni in terra e idrauliche e nel consolidare versanti e sponde instabili. Per questo scopo è tipico l'impiego di **PIANTE** e di parti di piante, messe a dimora in modo tale, da raggiungere, nel corso del loro sviluppo, **sia da sole, come materiale da costruzione vivo, sia in unione con MATERIALE DA COSTRUZIONE INERTE**, un **consolidamento duraturo delle opere.**”

MATERIALI INERTI come:

- pietrame e massi,
- terra,
- Legname (MORTO),
- ferro e acciaio,
- fibre vegetali/sintetiche (**GEOSINTETICI**)



Prof. Florineth "Dispensa di ingegneria naturalistica"

Fig. 1. Rapporti funzionali nell'ingegneria naturalistica

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

OPERE DIFESA SUOLO: LINEE DI INDIRIZZO DI REGIONE LOMBARDIA

in collaborazione con



Federazione degli Agrotecnici
e degli Agrotecnici laureati della Lombardia

AssINGeo



Allegato 7 redatto da **AssINGeo**:

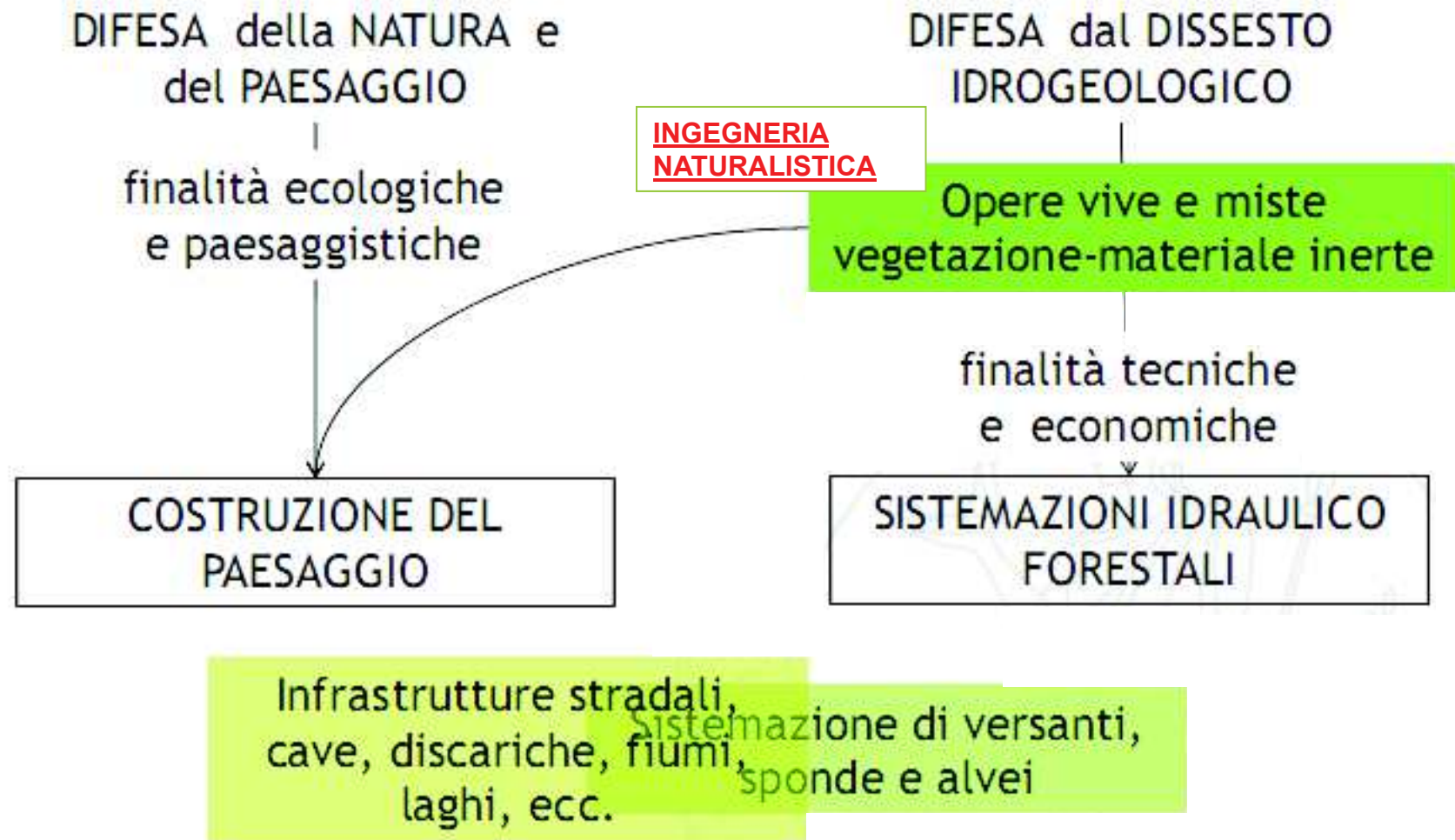
LINEE GUIDA PER LA SCELTA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE (Geosintetici):

- **Definizioni**
- **Marcatura CE**
- **Capitolati**

CALENDARIO Convegni Provinciali (Regione Lombardia) :

DATA	LUOGO
23/09/2011	MILANO
17/11/2011	LODI
01/12/2011	LECCO
15/12/2011	SONDRIO
03/02/2012	BERGAMO
09/02/2012	BRESCIA
01/03/2012	MANTOVA
15/03/2012	CREMONA
-	MONZA
20/04/2012	MILANO
15/05/2012	VARESE
24/05/2012	COMO
14/06/2012	PAVIA

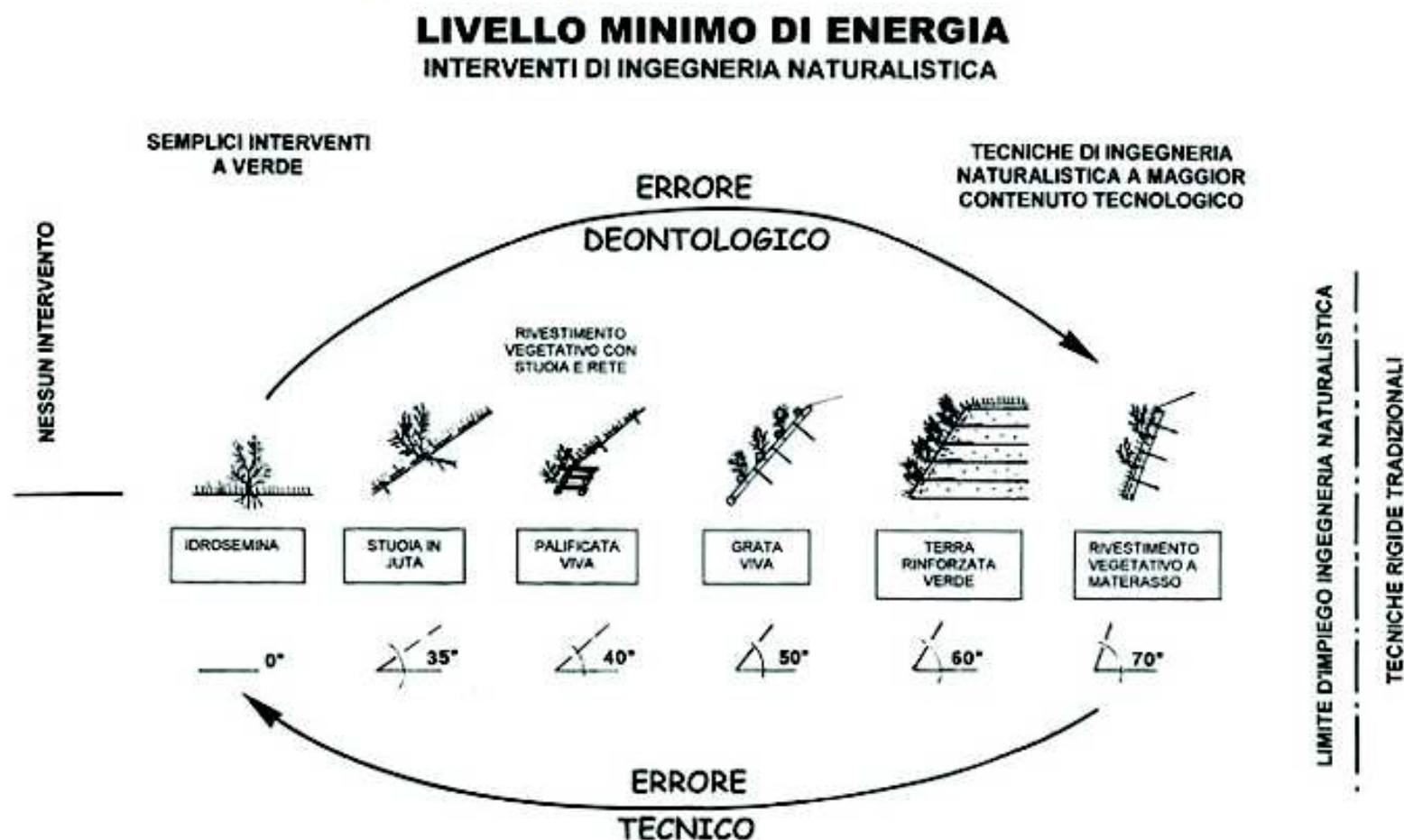
Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio in edilizia



Prof. Gian Battista Bischetti

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio in edilizia

Figura 1: Schema della scelta progettuale delle tecniche di ingegneria naturalistica secondo principi tecnici e deontologici (da Sauli G., Cornellini P. & Preti F., 2002)



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DEI PENDII E DELLE SCARPATE

CONTENUTO ENERGIA	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
Soluzione a BASSO CONTENUTO TECNOLOGICO (MINIMA ENERGIA)	TECNICHE DI INERBIMENTO CONTRO L'EROSIONE SUPERFICIALE a) Semina a spaglio b) Tecniche di IDROSEMINA c) SEMINA A SPESSORE d) BIOSTUOIE e piastre in fibra grezza [...]
	INTERVENTI DI DRENAGGIO SUI VERSANTI a) DRENAGGI TECNICI (Trincee di drenaggio) b) Drenaggi biologici con fascine vive
Soluzione ad ALTO CONTENUTO TECNOLOGICO (MASSIMA ENERGIA)	INTERVENTI CONTRO INSTABILITÀ PROFONDA [...] a) TERRA RINFORZATA

Ingegneria naturalistica – Dispensa di ingegneria naturalistica 2004-2005
Prof. Dott. Florin Florineth, Dr. Marco Molon

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio in edilizia

1. TECNICHE DI INERBIMENTO CONTRO L'EROSIONE SUPERFICIALE

La semina si applica su versanti dove il problema principale è l'erosione superficiale del terreno e non i movimenti di scivolamento o smottamenti.

[...]

b) SEMINA A SPESSORE

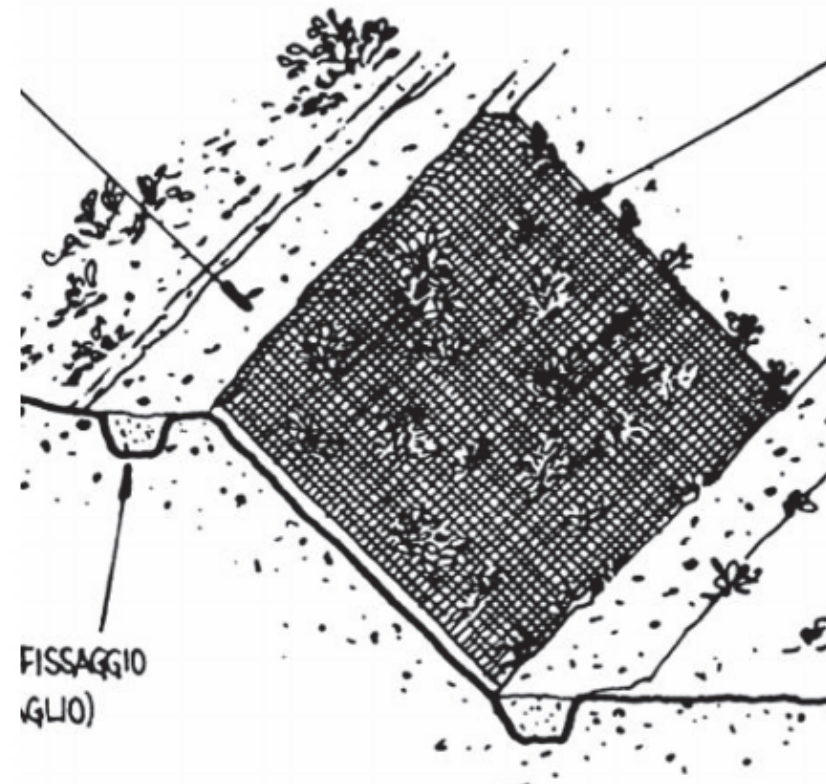
- i. Senza collanti;
- ii. Con collanti (BITUME, “neroverde”)
- iii. Con STUOIE (e BIORETI)

Si intende una **semina coperta e PROTETTA** da **vari materiali organici**.

Per una crescita ottimale la coltre protettiva di pacciame non deve **mai superare 3-4 cm di spessore**.

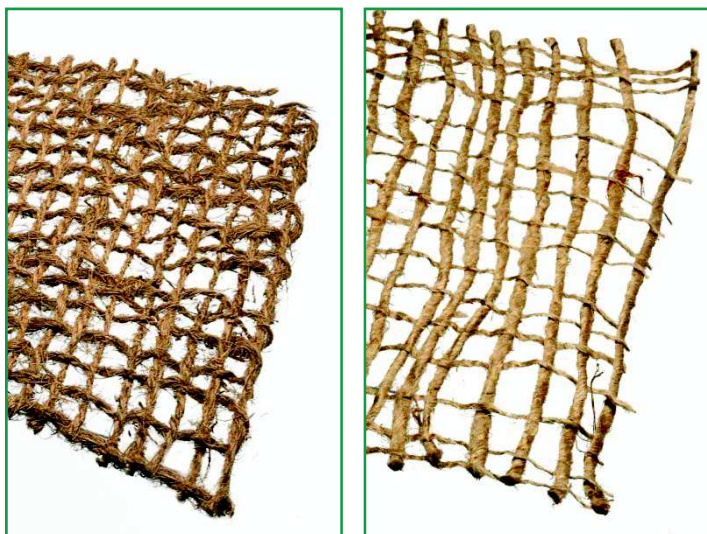
I materiali più utilizzati sono il **fieno e paglia (BIOSTUOIE)**.

Dove le pendenze sono elevate si ricorre alle **BIORETI (JUTA (1-2anni) o COCCO (fino 4anni))** sulla coltre di paglia



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

ANTIEROSIVO - BIORETE



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



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

ANTIEROSIVO - BIOSTUOIA

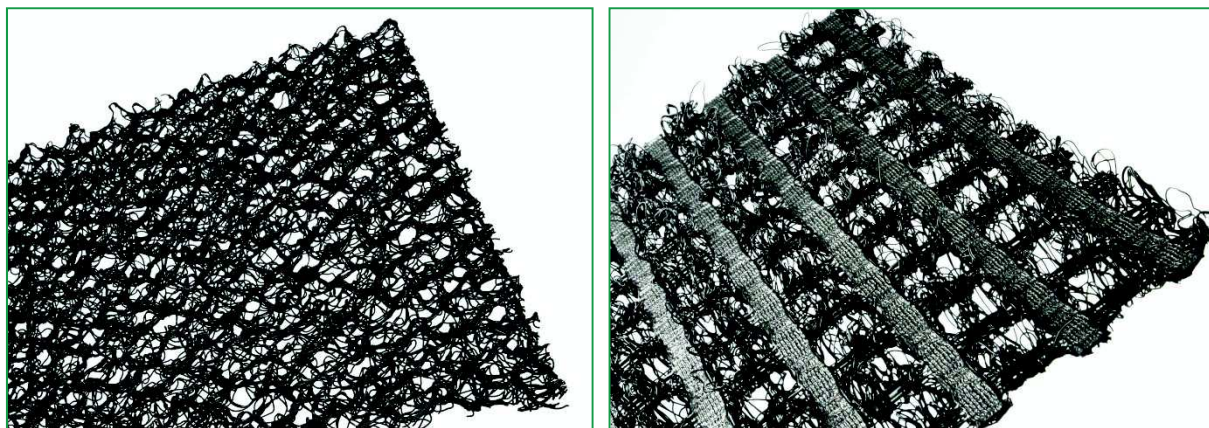
La biostuoia / biorete e l'idrosemina **NON RIENTRANO TRA I PRODOTTI SOGGETTI A MARCATURA CE** ne altra forma di garanzia.



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

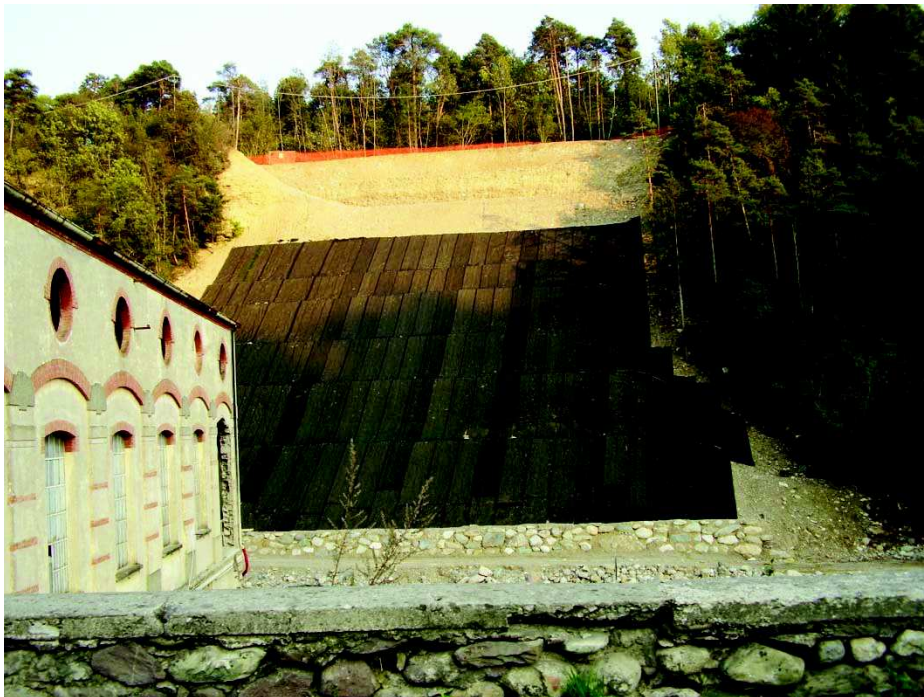
Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

ANTIEROSIVO – GEOSTUOIE GRIMPANTI



STRUTTURA	FIBRE/ POLIMERO	PRO	CONTRO
Cuspidata Geogriglia di rinforzo	PP / PET	Lunga durata Grande resistenza (MEGAMAT 20 R 80)	Costo elevato Elevato impatto visivo (soprattutto se non è previsto l'inerbimento)

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

CANALIZZAZIONI

TIPOLOGIE

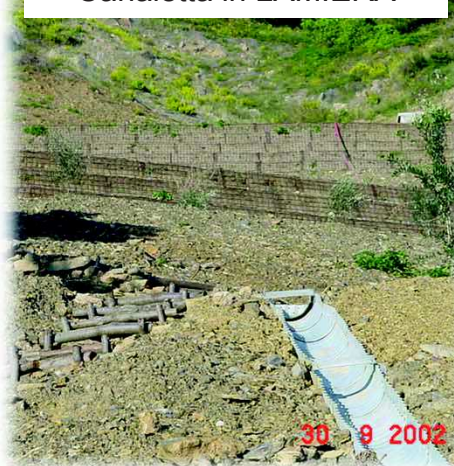
Tutti i tipi di canalizzazione, anche se eseguite a regola d'arte, possono danneggiarsi.

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

- **L'INTERRUZIONE della CONTINUITÀ**
- **II SIFONAMENTO**
- **RINVERDIMENTO**

Tutte le opere di convogliamento delle acque superficiali necessitano di **PERIODICHE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE** al fine di garantirne la funzionalità, in quanto l'entità delle precipitazioni e il notevole trasporto solido sui versanti possono pregiudicarne l'efficacia.

Canaletta in LAMIERA



Canaletta in PIETrame



Canaletta in EMBRICI



Canaletta in MEMBRANA IN HDPE



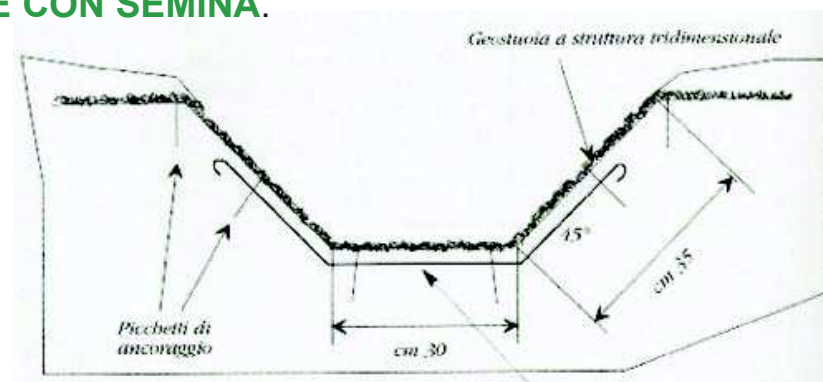
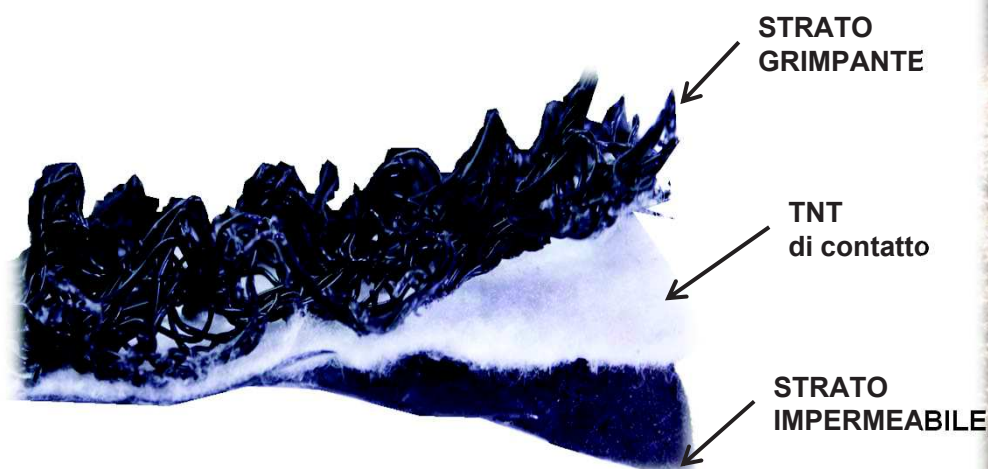
Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI - TRENCHMAT S

Per i canali secondari caratterizzati da pendenze e velocità di deflusso non elevate sono ideali le **CANALETTE IN TERRA** a sezione trapezia, preferibilmente **protette con GEOSINTETICI ANTIEROSIVI** in fibra naturale o polimerici e successivamente **RIVEGETATE CON SEMINA**.

La rivegetazione di piante erbacee aiuta a **STABILIZZARE IL MATERIALE SEDIMENTATOSI** durante gli eventi meteorici e migliora l'inserimento dell'opera nel contesto.

TRENCHMAT S è un geocomposito realizzato per la regimazione delle acque superficiali, composto da:



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI - TRENCHMAT S

Rispetto ai sistemi tradizionali, il geocomposito TRENCHMAT consente:

- Facilità di trasporto e messa in opera (minor peso)
- Tempi di posa notevolmente ridotti
- Minor impatto ambientale
- Maggior adattabilità alle irregolarità del terreno



Rotoli m. 1,00 – 2,00 x m.
25,00

CARATTERISTICHE E PRINCIPALI	Canaletta TRENCHMAT	Canaletta in LAMIERA	Canaletta in EMBRICI	Canalette in PIETREME
Impermeabilità [%]	95/98	95/98	95/98	75/95
Peso [Kg/m]	1,1	19/26	15/20	Variabile
Grado di difficoltà della posa su versanti inclinati	AGEVOLE <i>Leggero</i> , fissaggio mediante picchetti; in senso longit. sormonto a tegola	NON AGEVOLE <i>Pesante</i> , rinfiacare con cemento; in senso logit. fissaggio con bullonatura	NON AGEVOLE <i>Pesante</i> da manovrare; in senso long. deve essere sigillata	VARIABILE In funzione della reperibilità in sito dei materiali che la compongono
Impatto ambientale	BASSO <i>Rinverdibile</i> , lo strato grimpante può essere saturato con terreno	ALTO <i>Non rinverdibile</i> , a lungo termine si innescano fenomeni di ossidazione	ALTO <i>Non rinverdibile</i> , non si adatta agli assestamenti del terreno	BASSO <i>Ma POCO Rinverdibili</i> e ben integrate con l'ambiente circostante



**Peso rotolo
H1.00x25m
22,00
kg/cad**



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

Test eseguito dal SERVIZIO FORESTALE REGIONALE DI VERONA



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio



Il SISTEMA DI DRENAGGIO delle ACQUE DI INFILTRAZIONE



Le **TRINCEE DRENANTI** sono in genere utilizzate per **stabilizzare frane superficiali di carattere traslativo**, assai frequenti in pendii poco acclivi in terreni coesivi, caratterizzate da **superfici di scorrimento** all'incirca **parallele al piano campagna**.

Questo tipo di frane è in genere indotto da:

1. **ALTERAZIONE DELLA COLTRE SUPERFICIALE**
2. **INCREMENTI DI PRESSIONE INTERSTIZIALE** prodotti da forti precipitazioni atmosferiche.

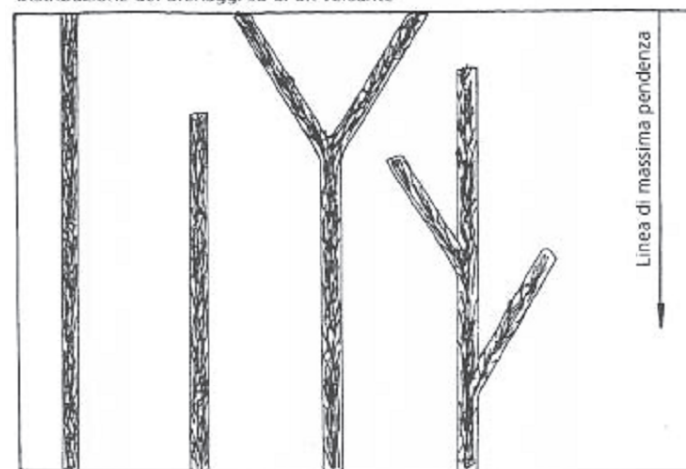
Stabilizzazione dei pendii mediante sistemi di drenaggio
Augusto Desideri e Sebastiano Rampello
Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza di Roma

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

“La CAPTAZIONE DELL'ACQUA DI VERSANTE”



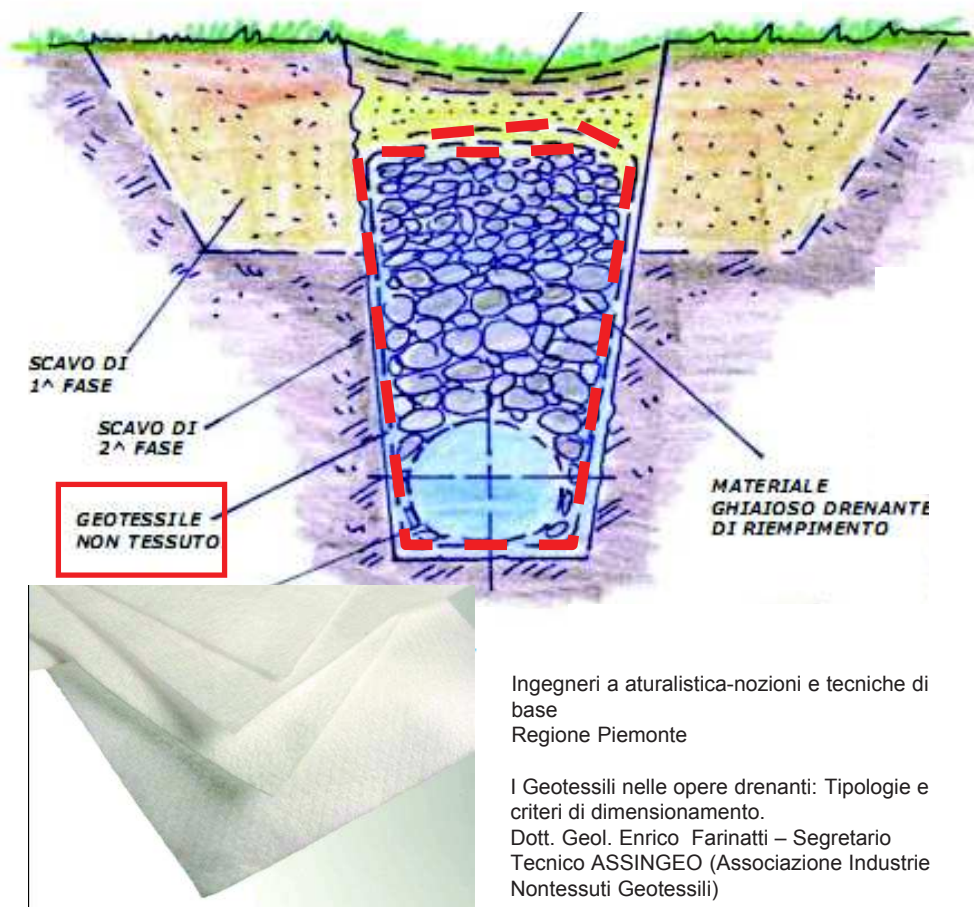
Distribuzione dei drenaggi su di un versante



Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio in edilizia

2. INTERVENTI DI DRENAGGIO SUI VERSANTI

a) DRENAGGI TECNICI (Trincee di drenaggio)



Un **SISTEMA DRENANTE** è generalmente composto da due parti:

1. **UN DRENO;**
2. **UN FILTRO.**

La **PARTE DRENANTE** è costituita da un mezzo con elevata porosità ed elevata permeabilità; ha la funzione di trasportare l'acqua dalla zona di assorbimento fino ai dispositivi di evacuazione (tubi, pozzi, impluvi e similari). Nei terreni è in genere costituita da ghiaia a pezzatura grossolana, povera di frazione fine, con valori di permeabilità superiori a $1.0E-03$ m/s; nei **GEOSINTETICI** è invece costituita da una geostuoia o una georete con elevati valori di trasmissività nel piano.

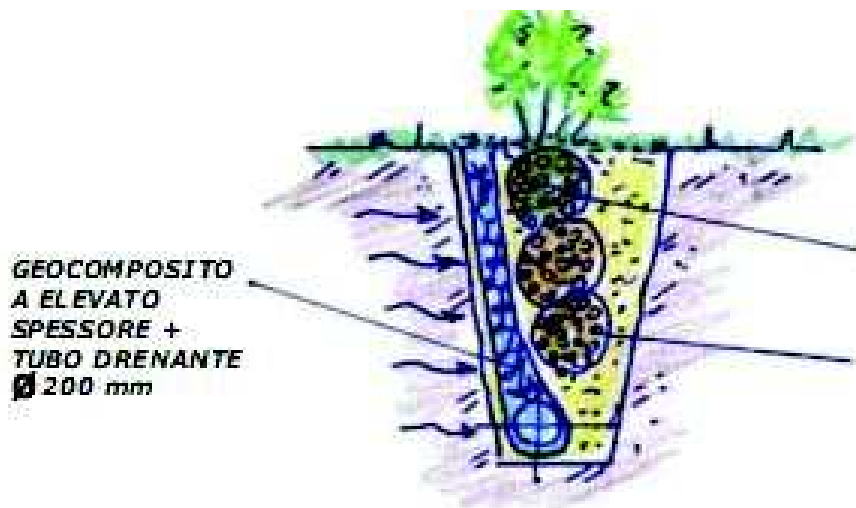
La **PARTE FILTRANTE** è costituita da un mezzo con porosità commisurata al terreno da drenare, che conferisce al materiale la sua capacità filtrante; ha la funzione di trattenere all'esterno della parte drenante le particelle fini del terreno, in modo che la parte drenante sia preservata dall'intasamento.

Nei **GEOSINTETICI** è costituita da un geotessile nontessuto o da un geotessile tessuto monofilamento caratterizzati da valori conosciuti di apertura caratteristica (o diametro di filtrazione) e di permeabilità normale al piano.

Geosintetici applicati nel controllo dell'erosione, per la gestione delle acque superficiali e per il drenaggio

2. INTERVENTI DI DRENAGGIO SUI VERSANTI

a) DRENAGGI TECNICI (Trincee di drenaggio)



PAVIGRID



PAVIDRAIN



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.

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



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

TERRE RINFORZATE

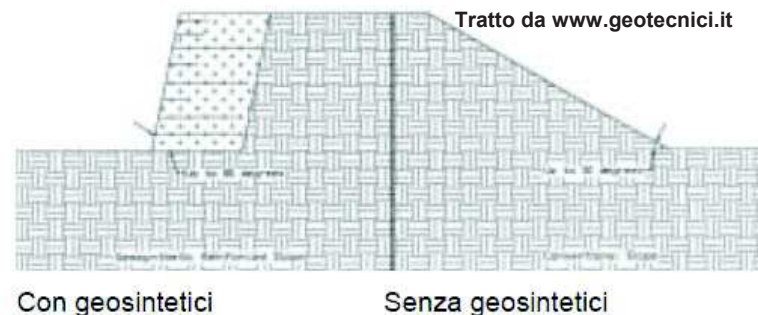
= OPERE DI SOSTEGNO A GRAVITÀ

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

con un

MATERIALE DA COSTRUZIONE COMPOSITO

= TERRENO + RINFORZI.

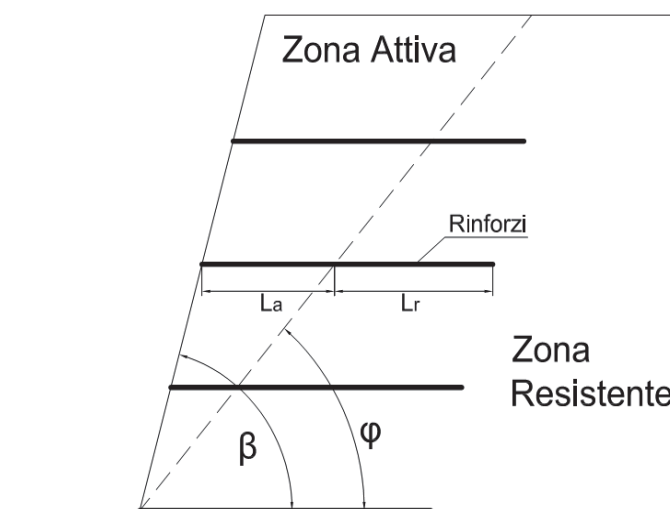


I **MECCANISMI BASE DEL COLLASSO** identificano **2 ZONE DISTINTE**:

- **ZONA ATTIVA** (Senza rinforzi la zona attiva è instabile);
- **ZONA RESISTENTE.**

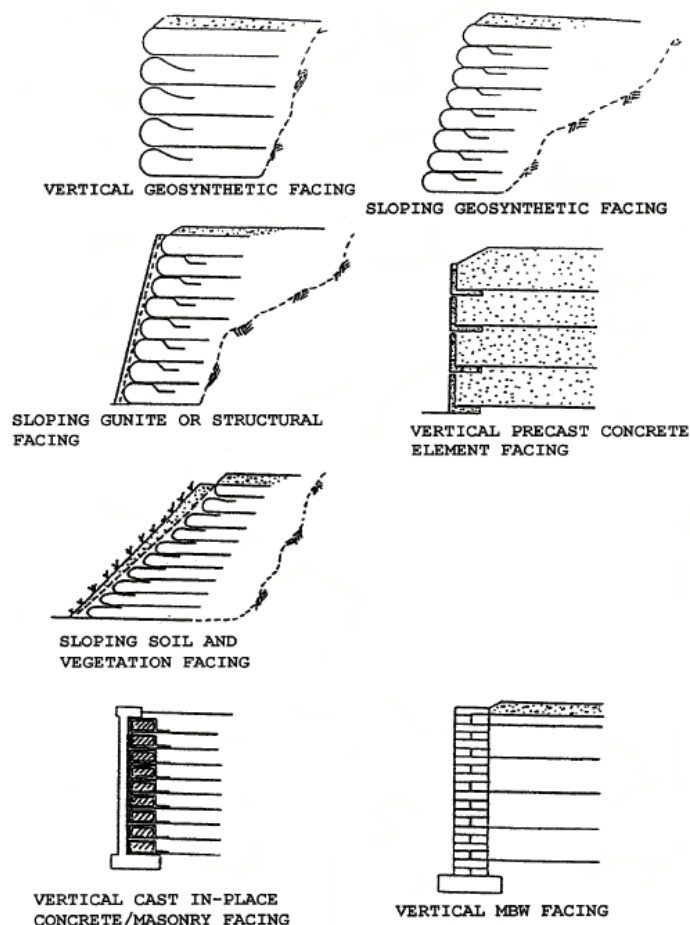
Il pendio può essere stabilizzato inserendo dei **RINFORZI** tra la zona attiva e quella resistente che abbiano sufficiente:

- **ANCORAGGIO** ($L_a + L_r$);
- **RESISTENZA A TRAZIONE** (kN/m).



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

SEZIONE TIPO...

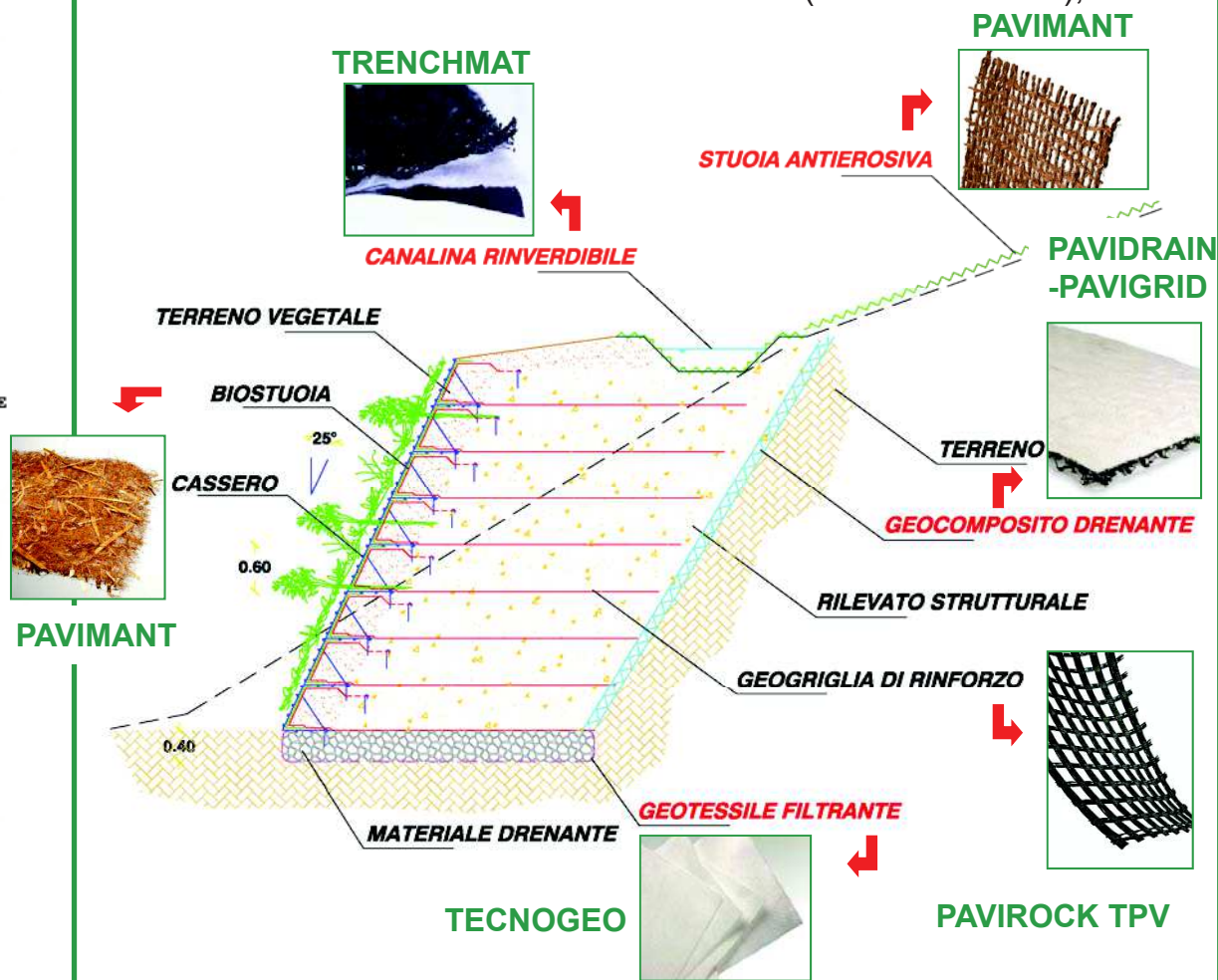


PARAMENTO RINVERDIBILE.

INCLINAZIONE consigliata compresa tra 60° e 75°.

INTERASSE RINFORZI verticale ca. 60cm.

INCASSO nel terreno di sottofondo (1/10 dell'altezza);



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

Regione Piemonte - INGEGNERIA NATURALISTICA nozioni e tecniche di base

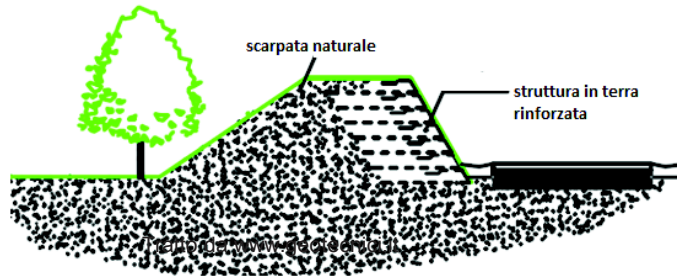
TABELLA I: CORRELAZIONE FRA LE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DISSESTO E LE PIU' IMPORTANTI TECNICHE DI INTERVENTO
(sono possibili integrazioni tra diverse tecniche tradizionali e naturalistiche)

Meccanismo di dissesto	Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali	Sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica	Altri interventi
<i>Crolli in roccia</i>	Interventi attivi (miglioramento della massa rocciosa): chiodature, tiranti Interventi passivi (difesa di infrastrutture): posa di barriere paramassi, gallerie artificiali	Interventi attivi (miglioramento della massa rocciosa): Reti metalliche con geosintetici antierosivi e rivegetazione Interventi passivi (difesa di infrastrutture): rilevati paramassi in terra rinforzata	Abbattimento e demolizioni di masse rocciose (disgaggi, riprofilatura pendii)
<i>Ribaltamento di lastre e moli rocciose</i>	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia
<i>Scivolamenti planari</i>		Sistemi drenanti superficiali con tecniche naturalistiche	Trincee drenanti profonde, monitoraggio inclinometrico e piezometrico
<i>Scivolamenti rotazionali</i>	Muri di contenimento, anche con tiranti, consolidamenti mediante micropali	Palificate vive di sostegno scogliere di contenimento rivegetate , posa di antierosivi , ricostruzione pendii in terra rinforzata , rivegetazione della superficie risistemata	Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza
<i>Colate</i>	Muri di contenimento	Palificate semplici, gradonate vive, inerbimento della superficie risistemata	
<i>Colamenti rapidi di terreno saturo d'acqua</i>		Geosintetici e fibre naturali con funzione antierosiva, palificate semplici, gradonate vive inerbimento della superficie risistemata	
<i>Flussi incanalati</i>	Briglie in c.a., briglie filtranti in c.a. o in massi cementati	Briglie in legname e pietrame Casse di laminazione e aree di invaso Rinaturalizzate Deviatori di valanghe di detriti in terra rinforzata	barriere in funi metalliche
<i>Erosioni in scarpate</i>	Muri di contenimento	Grate vive	Pannelli di rete armata a contatto + antierosivi e rivegetazione
<i>Erosioni di sponda</i>	Muri spondali, difese in massi cementati, gabbionate	Scogliere in massi rivegetate, rivegetazioni spondali, palificate vive di sostegno spondali	Allargamento della sezione di deflusso e opere di manutenzione spondale

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

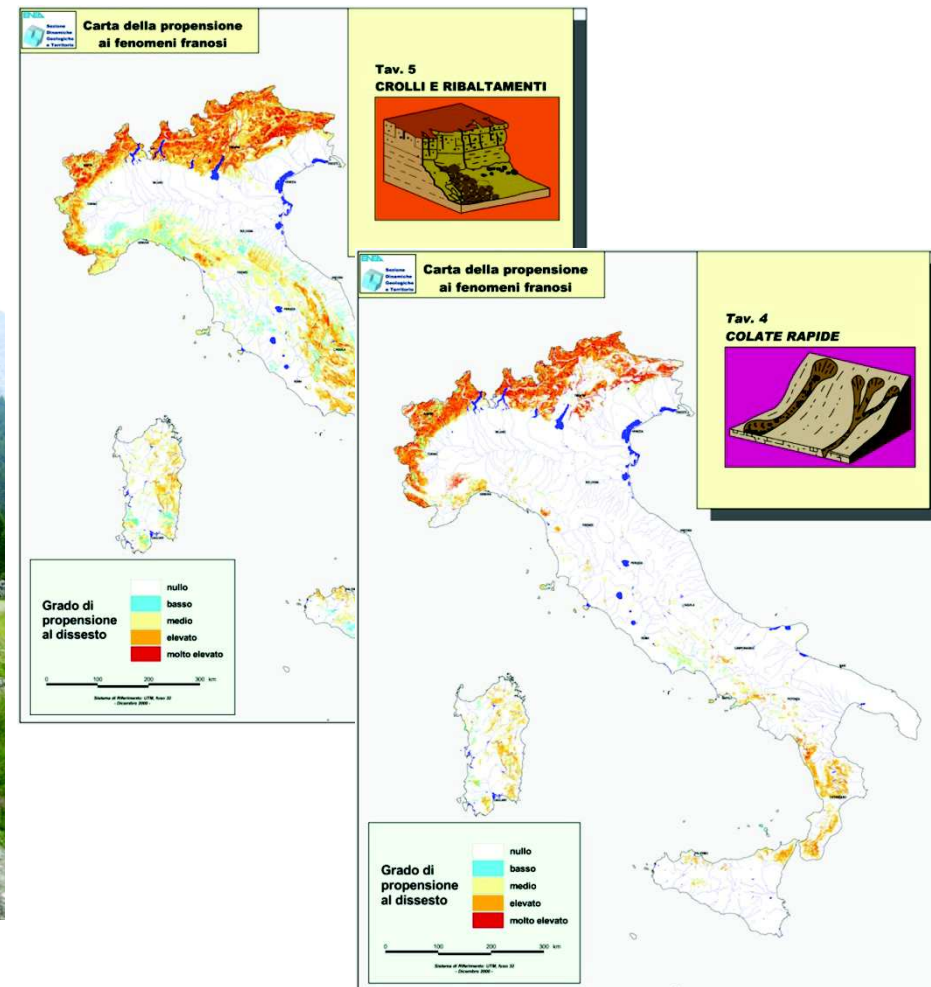
POSSIBILI APPLICAZIONI...

BARRIERE FONOASSORBENTI/RILEVATI PARAMASSI



MOTTEC (E/CH) - 2007

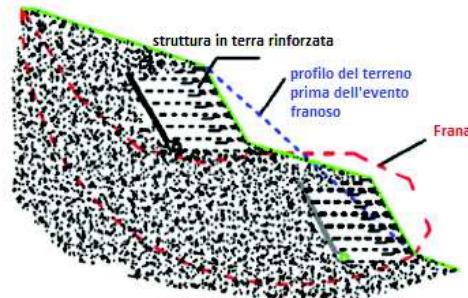
DELMONACO G., LEONI G., MARGOTTINI C., PUGLISI C. (2002): La propensione del territorio italiano ai fenomeni franosi. Landslide susceptibility of the Italian territory. Italian Journal of Engineering Geology and Environment – Quaderni di Geologia Applicata, serie Ambiente, Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile, n.1, 2002



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI...

RICOSTRUZIONE PENDII E RIPRISTINO AREE IN FRANA



Tratto da www.geotecnici.it

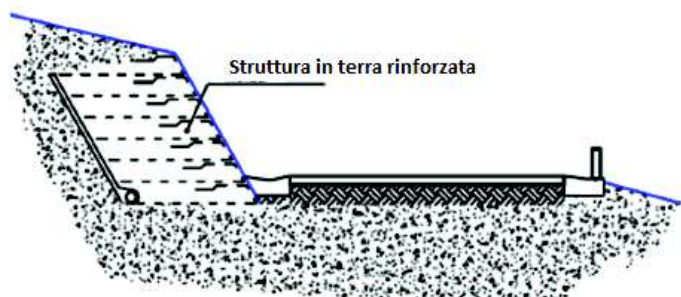
CAMORONE (BG) - 2003



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI...

CONTRORIPA



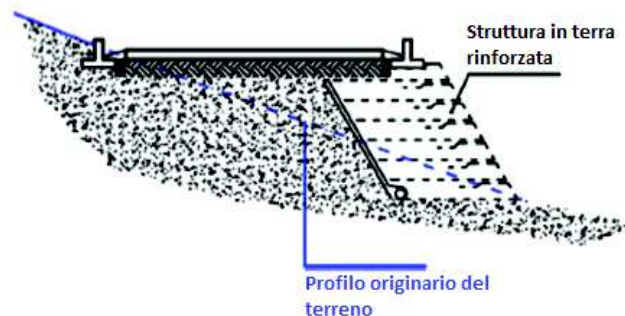
ANFO (BS) - 2007



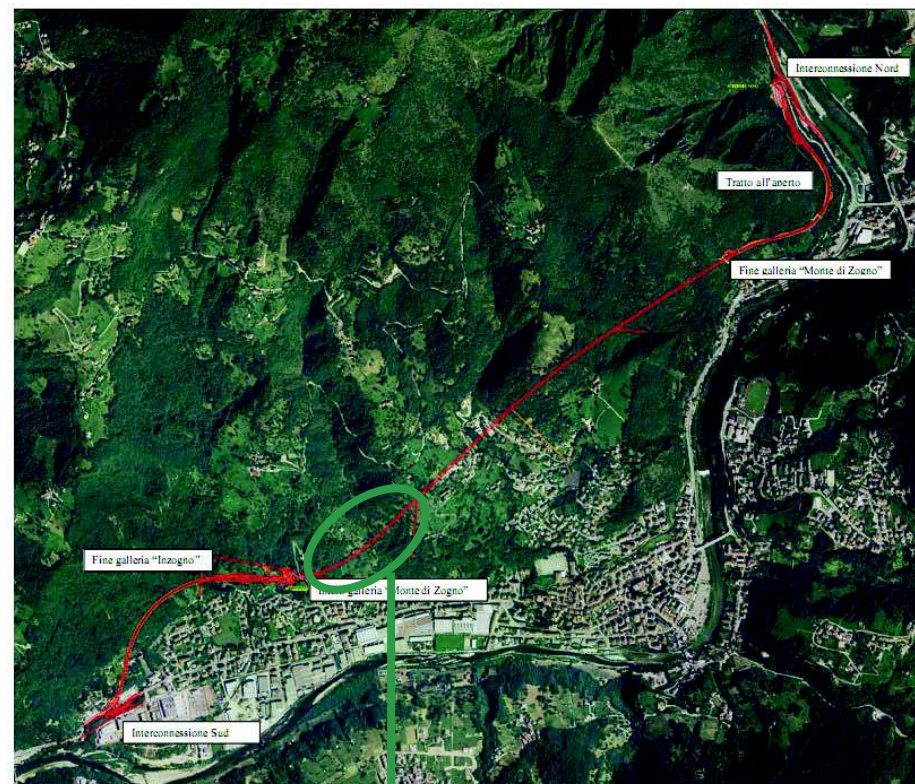
LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI...

SOTTOSCARPA



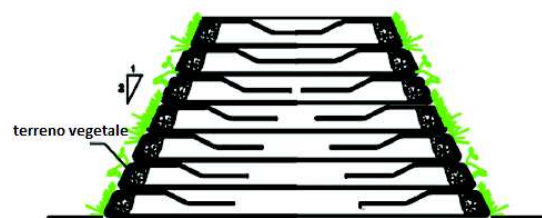
ZOGNO (BG) - 2012



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI... MONTEFALCIONE (AV) - 2006

RILEVATI STRADALI E FERROVIARI



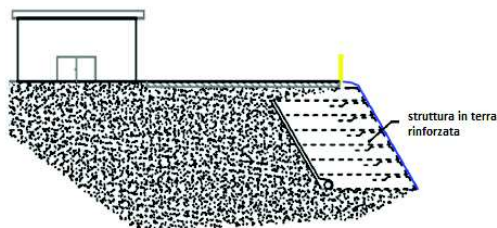
Tratto da www.geotecnici.it



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI...

ALLARGAMENTO PIAZZALI



Tratto da www.geotecnici.it

ALA (TN) - 2007

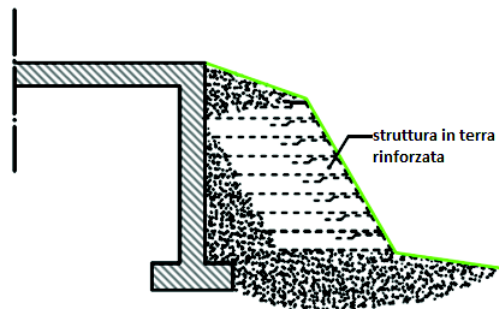


LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

POSSIBILI APPLICAZIONI...

MASCHERAMENTO DEI MURI IN CEMENTO ARMATO

MALLES (BZ) - 2010



Tratto da www.geotecnici.it



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

CONFRONTI...

RISPETTO AD UN RILEVATO NATURALE

Consente di:

1. sviluppare angoli di scarpata superiori (fino a 90°)
2. sostenere carichi maggiori in sommità
3. minimizzare i riporti per i rilevati
4. minimizzare l'onere economico per gli espropri
5. aumentare le capacità di stoccaggio dei materiali
6. sostenere terrapieni



RISPETTO AD UN MURO IN CALCESTRUZZO

Permette:

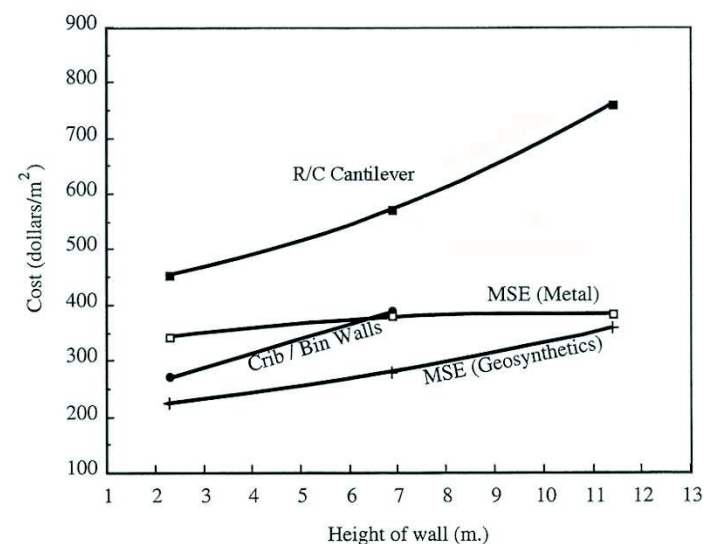
1. minore costo
2. maggiore deformabilità, quindi migliore adattamento ai cedimenti e migliore risposta sismica.
3. minore impatto ambientale sulle componenti:
 - **paesaggio** (miglior impatto visivo)
 - **idrologica** (maggiore permeabilità)
 - **vegetazione** (si possono usare essenze locali)



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

COSTI

Altezze fino	STRUTTURA DI SOSTEGNO IN TERRA RINFORZATA	STRUTTURA DI SOSTEGNO IN ELEMENTI PREFABBRICATI	STRUTTURA DI SOSTEGNO IN C.A. GETTATO IN OPERA
	[€/mq]	[€/mq]	[€/mq]
fino a 2m	150,00	192,00	>>
fino a 4m	175,00	200,00	>>
da 4m a 6m	187,00	220,00	>>
da 6m a 8m	205,00		
da 8m a 10m	225,00		
da 10m a 12m	250,00		
da 12m a 15m	270,00		
da 15m a 18m	320,00		
da 18m a 22m	380,00		



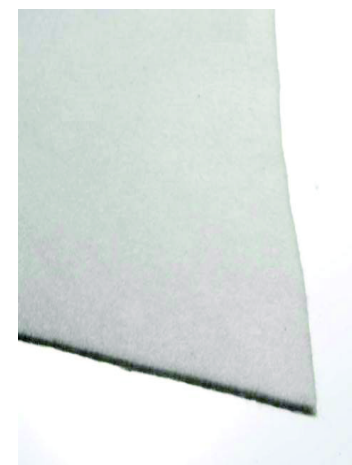
Fonte: Prezziari Regionali

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

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



PAVIROCK B - TriAx
TECNOGEO -
GEOTEX



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

SISTEMA DI DRENAGGIO -D.M. LL. PP. 11-03-1988

D.6

DISPOSITIVI DI DRENAGGIO PER LA RIDUZIONE DELLE PRESSIONI NEUTRE E MODALITÀ COSTRUTTIVE

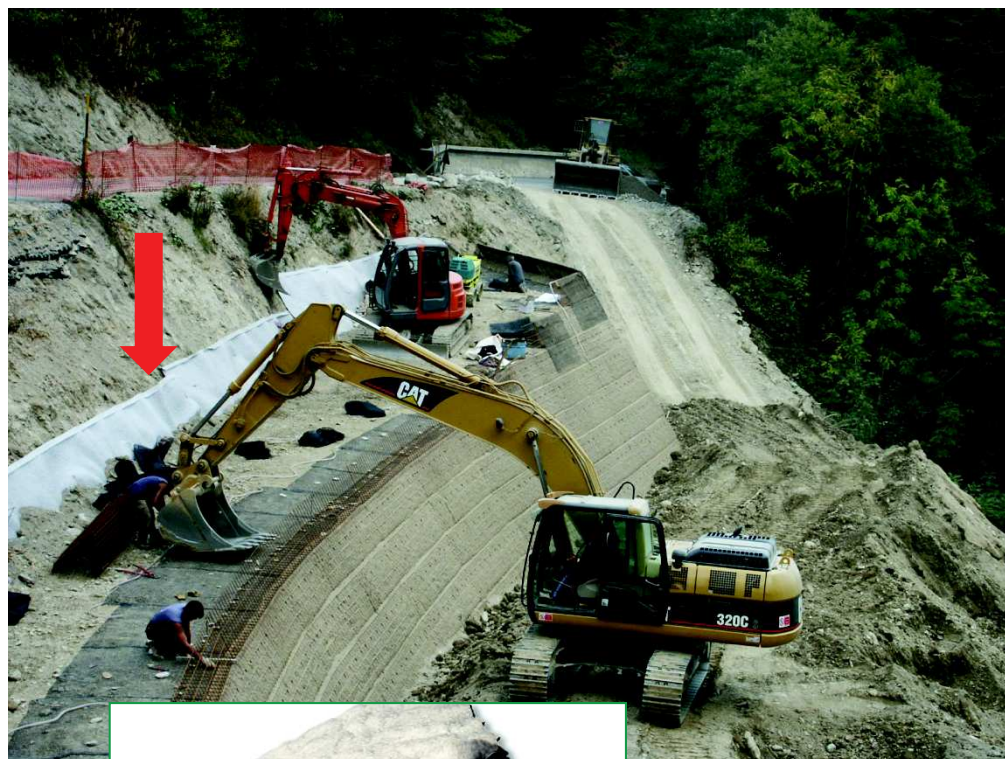
A tergo dei muri di sostegno deve essere realizzato un drenaggio in grado di garantire anche nel tempo un adeguato smaltimento delle acque piovane e di falda.

Il progetto del dreno deve comprendere la scelta dei materiali (naturali od artificiali) tenendo conto dei requisiti richiesti per la funzionalità e delle caratteristiche del terreno con il quale il dreno è a contatto, secondo i criteri per il dimensionamento dei filtri, di cui alla sezione N. Il muro deve essere interrotto da giunti trasversali, estesi alla fondazione, quando lo richiedano la lunghezza del manufatto e la natura del terreno. Nel caso in cui alle spalle del muro debba essere eseguito un rinterro, sono da eseguire le norme del punto E.3. Il costipamento del rinterro, quando previsto, deve essere eseguito secondo quanto prescritto alla sezione E.



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

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



PAVIDRAIN
PAVIGRID



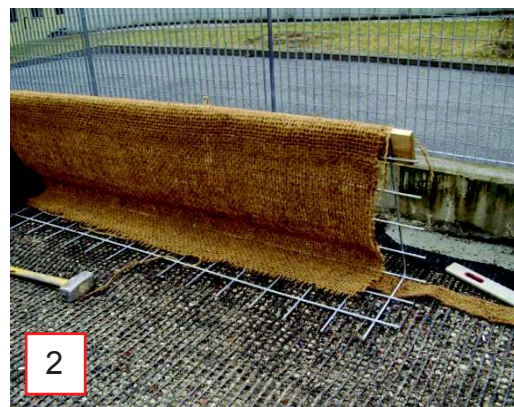
LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

SEQUENZA DI POSA

La tecnica costruttiva di una terra rinforzata è molto semplice ma richiede l'impiego di manodopera specializzata.

Piccole differenze fra terra rinforzata a paramento verticale o inclinato.

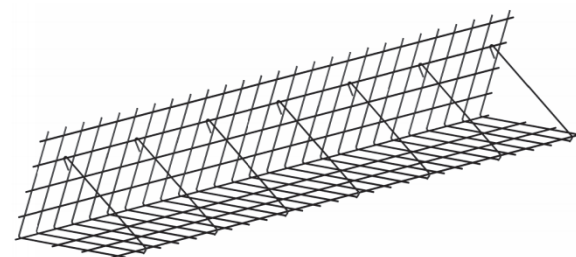
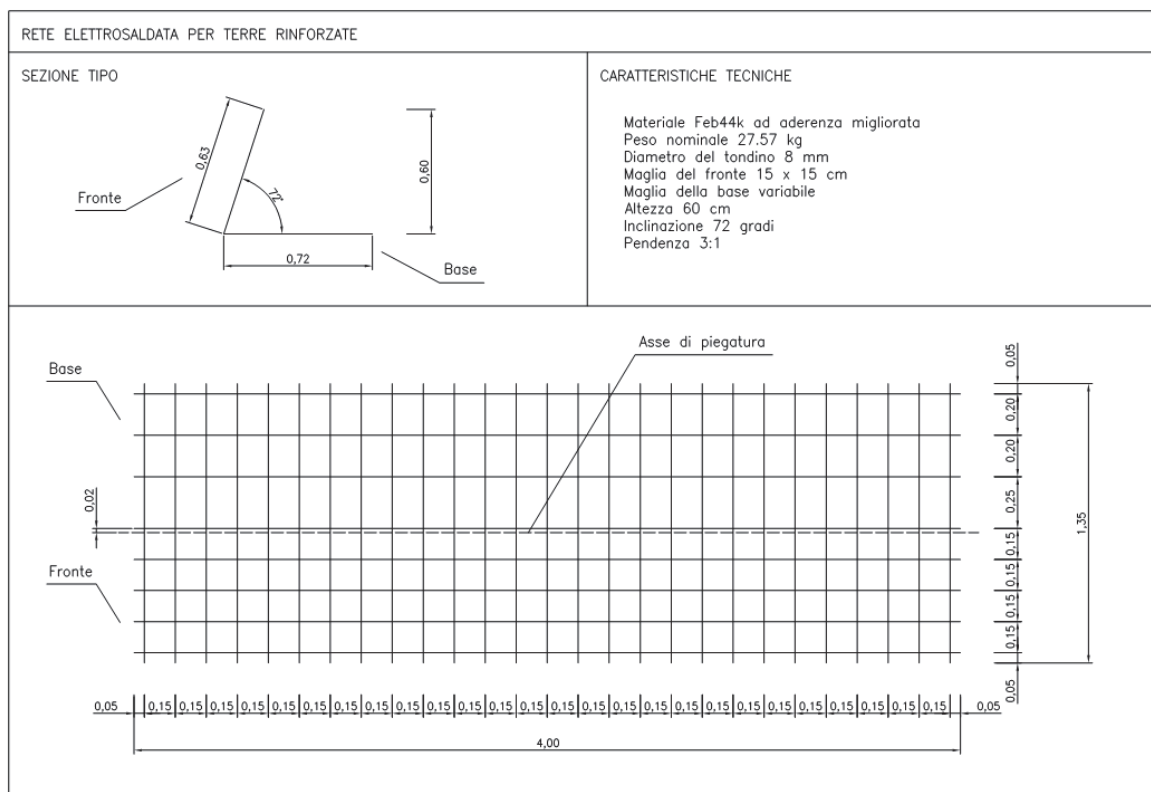
0. Preparazione del piano di posa e del drenaggio
PAVIDRAIN / PAVIGRID
1. Posizionamento del cassero.
2. Stesa della biostuoia **PAVIMANT**.
3. Stesa della geogriglia **PAVIROCK TPV**.
4. Fissaggio della staffa di rinforzo.
5. Stesa del terreno di riempimento.
6. Risvolto della biostuoia **PAVIMANT** e della geogriglia **PAVIROCK TPV**.



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

SEQUENZA DI POSA – 1. Posizionamento del cassero

Il cassero di contenimento **NON È UN ELEMENTO STRUTTURALE** pertanto in genere non vengono richieste certificazioni; è comunque opportuno richiedere un disegno e/o dichiarazione sulla dimensione del filo e della maglia.



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

SEQUENZA DI POSA – 1. Posizionamento del cassero

CASSERI MOBILI

L'utilizzo dei casseri mobili prevede la costruzione di un cassero tramite l'utilizzo tavole di legno e tubi Innocenti che viene spostato verso l'alto man mano che si procede alla costruzione degli strati.



CASSERI A PERDERE

Prevede l'utilizzo di casseri in rete elettrosaldata con inclinazione prestabilita in base all'inclinazione che si vuole dare alla scarpata che rimangono sul fronte della terra rinforzata a fine lavoro.



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

CASSERO

MONEGLIA (GE) - 2011



Evitare la sovrapposizione dei casseri,
Quindi... **MANTENERE
L'ARRETRAMENTO**

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

CASSERO

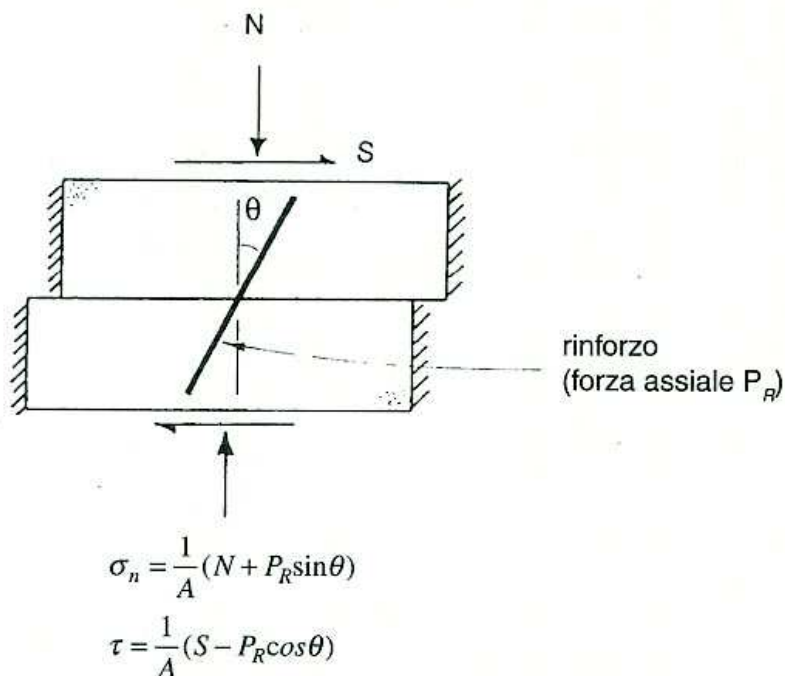


ZOGNO (BG) - 2012



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI



Un'idealizzazione più diretta consiste nell'esaminare una potenziale superficie di rottura e valutare le forze risultanti che agiscono nel rinforzo a cavallo della superficie di rottura.

In una **PROVA DI TAGLIO DIRETTA** si assiste ad un duplice effetto per cui:

- La **COMPONENTE NORMALE (N)** della forza di rinforzo permette di mobilitare maggiore resistenza di tipo attritivo;
- La **COMPONENTE TANGENZIALE (S)** si oppone direttamente agli sforzi di taglio;

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

RESISTENZA mob. TERRENO + RESISTENZA mob. RINFORZO

=

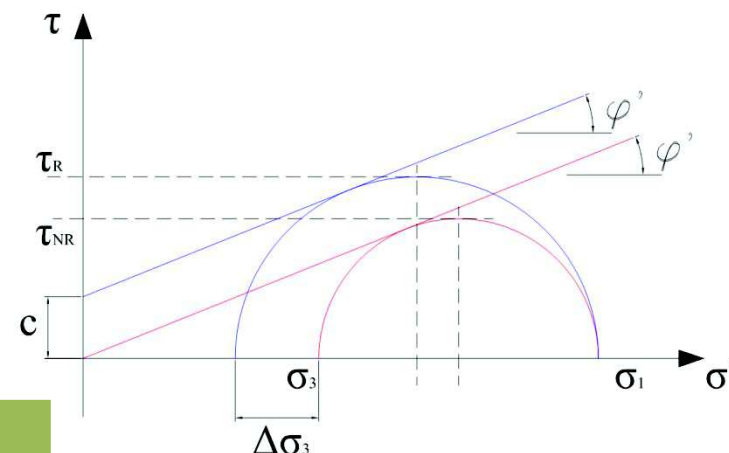
RISULTANTE SFORZI TAGLIO applicati

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

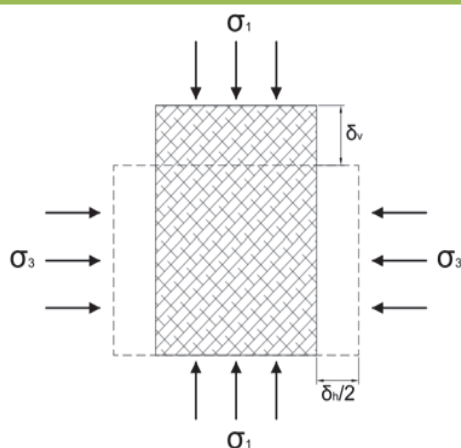
PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

Criterio di rottura Mohr-Coulomb

Se il **TERRENO NON RINFORZATO** è confinato con uno sforzo σ_3 costante all'aumento dello sforzo σ_1 il terreno sarà soggetto ad un aumento progressivo degli sforzi di taglio

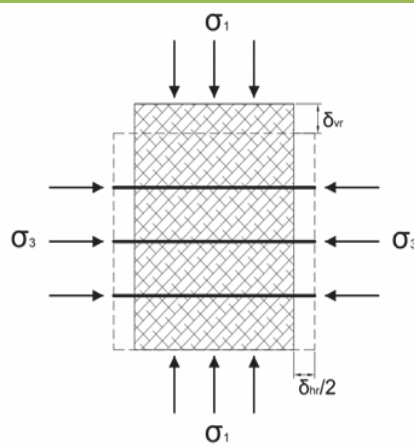


TERRENO NON RINFORZATO



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

TERRENO RINFORZATO



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

Applicando gli stessi carichi esterni σ_1 al **TERRENO RINFORZATO** si assiste all'aumento della sua resistenza.

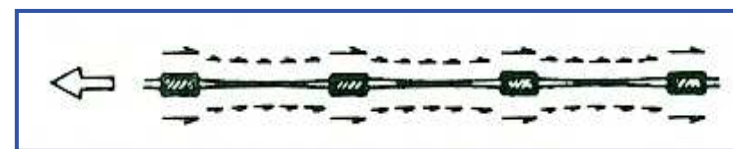
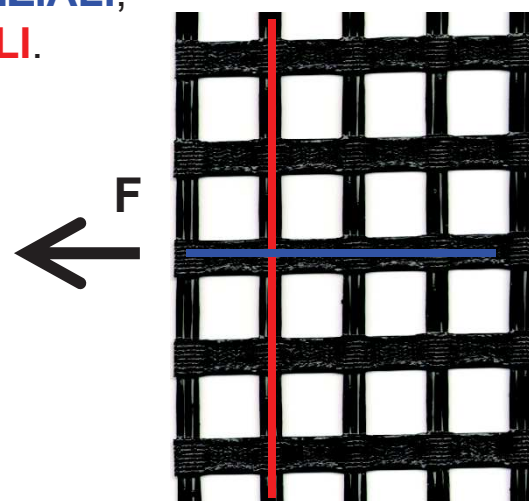
La riduzione delle deformazioni è diretta conseguenza dello sforzo di **confinamento interno $\Delta\sigma_3$** generato **DALL'INTERAZIONE TRA IL TERRENO ED IL RINFORZO**. Ad ogni incremento di σ_1 corrispondono piccoli incrementi degli sforzi di taglio

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

PRINCIPI FONDAMENTALI NEL RINFORZO DEI TERRENI

L'**INTERAZIONE** tra rinforzo e terreno può essere garantita sia da:

- **SFORZI TANGENZIALI**;
- **SFORZI NORMALI**.



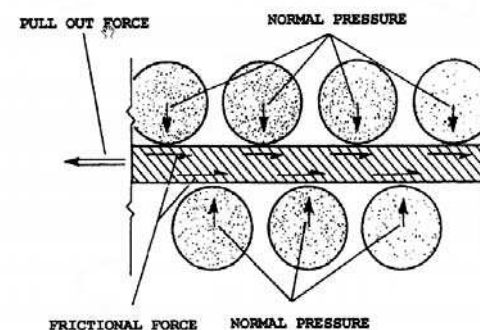
Lungo le nervature longitudinali



Lungo le nervature trasversali

La **RESISTENZA DEL RINFORZO** può essere **completamente mobilitata** in uno dei **3 MODI**:

- **ROTTURA** PER TRAZIONE DEL RINFORZO;
- **SFILAMENTO** DEL RINFORZO DAL TERRENO;
- **SCIVOLAMENTO** DEL TERRENO SULLA SUPERFICIE DEL RINFORZO;



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

PROGETTAZIONE - NORMATIVA ITALIANA PRIMA DELLE NTC2008

UNI EN 14475 (2006) ESECUZIONE DI LAVORI GEOTECNICI SPECIALI (*TERRA RINFORZATA*)

Stabilisce i **PRINCIPI GENERALI** per la costruzione della terra rinforzata e riguarda terreni che sono rinforzati mediante l'inclusione di elementi di rinforzo orizzontali, posti tra gli strati di terreno durante la costruzione.

PREMESSA...

*“ [...] La **progettazione di strutture di terra rinforzata** viene attualmente eseguita utilizzando norme nazionali come la **BS 8006 (1995)** e la **NF 94-220 (1998)** e altre norme (ricordiamo la **FHWA-NHI-00-043 (2001)**). ”*

*In realtà, la **EN 1997-1, Eurocodice 7** (Progettazione geotecnica) attualmente **NON RIGUARDA LA PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO DI STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA.***

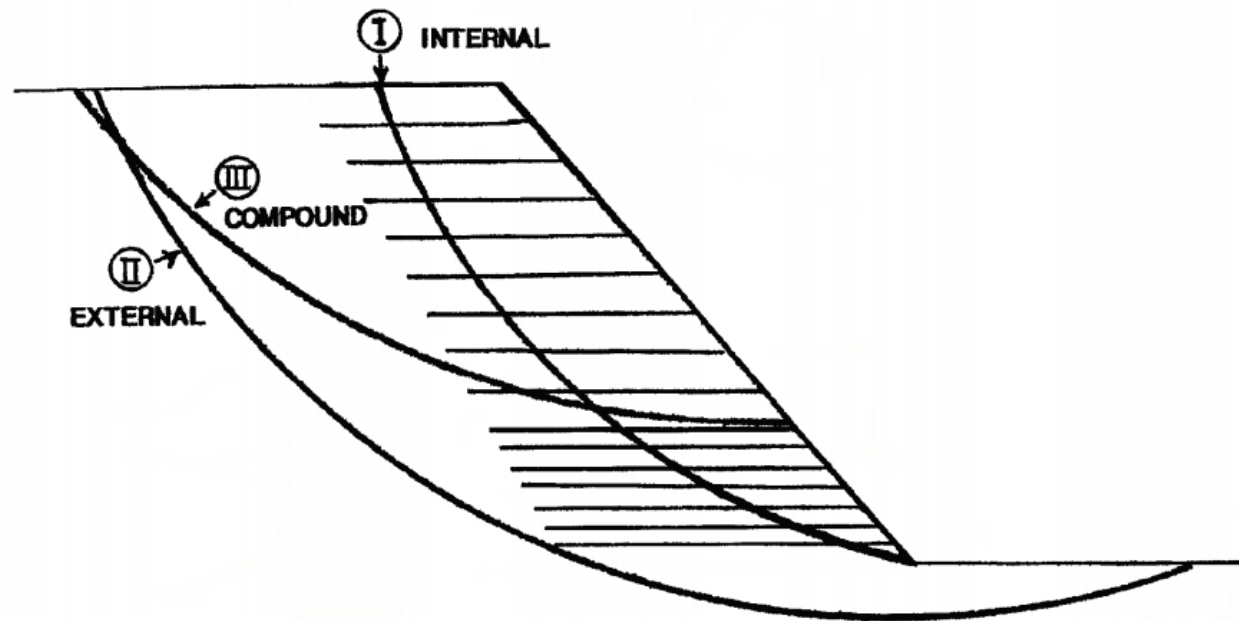
*I **VALORI DEI FATTORI PARZIALI** e dei fattori di carico riportati nella **EN 1997-1 NON SONO STATI TRATTATI PER STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA [...]** ”*

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

BS 8006 (1995) / NF 94-220 (1998) / FHWA-NHI-00-043 (2001) - Verifiche di stabilità

Le norme nazionali **PROPONGONO 3 MECCANISMI DI ROTTURA** per le terre rinforzate:

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

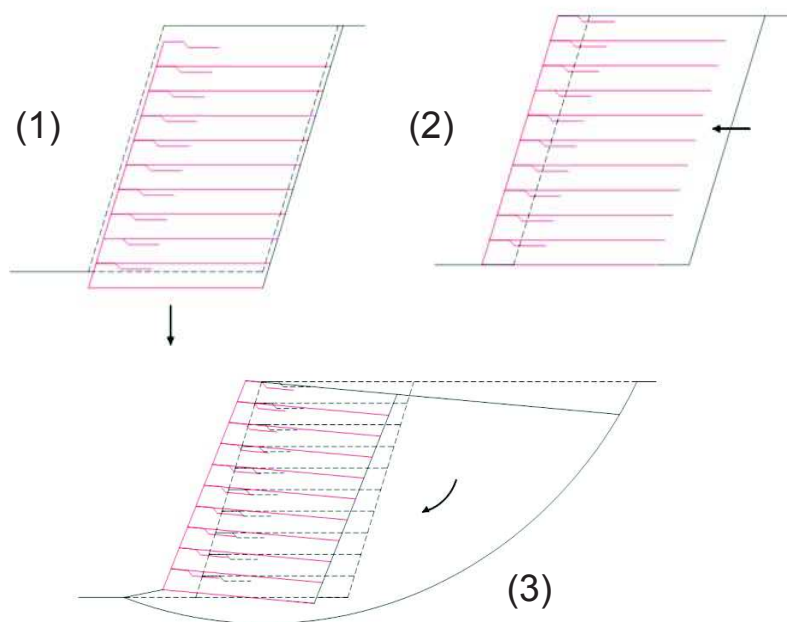


LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

BS 8006 (1995) / NF 94-220 (1998) / FHWA-NHI-00-043 (2001) - Verifiche di stabilità

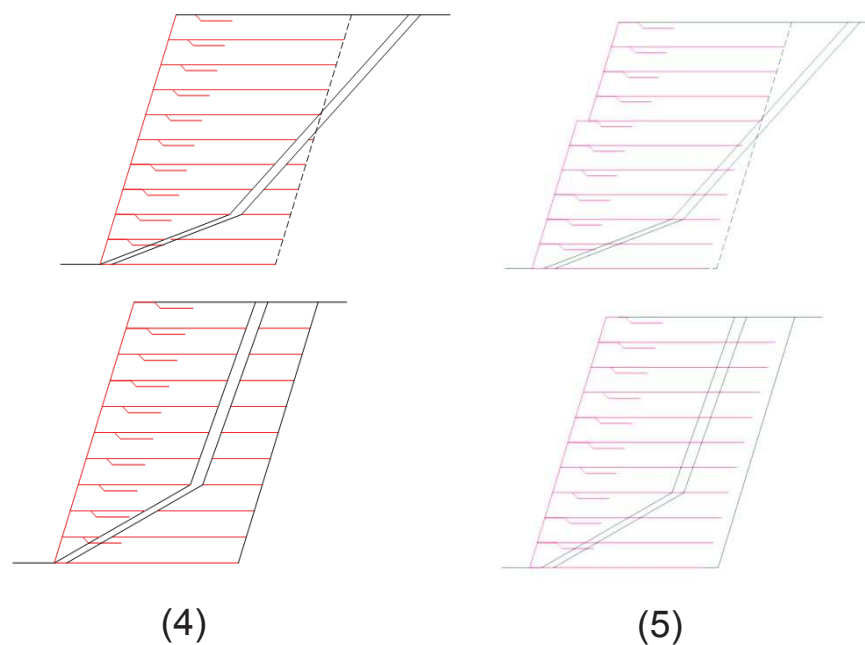
Verifica di stabilità ESTERNE:

- Verifica di **CAPACITÀ PORTANTE DEL SOTTOFONDO** (1);
- Scivolamento traslazionale (**DIRECT SLIDING**) (2);
- Scivolamento rotazionale attorno al volume rinforzato (**STABILITÀ GLOBALE**) (3).



Verifica di stabilità INTERNE / COMPOUND:

- **ROTTURA A TRAZIONE** del singolo rinforzo (4);
- **ROTTURA DELL'ANCORAGGIO** del singolo rinforzo (5);
- verifica di stabilità della facciata.



LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

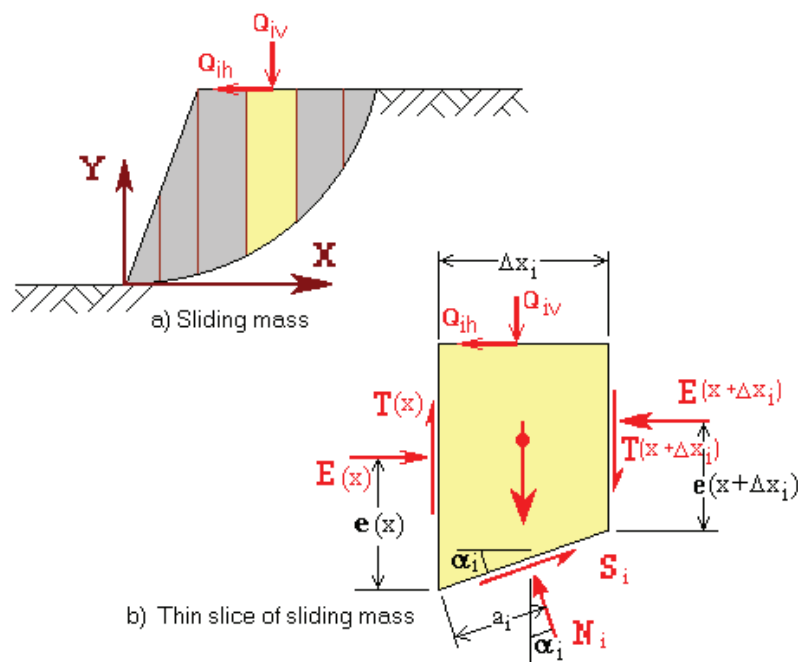
Verifiche *ESTERNE/INTERNE/COMPOUND* – STABILITÀ GLOBALE

Teoria del metodo di **Bishop**

Le principali ipotesi del metodo di Bishop sono:

- SUPERFICIE di scorrimento **CIRCOLARE**
- forze di interstriscia verticali nulle.

Il coefficiente di sicurezza FS, della singola superficie di scorrimento presa in considerazione, nel metodo di Bishop semplificato **NON RINFORZATO** si esprime secondo la seguente formula:



$$F_S = \frac{\sum [c_i \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \Delta x_i) \tan \phi_i] / m_{\alpha_i}}{\sum [(W_i + Q_{iv}) \sin \alpha_i + Q_{ih} \frac{d_i}{R}]}$$

$$m_{\alpha_i} = \cos \alpha_i + (\sin \alpha_i \tan \phi_i) / F_S$$

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop semplificato contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di FS. Quindi viene risolta per successive **ITERAZIONI** fino a quando il valore di FS calcolato coincide con il valore assunto.

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

Verifiche ESTERNE/INTERNE/COMPOUND – STABILITÀ GLOBALE

Metodo di Bishop – Fattore Di Sicurezza in pendii **RINFORZATI**

La normativa AASHTO definisce il fattore di sicurezza FS del metodo di Bishop modificato

$$F_s = \frac{\sum [c_i \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \Delta x_i) \tan \phi_i] / m_{\alpha_i}}{\sum [(W_i + Q_{iv}) \sin \alpha_i + Q_{ih} \frac{d_i}{R}]}$$

*** R**

$$M_d = R \sum (W_i + Q_{iv}) \sin \alpha_i + \sum Q_{ih} d_i$$

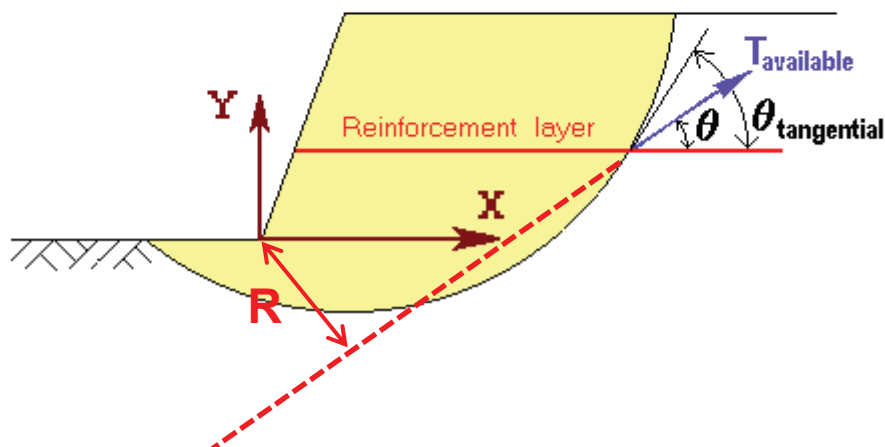
$$M_r = T_{\text{available}} \times R \times \cos[(1 - \text{ror}) \times \theta_{\text{tangential}}]$$

$$F_s (\text{reinforced}) = F_s (\text{unreinforced}) + \frac{M_r}{M_d}$$

$$\theta = \text{ror} * \theta_{\text{tangential}}$$

$$\theta = 0 \dots \dots \dots \text{horizontal } T_{\text{available}} : \text{ror} = 0.0$$

$$\theta = \theta_{\text{tangential}} \dots \dots \dots \text{tangential } T_{\text{available}} : \text{ror} = 1.0$$



ROR (Reinforcement Orientation Ratio)

Assume valori compresi tra 0 e 1:

ROR=1 – la resistenza a lungo termine del rinforzo è tangente alla circonferenza

ROR=0 – la resistenza a lungo termine del rinforzo è orizzontale (**COND. CONSERVATIVA**)

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

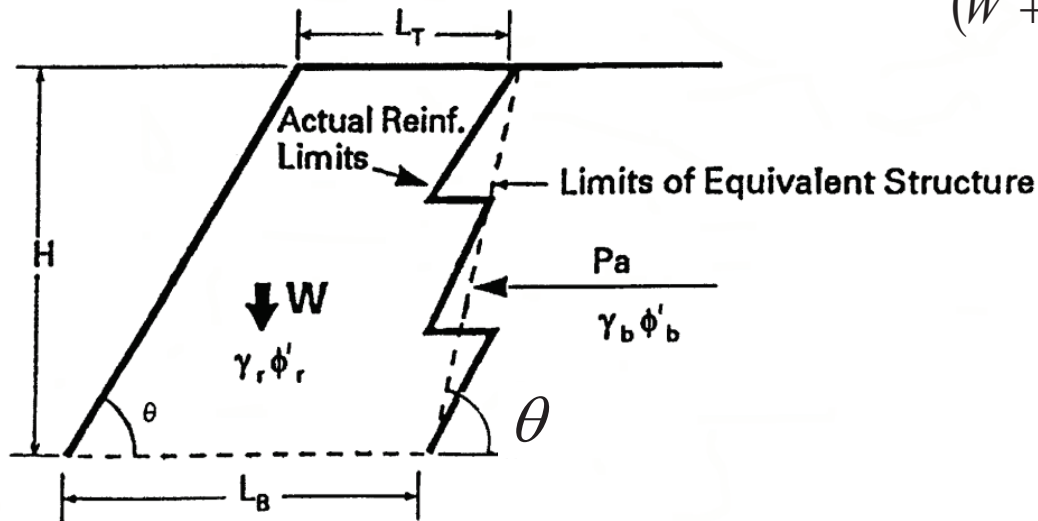
Verifiche *ESTERNE/INTERNE/COMPOUND* – SCORRIMENTO

Metodo di **Spencer TWO PART WEDGE**– Fattore Di Sicurezza in pendii **RINFORZATI**

Le principali ipotesi del metodo di Spencer sono:

- SUPERFICIE di scorrimento **TRASLAZIONALE**;
- Analizza le resistenze di interfaccia rinforzo/terreno.

si considera un cuneo di spinta attiva definito alla base dalla lunghezza del rinforzo ed inclinato di un angolo ζ rispetto all'orizzontale.



$$(W + P_a \cdot \sin \varphi') \cdot \tan \varphi_R = FS \cdot P_a \cdot \cos \varphi'$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L^2 \cdot \gamma_R \cdot \theta ;$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \gamma_R \cdot K_a$$

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

RINFORZO – RESISTENZA A TRAZIONE DI PROGETTO

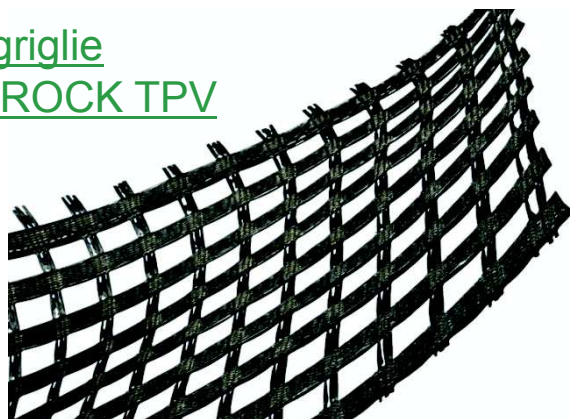
La progettazione di terre rinforzate richiede che venga stimata la **RESISTENZA A TRAZIONE** dei rinforzi alla **FINE DELLA VITA UTILE** dell'opera (LUNGO TERMINE).

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)** :

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

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

Geogriglie
PAVIROCK TPV



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

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

UNI EN 13251 (2005) GEOTESSILI E PRODOTTI AFFINI – CARATTERISTICHE RICHIESTE PER L'IMPIEGO NELLE COSTRUZIONI DI TERRA, NELLE FONDAZIONI E NELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO



Caratteristica	Metodo di prova	Funzioni		
		Filtrazione	Separazione	Rinforzo
(1) Resistenza a trazione ^{a)}	EN ISO 10319	H	H	H
(2) Allungamento in corrispondenza del carico massimo	EN ISO 10319	A	A	H
(3) Resistenza a trazione di giunzioni e cuciture	EN ISO 10321	S	S	S
(4) Punzonamento statico (prova CBR) ^{a) b)}	EN ISO 12236	S	H	H
(5) Resistenza al punzonamento dinamico (prova della caduta del cono) ^{a)}	EN 918	H	A	H
(6) Caratteristiche di attrito	prEN ISO 12957-1:1997 e prEN ISO 12957-2:1997	S	S	A
(7) Comportamento viscoso a trazione	EN ISO 13431	-	-	A
(8) Danneggiamento durante la messa in opera	ENV ISO 10722-1	A	A	A
(9) Apertura caratteristica	EN ISO 12956	H	A	-
(10) Permeabilità all'acqua perpendicolare al piano	EN ISO 11058	H	A	A
(11) Durabilità	Secondo l'appendice B	H	H	H
(11.1) Resistenza agli agenti atmosferici	EN 12224	A	A	A
(11.2) Resistenza all'invecchiamento chimico	ENV ISO 12960 o ENV ISO 13438, ENV 12447	S	S	S
(11.3) Resistenza alla degradazione microbiologica	EN 12225	S	S	S

Pertinenza:
H: richiesto per l'armonizzazione;
A: relativo a tutte le condizioni d'uso;
S: relativo a condizioni d'uso specifiche;
"-": indica che la caratteristica non è pertinente a quella funzione.

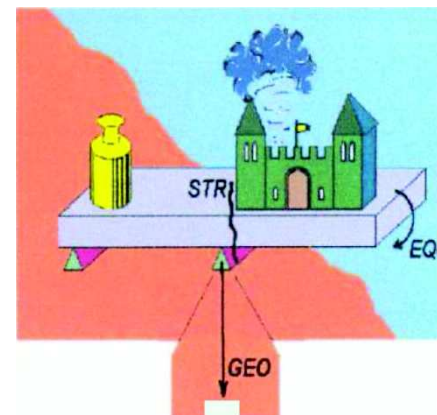
a) Si dovrebbe considerare che questa prova può non essere applicabile per alcuni tipi di prodotti, per esempio geogriglie.
b) Se le proprietà meccaniche (resistenza a trazione e punzonamento statico) sono codificate con "H" nel presente prospetto, il produttore deve fornire dati per entrambe. L'uso di una sola proprietà, della resistenza alla trazione o del punzonamento statico, è sufficiente nelle specifiche.

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

PROGETTAZIONE - NORMATIVA ITALIANA

NTC 2008 (D.M. 14.01.2008)

NTC 2008 propongono un **METODO DI VERIFICA** valido per “[...] **MURI DI SOSTEGNO** o per le **STRUTTURE MISTE AD ESSI ASSIMILABILI (TERRE RINFORZATE)** [...]”



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

SLU di tipo **GEOTECNICO (GEO)** e di **EQUILIBRIO** di corpo rigido (**EQU**):

- **STABILITÀ GLOBALE** del complesso opera di sostegno-terreno (GEO):
- **SCORRIMENTO** sul piano di posa (EQU)
- **COLLASSO** per carico limite dell'insieme **FONDAZIONE-TERRENO** (GEO)
- **RIBALTAMENTO** (EQU)

SLU di tipo **STRUTTURALE (STR)**

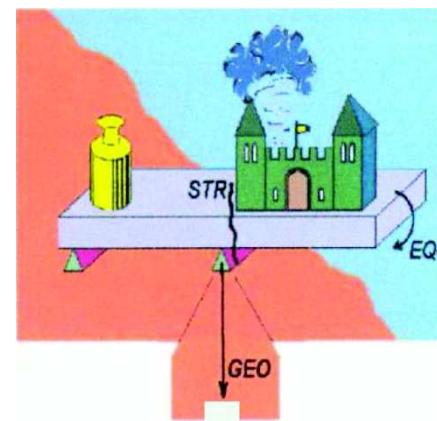
- Raggiungimento della **RESISTENZA** negli **ELEMENTI STRUTTURALI (STR)**

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

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**

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

BS 8006 (1995) / NF 94-220 (1998) / FHWA-NHI-00-043 (2001) - Verifiche di stabilità

NTC 2008		NTC 2018	BS 8006 – 1995 FHWA-NHI-00-043	
Tipo SLU	DESCRIZIONE	Tipo SLU		
GEO	STABILITÀ GLOBALE	GEO	ESTERNA (3) STABILITÀ GLOBALE	
EQU	SCORRIMENTO	GEO	ESTERNA (2) DIRECT SLIDING	
GEO	COLLASSO FONDAZIONE	GEO	ESTERNA (1) CAPACITÀ PORTANTE DEL SOTTOFONDO	
EQU	RIBALTAMENTO	GEO	- (NON CONTEMPLATA PERCHÉ POCO PERTINENTE)	
STR	RESISTENZA ELEMENTI STRUTTURALI	STR	INTERNA / COMPOUND	ROTAZIONALE (4) ROTTURA TRAZIONE GGR (5) ROTTURA ANCORAGGIO GGR
				TRASLAZIONALE (4) ROTTURA TRAZIONE GGR (5) ROTTURA ANCORAGGIO GGR

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008 – NTC 2018)

Per ognuno di questi **SLU** devono essere

VERIFICATE tutte le **PIÙ GRAVOSE CONDIZIONI DI CARICO** agenti sulla struttura valutando gli **EFFETTI** delle **COMBINAZIONE DELLE AZIONI**

COMBINAZIONE FONDAMENTALE (STATICA)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

COMBINAZIONE SISMICA (SISMA)

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

NTC 2018

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00

F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci	5,00	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di 2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D			secondo categorie di appartenenza
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.			da valutarsi caso per caso

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008 – NTC 2018)

NTC 2008

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 5.1.VI – Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento q_s	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve q_s	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

NTC 2018

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC2008)

La VERIFICA DI QUESTI SLU deve essere effettuata impiegando diverse **COMBINAZIONI (“+”) DI GRUPPI DI COEFFICIENTI PARZIALI (γ)** che sono proposte dalla normativa nell’ambito di **2 APPROCCI PROGETTUALI** distinti e alternativi

APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
Combinazione 1	Combinazione 2	
A1+M1+R1	A2+M2+R2	-
↓	↓	↓
Dimensionamento STR utturale	Dimensionamento GEO tecnico	Dimensionamento STR utturale / GEO tecnico

GRUPPI	Descrizione GRUPPO	COEFF.	nelle COMBINAZIONI delle AZIONI
A1, A2	AZIONI	γ_F	$\gamma_{G1}, \gamma_{G2}, \gamma_Q$
M1, M2	RESISTENZA DEI MATERIALI (TERRENO)	γ_M	γ_M
R1, R2, R3	RESISTENZA GLOBALE DEL SISTEMA	γ_R	γ_R

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC2008)

*“ [...] La **VERIFICA di STABILITÀ GLOBALE** del complesso opera di sostegno-fondazione deve essere effettuata secondo l'Approccio 1-Combinazione2 [...]*

*[...] Le **RIMANENTI VERIFICHE** devono essere effettuate secondo almeno uno dei seguenti approcci:*

- Approccio 1 - Combinazione1
- Approccio 1 - Combinazione2
- Approccio 2 “

TIPO SLU da VERIFICARE	DESCRIZIONE	APP1		APP2
		COMB1	COMB2	COMB1
		A1+M1+R1	A2+M2+R2	A1+M1+R3
GEO	STABILITÀ GLOBALE	-	✓	-
EQU	SCORRIMENTO	✓	✓	✓
GEO	COLLASSO FONDAZIONE	✓	✓	✓
EQU	RIBALTAMENTO	✓	✓	✓
STR	RESISTENZA ELEMENTI STRUTTURALI	✓	✓	✓

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC2018)

“ [...] La **VERIFICA di STABILITÀ GLOBALE** del complesso opera di sostegno-fondazione deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1-Combinazione2** [...] ”

[...] Le **RIMANENTI VERIFICHE** devono essere effettuate secondo l' **Approccio 2** “

TIPO SLU da VERIFICARE	DESCRIZIONE	APP1		APP2
		COMB1	COMB2	COMB1
		A1+M1+R1	A2+M2+R2	A1+M1+R3
GEO	STABILITÀ GLOBALE	-	✓	-
GEO	SCORRIMENTO	-	-	✓
GEO	COLLASSO FONDAZIONE	-	-	✓
GEO	RIBALTAMENTO	-	-	✓
STR	RESISTENZA ELEMENTI STRUTTURALI	-	-	✓

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008 - NTC 2018)

GRUPPI	Descrizione GRUPPO	Coefficiente	NTC2008	NTC2018
A1, A2	AZIONI	$\gamma_{G1}, \gamma_{G2}, \gamma_{Qi}$	Tab 6.2.I (=Tab 2.6.I), Tab 5.1.V / 5.2.V	Tab 6.2.I
M1, M2	RESISTENZA DEI MATERIALI (TERRENO)	γ_M		
R1, R2, R3	RESISTENZA GLOBALE DEL SISTEMA	γ_R		

TERRENO ACQUA

NTC 2008

Tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15

NTC 2018

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento

ES. Sovraccarico stradale $q = 20\text{kPa}$

$$q_{\text{SLU}} (\text{NTC2008}) = 20\text{kPa} * 1,15 = 23\text{kPa}$$

$$q_{\text{SLU}} (\text{NTC2018}) = 20\text{kPa} * (1,3 - 1,5) = 26\text{kPa} - 30\text{kPa}$$

A2+M2+R2
A1+M1+R3

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008 - NTC 2018)

GRUPPI	Descrizione GRUPPO	Coefficiente	NTC2008	NTC2018
A1, A2	AZIONI	$\gamma_{G1}, \gamma_{G2}, \gamma_{Qi}$		
M1, M2	RESISTENZA DEI MATERIALI (TERRENO)	γ_M	Tab. 6.2.II	Tab. 6.2.II
R1, R2, R3	RESISTENZA GLOBALE DEL SISTEMA	γ_R		

NTC 2008

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

NTC 2018

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

PARAMETRI GEOTECNICI		γ_M (A2)		SLU
φ' [°]	30°	1.25	→	25°
c' [kPa]	5	1.25	→	4
γ [kN/mc]	18	1	→	18

A2+M2+R2
A1+M1+R3

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

UNI EN 14475 (2006) ESECUZIONE DI LAVORI GEOTECNICI SPECIALI (*TERRA RINFORZATA*)

APPENDICE A UTILIZZO TIPICO DI TIPI DI TERRA IN FUNZIONE DELL'APPLICAZIONE, DEL RINFORZO E DEL RIVESTIMENTO

prospetto A.1 Tipiche combinazioni di terra, rinforzi e rivestimenti

Tipo di terra			Tipo 1	Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4
			Drenante	Granulare		Intermedio		Fine
	Caratteristiche geomeccaniche	% in peso minore di 80 micron	<5%	<12%	Da 12% a 35%	Da 12% a 35%	>35%	Altri
		% in peso minore di 20 micron	n.a	n.a	<10%	>10%	<40%	
		Indice di plasticità	n.a	n.a	n.a	<25	<25	
Applicazione								
	Parti della struttura esposte a inondazioni e/o rapidi abbassamenti/innalzamenti dell'acqua		A	B	B	D	D	D
	Struttura che sostiene spalle di ponti, ferrovie, edifici		A	A	B	C ^{a)}	D	D
	Muro di terra rinforzata alto		A	A	B	B	D	D
	Pendii alti di terra rinforzata		A	A	B	B	C ^{b)}	C ^{b)}
	Pendii e muri comuni		A	A	A	B	C ^{c)}	C ^{c)}

Legenda:

A = Utilizzato spesso.

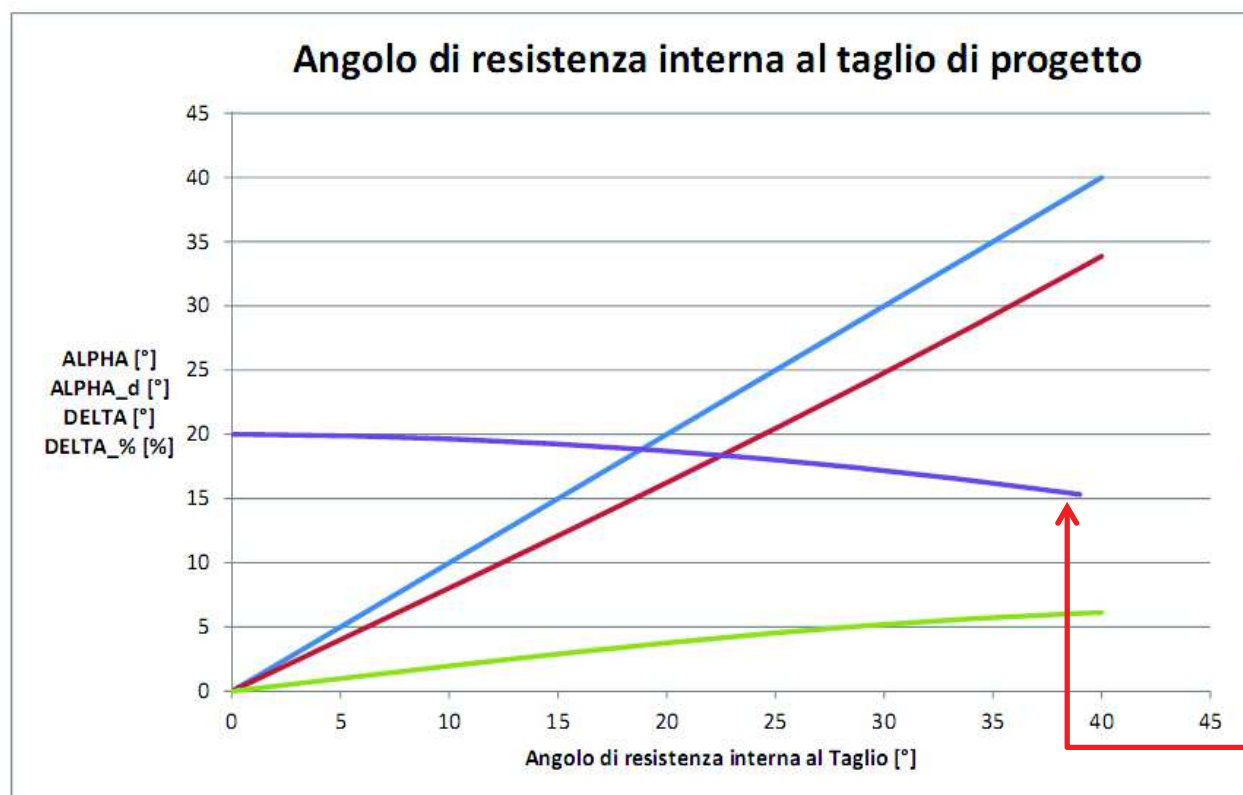
B = Utilizzato a volte.

C = Soggetto a studio specifico.

D = Non raccomandato.

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008-NTC 2018)



PARAMETRI GEOTECNICI		γ_M		SLU
ϕ' [°]	30°	1.25	→	25°
c' [kPa]	5	1.25	→	4
γ [kN/mc]	18	1	→	18

In termini % nelle verifiche SL sono penalizzati i terreni con scarse caratteristiche geotecniche

$$DELTA = ALPHA - ALPHA_d = \phi' - \phi'_d$$

$$DELTA_ \% = \frac{DELTA}{\phi'} \cdot 100 = \frac{\phi' - \phi'_d}{\phi'} \cdot 100$$

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC 2008 - NTC 2018)

GRUPPI	Descrizione GRUPPO	Coefficiente	NTC2008	NTC2018
A1, A2	AZIONI	$\gamma_{G1}, \gamma_{G2}, \gamma_{Qi}$		
M1, M2	RESISTENZA DEI MATERIALI (TERRENO)	γ_M		
R1, R2, R3	RESISTENZA GLOBALE DEL SISTEMA	γ_R	Tab 6.5.I Tab 6.8.I	Tab 6.5.I Tab 6.8.I

$$S_d * \gamma_R < R_k$$

$$\begin{matrix} A2+M2+R2 \\ A1+M1+R3 \end{matrix}$$

NTC 2008

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

NTC 2018

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC2008)

In **CONDIZIONI SISMICHE (SISMA)** ed in mancanza di espresse indicazioni in merito (da parte **DEL PROGETTISTA**) il rispetto degli stati **SLU SISMICI** si considera conseguito qualora siano rispettate le verifiche allo **SLV**

FORZE SISMICHE $F_i = a_{\max} \cdot (W / g)$

APPROCCIO PSEUDOSTATICO

Schematizzazione delle **FORZE D'INERZIA** F_i (dovute al sisma) come **FORZE STATICHE EQUIVALENTI** (F_h , F_v)

COEFFICIENTI k_h e k_v

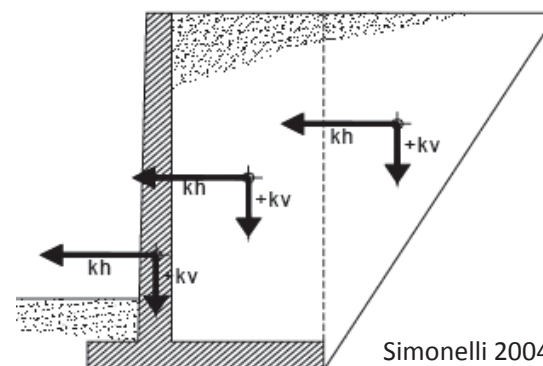
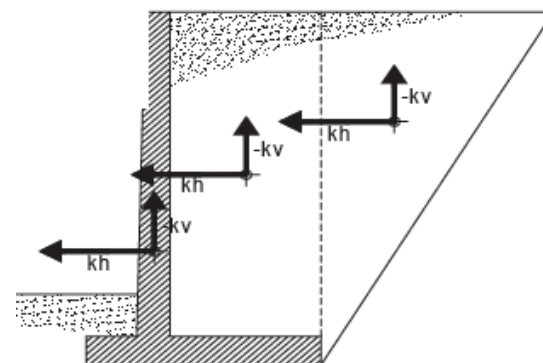
$$k_h = \beta_m \cdot (a_{\max} / g)$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

FORZE STATICHE “EQUIVALENTI” F_h , F_v

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = \pm k_v \cdot W$$



Simonelli 2004

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI (NTC2018)

Per le opere e i sistemi geotecnici (§7.11 NTC2018) le **verifiche degli SLU in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite** ponendo **pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici** e impiegando le resistenze di progetto, con i **coefficienti parziali γ_R indicati in Tab.7.11.III, oppure con i γ_R indicati al Cap.6** laddove non espressamente specificato (Tab. 6.8.I)

Gli effetti dell'azione sismica (E) saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali $G_1 + G_2 + \sum_j y_{2j} Q_{kj}$ (omettendo i carichi Q_{kj} che hanno un contributo favorevole alla verifica e se del caso anche i carichi G_2)

APPROCCIO PSEUDOSTATICO

Coefficienti Parziali per le azioni e per l'effetto delle azioni		
Carichi	Effetto	A
Permanenti	Favorevole	1.0
	Sfavorevole	1.0
Permanenti non strutturali (es. carichi permanenti portati) se non compiutamente definiti utilizzare coefficienti validi per azioni permanenti	Favorevole	1.0
	Sfavorevole	1.0
Variabili	Favorevole	1.0
	Sfavorevole	1.0

Coefficienti Parziali per i parametri geotecnici del terreno	
Parametro geotecnico	M
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	1.0
Coesione efficace	1.0
Coesione non drenata	1.0
Peso dell'unità di volume	1.0
Resistenza a compressione uniassiale (solo per rocce)	1.0

Coefficienti parziali per le verifiche degli SL di tipo STR e GEO di muri di sostegno – R (Tab. 7.11.III)	
Verifica	
Capacità portante della fondazione (c.d. carico limite)	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo – R (Tab. 6.8.I)	
Verifica	
Stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione	1.1

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

PROGETTAZIONE - NORMATIVA ITALIANA



XXV Convegno Nazionale Geosintetici 2012

“APPLICAZIONI SOSTENIBILI PER LA DIFESA DEL TERRITORIO E LA TUTELA DELL' AMBIENTE”



AGI Associazione Geotecnica Italiana

Ha annunciato che entro DICEMBRE 2012 sarà pronta la 1° BOZZA delle

“Raccomandazioni AGI per l'impiego dei geosintetici nel rinforzo del terreno

PROGETTAZIONE DI MURI E PENDII RIPIDI RINFORZATI”

In merito alla quale tutti i tecnici sono invitati a presentare commenti e considerazioni

In occasione del **XXVI Convegno Nazionale Geosintetici 2013** verrà presentato il DOCUMENTO DEFINITIVO

LE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA

CONCLUSIONI...

La **qualità** di un'opera in terra rinforzata **dipende da 3 fattori**:

- La qualità della **PROGETTAZIONE**
- La qualità dei **MATERIALI**
- La qualità della **POSA IN OPERA**

