

## TERRE RINFORZATE CON INCLUSIONI

**I terreni rinforzati con inclusioni fanno parte dei materiali compositi.**

La introduzione di inclusioni nel terreno comporta il miglioramento delle caratteristiche del terreno originario e la formazione di sistemi con caratteristiche meccaniche superiori a quelli che si realizzerebbero con il solo terreno..

**Il principio del funzionamento del rinforzo dei terreni con inclusioni si basa sull'attrito tra inclusioni e terreno.**

Nel recente passato sono state condotte molte sperimentazioni in laboratorio e su opere in vera grandezza con diversi tipo di inclusioni; ancora sono in corso ricerche finalizzate alla ottimizzazione della tecnica e delle tecnologie di costruzione delle terre rinforzate.

Le prove e le sperimentazioni condotte hanno consentito di appurare che:

**il meccanismo di rinforzo dei terreni si esplica con modalità diverse in relazione alla rigidezza flessionale dei rinforzi.**

## TERRE RINFORZATE CON INCLUSIONI

### **INCLUSIONI FLESSIBILI**

Il meccanismo di interazione riguarda principalmente lo sviluppo di tensioni tangenziali di attrito al contatto  
Terreno - Rinforzo

### **INCLUSIONI RIGIDE**

Il meccanismo di rinforzo è più complesso perché oltre alla sollecitazione di trazione entrano in gioco anche flessione e taglio

**Terre armate ricadono nella categoria delle terre rinforzate con inclusioni flessibili**

## TERRE ARMATE

### Utilità e vantaggi offerti dalle Terre Armate

Statici e strutturali

Ambientali

Operativi, cantieri

Economici

### Vantaggi

#### Statici e strutturali

- . Affidabilità in zona sismica
- . Altezza delle strutture limitata solo alla capacità portante del terreno di fondazione
- . Distribuzione uniforme delle pressioni sul terreno
- . Capacità di assorbire cedimenti senza danno
- . Garanzia di corretta esecuzione dei rilevati
- . Affidabilità nel dimensionamento della curabilità dell'opera
- . Riduzione dei cedimenti e delle deformazioni

## TERRE ARMATE

### Vantaggi Ambientali

- . Ridotto impatto ambientale
- . Uso di materiali naturali e stabili nel tempo o ad evoluzione controllabile, quindi non inquinanti
- . Fondazioni dirette senza necessità di pali e di possibili danneggiamento delle falde sotterranee
- . Possibilità di smontare la struttura
- . Riduzione dell'impiego di macchine operatrici ad alto impatto
- . Riduzione dei vincoli progettuali e delle aree sottratte al territorio

## TERRE ARMATE

### Vantaggi Operativi

- . Rapidità e semplicità esecutiva
- . Modalità costruttive semplici
- . Minimizzazione delle aree di cantiere
- . Minimizzazione di mano d'opera
- . Modesto condizionamento del cantiere dalle condizioni climatiche
- . Minori interventi di fondazione
- . Riduzione oneri esproprio, occupazioni temporanee, sospensione del traffico, ecc..
- . Ottimizzazione delle fasi di lavoro
- . Rapidità di costruzione

### Vantaggi Economici

## TERRE ARMATE

### Possibilità di impiego

Opere di sostegno

Rilevati strutturali

Spalle di ponti e viadotti

Pareti di scavo per trincee

Argini per zone di stoccaggio, discariche

Silos di stoccaggio

Piani di lavoro a quote diverse

Sponde in zone fluviali e marine

Barriere paramassi e paravalanghe, barriere antirumore

# TERRE ARMATE

## Cenni bibliografici

- Ghionna V.N., (1995), «Il rinforzo dei terreni tramite inclusioni» AGI
- Cividini A.,Gioda G.,Sterpi S.,(1995), «Modellazione numerica della costruzione di una parete in terra rinforzata» AGI
- Fioravante V.,(1995), «Sui principi generali della modellazione fisica in centrifuga con particolare riferimento ai terreni rinforzati con geosintetici» (AGI)
- Mascardi C.,(1995), «La progettazione degli interventi di miglioramento e rinforzo dei terreni e delle rocce» AGI
- Holtz R.D.,Christopher B.R.,Berg R.R., (1997), «Geosynthetic Engineering» - Btech
- Bowles J., (2000) «Foundation Analysis and Design» - McGrawHill

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

Definizione Secondo Schlosser (1983)

- Area di terreno trattata relativamente estesa rispetto alle dimensioni delle inclusioni
- Densità delle inclusioni relativamente elevata ed uniforme
- Interazione tra terreno e rinforzo sviluppata su tutta la lunghezza del rinforzo

Queste caratteristiche consentono di considerare il terreno trattato con inclusioni come «**nuovo materiale composito**» il cui comportamento può essere studiato attraverso l'analisi di un «**volume rappresentativo**» di esso.

Ulteriore distinzione in funzione del tipo di rinforzo: **Rinforzi flessibili; Rinforzi rigidi**  
**Rinforzi estensibili; Rinforzi inestensibili**

**Opere di sostegno, Rilevati:** in genere si utilizzano **Rinforzi flessibili**, estensibili o non estensibili

Con le inclusioni, nei termini dianzi indicati, si ottiene un materiale con caratteristiche meccaniche di insieme molto migliori rispetto a quanto sarebbe ottenuto con il solo terreno tal quale: le «**armature flessibili**» hanno la principale funzione di resistere a **trazione**.

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

Inclusioni flessibili: (strisce, reti metalliche, griglie e reti, teli di geosintetici ecc..)

Inclusioni rigide: tubi, barre di acciaio, chiodi, profili metallici (resistenza anche a flessione e compressione)

Meccanismo di interazione: sviluppo di tensioni tangenziali di attrito al contatto terreno-inclusione



Analisi del meccanismo di interazione:

**Discreto**

**Globale** («materiale omogeneo»)

### Comportamento all'interfaccia armature-terreno

E' retto da fenomeni di interazione elementari che si sviluppano in una sottile striscia di terreno adiacente alla superficie di contatto il cui spessore non supera 15÷50 volte il diametro medio dei grani (Boulon, 1986). Sulla superficie di contatto per le inclusioni flessibili si sviluppano le tensioni tangenziali che sono funzione del coefficiente di attrito all'interfaccia e del corrispondente angolo di attrito terreno – superficie inclusione.

**f** : coefficiente di attrito;

$\delta$  : angolo di attrito terreno – superficie dell'inclusione;;  $\mu$  : coefficiente di efficienza:

(Juran 1988)  $\delta$  in funzione dell'angolo di resistenza a taglio del terreno  $\phi'$

$$\mu = \tan \delta / \tan \phi'$$

Quindi:

$$f = \mu \cdot \tan \phi'$$

# TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

## Comportamento all'interfaccia armature-terreno

**f,  $\delta$**  sono funzione di numerosi fattori dipendenti dal tipo di terreno e dalle armature.

**Armature:** armature metalliche, geosintetici, lisce, con risalti, geotessuti, ecc..)

**Terreno:** natura e proprietà fisiche e le caratteristiche che influenzano il comportamento alla dilatanza dei terreni come la granulometria, frantumabilità, stato di addensamento, livello delle tensioni normali efficaci ecc..

Nel caso di griglie e reti metalliche o di geosintetico con elementi trasversali il terreno resta imprigionato nelle maglie. (Jewell et Al. 1984) introduce, per tali condizioni, una tensione tangenziale equivalente applicata all'intera superficie della maglia in grado di tenere conto della resistenza passiva allo scorrimento complessiva per effetto di tutti i meccanismi evocati.

Sono così anche definiti i parametri:

$$f_{eq} = \text{tg } \delta_{eq} = \mu_{eq} \cdot \phi'$$

$\delta_{eq}$   
 $\mu_{eq}$

Molto importanti le caratteristiche del terreno, la resistenza a taglio e la dilatanza.

Data la difficoltà aggiuntiva posta da questo tipo di inclusione diventano indispensabili le prove su campioni di dimensioni rappresentative comprendenti un numero adeguato di maglie della inclusione.

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

Un caso intermedio tra i rinforzi costituiti da nastri lisci e geosintetici (geogriglie, geoteti) è rappresentato da inclusioni continue ad aderenza migliorata, sia planari che tridimensionali.

Anche per questi casi si fa riferimento allo schema di armatura liscia con parametri di attrito equivalenti.

Lo studio completo del comportamento all'interfaccia tra l'armatura ed il terreno comporta la definizione della curva che mette in relazione:

### **Tensione tangenziale di attrito**

con

### **Scorrimento relativo tra le superfici di contatto**

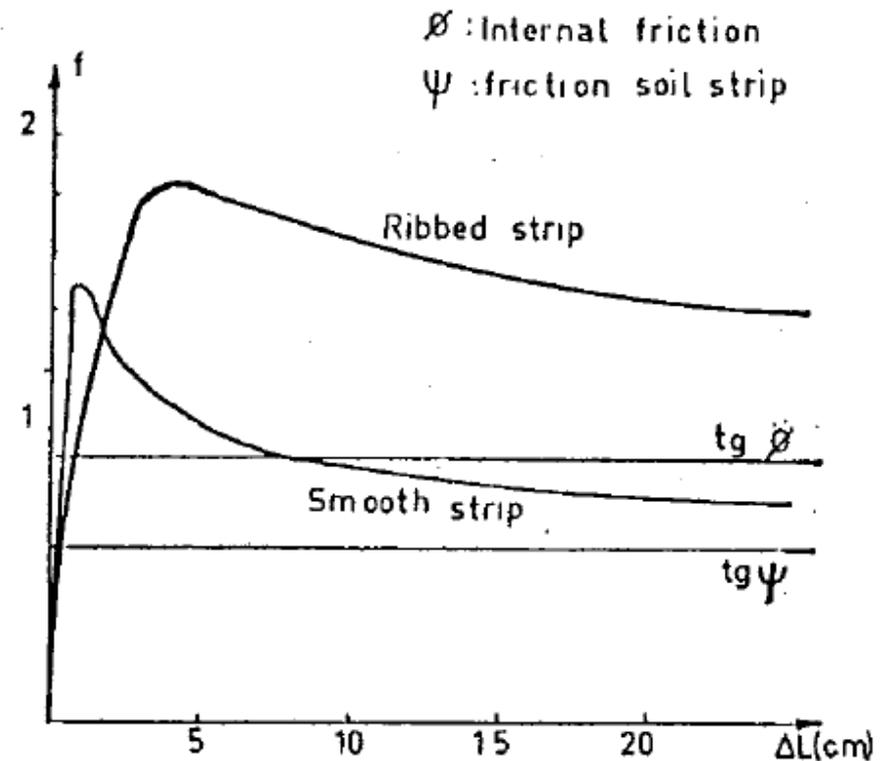
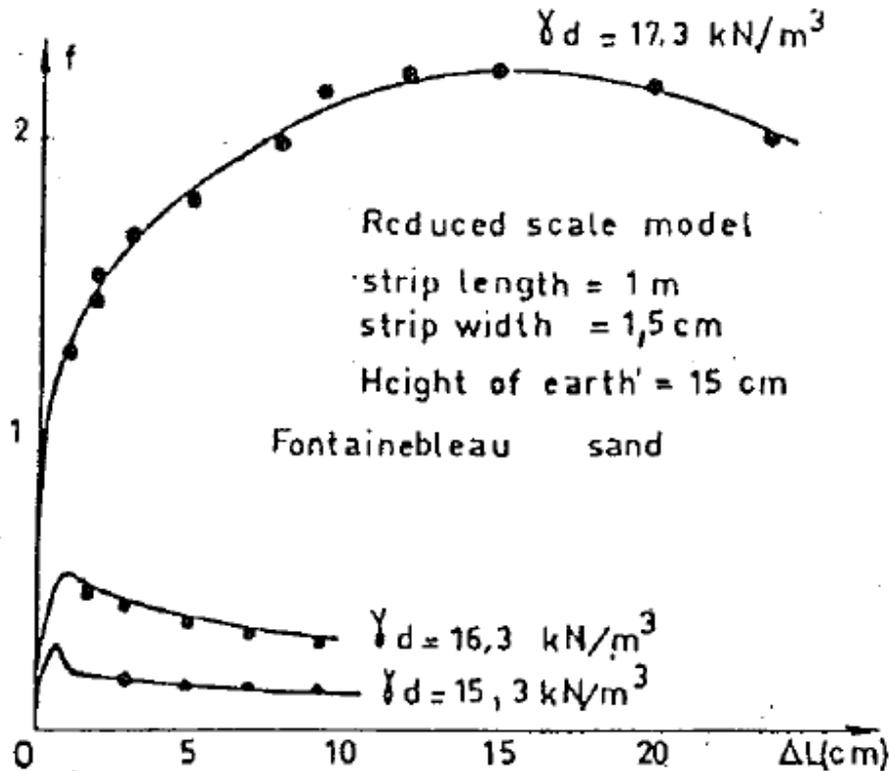
La determinazione delle curve può essere effettuata con prove di taglio diretto in laboratorio e con apparecchiature di prova a sfilamento (pull-out tests).

Le prove di sfilamento hanno il vantaggio di consentire l'esecuzione su campioni di maggiori dimensioni ma hanno il difetto di fornire una risposta integrata su tutta la lunghezza dell'armatura anziché puntuale ed inoltre i risultati sono legati alla lunghezza ed alla deformabilità dell'armatura utilizzata. E' quindi necessaria una interpretazione dei risultati della prova per arrivare a tracciare la curva.

Un problema comune a tutti i tipi di apparecchiatura di prova è la presenza di fattori legati alle modalità esecutive delle prove, alle dimensioni dell'apparecchiatura, condizioni al contorno ecc..

# TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

## Comportamento all'interfaccia armature-terreno



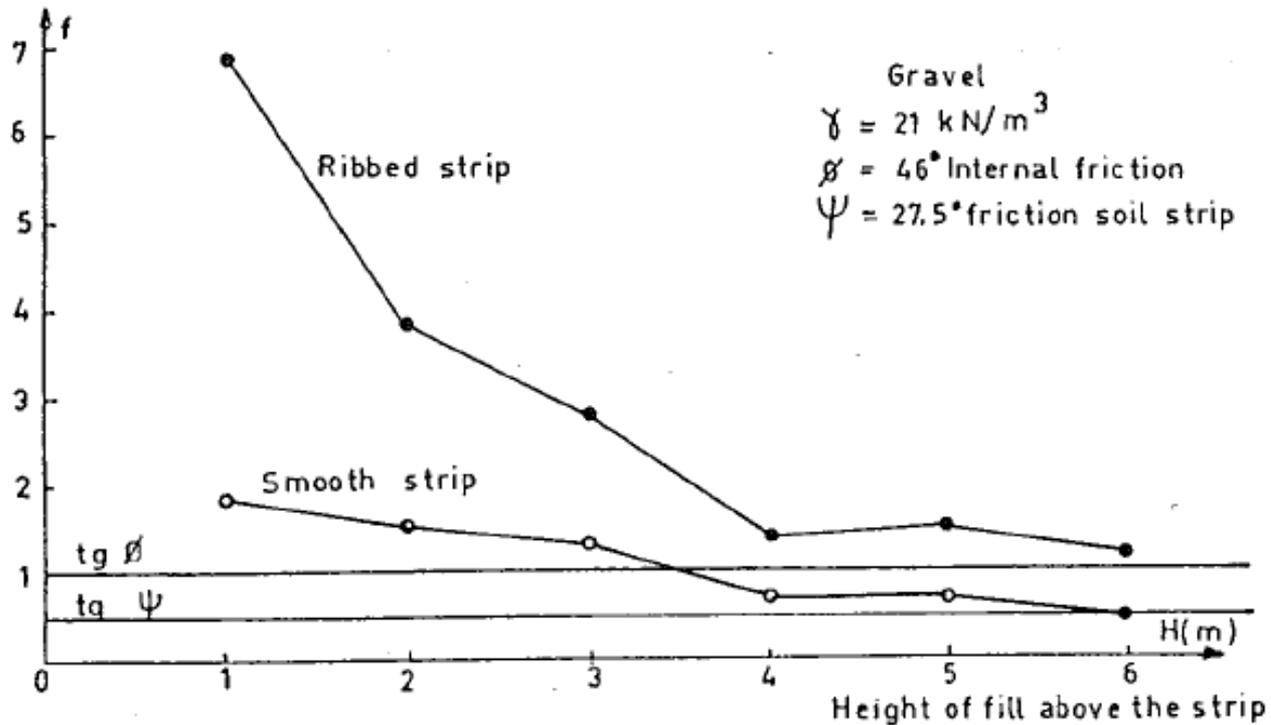
a) Pull out test of a strip buried in sand influence of the density

b) Influence of the nature of the surface in pull out tests of strips

**Schlosser, Guilloux: andamento del coefficiente di attrito mobilitato in funzione dello spostamento relativo tra armatura e terreno determinato con prove di sfilamento in sito su strisce metalliche in sabbia**

# TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

## Comportamento all'interfaccia armature-terreno



c) Influence of the overburden pressure  
in pull out tests of strips

- Factors affecting the value of the apparent coefficient of friction (Alimi et al., 1977)

# TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

## Comportamento all'interfaccia armature-terreno

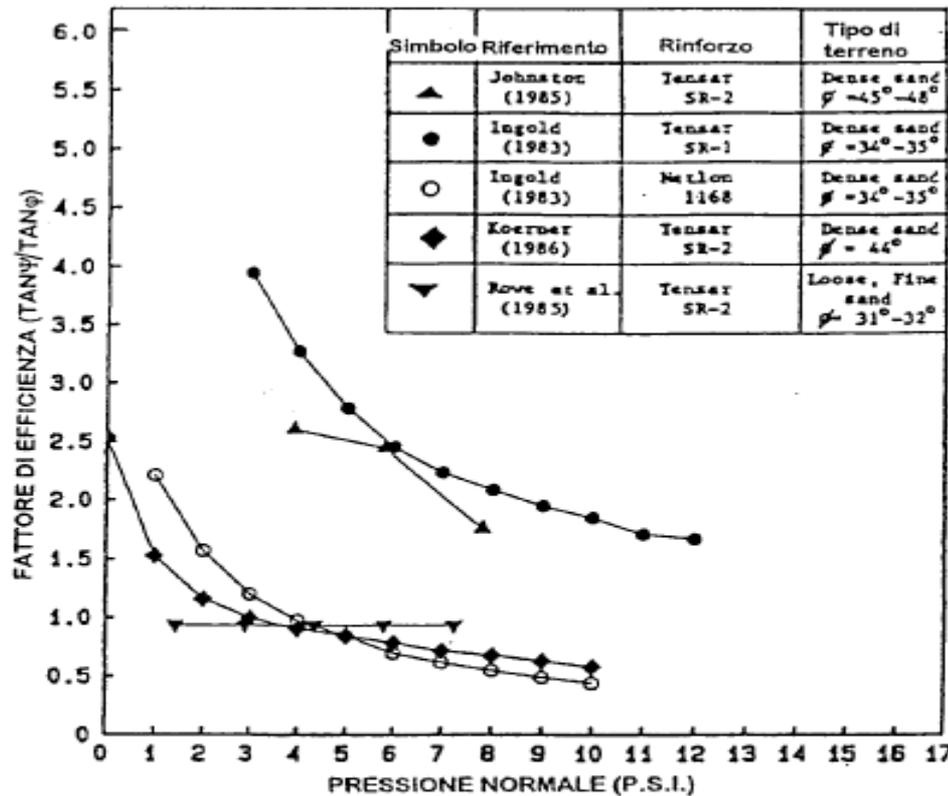
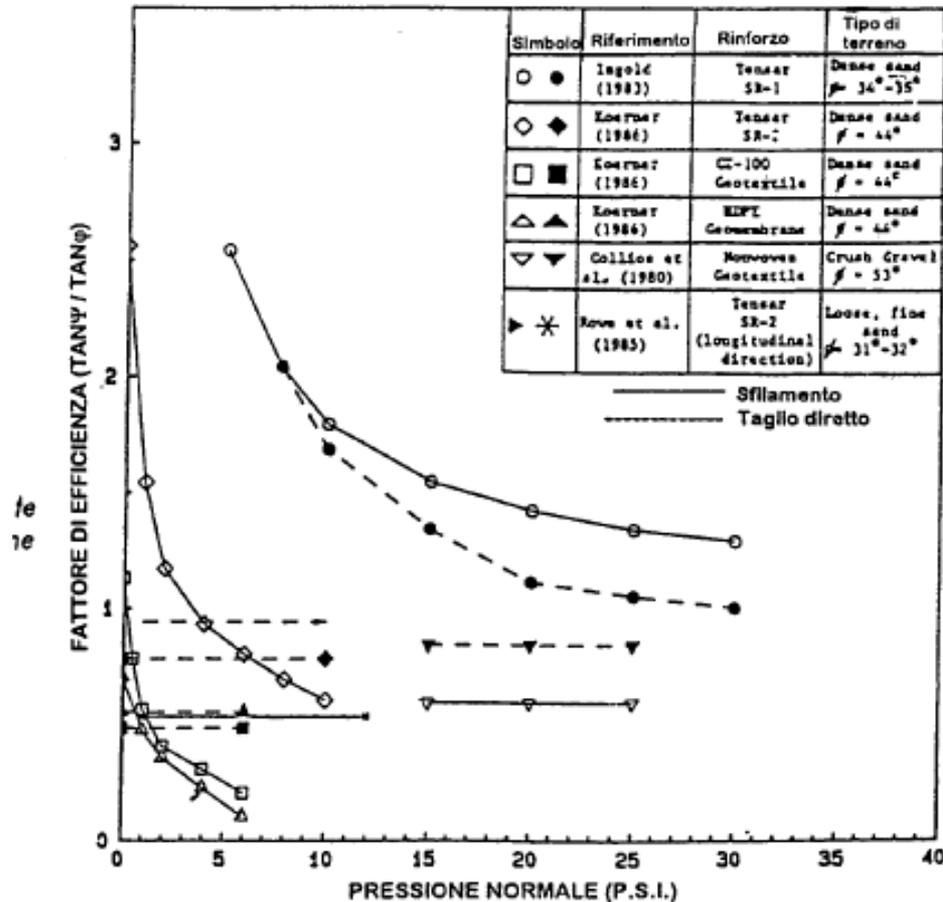


Fig.2.2.5: Attrito di interfaccia terreno-geosintetici - Relazione tra il coefficiente di attrito apparente normalizzato (fattore di efficienza) e la pressione di confinamento per varie geogriglie.

(da JURAN et al., 1988)

# TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

## Comportamento all'interfaccia armature-terreno



Attrito di interfaccia terreno-geosintetici - Confronto tra i risultati di prove di sfilamento e prove di taglio diretto per vari tipi di geosintetici.

(da JURAN et al., 1988)

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

Le prove di laboratorio condotte con taglio diretto forniscono coefficienti di attrito dell'ordine di  $f = 0,5 \tan \phi'$  mentre le prove di sfilamento in sito su scala reale forniscono valori più elevati giustificando l'adozione del termine di **coefficiente di attrito apparente  $f^*$** .

Questo comportamento tende ad accentuarsi alle basse pressioni verticali efficaci di confinamento.

Le evidenze sperimentali descritte con i diagrammi precedenti sono spiegate come conseguenza della **tendenza alla dilatanza** manifestata dal terreno presente all'interno dell'interfaccia a seguito delle forti deformazioni di taglio concentrate in tale zona. **Tale tendenza risulta tanto più accentuata quanto maggiore è lo stato di addensamento del terreno e minore la pressione normale efficace di confinamento  $\sigma'_n$**  a cui fa seguito un corrispondente aumento delle tensioni tangenziali d'attrito sulla superficie di contatto  $\tau^*$ .

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

### Comportamento all'interfaccia armature-terreno

Se la tendenza all'aumento di volume è contrastata dalla presenza del terreno circostante (dilatanza impedita) si produce un aumento delle tensioni localizzato delle pressioni normali efficaci  $\sigma'_n$  a cui fa seguito un corrispondente aumento delle tensioni tangenziali d'attrito sulla superficie di contatto

$$\tau^*$$

Tale aumento è di solito interpretato come una modifica del coefficiente di attrito all'interfaccia che passa dal valore nominale  $f$  a quello apparente

$$f^*$$

$$\tau^* = f \cdot \sigma'_n = f^* \cdot \sigma'_n$$

**f** valore nominale

**f\*** valore apparente del coefficiente d'attrito

## TERRE RINFORZATE TRAMITE INCLUSIONI - TERRE ARMATE

Comportamento all'interfaccia armature-terreno

