



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

BIBLIOTECA

- Koerner R.M. (1990) «Designing with geosynthetics» Ed. Prentice-Hall New Jersey.
- Mosco V., Marconi G. (1970) «Criteri di calcolo e dimensionamento degli elementi in acciaio nelle terre armate»
Ed. Acciaio
- Evangelista A. (1995) «Valutazioni teoriche e osservazioni sperimentali sui processi di trattamento dei terreni e sulle modifiche indotte» Ed. AGI – XIX Convegno di Pavia.
- Ghionna V.N. (1995) «Il rinforzo dei terreni tramite inclusioni» Ed. AGI – XIX Convegno di Pavia.
- Comastri C. (2017) «Appunti lezioni corso Opere in Terra» Unife
- Bregoli G. (1995) «Strutture in terra armata a sostegno di linee ferroviarie ad alta velocità – Alcuni esempi tratti dall'esperienza internazionale» Ed. AGI – XIX Convegno di Pavia.
- Mitchell J.K., Schlosser F. (1987) «Rapport général» University of California, Berkeley, USA
- J.P. Giroud et AL (1990) «Design and construction guidelines for reinforced soil structures – Vol I, II» Ed. Federal Highway Administration Office of Engineering.
- Schlosser F., Guilloux A. «Le frottement dans le renforcement des sols» Revue Française de Géotechnique Nr. 16.
- Schlosser F. (1989) «Terre armate: durabilità delle armature e comportamento dinamico» Ed. RIG .
- Mangiavacchi R., Nova R., Pellegrini G. (1986) «Analisi di stabilità dei muri in terra rinforzata» Ed. RIG.
- Pallotta M. (1995) «La normativa sulle terre rinforzate» Ed. RIG 1995.
- Bowles J. (2000) «Foundation analysis and design» Ed. McGraw-Hill (NY)
- Leshchinsky D. (1985) «Design manual for geotextile- retained Earth Walls» Ed. US Army Engineer, Vicksburg.
- Jacquelin M. (2005.2006) «Conception et calcul des murs de soutènement en terre armée» ISBTP .
- BS 8006/1995 «Code of practice for reinforced soils and other fills»
- AASTHO(1992) «Standard specifications for highway bridges»- section 5: Retaining walls.
- Norme française NF P94-210 - 220 (Mai 1992 - juillet 1992) «Renforcement des sols»



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

INTRODUZIONE

Il **rinforzo dei terreni mediante inclusioni** è una tecnica di miglioramento che risale alle più remote civiltà (3000÷4000 anni a.C.) per la costruzione di opere come muri, rilevati, argini per le quali l'effetto di rinforzo fu ottenuto impiegando canne, foglie di palma, giunchi, reti di canapa, rami e pali di legno ecc.. (Hausmann (1990) Yamanouchi (1993)).

Ingegnierizzazione delle tecnica delle terre rinforzate con la Terre Armée: **Henry Vidal (1960)**

Secondo Schlosser ed Altri Sperimentatori (1983) è corretto riservare il termine di **TERRENI RINFORZATI** alle seguenti applicazioni:

1. Area di terreno trattata relativamente estesa rispetto alle dimensioni delle inclusioni
2. La densità delle inclusioni è relativamente elevata ed uniforme
3. L'interazione tra terreno e rinforzi è sviluppata lungo tutta la lunghezza di questi ultimi e non, come per i tiranti, concentrata solo su un tratto limitato di essi (tratto attivo)

IL TERRENO TRATTATO CON I RINFORZI VIENE CONSIDERATO COME **NUOVO MATERIALE COMPOSITO**



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MATERIALI E TIPOLOGIE DELLE TERRE RINFORZATE

TERRE

- TERRE A GRANA GROSSA
- TERRE A GRANA FINE
- MATERIALI RICICLATI
- ALTRI

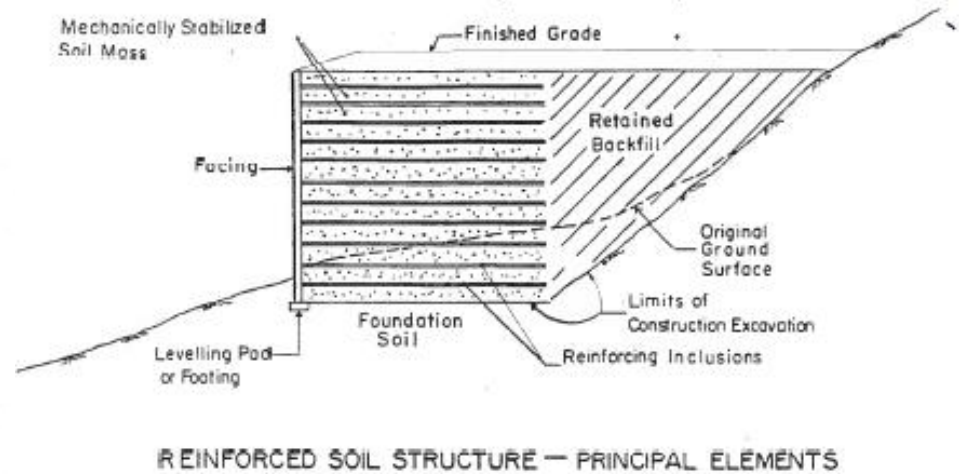
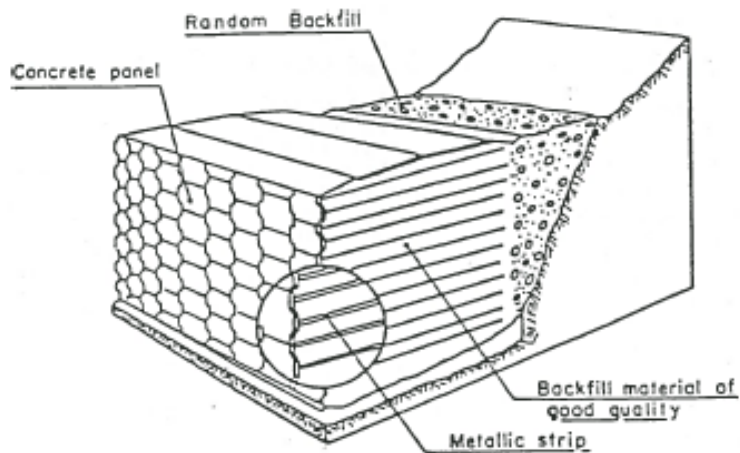
RINFORZI

- RINFORZI RESISTENTI A COMPRESSIONE E TRAZIONE
- RINFORZI FLESSIONALMENTE RIGIDI E FLESSIBILI
- RINFORZI ESTENSIBILI ED INESTENSIBILI



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

TIPOLOGIE OPERE SOSTEGNO IN TERRA RINFORZATA – TERRA ARMATA





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

VANTAGGI NELL'UTILIZZO DELLE TERRE RINFORZATE

- STATICI E STRUTTURALI (maggiore robustezza delle opere – buone risposte alle azioni sismiche)
- AMBIENTALI (riduzione dell'uso del suolo, minore necessità di materiale, possibilità di miglioramento estetico, possibilità di recupero del materiale in caso di demolizione ecc...)
- OPERATIVI – CANTIERIZZAZIONE (minore impatto sull'area di lavoro, semplicità esecutiva, ripetitività, riduzione della necessità di grandi macchine operatrici, ecc...)
- ECONOMICI (minori interventi in fondazione, ottimizzazione delle fasi di lavoro, rapidità di montaggio ecc...)



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

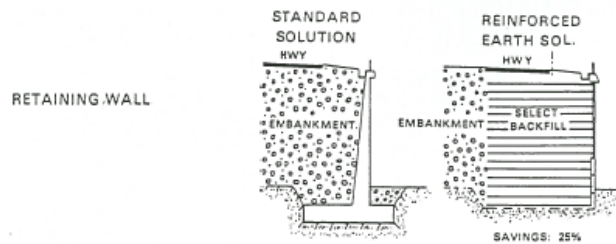
POSSIBILITA' D'IMPIEGO DELLE TERRE RINFORZATE

- MURI DI SOSTEGNO, SOTTOSCARPA, MURI DI CONTENIMENTO
- SPALLE DI PONTI, VIADOTTI, CAVALCAVIA.
- OPERE IDRAULICHE (muri l'argine inondabili, protezione spondale, briglie, banchine e moli d'attacco, dighe, argini ecc...)
- STABILIZZAZIONE DI PENDII E VERSANTI , VALLI PARAMASSI E PARAVALANGHE
- RIPRISTINI DI CAVE
- DISCARICHE
- SILOSI DI STOCCAGGIO
- BARRIERE ANTIRUMORE
- ALTRO

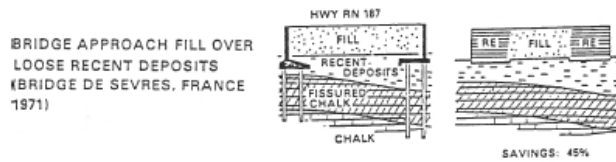
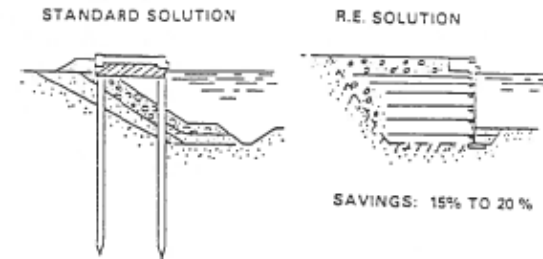


TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

POSSIBILITA' D'IMPIEGO DELLE TERRE RINFORZATE



QUAY WALL (VALRAS 1971)



BRIDGE ABUTMENT (THONVILLE 1972)

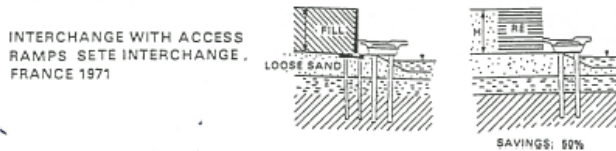
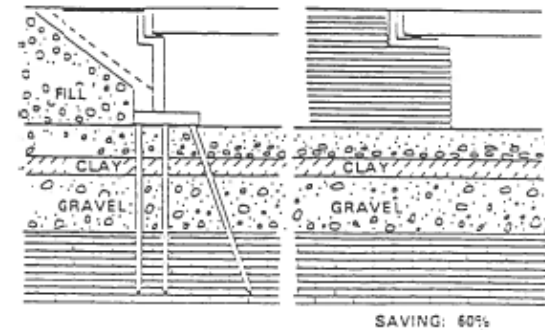
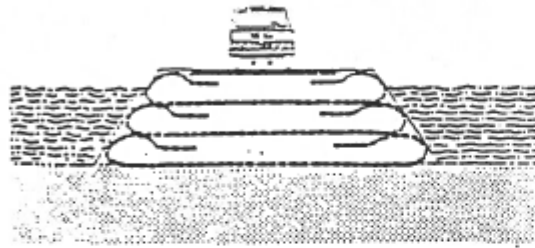


Figure 3. Soil reinforcement systems, urban applications (courtesy of the Reinforced Earth Co.)



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

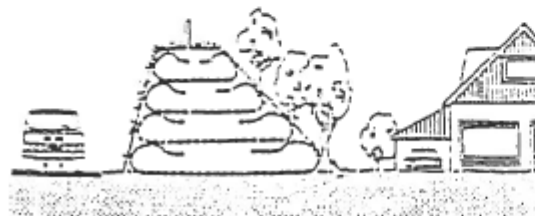
POSSIBILITA' D'IMPIEGO DELLE TERRE RINFORZATE



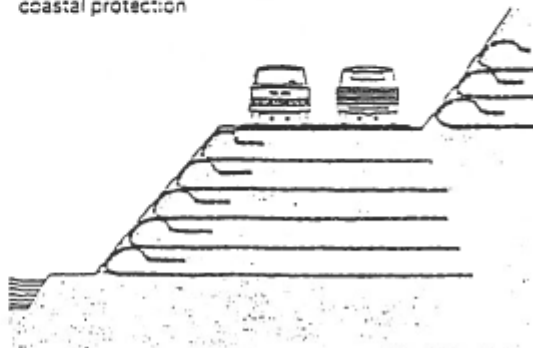
saturated fills



coastal protection



sound absorbing walls



embankment slope stability



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

POSSIBILITA' D'IMPIEGO DELLE TERRE RINFORZATE

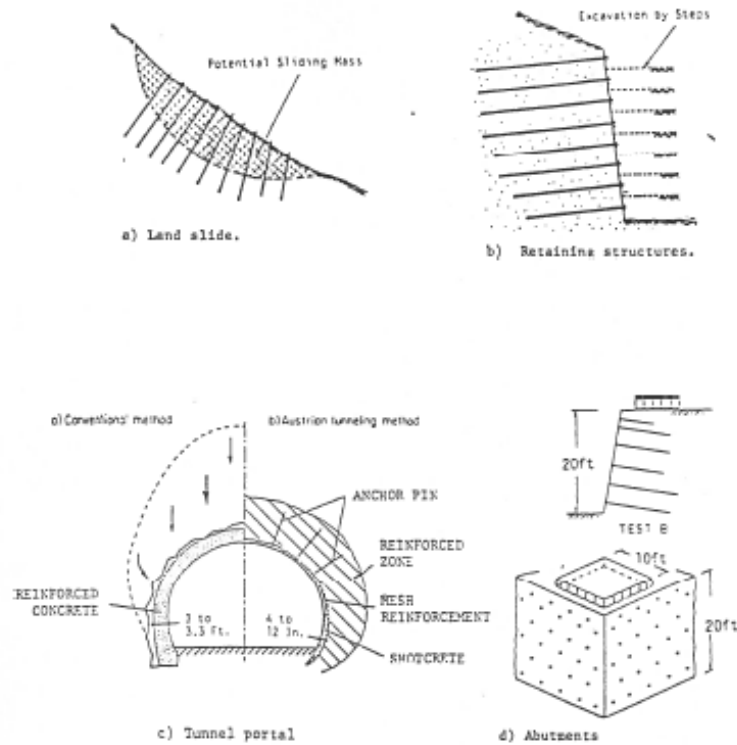
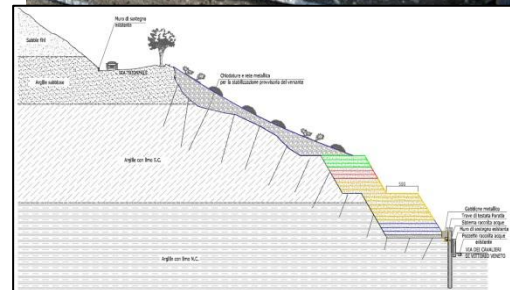
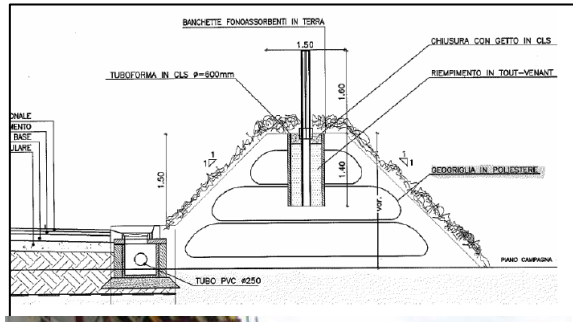
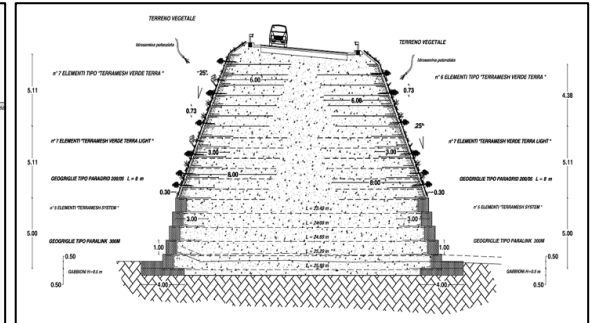
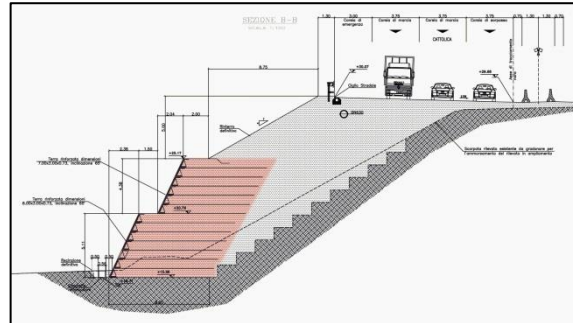
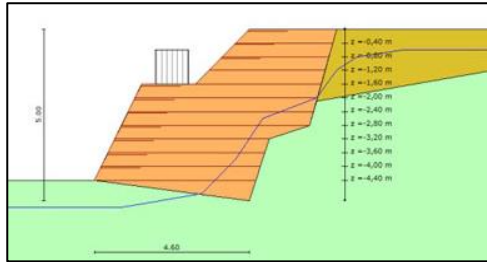


Figure 7. Soil reinforcement systems
Typical soil nailing applications



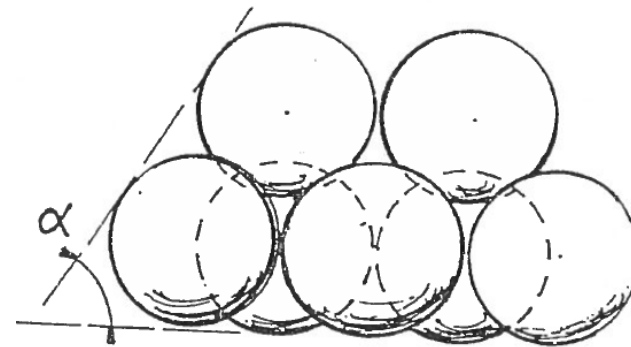
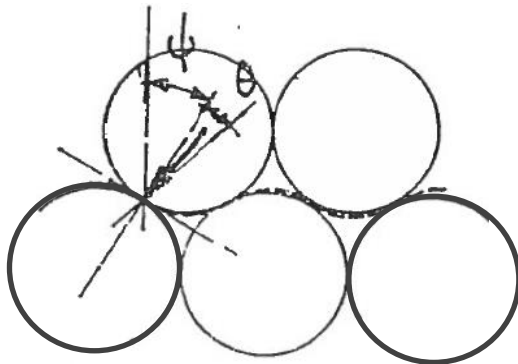
TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO



α : *angolo di natural riposo*

$\varphi = \theta + \psi$ *angolo di attrito interno*

θ : *angolo di attrito fisico*

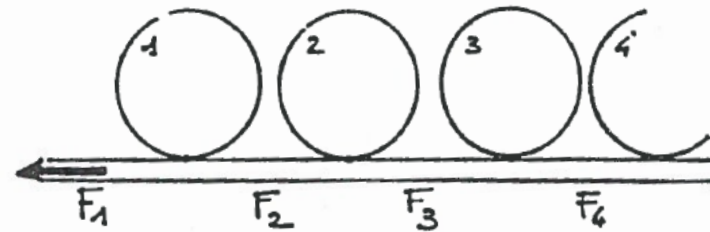
ψ : *angolo tra verticale e normale alla superficie di contatto (dipende dalla forma dei grani)*



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

'PIATTINA D' ATTRITO":

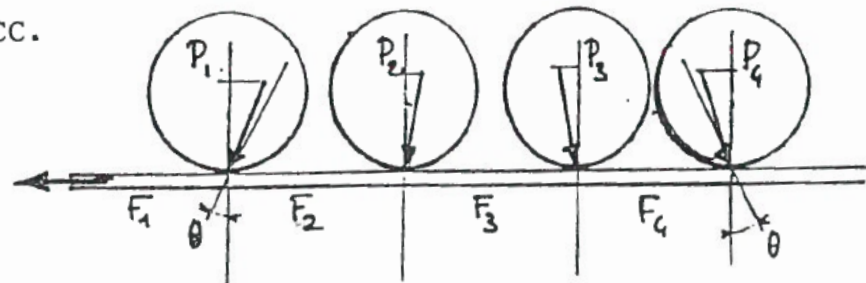


LA PIATTINA TRASFERISCE:

$(F_1 - F_2)$ ALLA SFERA 1

$(F_2 - F_3)$ ALLA SFERA 2

ECC.





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

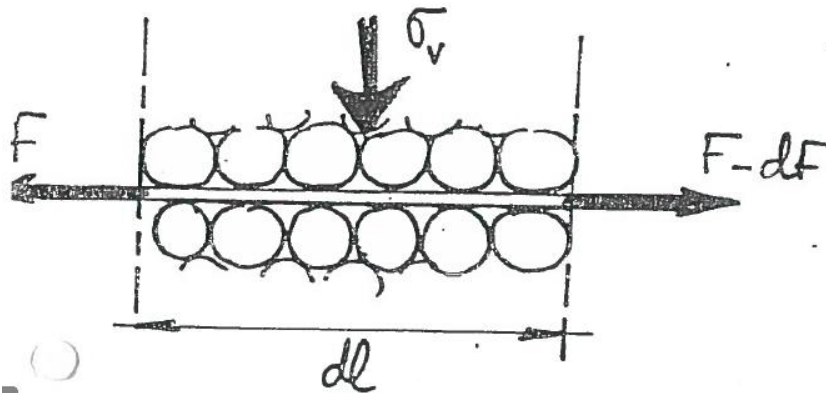
PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

PURCHE' TALI FORZE RIMANGANO NEI LIMITI IMPOSTI DALL' ATTRITO "FISICO",
CI SERO' PURCHE':

$$\frac{|F_1 - F_2|}{P_1} < \tan \theta = f$$

$$\frac{|F_2 - F_3|}{P_2} < \tan \theta = f$$

NEL CASO PIU' GENERALE, ALL' INTERNO DELL' AMMASSO, AVREMO LA CONDIZIONE:



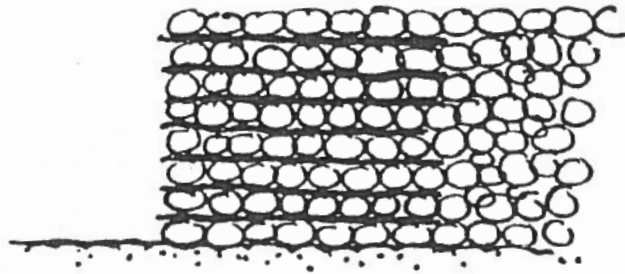
$$\frac{dF}{2\sigma_v dl} < f$$



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

NE CONSEGUE CHE, CON L' INTERPOSIZIONE DELLE PIATTINE DI
ATTRITO, L' ATTRITO ("FISICO") RENDE POSSIBILE IL
COLLEGAMENTO DEI GRANULI, E LA CREAZIONE DI UN MATERIALE
(ARTIFICIALMENTE) COESIVO

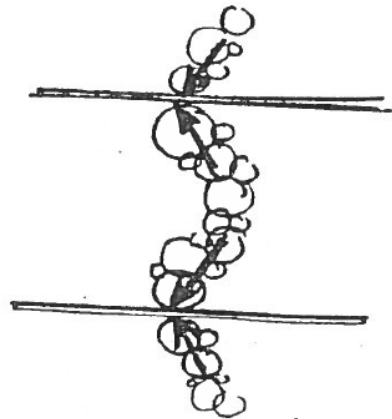




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

○ ' ATTRITO INTERNO CONSENTE POI DI AUMENTARE LO SPAZIO TRA LE PIATTINE (ARMATURE), GRAZIE ALLA CREAZIONE DI EFFETTI ARCO.





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

ECCO QUINDI IL MATERIALE "TERRA ARMATA", CHE E' UN NUOVO MATERIALE COMPOSITO (COME IL CEMENTO ARMATO), IL CUI CARATTERISTICO COMPORTAMENTO DEVE ESSERE STUDIATO SPECIFICAMENTE.

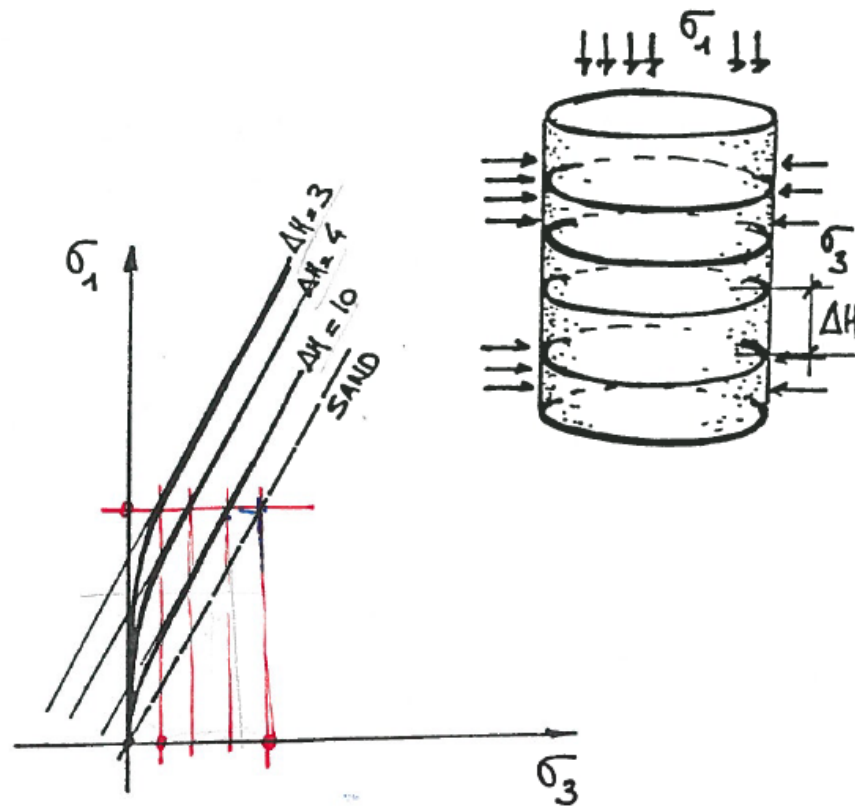
COME TALE PUO' ESSERE UTILIZZATO NELLE PIU' SVARIATE APPLICAZIONI (DALL' IDRAULICA ALL' ARCHITETTURA).



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

PER STUDIARE IL COMPORTAMENTO
DI QUESTO NUOVO MATERIALE,
VIDAL ESEGUI' PROVE TRIASSIALI
A ROTTURA (UTILIZZANDO DELLA
SABBIA) CON DIFFERENTI
SPAZIATURE VERTICALI DELLE
ARMATURE, E RIPORTO' I
RISULTATI IN UN DIAGRAMMA
PRESSIONI VERTICALI-PRESSIONI
ORIZZONTALI

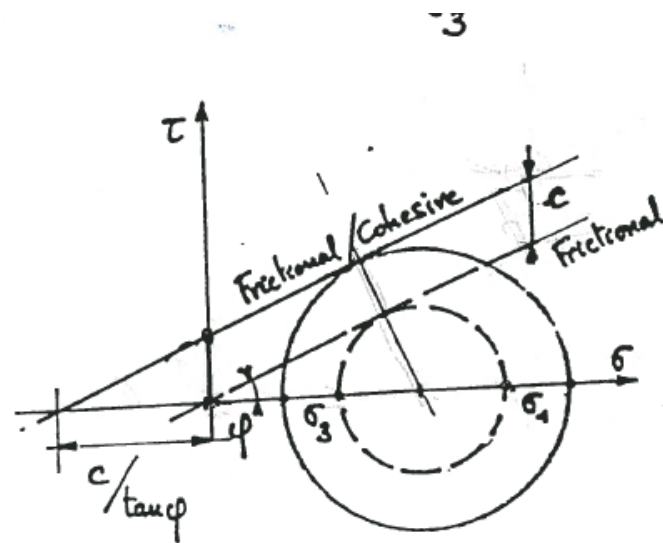




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

I RISULTATI OTTENUTI
CONFERMARONO CHE IL
COMPORAMENTO DELLA TERRA
ARMATA E' SIMILE A QUELLO DI UN
TERRENO DOTATO SIA DI ATTRITO
INTERNO CHE DI COESIONE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

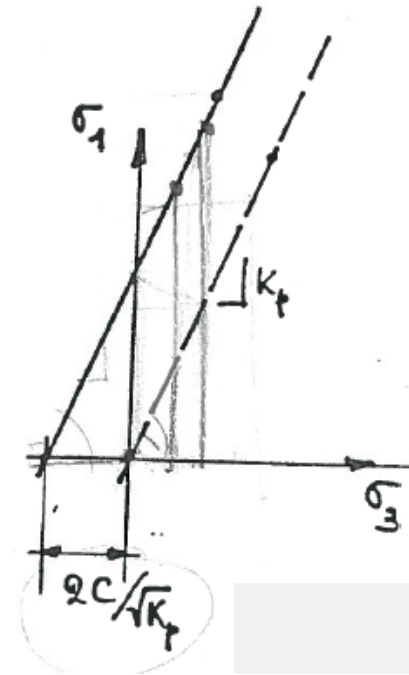
PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

SOLO ATTRITO

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \tan \varphi \rightarrow \sigma_1 = \frac{1 + \tan \varphi}{1 - \tan \varphi} \sigma_3 \rightarrow \boxed{\sigma_1 = K_p \sigma_3}$$

ATTRITO + COESIONE

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{c}{\tan \varphi} \right) \tan \varphi \rightarrow \boxed{\sigma_1 = K_p \sigma_3 + 2c\sqrt{K_p}}$$





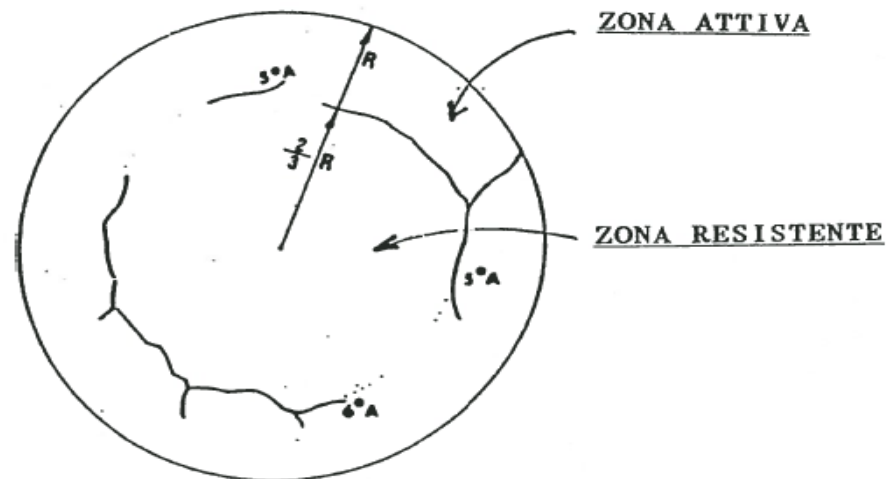
TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

ESAMINANDO IL DISCO D' ARMATURA
SOTTOPOSTO A PROVA TRIASSIALE, SI
IDENTIFICANO DUE ZONE ALL' INTERNO DELL'
AMMASSO DI TERRA ARMATA:

ZONA ATTIVA

ZONA RESISTENTE

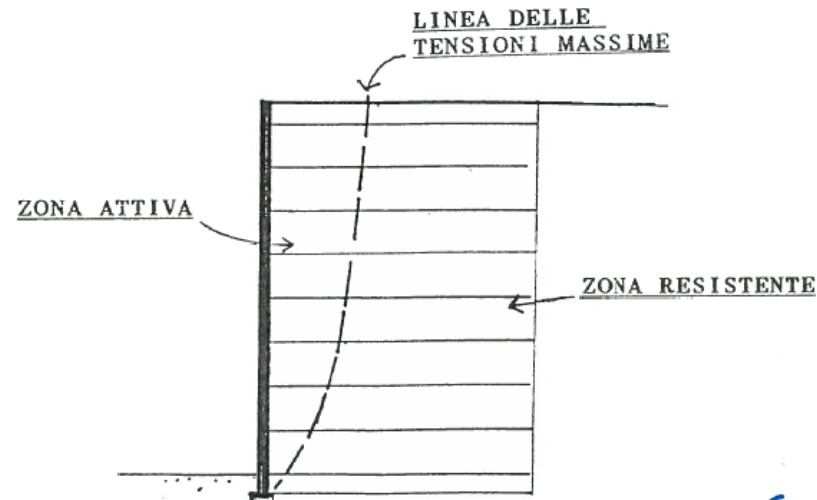




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: PRINCIPIO ATTRITIVO TERRENO-RINFORZO

LA LINEA DI SEPARAZIONE TRA QUESTE DUE
ZONE DEFINISCE LA LINEA DI POTENZIALE
ROTTURA DELL' AMMMASSO, ED E' ANCHE LA
LINEA CHE DEFINISCE I PUNTI IN CUI OGNUNA
DELLE ARMATURE E' SOTTOPOSTA ALLA MASSIMA
TENSIONE DI TRAZIONE

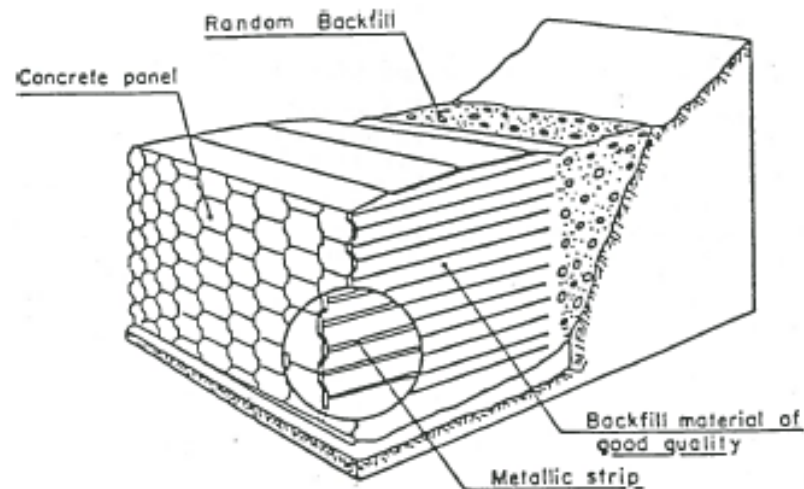




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

COMPONENTI DELLE TERRE RINFORZATE, TERRE ARMATE

- TERRE O MATERIALI ADATTI ALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE IN TERRA RINFORZATA
- RINFORZI COSTITUITI DA INCLUSIONI DI DIVERSA NATURA (NATURALE, ARTIFICIALE)
- PARAMENTO (CALCESTRUZZO ARMATO, RETI, GEOSINTETICI, ECC)





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE DA UTILIZZARE

MATERIALI ORTODOSSO ⇒ Sempre utilizzabili

MATERIALI INTERMEDI ⇒ Utilizzabili con opportune precauzioni

MATERIALI FINI ⇒ Utilizzabili eccezionalmente e con particolari trattamenti



PROBLEMI POSTI DALL'UTILIZZAZIONE DI MATERIALI FINI NELLE TERRE RINFORZATE

Attrito terreno – armatura ⇒ Riduzione dovuta alle parti fini e variabilità in funzione del contenuto d'acqua

Sforzi nelle armature ⇒ Effetti a breve termine – effetti a lungo termine

Deformazioni accentuale ⇒ Fluage dei materiali fini

Problemi di messa in opera ⇒ Contenuto d'acqua elevato

Durabilità ⇒ Aggressività dei materiali fini generalmente superiore a quella dei materiali a grana grossa



Per materiali intermedi e fini occorre eseguire prove di classificazione, analisi granulometriche e sedimentometria, prove per la determinazione dei Limiti di Atterberg, prove di taglio rapido su materiale saturo, prove triassiali con misura delle pressioni interstiziali per la misura dell'angolo di resistenza a taglio a lungo termine, prove edometriche sul materiale compattato per analizzare la deformabilità.

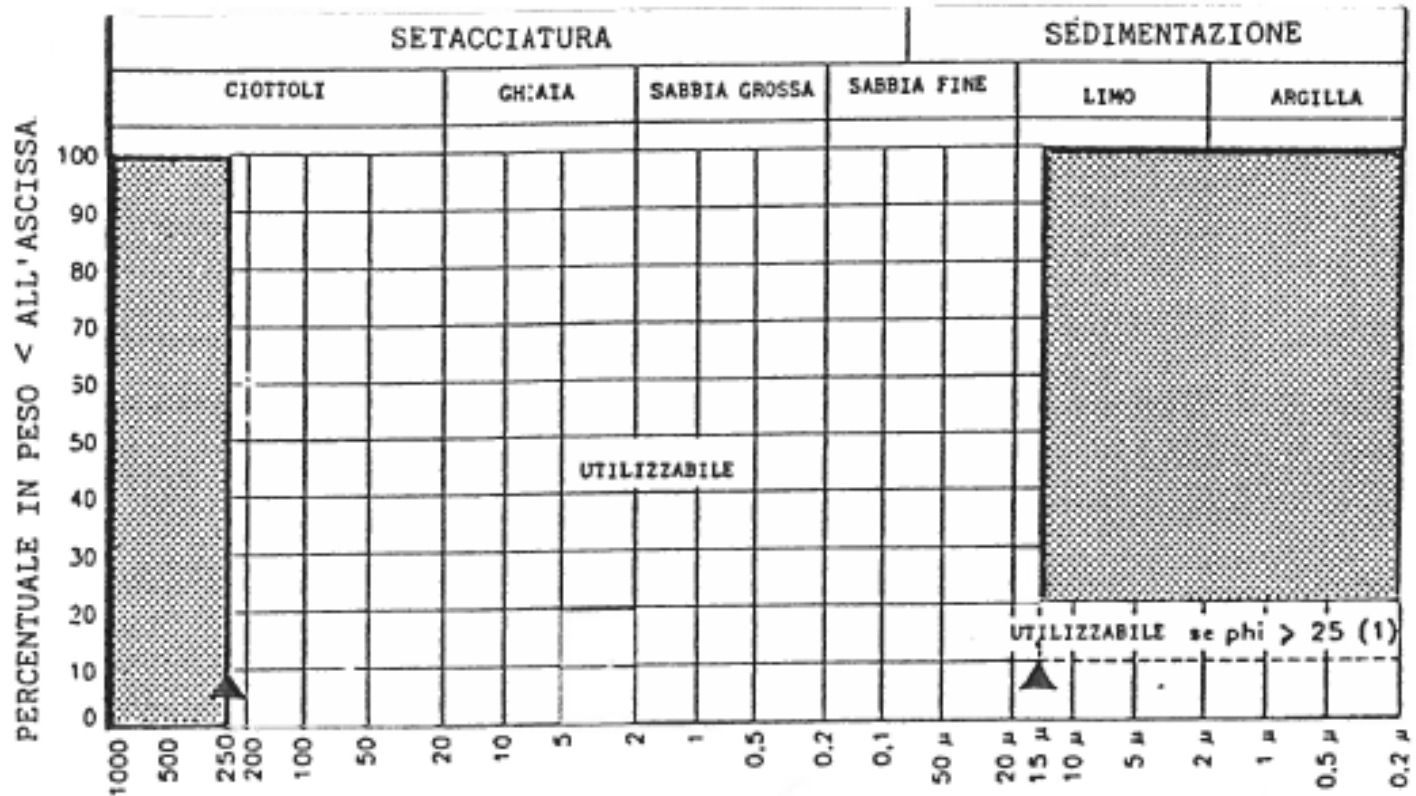
Interventi di miglioramento delle terre a grana fine per ridurre gli effetti negativi elencati



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE DA UTILIZZARE

Materiale ortodosso - Granulometria





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE DA UTILIZZARE

Esempio: terreno da utilizzare per la costruzione di un rilevato

Terreno:

- Caratteristiche fisiche: terre appartenenti ai gruppi A1-a; A1-b; A3; A2-4; A2-5 (CNRUNI10006/1963)
- Il terreno di riempimento dovrà avere una %le di passante al setaccio da 80micron (0,08mm) < 15%
- I terreni che hanno il passante al 80micron superiore ad 15% possono essere utilizzati quanto:
 - b-1) la %le del campione esaminato per sedimentazione passante al vaglio di 15 micron è < al10%
 - b-2) la %le sulle prove realizzate per sedimentazione rimane compresa tra il 10% ed il 20% e l'angolo di attrito interno misurato con prove di taglio su campioni saturi è superiore a 25°.
- Il terreno di riempimento non deve contenere elementi con diametro equivalente > di 25cm.
- Il rilevato può essere alleggerito con strati di argilla espansa con le seguenti caratteristiche: granulometria minore di 25cm, peso di volume umido compreso tra 7 ed 8 kN/m³.
- Resistività: il valore di resistenza del materiale saturo dopo un'ora di contatto terra-acqua alla temperatura di 20° sarà superiore a 1.000 OhMcm per opere a secco e 3.000 OhM cm per opere inondabili.
- I terreni devono essere controllati in ordine alla attività ioni idrogeno (pH) compreso tra 5 e 10. I Sali solubili devono essere contenuti (cloruri, solfati).



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: SCELTA DEI RINFORZI - ARMATURE

POLIESTERE E POLIMERI ⇒ decadimento per ossidazione da raggi UVA, Idrolisi, Scarsa resistenza alle sollecitazioni meccaniche

POLIETILENE: ⇒ decadimento per «creep»

ALLUMINIO: ⇒ decadimento per corrosione localizzata (pitting)

ACCIAIO INOX: ⇒ decadimento per corrosione localizzata

ACCIAIO ZINCATO: ⇒ decadimento per corrosione uniforme su tutta la superficie



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: RINFORZI METALLICI -CARATTERISTICHE

ARMATURE AD ADERENZA MIGLIORATA RINFORZATE (HAR) 45x5

1. METALLO DI BASE

Acciaio FE52 conforme alle norme UNI 7070-82 e adatto ad essere zincato

- Resistenza alla rottura : ≥ 510 MPa
- Limite elastico : ≥ 355 MPa
- Allungamento : $\geq 22\%$

2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Spessore nominale	: sezione corrente	$e = 5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$
	: rinforzo	$E = (e + 3) \text{ mm} + 0.3 / - 0\text{mm}$
Larghezza nominale	: sezione corrente	$b = 45\text{mm} + 1.5\text{mm} / -0.5\text{mm}$
	: rinforzo	$B = b - 4\text{mm (max)}$
Lunghezza	: da progetto	Tolleranza: $L = L_{\text{nom}} (+0.30 / - 0.20) \text{ m}$



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: RINFORZI METALLICI

3. CARATTERISTICHE MECCANICHE

Carico minimo a rottura sezione 45x5 : R = 108.94 KN

Carico minimo alla rottura all'attacco : R = 109.39 KN

Allungamento minimo alla rottura su base di 500 mm : 9%

4. TRATTAMENTO SUPERFICIALE (QUANDO PREVISTO)

Zincatura a caldo. Rivestimento di zinco = 5 g/dm^2 (circa 70 micron minimo garantito) su tutto lo sviluppo superficiale

5. NATURA DEI CONTROLLI - CERTIFICATI DI CONFORMITÀ

Verifiche dell'attestato di conformità all'ordine

Verifica delle caratteristiche geometriche

Verifica dello spessore di zinco:

- puntualmente con una prova non distruttiva
- per dissoluzione del rivestimento se la prova non distruttiva mette in mostra degli spessori inferiori a 50 micron

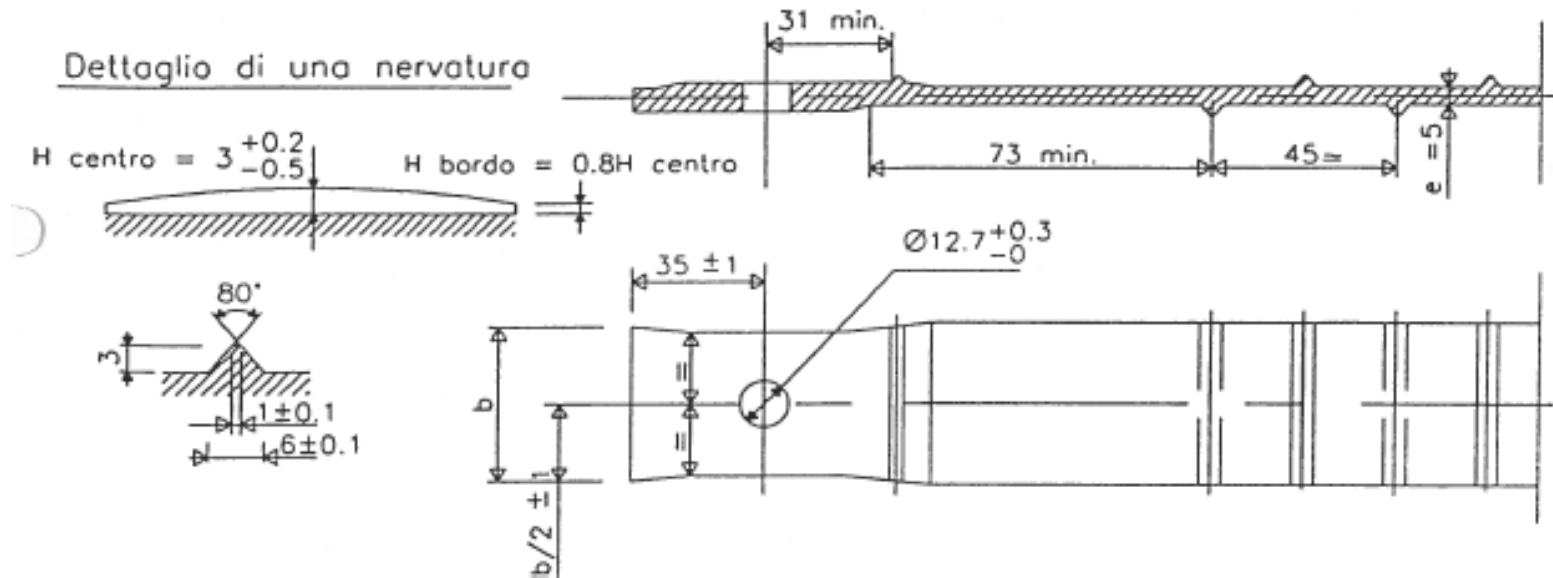
6. MARCHIATURA

Sigla T.A. in rilievo su una faccia ogni metro circa



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

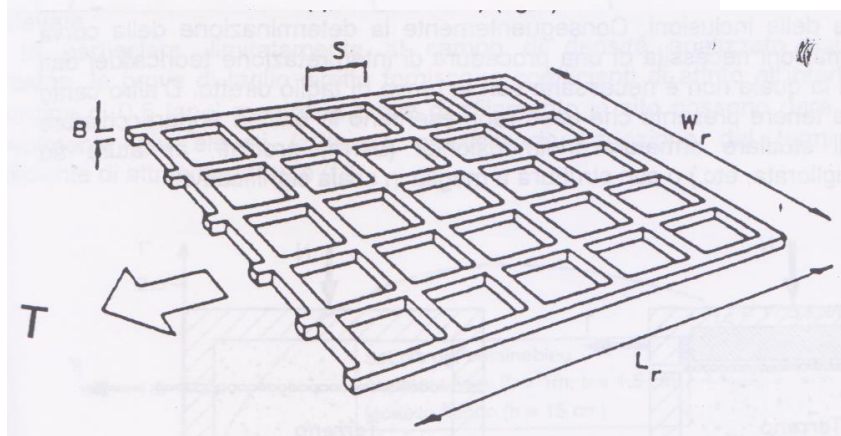
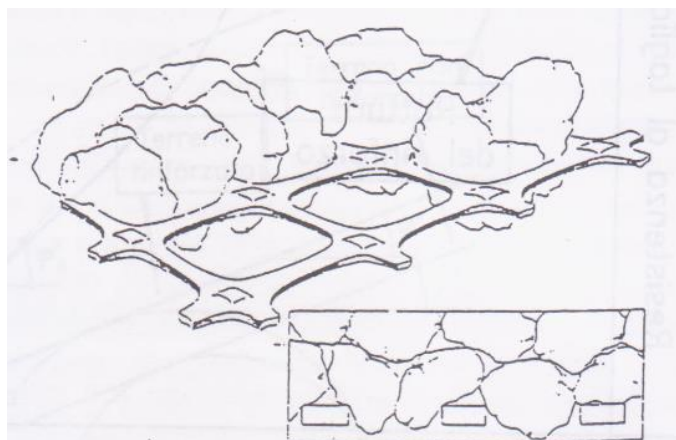
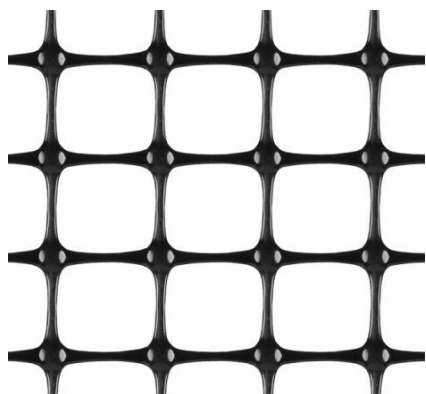
PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: RINFORZI IN METALLO





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: RINFORZI CON RETI METALLICHE, GEOGRIGLIE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: TIPOLOGIE DI PARAMENTO

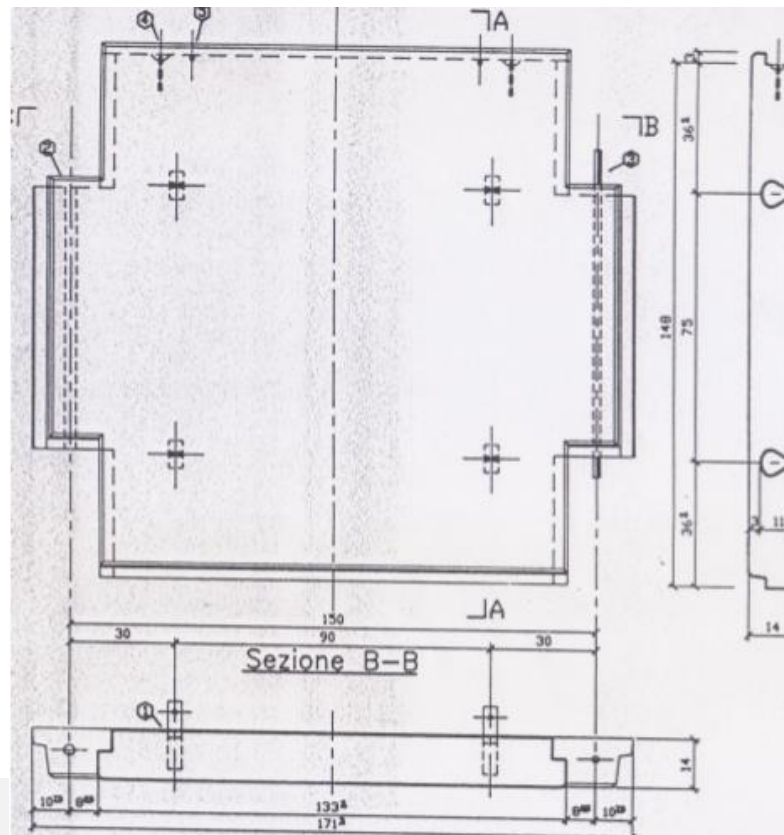
- ELEMENTI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO ARMATO
- MURI VERDI
- TERRE VERDI



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: TIPOLOGIE DI PARAMENTO

- ELEMENTI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO ARMATO

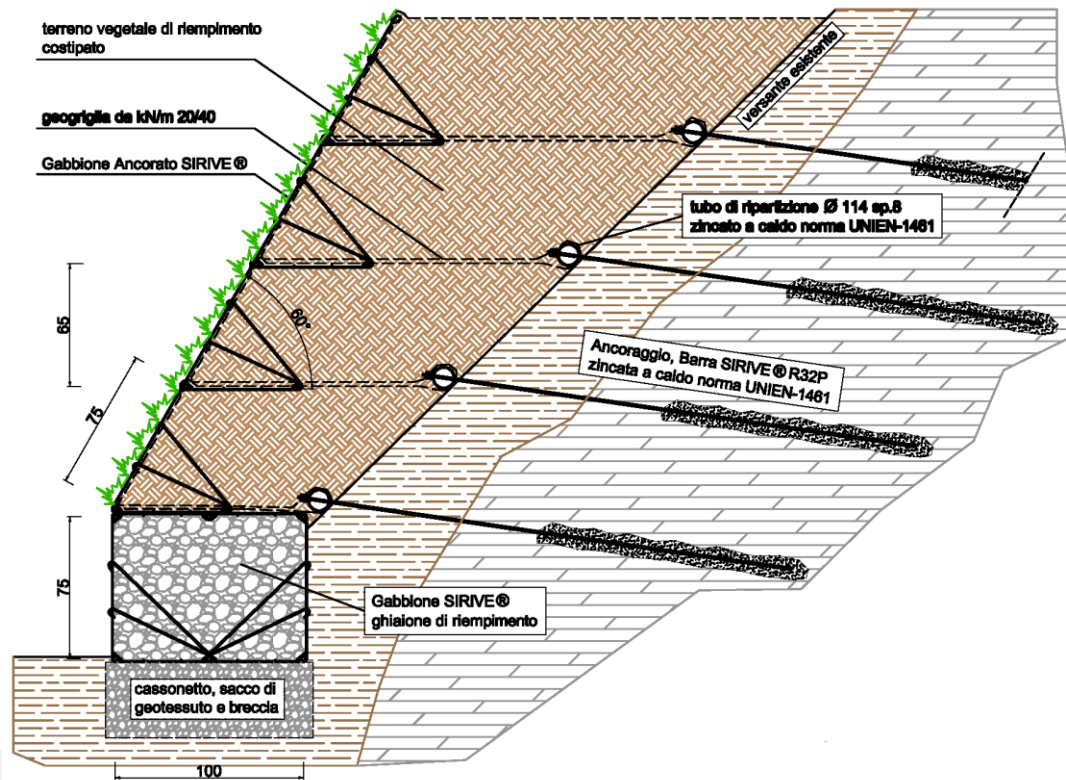




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: TIPOLOGIE DI PARAMENTO

- TERRA VERDE

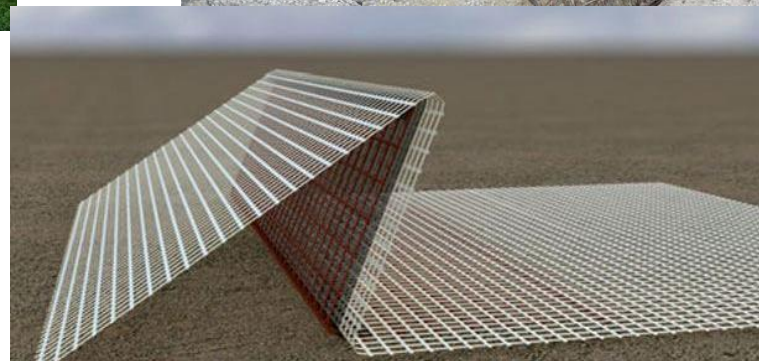




TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: TIPOLOGIE DI PARAMENTO

- TERRA VERDE ED ALTRE TECNICHE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: ARMATURE METALLICHE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: TELI DI GEOGRIGLIE (GEOSINTETICI)





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: TELI DI GEOGRIGLIE (GEOSINTETICI)





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: PANNELLI IN C.A. CRUCIFORMI





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: PANNELLI DI CHIUSURA IN C.A. CON DISEGNO ARCHITETTONICO





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

MODALITA' DI MESSA IN OPERA: FASI COSTRUTTIVE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: DURATA DI ESERCIZIO DELLE OPERE

OPERE PROVVISORIE \Rightarrow Durata \leq 5 anni

OPERE TEMPORANEE \Rightarrow Durata \leq 30 anni

OPERE PERMANENTI \Rightarrow **Ordinarie** durata \leq 70 anni
Speciali durata \leq 100 anni

La durata di esercizio richiesta all'opera influisce, in sede di progettazione, sulla scelta del tipo e dimensioni del rinforzo:

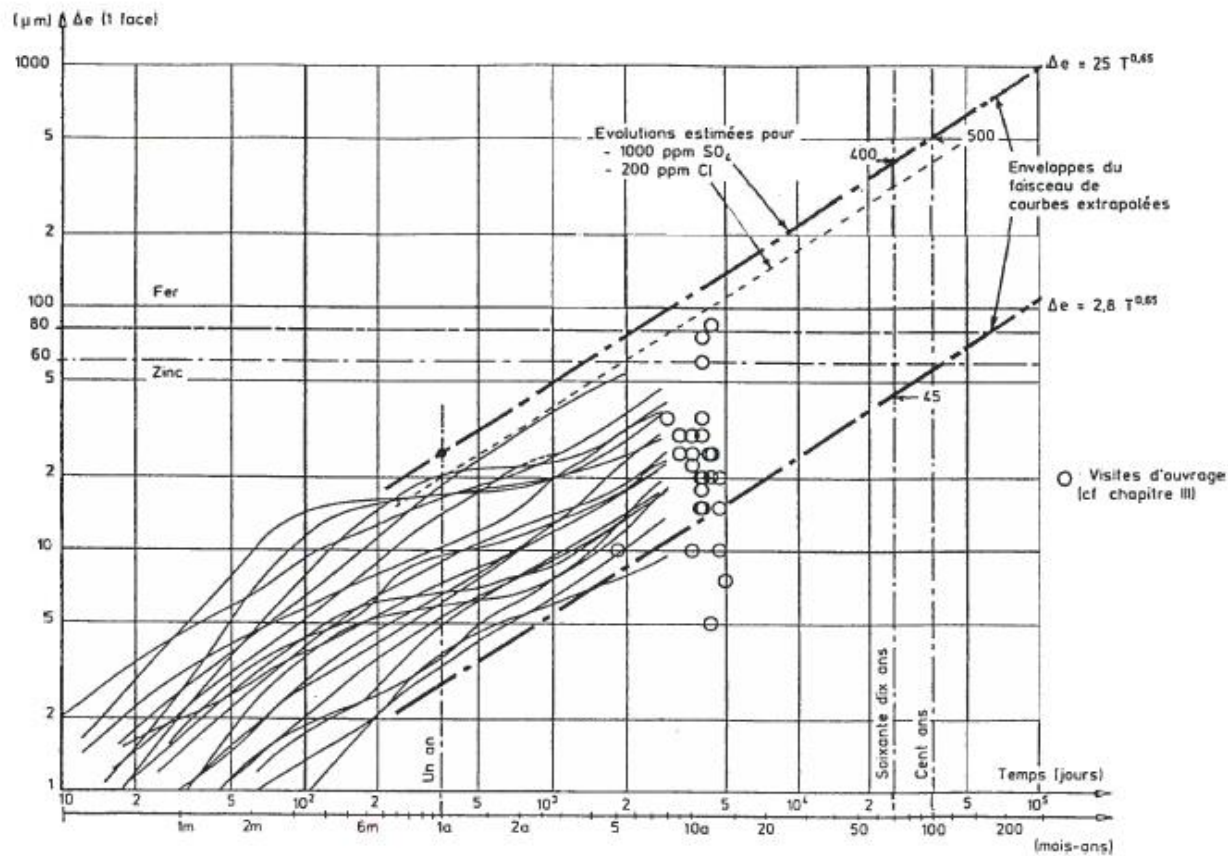
- ❖ Ambiente aggressivo
- ❖ Materiale componente il rinforzo
- ❖ Corrosione
- ❖ Alterazione

Si interviene scegliendo il tipo di rinforzo in funzione dell'ambiente ed assumendo **sezioni maggiorate** dei rinforzi **sovraspessore** rispetto allo spessore di calcolo .



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PROGETTO DELLE TERRE RINFORZATE: DURATA DI ESERCIZIO DELLE OPERE





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

IL MECCANISMO DELLE TERRE RINFORZATE SI BASA FONDAMENTALMENTE SUL:

PRINCIPIO ATTRITIVO TERRA-RINFORZO

Il funzionamento delle opere in terra rinforzata è stato elaborato sull'analisi di **opere in vera grandezza** opportunamente strumentate.

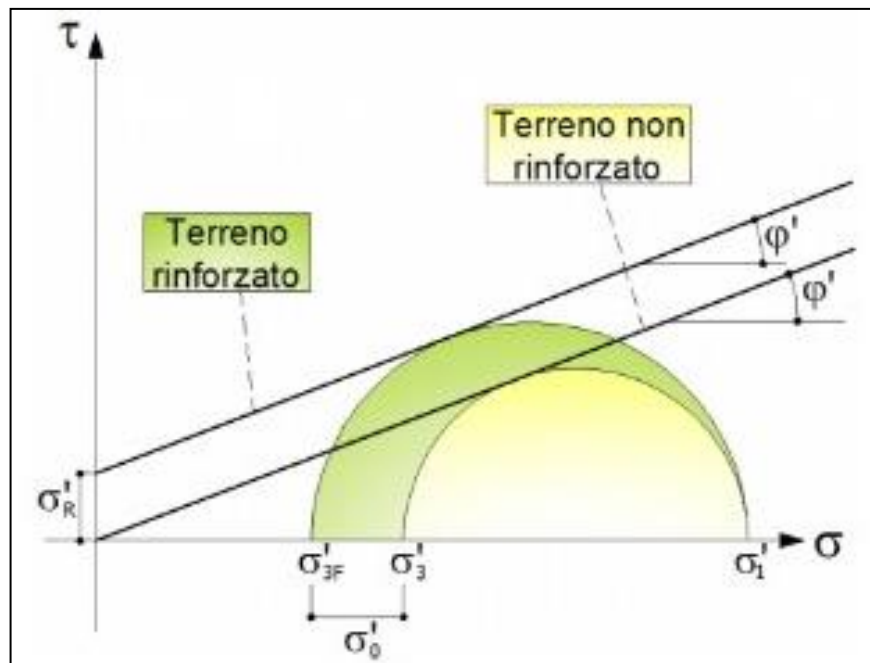
Il funzionamento delle opera in terra rinforzata è stato anche analizzato si **modelli fisici in scala ridotta** o riportati alla scala reale mediante l'amplificazione del campo gravitazionale (prove in centrifuga).



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

Facendo riferimento ad una prova triassiale di compressione per scarico a tensione verticale σ_1' costante e considerando l'effetto del rinforzo come una tensione equivalente di confinamento agente nella direzione del rinforzo e dovuta alle tensioni tangenziali di interfaccia, a rottura del terreno rinforzato il cerchio di Mohr considerato come mezzo omogeneo equivalente, rispetto a quello del terreno non rinforzato, risulta caratterizzato da un valore di σ_3' minore





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

Nel caso di inclusioni FLESSIBILI (strisce o reti metalliche, teli o geogriglie di geosintetici) il meccanismo di interazione riguarda essenzialmente lo sviluppo di **tensioni tangenziali di attrito al contatto armatura –terreno**.

Tale meccanismo può essere **analizzato considerando due criteri**:

DISCRETO O LOCALE (riconduce il problema all'analisi del comportamento di una sottile zona di terreno posta nell'immediata prossimità della superficie di contatto con l'armatura (interfaccia))

GLOBALE O OMOGENEO: fa riferimento al comportamento meccanico globale di un volume rappresentativo di terreno rinforzato considerato come materiale «omogeneo» equivalente.



LO STUDIO DELL'INFLUENZA ESERCITATA DAI RINFORZI VIENE SVOLTO CON RIFERIMENTO AD ENTRAMBI GLI ASPETTI

**LABORATORIO GEOTECNICO
IN CAMPO SU CAMPIONI RAPPRESENTATIVI**



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

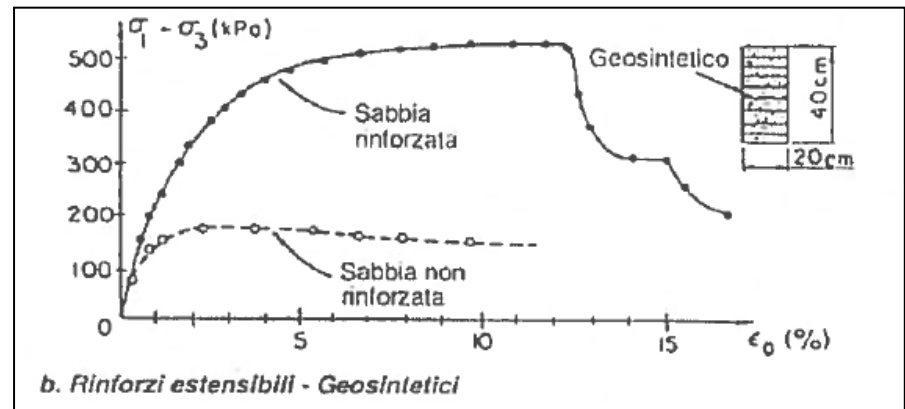
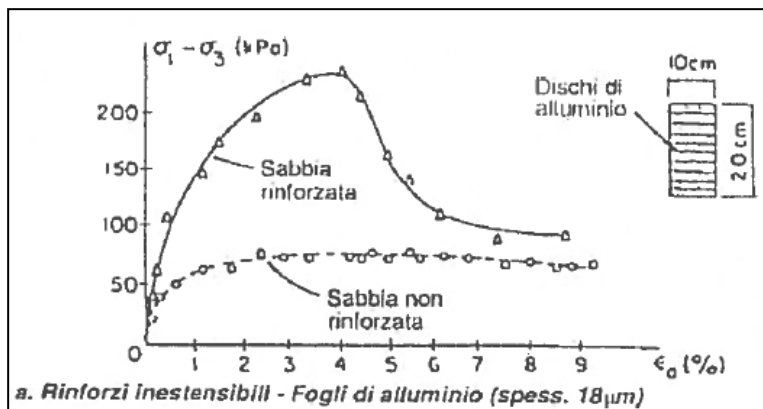
PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

COMPORTEMENTO MECCANICO GLOBALE

Il terreno rinforzato è inteso come materiale composto omogeneo di caratteristiche fittizie: ϕ^* ; c^* .

Per potere considerare la terra rinforzata come materiale omogeneo di caratteristiche meccaniche fittizie ϕ^* ; c^* sono state realizzate diverse prove in scala reale e sono state eseguite prove triassiali in laboratorio su terreni tal quali e su terreni con rinforzi, anche in condizioni sismiche.

Schlösser e Long (1972) eseguirono per primi sperimentazioni su materiale composito: terra e dischi di alluminio. Dalle prove triassiali che eseguirono individuarono che i rinforzi esplicavano un'azione di confinamento laterale sul campione conferendo al campione stesso una maggiore resistenza.





TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

Si distinguono due meccanismi di collasso:

- Rottura del rinforzo
- Sfilamento del rinforzo:

Il terreno rinforzato esibisce un valore dell'angolo di resistenza a taglio maggiore di quello relativo al solo terreno

Per elevati valori di σ_3' l'angolo di attrito risulta pari a quello del terreno naturale mentre appare un termine «coesivo» chiamato coesione anisotropa o apparente legata alla rottura dei rinforzi.

$$c_R = 0,5 R_t (K_p)^{1/2} / h$$

h: interasse dei rinforzi

R_t: Resistenza a trazione dei rinforzi

K_p: coefficiente di spinta passivo del terreno

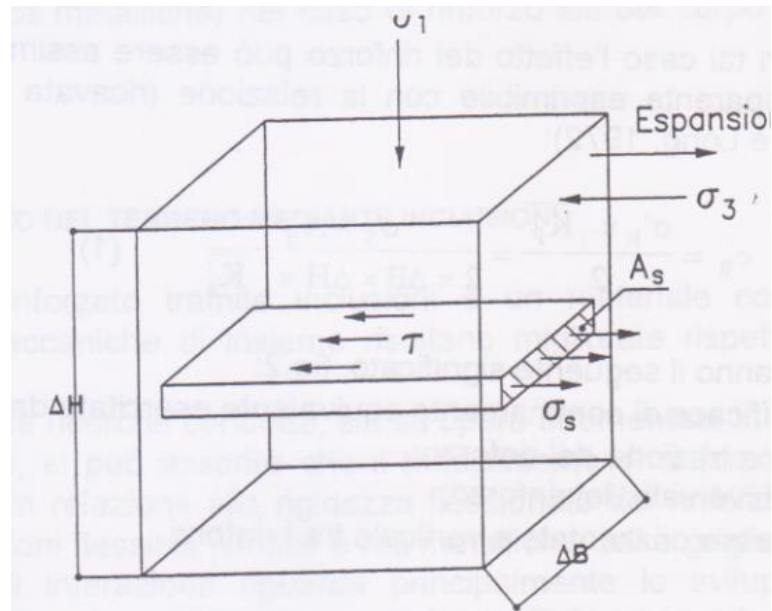


Fig.2 Schema di rottura per trazione del rinforzo.

TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

Si distinguono due meccanismi di collasso:

- Rottura del rinforzo
- Sfilamento del rinforzo:

Il terreno rinforzato esibisce un valore dell'angolo di resistenza a taglio maggiore di quello relativo al solo terreno

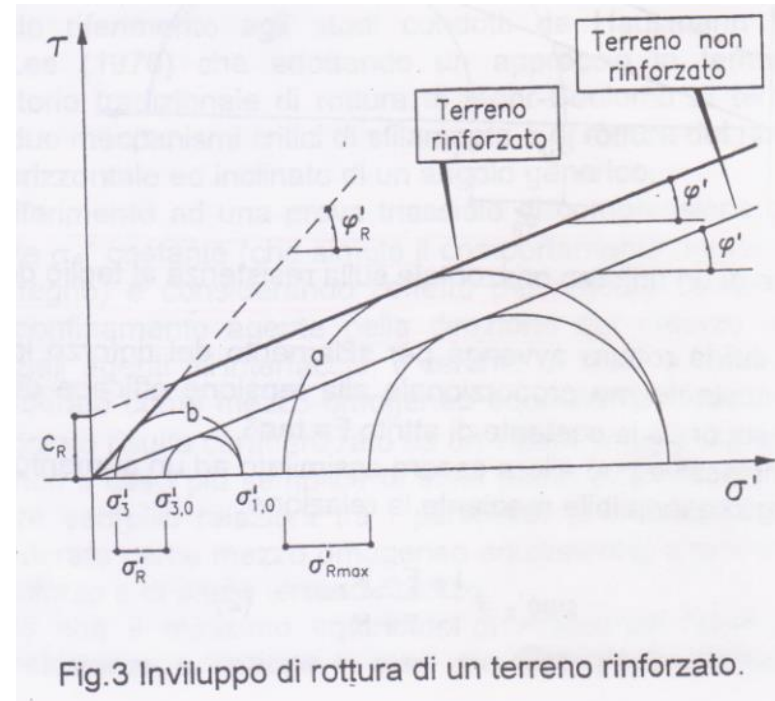
Per elevati valori di σ_3' l'angolo di attrito risulta pari a quello del terreno naturale mentre appare un termine «coesivo» chiamato coesione anisotropa o apparente legata alla rottura dei rinforzi.

$$c_R = 0,5 R_t (K_p)^{1/2} / h$$

h: interasse dei rinforzi

R_t: Resistenza a trazione dei rinforzi

K_p: coefficiente di spinta passivo del terreno



Nel caso in cui la rottura avvenga per filamento del rinforzo, lo sforzo σ_R' risulta non più costante ma proporzionale alla tensione efficace ortogonale al rinforzo secondo la costante $F = \tan \delta$. L'effetto complessivo è assimilato ad un aumento dell'angolo di resistenza a taglio: $\sin \phi'_R = (1 + F - K_a) / (1 - F + K_a)$



TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE: CRITERI DI CALCOLO

COMPORTEMENTO MECCANICO GLOBALE

La **ZONA1** che si esplica alle basse pressioni efficaci di confinamento può essere schematizzata con un tratto rettilineo passante per l'origine con una inclinazione maggiore di quella relativa al solo terreno. In tale zona il meccanismo critico è lo **SFILAMENTO DEL RINFORZO**.

La **ZONA2** che si verifica alle tensioni efficaci di confinamento più elevate è schematizzabile con un tratto rettilineo parallelo all'involuppo di rottura del terreno non rinforzato ma dotato di intercetta di coesione efficace. In tale zona la condizione critica si manifesta per **ROTTURA DEL RINFORZO**

Rinforzo inclinato

Nel caso di rinforzo inclinato di un angolo β sulla orizzontale è possibile ricavare relazioni simili per $\beta=0$. Il risultato più interessante è rappresentato dalla Dipendenza della resistenza a taglio del materiale composito dall'inclinazione del rinforzo rispetto alla orizzontale. Anisotropia del comportamento a rottura del materiale composito

