



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA
Corso di aggiornamento professionale

“Progettazione geotecnica secondo le NTC 2008”

Pistoia, 13 maggio-24 giugno 2011

L'utilizzo dei materiali sintetici nelle applicazioni geotecniche: definizioni, materiali e aspetti teorici

Dott. Geol. Roberto More'

*Aula Polivalente del Seminario Vescovile
Via Puccini, 36 - Pistoia*

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Via Panciatichi, 11 – 51100 Pistoia
Tel. 0573 25931 - fax 0573 24383

info@ordineingegneri.pistoia.it

www.ordineingegneri.pistoia.it





Strutture prefabbricate, fornite in rotoli, fogli o pannelli, utilizzati in applicazioni di ingegneria geotecnica, ambientale, idraulica e dei trasporti.

(I.G.S. – International Geosynthetics Society)



I GEOSINTETICI si differenziano per la loro STRUTTURA in:

- Geotessili**
- Geogriglie**
- Georeti**
- Geocompositi per drenaggio**
- Geostuoie**
- Geocelle**
- Geocompositi bentonitici**
- Geomembrane**

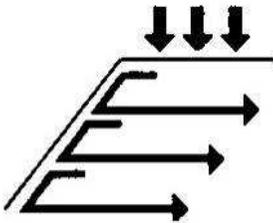


o per la loro **FUNZIONE:**

- Rinforzo (pendii – terreni soffici)**
- Controllo erosione**
- Filtrazione**
- Drenaggio**
- Separazione**
- Protezione**
- Impermeabilizzazione**
- Confinamento**



Tabella di classificazione dei geosintetici

FUNZIONE	SIMBOLOGIA	SCOPO	PRODOTTI IDONEI
Rinforzo pendii		Fornire forze di trazione al terreno	Geogriglie mono-orientate; geotessili



Geogriglie

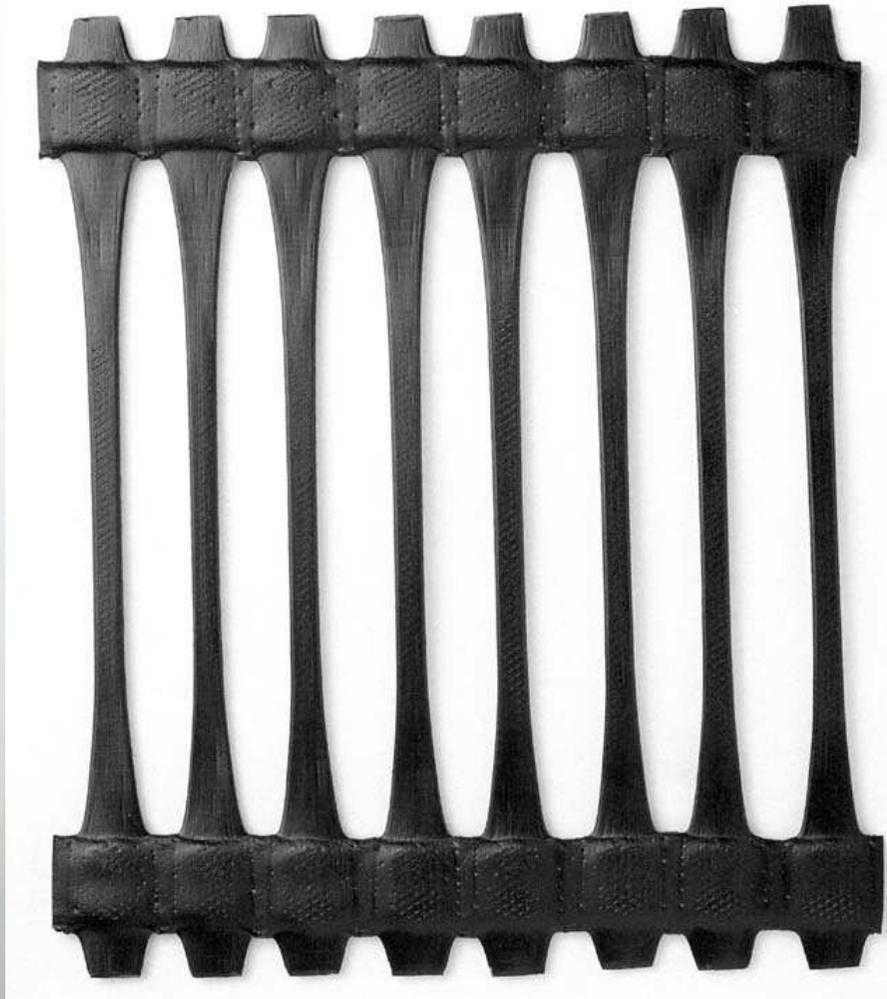
Strutture piane realizzate con materiali polimerici (in genere polietilene ad alta densità, polipropilene o poliestere) mediante processo di estrusione, tessitura o saldatura di bandelette.

- ❑ **estruse:** geogriglie in HDPE o PP, ottenute per estrusione e successiva stiratura longitudinale (geogriglie mono-orientate) e trasversale (geogriglie bi-orientate);
- ❑ **tessute:** geogriglie ottenute per tessitura a maglia aperta di bande di fili in PET ricoperte con un bagno di PVC;
- ❑ **saldate:** geogriglie prodotte per saldatura di strisce di fili in PET ricoperti da un bagno di LDPE; la saldatura interessa solo lo strato di copertura, i fili di PET non sono collegati tra loro.



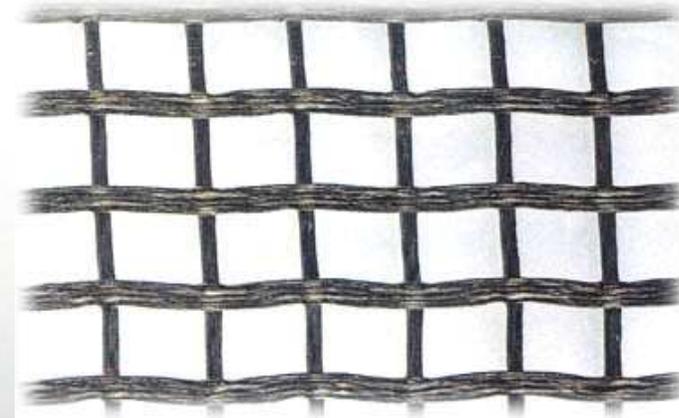
Tipologie di geogriglie

Estruse-Struttura monolitica



Tessute-nodi saldati ad ultrasuoni

Tessute-bandelette intrecciate



Tipi geogriglie



Differenze legate alla struttura

- ❑ **Geotessili nontessuti:** alta deformabilità, scarsi moduli di resistenza alle basse deformazioni, interazione con il terreno per solo attrito (discreti valori di resistenza all'interfaccia), bassa resistenza al danneggiamento, necessità di stabilizzazione agli UV
- ❑ **Geotessili tessuti:** bassa deformabilità, alti moduli di resistenza alle basse deformazioni, interazione con il terreno per solo attrito (basso valore di resistenza all'interfaccia), bassa resistenza al danneggiamento, necessità di stabilizzazione agli UV.
- ❑ **Geogriglie:** bassa deformabilità, alti moduli di resistenza alle basse deformazioni, interazione con il terreno per incastro delle particelle di terreno con le aperture, resistenza al danneggiamento legata alla struttura, alta resistenza ai raggi UV.



	deformabilità	modulo	interazione	danneggiamento	resistenza UV
geotessile nontessuto	red	red	orange	red	orange
geotessile tessuto	green	green	red	red	orange
geogriglie	green	green	green	orange-green	green

 buone prestazioni
 medio-scarse prestazioni
 pessime prestazioni



Differenze dovute al polimero

HDPE è impiegato per geogriglie estruse.

PET è tipicamente impiegato per geogriglie tessute o saldate.

Il **PP** viene impiegato per geogriglie estruse o saldate.

I polimeri differiscono per le proprietà meccaniche, e per la resistenza agli ambienti chimicamente aggressivi.

- **PP**: alti moduli di resistenza al 2% trazione, alta resistenza al danneggiamento, alta resistenza agli agenti chimici, bassa resistenza a lungo termine.
- **HDPE**: discreti moduli al 2%, alta resistenza al danneggiamento, alta resistenza agli agenti chimici, discreta resistenza a lungo termine.
- **PET**: ottimi moduli al 2% ma dopo tensionamento delle fibre, bassa resistenza a danneggiamento (necessaria ricopertura delle fibre), bassa resistenza ad alcuni agenti chimici; ottima resistenza a lungo termine.



	modulo al 2%	resistenza chimica	danneggiamento	creep
POLIPROPILENE	ottimo	ottimo	ottimo	scarso
POLIETILENE AD ALTA DENSITA'	discreto	ottimo	ottimo	discreto
POLIESTERE	ottimo	scarso	scarso	ottimo

	ottimo
	discreto
	scarso



Rinforzo del terreno: accenni di teoria

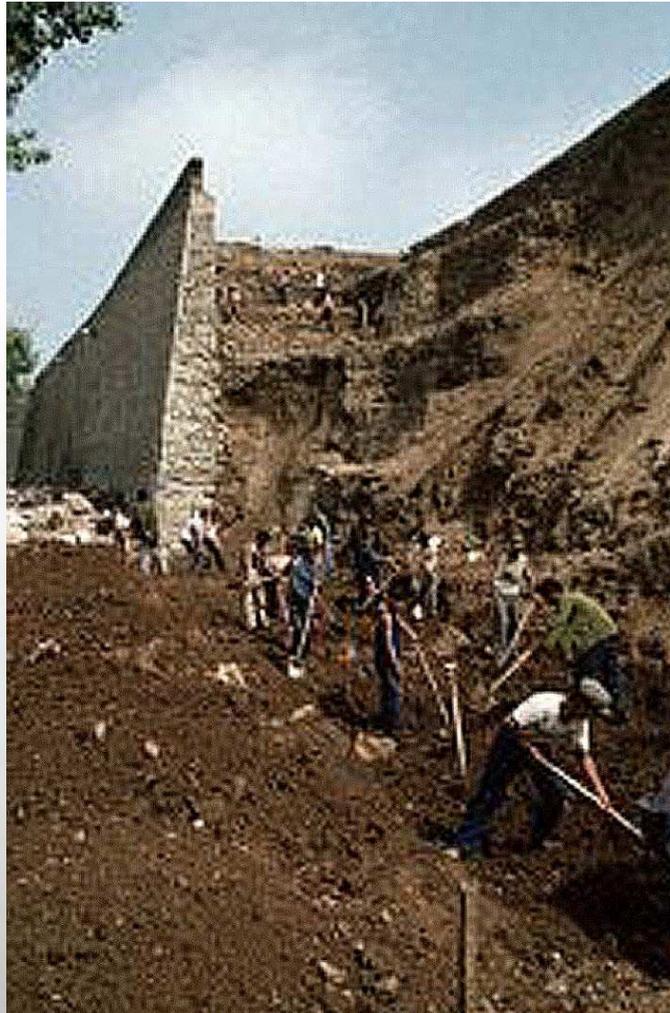
Grazie alla sinergia che si viene a creare tra terreno e rinforzo, l'inserimento di un geosintetico di rinforzo all'interno di un terreno consente un incremento della

- della resistenza a compressione
- resistenza a taglio del terreno



Ziqqurat di
Agar-Quf (IRAQ):
1000 a.C.

Mattoni di argilla
rinforzati con
stuoie di canne,
posate su strati di
sabbia e ghiaia.

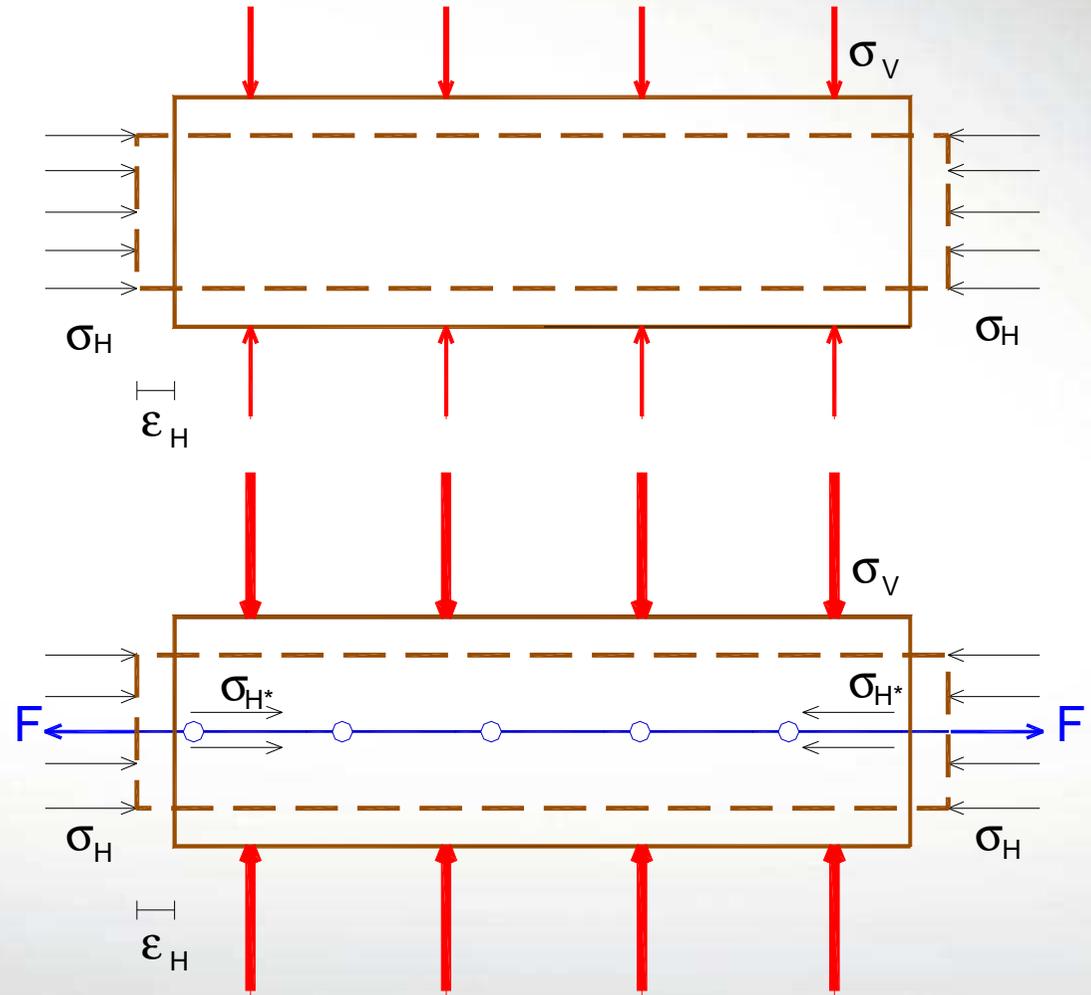
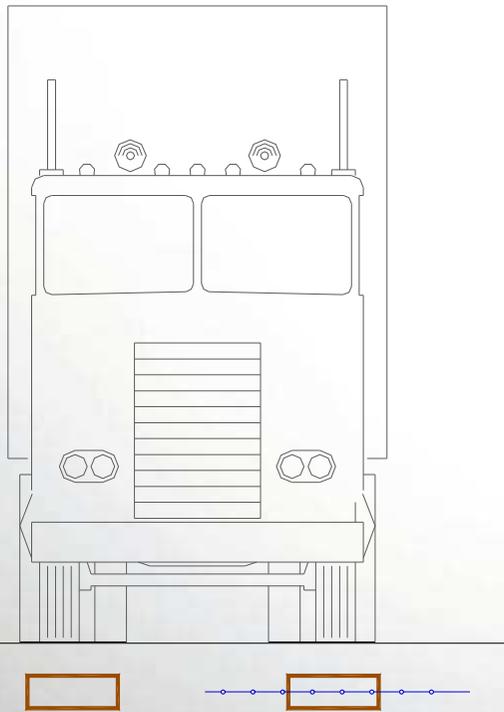


Grande Muraglia Cinese: (200 a.C.)
Argille e ghiaie rinforzate con rami di tamerice.



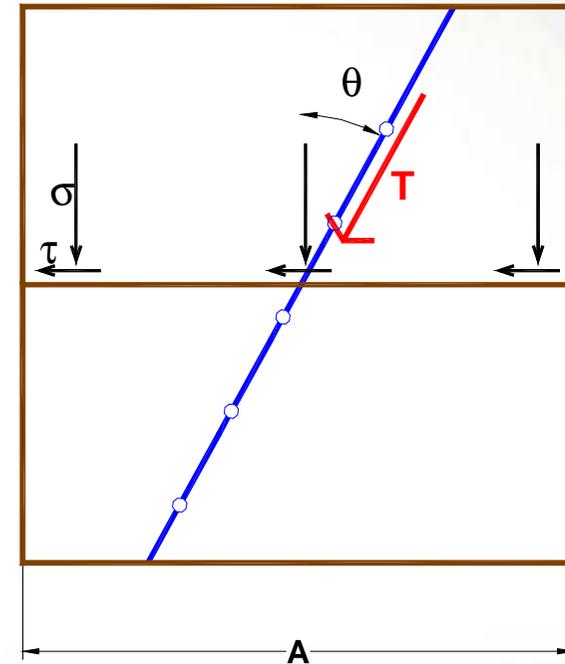
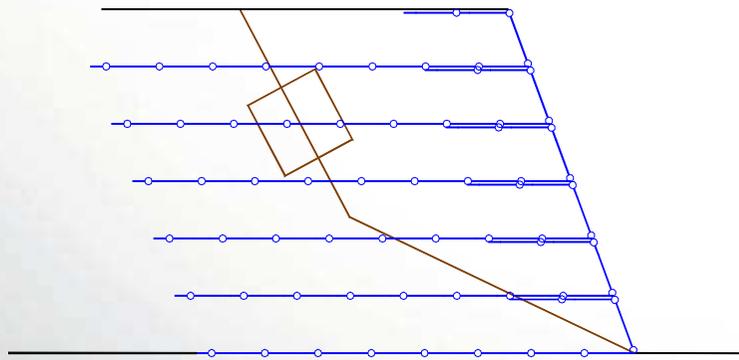


Incremento della resistenza a compressione





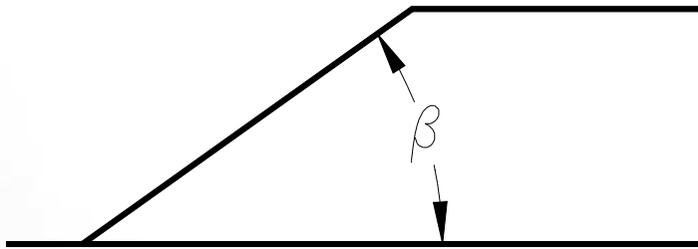
Incremento della RESISTENZA A TAGLIO



$$(\tau_{yxr})_{\max} = \sigma_{yr} \cdot \tan \phi_{\max} + (T/A) \cos \theta \tan \phi_{\max} + (T/A) \sin \theta$$



Pendio ripido



MATERIALE ARIDO

β_{lim} = angolo limite

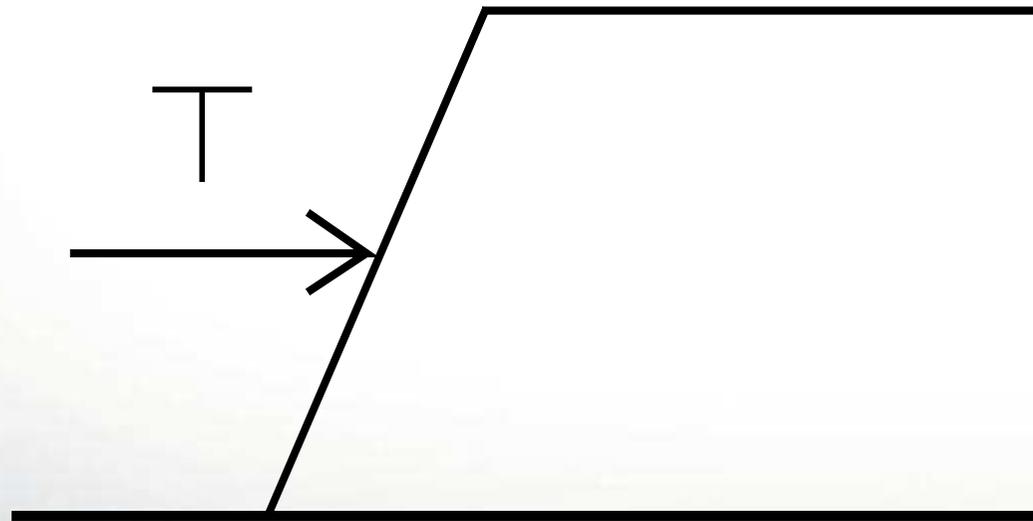
ϕ = angolo attrito interno

$\beta_{lim} = \phi$

Se: $\beta < \beta_{lim}$: pendio naturale
 $\beta_{lim} < \beta < 90^\circ$: pendio ripido
 $\beta = 90^\circ$: muro



Per garantire la stabilità di un pendio ripido o di un muro di altezza H , è necessario fornire allo stesso un forza aggiuntiva





La forza addizionale T funzione

- ❑ della geometria del manufatto e del versante (altezza ed inclinazione)
- ❑ delle proprietà meccaniche del terreno
- ❑ delle pressioni idrostatiche
- ❑ dai carichi applicati (uniformemente distribuiti – sovraccarico stradale concentrati – trasmessi dal guardrail in caso di impatto- carichi dinamici di tipo sismico)
- ❑ dal modello di calcolo utilizzato

ANALISI LIMITE

Definizione di una superficie di rottura:

Spezzata lineare

Circolare (es: Bishop)

Spirale logaritmica (es: Leschinsky)



VERIFICHE DI STABILITA'

☐ STABILITA' INTERNA

Lunghezza e resistenza minima dei rinforzi affinché le terre rinforzate possano essere considerate come un blocco rigido

☐ STABILITA' ESTERNA

Verifica alla rotazione

Verifica alla traslazione

Verifica di capacità portante

☐ STABILITA' GLOBALE



VERIFICHE DI STABILITA' INTERNA

Calcolo della tensione necessaria

Le verifiche vengono effettuate mediante impiego di opportuni software di calcolo.

momento instabilizzante (peso proprio, sovraccarichi, azioni sismiche, pressione interstiziale)

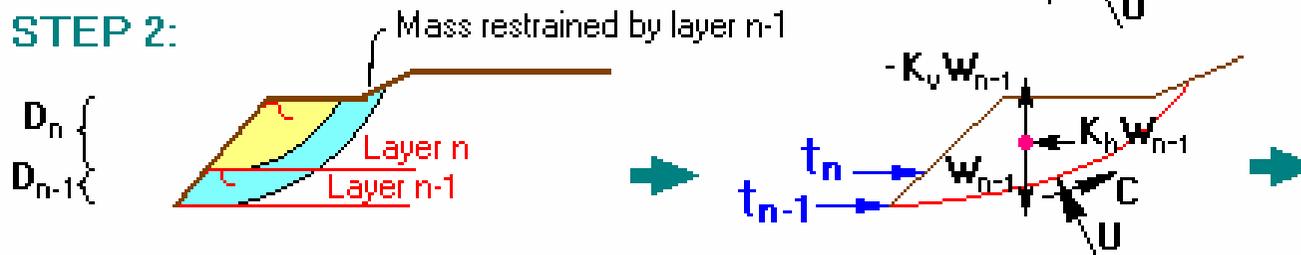
momento resistente: (resistenza terreno e geogriglie).



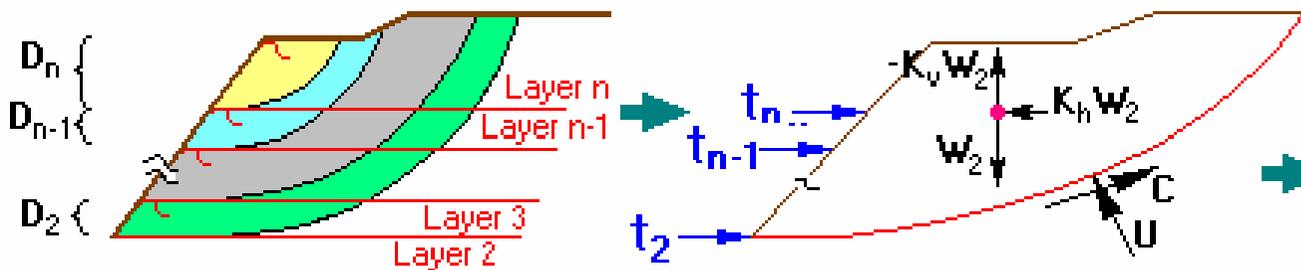
STEP 1:



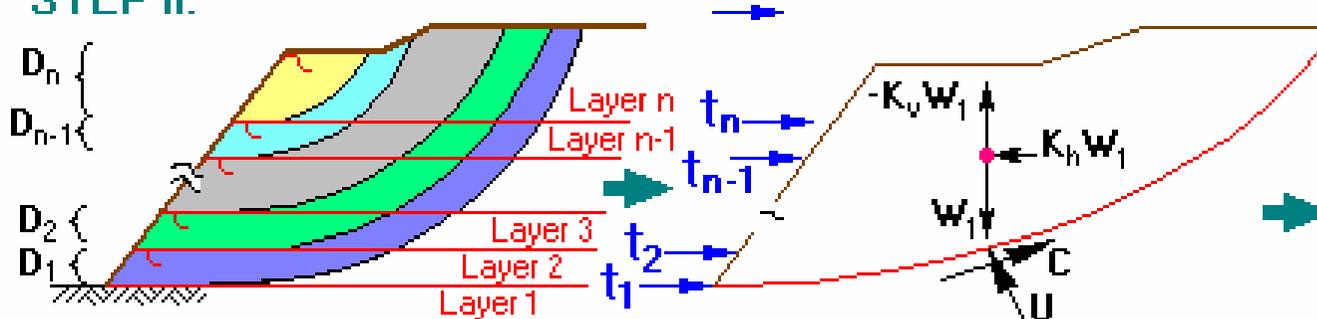
STEP 2:



STEP n-1:



STEP n:

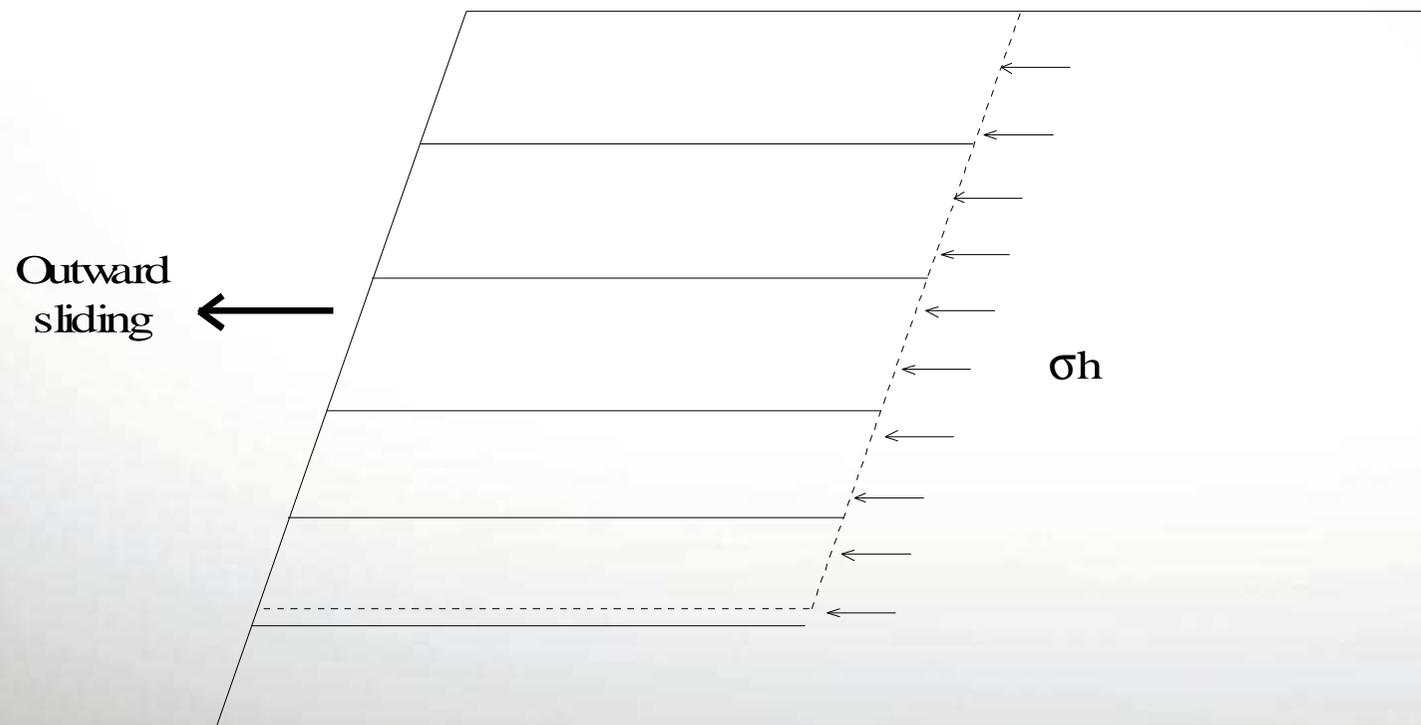




VERIFICHE DI STABILITA' INTERNA:

lunghezza degli elementi di rinforzo -1

ciascuna geogriglia deve avere lunghezza tale da prevenire lo scivolamento del terreno sopra di essa

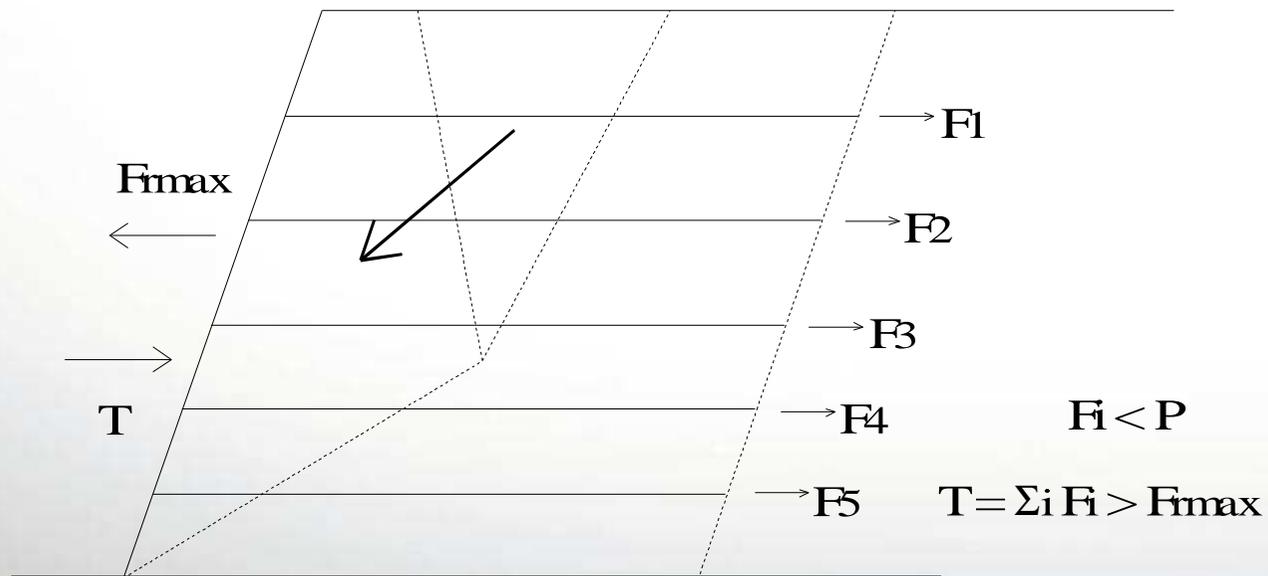




VERIFICHE DI STABILITA' INTERNA:

lunghezza degli elementi di rinforzo - 2

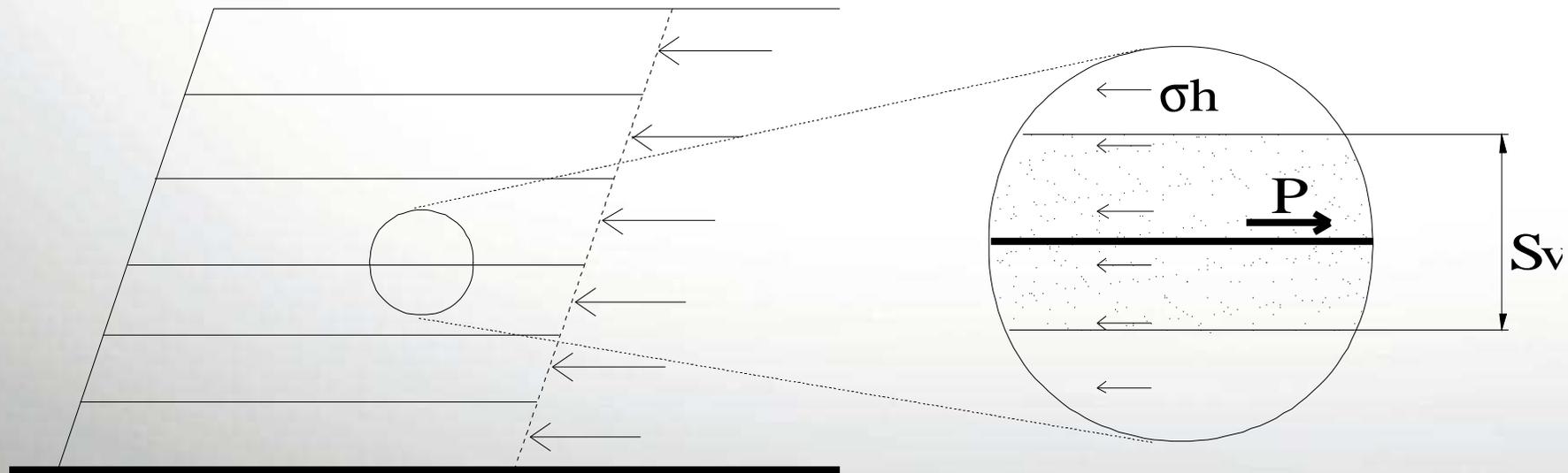
il blocco rinforzato deve "contenere" la superficie critica di rottura;





SCELTA DEL TIPO DI RINFORZO

Le verifiche di stabilità interna hanno fornito, per ogni strato di geogriglia previsto dal progetto, la tensione necessaria. Tale tensione non deve superare la resistenza ammissibile T_D della geogriglia stessa.





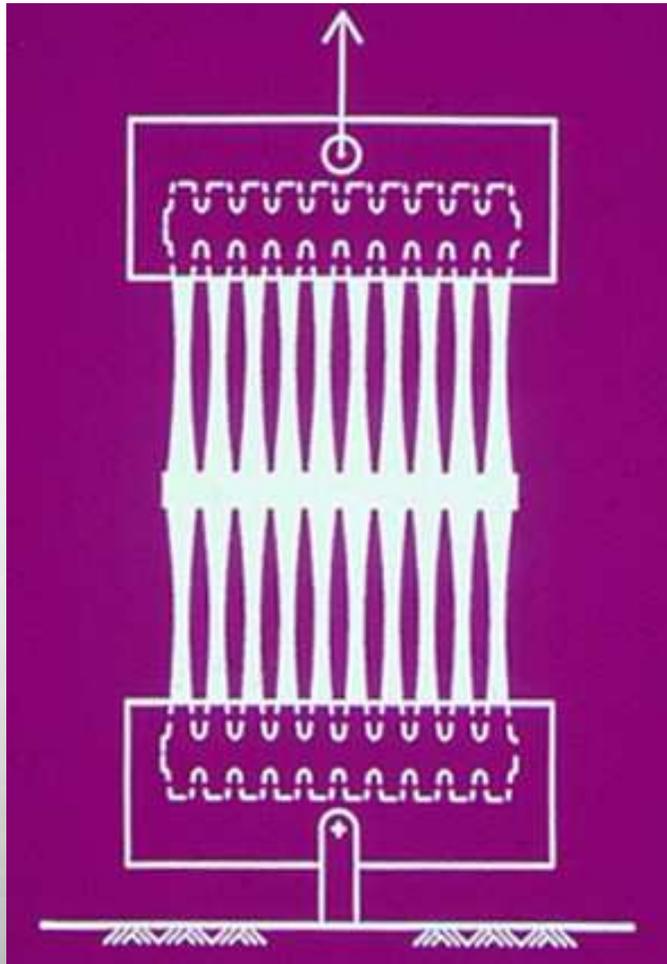
EUROCODICI BS 8006 Strengthened/reinforced soils and other fills (1995)

Forniscono indicazioni circa:

- ❑ La caratterizzazione del terreno e dei carichi applicati nonché di tutti i fattori di sicurezza da applicare per la progettazione di un'opera.
- ❑ Il fattore di riduzione che è necessario applicare alla tensione di picco ***TP*** per poter definire La resistenza di progetto ***TB*** (resistenza di lungo termine)
- ❑ I fattori di sicurezza che devono essere applicati alla resistenza di progetto ***TB*** per poter definire la resistenza ammissibile ***TD***



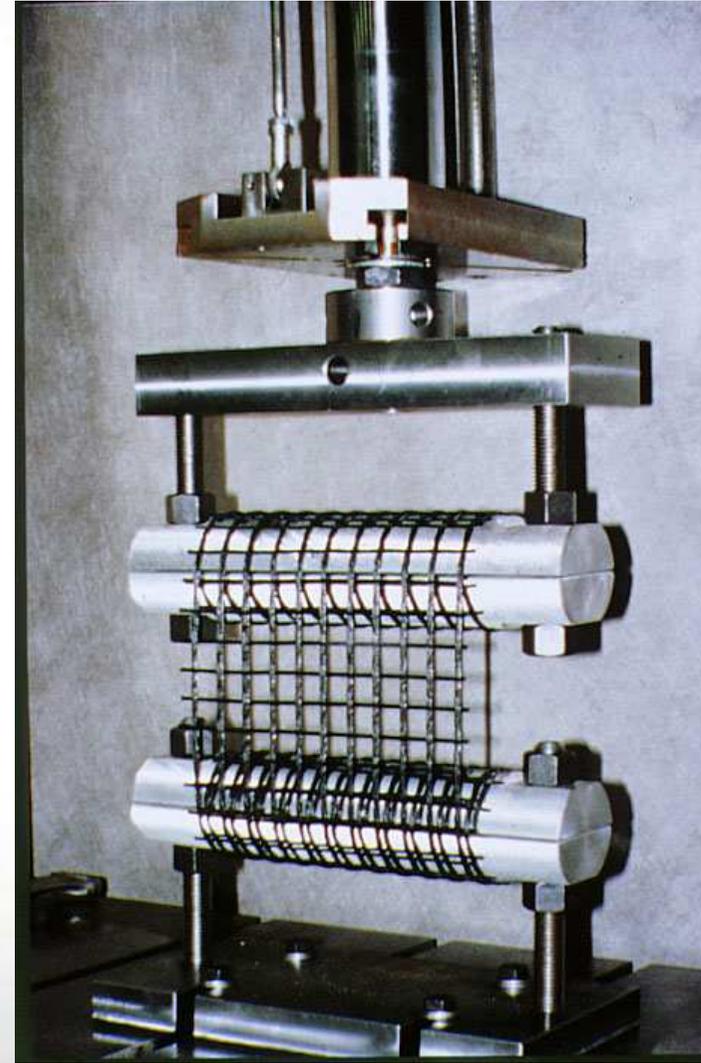
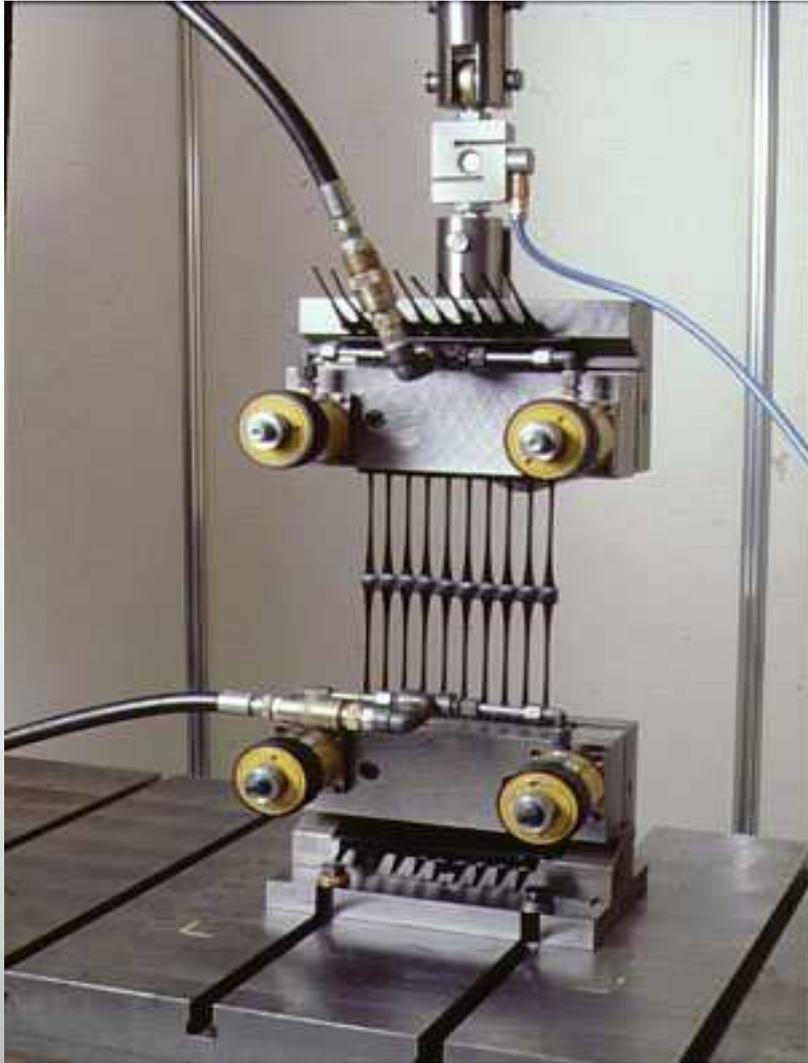
PROVA EN ISO 10319



- ❑ velocità di prova:
20% lunghezza/min
- ❑ dimensione minima del
campione: 200 mm x 100 mm
- ❑ Precarico massimo: 1% del
valore di picco nominale.



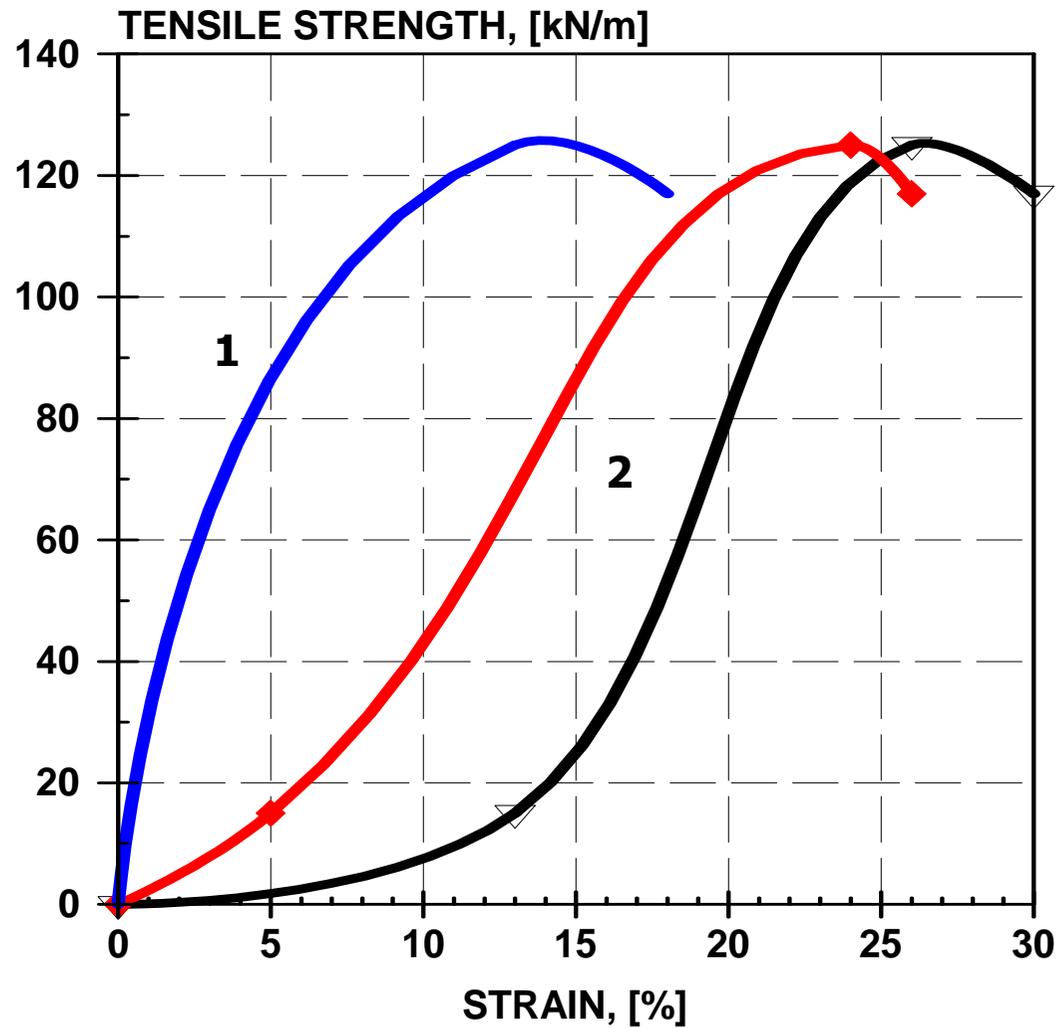
PROVA DI TRAZIONE A BANDA LARGA EN ISO 10319



□ ISO 10319



CURVE DI TRAZIONE



1. CURVA FORZA-DEFORMAZIONE PER GRIGLIE RIGIDE
2. CURVA FORZA-DEFORMAZIONE PER GEOGRIGLIE TESSUTE SENZA PRETESATURA



DEFORMAZIONI

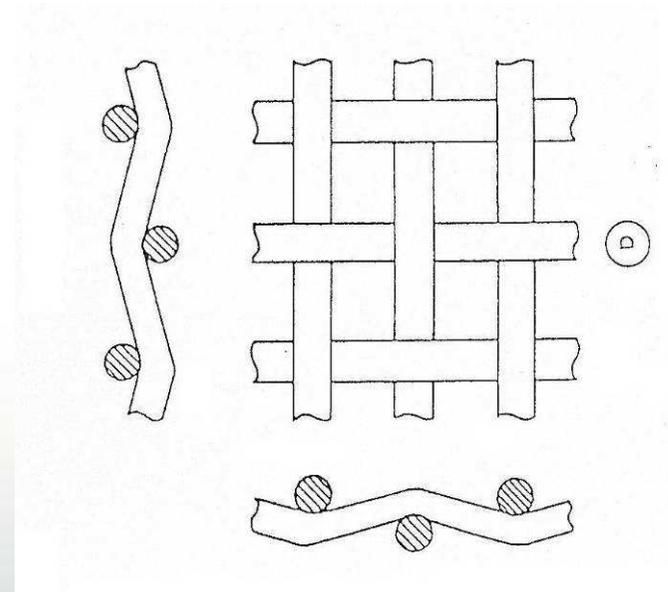
INTRINSECHE - dipendenti dal polimero

Allineamento delle catene polimeriche (estruse)

Allineamento delle fibre (tessute/saldate)

STRUTTURALI - dipendenti dalla tecnologia produttiva,
a sua volta riconducibile al polimero

Allineamento dei fili con riassetto
geometrico delle giunzioni (tessute)





La **TB** è definita come la resistenza residua
(della geogriglia, non del solo polimero)
dopo 120 ANNI

Non può essere una grandezza "misurata"
Dati disponibili da prove di durata pari a
18 ANNI

Quindi si ottiene per **ESTRAPOLAZIONE**

I campioni sono sottoposti a prove di trazione:
A carico costante (varie frazioni della resistenza
di picco)

A differenti temperature (10-20-30-40°)

Vengono misurate le deformazioni nel tempo

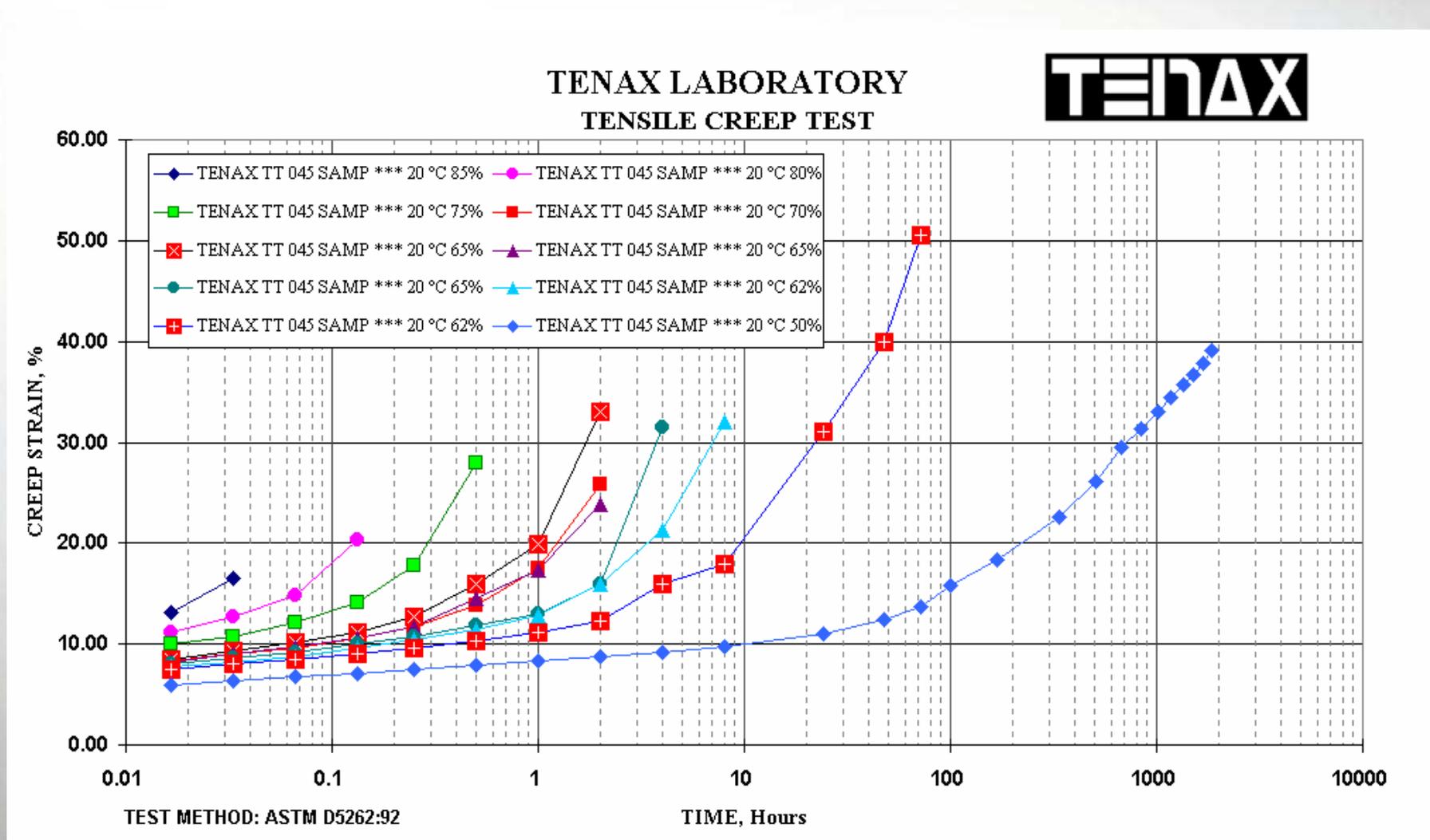


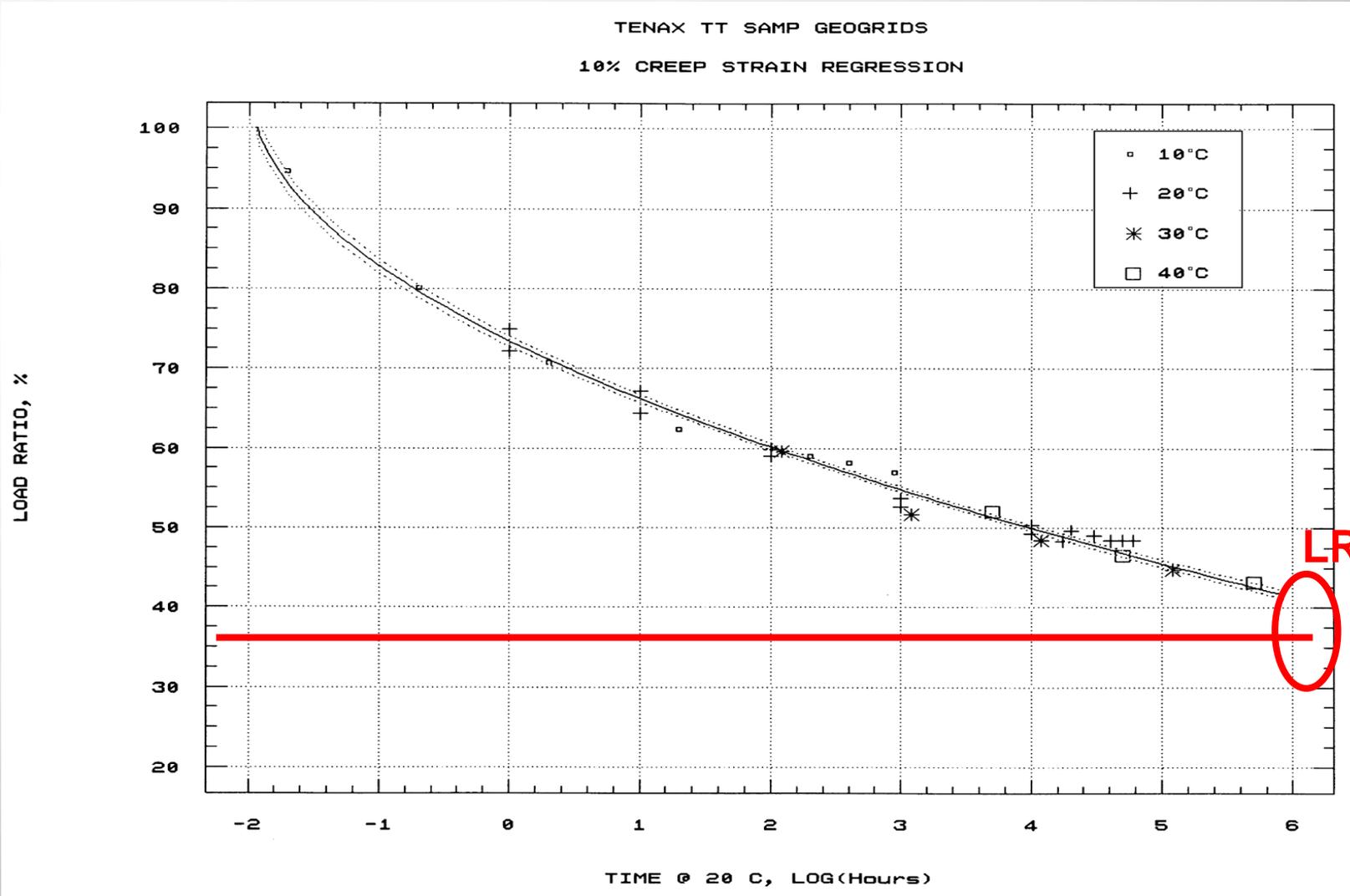


- ❑ Per essere significativa del comportamento del prodotto, la prova di creep deve essere effettuata sul prodotto finito, e non sulla fibra che lo costituisce.
- ❑ Esistono geogriglie per le quali, non esistendo prove di creep di trazione, viene impiegata come resistenza di lungo termine il 60% del valore di picco; tale parametro è il risultato di prove di creep effettuati da altre aziende su altre geogriglie con materiali costituenti, forma e struttura simile. Ciò è pericoloso per la sicurezza delle opere e scorretto.
- ❑ Per poter impiegare con fiducia i valori di resistenza di lungo termine di una geogriglia è necessario che il produttore sia in possesso di dati derivanti da prove di creep protratte per almeno 50.000 ore (5 anni).



TB = Long Term Design Strength (prove di creep EN–ISO 13431);





Regression considerando tutte le prove effettuate a diverse temperature



Comportamento viscoso della geogriglia:

Fattore di riduzione CREEP di DEFORMAZIONE $f_{cd} = 2.439$



$$TB = TP / f_{cd}$$

$$\mathbf{TD = TB / fm}$$

TB = Long Term Design Strength

(da prove di creep EN-ISO 13431);

$fm = fm1 \times fm2$; $fm1 = fm11 \times fm12$; $fm2 = fm21 \times fm22$

fm1 = CARATTERISTICHE INTRINSECHE DEL PRODOTTO;

fm11 = Qualità e consistenza del prodotto (ISO 9001, marcatura CE);

fm12 = Estrapolazione dei dati (durata delle prove di creep);

fm2 = FATTORI ESTERNI;

fm21 = Danneggiamento durante la posa

fm22 = Durabilità (UV; Chimica; Microbiologica)



fm1 = CARATTERISTICHE INTRINSECHE

- **fm11 = 1** Qualità e consistenza del prodotto (ISO 9001, marcatura CE);

Il nostro sistema qualità é certificato ISO9001

I prodotti sono testati con continuità

L'azienda é visitata 2 volte all'anno da ispettori ITC e SGS

- **fm12 = 1** Estrapolazione dei dati (durata delle prove di creep pubblicate);

TB- resistenza a trazione dopo 120 anni

Durata delle prove a nostra disposizione 160.000ore

Le curve sono in scala logaritmica

log10anni-log100anni un ordine di grandezza

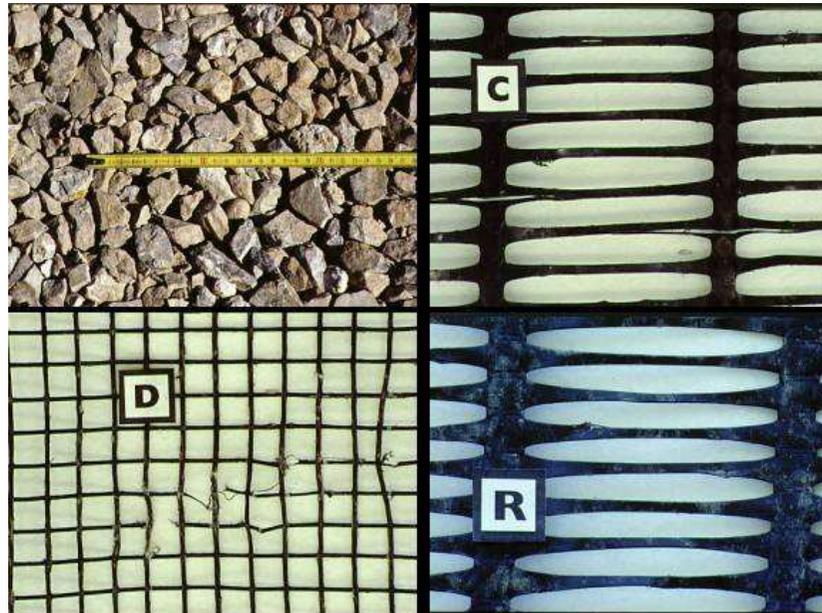
$fm_{12}=1$





fm2 = FATTORI ESTERNI

- **fm21** Danneggiamento per la posa in opera (ENV-ISO 10722-1)



Tipo di suolo	Ø max. (mm)	Fattore di sicurezza fm
Ghiaia e pietrame	40 - 125	1.10
Ghiaia	2 - 40	1.00
Sabbia	0.2 - 2	1.00
Argille e limi	< 0.2	1.00



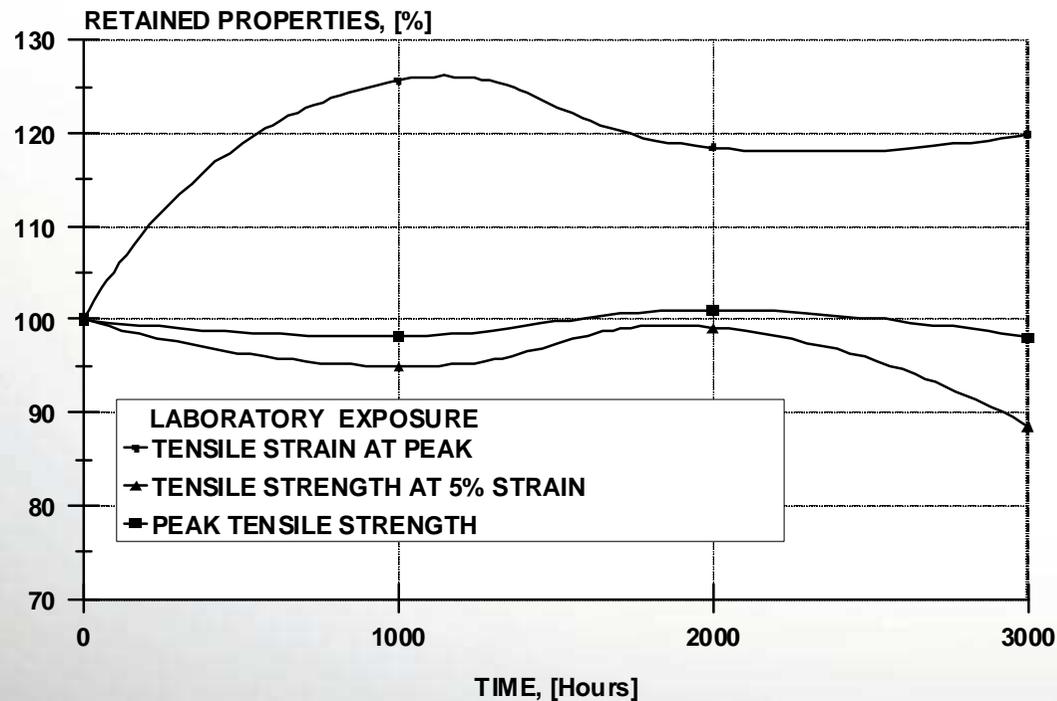
Resistenza al danneggiamento (FHWA).

Tipologia rinforzo	Tipologia terreno	
	D_{\max} 100 mm D_{50} 30 mm	D_{\max} 20 mm D_{50} 0.7 mm
Geogriglie estruse in HDPE	1.00 - 1.05	1.00
Geogriglie tessute in PET ricoperto in PVC	1.30 - 1.85	1.10 - 1.30
Geotessili tessuti (PP e PET)	1.40 - 2.20	1.10 - 1.40
Geotessili nontessuti (PP e PET)	1.40 - 2.50	2.10 - 2.40
Geotessili a bandelette (PP)	1.60 - 3.00	1.10 - 2.00



fm2 = FATTORI ESTERNI

- **fm22=1** Durabilità-Resistenza agli UV (EN12224)
Polimeri sensibili all'azione di: LUCE – ARIA - AGENTI ATMOSFERICI
Test "reali" – Irradiazione 120Kcal /cm²/ anno
Test laboratorio – Simulazioni delle combinazioni dei fattori



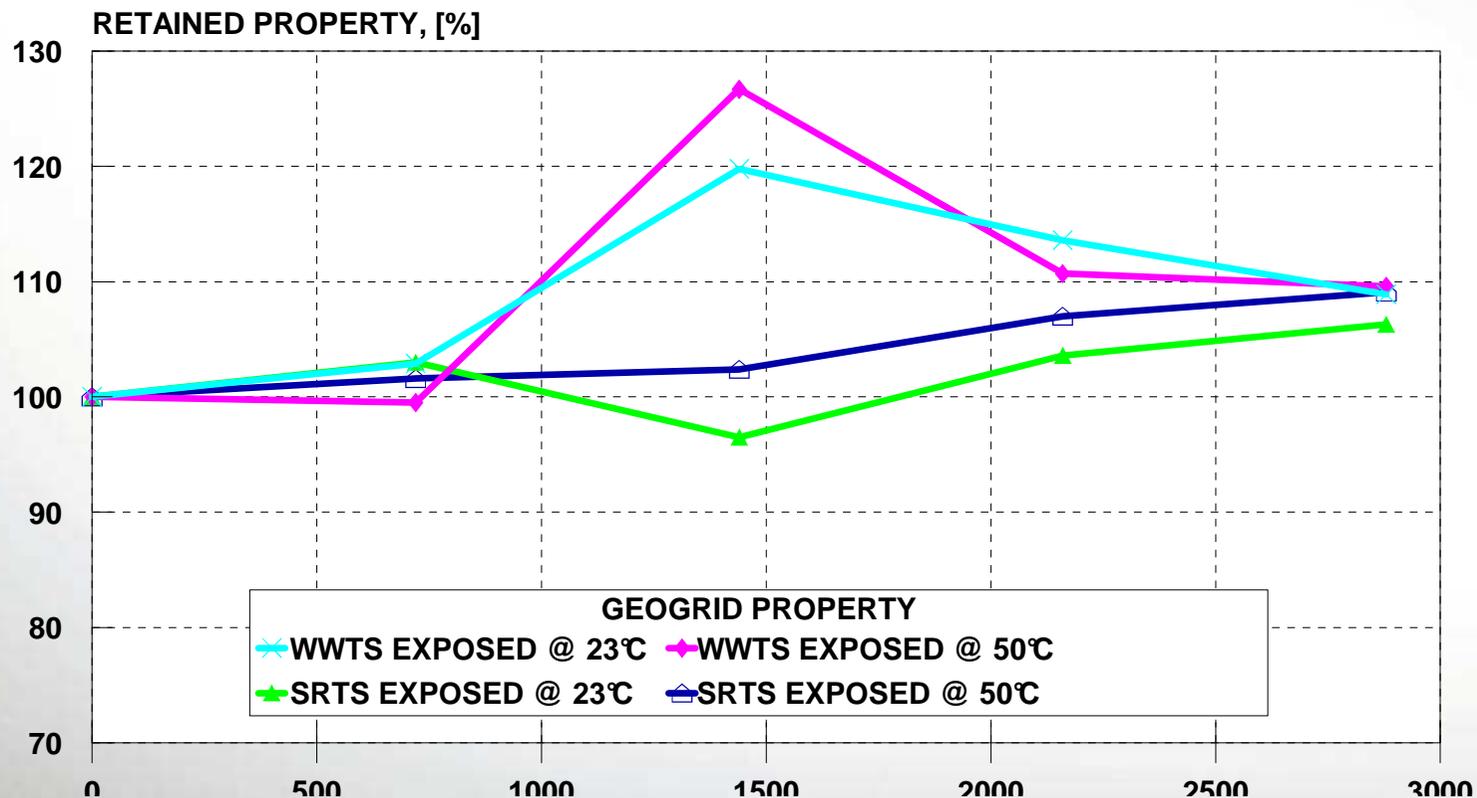
Dopo 3000 ore (circa 5 anni) di esposizione ai raggi UV-B le griglie non hanno subito perdite consistenti di resistenza



fm2 = FATTORI ESTERNI

- **fm22=1** Durabilità – Esposizione agli agenti chimici (ENV ISO 12960, EN 12448 o ENV 12447)

Test di OSSIDAZIONE EPA 9090 AT 23° AND 50°C



Dipende dal polimero e dalla tipologia di geogriglia (spessore dei fili)



fm2 = FATTORI ESTERNI

Soil Environment

Polymer

	<u>PET</u>	<u>PE</u>	<u>PP</u>
Acid Sulphate Soils	NE	?	?
Organic Soils	NE	NE	NE
Saline Soils pH < 9	NE	NE	NE
Calcareous Soils	?	NE	NE
Modified Soils/Lime, Cement	?	NE	NE
Sodic Soils, ph > 9	?	NE	NE
Soils with Transition Metals	NE	?	?

NE = No Effect

? = Questionable Use, Exposure Tests Required



fm2 = FATTORI ESTERNI

HDPE é chimicamente inerte

Ogni produttore é tenuto ad indicare i limiti di applicabilità e gli opportuni fattori di sicurezza

Per prodotti che non abbiano una certificazione ci si può attenere a quanto suggerito dalla FHWA



No.	Product*	Reduction factor, RF_D	
		$5 \leq \text{pH} \leq 8$	$3 \leq \text{pH} \leq 5$ $8 \leq \text{pH} \leq 9$
1	Geotextiles $M_n < 20,000$, $40 < \text{CEG} < 50$	1.6	2.0
2	Coated geogrids, Geotextiles $M_n > 25,000$, $\text{CEG} < 30$	1.15	1.3

M_n = number average molecular weight CEG = carboxyl end group

* Use of materials outside the indicated pH or molecular property range requires specific product testing.

Manuale FHWA

PET non può essere utilizzato in ambiente basici con $\text{pH} > 9$

In ambiente neutro subisce perdite di resistenza per idrolisi



fm2 = FATTORI ESTERNI

- **fm2=1** Durabilità – Esposizione ad aggressioni microbiologiche (EN 12225)

L'HDPE non é vulnerabile a questo tipo di aggressioni
le geomembrane impiegate in discarica sono in HDPE

GEOGRIGLIE: ambito di applicazione caratterizzato da una bassa
attività biologica

NON SONO APPETIBILI per i roditori



$$TD = TB / fm$$

In condizioni standard, che non richiedano studi ad hoc per la valutazione del comportamento delle geogriglie tipo TENAX TT in ambienti o condizioni di posa e di esercizio particolarmente "ostili",

***La resistenza ammissibile TD
coincide
con la resistenza di progetto TB***



fattore di scivolamento – direct sliding

forniscono indicazioni progettuali fondamentali per la verifica dello scorrimento alla base della terra rinforzata e al di sopra di ciascuno strato di rinforzo

$$f_{ds} = \tan\phi_{sg}/\tan\phi$$

ϕ_{sg} = friction angle of the soil-geosynthetic interface

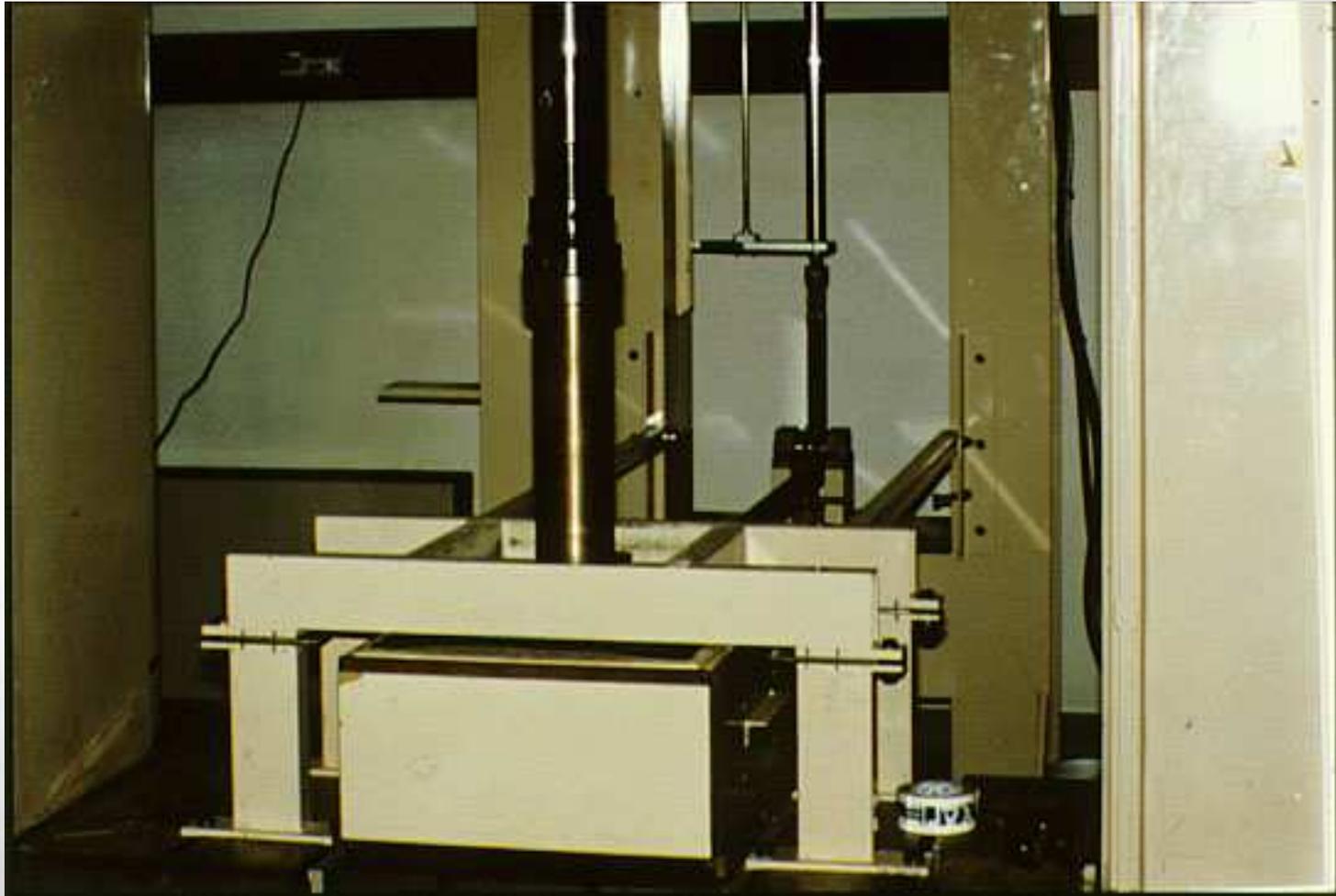
ϕ = friction angle of the soil

Valori tipici per terreni comunemente impiegati per la realizzazione di Terre Rinforzate con Geogriglie sono (Picarelli et al, 1993)

$$f_{ds} = 0.8 - 1.0$$



fattore di scivolamento – direct sliding



Scatola di taglio - EN 12957-1 TEST METHOD



fattore di "sfilamento" – pullout

tratto ancorante che sviluppi la tensione di progetto calcolata in precedenza

$$T_b = 2 \times A \times \sigma_n \times f_{po} \times \tan\phi$$

f_{po} = fattore di pull-out

σ_n = sforzo normale [kPa]

Valori tipici per terreni comunemente impiegati per la realizzazione di Terre Rinforzate con Geogriglie sono ancora

$$f_{po} = 0.8 - 1.0$$



fattore di "sfilamento" – pullout



Scatola di pull-out - EN 13738 TEST METHOD



Resistenza delle giunzioni

La struttura del geosintetico condiziona l'azione di rinforzo che esso è in grado di esercitare:

GEOTESSILE - struttura chiusa - attrito

GEOGRIGLIE - struttura aperta - interlocking





Affinché la geogriglia possa trasmettere lo stato tensionale necessario per garantire l'equilibrio è necessario che essa possa interagire con il terreno attraverso l'incastro delle particelle con le maglie: sono pertanto fondamentali le dimensioni della maglia in rapporto alla dimensione degli inerti, e la resistenza delle giunzioni che collegano i fili longitudinali con quelli trasversali

Apertura della maglia: geogriglie con maglie 20 x 20 mm possono interagire con terreni aventi pezzatura massima pari a 20 mm.

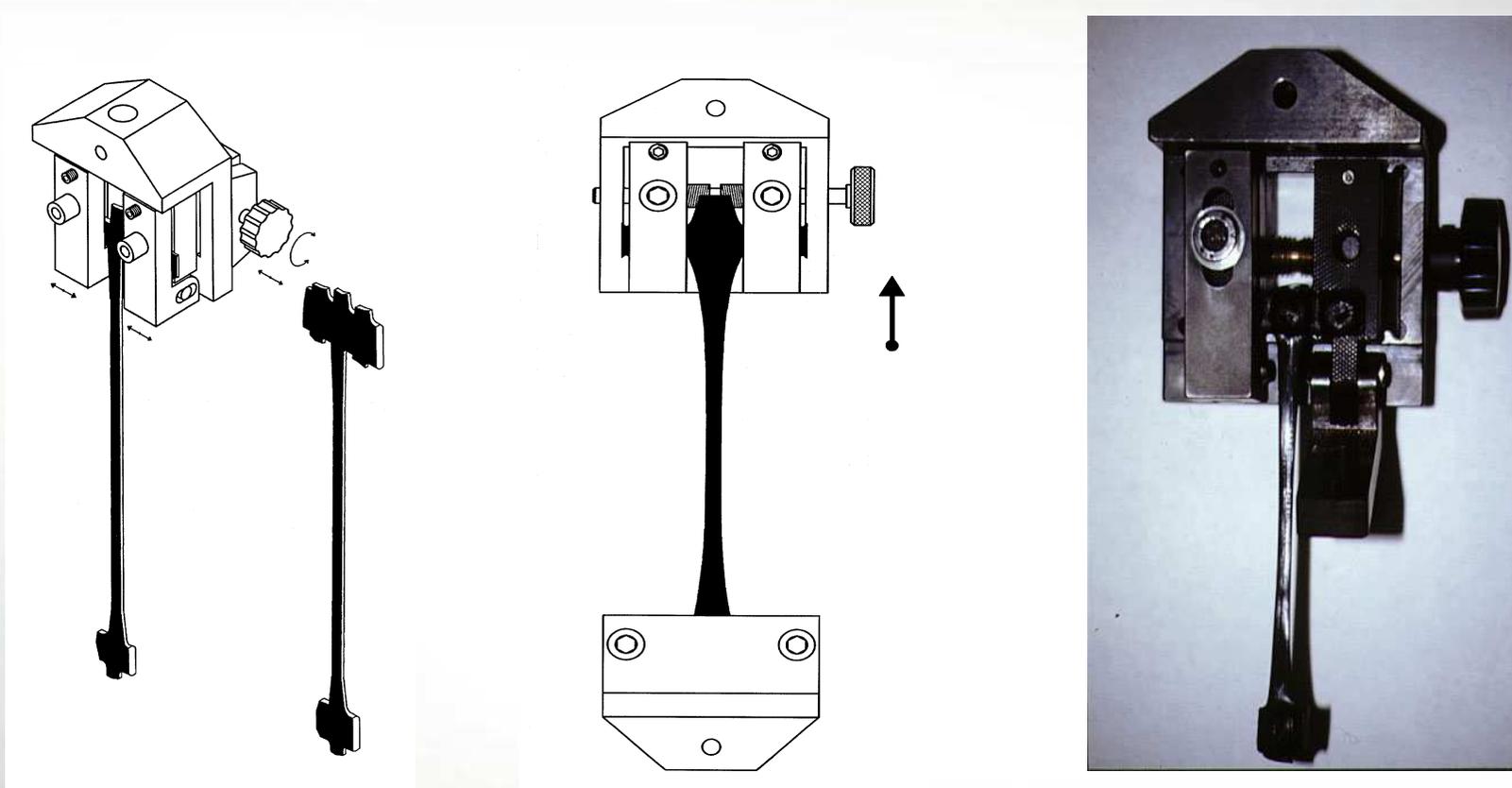
La RESISTENZA delle giunzioni

Resistenza della giunzione > LTDS x FSj(1.5)

ossia: elemento più debole determina la caratterizzazione del prodotto



GEOGRIGLIE ESTRUSE-struttura monolitica



TEST GRI-GG2

GEOGRIGLIE TESSUTE-deformazioni strutturali
GEOGRIGLIE SALDATE-saldatura coinvolge il solo
film di protezione



STABILITA' ESTERNA

- Verifica alla traslazione - come da stabilità interna**
- Verifica alla rotazione – è poco significativa**
- Verifica di capacità portante – l'impronta di carico é rappresentata dalla lunghezza d'ancoraggio**

STABILITA' GLOBALE

- Analizzare l'intervento nella sua interezza**
- Aumentare il livello di complessità delle analisi**
- Evidenziare gli eventuali limiti dell'intervento**



Grazie per l'attenzione