



REMTECH EXPO

Le problematiche di stabilità delle discariche: analisi ed interventi

Coordinatori: E. Fratalocchi, N. Moraci, D. Pingitore

Parametri di progetto delle interfacce dei rivestimenti

P. Carrubba, P. Pavanello

Università degli Studi di Padova, Dipartimento ICEA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Ferrara, 18 settembre 2019

Premesse

I Geosintetici costituiscono una famiglia di prodotti polimerici, in grado di migliorare le proprietà meccaniche ed idrauliche del terreno sciolto.

- *Drenaggio, Filtrazione, Separazione, Impermeabilizzazione, Rinforzo, Protezione meccanica.*
- *Antierosione, Naturalizzazione, Contenimento, Protezione Sismica, Cedimenti.*



Il loro impiego comporta la creazione di interfacce tra polimeri e tra polimero e terreno, che possono mobilitare i seguenti meccanismi resistenti:

Direct sliding, Pullout, Tensile Strength.

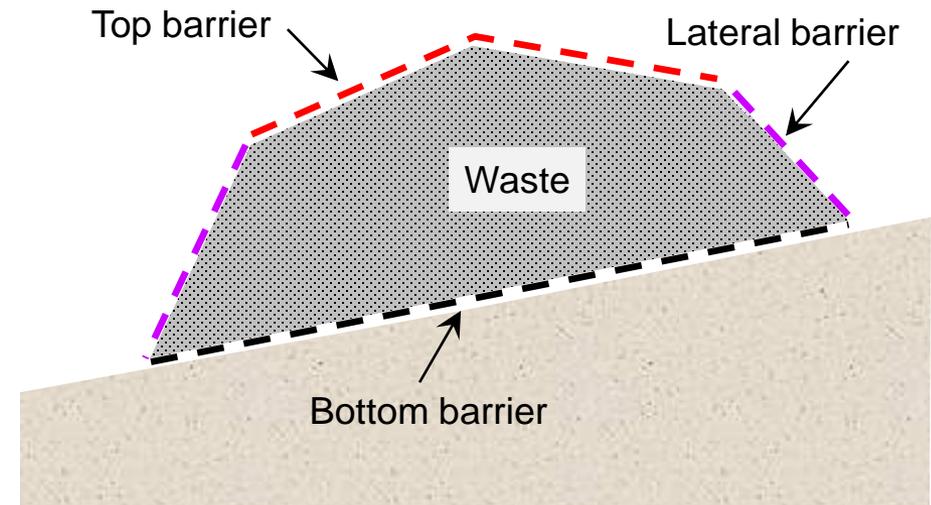
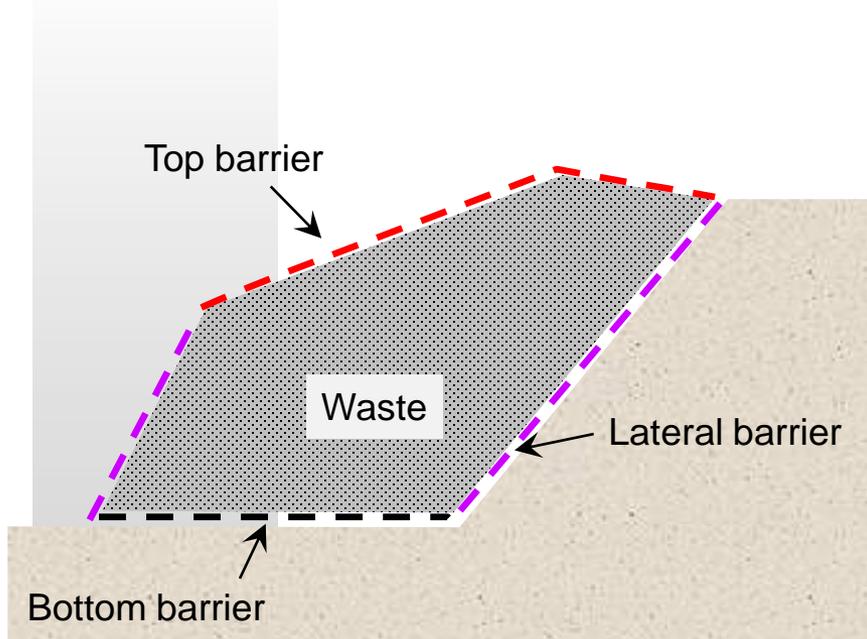
Tutti e tre i meccanismi sono influenzati dalle condizioni di sollecitazione:

Statiche, Cicliche, Dinamiche, Breve termine, Lungo termine.

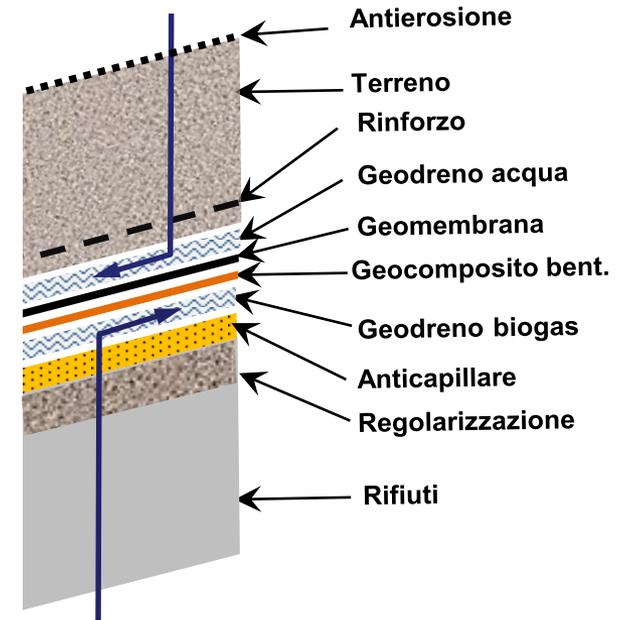
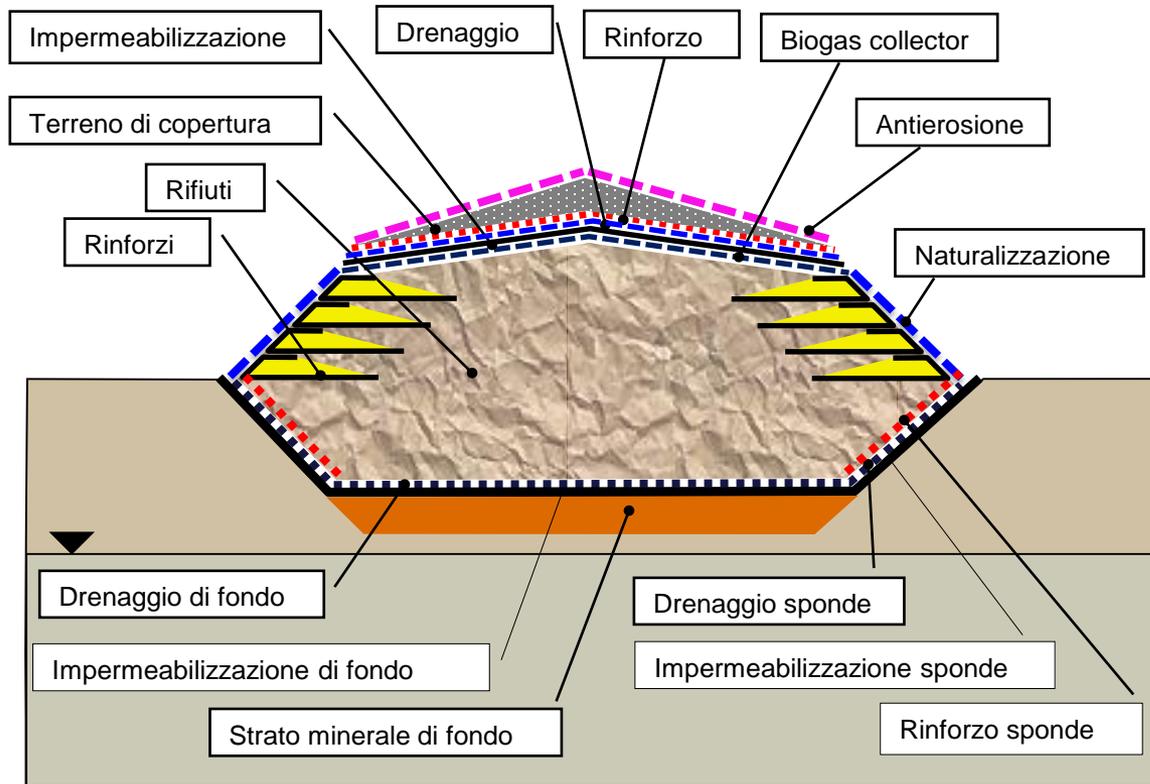
Al primo di tali meccanismi, che costituisce l'oggetto della presente comunicazione, viene associata una **resistenza d'interfaccia** alla Mohr-Coulomb.

Mobilizzazione della resistenza d'interfaccia per direct sliding

Nelle opere ambientali, le interfacce sottoposte a **direct sliding** riguardano prevalentemente i **sistemi barriera** con funzioni di impermeabilizzazione, drenaggio, rinforzo e controllo dell'erosione.



IMPIEGO DEI GEOSINTETICI IN UNA MODERNA DISCARICA



Esempio di successione di strati nella copertura impermeabile di una discarica

Non sempre tutto funziona come dovrebbe!



Diga dell'Aubrac

Scivolamento del rivestimento lungo l'interfaccia tra **geotessile** e **geomembrana** (Francia, 1986)



Scivolamento lungo un'interfaccia interna ad un **geocomposito drenante**, durante le fasi realizzative di una barriera laterale (USA, 1996)

Scivolamento di una copertura lungo un'interfaccia tra **geomembrana** e **geocomposito bentonitico**





Scivolamento del **terreno** e rottura della **geomembrana**, durante le fasi realizzative di una barriera laterale (Ohio, USA, 2001)

Parametri di progetto delle interfacce dei rivestimenti

Chrin Brothers Inc. Landfill (Pennsylvania, USA, 2013) Scivolamento della copertura all'interfaccia tra **geomembrana** e **geocomposito drenante**. Coinvolta una superficie di quasi 50.000 m²



La misura della resistenza al taglio d'interfaccia

La misura in laboratorio della resistenza al taglio d'interfaccia tra geosintetici può essere condotta, in condizioni statiche, per mezzo di diversi dispositivi:

- **test di taglio diretto**
- **test di piano inclinato**
- **test di pull-out**
- **test di taglio anulare**
- **test di taglio cilindrico**

Oltre all'attrito statico, può essere utile/necessario valutare anche l'attrito dinamico.

Presso il Dipartimento ICEA sono state sviluppate delle apparecchiature per la caratterizzazione dell'attrito d'interfaccia tra geosintetici in campo statico, ciclico e sismico.

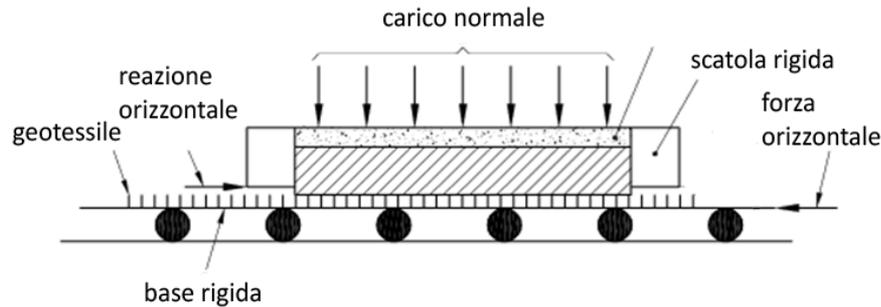


Piano inclinato

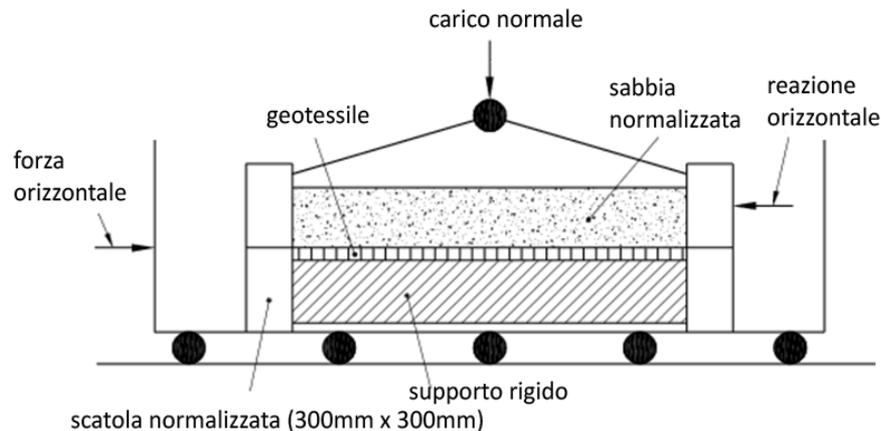


Tavola vibrante

Test di taglio diretto



Dispositivo con area di contatto costante



Dispositivo con area di contatto che si riduce nel corso della prova

Standardizzato dalle norme:

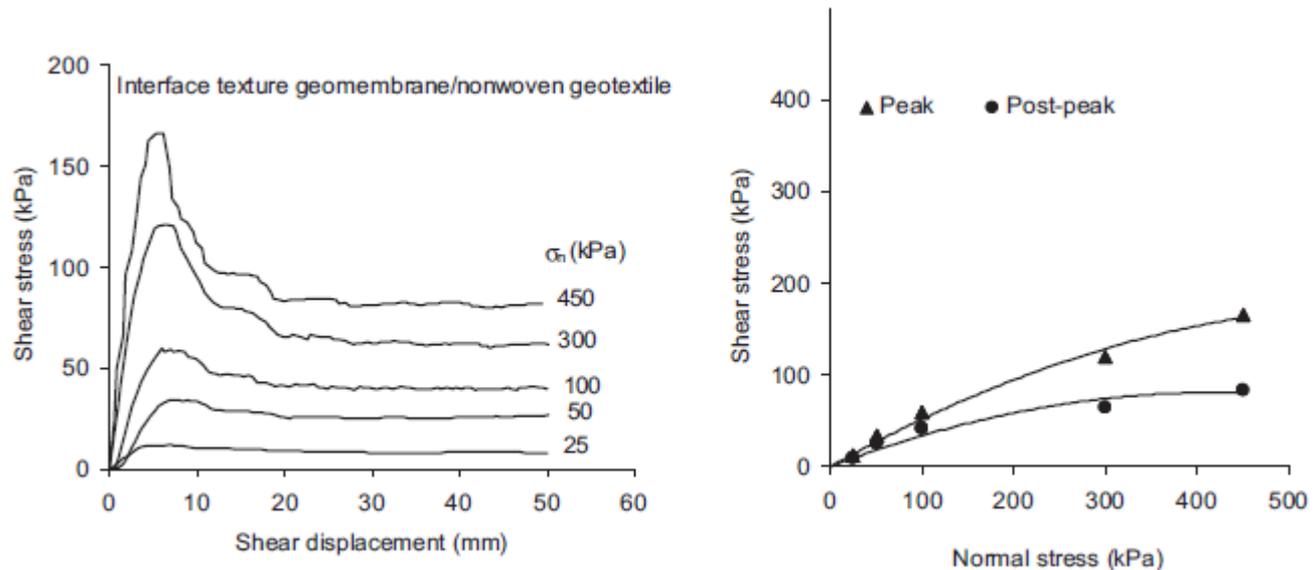
ASTM D 5321-8

UNI EN ISO 12957-1

- Generalmente eseguito su provini di dimensioni 300 mm x 300 mm
- Velocità di spostamento pari a 1 ± 0.2 mm/min
- Rilevata la forza di contrasto necessaria a mantenere ferma la parte superiore
- Spostamento max 50 mm



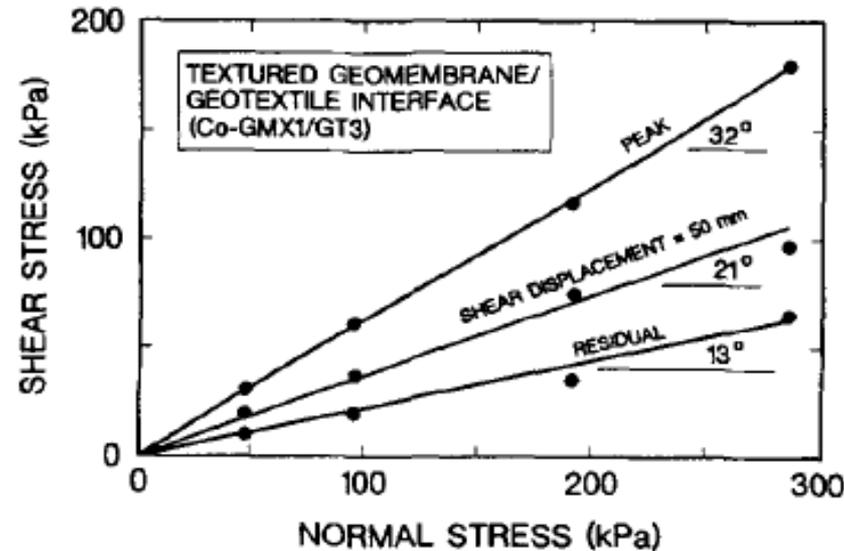
Test di taglio diretto



(Bacas et al., 2011)

- Test ripetuti per almeno 3 pressioni verticali (in genere 50, 100 e 150kPa)
- Parametri di attrito (c , φ) valutati per interpolazione lineare dei risultati
- A basse tensioni verticali i valori di picco e quelli post-picco tendono a coincidere

Test di taglio diretto

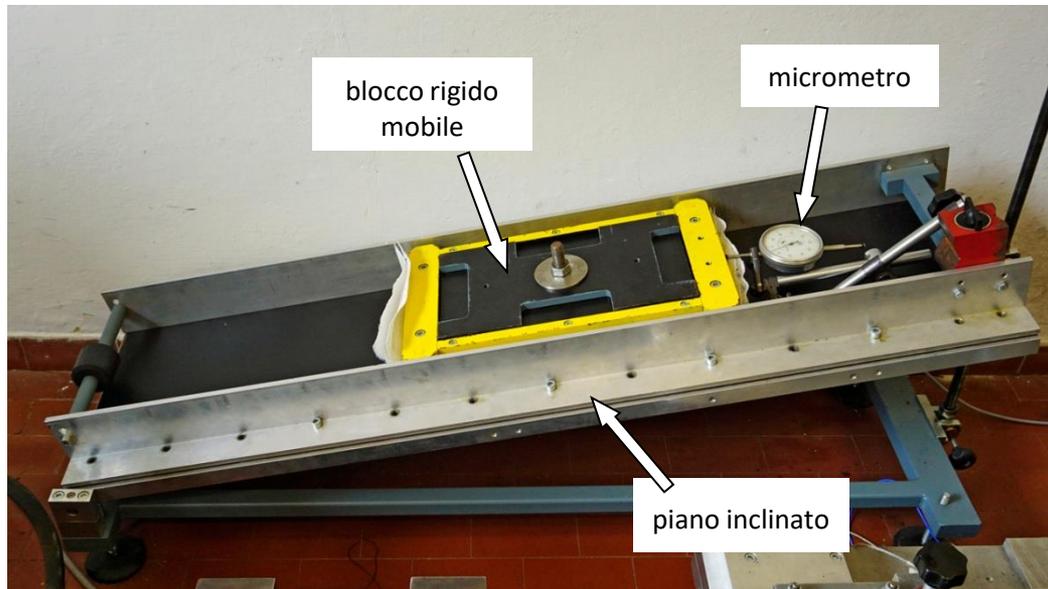


(Stark et al., 1996)

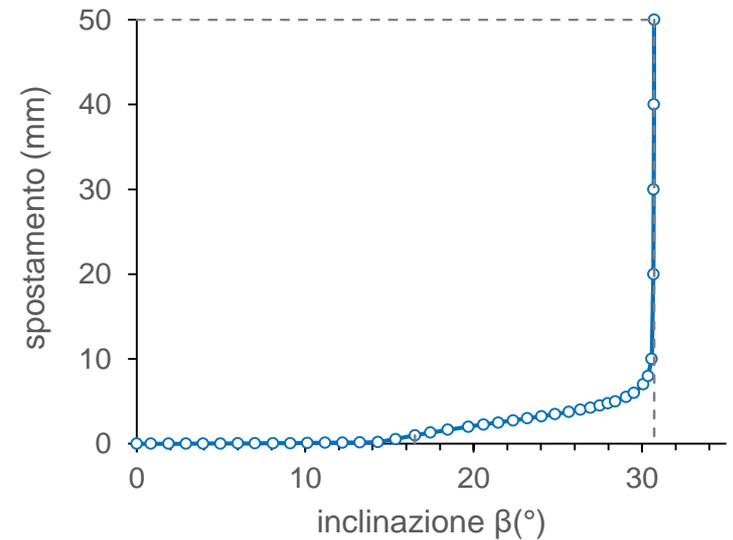
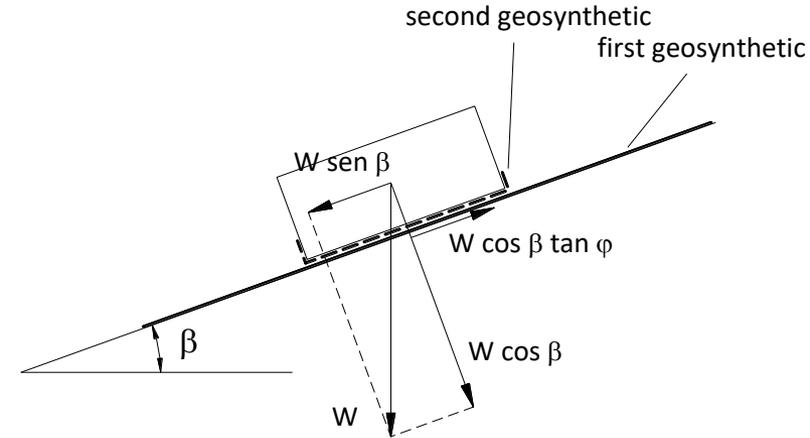
- Per alcune interfacce lo spostamento massimo previsto dalla norma (50 mm) può non essere sufficiente per mobilizzare le condizioni post-picco e/o residue

Test di piano inclinato

- Pressione verticale 5kPa
- L'inclinazione del piano varia a velocità costante



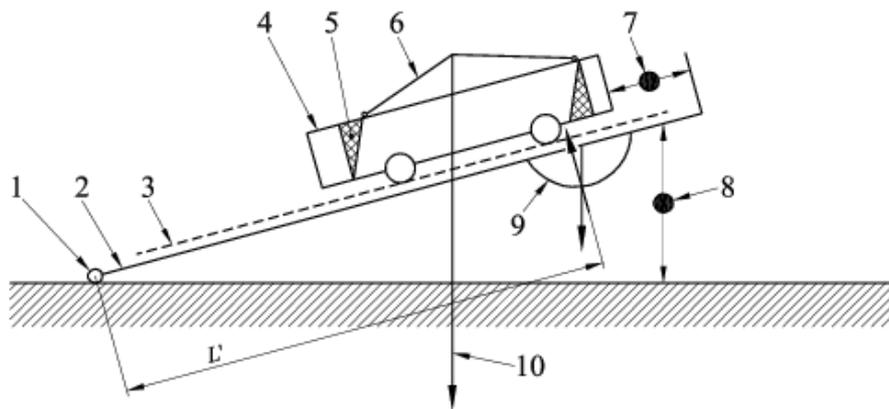
Dispositivo di piano inclinato del dipartimento ICEA



Test di piano inclinato

Standardizzato dalla norma UNI EN ISO 12957-2

- 1 Perno
- 2 Base rigida
- 3 Provino
- 4 Scatola di terreno supportata da rotelle
- 5 Cunei all'interno della scatola per garantire il corretto allineamento o la forza normale (cunei 1 a 2)
- 6 Struttura di carico per un carico normale
- 7 Misuratore di spostamento e interruttore di fine corsa
- 8 Dispositivo di sollevamento
- 9 Dispositivo di misura dell'inclinazione
- 10 Carico

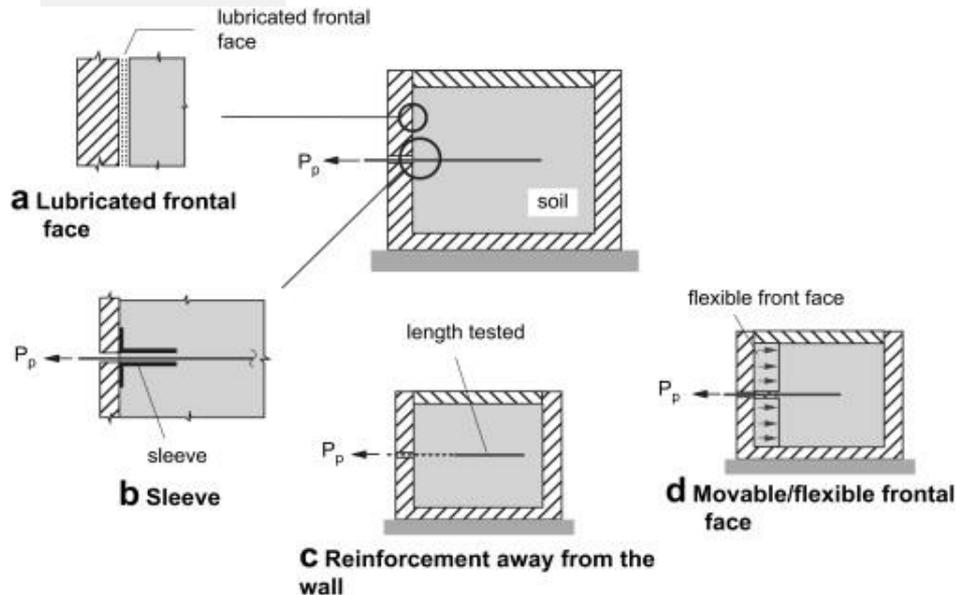


- A rigore la norma si riferisce solo a interfacce terreno-geosintetico
- Provini di dimensioni 300 mm x 300 mm
- Velocità di inclinazione del piano pari a $3 \pm 0.5^\circ/\text{min}$
- L'angolo di attrito d'interfaccia è assunto pari all'angolo di inclinazione del piano quando il blocco raggiunge uno spostamento di 50 mm
- Potenziale problema legato all'eccentricità del carico all'aumentare dell'inclinazione del piano (cunei o pareti inclinate)

Test di pull-out

Durante la prova si misura la forza necessaria per sfilare un geosintetico compreso tra due strati di terreno

- utile per il dimensionamento delle lunghezze di ancoraggio
- se il geosintetico è a struttura continua e presenta due facce uguali, può essere utilizzato per valutare l'attrito d'interfaccia geosintetico-terreno



Parametri che influenzano l'attrito d'interfaccia

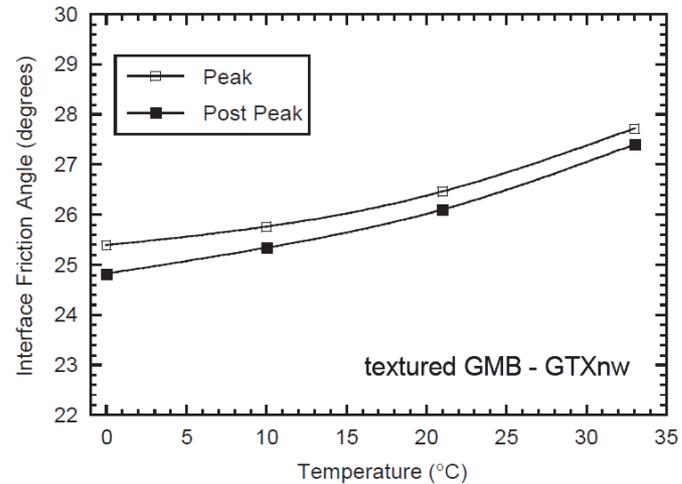
Numerosi parametri possono influenzare l'attrito d'interfaccia:

- pressione normale*
- temperatura*
- usura*
- condizione di idratazione*
- ageing*
- modalità di fissaggio dei campioni in laboratorio*

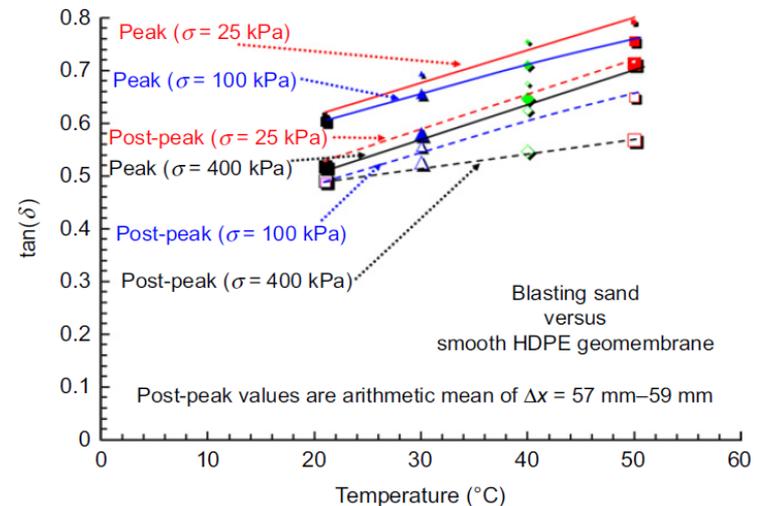
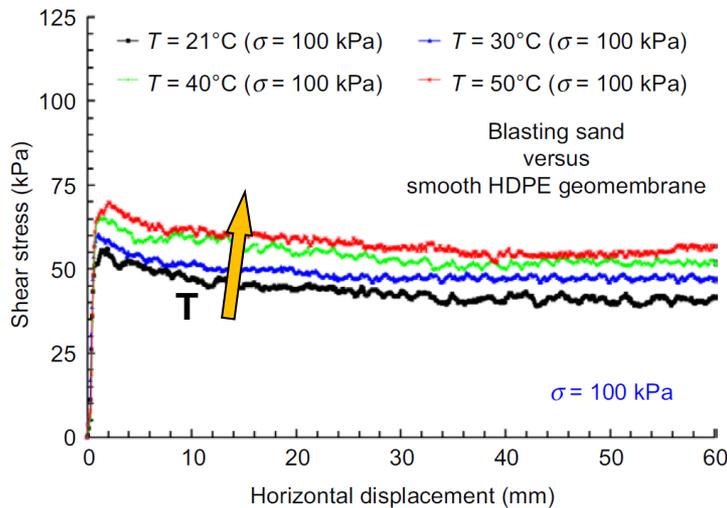
Parametri che influenzano l'attrito d'interfaccia

■ Temperatura

(Akpinar e Benson, 2005)

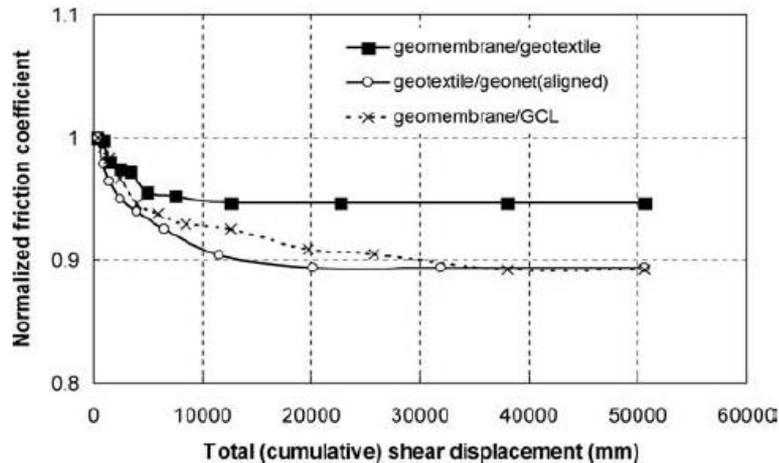


(Frost e Karademir, 2015)

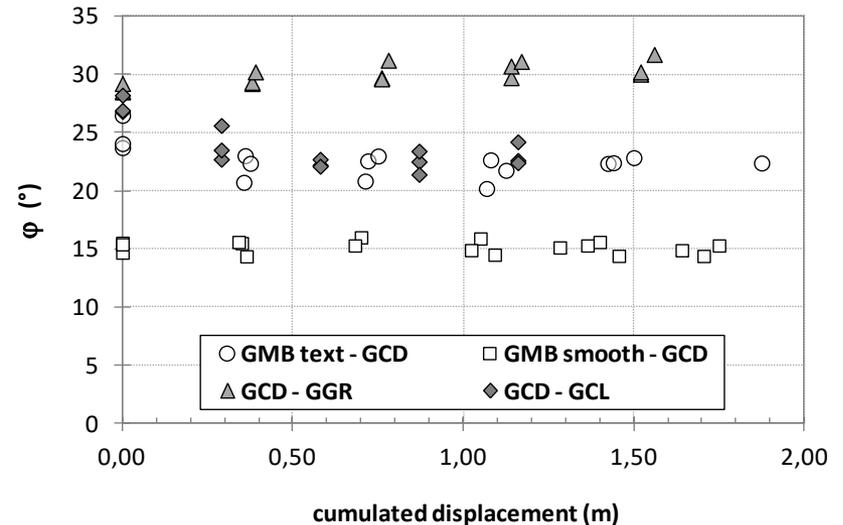


Parametri che influenzano l'attrito d'interfaccia

■ *Usura per mutuo sfregamento delle superfici*



(Kim et al., 2005)

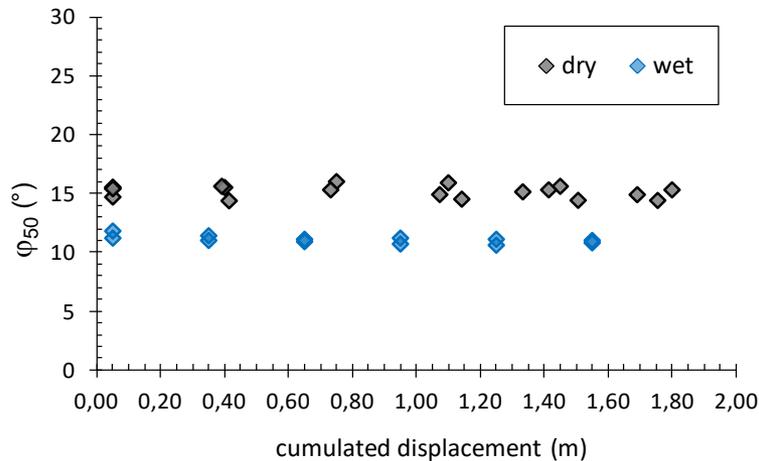


(Dati laboratorio Dipartimento ICEA)

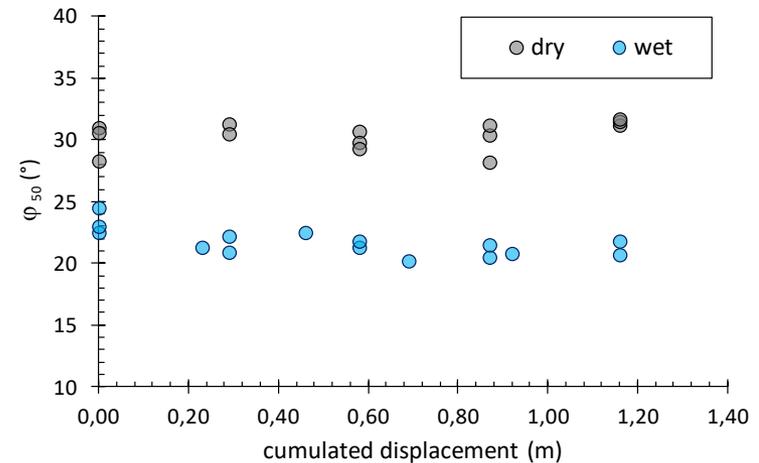
Lo sfregamento reciproco dei materiali a contatto può indurre una riduzione come pure un aumento dell'attrito d'interfaccia

Parametri che influenzano l'attrito d'interfaccia

■ *Idratazione*



GMB_{smooth} / GCD



GCD / GCL

(Dati laboratorio Dipartimento ICEA)

Valori di letteratura da prove di taglio diretto

interfaccia		valori di picco		valori residui		riferimento
		c (kPa)	φ (°)	c (kPa)	φ (°)	
GTX-GMB _{HDPE,smooth}	dry		12.5		10.6	Mitchell et al. 1990
	wet		10.4		8.4	
GTX _{nw} -GMB _{HDPE}					12	Villard et al. 1999
GTX _{nw} -GMB _{HDPE,smooth}	dry		7.76		7.41	Bergado et al. 2006
	wet		9.46		8.96	Bergado et al. 2006
	dry	0.4	11.7	0.4	9	Fowmes et al. 2008
		1.4	11			Reddy et al. 1996
	dry		8.7		6.2	Seo et al. 2007
	wet		7.6		5.2	Seo et al. 2007
GTX _{nw} -GMB _{LLDPE,rough}	dry	8.2	27.5	5.6	16.5	Fowmes et al. 2008
	dry	1	29	2	18.8	
GTX _{nw} -GMB _{HDPE,rough}	dry	8	29.4	5.4	18.7	Fowmes et al. 2008
	dry	2.3	19.9	1.4	13.3	Zamara et al. 2014
	wet	4	20.8	2.9	14.7	Zamara et al. 2014
		12	30			Reddy et al. 1996
	dry	20.7	15.7	9.4	10.3	Seo et al. 2007
	wet	13.4	21.3	5.9	17.2	Seo et al. 2007
GTX-GMB _{rough}		3.2	24.5	2.5	12.8	Jones and Dixon 2005

Valori di letteratura da prove di taglio diretto /2

interfaccia	valori di picco		valori residui		riferimento	
	c (kPa)	φ (°)	c (kPa)	φ (°)		
GMB _{HDPE,smooth} -GCL	dry		8.93	8.93	Bergado et al. 2006	
	wet		6.49	6.49	Bergado et al. 2006	
	dry		8.7	6.2	Seo et al. 2007	
	wet		7.6	5.2	Seo et al. 2007	
GMB _{rough} -GCL	dry		24.4	16.9	Chen et al. 2011	
	wet		20.9	9.3	Chen et al. 2011	
GMB _{HDPE,rough} -GCL	dry	20.7	15.7	9.4	10.3	Seo et al. 2007
	wet	13.4	21.3	5.9	17.2	Seo et al. 2007
GMB _{HDPE,smooth} -Clay				9	Villard et al. 1999	
GMB _{HDPE,rough} -Clay	undrained	31.1	7.6	3.2	25.1	Zamara et al. 2014
	drained	8	22	8	22	
Granular soil-GTX _{nw}				29	Villard et al. 1999	
Sand-GTX _{nw}	dry	6.3	29.9	1.8	29.6	Zamara et al. 2014
	wet	3.2	29.9	1.3	29.6	
GGR-Aggregates			48		Baker et al. 1998	
GGR-Sand			34.9-36		Liu et al. 2014	
GGR-Expanded clay		4.3	39	0.7	32	Yuan 2002

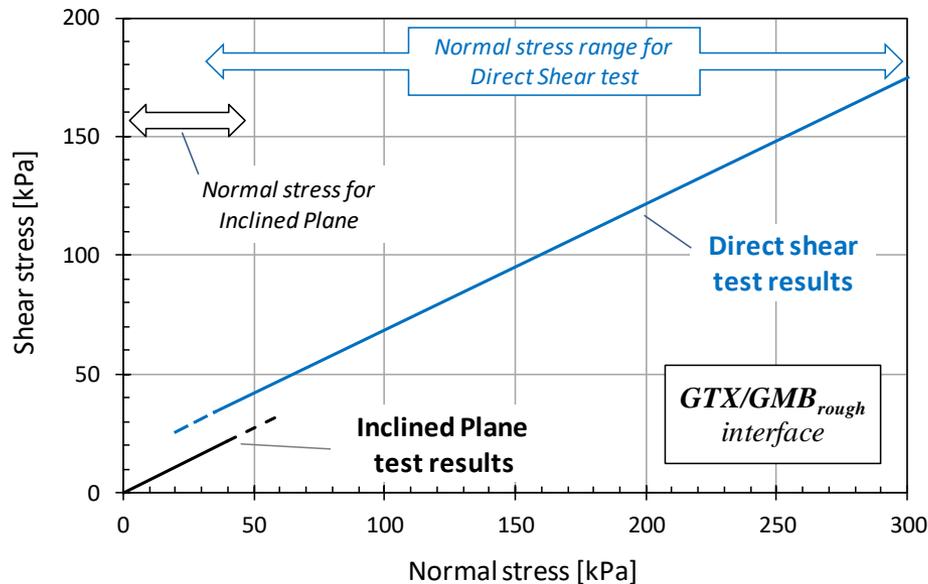
Valori di letteratura

- I valori di attrito di interfaccia non sono un parametro intrinseco dei materiali a contatto ma sono fortemente dipendenti anche dalla finitura superficiale e quindi dal processo produttivo
- I valori di letteratura possono essere usati solo per un primo dimensionamento delle opere ma vanno poi verificati per i materiali effettivamente utilizzati
- E' auspicabile che le prove di attrito d'interfaccia vengano eseguite come prassi al pari delle altre prove di caratterizzazione dei materiali

Test di taglio diretto vs test di piano inclinato

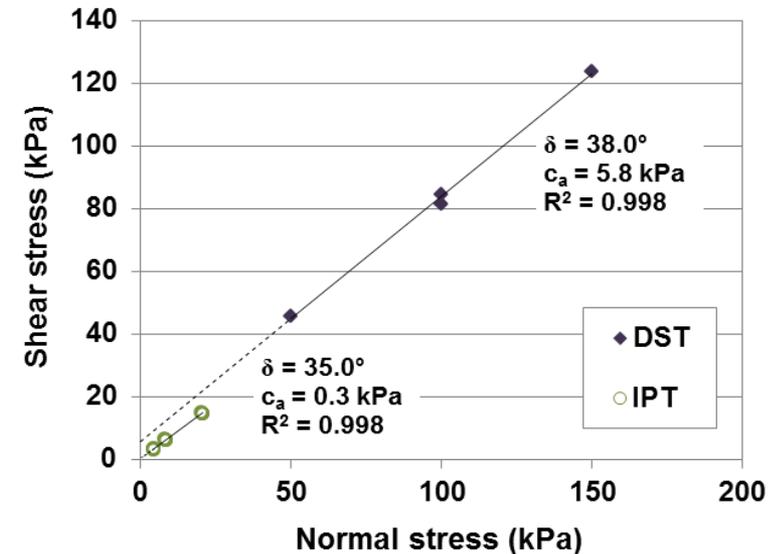
test di taglio diretto	test di piano inclinato
eseguito a pressioni normali medio alte ($\sigma_N \geq 25$ kPa)	eseguito a basse pressioni verticali (generalmente $\sigma_N = 5$ kPa)
si impone all'interfaccia uno spostamento a velocità costante (1 mm/min) e si rileva la risposta in termini di forza di attrito	si impone all'interfaccia una sollecitazione gradualmente crescente (componente instabilizzante della forza peso) e si rileva la risposta dell'interfaccia in termini di spostamento
può essere eseguito sia in condizioni asciutte che immerse	può essere eseguito in condizioni asciutte o umide ma non immerse
spostamento massimo generalmente pari a 5 cm	spostamento massimo legato solo alla lunghezza del piano

Test di taglio diretto vs test di piano inclinato



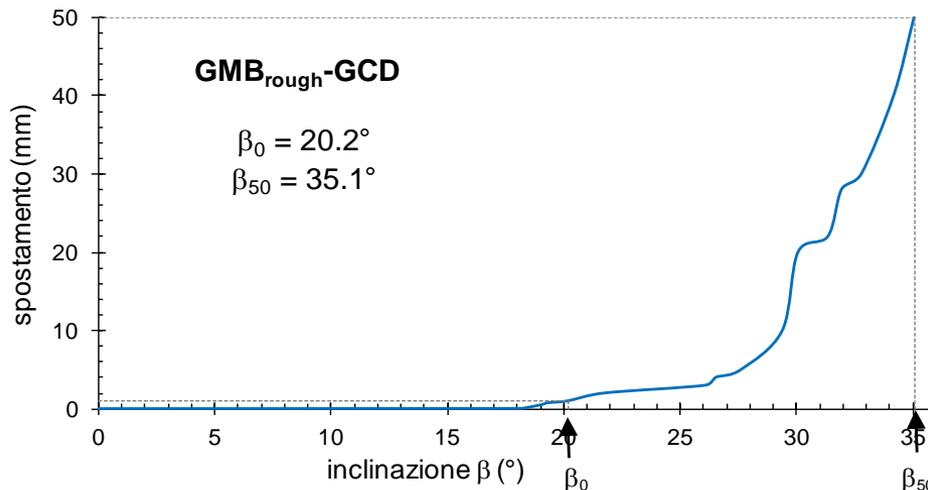
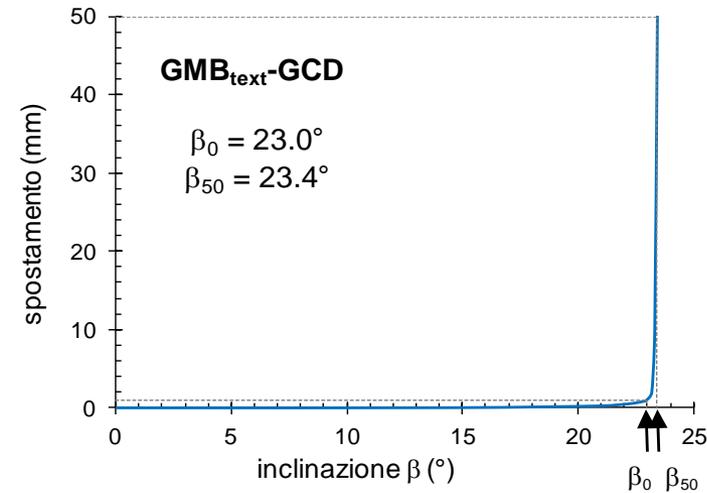
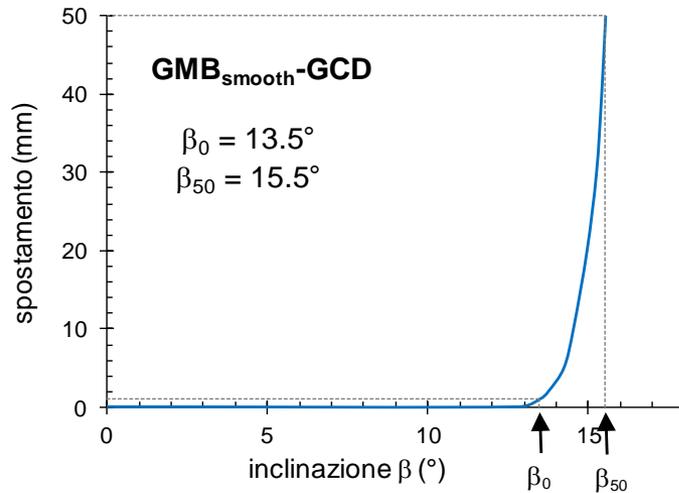
Confronto tra risultati di test di piano inclinato e di taglio diretto per un'interfaccia GTX-GMB (ridisegnato da Wasti and Özdüzgün, 2001)

Il test di *piano inclinato*, sembra fornire risultati più cautelativi, rispetto al test di taglio diretto, nel caso di interfacce soggette a basse tensioni normali.



Confronto tra risultati di test di piano inclinato e di taglio diretto per un'interfaccia tra suolo e geotessuto nontessuto (Ferreira et al., 2016)

Problemi connessi al test di piano inclinato



- Angolo di primo spostamento (1 mm) o spostamento standard (50 mm)?
- Diverse modalità di scivolamento

Osservazioni finali

- *La tipologia di test deve essere scelta in funzione della specifica applicazione dei materiali, ovvero del campo tensionale a cui è soggetta l'interfaccia*
- *Necessità di definire il fattore di sicurezza in relazione ai numerosi fattori che possono influenzare il reale attrito d'interfaccia in sito*
- *Verifiche nella configurazione finale ma anche in quella transitoria (fasi costruttive), queste ultime con valori di attrito potenzialmente inferiori*