

## **EFFETTI DEL GRADO DI ALTERAZIONE SULLE CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI**

Irene Rocchi

*DICAM, Università di Bologna  
precedentemente City University of Hong Kong  
irene.rocchi3@unibo.it*

Matthew R. Coop

*Architecture and Civil Engineering Department, City University of Hong Kong  
mrcoop@cityu.edu.hk*

### **Sommario**

Questa nota presenta un programma di ricerca incentrato sulla caratterizzazione di terreni originati dall'alterazione di rocce ignee comuni nel territorio di Hong Kong. All'aumentare del grado d'alterazione il terreno diventa più fine e ben assortito. Poichè, la mineralogia e la morfologia dei grani cambiano in misura minore, la granulometria tende a dominare il comportamento meccanico. I trend individuati per il comportamento meccanico sono meno chiari, mentre gli effetti della microtessitura osservati sono di piccola entità e diminuiscono all'aumentare del grado d'alterazione.

### **1. Introduzione**

Molti paesi in via di sviluppo o di recente industrializzazione, per esempio nel sud-est asiatico o nel sud America, si trovano in zone tropicali o subtropicali, dove l'alterazione delle rocce rappresenta un importante fattore di genesi per i terreni. Sebbene Cafaro & Cotecchia (2001) abbiano studiato estensivamente gli effetti del grado di alterazione su un'argilla di tipo sedimentario, in letteratura non si trovano molti lavori riguardanti terreni originatisi unicamente attraverso l'alterazione delle rocce. Pertanto risulta sconosciuto per questi terreni il grado d'applicabilità di concetti quali la teoria dello stato critico e della sensitività (Cotecchia & Chandler, 2000). Questi differiscono dai terreni alterati d'origine sedimentaria, in quanto durante la loro genesi non subiscono alcun trasporto e risultano quindi avere un'ampia gamma di proprietà, sia per quanto riguarda la loro granulometria che la loro mineralogia. Inoltre, è probabile che la loro microtessitura, ovvero la combinazione della disposizione dei grani e la loro cementazione, vari anch'essa come risultato dell'alterazione.

In questa nota si presentano i risultati ottenuti nel corso di un programma di studio incentrato sugli effetti dell'alterazione su rocce ignee di tipo intrusivo ed estrusivo, ovvero graniti e rocce vulcaniche, incominciato nel 2010 presso i laboratori di City University Hong Kong. Nella prima parte della nota viene presentato il lavoro svolto sui terreni granitici, mentre nella seconda quello sui terreni vulcanici. Il programma sperimentale include una serie di prove di tipo edometrico e triassiale, in aggiunta alla caratterizzazione dei terreni. Le prove discusse sono state eseguite su campioni prelevati ad Hong Kong, dove questa tipologia di terreni rappresenta la larga maggioranza.

### **2. Terreni granitici**

#### *1.1 Caratterizzazione fisica e meccanica*

Il terreno testato è stato campionato lungo due carotaggi, distanti tra loro circa 1km, nel Granito di

Shatin. Il terreno incontrato presenta due gradi d'alterazione: altamente e completamente alterato, che corrispondono ai gradi IV e V su una scala di sei del sistema di classificazione in vigore a Hong Kong (GEO, 1988). Per una maggiore differenziazione, al grado d'appartenenza si aggiunge una descrizione della consistenza del terreno, per esempio “*extremely weak*”. Per maggiori dettagli riguardo la classificazione dei terreni presentati si rimanda a Rocchi & Coop (2015).

In Figura 1a e b è visibile come la granulometria del terreno diventi via via più fine all'aumentare del grado di alterazione e al diminuire della profondità. Inoltre, si nota che il terreno è estremamente ben assortito a causa della sua genesi. Per quanto riguarda la morfologia e la mineralogia dei grani, che sono state misurate rispettivamente tramite Qicpic (Sympatec, 2008) e XRD, si può notare che variano molto meno rispetto alla granulometria. Il volume specifico in sito aumenta con il grado d'alterazione. In Figura 2 sono presentate le caratteristiche meccaniche lungo il profilo oggetto di studio, ottenute tramite prove edometriche e triassiali. Per quanto riguarda la pendenza della linea di stato critico (CSL) nel piano volumetrico ( $\lambda$ ), si è ipotizzato che fosse la stessa della linea di normalcompressione (NCL), ovvero che la CSL e la NCL fossero parallele. In Figura 2a, si può vedere che  $\lambda$  in generale diminuisce con l'aumentare del grado di alterazione. La pendenza della CSL nel piano tensionale (M) risulta avere un andamento più incerto, ma il valore diminuisce anch'esso all'aumentare del grado di alterazione (Fig 2b). La posizione della CSL nel piano volumetrico è stata valutata sia utilizzando l'intercetta al valore di tensione media efficace di 1kPa ( $\Gamma$ ) ottenuta per i campioni ricostituiti, sia calcolando quest'intercetta per ogni provino intatto testato, così che possibili trend con la profondità fossero più visibili. Lo scostamento può essere imputato alla differenza nella granulometria tra i singoli campioni intatti e quelli ricostituiti, che sono stati preparati utilizzando una stessa curva granulometrica, pari al valore medio per un grado d'alterazione specifico. In Figura 2c, si può osservare che la posizione della CSL si muove verso l'alto al crescere del grado d'alterazione, sebbene il trend sia piuttosto disperso. Sulla base della posizione della CSL e dei valori del volume specifico è stato possibile calcolare il parametro di stato ( $\psi$ ) lungo il profilo considerato, che diminuisce all'aumentare del grado di alterazione.

## 1.2 Parametri d'influenza

Data la variabilità tipica di questi terreni uno degli obiettivi postosi è stato quello d'individuare quale parametro fosse preponderante nel determinare il comportamento meccanico. A questo scopo, sono stati selezionati i campioni aventi grado d'alterazione massimo e minimo tra quelli a disposizione lungo uno stesso carotaggio (sh ewCDG e HDG).

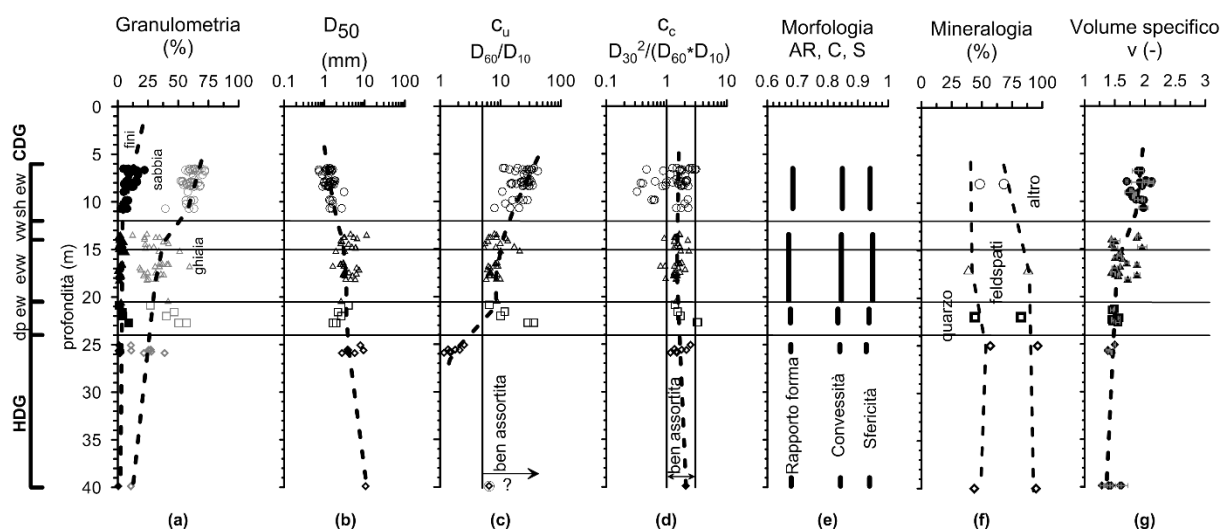


Fig 2. Proprietà fisiche del terreno lungo un profil con grado d'alterazione crescente.

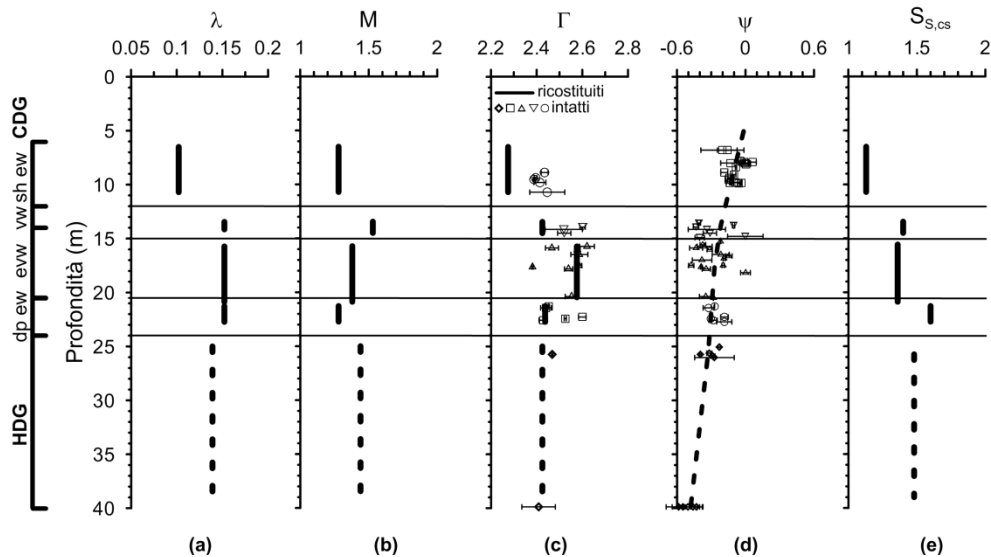


Fig 3. Caratteristiche meccaniche del terreno lungo un profilo con grado d'alterazione crescente.

Le loro proprietà ricadono agli estremi degli intervalli osservati, sia per quanto riguarda la granulometria che le caratteristiche dei grani, ovvero la mineralogia e la morfologia. Di conseguenza si è proceduto ad utilizzare i grani di questi due campioni per formare due terreni artificiali (*gpa* e *gma*, rispettivamente, per il terreno avente i grani più e meno alterati) aventi una stessa granulometria arbitraria. Effettuando una serie di prove edometriche è stato possibile individuare l'importanza delle proprietà dei grani nel determinare il comportamento meccanico. In Figura 3a non è visibile alcuna differenza sostanziale tra il comportamento dei due terreni, in quanto le NCL identificate sono essenzialmente le stesse. Viceversa, utilizzando grani di uno stesso campione e ricostituendoli secondo le curve granulometriche dei campioni aventi grado massimo e minimo d'alterazione (*cpa* e *cma*, rispettivamente), la differenza tra le due NCL è risultata maggiore (Fig 3b). Di conseguenza, la granulometria del terreno sembra avere più importanza nel determinare il comportamento meccanico che le proprietà dei grani, per lo meno all'interno degli intervalli studiati. Tuttavia, non è detto che le stesse conclusioni siano valide per il comportamento a taglio, in quanto Coop et al. (2004) hanno trovato che l'angolo di resistenza a taglio non è fortemente dipendente dalla granulometria iniziale.

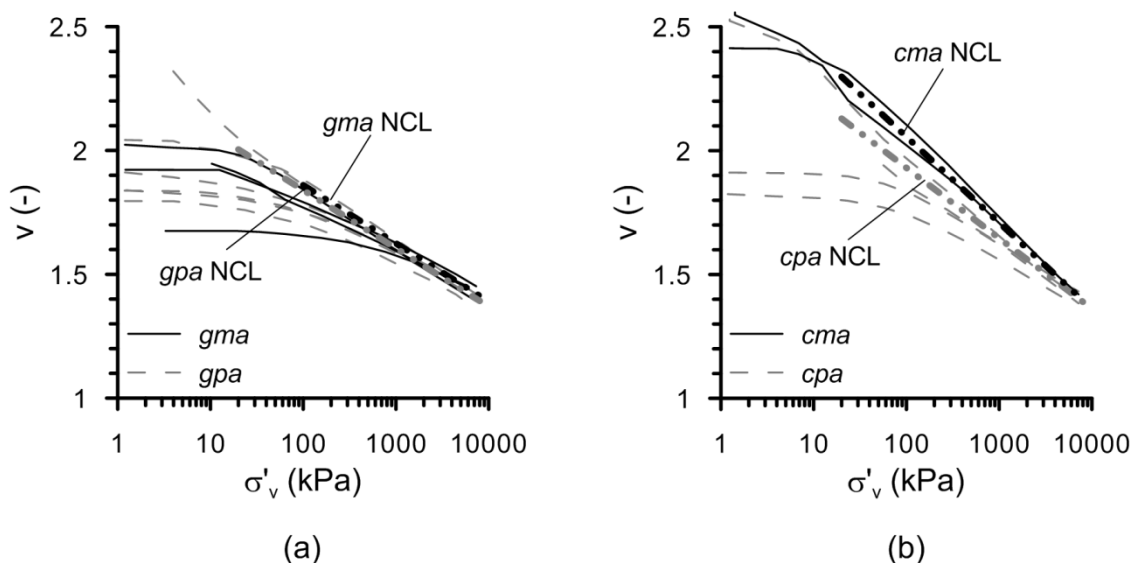


Fig 3. Influenza delle proprietà dei grani (a) e della granulometria (b) sul comportamento in compressione.

### 1.3 Effetti della microstruttura

Gli effetti della microstruttura sono stati valutati sia in compressione che in taglio, confrontando le prove su provini intatti con quelle su provini ricostituiti. A tal proposito, si fa presente, che la metodologia adottata per ricostituire i provini è stata selezionata così che i grani di terreno, che nella maggior parte dei casi erano aggregati di cristalli aventi diversa mineralogia, non subissero alcuna rottura. In generale, questo è stato possibile semplicemente setacciando il terreno. Figura 4 mostra le prove edometriche su provini intatti utilizzando l'indice dei vuoti ( $I_v$ ) proposto da Burland (1990). I provini aventi grado d'alterazione minore hanno un punto di partenza più lontano dalla linea di compressione intrinseca (ICL) e alla massima tensione verticale raggiunta non presentano un chiaro punto di snervamento. Tuttavia, al crescere del grado d'alterazione la posizione iniziale del terreno si muove verso l'alto e le curve incrociano la ICL. Il terreno con maggior grado d'alterazione (sh ewCDG) ha curve quasi interamente al di sopra della ICL, mostrando quindi un effetto positivo della microtessitura. Tuttavia, altri autori (Gasparre & Coop, 2008) hanno mostrato come questo tipo di trend sia dovuto al tipo di normalizzazione utilizzato.

Le prove triassiali sono state normalizzate attraverso una pressione equivalente ( $p^*_{cs}$ ) presa sulla CSL al fine d'ottenere una superficie di stato (SBS), che risulta essere diversa per i provini intatti e ricostituiti a causa degli effetti della microtessitura (Fig 5). Poiché pressioni considerevoli sono necessarie per raggiungere la NCL a causa dei valori negativi di  $\psi$ , non è stato possibile in nessun caso individuare per intero la superficie di Roscoe e quindi calcolare la sensitività per mezzo dei consueti parametri. Di conseguenza, si è definita una pseudo-sensitività ( $S_{s,cs}$ ) basata sul rapporto tra il valore in ordinata della SBS intatta e di quella ricostituita ( $SBS^*$ ) in prossimità dello stato critico, come visibile nell'inserito di Fig 5. Il valore di questo parametro, presentato in Fig 3e, diminuisce all'aumentare del grado d'alterazione.

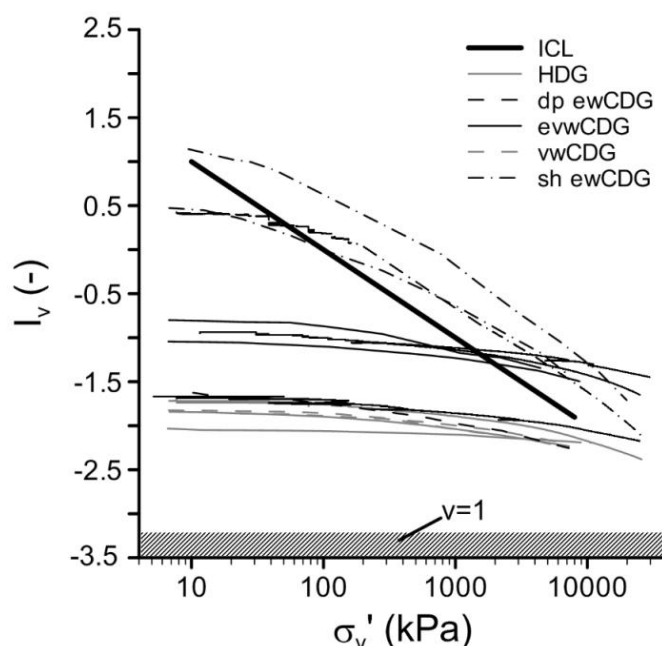


Fig 4. Curve di compressione normalizzate per provini intatti

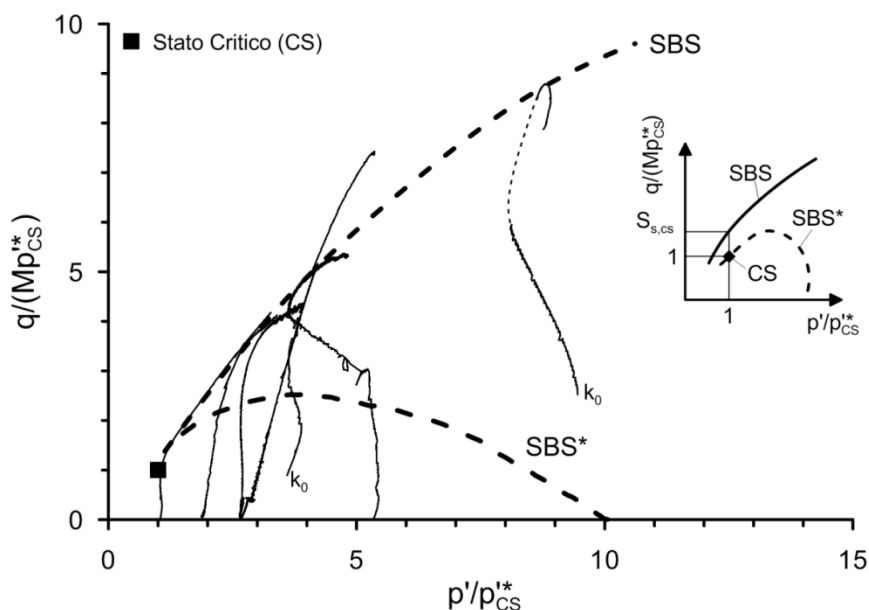


Fig 5. Curve di taglio normalizzate per provini intatti

### 3. Terreni vulcanici

Il programma di prove sui terreni vulcanici ha incluso sette campioni intatti presi sull'isola di Hong Kong ed aventi grado di alterazione IV e V, come per i terreni granitici. Allo stesso modo, si è cercato d'ottenere un profilo per i parametri più interessanti con la profondità e/o il grado di alterazione, così da poter capire come le principali caratteristiche del terreno siano influenzate dai processi d'alterazione. Tuttavia, il programma sperimentale si è limitato a prove edometriche e di caratterizzazione, a causa del maggior numero di campioni. Poiché i provini campionati provenivano da zone diverse, lo studio ha incluso due diverse formazioni geologiche: Ap Lei Chau e Mt. Davis. Questo ha permesso di studiare anche l'importanza relativa della formazione geologica.

In Figura 6 è chiaramente visibile che le caratteristiche iniziali della formazione geologica di partenza influenzano le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni. Tuttavia, i trend di comportamento sono simili con la profondità ed il grado d'alterazione. In generale, il terreno diventa più fine e il contenuto d'acqua relativo ai limiti di Atterberg, così come il limite di plasticità, crescono all'aumentare del grado d'alterazione. Tuttavia, non c'è chiara continuità tra i due gradi di alterazione, probabilmente a causa della variabilità tra i diversi siti. I valori di volume specifico in sito ( $v$ ) crescono all'aumentare del grado d'alterazione, nonostante l'influenza della formazione d'origine abbia una forte influenza. Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, la pendenza della linea di normalcompressione ( $\lambda$ ) e la sua posizione nel piano volumetrico ( $N_0$ ) aumentano al diminuire della profondità e sono anch'esse fortemente influenzate dalla formazione d'origine.

L'influenza della microtessitura del terreno è stata studiata calcolando i valori di sensitività ( $S_e$ ) per le varie prove effettuate per ogni provino intatto (Cotecchia & Chandler, 2000). Questa corrisponde al rapporto tra la tensione di snervamento ( $\sigma_y$ ) calcolata attraverso la costruzione di Casagrande e la tensione corrispondente allo stesso volume specifico sulla linea di normalcompressione intrinseca (ICL), come definita da Burland (1990). Questo valore risulta aumentare leggermente al diminuire della profondità ed avere valori mediamente più alti per i gradi di alterazione minore. Tuttavia, poiché in alcuni casi il ginocchio della curva era in prossimità della ICL,  $S_e$  è stata calcolata anche per valori pari a dieci volte  $\sigma_y$ . Questi valori hanno minor variabilità e risultano prossimi all'unità, dimostrando quindi che l'influenza della microtessitura risulta essere bassa e i suoi effetti vengono pressoché azzerati all'aumentare della tensione di un ordine di grandezza.

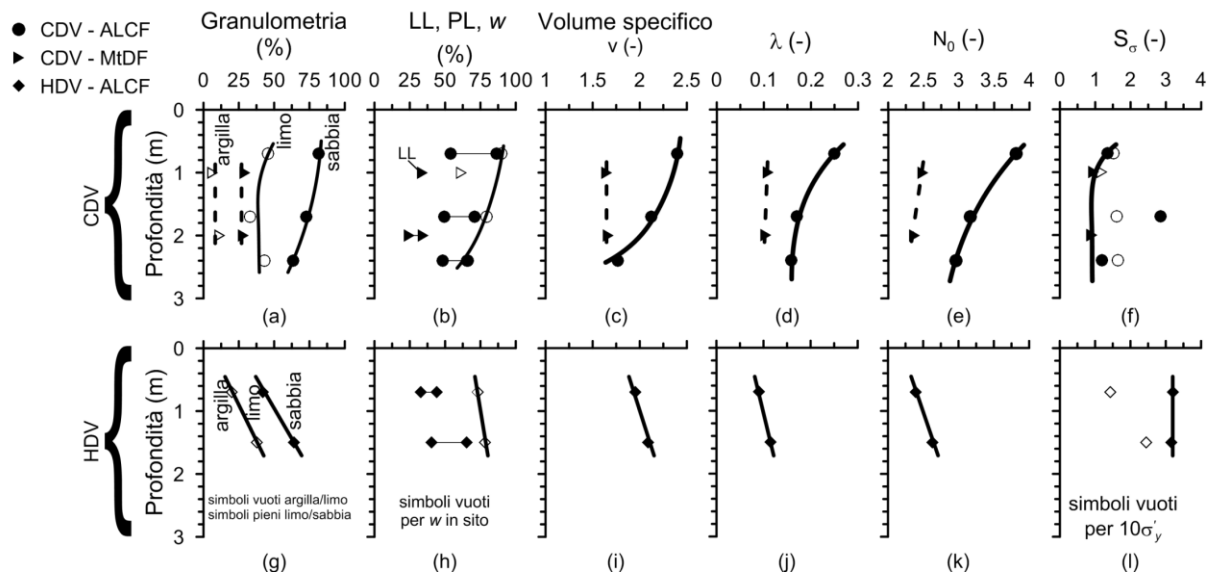


Fig 6. Curve di taglio normalizzate per provini intatti

#### 4. Conclusioni

Sulla base del programma sperimentale condotto su terreni originati dall'alterazione di rocce ignee provenienti da Hong Kong, si è rilevato che all'aumentare del grado d'alterazione le curve granulometriche tendono ad essere più fini e meglio assortite. Inoltre, si osserva un cambio nella mineralogia e morfologia dei grani, sebbene di minore importanza. Per questo motivo, la granulometria tende a dominare il comportamento meccanico. In generale, la linea di normalcompressione e di stato critico hanno minor pendenza e si muovono verso l'alto nel piano volumetrico al crescere del grado d'alterazione, sebbene questi trend abbiano maggior dispersione rispetto alle proprietà fisiche. Gli effetti della microtessitura sono di piccola entità e diminuiscono all'aumentare del grado d'alterazione, sebbene questo sia più visibile nel comportamento a taglio, che in quello a compressione. Trend simili si sono riscontrati per i terreni di origine vulcanica, sebbene il programma sperimentale sia stato limitato a prove edometriche. Una diminuzione degli effetti della microtessitura in seguito all'alterazione è stata riscontrata anche da Cafaro & Cotecchia (2001) per un'argilla d'origine sedimentaria.

#### Bibliografia

- Burland JB. (1990) "On the compressibility and shear strength of natural clays" *Géotechnique*, 40, 329-378
- Cafaro F & Cotecchia F. (2001) "Structure degradation and changes in the mechanical behaviour of a stiff clay due to weathering" *Géotechnique*, 51, 441-453
- Coop MR, Sorensen KK, Bodas Freitas T & Georgoutsos G. (2004) "Particle breakage during shearing of a carbonate sand". *Géotechnique*, 54, 157-163
- Cotecchia F & Chandler RJ. (2000) "A general framework for the mechanical behaviour of clays" *Géotechnique*, 50, 431-447.
- Gasparre A & Coop MR. (2008) "Quantification of the effects of structure on the compression of a stiff clay" *Canadian Geotechnical Journal*, 45, 1324-1334
- Geotechnical Engineering Office. (1988) Guide to rock and soil descriptions. Geoguide 3 Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.
- Rocchi I & Coop MR. (2015) "The effects of weathering on the physical and mechanical properties of a granitic saprolite". *Géotechnique*, in print.
- Sympatec. (2008) Windox-operating instructions release 5.4.1.0. Sympatec, Clausthal-Zellerfeld, Germany.