



EFFETTO DI MINERALOGIA E GRANULOMETRIA SUL COMPORAMENTO DI TRANSIZIONE DI MISCELE DI SABBIA

Ponzoni Elisa

Università degli Studi di Brescia

e.ponzoni001@unibs.it

Nocilla Alessandra

Università degli Studi di Brescia

alessandra.nocilla@unibs.it

Coop Matthew R.

City University of Hong Kong

mrcoop@cityu.edu.hk

Sommario

Il comportamento di transizione è stato identificato per diverse tipologie di terreno, dai terreni con lacuna granulometrica a limi e sabbie ben gradate. Tale comportamento è caratterizzato dall'esistenza di percorsi di compressione non convergenti e dalla non unicità della linea di stato critico, con localizzazione fortemente dipendente dalla densità iniziale dei campioni. Sebbene in letteratura tale comportamento sia stato inizialmente attribuito a terreni di granulometria intermedia, è stato mostrato come questo sembrerebbe manifestarsi anche in presenza di terreni aventi granulometria mista, con lacuna granulometrica o ben gradati, e per miscele composte da particelle di diversa natura o diversa mineralogia. La diversa tipologia di terreni in cui tale comportamento è stato osservato evidenzia l'elevata difficoltà nell'individuazione dei fattori chiave che lo determinano. Uno studio recente ha mostrato la mancata convergenza dei percorsi di compressione per alcune miscele di sabbia create artificialmente utilizzando materiali di differente mineralogia: sabbia di quarzo e sabbia carbonatica. Con lo scopo di verificare l'effetto della composizione mineralogica, delle dimensioni e resistenza relative dei grani e natura delle particelle sul manifestarsi o meno del comportamento di transizione, la presente nota approfondisce i risultati del precedente studio utilizzando miscele di sabbia caratterizzate da proporzioni variabili delle componenti mineralogiche e granulometriche.

1. Introduzione

I terreni di transizione sono caratterizzati da un comportamento non descrivibile mediante il classico modello di stato critico adottato per sabbie ed argille. Sebbene per taluni casi sia stato possibile individuare un'unica superficie di stato limite (Nocilla et al., 2006), tale comportamento è caratterizzato dalla non unicità delle linee di normale compressione monodimensionale (1D-NCL) ed isotropa (iso-NCL) e/o della linea di stato critico (CSL) (Martins et al., 2001; Ferreira & Bica, 2006; Nocilla et al., 2006). Nel caso di terreni confezionati artificialmente in laboratorio, la mancata convergenza dei percorsi di compressione è stata identificata per la prima volta in letteratura per provini ricostituiti di sabbia residuale di Botucatu aventi granulometria intermedia con lacuna granulometrica (Martins et al., 2001) e limi ben gradati con definite percentuali di contenuto di fine (Nocilla et al., 2006). Dunque, nonostante il comportamento di transizione sia stato inizialmente attribuito a miscele artificiali di terreni a granulometria intermedia, è stato successivamente mostrato

come il parallelismo dei percorsi di compressione e di taglio sia osservabile anche nel caso di terreni naturali (Nocilla & Coop, 2008; Ponzoni et al., 2014).

Con lo scopo di analizzare l'eventuale influenza di mineralogia, granulometria e grado di uniformità del materiale sul comportamento di transizione, Altuhafi & Coop (2011) hanno eseguito prove su sabbie di diversa mineralogia variando il grado di uniformità delle stesse. Gli autori hanno osservato, a parità di mineralogia, l'evoluzione del comportamento del materiale che inizialmente caratterizzato dall'esistenza di un'unica 1D-NCL diviene di transizione al passaggio tra granulometria uniforme a poco uniforme. Con lo scopo di attribuire i ruoli di granulometria, mineralogia e grado di rottura delle particelle, Shipton & Coop (2012) hanno condotto un ampio programma sperimentale su terreni ricostituiti mostrando come anche piccole modifiche della quantità di particelle di una certa natura possano cambiare significativamente il comportamento della miscela in esame e come il comportamento di transizione possa essere esteso e manifestarsi in miscele di terreni caratterizzati da diversa granulometria, composti da particelle di diversa mineralogia o diversa tipologia. Nel dettaglio, l'analisi del comportamento a compressione edometrica di terreni artificiali costituiti da due sabbie aventi mineralogia e resistenza dei grani profondamente differenti e granulometria pressoché identica ha evidenziato la mancata convergenza dei percorsi di compressione per miscele aventi una marcata prevalenza di contenuto di sabbia di quarzo. Gli autori inoltre hanno osservato l'assenza di una correlazione diretta tra il comportamento di transizione e il grado di rottura delle particelle.

Per quanto riguarda lo studio di miscele create artificialmente mediante l'unione di sabbie caratterizzate da grani di resistenza profondamente differente, come è noto, sono esigui i casi studiati e presentati in letteratura. Sebbene in un'ottica diversa dalla ricerca di un eventuale comportamento di transizione, Leleu & Valdes (2007) sottoponendo a compressione monodimensionale miscele composte da sabbia quarzifica (*Ottawa Sand*) e sabbia calcarea, aventi grani di analoghe dimensioni, hanno mostrato come la risposta meccanica delle stesse sia influenzata dalla quantità relativa di minerali presenti. In una sabbia uniforme composta prevalentemente da grani resistenti, è sufficiente una piccola variazione della quantità di particelle fragili, non necessariamente interconnesse, per causare un significativo cambiamento nel comportamento tenso-deformativo; viceversa, in una sabbia uniforme composta prevalentemente da grani fragili occorre una certa quantità di particelle resistenti affinché si osservi un'effettiva variazione di comportamento.

Nella presente nota vengono presentati i risultati sperimentali di prove di compressione monodimensionale eseguite su miscele di sabbia composte da differenti percentuali di sabbia di quarzo (*Leighton Buzzard sand*) e sabbia carbonatica. In particolare, l'obiettivo è quello di verificare se la mancata convergenza dei percorsi di compressione osservata da Shipton e Coop (2012) possa essere imputabile alla resistenza profondamente differente dei grani o se anche le dimensioni e la natura della particelle possano avere un peso sul manifestarsi o meno del comportamento di transizione.

2. Classificazione e comportamento a compressione delle miscele oggetto di studio

2.1 Mineralogia e classificazione delle sabbie

Le miscele oggetto di studio sono state create artificialmente utilizzando terreni di diversa mineralogia e granulometria. Nel dettaglio, sono state realizzate 5 miscele caratterizzate da differenti contenuti di sabbia di quarzo (*Leighton Buzzard sand*) e sabbia carbonatica ottenuta dalla frantumazione di roccia tenera calcarea. Le curve granulometriche delle sabbie utilizzate sono mostrate in Fig.1. La sabbia di quarzo è composta da grani resistenti di forma regolare ed arrotondata, peso specifico dei grani solidi G_s di 2.7 e dimensioni comprese tra 0.212 e 0.80mm. La sabbia carbonatica è invece caratterizzata da particelle fragili di forma sub-angolare o angolare di dimensioni variabili tra 0.70 e 2.36mm e peso specifico dei grani solidi G_s pari a 2.65.

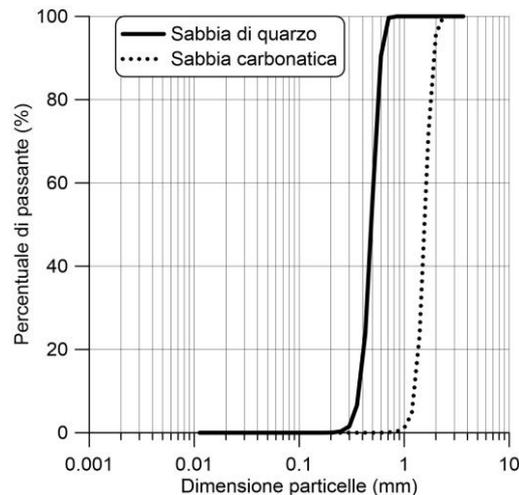


Fig 1. Curve di distribuzione granulometrica della sabbia di quarzo e della sabbia carbonatica.

2.2 Calcolo del volume specifico iniziale

Al fine di identificare la natura di transizione di un terreno è necessaria un'estrema accuratezza nel calcolo del volume specifico iniziale. Senza tale accuratezza sarebbe impossibile dimostrare la non convergenza dei percorsi. Il volume specifico iniziale è stato quindi calcolato come media aritmetica tra i differenti valori ottenuti da 5 equazioni basate rispettivamente sulle seguenti letture indipendenti: peso umido dell'unità di volume iniziale γ_0 , contenuto d'acqua iniziale w_0 , peso umido dell'unità di volume finale γ_f , contenuto d'acqua finale w_f e peso secco dell'unità di volume finale γ_{df} . La determinazione di v_0 con ciascuna equazione è basata su una misura indipendente, ma è ovvio che un legame tra di esse sia comunque presente. La massima differenza tra il volume specifico assunto e quello calcolato con ciascuno dei metodi utilizzati assume un valore medio assoluto pari a 0.012 e un valore massimo di 0.031.

2.3 Prove di compressione edometrica

Le 5 miscele analizzate sono caratterizzate rispettivamente da una percentuale in peso di sabbia di quarzo del 100-80-50-20-0% rispetto al peso totale di sabbia di quarzo e sabbia carbonatica. I provini sono stati creati utilizzando la tecnica di compattazione umida (*wet compaction*) per l'agevole ripetibilità della preparazione e la possibilità di ottenere gruppi con volumi specifici iniziali molto simili. In Fig. 2 vengono presentate le curve di compressione monodimensionale suddivise per tipologia di miscela: (a) 100% sabbia di quarzo; (b) 80% sabbia di quarzo e 20% sabbia carbonatica; (c) 50% sabbia di quarzo e 50% sabbia carbonatica; (d) 20% sabbia di quarzo e 80% sabbia carbonatica; (e) 100% sabbia carbonatica. Sono stati utilizzati due differenti tipologie di anello edometrico: un anello fisso di diametro 50mm ed altezza 20mm ed un anello flottante di diametro 30mm ed altezza 20mm necessario per evitare il raggiungimento di elevati sforzi tangenziali lungo la superficie di contatto tra terreno ed anello stesso.

Per ciascuna miscela è stata osservata una chiara convergenza dei percorsi di compressione ed è stato possibile definire la posizione della 1D-NCL nel piano σ'_{v-v} (tensione verticale efficace vs volume specifico) come mostrato in Fig.2. In particolare, coerentemente con la maggiore resistenza delle particelle di quarzo costituenti la miscela, per contenuti di sabbia di quarzo compresi tra il 50% ed il 100% le 1D-NCLs vengono raggiunte per valori di tensione verticale efficace attorno a 20MPa (Fig.2 (a), (b), (c)), mentre per miscele con frazioni di sabbia di quarzo dello 0% e del 20% la convergenza avviene per sforzi inferiori (<7MPa) (Fig.2 (d) e (e)). In Fig.2(f) è mostrata nel piano σ'_{v-v} (tensione verticale efficace vs volume specifico) la localizzazione delle 1D-NCLs al variare del contenuto di sabbia di quarzo nella miscela.

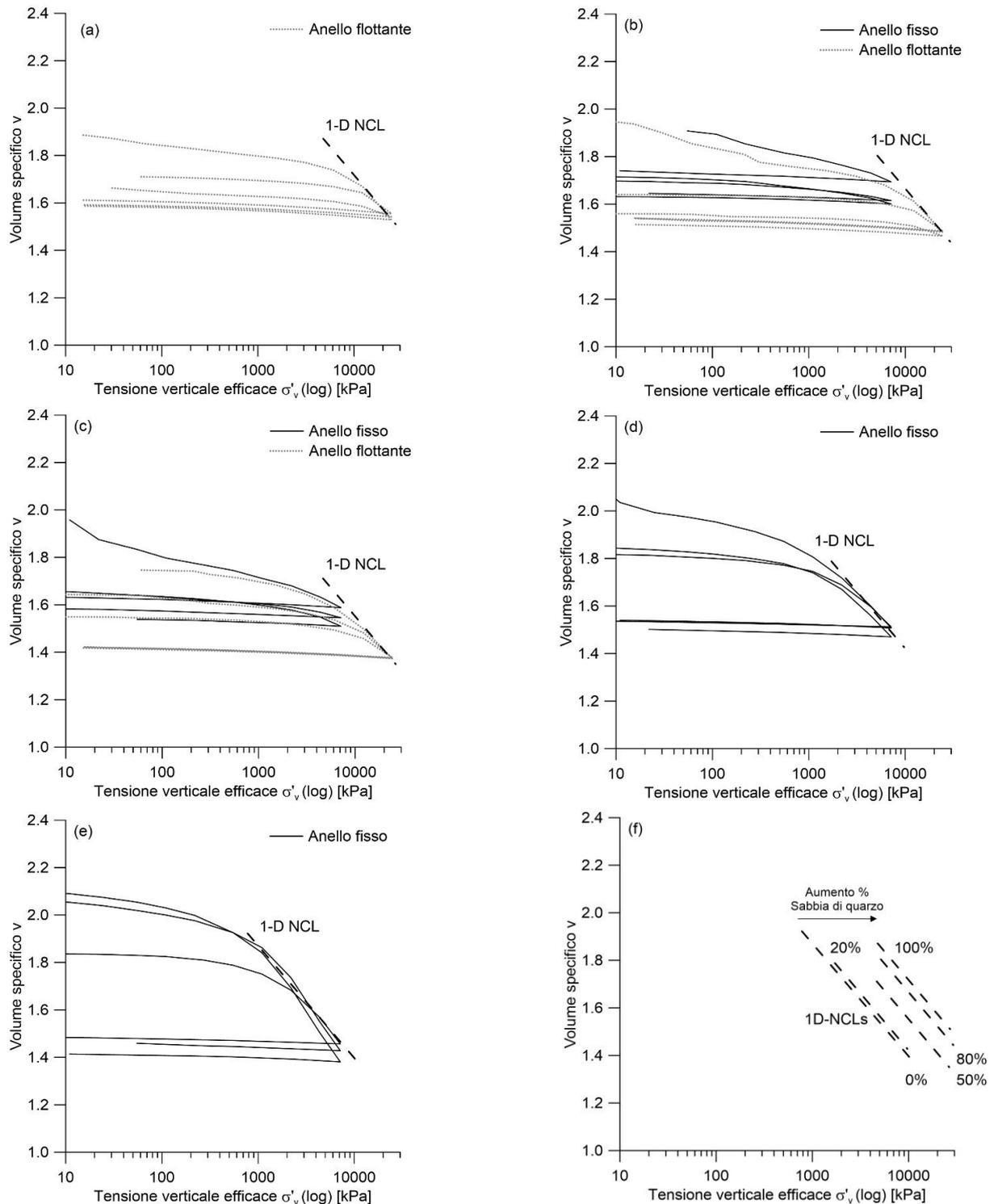


Fig 2. Percorsi di compressione edometrica per: (a) 100% sabbia di quarzo; (b) 80% sabbia di quarzo 20% sabbia carbonatica; (c) 50% sabbia di quarzo 50% sabbia carbonatica; (d) 20% sabbia di quarzo 80% sabbia carbonatica; (e) 100% sabbia carbonatica. (f) Posizione 1D-NCL al variare del contenuto di sabbia di quarzo.

La posizione relativa delle 1D-NCLs, parallele le une rispetto alle altre, conferma le osservazioni di Leleu & Valdes (2007). La vicinanza delle 1D-NCLs per miscele con contenuto di sabbia di quarzo dello 0% e del 20% indica la necessità di aggiungere una significativa quantità di particelle resistenti affinché si possa osservare un'effettiva variazione del comportamento della sabbia composta prevalentemente da grani fragili di origine carbonatica. Parallelamente, il distacco presente tra le 1D-

NCLs relative alle miscele con 100% ed 80% sabbia di quarzo indica come in una sabbia composta prevalentemente da grani resistenti, sia sufficiente una piccola variazione della quantità di particelle fragili per causare un significativo cambiamento di comportamento meccanico.

La convergenza dei percorsi riscontrata per tutte le miscele, comprese quelle con marcata prevalenza di grani resistenti, indica un andamento a compressione differente rispetto a quanto riscontrato da Shipton & Coop (2012), i quali hanno osservato il comportamento di transizione per miscele composte da 90% sabbia di quarzo e 10% sabbia carbonatica (Fig.3(a)) e miscele con 70% sabbia di quarzo e 30% sabbia carbonatica. In Fig. 3(b) i risultati della sperimentazione sono stati confrontati con quelli ottenuti da Shipton & Coop (2012) in termini di grado del comportamento di transizione a compressione m , espresso in funzione del contenuto di sabbia di quarzo presente. Tale coefficiente m , definito da Ponzoni et al. (2012) e Ponzoni et al. (2014), è tanto più pari all'unità quanto più i percorsi di compressione si mantengono paralleli e il comportamento risulta di transizione. Nei casi in esame, la convergenza su di un'unica 1D-NCL attribuisce alle miscele un coefficiente m pari a zero. Viceversa, alla miscela analizzata da Shipton & Coop (2012) composta da 90% sabbia di quarzo e 10% sabbia carbonatica corrisponde un elevato grado di transizione m , pari a circa 0.7.

Dal punto di vista della tipologia di particelle, nella sperimentazione corrente sono state miscelate sabbia di quarzo *Leighton Buzzard* e sabbia carbonatica ottenuta dalla frantumazione di roccia tenera calcarea, laddove Shipton & Coop (2012) hanno utilizzato sabbia di quarzo proveniente dalla *Thames Valley* e sabbia biogenica carbonatica *Dogs Bay sand*. Per quanto riguarda le distribuzioni granulometriche delle miscele, queste risultano caratterizzate da lacuna granulometrica seppure di piccola entità (Fig.1), essendo state realizzate con sabbia di quarzo avente grani compresi tra 0.212 e 0.80mm e sabbia carbonatica con particelle di dimensioni variabili tra 0.70 e 2.36mm. Viceversa Shipton & Coop (2012) hanno utilizzato sabbie con granulometria pressoché identica realizzando miscele di sabbia di quarzo nella naturale composizione granulometrica, tra 0.18 e 0.3mm, e sabbia carbonatica avente grani compresi tra 0.212 e 0.3 mm.

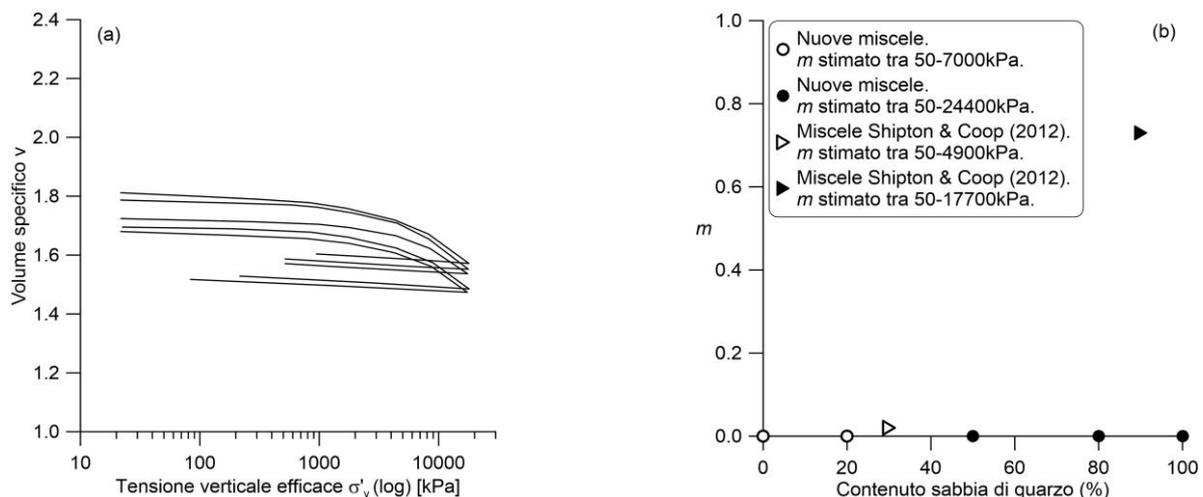


Fig 3.(a)Percorsi di compressione edometrica della miscela 90% sabbia di quarzo e 10% sabbia carbonatica (rielaborazione basata su Shipton & Coop, 2012). (b) Valori di m al variare del contenuto di sabbia di quarzo.

3. Considerazioni conclusive

Per ciascuna delle miscele analizzate è stata osservata una chiara convergenza dei percorsi di compressione verso un'unica 1D-NCL ed è stata individuata una forte influenza della quantità relativa di minerali presenti sul comportamento meccanico delle stesse. Sebbene le miscele studiate siano caratterizzate da lacuna granulometrica, le osservazioni fornite da Leleu & Valdes (2007) rimangono

valide. Infatti, mentre la vicinanza delle 1D-NCLs relative alle miscele con percentuale di sabbia di quarzo dello 0% e del 20% conferma come in una sabbia composta prevalentemente da grani fragili occorra aggiungere una significativa quantità di particelle resistenti affinché si osservi un'effettiva variazione del comportamento meccanico, il distacco tra le 1D-NCLs relative alle miscele con 100% e 80% sabbia di quarzo indica come in una sabbia composta prevalentemente da grani resistenti, sia sufficiente una piccola variazione della quantità di particelle fragili per causare un significativo cambiamento di comportamento. Inoltre, coerentemente con la maggiore resistenza delle particelle di quarzo rispetto ai grani carbonatici, miscele con contenuti di sabbia di quarzo compresi tra il 50% ed il 100% raggiungono le rispettive 1D-NCLs per valori di tensione verticale efficace attorno a 20MPa, mentre miscele con frazioni di sabbia di quarzo dello 0% e del 20% convergono verso la 1D-NCL per sforzi significativamente inferiori, pari a circa 7MPa.

I risultati della sperimentazione sono stati confrontati con quelli ottenuti da Shipton & Coop (2012), i quali hanno osservato un chiaro comportamento di transizione per miscele composte da 90% sabbia di quarzo e 10% sabbia carbonatica e miscele con 70% sabbia di quarzo e 30% sabbia carbonatica. Osservando l'andamento dei percorsi di compressione di Shipton & Coop (2012) in Fig.3(a), non è possibile escludere la possibile convergenza verso un'unica 1D-NCL per tensioni molto più elevate rispetto a quelle raggiunte e volumi specifici prossimi all'unità. Tale convergenza darebbe luogo ad una 1D-NCL molto limitata in estensione e di conseguenza ad un comportamento differente da quello classico adottato per le sabbie. La diversità di comportamento esistente tra le miscele di Shipton & Coop (2012) e le miscele in esame aventi simile percentuale in peso di grani resistenti e grani fragili sembra evidenziare che per miscele artificiali di sabbia, la presenza di particelle aventi resistenza profondamente diversa non possa essere considerata il solo fattore responsabile del manifestarsi del comportamento di transizione. Ovvero, a parità di tipologia di frazione mineralogica prevalente, le dimensioni relative dei grani e la natura delle particelle costituenti il terreno, compresa l'intera complessità mineralogica, sembrerebbero giocare un ruolo fondamentale sul manifestarsi o meno del comportamento di transizione.

Ringraziamenti

Il lavoro descritto in questa nota è stato finanziato da Research Grants Council of the Hong Kong Special Administrative Region, China (Project No. CityU 112911).

Bibliografia

- Altuhafi F., Coop M.R. (2011). "Changes to particle characteristics associated with the compression of sands", *Géotechnique*, 61 (6), 459-471.
- Ferreira P.M.V., Bica A.V.D. (2006). "Problems on the identification of structure in a soil with a transitional behaviour", *Géotechnique*, 56(7), 445-454.
- Leleu S.L., Valdes J.R. (2007). "Experimental study of the influence of mineral composition on sand crushing", *Géotechnique*, 57(3), 313-317.
- Martins F., Bressani L.A., Coop M.R., Bica V.D. (2001). "Some aspects of the compressibility behaviour of a clayey sand", *Canadian Geotechnical Journal*, 38(6), 1177-1186.
- Nocilla A., Coop M.R., Colleselli F., (2006). "The Mechanics of an Italian Silt; an Example of "Transitional" Behaviour", *Géotechnique*, 56(4), 261-271.
- Nocilla A., Coop M.R. (2008). "The behaviour of sub-soils from the Po River Embankments: an example of transitional behaviour in natural soils", *Rivista Italiana di Geotecnica*, 42(1), 49-58.
- Ponzoni E., Nocilla A., Coop M.R. (2012). "Il comportamento di transizione dei terreni della laguna di Venezia", *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2012 – IARG 2012 – Padova*, 2-4 Luglio.
- Ponzoni E., Nocilla A., Coop M.R., Colleselli F. (2014). "On the Identification and Quantification of Transitional Modes of Behaviour in the Sediments of the Venice Lagoon.", sottomesso a *Géotechnique*.
- Shipton B., Coop M.R. (2012). "On the compression behaviour of reconstituted soils", *Soils and Foundations*, 52(4), 668–681.