

Procedure di riconsolidazione di argille leggermente sovraconsolidate

LUIGI CALLISTO*

SOMMARIO. La determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche dei terreni argillosi può essere sensibilmente influenzata dalle procedure di riconsolidazione adoperate nel corso delle prove di laboratorio. Sull'argilla di Pisa, sono state eseguite prove triassiali utilizzando tre diverse procedure di riconsolidazione; in base ai risultati ottenuti, viene presentata una discussione sugli effetti di tali procedure.

1. Introduzione

Le caratteristiche meccaniche dei terreni argillosi vengono comunemente determinate mediante prove in cella triassiale. Tuttavia, gli effetti risultanti dalle operazioni di prelievo, conservazione e preparazione dei campioni sui quali condurre le prove fanno sì che le proprietà misurate possano essere significativamente diverse da quelle che il terreno possiede nelle sue condizioni naturali in sito.

È possibile individuare due principali fonti di disturbo del campione: la variazione delle tensioni efficaci conseguente al prelievo, e il disturbo meccanico provocato dalle operazioni di campionamento.

Il primo effetto è dovuto alla rimozione delle tensioni totali dalla frontiera del campione, che dà luogo al passaggio da uno stato tensionale efficace anisotropo ad uno isotropo, e ad una variazione della tensione efficace media p' , rispetto a quella agente in sito [SKEMPTON e SOWA, 1963; GRAHAM *et al.*, 1987]. In seguito a tale variazione di stato tensionale, è possibile che la microstruttura naturale dell'argilla si modifichi, adattandosi al nuovo regime di tensioni efficaci, e conferendo all'argilla proprietà diverse da quelle del materiale in sito.

Il secondo fenomeno è strettamente legato alle modalità di prelievo del campione; comunemente per terreni argillosi teneri vengono impiegati campionatori a tubo infissi a pressione. Durante l'infissione il campione subisce dei disturbi meccanici: BALIGH *et al.* [1987] hanno mostrato che, per un campionatore ideale con tagliente arrotondato, il disturbo subito da un elemento di terreno posto in corrispondenza dell'asse del campionatore consiste essenzialmente in un ciclo non drenato di compressione ed estensione assiale, la cui ampiezza dipende dalle caratteristiche geometriche del campionatore stesso, ed in particolare decresce con l'aumentare del rapporto fra diametro e spessore delle pareti. BUDHU e WU [1991], simulando il processo di campionamento mediante un'analisi agli elementi finiti, e descrivendo il comportamento del terreno con il modello Cam

Clay Modificato [ROSCOE e BURLAND, 1968], hanno messo in evidenza che l'entità delle distorsioni subite dal campione dipende fortemente dall'aderenza fra terreno e pareti del campionatore.

Allo scopo di rendere la misura delle caratteristiche meccaniche di un terreno argilloso sufficientemente rappresentativa del comportamento del terreno in sito, è comune la pratica di riconsolidare il provino in cella triassiale prima di sottoporlo a prova. Tale riconsolidazione può essere effettuata secondo diverse procedure: la più semplice è quella di sottoporre il provino ad uno stato tensionale isotropo, in cui la tensione efficace media sia prossima a quella agente in sito. Un miglioramento di tale procedura consiste nel ripristinare all'interno del provino lo stato tensionale efficace anisotropo agente in sito. Nell'ipotesi che durante le fasi di campionamento e di riconsolidazione il materiale sia stato soggetto a campi di deformazione di entità modesta, e quindi prevalentemente reversibili, questa procedura dovrebbe consentire di ricostruire lo stato del terreno così come si presenta in sito; è importante che durante questa fase l'indice dei pori subisca piccole variazioni.

La procedura di riconsolidazione appena descritta impone di conoscere a priori lo stato tensionale efficace agente in sito, e di disporre di un'apparecchiatura in grado di assoggettare il provino a tale stato tensionale; nel caso, semplice ma ricorrente, di superficie orizzontale del terreno e di deposizione in condizioni monodimensionali, lo stato tensionale in corrispondenza di qualunque elemento di terreno è assialsimmetrico, e quindi riproducibile in cella triassiale. Inoltre, in tali condizioni lo stato tensionale efficace in sito è determinabile se sono noti la pressione interstiziale ed il coefficiente di spinta a riposo K_0 , pari al rapporto fra le tensioni efficaci orizzontale e verticale σ'_h / σ'_v . K_0 può essere determinato attraverso espressioni empiriche, prove in sito e prove di laboratorio; tra queste ultime, ad esempio, prove edometriche con misura delle tensioni laterali, o prove in cella triassiale nelle quali sia possibile im-

* Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

porre condizioni di deformazione monodimensionale [MESRI e HAYAT, 1993].

Un approccio sostanzialmente diverso al problema della riconsolidazione è quello in cui si assume che i disturbi prodotti dal campionamento siano cancellati da una riconsolidazione a tensioni più elevate di quelle agenti in sito. Il metodo Shansep, proposto in quest'ottica da LADD e FOOT [1974] per argille leggermente sovraconsolidate, prevede una riconsolidazione in condizioni monodimensionali fino a valori della tensione verticale efficace σ'_{vmax} almeno 1.5 volte maggiori di quella di preconsolidazione σ'_{vc} , ed uno scarico, ancora monodimensionale, al valore del grado di sovraconsolidazione stimato per l'argilla in sito. Le relazioni tensione-deformazione ottenute dopo tale procedura vanno poi scalate in ragione del rapporto $\sigma'_{vmax}/\sigma'_{vc}$. La procedura Shansep si basa quindi sull'ipotesi che le proprietà del materiale siano normalizzabili rispetto alla massima tensione efficace verticale applicata al provino.

BALIGH *et al.* [1987] hanno verificato sull'argilla di Boston che una procedura di tipo Shansep è in grado di cancellare gli effetti delle distorsioni prodotte dall'infissione di un campionatore. Più in generale, TOPOLNICKI *et al.* [1990] hanno mostrato che per un'argilla è possibile cancellare gli effetti della precedente storia di carico mediante dei percorsi tensionali proporzionali che causino significative deformazioni volumetriche.

2. Descrizione del programma sperimentale

Il terreno argilloso sul quale sono state effettuate le prove descritte nel seguito fa parte del complesso di argille tenere dei terreni di fondazione della Torre di Pisa. In particolare è stato preso in esame il terreno compreso fra le profondità di 12.0 e 14.0 m. Si tratta di un'argilla limosa di alta plasticità, le cui proprietà fisiche sono riportate in Tab. I. Il grado di sovraconsolidazione OCR misurato mediante prove di compressibilità edometrica varia per le profondità in esame fra 1.2 e 2. CALABRESI *et al.* [1993] hanno mostrato che tali valori di OCR possono essere attribuiti in buona misura a sovraconsolidazione meccanica. Nel seguito si è adoperato un valore di OCR pari a 1.5.

Tabella I - Proprietà fisiche dell'argilla di Pisa.

Peso unità di volume (kN/m ³)	Limite liquido (%)	Indice di plasticità (%)	Contenuto in acqua (%)	Frazione argillosa (%)'
16.0	84	49	67	66

I campioni utilizzati sono stati prelevati con il campionatore Laval, progettato per prelevare con il minimo disturbo argille sensitive [LA ROCHELLE *et al.*, 1981]; esso, grazie alle sue caratteristiche geometriche e a particolari modalità operative, è considerato uno dei migliori campionatori per argille tenere esistenti al momento [SMITH, 1992].

Le prove sono state eseguite su campioni naturali e su campioni ricostituiti in laboratorio. Il materiale ricostituito è stato preparato miscelando l'argilla naturale con acqua distillata, ad un contenuto d'acqua pari a 1.5 volte il limite liquido. Ad esso è stata successivamente imposta una storia tensionale simile a quella subita dal deposito naturale. In quest'ottica, il materiale ricostituito è stato prima consolidato in un edometro di grandi dimensioni fino ad un valore della tensione verticale efficace σ'_v coincidente con il valore di σ'_{vc} stimato per il deposito naturale alla quota in esame, e successivamente scaricato, sempre in edometro, a un valore di OCR = 1.5, prossimo a quello valutato per l'argilla naturale. In questo modo il materiale, una volta estruso dall'edometro, subisce un rilascio tensionale del tutto analogo a quello subito dall'argilla naturale durante il prelievo. Tuttavia, la non riproducibilità dell'ambiente di deposizione, e la differenza nei tempi di applicazione dei carichi, lasciano prevedere che l'assetto microstrutturale del materiale ricostituito sia notevolmente diverso da quello dell'argilla naturale.

Sia sull'argilla naturale, sia su quella ricostituita, sono state eseguite tre diverse procedure di riconsolidazione, rappresentate schematicamente in Fig. 1:

- riconsolidazione in condizioni monodimensionali (K_o) fino al raggiungimento della tensione efficace verticale σ'_{vo} , agente in sito;
- riconsolidazione K_o fino alla tensione di preconsolidazione σ'_{vc} , seguita da uno scarico K_o fino a σ'_{vo} .
- riconsolidazione K_o fino alla tensione assiale $\sigma'_{amax} = 1.5 \sigma'_{vo}$, e scarico K_o fino a $\frac{\sigma'_{amax}}{OCR}$

Ogni procedura di riconsolidazione è stata seguita da un percorso di carico drenato puramente deviatorico (con p' costante).

Le prove sono state eseguite in una cella triassiale che permette l'esecuzione di percorsi di carico controllati da calcolatore, con *feedback* a ciclo chiuso [BISHOP e WESLEY, 1975]. Le condizioni di deformazione monodimensionale sono state ottenute incrementando la tensione efficace assiale alla velocità di 1.5 kPa/h, e regolando la tensione orizzontale affinché le deformazioni laterali, calcolate a partire dalla misura delle variazioni di volume e delle deformazioni assiali, rimanessero contenute entro l'intervallo di $\pm 0.01\%$. Il drenaggio è stato consentito

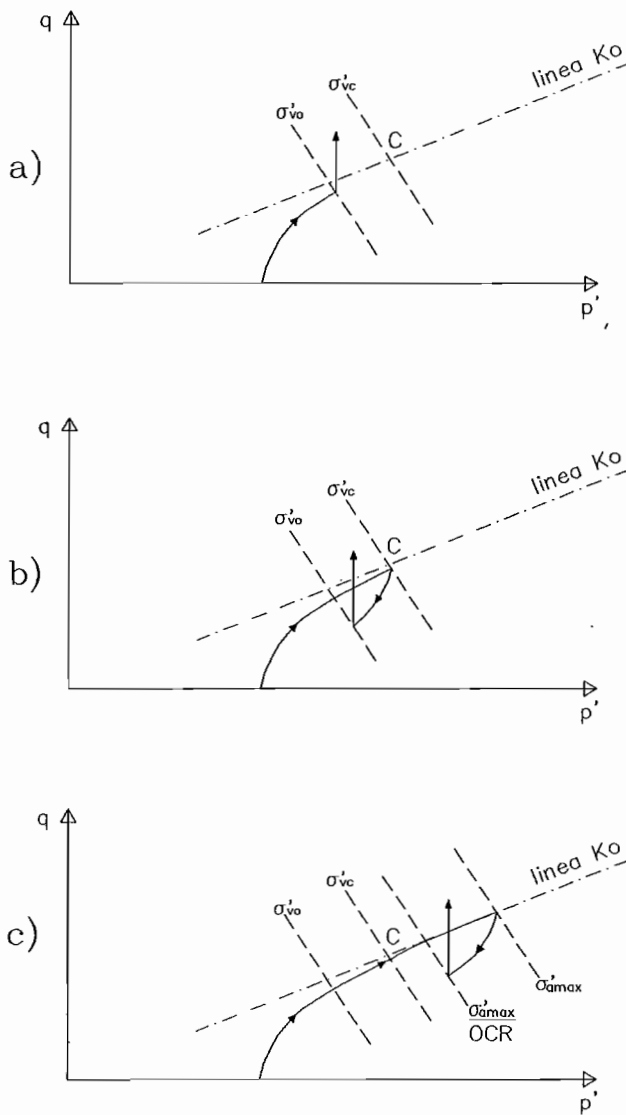


Fig. 1 - Rappresentazione schematica dei percorsi di carico seguiti nelle diverse procedure di riconsolidazione.

solo alla base ed in testa al provino. Le velocità di prova adoperate hanno permesso di ottenere sovrappressioni interstiziali massime, misurate a metà altezza del provino mediante un trasduttore miniaturizzato [HIGHT, 1982], generalmente contenute entro i 5 kPa.

In Fig. 2 sono mostrate le curve di compressione edometrica ottenute, sui campioni ricostituiti e su quelli naturali, mediante prove a incrementi di carico (IL) e prove a velocità di deformazione controllata (CRS). Nella stessa figura sono indicati i massimi valori della tensione verticale efficace raggiunti in cella triassiale nelle procedure di riconsolidazione (a), (b), (c). Si osserva che l'argilla ricostituita ha un indice dei vuoti iniziale più basso di quello dell'argilla naturale. Lungo il ramo di compressione vergine, il materiale naturale risulta sensibilmente più compressibile di quello ricostituito; con l'aumentare dello stato tensionale le due compressibilità divengono simili, e i due insiemi di curve tendono a con-

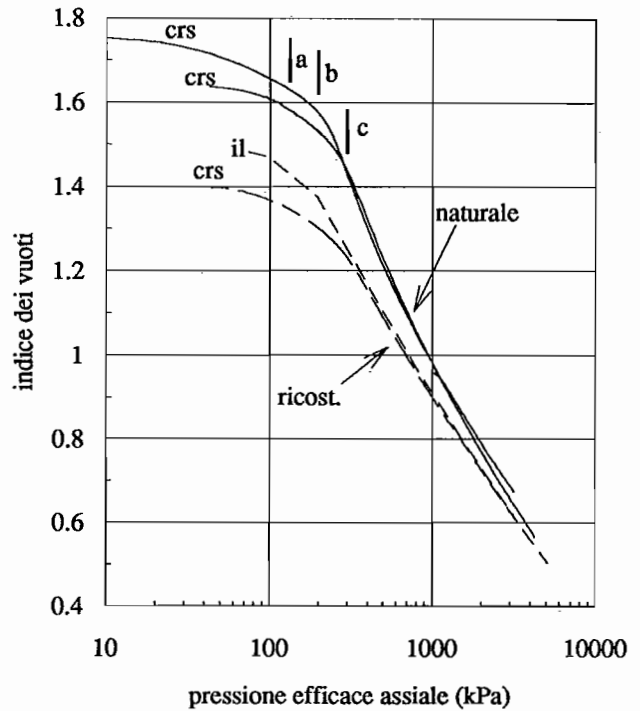


Fig. 2 - Curve di compressibilità edometrica dell'argilla naturale e di quella ricostituita.

vergere. Questo comportamento viene comunemente interpretato ipotizzando che la microstruttura dell'argilla naturale, in seguito al processo di deposizione, sia caratterizzata da una forte porosità e da significativi legami fra le particelle; essa viene progressivamente alterata dalle sollecitazioni trasmesse al materiale stesso, in laboratorio o in sito, in tempi brevi rispetto a quelli di deposizione [BURLAND, 1990]. In seguito a questa progressiva destrutturazione, il materiale acquista un nuovo assetto microstrutturale, più simile a quello creato artificialmente sul materiale ricostituito. Questa interpretazione trova una sostanziale conferma nelle indagini microscopiche condotte sulla microstruttura di alcune argille tenere [QUIGLEY e THOMPSON, 1966; DELAGE e LEFEBVRE, 1984].

Con riferimento alla stessa figura, si può osservare che attraverso la procedura di riconsolidazione (a) viene semplicemente ripristinato lo stato tensionale in sito; con la procedura (b) è simulata la storia di carico subita dal deposito, raggiungendo, prima della successiva fase di scarico, un valore massimo di $\sigma'_v \approx \sigma'_{vc}$ prossimo all'inizio della fase di destrutturazione; infine, attraverso la procedura (c) ispirata al metodo Shansep, la fase di scarico segue una riconsolidazione fino ad un valore di $\sigma'_v \approx 1.5\sigma'_{vc}$, corrispondente ad un processo di destrutturazione in fase già avanzata.

3. Presentazione e discussione dei risultati

In Tab. II per ogni prova è riportato lo stato tensionale ottenuto al termine del processo di riconsolidazione. Si può notare come le diverse procedure forniscano valori di K_0 piuttosto diversi fra loro. MESSRI e HAYAT [1993] hanno messo in evidenza che le operazioni di campionamento e preparazione del provino, dando luogo a deformazioni di natura deviatorica, possono influenzare significativamente la misura di K_0 . È prevedibile inoltre che la presenza di uno scarico nelle procedure (b) e (c) dia luogo ad un valore finale di K_0 diverso da quello ottenuto nella procedura (a), che non presenta alcuna fase di scarico.

Una valutazione degli effetti delle diverse procedure di riconsolidazione è stata effettuata attraverso il confronto dei risultati sperimentali ottenuti lungo il percorso deviatorico che ha fatto seguito ad ognuna di esse.

Nel seguito, lo stato di tensione e di deformazione è descritto attraverso le grandezze:

$q = \sigma'_a - \sigma'_r =$ deviatore delle tensioni;

$p' = \frac{\sigma'_a + 2\sigma'_r}{3} =$ tensione efficace media;

$\epsilon_s = \frac{2}{3} (\epsilon_a - \epsilon_r) =$ deformazione deviatorica;

$\epsilon_v = (\epsilon_a + 2\epsilon_r)$ deformazione volumetrica;

dove i pedici a e r si riferiscono alle direzioni assiale e radiale in un provino cilindrico.

Il confronto è espresso in termini di resistenza, diagrammando il rapporto q/p' in funzione di ϵ_s , e in termini di deformabilità, considerando l'andamento del modulo secante equivalente $G^* = \Delta q / \Delta \epsilon_s$, normalizzato rispetto a p' , in funzione di ϵ_s (il simbolo Δ indica una variazione rispetto alle condizioni ottenute al termine del processo di riconsolidazione).

Le figure 3 e 4 mostrano tali andamenti per l'argilla ricostituita. Può essere osservato che con la procedura (b) si ottengono valori del rapporto G^*/p' maggiori rispetto a quelli ottenuti con la procedura (a), nonché il minor valore della deformazione de-

Tabella II - Stato tensionale dopo le diverse procedure di riconsolidazione.

materiale	procedura	q (kPa)	p' (kPa)	q/p'	K_0
ricostituito	a	47.2	103.5	0.46	0.65
ricostituito	b	46.1	104.8	0.44	0.66
ricostituito	c	28.3	181.2	0.16	0.86
naturale	a	62.2	93.8	0.66	0.54
naturale	b	29.8	115.6	0.26	0.78
naturale	c	48.1	168.3	0.29	0.77

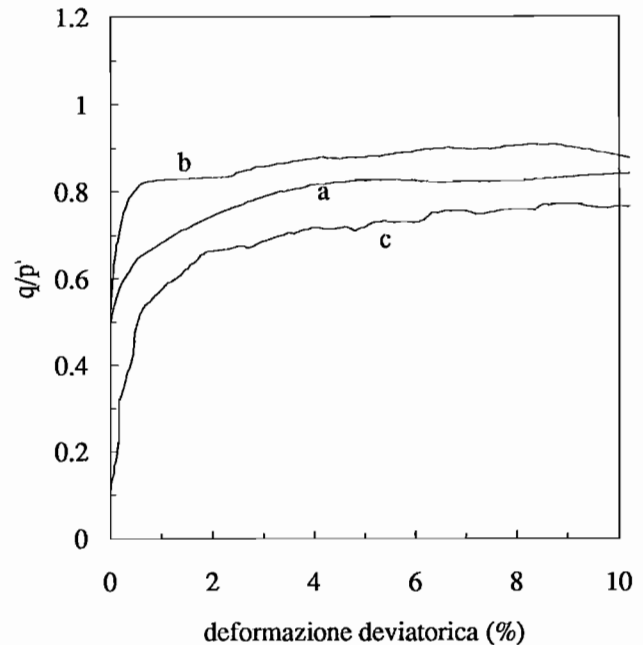


Fig. 3 - Argilla ricostituita: relazioni fra il rapporto q/p' e la deformazione deviatorica, determinate in seguito alle diverse procedure di riconsolidazione.

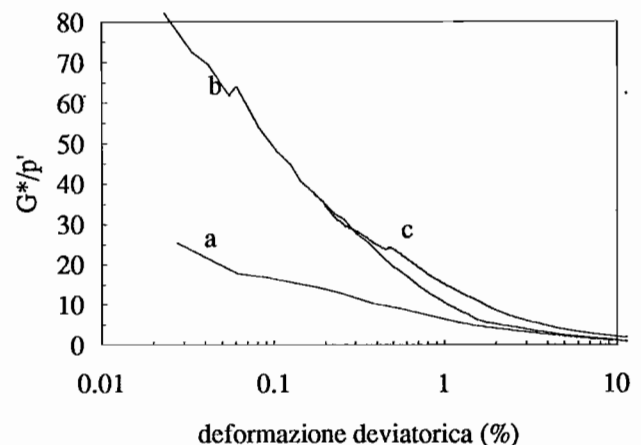


Fig. 4 - Argilla ricostituita: relazioni fra il modulo di taglio normalizzato e la deformazione deviatorica, determinate in seguito alle diverse procedure di riconsolidazione.

viatorica a rottura. La procedura (c) fornisce risultati simili a quelli dati dalla procedura (b) in termini di deformabilità, ma caratterizzati dal maggior valore di ϵ_s a rottura. La forte differenza fra i valori di G^*/p' misurati dopo la procedura (a) e quelli ottenuti attraverso le procedure (b) e (c) sembrerebbe indicare che soltanto queste due ultime consentano di recuperare i disturbi associati allo scarico tensionale che il materiale ha subito dopo l'estrusione. Tale differenza può tuttavia essere attribuita, almeno in parte, alla differente rotazione che il percorso di carico subisce nel passaggio dalla fase di riconsolidazione a quella deviatorica nella procedura (a) ed in quelle (b) e (c) [ATKINSON *et al.*, 1990].

I risultati ottenuti sul materiale naturale (Figg. 5 e 6) mostrano che la procedura (a) dà luogo ad una rigidità equivalente piuttosto bassa, ma ad un valore di picco della resistenza maggiore che nel caso delle procedure (b) e (c). Ciò suggerisce che sia la procedura (b), sia la (c) possano aver arrecato un disturbo all'assetto microstrutturale del campione. Inoltre, passando dalla procedura (b) a quella (c) (metodo Shansep) i valori del modulo di taglio normalizzato divengono più bassi. Questo risultato è congruente con le osservazioni di LEROUËIL *et al.* [1979], i quali hanno osservato che una compressione spinta oltre la tensione di preconsolidazione può de-strutturare l'argilla, riducendone di conseguenza sia la rigidità, sia la resistenza al taglio.

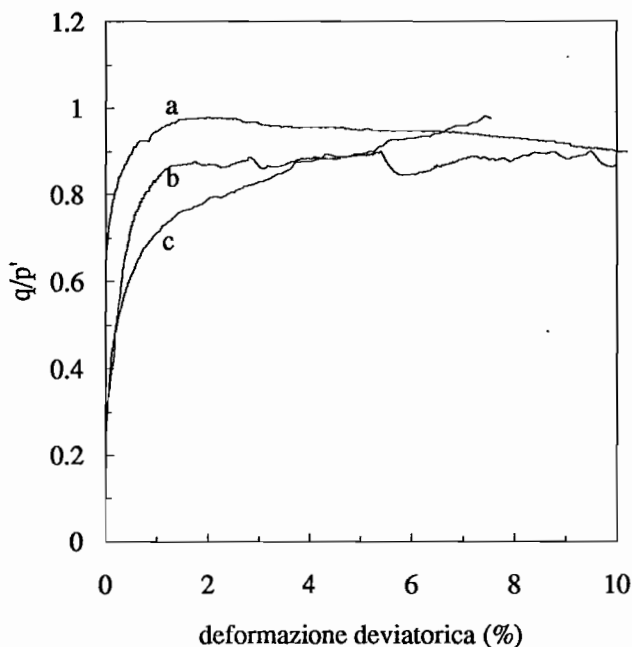


Fig. 5 - Argilla naturale: relazione fra il rapporto q/p' e la deformazione deviatorica, determinate in seguito alle diverse procedure di riconsolidazione.

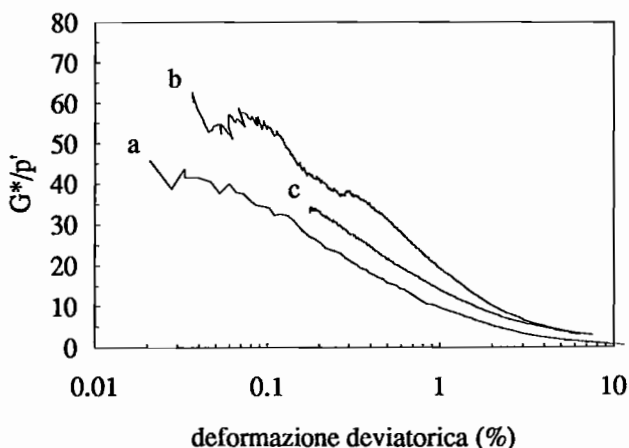


Fig. 6 - Argilla naturale: relazioni fra il modulo di taglio secante normalizzato e la deformazione deviatorica, determinate in seguito alle diverse procedure di riconsolidazione.

L'osservazione che per l'argilla ricostituita la stessa procedura Shansep non causi un simile decremento di G^*/p' indica che per essa la compressione mono-dimensionale, spinta a valori della tensione efficace assiale ben maggiori di quella di preconsolidazione, non provoca un significativo riassetto a livello microstrutturale; di conseguenza la rigidità risulta normalizzabile, a parità di OCR, rispetto alla tensione efficace media.

Può essere interessante confrontare direttamente il comportamento dell'argilla naturale e di quella ricostituita: in Fig. 7 è mostrato l'andamento del modulo di taglio, normalizzato rispetto a p' , ottenuto in seguito alle procedure (a) e (c), in funzione di ϵ_s . Si osserva che, dopo la procedura (a), l'argilla naturale è più rigida di quella ricostituita, mentre, in seguito alla procedura (c), le differenze fra i due materiali in termini di rigidità si annullano. Ciò conferma che la fase di riconsolidazione imposta nella procedura (c) (Shansep) altera lo stato del materiale naturale, e fa sì che il suo comportamento meccanico risulti simile a quello dell'argilla ricostituita.

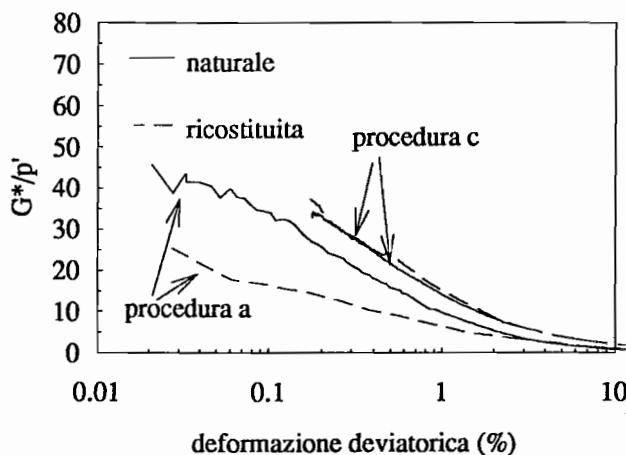


Fig. 7 - Procedure di riconsolidazione (a) e (c): confronto fra la rigidità equivalente dell'argilla naturale e quella dell'argilla ricostituita.

Un ulteriore elemento di giudizio per valutare il grado di disturbo arrecato al materiale durante la riconsolidazione è fornito dal confronto fra le variazioni di porosità prodotte dalle diverse procedure. Tale confronto è limitato alle procedure (a) e (b), attraverso le quali il materiale è riportato ad uno stato di sollecitazione prossimo a quello stimato per il deposito naturale. In Tab. III sono riportate le defor-

Tabella III - Deformazioni volumetriche misurate al termine delle procedure (a) e (b).

procedura	naturale (a)	naturale (b)	ricost. (a)	ricost. (b)
ϵ_v (%)	1.35	4.66	2.16	4.80

mazioni volumetriche ϵ_v , misurate al termine della fase di riconsolidazione sui campioni naturali e su quelli ricostituiti. Si può notare che, a seguito della procedura (b), si osservano deformazioni di volume molto maggiori di quelle misurate dopo la procedura (a), di valore prossimo al 5%. Con riferimento alle curve di compressione edometrica in Fig. 2, ciò può essere attribuito alla natura graduale del processo di sneramento, cioè alla graduale transizione dal ramo di ricarico verso il ramo di normale consolidazione, caratterizzato da elevata deformabilità. La procedura (b) raggiunge un valore di σ'_a corrispondente a tale transizione, che quindi provoca variazioni di volume considerevoli, solo in parte recuperate durante la successiva fase di scarico. Le deformazioni volumetriche indotte dalla procedura (a) sono invece sensibilmente minori; in particolare, per l'argilla naturale, esse ammontano a 1.35%. ANDRESEN e KOLSTAD [1979] hanno suggerito che le deformazioni di volume misurate durante una fase di riconsolidazione fino allo stato tensionale agente in sito possano consentire una valutazione del grado di disturbo arrecato dal campionamento; secondo gli stessi autori, per deformazioni volumetriche comprese fra 1 e 2% il campionamento è da considerarsi «buono». È però evidente che l'entità delle deformazioni volumetriche dipende anche dalla natura del terreno, per cui l'intervallo di valori suggerito è da considerarsi soltanto indicativo.

La forte differenza fra le deformazioni volumetriche misurate durante le procedure (a) e (b) può anche in parte spiegare la diversità fra i valori dei moduli di taglio misurati in seguito a tali procedure: i valori più alti di G^*/p' ottenuti dalla procedura (b) non sono necessariamente indice di un comportamento meccanico più aderente a quello in sito, ma anzi possono essere dovuti alle significative variazioni di porosità osservate, e quindi al contrario denotare uno scostamento dal reale comportamento del materiale in sito.

4. Conclusioni

I risultati sperimentali sin qui mostrati per l'argilla di Pisa suggeriscono l'opportunità di utilizzare operazioni di riconsolidazione in cui non venga superato lo stato tensionale agente in sito, e sembrano quindi sconsigliare l'impiego delle procedure (b) e (c). Infatti, a seguito della prima si ottengono sia una diminuzione del valore massimo di q/p' per il materiale naturale (Fig. 5), sia deformazioni volumetriche significative (Tab. III), per cui essa risulta poco efficace nel ricostruire le condizioni naturali del terreno. La seconda invece mostra di produrre una significativa variazione delle caratteristiche microstrutturali dell'argilla.

Tuttavia, va sottolineato che la scelta di una adeguata procedura di riconsolidazione dipende, oltre che dal particolare terreno in esame, anche dalla qualità del campionamento. Nel caso in cui quest'ultima sia mediocre, alcune caratteristiche legate all'assetto microstrutturale andrebbero comunque perdute; in tal caso potrebbe essere opportuno utilizzare una tecnica simile alla Shansep o alla (b), per tentare almeno di cancellare i disturbi meccanici causati dal campionamento stesso.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRESEN A. e KOLSTAD P. (1979) - *The NGI 54 mm sampler for undisturbed sampling of clays and representative sampling of coarser materials*. International Symposium of Soil Sampling, Singapore, pp. 13-21.
- ATKINSON J.H., RICHARDSON D. e STALLEBRASS S.E. (1990) - *Effect of recent stress history on the stiffness of overconsolidated soil*. Géotechnique, 40, n. 3, pp. 531-540.
- BALIGH M.M., AZZOUC A.S. e CHIN C.T. (1987) - *Disturbance due to ideal tube sampling*. J. Geotech. Engng Div., Am. Soc. Civ. Engrs., 113, n. GT9, pp. 1108-1136.
- BISHOP A.W. e WESLEY L.D. (1975) - *A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing*. Géotechnique, 25, n. 4, pp. 657-670.
- BUDHU M. e WU C.S. (1991) - *Mechanics of sampling disturbances in a soft clay*. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Beer, Booker & Carter (eds), Rotterdam, Balkema.
- BURLAND J.B. (1990) - *On the compressibility and shear strength of natural clays*. Géotechnique, 40, n. 3, pp. 329-378.
- CALABRESI G., RAMPOLLO S. e CALLISTO L. - (1993) - *The leaning Tower of Pisa. Geotechnical characterisation of the Tower's subsoil within the framework of the critical state theory*. Università di Roma «La Sapienza», Dip. di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Studi e Ricerche, n. 1, 93.
- DELAGE P. e LEFEBVRE G. (1984) - *Study of the structure of a sensitive Champlain clay and of its evolution during consolidation*. Canadian Geotechnical Journal, 21, pp. 21-35.
- GRAHAM J., KWOK C.K. e AMBROSIE R.W. (1987) - *Stress release, undrained storage, and reconsolidation in simulated underwater clay*. Canadian Geotechnical Journal, 24, pp. 279-288.
- HIGHT D.W. (1982) - *A simple piezometer probe for the routine measurement of pore pressure in triaxial tests on saturated soils*. Géotechnique, 32, n. 4, pp. 657-696.
- LA ROCHELLE P., SARRAILH J., TAVENAS F., ROY M., LEROUHEL S. (1981) - *Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils*. Canadian Geotechnical Journal, 18, pp. 52-66.
- LADD C.C., FOOT R. (1974) - *New design procedures for stability of soft clays*. J. Geotech. Engng Div., Am. Soc. Civ. Engrs., 100, n. GT7, pp. 763-786.
- LEROUHEL S., TAVENAS M., BRUCY F., LA ROCHELLE P.L., ROY M. (1979) - *Behavior of destructured clay*. J. Geotech. Engng Div., Am. Soc. Civ. Engrs., 105, n. GT6, pp. 759-778.
- MESRI G.E., HAYAT T.M. (1993) - *The coefficient of earth pressure at rest*. Canadian Geotechnical Journal, 30, pp. 647-666.
- QUIGLEY R.M., THOMPSON C.D. (1966) - *The fabric of anisotropically consolidated sensitive marine clay*. Canadian Geotechnical Journal, 3, pp. 61-73.
- ROSCOE K.H., BURLAND J.B. (1968) - *On the generalised stress-strain behaviour of 'wet' clay*. Engineering Plasticity, Eds Hayman, J.V. and Lackie F.A., Cambridge, Cambridge University Press, pp. 535-609.
- SKEMPTON A.W., SOWA V.A. (1963) - *The behaviour of saturated clays during sampling and testing*. Géotechnique, 13, n. 4, pp. 269-290.
- SMITH P.R. (1992) - *Properties of high compressibility clay with reference to construction on soft ground*. PhD. Thesis, University of London.
- TOPOLNICKI M., GUDEHUS G., MAZURKIEWICZ B.K. (1990) - *Observed stress-strain behaviour of remoulded saturated clay under plane strain conditions*. Géotechnique, 40, n. 2, pp. 155-187.