



Internationales Symposion INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

RESISTENZA ALLA RIATTIVAZIONE DELL'ARGILLA FLYSCHOIDE DI MONTONA

REACTIVATED SHEAR STRENGTH FOR THE MONTONA FLYSCH CLAY

Paolo Carrubba¹, Roberto Meriggi² and Marco Del Fabbro³

RIASSUNTO

La riattivazione di frane quiescenti costituisce un' aliquota rilevante dei dissesti nei versanti italiani. Tali movimenti si attivano periodicamente, in concomitanza di eventi naturali o antropici in grado di modificare lo stato di tensione sulle preesistenti superfici di scorrimento. Vi sono ormai diverse evidenze sperimentali che indicano come la resistenza di primo distacco possa risultare sensibilmente superiore a quella residua, a causa dei processi di incrudimento che si attivano, nel tempo, sulla preesistente superficie di scorrimento. La memoria esamina alcuni aspetti che influenzano la resistenza alla riattivazione per l'argilla flyschoide di Montona, nel Collio orientale del Friuli-Venezia Giulia (Italy), interessata nel 1998 da un movimento franoso superficiale. I risultati delle indagini di laboratorio, svolte con l'apparecchio di taglio anulare di Bromhead, sembrano indicare che la resistenza alla riattivazione, per questo tipo di terreno a basso indice di attività colloidale, è correlata alla velocità media di creep maturato durante la fase di invecchiamento.

Parole chiave: Argilla, Resistenza alla riattivazione, Resistenza residua, Invecchiamento.

ABSTRACT

The reactivation of old landslides is a widespread phenomenon in Italy. Such movements activate during natural events or due to anthropic activities, which are able to increase the shear stress along pre-existing sliding surfaces. Many investigations indicate that reactivated shear strength is greater than residual, due to the ageing processes, which occur along the sliding surface. The effect of ageing on reactivated shear strength is investigated in this paper for a flysch-clay involved in a shallow landslide. The movement occurred in 1998 near Montona, in the Eastern Collio of Friuli-Venezia Giulia (Italy), during a heavy rainfall. The study has been performed in laboratory by means of the Bromhead apparatus. The test results

1 Associate Professor, Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Idraulica Marittima Ambientale e Geotecnica, Via Ognissanti 39, 35131 Padova (Italy). (Tel.: +39 049 8277907; e-mail: paolo.carrubba@unipd.it).

2 Doctor, Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, Via Cottonificio 114, 33100 Udine (Italy). (Tel.: +39 0432 558772; e-mail: meriggi@dgt.uniud.it).

3 Doctor, Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, Via Cottonificio 114, 33100 Udine (Italy). (Tel.: +39 0432 558773; email: delfabbro@dgt.uniud.it).

have shown that, due to the low activity index, reactivated shear strength for Montona flysch is related to the mean volumetric creep velocity rather than to the time of ageing.

Key words: Clay soil, Reactivated strength, Residual strength, Ageing.

INTRODUZIONE

Le frane quiescenti e la loro periodica riattivazione costituiscono eventi franosi diffusi in gran parte del territorio Italiano (Urciuoli 1997). La caratteristica principale, che accompagna tale tipo di movimento, è la bassa velocità di traslazione, tipica dei movimenti definiti molto lenti nella classificazione di Varnes (1978).

Le principali cause che inducono la riattivazione di frane, sono legate ad eventi naturali, quali le piogge intense e gli eventi sismici, o le alterazioni dell'assetto del territorio per cause naturali o antropiche (sbancamenti, coltivazioni, modifiche del regime delle acque sotterranee). Al momento della riattivazione, la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di scorrimento è generalmente superiore al valore residuo valutato in laboratorio (Kanji 1974), e dipende da numerosi fattori quali la velocità di scorrimento (Carrubba, Colonna 1997; Colonna, Carrubba 1999), il tempo di invecchiamento prima della riattivazione degli scorrimenti (Carrubba, Moraci 1993; Carrubba, Colonna 1997; Colonna, Carrubba 1999; Gibo et al. 2002), nonché da numerosi parametri fisico-chimici da cui è noto dipendere anche la resistenza residua (Di Maio, Fenelli 1994).

Recentemente, Carrubba et al. (2003) hanno eseguito prove di taglio anulare con l'apparecchio di Bromhead (Bromhead 1979) su campioni di terreno provenienti dallo strato di alterazione del flysch di Cormons, in località Rosazzo, ed hanno evidenziato l'influenza del tempo di quiescenza in relazione allo stato di tensione, normale e tangenziale, agente sul campione.

Le prove di taglio sono state eseguite su campioni ricostituiti con contenuto d'acqua iniziale pari a $1,5 w_L$, utilizzando la frazione passante # 40 della serie ASTM. In tale ambito, è stata condotta una serie di prove, indicate con l'acronimo ASS (Acting Shear Stress), che riproduce lo stato di tensione indotto dalla forza di gravità sul pendio.

Tale procedura prevede che, dopo aver raggiunto la condizione di resistenza residua, venga interrotto lo scorrimento e mantenuta la tensione residua costante durante il periodo di invecchiamento, prima della successiva riattivazione degli scorrimenti. Nelle prove eseguite con la seconda procedura, NSS (No Acting Shear Stress), il campione è invece lasciato invecchiare in assenza dello stato di tensione residua.

I risultati ottenuti con ambedue le procedure hanno indicato che la resistenza al taglio alla riattivazione è direttamente proporzionale al tempo di invecchiamento ed inversamente proporzionale alla pressione verticale.

La presente memoria estende la metodologia di indagine ai campioni di terreno provenienti sempre dallo strato di alterazione del flysch di Cormons, ma prelevati in località Montona, nel Collio orientale del Friuli-Venezia Giulia (Italy), interessata nel 1998 da un movimento franoso superficiale. Per tali campioni si è inizialmente investigata l'influenza della granulometria e del contenuto iniziale d'acqua sulla resistenza residua; in seguito è stata esaminata la resistenza alla riattivazione degli scorrimenti in accordo con la procedura ASS. In tale contesto si è valutata l'influenza del tempo d'invecchiamento in condizioni di pressione verticale costante.

CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I campioni di terreno analizzati sono stati prelevati dal corpo di una frana ubicata nella località di Montona nelle vicinanze di Cormons (GO), nel Collio Orientale del Friuli-Venezia Giulia (Italy) (Fig.1). Il versante coinvolto dal movimento franoso era stato in gran parte rimodellato con terrazzamenti per consentire l'impianto di vigneti; in passato era già stato oggetto di altri episodi franosi. L'ultima riattivazione è avvenuta fra l'1 e l'8 Ottobre 1998, quando nella zona caddero 325,4 mm di pioggia (circa il 21 % della quantità annua media), con un picco di intensità di 160 mm il 6 Ottobre, di cui il 60% concentrati in sole due ore. Il movimento franoso, prevalentemente traslativo, ha interessato una superficie di circa 29.000 m² e si è sviluppato al contatto fra la porzione alterata, più superficiale, e quella integra del flysch di Cormons. Lo spessore massimo del corpo di frana è stato pari a circa 5 m.

Il flysch di Cormons, insieme al flysch di Grivò costituiscono le più diffuse formazioni complesse del Collio orientale.

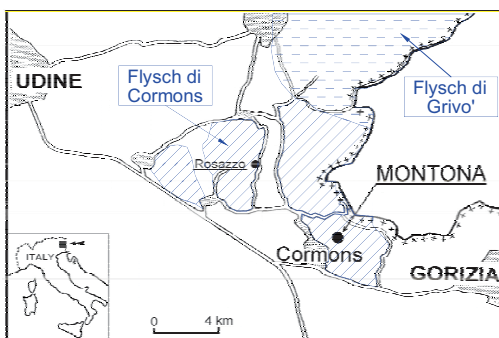


Fig. 1: Inquadramento geologico del sito.

Fig. 1: Geological setting of the area.

Il flysch di Cormons è databile al Luteziano superiore ed è stato studiato da Martinis (1962).

Data la ricchezza di fossili, presenti nella serie clastica Luteziana, si evince l'origine sedimentaria in acque basse e calde, in vicinanza delle terre emerse. Le ultime erano caratterizzate da un graduale e costante abbassamento, compensato dall'apporto terrigeno.

Il flysch di Cormons è un'unità litostratigrafica di vari litotipi, la cui

alternanza non è regolare e costante per le frequenti variazioni di facies sia in senso verticale che laterale. Le principali facies presenti sono quella marnosa, marnosa-arenacea, arenacea e conglomeratica. Nel sito in oggetto i litotipi presenti appartengono alla facies marnosa-arenacea. Il processo di alterazione della copertura superficiale ha dato origine ad un terreno indicato come complesso C1 da Onofri (1982), costituito da un'argilla limosa all'interno della quale sono presenti scaglie di marna e frammenti di arenaria. I campioni di terreno esaminati appartengono a tale complesso.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I campioni indisturbati di terreno sono stati prelevati in prossimità della superficie di scorrimento del corpo di frana, a 2.5 m di profondità dal piano campagna, ed analizzati presso i laboratori di geotecnica delle Università di Udine e Padova (Italy) nell'ambito di un comune progetto di ricerca.

Le principali proprietà indici e fisiche sono tipiche dei terreni argillosi inorganici di bassa plasticità; in particolare si hanno le seguenti proprietà medie: peso di volume $\gamma = 19.6 \text{ kN/m}^3$, contenuto naturale d'acqua $w = 26\%$, grado di saturazione $S_r = 95\%$, indice dei vuoti $e_0 = 0.73$ peso specifico del solido $G_s = 2.69$, limite liquido $w_L = 51\%$, limite plastico $w_P = 24\%$, indice di plasticità $PI = 27$ e indice di attività colloidale $AI = 0.65$. La frazione fine, inferiore a 74

μm , è dell'ordine di $FF = 75\%$, mentre la frazione argillosa, inferiore a $2\mu\text{m}$, è dell'ordine di $CF = 45\%$. Il fuso granulometrico dei terreni analizzati è riportato in Fig. 2.

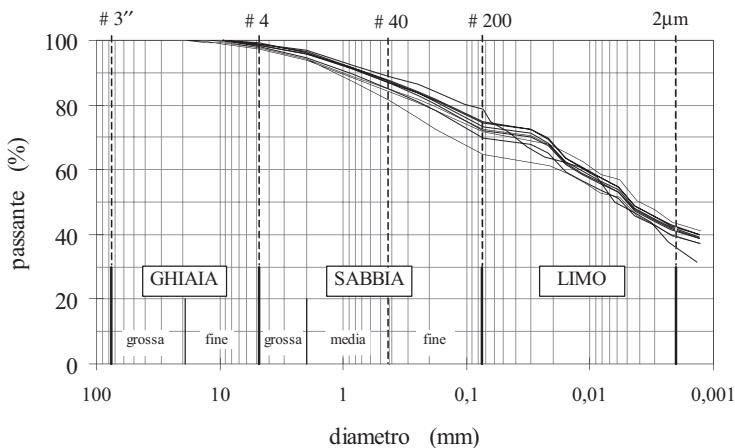


Fig. 2: Distribuzione granulometrica dei campioni di flysch di Montona.

Fig. 2: Grain size distribution of the Montona flysch clay.

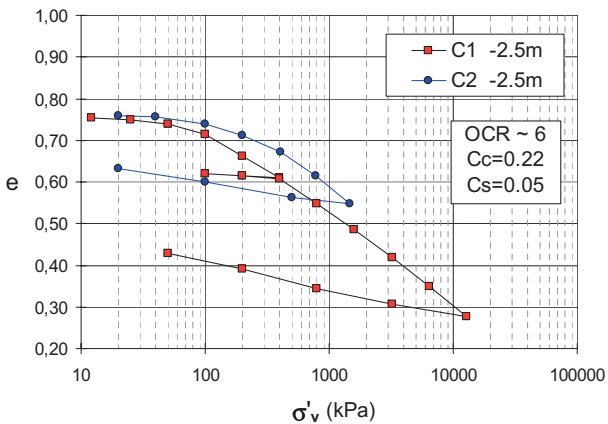


Fig. 3: Curve di compressione edometrica.

Fig. 3: Oedometer compression curves.

La Fig. 3 riporta le tipiche curve di compressibilità edometrica (Meriggi e Del Fabbro 2003); il grado di sovraconsolidazione è dell'ordine di 6, l'indice di compressione $C_c=0.22$ e l'indice di rigonfiamento $C_s=0.05$.

L'involuppo a rottura di picco (Fig. 4), valutato con prove di triassiali CIU nel campo di pressioni di confinamento inferiori alla pressione di sovraconsolidazione, ha evidenziato un angolo di resistenza al taglio $\phi'_p=16^\circ$ ed una coesione intercetta $c'_p=37$ kPa. L'involuppo a

rottura allo stato critico, valutato con prove di taglio diretto, è caratterizzato da un angolo di resistenza pari a $\phi'_{cv}=28^\circ$, mentre quello in condizioni residue, valutato con l'apparecchio di Bromhead, è caratterizzato da un angolo di resistenza dell'ordine di $\phi'_r=25^\circ$.

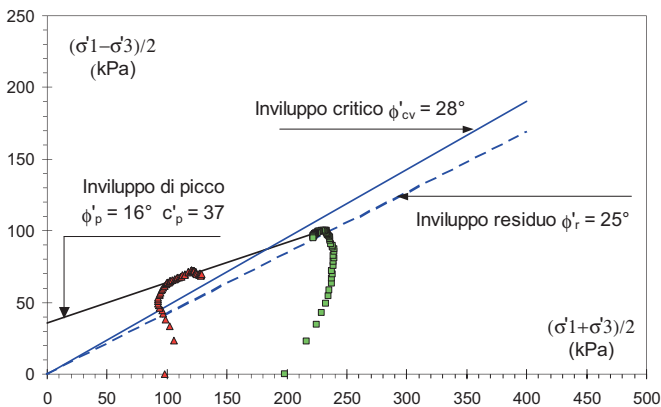


Fig. 4: Percorsi tensionali ed involucri di resistenza.
Fig. 4: Stress paths and shear strength envelopes.

Nel corso del presente studio si è inizialmente esaminata l'influenza della granulometria e del contenuto d'acqua sulla resistenza residua del terreno. In tale ambito sono state condotte prove con l'apparecchio di Bromhead su quattro serie di campioni ricostituiti con il materiale passante ai vagli #40 e #200 e con contenuti d'acqua pari a w_L ed a $1.5 w_L$. Dato il modesto spessore del corpo di frana, la resistenza residua è stata valutata per un campo di tensioni compreso fra $\sigma'_v = 3$ kPa e $\sigma'_v = 103$ kPa.

I risultati (Fig. 5) evidenziano che i campioni ricostituiti con il materiale passante al vaglio #40, mostrano una variazione della pendenza dell'involuppo residuo di circa 3° , al variare del contenuto d'acqua iniziale, mentre per i campioni ricostituiti con il materiale passante al vaglio #200 non si nota un'apprezzabile influenza del contenuto d'acqua iniziale.

A parità di contenuto d'acqua, nei campioni preparati con la frazione passante al setaccio #200 l'involuppo residuo si presenta con una pendenza minore, rispetto al caso dei campioni passanti al vaglio #40, e con una coesione intercetta. In termini di resistenza mobilizzata (τ/σ) accade l'inverso, ossia a basse tensioni la resistenza mobilizzata è superiore nei campioni preparati con la frazione passante al setaccio #200. In buona sostanza, le proprietà frizionali, in condizioni residue, sono superiori nei campioni passanti al setaccio #40 confezionati con un maggior tenore d'acqua, mentre in termini di resistenza mobilizzata, soprattutto alle basse tensioni, prevalgono quelle dei campioni confezionati col passante al setaccio #200, indipendentemente dal contenuto iniziale d'acqua.

RESISTENZA ALLA RIATTIVAZIONE

Per valutare gli effetti del tempo di invecchiamento sulla resistenza al taglio mobilitata alla riattivazione, sono state eseguite prove di taglio anulare multi stage su quattro campioni di terreno ricostituiti con la frazione passante al vaglio # 40, con contenuto d'acqua pari a $1.5w_L$, e consolidati alla pressione verticale $\sigma' = 25$ kPa.

Dopo il raggiungimento della condizione residua, ciascun campione è stato lasciato invecchiare in condizioni ASS, imponendo tempi di pausa variabili fra 15 minuti e 15 giorni. Questa procedura permette di mantenere costante la tensione raggiunta in condizioni residue anche durante i tempi di pausa che intercorrono prima della successiva riattivazione.

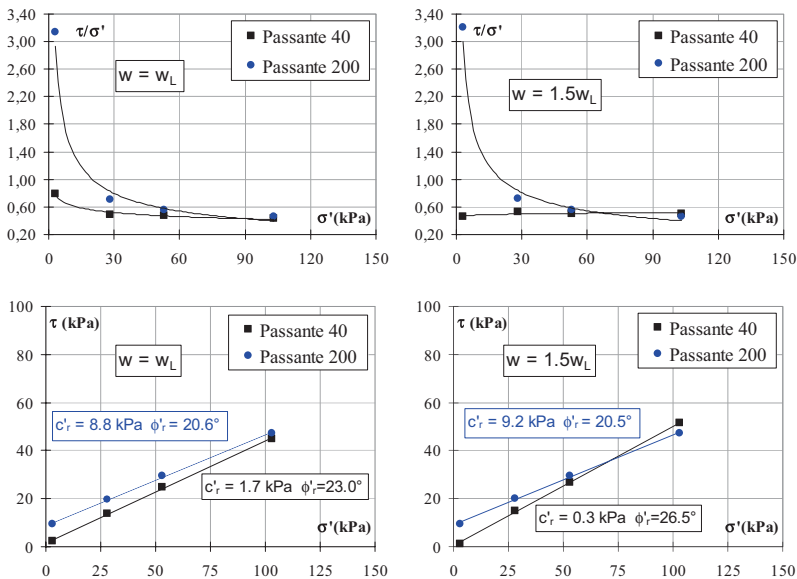


Fig. 5: Influenza del contenuto d'acqua e della granulometria sull'involuppo di resistenza residuo.

Fig. 5: Effect of water content and grain size distribution on the residual shear strength.

Le figure 6 e 7 sintetizzano i risultati delle prove di riattivazione in termini di variazione di spessore e di resistenza in funzione dello scorrimento orizzontale, a velocità costante di 0.09 mm/min. In generale si osserva un'oscillazione della resistenza anche dopo la fase di prima riattivazione: tale comportamento, osservabile anche durante le prove di taglio residuo, comporta che il recupero di resistenza alla riattivazione è dello stesso ordine di grandezza delle variazioni di resistenza residua attorno al valore medio. Le escursioni di resistenza in condizioni residue stazionarie, possono essere legate al tipo di rottura, intermedio tra i regimi di transizione e turbolento (Lupini et al. 1981), che s'instaura in presenza di una predominante percentuale di particelle isometriche e per frazioni argillose $CF \leq 50\%$. Per il terreno esaminato, i risultati sembrano indicare che la resistenza alla riattivazione non subisce un sostanziale incremento al progredire del tempo di pausa (Fig. 8), presumibilmente a causa del basso indice di attività colloidale ($AI=0.65$). Per la stessa formazione, i campioni prelevati in località Rosazzo, con attività colloidale superiore ($AI=0.90$), mostrano invece un apprezzabile recupero di resistenza in proporzione diretta col tempo d'invecchiamento ed inversa con il livello di tensione normale (Carrubba et al. 2003). Per i campioni di flysch di Rosazzo, caratterizzati da $CF=25\%$, è stata osservata una rottura di tipo laminare, a testimonianza delle marcate diversità di forma e di frequenza delle particelle costituenti la frazione non argillosa.

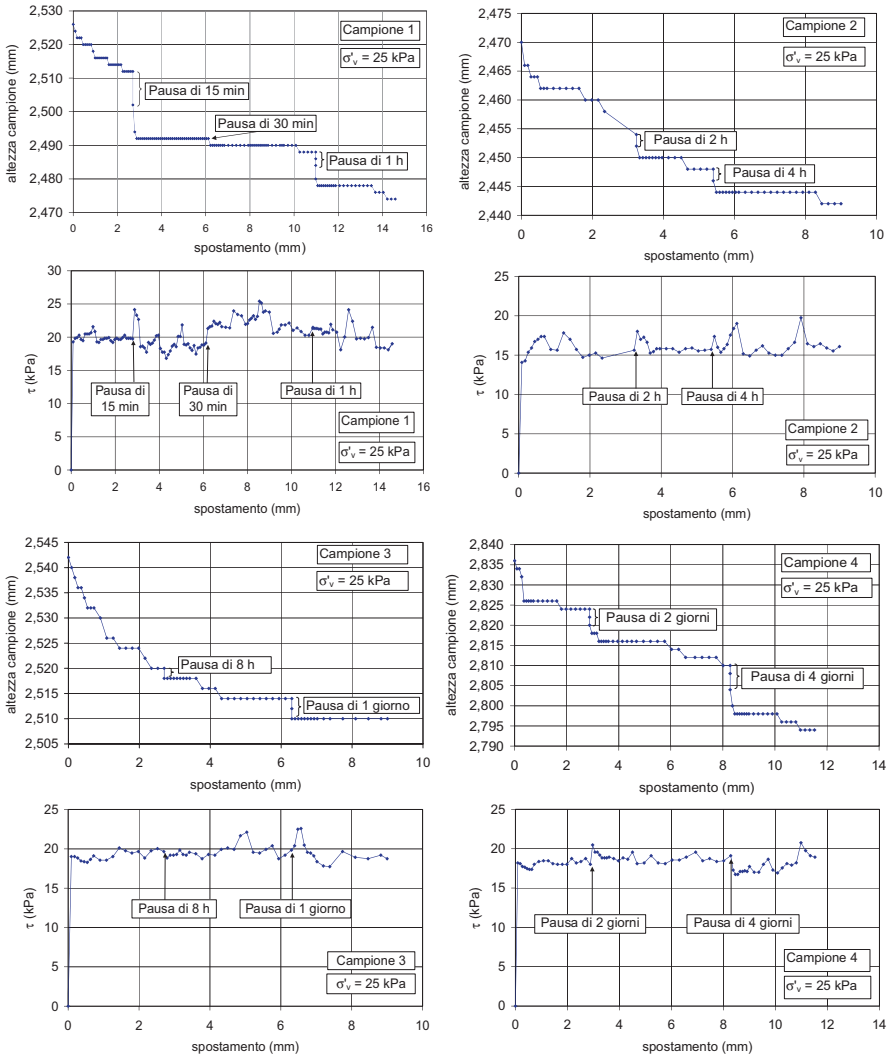


Fig. 6: Prove di riattivazione della resistenza residua, secondo la procedura ASS, per il flysch di Montona passante al #40, contenuto d'acqua $w = 1.5W_L$ e tensione verticale $\sigma'_v = 25$ kPa. Relazioni cedimento-spostamento e resistenza-spostamento per tempi di invecchiamento compresi tra 15 minuti e 4 giorni.

Fig. 6: Reactivated residual strength for Montona flysch clay, passing #40, water content $w = 1.5W_L$ and vertical stress $\sigma'_v = 25$ kPa. Settlement-displacement and strength-displacement relationships for times of ageing between 15 minutes and 4 days, following to the ASS procedure.

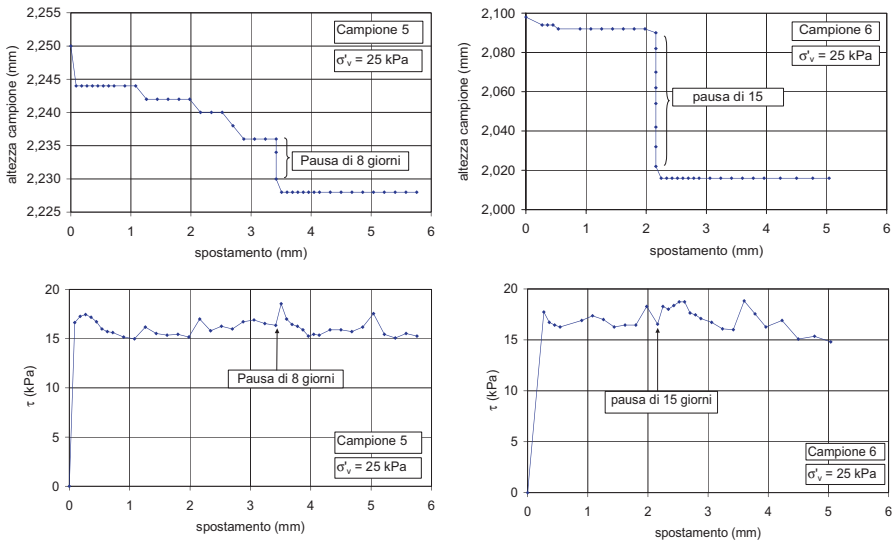


Fig. 7: Prove di riattivazione della resistenza residua, secondo la procedura ASS, per il flysch di Montona passante al #40, contenuto d'acqua $w = 1.5W_L$ e tensione verticale $\sigma' = 25$ kPa. Relazioni cedimento-spostamento e resistenza-spostamento per tempi di invecchiamento compresi tra 8 e 15 giorni.

Fig. 7: Reactivated residual strength for Montona flysch clay, passing #40, water content $w = 1.5 W_L$ and vertical stress $\sigma' = 25$ kPa. Settlement-displacement and strength-displacement relationships for times of ageing between 8 and 15 days, following to the ASS procedure.

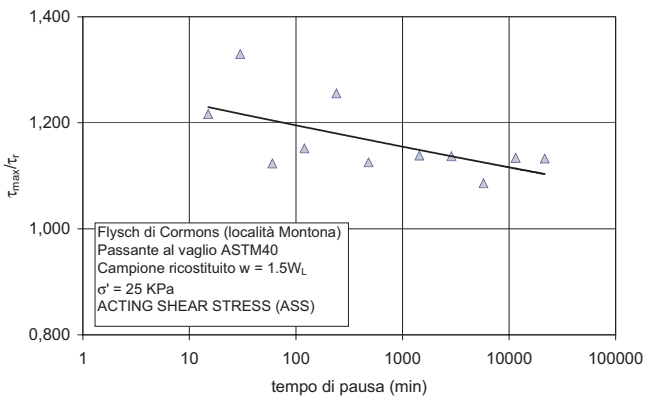


Fig. 8: Rapporto fra la resistenza al taglio alla riattivazione e quella residua al variare dei tempi di pausa.
Fig. 8: Ratio between reactivated and residual strength versus time of ageing.

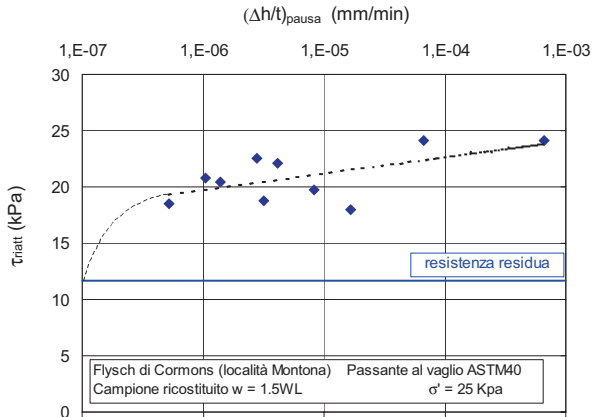


Fig. 9: Resistenza al taglio alla riattivazione in relazione alla velocità media di creep volumetrico.
Fig. 9: Reactivated shear strength versus mean volumetric creep velocity.

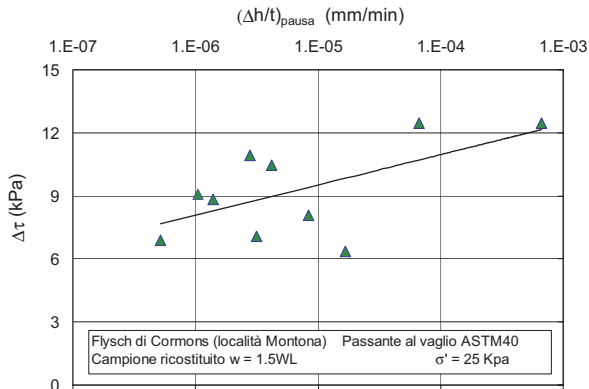


Fig. 10: Incremento di resistenza al taglio alla riattivazione, rispetto alla residua media, in funzione della velocità media di creep volumetrico.

Fig. 10: Increase of reactivated shear strength, respect to the mean residual, versus mean volumetric creep velocity.

Con riferimento sempre al recupero di resistenza alla riattivazione nel flysch di Montona, si sono esaminati i valori del cedimento di creep Δh durante il tempo di pausa t_{pausa} . Il loro rapporto $(\Delta h/t)_{pausa}$, che rappresenta una velocità media di creep volumetrico, mostra un andamento crescente nei confronti della resistenza alla riattivazione, fino al raggiungimento di un valore asintotico (Fig. 9). Tale andamento è confermato anche dai dati di Fig. 10 che riportano la velocità media di creep volumetrico in funzione dell'incremento di resistenza alla riattivazione, rispetto al valore residuo medio di tutti i campioni analizzati.

In definitiva, per questo tipo di terreno, caratterizzato da bassa attività colloidale e tipo di rottura intermedio tra i regimi di transizione e turbolento, si nota come il recupero di resistenza non sia primariamente legato al tempo ma alla velocità di creep volumetrico maturato durante la fase di invecchiamento.

In sostanza, il recupero di resistenza non sembra direttamente proporzionale al tempo trascorso ed in tale ambito possono rivestire un ruolo importante tutte quelle variabili in grado di modificare la velocità di creep, quali la storia delle deformazioni viscoso pregresse, il livello tensionale ed alcuni parametri fisico-chimici relativi alle condizioni ambientali. All'aumentare invece dell'indice di attività, come nel caso del flysch di Rosazzo, il recupero di resistenza appare principalmente correlato al tempo di invecchiamento.

CONCLUSIONI

Nella memoria si sono esaminati alcuni aspetti della resistenza residua dell'argilla flyschoidale di Cormons, coinvolta nel dissesto superficiale avvenuto in località Montona a seguito di piogge intense nel settembre 1998. In particolare è stata investigata la dipendenza della resistenza residua alle basse tensioni in rapporto al contenuto iniziale d'acqua e alla composizione granulometrica.

I campioni preparati con il passante al vaglio #40 mostrano una rottura intermedia tra il regime transitorio e turbolento, maggiormente influenzato dalla forma delle particelle non argillose. I campioni ricostituiti con la frazione più fine, passante al vaglio #200, evidenziano invece una rottura di tipo laminare, influenzata dalla orientazione delle particelle di argilla lungo piani paralleli alla direzione degli scorrimenti.

Con riferimento al contenuto d'acqua iniziale, variabile tra w_L e $1,5 w_L$, si nota che esso è influente solo per i campioni preparati con il passante al vaglio #40, e che la pendenza dell'involuppo di resistenza residua aumenta all'aumentare del contenuto iniziale d'acqua.

Successivamente sono state condotte prove di riattivazione della resistenza residua per campioni preparati con il passante al vaglio #40, dopo processi d'invecchiamento con intervalli temporali crescenti, sebbene limitati ad un massimo di 15 giorni.

Per i terreni presi in esame, la resistenza alla riattivazione sembra influenzata più dalla velocità media di creep volumetrico maturato durante la fase d'invecchiamento che non dal tempo d'invecchiamento stesso, e questa circostanza può essere riconducibile al basso indice di attività colloidale del terreno. A tal riguardo, si rileva come possano essere influenti tutte quelle variabili in grado di modificare la velocità di creep, e in questa prospettiva si sta conducendo una sperimentazione non di tipo multi stage ma a singole determinazioni per ogni intervallo temporale.

Si rileva ancora, come le sperimentazioni sono limitate ad un tempo massimo d'invecchiamento di 15 giorni e che, compatibilmente con le possibilità sperimentali, queste dovrebbero esaminare tempi più lunghi.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano la studentessa Maria Cristina Violin che ha condotto parte del programma di prove di laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- Bromhead E.N. (1979): "A simple ring shear apparatus". *Ground Engineering*, Vol. 12, pp.40-44.
- Carrubba P., Colonna P. (1997): "Analisi dei fattori che influenzano la resistenza residua delle argille". *Memorie e studi dell'Istituto di Costruzioni Marittime e Geotecniche, Università di Padova*.
- Carrubba P., Colonna P. (2002): "Studio della resistenza residua alla riattivazione di frane quiescenti". *XXI Convegno Nazionale di Geotecnica*, L'Aquila, pp.119-126.
- Carrubba P., Meriggi R., Nadin M. (2003): "Ageing and stress history effects on reactivated residual strength of Cormons flysch". *Proc. Int. Conf. on Fast slope movements - Prediction and prevention for risk mitigation*, Naples, pp.79-84.
- Carrubba P., Moraci N. (1993): "Residual strength parameters from a slope instability". *Proc.3.Int.Conf. on case histories in Geotechnical Engineering*, St. Louis, 1993. Rolla, Missouri, Vol.2. pp.1482-1486.
- Colonna P., Carrubba P. (1999): "Effetto delle alte velocità di scorrimento sulla resistenza residua su due terreni coesivi". *XX Convegno Nazionale di Geotecnica*, pp. 63-69, Parma.
- Di Maio C., Fenelli G.B. (1994): "Residual strength of kaolin and bentonite: the influence of their constituent pore fluid". *Géotechnique* 44, pp. 217-226.
- Gibo S., Egashira K., Ohtsubo M., Nakamura S. (2002): "Strength recovery from residual state in reactivated landslides". *Géotechnique* 52, no.9, pp. 683-686.
- Kanji, M.A. (1974): "The relationship between drained friction angle and Atterberg limits of natural soils". *Géotechnique*, no.24, pp. 671-674.
- Lupini, J.F., Skinner, A.E., Vaughan, P.R. (1981): "The drained residual strength of cohesive soils". *Géotechnique*, no.31, pp. 181-213.
- Martins B. (1962): "Ricerche geologiche e paleontologiche sulla regione compresa tra il fiume Judrio e il fiume Timavo". *Riv. Ital. Pal. Strat.*, Milano, Mem. 8, pp. 70-83.
- Meriggi R., Del Fabbro M. (2003): "Shear strength characteristics of a flysch clay in natural, intrinsic and overconsolidated state". *Proceedings of the International Conference on Slope Engineering* (in print). Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong.
- Onofri R. (1982): "Caratteristiche geologiche e geomecchaniche del flysch della provincia di Trieste". *Studi trentini di Scienze Naturali*, Acta Geologica, 59 pp.77-103.
- Urciuoli G. (1997): "Caratterizzazione meccanica dei corpi di frana in terreni argillosi". *Interventi di stabilizzazione dei pendii*, a cura di A. Pellegrino, CISM, Udine, pp. 65-98.
- Varnes D.J. (1978): "Slope movement and types and processes in landslides: analysis and control". Transportation Research Board, Washington D.C., *Special Report* 176.