

## PROVE DI LABORATORIO PER LA DETERMINAZIONE DELLA COMPONENTE VISCOsa DELLA RESISTENZA AL TAGLIO RESIDUA

Lucia Simeoni

*Università degli Studi dell'Aquila*

*lucia.simeoni@univaq.it*

### Sommario

In questa nota si descrivono prove di creep e rilassamento eseguite in scatola di taglio per la determinazione della componente viscosa della resistenza al taglio residua.

### 1. Studio dell'evoluzione di frane attive di scivolamento a cinematica lenta o estremamente lenta

La previsione degli spostamenti sulla superficie di rottura di frane attive per scivolamento a cinematica lenta o estremamente lenta prevede in generale la definizione di una relazione tra sforzo di taglio e velocità agenti sulla superficie di scivolamento.

Esempi di relazione nella forma:

$$v_s = F_s(\tau_s) \cdot \tau_s \quad (1)$$

in cui:  $v_s$  e  $\tau_s$  sono rispettivamente la velocità e lo sforzo di taglio agenti sulla superficie di rottura sono riportate in Vulliet (2000).

Altri autori preferiscono esplicitare la componente dipendente dalla velocità di spostamento nella resistenza al taglio agente sulla superficie, secondo un'espressione del tipo:

$$\tau_v = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

in cui  $\tau_v$  è la componente di sforzo dipendente dalla velocità,  $\eta$  è la viscosità dinamica,  $\dot{\gamma}$  è la velocità di deformazione angolare, espressa come rapporto tra velocità di spostamento e spessore dello strato deformato. La resistenza al taglio complessivamente disponibile sulla superficie di scivolamento deve uguagliare lo sforzo richiesto dalla condizione di equilibrio, che è imposta in condizioni quasi-statiche (Van Asch et al., 1990; Di Maio et al., 2013) o dinamiche, in cui si tiene conto della forza inerziale associata all'accelerazione del movimento (Van Genuchten, 1990; Corominas et. Aal, 2005; Davis et al., 1993).

Anche Puzrin et al., 2012 suggerisce di esplicitare la componente di resistenza dipendente dalla velocità, mettendola però direttamente in relazione con la velocità di spostamento  $v_s$  mediante un coefficiente di viscosità  $\eta_v$  che caratterizza il comportamento lineare del pistone abbinato in parallelo ad un pattino:

$$\tau_v = \eta_v \cdot v_s \quad (3)$$

In effetti l'utilizzo della relazione (2) richiede la conoscenza dello spessore dello strato deformato che non è di facile identificazione né nelle prove di laboratorio né nella situazione reale in sito. In laboratorio si misura a fine prova lo spessore dello strato deformato, in sito si ricorre all'interpretazione di misure nel sottosuolo, frequentemente di tipo inclinometrico, senza tuttavia tener conto degli effetti di interazione terreno-strumento sulla distribuzione degli spostamenti. Van Asch et al. (1990) riporta però che le stime di  $\eta$  da prove di laboratorio differiscono da quelle ottenute mediante back-analyses di movimenti di frana.

Ciò che comunque emerge dai modelli proposti è che la viscosità dinamica  $\eta$  o il coefficiente di

viscosità  $\eta_v$  sono assunti indipendenti dalla velocità di spostamento. Al più sono assunti dipendenti dallo sforzo normale efficace in accordo con quanto suggerito da Ter-Stepanian (1963).

## 2. Prove di laboratorio per la determinazione degli effetti della velocità di spostamento sulla resistenza al taglio residua

Le prove di laboratorio più frequentemente eseguite per lo studio degli effetti della velocità di spostamenti sulla resistenza residua di terreni sciolti sono prove di taglio diretto eseguite a differenti velocità. Sono esempi di prove eseguite in scatola di taglio quelli riportati in Skempton et al. (1969) o Van Genuchten (1990); esempi di prove eseguite in taglio anulare sono riportati in Bhat et al. (2013a) o Kimura et al. (2014).

Recentemente sono state eseguite prove di creep in apparecchiature di taglio diretto su provini pretagliati alla resistenza residua ed applicando sforzi taglio leggermente inferiori o superiori alla resistenza di taglio residua. Risultati su prove eseguite in scatola di taglio sono riportati in Di Maio et al. (2013) o in Bhat et al. (2013b). Le prove sono state eseguite applicando gradini di carico degli sforzi tangenziali e registrando gli spostamenti. Le prove di creep identificano le tre fasi di creep primario, secondario e terziario, quest'ultimo raggiunto applicando sforzi di taglio leggermente superiori alla resistenza residua.

Per quanto riguarda lo studio della dipendenza della resistenza al taglio di rocce dalla velocità di spostamento è interessante richiamare i risultati ottenuti da Dietrich (1972) con prove di taglio diretto tipo “sandwich”. Egli ottenne una relazione del tipo:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \eta_0 + a \ln \left( \frac{\dot{\delta}}{\dot{\delta}^*} \right) + b \ln \left( \frac{\theta \dot{\delta}^*}{D_c} \right) \quad (4)$$

in cui  $\tau$  e  $\sigma$  sono sforzo tangenziale e normale,  $\eta_0$ ,  $a$  e  $b$  sono parametri empirici che risultano dall'interpretazione delle prove,  $\dot{\delta}$  è la velocità di scorrimento,  $\dot{\delta}^*$  è una costante di normalizzazione,  $\theta$  è una variabile di stato,  $D_c$  è una distanza caratteristica entro cui varia  $\theta$ .



Figura 1 Macchina di taglio durante l'esecuzione di prove a controllo di carico

## 3. Prove di creep in scatola di taglio su bentonite calcica

Nel laboratorio di Geotecnica dell'Università degli Studi di Trento sono state condotte prove di creep in scatola di taglio su provini di bentonite calcica AG/IW della ditta Dal Cin Gildo SpA di Milano. Tale bentonite ha un limite liquido  $w_L$  di 125.37% e un indice di plasticità IP di 76.04%. La densità specifica dei grani  $G_s$  è stata stimata pari a 2.55.

Le prove sono state eseguite su provini portati alla resistenza residua mediante prove di taglio diretto con ripetuti cicli di spostamenti ed uno sforzo verticale di 200 kPa. Terminata tale fase di prova, l'apparecchiatura è stata modificata introducendo una carrucola per trascinare la semiscatola inferiore con forze orizzontali applicate mediante pesi (Figura 1). La forza orizzontale trasmessa alla semiscatola superiore è misura dalla cella di carico.

I carichi orizzontali sono stati incrementati con gradini variabili da 40 a 10 N, maggiori nella prima fase di carico, fino al raggiungimento della condizione di rottura corrispondente al creep terziario.

Con le prove di taglio diretto è stato stimato un angolo di resistenza al taglio residua di  $18.6^\circ$  con una deviazione standard di  $0.3^\circ$ .

Un esempio di evoluzione degli spostamenti orizzontali nel tempo è riportato in Figura 2 e si riferisce all'applicazione di una forza orizzontale pari al 60% del valore di rottura. Si osserva che la velocità di spostamento orizzontale decresce nel tempo fino ad annullarsi.

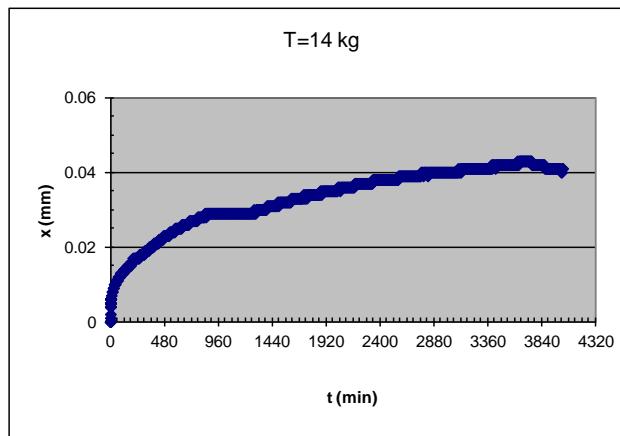


Figura 2 Prova di creep in scatola di taglio

Queste prove di creep sono state interpretate utilizzando un modello di Kelvin-Voight, in cui le molle rappresentano la deformabilità dell'apparecchiatura e la deformabilità del terreno adiacente alla superficie di rottura; il pistone rappresenta la superficie di rottura. La prova è stata interpretata in termini di spostamento  $\delta$  e velocità di spostamento  $\dot{\delta}$ , anziché di deformazione. Il coefficiente di viscosità lineare  $\eta$  che caratterizza il pistone è quindi espresso in termini di forza per il reciproco della velocità di spostamento. I valori  $\delta_m$  misurati di spostamento sono la somma dello spostamento  $\delta_t$  sulla superficie di rottura e dello spostamento  $T/k_0$  dovuto alla deformabilità dell'apparecchiatura.

$$\delta_{m0} = -\frac{T}{k_t} e^{-\frac{k_t}{\eta} t} + \frac{k_t + k_0}{k_t \cdot k_0} \cdot T = \delta_t + \frac{T}{k_0}$$

$$\dot{\delta}_{m0} = \frac{T}{\eta} e^{-\frac{k_t}{\eta} t} = \dot{\delta}_t$$

(5)

Le stime del coefficiente di viscosità sono riportate in Figura 3 rispetto al valore di velocità iniziale.

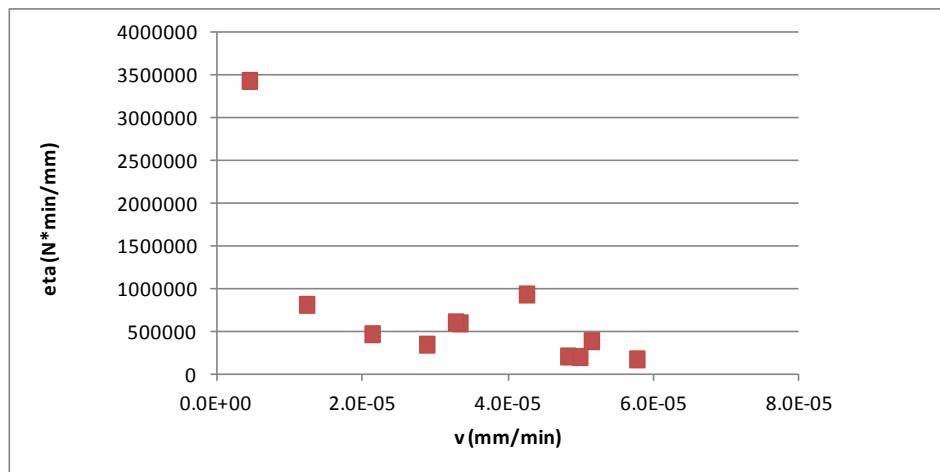


Figura 3 Stime del coefficiente di viscosità con prove di creep graficate rispetto alla velocità iniziale

Tali valori sono in accordo con quelli riportati in letteratura.

#### 4. Prove di rilassamento in scatola di taglio su bentonite calcica

Sempre nel laboratorio di Geotecnica dell'Università degli Studi di Trento sono state recentemente

condotte prove di rilassamento in scatola di taglio su provini di bentonite calcica AG/1W della ditta Dal Cin Gildo SpA di Milano. Per le modalità di prova e di interpretazione si rimanda alla nota presentata in questo Incontro da Mongiovì e Pasquato. Sinteticamente la prova consiste nel misurare il decadimento della forza orizzontale  $T$  in seguito allo spegnimento del motore di avanzamento degli spostamenti. In virtù della deformabilità dell'apparecchiatura e del comportamento viscoso del terreno, gli spostamenti orizzontali non si annullano istantaneamente, ma proseguono a velocità decrescente. È così possibile ricavare le relazioni tra forza orizzontale  $T$  e velocità di spostamento orizzontale. Assumendo che la forza orizzontale  $T$  sia la somma di una componente di natura viscosa e di una soglia  $T_0$ , è possibile stimare il coefficiente di viscosità con l'espressione:

$$\eta = \frac{(T - T_0)}{\dot{\delta}_t} \quad (6)$$

Convenzionalmente, si è assunto il valore di  $T_0$  quello corrispondente ad una velocità del terreno  $\dot{\delta}_t$  pari a  $2 \times 10^{-6}$  mm/min, ovvero 1 mm/anno.

## 5. Valori di viscosità per la bentonite calcica

La riporta in grafico le stime del coefficiente di viscosità ottenute con le prove di creep e rilassamento su bentonite calcica. I valori riferiti alle prove di creep sono riportati in funzione della velocità iniziale.

Emerge chiaramente che il coefficiente di viscosità non è costante con la velocità. Ciò significa che la viscosità dinamica potrebbe essere non lineare (fluido non Newtoniano) o che lo spessore dello strato deformato decresce con la velocità.

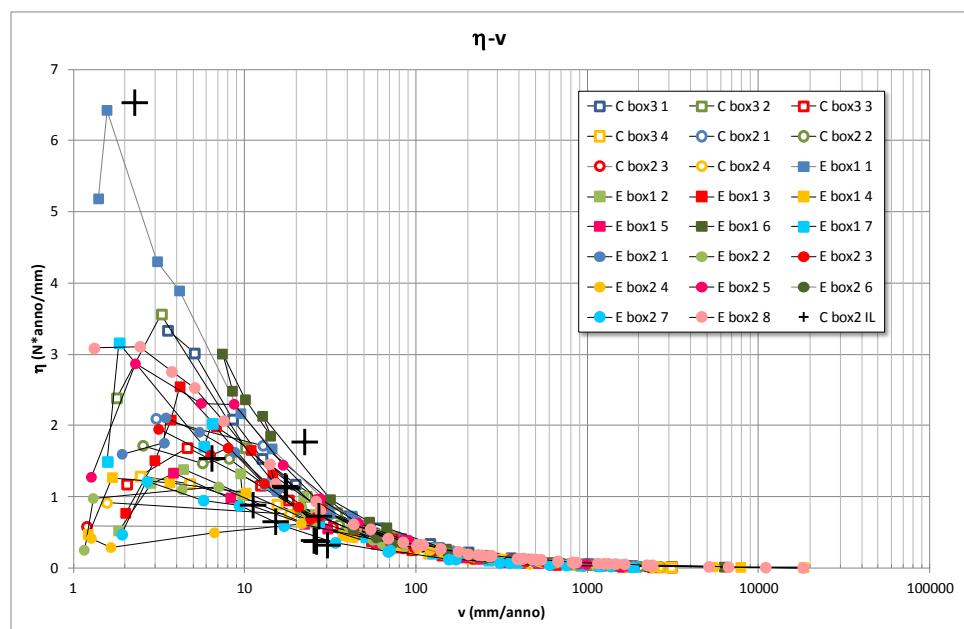


Figura 4 Stime del coefficiente di viscosità da prove di creep e di rilassamento

Prove ed interpretazione sono da ritenersi preliminari e necessitano di ulteriori approfondimenti.

## Bibliografia

- Bhat D.R. , Bhandary N. P. & Yatabe R. (2013a). Effect of Shearing Rate on Residual Strength of Kaolin Clay. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18 G, pp. 1387-1396, DOI 10.1007/s11069-013-0799-3
- Bhat D.R. , Bhandary N. P. & Yatabe R. (2013b). Residual-state creep behavior of typical clayey soils. *Nat*

- Hazards* (2013) 69:2161–2178.
- Corominas J., Moya J., Ledesma A., Lloret A. and Gili J. A. (2005). Prediction of ground displacements and velocities from groundwater level changes at the Vallcebre landslide (Eastern Pyrenees, Spain). *Landslides*, July 2005, Volume 2, Issue 2, pp 83-96
- DAVIS R.O., DESAI C.S. & SMITH N.R. (1993). Stability of motions of translational landslides. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 119, No. 3, pp. 420-432.
- Dieterich J.H. (1972). Time-Dependent function in Rocks. *Journal of Geophysical Research*, Volume 77, Issue 20, pages 3690–3697
- Di Maio C., Vassallo R. and Vallario M. (2013). Plastic and viscous shear displacements of a deep and very slow landslide in stiff clay formation. *Engineering Geology* 162 (2013) 53–66
- Kimura S., Nakamura S., Vithana S-B. and Sakai K. (2014). Shearing rate effect on residual strength of landslide soils in the slow rate range. *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-013-0457-6.
- PUZRIN A.M. & SCHMID A. (2012). Evolution of stabilised creeping landslides. *Géotechnique*, Volume 62, Issue 6, 01 June 2012 , 491 –501
- SKEMPTON A.W. & HUTCHINSON J. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. Proc. of the 7th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, State-of-the-Art, Vol. 1, 1969, pp. 291-340.
- VAN ASCH Th.J.W. & VAN GENUCHTEN P.M.B. (1990). A comparison between theoretical and measured creep profiles of landslides. *Geomorphology*, Volume 3, Issue 1, January 1990, 45–55.
- VAN GENUCHTEN P.M.B. (1990). On the viscous resistance in the movement mechanism of landslides in the French Alps. Proc. Of the 6th International IAEG Congress, Amsterdam, 6-10 August, Vol. 3, pp. 1739-1745.
- Vulliet L.. (2000). Natural slopes in slow movement. Modeling in Geomechanics. Edited by M. Zaman, G. Gioda, and J. Booker. John Wiley, Chichester, U.K. Pp. 653-676
- Lancellotta R. (2007). "Lower bound approach for seismic passive earth resistance", *Géotechnique*, 57, 319-321.
- Vaughan P.R. (1988). "Characterising the mechanical properties of in situ residual soils". Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Geomechanics in tropical soils, Singapore, 469–487.