

SULL'APPLICAZIONE DEL METODO DEL DECREMENTO LOGARITMICO PER LA DETERMINAZIONE DEL RAPPORTO DI SMORZAMENTO A PARTIRE DA MISURE IN COLONNA RISONANTE

Giacomo Simoni e Claudia Madiati

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze

e-mail: gsimoni@dicea.unifi.it, clau@dicea.unifi.it

Sommario

Sono presentati i risultati di alcune prove di colonna risonante, RC, effettuate presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze nell'ambito di uno studio per la caratterizzazione del comportamento dinamico di alcune formazioni presenti lungo la fascia costiera adriatica, nel territorio comunale di Senigallia (AN). In particolare, impiegando la tecnica nota come *amplitude decay method*, è stata analizzata la variabilità del decremento logaritmico δ , con l'ampiezza della deformazione di taglio ciclica, con la pressione efficace di consolidazione e con l'indice di plasticità. Le numerose misure di δ eseguite durante l'oscillazione libera del provino dopo aver interrotto la sollecitazione ciclica alla frequenza di risonanza, confermano che a partire da una deformazione di taglio prossima alla soglia elastica, il comportamento del terreno è marcatamente non lineare e la variabilità di δ cresce rapidamente.

1. Introduzione

Nell'ambito di uno studio interdisciplinare, finalizzato alla microzonazione sismica di Senigallia (AN), è stata recentemente condotta una vasta campagna di indagini geotecniche che ha compreso un elevato numero di prove di colonna risonante, con l'apparecchio in dotazione al laboratorio geotecnico dell'Università di Firenze (Crespellani et al., 2007).

Le prove di colonna risonante sono state condotte in condizioni di pressione isotropa, su provini saturi ricavati da campioni indisturbati prelevati in terreni a grana fine di origine alluvionale, determinando il rapporto di smorzamento con la tecnica "*amplitude decay method*".

Una delle finalità della ricerca è stata quella di individuare la variabilità dei valori assunti dal decremento logaritmico δ all'interno dei tre domini di comportamento: elastico ($\gamma < \gamma_i$), isteretico stabile ($\gamma_i < \gamma < \gamma_v$), e isteretico instabile ($\gamma > \gamma_v$). La variabilità di δ è stata analizzata con riferimento a diverse coppie di picchi dell'oscillazione libera smorzata al variare: della deformazione di taglio di riferimento, γ_{rif} , (ovvero della rotazione angolare in doppia ampiezza, θ_0); dell'indice di plasticità, I_p e della pressione efficace di consolidazione, σ'_0 .

2. Materiali oggetto della sperimentazione

I materiali analizzati sono stati campionati in terreni a grana fine appartenenti alle alluvioni presenti in prossimità della fascia costiera adriatica, nel territorio comunale di Senigallia. In base alla classificazione *USCS* i campioni esaminati appartengono alle argille a bassa plasticità, *CL*, con consistenza da molle-plastica a solido-plastica. I valori dell'indice di plasticità sono compresi tra l'11 ed il 28%. Nelle prove RC sono state impiegate pressioni efficaci di consolidazione comprese tra 50 e 300kPa.

Nella tabella 1 sono riassunte le principali proprietà fisiche e meccaniche dei campioni

esaminati, riportando per ciascun campione: la profondità media di estrazione, z ; la profondità della falda, z_w ; il limite di liquidità, w_l ; l'indice di plasticità, I_p ; il contenuto naturale d'acqua, w ; l'indice dei vuoti iniziale, e_0 , del provino sottoposto a prova RC; il grado di sovraconsolidazione, OCR ; la pressione isotropa efficace di consolidazione, σ'_0 , in prova RC; il modulo di taglio iniziale, G_0 ; il rapporto di smorzamento iniziale D_0 ; la deformazione di soglia elastica, γ_s ; la deformazione di soglia volumetrica, γ_v . La soglia elastica è stata definita come il valore della deformazione di taglio in corrispondenza del quale il rapporto G/G_0 vale 0.95; la soglia volumetrica come il valore assunto dalla deformazione di taglio quando il rapporto tra l'incremento delle pressioni interstiziali, Δu , e la pressione efficace isotropa iniziale, σ'_0 , vale $\Delta u/\sigma'_0 = 1\%$ (Simoni, 2003).

Tabella 1. Principali proprietà fisiche e meccaniche dei campioni esaminati

Campione	z [m]	z_w [m]	w_l [%]	I_p [%]	w [%]	e_0 [-]	OCR [-]	σ'_0 [kPa]	G_0 [MPa]	D_0 [%]	γ_s [%]	γ_v [%]
S2C2	9.25	14.5	46	28	31.5	0.811	1.0	150	87.5	1.4	0.0094	0.040
S2C3	14.25	14.5	31	14	27.3	0.681	-	290	195.0	1.0	0.0043	0.020
S6C1	3.25	3.0	26	11	22	0.573	-	100	96.1	1.0	0.0023	0.021
S6C2	9.25	3.0	27	11	26.4	0.687	1.4	120	104.1	1.2	0.0036	0.026
S7C2	15.25	6.0	34	18	24.4	0.635	1.0	210	103.4	1.8	0.0056	0.020
S7C3	24.25	6.0	36	17	23.1	0.650	-	300	147.9	1.3	0.0072	0.030
S9C1	8.75	3.5	40	24	29.1	0.762	1.2	120	55.1	2.4	0.0096	0.038
S10C1	2.25	10.5	33	17	20.4	0.600	2.5	50	46.0	2.9	0.0054	0.025
S10C2	5.75	10.5	39	23	25.1	0.642	1.9	120	65.6	2.2	0.0058	0.030

3. Sperimentazione e risultati

La stima del decremento logaritmico δ (ovvero del rapporto di smorzamento D) è stata effettuata facendo riferimento all'oscillazione libera del provino dopo aver interrotto la sollecitazione alla frequenza di risonanza, applicando le seguenti definizioni:

$$\delta_{uncorr} = \frac{1}{n-1} \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} \quad \Rightarrow \quad \delta = \delta_{uncorr} \sqrt{1 + \frac{I_s}{0.405 I_t}} \quad [1]$$

dove: A_i e A_{i+n} sono le misure delle ampiezze distanti n picchi sull'armonica smorzata; I_s e I_t sono rispettivamente i momenti di inerzia polari del provino e della parte mobile del motore torsionale. La seconda delle [1] permette di mettere in conto la presenza del motore torsionale (Hall e Richart, 1963).

Su ogni armonica smorzata è stata effettuata la misura delle ampiezze di 5 picchi consecutivi e sono stati calcolati i valori di δ corrispondenti a quattro diverse coppie di picchi: $\delta I2$, $\delta I3$, $\delta I4$ e $\delta I5$ utilizzando rispettivamente i picchi 1-2, 1-3, 1-4 e 1-5 (figura 1).

Le analisi condotte hanno permesso di determinare l'andamento della relazione $\delta = f(\theta_0)$ all'interno dei tre domini di comportamento con riferimento a diverse coppie di picchi dell'oscillazione libera smorzata e di osservarne la variabilità con la pressione efficace di consolidazione e con la plasticità del terreno.

I risultati ottenuti mostrano che all'interno del dominio elastico il valore di δ è approssimativamente costante al variare di θ_0 , I_p e σ'_0 , come evidenzia la figura 2 nella quale sono riportati i valori sperimentali di $\delta I2$ in funzione di θ_0 . I valori di δ , molto dispersi a causa dell'influenza dei disturbi elettrici a bassi livelli deformativi, hanno media pari a 0.132 e deviazione standard 0.043 (ovvero i valori del rapporto di smorzamento risultano compresi tra l'1.42% ed il 2.78%).

Per $\gamma > \gamma_s$, le misure sperimentali del decremento logaritmico per i diversi valori di rotazione

angolare in doppia ampiezza sono ben approssimate da una funzione di potenza del tipo $\delta = \alpha \cdot \theta_0^\beta$, e il valore di δ è influenzato anche dalla pressione efficace di consolidazione e dall'indice di plasticità del terreno (figure 3 e 4). L'andamento delle relazioni $\delta = f(\theta_0)$ mostra che δ decresce all'aumentare di σ_0' , come osservato anche da altri Autori (Li e Cai, 1999; Hall e Richart, 1963), e dell'indice di plasticità.

Oltre la soglia volumetrica, γ_v , dove il comportamento meccanico del terreno è marcatamente influenzato anche dalla storia tensio-deformativa, dalla velocità di deformazione e dal numero di cicli di carico (Li e Cai, 1999; Tatsuoka et al., 1995), il confronto tra i valori di δ ottenuti utilizzando le quattro diverse coppie di picchi dell'armonica smorzata, ha permesso di evidenziare il comportamento marcatamente non lineare dei materiali esaminati.

Com'è noto, infatti, il metodo *amplitude decay* è basato sulla soluzione dell'equazione di moto di un oscillatore semplice smorzato ad elasticità lineare. Ciò comporta che la riduzione dell'ampiezza tra due cicli successivi dell'armonica caratteristica del moto del provino è tanto più marcata quanto maggiore è il valore dello smorzamento interno. Così, per effetto della non linearità del comportamento meccanico del terreno, il valore della rotazione angolare in oscillazione libera a partire da grandi deformazioni diminuisce rapidamente e il sistema si riassetta nella posizione iniziale dopo poche oscillazioni. Durante l'oscillazione libera, partendo da livelli deformativi elevati, ovvero da valori elevati dello smorzamento interno, si ha un rapido recupero della posizione iniziale, con conseguente rapido recupero di rigidità e quindi delle proprietà elastiche, a scapito di quelle dissipative. In altre parole, lo smorzamento decresce progressivamente, come appare evidente dal confronto tra i diversi valori δ relativi ad uno stesso livello deformativo (figura 5).

5. Conclusioni

Limitatamente ai terreni esaminati, alle apparecchiature impiegate ed alle procedure operative seguite, la sperimentazione effettuata ha permesso di osservare la variabilità del decremento logaritmico all'interno dei tre domini di comportamento: elastico lineare, isteretico stabile ed isteretico instabile. È stata analizzata la variabilità del decremento logaritmico δ , con l'ampiezza della deformazione di taglio ciclica (ovvero con la rotazione angolare in doppia ampiezza, θ_0), con la pressione efficace di consolidazione e con l'indice di plasticità. Le numerose misure effettuate sull'oscillazione libera smorzata a diversi livelli deformativi hanno permesso di evidenziare gli effetti della non linearità del comportamento dei materiali in termini di decremento logaritmico. Come atteso, tale effetto, è risultato significativo a partire da valori di deformazione prossimi a quelli corrispondenti alla deformazione di soglia elastica, con una variabilità di δ rapidamente crescente oltre la soglia volumetrica.

Riferimenti Bibliografici

- Crespellani T., Facciorusso J., Madiati C., Simoni G. (2007) - Caratterizzazione dinamica dei terreni di Senigallia e analisi della risposta sismica locale. In: Mucciarelli e Tiberi (a cura di), Cap. 5, Regione Marche ed. (in corso di stampa)
- Hall J.R., Richart F.E. (1963), "Dissipation of elastic wave energy in granular soils", *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 89 (SM6), 27-55.
- Li X.S., Cai Z.Y. (1999), "Effects of low-number previbration cycles on dynamic properties of dry sand", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, November 1999, 979-987.
- Simoni G. (2003), "Caratterizzazione geotecnica di alcuni depositi olocenici e pleistocenici dell'alta Valtiberina finalizzata alla valutazione degli effetti sismici locali", Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile e Ambientale, Firenze.
- Tatsuoka F., Lo Presti D.C.F., Kohata T. (1995), "Deformation characteristics of soils and soft rocks under monotonic and cyclic loads and relations", *3rd Int. Conf. on Rec. Adv. in GEESD*, State of the Art1, 2, 851-879.

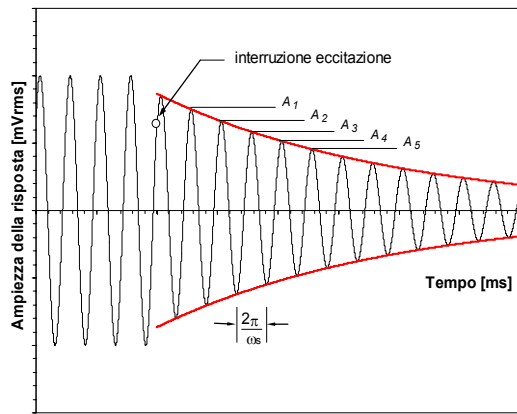


Figura 1. Determinazione del rapporto di smorzamento con "amplitude decay method".

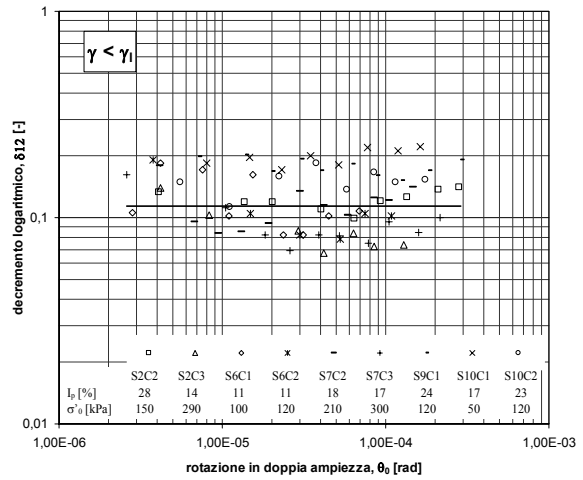


Figura 2. Variazione del decremento logaritmico con la deformazione all'interno del dominio elastico.

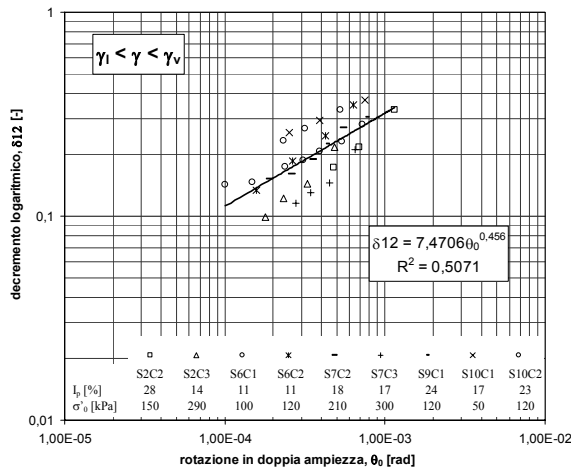


Figura 3. Variazione del decremento logaritmico con la deformazione all'interno del dominio isteretico stabile.

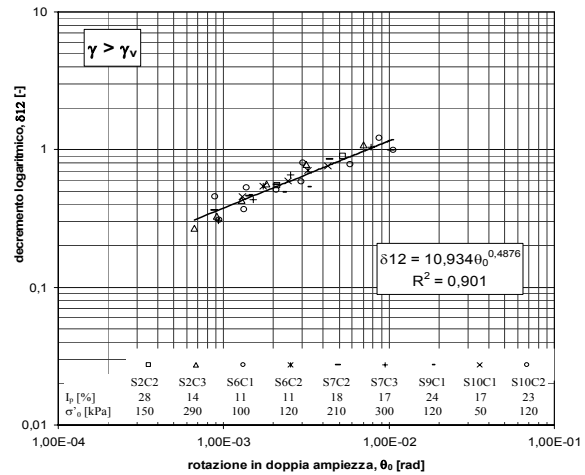


Figura 4. Variazione del decremento logaritmico con la deformazione all'interno del dominio isteretico instabile.

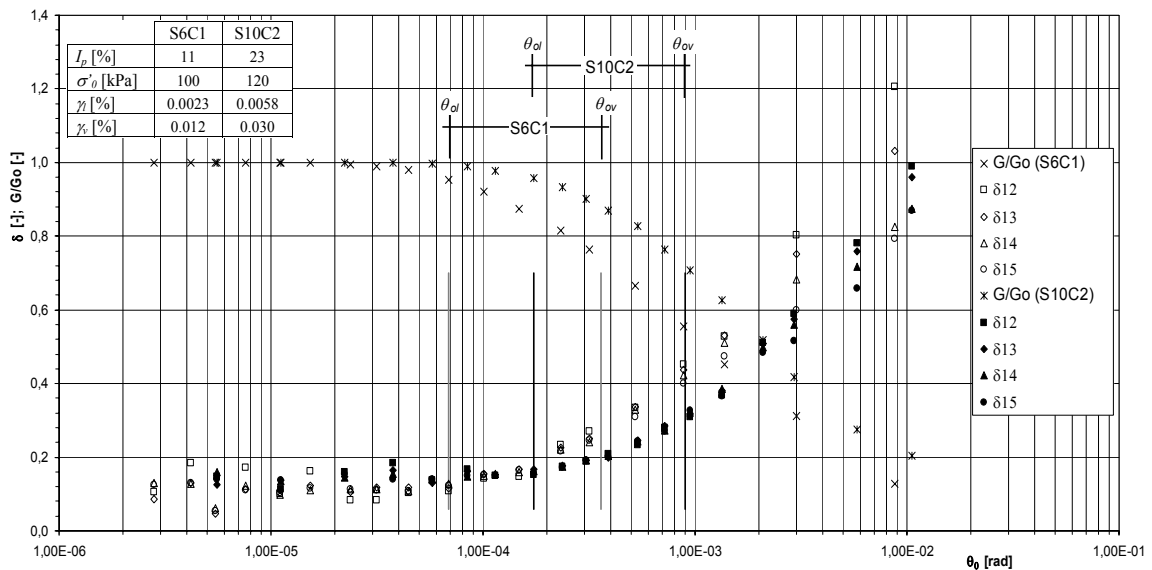


Figura 5. Andamento del rapporto G/G_0 e del decremento logaritmico δ con la rotazione in doppia ampiezza. Diminuzione di δ durante l'oscillazione libera smorzata del provino.