

PROVE DI LABORATORIO E GEOFISICHE DI SITO PER LA CARATTERIZZAZIONE DI TERRENI PIROCLASTICI

Renato M. Cosentini, Daniele Costanzo, Sebastiano Foti, Renato Lancellotta
Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica
renato.cosentini@polito.it, daniele.costanzo@polito.it, sebastiano.foti@polito.it,
renato.lancellotta@polito.it

Giuseppe Sorbino
Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile
g.sorbino@unisa.it

Sommario

I rilievi carbonatici con copertura piroclastica presenti nell'area salernitana del comune di Sarno, in Campania, sono stati spesso interessati da fenomeni di instabilità di versante di tipo scorrimento-colata rapida. Essi hanno coinvolto i depositi piroclastici più superficiali, prodotti dell'attività eruttiva dal distretto vulcanico del Somma Vesuvio, ed hanno interessato spessori di qualche metro. L'attività sperimentale, in laboratorio e in sito, descritta nel seguito è stata finalizzata alla caratterizzazione dei materiali piroclastici costituenti la coltre di copertura del substrato carbonatico di alcuni siti nei comuni di Sarno (SA) e Quindici (AV).

Introduzione

I terreni piroclastici, oggetto del presente studio, sono di grande interesse in relazione agli eventi franosi che hanno interessato, nel maggio del 1998, il massiccio di "Pizzo d'Alvano", e che hanno coinvolto drammaticamente i comuni di Bracigliano, Quindici, Sarno e Siano, della provincia di Salerno. Il rilievo di "Pizzo d'Alvano" è costituito da un basamento carbonatico su cui si sono depositati, in epoche differenti, i materiali piroclastici originatisi durante le fasi eruttive derivanti dalla complessa attività vulcanica di Somma – Vesuviana. Le piroclastiti ed i loro prodotti di alterazione coprono in maniera discontinua il massiccio carbonatico, con spessori anche di vari metri, genericamente crescenti dalle sommità alle zone di valle (De Vita et al., 2006, Cascini et al., 2008, Bilotta et al., 2005). I fenomeni di instabilità, che hanno interessato i predetti materiali di copertura, si sono evoluti sotto forma di debris flow (colate rapide di fango), secondo 6 diversi meccanismi d'innescio, differenziati in relazione alle differenti intensità in termini di volumi mobilitati e distanze percorse, e distribuiti in maniera non casuale lungo i versanti del massiccio (Cascini et al., 2008).

Il presente studio, svolto nell'ambito del progetto PRIN 2007: "Analisi delle condizioni di stabilità di pendii naturali in presenza di azioni sismiche con metodi semplificati e caratterizzazione sperimentale del comportamento meccanico di terreni piroclastici", è stato condotto attraverso due principali attività: caratterizzazione meccanica dei terreni piroclastici mediante prove di laboratorio e caratterizzazione delle coltri di copertura mediante prove non invasive in sito. Vengono di seguito descritte le problematiche affrontate e presentati i risultati delle prove di laboratorio e in sito.

Prove di laboratorio

Le coltri piroclastiche sono caratterizzate da una marcata eterogeneità stratigrafica, da

rilevante variabilità delle proprietà fisico-meccaniche e presentano strutture con elevata porosità e conseguente ridotto peso dell'unità di volume. Esse sono classificabili come ceneri non plastiche, con distribuzione granulometrica molto variabile, compresa nel campo dei limi e delle sabbie. Questa natura del materiale, comporta difficoltà di diverso ordine nella caratterizzazione geotecnica del terreno mediante le prove di laboratorio, soprattutto nella preparazione dei provini indisturbati. In tal senso, è stata messa a punto una procedura atta a minimizzare gli effetti di compattazione durante la fase di estrusione dalla fustella (Lancellotta et al., 2011).

Le prove di caratterizzazione meccanica sono state eseguite mediante prove edometriche e triassiali, sia con riferimento a campioni indisturbati, sia con riferimento a campioni ricostituiti, questi ultimi ottenuti secondo la tecnica del "moist - tamping". Al fine di consentire possibili confronti con altri studi disponibili in letteratura, è stata adottata la medesima classificazione dei terreni piroclastici dell'area del "Pizzo d'Alvano" in due classi omogenee, indicate convenzionalmente come litotipi "A" e "B", secondo quanto proposto da Bilotta e Foresta (2001). Nel seguito si riportano i dati ottenuti per il primo dei due litotipi.

Prove edometriche

Le prove edometriche sono state eseguite nell'ottica di indagare, con metodi non convenzionali, gli effetti della suzione sulla comprimibilità dei materiali, nonché valutare la possibilità di innesco di fenomeni di collasso a seguito dell'annullamento della suzione di matrice. In tal senso, si sono confrontate le misure eseguite con modalità standard con due prove: una in cui si è mantenuta costante, per l'intera prova, il contenuto d'acqua naturale del campione, l'altra in cui il contenuto d'acqua naturale del campione è stato mantenuto costante fino ad un prefissato valore della tensione verticale efficace e successivamente si è provveduto a riempire la cella edometrica d'acqua. In Figura 1 sono riportate i risultati ottenuti per i campioni indisturbati afferenti al litotipo "A".

Nella medesima figura si riportano i risultati di altre prove eseguite in maniera standard, ma con progressione dei carichi di tipo non geometrico, con alcuni cicli di scarico e ricarico. Tali prove sono state eseguite allo scopo di meglio definire il passaggio tra il tratto di ricompressione e quello di compressione vergine. Infine, sono state eseguite prove edometriche su provini ricostituiti, con due valori di indice dei vuoti differenti: $e_0 = 2.58$ e $e_0 = 3.55$ (linee rossa e verde nella suddetta figura).

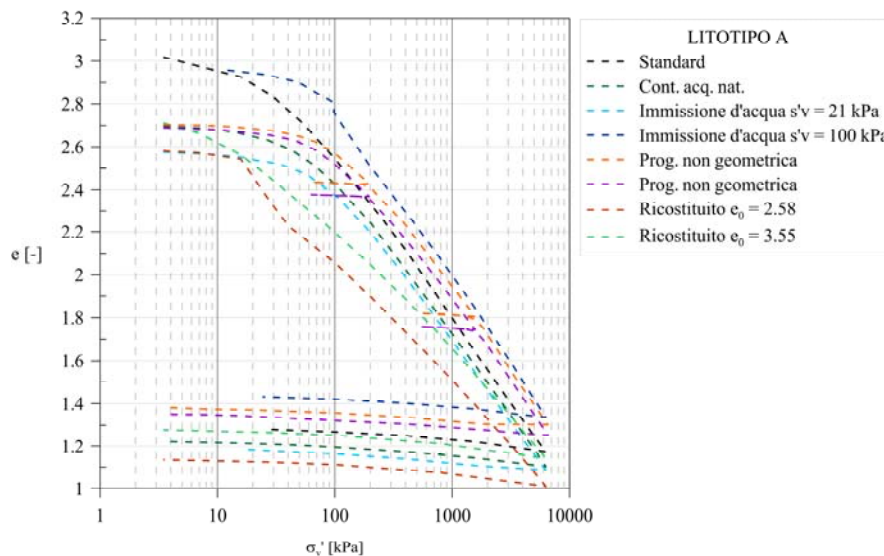


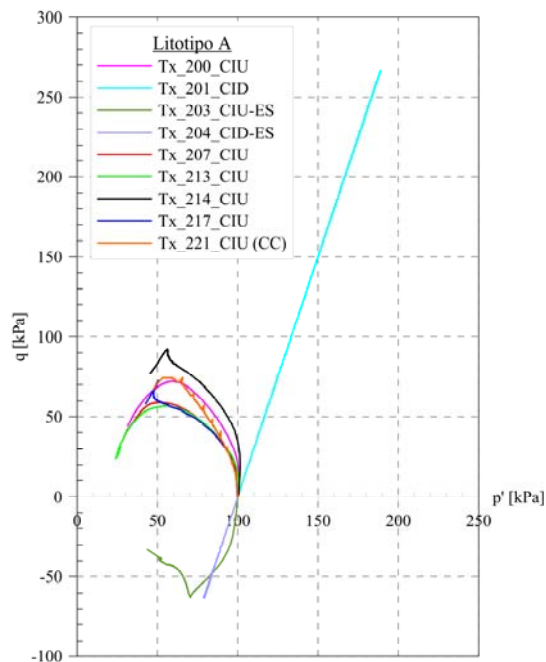
Figura 1. Risultati prove edometriche – litotipo "A"

Prove triassiali

Le prove triassiali sono state eseguite allo scopo di valutare: l'influenza del vincolo cinematico costituito dall'assenza di variazioni di volume, nonché l'influenza del percorso di carico. A tal scopo, sono state eseguite:

- 2 prove drenate e 2 prove non drenate su provini indisturbati, imponendo percorsi di compressione per carico ed estensione per scarico;
- 1 prova tipo CIU in controllo di carico;
- 4 prove tipo CIU in controllo di deformazione su altrettanti provini ricostituiti con indice dei vuoti iniziali di $e_0 = 2.51$, $e_0 = 2.53$, $e_0 = 3.03$ ed $e_0 = 3.46$.

In tutte le prove, i provini sono stati consolidati isotropicamente ad una pressione $p'_c = 100$ kPa. In Figura 2 sono riportati gli stress-path delle prove.



Prova	Tipo	p'_c (kPa)	e_0	e_c
200	CIU	100	2.705	2.410
201	CID	100	2.446	2.240
207	CIU	100	2.530	2.250
213	CIU	100	3.030	2.230
214	CIU	100	3.460	1.470
217	CIU	100	2.510	2.140
221	CIU (CC)	100	2.772	2.540

Figura 2. Risultati prove triassiali – litotipo "A"

Prove geofisiche in sito

Le prove in sito con tecniche geofisiche sono state eseguite per la caratterizzazione dei versanti siti sui monti che si affacciano sulle cittadine di Sarno, in provincia di Salerno, e Quindici, in provincia di Avellino. I siti sono stati scelti in funzione della presenza di attrezzature di monitoraggio eventualmente installate e/o dati già disponibili in letteratura relativamente a campagne di indagini precedenti. L'obiettivo principale è stato quello di valutare lo spessore degli strati superficiali delle coltri piroclastiche e pomice, dato essenziale per la determinazione dei volumi coinvolti in un possibile innesco di una colata, e la loro caratterizzazione deformativa a bassi livelli di deformazione.

Si sono effettuate tre tipologie di prove geofisiche:

- prove MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), che si basano sulla dispersività delle onde di Rayleigh nei mezzi stratificati e permettono di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s ;
- prove sismiche a rifrazione, che sfruttano il fenomeno della rifrazione critica delle onde sismiche permettendo di individuare il profilo delle velocità V_p delle onde di

- compressione;
- tomografie elettriche, che consentono di determinare la distribuzione di resistività dei materiali che costituiscono il sottosuolo mediante misure di corrente e di tensione effettuate tramite un dispositivo elettrodico disposto in superficie.

L'utilizzo di diverse tipologie di indagine consente una ridondanza nel dato sperimentale chiaramente utile nell'ambito di misure indirette basate sulla soluzione di un problema inverso, quali le tecniche geofisiche condotte dalla superficie, anche perché ciascuna delle diverse prove fornisce risultati in qualche modo complementari.

I risultati ottenuti sono, a titolo di esempio, riportati di seguito con riferimento al sito di Santa Lucia, in agro del comune di Sarno (SA).

In particolare nella Figura 3 sono riportati, con riferimento alle prove MASW, rispettivamente i migliori profili di V_s (3.a) costruiti da un modello che confronta le curve di dispersione sperimentali con quelle sintetiche (3.b) ed esegue un processo di inversione basato sul valore assoluto del determinante della matrice di Haskell-Thomson (3.c). I dettagli sul codice di inversione, che implementa un metodo MonteCarlo, sono riportati da Maraschini e Foti (2010). I diversi profili riportati in Figura 3.a quantificano l'incertezza associata alla non-unicità della soluzione del problema inverso. Da questo punto di vista è importante osservare che la caratterizzazione dello strato superficiale presenti le incertezze minori e possa essere considerata accurata, anche in virtù dell'elevata quantità di informazioni disponibili per vincolare la soluzione nella zona superficiale. La posizione della seconda interfaccia è caratterizzata da una incertezza maggiore, ma il risultato appare comunque congruente con quanto ottenuto con le altre prove.

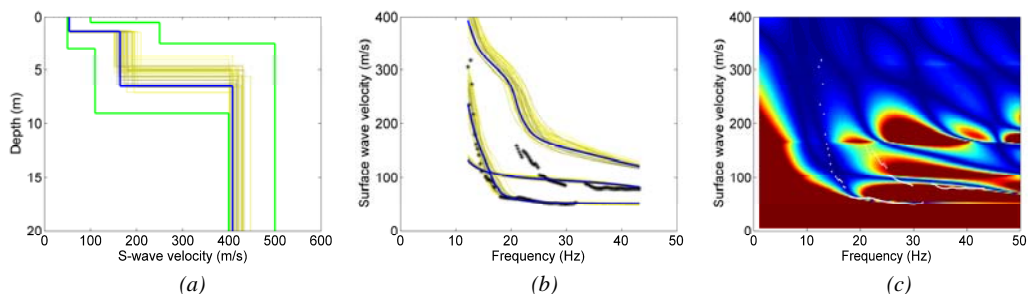


Figura 3. Risultati delle prove MASW – sito di Santa Lucia: (a) profilo di V_s (in blu il profilo che rappresenta la miglior stima per il sito; in giallo le soluzioni equivalenti; in verde lo spazio dei parametri nella generazione della popolazione nel metodo MonteCarlo); (b) confronto tra la curva di dispersione sperimentale delle onde di Rayleigh e le curve di dispersione corrispondenti ai migliori profili di V_s ; (c) confronto tra il determinante della matrice di Haskell-Thomson per il miglior profilo ed i dati sperimentali

In Figura 4 sono riportate, rispettivamente, la tomografia sismica delle onde P e la relativa copertura dei raggi (cioè il numero di raggi sismici che attraversano la medesima cella di velocità in cui viene discretizzato il dominio per il processo d'inversione).

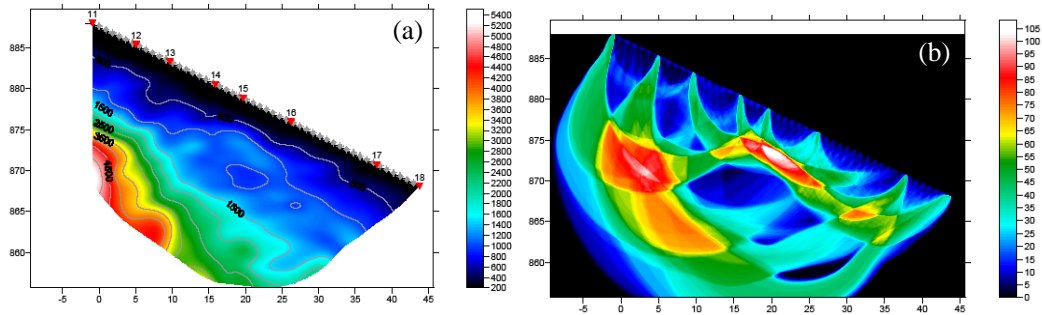


Figura 4. Tomografia delle onde P (a) e relativa copertura dei raggi sismici (b) - sito di Santa Lucia

Infine, in Figura 5 è riportata distribuzione di resistività ottenuta con la tomografia elettrica.

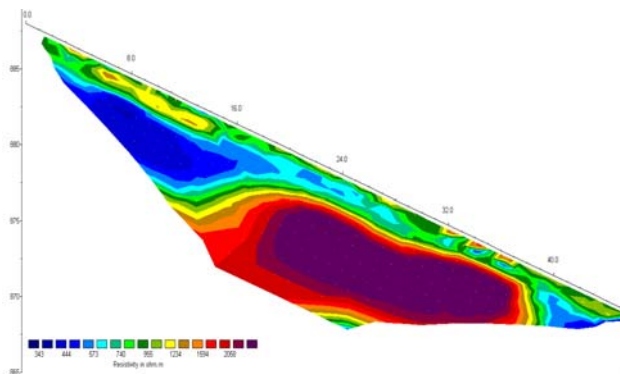


Figura 5. Tomografia di resistività – sito di Santa Lucia

È possibile individuare dalle prove MASW, per il sito considerato, un primo strato dello spessore inferiore a 2 m con velocità delle onde di taglio pari a 54 m/s, cui corrisponde un valore di G_0 di 3.5 MPa (supponendo $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$), che potrebbe essere interpretato come uno strato di materiale piroclastico molto sciolto.

Analoghi spessori caratterizzati da velocità non dissimili da quelle indicate, sono state individuati anche negli altri due siti considerati.

Le prove sismiche a rifrazione e la tomografia elettrica, queste ultime eseguite sono per i siti di Connola e Santa Lucia, mostrano essenzialmente assenza di variazione laterale per il sito di Tuostolo e Connola, rispetto al sito di Santa Lucia dove l'interfaccia con gli strati profondi risulta più superficiale nella parte bassa della sezione, mentre risulta più profonda nella parte alta.

Commenti e analisi dei risultati

Dalle prove di laboratorio e di sito, è possibile trarre alcune considerazioni sulle coltri piroclastiche indagate.

Le prove edometriche evidenziano i seguenti aspetti. Anzitutto l'elevato valore dell'indice dei vuoti, che testimonia l'evidenza di una struttura estremamente aperta e quindi suscettibile di disturbo. Pur con le dovute cautele nella preparazione dei provini, si evince come sia praticamente impossibile preservare l'indice dei vuoti iniziale. Il disturbo arrecato in tale fase influenza il valore della tensione di snervamento, pur trattandosi infatti di provini realizzati nell'ambito della stessa carota. Nonostante i sopramenzionati effetti, i campioni del litotipo "A" manifestano la stessa comprimibilità, descritta da un valore dell'indice di comprimibilità

$C_c = 0.750$. Il confronto con le prove eseguite su campioni ricostituiti, evidenzia valori più bassi dell'indice di compressibilità ($C_c = 0.576$). Ciò testimonia l'esistenza di una struttura e di possibili legami tra le particelle o aggregati di esse, che non può essere riprodotta artificialmente in laboratorio.

Con riferimento alle prove di laboratorio, in particolare alle prove triassiali, è possibile osservare come la concomitanza di tre fattori: elevati indici dei vuoti iniziale, completa saturazione e vincolo cinematico, costituito dalla assenza di variazione di volume, comporti il raggiungimento di una condizione di instabilità (condizione di picco nel piano $p' - q$), che precede la condizione di rottura, che il materiale avrebbe raggiunto se allo stesso stato fosse assicurata una condizione drenata.

Dalle prove geofisiche si evidenzia, ancora una volta, per lo strato più superficiale compreso tra 1 e 3 m, una struttura caratterizzata da porosità elevate, che si traducono in campi di velocità delle onde di taglio e di compressione, nonché di conduttività elettrica, basse. Sono individuati poi strati intermedi, tra i 3 e 6 metri di spessore, di materiale più consistente ed il substrato calcareo.

Lo studio di questi terreni risulta estremamente interessante e validi contributi possono essere apportati, nella comprensione del loro comportamento, da analisi combinate tra i dati di letteratura, misure e monitoraggio di sito, analisi di laboratorio e prove geofisiche.

Un valido esempio è fornito dalla possibilità di valutare lo stato dei depositi in sito, con riferimento alla porosità e al grado di saturazione, se si affianca alle tomografie di resistività altri parametri ottenuti con il monitoraggio.

In tale ottica, sviluppi futuri saranno indirizzati nella caratterizzazione geofisica dei materiali mediante prove di laboratorio (tomografie elettrica 3D in edometro, misure di velocità delle onde elastiche di volume mediante bender – extender elements).

Bibliografia

- Bilotta, E., Cascini, L., Foresta, V. and Sorbino, G. (2005). Geotechnical characterization of pyroclastic soils involved in huge flowslides. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23: 365 – 402
- Bilotta E., Foresta V. (2001) “Sulla resistenza a taglio di alcune piroclastiti dei monti di Sarno”, Report no. 20, Department of Civil Engineering, University of Salerno
- Cascini, L., Cuomo, S. and Guida, D. (2008). Typical source areas of May 1998 flow-like mass movements in the Campania region, Southern Italy. *Engineering Geology*, 96: 107 – 125
- De Vita, P. and Celico, P. (2006). Distribuzione delle coltri piroclastiche sui versanti carbonatici perivesuviani e suscettibilità a franare. *Giornale di Geologia Applicata*, 3: 145 – 151
- Lancellotta, R., Costanzo, D., Foti, S., Cosentini, R.M. (2011). *Caratterizzazione e modellazione geotecnica*. In *Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)*. L. Cascini (eds.) (in stampa)
- Maraschini, M. and Foti, S. (2010). A Monte Carlo multimodal inversion of surface waves. *Geophysical Journal Int.*, 182 (3): 1557 – 1566