

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329126057>

Prospezione geofisica multi-parametrica per la caratterizzazione di un'area in frana

Conference Paper · November 2018

CITATIONS

0

READS

6

2 authors:



Diego Barbero

34 PUBLICATIONS 55 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mario Naldi

TECHGEA Geophysics

15 PUBLICATIONS 61 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Recognition of fractured areas and buried tectonic discontinuities from underground thermal data [View project](#)



Temperature distribution and homoeothermic surface depth in the shallow aquifer of Piedmont region [View project](#)

- Pugin, A. J. M., Larson, T.H. and Sargent, S.L., (2004) Near-surface mapping using SH-wave and P-wave seismic land-streamer data acquisition in Illinois and U.S., *The Leading Edge*, 23, 677–682.
- Sambuelli, L., Fiorucci, A., Dabove, P., Pascal, I., Colombero, C., Comina, C., (2017) Case history: A 5 km long waterborne geophysical survey along the Po river within the city of Turin (northwest Italy), *Geophysics*, 82 (6), pp. B189-B199.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff (1990), *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, 770 pp.
- Van Der Veen, M., Spitzer, R., Green, A.G., Wild, P., (2001) Design and application of towed land-streamer system for cost-effective 2-D and pseudo-3-D shallow seismic data acquisition, *Geophysics*, 66 (2), pp. 482-500.

PROSPEZIONE GEOFISICA MULTI-PARAMETRICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DI UN'AREA IN FRANA

D. Barbero¹, M. Naldi²

¹ Studio Geologico e Laboratorio Geotecnico Dott. Diego Barbero, Italy

² Techgea s.r.l., Italy

Introduzione. Lo sviluppo di modelli di indagine geofisica per immagini consente di elaborare modelli geologici del sottosuolo sempre più realistici. L'utilizzo di tali modelli sviluppati a partire da metodi geofisici mono-parametrici (un unico parametro fisico) non consente di poter tradurre il modello geofisico in un modello geologico del sottosuolo attendibile. Le incertezze nell'elaborazione del modello sono infatti connesse non solo al numero di variabili geologiche, quali la presenza d'acqua o le differenze litologiche, ma anche all'incertezza interpretativa del singolo parametro fisico in assenza di una calibrazione diretta (sondaggi) o indiretta del sottosuolo (cartografia geologica). Per ridurre l'ambiguità interpretativa occorre analizzare tutte le variabili geologiche sito specifiche, che concorrono a influenzare i parametri fisici del sottosuolo attraverso un confronto di tali parametri con l'utilizzo combinato di più metodi di indagine geofisica, ovvero adottando un approccio multi-parametrico (Naldi e Barbero, 2016). I risultati presentati in questa ricerca evidenziano come l'utilizzo della prospezione geofisica multi-parametrica in un contesto geologico complesso consenta di ottenere un modello realistico del sottosuolo indispensabile per la messa in sicurezza di un'area in frana.

Assetto geologico-strutturale. La frana oggetto delle indagini geofisiche si colloca nel Comune di Cantalupa (Piemonte Occidentale) nel settore collinare pedemontano ai margini della cosiddetta "Pianura Torinese Meridionale".

Il quadro geologico-strutturale in cui s'inserisce l'area in frana è piuttosto complesso. Esso è ascrivibile ai litotipi del "Massiccio Cristallino del Dora Maria" o "Unità Dora Maira" che, con le falde del Monte Rosa e del Gran Paradiso costituisce il più meridionale dei cosiddetti "massicci cristallini interni". Le più recenti ricostruzioni paleogeografiche considerano i massicci cristallini interni come parte del margine paleo-africano (Balestro *et al.*, 1995). L'Unità Dora Maira è costituita da due principali complessi, strutturalmente sovrapposti (Cadoppi, 1990):

- un basamento polimetamorfico con paraderivati e metabasiti, di età pre-carbonifera ubicato superiormente, costituito da micascisti e gneiss minuti con paragenesi di alta pressione a fengite, granato cloritoide e rutilo± glaucofane, cui si associano livelli di marmi a silicati e *boudins* di meta basiti con paragenesi eclogitiche riequilibrata in facies scisti verdi;
- successioni monometamorfiche di probabile età permo-carbonifera poste inferiormente, rappresentate da metaconglomerati, gneiss minuti e metapeliti che costituiscono il cosiddetto "Complesso Graitico del Pinerolese".

Incassati nel basamento polimetamorfico e nel "Complesso Graitico del Pinerolese" vi sono corpi intrusivi con chimismo da granitico a dioritico, riferibili al ciclo magmatico tardo-

ercinico, metamorfosati e variamente trasformati durante l’orogenesi alpina. Infine, al tetto del basamento polimetamorfico si rinvencono successioni di metasedimenti carbonatico-pelitiche autoctone o para-autoctone mesozoiche.

Il substrato dell’area in esame è rappresentato da rocce afferenti al “Complesso degli Ortogneiss del Monte Freidour” rappresentato da gneiss occhiadini e ghiandolari con associati a filoni aplitici di età pre-Carbonifera. Al di sopra si sviluppa una coltre di depositi glaciali di ablazione, costituiti da ciottoli e blocchi di ortogneiss occhiadini in un matrice ghiaioso-sabbiosa di colore rossastra per la presenza di un paleosuolo argilloso rosso-bruno. Tali depositi sono distribuiti in lembi a diverso sviluppo altimetrico sui rilievi collinari pedemontani (*pediment* o *glacis*) che costituiscono le ampie superfici terrazzate inclinate verso SE di conoidi coalescenti geneticamente riconducibili a processi fluvio-torrentizi.

METODI. Per la caratterizzazione litostratigrafica dei primi 20 metri di sottosuolo dell’area franosa (Fig. 1) che ha coinvolto il piazzale di valle e il muro di un fabbricato residenziale, per una lunghezza di circa 80 m e un’altezza di circa 3-4 m è stata adottata un’indagine geofisica consistita in:

- indagine geoelettrica multielettrodo: gli stendimenti sono stati posizionati a monte (sez. A-B) e a valle (sez. C-D) dell’area in frana con direzione parallela alle isoipse, con lo scopo di individuare venute d’acqua nel corpo di frana;
- indagini sismiche a rifrazione (onde di compressione) (SIS) in prossimità del fabbricato: gli stendimenti sono stati disposti a croce, con il centro delle indagini posizionato in corrispondenza del cedimento della pavimentazione del piazzale (zona di massimo rigetto);

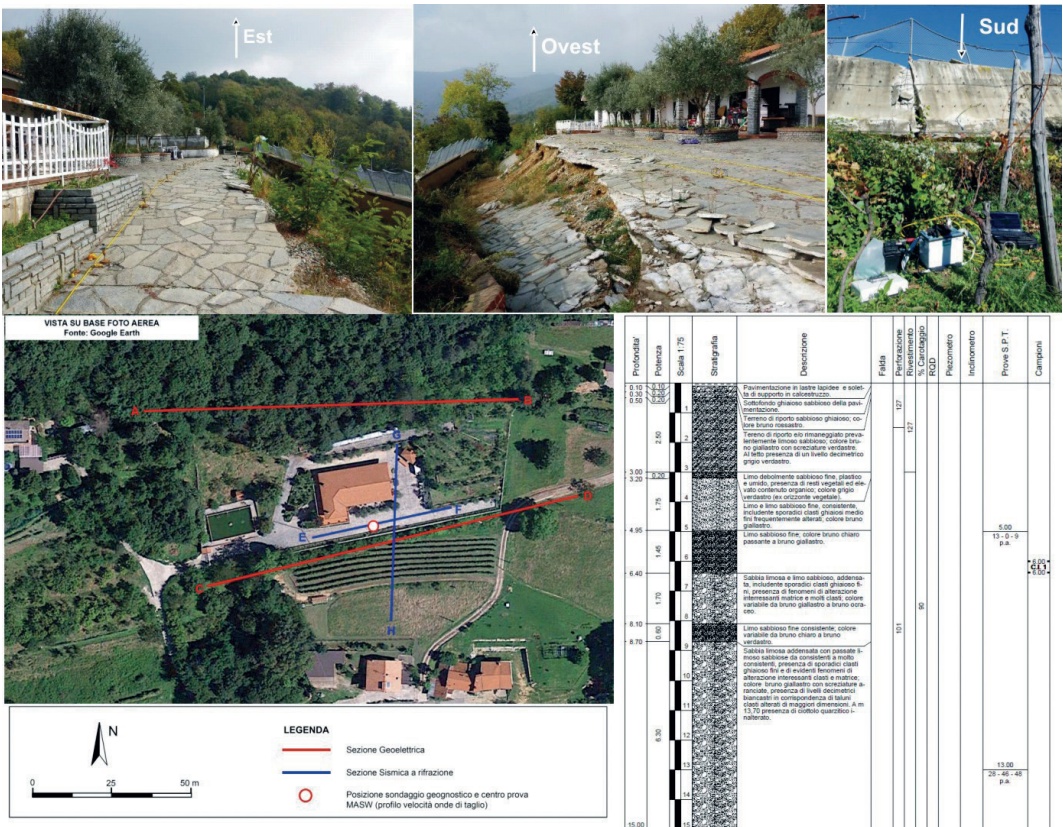


Fig. 1 - Sito d’intervento e piano delle indagini geofisiche.

- indagine sismica di tipo MASW: lo stendimento è stato posizionato in sovrapposizione a una delle due sezioni a rifrazione (zona di massimo dissesto), in cui è stato realizzato anche un sondaggio geognostico, al fine di confrontare i valori di velocità delle onde di compressione con quelli delle onde di taglio.

Le informazioni dedotte dalla misura dei parametri fisici sono molteplici: la resistività elettrica permette di rilevare la presenza di acqua oltre che ricavare una caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo, mentre la misura delle onde di compressione (V_p) della prova SIS associata a quella delle onde di taglio (V_s) della prova MASW consente di ottenere informazioni sullo stato di addensamento (rigidità) del terreno, ovvero individuare zone detensionate all'interno del corpo di frana.

La calibrazione dei dati acquisiti dalle prove geofisiche è stata effettuata con un sondaggio geognostico profondo 15 m eseguito sul piazzale nel settore di massimo rigetto del corpo di frana: esso permette il confronto tra il profilo stratigrafico del sottosuolo e il "profilo di rigidità" della prova MASW.

Strumentazione utilizzata. *Tomografia elettrica multielettrodo.* L'acquisizione dei dati è stata realizzata con un georesistivimetro Syscal Kid (Iris Instruments, F) a 72 canali e l'utilizzo di elettrodi in acciaio inox collegati mediante cavi multipolari con le seguenti configurazioni: ERT1 (sez. A-B) e ERT2 (sez. C-D) n. 48 canali, spaziatura 3 m, lunghezza stendimento 141 m.

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata una sequenza mista Wenner-Schlumberger a 48 elettrodi, ottimizzata a 535 quadripoli, predisposta con il software Electre II (Iris Instruments, Fr).

Per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati i programmi: Prosys II (Iris Instruments, Fr) consente l'elaborazione preliminare dei dati di resistività elettrica apparente (filtraggio e correzione topografica dei dati); Res2DINV (Geotomo Software, Mal) esegue l'inversione numerica dei dati e la restituzione della sezione tomografica di resistività elettrica reale.

Tomografia sismica a rifrazione. L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con sismografo Daq Link III (Seismic Source, USA) a 24 canali e geofoni con frequenza centrata di 40 Hz, con la seguente configurazione: SIS1 (sez. A-B) e SIS2 (sez. C-D) n. 48 canali, spaziatura 3 m, lunghezza stendimento 69 m.

La generazione del segnale sismico è stata realizzata con mazza da 10 kg dotata di interruttore inerziale in nove punti di energizzazione omogeneamente distribuiti lungo la linea. Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si è proceduto al riconoscimento e raccolta dei dati dei primi arrivi (software Reflexw, Sandmeier Software, D). Successivamente le onde di primo arrivo sono state elaborate con il metodo GRM (General Reciprocal Method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo (software Rayfract, Intelligent Resources Inc., CDN). Il metodo dell'inversione tomografica consente di individuare anche eventuali inversioni di velocità.

Indagine Masw. L'indagine è stata realizzata con sismografo Daq Link III e geofoni (Weihai Sunfull) con frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%. I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 4.02 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

Risultati. *Indagini geoelettriche.* La mappa di resistività (ERT1 sez. A-B) (Fig. 2) presenta una sequenza elettrostratigrafica caratterizzata da tre livelli: un primo elettrostrato superficiale a medio-alta resistività (300÷900 Ohm·m) definito da ridotto spessore lungo tutta la sezione, ad eccezione dell'estremo occidentale (sinistro) dove si rileva la presenza di un'unità resistiva estesa in profondità. I materiali presenti sono compatibili con detriti a granulometria grossolana; un livello intermedio, esteso fino a circa 20 m da p.c., caratterizzato da valori di resistività compresi tra 100 e 400 Ohm·m; i valori di resistività sono compatibili con materiali detritici

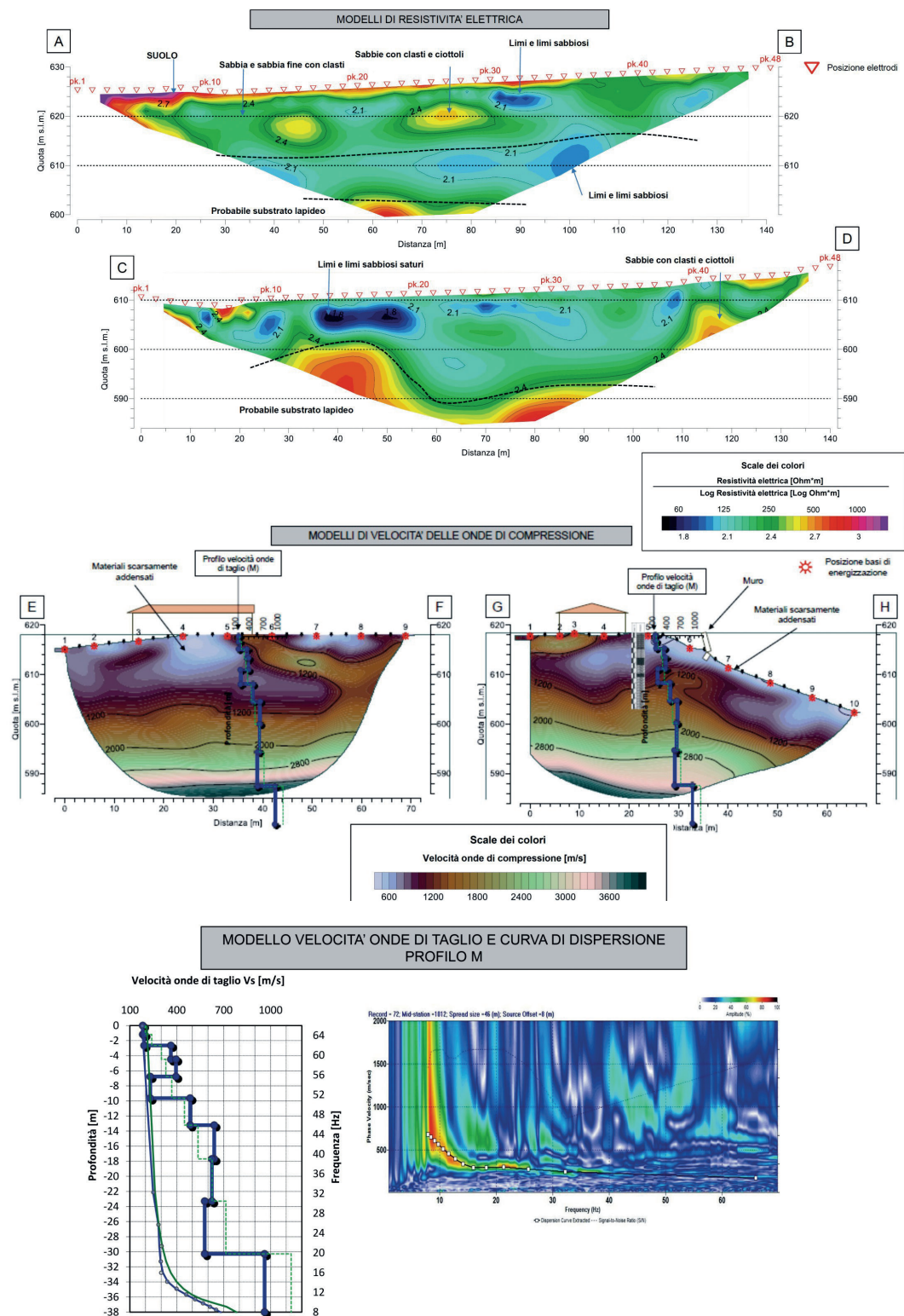


Fig. 2 - Sezioni verticali di resistività elettrica e sismi.

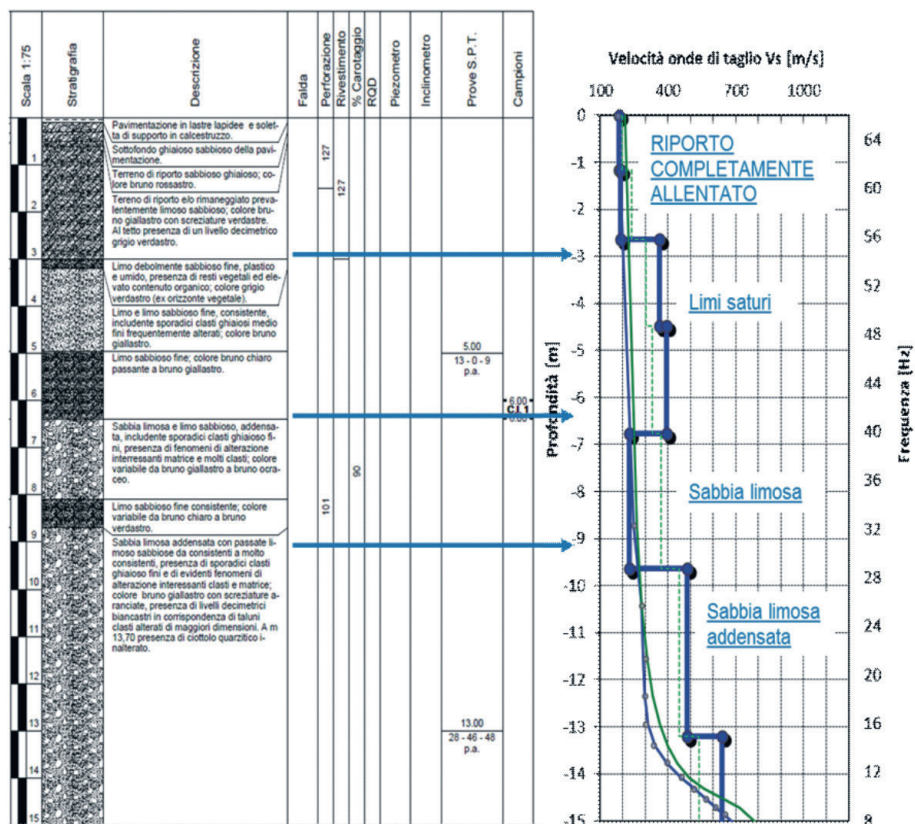
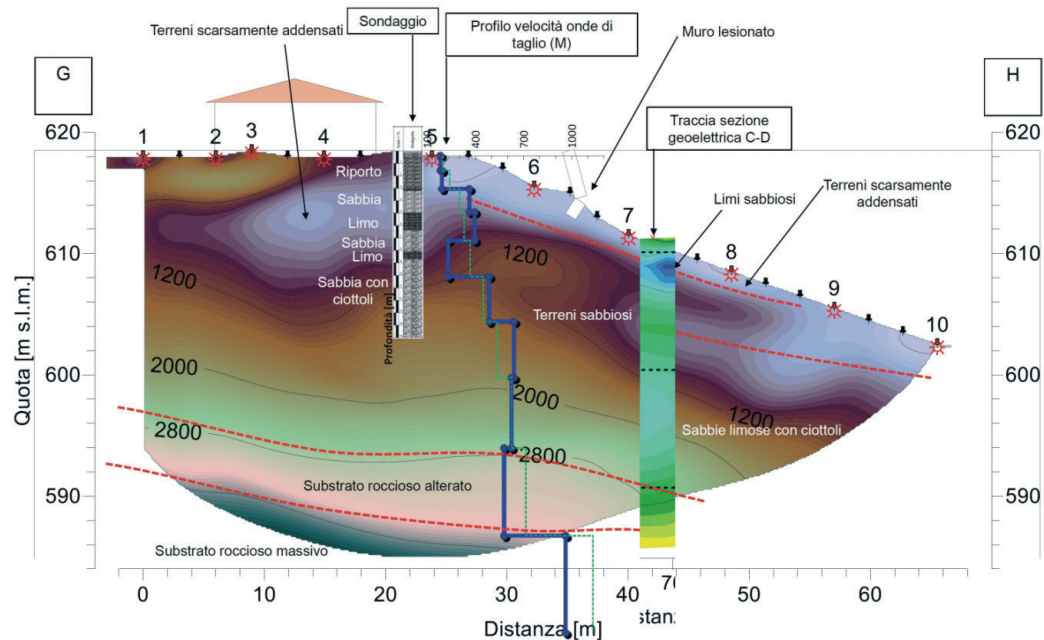


Fig. 3 - Modello geologico concettuale del fenomeno di instabilità e confronto tra il profilo MASW e il profilo stratigrafico da sondaggio geognostico.

a granulometria grossolana o con materiali riferibili al substrato roccioso molto fratturati, parzialmente saturi; infine un elettrostrato basale che presenta resistività medio-alta ($\rho \geq 500 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$).

La sezione C-D (ERT2) (Fig. 2) evidenzia una sequenza elettrostratigrafica caratterizzata da due livelli principali con una scarsa regolarità nella distribuzione dei gradienti: un elettrostrato conduttivo ($80\div250 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$) definito da spessore variabile e compreso tra 10 m – tra le progressive 30÷50 metri – e 20 m nel settore centrale della linea. I valori di resistività misurati sono compatibili con depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi con matrice limosa o con materiali derivanti da forte alterazione del substrato roccioso parzialmente saturi e un elettrostrato di fondo caratterizzato da resistività medio-alta ($\rho \geq 500 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$) e compatibile con materiali litoidi fratturati.

Indagini sismiche. La sezione SIS1 (sez. E-F) di velocità delle onde di compressione (V_p) (Fig.2) evidenzia i livelli superficiali detensionati per effetto del cedimento del muro. In profondità si riconoscono due livelli sismostratigrafici distinti: uno superiore, caratterizzato da spessore medio pari a 15 metri (velocità comprese tra 750 e 1200 m/s) e coincidente con depositi scarsamente omogenei a basso grado d'addensamento, e uno profondo, con velocità delle onde sismiche superiori a 1200 m/s, consistente in materiali a medio addensamento con densità crescente in profondità.

La sezione SIS2 (sez. G-H) evidenzia livelli superficiali a bassa velocità tra le progressive 20÷40 metri e all'estremo meridionale della linea. La sezione evidenzia due livelli: uno superiore, caratterizzato da spessore medio pari a circa 12 metri e velocità comprese tra 600 e 1200 m/s, coincidente con depositi a basso grado d'addensamento, e uno profondo, definito da materiali a medio addensamento ($V_p \geq 1200 \text{ m/s}$) con densità crescente in profondità.

Il modello di velocità delle onde di taglio (Fig. 2), acquisito mediante uno stendimento disposto parallelamente alla sezione E-F, consente di apprezzare due significative variazioni sismo stratigrafiche: un'interfaccia molto superficiale evidenzia materiali sciolti in spessore pari a circa 2-3 metri ($V_s < 200 \text{ m/s}$); un secondo passaggio viene evidenziato alla profondità di 10 m circa, a letto di un'unità superficiale definita da velocità delle onde di taglio compresa tra 190 e 390 m/s e include un'inversione di velocità.

Discussione. L'indagine geoelettrica evidenzia un'alternanza di strati sabbiosi (media resistività) e limosi (bassa resistività), con intercalazioni di lenti ghiaiose e poggianti su un probabile substrato roccioso a elevata resistività elettrica. Valori di resistività elettrica molto bassi suggeriscono che le lenti di limo siano verosimilmente sature d'acqua nella zona di dissesto. Il confronto con l'indagine sismica a rifrazione evidenzia come le lenti di limo superficiale (lenti sature) siano caratterizzate da velocità delle onde di compressione molto basse ($V_p < 500 \text{ m/s}$), indicative di terreni allentati. Inoltre, la prova MASW un primo strato detensionato (riporto in frana) con velocità delle onde di taglio inferiori a 200 m/s. A circa 3 m di profondità si assiste ad un incremento della velocità delle onde di taglio, a valori di circa 400 m/s, e corrispondenti con limi saturi con rari ciottoli di ghiaia. A circa 7 m di profondità si osserva una netta inversione di velocità (V_s pari a circa 200 m/s tra 7÷9.5 m) identificato anche con la sezione sismica in onde di compressione. Si tratta di una zona di sabbia limosa detensionata più profonda, potenzialmente attivabile come superficie di scivolamento in caso di aumento della pressione interstiziale. Oltre i 9.5 m di profondità la velocità delle onde di taglio ritorna a valori medio alti e, come verificato dai valori di SPT misurati nel sondaggio, si tratta di depositi a elevato grado di addensamento.

Considerazioni conclusive. Il caso studio presentato evidenzia come nel campo della prospezione geofisica si assista spesso a un'ambiguità interpretativa dei parametri fisici misurati a causa anche delle numerose variabili geologiche in gioco. Al fine di ridurre il numero delle variabili geologiche e, di conseguenza, l'ambiguità interpretativa occorre effettuare un'analisi multi-parametrica che dovrà essere necessariamente calibrata con dati geologici diretti o indiretti. L'analisi multi-parametrica incrociata con i dati geologici a disposizione ha permesso

di definire un modello geologico concettuale utile a definire un progetto di consolidamento della frana superficiale e di prevenzione della potenziale frana profonda.

Bibliografia

- Balestro, G., Cadoppi, P., Di Martino, L., Sacchi, R.; 1995: Il settore meridionale del Massiccio Dora - Maira (V. Maira e V. Varaita): inquadramento, carta geologica e guida a un'escursione. Acc. Naz. Sci., Scritti e documenti XIV, 501 - 529
- Cadoppi P.; 1990: Geologia del basamento cristallino nel settore settentrionale del massiccio del Dora-Maira (Alpi occidentali). Tesi di dottorato, Consorzio Univ. Cagliari-Genova-Torino, inedita, 208pp
- Naldi, M., Barbero, D.; 2016: Approccio geofisico multi-metodologico per la modellazione geologica e geotecnica del sottosuolo Atti del Workshop in geofisica "Tra Geologia e Geofisica", Rovereto 3-4 dicembre 2015, ed. Osiride, 23-33.
- Loke, M.H., Barker, R.D.; 1996: Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. Geophysical prospecting, 44, 499-523.

INDAGINE GEOELETRICA A SUPPORTO DELLA VERIFICA DEL MATERIALE DI COPERTURA DI UNA DISCARICA DISMESSA NEL PIEMONTE SUDOCIDENTALE

D. Barbero¹, M. Naldi²

¹ Studio Geologico e Laboratorio Geotecnico Dott. Diego Barbero, Italy

² Techgea s.r.l., Italy

Introduzione. Misure geofisiche indirette, quali resistività elettrica e polarizzazione indotta, associate a indagini geognostiche (scavi geognostici e prove di permeabilità in situ e in laboratorio), rappresentano un valido strumento per la caratterizzazione geologica e idrogeologica del materiale di copertura di vasche di discariche.

Lo studio in esame riguarda le due vasche della discarica di Lesegno in Loc. Prata (Piemonte SW), attualmente in fase di gestione *post-mortem*, che presentano criticità riguardanti la quantità di percolato presente, che non pare diminuire nel tempo nonostante gli ingenti volumi smaltiti annualmente. La discarica non presenta un *capping* superficiale con telo di impermeabilizzazione, ma pare essere costituita da un pacchetto composto da uno strato di drenaggio (ghiaia), uno strato impermeabile argilloso e terreno vegetale superficiale. Inoltre, la discarica poggia direttamente su terreni riferibili al substrato terziario (Marne di Paroldo) senza un sistema di impermeabilizzazione continuo.

Assetto geologico-strutturale. La discarica oggetto delle indagini si colloca nei Rilievi collinari delle Langhe, modellati nella successione terrigena, con spessore massimo di 5-6000 m, di età compresa tra l'Oligocene e il Miocene Sup. e indicata come Bacino Terziario Piemontese (BTP). Il BTP costituisce un bacino post-collisionale situato al limite tra la catena alpina ed appenninica, le cui formazioni corrispondono a depositi molassici di riempimento di fossa. La successione sedimentaria del BTP costituisce una larga monoclinale, con immersione verso NO e inclinazione compresa tra 8° e 15°, costituita da diversi depositi in rapporti di sovrapposizione e interdigitazione tra loro. Su base genetica delle formazioni si possono individuare tre principali unità (Foglio Ceva; Piana *et al.*, 2017): 1) Unità oligocenica con depositi continentali di delta-conoide e marino-marginali: F. di Molare; 2) Unità oligo-mioceniche con depositi di piattaforma, scarpata e mare profondo risedimentati: Formazione di Rocchetta, Formazione di Monesiglio, Marne di Paroldo, Formazione di Cortemilia, Formazione di Cessole, Formazione di Cassinasco, Formazione di Murazzano, Formazione di Lequio, Marne di Gallo d'Alba, Arenarie di Diano d'Alba, Marne di S. Agata Fossili; 3) Unità Messiniana con depositi marino-marginali ed evaporitici: Formazione gessoso-solfifera.