

# INTEGRAZIONE TRA INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE PER LA DEFINIZIONE DI UN MODELLO EVOLUTIVO DI GRANDI FRANE PROFONDE: IL CASO DI BERCETO NELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

Ambanelli A.<sup>(3)</sup>, Ambrogio A.<sup>(5)</sup>, Baldi A.M.<sup>(4)</sup>, Bianchi F.<sup>(4)</sup>, Corsini A.<sup>(2)</sup>, De Luca J.<sup>(4)</sup>, Deiana M.<sup>(2)</sup>, Diena M.<sup>(3)</sup>, Larini G.<sup>(3)</sup>, Lopardo L.<sup>(3)</sup>, Malaguti C.<sup>(3)</sup>, Mencarini S.<sup>(4)</sup>, Ronchetti F.<sup>(2)</sup>, Roverselli D.<sup>(5)</sup>, Truffelli G.<sup>(3)</sup>, Vescovi P.<sup>(1)</sup>

(1) Università di Parma

(2) Università di Modena e Reggio Emilia

(3) Serv. Tec. Bacini degli affluenti del Po – Parma – Regione Emilia Romagna

(4) S.G.G. Studio di Geologia e Geofisica s.r.l. – Siena

(5) Geoinvest s.r.l. – Piacenza

## SOMMARIO

L'Appennino Settentrionale è caratterizzato dalla presenza di numerose frane con Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV), a carattere cinematico lento. Una di queste interessa il versante di Berceto e presenta un'estensione di 3-4 km<sup>2</sup>, una profondità di oltre 100 metri e un tasso di movimento nell'ordine di alcuni mm/anno, coinvolgendo l'intero abitato ed un tratto dell'Autostrada della Cisa (A15). La Regione Emilia-Romagna ha avviato, da alcuni anni, campagne di indagini geognostiche e geofisiche per la definizione del modello evolutivo di tale fenomeno. Le caratteristiche geometriche della massa coinvolta hanno reso necessarie delle indagini geofisiche di superficie (geoelettrica e sismica) e sondaggi geognostici indispensabili per la taratura puntuale dei dati indiretti e per l'installazione di strumentazioni inclinometriche, estensimetriche-assesimetriche e piezometriche.

Parole chiave: DGPV, Berceto, frane, geofisica

## 1 INTRODUZIONE

Il versante su cui sorge l'abitato di Berceto (Parma) è caratterizzato dalla presenza di diversi elementi antropici di rilevante valenza socio-economica. Nella parte alta del versante si trova il centro del paese, capoluogo comunale che conta circa 2000 abitanti ed elementi architettonici di pregio storico, come il Duomo che (risale al 1400 – 1500) assume l'aspetto attuale all'inizio del 1500. Nella parte bassa del versante si trova invece l'autostrada A15 Parma-La Spezia, che attraversa il versante per mezzo di viadotti e che è una linea di trasporto di rilevanza strategica a livello nazionale (figura 1).

Da tempo sono pervenute alla Regione Emilia Romagna (Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – STB-Po) segnalazioni di lesioni diffuse su costruzioni del centro di Berceto e di movimenti a carico del "Viadotto delle Vigne" dell'A15. Già in epoca storica è inoltre noto il rifacimento (raddrizzamento) della facciata del Duomo, pericolosamente inclinata, operato da Maria Luigia Duchessa di Parma, nella prima metà del 1800. Tali elementi hanno indotto STB-Po ad intraprendere, negli ultimi anni, uno studio di dettaglio delle condizioni di instabilità dell'intero versante. Tale studio è condotto in collaborazione tra STB-Po e le

Università di Modena-Reggio Emilia e di Parma, ed è basato sull'integrazione di indagini geologiche e geomorfologiche, indagini geognostiche e geofisiche e monitoraggio di movimenti e di condizioni idrogeologiche nel versante.



Figura 1 – Vista da satellite del versante indagato (zona cerchiata).

Tale studio, a valle di un'interpretazione basata sull'integrazione di dati di diversa natura potrà pervenire alla definizione di un modello evolutivo relativo ad una problematica di frana profonda. In tale ambito, obiettivo specifico dell'indagine geofisica è stato quello di caratterizzare più compiutamente l'andamento in profondità di discontinuità di possibile origine tettonico-gravitativa che, sulla base di dati di superficie derivanti dallo studio geologico, sono ritenute possibili zone di svincolo che possono aver condizionato l'evoluzione gravitativa del versante di Berceto nel corso del Quaternario. L'indagine geofisica è stata basata su sismica a rifrazione, sismica riflessione e tomografia geoelettrica ed è stata concentrata principalmente su un areale più limitato rispetto quello del complessivo fenomeno, consentendo di focalizzare l'attenzione sulla porzione superiore del versante, che è dal punto di vista del rischio maggiormente rilevante in relazione alla presenza del centro abitato di Berceto.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di Berceto è situata alcuni chilometri a Nord del Passo della Cisa dell'Appennino Settentrionale, in prossimità dello spartiacque tra i torrenti Manubiola e Baganza. Lungo questa dorsale affiora la serie rovesciata del Flysch di M. Caio, sovrastata tettonicamente dal Complesso Caotico costituito da argilliti grigie e nerastre, con sviluppo pervasivo di scagliosità (Pini et al., 1999), associate a corpi ofiolitici. Il Complesso Caotico è interessato a sua volta dal sovrascorrimento delle Arenarie di Scabiazza per uno spessore di circa 100 metri, affioranti presso l'abitato di Berceto e stratigraficamente collegate alle Argille a palombini di M. Rizzone. Le Arenarie di Scabiazza consistono in una sequenza torbiditica costituita da litofacies in sottili strati siltosi e marnosi, alternate da litofacies arenitiche in strati medi (Vescovi, 2002).

Le aree del Passo della Cisa e di Berceto sono caratterizzate da un'importante discontinuità tettonica orientata SW-NE, connessa al Sistema del Taro (Bernini e Papani, 1987; Argnani et al., 2003), che separa il segmento appenninico emiliano nord-occidentale da quello sud-orientale, con l'ultimo maggiormente eroso dopo il sollevamento tettonico pleistocenico (Bernini et al., 1997; Bernini e Vescovi, 2002). Questo quadro tettonico controlla pesantemente la deformazione fragile che incide sulle unità esposte nell'area. La serie rovesciata del Flysch di M. Caio, ampiamente esposta a Sud dell'abitato di Berceto, è stata sollevata ed interessata da un sistema di faglie SW-NE, con cinematica di tipo transtensivo sinistro (Vescovi, 1988). Le Arenarie di Scabiazza, affioranti a Sud-Est ed Est dell'abitato, sono caratterizzate da pieghe coricate con vergenza a Sud e da faglie estensionali a basso angolo, tagliate da diversi sistemi di faglie sub-verticali: faglie transtensive e transpressive sinistre con trend NE, associate a faglie normali con direzione NNE-SSW e faglie normali tardive con direzione NW-SE.

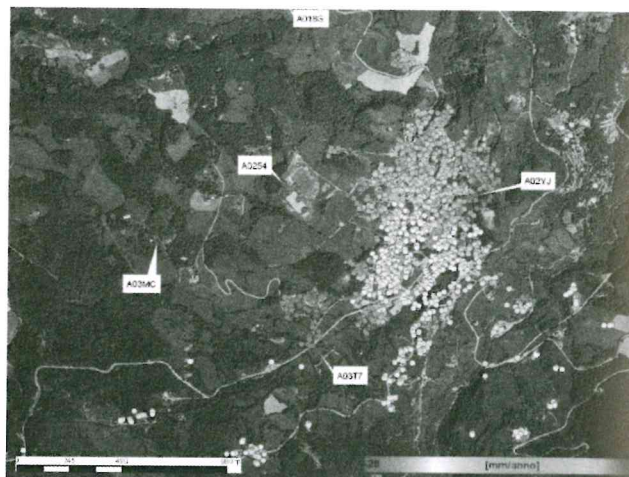


Figura 2 – Particolare dell'abitato di Berceto con indicazione dei punti dei quali vengono riportate, in figura 3, le serie storiche di spostamento da interferometria satellitare SqueeSAR<sup>TM</sup> (da Tamburini et al., 2013)

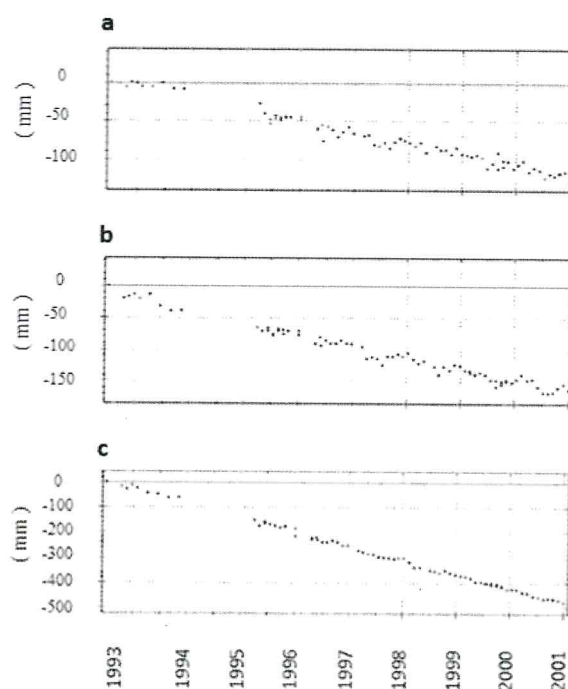


Figura 3 – Alcuni punti significativi, che compaiono in figura 2, dei quali vengono riportate le serie storiche degli spostamenti ottenuti con l'interferometria satellitare SqueeSAR<sup>TM</sup> (da Tamburini et al., 2013).

Legenda: **a-** punto AO2YJ presenta una velocità di 14,84 mm/anno, **b-** punto AO254 presenta una velocità di 18,46 mm/anno, **c-** punto AO3MC presenta una velocità di 57,13 mm/anno.

La fratturazione diffusa indotta dalle faglie e le caratteristiche litologiche delle unità affioranti (i.e.: unità arenacee intensamente fratturate sovrastanti unità pelitiche scagliose) sono fattori di primaria importanza per lo sviluppo della Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV), che ha prodotto la depressione morfologica in testa al versante di Berceto. Qui, un sondaggio geognostico eseguito nel 2001, ha attraversato

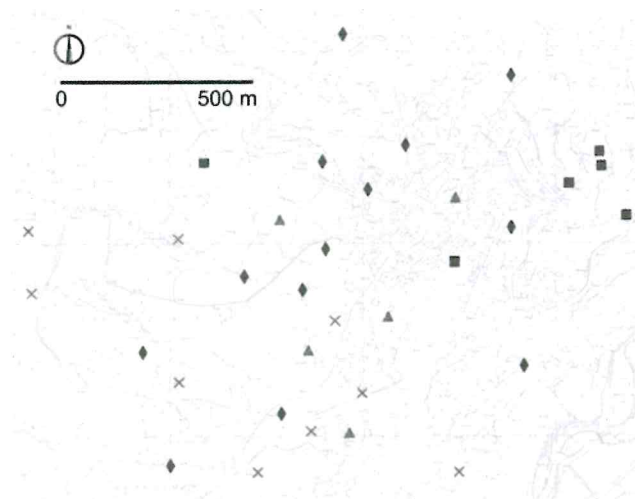


Figura 4 – Rete di monitoraggio installata.

Legenda: ▲ inclinometri, ■ piezometri, ◆ punti di monitoraggio topografico; × punti di monitoraggio GPS.

sedimenti lacustri laminati riconducibili al Pleistocene Superiore, per uno spessore di circa 25 metri (la datazione al radiocarbonio 14 ha fornito un'età di  $29.620 \pm 290$  anni fa), la sedimentazione lacustre è chiusa da depositi di torba (la datazione al radiocarbonio 14 ha fornito un'età di  $11.150 \pm 70$  anni fa) (Bertoldi et al., 2004).

Dal punto di vista geomorfologico il versante di Berceto è caratterizzato dall'alternanza tra zone ad elevata acclività, che in alcuni casi possono definirsi vere e proprie scarpate, e zone a basse acclività. Ciò è compatibile con l'ipotesi di una DGPV in roccia

governata da svincoli tettonico-gravitativi che, a scala di versante, determina lo scorrimento ed il parziale basculamento in blocco di ampi lembi di ammassi rocciosi. A ridosso dell'abitato di Berceto si rinvencono inoltre aree a morfologia concava a cui seguono, verso valle, corpi detritici a morfologia allungata e convessa, interpretabili rispettivamente come zone di distacco ed accumulo di scorrimenti roto-traslativi di terra che vengono ad interessare e sovrapporsi agli ammassi rocciosi dislocati dalla DGPV. In altre zone del versante, si rinvencono inoltre locali situazioni di instabilità gravitativa connessa a scorrimenti roto-traslativi di roccia che, parzialmente, tendono a disgregare gli ammassi rocciosi posti nella zona di crinale e creare depressioni pseudo-carsiche, come per esempio nell'area nota come "il cingino". Si tratta comunque di una serie di fenomenologie caratterizzate da cinematica lenta. Il tasso di deformazione di superficie, stimato sulla base di interferometria satellitare (Corsini et al., 2006, Tamburini et al., 2013) è dell'ordine di alcuni millimetri per anno nelle zone dell'abitato di Berceto, che salgono ad alcune decine di mm verso valle (figure 2 e 3).

Sulla base di tale evidenza, ed in relazione ad indagini geofisiche e sondaggi, Tamburini et al. (2013) hanno proposto un primo modello geologico del tutto preliminare sull'evoluzione gravitativa del versante di Berceto.

Obiettivo dello studio in corso, che è ulteriormente supportato da dati in corso di acquisizione per mezzo di GPS e stazioni totali, è definire quanto di tale tasso di deformazione sia effettivamente causato da movimenti ascrivibili alla DGPV e quanto sia invece attribuibile alla dinamica di dissesti più superficiali.

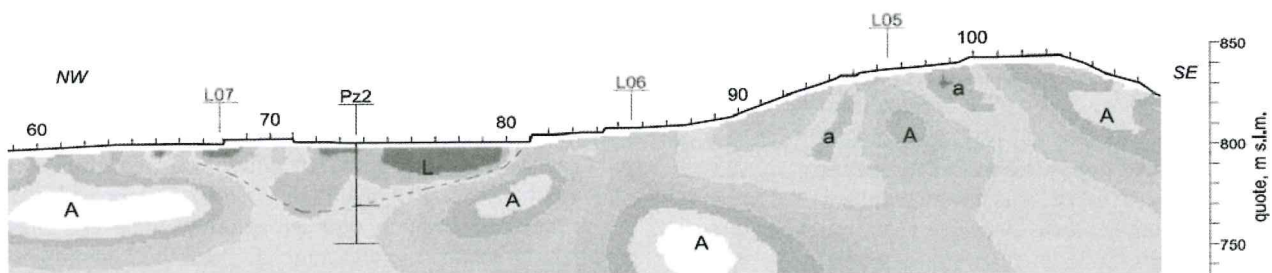


Figura 5 – Abitato di Berceto: estratto della sezione elettrotomografica L03.

Legenda: Pz2 sondaggio geognostico profondo 50 metri che ha evidenziato la base della litofacies lacustre alla profondità di 31 metri da p.c.; L sedimenti riferibili alla litofacies lacustre, di cui il tratteggio indica la base; A nuclei resistivi riconducibili alle porzioni più compatte dell'Arenarie di Scabiazza; a zone elettricamente conduttive riferibili alle Arenarie di Scabiazza fratturata e satura d'acqua.

### 3 INDAGINI GEOFISICHE

#### 3.1 Metodi indagine geofisica

L'Abitato di Berceto è stato oggetto di una campagna geofisica tesa alla definizione del modello geologico della frana profonda. In particolare, nell'anno 2010, sono stati eseguiti 12.000 metri di tomografia elettrica con 126 elettrodi attivi contemporaneamente (smart electrodes), con spaziatura di 11,0 metri, per un totale di n° 8 linee geoelettriche di lunghezza compresa fra 1.350 e 2.000 metri. Nell'anno 2011 è stata realizzata un'ulteriore indagine, di tipo sismico, concernente il solo nucleo

storico di Berceto, in cui sono stati operati 2.000 metri di sismica ibrida (metodologia a riflessione e metodologia a rifrazione) con 48-96 gruppi di geofoni attivi, spazati di 5,0 metri. L'energizzazione sulle linee è avvenuta ogni due gruppi geofonici (10,0 metri) con cannoncino sismico e/o massa battente pesante di 60 kg (figura 7).

Il rilievo sismico è stato totalmente acquisito in area urbanizzata. Ciononostante, la qualità del segnale è risultata molto buona ed il rumore di origine antropica quasi sempre ininfluente grazie anche alla scelta di direttrici di attraversamento attentamente studiate. Per la presenza di edifici, in alcuni tratti è stata utilizzata la tecnica di *undershooting*.

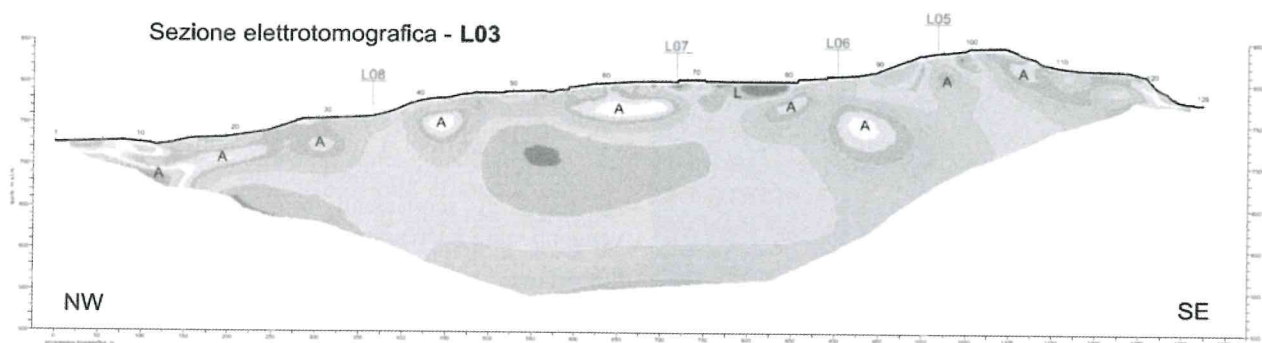


Figura 6 – Sezione elettrica tomografica L03. Per la legenda riferirsi alla Figura 5.

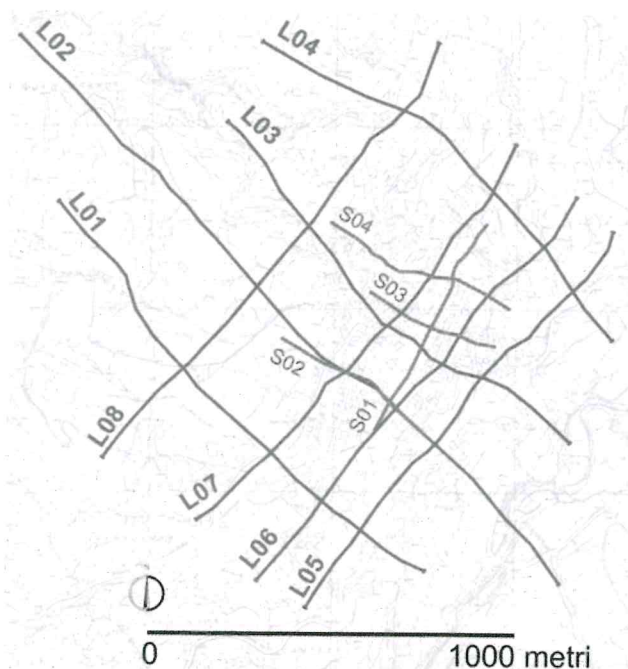


Figura 7 – Disposizione delle linee geoelettriche e delle linee sismiche ibride all'interno dell'abitato di Berceto.

### 3.2 Risultati indagine geofisica

La prospezione geoelettrica ha riguardato in modo esteso il nucleo dell'abitato di Berceto e le zone limitrofe, con profili elettrici di lunghezza fino a 2.000 metri, per una profondità di indagine di circa 250 metri.

Attraverso l'interpretazione delle linee geoelettriche è stato possibile fornire un'ipotesi circa l'andamento del tetto degli orizzonti profondi, relativi alla zona di scivolamento della DGPV. Per quanto riguarda la fascia più superficiale, nei primi 40-60 metri di suolo, la prospezione geoelettrica ha evidenziato varie zone con comportamento elettricamente resistivo, riconducibili alla presenza di grossi elementi compatti di arenaria (contrassegnati con la lettera A). Alternativamente, la tomografia elettrica mostra zone elettricamente medio-resistive, da relazionare a fasce di alterazione della arenaria torbiditica. In corrispondenza dell'intersezione con le sezioni L06 ed L07, si evidenzia una fascia superficiale a comportamento elettricamente conduttivo, riconducibile alla presenza di sedimenti limosi appartenenti alla litofacies lacustre (figure 5 e 6).

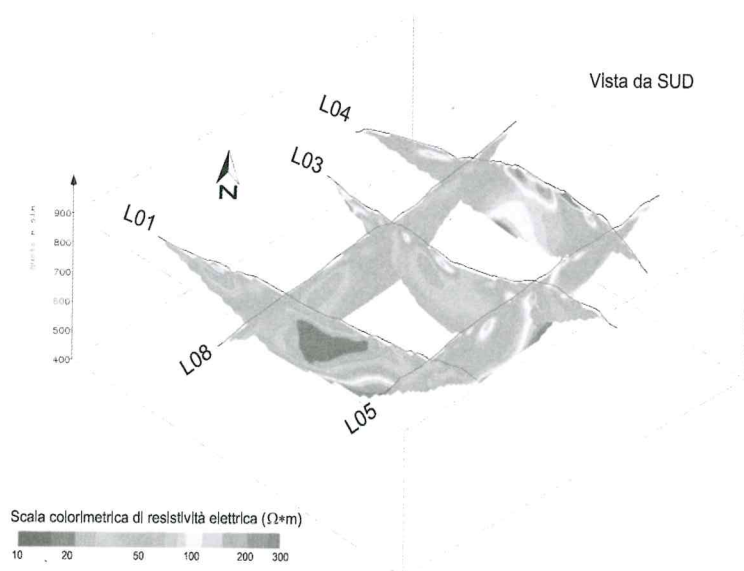


Figura 8 – Ricostruzione 3D delle linee geoelettriche

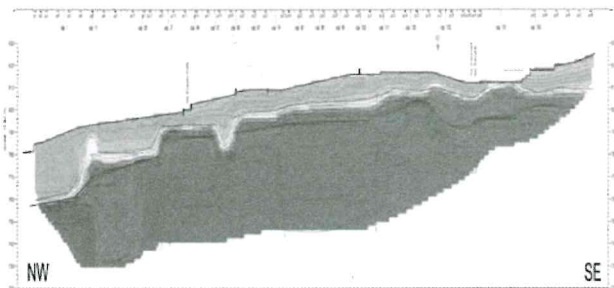


Figura 9 – Sezione sismica a rifrazione S02. La linea evidenzia la coltre superficiale allentata e sono riportati i sovrassegni relativi all'interpretazione del modello geofisico.

L'indagine elettrotomografica ha permesso inoltre la ricostruzione 3-dimensionale delle linee geoelettriche, da cui è stato possibile ricavare l'informazione di una debole e costante immersione verso W-NW del tetto dei litotipi profondi (figura 8).

L'indagine sismica di dettaglio è stata rivolta alla caratterizzazione dei terreni attraverso le velocità intervallo (indagine sismica a riflessione) e le velocità sismiche in onde P (indagine sismica a rifrazione), con la ricostruzione della porzione più superficiale del sottosuolo e del possibile assetto tettonico in profondità.

Le sezioni sismiche a rifrazione, ottenute con elaborazione tomografica dei tempi di primo arrivo, hanno innanzitutto permesso la ricostruzione di dettaglio dell'orizzonte superficiale fortemente alterato (nei primi 25-30 metri di suolo), fornendo indicazioni circa la sua distribuzione areale (figura 9).

Per l'elaborazione della sismica a riflessione sono state eseguite le correzioni statiche legate alle caratteristiche di spessore e velocità dello strato aerato (*piccole statiche*), ma si è anche proceduto a riportare i dati ad un livello (*riduzione al datum*) di riferimento. Inoltre il filtro FK è stato utilizzato con molta parsimonia, dal momento che disturbi coerenti, come le onde superficiali (*ground-roll*), erano già stati attenuati dal tipo di energizzazione e di stendimento utilizzati. E' normale procedura comunque scegliere la sequenza di processing in funzione delle caratteristiche dei dati acquisiti ed in funzione degli elementi che si intende evidenziare.

Nella prima fase (*pre-processing*) si ha una trasformazione dei dati con creazione di un *header* con informazioni sulla geometria di acquisizione. La seconda fase (*processing nel dominio dei tiri*) è un'elaborazione che mira ad elevare la qualità delle singole tracce (analisi spettrale, filtraggio passabanda, ricampionamento, filtraggio F-K, deconvoluzione *spiking*). Infine si è proceduto alla conversione dei dati da un'organizzazione nel dominio dei tiri ad un raggruppamento nel dominio delle famiglie C.D.P. (*Common Depth Point sorting*).

Il risultato finale è costituito, per ciascuna linea sismica, da una sezione sismica migrata *tempi/distanze*; una sezione delle velocità intervallo, utile

per evidenziare localizzate e/o brusche variazioni di velocità legate a zone di frattura/faglia. Il significato fisico delle velocità di stack (quindi delle velocità intervallo) è legato soprattutto a parametri di coerenza del segnale, per cui l'interpretazione che ne deriva deve necessariamente essere una valutazione in termini relativi (non direttamente confrontabili con le velocità della sismica a rifrazione). Per ultime sono quindi mostrate una sezione sismica migrata convertita in profondità mediante una funzione di velocità media costante ed una sezione interpretativa di riepilogo (figura 10).

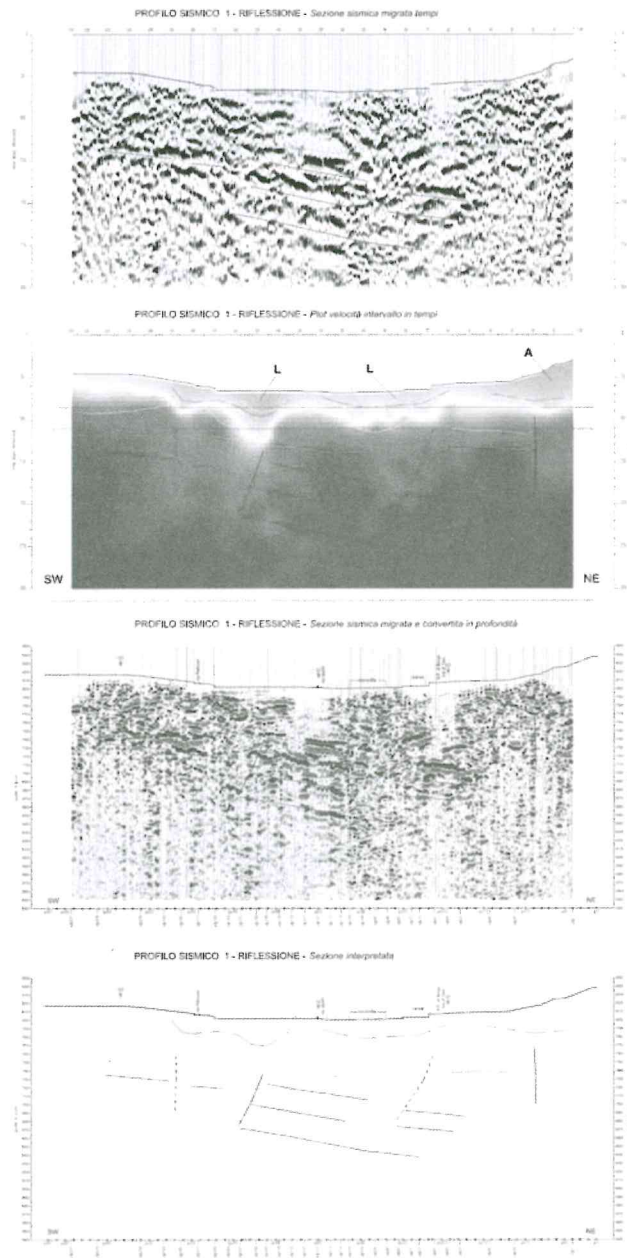


Figura 10 – Sezione sismica a riflessione S01: dall'alto sezione sismica migrata in tempi, sezione delle velocità intervallo, sezione sismica migrata e convertita in profondità, modello geofisico interpretativo.

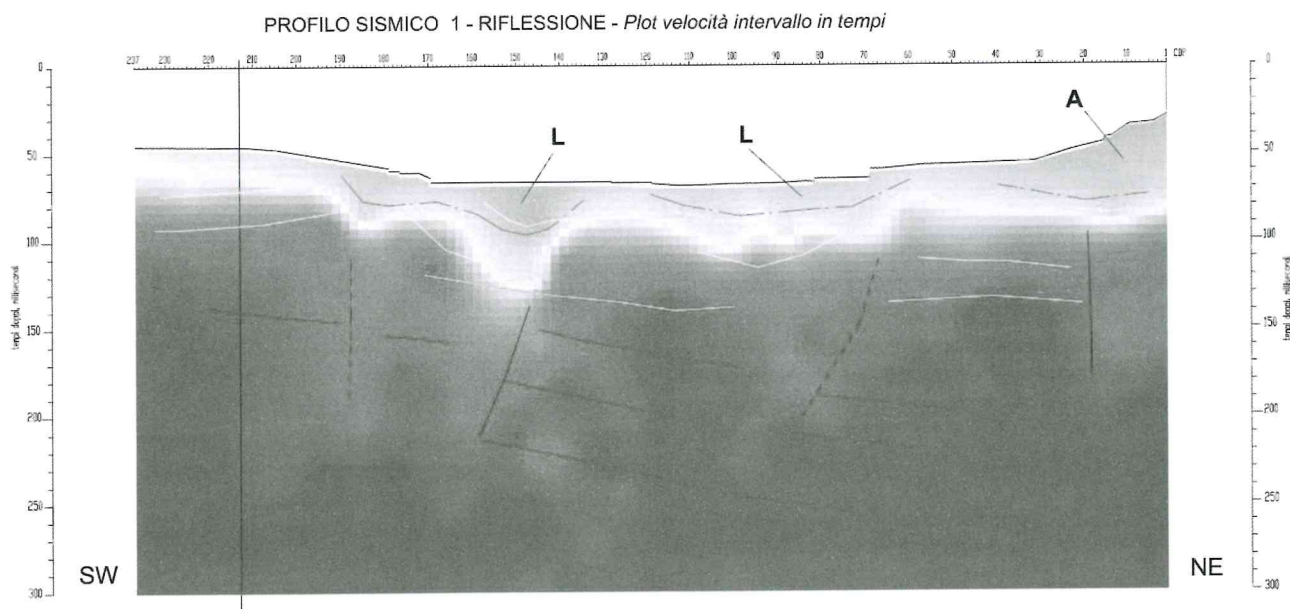


Figura 11 – Sezione sismica S01: elaborazione relativa alle velocità sismica di intervallo. Le zone centrali a basso gradiente di velocità, contraddistinte dalla lettera L, indicano la presenza della litofacies lacustre. Sul margine destro della sezione, settore nord-orientale dell’abitato di Berceto, la zona a basso gradiente di velocità (contrassegnata dalla lettera A) è funzione invece della porzione fortemente alterata della parte affiorante delle Arenarie di Scabiazza. Le linee interpretative derivano dal modello geofisico.

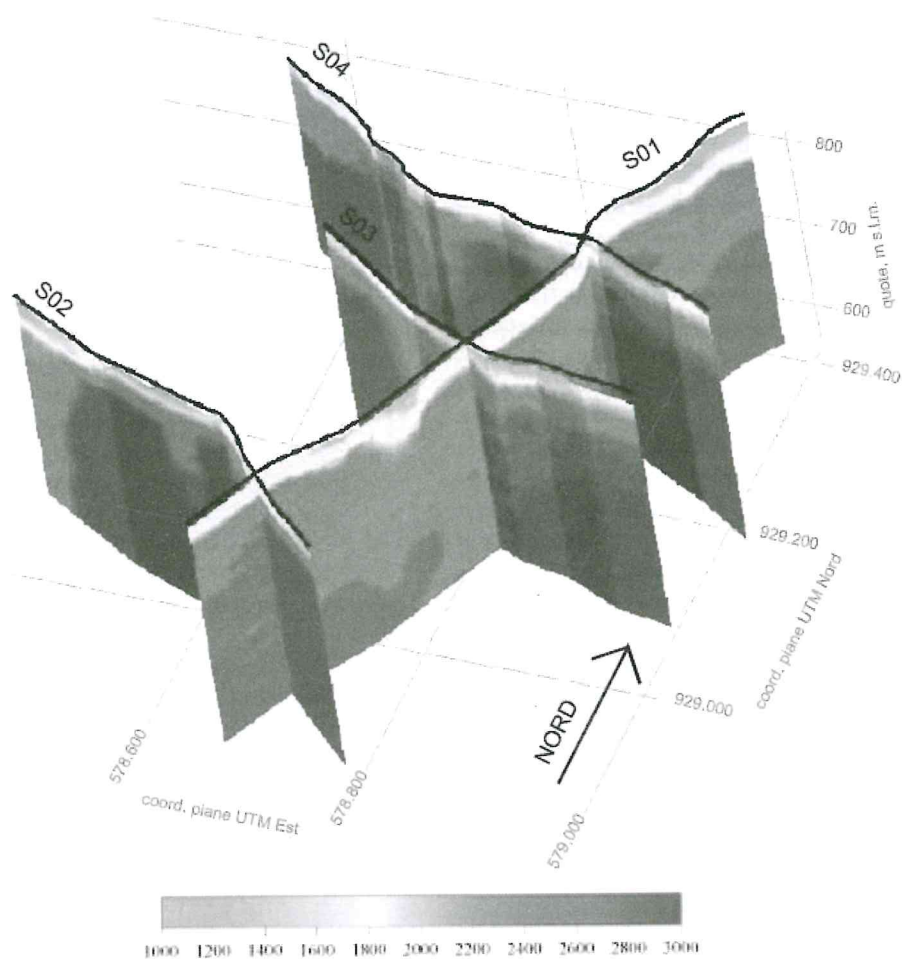


Figura 12 – Modello 3D della velocità sismica di intervallo ottenuta con i profili sismici a riflessione; vista da SSE.

Nella figura 11, un estratto dell'interpretazione dei dati di sismica a riflessione, relativi al profilo sismico S01. L'elaborazione relativa alle velocità sismica di intervallo, evidenzia, superficialmente, due zone centrali a basso gradiente di velocità, contraddistinte dalla lettera L, riconducibili alla presenza di sedimenti scarsamente addensati appartenenti alla litofacies lacustre (capitolo 2). Sul margine NE della sezione, corrispondente alla zona nord-orientale dell'abitato di Berceto, la zona con basso gradiente delle velocità intervallo (contrassegnata con la lettera A) è funzione invece della porzione fortemente alterata della parte affiorante delle Arenarie di Scabiazza, caratterizzate da un sistema pervasivo di pieghe e faglie (capitolo 2).

La totalità dei dati delle velocità intervallo, derivanti dall'interpretazione delle sezioni sismiche a riflessione e riportati in profondità, è stata utilizzata per fornire un modello 3D del sottosuolo dell'area oggetto di studio in merito al parametro delle velocità intervallo. L'elaborazione del modello tridimensionale è avvenuta con il software per parametrizzazione 3D, *Rockworks*; costituito da circa duecentomila nodi secondo una griglia di parallelepipedi con dimensioni 10x10x5 metri, con algoritmo impostato sull'inverso della distanza su base anisotropia.

L'analisi del modello 3D conseguito a partire dall'analisi delle velocità intervallo ha evidenziato, in particolare, una migrazione in profondità della zona con bassi valori di velocità, verso la porzione nord-occidentale dell'abitato di Berceto (figura 12).

Nel complesso, la prospezione sismica ad alta risoluzione orizzontale e verticale (metodologia ibrida: sismica a riflessione e sismica a rifrazione), ha offerto un modello da cui sono emerse alcune discontinuità verticali legate a bassi gradienti delle velocità intervallo ed una immersione predominante degli orizzonti profondi verso W-NW, in accordo con quanto emerso con l'indagine di tomografia elettrica.

#### 4 CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche condotte nell'areale circostante l'abitato di Berceto rappresentano un significativo contributo alla ricostruzione dell'andamento in profondità di superfici di discontinuità geofisica che potranno, alla luce delle ulteriori indagini geologico-geomorfologiche, geognostiche e monitoraggio, essere successivamente e compiutamente interpretate nell'ottica della dinamica gravitativa del versante ed, in ultima istanza, della definizione del modello evolutivo del dissesto.

Si tratta in sostanza di un rilevante contributo allo studio di un fenomeno complesso e profondo, a cinematica lenta, che riguarda un'area strategica dal punto di vista socio-economico. Le metodiche d'indagine geofisica si sono infatti rivelate appropriate ed hanno fornito risultati che consentono una prima ipotesi di ricostruzione del sottosuolo del centro storico e la valutazione di ulteriori successivi approfondimenti per estendere lo studio a tutto il versante.

#### BIBLIOGRAFIA

- Argnani A., Barbacini G., Bernini M., Camurri F., Ghielmi M., Papani G., Rizzini F., Rogledi S., Torelli L., 2003. *Gravity tectonics driven by Quaternary uplift in the Northern Apennines: insights from the La Spezia-Reggio Emilia geo-transect*. Quaternary International, 101-102, pp. 13-26.
- Badley M.E., 1987. *Practical Seismic Interpretation*. International Human Resources Development Corporation.
- Baldi A.M., Baroni C., Braga G., Carton A., Maestri M., Morelli G., Piccio A., Pilla G., 2009. *Indagini geologiche, geofisiche e radiometriche per lo studio della DGPV del lago artificiale di Vernago (Val Senales - BZ)*. Atti del 3° Congresso Nazionale AIGA. San Giovanni Val d'Arno pp 37-38.
- Baldi A.M., De Luca J., Lucente C., Sartini G., 2009. *Indagine di sismica a rifrazione per lo studio della frana attiva dei Boschi di Valoria*. Atti del 3° Congresso Nazionale AIGA. San Giovanni Val d'Arno pp 33-34.
- Bernini M., Papani G., 1987. *Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano tra lo Stirone e l'Enza (e sue relazioni con il sistema del Taro)*. L'Ateneo Parmense-Acta Naturalia, 24, 219-240.
- Bernini M., Vescovi P., 2002. *La deformazione neogenica delle unità di avanfossa registrata nelle sovrastanti liguridi della media Val Taro*. Atti del 3° Seminario di Cartografia Geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002. Regione Emilia-Romagna, 58-63.
- Bernini M., Vescovi P., Zanzucchi G., 1997. *Schema strutturale dell'Appennino Nord-Occidentale*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, 33, 43-54.
- Bertoldi R., Chelli A., Roma R., Tellini C., Vescovi P., 2004. *First remarks on Late Pleistocene lacustrine deposits in the Berceto area (Northern Apennines, Italy)*. Il Quaternario, 17, pp. 133-143.
- Corsini A., Farina P., Antonello G., Barbieri M., Casagli N., Coren F., Guerri L., Ronchetti F., Sterzai P., Tarchi D., 2006. *Space-borne and ground-based SAR interferometry as tools for landslide hazard management in civil protection*. International Journal of Remote Sensing, 27, pp. 2351-2367.
- Dahlin T., 1996. *2D resistivity surveying for environmental and engineering applications*. First Break, 14, 275-284.
- De Groot-Hedlin C., Constable S., 1990. *Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models form magnetotelluric data*. Geophysics, 55, pp.1613-1624.
- Geophysical Service Inc., 1980. *Course of instruction in the geophysics of seismic data processing*. Dallas, Texas
- Loke M.H., 2001. *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Software, Malaysia.
- Nolet G., 1987. *Seismic tomography*. Reidel, Holland.
- Pini, G.A., 1999. *Tectonosomes and olistostromes in the argille scagliose of the Northern Apennines, Italy*. Geological Society of America Special Paper 335, pp.1-70.

- Sasaki Y., 1992. *Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation*. Geophysical Prospecting, 40, 453-464.
- Tamburini A., Del Conte S., Larini G., Lopardo L., Malaguti C., Vescovi P., 2013. *Application of SqueeSAR<sup>TM</sup> to the characterization of the deep seated gravitational slope deformations: Berceto case study (Parma, Italy)*. Landslide Science and Practice: vol. 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring, pp. 437-443.
- Telford W.M., 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge Univ. Press.
- Vescovi P., 1988. *La linea trasversale Passo della Cisa - Val Parma - Bassa Val d'Enza: 1. Sistema trascorrente sinistro nella zona del Passo della Cisa (Prov. di Parma)*. L'Ateneo Parmense-Acta Naturalia, 24, 221-243.
- Vescovi P., 2002. *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, Foglio 216- Borgo Val di Taro*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

## ABSTRACT

INTEGRATION BETWEEN GEOPHYSICAL AND GEOGNOSTIC INVESTIGATIONS FOR THE DEVELOPMENT MODEL OF GREAT DEEP-SEATED LANDSLIDES: THE EVENT OF BERCE TO IN THE NORTHERN APENNINES.

Keywords: DSSGD, Berceto, landslides, geophysics.

The Northern Apennines is characterized by the presence of several Deep-Seated Slope Gravitational Deformation (DSSGD) landslides with slow cinematic character. One of these is the Berceto landslide, that having an extension of 3-4 km<sup>2</sup> and over 100m depth with movement rates in the order of some mm/year and involves the entire village and a section of Cisa Highway (A15).

The Emilia-Romagna Region has initiated geophysical and geotechnical surveys, to define the geological and geotechnical model of this phenomenon. The geometric characteristics of landslide layer have necessitated the integration into surface geophysical survey (geoelectric and seismic) and geological boreholes essential for the accurate calibration of indirect data and for the installation of inclinometer, strain gauge and piezometric equipment.

The indirect geophysical surveys affected the entire Berceto village, using 1,5-2,0 km arrays, plotted according a pseudo-regular mesh and intersecting drilling points. The electrical prospecting was acquired and processed with tomographic methodology and has achieved the depth of 220-250 meters. The seismic profiles were performed with hybrid methodology that combines on the same alignment refraction and reflection seismic tomography. Using special devices, this methodology allowed, although work is carried out in a village with low amount of energy, reaching an investigation depth of 160-200 meters.

The geophysical data allowed the development of a 3D model. These findings, interpreted on the evidence resulting from stratigraphic setting of deeper boreholes, according with monitoring data of displacements and hydrogeological data that, by extension and relevance in terms of landslide risk, still requires additional knowledge studies.