

CONFRONTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI E GEOFISICI PRE E POST BLAST TEST PRESSO IL SITO SPERIMENTALE DI MIRABELLO (FE)

*Original*

CONFRONTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI E GEOFISICI PRE E POST BLAST TEST PRESSO IL SITO SPERIMENTALE DI MIRABELLO (FE) / Amoroso, Sara; Comina, Cesare; Monaco, Paola; Foti, Sebastiano; Passeri, Federico; Rollins, Kyle M.; Milana, Giuliano. - ELETTRONICO. - Caratterizzazione geotecnica del sito e microzonazione sismica:(2017). (Intervento presentato al convegno IARG2017 tenutosi a Matera nel 5-7 luglio 2017).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2680287 since: 2019-02-18T12:04:28Z

*Publisher:*

Editrice Universosud

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## **CONFRONTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI E GEOFISICI PRE E POST BLAST TEST PRESSO IL SITO SPERIMENTALE DI MIRABELLO (FE)**

Sara Amoroso

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, L'Aquila  
sara.amoroso@ingv.it*

Cesare Comina

*Università degli Studi di Torino, Torino  
cesare.comina@unito.it*

Paola Monaco

*Università degli Studi dell'Aquila, L'Aquila  
paola.monaco@univaq.it*

Sebastiano Foti

*Politecnico di Torino, Torino  
sebastiano.foti@polito.it*

Federico Passeri

*Politecnico di Torino, Torino  
federico.passeri@polito.it*

Kyle M. Rollins

*Brigham Young University, Provo, Utah  
rollinsk@byu.edu*

Giuliano Milana

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma  
giuliano.milana@ingv.it*

### **Sommario**

L'articolo presenta alcuni risultati preliminari derivanti dal primo esperimento di liquefazione indotta tramite blast test realizzato in Italia, presso Mirabello (FE), comune fortemente colpito da fenomeni di liquefazione durante la sequenza sismica verificatasi in Emilia-Romagna nel 2012. In particolare diverse indagini in sito con tecniche invasive e non invasive sono state eseguite prima e dopo le detonazioni per confrontare la variazione dei parametri geotecnici e geofisici nel tempo.

### **1. Introduzione**

La presente nota riporta alcuni risultati del primo esperimento di liquefazione indotta tramite blast test realizzato in Italia. La ricerca nasce con l'obiettivo di: (i) stimare i cedimenti indotti da un blast test nei depositi limoso-sabbiosi appenninici e nelle sabbie limose del fiume Po; (ii) determinare le forze di attrito negativo su pali di fondazione generate da un blast test; (iii) misurare la variazione della velocità delle onde di taglio (e del modulo di rigidità alle piccole deformazioni) in funzione della sovrappressione neutra durante e in seguito ad un blast test; (iv) misurare la variazione delle proprietà geotecniche e geofisiche del terreno nel tempo dopo il blast test. Il sito selezionato per lo studio è

situato presso Mirabello (FE), comune fortemente colpito da fenomeni di liquefazione durante il terremoto verificatosi in Emilia-Romagna nel 2012 (Caputo and Papathanasiou 2012, Emergeo Working Group 2013, Fioravante et al. 2013, Vannucchi et al. 2012, Facciorusso et al. 2016). Indagini geotecniche in sito con piezocono (CPTu) e con dilatometro sismico (SDMT) e indagini geofisiche invasive (Down-Hole DH) e non invasive (Surface Wave SW, Electrical Resistivity Tomography ERT, array 2D, tomografie in onde P e in onde S) sono state eseguite prima e dopo l'esecuzione dei due blast test realizzati nel sito sperimentale per studiare la variazione dei parametri del terreno. Trasduttori di pressione neutra, assestimetri e accelerometri sono stati installati per misurare durante e dopo le detonazioni rispettivamente la generazione e la conseguente dissipazione della pressione neutra, le deformazioni verticali e il moto indotto nel terreno. Inoltre sono state osservate le variazioni nella distribuzione di carico su un micropalo strumentato con estensimetri. Misure topografiche sono state effettuate per misurare le deformazioni in superficie. Infine prove di laboratorio e trincee esplorative hanno contribuito a completare il quadro delle conoscenze sui dati sperimentali.

## 2. Descrizione del sito e campagne di indagine

La scelta del sito sperimentale è stata guidata dalla necessità di identificare un'area potenzialmente liquefacibile e di limitare il livello delle vibrazioni indotte sugli insediamenti. Per tale motivo è stato selezionato un sito che aveva riportato evidenze di liquefazione con il sisma del 2012 e che risulta distante almeno 350 m da edifici di civile abitazione. A tal riguardo maggiori dettagli sono disponibili in Amoroso et al. (2017).

Nei mesi di gennaio e febbraio 2016 è stata eseguita una campagna preliminare di prove geotecniche e geofisiche per caratterizzare l'area del blast test, come riportato in Fig. 1.

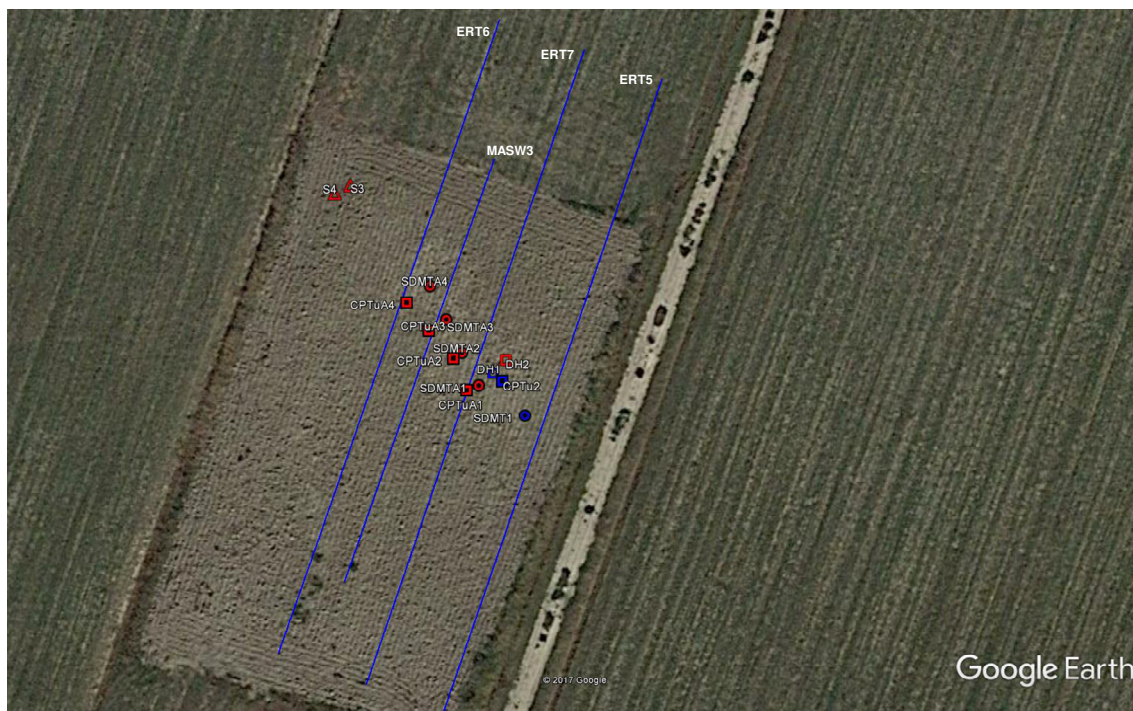


Fig 1. Mappa delle indagini pre blast test presso il sito sperimentale di Mirabello: il colore blu è collegato alla campagna di gennaio/febbraio e il colore rosso indica le indagini di aprile/maggio.

Tali indagini hanno permesso di ricostruire un modello di sottosuolo costituito da: (i) terreno vegetale da 0 a 1 m; (ii) limi sabbiosi da 1 a 4 m; (iii) limi argillosi con sabbia da 4 a 6 m; (iv) sabbie limose e limi sabbiosi (depositi appenninici) da 6 a 8 m; (iv) sabbie limose (paleocanale del fiume Po) da 8 a 17 m; sabbie limose (depositi glaciali del fiume Po) da 17 a 20 m. Tale profilo è mostrato in Fig. 2

insieme con i risultati di una prova con piezocono eseguita nel mese di gennaio, in termini di resistenza alla punta  $q_t$ , rapporto delle resistenze  $R_f$ , pressione neutra  $u$  e indice di comportamento del materiale  $I_c$ .

Secondo quanto proposto dall'*approccio semplificato* la prova CPTu ha permesso di calcolare il rapporto di resistenza ciclica alla liquefazione  $CRR$  (Idriss and Boulanger 2008) che è stato confrontato con il rapporto di sforzo ciclico  $CSR$  stimato a partire dagli studi di microzonazione sismica disponibili (Regione Emilia-Romagna 2013, Geotema 2014) per identificare gli strati potenzialmente liquefacibili posti nei depositi appenninici e nel paleocanale del fiume Po. Ulteriori analisi di liquefazione basate sui risultati SDMT e DH hanno individuato approssimativamente gli stessi strati potenzialmente liquefacibili all'interno dei quali sono state posizionate le cariche esplosive rispettivamente a 7 m e 11 m di profondità.

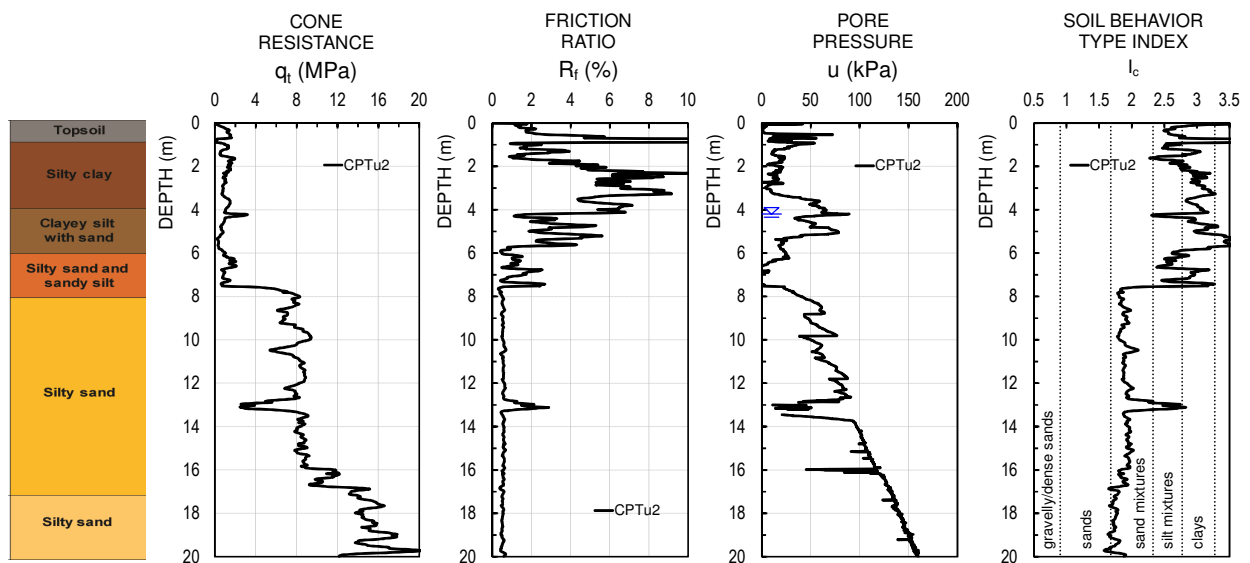


Fig 2. Profilo stratigrafico e risultati CPTu derivanti dalla campagna di indagine preliminare.



Fig 3. Mappa delle indagini post blast test presso il sito sperimentale di Mirabello: il colore bianco è collegato alla campagna di maggio e il colore verde indica le indagini di luglio.

Nei mesi di aprile e maggio sono state quindi eseguite delle indagini geotecniche e geofisiche integrative al fine di fornire una caratterizzazione del sottosuolo dell'area del blast test più dettagliata, come illustrato in Fig. 1. Maggiori dettagli sulla progettazione, sulla strumentazione e sui risultati acquisiti durante il blast test sono consultabili in Amoroso et al. (2017). A seguito del blast test sono state eseguite due ulteriori campagne di indagine (Fig. 3) nei mesi di maggio e luglio per studiare la variazione dei parametri geotecnici e geofisici nel tempo.

### 3. Variazione dei parametri pre e post blast test

La disponibilità di serie di misure geotecniche e geofisiche eseguite nella stessa postazione in tre diversi tempi (prima del blast, circa una settimana dopo il blast e circa due mesi dopo il blast) ha fornito informazioni utili per comprendere gli effetti della liquefazione indotta dalle esplosioni. Le Tab. 1 e 2 sintetizzano i valori rappresentativi della resistività elettrica  $\rho$  (ERT), della velocità delle onde di taglio  $V_S$  (DH, SW, SDMT), della resistenza alla punta  $q_t$  (CPTu) e dell'indice di spinta orizzontale  $K_D$  (SDMT) misurati nei tre diversi istanti. Tutti i parametri evidenziano una riduzione della resistenza e della rigidità del terreno nei depositi appenninici limoso-sabbiosi liquefatti con il blast test, la quale è parzialmente recuperata con il tempo. Un certo decremento è anche identificabile nelle sabbie limose del paleocanale di Po nelle quali è stata indotta la liquefazione dal blast test. Infine è possibile individuare una certa riduzione anche nei primi 6 m di profondità, probabilmente dovuta alle fratture attraverso cui è risalito il terreno liquefatto con il blast test.

| <b>z</b><br><b>(m)</b>          | <b><math>\rho_{pre}</math></b><br><b>(Ohm·m)</b> | <b><math>\rho_{post Mag}</math></b><br><b>(Ohm·m)</b> | <b><math>\rho_{post Lug}</math></b><br><b>(Ohm·m)</b> | <b>z</b><br><b>(m)</b> | <b><math>V_S pre</math></b><br><b>(m/s)</b> | <b><math>V_S post Mag</math></b><br><b>(m/s)</b> | <b><math>V_S post Lug</math></b><br><b>(m/s)</b> |
|---------------------------------|--|---|---|------------------------|---|--|--|
| 0-1                             | 30-40  | 11-15   | 10-14   | 0-1                    | 75-115                                      | 70-90  | 65-95  |
| 1-4                             | 10-14  | 6-10*   | 6-10  | 1-4                    | 120-180                                     | 85-125   | 100-130  |
| 4-6                             | 6-10   | 6-10*   | 6-10  | 4-6                    | 120-170                                     | 100-140  | 110-150  |
| 6-8                             | 10-20  | 5-15*   | 8-18  | 6-8                    | 140-170                                     | 115-160  | 130-180  |
| 8-15                            | 22-33  | 10-20*  | 15-25   | 8-17                   | 160-260                                     | 140-240  | 155-260  |
| *Perdita di continuità laterale |  |   |   | 17-20                  | 200-260                                     | 220 - 270  | 235 - 275  |

Tab. 1. Media dei valori di resistività elettrica prima ( $\rho_{pre}$ ) e dopo (Maggio:  $\rho_{post Mag}$ ; Luglio:  $\rho_{post Lug}$ ) il blast test e media dei valori di velocità delle onde di taglio prima ( $V_S pre$ ) e dopo (Maggio:  $V_S post Mag$ ; Luglio:  $V_S post Lug$ ) il blast test (da Amoroso et al. 2017).

| <b>z</b><br><b>(m)</b> | <b><math>q_t pre</math></b><br><b>(MPa)</b> | <b><math>q_t post Mag</math></b><br><b>(MPa)</b> | <b><math>q_t post Lug</math></b><br><b>(MPa)</b> | <b>z</b><br><b>(m)</b> | <b><math>K_D pre</math></b><br><b>(-)</b> | <b><math>K_D post Mag</math></b><br><b>(-)</b> | <b><math>K_D post Lug</math></b><br><b>(-)</b> |
|------------------------|---|--|--|------------------------|---|--|--|
| 0-1                    | 0.5-1.5                                     | -  | 0.4-0.8  | 0-1                    | 15.0-50.0                                 | 10.0-40.0                                      | 15.0-45.0                                      |
| 1-4                    | 0.8-1.8                                     | 0.7-1.6  | 0.7-1.6  | 1-4                    | 4.5-17.5                                  | 3.5-12.0                                       | 4.5-13.0                                       |
| 4-6                    | 0.6-1.1                                     | 0.4-0.9  | 0.6-1.0  | 4-6                    | 2.0-4.5                                   | 1.5-3.0  | 2.5-4.5  |
| 6-8                    | 0.6-2.5                                     | 0.5-2.0  | 0.8-2.1  | 6-8                    | 1.5-3.5                                   | 1.0-2.5  | 1.5-3.0  |
| 8-17                   | 6.0-11.5                                    | 4.5-11.0   | 5.5-11.0   | 8-17                   | 2.5-6.5                                   | 1.5-5.0  | 2.0-6.0  |
| 17-20                  | 13.0-18.0                                   | -  | -  | 17-20                  | 3.5-5.0                                   | -  | -  |

Tab. 2. Media dei valori di resistenza alla punta prima ( $q_t pre$ ) e dopo (Maggio:  $q_t post Mag$ ; Luglio:  $q_t post Lug$ ) il blast test e media dei valori di indice di spinta orizzontale prima ( $K_D pre$ ) e dopo (Maggio:  $K_D post Mag$ ; Luglio:  $K_D post Lug$ ) il blast test (da Amoroso et al. 2017).



La Fig. 4 mostra la variazione pre-post della resistività elettrica  $\rho$ , della velocità delle onde di taglio  $V_S$ , della resistenza alla punta  $q_t$  e dell'indice di spinta orizzontale  $K_D$ . Per ogni parametro è stato plottato il valore medio ricavato dalle prove eseguite insieme con lo scarto.

I profili di  $\rho$  e  $V_S$  evidenziano una diminuzione della velocità nei depositi appenninici e nella porzione superiore del paleocanale del fiume Po che è parzialmente recuperata nel tempo. Decrementi di  $V_S$  sono apprezzabili anche nei primi 4 m di profondità, mentre un aumento di  $V_S$  è identificabile nei depositi glaciali del fiume Po. Come tendenza generale dalle prove CPTu e SDMT si osserva una riduzione dei parametri dopo il blast all'interno degli strati interessati da liquefazione, parzialmente o totalmente recuperata nel tempo.

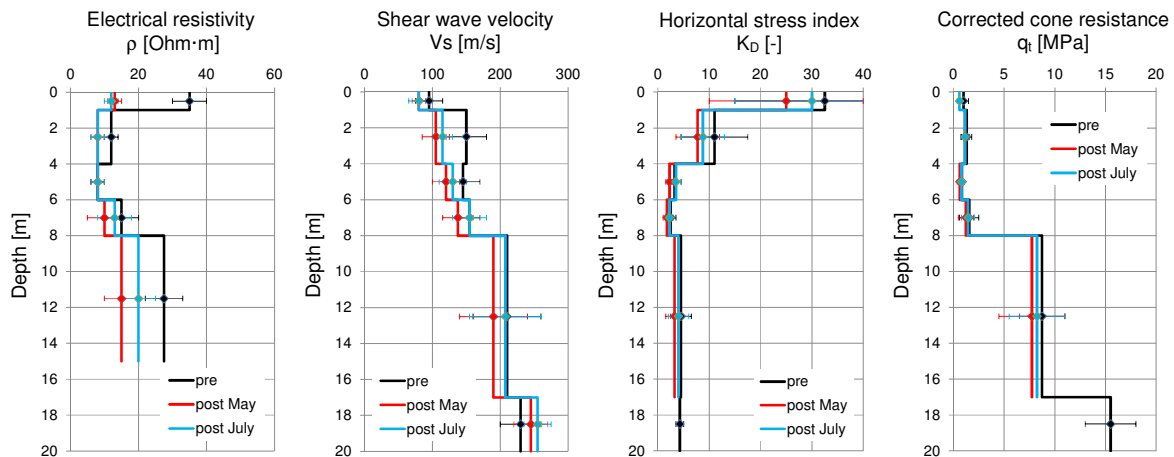


Fig. 4. Variazione dei parametri geotecnici pre e post blast test derivanti dalle prove ERT, DH, SW, CPTu e SDMT eseguite nell'area del blast presso il sito sperimentale di Mirabello.

#### 4. Conclusioni

Le campagne di indagine pre e post blast test hanno permesso di effettuare una dettagliata caratterizzazione del sito sperimentale di Mirabello e di osservare gli effetti prodotti dai fenomeni di liquefazione indotti dalle detonazioni. In particolare il confronto dei parametri geotecnici e geofisici pre e post blast test ha permesso di osservare una riduzione di resistenza e rigidità del terreno negli strati in cui è stata indotta la liquefazione con un parziale recupero nel tempo (circa due mesi dopo le detonazioni). Un decremento è stato inoltre individuato nei primi 4 m di profondità probabilmente a causa delle fratture attraverso cui il terreno è risalito in concomitanza con le esplosioni.

Sono in corso studi di approfondimento per una più dettagliata analisi del fenomeno prodotto attraverso la tecnica del blast test. In particolare i dati acquisiti durante il blast test (sovrapressioni neutre, deformazioni verticali, moto sismico indotto) e i risultati derivati da prove di laboratorio (analisi petrografiche, analisi granulometriche, prove triassiali cicliche) potranno essere di supporto per meglio interpretare la variazione dei parametri geotecnici e geofisici.

#### 5. Ringraziamenti

Si ringrazia il progetto FIRB-Abruzzo ("Indagini ad alta risoluzione per la stima della pericolosità e del rischio sismico nelle aree colpite dal terremoto del 6 aprile 2009", <http://progettoabruzzo.rm.ingv.it/it>) che ha principalmente finanziato il presente studio.

#### Bibliografia

Amoroso S., Milana G., Rollins K.M., Comina C., Minarelli L., Manuel M.R., Monaco P., Franceschini M., Anzidei M., Lusvardi C., Cantore L., Carpena A., Casadei S., Cinti F.R., Civico R., Cox B.R., De Martini P.M., Di Giulio G., Di Naccio D., Di Stefano G., Facciorusso J., Famiani D., Fiorelli F., Fontana D., Foti S., Madiati C., Marangoni V., Marchetti D., Marchetti S.L., Martelli L., Mariotti M., Muscolino E., Pancaldi D., Pantosti D.,

- Passeri F., Pesci A., Romeo G., Sapia V., Smedile A., Stefani M., Tarabusi G., Teza G., Vassallo M., Villani F. (2017). "The first Italian blast-induced liquefaction test (Mirabello, Emilia-Romagna, Italy): description of the experiment and preliminary results", *Annals of Geophysics* (submitted).
- Caputo R., Papathanasiou G. (2012). "Ground failure and liquefaction phenomena triggered by the 20 May, 2012 Emilia-Romagna (Northern Italy) earthquake: case study of Sant'Agostino - San Carlo - Mirabello zone", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3177-3180, doi: 10.5194/nhess-12-3177-2012.
- Emergeo Working Group (2013). "Liquefaction phenomena associated with the Emilia earthquake sequence of May-June 2012 (Northern Italy)", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13 (4), 935-947; doi: 10.5194/nhess-13-935-2013.
- Facciorusso J., Madi ai C., Vannucchi G. (2016). "The 2012 Emilia earthquake (Italy): geotechnical characterization and ground response analyses of the paleo-Reno river levees", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 865, 71-88, doi:10.1016/j.soildyn.2016.04.017.
- Fioravante V., Giretti D., Abate G., Aversa S., Boldini D., Capilleri P., Cavallaro A., Chamlagain D., Crespellani T., Dezi F., Facciorusso J., Ghinelli A., Grasso S., Lanzo G., Madi ai C., Massimino M. R., Maugeri M., Pagliaroli A., Ranieri C., Tropeano G., Santucci De Magistris F., Sica S., Silvestri F., Vannucchi G. (2013). "Earthquake geotechnical engineering aspects: the 2012 Emilia-Romagna earthquake (Italy)", *Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, Chicago, 1-34.
- Geotema (2014). "Microzonazione sismica Livello 2 con locali approfondimenti di Livello 3, Regione Emilia-Romagna. Comune di Mirabello (FE), Relazione illustrativa e 7 tavv.", [http://www.comune.mirabello.fe.it/files/00036/relazione\\_ms\\_mirabello.pdf](http://www.comune.mirabello.fe.it/files/00036/relazione_ms_mirabello.pdf)
- Idriss I.M., Boulanger, R.W. (2008). "Soil liquefaction during earthquakes", *EERI Report*, Publ. No. MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute.
- Regione Emilia-Romagna (2013). "Sisma 2012 - Studi sismici, Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento", <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>
- Vannucchi G., Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madi ai C., Puliti A., Renzi, S. (2012). "Soil liquefaction phenomena observed in recent seismic events in Emilia-Romagna Region, Italy", *Ingegneria Sismica*, N. 2-3, pp. 20-30, ISSN: 03931420.