



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

 Regione Emilia-Romagna

 servizio geologico  
sismico e dei suoli

# **Rapporto sugli effetti della liquefazione osservati a Mirabello (Provincia di Ferrara)**

*A cura del gruppo di lavoro per la valutazione degli effetti di  
liquefazione a seguito dei terremoti del 20 e 29 maggio 2012  
(Regione Emilia-Romagna, PG.2012.0134978 del 31/5/2012)*

*Bologna 30 luglio 2012*

## 1. INTRODUZIONE

A seguito dei terremoti che il 20 e 29 maggio scorso hanno colpito la pianura emiliana, in corrispondenza di alcuni antichi corsi d'acqua oggi abbandonati (paleoalvei), sono stati osservati diffusi fenomeni di liquefazione<sup>1</sup>.

Tali fenomeni, hanno avuto particolare rilevanza in alcuni centri abitati del settore occidentale della Provincia di Ferrara, soprattutto a S. Carlo, frazione di S. Agostino, e a Mirabello.

La liquefazione in questi centri abitati è stata innescata dalle scosse del 20 maggio, mentre le scosse successive, anche rilevanti come quelle del 29 maggio, non hanno causato effetti significativi, tali da produrre aggravamenti rilevabili tramite ispezione visiva.

Per una valutazione degli effetti post-sismici della liquefazione negli abitati di S. Carlo e Mirabello e permettere al più presto il recupero della funzionalità degli edifici, della viabilità e delle reti di sottoservizi dichiarati temporaneamente inagibili, la Regione Emilia-Romagna e il Dipartimento della Protezione Civile hanno istituito un gruppo di lavoro interdisciplinare.

In questo rapporto è riportata la procedura stabilita dal Gruppo di lavoro per far fronte al problema, sono descritte le indagini svolte e le conclusioni finalizzate alla valutazione dell'agibilità sismica degli edifici di civile abitazione dichiarati temporaneamente inagibili per effetti di liquefazione del terreno di fondazione e/o aree limitrofe nell'abitato di Mirabello.

La localizzazione dei siti, sia puntuali che lineari, in cui è stata osservata liquefazione nel centro abitato di Mirabello è illustrata nella figura 1.

La descrizione delle indagini è riportata in Appendice 1 mentre in Appendice 2 sono descritti il modello geologico e l'andamento della falda freatica.

## PROCEDURA DI LAVORO

Il Gruppo di lavoro ha stabilito di procedere con il seguente programma:

- verifica dell'eventuale danno strutturale degli edifici classificandoli in tre classi: classe verde nessun danno, classe arancio da rivedere o danno lieve, classe rossa danno strutturale che rende l'edificio inagibile (fig. 2);
- sulla scorta di questa mappatura, per i soli edifici verdi (edifici senza danni strutturali), verifica di eventuali pericolosità di origine geotecnica che hanno interessato le fondazioni o comunque le aree di sedime degli edifici;
- stesura di un programma indagini, e realizzazione delle stesse, sia in un ambito areale (scala dell'intera frazione) per circoscrivere e caratterizzare il fenomeno, sia in un ambito di dettaglio (scala del manufatto) per fornire indicazioni sul pericolo geotecnico
- interpretazione dei dati e prime conclusioni.

Le quattro fasi descritte si sono concluse e i risultati sono riportati in questo documento.

---

<sup>1</sup> Per un inquadramento e una descrizione dei fenomeni di liquefazione osservati consultare i documenti disponibili nella pagina web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/notizie/notizie-2012/istituito-un-gruppo-di-lavoro-della-regione-e-del-dpc-per-la-valutazione-degli-effetti-di-liquefazione>

## 2. EFFETTI DELLA LIQUEFAZIONE

Con il termine ‘liquefazione’ si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante terremoti significativi ( $M > 5.5$ ), che hanno come elemento comune il fatto che, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, si verifica un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l’equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In un terreno pianeggiante, omogeneo o con stratificazioni orizzontali, in assenza di carichi esterni (ad esempio trasmessi da fondazioni di strutture o di rilevati), (condizioni di “free field”), le tensioni di taglio mobilitate per l’equilibrio in condizioni statiche sono assenti. Se nel sottosuolo, a profondità inferiori a 15-20 m, vi sono strati di terreno liquefacibile (sabbie sciolte sotto falda), durante un forte terremoto può verificarsi il fenomeno della liquefazione ciclica, con deformazioni volumetriche di contrazione e quindi con cedimenti del terreno pressoché uniformi, ma con scarse o nulle conseguenze sulla stabilità del deposito.

Gli effetti osservabili della liquefazione ciclica consistono in fuoriuscite di acqua e terreno da piano campagna (vulcanelli, sand boils, wents), fessurazioni e dislocazioni anche decimetriche.

Se invece il terreno non è pianeggiante o è soggetto a carichi esterni, per l’equilibrio in condizioni statiche sono mobilitate tensioni di taglio. Durante il terremoto, negli strati liquefacibili si ha una riduzione di resistenza al taglio, non necessariamente l’annullamento della stessa, per l’incremento della pressione interstiziale. Al termine del terremoto le sovra-pressioni interstiziali si dissipano e la resistenza al taglio assume il valore residuo.

Se durante il terremoto le deformazioni di taglio sono limitate e se la resistenza al taglio residua è superiore al valore delle tensioni di taglio mobilitate per l’equilibrio in condizioni statiche, la massa del terreno rimane stabile, si possono avere movimenti di pendio, cedimenti delle fondazioni e spostamenti laterali, che tuttavia si esauriscono in tempi brevi, con il dissiparsi delle sovra-pressioni interstiziali (mobilità ciclica).

In caso di mobilità ciclica gli effetti osservabili, oltre a quelli già descritti nel caso di liquefazione ciclica, sono:

- (i) cedimenti uniformi e/o differenziali e rotazioni delle strutture,
- (ii) dislocazioni laterali del terreno (lateral spreading), questi ultimi in terreni stratificati o in condizioni di piano campagna non orizzontale.

Infine se il terreno non è pianeggiante o è soggetto a carichi esterni e se durante il terremoto le deformazioni di taglio sono elevate e la resistenza al taglio residua è inferiore al valore delle tensioni di taglio mobilitate per l’equilibrio in condizioni statiche, si ha liquefazione con perdita della stabilità (fluidificazione). Durante e subito dopo il terremoto si possono verificare fenomeni vistosi di instabilità (affondamento di edifici pesanti e il loro ribaltamento, se la risultante del carico è eccentrica, galleggiamento di serbatoi interrati, scorrimento di frane). Inoltre, anche dopo che si sono dissipate le sovra-pressioni interstiziali, poiché la resistenza al taglio residua permane inferiore al valore necessario per l’equilibrio, i movimenti di pendio e i cedimenti delle fondazioni continuano. Gli effetti della fluidificazione sugli edifici possono essere devastanti o comunque gravissimi.

Naturalmente il verificarsi dell'uno o dell'altro fenomeno (mobilità ciclica o fluidificazione) dipende sia dalle condizioni geotecniche (fattori predisponenti) sia dalle caratteristiche dell'azione sismica (fattore scatenante).

In figura 1 sono mostrati i siti nel centro abitato di Mirabello in cui sono stati osservati alcuni dei sopracitati effetti di liquefazione sia puntuali (vulcanelli, venute di acqua e sabbia, fuoriuscita da pozzi) che lineari (fratture nel terreno).

In una parte dell'abitato sono stati rilevate importanti fuoriuscite di sabbia attraverso i pozzi per l'emungimento di acqua. Laddove la sabbia non ha trovato la via di uscita preferenziale costituita dai pozzi, sono state osservate forti venute di acqua e terreno: in forma di vulcanelli all'esterno degli edifici, in forma di sollevamento del pavimento nei piani seminterrati e piano terra degli edifici, lungo lesioni presenti nella pavimentazione stradale.

La strada principale di Mirabello (Corso Italia) è orientata in direzione SW – NE, e ripercorre il vecchio alveo del fiume Reno. Le case si trovano quindi su un modesto pendio con il fronte su Corso Italia (punto più basso) ed il retro, in generale con cortili di varia dimensione, leggermente più in alto. Altre due strade si estendono sulle sommità dei vecchi argini: lungo la sponda destra (via argine vecchio) e lungo la sponda sinistra (via argine postale). Su entrambi i lati la struttura d'argine lato campagna è ancora visibile, nel senso che la sede stradale (via argine vecchio, in sponda dx e via argine postale, in sponda sx) è raccordata con la campagna attraverso una scarpata con pendenza di circa 2:1.

Il comportamento degli edifici e del terreno non è stato simmetrico sulle due sponde.

La sponda destra ha dato luogo a fenomeni di liquefazione (del tipo lateral spreading), senza fuoriuscita di materiale, anche in presenza di pozzi, ma talora con rigonfiamenti delle pavimentazioni dei cortili retrostanti le abitazioni. Da misure effettuate è risultato che l'acqua è oggi all'incirca nella stessa posizione in cui si trovava prima del terremoto.

I sedimenti sabbiosi sono risaliti anche di 1,50 – 2.00 m “*misurati*” (a detta degli abitanti anche di più), ma non sono usciti dai pozzi.

L'argine sinistro, con geometria apparentemente simile, si è comportato in maniera diversa.

Gli edifici sono meno danneggiati, ma dai pozzi è uscita copiosamente acqua e sabbia grigia fine e finissima, apparentemente con poco/pochissimo limo.

In particolare:

- in prossimità del piede dell'argine, fino ad una distanza dell'ordine di 15 metri, si sono osservati intensi fenomeni di fuoriuscita di acqua e sabbia,
- in corrispondenza del fianco non si sono manifestati effetti significativi,
- sulla sommità dell'argine, nelle aree morfologicamente più piane si sono formate fratture profonde, talora caratterizzate da dislocazione solo orizzontali anche decimetriche, talora anche da dislocazioni verticali da centimetriche a decimetriche. Gli edifici circostanti hanno subito conseguenti rotazioni e cedimenti, assoluti e differenziali, specie in presenza di ampliamenti e di edifici annessi.

Come anticipato nell'introduzione, per meglio identificare le aree interessate da rischio geotecnico elevato dove concentrare le successive indagini e verifiche, è stata realizzata una cartografia di

agibilità degli edifici nelle aree con problemi di tipo geotecnico (Figura 2). In tale carta, gli edifici sono stati classificati in base all'esito delle verifiche di agibilità eseguite da squadre di ingegneri preposti al rilievo del danno e dell'agibilità, affiancati da ingegneri geotecnici esperti di liquefazione.

A seguito di questa mappatura è stato ritenuto necessario intraprendere un programma di indagini conoscitive sulla natura e le proprietà meccaniche dei terreni mediante una campagna di prove in sito e di laboratorio (Appendice 1). È stato inoltre predisposto un sistema di monitoraggio piezometrico per valutare le variazioni del livello della falda freatica (Appendice 2). I rilievi e le indagini sono stati finalizzati a verificare lo stato dei terreni di fondazione dopo il sisma.

### 3. INDICAZIONI OPERATIVE

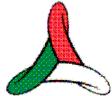
Alla luce dei risultati sino ad ora acquisiti, sulla base:

- ✓ dei rilievi topografici speditivi che non hanno misurato spostamenti significativi in atto,
- ✓ del monitoraggio del livello di falda, che è ritornato ai normali valori stagionali,
- ✓ delle interpretazioni preliminari dei risultati delle prove geotecniche in sito,
- ✓ delle interpretazioni preliminari dei risultati delle indagini geofisiche puntuali e lineari, che hanno mostrato discontinuità solo in corrispondenza delle principali fessure,
- ✓ delle osservazioni che suggeriscono che l'orizzonte che ha subito liquefazione è con ogni probabilità quello costituito da sabbie fini e medie *di canale* posto a quote comprese tra 4 e 11 m slm (tetto a profondità di circa 5-6 m nella zona di paleo-argine e a profondità di circa 2-3 m nella zona di piana),

si può ritenere che i fenomeni di liquefazione e mobilità ciclica (essendo esclusa la fluidificazione), dovuti al terremoto del 20 e 29 maggio abbiano esaurito i loro effetti. L'agibilità sismica degli edifici classificati verdi è quindi confermata.

Il rischio che il fenomeno della liquefazione possa prodursi di nuovo a seguito di un sisma di uguale o maggiore intensità, risulta comunque presente. Per questo si ritiene opportuno determinare con quali tecniche adottare interventi di mitigazione del rischio di liquefazione; tale argomento sarà oggetto di un successivo documento.

Si ritiene molto utile continuare il monitoraggio del livello di falda per determinarne le escursioni stagionali, poiché la profondità della falda può condizionare la pericolosità alla liquefazione, specie se il deposito sabbioso suscettibile di liquefazione è molto superficiale come nel caso di Mirabello.



PROTEZIONE CIVILE  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
 sismico e dei suoli

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

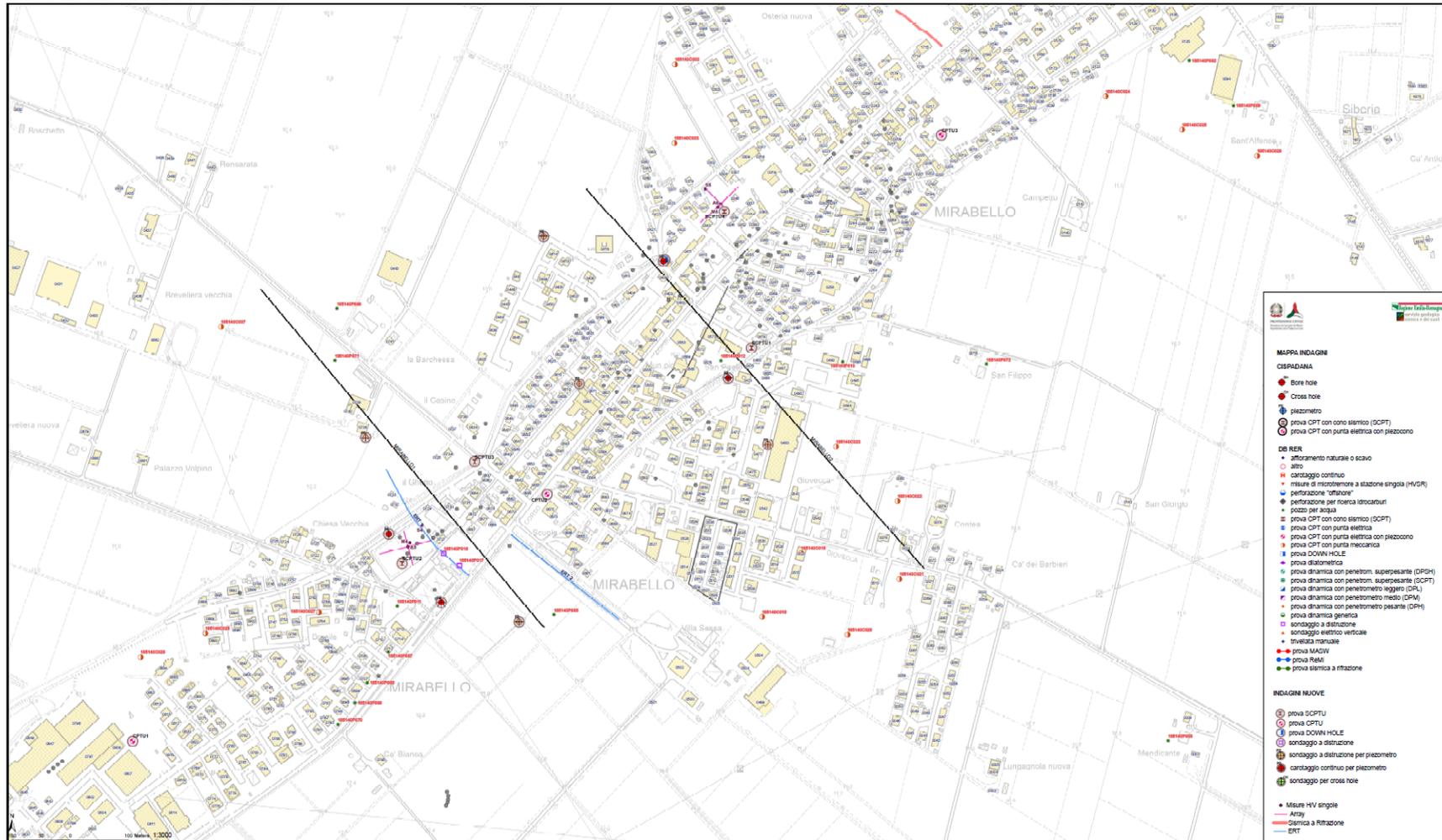


Figura 1: Localizzazione degli effetti della liquefazione osservati a Mirabello e delle indagini utilizzate per lo studio. Sono riportate anche le tracce delle sezioni geologiche (v. Appendice 2)



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico



Figura 2.  
Classi di  
agibilità  
degli edifici.

## **APPENDICE 1**

### **INDAGINI GEOTECNICHE E GEOFISICHE**

In Figura 3 sono riportate le ubicazioni delle indagini disponibili prima dell'evento sismico e delle nuove indagini realizzate, e in corso di esecuzione, per le finalità sopra descritte.

Di seguito sono descritte le indagini di nuova realizzazione.

#### ***Sondaggi geognostici***

I sondaggi di nuova realizzazione sono complessivamente 10, tutti già eseguiti. La profondità indagata varia tra gli 8 ed i 40 metri.

Questi sondaggi sono stati eseguiti per la definizione della litostratigrafia, la messa in opera di piezometri per il monitoraggio della falda freatica, l'esecuzione di prove geotecniche e geofisiche in foro, il prelievo di campioni indisturbati per analisi di laboratorio.

Tutti i sondaggi sono stati eseguiti dalla SOGEO srl di Lugo (RA).

In particolare i sondaggi realizzati si dividono in:

- 4 sondaggi a carotaggio continuo profondi da 11.95 a 13.40 metri con installazione di piezometri per il monitoraggio della falda freatica;
- 5 sondaggi a distruzione di nucleo profondi da 8 a 11 metri con installazione di piezometri per il monitoraggio della falda freatica;
- 1 sondaggio a carotaggio continuo profondo 41.50 metri con prelievo di 4 campioni indisturbati per successive indagini di laboratorio, esecuzione di prove geotecniche in foro (tipo SPT e tipo Le Franc) ed allestimento per successiva indagine geofisica (prova down-hole).

#### ***Prove penetrometriche statiche con piezocono e piezocono sismico***

Le prove penetrometriche di nuova realizzazione (tutte già eseguite) sono complessivamente 6, spinte a profondità variabile tra 28 e 30 metri.

In particolare:

- 3 prove penetrometriche con piezocono (CPTU) per la definizione della litostratigrafia e delle caratteristiche geomeccaniche del terreno, spinte fino alla profondità di 28-30 m, eseguite dalla PerGeo srl di Ro Ferrarese;
- 4 prove penetrometriche con piezocono e cono sismico (SCPTU) per la definizione della litostratigrafia, delle caratteristiche geomeccaniche del terreno e per la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, spinte fino alla profondità di 30 m, eseguite dalla ISMGEO srl di Seriate (BG).

#### ***Prove geofisiche***



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

Sono state realizzate 4 misure di vibrazione ambientale a stazione singola, per la definizione della frequenza fondamentale dei depositi di terreno e per l'individuazione di superfici di contrasto di impedenza nel sottosuolo, e 2 prove di sismica passiva in configurazione di antenna sismica (ESAC), per la definizione di profili di Vs; tutte le prove di sismica passiva sono state effettuate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena.

È stato inoltre realizzato 1 profilo sismico a rifrazione per la correlazione dei dati stratigrafici puntuali. Tali prove sono state eseguite dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR di Napoli.

In aggiunta, l'IMAA del CNR di Tito (PZ) ha realizzato 2 profili di resistività elettrica per la correlazione dei dati stratigrafici puntuali.

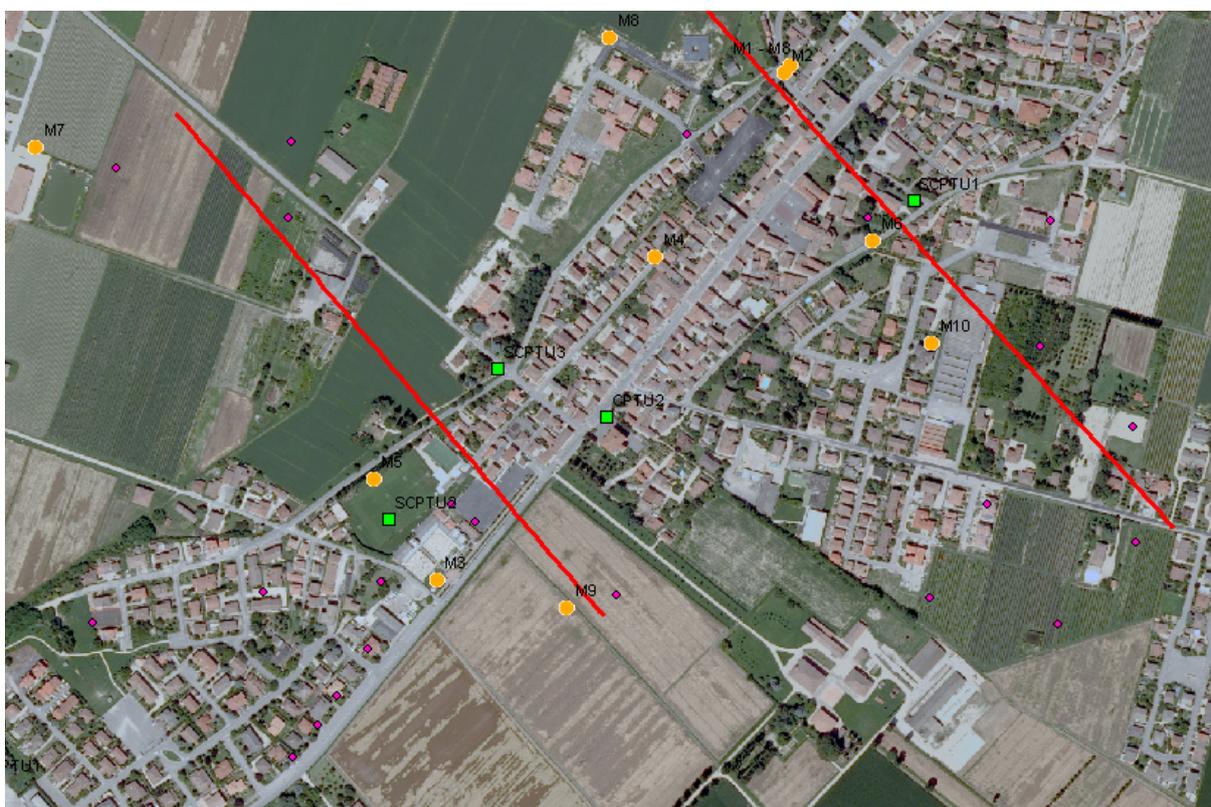


Figura 3: Ubicazione delle tracce delle sezioni geologiche di Mirabello e delle prove geognostiche utilizzate (cerchio arancione = sondaggio, quadrato verde = prova penetrometrica, punto fucsia = dato stratigrafico da banca dati geognostica)

### ***Prove geotecniche di laboratorio***

Sui campioni indisturbati prelevati nel corso del sondaggio a carotaggio continuo profondo 41.50 m e sui campioni di terreno fuoriuscito prelevati in corrispondenza di alcuni siti ritenuti significativi, sono state fino ad ora eseguite (nel laboratorio di Geotecnica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze) le prove di laboratorio di seguito elencate:



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

 Regione Emilia-Romagna

 servizio geologico  
sismico e dei suoli

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

- 5 analisi granulometriche Gr per vagliatura e sedimentazione, per la definizione della distribuzione granulometrica dei terreni fuoriusciti, prelevati a piano campagna o nei pozzi;
- 4 prove di colonna risonante RC su provini indisturbati per la determinazione della rigidità del terreno a piccolissime deformazioni e della curva di decadimento del modulo di rigidità alla taglio dei terreni e di incremento del damping;
- 2 prove edometriche EDO per la determinazione dei parametri di compressibilità del terreno e la stima della storia tensionale.

È prevista l'esecuzione di ulteriori analisi granulometriche e prove per la determinazione delle proprietà indice su campioni indisturbati e rimaneggiati estratti dal sondaggio a carotaggio continuo profondo 41.50 m.

## APPENDICE 2

### MODELLO GEOLOGICO

Lo studio geologico di superficie è stato realizzato attraverso la consultazione della carta geologica alla scala 1:50.000 CARG “Poggio Renatico” F. 203 (ISPRA, 2009) e della Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna alla scala 1:250000 (RER, 1999). L’analisi del sottosuolo si è basata sui dati della Banca Dati Geognostica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e su nuove indagini eseguite *ad hoc*. Grazie ai risultati di queste indagini è stato possibile ricostruire con dettaglio la stratigrafia fino alla profondità di interesse per il fenomeno della liquefazione (15-20 m).

La figura 4 mostra due sezioni orientate circa NW-SE, la prima attraversa il margine occidentale dell’abitato di Mirabello, in corrispondenza del campo sportivo, la seconda attraverso la zona centrale, in prossimità del Municipio e della chiesa di S. Paolo (tracce delle sezioni in figura 3). Tali sezioni sono state realizzate utilizzando le stratigrafie ricavate dalle prove geognostiche ed in particolare sono stati fondamentali i dati litostratigrafici dei sondaggi e delle prove penetrometriche. Per la ricostruzioni delle geometrie di sottosuolo sono stati esaminati anche profili di indagini sismiche e geolettriche lineari eseguite dal CNR-IAMC (coord. Di Fiore) e dal CNR-IMAA (coord. Piscitelli).

Il sottosuolo può essere suddiviso in tre unità principali, dall’alto stratigrafico al basso:

- unità dei canali fluviali;
- unità delle paludi;
- unità della piana alluvionale pleistocenica.

#### Unità dei canali fluviali:

Questa unità si sviluppa dalla superficie fino ad una quota variabile di 3 - 5 m slm ovvero fino ad una profondità variabile tra 14 e 19 m dal piano campagna. Da un punto di vista geomorfologico, in superficie, sono presenti due elementi morfo-deposizionali rilevati corrispondenti a paleo-argini (Argine Postale, quello di sinistra idrografica, e Argine Vecchio, quello di destra). Questi paleo-argini sono costituiti nella porzione più prossimale da sabbia fine alternata a limi sabbiosi, passanti lateralmente (argine distale) a limi sabbiosi ed argillosi. Lo spessore di questo intervallo raggiunge i 4 m in corrispondenza della sommità dell’argine e la base è alla quota di circa 12 m slm. Nella depressione compresa tra i due paleo-argini, corrispondente al paleo-alveo, fino dalla superficie è presente un corpo sabbioso lenticolare, potente fino a circa 2 m, che costituisce il riempimento più recente del’alveo abbandonato. Questi depositi sono l’espressione del canale fluviale più recente, attivo fino al XVIII secolo.

Segue un intervallo esteso lateralmente di limi sabbiosi alternati a sabbie limose, interpretabili come depositi di tracimazione fluviale, con locali livelli di torbe e resti vegetali, testimonianza di ambienti palustri. La base di questo intervallo è alla quota di circa 7 m slm; lo spessore è di circa 4-5 m. Al di sotto del dosso fluviale fino alla profondità di circa 7 m, sono presenti ancora lenti sabbiose, più o meno sviluppate, attribuibili a paleo-canali più antichi.

Alla base dell'unità dei canali fluviali si incontra un corpo più continuo ed esteso lateralmente, probabilmente costituito da più lenti amalgamate di sabbie fini e medie, testimonianza di una intensa attività deposizionale da parte di antichi sistemi fluviali. Lo spessore totale di queste sabbie raggiunge i 3-4 m nella zona assiale mentre tende a ridursi e a chiudersi nelle aree di piana. Il tetto si trova ad una profondità variabile da circa 3-4 m nelle zone altimetricamente più basse (aree di piana) a circa 8 m nelle zone dei paleo-argini; la base di questa unità sabbiosa è ad una quota variabile tra 3 e 6 m slm.

### Unità delle paludi

Questa unità si sviluppa con continuità al di sotto delle sabbie fluviali ed è costituita prevalentemente da argille e limi con abbondante frazione organica e livelli di torbe a varie altezze stratigrafiche (diffuse ed estese alla quota di 5 m slm); lo spessore è compreso tra 5 e 8 m.

L'unità documenta la diffusione e la persistenza di ambienti di tipo palustre ("valli"). I sottili livelli di sabbie fini limose presenti localmente sono interpretabili come depositi distali di rotte fluviali.

Il tetto di questo orizzonte fine si trova ad una profondità variabile tra 5 e 7 m dal piano campagna nella zona di piana e circa 10-13 m sotto i paleo-argini ed è localmente eroso in corrispondenza delle basi dei canali fluviali. La base, corrispondente al passaggio Pleistocene- Olocene, si trova ad una quota variabile tra -2 e -3 m slm, vale a dire ad una profondità di circa 14-15 m nella zona di piana e fino a 19 m sotto i paleo-argini.

### Unità della piana alluvionale pleistocenica

L'unità stratigraficamente più bassa è costituita da un'alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose al tetto di un orizzonte esteso e continuo di sabbia media e fine, di spessore fino a circa 10 m; la profondità di questo corpo sabbioso è a circa 25 m sotto i paleo-argini e circa 16-17 m nella zona della piana. Questa successione è attribuibile alla piana alluvionale pleistocenica.

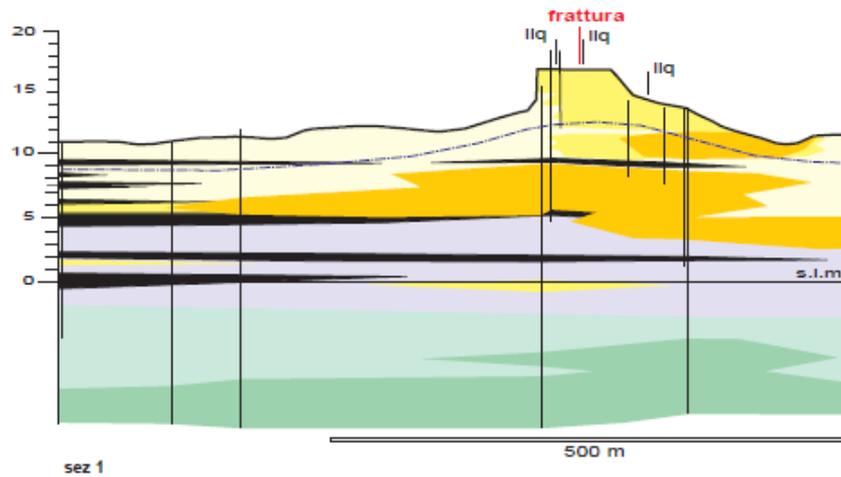
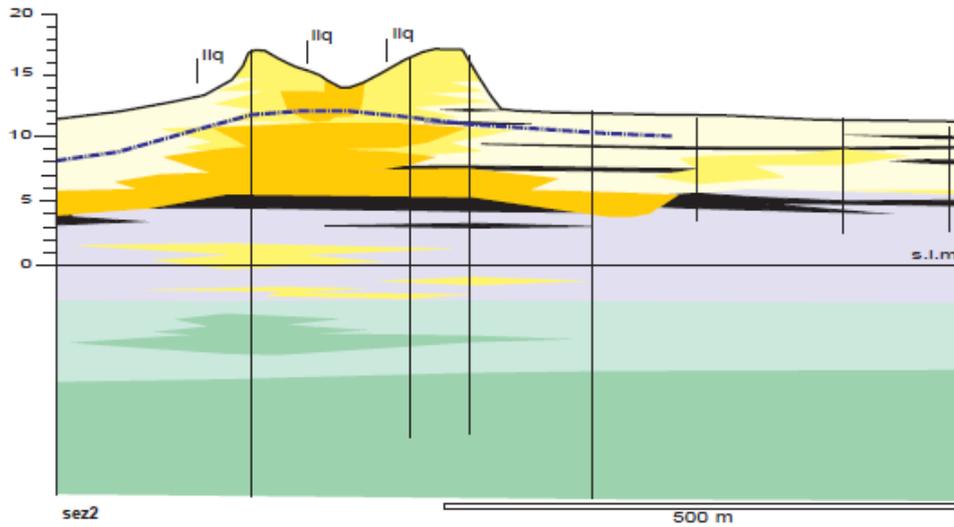


PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli



-  sabbie di canale fluviale
-  sabbie e limi di argine prossimale e rotta
-  limi, argille e sabbie di argine distale e piana inondabile
-  argille limose di palude
-  torbe
-  sabbie di canale fluviale (Pleistocene)
-  limi, argille e sabbie di argine distale

Figura 4: Sezioni litostratigrafiche di Mirabello (esagerazione verticale 12,5X)



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

## ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico dell'area di Mirabello è caratterizzato dalla presenza di un sottile acquifero freatico, spesso una decina di metri circa, sovrapposto ad un complesso sistema multifalda di acquiferi confinati, che prosegue nel sottosuolo per alcune centinaia di metri. Le caratteristiche geologiche di questo acquifero multifalda sono ben rappresentate dalla sezione geologica di figura 5 tratta dal Foglio Geologico n. 203 Poggio Renatico (ISPRA, 2009). La sezione non attraversa esattamente la zona di interesse, ma il sondaggio S13 evidenziato in figura è appena un chilometro a sud dell'abitato di San Carlo; la sezione è quindi sicuramente indicativa della stratigrafia degli acquiferi nel sottosuolo nella zona di studio.

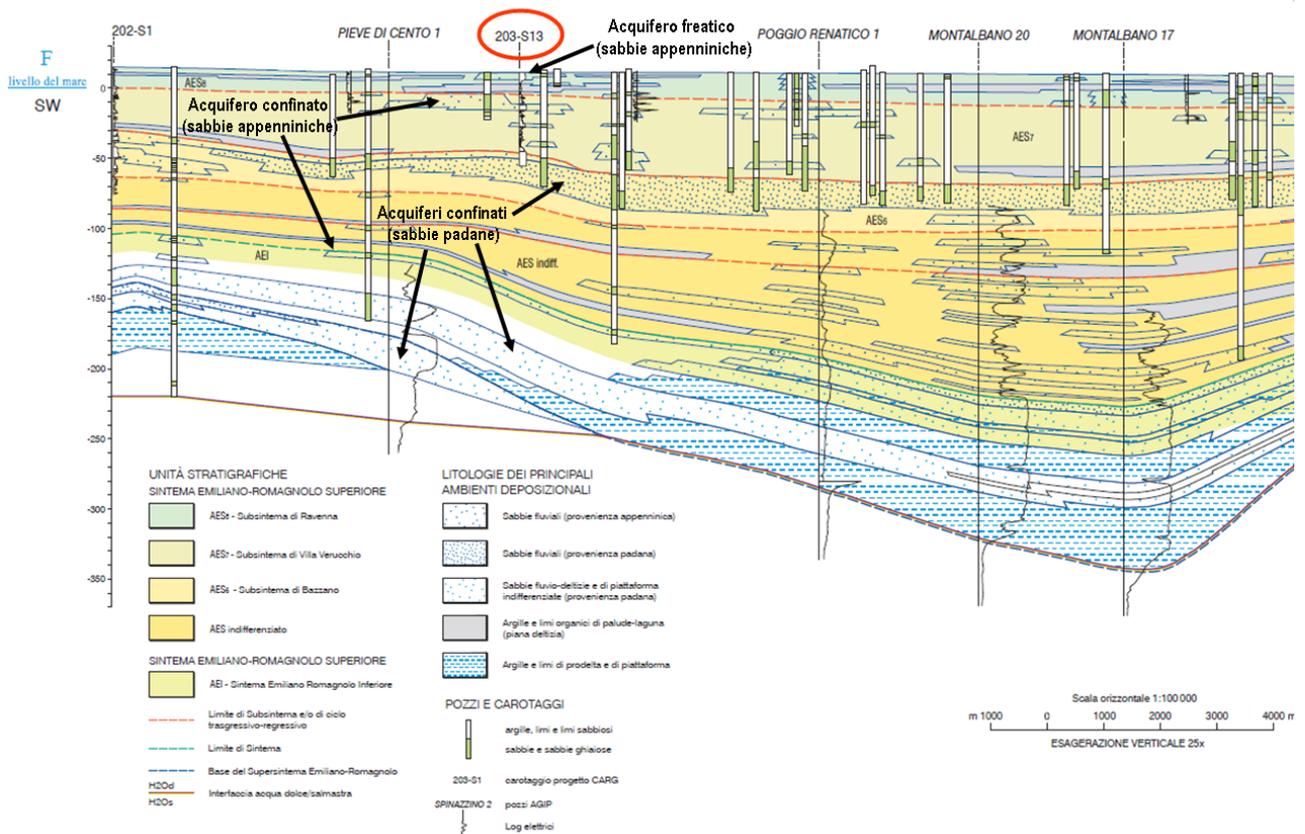


Figura 5: Sezione indicativa delle caratteristiche geologiche del sistema multi falda presente nella zona in esame.

Come si vede al di sotto del sottile spessore dell'acquifero freatico sono presenti dei corpi sabbiosi acquiferi di natura sia appenninica che padana, di ambiente deposizionale fluviale e deltizio, separati tra loro da ingenti spessori di depositi fini che li isolano sia dalla superficie topografica che reciprocamente tra loro. Questa separazione dalla superficie topografica fa sì che le caratteristiche idrogeologiche (livello e qualità) di questi acquiferi, note grazie ai dati della rete di monitoraggio

regionale delle acque sotterranee siano del tutto diverse rispetto a quelle della falda freatica sovrastante, dalla quale essi sono certamente separati idraulicamente (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/piezometrie-qualita-acque-sotterranee>).

La figura 5 indica anche la posizione dell'interfaccia tra le acque dolci e le sottostanti acque salate (riga marrone), che è posta a circa 260 metri dal piano campagna.

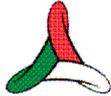
E' noto che la liquefazione delle sabbie in seguito ad eventi sismici avviene entro i primi 15 metri circa di profondità, per questo motivo, considerate le finalità del presente studio, si è posta attenzione alla falda freatica nelle zone maggiormente colpite dai fenomeni di liquefazione. Quindi sono state effettuate nuove osservazioni sulla falda freatica presente nella zona di Mirabello. Di seguito sono descritti i risultati.

L'acquifero freatico nella zona di Mirabello è costituito da sabbie medie e fini alla base passanti a sabbie limose / limi sabbiosi verso l'alto; lo spessore varia tra 6 e 12 metri; questa unità sabbioso-limosa di canale fluviale poggia su argille e limi ricchi in sostanza organica, così come evidenziato in figura 4.

La conducibilità idraulica di questo acquifero è stata valutata in una prova di tipo Lefranc a carico variabile (sondaggio M1), in uno strato di sabbie medie posto tra 9.20 e 9.50 dal p.c., che ha dato il valore di  $5.3 \cdot 10^{-4}$  m/sec. Considerato che lo strato testato corrisponde alla granulometria maggiore tra quelle presenti nell'acquifero questo valore di conducibilità idraulica è probabilmente uno dei più alti che si possono trovare in questo acquifero.

Per determinare l'andamento di questa falda sono stati perforati, nel giugno e luglio 2012, 9 sondaggi attrezzati con altrettanti piezometri. Questi piezometri attraversano tutto lo spessore dell'acquifero sino alle argille organiche presenti alla sua base, e sono finestrati per tutto il loro spessore; si è inoltre provveduto ad effettuare una quotatura di precisione di ciascun punto di misura.

Il giorno 23 luglio 2012 si è condotta una campagna di misure della falda che ha permesso di elaborare la mappa di figura 6. In questa figura sono mostrate le ubicazioni dei piezometri utilizzati (si noti che sono stati misurati anche alcuni pozzi esistenti di profondità nota), le isofreatiche, indicate sia con le linee nere (valori riferiti al livello mare) che con fasce di colore, e la direzione di moto della falda, indicata con frecce gialle.



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

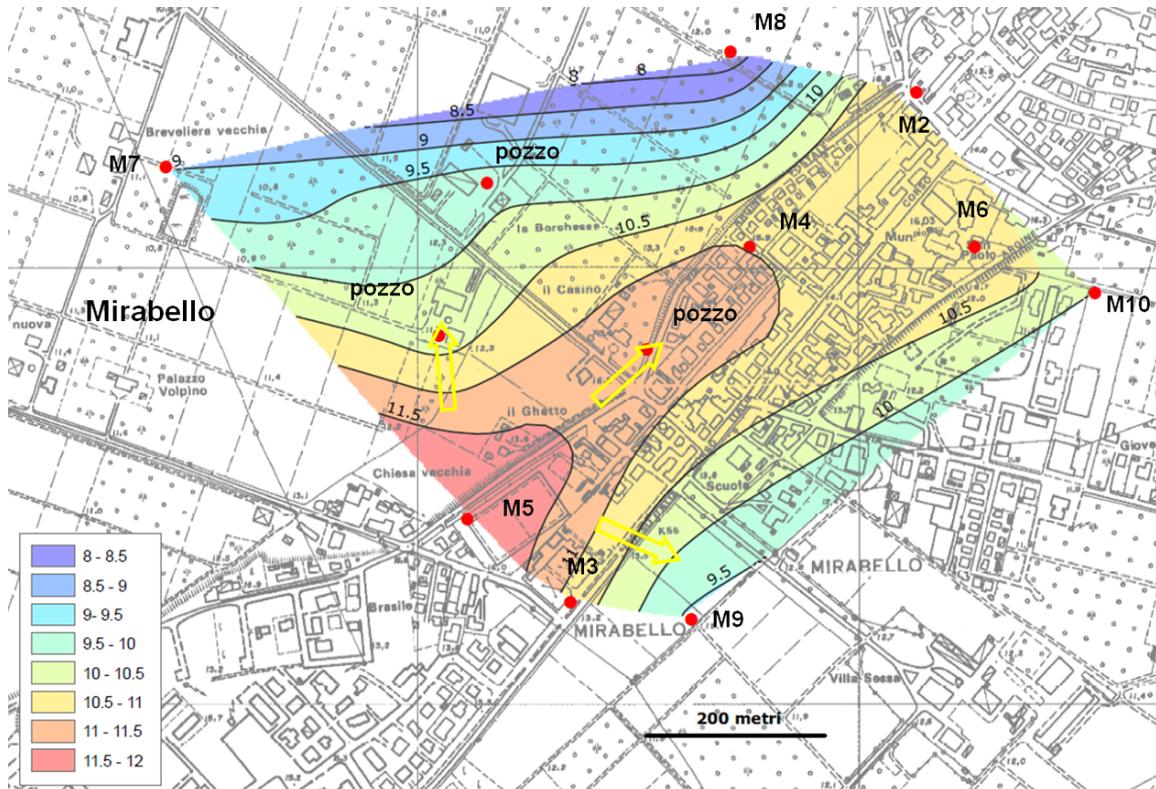


Figura 6: Andamento della falda freatica nella zona di Mirabello in data 23 luglio 2012 (dati riferiti al l.m.)

L'andamento della falda freatica ripropone fedelmente la morfologia della superficie topografica, muovendosi regolarmente dalle zone più alte degli argini dell'antico percorso del Reno verso quelle laterali più depresse.

L'area dei paleo-argini costituisce pertanto, a livello locale, la zona di ricarica della falda freatica, sia perché essa è rilevata topograficamente sia perché, essendo costituita da terreni più grossolani, è caratterizzata, a parità di precipitazione, da una maggiore infiltrazione rispetto alle aree limitrofe.

La mappa rappresenta di certo una piezometria di magra, anche se la falda è ancora in abbassamento. La massima magra dovrebbe osservarsi verso settembre, se pur in modo anche molto variabile in relazione all'inizio degli eventi piovosi tardo estivi o autunnali; i livelli massimi si raggiungono invece solitamente verso aprile – maggio. La massima escursione annua della falda freatica in questo settore della pianura emiliana e con questa tipologia di terreni, sulla base delle conoscenze e dei dati a disposizione (anche se non tutti riferiti al sito in questione), si presume possa essere di circa un paio di metri al massimo, sempre con forte dipendenza dall'entità delle precipitazioni annue.

La figura 7 mostra lo stesso andamento della falda di figura 6, ma riferita in questo caso al piano campagna: le linee e le fasce di colore riportano quindi la profondità in cui si intercetta la falda a partire dal piano campagna. Come si vede la profondità della falda è maggiore (fino a circa 5.5 metri) nella zona dei paleo-argini, e minore nelle zone circostanti, verso nord ovest e sud est (fino a circa 2 metri).



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

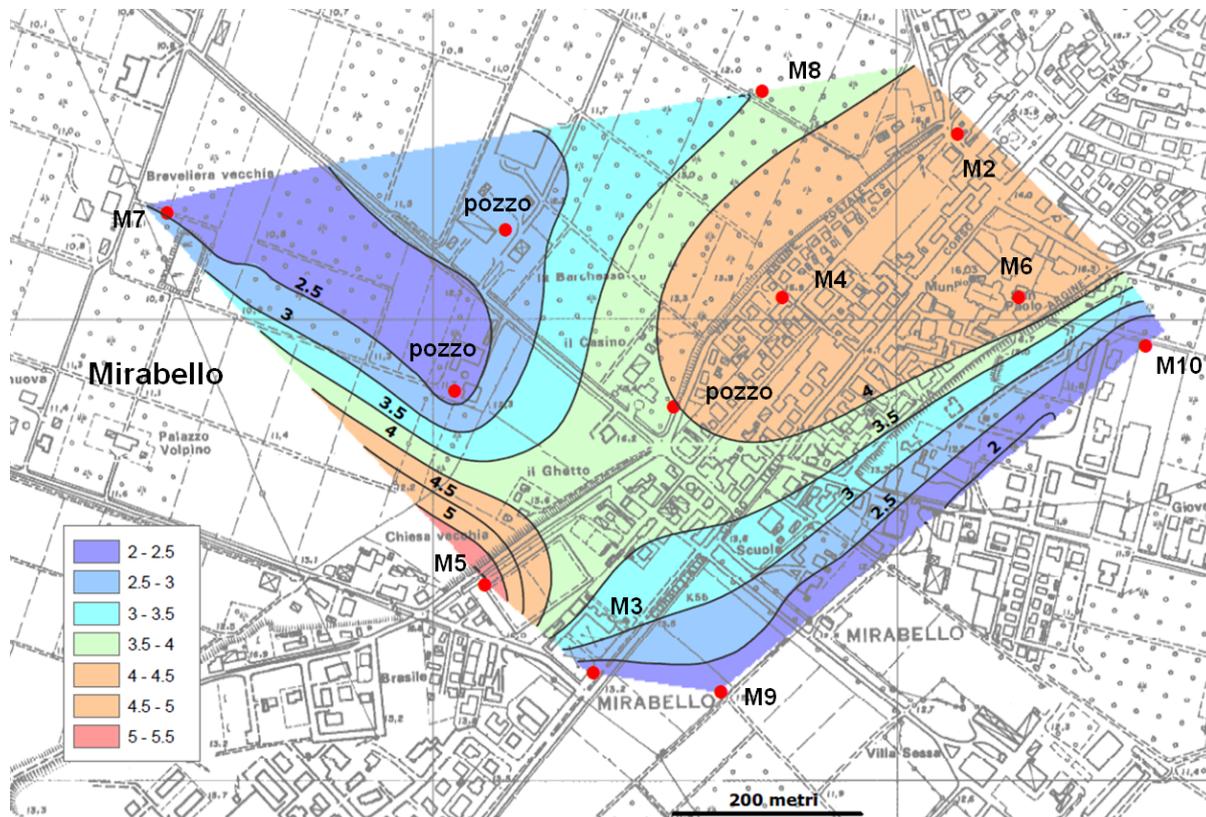


Figura 7: Andamento della falda freatica nella zona di Mirabello in data 23 luglio 2012 (dati riferiti al piano campagna)

La zona con le quote più alte della falda rispetto al livello del mare (ovvero la zona degli argini del paleo-Reno) è allo stesso tempo quella in cui la falda è più depressa rispetto al piano campagna.

In data 29 giugno 2012 si è provveduto ad installare nel piezometro M2 un sensore per il monitoraggio in continuo (cadenza oraria) di livello, conducibilità elettrica e temperatura. I dati fino ad oggi disponibili indicano che in 25 giorni di monitoraggio la falda si è abbassata di 12 centimetri (figura 8). Si ritiene che l'abbassamento della falda misurato sia rappresentativo della curva di scarico estivo della falda freatica.

In questo piezometro la conducibilità elettrica ha un valore stabile di 620 mS/cm; la temperatura è invece calata in modo regolare da 17° a 16.5°.



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia-Romagna

servizio geologico  
sismico e dei suoli

Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico

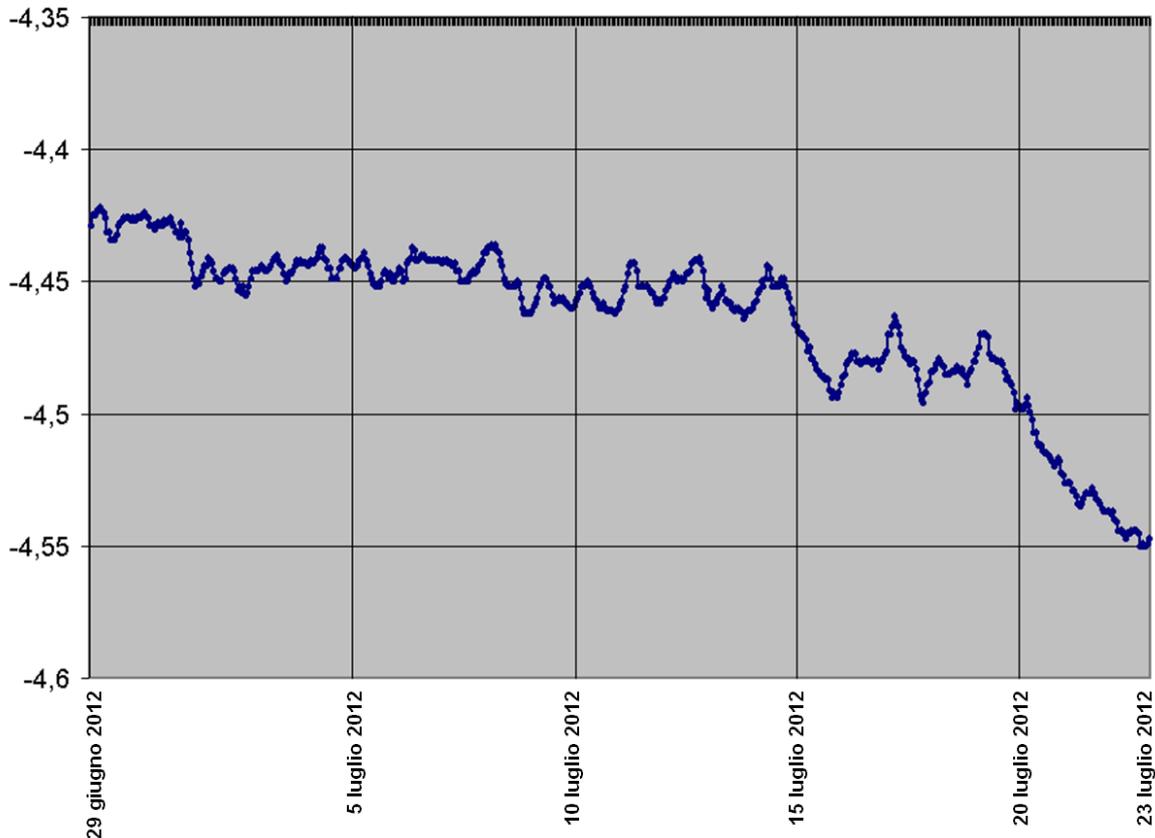


Figura 8: Monitoraggio orario del livello nel piezometro M2

### Riferimenti bibliografici

- ISPRA (2009): *Carta Geologica d'Italia, Foglio 203 Poggio Renatico*. Coord. Scientifico: U. Cibin, Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma.
- RER (1999): *Carta Geologica della pianura emiliano-romagnola*. D. Preti (ed), Regione Emilia-Romagna. S.EL.CA., Firenze.