

Alcune considerazioni sugli effetti di sito in aree fra Sant'Agostino e Mirabello nella provincia di Ferrara a seguito del sisma del maggio 2012

Marilena Martinucci

Geologo

RIASSUNTO

L'evento sismico del 20 maggio 2012 ha posto all'attenzione l'effetto di sito. Più appariscente ed immediato è stato l'effetto della liquefazione che cessata la scossa che l'ha causata ha terminato la sua azione. Altro effetto, evidenziato soprattutto se abbinato alla liquefazione, è stato quello della fratturazione. I sopralluoghi e le indagini effettuate nel territorio fra Sant'Agostino e Mirabello hanno però evidenziato che la geologia e geomorfologia del territorio hanno dato luogo ad effetti sitospecifici, da analizzare dettagliatamente caso per caso. A sei mesi dal terremoto è ancora difficile per i geologi professionisti intervenire per la mancanza di indicazioni certe, complete e corrette su tutti gli aspetti degli effetti del terremoto, con la certezza che l'effetto di sito è un fenomeno essenzialmente geologico e come tale deve essere studiato.

1. INTRODUZIONE

L'evento sismico che ha colpito le province emiliane di Ferrara e Modena ad iniziare dalle ore 4,03 del 20 maggio 2012 ha messo in particolare evidenza agli occhi e alla sensibilità dei geologi una importante componente: l'effetto di sito, cioè gli effetti locali che un terremoto realmente provoca in un dato luogo in funzione delle caratteristiche proprie.

Questi effetti sono chiaramente visibili e riconoscibili nel tratto di territorio posto fra gli abitati di Sant'Agostino e Mirabello dove ho potuto analizzarli nell'affrontare gli studi geologico-tecnici, necessari e richiesti dalla normativa, per alcuni lavori professionali e per "Adotta un Monumento".

E' questa una iniziativa dei geologi ferraresi rivolta ai territori della provincia di Ferrara e ai suoi abitanti duramente colpiti dal sisma: offrire gratuitamente la propria opera

professionale per la ricostruzione/ristrutturazione di un edificio od opera pubblica o di interesse pubblico, che abbia subito i danni del terremoto, fornendo come prodotto finale la Relazione geologica-sismica-geotecnica corredata di indagini geognostiche, geofisiche, di laboratorio, così come richiesto dalle NTC 2008.

Avendo operato in questo contesto per il Cimitero di Sant'Agostino e il Municipio di Mirabello e per alcuni lavori professionali nell'area produttiva di Mirabello, ho potuto notare e tenere conto degli evidenti effetti di sito manifestatisi: la liquefazione e la fratturazione, fenomeni a volte avvenuti separatamente, a volte collegati e con effetti sinergici.

Per interpretare adeguatamente gli effetti di sito è necessario conoscere la formazione del territorio interessato, la geologia intesa come litologia e rapporti dei litotipi interpretabili nella ricostruzione della formazione e della evoluzione del territorio, come presenza delle falde e loro uso, come interventi antropici e loro effetti.

Approcciandosi quindi allo studio di certe aree specifiche e agli effetti del sisma sui manufatti qui ubicati è stato essenziale allargare lo sguardo e prendere in considerazione quello che sembrava essere un contesto unitario, da Sant'Agostino a Mirabello: il sistema fluviale del fiume Reno, attivo fino al 1775.

2. QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Data come base già nota la formazione geologica del territorio ferrarese e gli eventi tettonici che hanno portato agli ultimi eventi sismici e alla classificazione in zona 3, si è ricostruita la formazione e trasformazione ad opera del fiume Reno che dopo il 1451 (Rotte di Bagnetto Pisano) venne portato artificialmente verso Sant'Agostino e qui si impaludava nelle Valli del Poggio. Imnesso artificialmente nel Po di Ferrara nel 1526 ne causa ben presto l'inter-

rimento per cui viene deviato nelle valli di Chiesuol del Fosso e della Sammartina. Il settecento vede il susseguirsi di varie opere idrauliche per migliorare la regimazione del Reno che scorreva pensile e subiva numerose rotte, anche nel tratto Sant'Agostino-Mirabello. L'escavo del Cavo Benedettino che immette definitivamente il Reno nell'ultimo tratto del Po di Primaro fino a condurre le acque al mare, pone fine ad un rapporto tra il fiume e il territorio durato più di 300 anni. E' palese quindi la presenza del sistema fluviale, alveo pensile e argini, in parte naturali e in parte artificiali, che si evidenzia morfologicamente nella piana alluvionale.

Litologicamente l'alveo è caratterizzato da sabbie più o meno fini mentre gli argini sono costituiti da sabbie fini e limi intercalati localmente a letti torbosi e resti vegetali. Gli argini passano lateralmente ai sedimenti di piana alluvionale con limi argillosi e argille e localmente limi sabbiosi e sabbia fine in letti legati agli episodi di rotta o tracimazione o lenti rappresentanti i depositi di corsi d'acqua minori intrabacinali.

Per ricostruire l'evoluzione storica un valido aiuto è venuto anche dall'ampia documentazione raccolta nel Museo della civiltà contadina di Mirabello.

In base a questa analisi si è ricostruita la nascita dei primi centri abitati da San Carlo a Mirabello, in relazione all'argine sinistro del fiume, le opere di sovralluvionamento del Cardinale Aldovrandi per migliorare le condizioni delle sue proprietà, le rotte e gli alluvionamenti che hanno interessato l'argine destro, dalla Rotta degli Annegati a quella della Bisacca, agli alluvionamenti che hanno raggiunto la Torre del Varga.

Altro elemento importante nell'analisi morfologica è il microrilievo, in un territorio di pianura dove anche i decimetri hanno significato. La Carta del microrilievo evidenzia il paleoalveo fra le quote (+14) e (+12) mentre la C.T.R. riporta quote fino a (+18) in brevi tratti ancora non spianati.



Figura 2 – Microrilievo

3. ANALISI DELLE AREE INDAGATE

Le aree studiate i cui risultati vengono compendiate nella Relazione geologica, sismica, geotecnica finalizzata al Progetto di ristrutturazione/ricostruzione, sono ubicate lungo il sistema fluviale del Reno, fra Sant'Agostino e Mirabello.

Per ognuno di questi siti è stata valutata attentamente la posizione rispetto la morfologia e la litologia della struttura cercando di ricostruirne l'andamento unitario, non potendo contare sulla cartografia del P.S.C., in effetti a scala non adeguata alle necessità del livello di approfondimento.

Sono stati osservati gli effetti di sito in base ai quali e alla geologia e formazione del luogo si sono progettate le indagini sito-specifiche necessarie.

3.1 Il Cimitero di Sant'Agostino

Lo studio rientra nell'iniziativa Adotta un Monumento ed è stato eseguito in collaborazione con un completo gruppo di lavoro.



Figura 1 – Carta storica



Figura 3 – Cimitero di Sant'Agostino: fratture

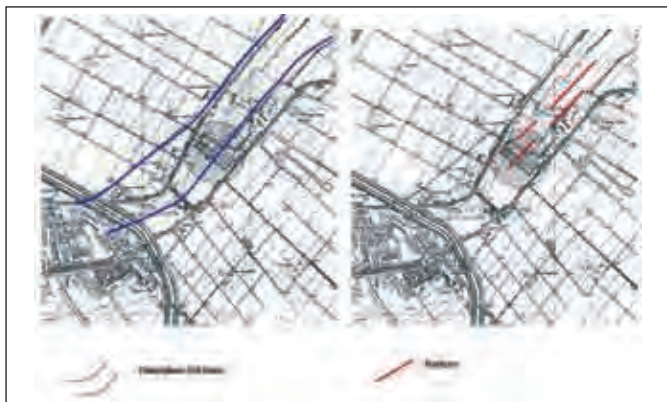


Figura 4 – Ubicazione del Cimitero rispetto al paleoalveo del Reno e all'allineamento delle fratture

Gli effetti di sito riscontrati immediatamente dopo l'evento sismico del 20 maggio sono stati la fratturazione e la liquefazione con abbondante fuoriuscita di acqua e sabbia grigia dalle fratture.

Si sono avuti contatti con l'equipe del prof. Riccardo Caputo dell'Università di Ferrara che ha studiato il fenomeno dettagliatamente in una trincea nell'area subito a est del Cimitero e che gentilmente ha fornito notizie al riguardo. La sintesi delle indagini, delle osservazioni operate, delle valutazioni discusse ha portato alla conclusione che il Cimitero di Sant'Agostino è ubicato fra la strada provinciale, su cui ha l'ingresso principale, e la strada arginale posta a quota superiore indicata nella C.T.R. (+16,20), con un dislivello di c.a m 1,20.

La parte di più recente costruzione pare posizionata per la gran parte su terreni sabbiosi di alveo per una potenza di c.a 8 metri; la parte originaria è chiaramente su terreni della piana a litologia argillosa con intercalazioni nei primi metri di letti di sabbie legati a fenomeni di rotta o sovralluvionamento.

La frattura bene evidente anche nel corpo di fabbrica e nel piazzale asfaltato a lato, separa nettamente le due parti e ha manifestato una copiosa fuoriuscita di sabbia e acqua. Il Cimitero è inserito nella Determinazione n.12418 del 02.10. 2012 della Regione Emilia-Romagna fra le aree con gravi effetti di liquefazione ma per operare scelte di interventi per la stabilità del complesso a nostro avviso è da verificare con più attenzione l'effetto di sito della fratturazione, sia nei rapporti con la liquefazione avvenuta che nell'evolversi di una condizione di possibile instabilità dovuta all'assetto geomorfologico dell'area.

3.2 L'area produttiva di Mirabello

La porzione indagata comprende alcune aree con costruzioni di tipologia varia e costruite in epoche diverse. Per

alcuni di tali capannoni avevamo eseguito indagini al tempo della loro edificazione che ci hanno permesso di fare confronti pre e post sisma.

Riguardo gli effetti di sito anche qui si sono manifestate sia la liquefazione che la fratturazione e le aree interessate sono chiaramente ubicate fra l'alveo del Reno e il piede dell'argine destro, dove ora corre la strada provinciale.

E' stato osservato il caso di un capannone costruito nel 2004 che praticamente non ha subito danni significativi. Il sottosuolo è costituito da terreni limosi e sabbie fini almeno fino a cinque metri di profondità, quindi da sabbie di alveo che dimostrano lo spostamento dell'alveo di Reno verso nord-ovest.

Le sabbie sono sede di falda con livello a m 2,50 dal piano campagna.

Le fratture bene evidenti si sono aperte a lato del fabbricato e in corrispondenza della recinzione, con copiosa fuoriuscita di sabbia e acqua. Altre fratture e liquefazione diffusa è stata riscontrata esternamente, nella zona di paleoalveo.

Il confronto fra la Resistenza alla punta di prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite nel 2004 e nel giugno 2012 ha dato luogo a risultati non sufficientemente significativi, ma il confronto fra le prove eseguite in corrispondenza della frattura da cui è fuoriuscita sabbia liquefatta ha mostrato totale mancanza di addensamento del banco sabbioso posto fra 5 e 8 metri di profondità, fenomeno non verificatosi allontanandosi dalla frattura.

In un'area limitrofa, quindi nelle medesime condizioni di effetto di sito, la situazione si è presentata in modo diverso per la diversa disposizione dei capannoni, posizionati in senso trasversale rispetto alla struttura fluviale. Questo ha comportato che tali fabbricati siano stati interessati dal sistema delle fratture e dalla liquefazione con fuoriuscita di sabbia e acqua.

L'area era stata indagata nel 1996 con Indagine geognostica per la costruzione dei primi fabbricati in ampliamento ad esistenti, quindi nel 2002 per la costruzione di nuovi capannoni. Dopo il sisma sono state eseguite nuove in-



Figura 5 – Area produttiva di Mirabello: le fratture

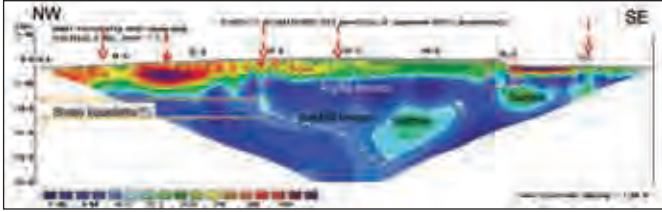


Figura 6 – Sezione geoelettrica trasversale

dagini con CPT confrontabili con le precedenti. Il complesso produttivo risulta quindi ubicato fra l'alveo del Reno e l'argine destro, fra quota (+15) e quota (+13) in corrispondenza della strada provinciale, con i capannoni ubicati in parte sulle sabbie dell'alveo con spessore di 8-9 metri e in parte sulle argille, argille organiche e torbe della piana, verso la strada provinciale.

Esso è stato interessato da almeno quattro allineamenti di fratture, pressochè parallele, che hanno trovato riscontro e continuità nelle aree adiacenti e sono state bene evidenziate tramite uno stendimento geoelettrico in una sezione che attraversa trasversalmente tutta l'area.

Riguardo al confronto dell'addensamento delle sabbie tramite la Resistenza alla punta R_p delle CPT, si è riscontrato una diminuzione nei primi 3-4 metri di limi superficiali e un leggero addensamento in livelli nel banco sabbioso presente fino a 8-9 metri. In corrispondenza della frattura sono risultate addensate anche le sabbie più superficiali con valori di $R_p > 50 \text{ Kg/cm}^2$.

La profondità della falda è stata misurata a m 2,50 dal p.c. Queste aree non sono incluse nelle aree dove sono considerati gravi gli effetti della liquefazione, censite nella Determinazione n. 12418 del 02.10.2012 della Regione Emilia-Romagna.

3.3 Il Municipio di Mirabello

E' ubicato lungo la strada provinciale denominata in centro urbano Corso Italia.

Entrando nell'abitato da ovest la strada provinciale non corre più nella piana al piede dell'argine destro ma si sposta all'interno dell'alveo del Reno, racchiusa tra ambedue gli argini ancora ben riconoscibili, l'argine Postale in sinistra e l'argine Vecchio in destra.

Pur rimanendo fissa questa struttura, nel breve tratto del paese si riconoscono, oltre quella già vista e descritta fino al Cimitero-Campo sportivo, tre possibili assetti geomorfologici.

Dalla via Giovecca alle vie Mantovani-Malvezzi è riconoscibile l'alveo dove si snoda corso Italia e gli argini laterali morfologicamente ben rilevati.

Quindi gli argini si allargano e si notano, evidenziati nell'assetto delle strade, particolari strutture ipotizzate, in analogia con altri casi trovati in letteratura, come opere di regimazione idraulica.

Il paleoalveo continua poi fino a Vigarano con argini artificiali più dolci e uniformemente continui.

Nel tratto dove è ubicato il Municipio e la piazza della Chiesa continuano e sono bene evidenti le fratture nel terreno che poi terminano e non si rilevano più a nord della via XXV aprile.

Associata alle fratture a lato di corso Italia e sull'argine Postale si è verificata la liquefazione; non c'è stata invece liquefazione associata alle fratture sull'argine destro. L'Indagine e la Relazione riguardante la ristrutturazione del Municipio da parte del gruppo di lavoro dei geologi professionisti ferraresi ha implicato una analisi dell'intera piazza e di un significativo intorno relativamente al fabbricato. Un ringraziamento va al gruppo di lavoro dell'O.G.S. di Trieste e alla Prof. geol. Carmela Vaccaro dell'Università di Ferrara per le comunicazioni avute e le proficue discussioni. L'intorno del Municipio di Mirabello è un esempio di effetto di sito presentando sia effetti di liquefazione che di fratturazione, associati e isolati.

Il palazzo municipale si trova ubicato sulle sabbie di alveo del Reno che hanno uno spessore di m 8,50, con granulometria tale da renderle suscettibili di liquefazione e sede di falda con livello a m 2,00.

In effetti la scossa sismica ha indotto la liquefazione di tali sedimenti granulari e la fuoriuscita di acqua e sabbia lungo corso Italia attraverso punti e/o fasce di maggior debolezza.

Nell'area cortiliva del complesso di edifici ubicati subito a lato è uscita una gran quantità di acqua e sabbia per la presenza di un pozzo e questo ha indotto gravi lesioni e dissesti sui fabbricati circostanti.

L'argine destro e la piazza qui ubicata sono stati interessati da una serie di fratture parallele che hanno praticamente distrutto la Chiesa Parrocchiale, lesionato l'edifi-



Figura 7 – Zonizzazione geomorfologica di Mirabello

cio a fianco e il gruppo di edifici che si affacciano sulla piazza dietro il municipio letteralmente tagliati a metà ma senza nessun altro apparente dissesto.

4. CONCLUSIONI

Operando nel territorio si è potuto appurare che due sono i principali effetti di sito causati dal sisma, la liquefazione e la fratturazione.

Per i danni da liquefazione gli effetti, come riportano i Rapporti conclusivi della Commissione Liquefazione della Regione Emilia-Romagna, sono terminati ma questo non è stato affermato per gli effetti delle fratturazioni. A questi effetti si deve associare l'assetto morfologico del microrilievo e una valutazione dettagliata della litologia da interpretare nella ricostruzione morfogenetica del sito e la presenza e gestione delle falde. In questa ottica l'effetto di sito deve emergere da una combinazione di tutti i fattori sopracitati. L'effetto di sito richiede quindi un completo studio geologico eseguito con dettaglio di scala idoneo alla risposta da fornire.

Al momento non abbiamo indicazioni sufficientemente confortanti sul sistema di fratture che seguite e correlate sul terreno non appaiono coerenti con la struttura del paleovalveo.

E' certo che spesso le fratture si ripresentano negli stessi allineamenti già formati in terremoti passati, e questo è stato visto nella sezione a lato del Cimitero di Sant'Agostino, come riporta il lavoro di Caputo et alii, 2012. Tuttavia non è chiara la profondità cui tali fratture arrivano e alcuni recenti studi hanno ipotizzato che possano arrivare ad una notevole profondità in termini di centinaia di metri (Borgatti et alii, 2012), il che le deve necessariamente fare interpretare non più come semplici effetti legati alle sollecitazioni di trazione che si accompagnano alla propagazione delle onde sismiche.

Per la conclusione dei nostri interventi professionali ci



Figura 8 – La struttura geomorfologica del paleovalveo e il sistema delle fratture

sarà quindi necessario poter utilizzare quelle conoscenze che la scienza può dare e che i professionisti devono applicare, ci saranno indispensabili quelle indicazioni di carattere gerarchicamente superiore a cui riferirci e attenerci nell'intervento diretto di costruzione, ristrutturazione, adeguamento dove è nostra competenza e responsabilità fornire la Relazione geologica, sismica, geotecnica.

Ferrara, 26 novembre 2012

5. BIBLIOGRAFIA

- N. ABUZEID, E. MAROCCHINO, C. VACCARO, D.Y. NIETO, M. MARTINUCCI (2012) *Geological and geophysical investigations of "site effects" due to liquefaction in Mirabello following the May 20th, 2012 Emilia earthquake*. ENEA Energia, Ambiente, Innovazione. 4-5 parte II
- L. BARADELLO, F. ACCAINO, N. ABUZEID, A. AFFATATO, C. VACCARO, D.Y. NIETO, M. PICCOLO, M. MARTINUCCI, F. FANZUTTI (2012) *Geophysical and geomorphological assessment of the co-seismic fractures following the 5.9 local magnitude earthquake at Mirabello town (Italy)* ENEA Energia, Ambiente, Innovazione. 4-5 parte II
- M. BONDESAN (1989) *Evoluzione geomorfologica e idrografica della pianura ferrarese*. Terre ed acqua, Corbo editore, 14-20.
- L. BORGATTI, A.E. BRACCI, S. CREMONINI, G. MARTINELLI *Searching for effects of the May-June 2012 Emilia seismic sequence (Northern Italy): medium-depth deformation structures at the periphery of epicentral area* Annals of Geophysics, vol 55 n.4.
- R. CAPUTO, K.IORDANIDOU, L. MINARELLI, G. PAPATHANASSIOU, M.E. POLI, D. RAPTIS, S. SBORAS, M. STEFANI, A. ZANFERRARI (2012) *Geological evidence of pre-2012 seismic events, Emilia-Romagna, Italy*. Annals of Geophysics, vol 55 n.4.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA *Primo rapporto sugli effetti della liquefazione osservati a S.Carlo, frazione di S.Agostino (Provincia di Ferrara)* Bologna 25 giugno 2012
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA *Rapporto sugli effetti della liquefazione osservati a Mirabello (Provincia di Ferrara)* Bologna 30 luglio 2012
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI *Approvazione degli elaborati cartografici concernenti la delimitazione delle aree nelle quali si sono manifestati gravi effetti di liquefazione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e degli indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni* Determinazione n. 12418 del 02.10.2012
- N.ABUZEID, C. BALLOTTA, M. MARTINUCCI, A. MUCCHI, R. SACCHETTI, R. ZOPPELLARO *Relazione geologica, sismica e geotecnica con Indagine geognostica, sismica e analisi di laboratorio per la ristrutturazione del Municipio di Mirabello*. Settembre 2012 Iniziativa dei geologi ferraresi Adotta un Monumento
- N.ABUZEID, C. BALLOTTA, M. MARTINUCCI, A. MUCCHI, M.A. SILEO, R. ZOPPELLARO *Relazione geologica, sismica e geotecnica con Indagine geognostica, sismica e analisi di laboratorio per la ristrutturazione del Cimitero di Sant'Agostino*. Novembre 2012 Iniziativa dei geologi ferraresi Adotta un Monumento