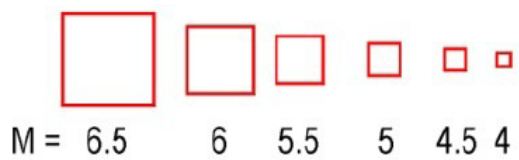
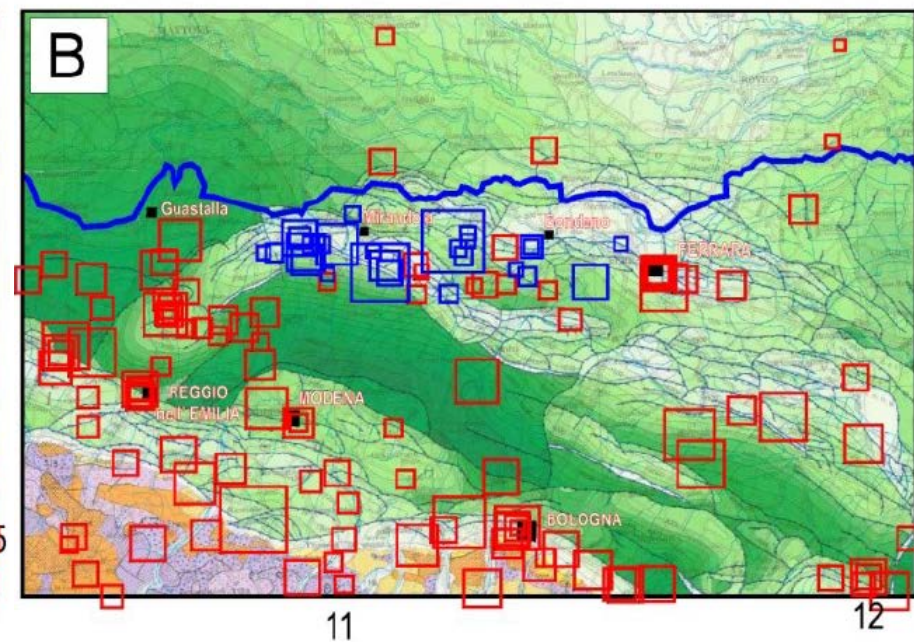
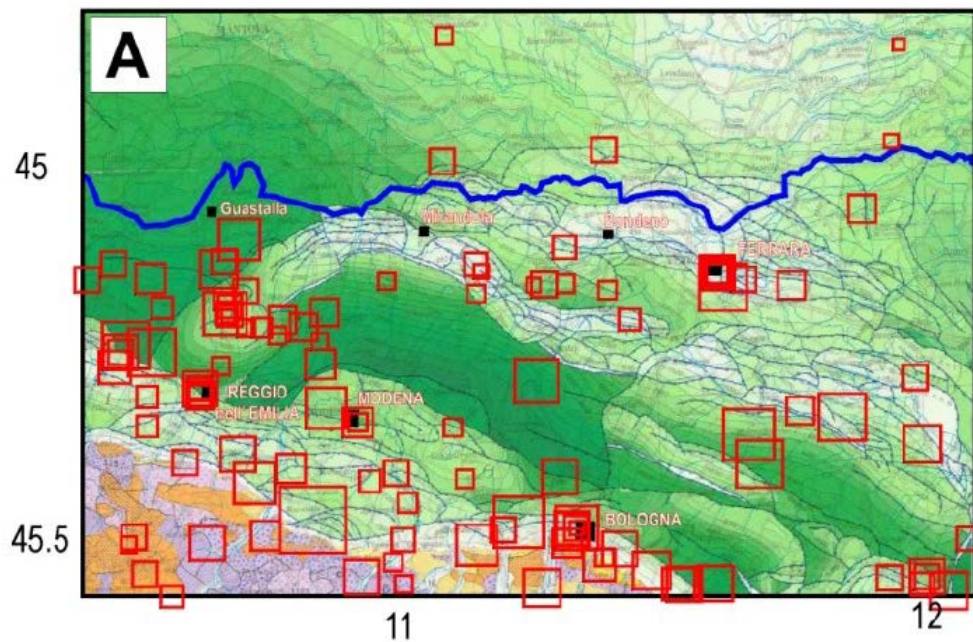




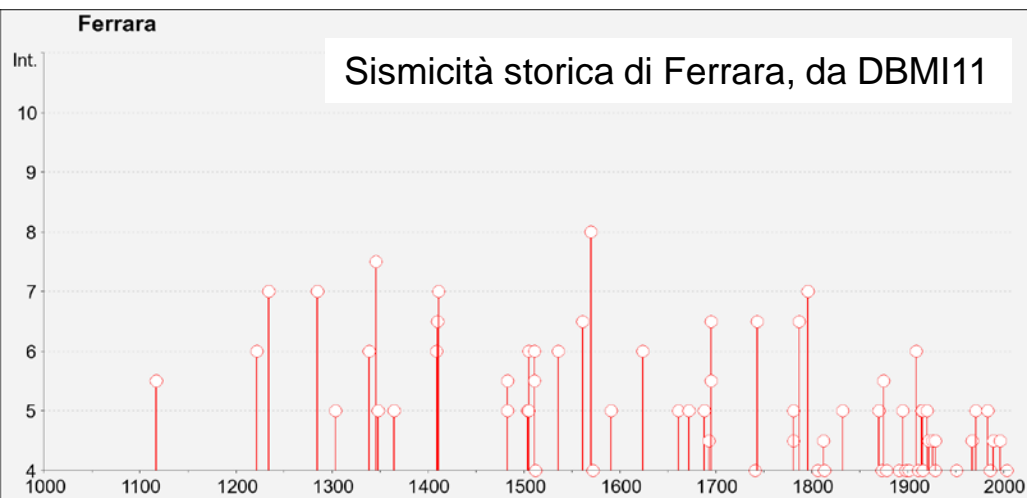
## I terremoti emiliani 2012. Gli effetti della liquefazione e le iniziative della Regione

***L. Martelli***

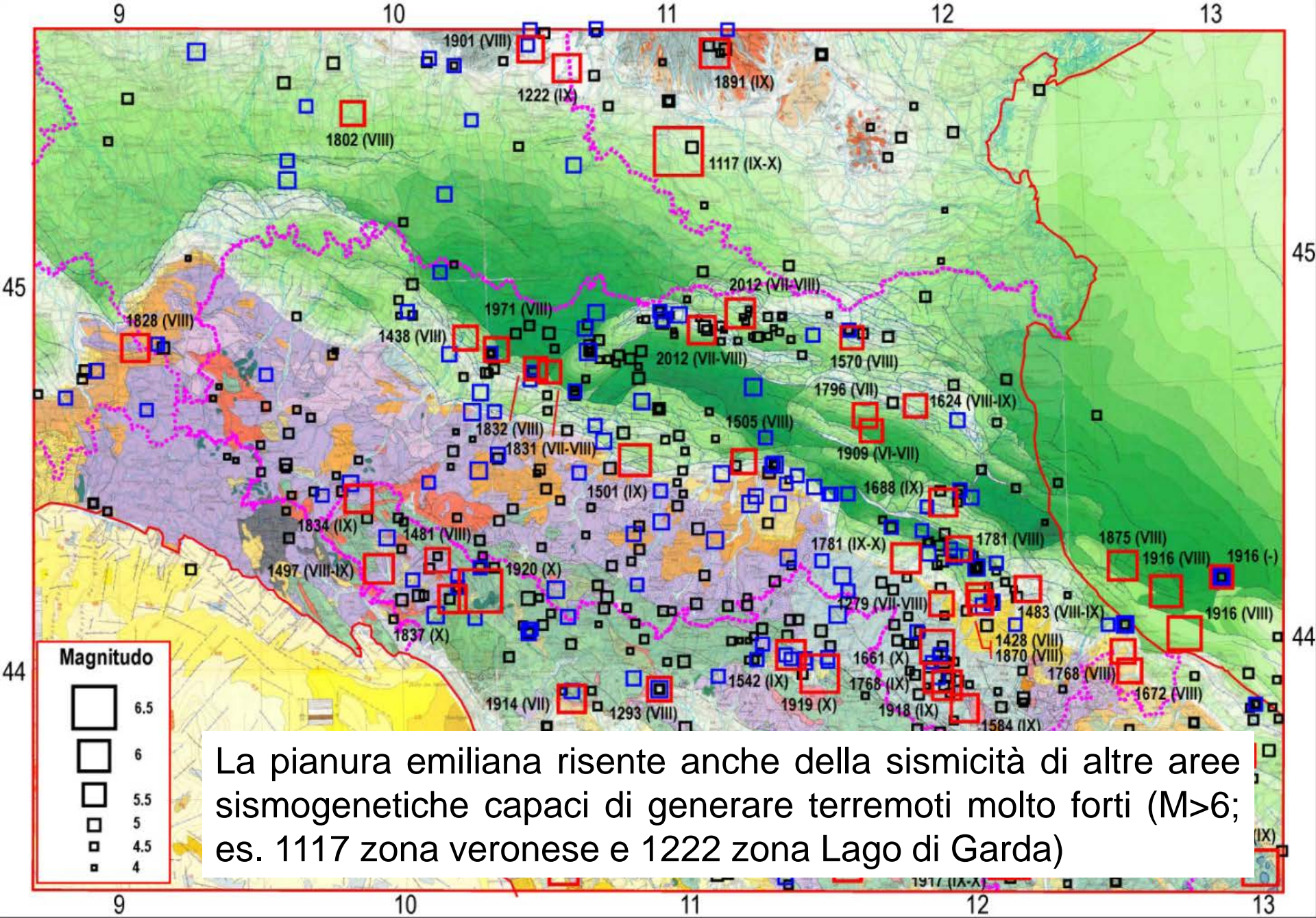


*In rosso i forti terremoti prima di maggio 2012*  
*In blu la sequenza sismica di maggio-giugno 2012*

Da Mantovani et al. 2013



Questo settore della Pianura Padana è stato interessato da effetti  $I_{MCS} \geq VII$  già in occasione di vari terremoti (es. 1346, 1570, 1796)



In rosso  $M \geq 5.5$ ; in blu  $5 \leq M < 5.5$

Da Mantovani et al. 2013

**In occasione dei terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 sono stati osservati diffusi effetti di liquefazione, in particolare nella zona ovest della provincia di Ferrara.**



## Cos'è la liquefazione?

E' lo stato fisico in cui può venire a trovarsi un terreno sabbioso saturo quando perde la sua resistenza al taglio per effetto dell'incremento e dell'accumulo delle pressioni interstiziali.

Con il termine “liquefazione” si indicano differenti fenomeni fisici (**liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione**) osservati nei materiali granulari saturi durante l'applicazione rapida di carichi dinamici e ciclici in condizioni non drenate.

Durante uno scuotimento ciclico si realizzano condizioni non drenate, l'acqua rimane intrappolata e si ha un incremento delle pressioni interstiziali che determina una riduzione di resistenza al taglio.

Quando la resistenza al taglio si annulla il terreno si comporta come un fluido.

La liquefazione avviene se si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni:

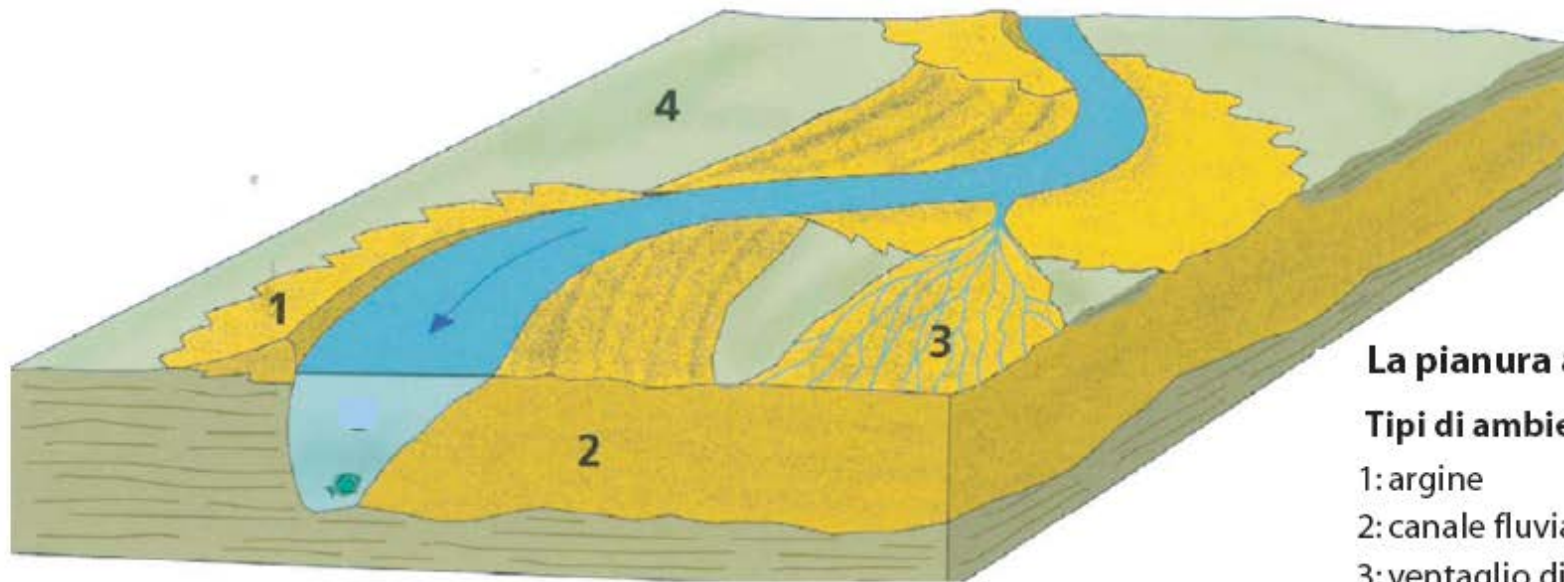
1) “susceptibilità” del sottosuolo (caratteri predisponenti):

- presenza di sedimenti sabbiosi (ghiaie sabbiose, sabbie, limi sabbiosi non plastici), poco addensati, a profondità <15-20 m;
- profondità della tavola d’acqua <15 m;
- contenuto di fini (diametro <0.05 mm) <15%;

2) “sismicità” (fattore scatenante):

- terremoto  $M > 5.5$ ;
- $PGA > 0.15g$ ;
- durata dello scuotimento >15-20 s.

Quindi le aree suscettibili di liquefazione sono le zone costiere, sia marine che lacustri, e le pianure alluvionali



### La pianura alluvionale

#### Tipi di ambiente e deposito

- 1: argine
- 2: canale fluviale
- 3: ventaglio di rota
- 4: piana inondabile

# Carta degli effetti di liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012

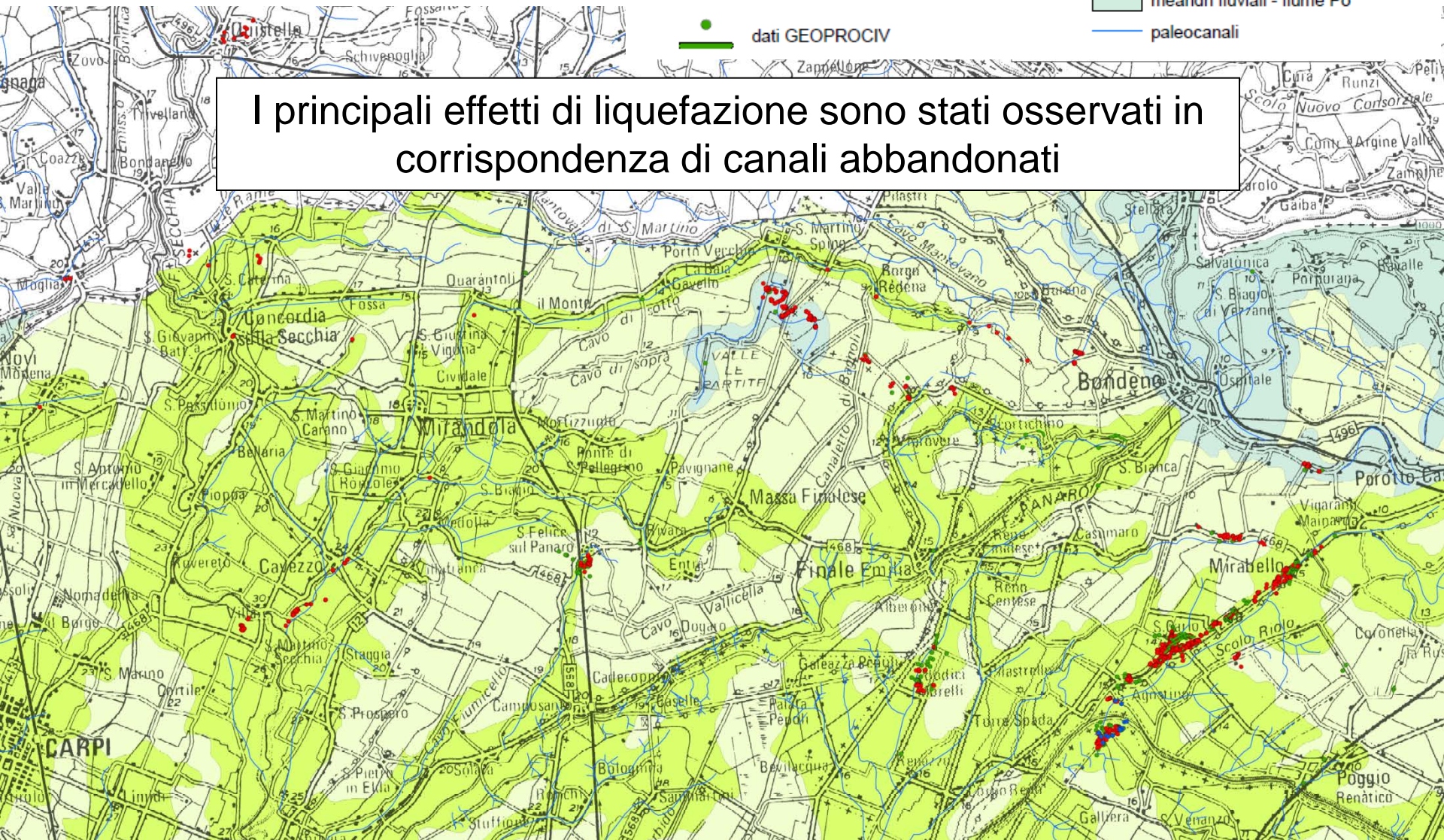
## Fenomeni di liquefazione osservati (puntuali e lineari)

- dati STB RENO
- dati STB AFFLUENTI PO
- dati GEOPROCV

## Paesaggio geologico

- argini - fiumi appenninici
- piana alluvionale - fiumi appenninici
- meandri fluviali - fiume Po
- paleocanali

I principali effetti di liquefazione sono stati osservati in corrispondenza di canali abbandonati





# Anche i fenomeni di liquefazione non sono una novità per l'Emilia-Romagna

## la liquefazione [e altre 'stranezze'] **Terremoto di FERRARA del 1570**

"[...] nelli giorni del terremoto venuto nella città di Ferrara, et incominciato dal primo di novembre incognitamente, et riconosciuto nelli sedici di esso mese dell'anno **MDLXX**. [...] incominciando dal giorno dedicato a tutti i santi nel quale facendosi sentire, secondo l'havemo potuto intendere dagli habitatori de **le ville del territorio ferrariense** dove è la illustre et inclyta città di Ferrara, come havemo sudetto nel discorso della qualità di questo anno. Fu nel vero udito da **paesani** del primo novembre, con certo **sorte di strepito** senza tremito **ribombare et risuonare esso portentoso effetto, tirando molti scopij, come lontane artiglierie** [...] et il mercoledì fu udito il simile et de dì et di notte il giovedì anchora, **et i pozzi in alcune case s'intorbidarono l'acque, si sentivano come mugiti per l'aria simili a quelli del mare** [...] **A Ficarolo buttò atterra una Villa vi uccise undici persone, munì alcuni pozzi di arena, mandò fuori dell'acque putridi dalla terra** [...]"

La Notte seguentemente era pioggia, in Ferrara fu sentito innumembrabili volte, che ne racconto sessanta chi più et chi meno, **et fuori di essa al Bondi luogho dodici miglia fu sentito stranamente, et a Ficarolo Vico a' sedici miglia con molto maggiore impito, dove deguastò** alcuni luoghi arati, munì [...] delli pozzi, **buttando fuori tutta l'acqua, dove era stata una cora ò stagno d'acqua disseccato per forza d'arte, fece spaccature, mandò fuori arena** [...]"

## la liquefazione [e altre 'stranezze] **Terremoto di ARGENTA del 1624**

"[...] & hora è desolata, e guasta, rispetto al spaventoso, & improvviso Terremoto sentitosi in quella il dì 19 del Mese di Marzo del 1624 in Martedì [...] il quale successe circa le due hore di notte [...] **il rumore fù grandissimo**, che pose tanto spavento à tutti gli abitanti di quel loco [...] durò l'infelice caso tutta quella notte, & anco ogni giorno si è sentito, & ancora si sente qualche motivo, per la qualcosa è rovinata tutta la Chiesa [...] In somma questa povera, & infelice Terra è rovinata più delli duoi terzi, con morte di più di cinquanta persone [...] Il residuo di quelle persone terrazzani parte se ne sono andati ad habitare in altri Paesi, & parte si sono riduti alla Campagna, lontani dal Fiume più che hanno potuto, & si sono fabricato ivi casoni di frasche, & malta alla meglio che hanno potuto, & vi habitano di presente, ma sempre con timore di nuovo successo, & spavento del passato; **si vede in detta Terra tre grande aperture, fuori dalle quali è scaturito gran quantità d'arena, & si è visto, & si vede l'Acqua de' Pozzi alzarsi, & uscire fuori con impeto vehemente, accompagnata da molta arena, e vento terribilissimo"**

## Cesenatico 1875

Serpieri (1889) riferisce che durante il terremoto della notte del 17-18 marzo 1875 a Cesenatico ***“un cacciatore che passava lungo il lido, vide a un tratto levarsi delle onde che si rovesciarono sulla spiaggia, e mentre fuggiva a tutta corsa s’incontrò con parecchi getti di acqua, che violentemente si alzavano dal suolo; e quindi nei vari punti dove erano sorti si trovarono tante piccole cavità in forma di imbuto”***. Analoghi fenomeni sono stati riscontrati in diversi siti del litorale fra Cervia e Cattolica (Galli e Meloni, 1993; Postpischl, 1985)

SERPIERI, A. (1889) - *Scritti di sismologia, Parte II, I terremoti del 18 Marzo 1875 e del 28 Luglio 1883. Tipografia Editrice Calasanziana, Firenze*

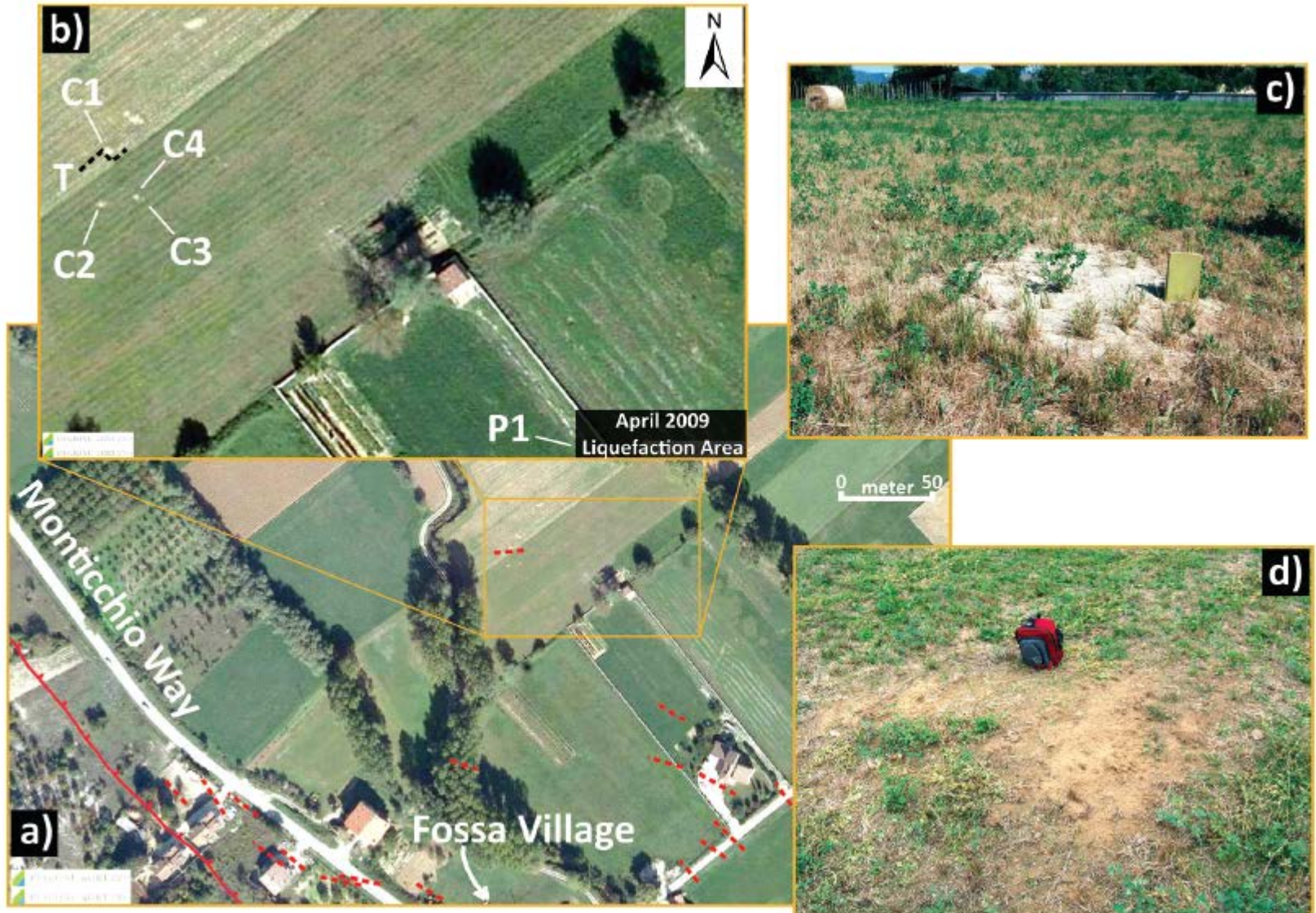
GALLI P., MELONI F. (1993) - *Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia. Il Quaternario, 6 (2), 271-292*

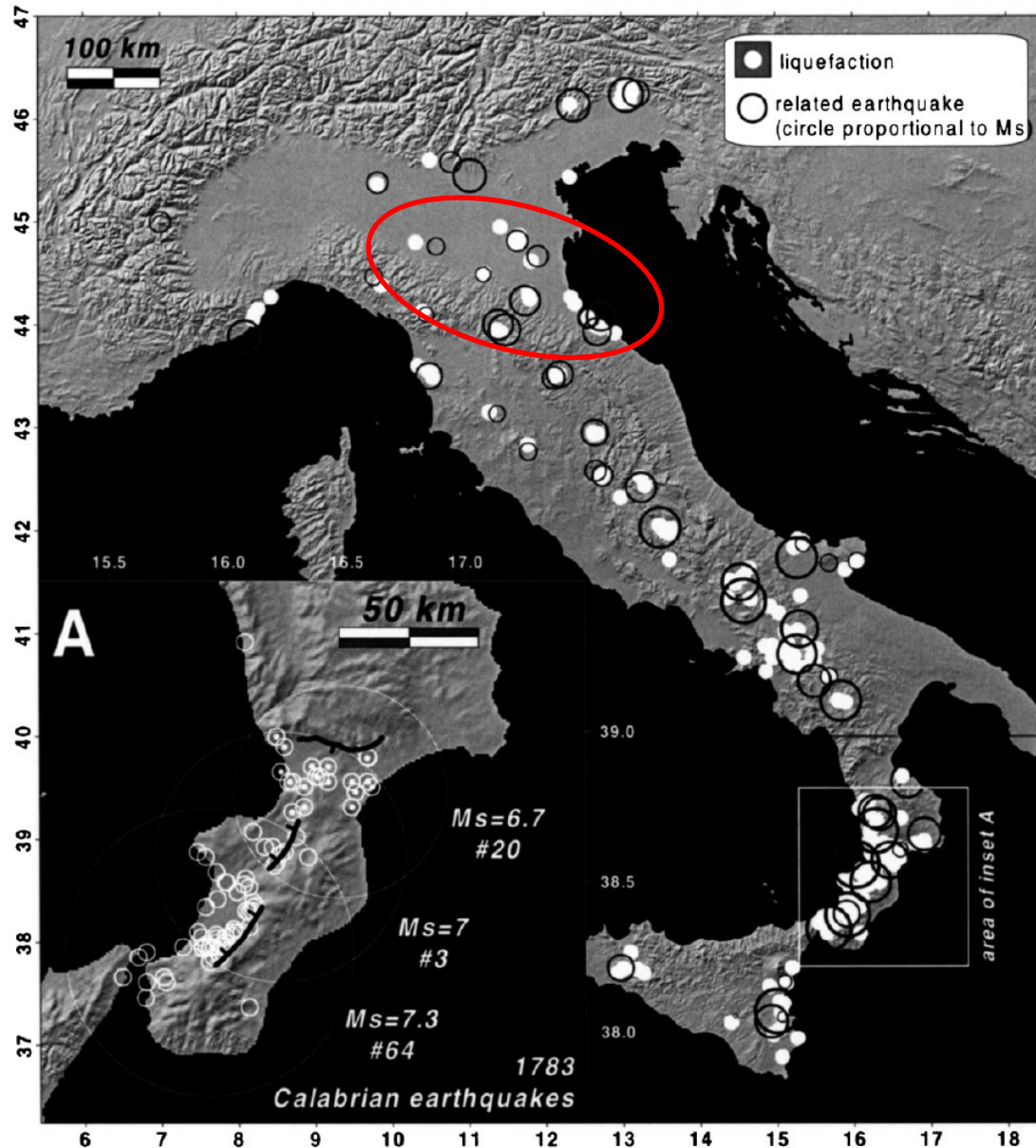
POSTPISCHL D. (Ed.) (1985) - *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes. C.N.R. - P.F.G., Quad. “La ricerca scientifica”, 114, 2A, Bologna*

# Sand volcanoes induced by the April 6<sup>th</sup> 2009 Mw 6.3 L'Aquila earthquake: a case study from the Fossa area

PAOLO MARCO DE MARTINI (\*), FRANCESCA ROMANA CINTI (\*), LUIGI CUCCI (\*), ALESSANDRA SMEDILE (\*),  
STEFANIA PINZI (\*), CARLO ALBERTO BRUNORI (\*\*), & FLAVIA MOLISSO (\*\*\*)

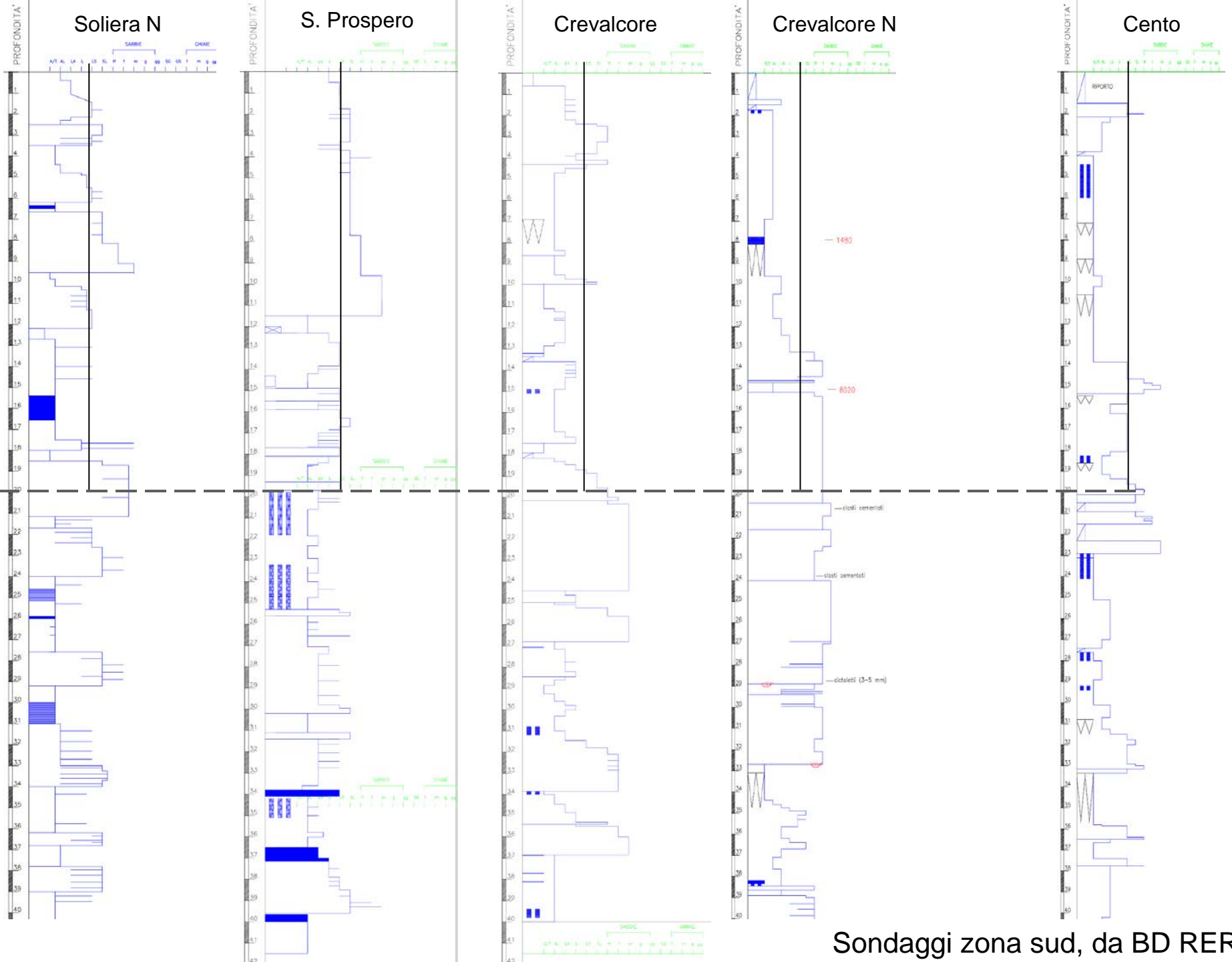
*Ital. J. Geosci.* (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 131, No. 3 (2012), pp. 410-422, 8 figs., 2 tabs. (doi: 10.3301/IJG.2012.14)



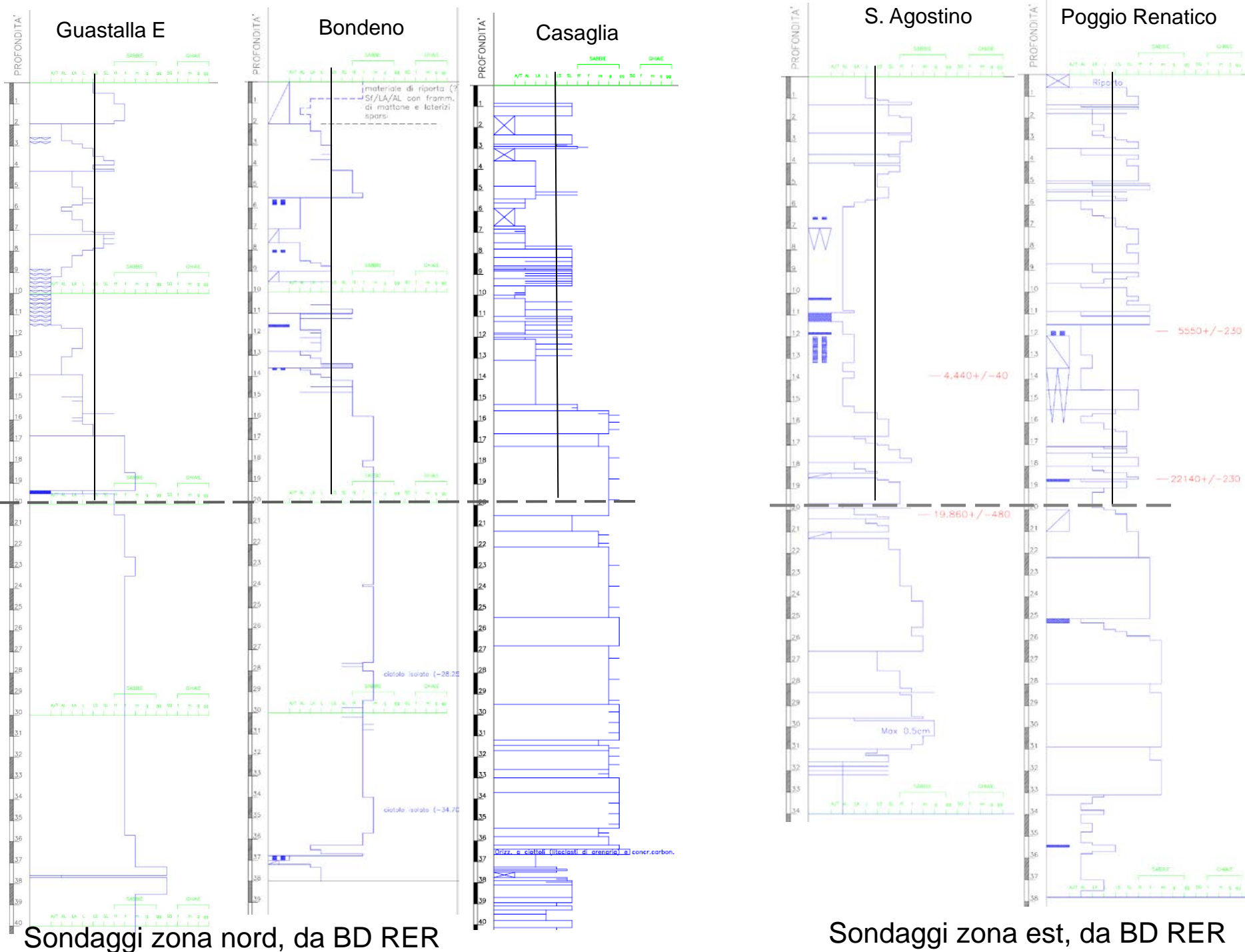


*Da Paolo Galli,  
Servizio Sismico Nazionale,  
Tectonophysics 324 (2000)*

Fig. 7. Distribution map of liquefaction cases reported in Appendix A. Inset A is a particular concerning the 1783 Calabrian earthquakes. Bold lines represent the possibly seismogenetic faults of the three main events (large circles, from south to north: February 5 and 7, and March 28).

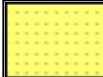




Sondaggi zona sud, da BD RER






Da QC PTCP Modena

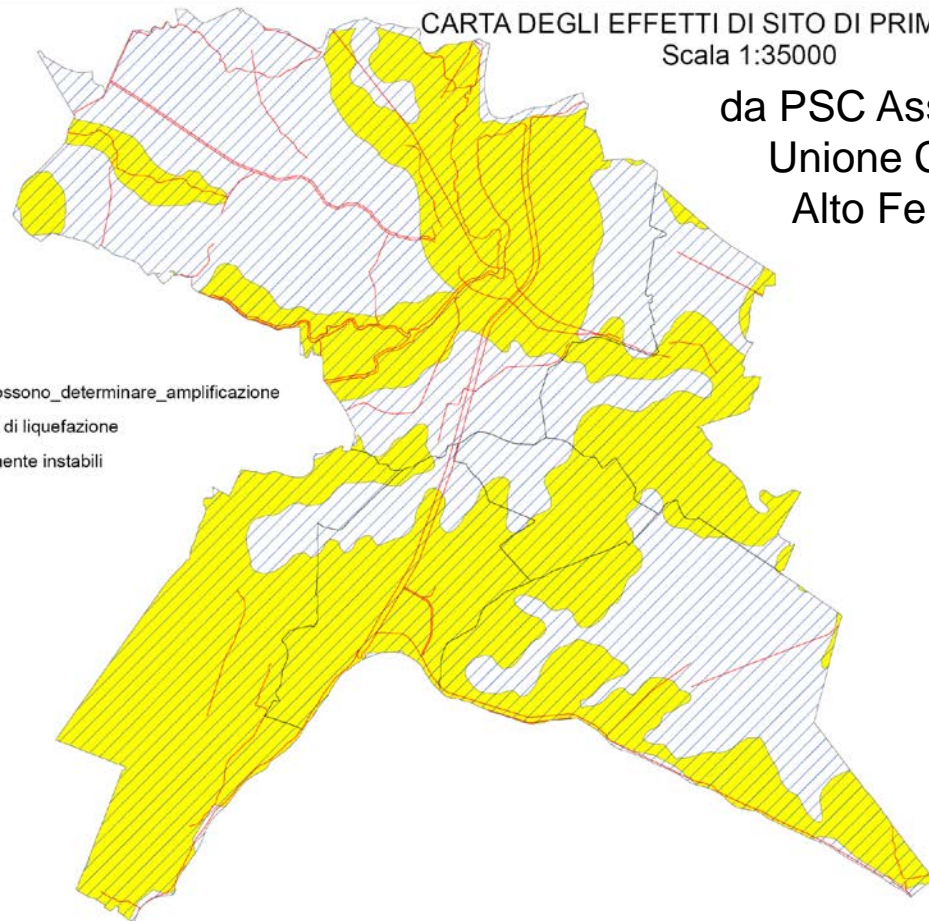
Il pericolo di liquefazione è già stato evidenziato da vari anni in documenti di QC a supporto di piani territoriali

	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi
	<b>sabbie coperte del Po</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi

CARTA DEGLI EFFETTI DI SITO DI PRIMO LIVELLO  
Scala 1:35000

da PSC Associato  
Unione Comuni  
Alto Ferrarese

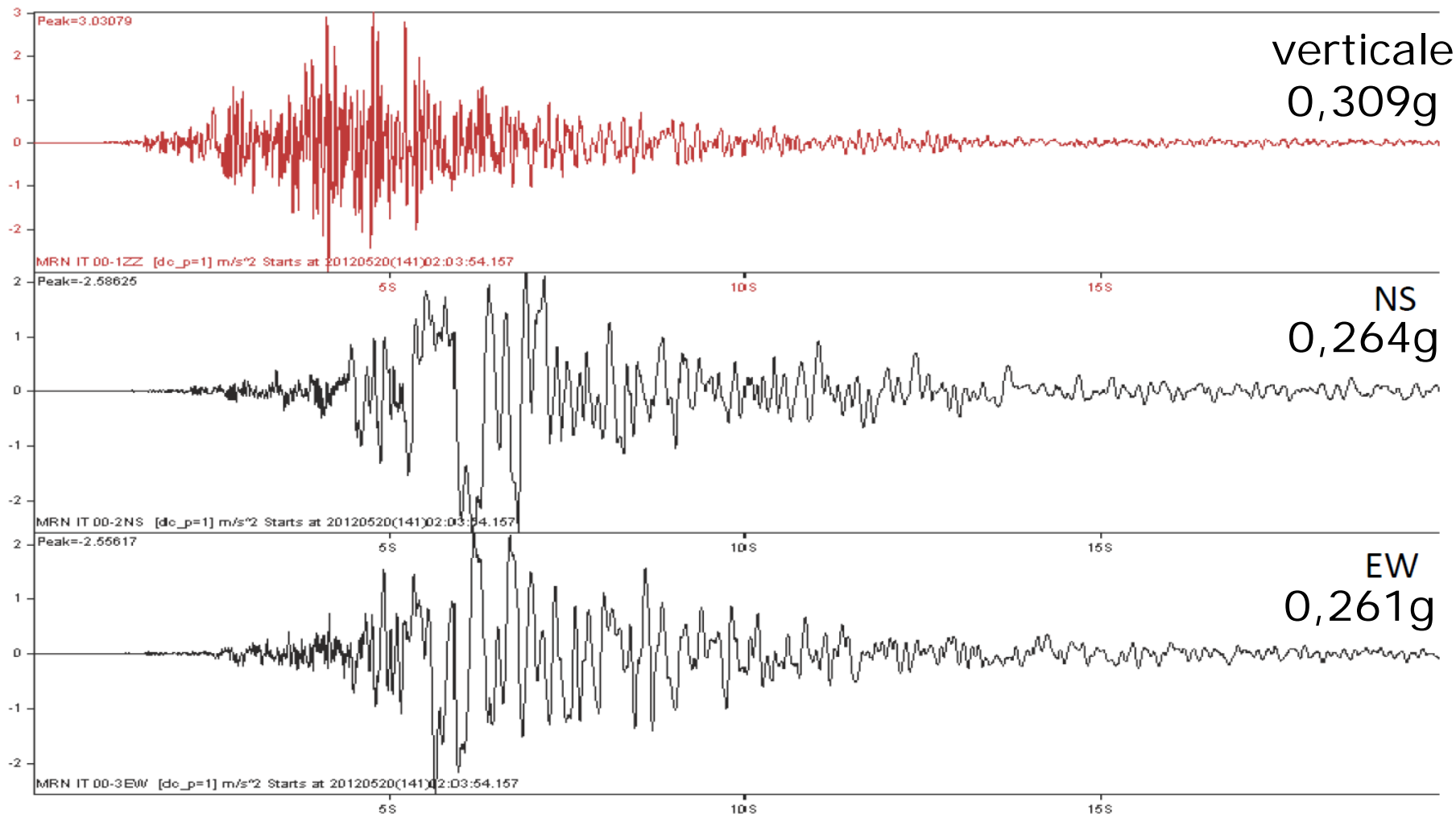
-  1L-depositi\_che\_possono\_determinare\_amplificazione
-  Depositi suscettibili di liquefazione
-  Versanti potenzialmente instabili



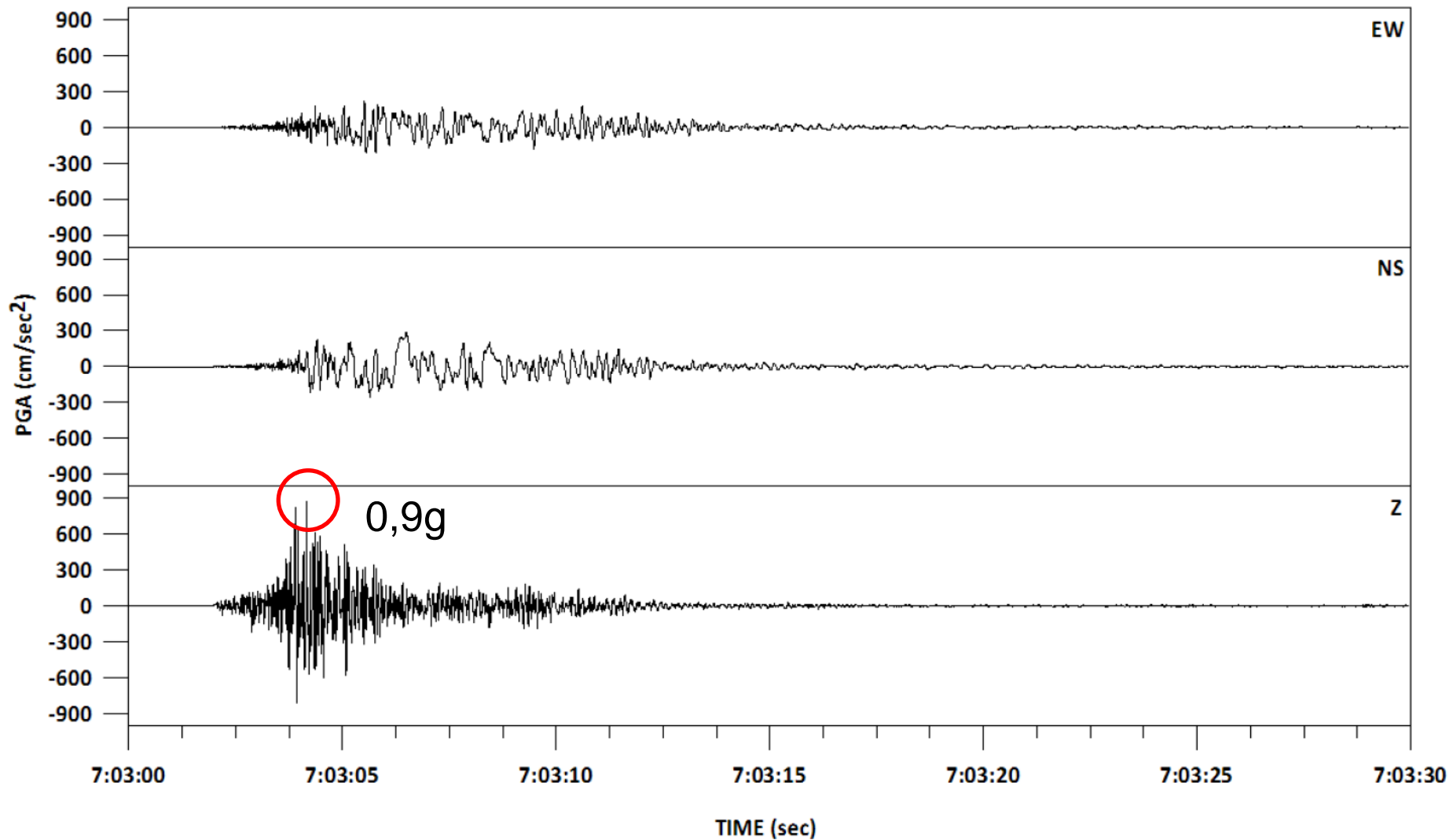


# Fattore scatenante:

Registrazione accelerometrica della scossa principale del 20/5/2012,  $M_L=5.9$   
RAN, stazione di Mirandola (13 km dall'epicentro)



# Registrazioni accelerometriche della scossa principale del 29/5/2012, $M_L=5.8$ RAN, stazione di Mirandola

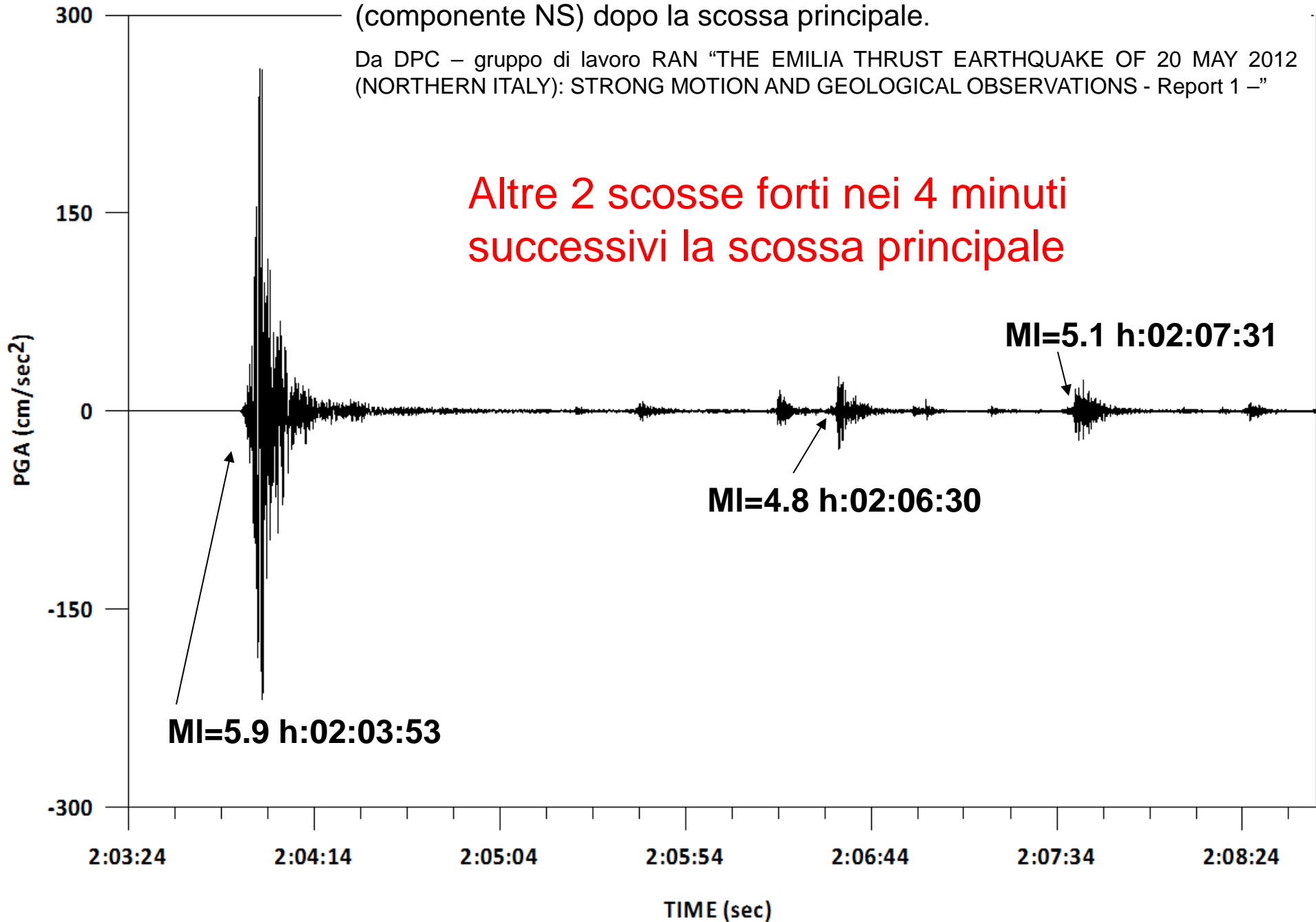


**Figure 3:** The recording at Mirandola-MRN station (E, N, Z channels) triggered by the 29 May 2012 07:03:00 (UTC time) event.

Registrazione di circa 5 minuti della stazione RAN Mirandola-MRN (componente NS) dopo la scossa principale.

Da DPC – gruppo di lavoro RAN “THE EMILIA THRUST EARTHQUAKE OF 20 MAY 2012 (NORTHERN ITALY): STRONG MOTION AND GEOLOGICAL OBSERVATIONS - Report 1 –”

**Altre 2 scosse forti nei 4 minuti successivi la scossa principale**





## Fenomeni inclusi nel termine liquefazione:

### Liquefazione ciclica

Condizioni: Assenza di sforzi di taglio necessari per l'equilibrio statico (superfici piane e orizzontali, assenza di carichi in superficie)

Manifestazioni: crateri e vulcanelli di sabbia, fratture, ondulazioni e cedimenti del piano campagna

Danneggiamenti: assenti o modesti (vulnerabilità ed esposizione nulle o trascurabili)

Per il terremoto della pianura padana-emiliana: fenomeni di liquefazione ciclica diffusissimi e molto estesi

### Mobilità ciclica

Condizioni: Sforzi di taglio necessari per l'equilibrio statico **inferiori** alla resistenza al taglio dopo il terremoto

Manifestazioni: deformazioni permanenti limitate, spostamenti laterali, cedimenti assoluti e differenziali, smottamenti

Danneggiamenti: da modesti a gravi a strutture, infrastrutture e sotto-servizi

Per il terremoto della pianura padana-emiliana: fenomeni di mobilità ciclica diffusi

### Fluidificazione

Condizioni: Sforzi di taglio necessari per l'equilibrio statico **superiori** alla resistenza al taglio dopo il terremoto

Manifestazioni: grandi deformazioni permanenti, collassi di fondazioni e opere di sostegno, frane

Danneggiamenti: gravissimi

Per il terremoto della pianura padana-emiliana: fenomeni di fluidificazione assenti (per fortuna!!!)

I fenomeni di liquefazione hanno assunto particolare rilevanza nei centri abitati di S. Carlo, frazione di S. Agostino, e di Mirabello, in provincia di Ferrara; in alcune di queste aree gli effetti secondari di post-liquefazione hanno reso temporaneamente inagibili alcuni edifici, tratti di strade e le reti di servizi presenti.

Il grado di danneggiamento degli edifici civili è stato variabile, anche se complessivamente inferiore a quanto ci si sarebbe potuto attendere dal numero e dall'estensione areale delle manifestazioni (vulcanelli, crateri, rigonfiamenti e rotture del terreno, cedimenti, sollevamenti dei marciapiedi, spostamenti laterali) e dal grande volume di sabbia e limo fuoriusciti.

Alcuni edifici hanno subito cedimenti di traslazione rigida, talvolta anche di debole rotazione. Si sono creati giunti di distacco con costruzioni minori e strutturalmente deboli, adibite a garage, rimesse o deposito attrezzi, annesse alla costruzione principale. Tali costruzioni minori sono risultate spesso gravemente danneggiate e inagibili. Diffusi i danni alle pavimentazioni del piano terra, ai tramezzi, ai collegamenti con le tubazioni, più rari i danni alle strutture resistenti, verticali e orizzontali.

Non risultano evidenze di fenomeni di fluidificazione.



**S. Carlo**



**S. Carlo**



**S. Felice sul Panaro**



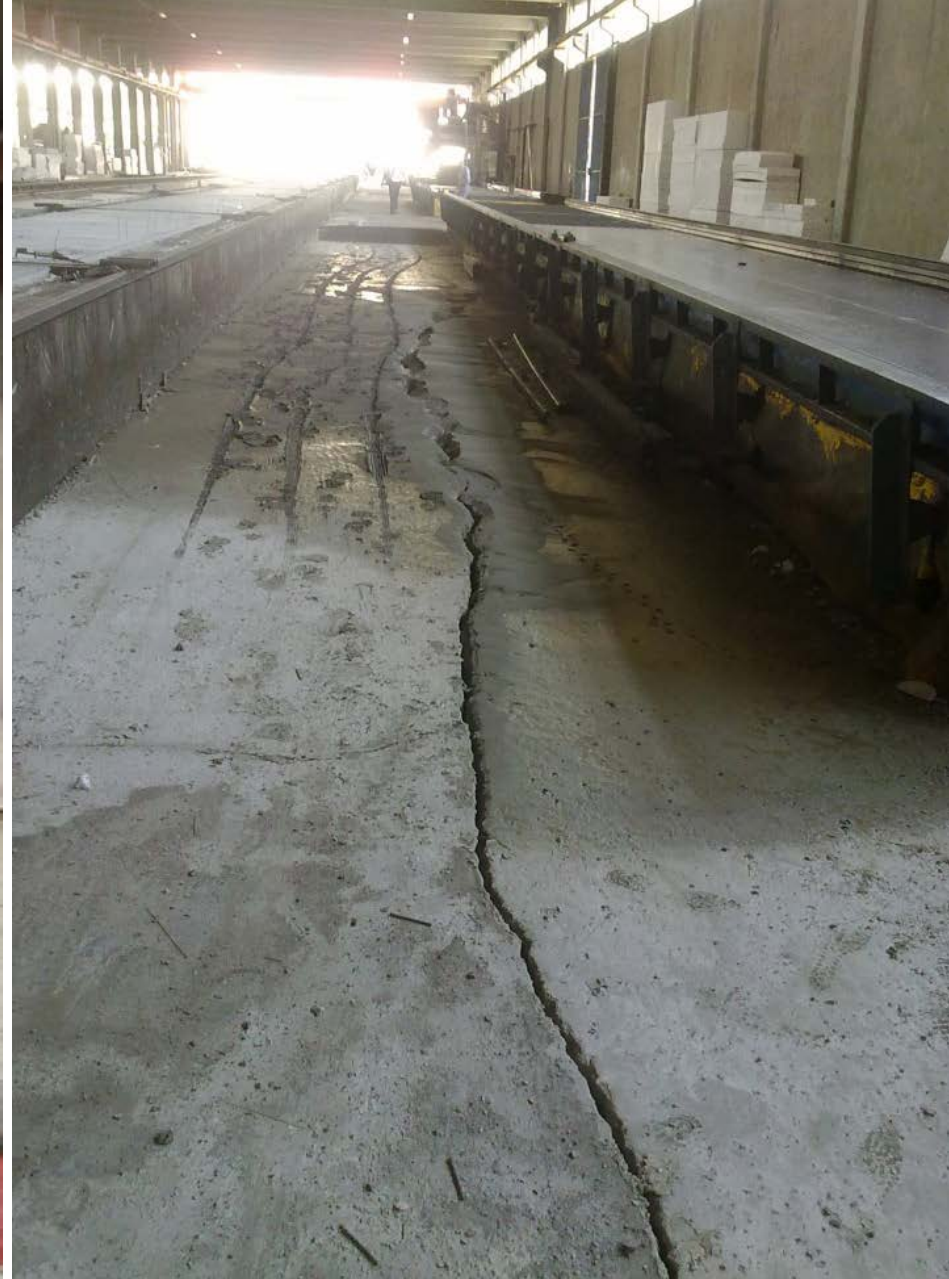
**S. Carlo**

# S. Carlo





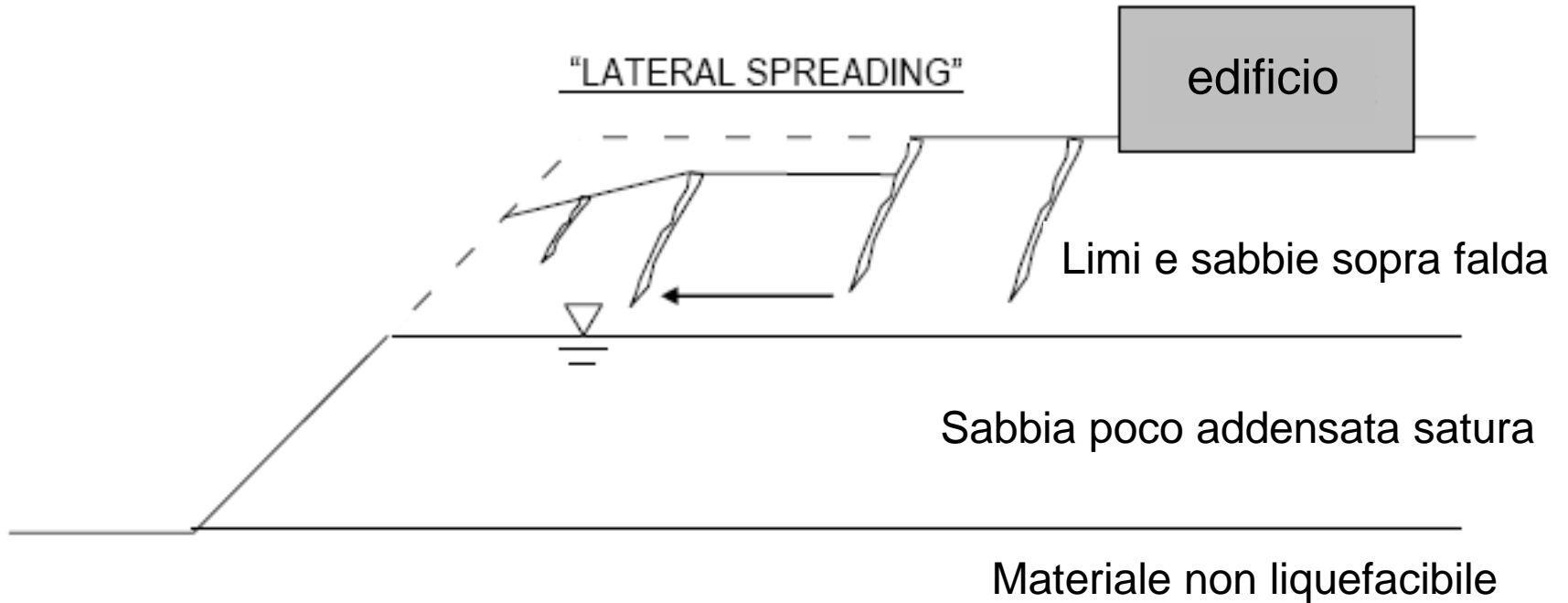
Mirabello, sollevamento del marciapiede  
(Corso Italia), foto Università di Firenze



Mirabello, frattura nell'area industriale  
foto Università di Firenze



Le spaccature con spostamenti orizzontali e verticali non sono faglie ma fratture in parte dovute all'espansione laterale (comportamento rigido, fratturazione, della parte non satura del rilievo e scorrimento lungo l'interfaccia superiore dell'orizzonte liquefacibile).



Niigata, Japan, 1964 – M=7.5

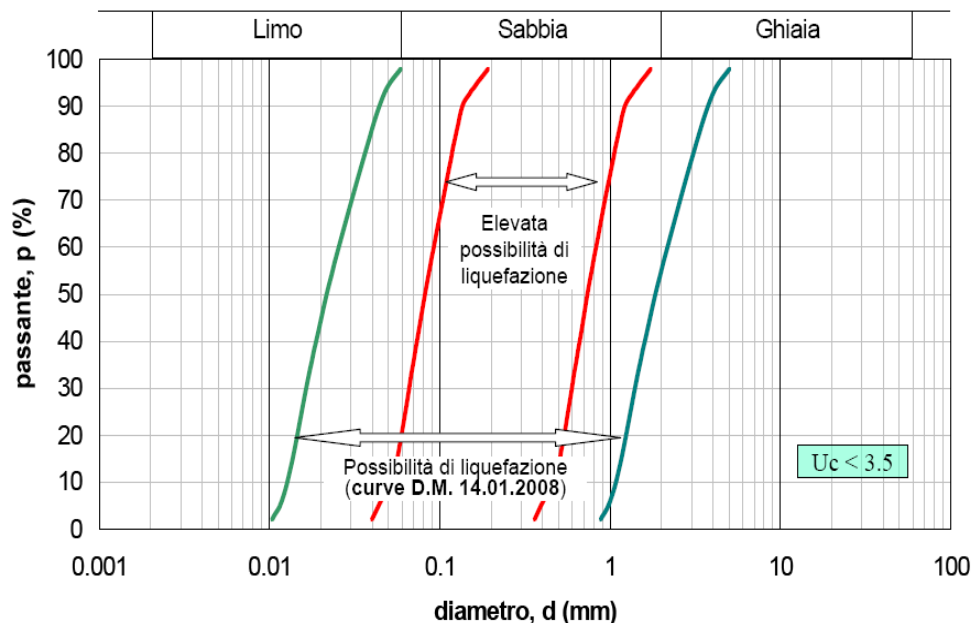
**Effetti della fluidificazione:  
perdita di capacità portante  
delle fondazioni**

**In occasione dei terremoti del  
20 e 29 maggio 2012 questo  
fenomeno non si è verificato**

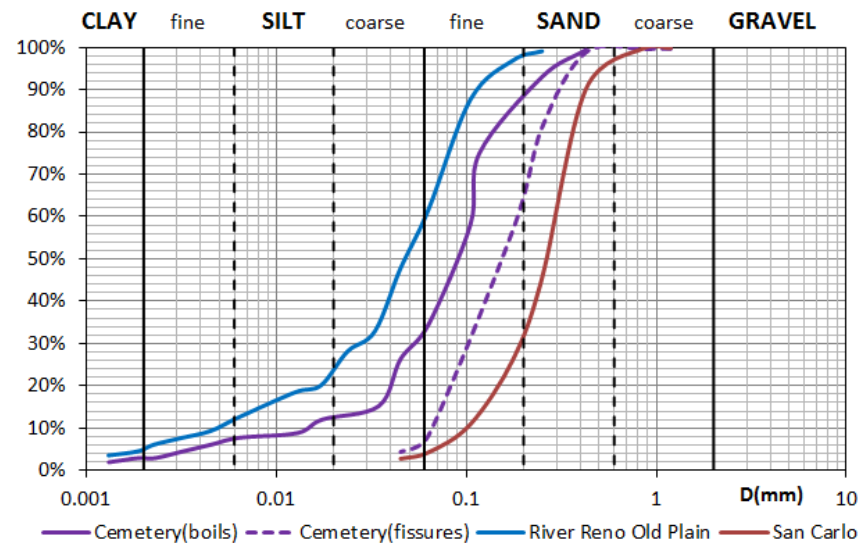
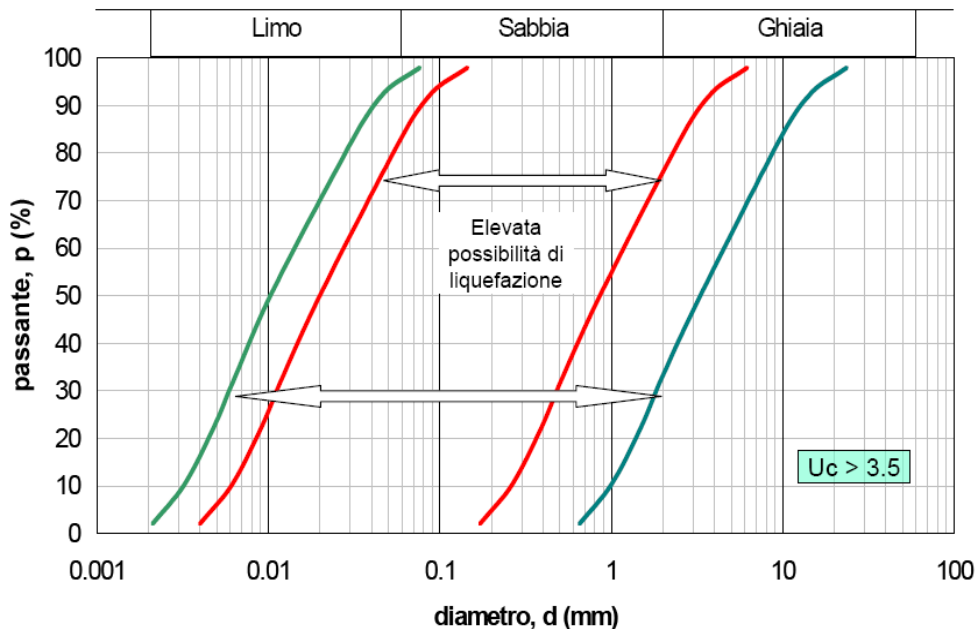


**Kocaeli, Turkey, 1999 - M=7.6**

## Fasce critiche (Coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ )

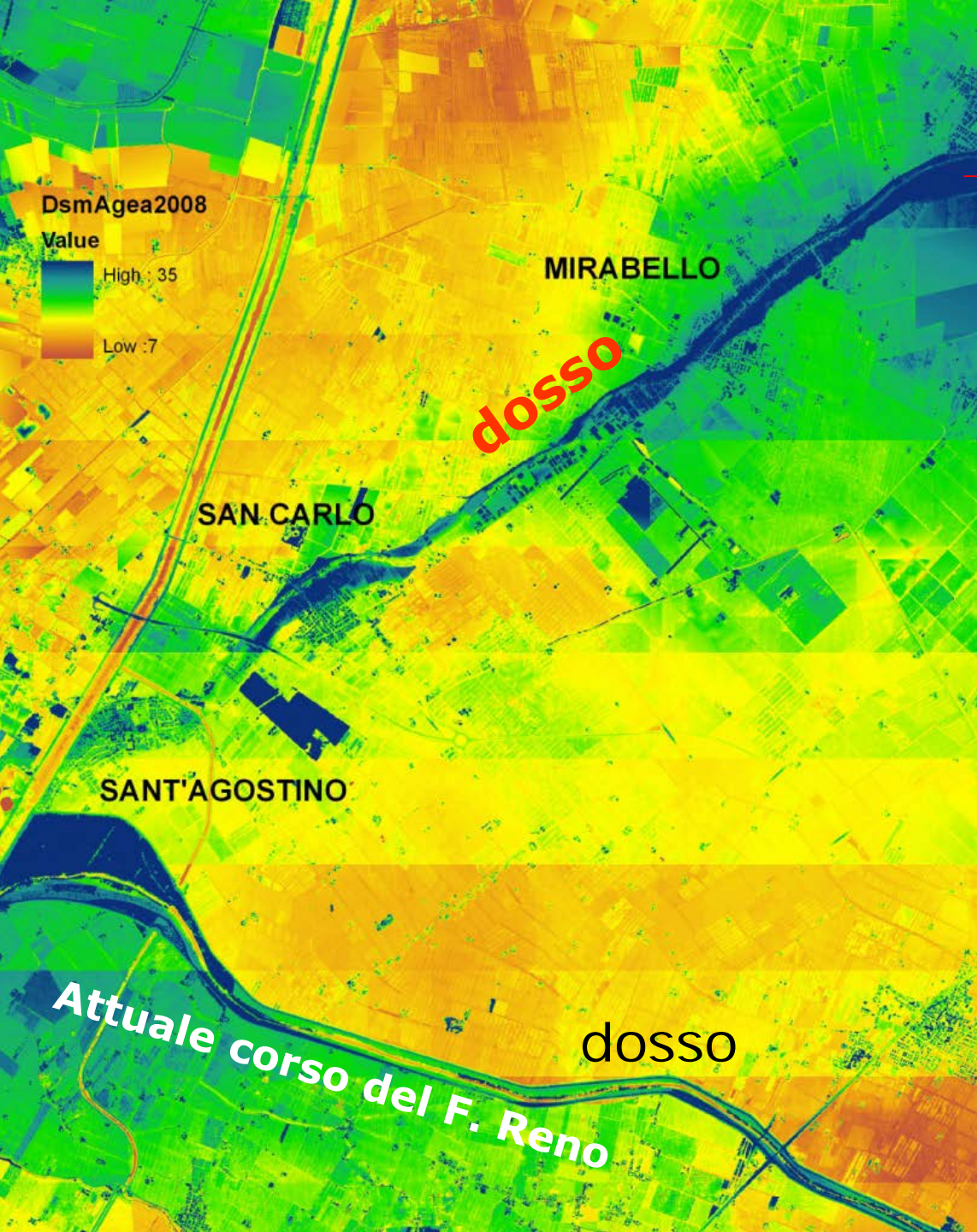


## Fasce critiche (Coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$ )



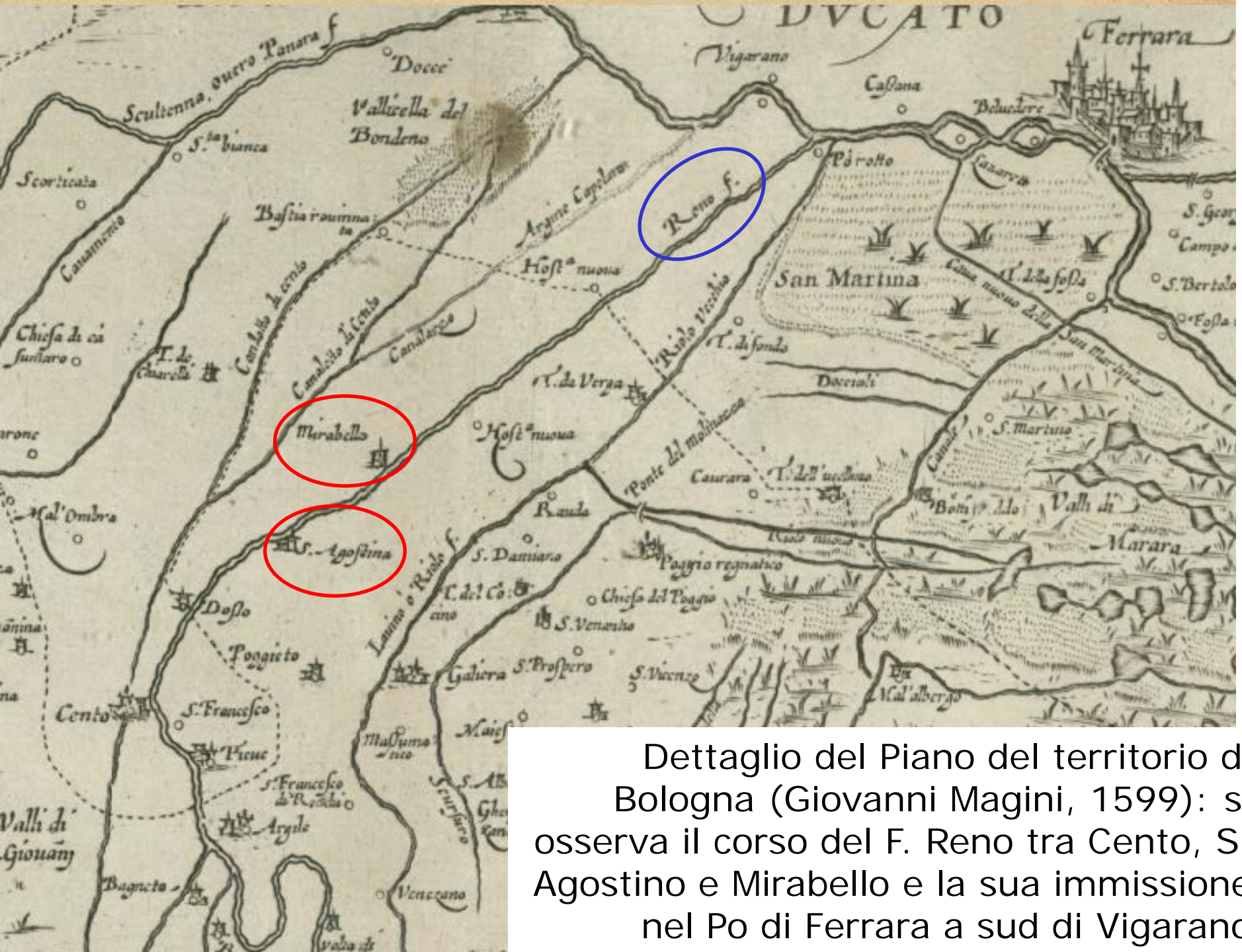
Granulometria di sabbie campionate a S. Agostino (in superficie)

Da rapporto Università di Urbino, coord. Prof. R. Romeo

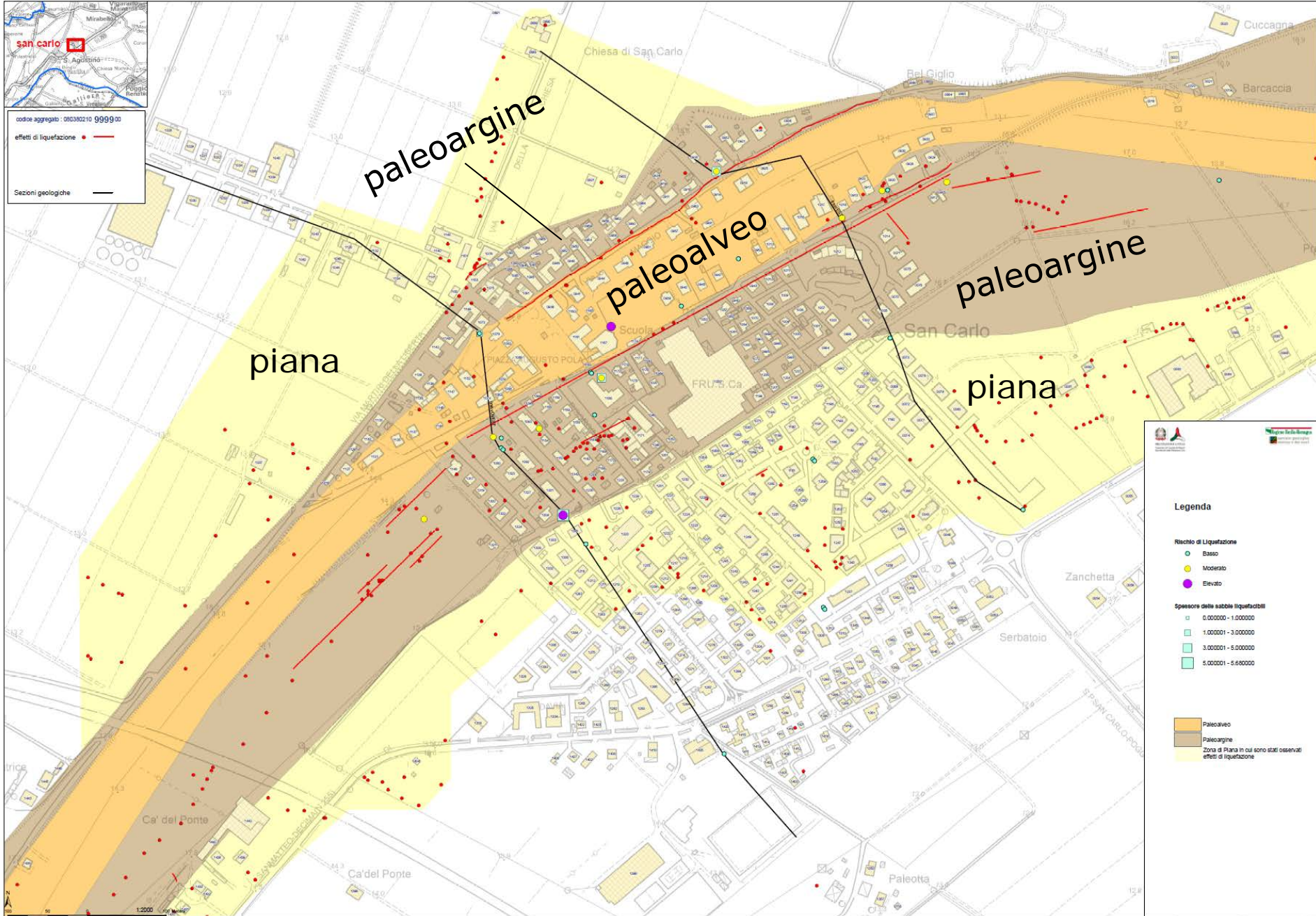


Dosso tra S. Agostino e Vigarano M. attribuibile al canale abbandonato del F. Reno del XV-XVIII secolo

Modello digitale della superficie (DSMAGEO2008)



Dettaglio del Piano del territorio di Bologna (Giovanni Magini, 1599): si osserva il corso del F. Reno tra Cento, S. Agostino e Mirabello e la sua immissione nel Po di Ferrara a sud di Vigarano



mappa geomorfologica di S. Carlo con evidenziati i siti di liquefazione

Per una valutazione approfondita degli effetti di liquefazione e per il ripristino della funzionalità degli edifici, della viabilità e delle reti di servizi temporaneamente inagibili, la Regione e il Dipartimento della Protezione Civile hanno istituito un gruppo di lavoro interdisciplinare costituito da geologi, geotecnici e ingegneri strutturisti della RER, del DPC, della Provincia di Ferrara, delle sezioni di geotecnica dei Dipartimenti di Ingegneria Civile dell'Università di Ferrara e Firenze, di GeoProCiv e della federazione degli ordini degli ingegneri.

Il coordinamento del gruppo di lavoro è stato affidato al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER e all'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del DPC.

Il gruppo di lavoro si è avvalso anche del contributo di istituti del CNR e di altri dipartimenti universitari.

I risultati del gruppo di lavoro sono consultabili nel sito web <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>

S. Carlo



tracce delle sezioni geologiche e  
prove geognostiche utilizzate

cerchio arancione = sondaggio  
quadrato verde = CPT, CPTU  
punto fucsia = dato da DB RER

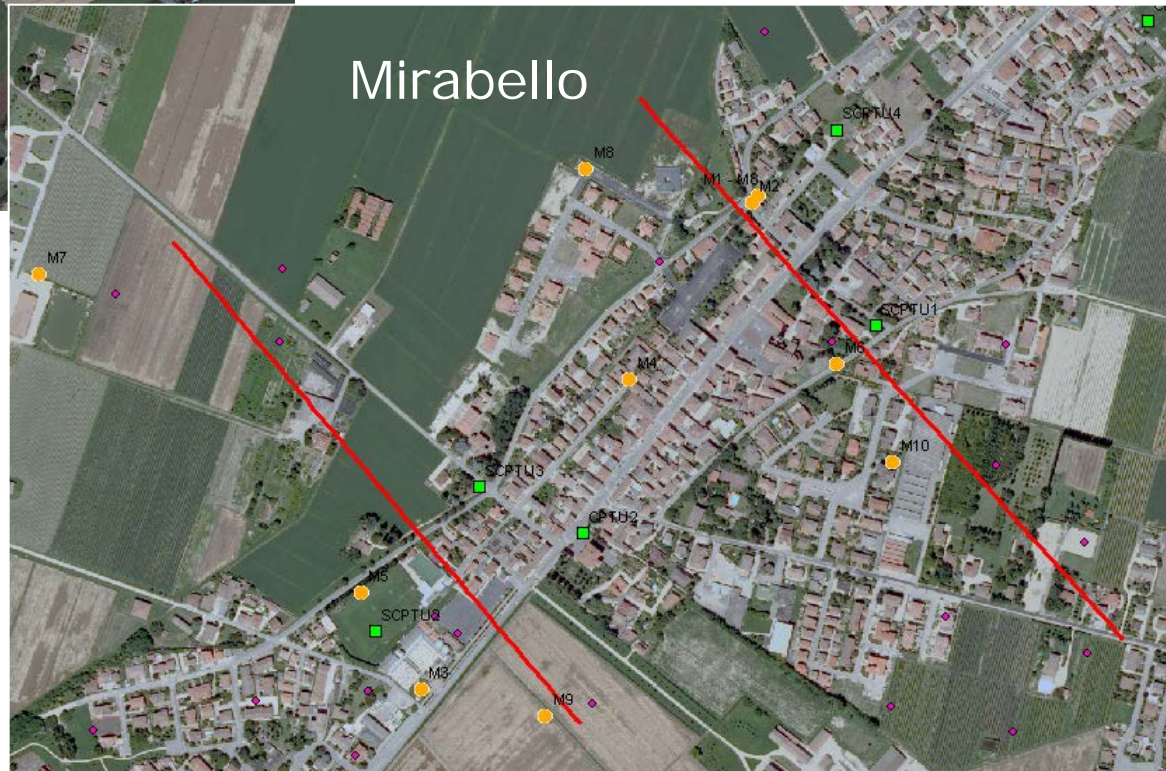
### Indagini utilizzate

nuove: 28 sondaggi (alcuni  
attrezzati per piezometri), 2 DH,  
22 CPTU, 8 SCPTU;

da DB RER: 152 sondaggi/pozzi,  
182 CPT

da CISPADANA: 34 sondaggi, 28  
CPTU, 5 SCPTU

Mirabello



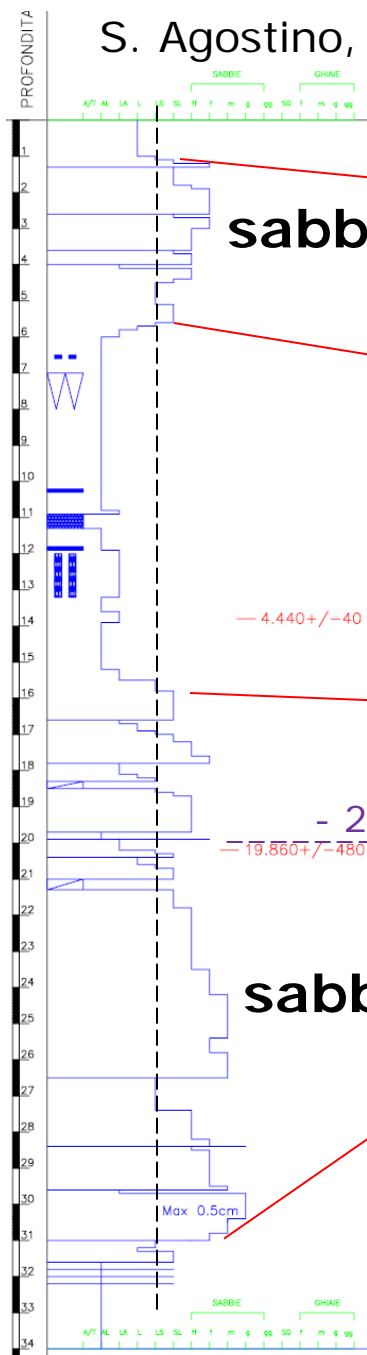


# Stratigrafia dei primi 30 m da p.c.

## S. Carlo, argine

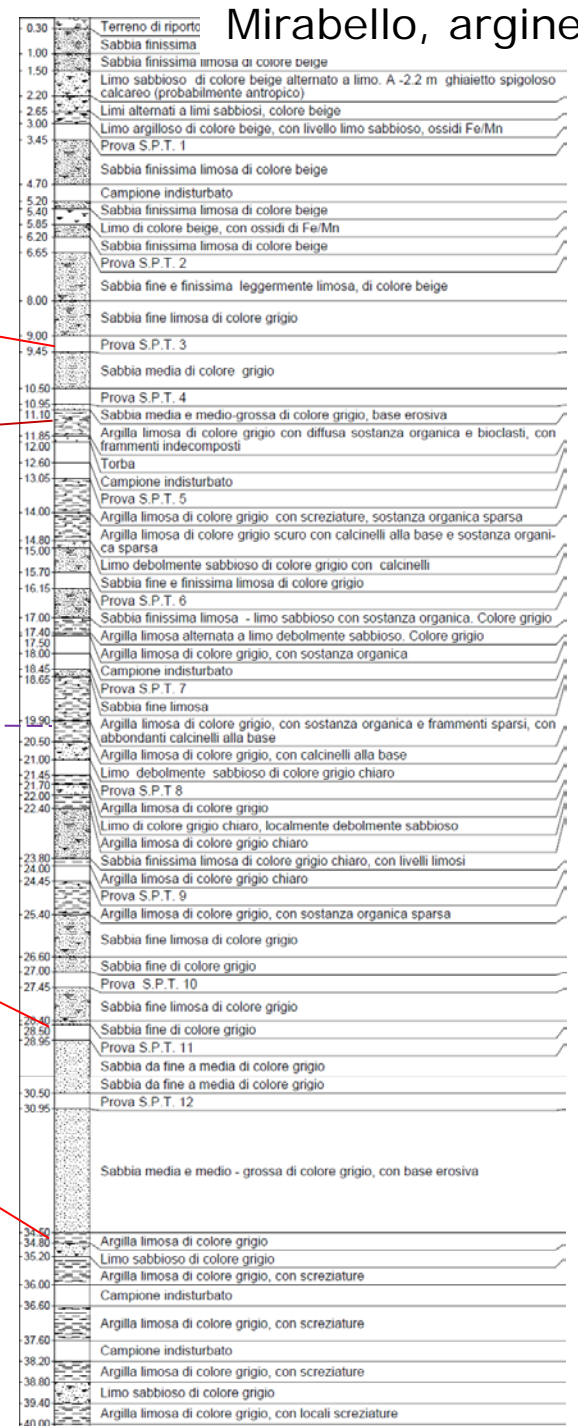
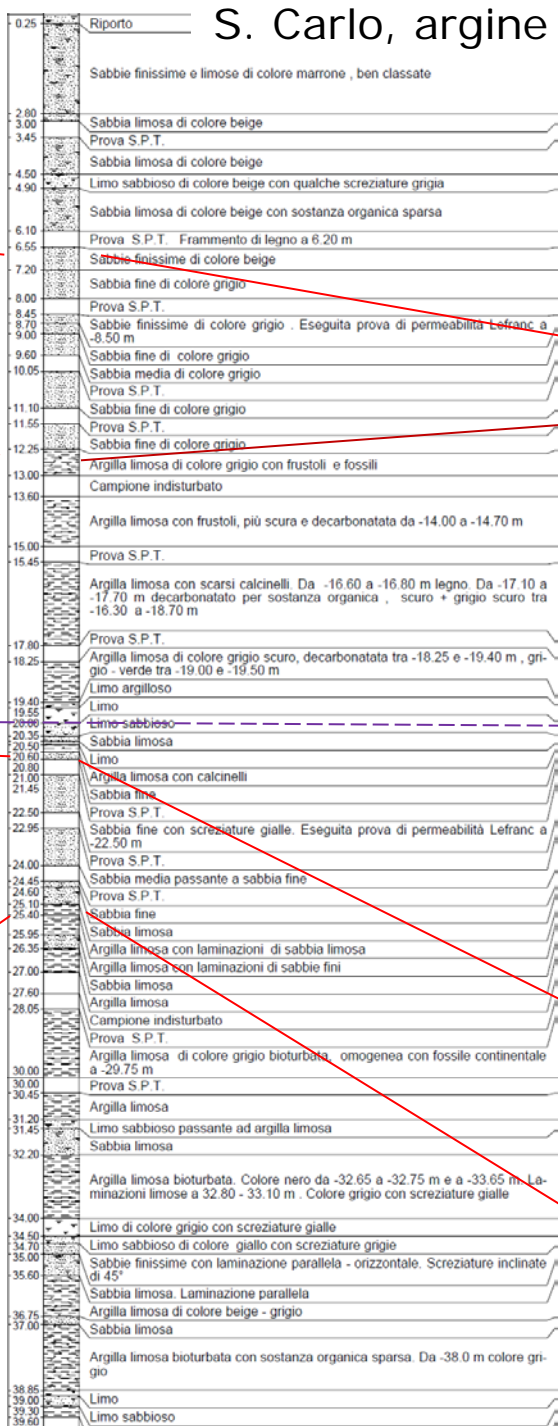
## Mirabello, argine

### S. Agostino, piana



sabbie

sabbie



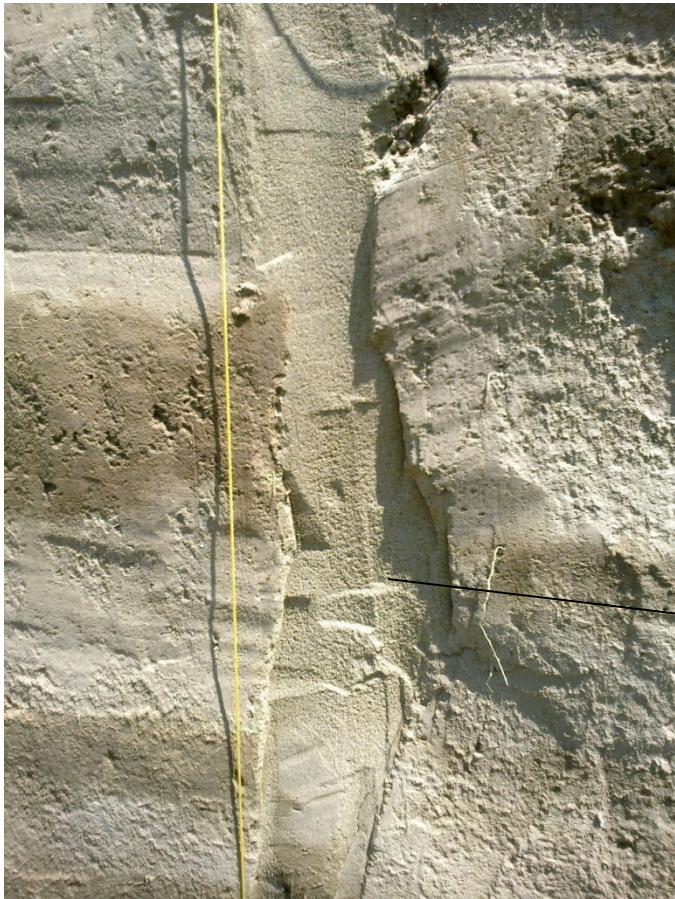
Trincea scavata dal DPC sul paleoargine destro perpendicolarmente alla direzione di fratturazione (loc. S. Carlo NE)



frattura

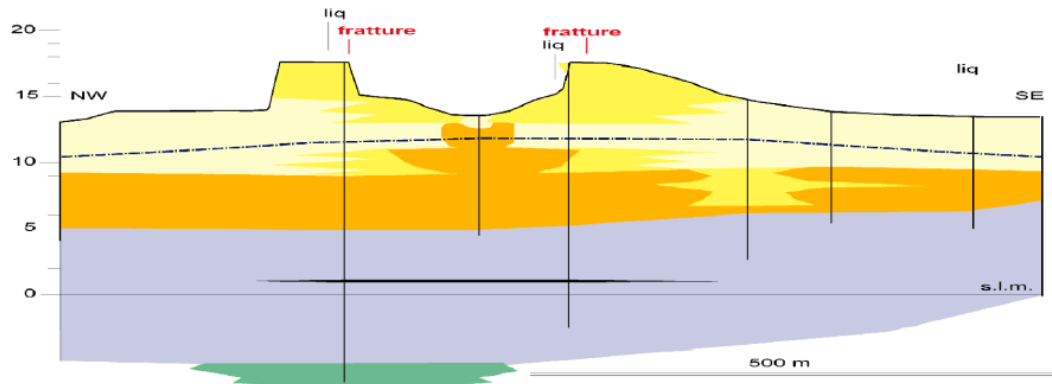
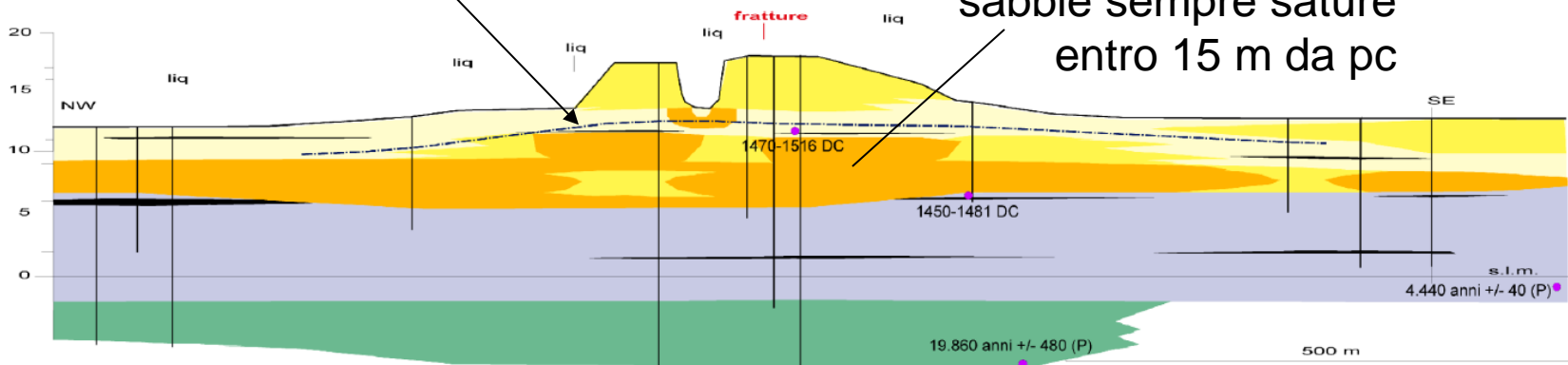


Trincea scavata da UniFE  
(coord. prof. R. Caputo)  
perpendicolarmente  
all'asse del paleoargine  
destro a NE di S. Agostino



risalita di sabbia

livello della falda a fine luglio



- sabbie di canale fluviale e rotta
- sabbie e limi di argine prossimale
- limi, argille e sabbie di argine distale e piana inondabile
- argille limose di "valle"
- torbe
- sabbie di canale fluviale (Pleistocene)
- livello falda (23 luglio 2012)
- datazione c14 (P = proiettato)

Sezioni geologiche di S. Carlo

## Per S. Carlo e Mirabello

Alla luce delle indagini e delle analisi effettuate:

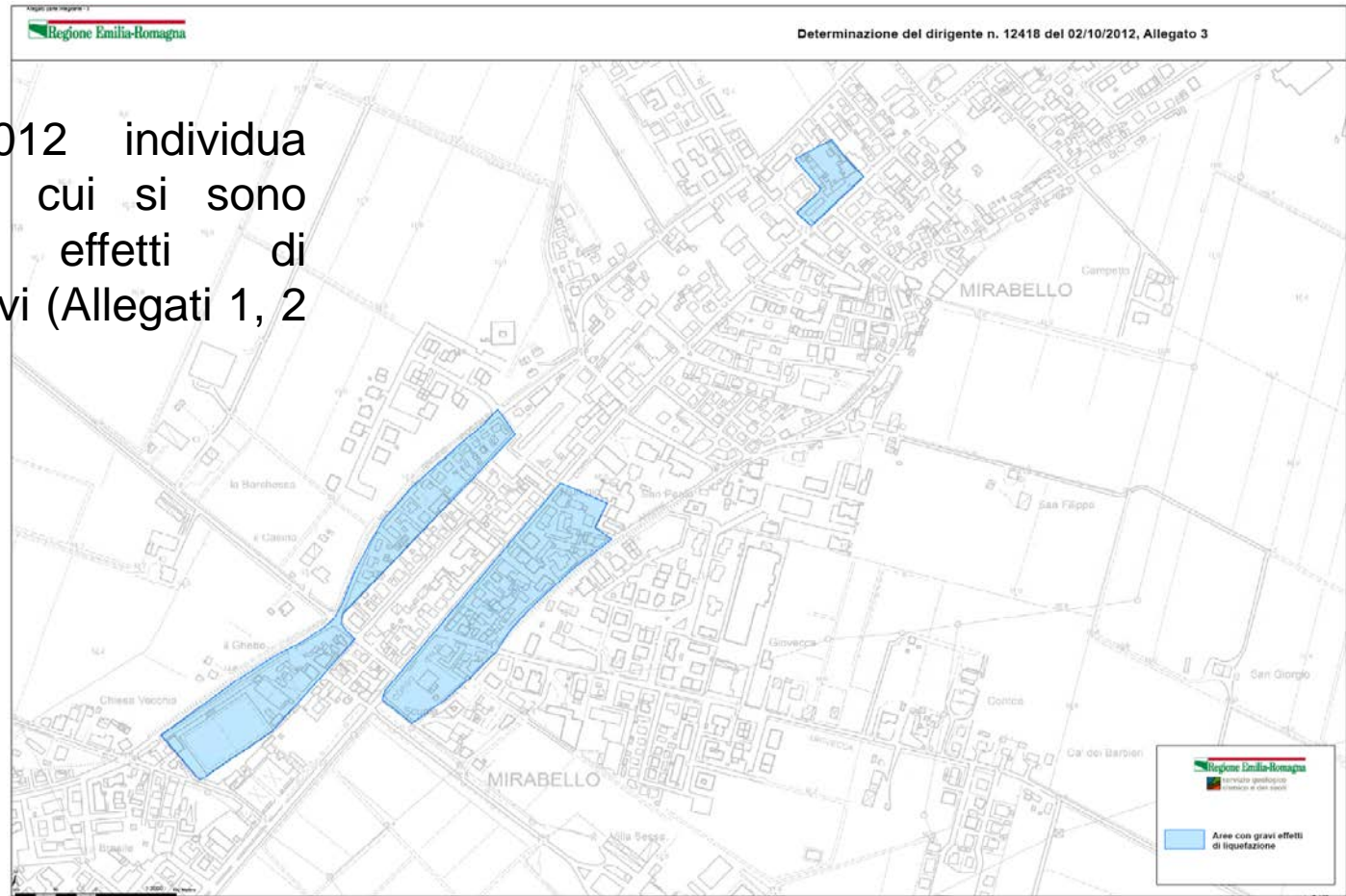
- l'orizzonte che ha subito liquefazione è quello delle sabbie fini e medie *di canale* posto a profondità di circa 5-6 m nella zona di paleoargine e di circa 2-3 m nella zona di piana;
- il rischio che il fenomeno della liquefazione possa prodursi di nuovo a seguito di un sisma di uguale intensità risulta comunque presente;
- si ritiene perciò opportuno adottare interventi di mitigazione del rischio di liquefazione, almeno nelle aree con maggiore suscettibilità alla liquefazione e per edifici di interesse strategico.

Occorre sottolineare che qualunque intervento di miglioramento dovrà:

- incrementare la resistenza ciclica dei materiali trattati di una quantità almeno sufficiente a evitare il ripetersi del fenomeno in caso di un sisma di entità paragonabile a quelli del 20 e 29 maggio 2012,
- avere un basso impatto ambientale e risultare il meno invasivo possibile per le aree edificate (soprattutto non aumentare la risposta sismica locale),
- non alterare (se non localmente in corrispondenza degli edifici) il regime delle acque interstiziali di falda e il loro chimismo,
- avere caratteristiche stabili e permanenti nel tempo.

Sono state perciò definite, da un gdl RER-AGI, linee guida per gli interventi di consolidamento per i centri abitati di S. Carlo e Mirabello (v. Determina Dirigente 12418/2012, Allegato 4); tali linee guida indicano i tipi di interventi ritenuti più opportuni in base alle caratteristiche stratigrafiche e idrogeologiche locali, agli effetti e ai danni osservati e alla tipologia e importanza delle costruzioni.

La DD 12418/2012 individua anche le aree in cui si sono manifestati gli effetti di liquefazione più gravi (Allegati 1, 2 e 3)



Le ordinanze commissariali n. 51/2012 e n. 86/2012 prevedono anche contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione di edifici con esito E, con danni da liquefazione (aree ad elevato rischio di liquefazione). Il costo previsto per la riparazione e miglioramento di edifici con esito E può essere aumentato:

- del 15% per edifici ricompresi nelle aree dei centri abitati di San Carlo, frazione di Sant'Agostino (FE), e di Mirabello (FE), perimetrata dalla Regione con determinazione del dirigente n. 12418 del 2/10/2012. A tal fine il tecnico incaricato della progettazione sottopone il progetto di consolidamento del terreno di fondazione (secondo le indicazioni della suddetta DD 12418/2012) alla preventiva approvazione del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale che si esprime nei successivi 45 giorni dalla ricezione del progetto;

- fino al 15% nel caso di edifici collocati su terreni interessati da fenomeni di liquefazione ubicati in aree diverse da quelle sopra indicate. A tal fine il tecnico incaricato della progettazione, dovrà documentare l'elevato rischio di liquefazione mediante le procedure indicate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) e dagli indirizzi regionali per la microzonazione sismica (deliberazione di Assemblea Legislativa n. 112/2007). La proposta di incremento del costo convenzionale, corredata dalle relazioni geologica e geotecnica e dal progetto di consolidamento (secondo le indicazioni della DD 12418/2012), deve essere approvata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER che disporrà l'entità dell'incremento nei successivi 45 giorni dalla ricezione della proposta.

Limiti e/o controindicazioni legati a diversi fattori:

- caratteristiche granulometriche e permeabilità dei terreni
- profilo stratigrafico
- profondità e spessori degli strati liquefacibili
- grado di miglioramento da ottenere
- accessibilità alle zone di sottosuolo da trattare
- ingombro delle apparecchiature
- vibrazioni indotte in fase di lavorazione
- costo dell'intervento



# **TECNICHE DI INTERVENTO SULL'ESISTENTE**

## **TRATTAMENTI "ATTIVI"**

interventi che migliorano le proprietà meccaniche dei terreni mediante azioni dirette di *addensamento* o *cementazione*

le metodiche di intervento di tipo "attivo" sono più onerose e quindi mirate principalmente al miglioramento dei terreni di fondazioni di edifici pubblici e strategici, o di edifici di particolare pregio storico/architettonico, ma poco estendibili ad aree vaste

## **TRATTAMENTI DI TIPO "PASSIVO"**

interventi che non alterano le condizioni attuali dei terreni ma intervengono in maniera passiva in caso di evento sismico, *riducendo il generarsi della sovrappressione dell'acqua o favorendo la dissipazione*

le metodiche di intervento di tipo "passivo" sono meno costose e quindi adatte a trattare aree estese o i terreni di fondazioni di edifici non strategici

# TECNICHE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Categoria	Metodo di mitigazione	Note
1. Scavi e/o compattazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Scavi ed eliminazione terreno liquefacibile</li> <li>b. Scavi e ricompattazione</li> <li>c. Compattazione (per nuovi riempimenti)</li> </ul>	
2. Densificazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Compattazione con vibrazione (e.g. vibroflottazione)</li> <li>b. Consolidazione dinamica ( Heavy tamping)</li> <li>c. <b>Compaction piles (save compozer)</b></li> <li>d. Densificazione profonda</li> <li>e. Compaction grouting</li> </ul>	Edifici nuova costruzione in campo aperto
3. Trattamento del terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <b>Permeation grouting</b></li> <li>b. <b>Jet grouting</b></li> <li>c. <b>Deep mixing</b></li> <li>d. <b>Dreni</b></li> <li>e. Precarico</li> <li>f. <b>Desaturazione</b></li> </ul>	Edifici esistenti Edifici nuova costruzione in campo aperto Edifici esistenti e nuovi  Edifici esistenti e vaste aree
4. Opere di contenimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Strutture e/o strutture in terra di contenimento laterale per prevenire lateral spreading</li> </ul>	
5. Fondazioni profonde	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <b>Pali</b></li> <li>b. Pozzi</li> </ul>	Micropali di sottofondazione
6. Fondazioni superficiali rinforzate	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <b>Travi</b></li> <li>b. <b>Graticci rinforzati</b></li> <li>c. <b>Platee rigide</b></li> </ul>	Sottofondazioni superficiali

# **Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici**



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Gruppo di Lavoro dell'AGI per gli Edifici Industriali

Michele Maugeri (Coordinatore), Glenda Abate, Stefano Aversa, Daniela Boldini, Francesca Dezi, Vincenzo Fioravante, Alessandro Ghinelli, Daniela Giretti, Maria Rossella Massimino (segretario), Filippo Santucci de Magistris, Stefania Sica, Francesco Silvestri, Giovanni Vannucchi

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/notizie/notizie-2013/linee-di-indirizzo-per-interventi-su-edifici-industriali-monopiano-colpiti-dal-terremoto-emiliano-2012>

**microzonazione sismica dei  
comuni emiliani colpiti dai  
terremoti del 20 e 29 maggio 2012**

Considerata la suscettibilità dei territori colpiti dagli eventi sismici di maggio 2012 all'amplificazione del moto sismico e alla liquefazione, si è ritenuto necessario effettuare una suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto (risposta sismica locale), cioè una microzonazione sismica, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, e distinguendo le zone suscettibili di amplificazione del moto sismico e quelle soggette a liquefazione.

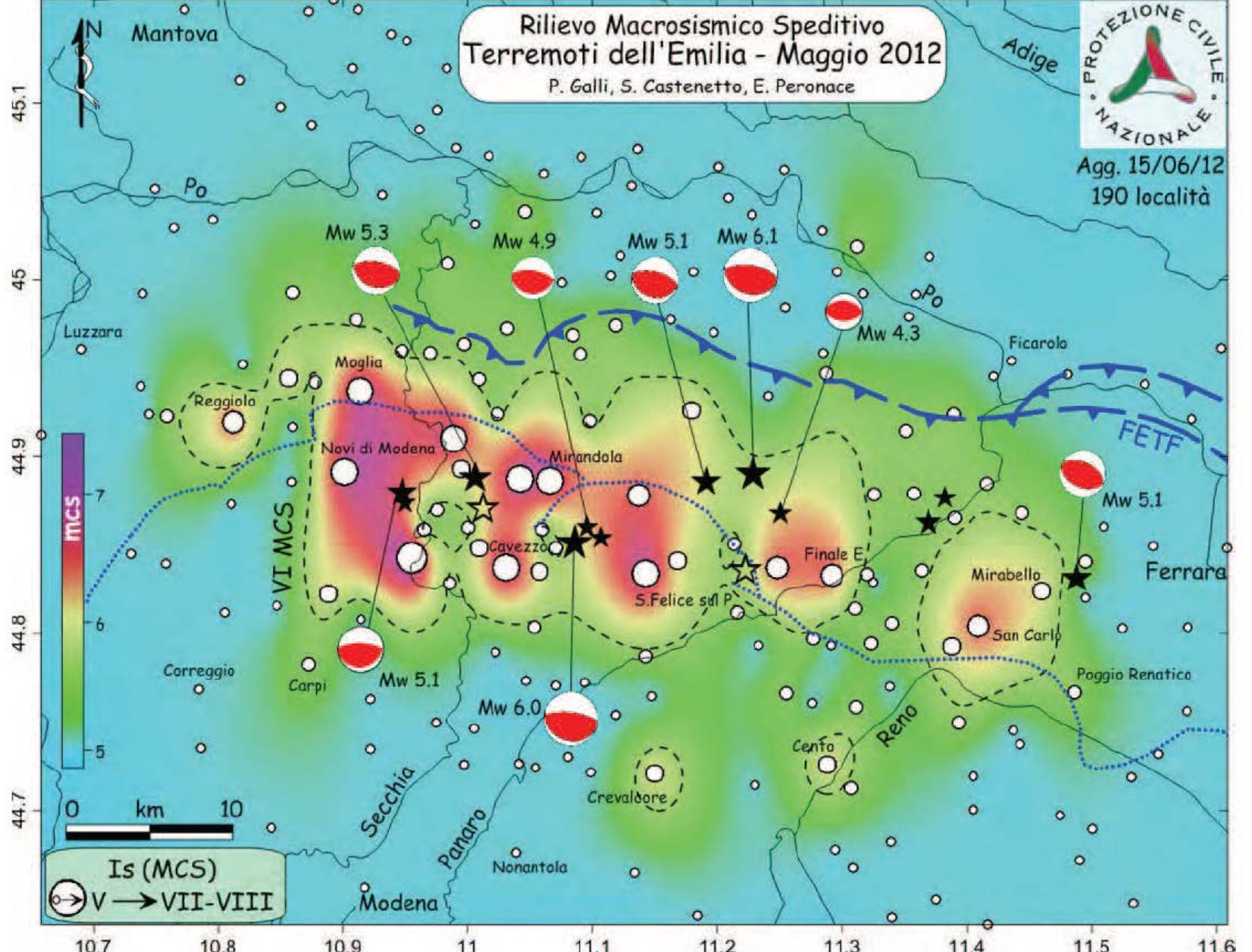
Il Commissario delegato-Presidente della Regione ha stabilito, con l'Ordinanza n. 70, l'esecuzione della microzonazione sismica nei territori più colpiti dai terremoti del 20 e 29 maggio 2012, vale a dire quelli in cui sono stati osservati diffusi effetti di intensità macrosismica superiori o uguali a 6 (rapporto DPC: Galli et al., 2012).

# Rilievo Macrosismico Speditivo Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012

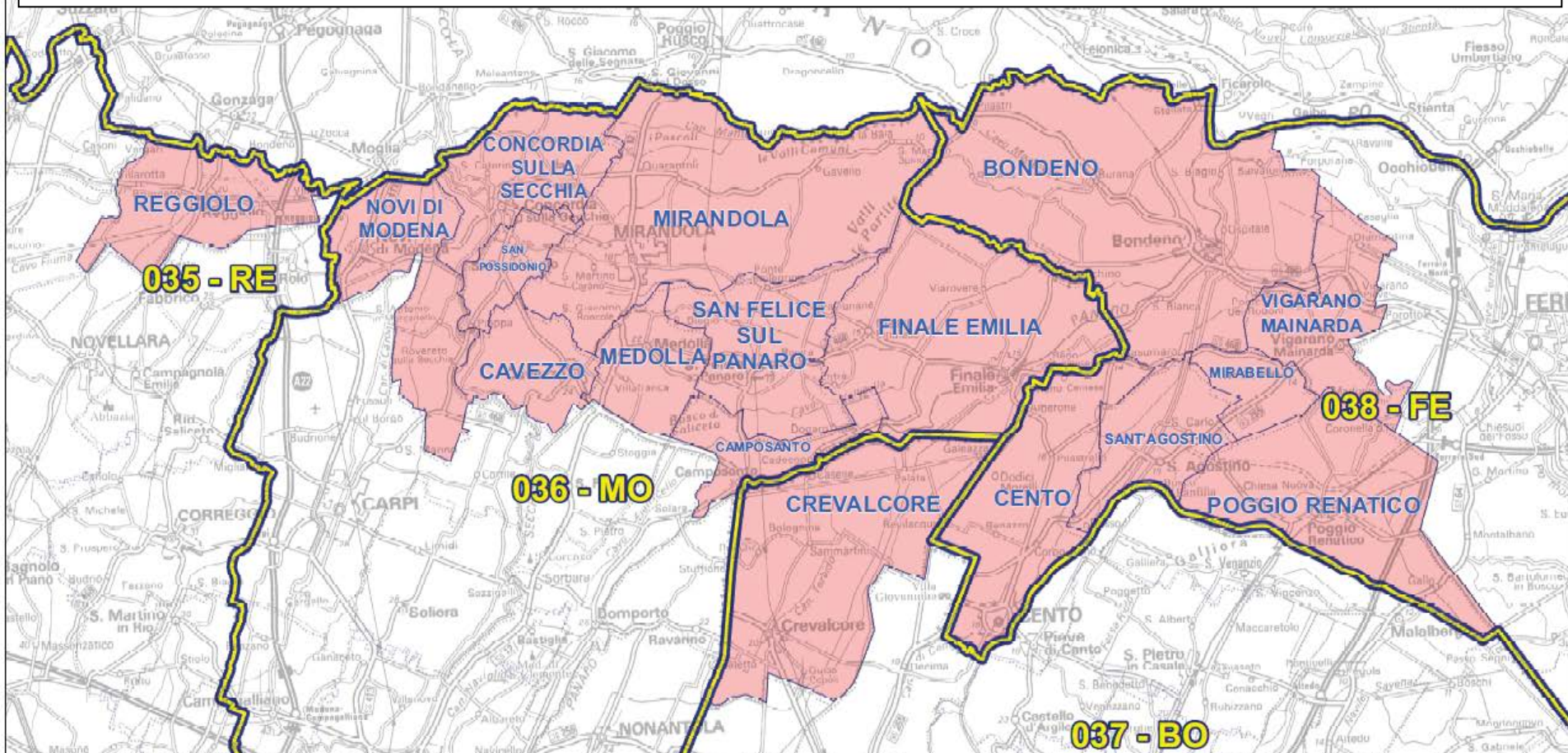
P. Galli, S. Castenetto, E. Peronace



Agg. 15/06/12  
190 località

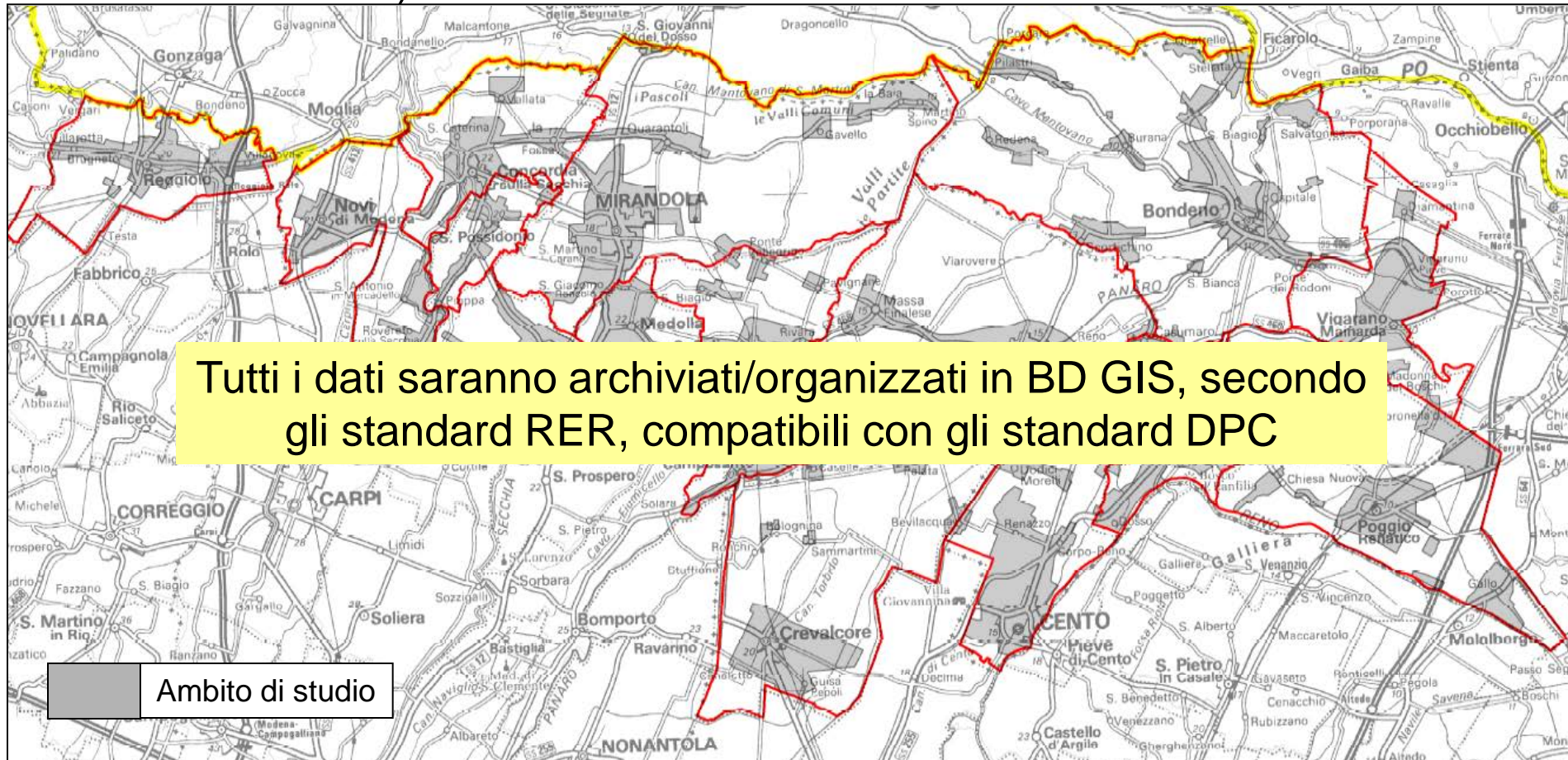


In alcuni Comuni sono già disponibili analisi di pericolosità sismica locale (livello 1) e studi di MS (livello 2); questi studi sono stati la base per la programmazione delle indagini e costituiscono documenti essenziali per le nuove mappe di MS.



Altri studi di MS, nei comuni limitrofi, sono stati realizzati, sono in corso e saranno realizzati grazie ai contributi art. 11 della L. 77/2009 (OPCM 3907/2010, OPCM 4007/2012 e OCDPC 52/2013).

La MS sarà effettuata nei centri abitati (capoluogo e frazioni), nelle aree di ricostruzione e in quelle d'interesse per future urbanizzazioni (indicate da Province e Comuni).



Obiettivi:

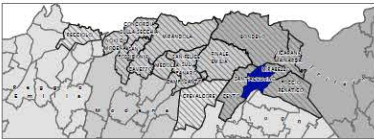
- MS livello 2 (carte di:  $FA_{PGA}$ ,  $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,5-1s}$ )
- analisi delle Condizioni Limite per l'Emergenza (CLE);
- stima del rischio di liquefazione (MS livello 3) laddove sono presenti le condizioni predisponenti.



**MICROZONAZIONE SISMICA**  
 Carta delle microzone omogenee  
 in prospettiva sismica

scala 1 : 10.000  
 Versione 1.0 - 20/10/2012

Comune di Sant'Agostino (FE)



**RESPONSABILI DI PROGETTO**  
 Raffaele Pignatelli - Responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli  
 Roberto Cabrali - Responsabile del Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio

**COORDINATORE SCIENTIFICO**  
 Servizio geologico sismico e dei suoli  
 Ambito di studio: Microzonazione sismica  
 Locus Moduli - Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

**AMBITO DI STUDIO**  
 Maria Teresa - Regione Emilia Romagna, Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio  
 Antonella Mascanti - Provincia di Modena, Servizio Pianificazione Urbanistica e Catastrofe  
 Elaborazione cartografica  
 Corrado Ugolini e Stefano Mengoli - Provincia di Modena, Servizio Pianificazione Urbanistica e Catastrofe  
 Giulio Scudari - Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

**SOFTWARE**  
 Sistema informativo Territoriale  
 Provincia di Modena

**Legenda**

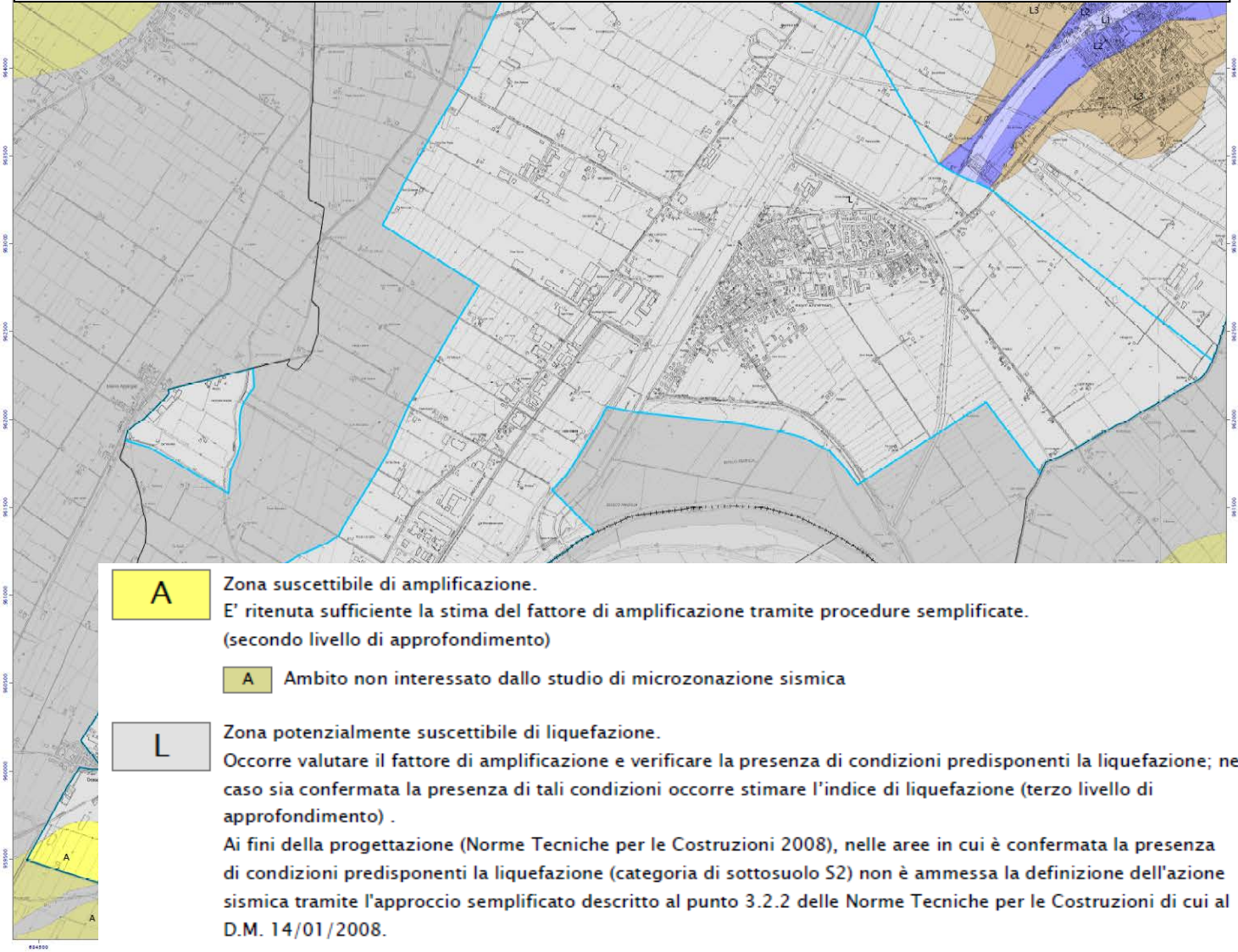
- A** Zona suscettibile di amplificazione.  
 E' ritenuta sufficiente la stima del fattore di amplificazione tramite procedure semplificate.  
 (secondo livello di approfondimento)  
 [A] Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  - L** Zona potenzialmente suscettibile di liquefazione.  
 Occorre valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione; nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni occorre stimare l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento).  
 Ai fini della progettazione (Norma Tecnica per le Costruzioni 2008), nelle aree in cui è confermata la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 della Norma Tecnica per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
 [L] Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  - L1** Zona con terreni liquefiscibili - Paleovalle.  
 Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento).  
 Ai fini della progettazione (Norma Tecnica per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 della Norma Tecnica per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
 [L1] Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  - L2** Zona con terreni liquefiscibili - Paleovisura.  
 Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento).  
 Ai fini della progettazione (Norma Tecnica per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 della Norma Tecnica per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
 [L2] Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  - L3** Zona con terreni liquefiscibili - Piana.  
 Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento).  
 Ai fini della progettazione (Norma Tecnica per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 della Norma Tecnica per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
 [L3] Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
- [ ] Ambito interessato dallo studio di microzonazione sismica

**Limiti amministrativi**  
 --- Limiti di Regione    --- Limiti di Provincia    --- Limiti di Comune

Fonte dei dati:  
 Elavori degli uffici di Liquefazione di CasPrCo, 378 Affluenti Po, 379 Reno.  
 Carta geologica di pianura della Regione Emilia Romagna (1992).  
 Documenti di analisi di pericolosità sismica (Prima Livello) del PCP della Provincia di Reggio Emilia, Modena, Ferrara e Bologna  
 e del PCP del Comune di Civitavecchia (SC) del Comune di Mirandola (MO) e dell'Unione dei Comuni dell'Alto Ferrarese.  
 Ambito di studio individuato sulla base degli Elementi Urbanistici generali del Comune.  
 Base topografica: Carta Tecnica Regionale edizione 2011, dai contenuti del Database Topografico Regionale 2008  
 Aggiornamenti: 2010 - 2011 - Periodo di riferimento: 1978 - 2008

# Già prima della fine del 2012 sono state rese disponibili mappe di livello 1 basate sui dati pregressi:

romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro/mappe-delle-microzone-omogenee-in-prospettiva-sismica-dei-17-comuni-con-imcs-2265-6



**A** Zona suscettibile di amplificazione.  
 E' ritenuta sufficiente la stima del fattore di amplificazione tramite procedure semplificate.  
 (secondo livello di approfondimento)

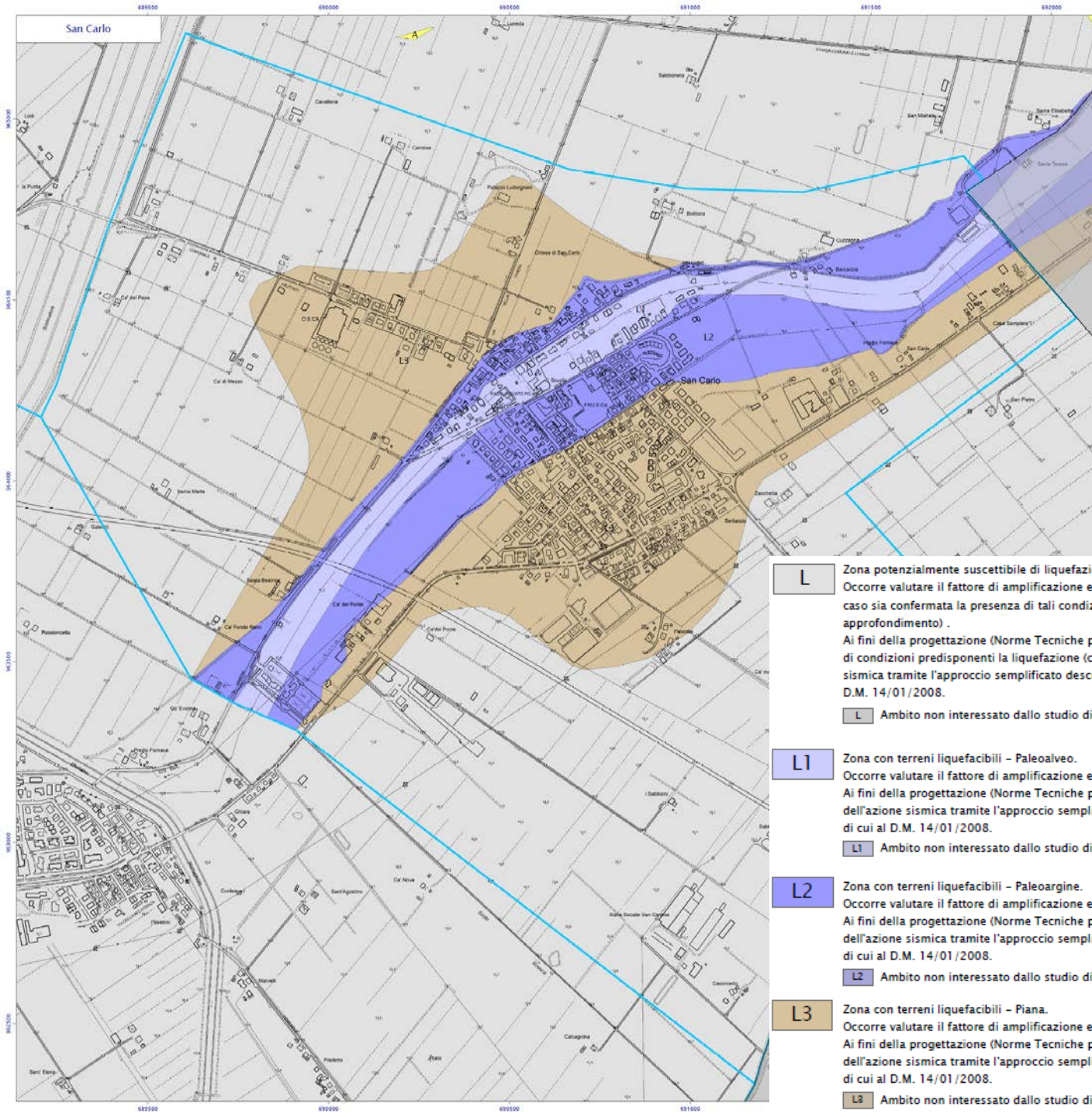
**A** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica

**L** Zona potenzialmente suscettibile di liquefazione.  
 Occorre valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione; nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni occorre stimare l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento) .  
 Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), nelle aree in cui è confermata la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

**L** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica

# Mappa liv. 1. S. Carlo

## Risultato dell'attività del gdl "Liquefazione"



- L** Zona potenzialmente suscettibile di liquefazione.  
Occorre valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione; nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni occorre stimare l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento) .  
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), nelle aree in cui è confermata la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
**L** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  
- L1** Zona con terreni liquefacibili - Paleoalveo.  
Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento) .  
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
**L1** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  
- L2** Zona con terreni liquefacibili - Paleoargine.  
Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento) .  
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
**L2** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica
  
- L3** Zona con terreni liquefacibili - Piana.  
Occorre valutare il fattore di amplificazione e l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento) .  
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in tali aree non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.  
**L3** Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica

**Per esigenze di tempo le verifiche del rischio di liquefazione nei 17 comuni oggetto della MS ord. 70/2012 sono state suddivise in 4 gruppi di lavoro.**

**Per assicurare risultati omogenei su tutto il territorio indagato, i 4 gdl operano in maniera coordinata.**

Parametri di base:

$a_{\max}$  risultante da MS ( $a_{\text{ref}} \times F_{A_{\text{PGA}}}$ )

$M_W = 6.14$  (da ZS9)

Tetto falda acquifera (da dati ARPA, SGSS e Comuni):

- 3 m da pc in corrispondenza dei rilevati (paleoargini)
- 1 m da pc nelle aree di piana

**I gdl hanno testato le procedure di verifica speditiva del rischio liquefazione note (v. letteratura scientifica); sono stati individuati i metodi che meglio si accordano con i fenomeni osservati (Idriss & Boulanger, 2008; AGI, 2005).**

**Sono già in corso le verifiche del rischio liquefazione in corrispondenza delle verticali di indagine (CPT, CPTE, CPTU) pregresse.**

## 5. Come si valuta il rischio di liquefazione

### Metodi semplificati

## Rischio di liquefazione in corrispondenza di una verticale

Una volta valutato il fattore di sicurezza FSL nei confronti della liquefazione a varie profondità lungo una verticale è opportuno introdurre un indice sintetico per quantificare il rischio di liquefazione in corrispondenza dell'intera verticale

A tale scopo viene di norma utilizzato un:

Indice del potenziale di liquefazione  $P_L$  (Iwasaki, 1978) :

$$P_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove :

$F(z)=0$  per  $FSL > 1$  ;  $F(z) = 1 - FSL$  per  $FSL < 1$

$w(z) = 10 - 10 \cdot (z/z_{crit})$  ;

$z_{crit}$  = profondità oltre la quale possono escludersi fenomeni di liquefazione (20m)

**Indice del potenziale di liquefazione e livello di rischio associato**

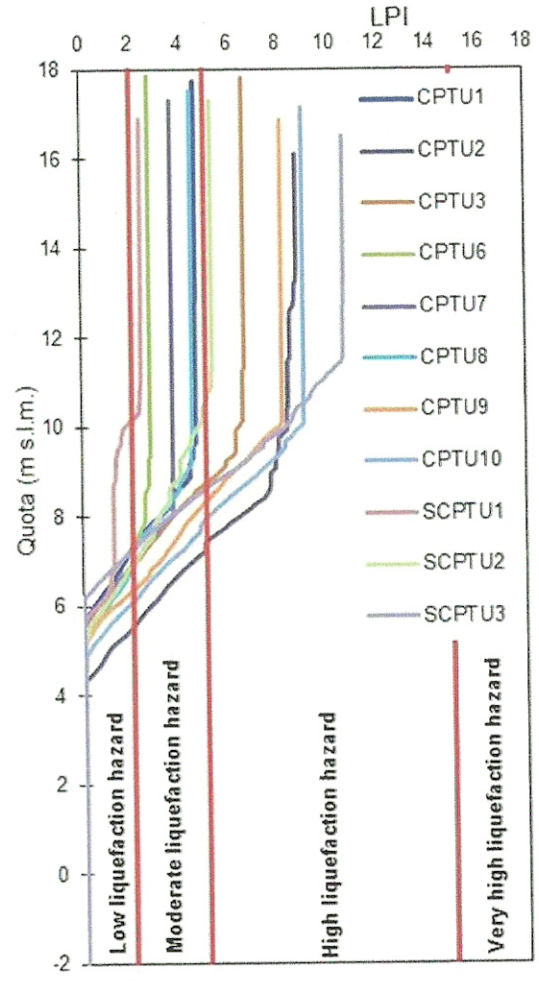
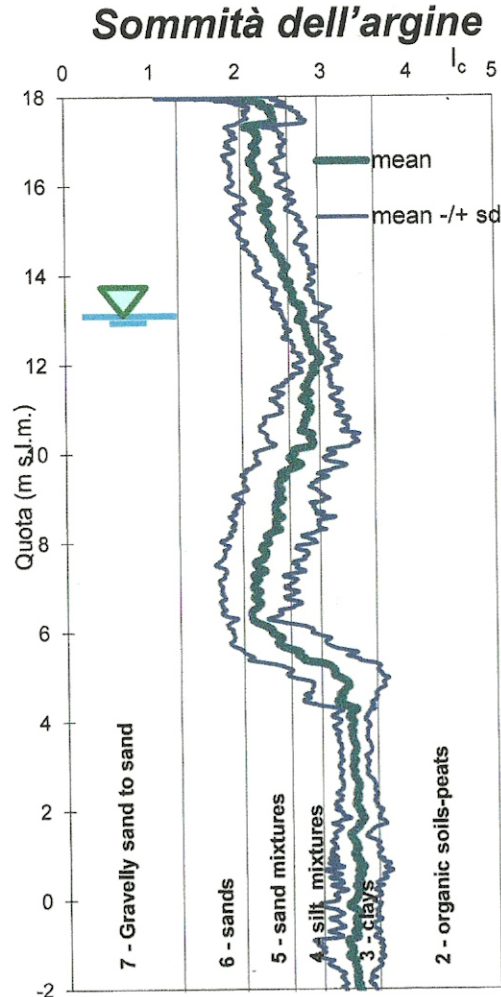
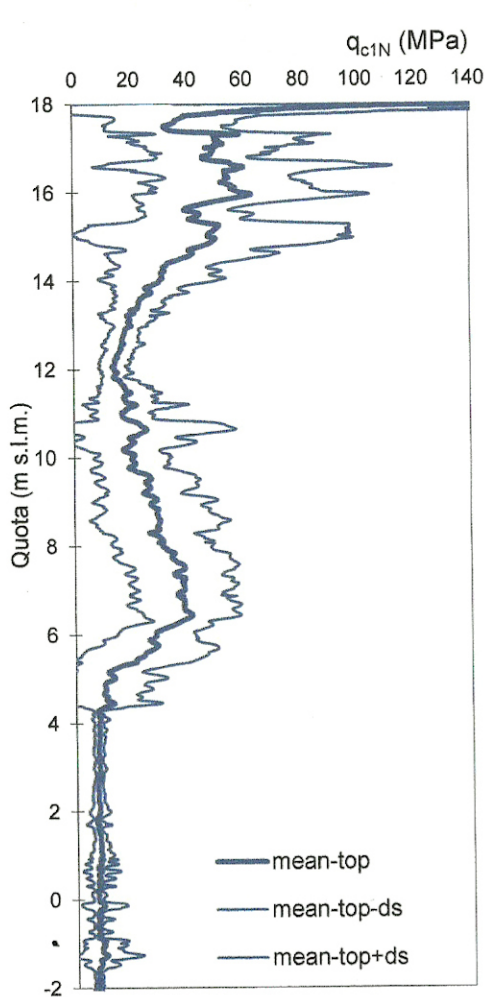
$P_L$	Rischio
0	nullo
$0 < P_L \leq 2$	basso
$2 < P_L \leq 5$	moderato
$5 < P_L \leq 15$	alto
$P_L > 15$	molto alto



# 1. Calcolo del rischio di liquefazione (metodo "NCEER")

LPI atteso

[PGA = 0.228 g; M = 6.14; MSF = 1.8]



# Grazie dell'attenzione



Ferrara, 1570



Argenta, 1624



San Francesco Solano, dettaglio  
(Cento, 1a metà XVIII sec.)

San  
Francesco  
Solano  
protettore dai  
terremoti,  
Mirandola  
XVIII sec.

