

Sis eW

Duemila
Dodici

X Anniversario

**Le conoscenze geologiche
10 anni dopo**

Venerdì 27 maggio 2022

Bologna | viale della Fiera, 8

Terza Torre | Sala 20 maggio 2012

Database geologico e geotecnico dei siti di liquefazione della sequenza sismica del 2012

Luca Minarelli¹

Sara Amoroso^{1,2}

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

²Università degli Studi «G. d'Annunzio» Chieti-Pescara

Database liquefazioni

Collaborazione scientifica

- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Regione Emilia-Romagna
- Università degli Studi «G. d'Annunzio» Chieti-Pescara
- Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
- Università degli Studi di Ferrara
- Brigham Young University
- Istituto di Scienze Marine CNR

- Open Access
- Supplementary material



Bulletin of Earthquake Engineering
<https://doi.org/10.1007/s10518-022-01338-7>

ORIGINAL ARTICLE



Liquefied sites of the 2012 Emilia earthquake: a comprehensive database of the geological and geotechnical features (Quaternary alluvial Po plain, Italy)

L. Minarelli¹ · S. Amoroso^{1,2} · R. Civico³ · P. M. De Martini³ · S. Lugli⁴ · L. Martelli⁵ · F. Molisso⁶ · K. M. Rollins⁷ · A. Salocchi⁴ · M. Stefani⁸ · G. Cultrera³ · G. Milana³ · D. Fontana⁴

Received: 6 May 2021 / Accepted: 22 January 2022
© The Author(s) 2022

Abstract

This paper presents a comprehensive geological and geotechnical study of the whole area affected by liquefaction following the 2012 Emilia earthquakes, including all the available information from the field reconnaissance surveys, in situ tests, and laboratory analyses. The compilation was performed at 120 liquefied sites to verify and validate the reliability of liquefaction charts in alluvial sediments, and to assess liquefaction induced by the 2012 seismic sequence in the Emilia plain. The results reveal a wide range of grain sizes (from clean sands to sandy silts) and compositional characteristics (quartz-rich to litharenitic) in the 2012 ejecta, and show a strong relationship between the liquefaction and stratigraphic architecture of the subsurface. The availability of in situ tests at the liquefied sites makes it possible to verify and validate the reliability of the liquefaction charts in alluvial sediments with respect to the real observations. For the analyzed Emilia case studies, the use of non-liquefiable crust provides better estimations of the liquefaction manifestations when coupled with the thickness of the liquefiable layer rather than with the liquefaction potential index. Altogether, this work makes available to the international scientific community a consistent liquefaction database for in-depth earthquake studies.

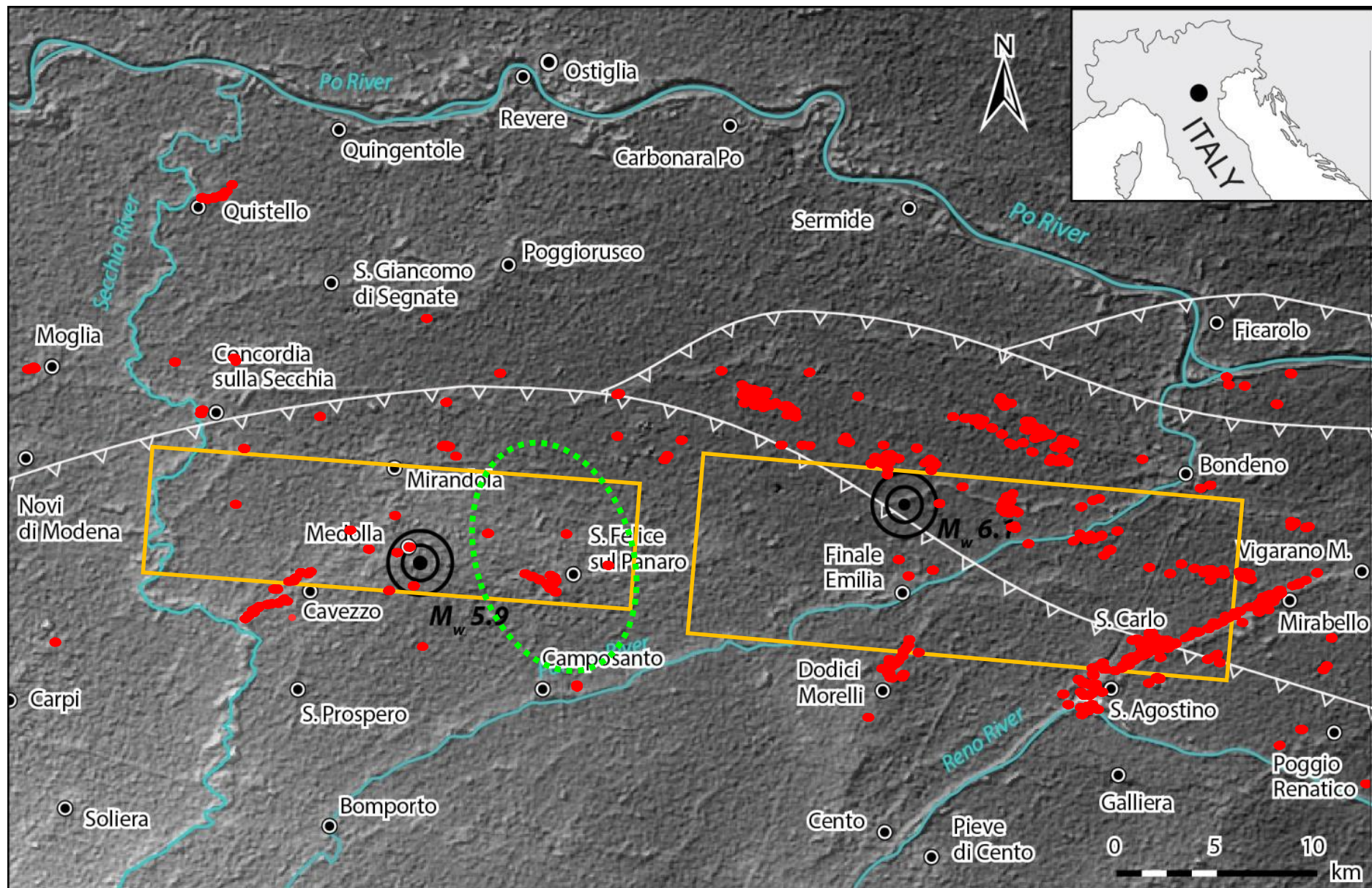
Sequenza sismica 2012

Geometria faglia

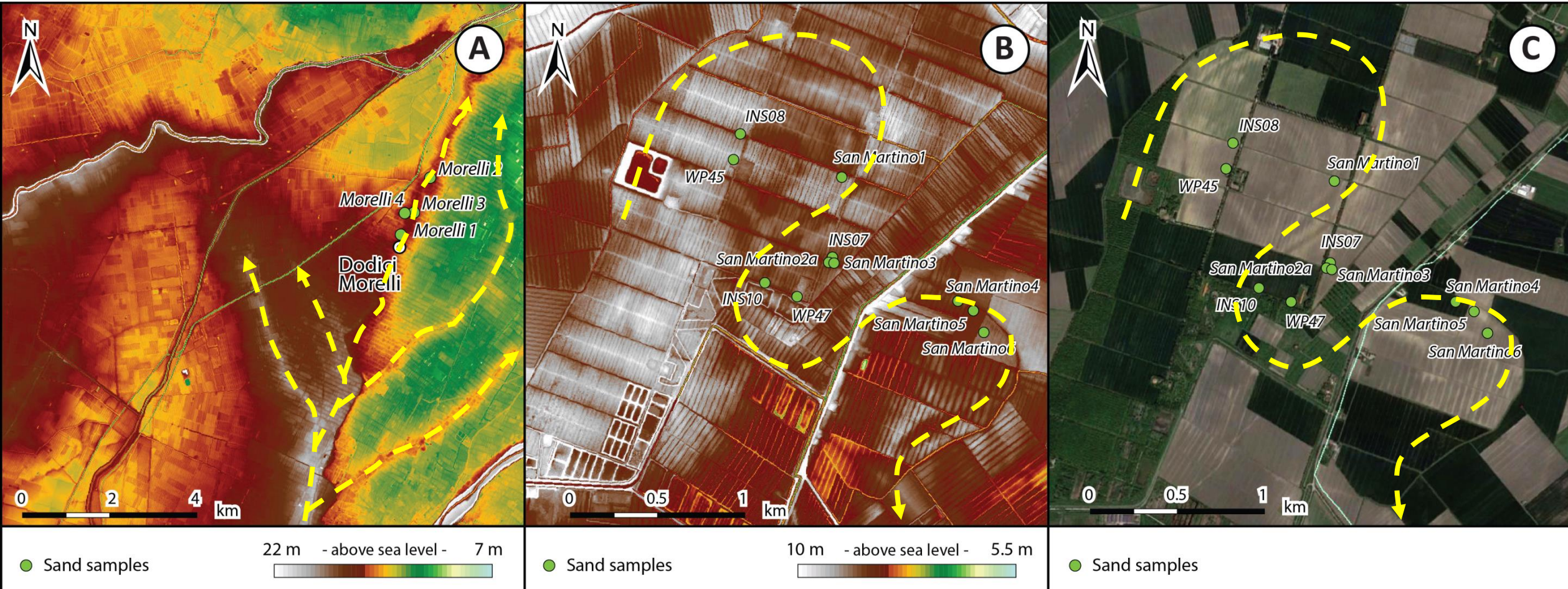


- Pezzo et al. (2018)
20 Maggio 2012
- Paolucci et al. (2015)
29 Maggio 2012

Liquefazioni



Analisi geomorfologica



Siti analizzati

Geometria faglia

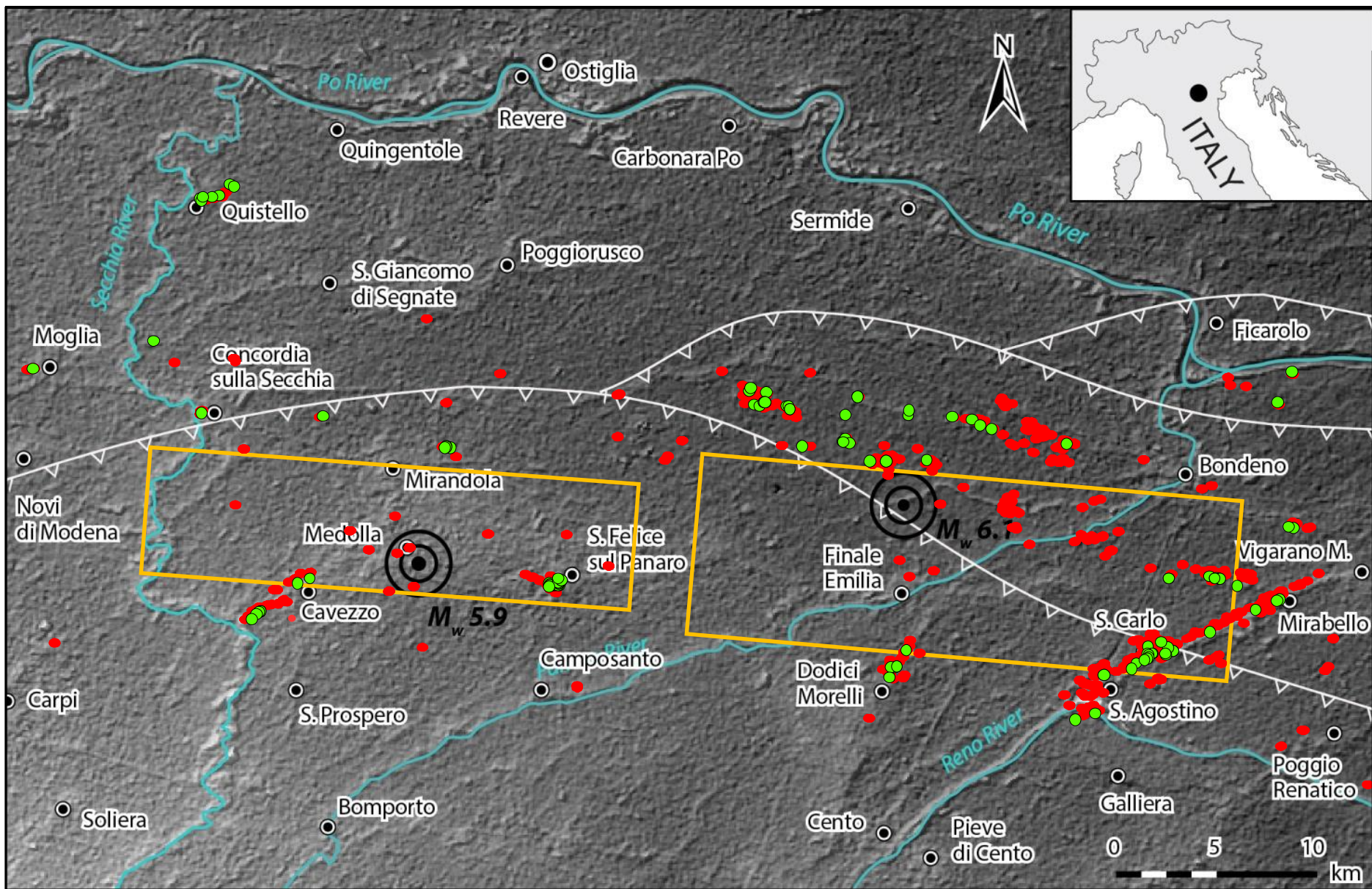
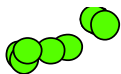


- Pezzo et al. (2018)
20 Maggio 2012
- Paolucci et al. (2015)
29 Maggio 2012

Liquefazioni



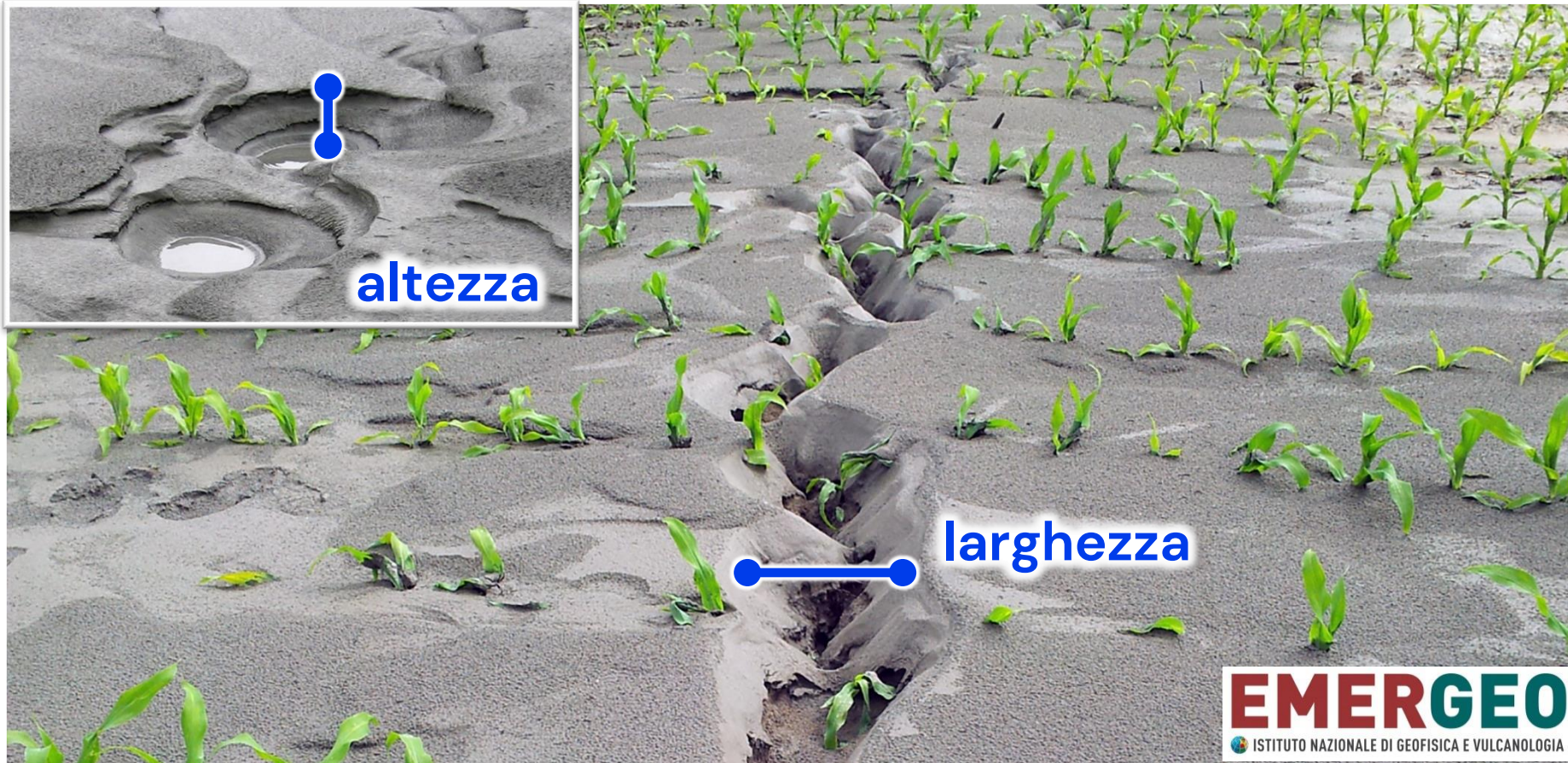
Campioni



Liquefazioni

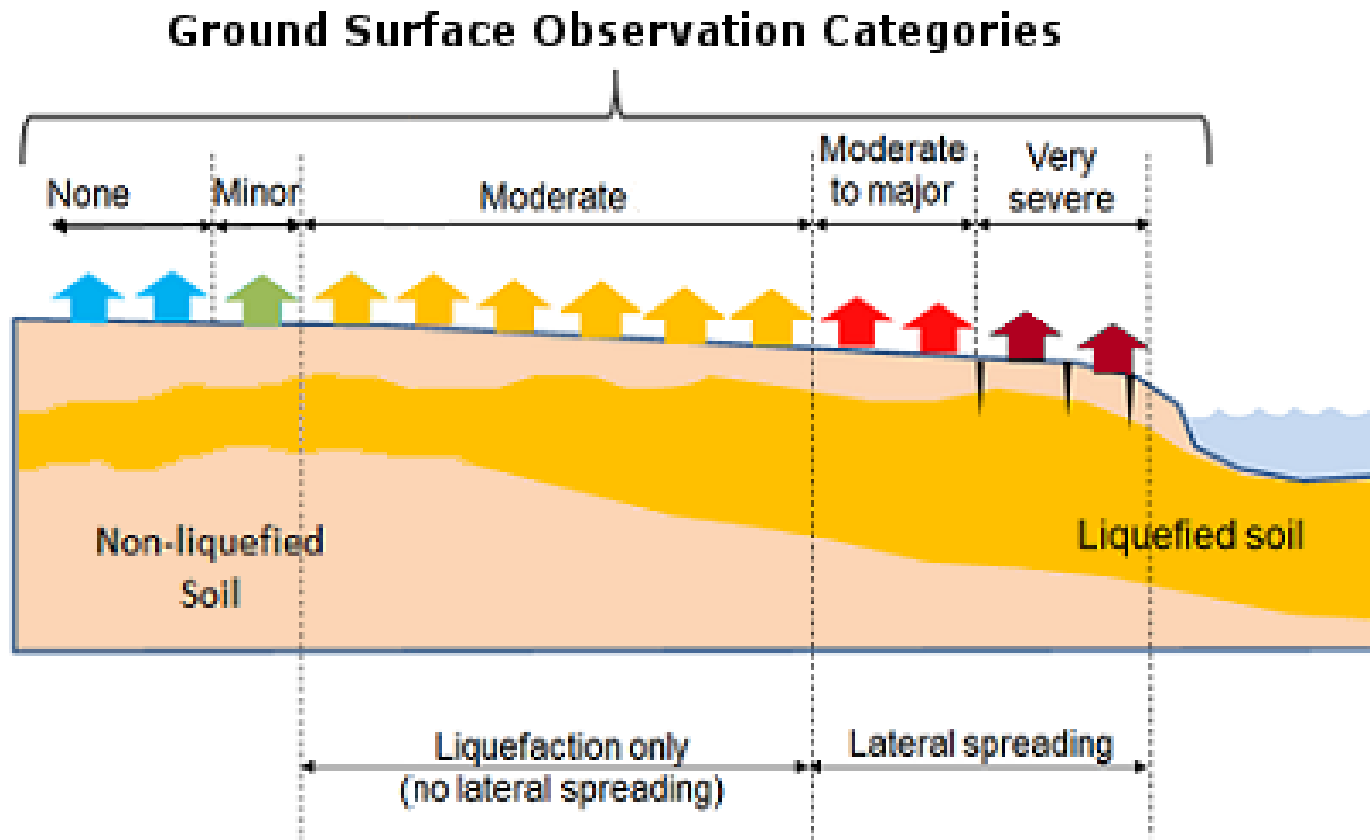


Caratteristiche geometriche



- Sand boils: spessore max 40 cm, diametro max 10 m
- Fratture: lunghezza max 50 m

Categorie di danno indotto da liquefazione

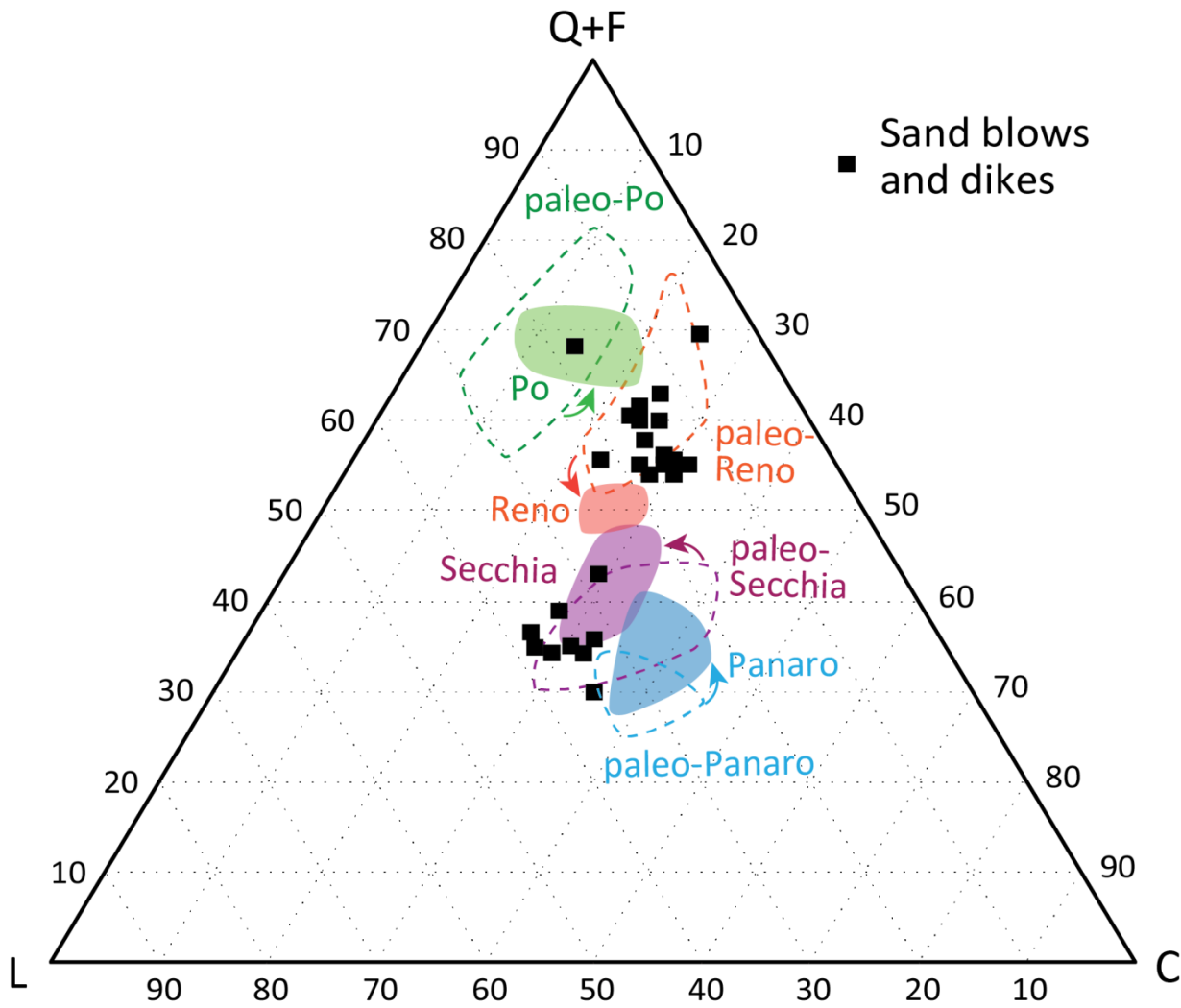


Categoria	Descrizione
1	No observed ground cracking or ejected liquefied material
2	Minor ground cracking but not observed ejected liquefied material
3	No lateral spreading but minor to moderate quantities of ejected material
4	No lateral spreading but large quantities of ejected material
5	Moderate to major lateral spreading; ejected material often observed
6	Severe lateral spreading; ejected material often observed

van Ballegooy et al. (2014)

- 106 siti in Categoria 3 & 4 (liquefazione – no lateral spreading)
- 14 siti in Categorie 5 & 6 (liquefazione con lateral spreading)

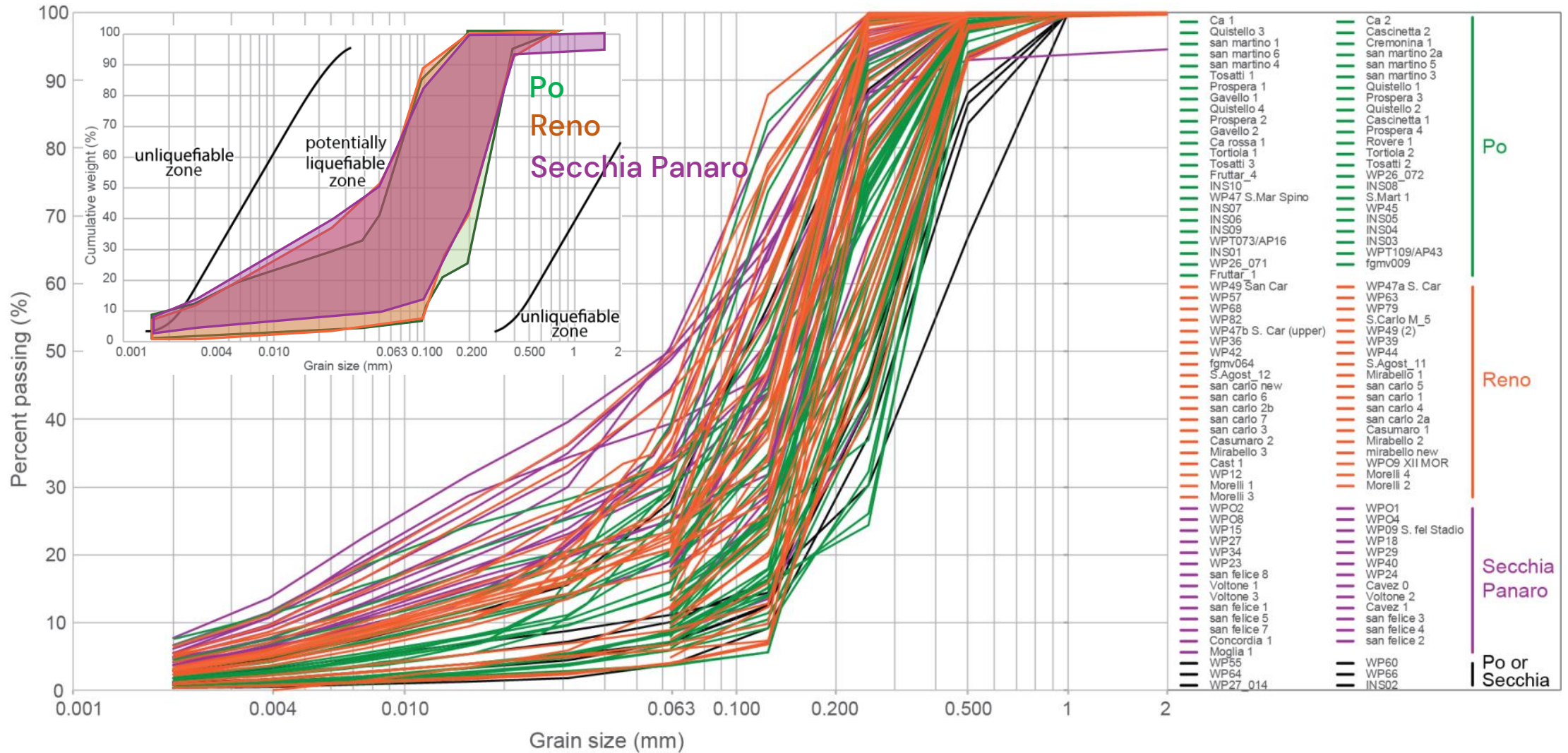
Analisi composizionali



Attribuzione delle sabbie fuoriuscite ai fiumi di origine:

- Po: sabbie quarzoarenitiche ricche in quarzo e feldspati nel settore Nord
- Reno: sabbie a composizione mista ricche in quarzo, feldspati e frammenti litici nel settore Sud-Est (S. Carlo, Mirabello)
- Secchia: sabbie litoarenitiche presenti nel settore Sud-Ovest (Mirandola, Cavezzo, Concordia s. Secchia) che localmente risentono di un'influenza del Panaro (S. Felice s. Panaro)

Analisi granulometriche



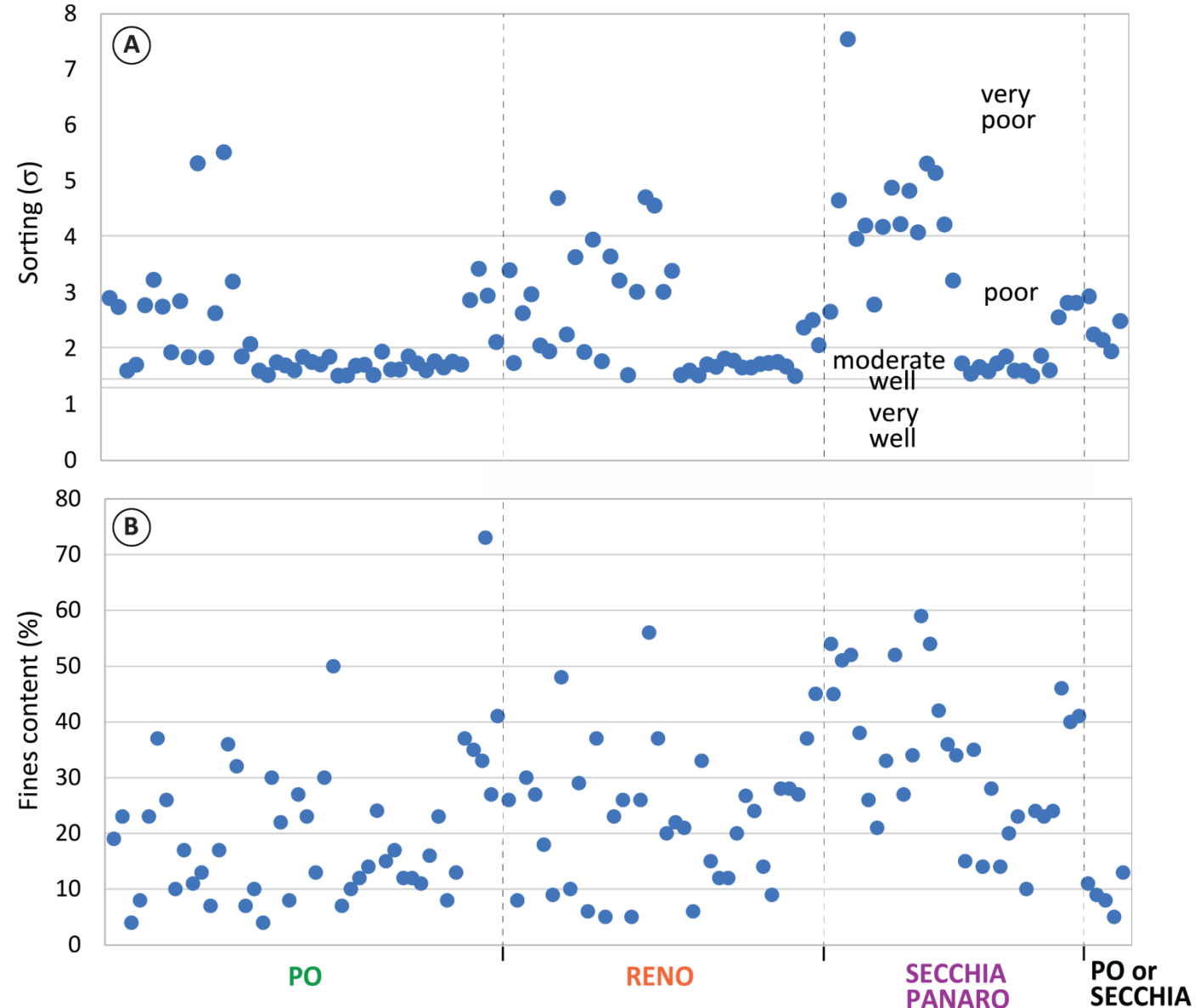
Analisi granulometriche

Sorting:

- Sabbie da moderatamente a poco selezionate
- Depositi di Po leggermente meglio selezionati degli altri

Contenuto di fine

- FC \approx 10–40%
- Componente siltosa importante (SM, ML, SP–SM da USCS)

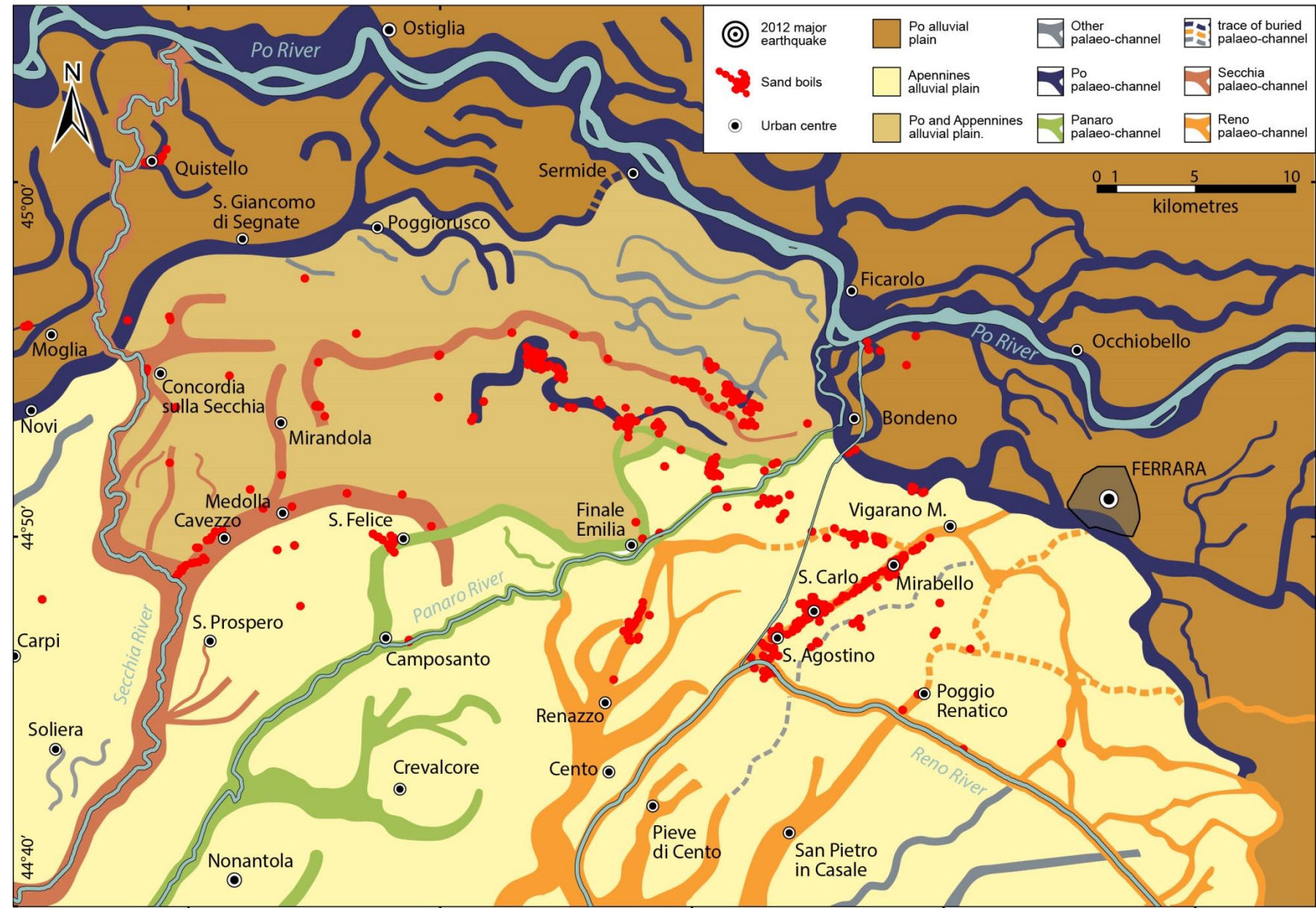


Distribuzione e origine dei paleoalvei

A Nord si osservano i corpi del Po, in basso, da Ovest ad Est, quelli del Secchia, Panaro e Reno

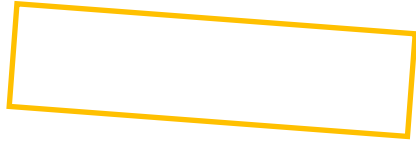
Cartografia basata su:

- dati telerilevati
- analisi morfologiche
- indagini in situ e laboratorio
- cartografia storica



Indagini in situ

Geometria faglia

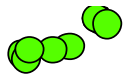


- Pezzo et al. (2018)
20 Maggio 2012
- Paolucci et al. (2015)
29 Maggio 2012

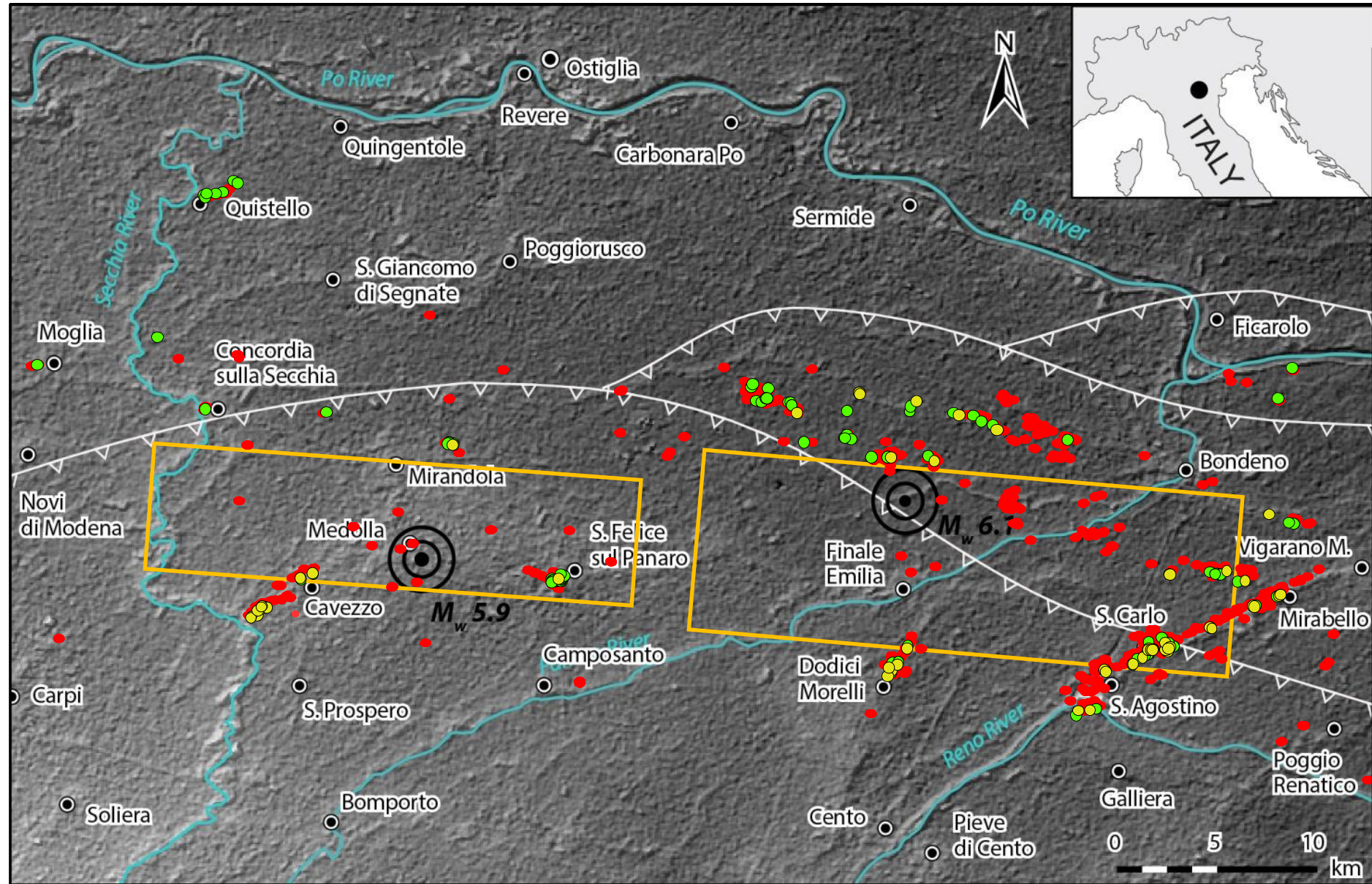
Liquefazioni



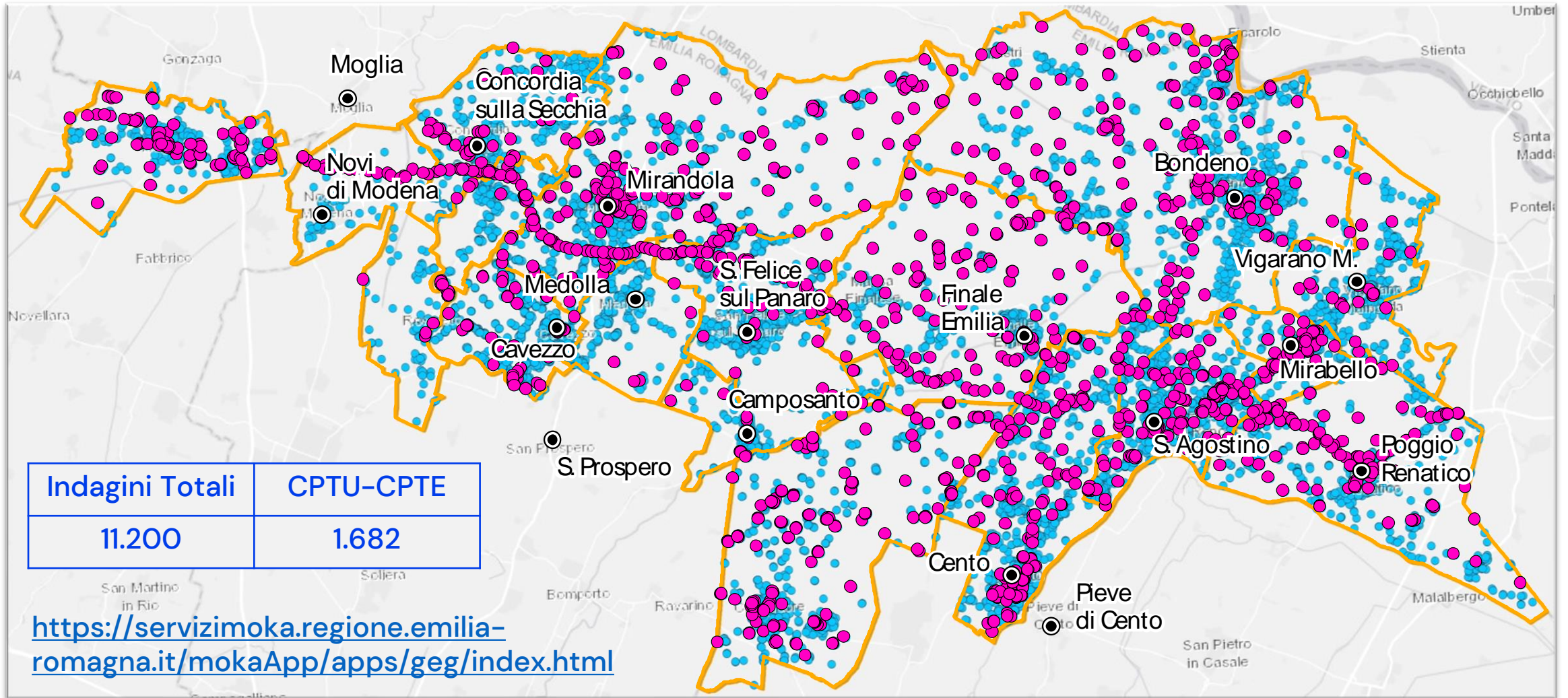
Campioni



Indagini

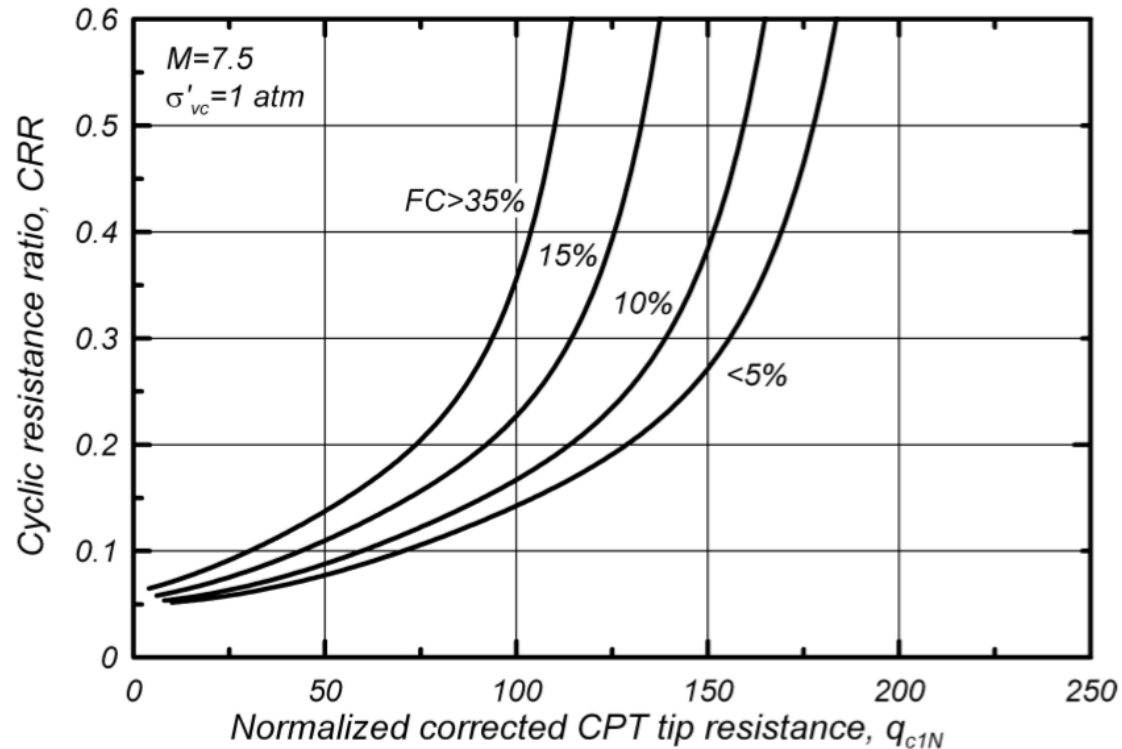


Banca dati geognostica RER



Suscettibilità alla liquefazione

Metodi «semplificati»



Idriss & Boulanger (2008)

Indici di severità per la liquefazione

- Indice di potenziale liquefazione LPI (Iwasaki et al. 1982)

$$LPI = \int F(z)w(z)dz$$

- Cedimenti verticali indotti da liquefazione S (Zhang et al. 2002)

$$S = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{vi} \Delta z_i$$

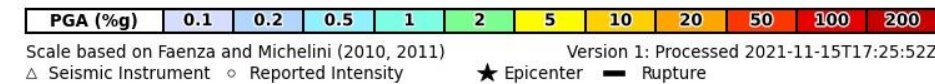
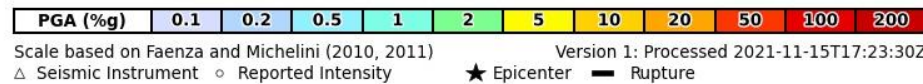
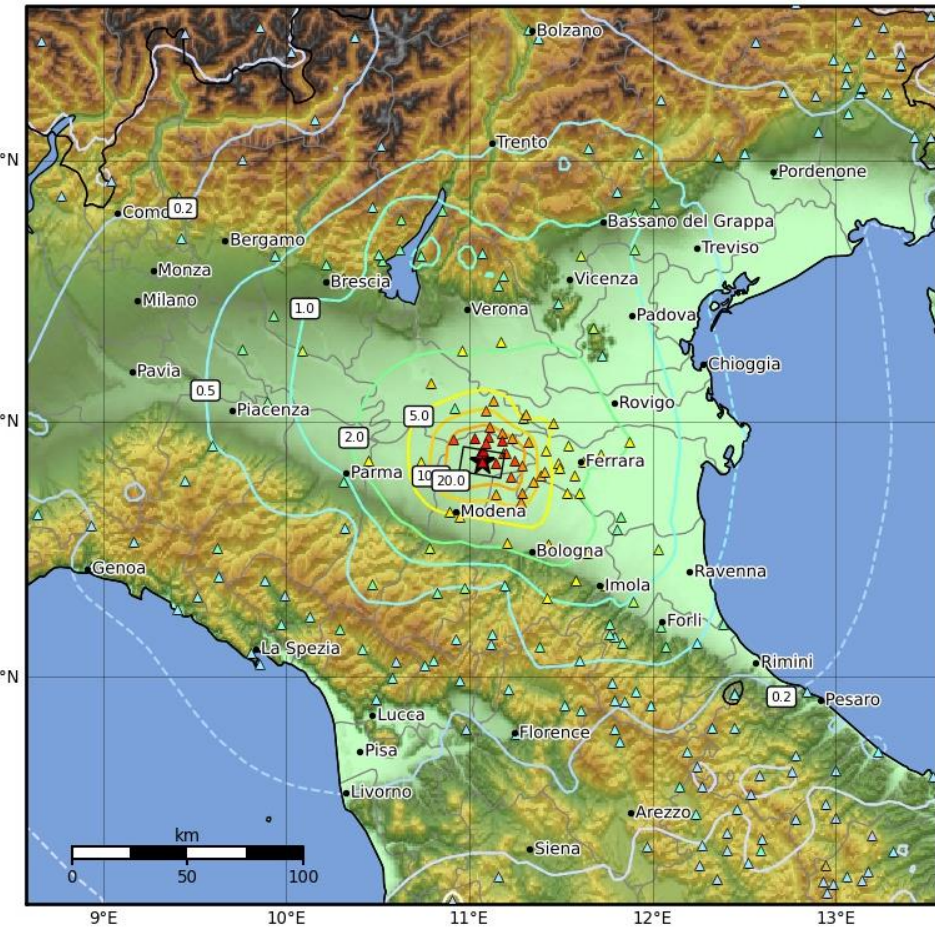
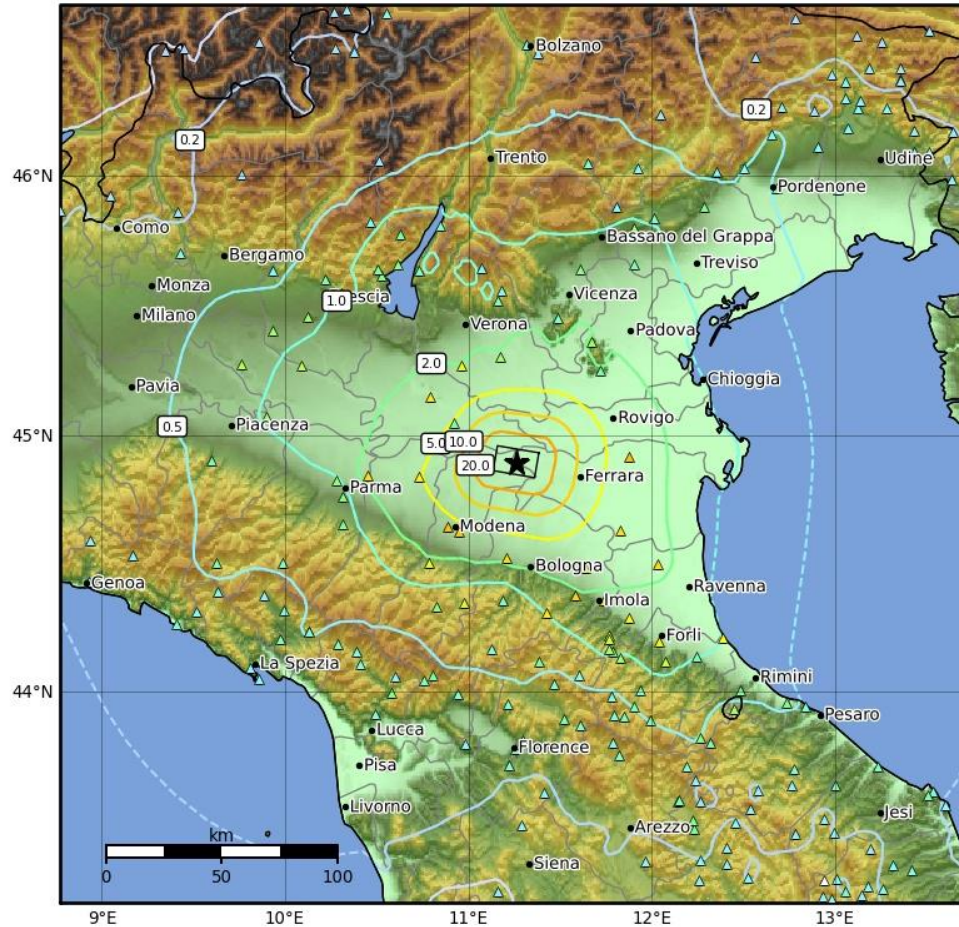
- Numero di severità alla liquefazione LSN (Tonkin & Taylor 2013)

$$LSN = 1000 \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz$$

ShakeMap

20 maggio 2012

29 maggio 2012



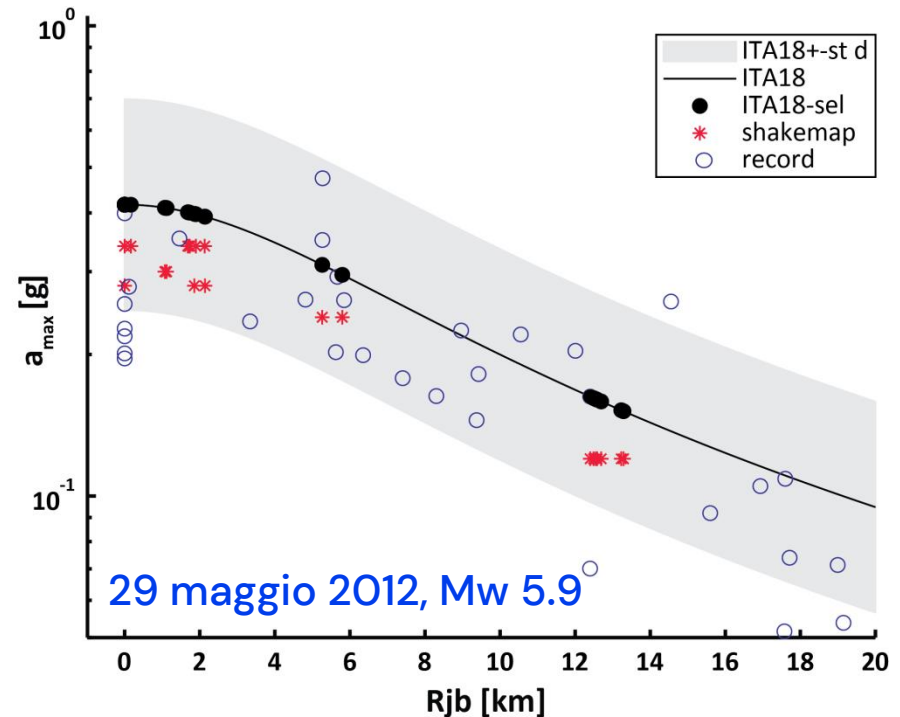
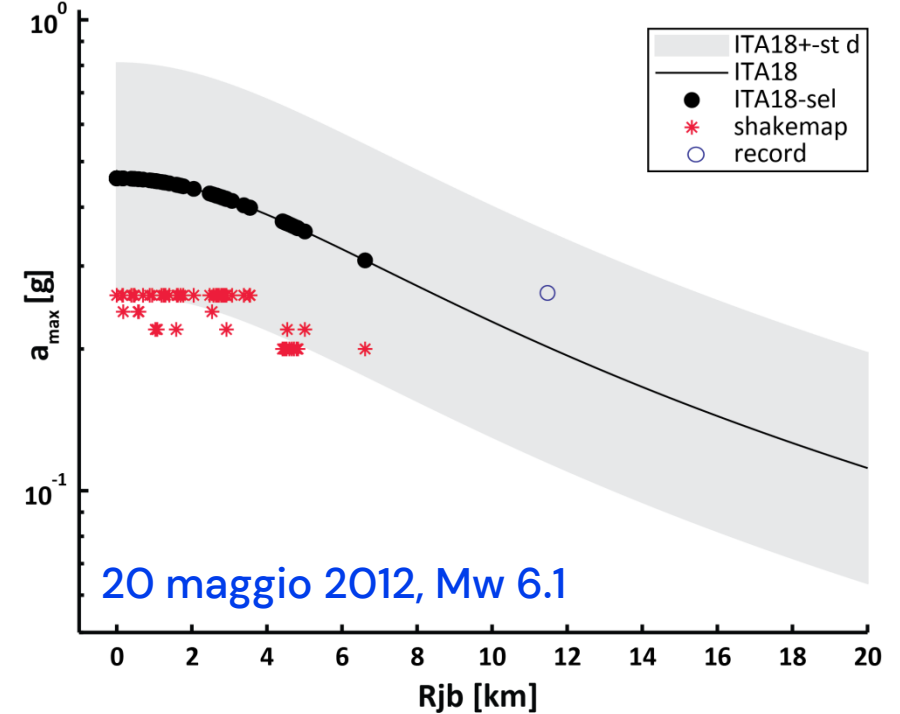
Stima dell'input sismico

PGA stimate da modello ground motion ITA18, aggiornato con i più recenti terremoti in Italia (Lanzano et al. 2019) e calibrato con:

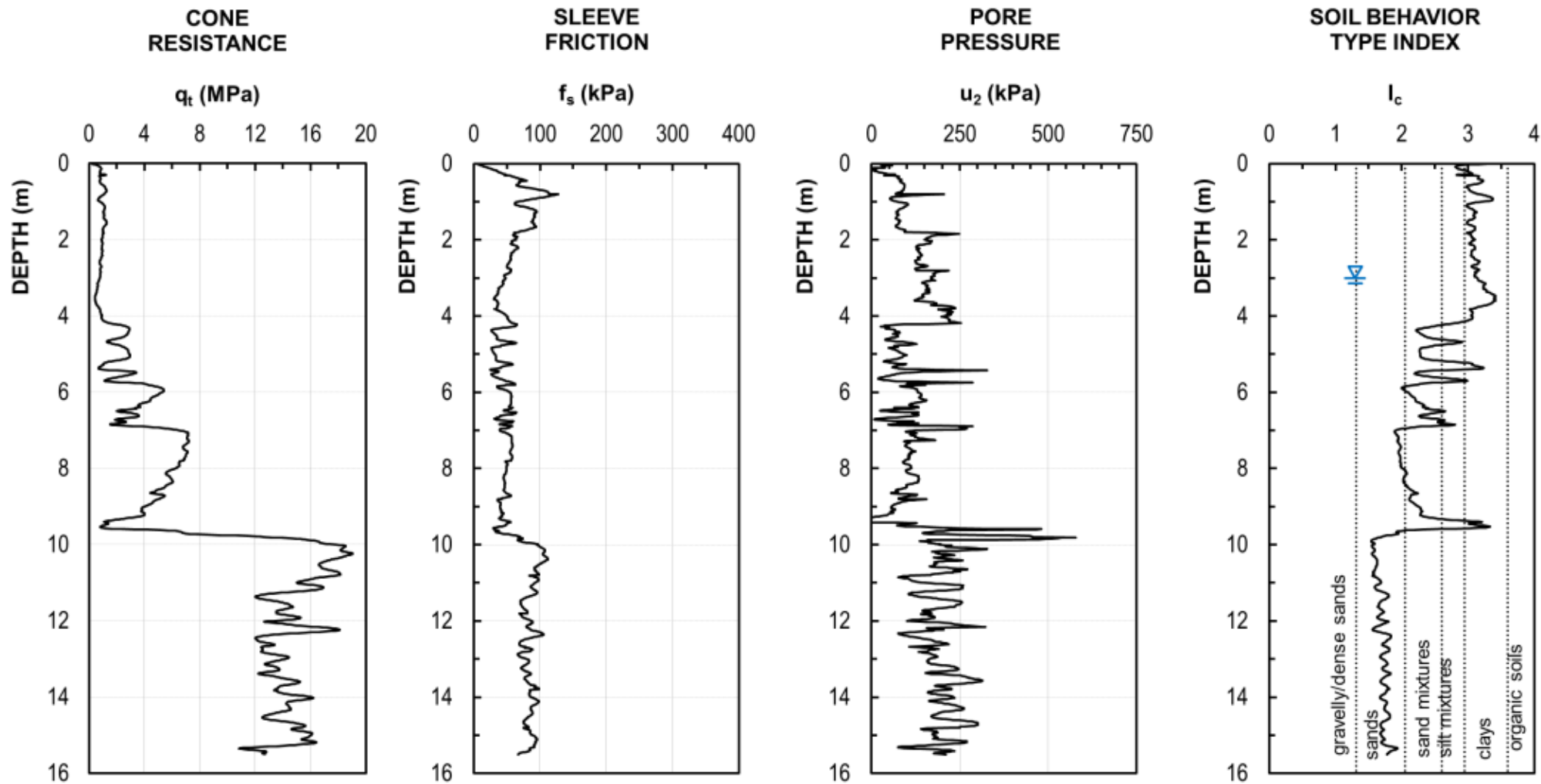
- Mw da catalogo regionale CMT (Pondrelli 2002)
- Vs30 – Categoria di sottosuolo C
- Distanza faglia–sito (Joyner–Boore)
- Geometria faglia: 20 maggio 2012 (Pezzo et al. 2018), 29 maggio 2012 (Paolucci et al. 2015)

20 maggio: PGA più alte di quanto derivato dalle ShakeMap (non affidabili per $R_{jb} < 20$ km causa scarsità delle stazioni; Cultrera et al. 2014)

29 maggio: Buon accordo tra registrazioni–ShakeMap–ITA18

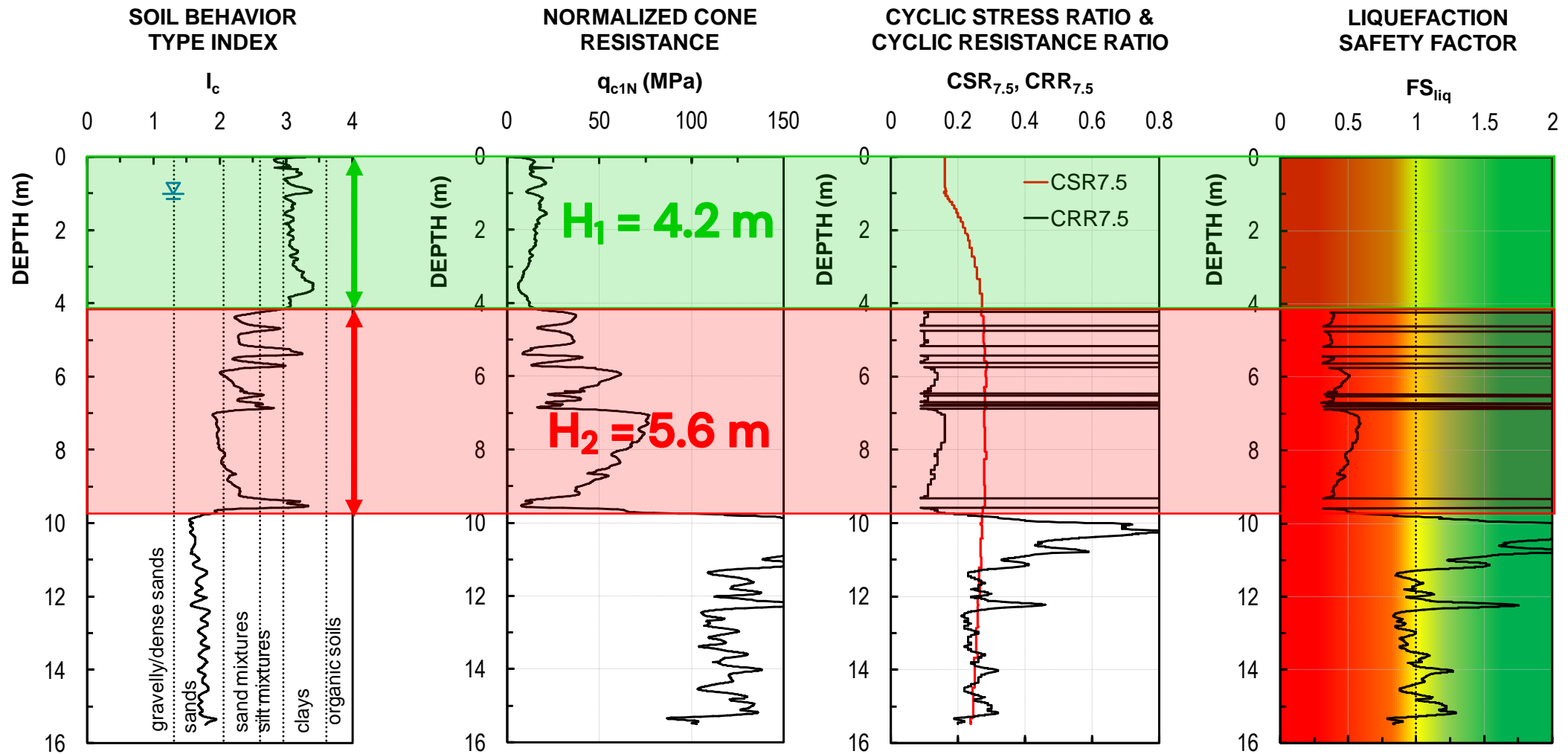


Sito di liquefazione – Mirandola Cividale



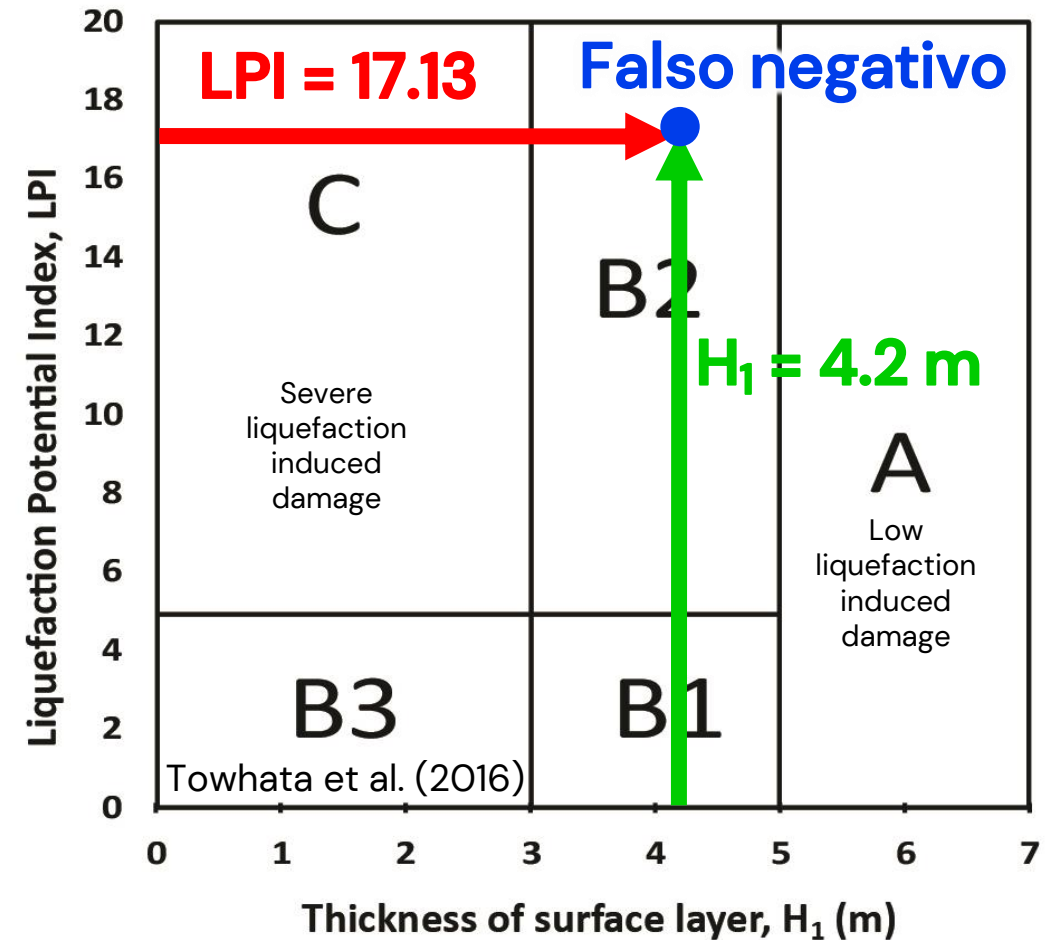
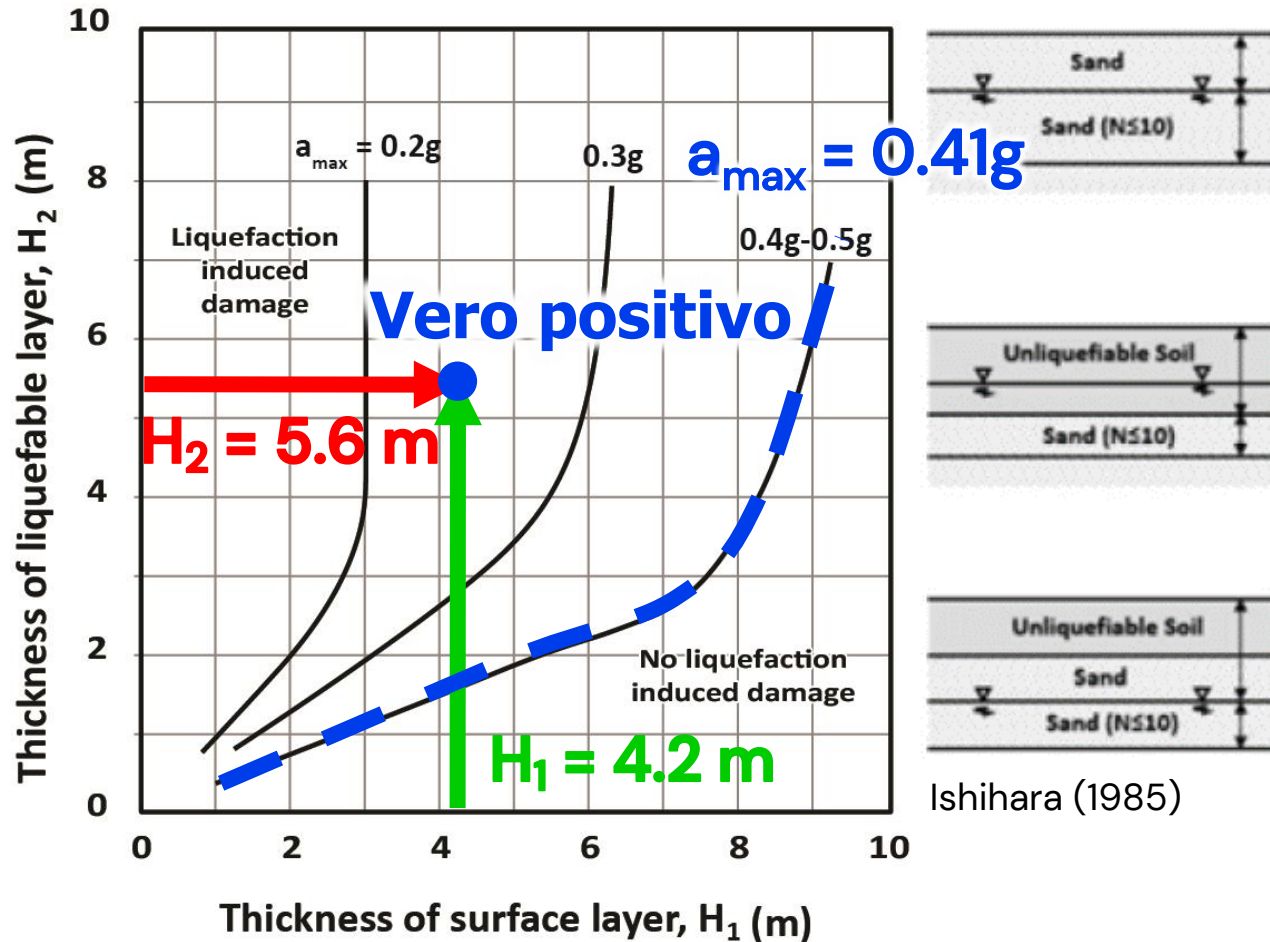
- Liquefazione diffusa (no lateral spreading) – Categoria 4
- Evento 29 maggio 2012

Sito di liquefazione – Mirandola Cividale



- $M_w = 5.9$, $PGA = 0.41g$, $GW_{Teq} = 1$ m
- Idriss & Boulanger (2008): $LPI = 17.13$, $LSN = 20.73$, $S = 0.15$ m

Abachi – Croste non liquefacibili



Schede – Database liquefazione

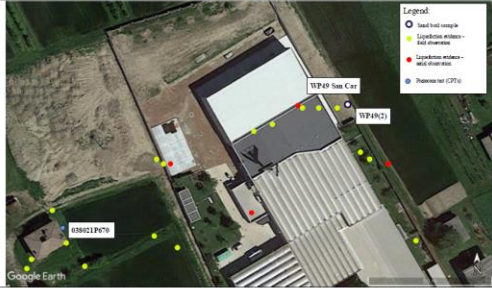


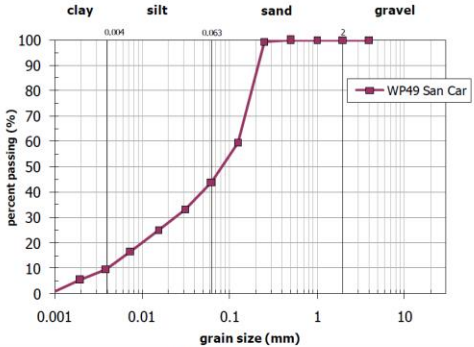
120 schede:

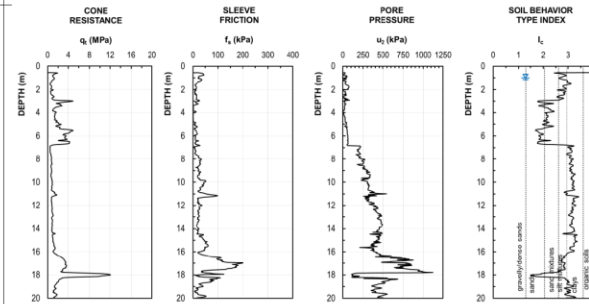
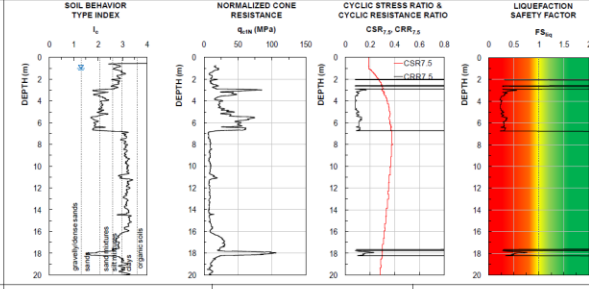
- Dati geografici
- Dati morfologici
- Caratteristiche della liquefazione
- Danno indotto dalla liquefazione
- Analisi granulometriche
- Analisi petrografiche
- Paleoalveo di appartenenza
- Prove in situ
- Analisi di liquefazione

Località:

- Bondeno, Cento, Ferrara, Terre del Reno, Vigarano Mainarda (FE)
- Pieve di Cento (BO)
- Cavezzo, Concordia sulla Secchia, Mirandola, Finale Emilia, San Felice sul Panaro (MO)
- Moglia, Quistello, San Giacomo delle Segnate (MN)

S. Carlo, Municipality of Terre del Reno (FE) – “WP49 San Car”

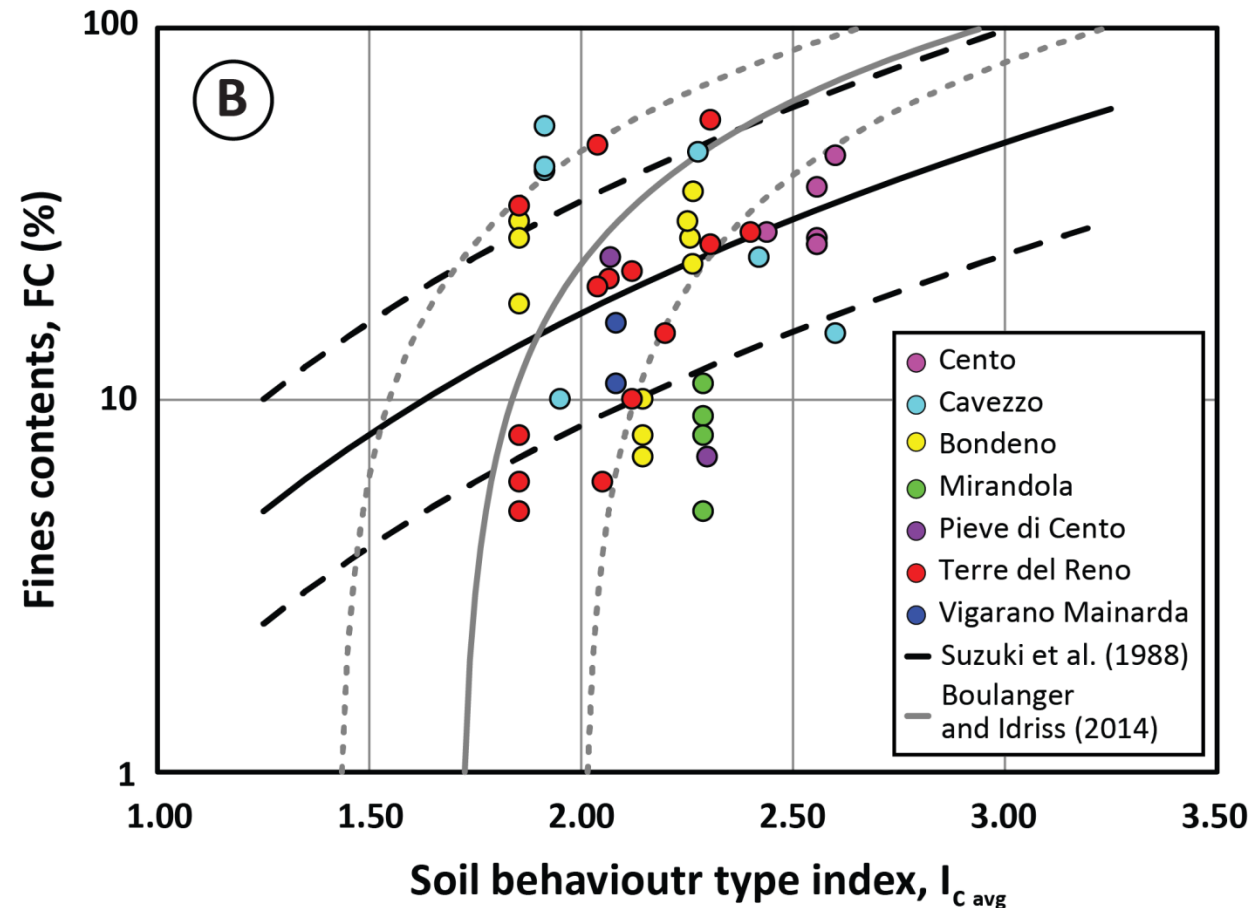
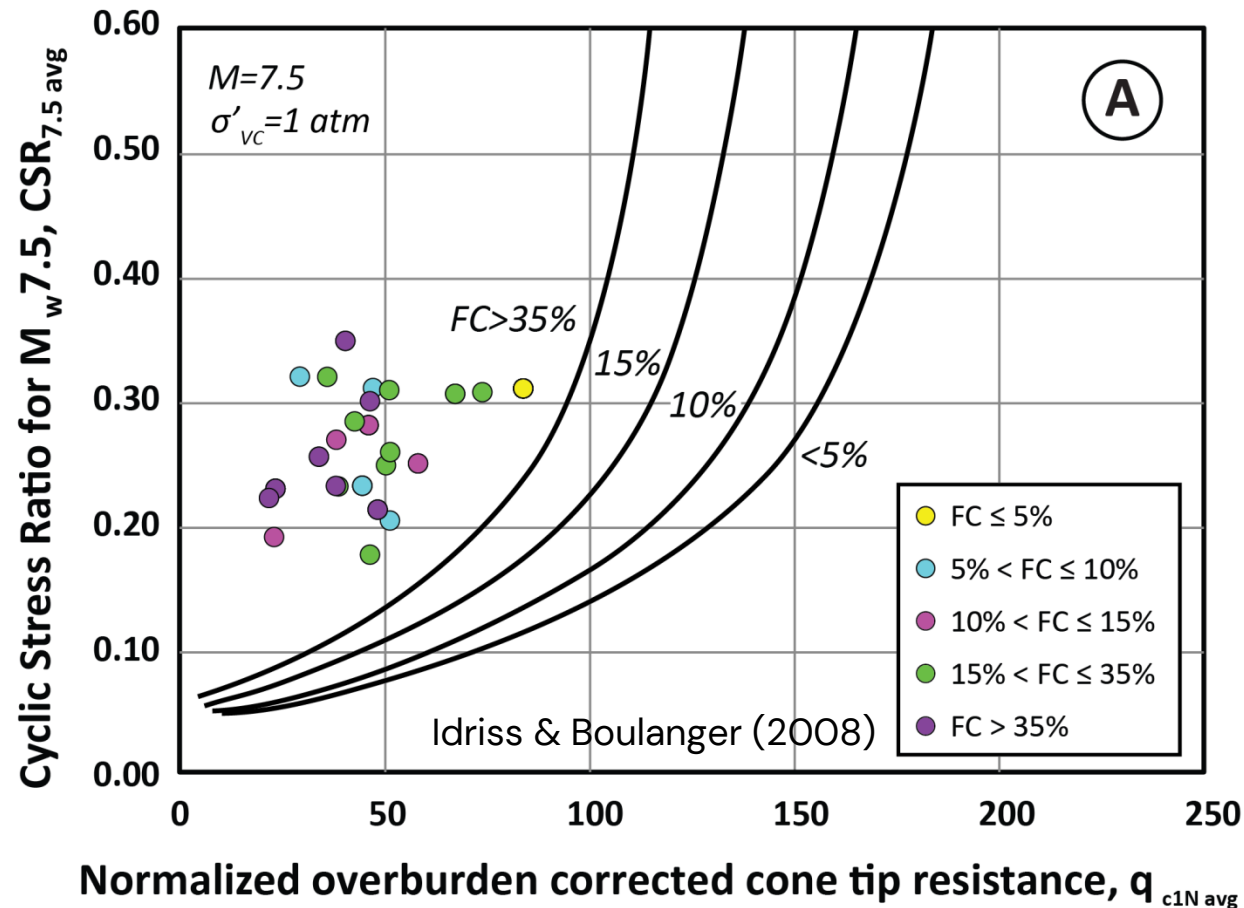
Site:	S. Carlo, Municipality of Terre del Reno (FE)			
Location map:				
Sand soil sample:	WP49 San Car			
Coordinates (WGS 84):	Latitude: 44°48'16.56"N		Longitude: 11°25'5.95"E	
Sand soil image from:	Aerial photography: <input checked="" type="checkbox"/>		Field observations: <input checked="" type="checkbox"/>	
				
Date of sampling:	24/05/2012			
Seismic event:	May 20 th , 2012, $M_w = 6.1$: <input checked="" type="checkbox"/>		May 29 th , 2012, $M_w = 5.9$: <input type="checkbox"/>	
Liquefaction features:	Strike: 55°		Dip: 0°	
	Fracture with sand, length 50 m			
Liquefaction-induced land damage category:	4  No lateral spreading but large quantities of ejected material			
Grain size distribution curve:				
Soil classification (USCS):	Silty Sand (SM)			
	FC = 48%	U = 32.5	C = 1.20	$\sigma = 4.70$
Compositional information:	---			

Paleoriver assignment:	Reno		
Morphological features:	Flat interfluvial depression: <input checked="" type="checkbox"/>	Fluvial ridge: <input type="checkbox"/>	
Data from:	INGV: <input checked="" type="checkbox"/>	UNIMORE: <input type="checkbox"/>	
In situ test:	CPTuA: 038021P670		
Coordinates (WGS 84):	Latitude: 44°48'14.99"N	Longitude: 11°25'0.61"E	
Date:	18/06/2014		
Address:	Via Statale		
Depth to GWT during in situ test:	1.00m		
In situ test results:			
Liquefaction analysis:			
Note:	Thickness of surface layer: 2.9 m (from 0 to 2.9 m) Thickness of liquefied layer: 3.8 m (from 2.9 to 6.7 m)		
Data from:	RER: <input checked="" type="checkbox"/>	INGV: <input type="checkbox"/>	

M_w = moment magnitude; FC = fines content; U = coefficient of uniformity; C = coefficient of curvature; σ = sorting; GWT = ground water table; EQ GWT = earthquake ground water table; a_{max} = peak ground acceleration; LPI = liquefaction potential index; LSN = liquefaction severity number; S = vertical settlements; INGV = Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; UNIMORE = University of Modena and Reggio-Emilia; RER = Emilia-Romagna Region.

Materiale supplementare
Minarelli et. (2022)

Siti di liquefazione analizzati

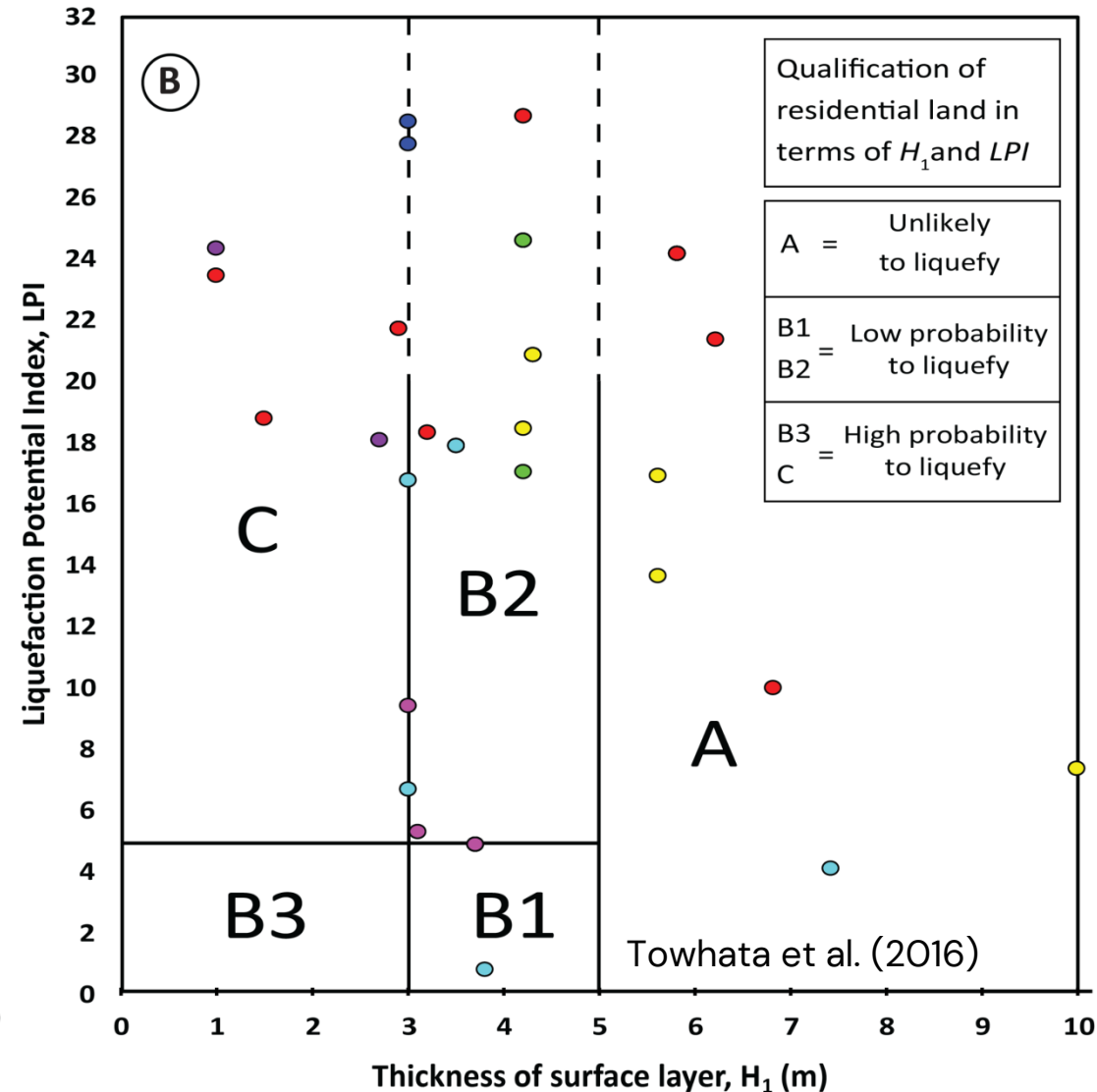
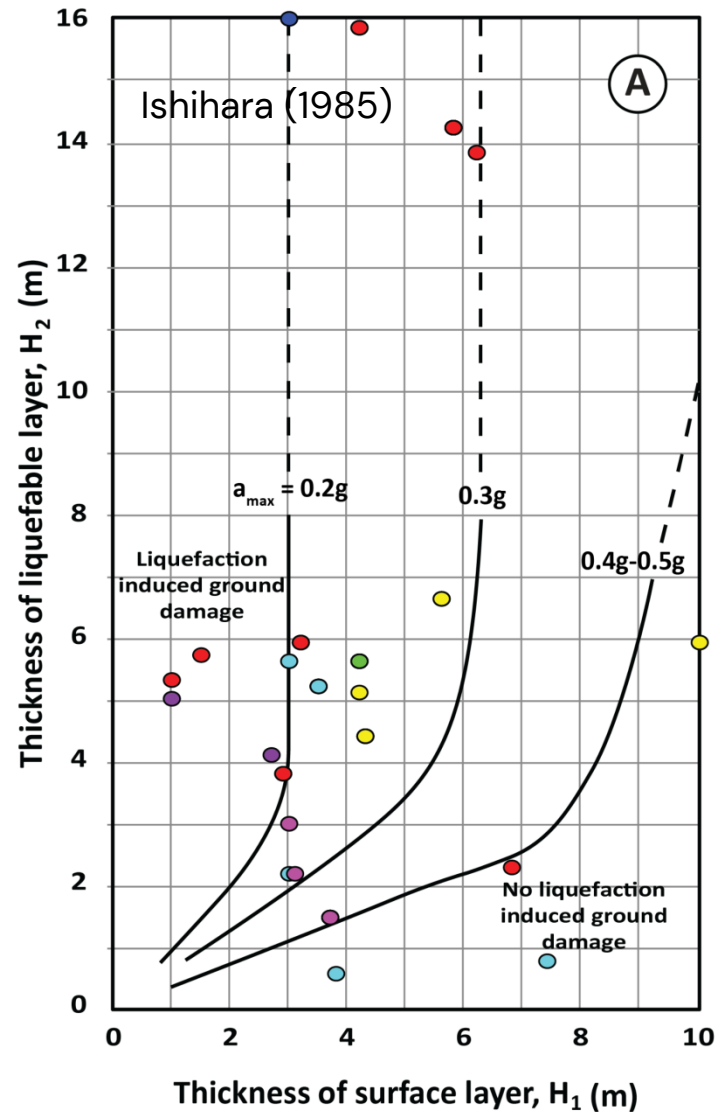


- Idriss & Boulanger (2008): buon accordo con i punti sperimentali
- Correlazioni I_c -FC: dispersione punti sperimentali negli abachi (dipendenza sito-specifica & I_c non indice granulometrico)

Siti di liquefazione analizzati

Ishihara (1985): buon accordo con punti sperimentali ($\approx 90\%$ dei casi)

Towhata et al. (2016): dispersione punti sperimentali ($< 25\%$ dei casi in campo corretto)

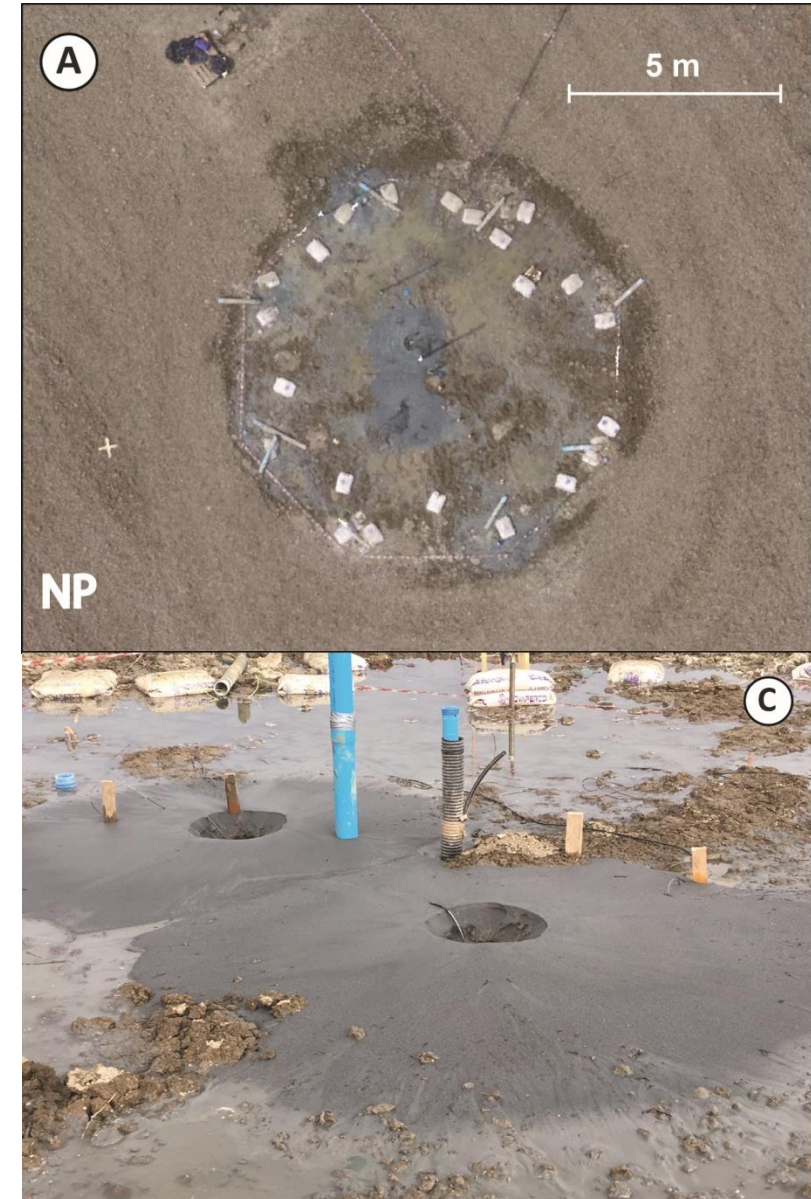


Conclusioni

- Estesa banca dati delle caratteristiche geologiche e geotecniche di 120 siti di liquefazione nell'area epicentrale emiliana del 2012
- Sedimenti granulari liquefatti associati a corpi di riempimento di canale fluviale e ventagli da rotta, anche con evidenti espressioni morfologiche
- Livelli sorgente tra 3 e 6 m con elevato FC non plastico
- Confronto previsioni CPT–osservazioni 2012:
 - Consistenza con abaco Idriss & Boulanger (2008)
 - Dispersione punti correlazioni I_c –FC
 - Buon accordo per LPI & S (no LSN)
 - Buon accordo con abaco Ishihara (1985) e scarso con abaco Towhata et al. (2016) per croste non liquefacibili

Sviluppi in corso sul database

- Ampliamento e implementazione del database
- Caratterizzazione geotecnica delle croste
- Correlazioni sito-specifiche FC da CPT & DMT
- Dati da nuovi progetti di ricerca (INGV, UNICH & BYU)
 - Blast test su terreni naturali e trattati
 - Search for Excellence 2019 UNICH
 - USGS FY2022 EHP Program



Grazie

Max Ernst (1891-1976)

(La Mer, le soleil le tremblement de terre)

Mare, sole, terremoto

Sea, Sun, Earthquake

1931

Olio, guazzo e collage su tela

Oil, gouache, and collage on canvas

Peggy Guggenheim Collection

