



TEMA 2: CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO
Sessione 2.2: Effetti di sito e microzonazione sismica

**ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DELL'AREA PRODUTTIVA
"PICCOLA E MEDIA INDUSTRIA" DI FERRARA**

a cura del gruppo di lavoro Confindustria Emilia-Romagna, Unindustria Ferrara e Regione Emilia-Romagna:

ing. Colombi Alessio, *Colombi & Roversi Associati, Studio di Ingegneria*

ing. Curli Stefano, *Studio associato Curli*

dott. Ercolessi Giulio, *Regione Emilia-Romagna-SGSS*

ing. Loffredo Gianluca, *ArchLiving srl*

dott. Martelli Luca, *Regione Emilia-Romagna-SGSS*

ing. Minghini Fabio, *Università di Ferrara-Dipartimento di Ingegneria*

dott. geol. Romagnoli Massimo, *Elletipi srl*

dott. geol. Stevanin Emanuele, *Synthesis srl*

dott. geol. Veronese Thomas, *Studio Servizi Tecnici, Settore Geologia e Ambiente*

ing. Zanetti Denis, *MezzadrIngegneria srl*



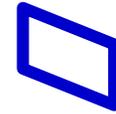
A seguito della sequenza sismica padana di maggio-giugno 2012, che ha causato ingenti danni soprattutto alle attività produttive, oltre alle attività per la riparazione e ricostruzione, sono state avviate anche le attività per il miglioramento sismico degli edifici non danneggiati.

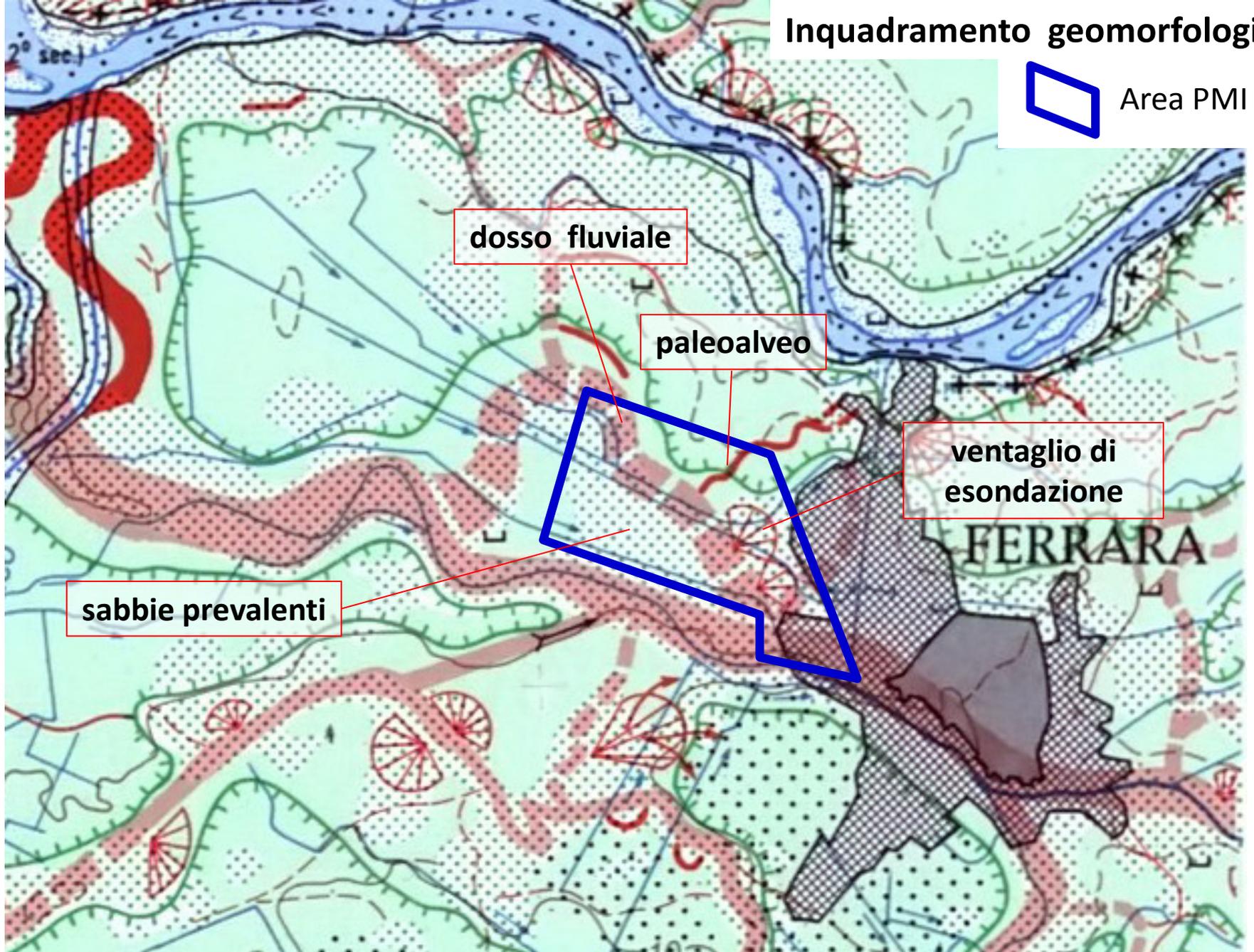
Gli studi di microzonazione sismica hanno evidenziato che le condizioni predisponenti la liquefazione (presenza di terreni granulari saturi nei primi 15-20 m da p.c.) sono presenti in molte aree della Pianura Padana.

Per raggiungere l'obiettivo del miglioramento sismico in tali aree è quindi necessario intervenire anche in fondazione e/o realizzare interventi di mitigazione del rischio di liquefazione.

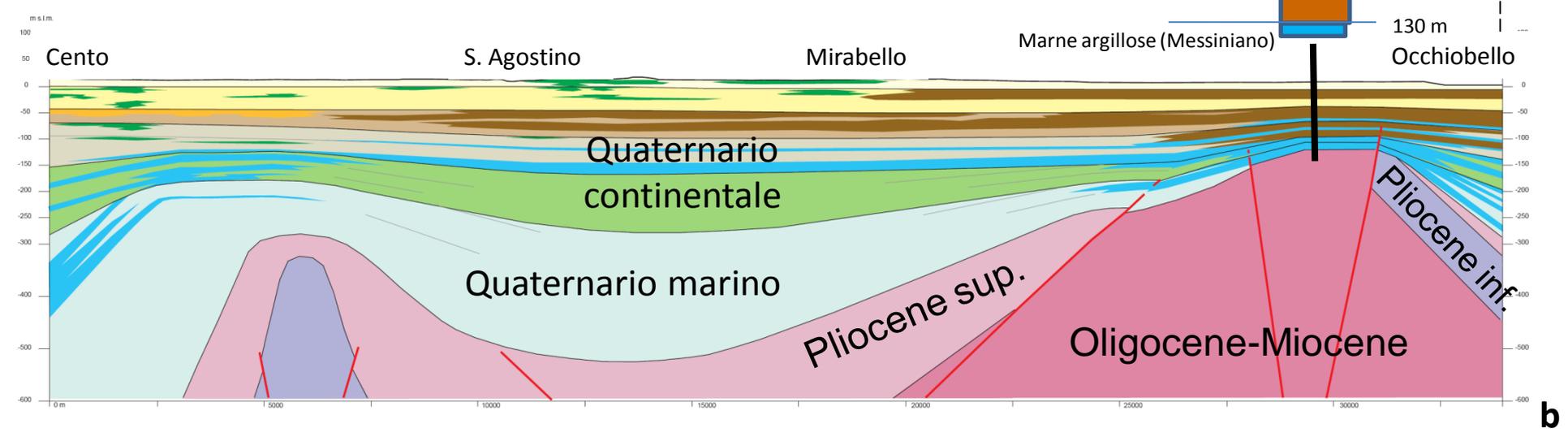
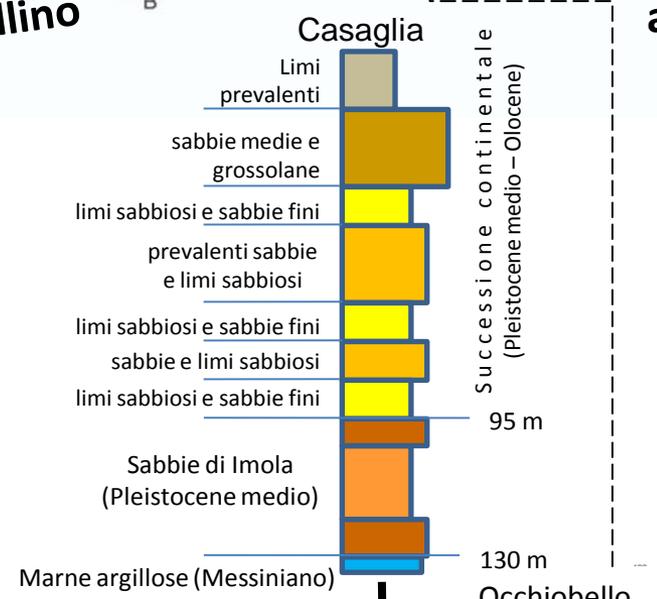
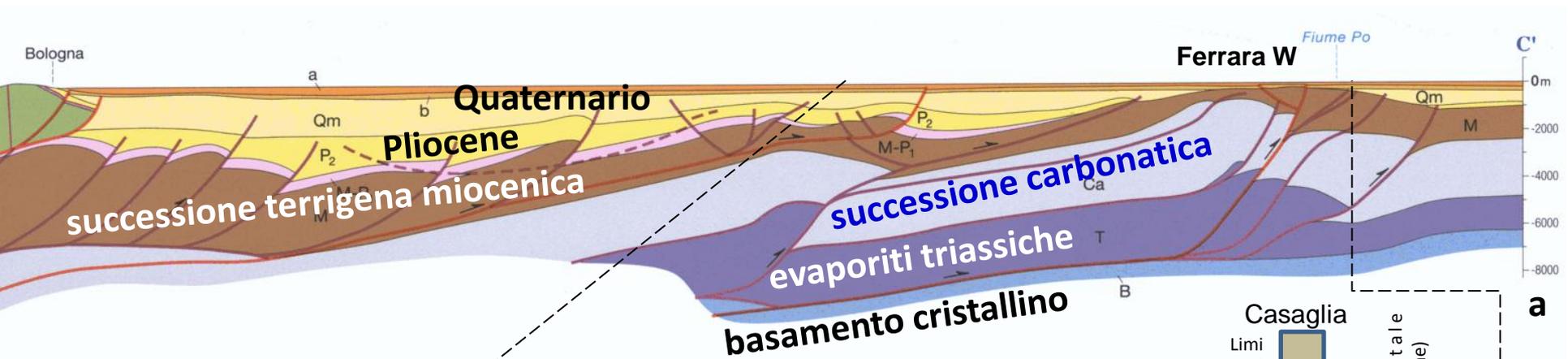
Il presente studio illustra l'analisi del rischio di liquefazione nell'area della Piccola e Media Industria di Ferrara per il miglioramento sismico degli edifici industriali (*analisi a scala suburbana-area d'intervento*).

Inquadramento geomorfologico

 Area PMI FE



Da Carta Geomorfologica della Pianura Padana, Castiglioni (ed.), 1997



Definita l'area di studio (area d'interesse + buffer di circa 200 m), il primo passo è stato raccogliere tutti i documenti disponibili (MS e indagini).

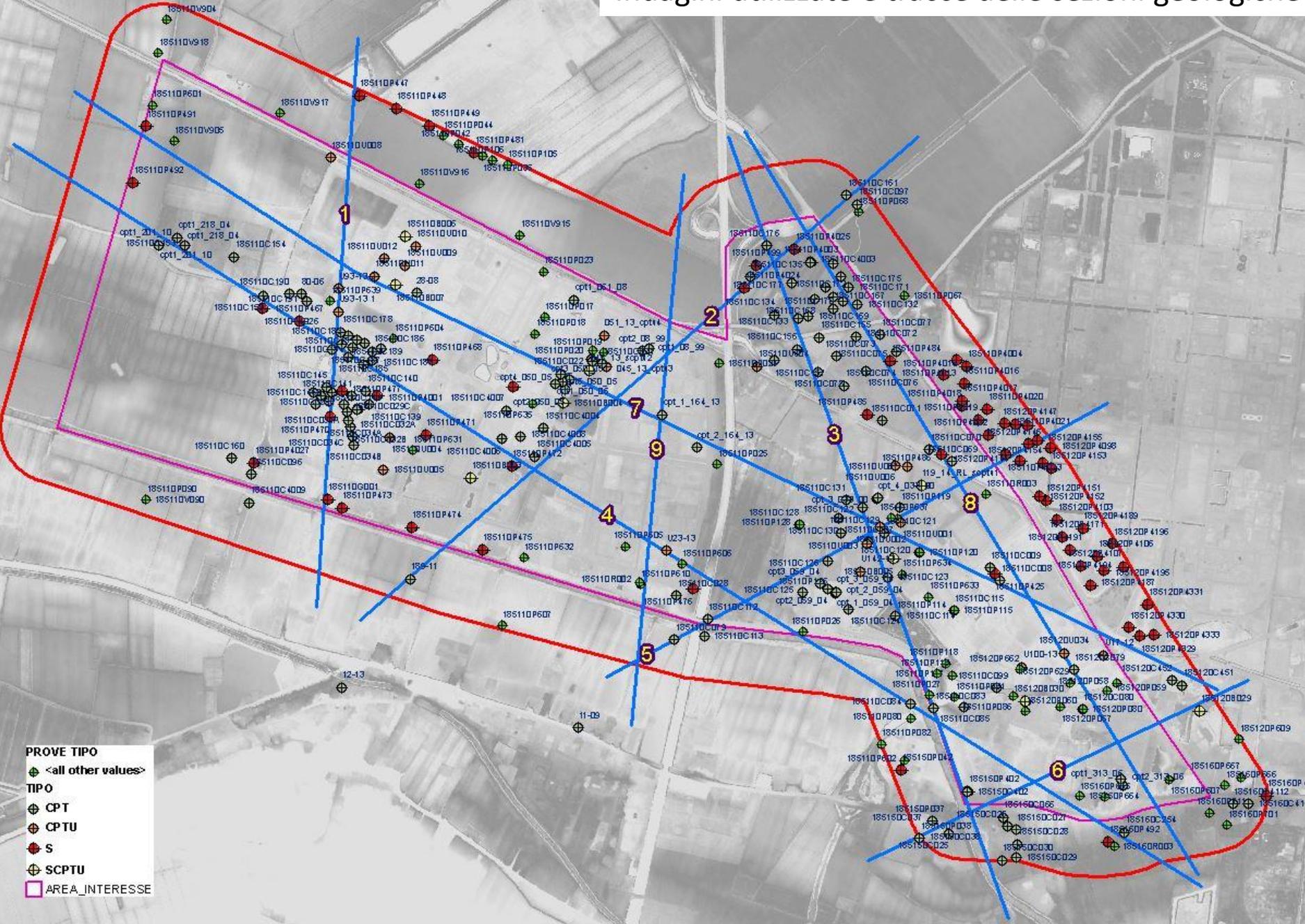
Prima fase: definire accuratamente la posizione del ramo abbandonato del Po = mappare i terreni predisponenti la liquefazione.

Tra le indagini disponibili sono state selezionate quelle utili per la ricostruzione della stratigrafia dei primi 20 m; considerato che l'elemento caratterizzante è la presenza di intervalli sabbiosi, sono state utilizzate anche le stratigrafie da pozzi per acqua.

In sintesi, le prove geotecniche in sito utilizzate sono le seguenti:

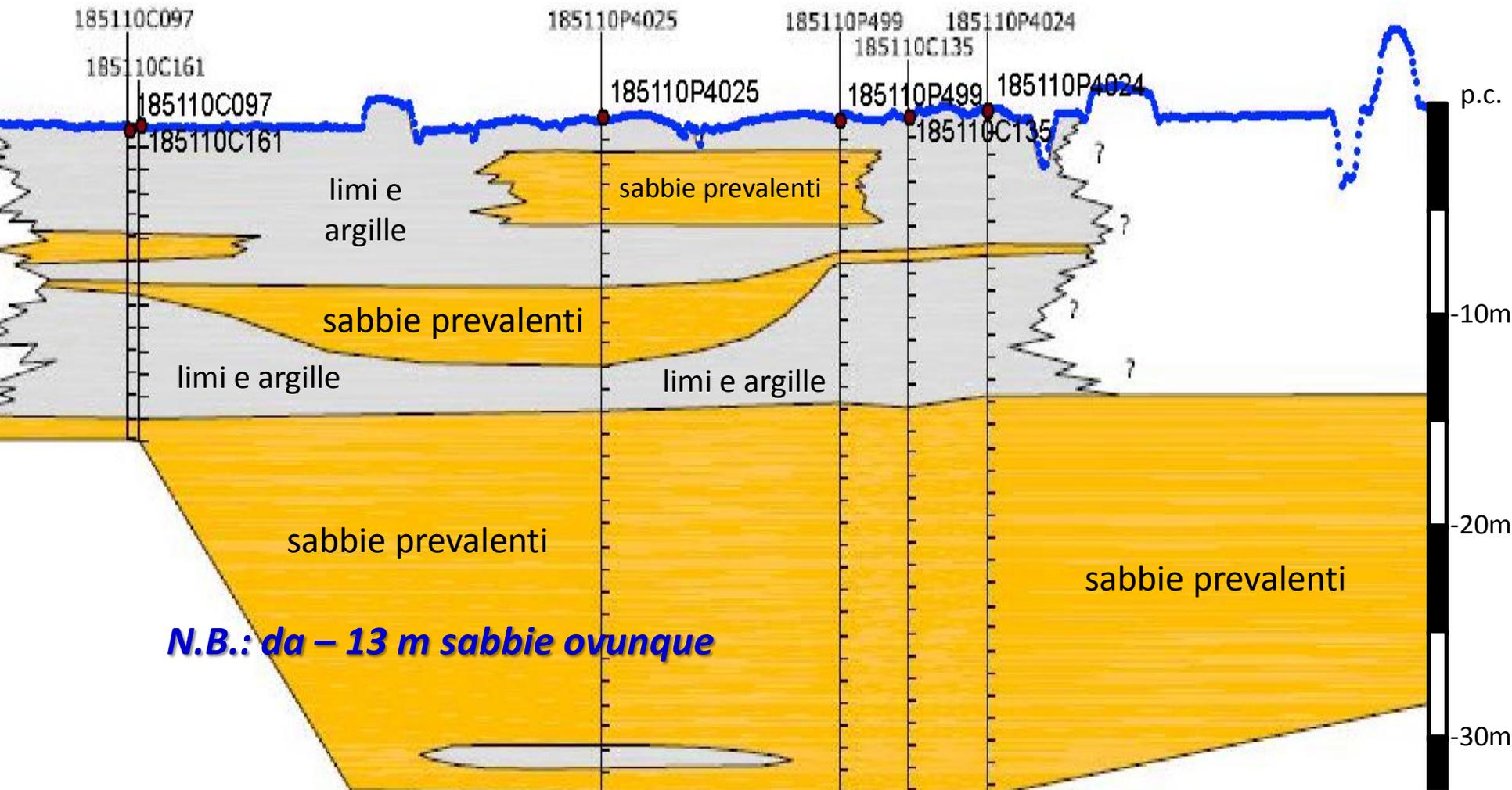
- 154 CPT,**
- 33 CPTU (di cui 9 con cono sismico),**
- 69 sondaggi a carotaggio continuo,**
- 25 pozzi per acqua.**

Indagini utilizzate e tracce delle sezioni geologiche



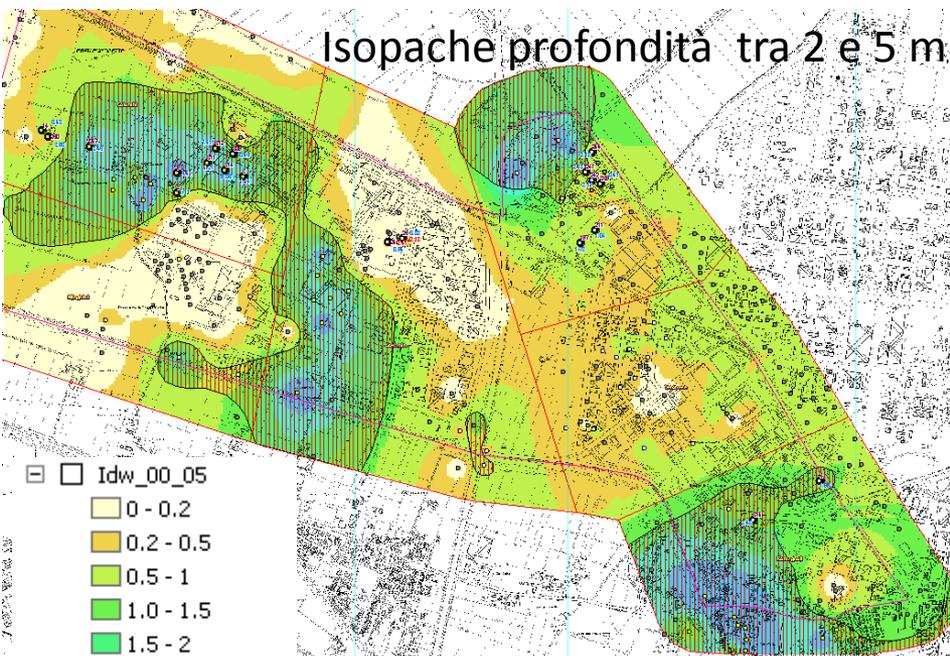
Tutte le prove sono state interpretate e classificate in maniera da evidenziare la presenza e la distribuzione di intervalli granulari:

- L1: orizzonti liquefacibili spessi almeno 30-40 cm, sotto falda, nei primi 5 m;
- L2: orizzonti liquefacibili spessi almeno 1 m tra 5 e 10 m;
- L3: orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 10 e 15 m;
- L4: orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 15 e 20 m;
- LT1: orizzonti liquefacibili che iniziano nei primi 5 m e continuano verso il basso;
- LT2: orizzonti liquefacibili che iniziano tra 5 e 10 m e continuano verso il basso;
- LT3: orizzonti liquefacibili che iniziano tra 10 e 15 m e continuano verso il basso;
- LT4: orizzonti liquefacibili che iniziano tra 15 e 20 m e continuano verso il basso;
- N: assenza di orizzonti liquefacibili importanti nei primi 15-20 m;
- X: dato non interpretabile.

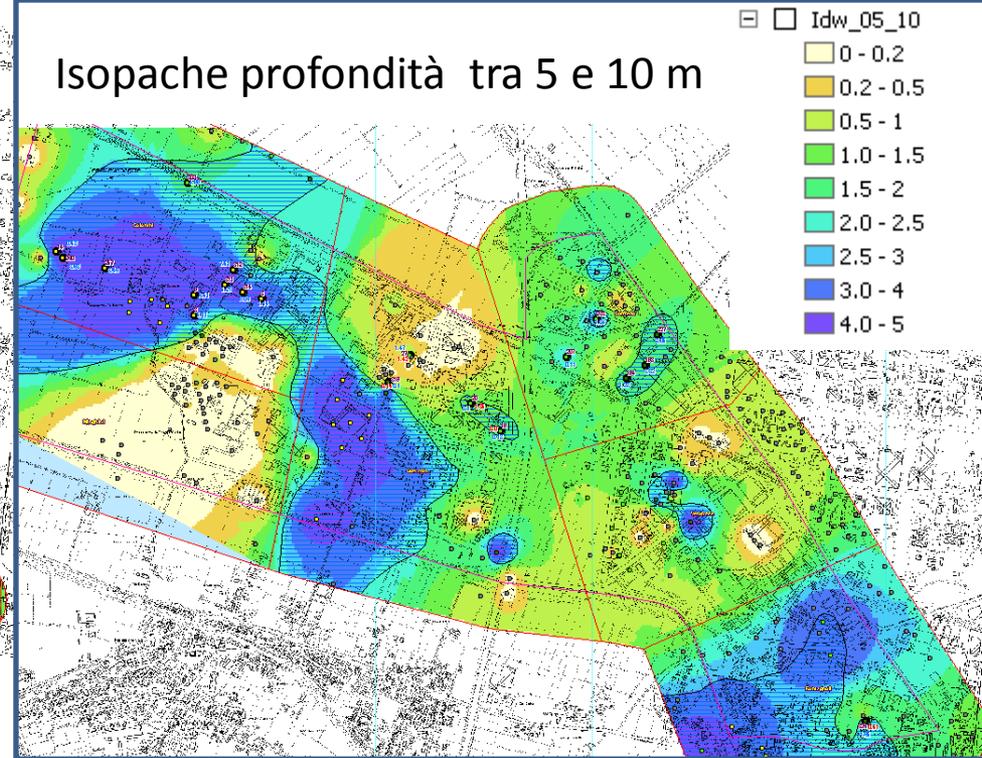


Le prove così classificate sono state ubicate in carta e, per comprendere meglio la distribuzione litostratigrafica, sono state realizzate sezioni geologiche, tracciate in maniera da intercettare il maggior numero di prove, tenendo in considerazione anche la distribuzione degli edifici.

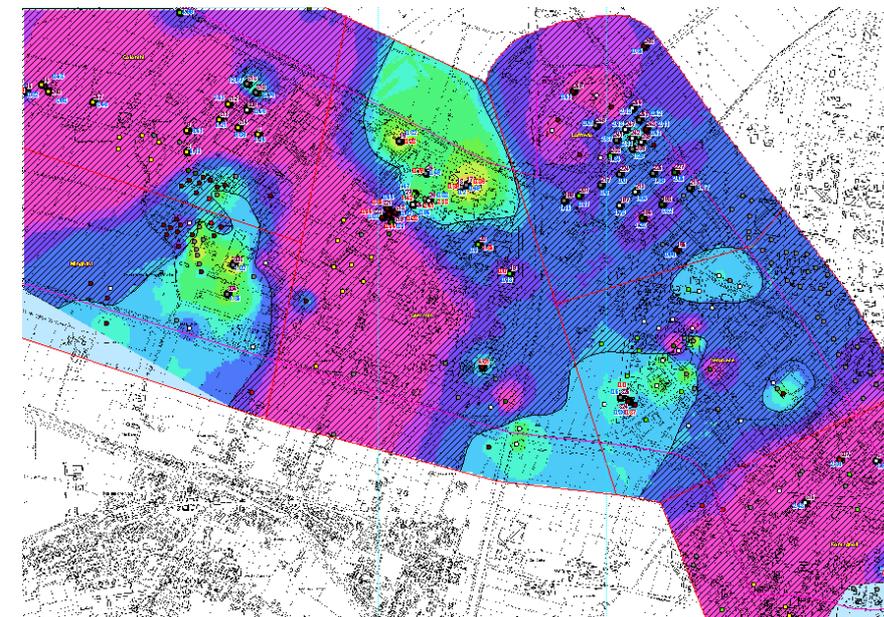
Isopache profondità tra 2 e 5 m



Isopache profondità tra 5 e 10 m



Isopache profondità tra 2 e 13 m



La cartografia delle prove in base alla profondità degli orizzonti liquefacibili non è risultata particolarmente significativa; perciò per ogni prova è stato stimato lo spessore dei terreni sabbiosi per intervalli di profondità: tra il tetto della falda e 5 m, tra 5 e 10 m, tra 10 e 15 m, tra 15 e 20 m. Sono state così realizzate 3 mappe delle isopache degli orizzonti sabbiosi per gli intervalli di profondità 2-5 m, 5-10 m, 2-13 m (da - 13 m solo sabbie).

Seconda fase: stima del rischio di liquefazione

Per ogni prova CPT e CPTU, per le quali fossero disponibili in forma tabellare i valori di resistenza alla punta e resistenza laterale, è stato poi valutato l'indice potenziale di liquefazione (I_L) (Iwasaki et al., 1982) tramite le procedure semplificate (v. linee guida AGI, 2005; DAL RER 112/2007; ICMS, 2008; NTC 2008).

Metodi utilizzati:

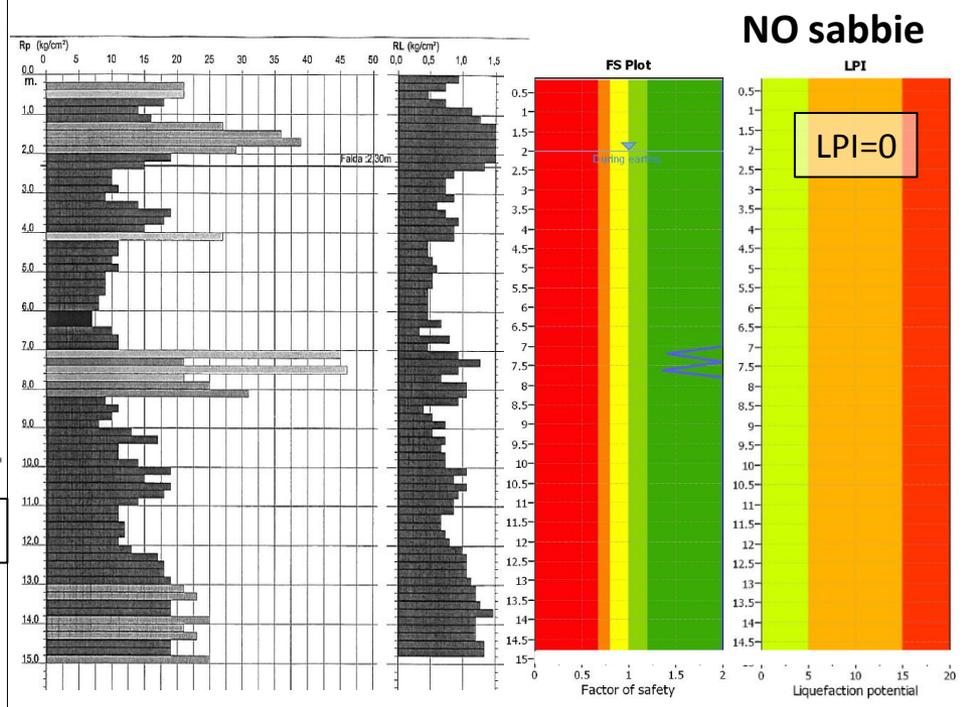
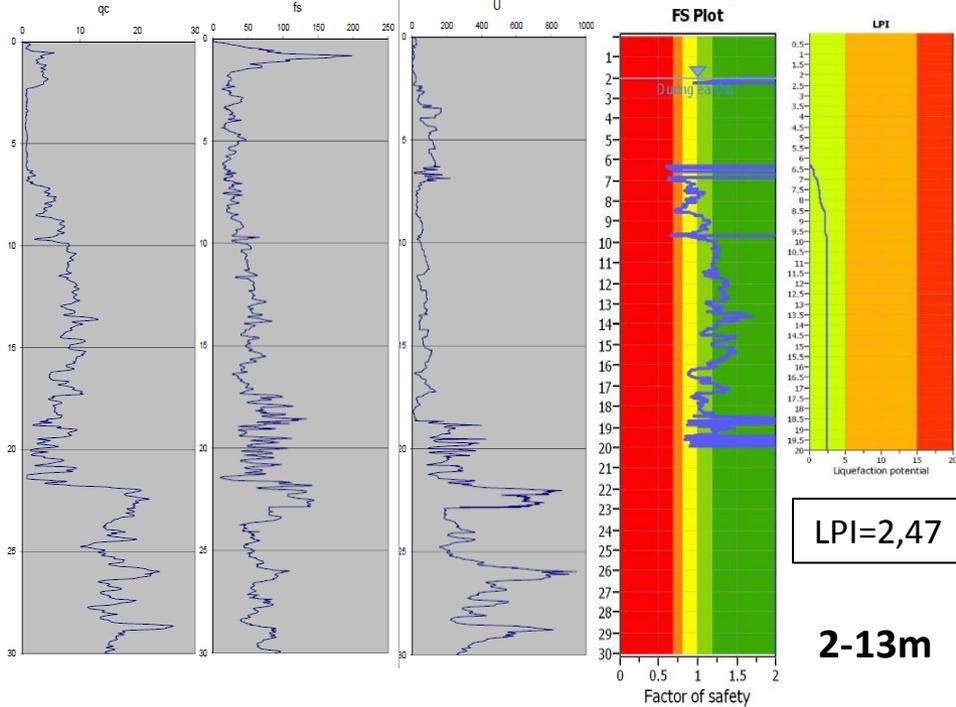
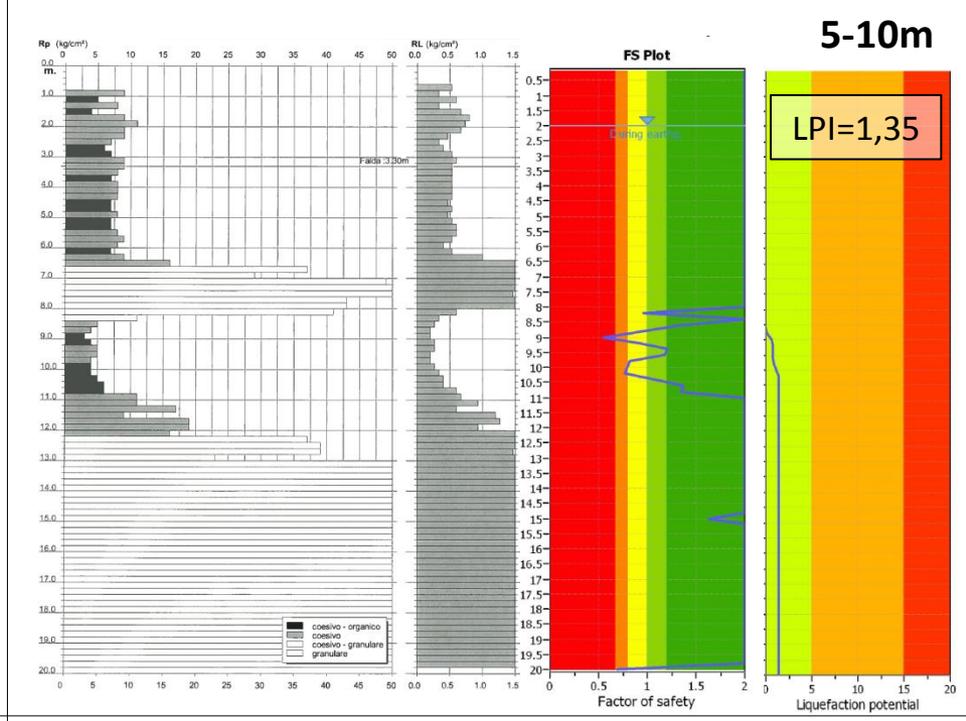
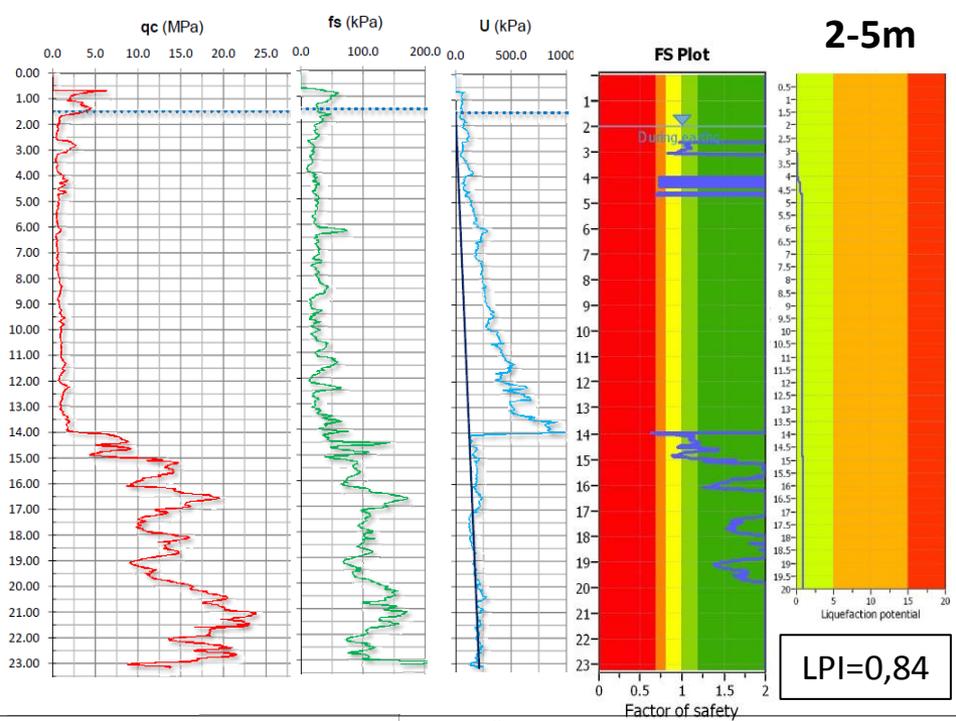
- Idriss & Boulanger (2008),
- Robertson (2009) .

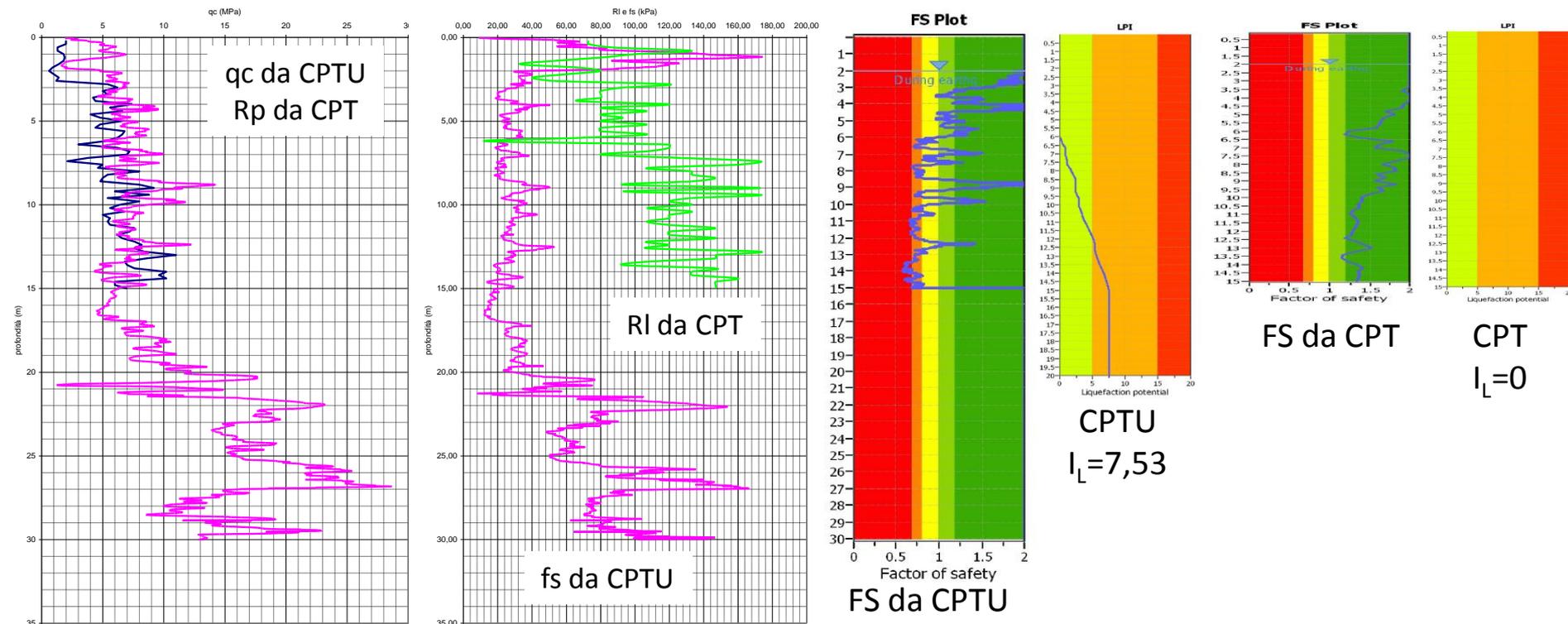
Parametri di input:

- profondità della falda a -2 m dal p.c.,
- $M_w=6.14$ ($M_{w_{max}}$ della zona 912, da ZS9)
- $PGA = a_{ref} \times 1,49^* = 0,200g$

* *fattore di amplificazione per terreno con categoria di sottosuolo tipo C mediamente presente nell'area di studio [in perfetto accordo con FA_{PGA} mediamente = 1,5 da analisi RSL x MS del Comune di Ferrara (Fioravante e Giretti, 2013)].*

Poiché il solo valore dell'indice I_L non fornisce indicazioni su profondità e spessore degli intervalli liquefacibili, di ogni prova è stato attentamente considerata la distribuzione dei fattori di sicurezza alla liquefazione F_s lungo la verticale di prova che si ottiene con le stesse procedure semplificate.





CPTU e CPT eseguite nello stesso lotto (distanza=113 m),
nello stesso ambito geologico (sabbie prevalenti tra 2 e 15 m)

Le elaborazioni per la stima di I_L hanno confermato che l'utilizzo di dati da CPT (1 dato/20 cm e minore accuratezza di misura di R_i) porta a valori di FS generalmente maggiori di quelli che si ottengono elaborando i dati delle prove CPTe o CPTU (1 dato/1-2 cm e misura più affidabile di f_s) e, conseguentemente, valori più bassi di I_L . Inoltre, va ricordato che le procedure per la stima di I_L sono tarate su CPTe o CPTU.

Il confronto della distribuzione ed entità dei valori di I_L , dei profili dei F_s e della cartografia delle isopache degli intervalli sabbiosi ha permesso di definire soglie minime di spessore degli intervalli sabbiosi al di sotto delle quali il rischio di liquefazione è poco significativo ($I_L < 2$, $F_s > 1$ negli strati a profondità > 10 m); tutte le elaborazioni hanno evidenziato che le sabbie a profondità maggiori di 13 m sono ben addensate e praticamente non liquefacibili.

Perciò sono state realizzate mappe delle zone con intervalli sabbiosi sottofalda di spessore > 1 m nei primi 5 m e di spessore > 2 m negli intervalli 5-10 m e fino alla profondità di 13-15 m.

Questa cartografia fornisce una suddivisione dettagliata del territorio per la mitigazione del rischio di liquefazione in quanto definisce le zone in cui il pericolo di liquefazione è ritenuto significativo nonché la profondità e lo spessore degli intervalli liquefacibili.

Area con presenza di terreni potenzialmente liquefacibili a profondità comprese tra 2 e 5 m

Area con presenza di terreni potenzialmente liquefacibili a profondità comprese tra 5 e 10 m

Zona di studio
Zona di interesse

prove utilizzate e relativa classificazione

- L1
- L2
- L3
- LT1
- LT2
- LT3
- all other values

Area con presenza di terreni potenzialmente liquefacibili a profondità comprese tra 2 e 13 m

Standard MS v3.0, CT-DPC

NO DATA
Area con dati insufficienti

edificio ricadente in area a rischio di liquefazione per l'intervallo di profondità considerato

edificio non ricadente in area a rischio di liquefazione per l'intervallo di profondità considerato

Aree ZS_{LQ}

rischio

- B - Basso $I_L \leq 2$
- M - Moderato $2 < I_L \leq 5$
- E - Elevato $I_L > 5$
- Nulla o Molto Basso $I_L \approx 0$

Conclusioni “locali”

- I valori di I_L risultano in genere bassi o moderati ($I_L < 5$) ad eccezione di quelli nel settore nord-occidentale dell'area
- La distribuzione in profondità dei valori di FS mostra che il maggiore contributo al rischio di liquefazione ($FS < 1$) è dato dagli intervalli sabbiosi presenti nei primi 10 m mentre le sabbie a profondità maggiori di 13-15 m, essendo generalmente ben addensate, forniscono quasi sempre valori di $FS > 1$.
- Sono state riconosciute 4 zone con diverse caratteristiche litostratigrafiche e definite 3 zone a rischio:
 - 1) aree in cui sono presenti lenti e orizzonti sabbiosi, sottofalda, spessi almeno 1 m fino alla profondità di 5 m; I_L *generalmente* < 2 ;
 - 2) aree in cui sono presenti lenti e orizzonti sabbiosi spessi almeno 2 m nell'intervallo di profondità compreso tra 5 e 10 m; I_L *generalmente* < 5 ;
 - 3) aree in cui sono presenti orizzonti sabbiosi, sottofalda, di spessore di almeno 2 m fino alla profondità di 13-15 m; I_L *talora* > 5 ;
 - 4) aree in cui sono assenti orizzonti sabbiosi di spessore rilevante nei primi 13-15 m; in tali aree il rischio di liquefazione è molto basso o nullo (I_L sempre $<< 1$);le zone 1-3 sono quasi sempre coincidenti.

Considerazioni conclusive “di carattere generale”

- Per definire meglio le aree potenzialmente liquefacibili è utile realizzare mappe delle isopache dei terreni sabbiosi nei primi 15-20 m
- Le procedure semplificate permettono di individuare meglio le aree a rischio liquefazione se oltre a I_L si considera anche la distribuzione di FS in profondità
- Le elaborazioni di dati da CPT, rispetto a quelle di dati da CPTe o CPTU, in genere portano a sovrastima di FS e sottostima di I_L ; tuttavia, poiché anche le elaborazioni di dati da CPT mostrano in genere valori di I_L maggiori nelle aree con intervalli sabbiosi più frequenti e di maggiore spessore, in mancanza di prove CPTe o CPTU, anche le prove CPT sono utili per la stima relativa della pericolosità di liquefazione tra zone con diverse caratteristiche litostratigrafiche
- Il confronto tra valori di I_L , distribuzione di FS lungo la verticale e mappe delle isopache degli intervalli sabbiosi permette di individuare gli spessori degli intervalli sabbiosi significativi per il rischio di liquefazione e quindi di realizzare mappe di MS più accurate
- Tale cartografia è fondamentale per la scelta degli interventi di riduzione del rischio ritenuti più idonei in base alle caratteristiche litostratigrafiche locali: una volta verificato quanti e quali edifici ricadono nelle zone a rischio, questi sono stati distinti in base alle condizioni litostratigrafiche locali; sulla base di tale classificazione e della tipologia degli edifici è stato possibile definire le tecniche di intervento più idonee ([v. presentazione sess. 2.3, mercoledì 26/11, ore 8:45](#)).

Grazie per l'attenzione

Confindustria Emilia-Romagna, Unindustria Ferrara e Regione Emilia-Romagna