

# **NUOVI INDIRIZZI REGIONALI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**

mercoledì 3 aprile 2019

sala 20 maggio 2012 - Terza Torre - Regione Emilia-Romagna

viale della Fiera, 8 - 40127 Bologna

## ***INTERAZIONI CON LA SCALA D'INTERVENTO A NATURA EDILIZIA***

***Stefano Curli***

***Delegato FedInG<sub>ER</sub> presso il  
Tavolo Tecnico di Monitoraggio L.R. 24/2017***



Federazione Regionale Ordini  
Ingegneri dell'Emilia Romagna

[www.fedinger.it](http://www.fedinger.it)

# ANALISI DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE 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**



ISTITUTO NAZIONALE  
DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE



servizio geologico  
sismico e dei suoli



**GRUPPO NAZIONALE  
DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA**

**33° convegno**  
**Bologna, 25-27 novembre 2014**  
**Regione Emilia-Romagna, Terza Torre**

## **1° FASE STUDIO GDL FE-NORD**

**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).**

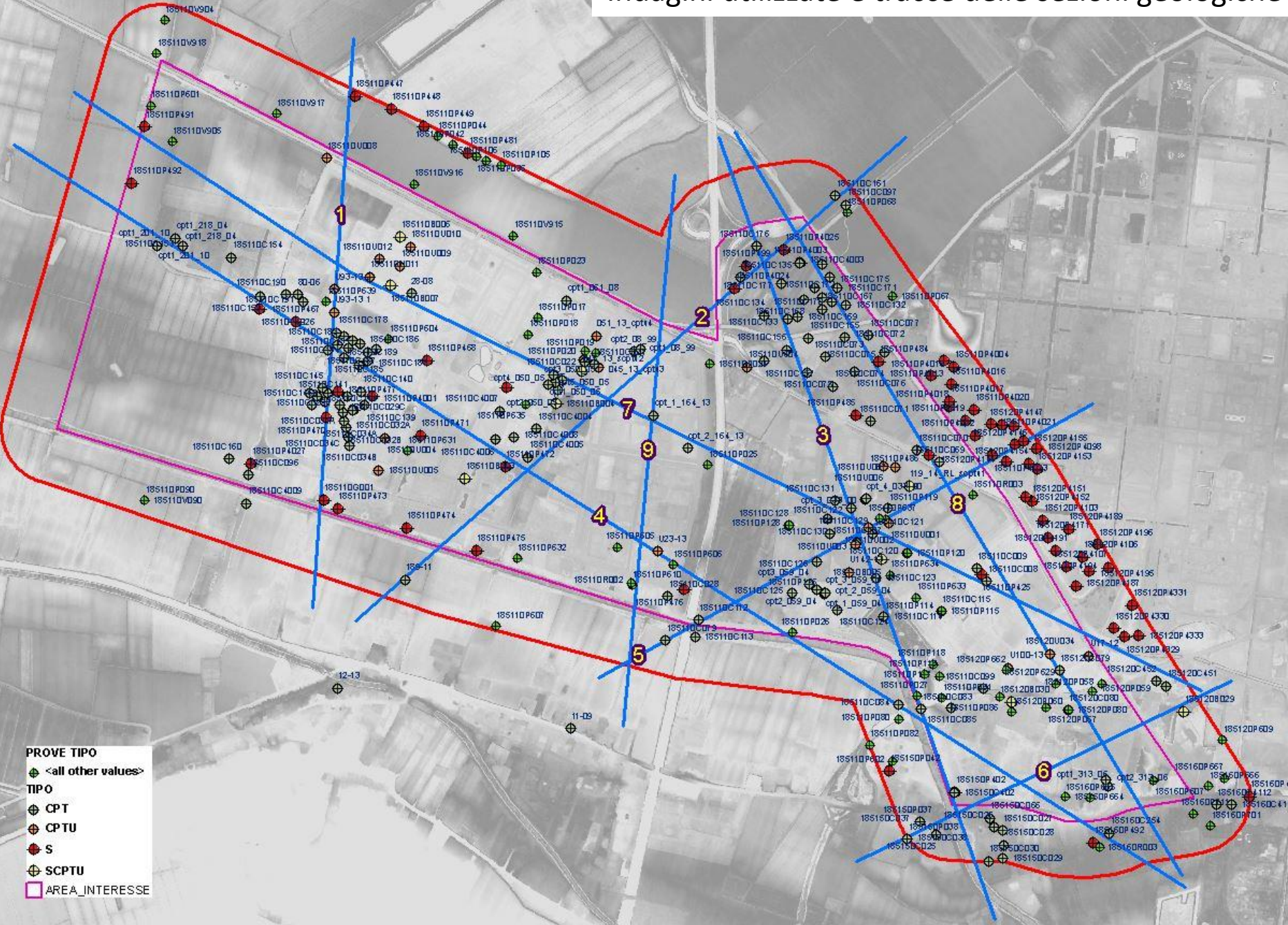
**Prima fase: definire accuratamente la posizione del ramo abbandonato del Po = mappare i terreni predisponenti la liquefazione.**

**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.**

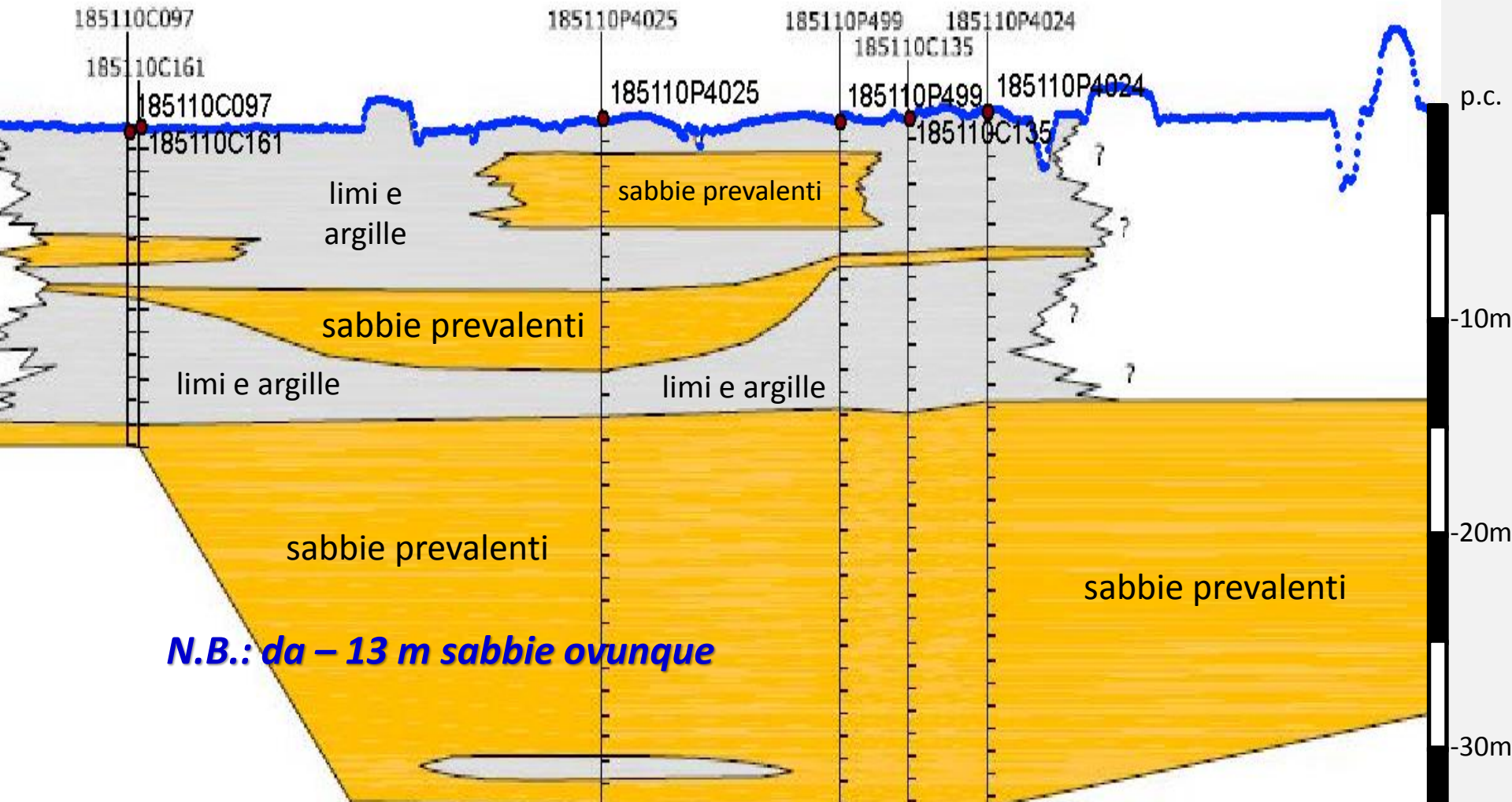
**In sintesi, le prove geotecniche in sito utilizzate sono le seguenti:**

- 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

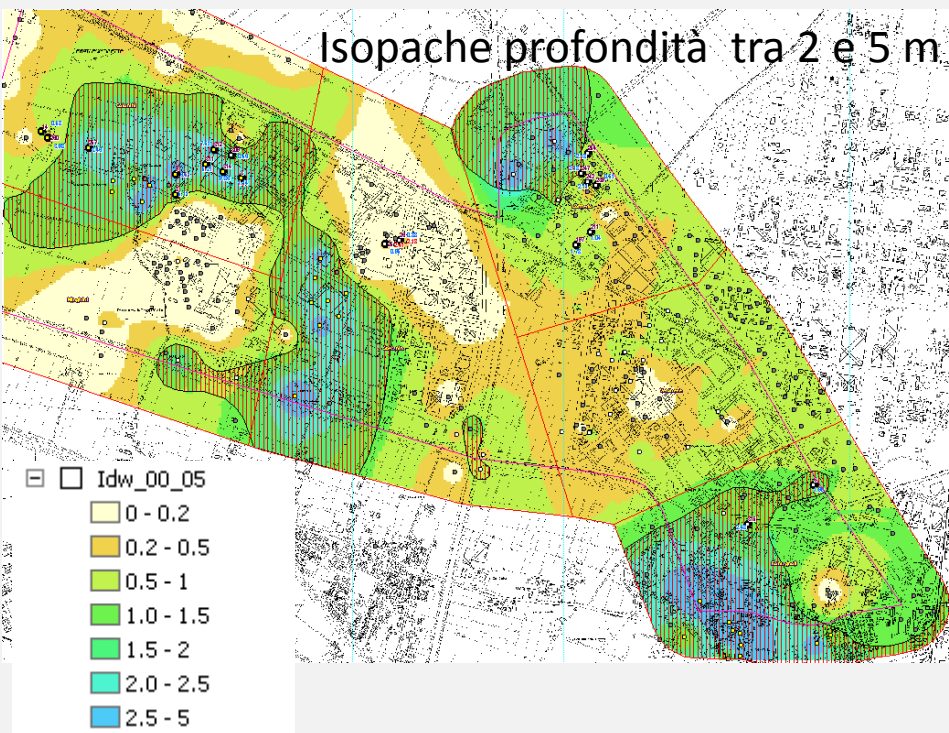


- PROVE TIPO**
- ⊕ <all other values>
  - TIPO**
  - ⊕ CPT
  - ⊕ CPTU
  - ⊕ S
  - ⊕ SCPTU
  - AREA\_INTERESSE

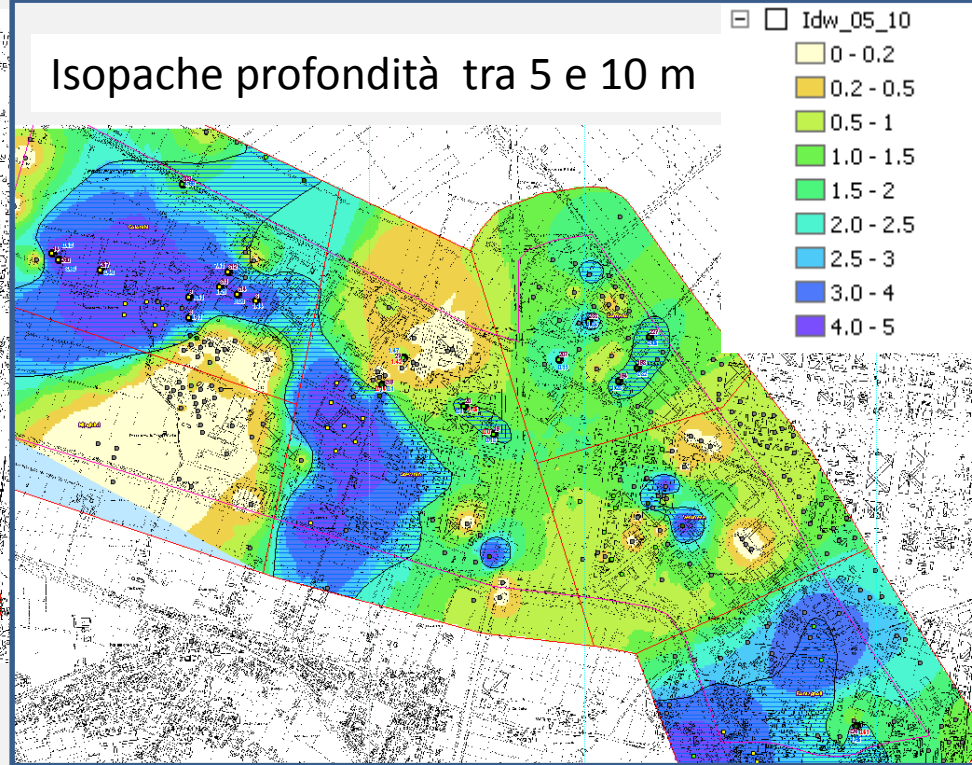


Le prove così classificate sono state ubicate in carta e, per comprendere meglio la distribuzione litostratigrafica, sono state realizzate sezioni geologiche, tracciate in maniera da intercettare il maggior numero di prove, tenendo in considerazione anche la distribuzione degli edifici.

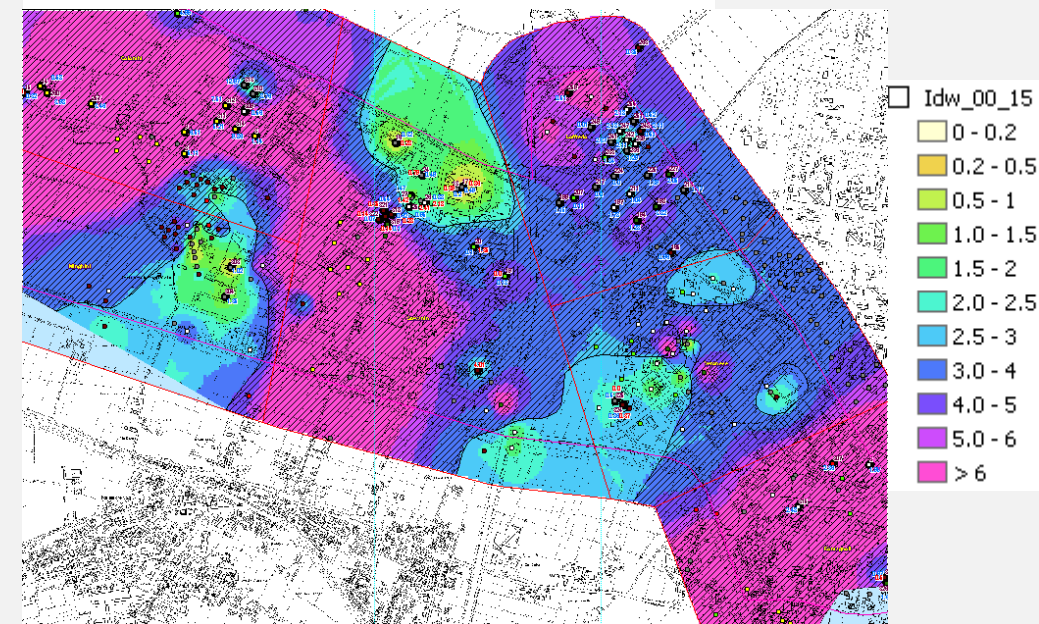
Isopache profondità tra 2 e 5 m



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).

## 2° FASE STUDIO GDL FE-NORD

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 (IL) (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) .

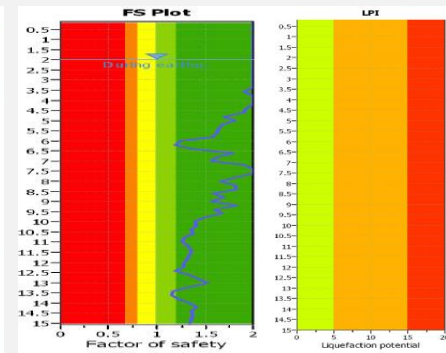
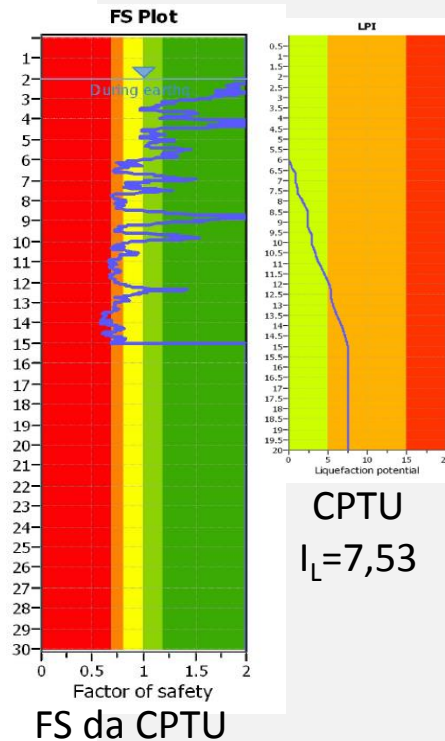
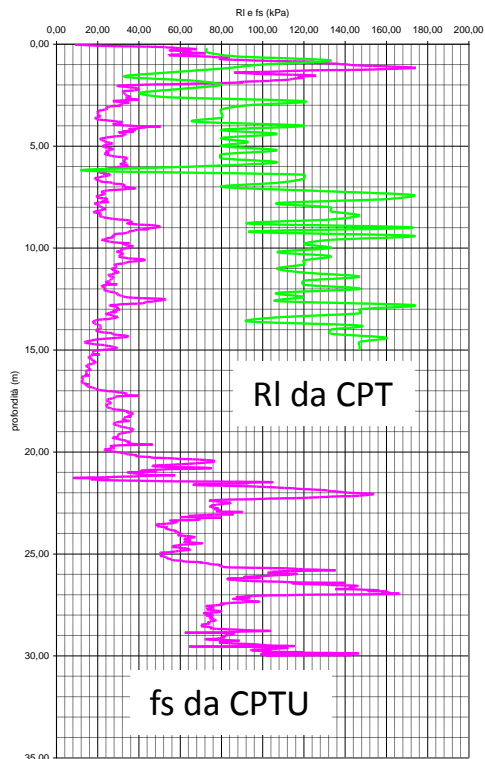
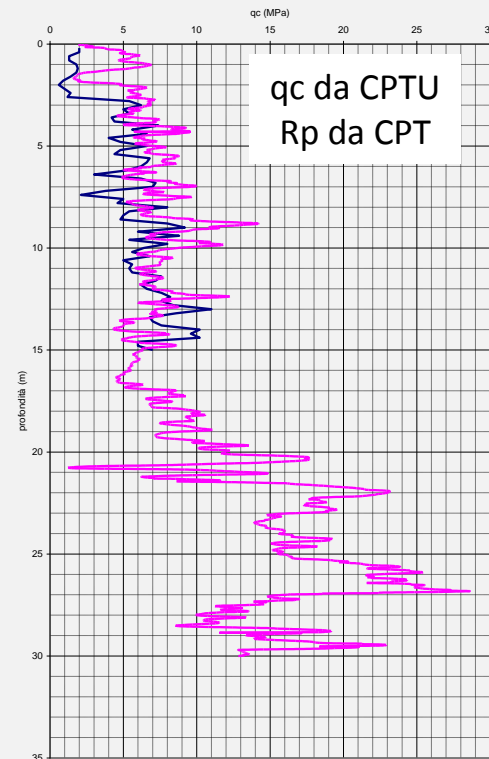
Parametri di input:

- profondità della falda a -2 m dal p.c.,
- $M_w=6.14$  ( $M_{wmax}$  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.

Rp da CPTm e qc da CPTu

RI da CPTm e fs da CPTu



FS da CPT

CPT  
 $I_L=0$ 

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 RI) 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 fs) e, conseguentemente, valori più bassi di  $I_L$ .  
D'altronde, le procedure speditive per la stima di  $I_L$  sono tarate su CPTe o CPTU





## RAPPRESENTAZIONE ESITI GDL FE-NORD



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  $I_L \approx 0$

prove utilizzate e relativa classificazione

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

 prove utilizzate per aree con indicazione di

## SINTESI RISULTATI GDL FE-NORD

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 evidenziano che le condizioni predisponenti la liquefazione (presenza di terreni granulari saturi nei primi 15-20 m da p.c.) in molte aree Pianura Padana.

L'analisi del rischio di liquefazione nell'area della Piccola e Media Industria di Ferrara per il miglioramento sismico degli edifici industriali (a scala suburbana) ha evidenziato che:

- 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; IL 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; IL generalmente  $<5$ ;
3. aree in cui sono presenti orizzonti sabbiosi, sottofalda, di spessore di almeno 2 m fino alla profondità di 13-15 m; IL 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 (IL sempre  $<<1$ );

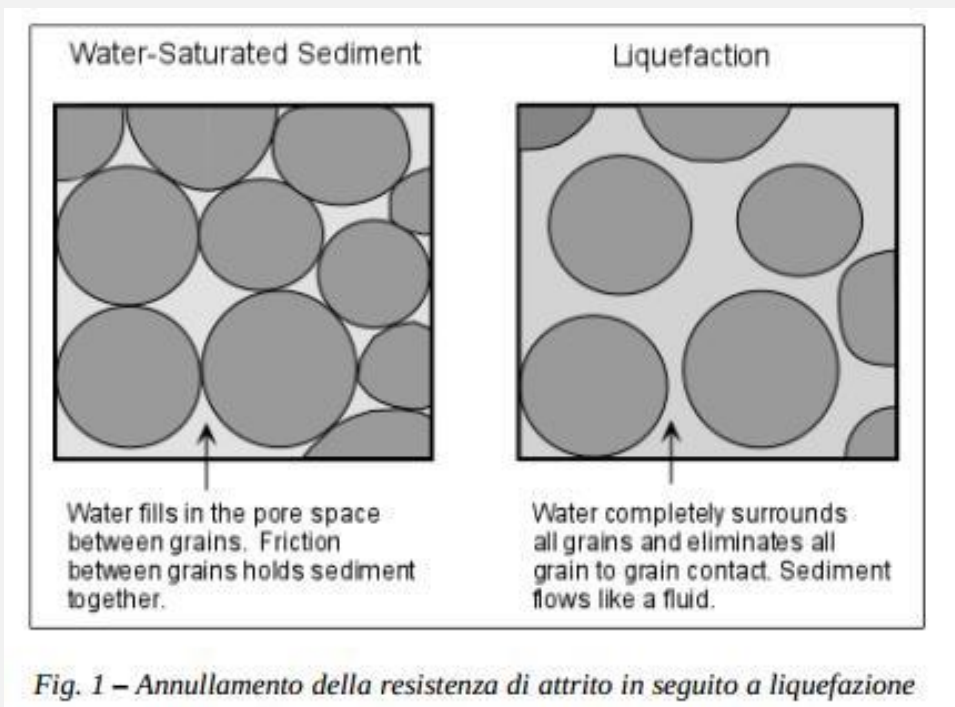
La distribuzione in profondità dei valori di FS mostra che il maggiore contributo al rischio di liquefazione (FS $<1$ ) è dato dagli intervalli sabbiosi presenti nei primi 10 m mentre le sabbie a profondità maggiori di 13-15 m, essendo generalmente ben addensate, forniscono quasi sempre valori di FS $>1$ .

Per effettuare opere di miglioramento sismico in tali aree è quindi necessario intervenire anche in fondazione e/o realizzare interventi di mitigazione del rischio di liquefazione.



# INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Durante i terremoti possono verificarsi fenomeni di liquefazione in terreni incoerenti saturi che comportano una caduta di resistenza al taglio e rigidità determinata dall'aumento di pressione nei pori .

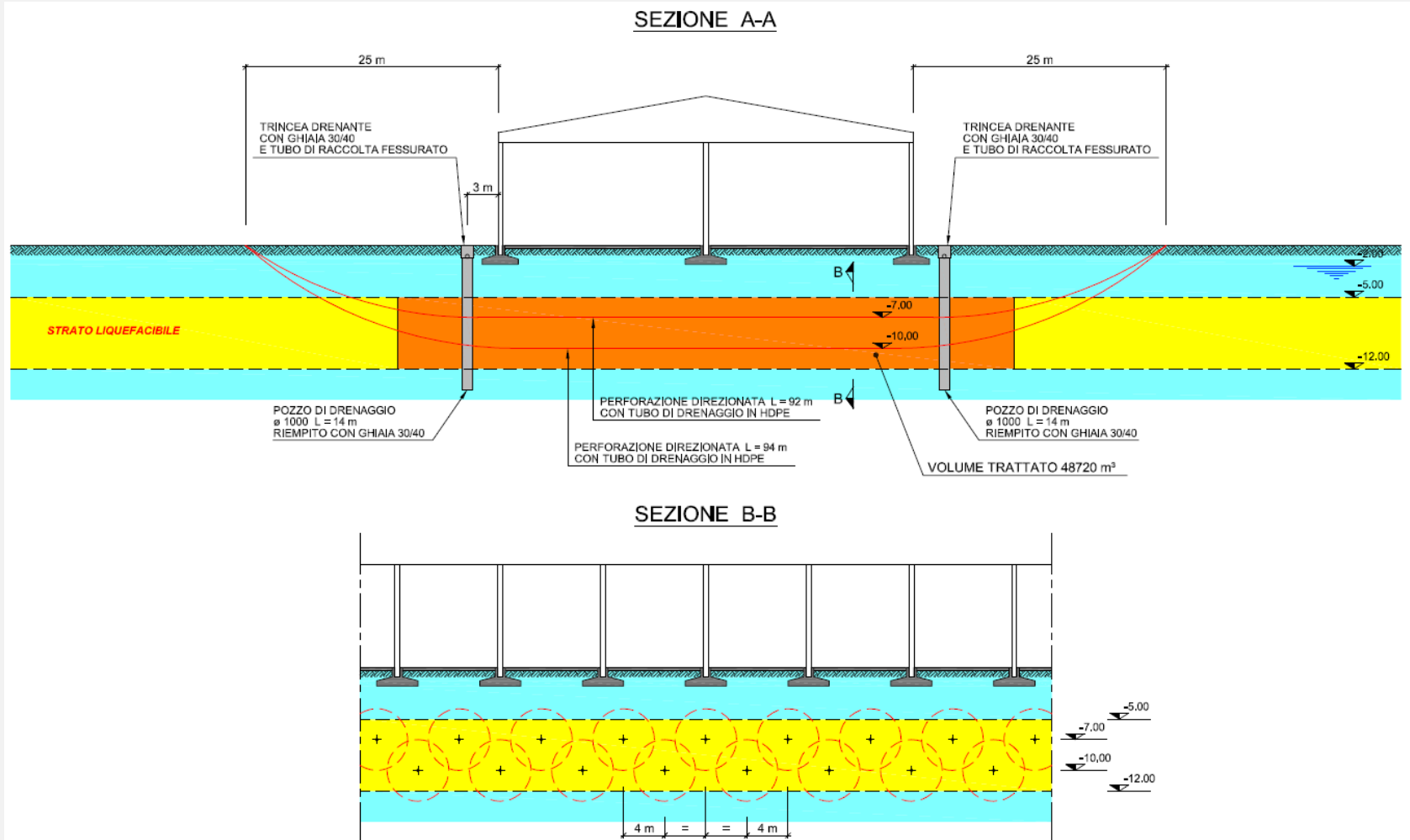


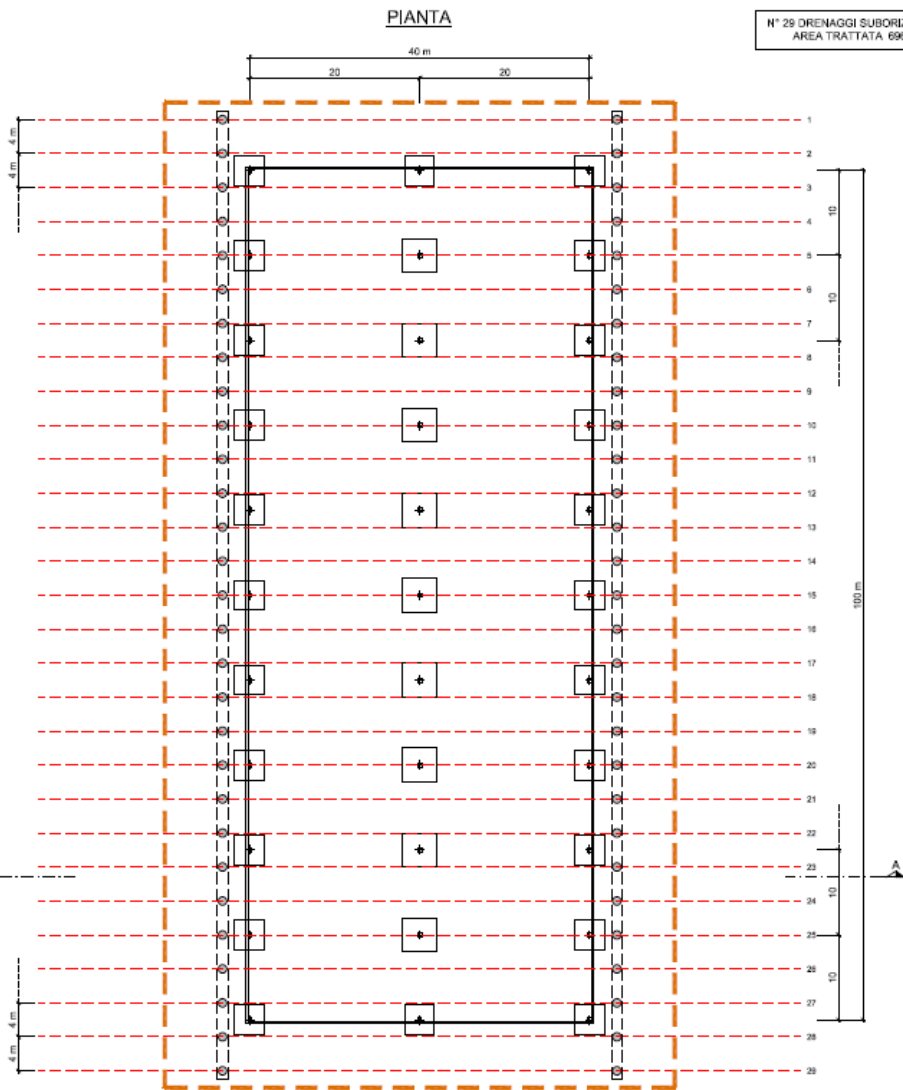
Gli effetti, a livello del singolo manufatto, possono essere diversi:

- perdita di capacità portante e affondamento-rotazione e ribaltamenti
- cedimenti differenziali e assoluti; movimenti orizzontali (lateral spreading)
- crolli e collassi strutturali.

# DRENI ORIZZONTALI A PERFORAZIONE DIREZIONATA E POZZI DRENANTI

La tecnologia, ad azione migliorativa di tipo “passivo”, consiste nel collegare i pozzi (e/o trincee) in ghiaia disposti lungo il perimetro dell’edificio con dreni sub-orizzontali in modo da garantire adeguata distribuzione della dissipazione delle pressioni interstiziali nell’intera area di sedime.





Dalla figura è possibile evincere le seguenti quantità:  
 N°29 dreni orizzontali di lunghezza pari a circa 94 ml,  
 con tubo di drenaggio in HDPE;  
 N°58 pali drenanti  $\Phi$ 1000, profondi 14 ml, riempiti  
 con ghiaia avente pezzatura indicativamente di 30/40  
 mm, collegati sui due lati mediante due trincee  
 drenanti superficiali.

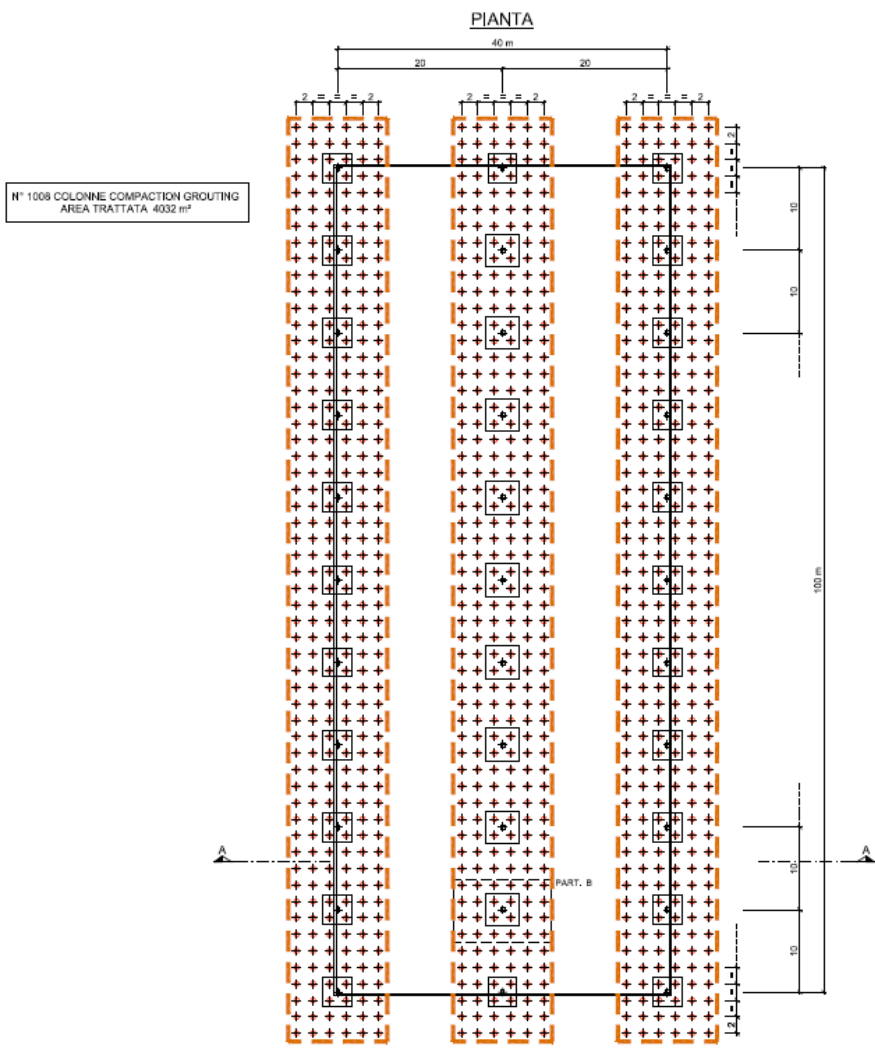
### I VANTAGGI DI TALE TECNICA SONO:

- limitata interferenza con l'attività produttiva
- le interazioni vengono limitate alle pertinenze esterne;
- gli effetti di mitigazione si estendono sull'intera area dell'edificio preservando quindi non solo il terreno di sottofondazione interessato dal regime tensionale indotto dai plinti ma anche quello al di sotto della pavimentazione industriale.

### SI RIASSUMONO DI SEGUITO I COSTI PARAMETRICI DELL'INTERVENTO

Soluzione per Capannone tipo 100m x 40m Superficie utile di 4000 (m <sup>2</sup> )	Costo Totale Intervento	Costo parametrico per m <sup>2</sup> di Superficie utile di capannone	Superficie totale trattata in pianta m <sup>2</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>2</sup> di superficie trattata in pianta	Volume totale di terreno trattato m <sup>3</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>3</sup> di Volume di terreno trattato
<b>Dreni orizzontali + Pozzi in ghiaia</b>	€    750 000	€            187	6 960	€            108	48 720	€            15





La prima tecnologia è volta consolidare tre fasce di terreno di circa 12m x 112m, in corrispondenza dei pilastri dell'edificio.

La massima profondità di ogni perforazione sarà di circa 12.5 m da p.c., la lunghezza del trattamento di 8 m, il diametro medio reso nella fascia consolidata di  $\approx 600$ mm. Il numero complessivo di colonne di consolidamento risulta pari a n° 1008, cui corrisponderà un'area trattata di circa 4032 m<sup>2</sup>.

### I VANTAGGI DI TALE TECNICA SONO:

- il controllo del risultato;
- utilizzo di attrezzature leggere e di dimensioni contenute idonee per essere utilizzate all'interno di strutture esistenti;
- la possibilità di intervenire anche a ridosso dei plinti di fondazione;
- la possibilità di definire l'area di intervento in modo certo.

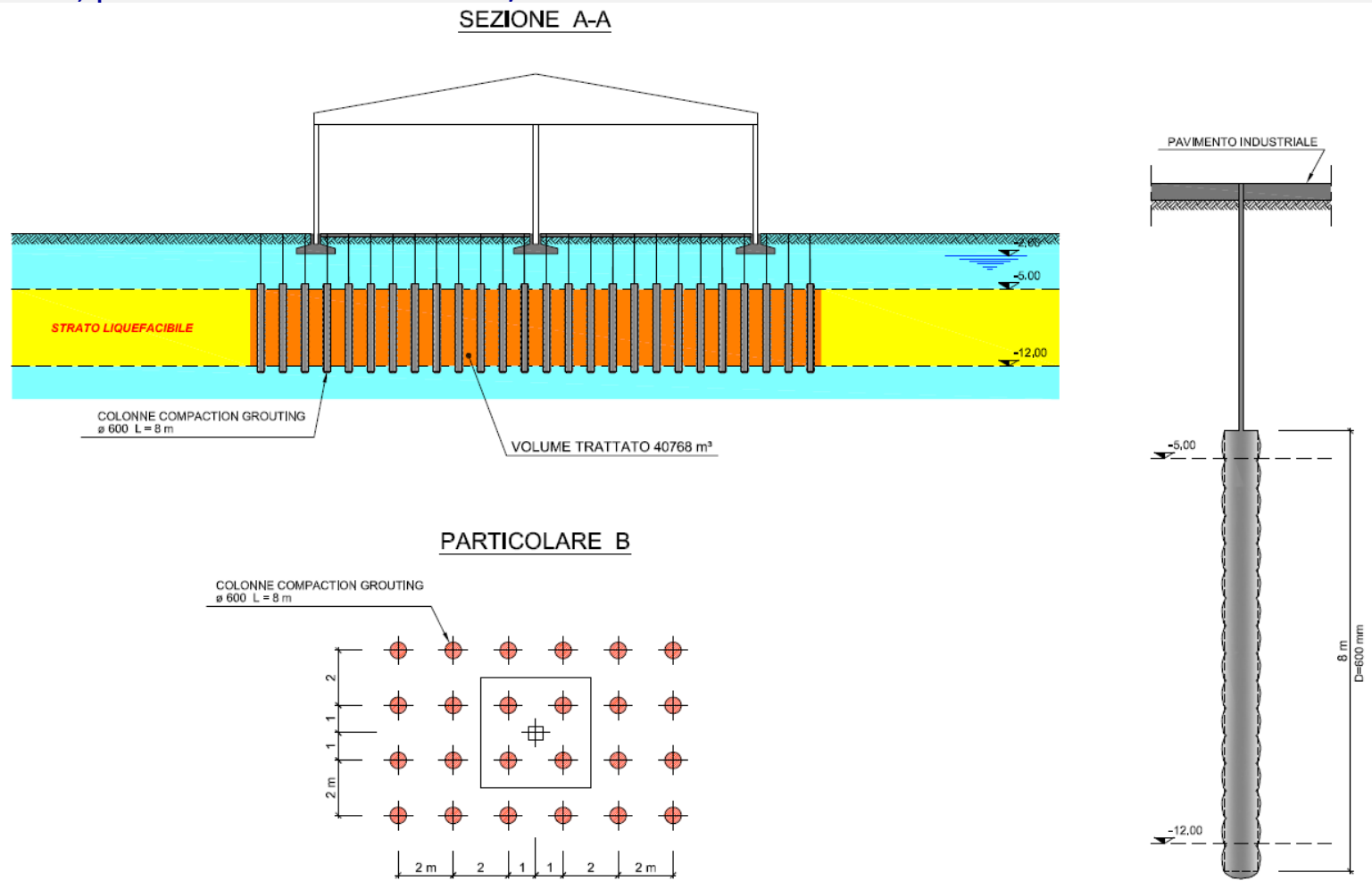
### SI RIASSUMONO DI SEGUITO I COSTI PARAMETRICI DELL'INTERVENTO

Soluzione per Capannone tipo 100m x 40m Superficie utile di 4000 (m <sup>2</sup> )	Costo Totale Intervento	Costo parametrico per m <sup>2</sup> di Superficie utile di capannone	Superficie totale trattata in pianta m <sup>2</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>2</sup> di superficie trattata in pianta	Volume totale di terreno trattato m <sup>3</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>3</sup> di Volume di terreno trattato
Compaction Grouting A	€ 1 290 000	€ 323	4 032	€ 320	28 224	€ 46

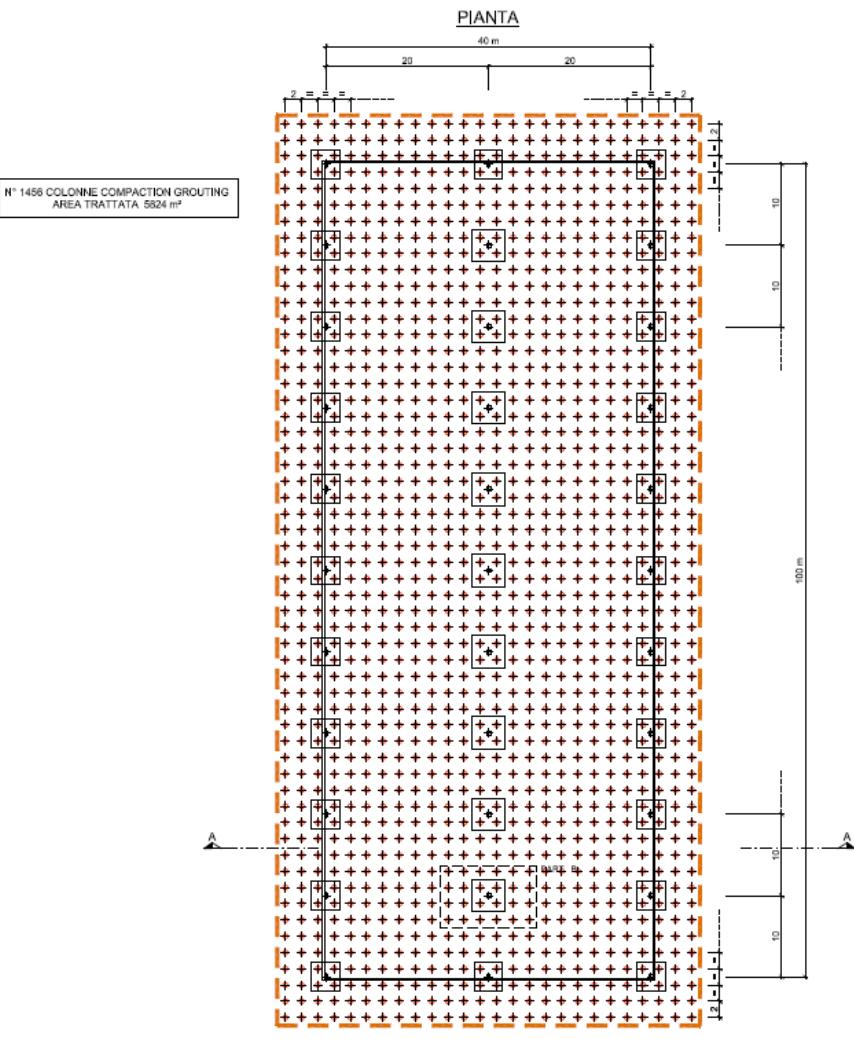


# COMPACTION GROUTING "B"

Tale tecnologia, analoga alla precedente, è estesa all'intera superficie dell'edificio industriale. L'obiettivo è di estendere l'eliminazione del rischio anche all'area industriale non necessariamente collegata alle strutture principali, ovvero alla perdita di vite umane, ma che può avere comunque un ruolo importante, in caso di liquefazione, per ricadute economiche e/o ambientali.



### 3 - COMPACTION GROUTING / B



L'intervento consiste nella realizzazione di una serie di trattamenti tale da individuare una maglia quadrata di circa 2 m di lato. La massima profondità di ogni perforazione è di circa 12.5 m da p.c., la lunghezza del trattamento di 8 m, il diametro medio reso nella fascia consolidata di  $\approx 600$  mm .

Il numero complessivo di colonne di consolidamento previste è pari a n° 1456, cui corrisponderà un'area trattata di circa 5824 m<sup>2</sup>.

#### I VANTAGGI DI TALE TECNICA SONO:

Viene consolidata l'intera impronta dell'edificio più una fascia di circa 6 m per garantire il raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza del volume di terreno significativo rispetto alla geometria dei plinti ed al carico ad essi applicato.

#### SI RIASSUMONO DI SEGUITO I COSTI PARAMETRICI DELL'INTERVENTO

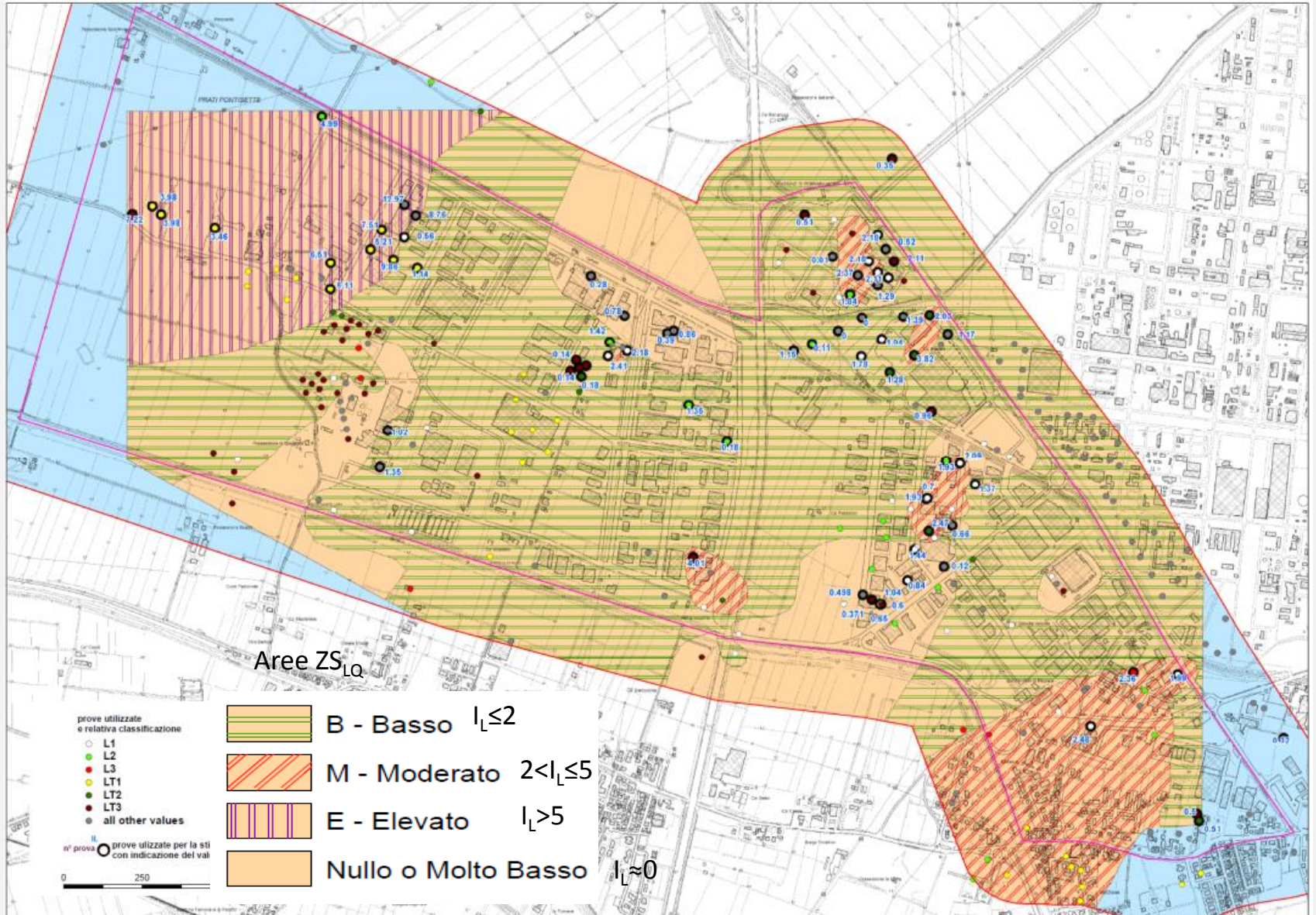
Soluzione per Capannone tipo 100m x 40m Superficie utile di 4000 (m <sup>2</sup> )	Costo Totale Intervento	Costo parametrico per m <sup>2</sup> di Superficie utile di capannone	Superficie totale trattata in pianta m <sup>2</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>2</sup> di superficie trattata in pianta	Volume totale di terreno trattato m <sup>3</sup>	Costo parametrico per ogni m <sup>3</sup> di Volume di terreno trattato
Compaction grouting B	€ 1 780 000	€ 445	5 824	€ 305	40 768	€ 44

# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo

Collaudo: dott. ing. Stefano Curli



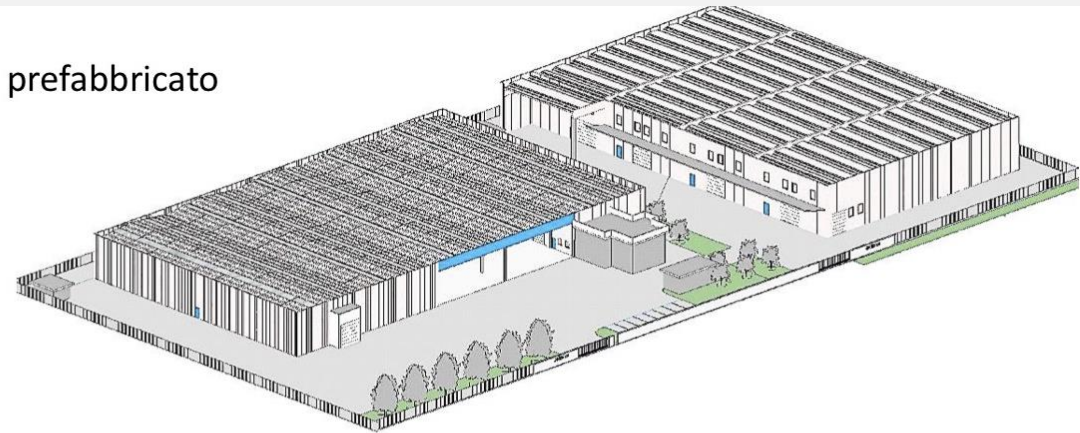
# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo  
Collaudo: dott. ing. Stefano Curli

Struttura realizzata tra 1980 – 1981:

- Tipologia costruttiva – calcestruzzo cementizio prefabbricato
- Fondazione composta da plinti isolati
- Classe d'uso III, relativo coeff. d'uso  $C_u = 1,5$



# CASE HISTORY

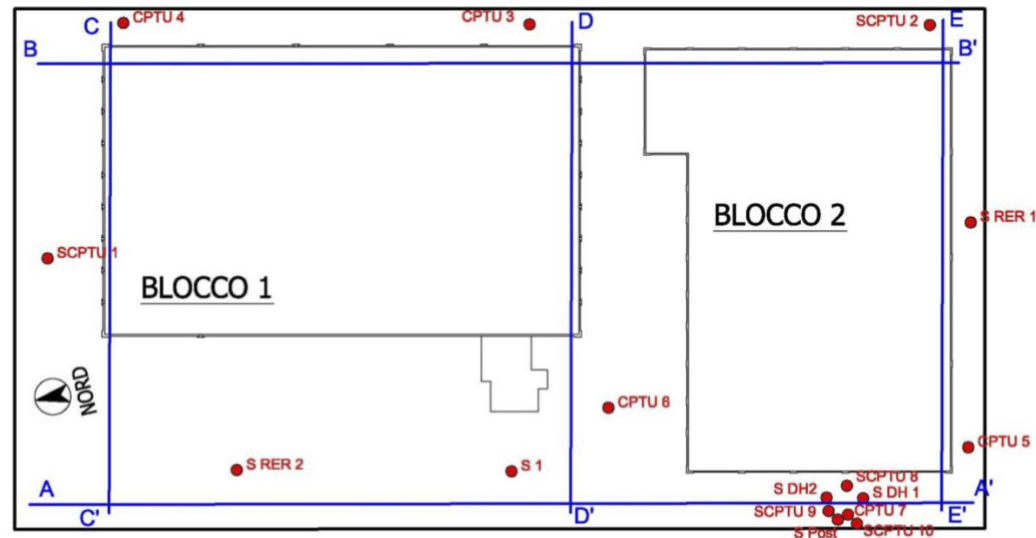
## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo

Collaudo: dott. ing. Stefano Curli

Campagna indagini per una sufficiente modellazione del terreno.

- 2 - sondaggi a carotaggio continuo per stratigrafia 20m e prove permeabilità
- 2 – sondaggi a carotaggio continuo, stratigrafia e prospezioni geofisiche Cross Hole 16m
- 1 – sondaggio a carotaggio continuo per investigare sugli effetti delle iniezioni di consolidamento campo prova
- 1 – prova penetrometrica CPTU 16m
- 3 – prova penetrometrica SCPTU 16m, campo prova post-trattamento
- 3 – prospezioni Cross Hole per caratteristiche geofisiche e dinamiche dei terreni, pre e post-trattamento



# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo  
Collaudo: dott. ing. Stefano Curli

### Analisi liquefazione

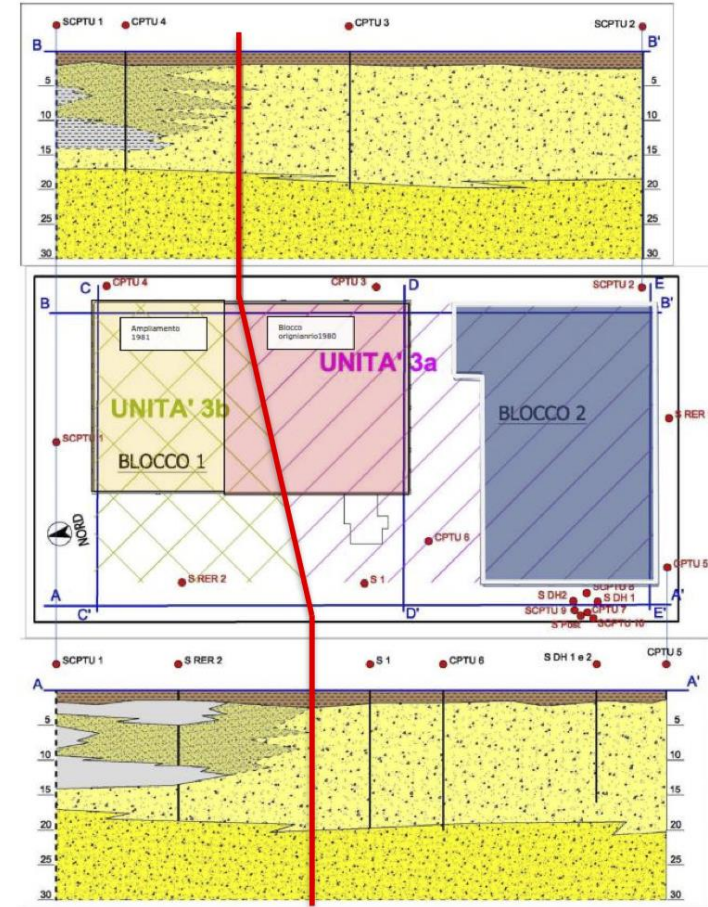
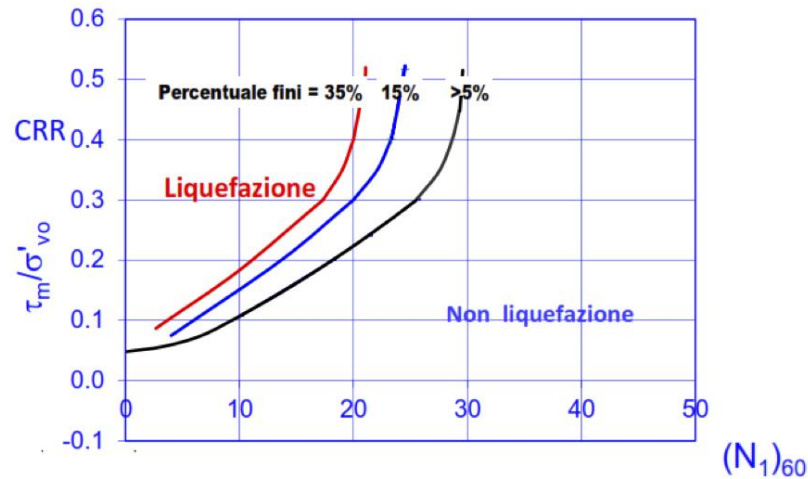
Fenomeno della liquefazione è trascurabile per l'Unità 3b (argille e limi) e non trascurabile per l'Unità 3a.

#### Valori di IPL<5:

- SCPTU 1 = 2,007 (Moderato);
- CPTU 4 = 3,556 (Moderato);
- CPTU 5 = 3,867 (Moderato);

#### Valori di IPL>5:

- SCPTU 2 = 6,889 (Elevato);
- CPTU 3 = 8,130 (Elevato);
- CPTU 6 = 5,100 (Elevato).



# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo  
Collaudo: dott. ing. Stefano Curli

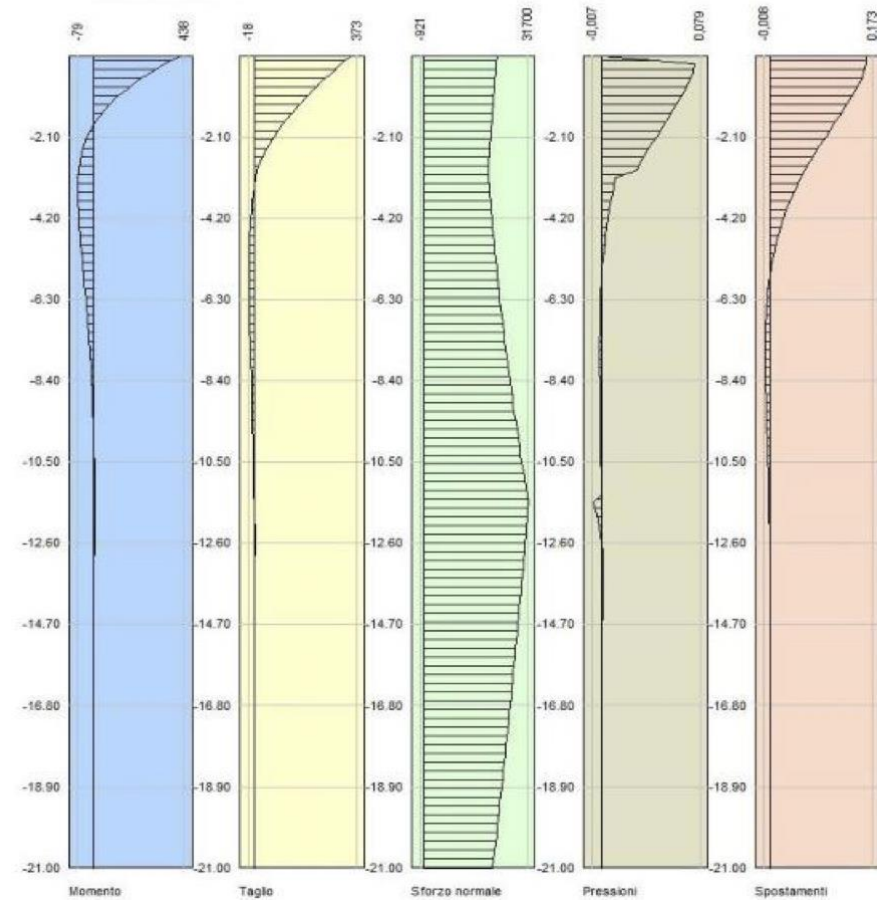
### Interventi

#### **Blocco 3(a) e Blocco 3(b)**

**Pali:** prevede relativamente allo strato liquefacibile trattato l'inserimento dell'angolo di attrito PALO-TERRENO negativo, nonché l'abbattimento della costante di winkler orizzontale

#### **Blocco 2**

**Dreni:** accelera la consolidazione sfruttando anche la permeabilità in direzione orizzontale



# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL:  
Collaudo:

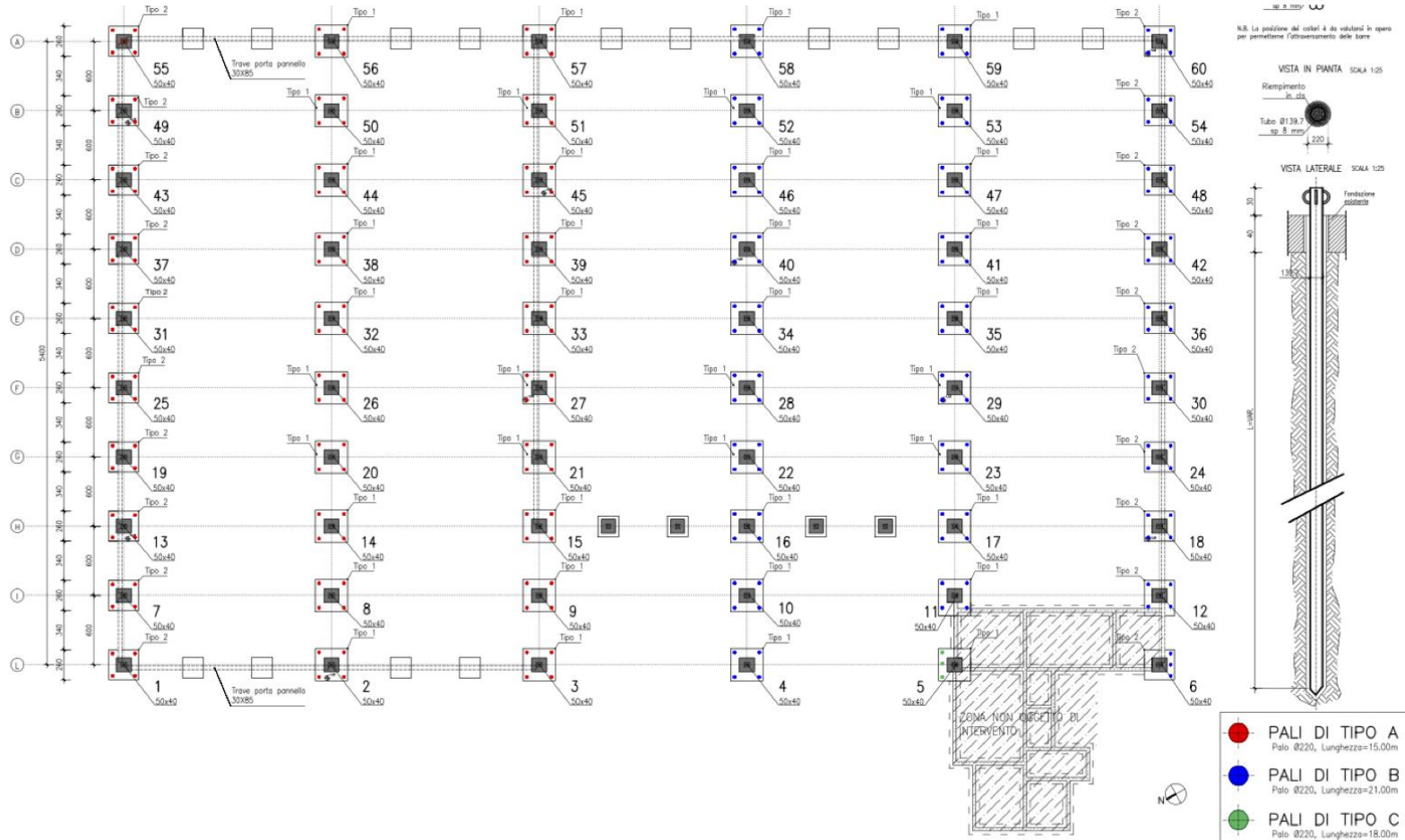
dott. ing. Gianluca Loffredo  
dott. ing. Stefano Curli

Interventi

**Blocco 3(a)**

e

**Blocco 3(b)**







# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo

Collaudo: dott. ing. Stefano Curli



# CASE HISTORY

## ANRIV s.r.l. – Deposito e distribuzione prodotti chimici – Ferrara

Progetto e DL: dott. ing. Gianluca Loffredo

Collaudo: dott. ing. Stefano Curli



# CONCLUSIONI

**Gli studi di microzonazione sismica oggi disponibili hanno evidenziato che le condizioni predisponenti la liquefazione sono presenti in molte aree della Pianura Padana.**

**L'esperienza progettuale ed esecutiva e le valutazioni degli studi effettuati indicano come se da un lato l'obbligo di redazione delle analisi microzonazione sismica si configurino come un importante ed efficace strumento di valutazione connesso con le scelte di natura urbanistica e territoriale alla base della redazione dei nuovi strumenti urbanistici, d'altro canto, anche a seguito di analisi approfondite come quelle di 2° e 3° livello non debba considerarsi come risultato plausibile quello di una sorta di "inedificabilità" di talune aree rispetto ad altre, a meno di particolari contesti geologici e geomorfologici, che configurino un profilo di rischio critico frutto di un insieme di fattori contingenti oltre a quello sismico (quali a titolo esemplificativo e non esaustivo: acclività, spessore della coltre detritica, presenza di frane quiescenti, possibile liquefazione, etc.).**

***Grazie per l'attenzione***

***Stefano Curli***

***Delegato FedInG ER presso il  
Tavolo Tecnico di Monitoraggio L.R. 24/2017***

***INTERAZIONI  
CON LA SCALA D'INTERVENTO  
A NATURA EDILIZIA***