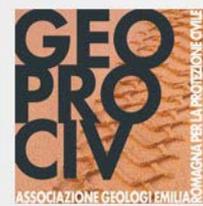


# Effetto **SISMA 2012** suolo e strutture

Il rilievo degli effetti cosismici e sperimentazioni con indagini “tradizionali” e “tomografia 3D” in un’area con effetti di liquefazione



**Associazione Geologi Emilia-Romagna  
per la Protezione Civile**

Relatore  
Dott. Geol. Riccardo Triches

# Chi siamo



GEO-PRO-CIV: Associazione Geologi Emilia-Romagna per la Protezione Civile, un'associazione di volontariato ai sensi della Legge 226/91, della Legge Regionale 37/96 e dell'art. 36 e seguenti del Codice Civile, è stata costituita il 3 luglio 2002 a Bologna con atto notarile.

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
63	63	51	55	54	45	50	47	110

Durante l'Emergenza sisma TUTTI i volontari Geo-Pro-Civ intervenuti erano coperti da apposita polizza di assicurazione, (art. 5 convenzione RER), per Infortuni e/o Responsabilità Civile verso terzi, durante interventi di Protezione Civile.

21-5-2012 attivazione Geo-Pro-Civ da parte Serv. Pianificazione Emergenze Ag. RER Protezione Civile (Dr. M. Mainetti)

21-5-2012 accordi con Dott. Geol. Luca Martelli Servizio Geologico e Sismico RER per impostare le procedure per i rilievi degli effetti cosismici segnalati.

# Emergenza Sisma



DATA	N. VOLONTARI	ZONA DEI RILIEVI	ATTIVITA' SVOLTA
21-05-2012	3	PROV. FERRARA	C.C.S. FERRARA
23-05-2012	20	PROV. FERRARA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
24-05-2012	16	PROV. FERRARA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
24-05-2012	5	PROV. MODENA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
25-05-2012	16	PROV. FERRARA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
25-05-2012	21	PROV. MODENA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
26-05-2012	18	PROV. FERRARA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
26-05-2012	6	PROV. MODENA	RILIEVI E CAMP. LIQUEFAZIONE
28-05-2012	4	SEDE RER	GRUPPO LAVORO LIQUEFAZIONE
29-05-2012	9	PROV. FERRARA	CENSIMENTO POZZI
30-05-2012	2	SEDE RER	GRUPPO LAVORO LIQUEFAZIONE
01-06-2012	4	PROV. FERRARA	CENSIMENTO POZZI
02-06-2012	6	PROV. FERRARA	CENSIMENTO POZZI
02-06-2012	8	PROV. FERRARA	RILIEVO ARGINI RENO - CAVO NAPOLEONICO

# Emergenza Sisma



DATA	N. VOLONTARI	ZONA DEI RILIEVI	ATTIVITA' SVOLTA
03-06-2012	3	PROV. FERRARA	CENSIMENTO POZZI
06-06-2012	6	SEDE RER	GRUPPO LAVORO LIQUEFAZIONE
09-06-2012	25	PROV. MODENA	RILIEVI ARGINI PANARO
20-06-2012	4	SEDE RER	GRUPPO LAVORO LIQUEFAZIONE
23-06-2012	9	PROV. FERRARA	VERIFICA SEGNALAZIONI ORDINE AGRONOMI
+ 20 SOPRALLUOGHI E SEGNALAZIONI SINGOLE PERVENUTE DA COC DELLE PROV. MODENA E FERRARA			

- Dall'elenco si nota come le prime squadre di rilievo effetti cosismici GeoProCiv, sono intervenute già dal 21/05, in zona Ferrara e subito dopo in provincia di Modena.
- I rilievi sono proseguiti per circa 1 mese con ingente lavoro, sia logistico organizzativo ed un grande impegno da parte di tutti i volontari.

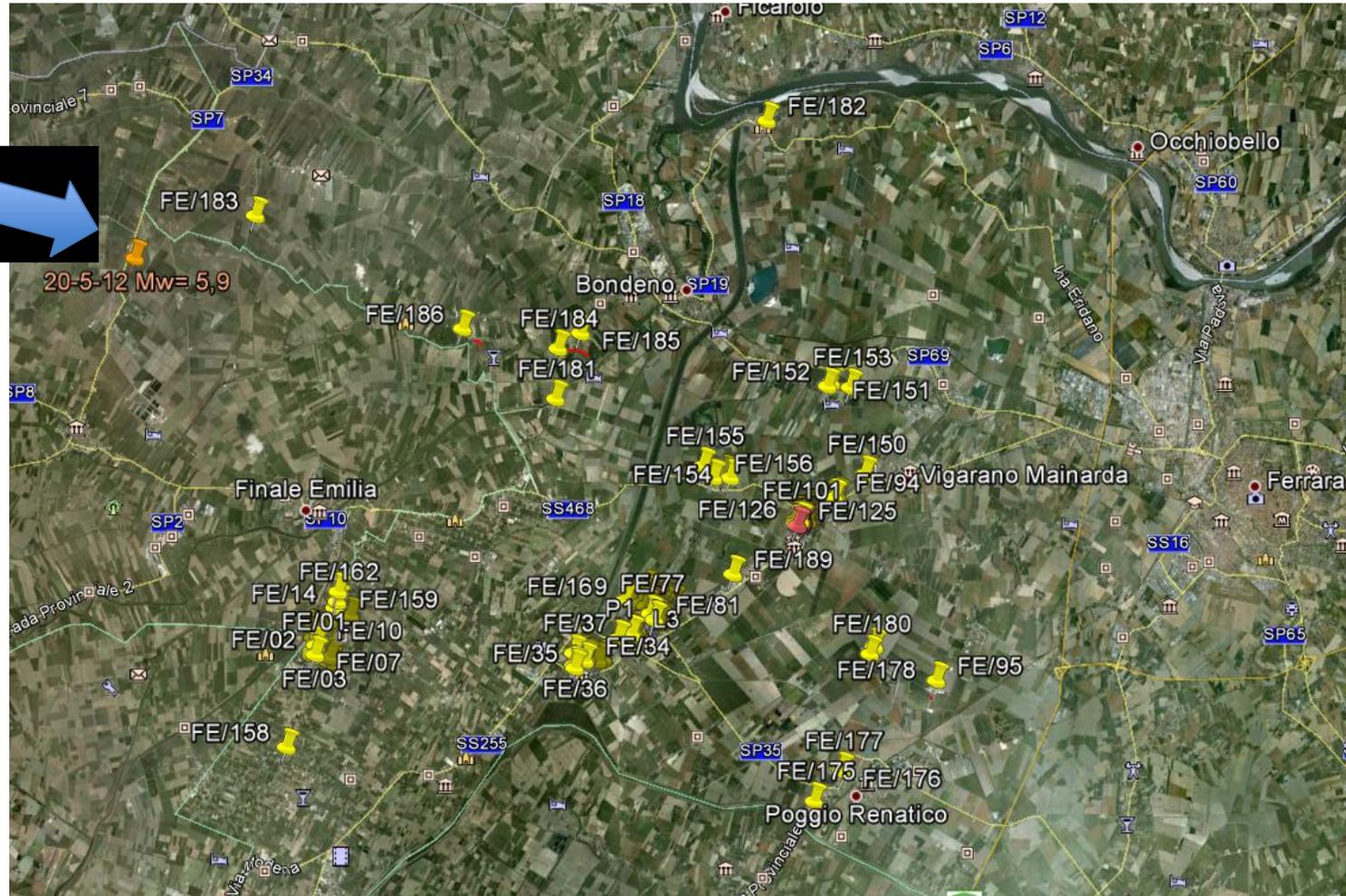
**VOLONTARI GEO-PRO-CIV IMPEGNATI: N° 78**

# Emergenza Sisma

RILIEVI EFFETTI COSISMICI:

Provincia di Ferrara punti liquefazione/fessurazione n°  
189

Epicentro  
terremoto 20-5-12  
Mw=5,9



# Emergenza Sisma

RILIEVI EFFETTI COSISMICI:

Provincia di Modena punti liquefazione/fessurazione n° 103

Epicentro terremoto 20-5-12 Mw=5,9



Epicentro terremoto 29-5-12 Mw=5,8

sette maggiormente colpito:  
S. Felice s/P.

# Emergenza Sisma

RILIEVI EFFETTI COSISMICI:

Zone maggiormente colpite

PROVINCIA DI FERRARA settore  
maggiormente colpito:  
Zona San Carlo - Mirabello



## Campagna rilievo livelli piezometrici, San Carlo e Mirabello

SAN CARLO (FE): NUMERO pozzi censiti 41,  
di cui 21 con sabbia all'interno del pozzo o  
fuoriuscita in vicinanza del pozzo

MIRABELLO (FE): N. 88 cui 48 che hanno  
sabbia all'interno o effetti di liquefazione

# Emergenza Sisma

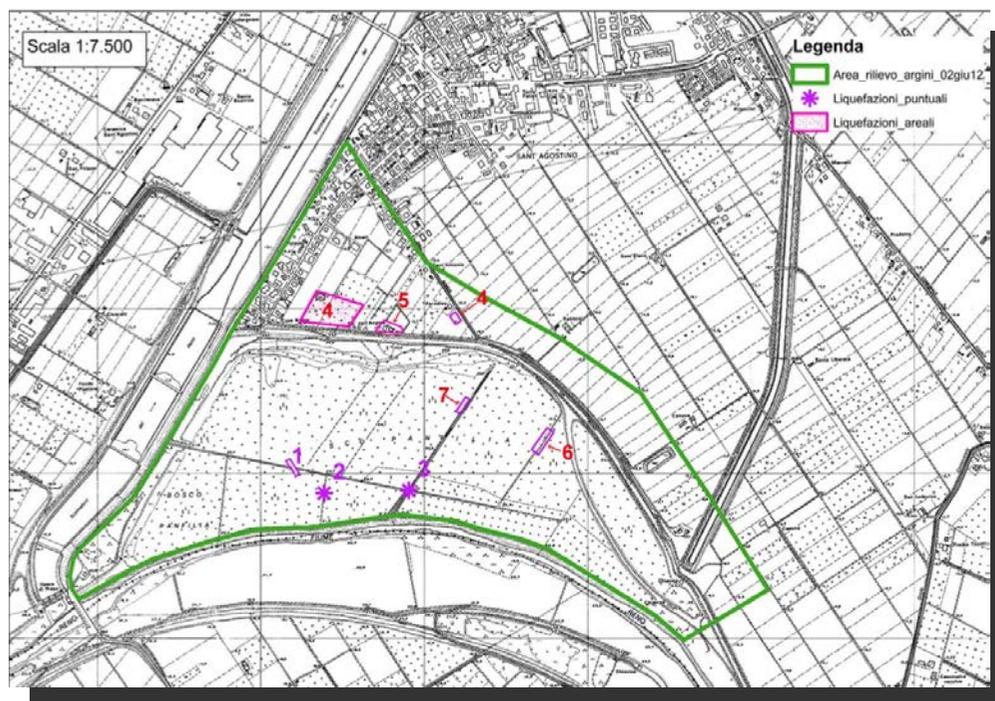
## RILIEVO ARGINI

FIUME RENO - CAVO NAPOLEONICO: su indicazione di STB F. Reno RER, analizzati 4 settori per F. Reno (da C. Napoleonico sino circa Malalbergo) e 4 zone per C. Napoleonico (da opera di presa Reno sino confluenza con F. Po).

Analizzati complessivamente F. Reno •14 Km di argini e per C. Napoleonico •23 km di argini.

FIUME RENO: punti liquefazione riva sx 5 interni e 3 esterni piede argine

FIUME RENO: punti liquefazione riva dx 7 piede argine + 20 esterni



# Emergenza Sisma

## RILIEVO ARGINI: FOTOINTERPRETAZIONE

F. SECCHIA E F. PANARO INTERPRETAZIONE SPEDITIVA:  
INDIVIDUAZIONE, RICONOSCIMENTO Ed EVENTUALE CLASSIFICAZIONE FENOMENO  
COSISMICO



Foto aeree realizzate dal Dott. Geol. Giovanni Bertolini – Regione Emilia Romagna, Servizio Tecnico dei Bacini Affluenti del Po, Reggio Emilia

# POST EMERGENZA SISMA

**In situazioni di ordinaria gestione:** effettuare ricerche e studi orientativi al fine di individuare e segnalare, in ambito regionale, aree o zone di maggior criticità geologico-ambientale a cui dare priorità per iniziative di sensibilizzazione per interventi di prevenzione

(Art. 1 Convenzione Geo-Pro-Civ/RER)



## CONSIDERAZIONI

Durante i rilievi delle zone con liquefazione sono sorti 2 interrogativi:

- 1) Nel caso fosse stata effettuata un'indagine geognostica precedente agli eventi sismici del maggio 2012, l'approccio semplificato avrebbe messo in evidenza le problematiche relative al fenomeno della liquefazione?
- 2) Nelle zone colpite da tale fenomeno, siamo in grado di definire e dettagliare gli effetti di liquefazione al di sotto delle opere di fondazione?



# POST EMERGENZA SISMA

CASO STUDIO: San Carlo - Via Rossini 33



Avviata Sperimentazione in area soggetta a liquefazione con:

- Indagini "tradizionali" secondo NTC08 per cercare una risposta al Quesito n. 1)
- Tomografia elettrica 3D, (tecnica recente) per cercare una risposta al Quesito n. 2)

Quesito n. 1) :

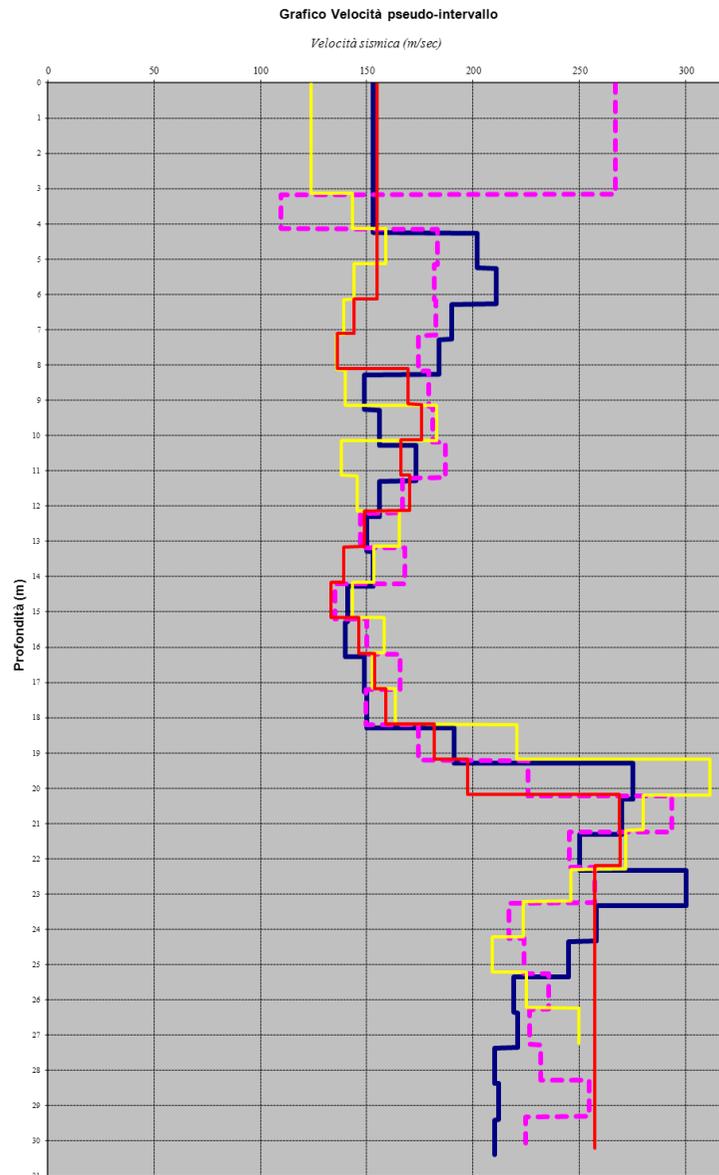
- Indagini "tradizionali" secondo NTC08: base di partenza art. 3.2.2 NTC08 (approccio semplificato) individuazione categorie di sottosuolo di riferimento (A,B, C, D, E)

- Analisi delle indagini eseguite in emergenza da RER in area S. Carlo (prove SCPTU cono sismico) per definizione parametro Vs30.
- Confronto dei 4 punti di misura.

# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: San Carlo - Via Rossini 33

— Velocità Onde S Dh1 — Velocità Onde S Dh2 — velocità onde S Dh3 — Velocità onde S Dh4



Quesito n. 1) : Confronto dati Vs30 da prove SCPTU RER (  )

Valori Vs30 ottenuti:

Dh1 = 180 m/s

Dh2 = 190 m/s

Dh3 = 172 m/s

Dh4 = 178 m/s

# POST EMERGENZA SISMA

CASO STUDIO: San Carlo via Rossini 33

Prove geognostiche ad integrazione di quelle eseguite in fase di emergenza (x cercare una risposta ai quesiti 1/2)

GIUGNO 2012:

Tomografia elettrica 3D

ESEGUITA GRATUITAMENTE

NOVEMBRE 2012:

Prove CPT (punta meccanica) per correlazione con prova CPTU 09 eseguita da RER; Indagini sismiche MASW e HVSR

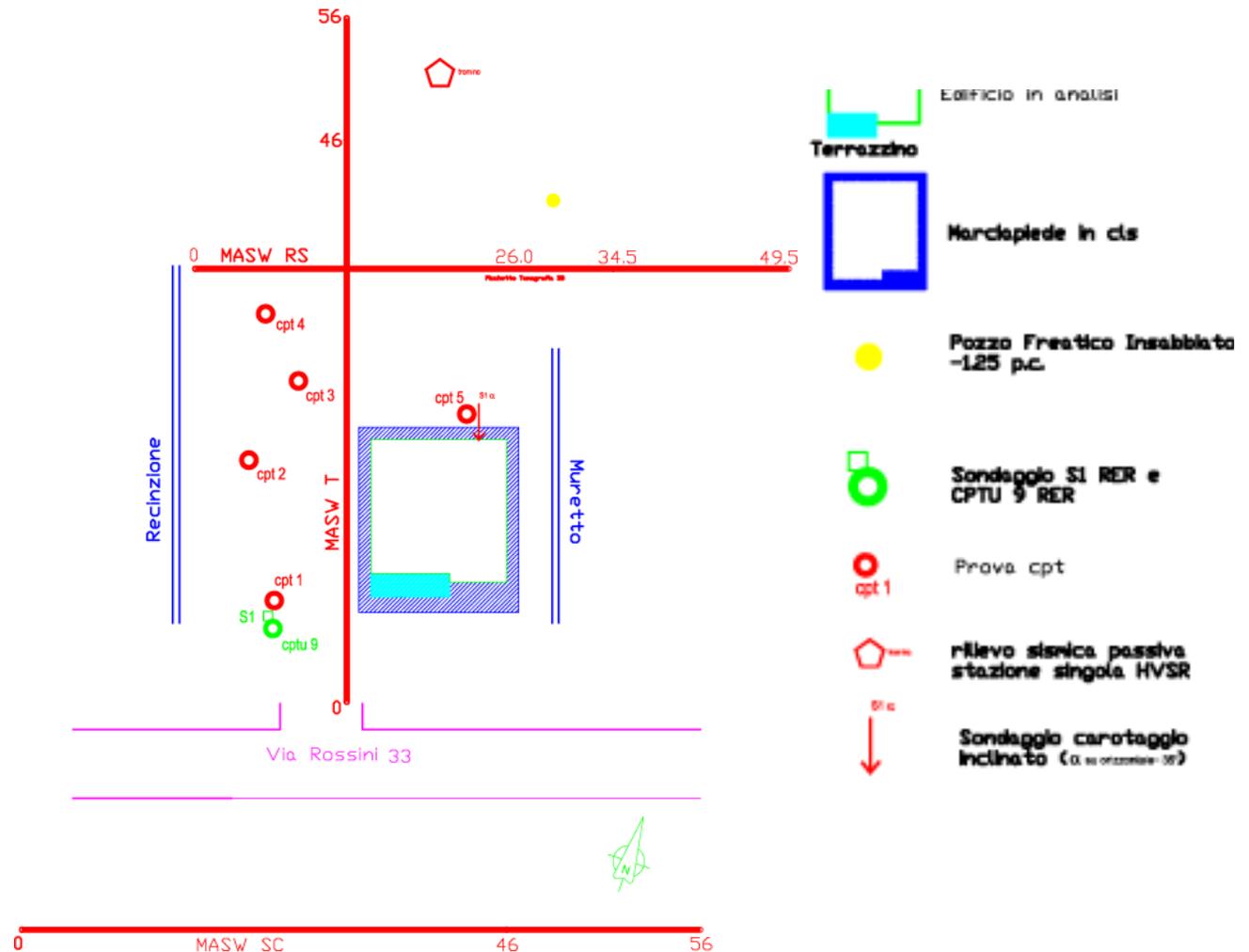
CPT ESEGUITE GRATUITAMENTE

SISMICA ESEGUITA GRATUITAMENTE

APRILE 2013:

Sondaggio inclinato per analisi stratigrafica sotto piano di fondazione;

ESEGUITO GRATUITAMENTE



# POST EMERGENZA SISMA

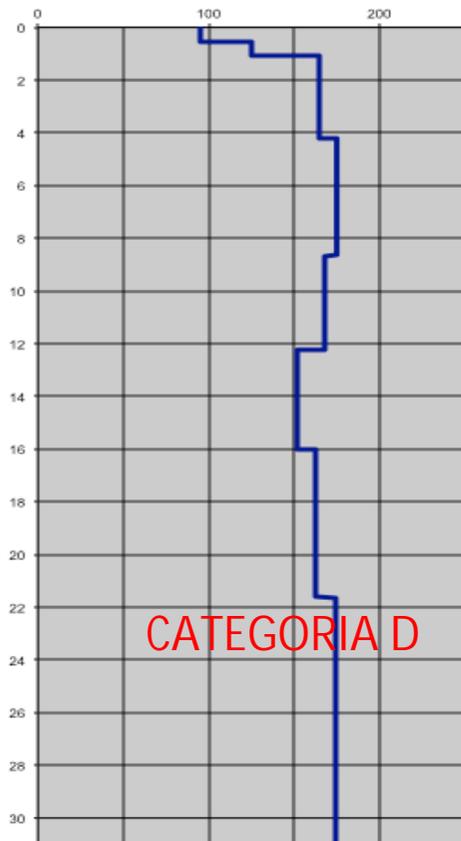
## CASO STUDIO: APPROCCIO SEMPLIFICATO

### Risultati indagini sismiche masw

#### MASW RS

$$V_s \text{ 1 / 31 } = 167 \text{ m/sec}$$

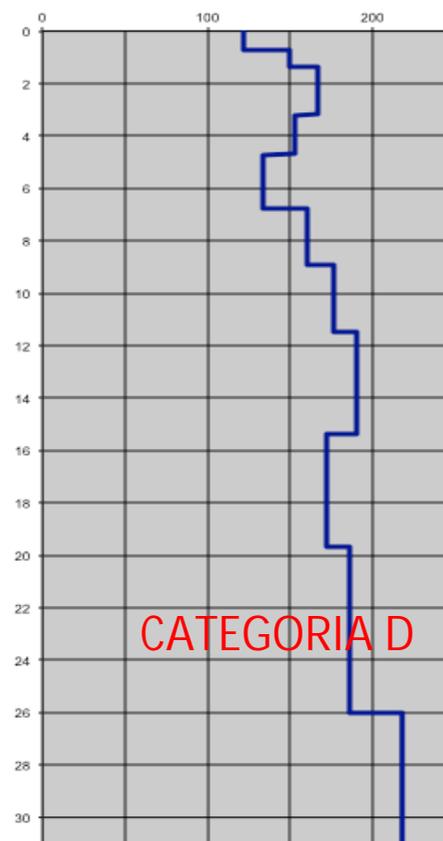
PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL  
PROGETTISTA/COMMITTENTE



#### MASW SC

$$V_s \text{ 1 / 31 } = 177 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL  
PROGETTISTA/COMMITTENTE

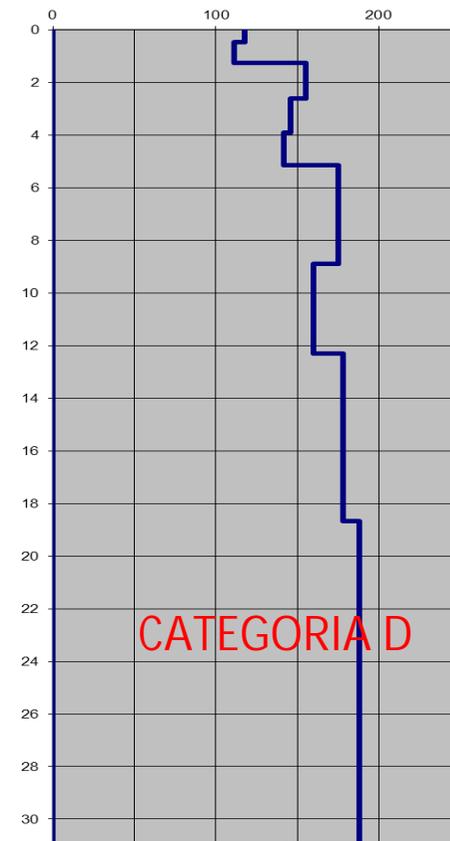


#### MASW T

$V_{s30}$  calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC08

Prof. posa fondazione in m da pc= 1

$$V_s \text{ 1 / 31 } = 174 \text{ m/sec}$$



# POST EMERGENZA SISMA

CASO STUDIO: San Carlo via Rossini 33



Nel caso di studio applicando APPROCCIO SEMPLIFICATO, con esecuzione di indagini geognostiche "tradizionali" (CPT e MASW) per la verifica alla liquefazione degli orizzonti granulari, saturi e continui....

- Determinazione del fattore di sottosuolo S (Soil factor - per sottosuoli da B ad E), che moltiplica l'accelerazione max su affioramento rigido (sottosuolo tipo A) indicata da EC8 come  $a_{gR}$

$$a_{max} = S \times a_{gR}$$

I valori del **Soil factor** "S" sono calcolati come da NTC08:  $S = S_S \times S_T$

$S_S$  = coeff. d'amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coeff. d'amplificazione topografica

Determinazione  $S_T$  da Categoria **Topografia T1**

Tabella 3.2.IV (DM 14-1-08 NTC)  $S_T = 1$

Parametro  $S_S$   $0.9 \leq S_S = 2.40 - 1.5 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.80$

da Tabella 3.2V (DM 14-01-08 NTC)

**Categoria di sottosuolo D (da indagini Masw)**

# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: San Carlo via Rossini 33

Nel caso di studio applicando APPROCCIO SEMPLIFICATO, con esecuzione di indagini geognostiche "tradizionali" (CPT e MASW) per la verifica alla liquefazione degli orizzonti granulari, saturi e continui....

- Il coefficiente  $S_s$  determinato mediante i seguenti parametri:

Quindi per le analisi di liquefazione:

$$a_{\max} = 0.27g$$

Per la magnitudo massima (ipotizzando un'analisi precedente al maggio 2012) si è fatto riferimento a:

Indirizzi e Criteri per

Microzonazione Sismica

Protezione Civile Nazionale (2008)

Tab. 2.8.1 che per zona sismogenetica

912 (Gruppo di lavoro 2004 ZS9) prevede

$$M_{\max} \text{ attesa} = 6.14$$



- segnapunto rosso indica il sito impostato per il calcolo: *san carlo via rossini 33*

- la località più prossima al sito (*san Carlo-Sant'Agostino*)
- i 4 punti della maglia impiegata del reticolo di riferimento

Dati del sito

Latitudine: 44.806266 Longitudine: 11.413681

Dati sulla costruzione

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

Vita di riferimento: 50. anni

Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni)

Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Sito 1 ID: 15399	Lat: 44,8162	Lon: 11,3770	Distanza: 3134,841
Sito 2 ID: 15400	Lat: 44,8174	Lon: 11,4474	Distanza: 2820,145
Sito 3 ID: 15622	Lat: 44,7674	Lon: 11,4492	Distanza: 5194,569
Sito 4 ID: 15621	Lat: 44,7662	Lon: 11,3788	Distanza: 5368,811

Valori finali calcolati per stato SLV:

$a_g = 0.152g$

$F_o = 2.589$

$T_c^* = 0.271 \text{ sec}$

Dai dati sopra esposti assumendo  $a_g = 0.152g$  ed con  $F_o$  pari a 2.589 si ottiene:

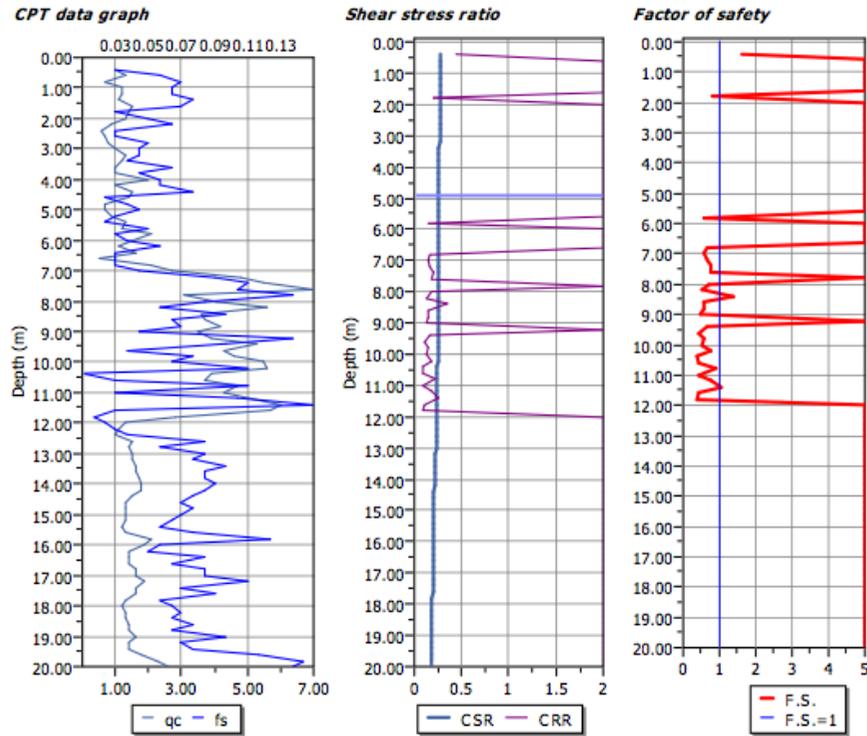
$$S_s = 1.8$$

Da quanto sopra, assumendo il parametro S definito come da NTC08, l'accelerazione max superficiale da considerare per l'area in analisi, può essere assunta pari a:

$$a_{\max} = 0.274g$$

# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: San Carlo via Rossini 33



79	0.00	2.00	0.00
81	0.00	1.80	0.00
83	0.00	1.60	0.00
85	0.00	1.40	0.00
87	0.00	1.20	0.00
89	0.00	1.00	0.00
91	0.00	0.80	0.00
93	0.00	0.60	0.00
95	0.00	0.40	0.00
97	0.00	0.20	0.00
99	0.00	0.00	0.00

Overall potential  $I_L$  : 7.53

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : SAN CARLO VIA ROSSINI n. 33/35

Project subtitle : Verifica liquefazione verticale CPT1

#### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	4.90 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14
Analysis method:	Robertson (1998)	Peak ground acceleration:	0.27 g
Fines correction method:	Robertson (1998)	User defined F.S.:	1.00



#### GeLogismiki

Geotechnical Engineering Software  
 License in use to Dr. R. Triches - Tecnogeofisica  
 Via Catania 1/a - 41012 Carpi MO ITALY

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

AN CARLO VIA ROSSINI n. 33/35

: Verifica liquefazione verticale CPT1

#### Parameters and analysis data

Analysis type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	4.90 m
Analysis method:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14
Fines correction method:	Robertson (1998)	Peak ground acceleration:	0.27 g
User defined F.S.:	Robertson (1998)	User defined F.S.:	1.00



## VERIFICA LIQUEFAZIONE VERTICALE CPT1

Eseguita in nov 2012 (prof falda -4,9 m)

Fattore correttivo x magnitudo MSF=1.67

# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: APPROCCIO SEMPLIFICATO

### BACK ANALYSIS:

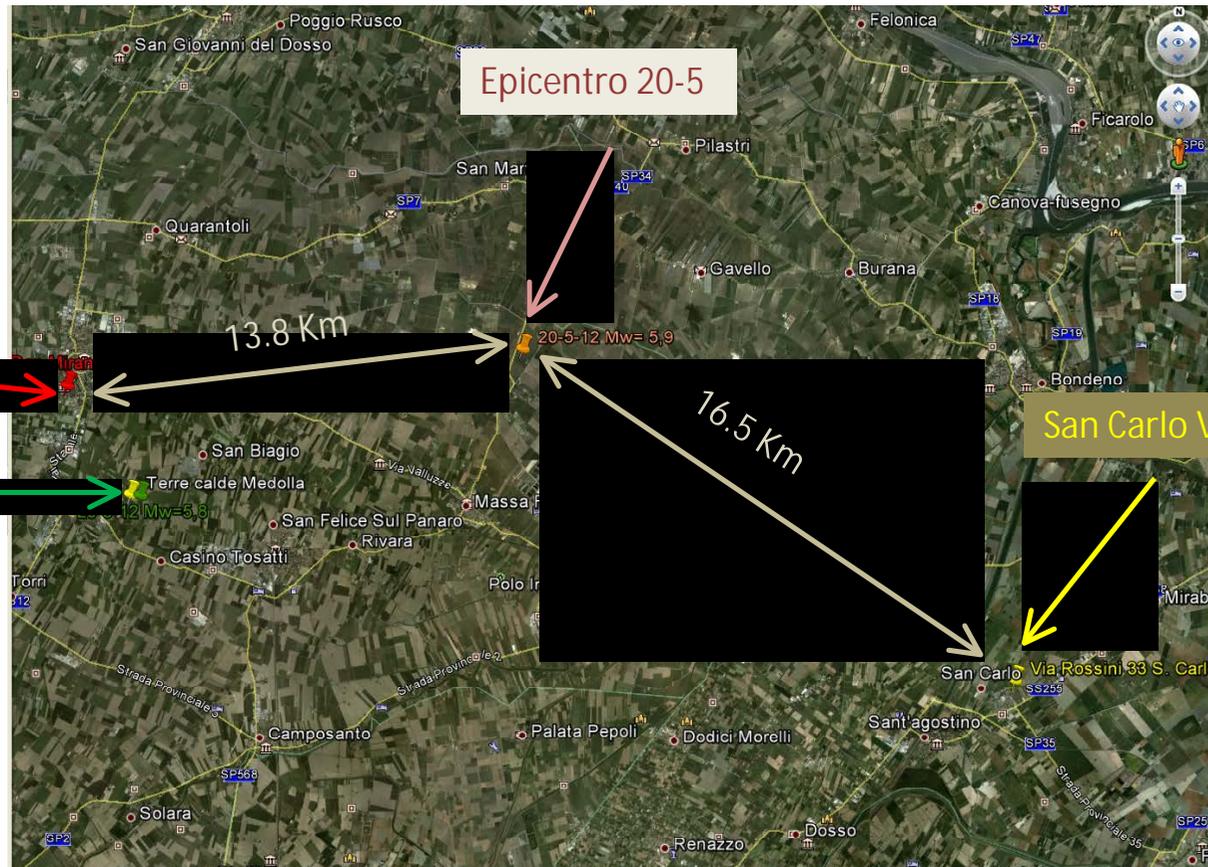
Dati accelerometrici da stazione RAN MRN di Mirandola (MO) 20-5-12



PGA vertical = 0.309g  
PGA NS = 0.264g  
PGA EW = 0.261g

RAN MRN Mirandola

Epicentro 29-5  
E zona fenomeno  
terre calde?



Dalle distanze fra epicentro del 20-5 san Carlo e la stazione RAN, sono stati assunti in via cautelativa i valori di quest'ultima per la verifica a liquefazione della verticale CPTU 9 assumendo magnitudo  $M_w=5,9$ .

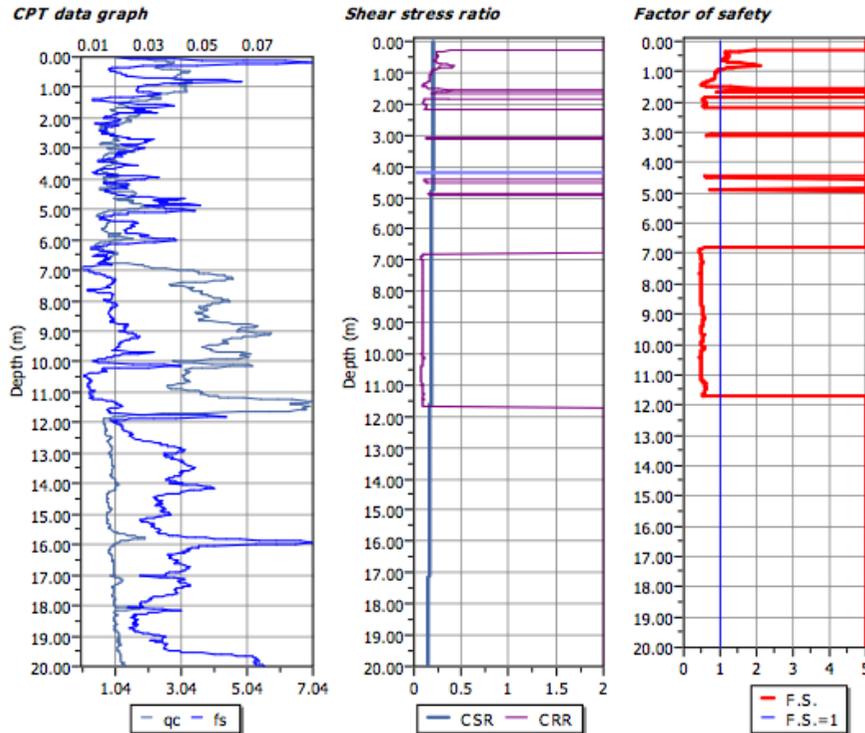
# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: APPROCCIO SEMPLIFICATO Back Analysis



Associazione Geologi Emilia-Romagna  
per la Protezione Civile

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT



987	0.00	0.13	0.00
989	0.00	0.11	0.00
991	0.00	0.09	0.00
993	0.00	0.07	0.00
995	0.00	0.05	0.00
997	0.00	0.03	0.00
999	0.00	0.01	0.00

Overall potential  $I_L$  : 16.40

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15.00$  - Liquefaction certain

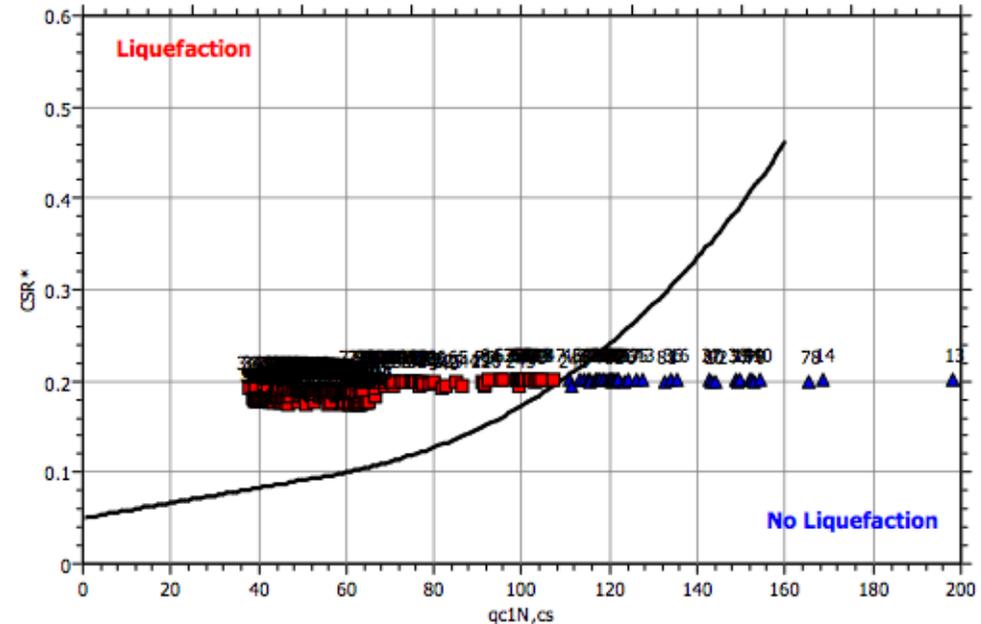
Project title : SAN CARLO VIA ROSSINI n. 33/35

Project subtitle : Verifica liquefazione verticale CPTU9 RER

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	4.18 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	5.90
Analysis method:	Robertson (1998)	Peak ground acceleration:	0.26 g
Fines correction method:	Robertson (1998)	User defined F.S.:	1.00

$M_w=7^{1/2}$ ,  $\sigma'_v=1$  atm base curve



## VERIFICA LIQUEFAZIONE VERTICALE CPTU9 (RER)

Eseguita in mag 2012 (prof falda -4,18 m)

Fattore correttivo x magnitudo  $MSF=1.85$

# POST EMERGENZA SISMA

## CASO STUDIO: APPROCCIO SEMPLIFICATO CONCLUSIONI



### Raffronto valori ottenuti da Verifica liquefazione

Tipo prova:	CPTU9	CPT1	CPT1	CPT1 (cat. C)
Falda m da pc	-4.18	-4.90	-4.90	-4.9
MSF	1.85	1.67	1.85	1.85
Peso di volume	17.9 KN/mc			
$a_{max}$	0.26g	0.27g	0.26g	0.22g
$M_w$	5.9	6.14	5.9	5.9
Ipotesi Prof. falda nel calcolo	0.00	0.00	0.00	0.00
Indice $I_L$	16.40	7.53	5.29	3.05

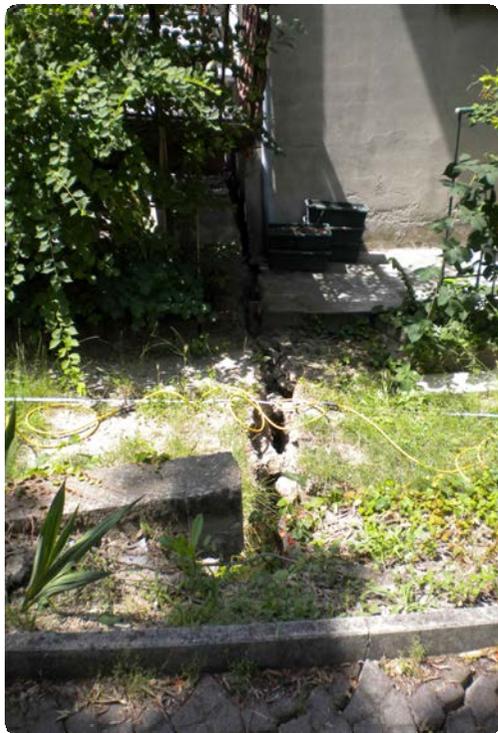
Quindi con APPROCCIO SEMPLIFICATO ed indagini «standard» (cpt p. meccanica) stare attenti alla definizione categoria sottosuolo (usare metodi rigorosi e confrontare possibilmente più risultati) se emerge il sospetto che possa verificarsi liquefazione, eseguire indagini di approfondimento prima di escluderlo.

**CON QUESTO HO CONCLUSO E NON SOTTRAGGO ALTRO TEMPO E LASCIO LA PAROLA AL COLLEGA  
Dr. FISHANGER CHE VI ILLUSTRERÀ I RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA 3D**

Tutto il materiale compilato dai volontari GEO-PRO-CIV verrà pubblicato sul sito:

<http://www.geo-pro-civ.it>

Grazie a tutti per  
l'attenzione!



Procedura Tich

