



Università degli Studi dell'Aquila

DICEAA Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale

Attività formative del Dottorato di Ricerca Ph.D.ICEAA

in Ingegneria Civile, Edile-Architettura, Ambientale

EARTHQUAKE GEOTECHNICAL ENGINEERING Seminar Series

Sisma Emilia 2012

Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Luca Martelli

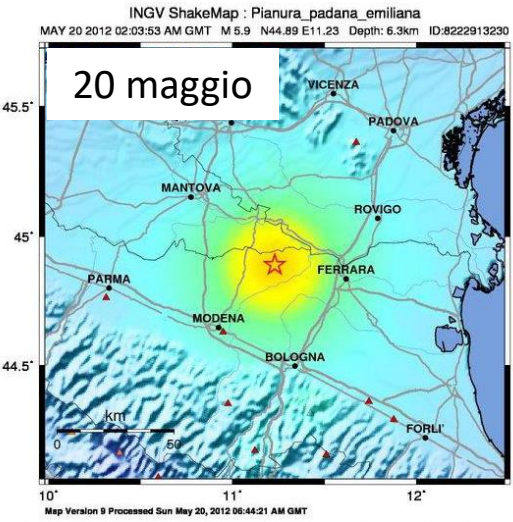


3 dicembre 2020

Principali macro-effetti ambientali

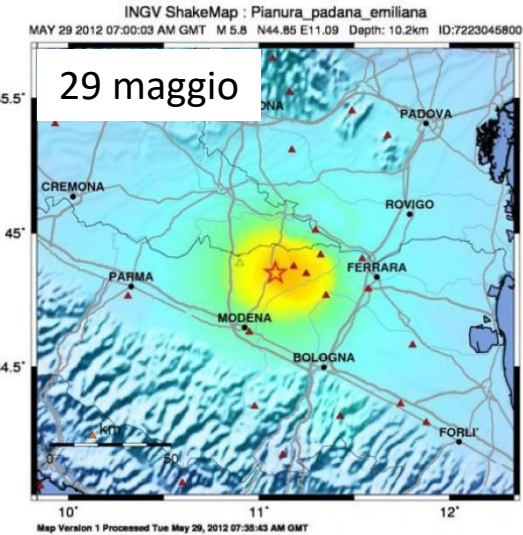
- **Distribuzione WNW-ESE degli effetti e dei danni**
- **Amplificazione**
- **Liquefazione**

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

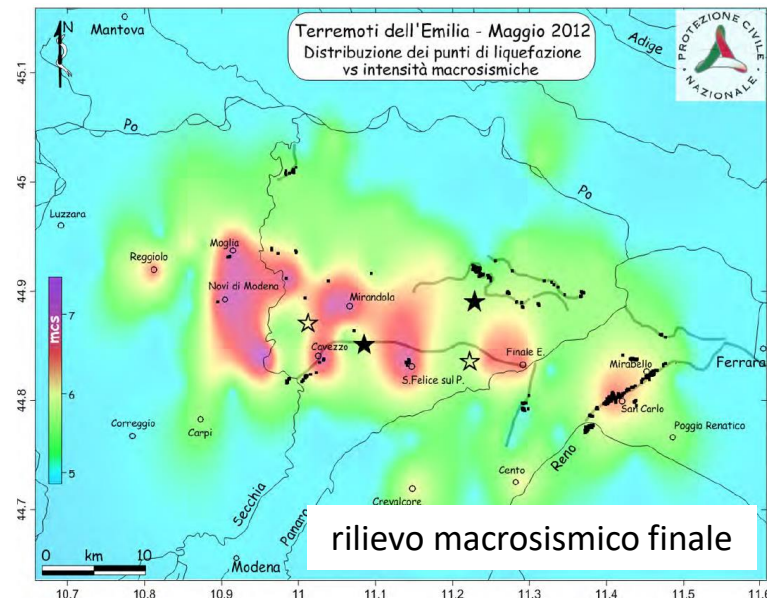
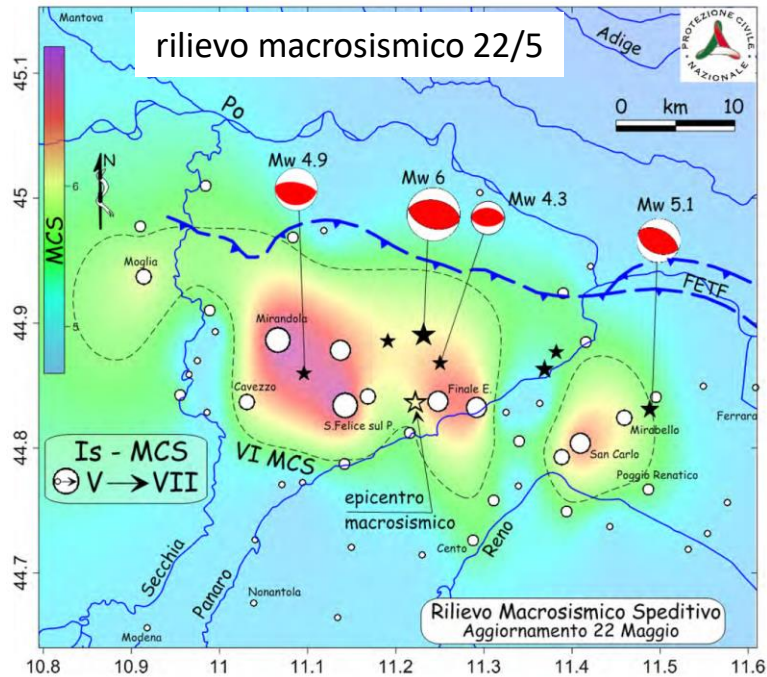


PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy	
PEAK ACC.(%)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

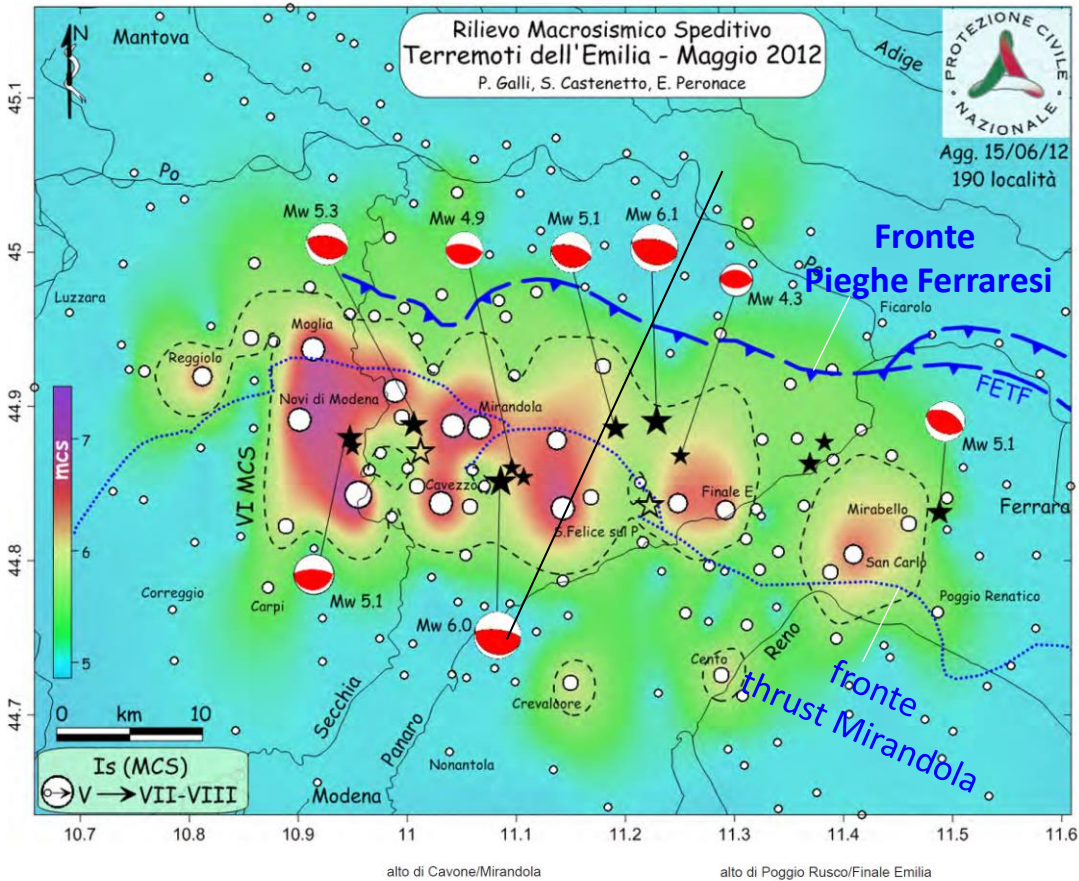
Scale based upon Wald, et al., 1999



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy	
PEAK ACC.(%)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X



La distribuzione degli effetti (risentimenti e fenomeni di liquefazione) non è simmetrica rispetto agli epicentri

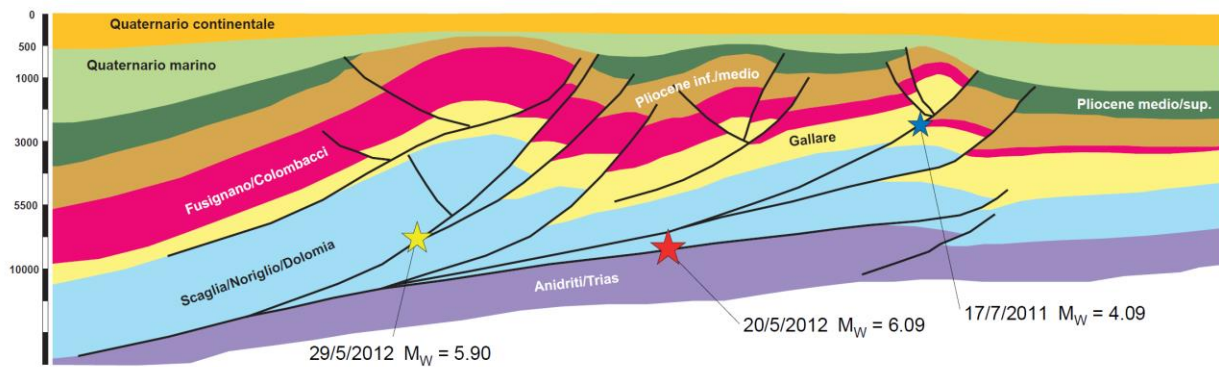


Distribuzione degli effetti e assetto geometrico delle strutture

Gli *aftershocks* sono ovviamente distribuiti secondo la direzione delle faglie sismogeniche.

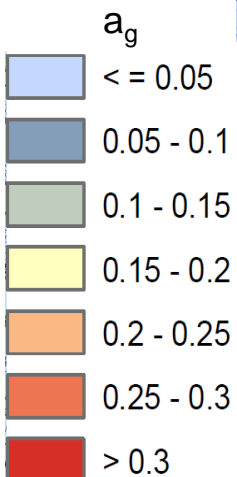
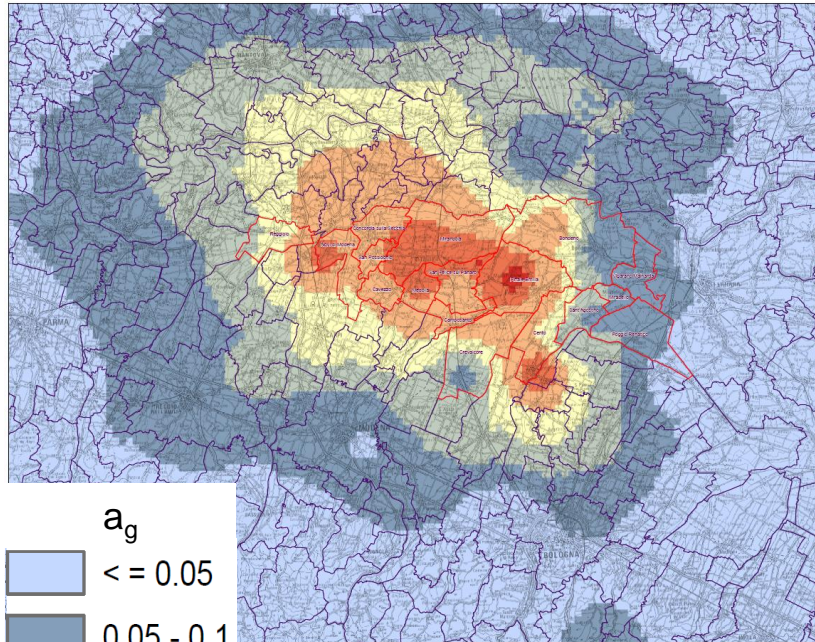
Ciò ha indubbiamente condizionato la distribuzione degli effetti.

E' però possibile che la marcata distribuzione WNW-ESE degli effetti sia dovuta anche all'orientazione, geometria e profondità delle dorsali, e quindi allo spessore dei sedimenti recenti, che ha senz'altro influenzato la propagazione del moto sismico.



Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

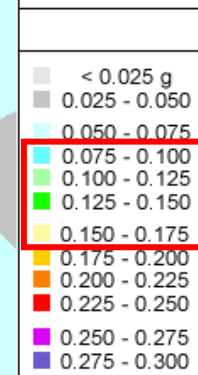
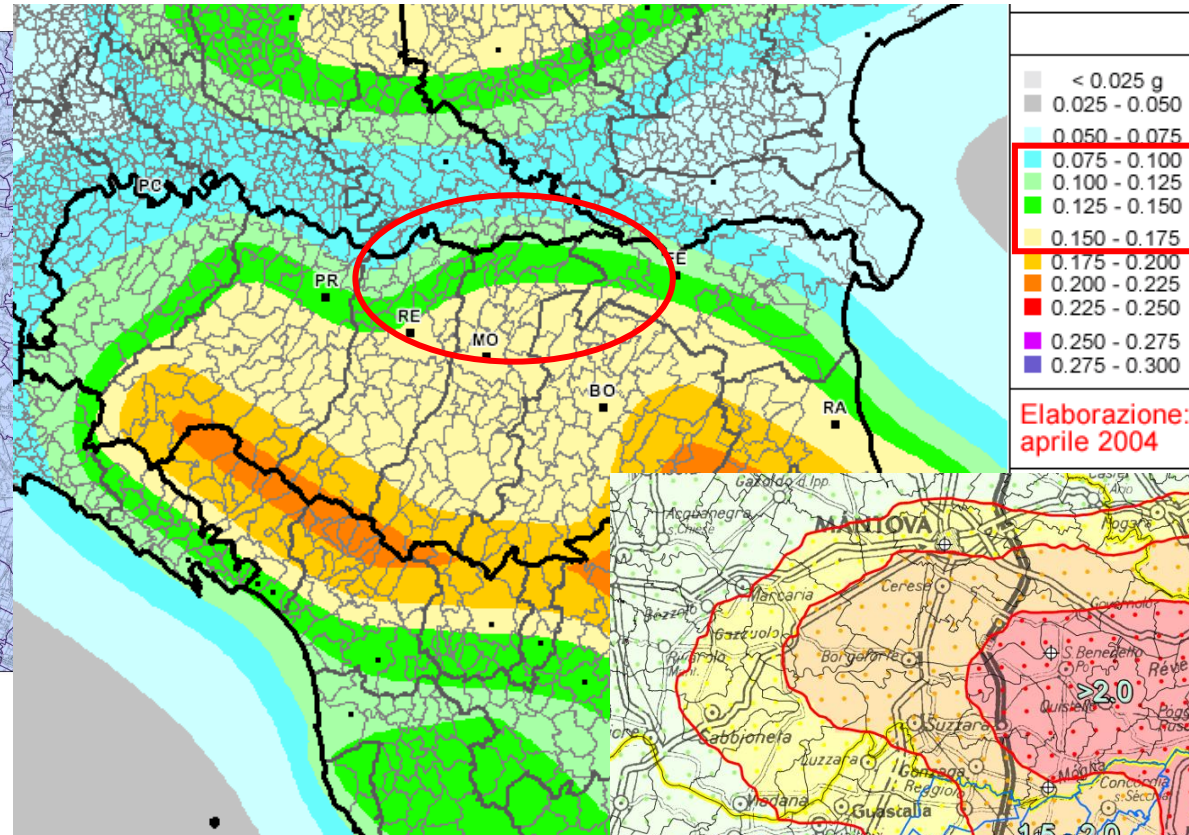
Massime PGA osservate
(componenti orizzontali)



Eventi considerati

20/05/2012 02:03:52	$M_L=5.9$
20/05/2012 02:07:31	$M_L=5.1$
20/05/2012 13:18:02	$M_L=5.1$
29/05/2012 07:00:03	$M_L=5.8$
29/05/2012 10:55:57	$M_L=5.3$
29/05/2012 11:00:25	$M_L=5.2$
03/06/2012 19:20:43	$M_L=5.1$

pericolosità sismica di base (10% probabilità di eccedenza in 50 anni, ovvero $T_R=475$ anni), da INGV MPS04 (OPCM 3519/2006)

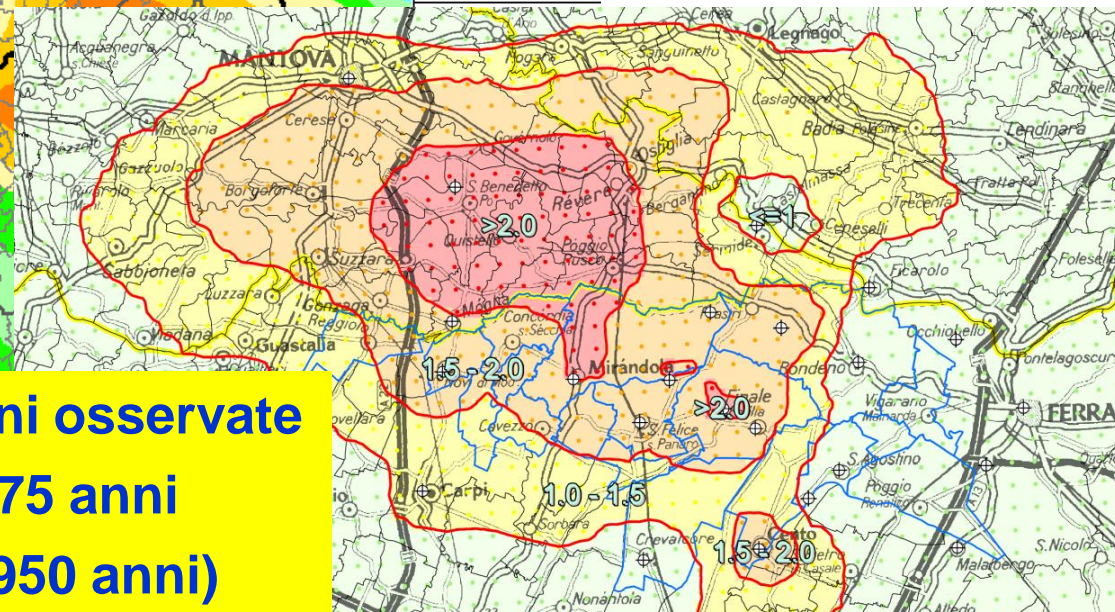


Elaborazione:
aprile 2004

Massime amplificazioni osservate

$F_{PGA} \geq 2$ per $T_R=475$ anni
($F_{PGA} \geq 1,5$ per $T_R=950$ anni)

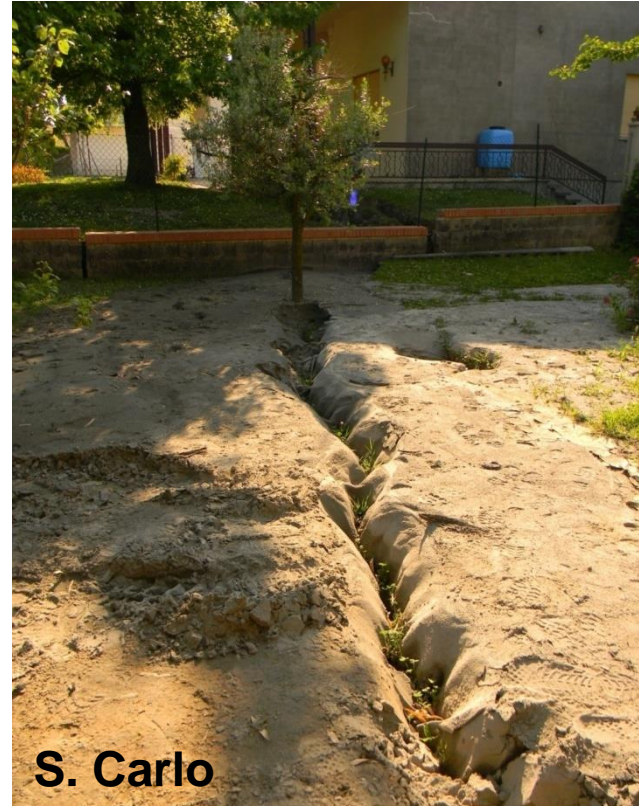
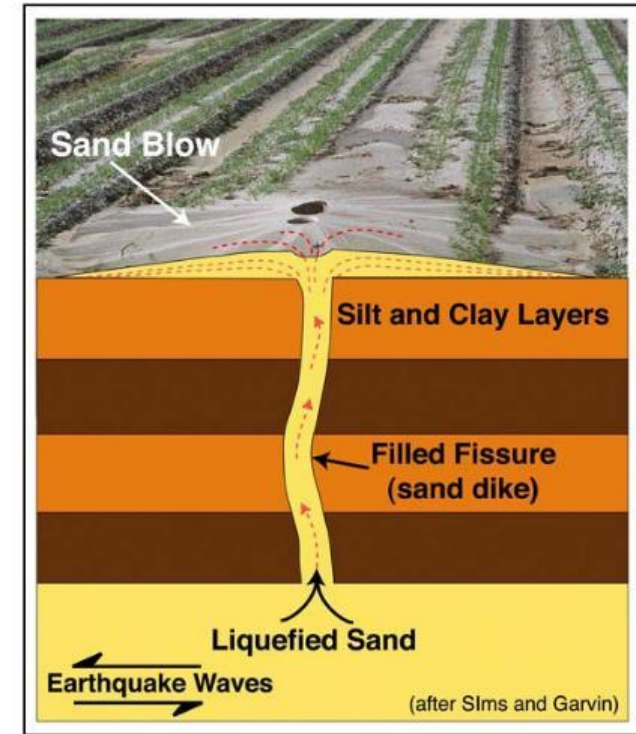
F_{PGA} da dati terremoto = PGA_{sito}/PGA_0 ($T_R=475$ anni)



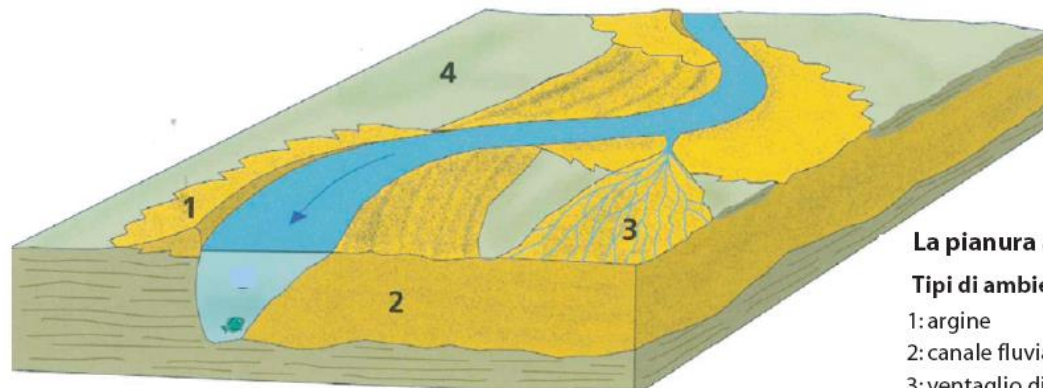
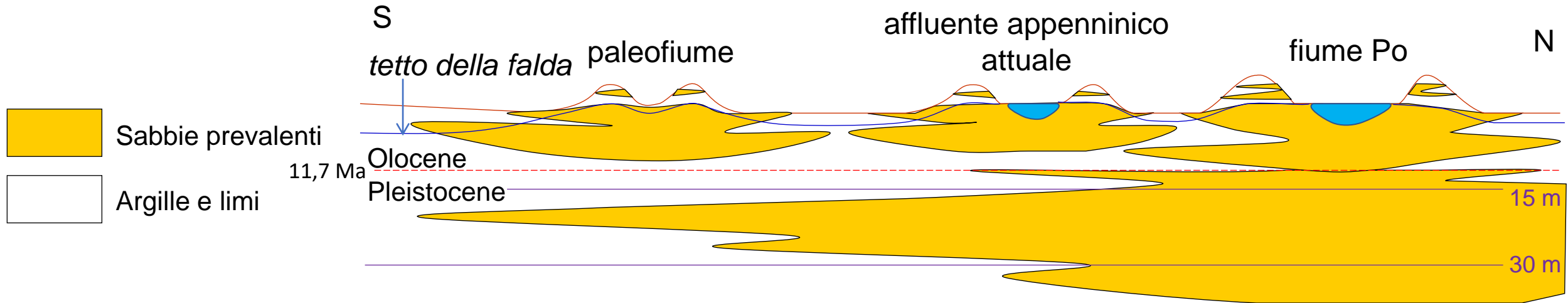
Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

A seguito delle scosse del 20 e 29 maggio (rispettivamente $M_w=6.1$ e $M_w=5.9$) si sono verificati diffusi fenomeni di liquefazione nella pianura emiliana e nell'oltrepò mantovano.

La liquefazione, **repentina perdita di resistenza al taglio e rigidità del terreno, con conseguente perdita di capacità portante**, avviene in occasione di forti terremoti ($M>5$), generalmente nei primi 15 m da p.c., in terreni granulari sciolti/poco addensati (da limi sabbiosi a ghiaie sabbiose), saturi.



Schema dei rapporti litostratigrafici della pianura emiliana centrale (non in scala)



La pianura alluvionale

Tipi di ambiente e deposito

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

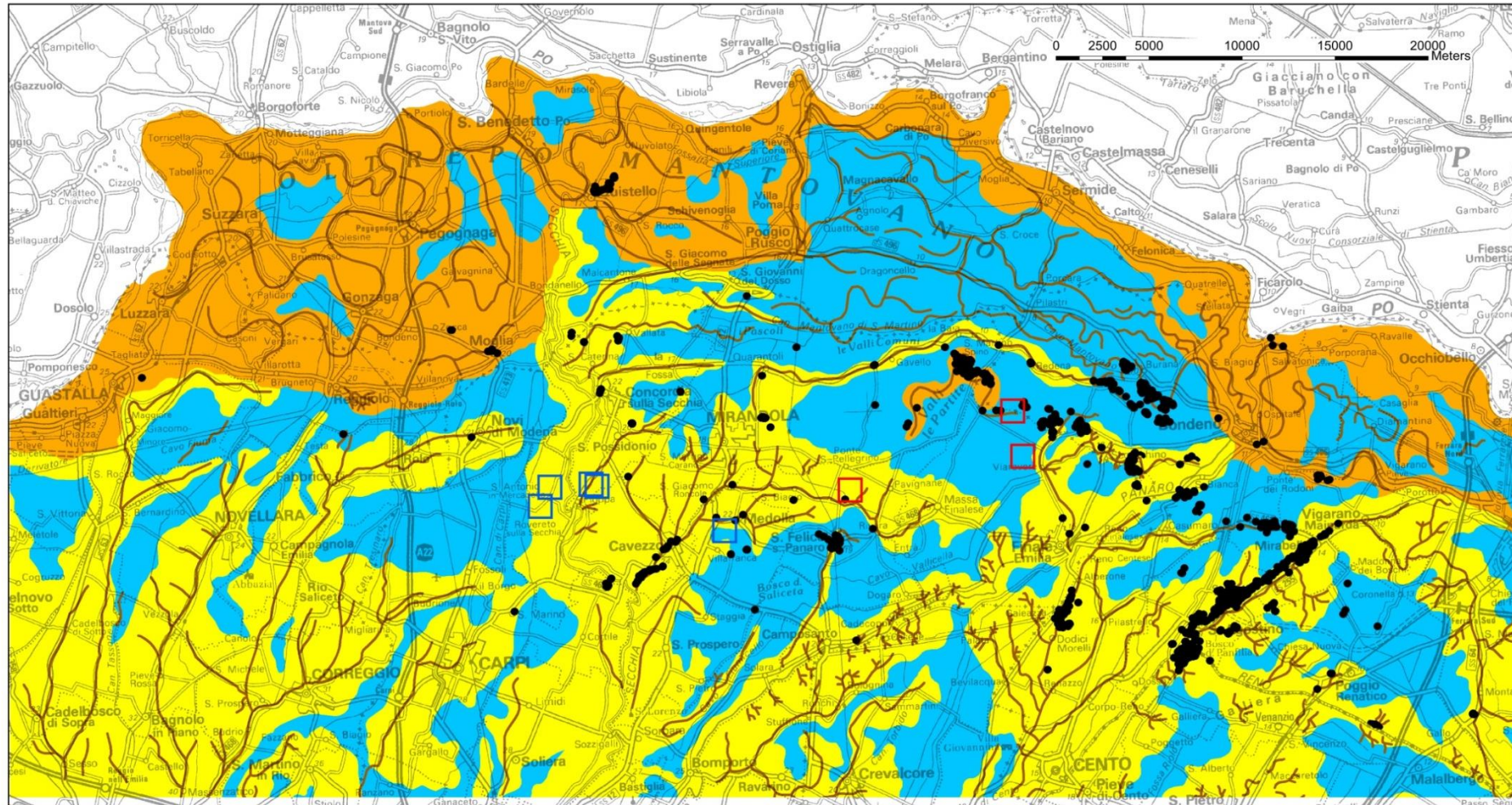
Modello deposizionale di una pianura alluvionale ampia

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Censimento siti di liquefazione (pubblicato online 3/6/2012)

rilevi eseguiti da:
GeoProCiv,
RER STB Affluenti Po,
RER STB Reno,
EMERGEO - INGV

Gli effetti di liquefazione
sono stati osservati
soprattutto in
corrispondenza di
paleocanali dei fiumi
«appenninici»
(affluenti di destra del Po)



□ terremoti $M \geq 5$ del 20/5/2012

□ terremoti $M \geq 5$ del 29/5/2012

■ prevalenti argille e limi

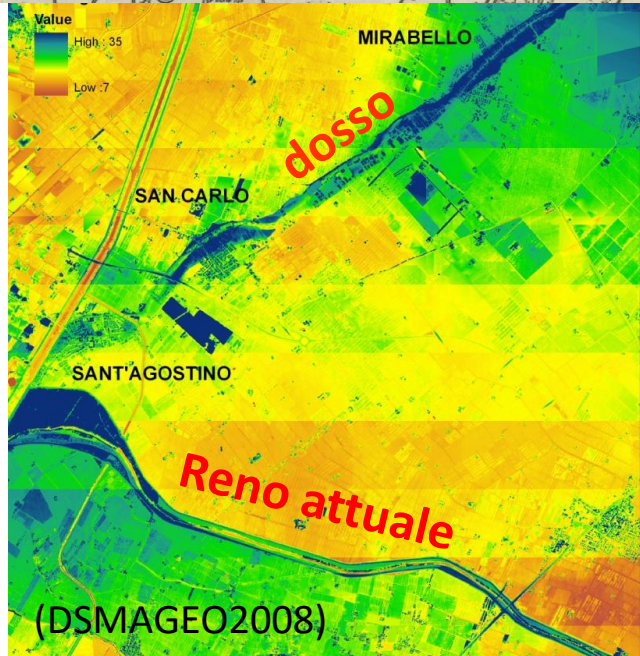
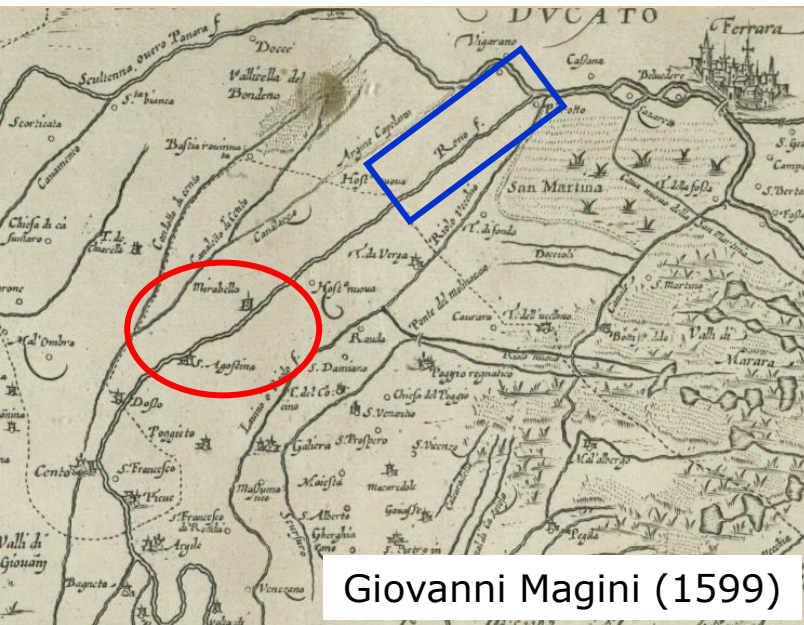
■ prevalenti sabbie del Po

■ prevalenti sabbie e limi dei fiumi appenninici

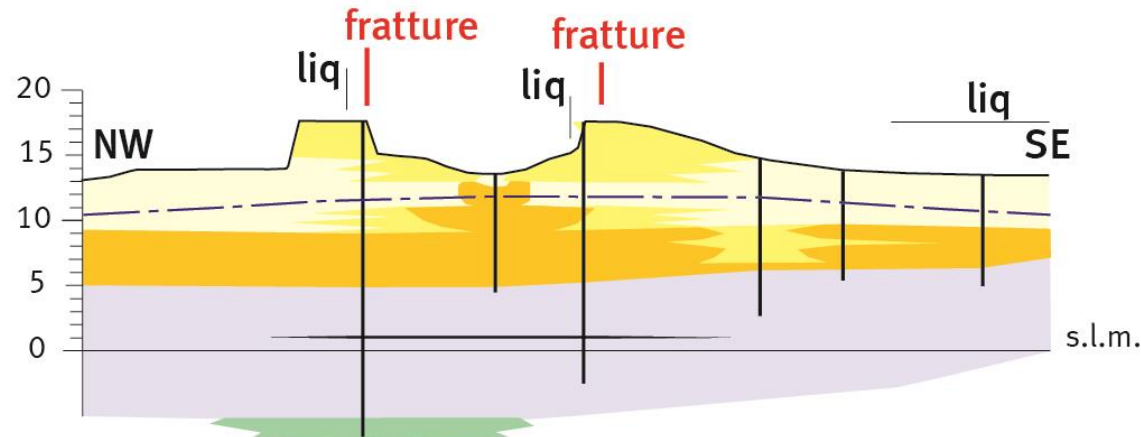
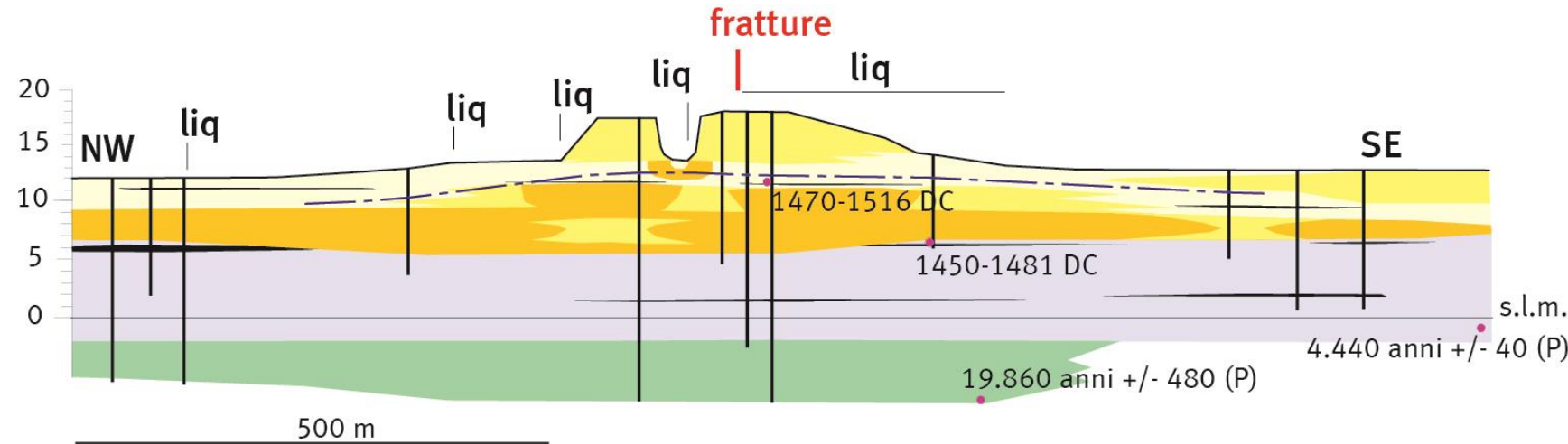
• sito con effetti di liquefazione

— paleocanali

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica



sezioni geologiche attraverso il centro abitato di S. Carlo
(paleocanale del Reno tra il 1450 e il 1750)
(esagerazione verticale x 12,5)



- 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)

La liquefazione non ha causato vittime ma i danni alle strutture, alla viabilità e ai sottoservizi sono stati importanti; alcuni settori di centri abitati e aree produttive sono risultati inagibili per mesi, con ritardi della ricostruzione (in particolare a S. Carlo, Mirabello e Scortichino, zona ovest del ferrarese).

Tutto ciò ha avuto notevoli ricadute economiche, sia per i maggiori costi di riparazione/ricostruzione sia per la ritardata ripresa delle attività.

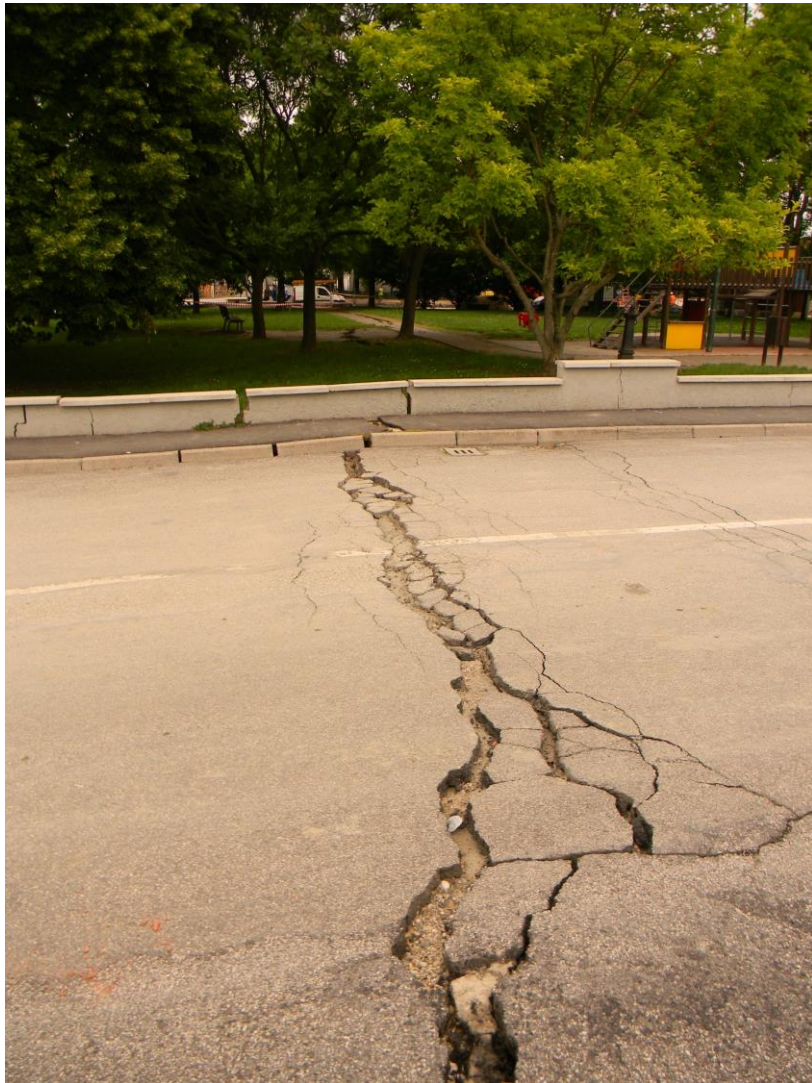
Di Ludovico et al. (2020, progetto Liquefact) per edifici danneggiati anche da liquefazione hanno stimato un incremento del costo di riparazione/ricostruzione nella misura del 30%.

**esempi di danni correlabili
alla liquefazione**

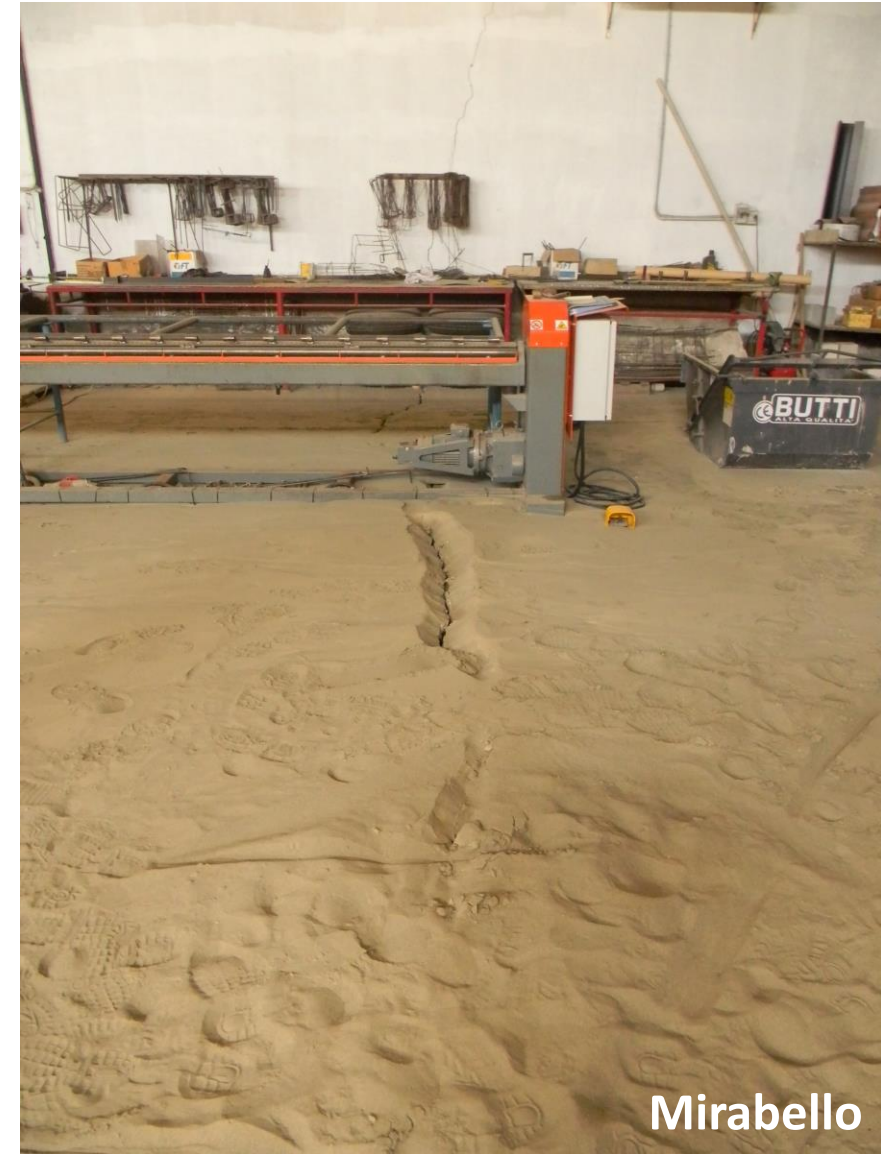


esempi di danni correlabili alla liquefazione

S. Carlo



**esempi di danni correlabili
alla liquefazione**



Esempio di liquefazioni successive nello stesso sito: lo stadio comunale di S. Felice del Panaro
(da Fioravante e Giretti, 2012)



20 maggio 2012



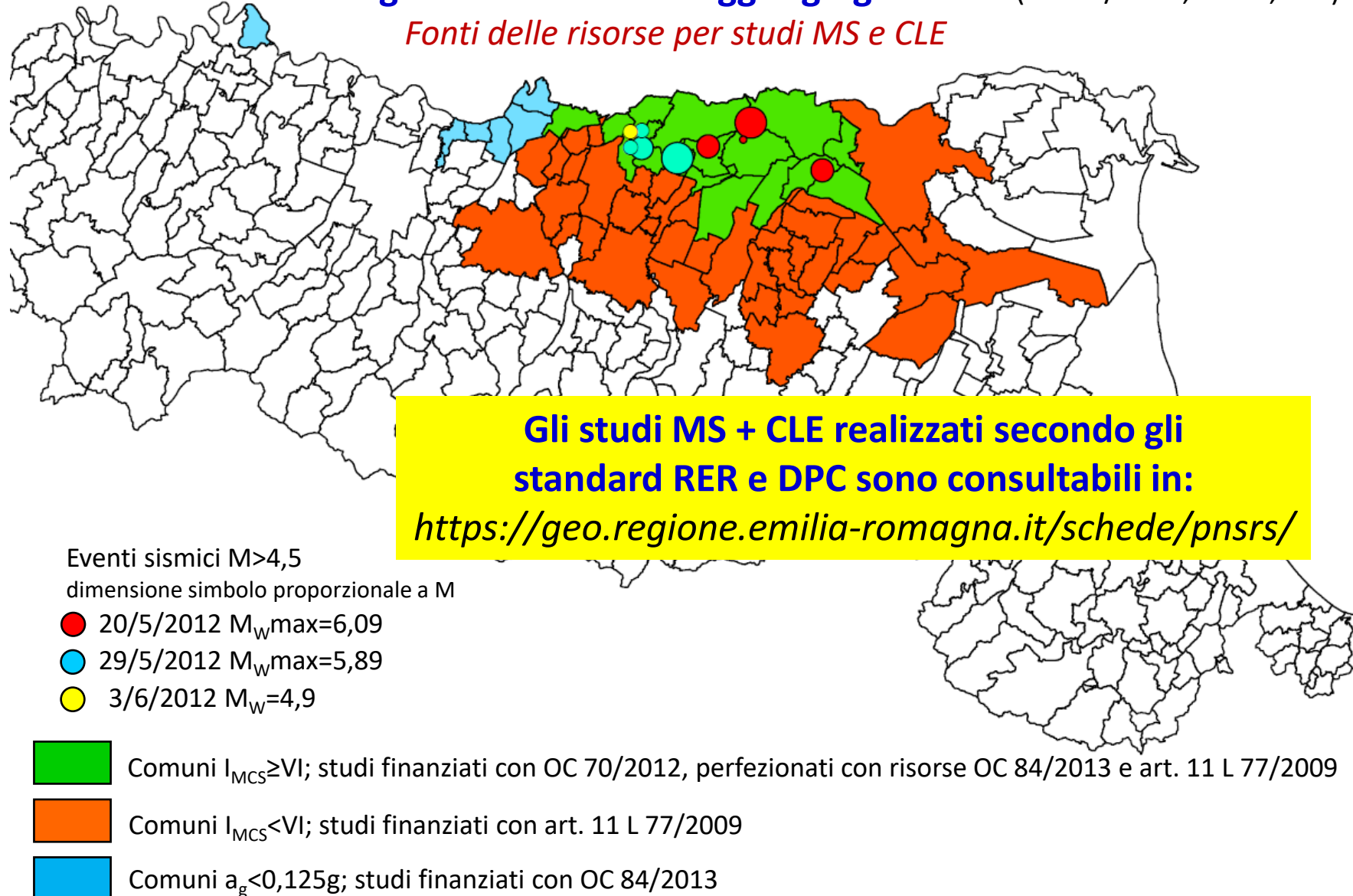
29 maggio 2012

Vista la rilevanza dei fenomeni di amplificazione e liquefazione, per assicurare una ricostruzione adeguata alla pericolosità sismica locale, è stato stabilito che i piani della ricostruzione fossero basati anche su studi di microzonazione sismica e analisi della CLE

ordinanze n.70/2012 e n.84/2013 del Commissario delegato –
Presidente RER: risorse e criteri per la MS dei Comuni $I_{MCS} \geq VI$
risorse stanziare: € 500.000
(€ 380.000 + € 120.000)

Comuni interessati dagli eventi sismici maggio-giugno 2012 (OC 57/2012, art. 1, c. 1)

Fonti delle risorse per studi MS e CLE



Microzonazione Sismica (MS): suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento del terreno in caso di terremoto.

È un importante strumento di prevenzione e mitigazione del rischio sismico in quanto permette, fino dalle prime fasi della programmazione territoriale, di valutare la pericolosità sismica locale, indirizzare i nuovi interventi verso le zone a minore pericolosità e/o programmare interventi per la riduzione della vulnerabilità delle costruzioni. E' particolarmente efficace se applicata in fase di pianificazione urbanistica.

Condizione Limite per l'Emergenza (CLE): condizione al cui superamento, a seguito di evento sismico, pur in concomitanza con danni tali da comportare l'interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane, compresa la residenza, l'insediamento urbano conserva l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza.

L'analisi della CLE descrive le condizioni di vulnerabilità delle costruzioni e pericolosità dei siti delle principali strutture strategiche di protezione civile (presidi sanitari, centri coordinamento soccorsi, aree di emergenza, vie di accesso). L'analisi della CLE non può prescindere dal piano di emergenza o di protezione civile. In sintesi, fornisce una fotografia dell'efficacia del piano di emergenza. Ciò consente alle Amministrazioni di confermare o meno le destinazioni d'uso delle strutture strategiche individuate nel piano e programmare eventuali interventi o nuove localizzazioni.

Elaborati MS

- Relazione
- Allegato 1.1: carta delle indagini
- Allegato 1.2: carta geologica di superficie
- Allegato 1.3: carta delle frequenze naturali del sottosuolo
- Allegato 1.4: carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Allegato 1.5: microzonazione sismica (MS), carte dei fattori di amplificazione e dell'indice potenziale di liquefazione
- Allegato 1.6: schede di caratterizzazione geotecnica dei principali litotipi
- Allegato 1.7: rapporto del gruppo di lavoro per la stima del rischio di liquefazione
- Allegato 1.8: studio per la caratterizzazione della RSL ai fini della microzonazione sismica.

Elaborati analisi CLE

- Relazione
- Allegato 2.1: schede di analisi della CLE
- Allegato 2.2: cartografia di analisi della CLE
- Allegato 2.3: cartografia di confronto tra MS e CLE

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>

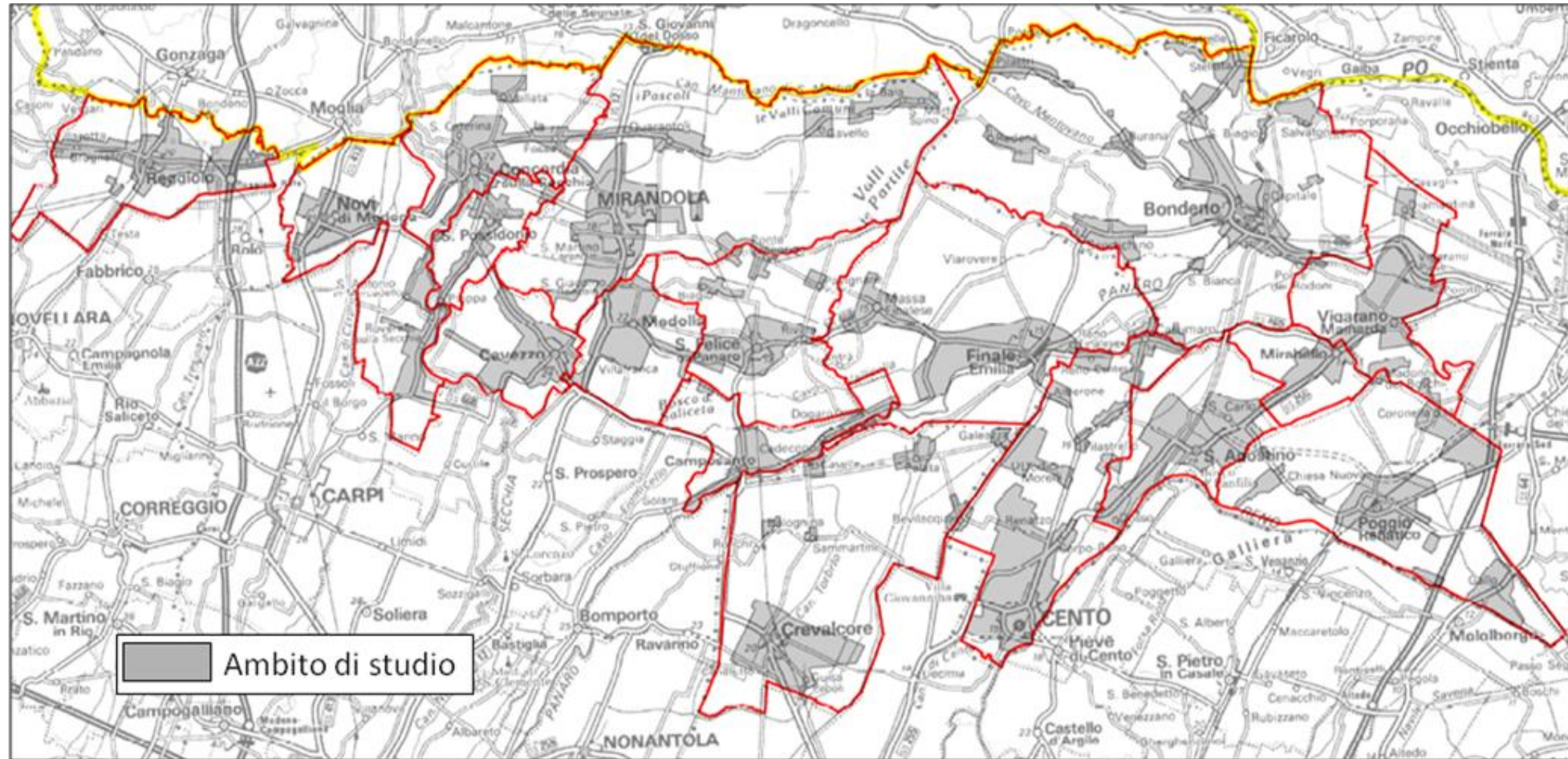
Fasi di studio

- 1) Individuazione delle aree di studio; risorse e tempi non permettevano lo studio in tutto il territorio; le aree di studio sono state concordate con le Amministrazioni interessate
- 2) Ricostruzione modello geologico:
 - 2.1) recupero e analisi di indagini/studi pregressi,
 - 2.2) programmazione ed esecuzione di nuove indagini
- 3) Definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):
 - 3.1) interpretazione delle indagini,
 - 3.2) cartografia geologico-tecnica,
 - 3.3) interpretazione delle unità litostratigrafiche in prospettiva sismica,
 - 3.4) perimetrazione delle MOPS
- 4) Caratterizzazione delle MOPS, con indagini pregresse e nuove (in sito e di laboratorio)
- 5) Stima dell'amplificazione (da abachi, livello 2, e da RSL, livello 3)
- 6) Stima del rischio di liquefazione
- 7) Cartografia MS; perimetrazione di microzone sulla base dello scuotimento atteso (fattori di amplificazione o valori assoluti) e dell'indice potenziale di liquefazione
- 8) Indicazioni per l'utilizzo della MS (dei risultati e degli elaborati)

Livello 1

Livello 3

Finalità: visti gli effetti osservati, considerati i tempi e le risorse disponibili, si è deciso di quantificare l'amplificazione e l'indice di liquefazione nei centri abitati, nelle aree d'interesse per la ricostruzione e in quelle di espansione



Autori: gruppo interdisciplinare e interistituzionale costituito da RER (Servizio geologico, sismico e dei suoli; Servizio Pianificazione Urbanistica ...); geologi liberi professionisti; INOGS Trieste; PoliMI-DICeA; UniFE-DIC; UniFI-DICeA

Sondaggi: SOGEO;
CPTU-SCPTU: ISMGEO;
prove lab.: ISMGEO.

Altre collaborazioni: DPC-URSV, UniSI-DSFTA, INGV, CNR (IMAA, IGAG, IAMC), AGI-ReLUIS

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Considerate le risorse disponibili è **fondamentale, sempre, la raccolta dei dati disponibili**

N. B.: le indagini archiviate per gli studi di MS sono un patrimonio anche per gli interventi futuri

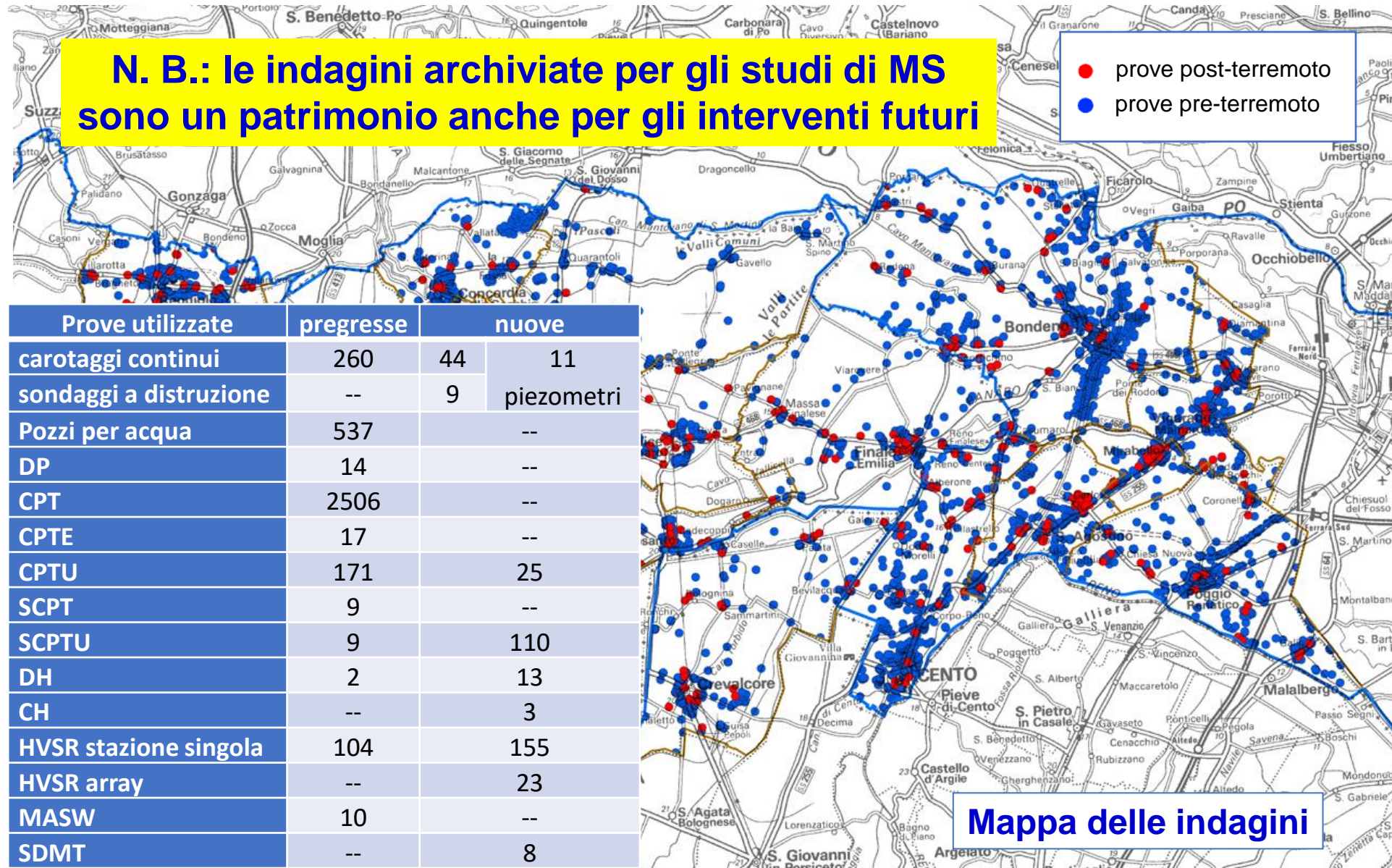
● prove post-terremoto
● prove pre-terremoto

Prove pre-terremoto

- 537 pozzi per acqua
- 260 carotaggi continui
- 2506 CPT, 17 CPTE, 171 CPTU
- 104 HVSR stazione singola
- 9 SCPT-SCPTU, 2 DH, 10 MASW
- 6 DPSH, 5 DPM, 3DPM
- pozzi e linee sismiche UNMIG e cortesia ENI

Prove post-terremoto

- 44 carotaggi continui + 9 a distruzione (11 piezometri)
- 25 CPTU (20-30 m)
- 13 DH (40-50 m), 3 CH (1 a 40 m e 2 >100 m), 110 SCPTU (30 m), 8 SDMT (a 30 m)
- 155 HVSR a stazione singola
- 23 ESAC/SPAC

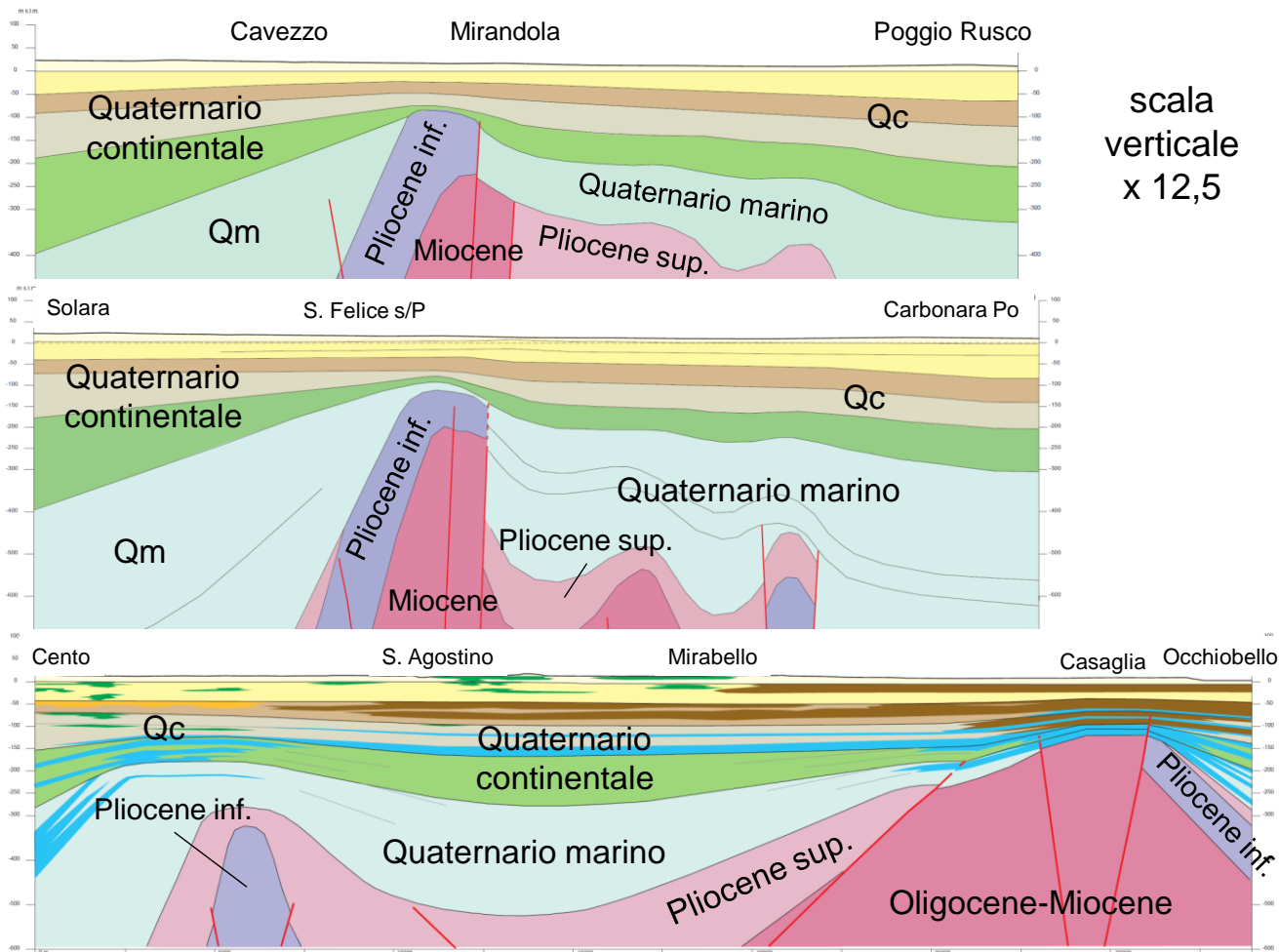


Prove utilizzate	pregresse	nuove	
carotaggi continui	260	44	11
sondaggi a distruzione	--	9	piezometri
Pozzi per acqua	537	--	
DP	14	--	
CPT	2506	--	
CPTE	17	--	
CPTU	171	25	
SCPT	9	--	
SCPTU	9	110	
DH	2	13	
CH	--	3	
HVSR stazione singola	104	155	
HVSR array	--	23	
MASW	10	--	
SDMT	--	8	

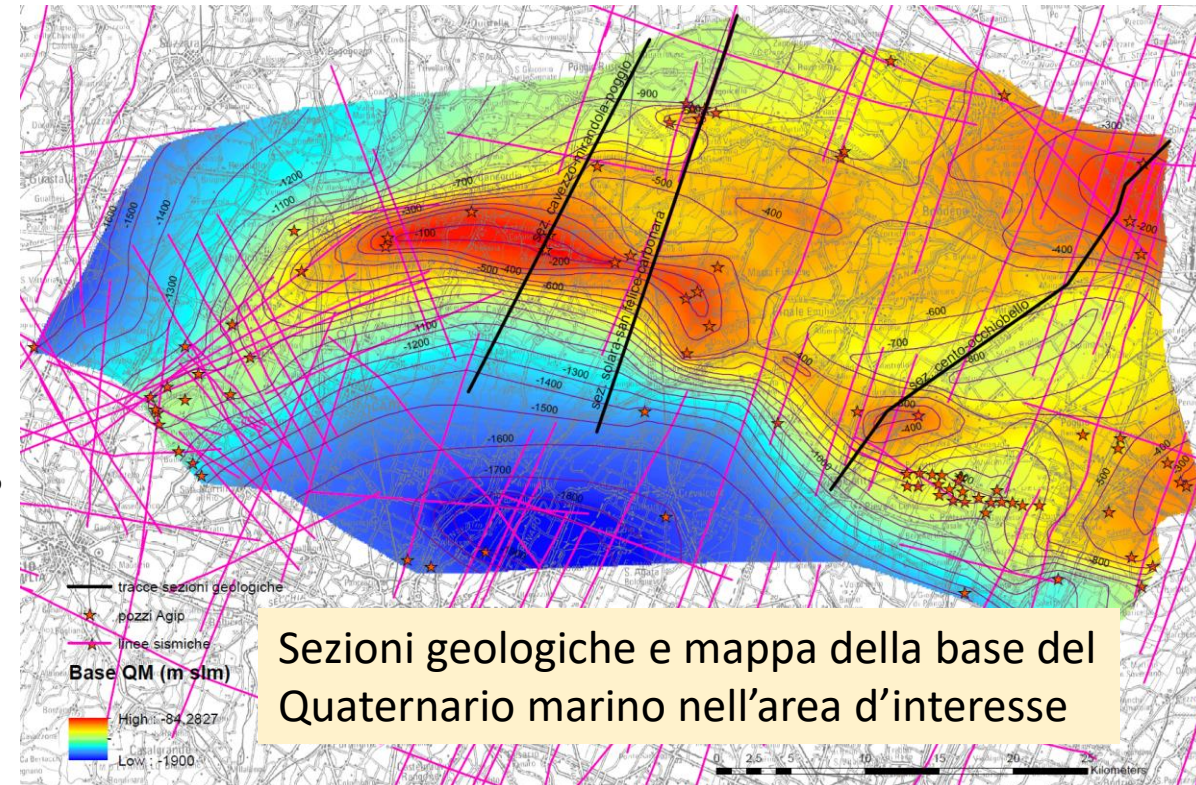
Mapa delle indagini

Ricostruzione del modello geologico

- a) profondità substrato «rigido»,
- b) litostratigrafia dettagliata primi 30 m (da pc)



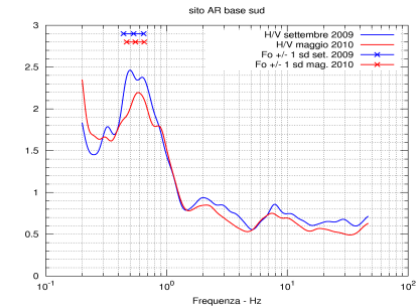
Precedenti esperienze (es. verifiche di stabilità dell'argine destro del Po in condizioni sismiche, 2009-2010) indicavano che il bedrock sismico in Pianura Padana non sempre coincide con $V_s=800$ m/s e con il substrato della successione alluvionale, che localmente è a profondità di parecchie centinaia di m.



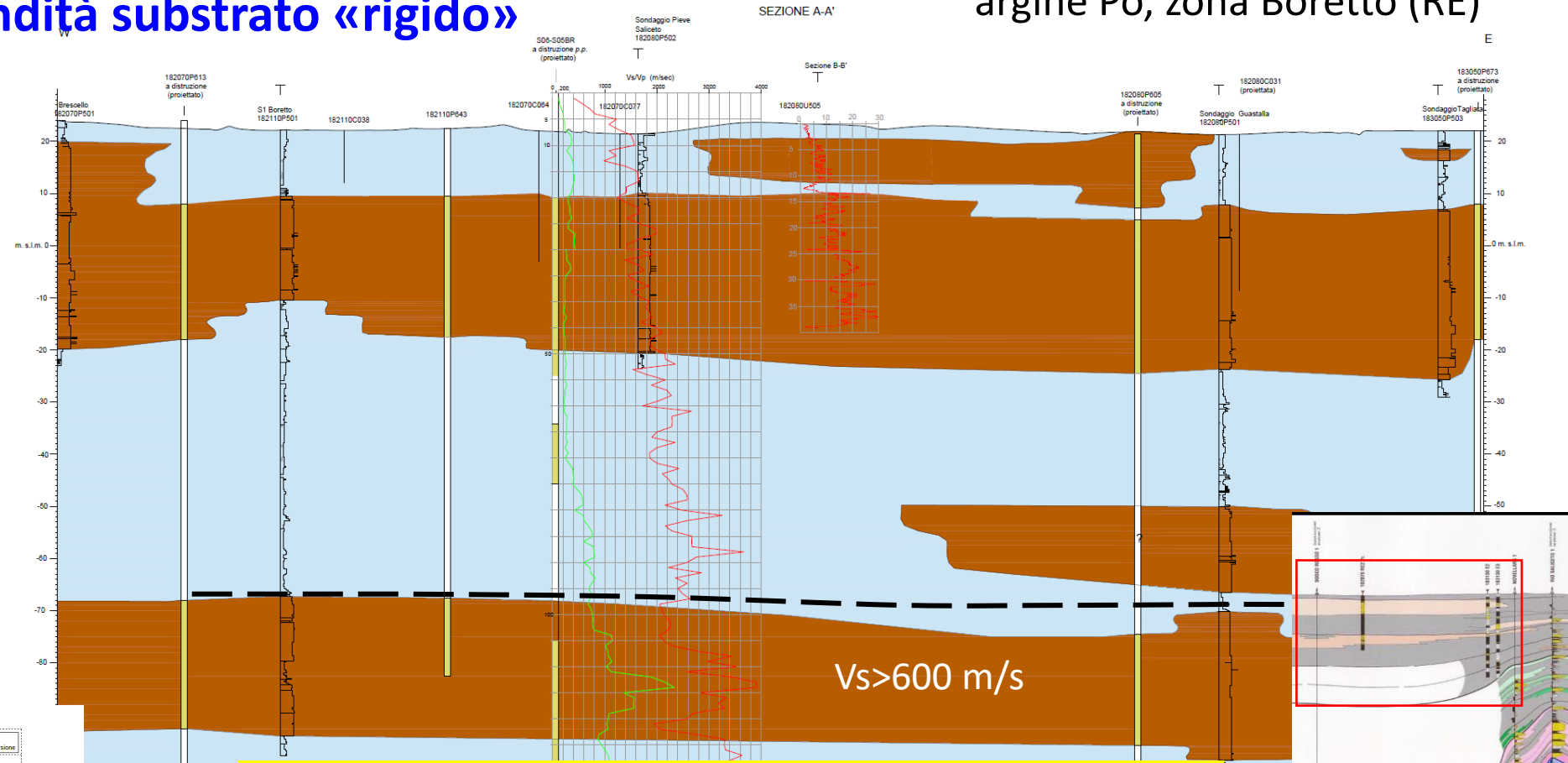
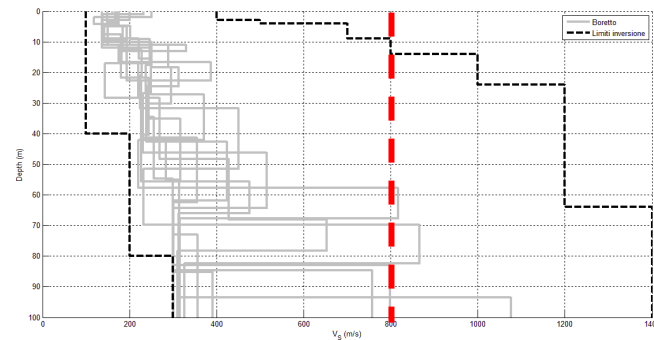
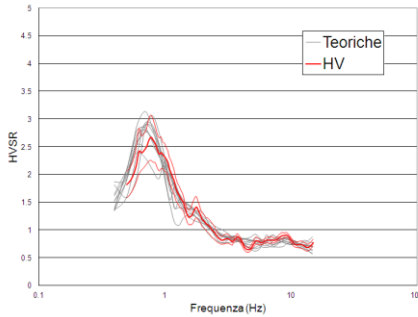
Sezioni geologiche e mappa della base del Quaternario marino nell'area d'interesse

argine Po, zona Boretto (RE)

profondità substrato «rigido»

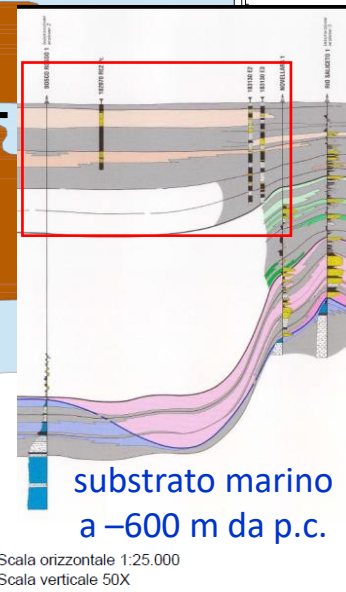


Risultati Inversione Boretto



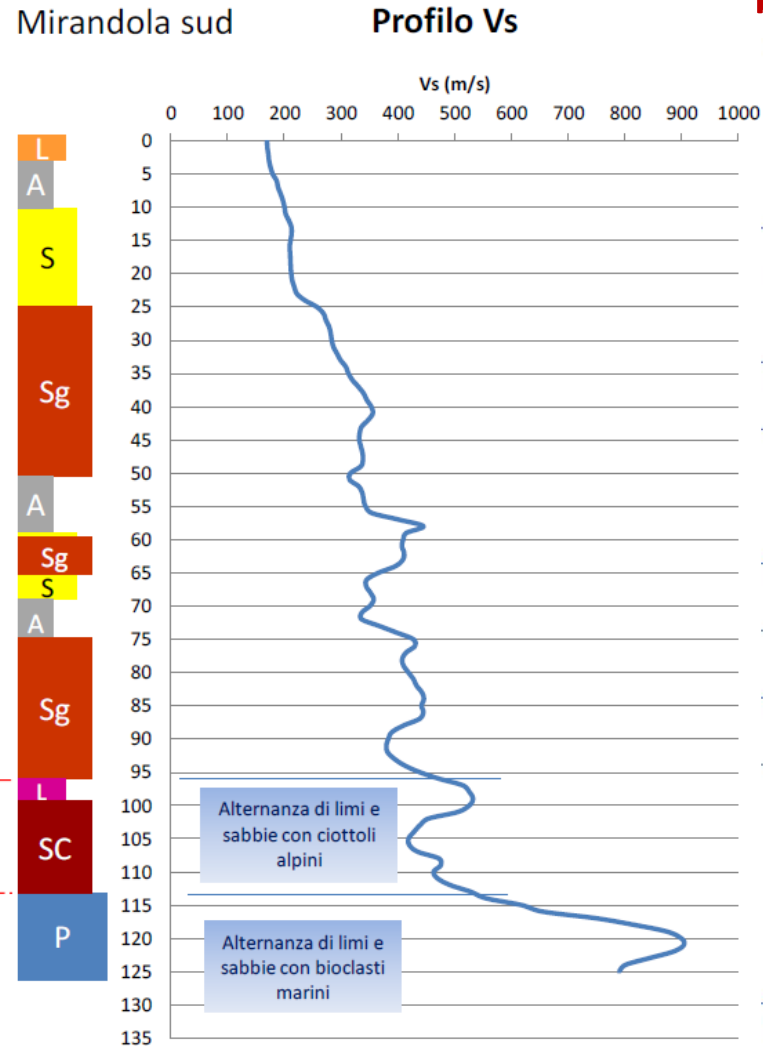
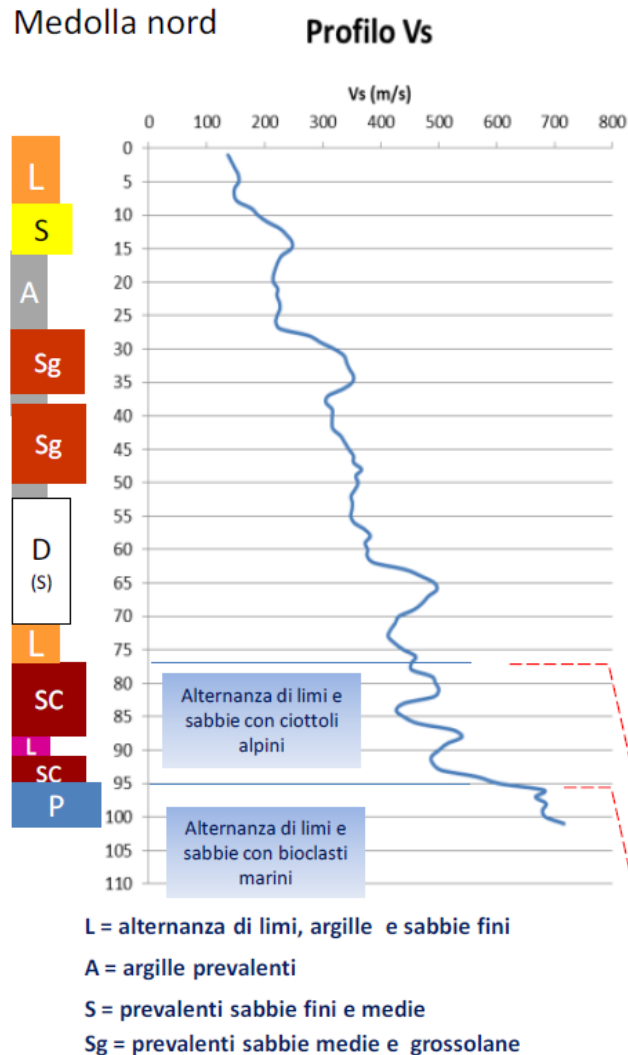
possibile bedrock

Talora orizzonti grossolani decametrici della successione alluvionale (profondità ≥ 80 m) hanno comportamento molto più «rigido» dei sedimenti soprastanti

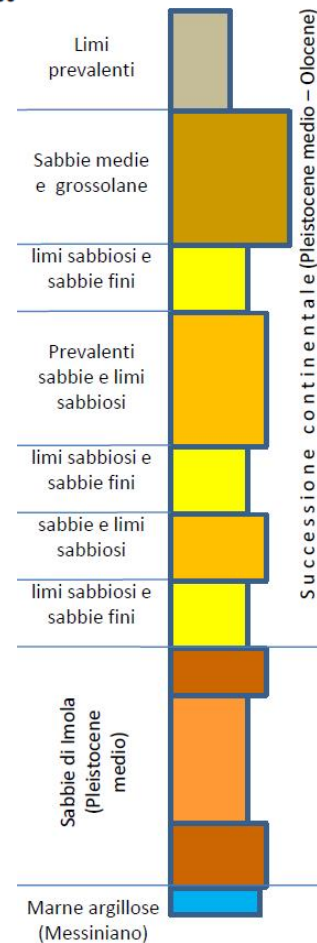


Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

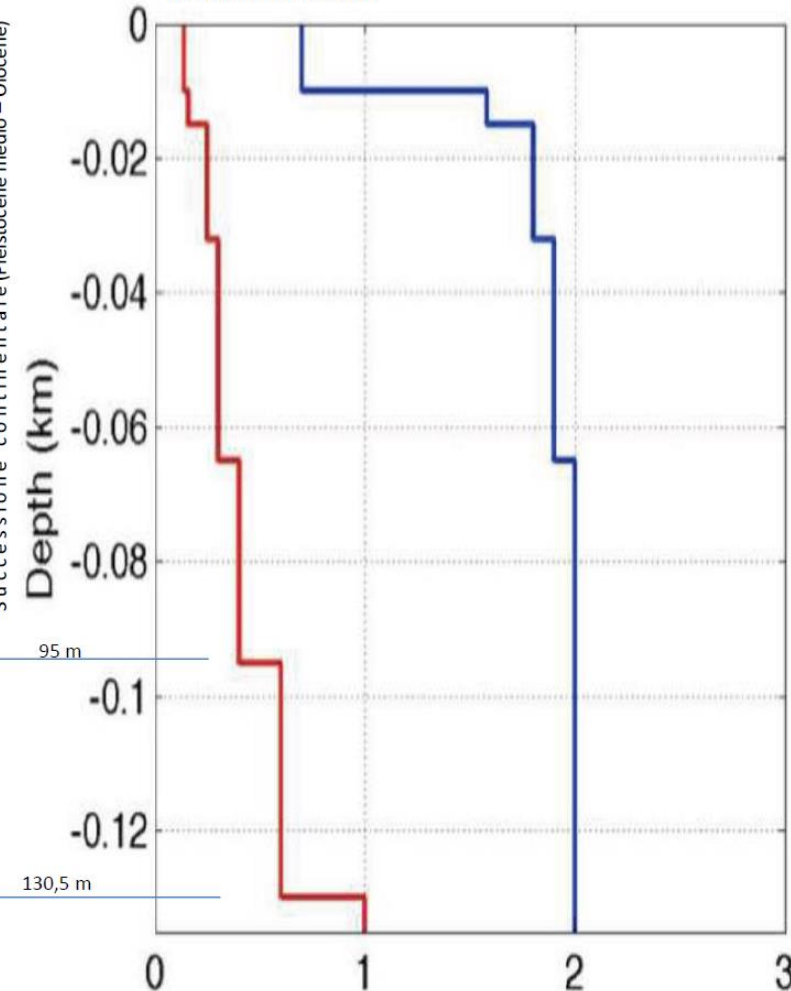
Nelle zone di alto strutturale, sondaggi profondi 100÷150 m hanno permesso di raggiungere il substrato dei depositi alluvionali (sedimenti marini pre-Pleistocene medio). Prove CH hanno dimostrato che in questi casi il **bedrock sismico è costituito dal substrato marino**



Sintesi stratigrafia Casaglia

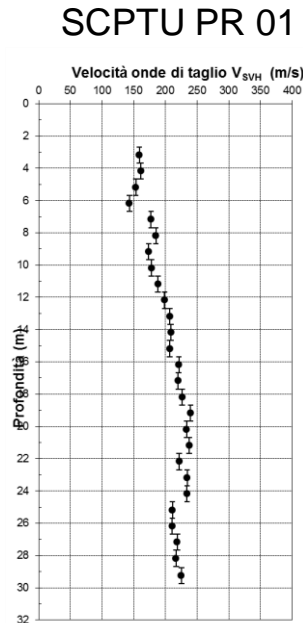
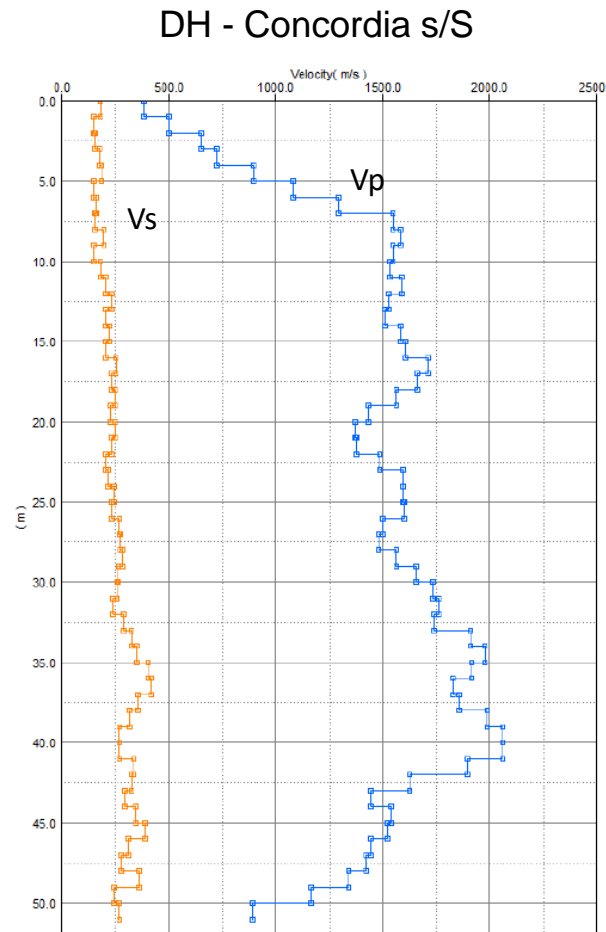


Modello Vs-Vp originale



Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Le indagini mostrano che in termini di V_s dal punto di vista geofisico il sottosuolo di queste aree (alternanze di limi, da argillosi a sabbiosi, e sabbie, da limose a medio-grossolane) presenta differenze laterali minime: Ovunque $V_{S30} < 220$ m/s e $V_{S100} \approx 300 \div 350$ m/s

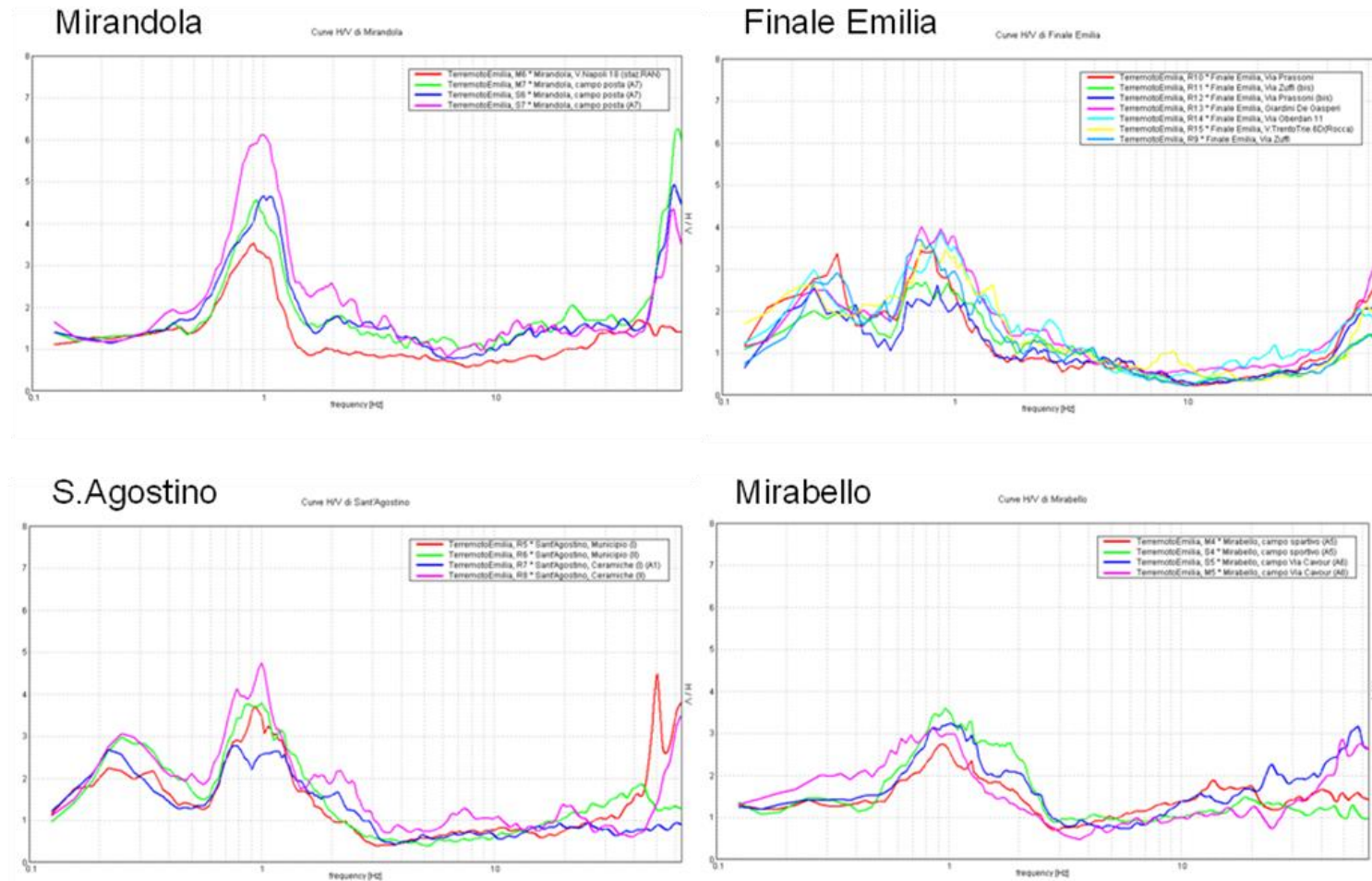


Esempi di profili di V_s

Valori di V_{S30} (da p.c.) da prove DH e CH			
n. progressivo DH	Località	Profondità	V_{S30}
1	Bondeno	50 m	203.9 m/s
2	Camposanto	51 m	199.3 m/s
3	Cento	51 m	175.6 m/s
4	Crevalcore	50 m	196.8 m/s
5	Concordia sulla Secchia	51 m	204.4 m/s
6	Reggiolo	51 m	190.2 m/s
7	Rovereto	51 m	181.9 m/s
8	Finale Emilia	51 m	194.0 m/s
9	Poggio Renatico	51 m	203.0 m/s
10	San Felice sul Panaro	51 m	199.5 m/s
n. progressivo CH	Località	Profondità	$V_{S,30}$
1	Medolla	101 m	199.1 m/s
2	Mirandola	125 m	211.5 m/s
3	San Carlo	41 m	196.2 m/s

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Le misure di sismica passiva mostrano in tutta l'area picchi HVSR, indicativi della frequenza fondamentale del sottosuolo (f_0), in corrispondenza di frequenze tra 0,6 e 1,1 Hz (per lo più 0,8÷1,1 Hz); localmente sono presenti anche picchi secondari a frequenze minori di 0,5Hz.



da Albarello et al. (2012)

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Confrontando i dati geofisici con i profili stratigrafici disponibili (sondaggi profondi e sezioni + mappe RER & ENI-Agip, 1998) è stato possibile associare i contrasti di impedenza a discontinuità lito-stratigrafiche. È stato così osservato che il maggiore contrasto di impedenza nelle zone di alto strutturale corrisponde alla base della coltre alluvionale mentre nelle altre zone è all'interno della successione alluvionale, tra la base del sistema emiliano-romagnolo superiore AES (450.000 anni) e la base del subsistema AES6 (230.000 anni).

Sintesi sulla profondità del bedrock sismico:

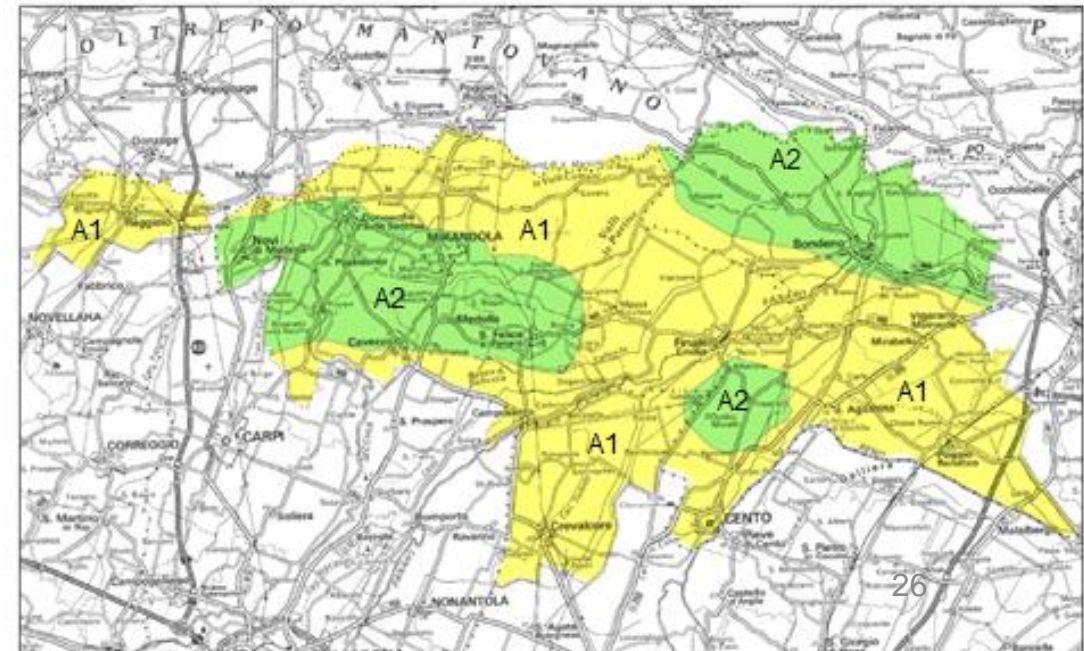
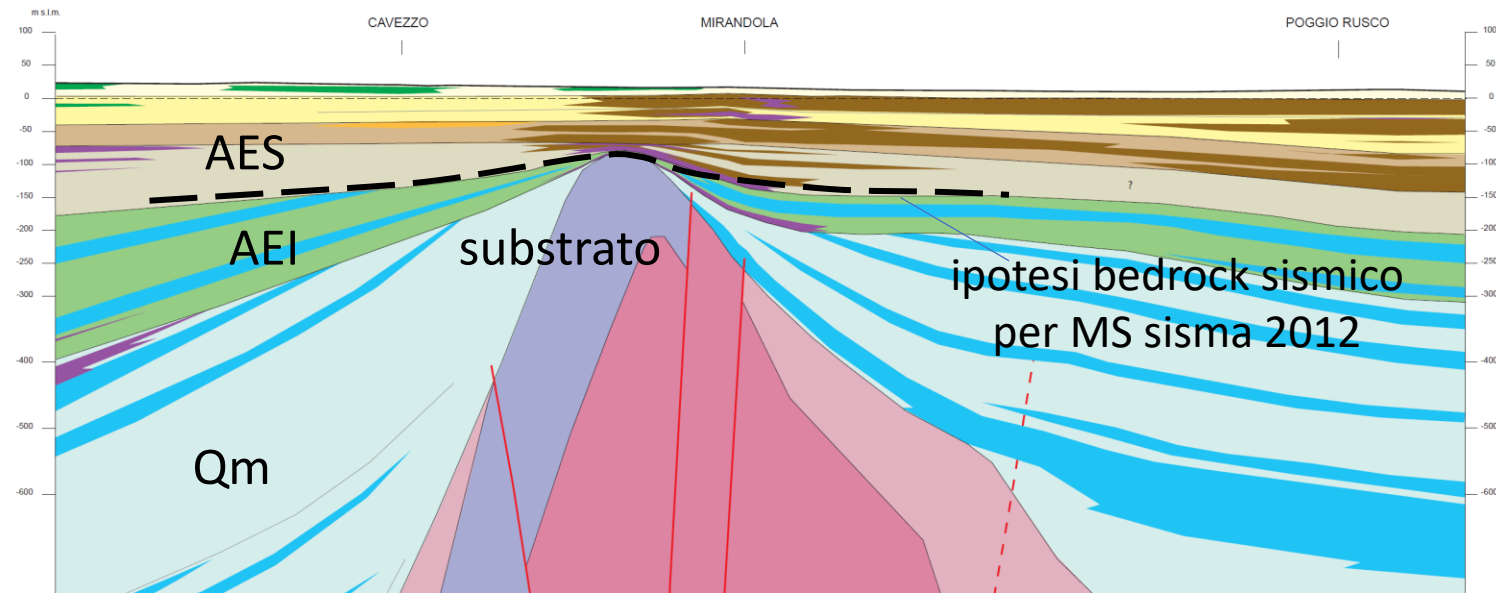
nelle zone di alto = base dei depositi alluvionali

nelle altre zone = base del ciclo alluvionale superiore

L'area di studio è stata così distinta in:

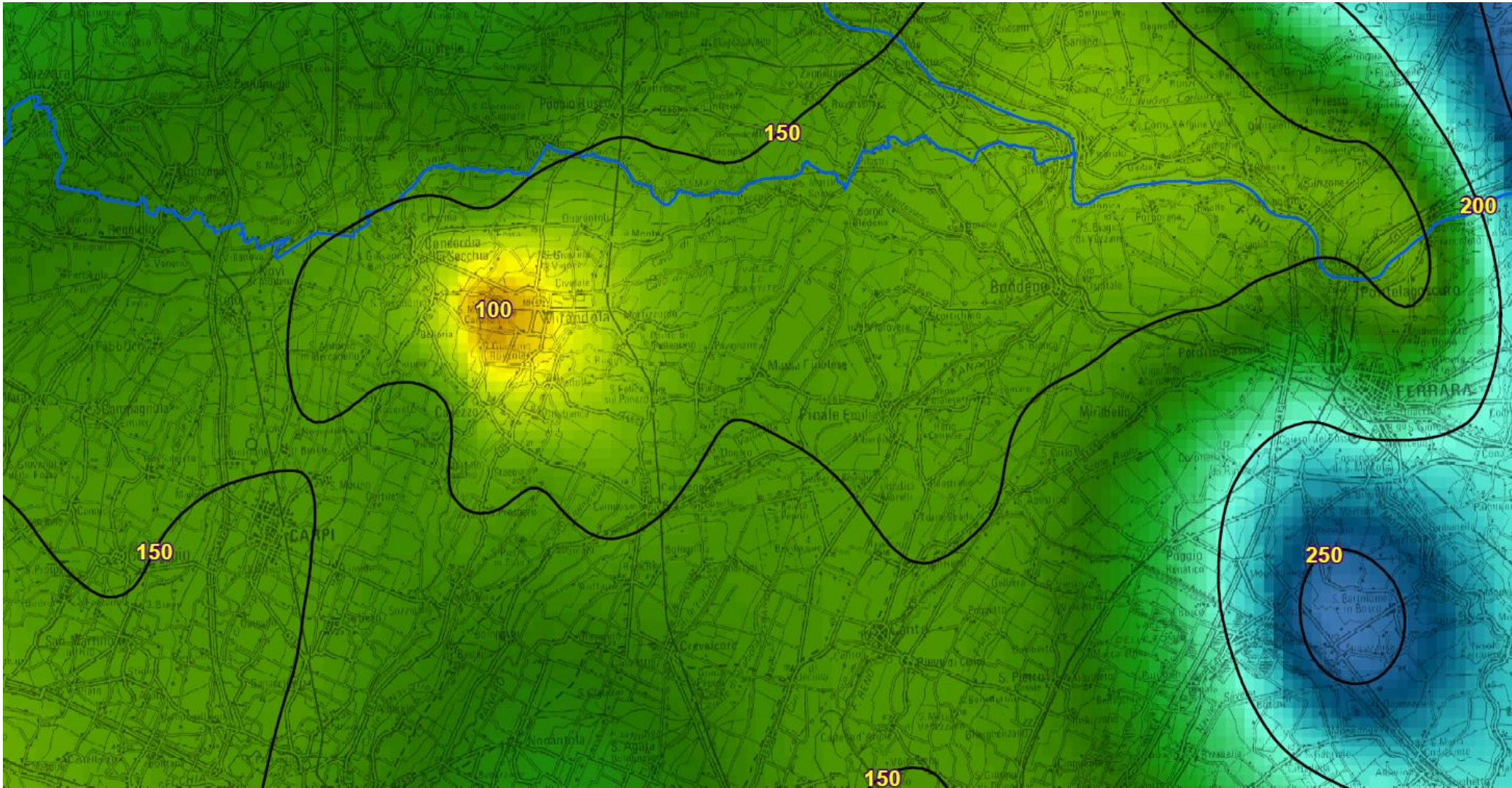
A1, zone in cui il bedrock è a profondità > 120 m;

A2, zone in cui il bedrock è a profondità ≤ 120 m ($80 \div 120$ m).



Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

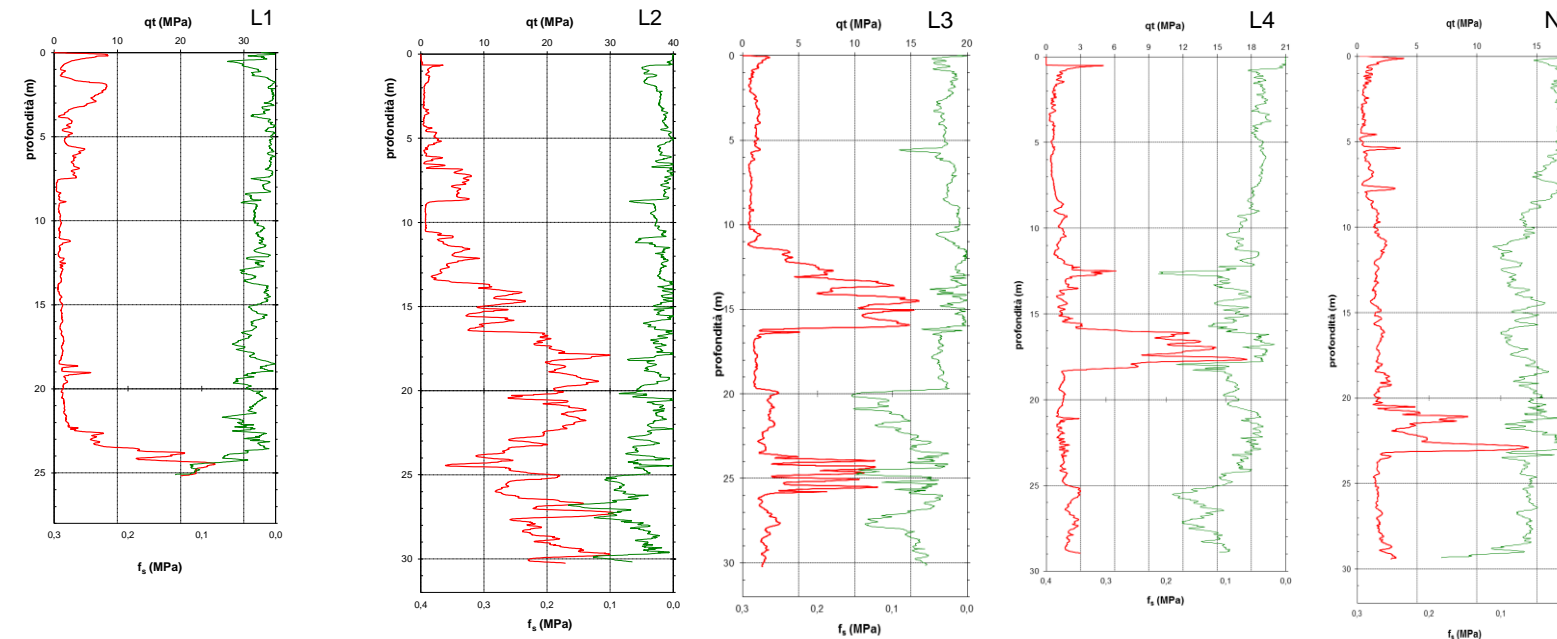
Uno studio successivo (Mascandola et al., 2018) ha confermato la presenza di un'importante discontinuità sismostratigrafica alle profondità ipotizzate come tetto del bedrock sismico per la MS post sisma 2012



Litostratigrafia dei primi 30 m

Tutte le prove in sito disponibili sono state interpretate in maniera speditiva per individuare orizzonti liquefacibili nei primi 20 m e classificate come segue:

- L1: presenza di orizzonti liquefacibili, almeno 30-40 cm, sotto falda, nei primi 5 m;
- L2: presenza di orizzonti liquefacibili, almeno 1 m, tra 5 e 10 m;
- L3: presenza di orizzonti liquefacibili, almeno 2 m, tra 10 e 15 m;
- L4: presenza di orizzonti liquefacibili, almeno 2 m, tra 15 e 20 m;
- N: assenza di orizzonti liquefacibili importanti nei primi 15-20 m;
- X: dato non interpretabile.

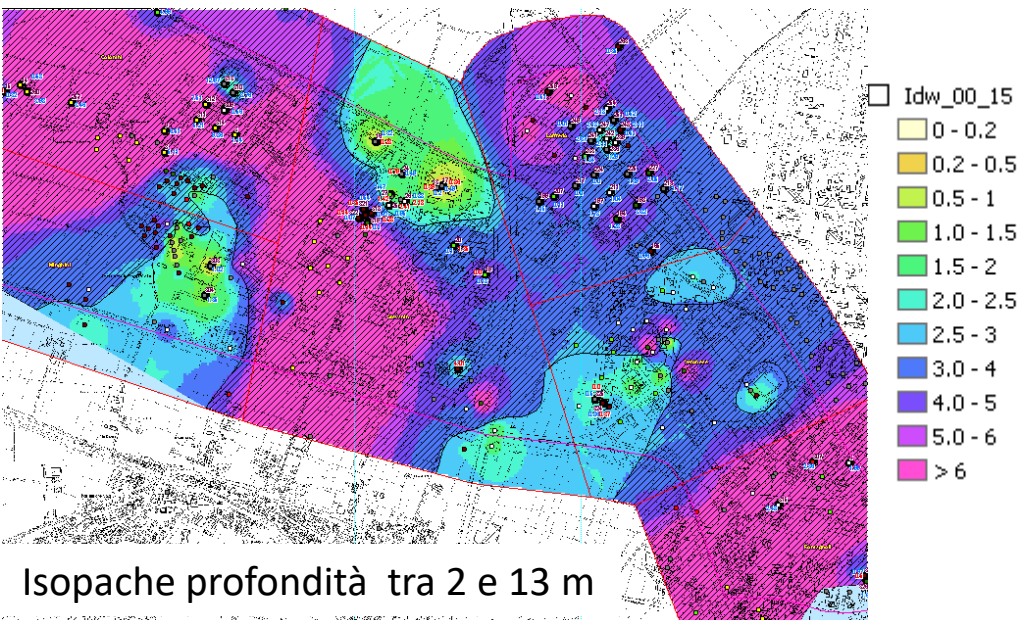
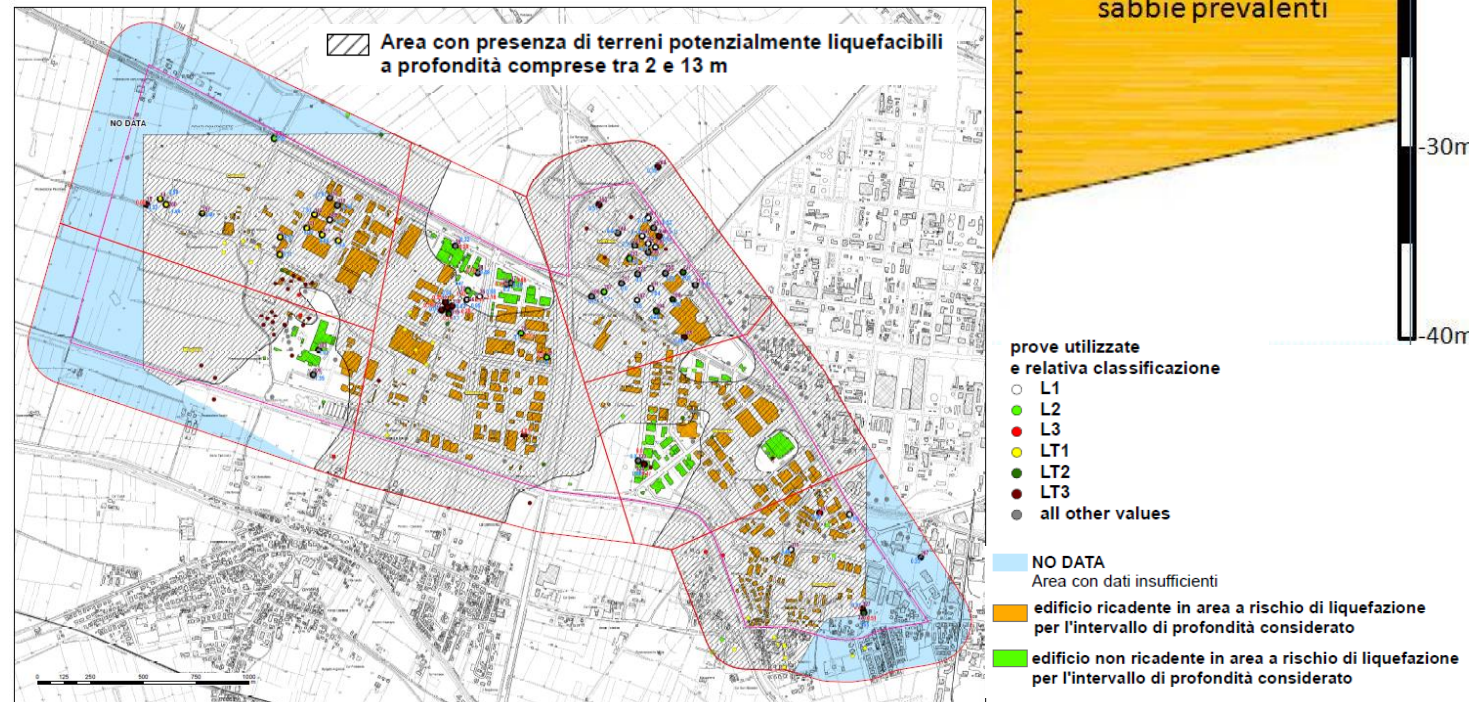
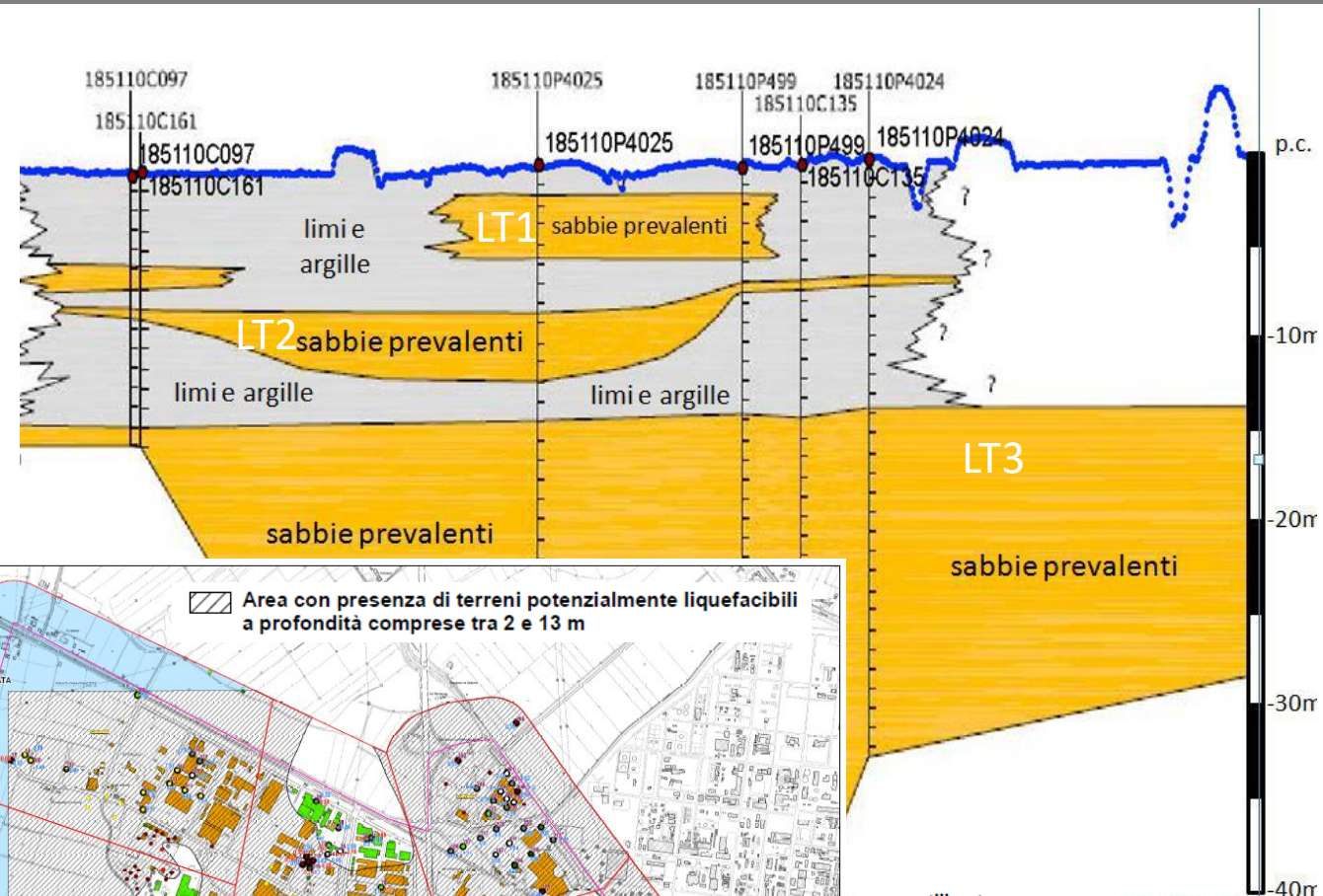


prove X: occorre distinguere tra quelle non interpretabili per la scarsa profondità raggiunta, <10m, e quelle i cui dati non sono affidabili e/o sufficientemente chiari (es. pozzi per acqua con indicazione di “terreno vegetale” fino a 12 m). Le prove profonde 10-11 m, sebbene non forniscano informazioni su tutto lo spessore d’interesse (15-20 m), danno comunque indicazioni utili nei primi 10 m, permettendo di classificare, o meno, la prova come L1 o L2.

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

In un successivo studio (Colombi et al., 2014), la classificazione è stata integrata come segue:

- LT1: orizzonti sabbiosi tra 0 e 5 m che continuano verso il basso;
- LT2: orizzonti sabbiosi tra 5 e 10 m che continuano verso il basso;
- LT3: orizzonti sabbiosi tra 10 e 15 m che continuano verso il basso;
- LT4: orizzonti sabbiosi tra 15 e 20 m che continuano verso il basso.



Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Esempi di carta di livello 1: microzone omogenee in prospettiva sismica

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione

Zone suscettibili di amplificazione

LQ1

Substrato > 120 m
orizzonti liquefacibili 0÷10 m

LQ1

Substrato ≤ 120 m
orizzonti liquefacibili 0÷10 m

A2

Substrato ≤ 120 m

LQ2

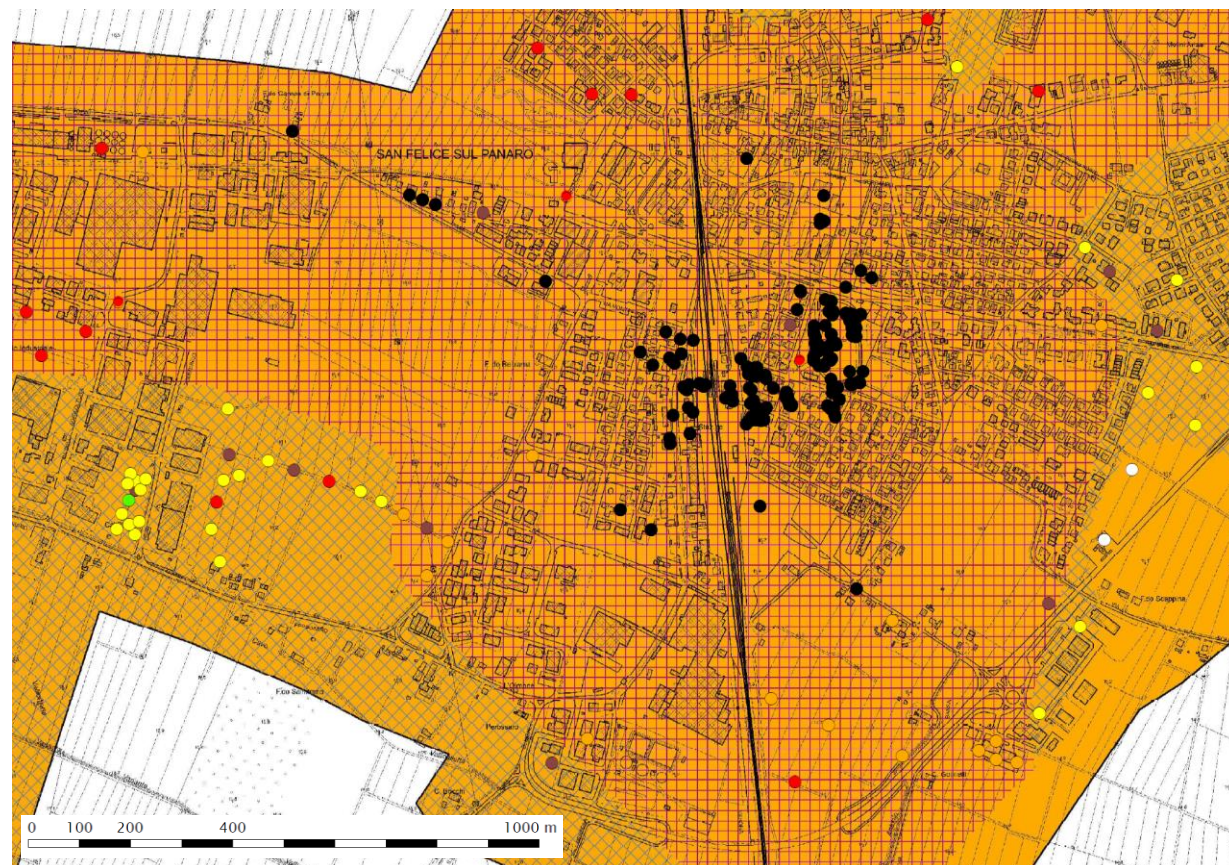
Substrato > 120 m
orizzonti liquefacibili 10÷20 m

LQ2

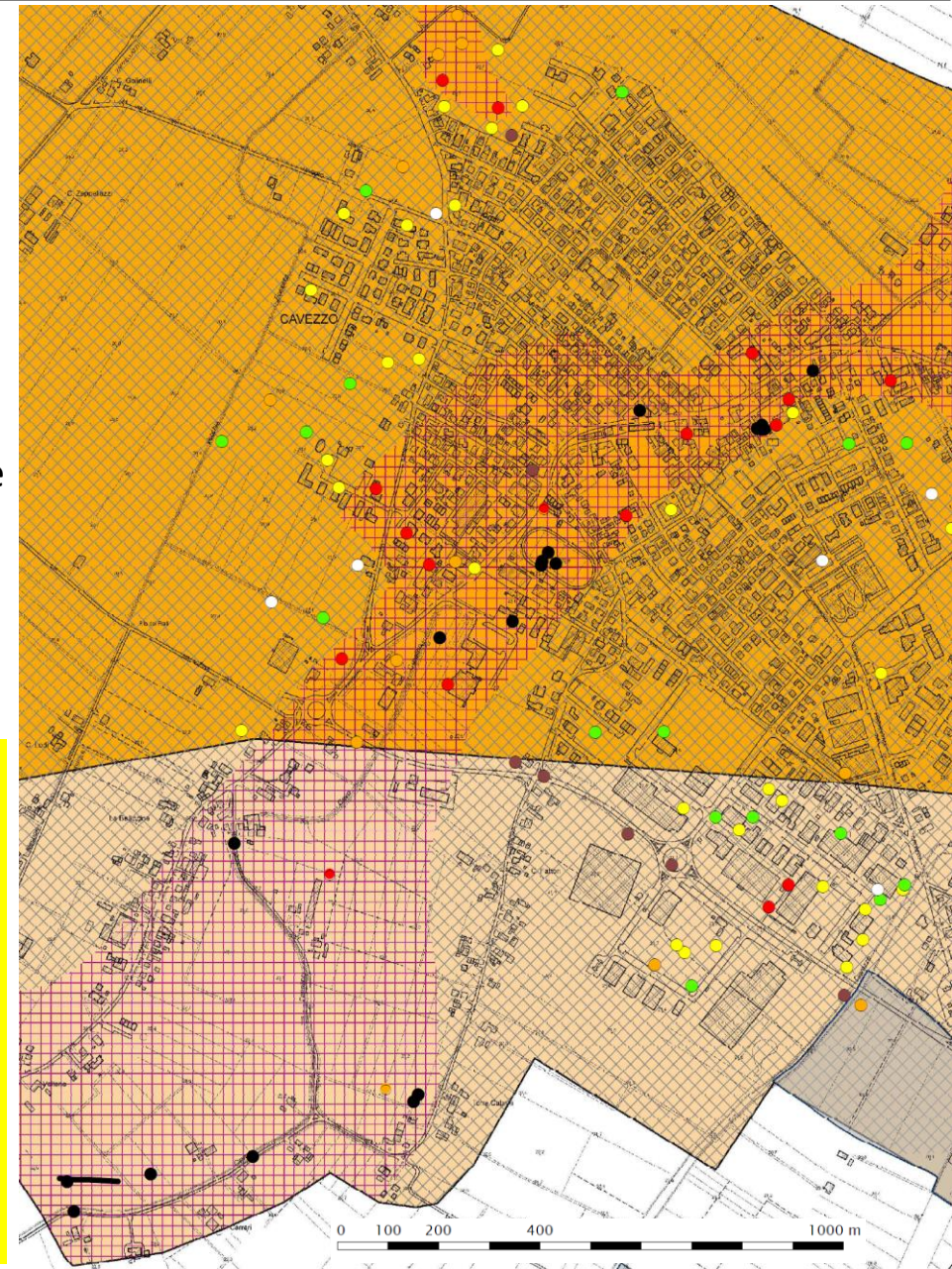
Substrato ≤ 120 m
orizzonti liquefacibili 10÷20 m

L1 L2 L3 L4 N X ● punto di liquefazione

— Frattura o allineamento di punti di liquefazione



N.B.:
per perimetrare le MOPS è stato utilizzato anche il DTM (1 m), in quanto in pianura i dossi spesso corrispondono a depositi sabbiosi (canali abbandonati)



Analisi di laboratorio

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati 40 campioni indisturbati, fino a 70 m, per prove di laboratorio di classificazione e meccaniche.

Sono stati individuati 4 litotipi prevalenti, per i quali sono state elaborate schede di sintesi (Allegato 1.6):

- argille con limo, da plastiche a molto plastiche,
- limi e argille, limi con argilla plastici,
- limi argillosi sabbiosi, da poco plastici a plastici,
- sabbie limose e sabbie con limo.

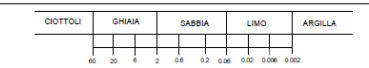
Test per la determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità in campo sia statico sia ciclico-dinamico:

- 6 prove di taglio diretto,
- 3 prove di taglio anulare,
- 2 prove edometriche,
- 13 prove triassiali con consolidazione isotropa e rottura non drenata,
- 4 prove triassiali con misura locale delle deformazioni e misura della velocità di propagazione delle onde di taglio,
- 9 prove di colonna risonante,
- 28 prove triassiali cicliche.

ARGILLA LIMOSA

S9_C12_RC1 (SAN CARLO)

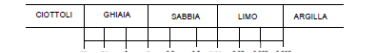
Curva granulometrica		Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]
Diametro [mm]	Passante [%]			
0	21		79	
101.60	100.0	LL [%]	LP [%]	IP [%]
63.50	100.0	94	33	61
38.10	100.0			
25.40	100.0			
19.10	100.0			
9.53	100.0			
4.75	100.0			
2.00	100.0			
1.00	100.0			
0.59	100.0			
0.4200	100.0			
0.2500	100.0			
0.1770	100.0			
0.1250	100.0			
0.0750	100.0			
0.0513	99.8			
0.0222	98.7			
0.0158	97.5			
0.0112	96.8			
0.0079	94.9			
0.0057	92.4			
0.0040	89.4			
0.0027	85.1			
0.0021	80.3			
0.0013	68.4			



LIMO CON ARGILLA

S14_C12_RC1 (CREVALCORE)

Curva granulometrica		Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]
Diametro [mm]	Passante [%]			
0	7		50	43
101.60	100.0	LL [%]	LP [%]	IP [%]
63.50	100.0	60	23	37
38.10	100.0			
25.40	100.0			
19.10	100.0			
9.53	100.0			
4.75	100.0			
2.00	100.0			
1.00	100.0			
0.59	100.0			
0.4200	100.0			
0.2500	100.0			
0.1770	100.0			
0.1250	100.0			
0.0750	100.0			
0.0513	99.8			
0.0222	98.7			
0.0158	97.5			
0.0112	96.8			
0.0079	94.9			
0.0057	92.4			
0.0040	89.4			
0.0027	85.1			
0.0021	80.3			
0.0013	68.4			



LIMO CON SABBIA ARGILLOSO

S2_C12_RC1 (SAN CARLO)

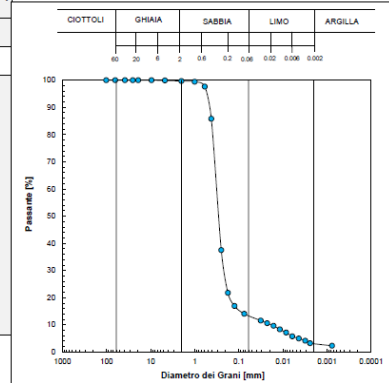
Curva granulometrica		Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]
Diametro [mm]	Passante [%]			
0	32		58	10
101.60	100.0	LL [%]	LP [%]	IP [%]
63.50	100.0			
38.10	100.0			
25.40	100.0			
19.10	100.0			
9.53	100.0			
4.75	100.0			
2.00	100.0			
1.00	99.3			
0.59	99.0			
0.4200	98.7			
0.2500	97.6			
0.1770	96.5			
0.1250	95.1			
0.0750	93.9			
0.0299	87.4			
0.0208	85.6			
0.0150	82.1			
0.0107	78.3			
0.0067	72.1			
0.0055	67.5			
0.0037	58.1			
0.0029	50.2			
0.0024	44.0			
0.0008	31.8			



SABBIA LIMOSA CON TRACCE DI ARGILLA

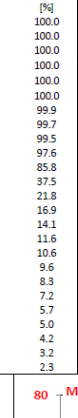
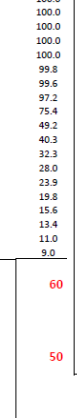
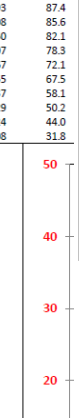
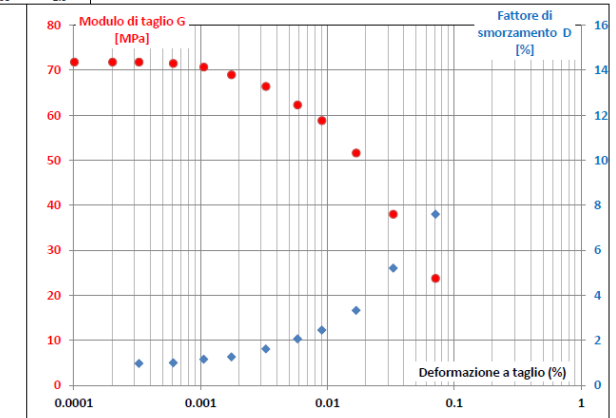
S3_C13_RC1 (SAN CARLO)

Curva granulometrica		Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]
Diametro [mm]	Passante [%]			
0	86		10	3
101.60	100.0	LL [%]	LP [%]	IP [%]
63.50	100.0	-	-	-
38.10	100.0			
25.40	100.0			
19.10	100.0			
9.53	100.0			
4.75	100.0			
2.00	99.9			
1.00	99.7			
0.59	99.5			
0.4200	97.6			
0.2500	85.8			
0.1770	81.8			
0.1250	78.3			
0.0750	75.4			
0.0317	49.2			
0.0240	40.3			
0.0173	32.3			
0.0124	28.0			
0.0088	23.9			
0.0063	19.8			
0.0045	15.6			
0.0031	13.4			
0.0023	11.0			
0.0014	9.0			



PROVA COLONNA RISONANTE
Prof=9.5m; p=100kPa, e=0.73

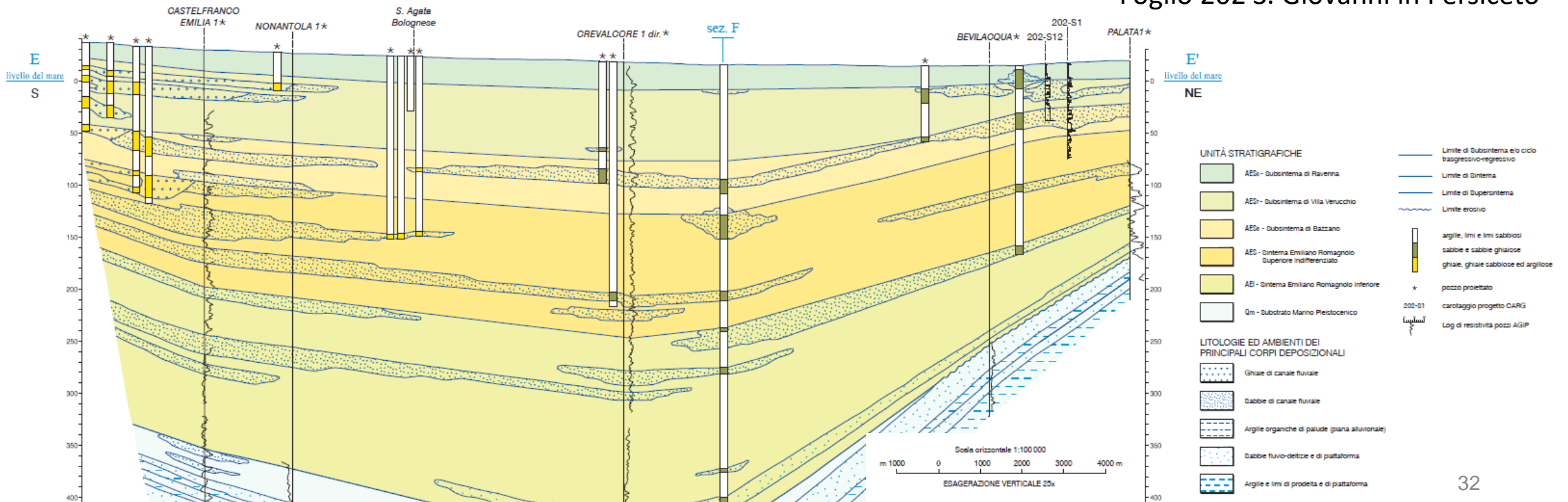
γ (%)	G (MPa)	D (%)
0.0001	71.8	0.952
0.0002	71.8	0.972
0.0006	71.5	0.999
0.0011	70.7	1.158
0.0018	69.0	1.259
0.0033	66.4	1.615
0.0058	62.3	2.064
0.0090	58.8	2.453
0.0169	51.6	3.328
0.0331	38.0	5.202
0.0713	23.7	7.604



Stima dell'amplificazione

Data la geometria piano-parallela delle unità litologiche dei primi 100-150 m e le tipologie edilizie ordinarie più frequenti (strutture $0,1s < T \leq 1s$), per la valutazione dell'amplificazione si è ritenuto possibile assimilare il sottosuolo ad un **modello fisico 1D**.

Sezione geologica da CARG 50.000
Foglio 202 S. Giovanni in Persiceto

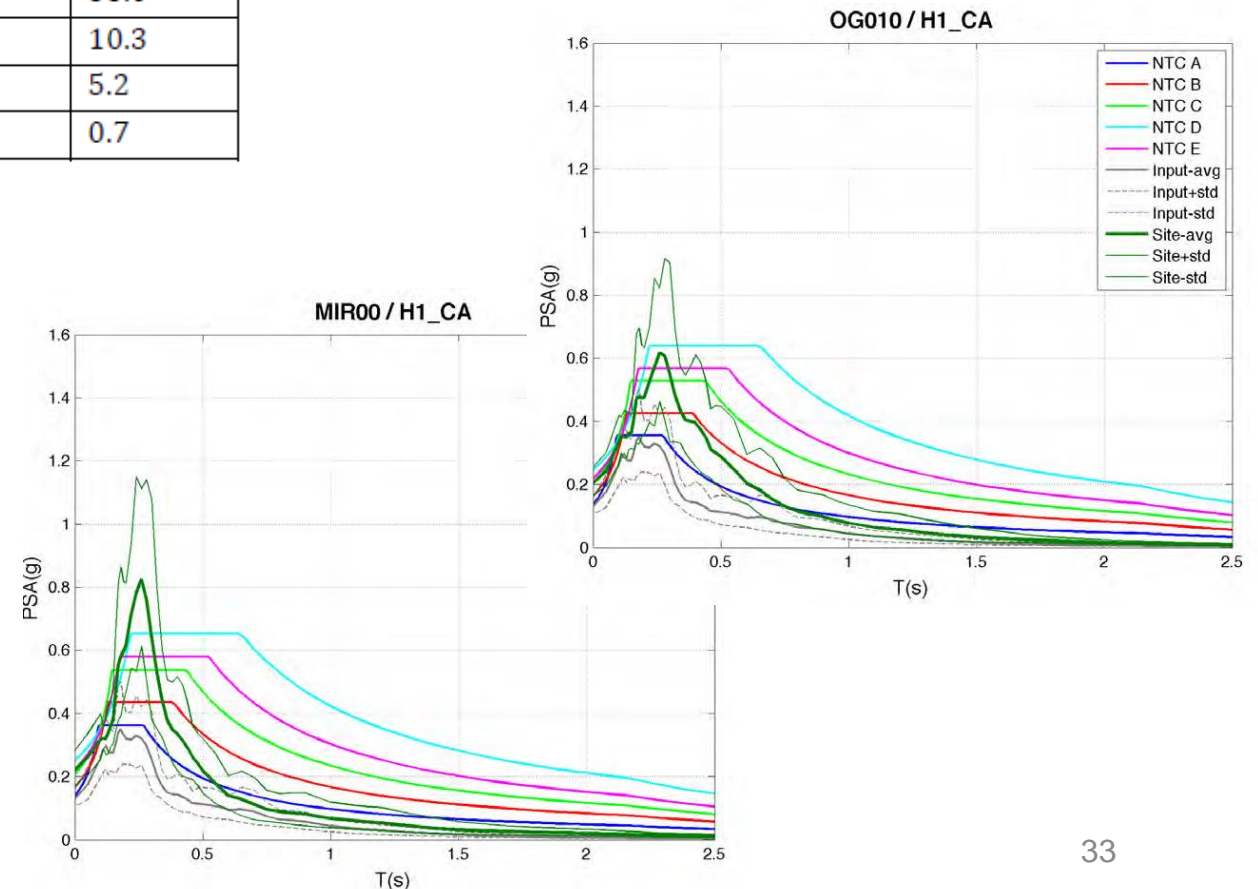


Sono state quindi effettuate **analisi RSL 1D in siti campione, utilizzando anche registrazioni di aftershocks** (Laurenzano et al., 2013 e Allegato 1.8) di 9 siti di una rete temporanea OGS (Priolo et al, 2012) e 2 stazioni accelerometriche del CNR-IMAA (Gallipoli et al., 2013).

Evento	Paese	Data	Lat	Long	Mw	Stazione	R (km)
Friuli	Italia	1977/09/16	46.28	12.98	5.3	SMT	9.1
Golfo di Patti	Italia	1978/04/15	38.27	15.11	6.0	NAS	33.0
Val Comino	Italia	1984/05/07	41.70	13.86	5.9	ATN	10.3
Umbria-Marche	Italia	1998/04/03	43.19	12.76	5.1	NCM	5.2
L'Aquila	Italia	2009/04/07	42.38	13.38	4.6	AQP	0.7

Principali caratteristiche degli eventi considerati per definire l'azione sismica

La disponibilità di dati provenienti da 2 stazioni presso Casaglia (FE), dotate rispettivamente di un sismometro in pozzo a 130,5 m (FERB) e un sismometro in superficie (OG010), ha permesso di vincolare il modello 1D e convertire le registrazioni profonde a quelle corrispondenti a un sito di riferimento virtuale (categoria di sottosuolo A; il substrato marino è stato confrontato con profili litostratigrafici di sondaggi e dati Vs dell'area appenninica).



Le analisi RSL test hanno fornito fattori di amplificazione in accordo con quelli che si ottengono con gli abachi regionali (DAL 112/2007); pertanto, considerati i tempi e le risorse disponibili, **si è proceduto alla stima dell'amplificazione tramite le procedure semplificate previste dagli indirizzi regionali (secondo livello di approfondimento; cfr Allegato 2, DAL 112/2007).**

Fattori di amplificazione stimati: F_{PGA} (PGA/PGA_0) e amplificazione dell'Intensità di Housner (SI/SI_0) per $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (FH_{0105}) e $0,5s \leq T \leq 1s$ (FH_{0510}), $T_R=475$ anni e $\xi=5\%$:

- **zona A1 (bedrock > 120 m): $F_{PGA}=1,5$; $FH_{0105}=1,8$; $FH_{0510} 2,5$;**
- **zona A2 (bedrock = 100 ± 20 m): $F_{PGA}=1,7$; $FH_{01-05}=1,9$; $FH_{0510}=2,6$.**

Coefficiente di amplificazione topografica $S_T=1$ ovunque (i principali rilievi, fino a 8-10 m, sono rilevati arginali e stradali).

Si tenga presente che gli abachi regionali sono stati costruiti considerando l'85° percentile delle modellazioni RSL 1D eseguite e generalmente forniscono fattori di amplificazione piuttosto cautelativi, spesso più cautelativi di quelli da analisi RSL. La scelta di costruire abachi «cautelativi» è legata alla considerazione che il principale campo di applicazione della MS è la pianificazione urbanistica.

Stima dell'indice potenziale di liquefazione (I_L)

6 Metodi utilizzati: Robertson & Wride (1998), nella versione modificata e aggiornata da Youd et al. (2001), Robertson & Cabal (2010), AGI (2005), Moss et al. (2006), Idriss & Boulanger (2008), Juang et al. (2010).

Dai confronti effettuati (Facciorusso et al., 2013) è risultato che il metodo che fornisce valori di I_L meglio compatibili con gli effetti osservati è quello di Idriss & Boulanger (2008); tale metodo è stato perciò assunto come riferimento per la redazione delle mappe.

Parametri: **PGA da studi MS** ($PGA_0 \times F_{PGA}$), per $T_R=475$ anni; **magnitudo=6,14** (da ZS9, Meletti & Valensise, 2004), profondità del **tetto della falda: 1 m nelle aree di piana intercanale, 3 m nelle aree di dosso.**

I valori puntuali di I_L sono stati raggruppati in classi (Sonmez, 2003) e rappresentati a seconda della profondità di indagine (per ogni verticale di verifica è stato riportato anche il valore puntuale):

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m	
1.2 ◇	$I_L \leq 2$ (rischio basso)	□ 1.5	
2.8 ◇	$2 < I_L \leq 5$ (rischio moderato)	■ 3.3	
5.4 ◆	$5 < I_L \leq 15$ (rischio elevato)	■ 6.4	

Esempi di cartografia MS OC 70/2012

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione

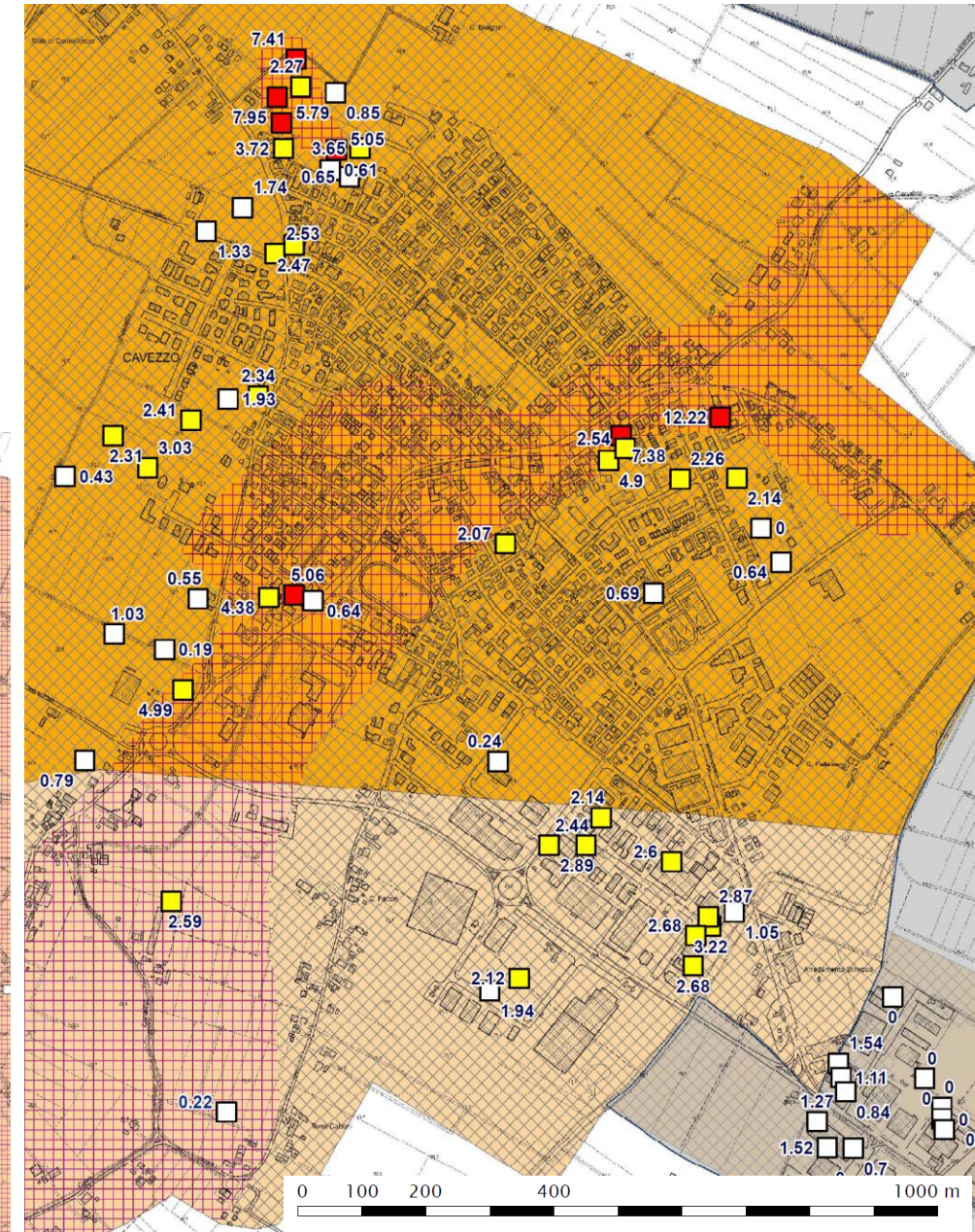
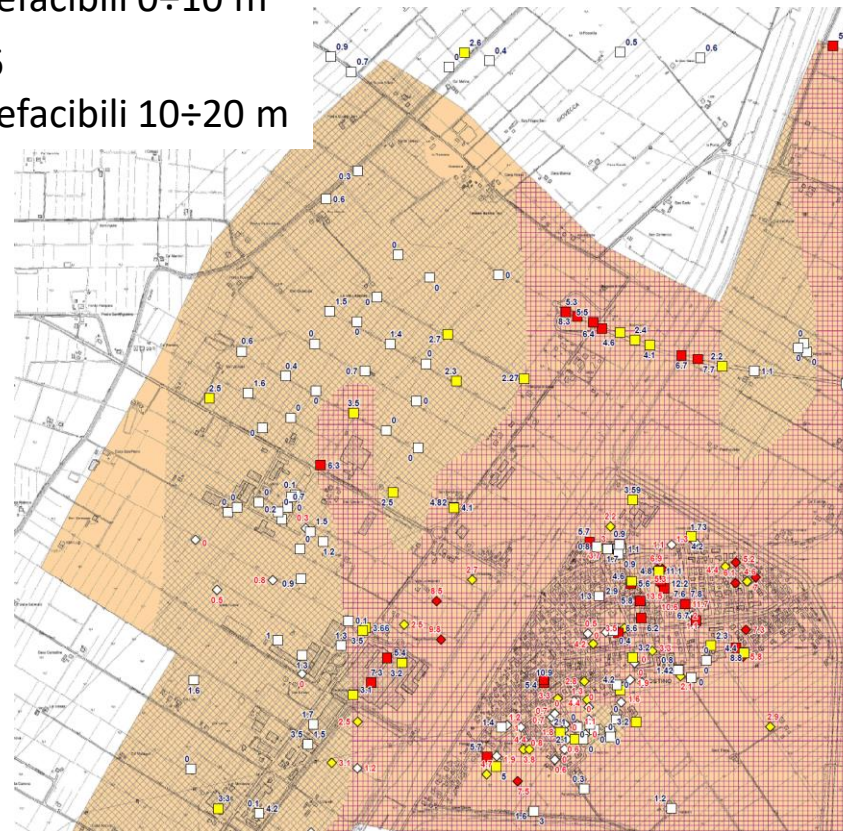
- LQ1** $F_{PGA}=1,5$; $FH_{0105}=1,8$; $FH_{0510}=2,5$
substrato > 120 m, orizzonti liquefacibili 0÷10 m
- LQ2** $F_{PGA}=1,5$; $FH_{0105}=1,8$; $FH_{0510}=2,5$
substrato > 120 m, orizzonti liquefacibili 10÷20 m
- LQ1** $F_{PGA}=1,7$; $FH_{0105}=1,9$; $FH_{0510}=2,6$
substrato ≤ 120 m, orizzonti liquefacibili 0÷10 m
- LQ2** $F_{PGA}=1,7$; $FH_{0105}=1,9$; $FH_{0510}=2,6$
substrato ≤ 120 m, orizzonti liquefacibili 10÷20 m

IL (classificazione: Sonmez, 2003)

- 1.5 $IL \leq 2$, rischio basso
- 3.3 $2 < IL \leq 5$, rischio moderato
- 6.4 $5 < IL \leq 15$, rischio alto

Zone suscettibili di amplificazione

- A1** $F_{PGA}=1,5$;
 $FH_{0105}=1,8$;
 $FH_{0510}=2,5$
substrato > 120 m



Indicazioni per la pianificazione urbanistica comunale 1

ZONE A1 E A2

- Zone stabili suscettibili di amplificazione; in tali zone è ritenuta sufficiente una MS di livello 2.
- La cartografia MS fornisce valori dei fattori di amplificazione del moto sismico per gli intervalli di periodi $0,1 \div 0,5s$ e $0,5 \div 1,0s$; quindi, per la pianificazione di interventi che prevedano opere di grandi dimensioni ($T > 1s$) sono da sviluppare specifici approfondimenti (mediante analisi RSL).

ZONE LQ1 E LQ2

- Zone potenzialmente instabili per liquefazione; LQ1 maggiore pericolosità di LQ2. Per qualsiasi intervento in queste aree è richiesta la verifica del rischio di liquefazione, intesa innanzi tutto come verifica della presenza delle condizioni predisponenti e quindi, in caso di esito positivo, stima dell'indice di liquefazione IL (analisi di terzo livello di approfondimento).
- Parametri suggeriti per la stima di IL :
 - profondità della falda più superficiale tra quella misurata al momento delle prove e quella desumibile da dati disponibili;
 - accelerazione massima al sito derivata da studi MS;
 - magnitudo massima da zonazione sismogenetica ZS9 (v. www.ingv.it).

Se $IL < 2$ si può ritenere la probabilità di liquefazione molto bassa; se $IL \geq 2$ si raccomanda di valutare anche i potenziali cedimenti.

Indicazioni per la pianificazione urbanistica comunale 2

In tutte le zone

- Per le aree in cui sia prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico sono sempre richiesti approfondimenti di terzo livello.
- Al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza nell'interazione suolo-strutture, dovranno essere adeguatamente considerate le frequenze naturali del terreno e quelle di vibrazione delle strutture; le indagini effettuate indicano che la frequenza naturale del terreno f_0 è quasi ovunque compresa tra 0,6 e 1,1 Hz.
- Al fine di salvaguardare l'accessibilità alle funzioni strategiche in caso di emergenza sismica, con riferimento alla viabilità di connessione o di accesso alle funzioni strategiche individuata negli elaborati della CLE, particolare attenzione deve essere posta affinché gli interventi non siano tali da creare interferenze su tale viabilità.
- L'analisi della CLE, essendo un elemento di conoscenza fondamentale per garantire l'operatività delle funzioni strategiche e rendere il sistema di gestione dell'emergenza più efficiente e coerente con l'insediamento urbano, è uno strumento indispensabile per la verifica e l'eventuale revisione e aggiornamento dei piani di protezione civile

Indicazioni per la progettazione 1

La MS fornisce elementi conoscitivi utili anche per la progettazione; i dati e i risultati della MS non esentano comunque dalla realizzazione di indagini, approfondimenti e studi richiesti dalle NTC.

ZONE A1 E A2

- Per il calcolo dell'azione sismica per la progettazione di opere di rilevante interesse (classi d'uso 3 e 4 delle NTC 2008) sono raccomandate analisi di dettaglio.

Zone LQ1 e LQ2

- Se le indagini confermano la presenza di terreni liquefacibili, occorre stimare I_L .
- Parametri suggeriti per la stima di I_L : profondità della falda più superficiale tra quella misurata al momento delle prove e quella desumibile da dati disponibili; accelerazione massima al sito derivata da studi MS; magnitudo massima da zonazione sismogenetica ZS9 (v. www.ingv.it).

Se $I_L < 2$ si può ritenere la probabilità di liquefazione molto bassa, se $I_L \geq 2$ la classe di sottosuolo da considerare è S2 e, di conseguenza, non è ammesso l'approccio semplificato per il calcolo dell'azione sismica (v. par. 3.2.2 NTC 2008). In caso di $I_L \geq 2$ si raccomanda di valutare anche i potenziali cedimenti; per opere di particolare interesse sono raccomandati interventi di mitigazione del rischio di liquefazione, v. DD n. 12418/2012 e "Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali ...: aspetti geotecnici" predisposte da AGI-ReLUIS.

Indicazioni per la progettazione 2

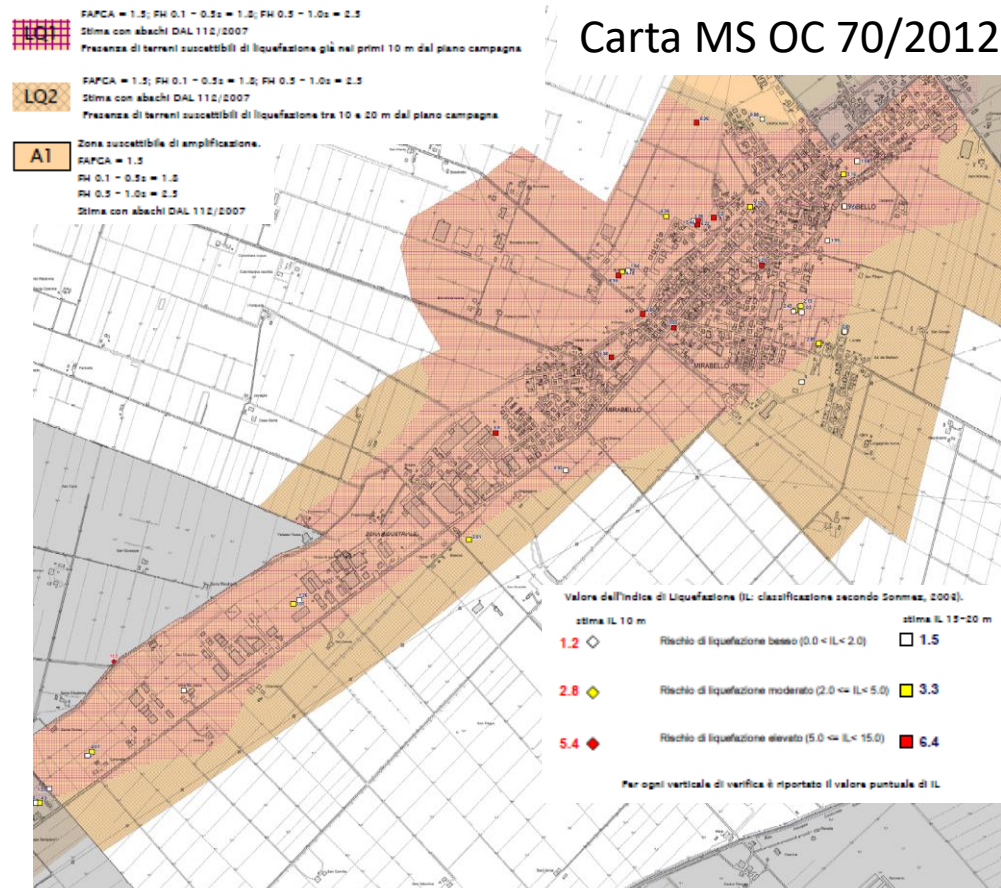
In tutte le zone

- In relazione al periodo fondamentale di vibrazione delle strutture, al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza, si raccomanda che gli interventi edilizi realizzino la minore interferenza tra periodo di vibrazione del terreno e periodo di vibrazione delle strutture. Considerato che le indagini effettuate indicano una diffusa frequenza fondamentale del terreno f_0 compresa tra 0,6 e 1,1 Hz, particolare attenzione dovrà essere posta in caso di progettazione e realizzazione di opere con periodo di vibrazione T indicativamente compreso tra 0,9 e 1,7 s.
- Al fine di salvaguardare l'accessibilità alle funzioni strategiche nel contesto urbano e territoriale in caso di emergenza sismica, con riferimento alla viabilità individuata quale infrastruttura di connessione o di accesso alle funzioni strategiche dagli elaborati dell'analisi della CLE, particolare attenzione deve essere posta affinché gli interventi edilizi sui fabbricati esistenti e gli interventi di nuova costruzione non siano tali da rendere/realizzare fabbricati interferenti sulla viabilità di connessione o di accesso. In particolare, sui fabbricati già individuati come interferenti dagli elaborati della CLE, non possono essere realizzate sopraelevazioni e gli interventi edilizi devono tendere di minima alla riduzione della condizione di interferenza e, in funzione della tipologia di intervento edilizio, alla sua eliminazione.

Adeguamento/aggiornamento della MS OC 70/2012 agli attuali standard RER e DPC

A tutti i Comuni con studi MS + CLE per la ricostruzione (OC 70/2012 e OC 84/2013) è stata offerta la possibilità di aggiornare gli studi ed adeguarli agli standard regionali (DGR 293/2015 e DGR 630/2019) e DPC (standard MS v4 e CLE v3) grazie ai contributi nazionali art. 11 L. 77/2009.

Tutti i 16 Comuni hanno aderito; alcuni studi sono stati già completati e validati, altri sono in corso.



Carta MS3 adeguata a DGR 2193/2015 e standard DPC MSv4.0b

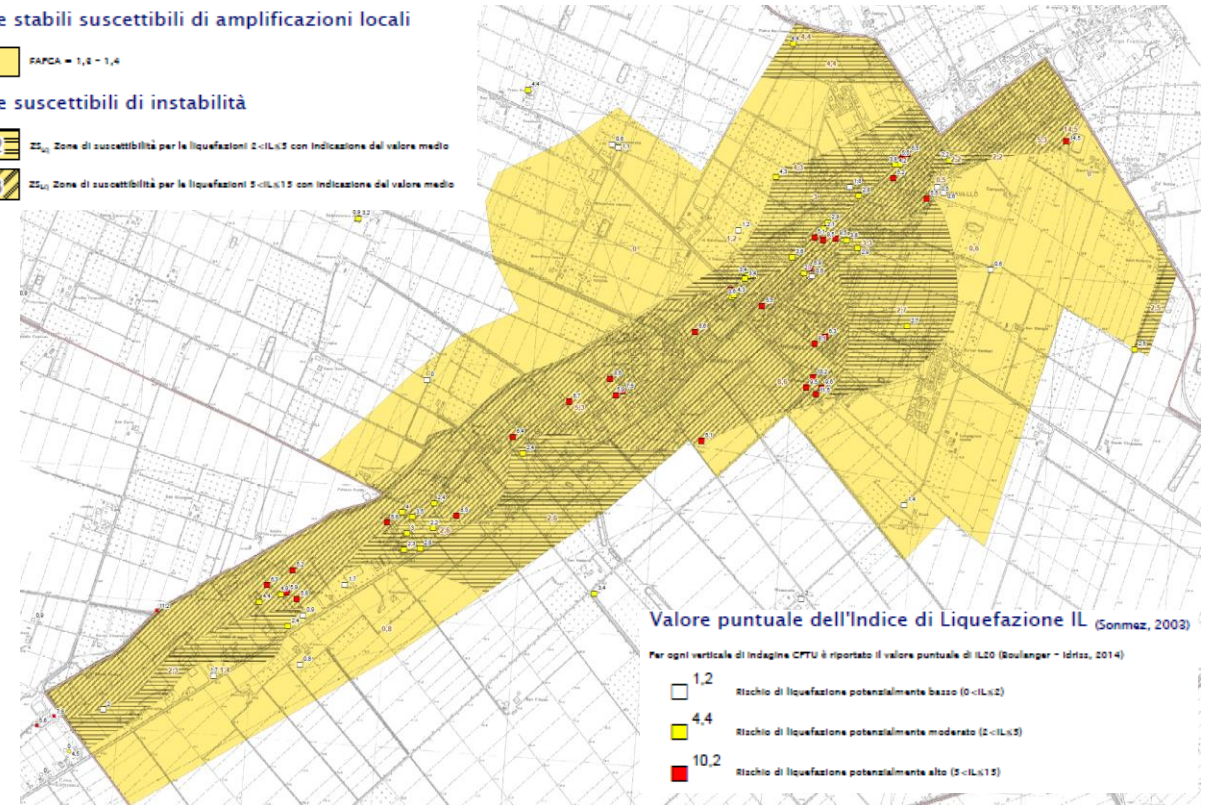
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

FAPCA = 1,2 - 1,4

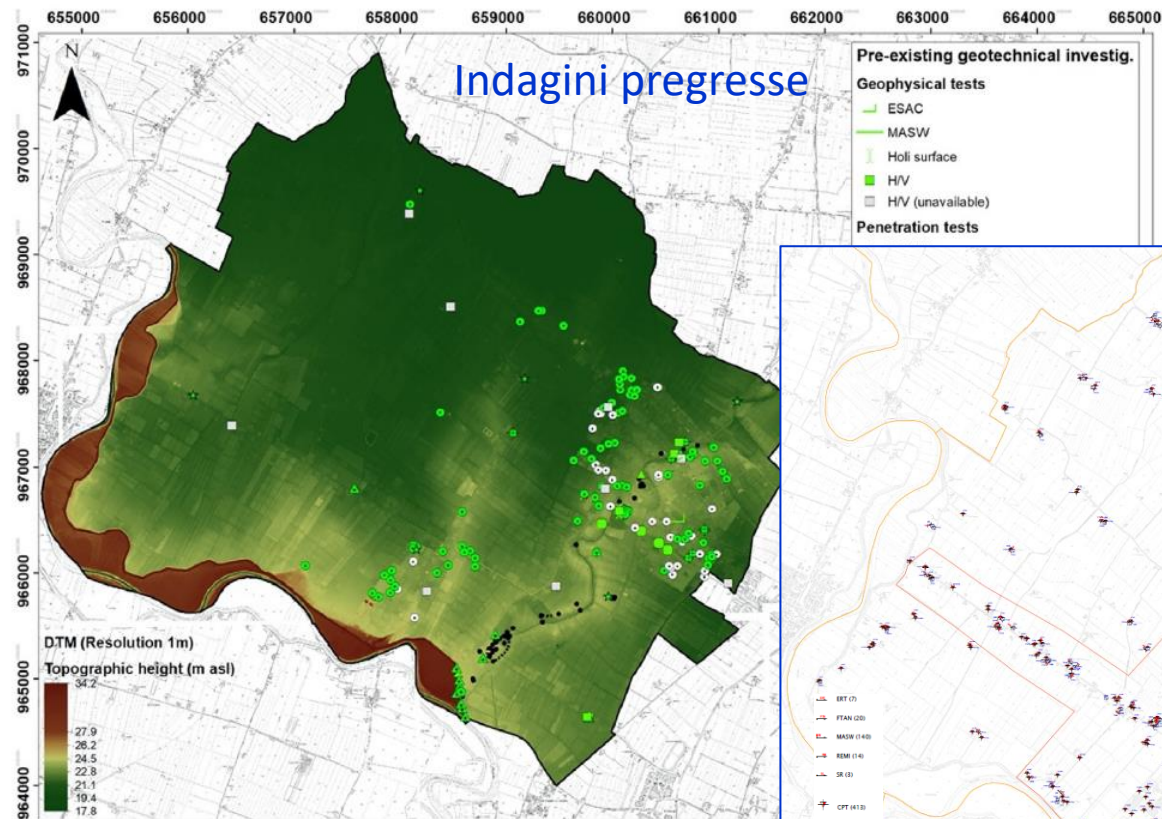
Zone suscettibili di instabilità

2:2 Z_{L2} Zone di suscettibilità per le liquefazioni 2<IL<5 con indicazione del valore medio

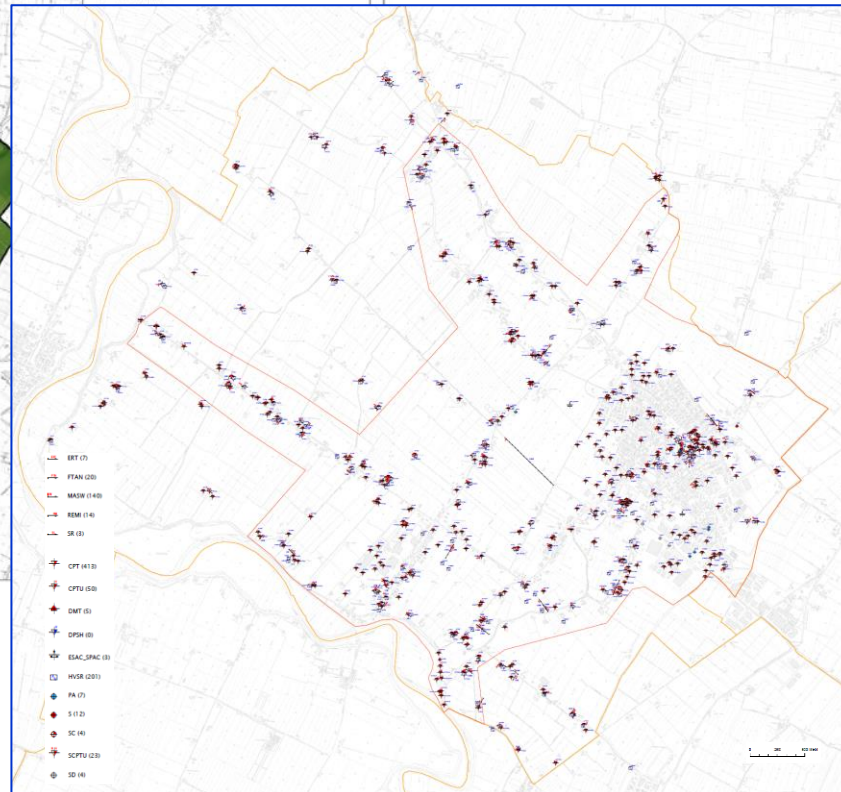
5:5 Z_{L3} Zone di suscettibilità per le liquefazioni 5<IL<15 con indicazione del valore medio



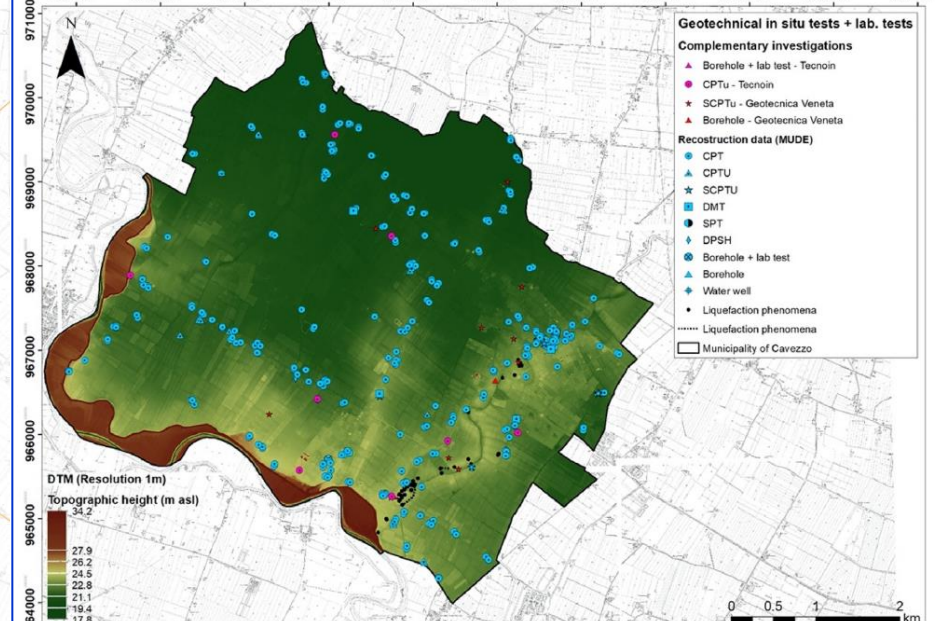
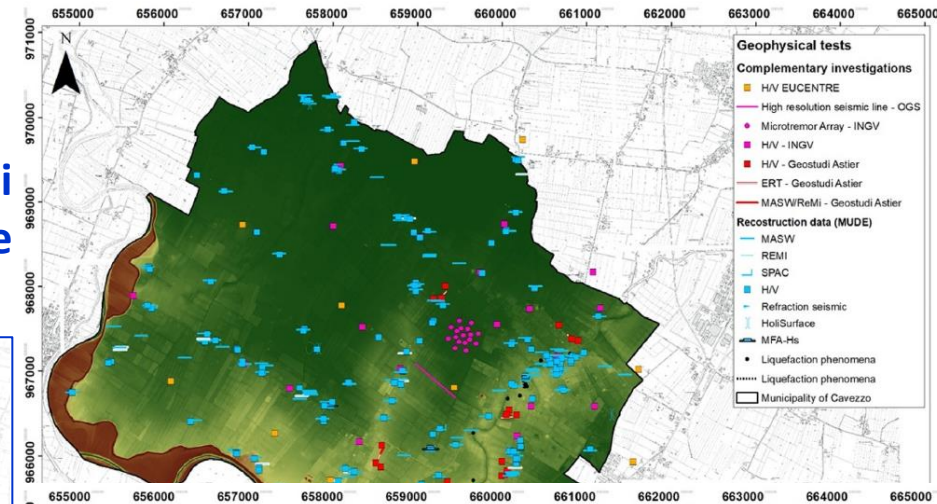
Adeguamento/aggiornamento della MS OC 70/2012 agli attuali standard RER e DPC L'esempio di Cavezzo (accordo tra RER, Comune di Cavezzo, Provincia di Modena, UniPV, EUCENTRE; area test per la MS progetto «Liquefact»)



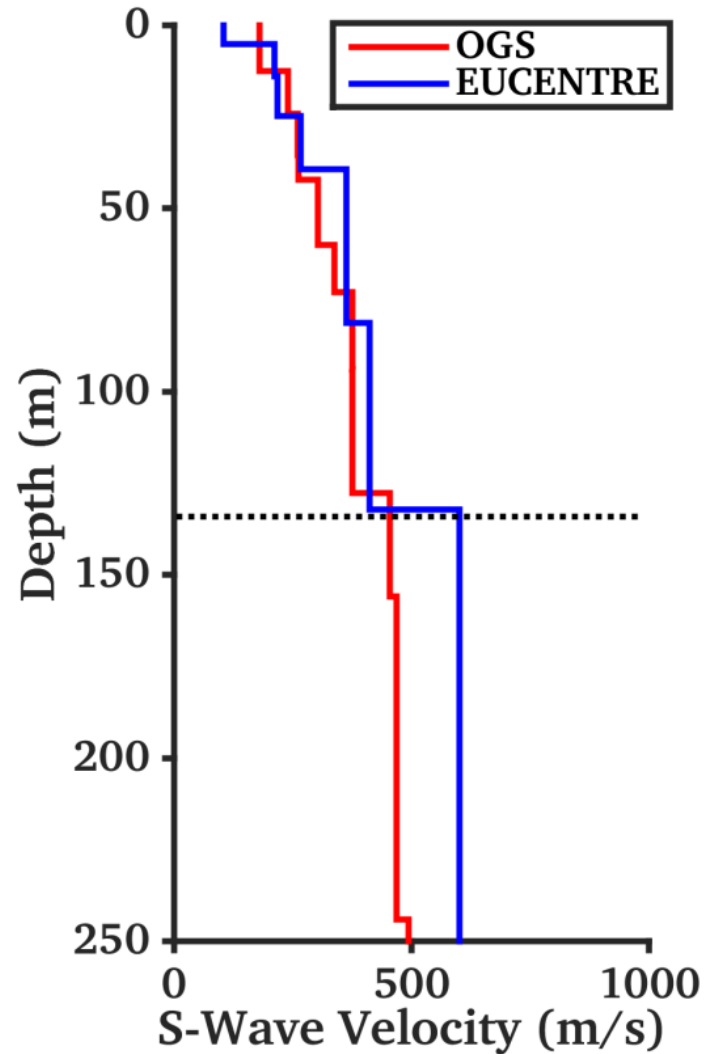
**Nuove indagini
acquisite + realizzate**



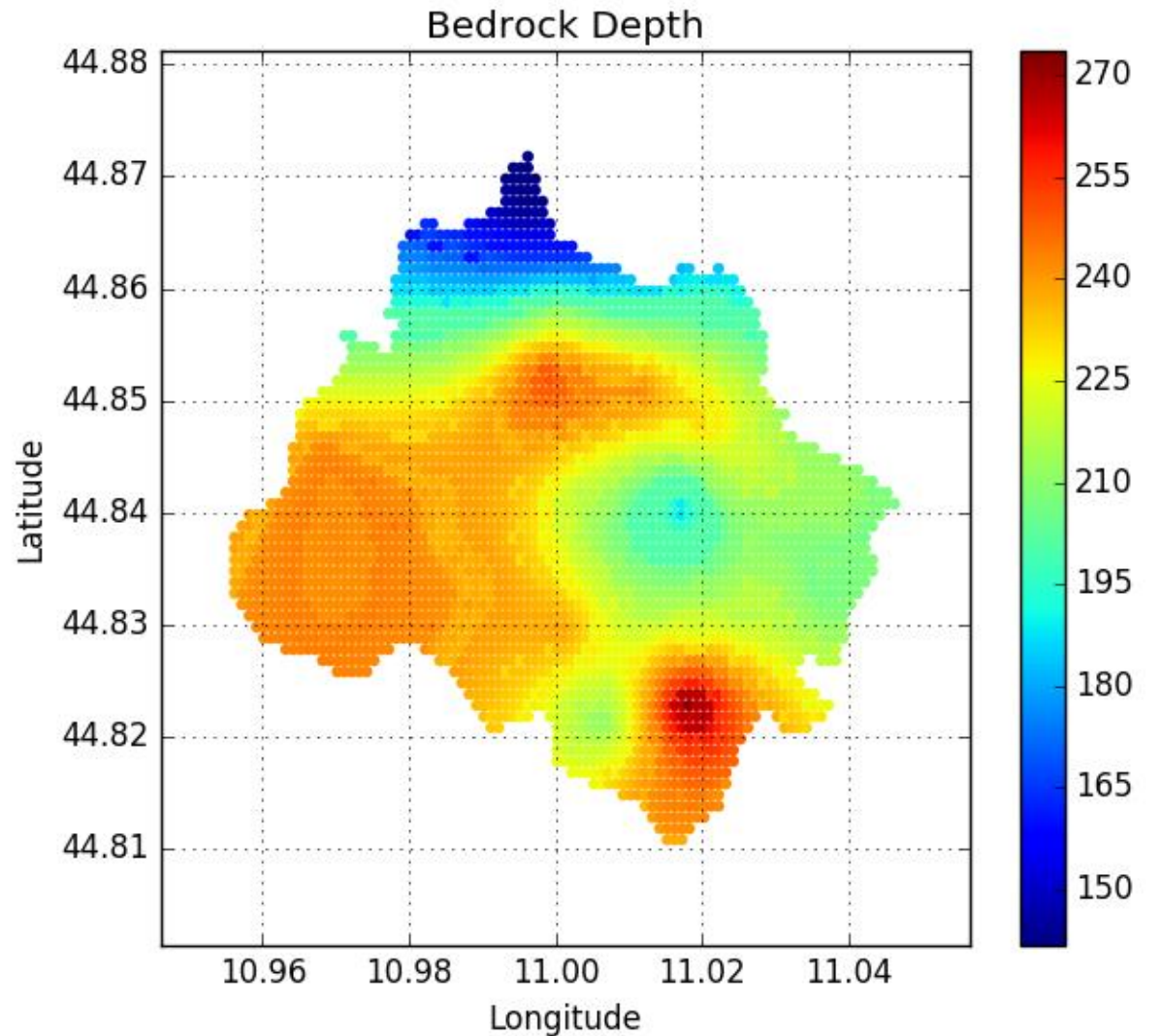
**Sintesi indagini totali
per MS Cavezzo 2018**



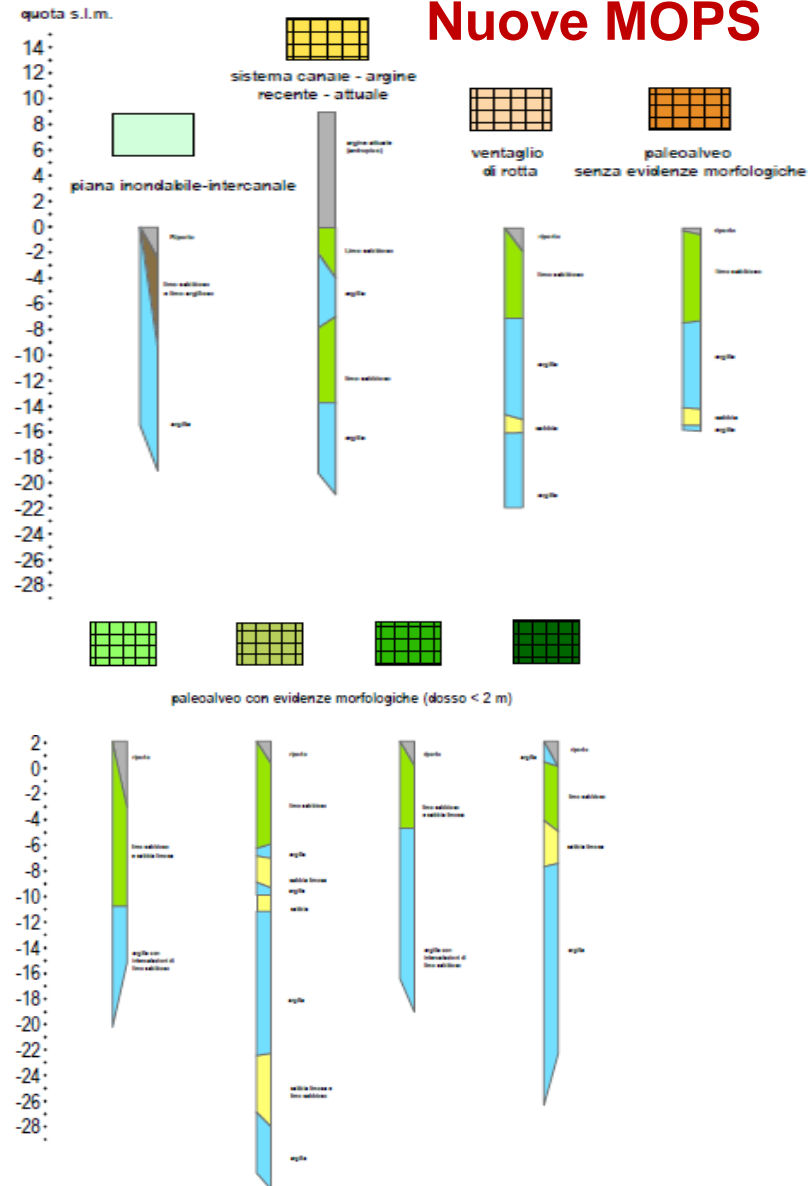
Modelli di Vs ottenuti con nuove indagini da OGS e INGV/EUCENTRE



Mappa del bedrock sismico, da nuove indagini OGS, INGV, EUCENTRE

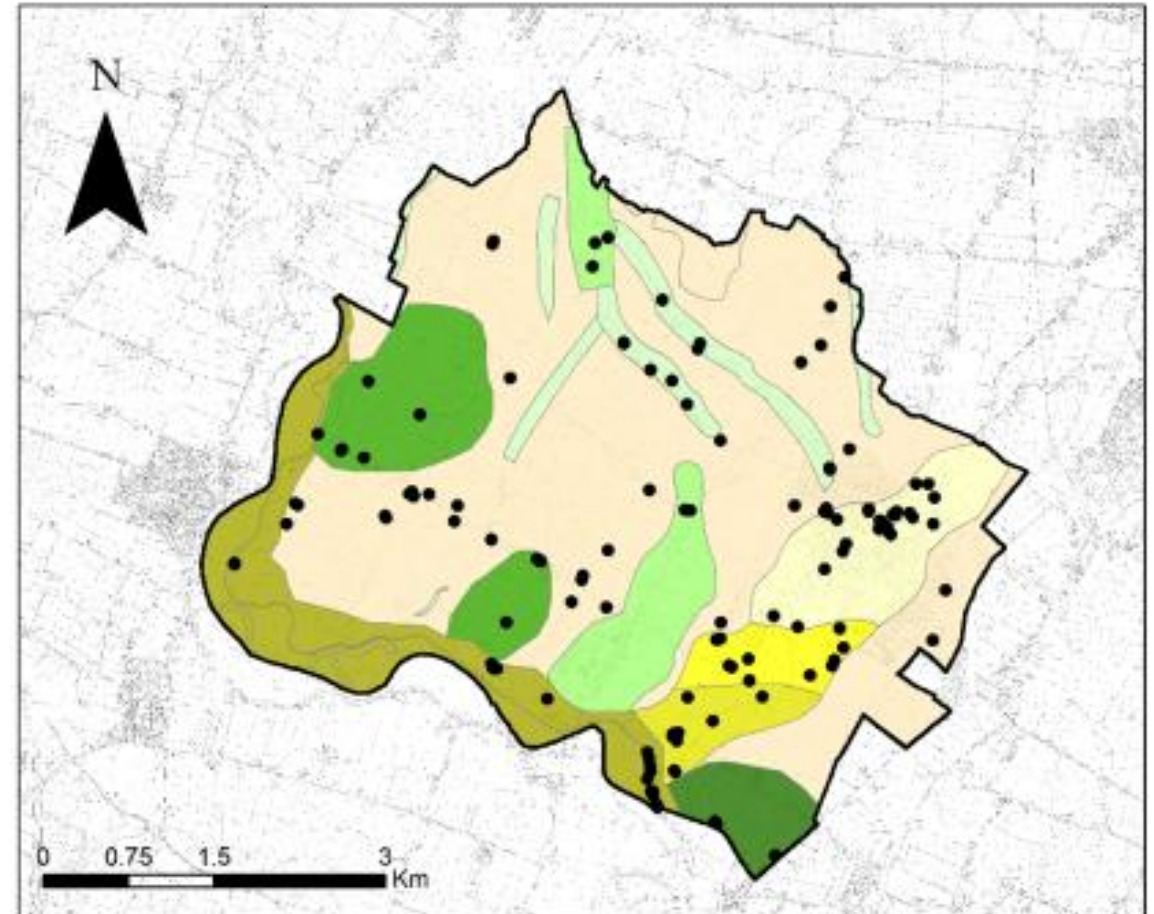


Nuove MOPS

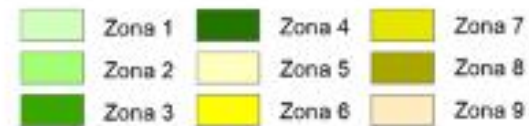


Zone 3 e 4 (ventagli di rotta) accorpate

Nuova cartografia delle MOPS

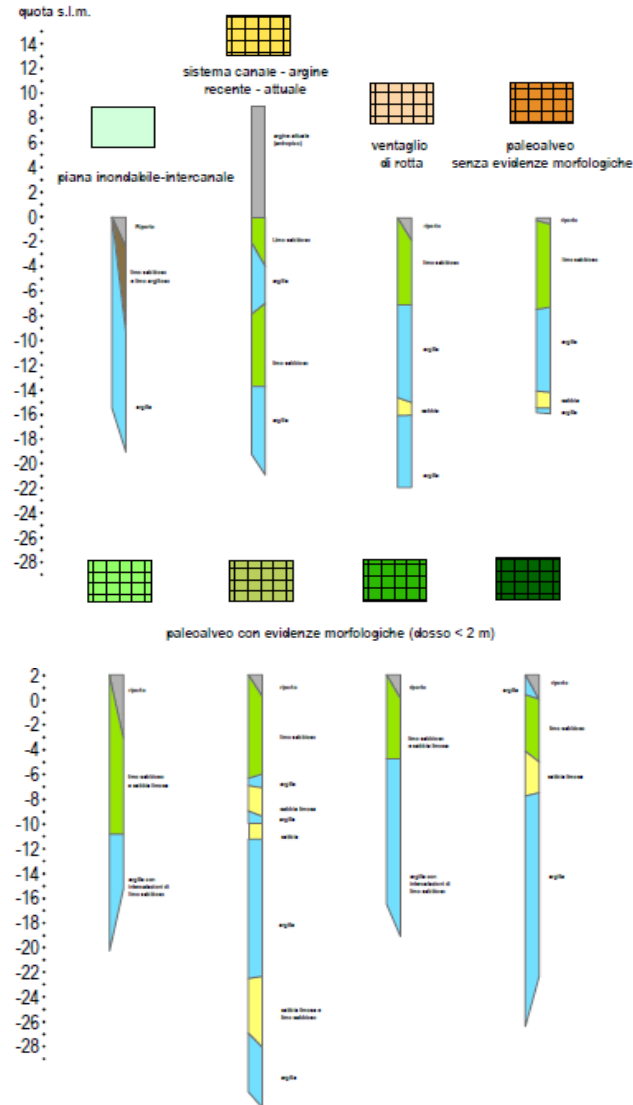
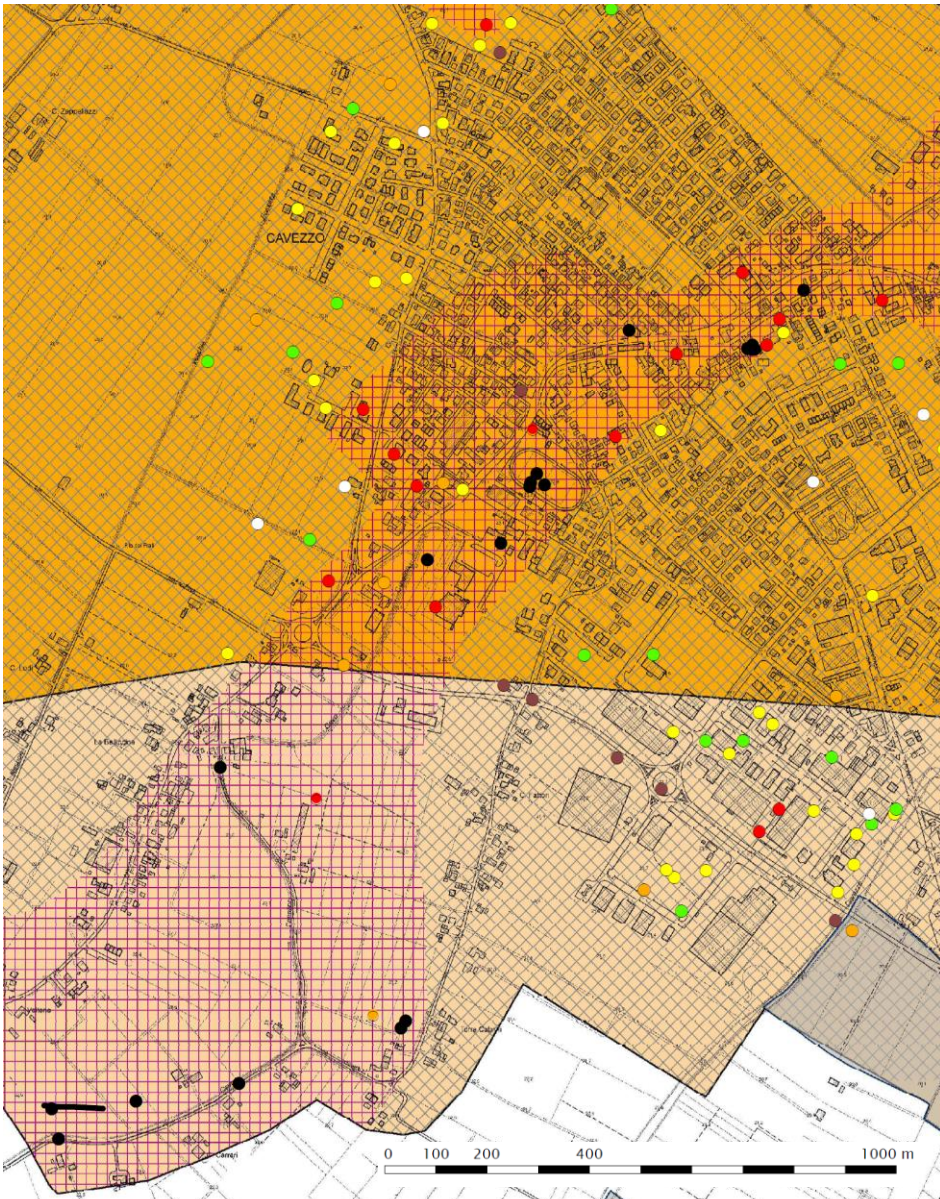


● Indagini geognostiche (sondaggi, CPTu e CPT)

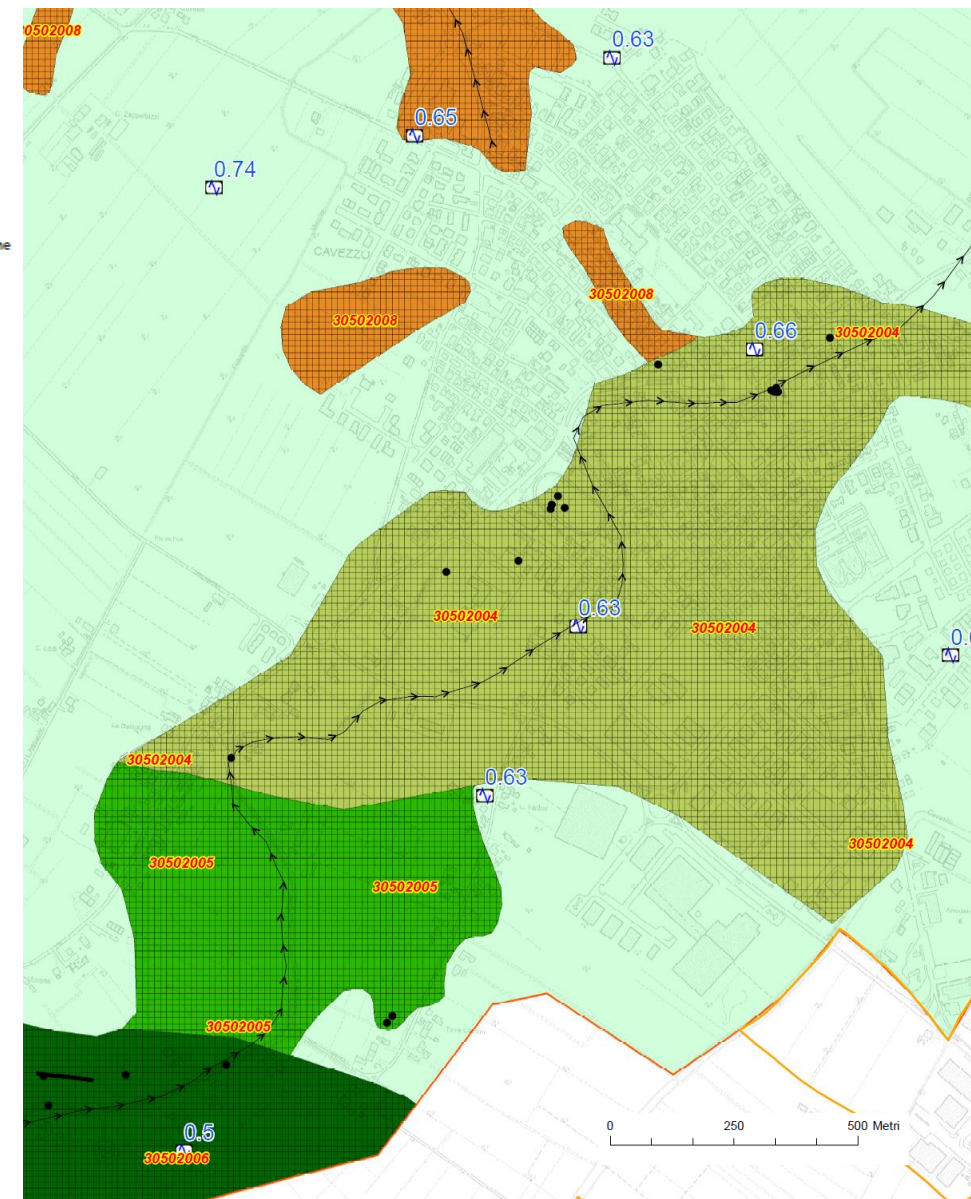


Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Carta MOPS OC 70/2013



Carta MOPS secondo standard MS v4

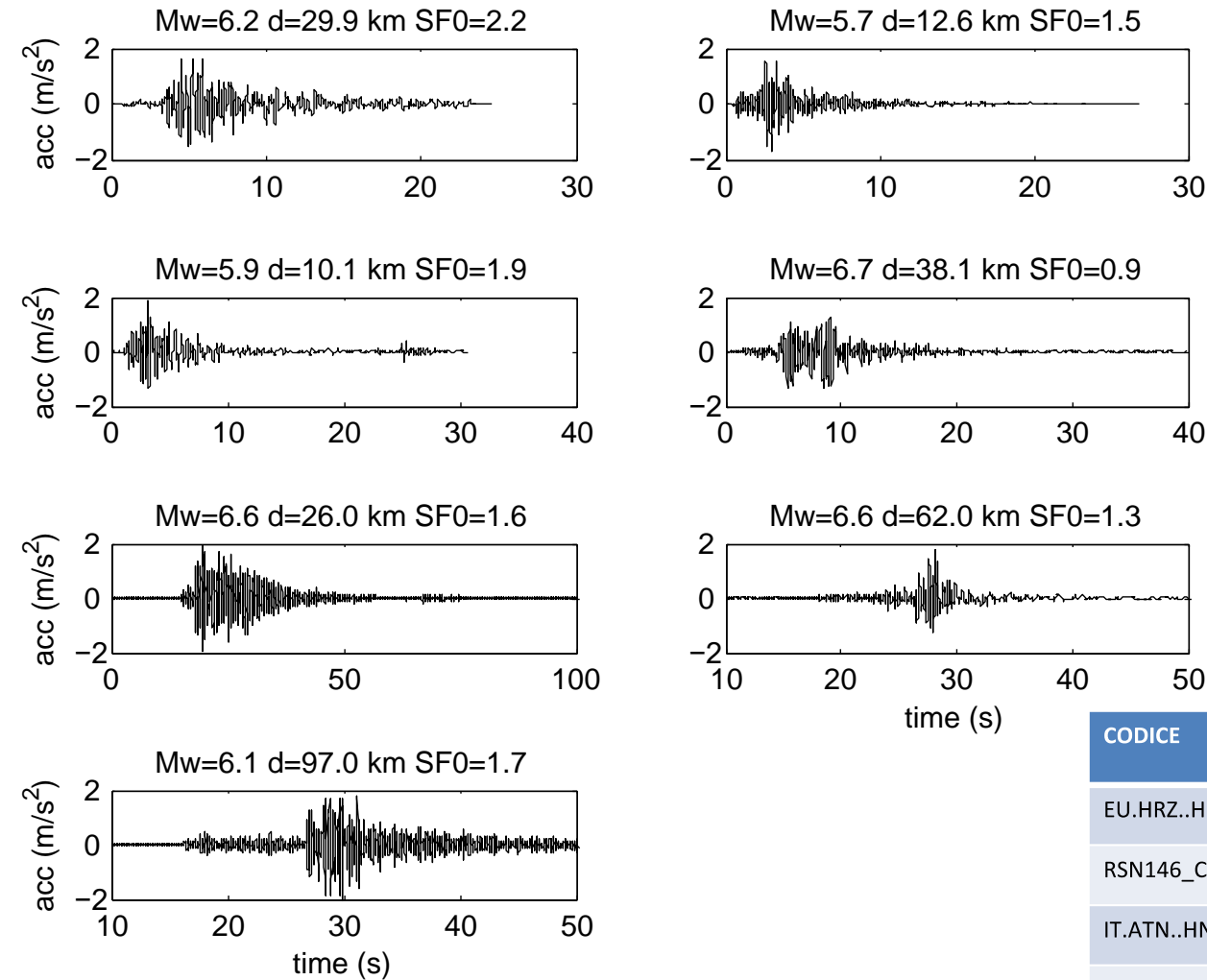


Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Stima dell'amplificazione

Input sismico

7 accelerogrammi indipendenti registrati su roccia, spettro-compatibili con lo spettro di risposta elastico definito dalle NTC08 per Cavezzo ($T_R=475$ anni). Selezione effettuata utilizzando il programma ASCONA (Corigliano et al., 2012).

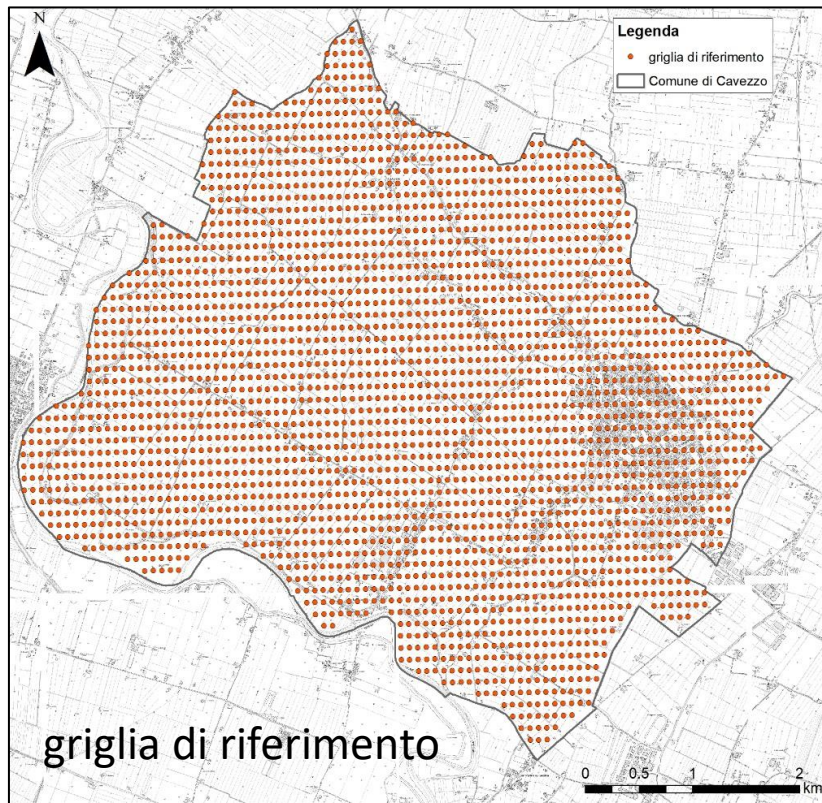


CODICE	Banca Dati	Mw	Ep.d (km)	Scaled PGA(g)	SF(PEER)
EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC	ESM	6.20	29.90	0.169	2.21
RSN146_COYOTELK_G01320.AT2	NGA	5.74	12.57	0.174	1.49
IT.ATN..HNN.D.19840507.174943.C.ACC.ASC	ESM	5.90	10.10	0.193	1.92
RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2	NGA	6.69	38.07	0.141	0.93
OKYH070010061330.EW2	KiKnet	6.60	26.00	0.200	1.57
SAGH050503201053.EW2	KiKnet	6.60	62.00	0.183	1.31
MYGH041103280724.EW2	KiKnet	6.10	97.00	0.206	1.69

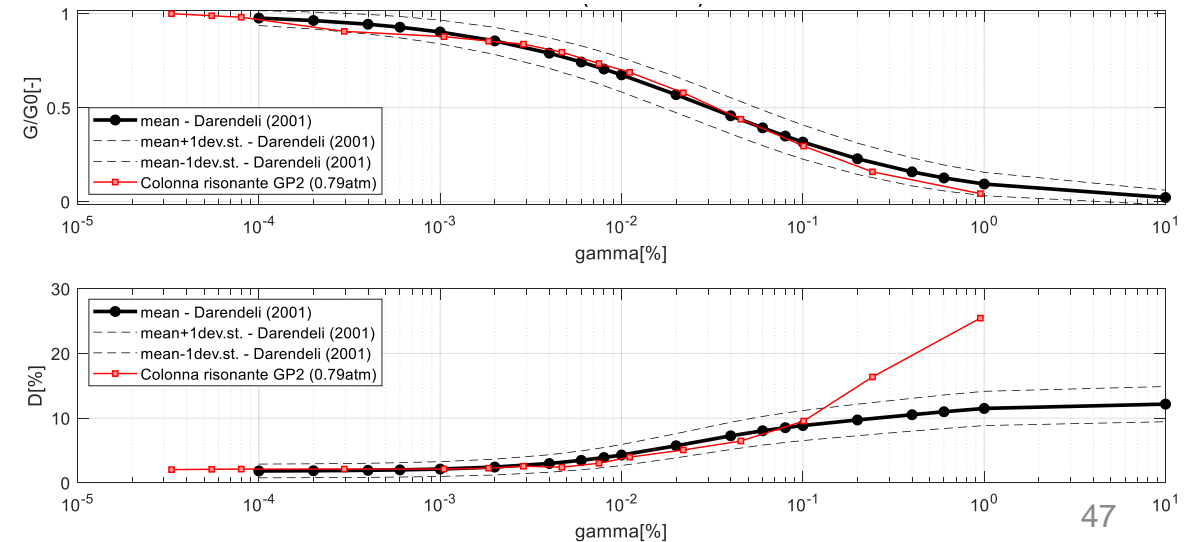
Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

modello geofisico p3D					modello geologico-geotecnico				
n°	H(m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	r (kg/m ³)	H	H(%)	strato	pi	f(°)
1	6,5	368,2	138,9	2100	2	0,31	riporto	-	35
					4,5	0,69	limo sabbioso	10	-
2	11,3	551,0	226,2	2100	3,8	0,34	limo sabbioso	10	-
					7,5	0,66	argilla	55	-
3	23,5	570,9	232,5	2100	1,5	0,06	sabbia	-	33
					22	0,94	argilla	30	-
4	23,5	874,4	354,1	2100	23,5	1	argilla	30	-
5	35,7	879,0	362,4	2100	35,7	1	argilla	30	-
6	123,3	1132,4	458,9	2100	123,3	1	argilla	30	-
7	bedrock	2010	800	2100	-	-	-	-	-

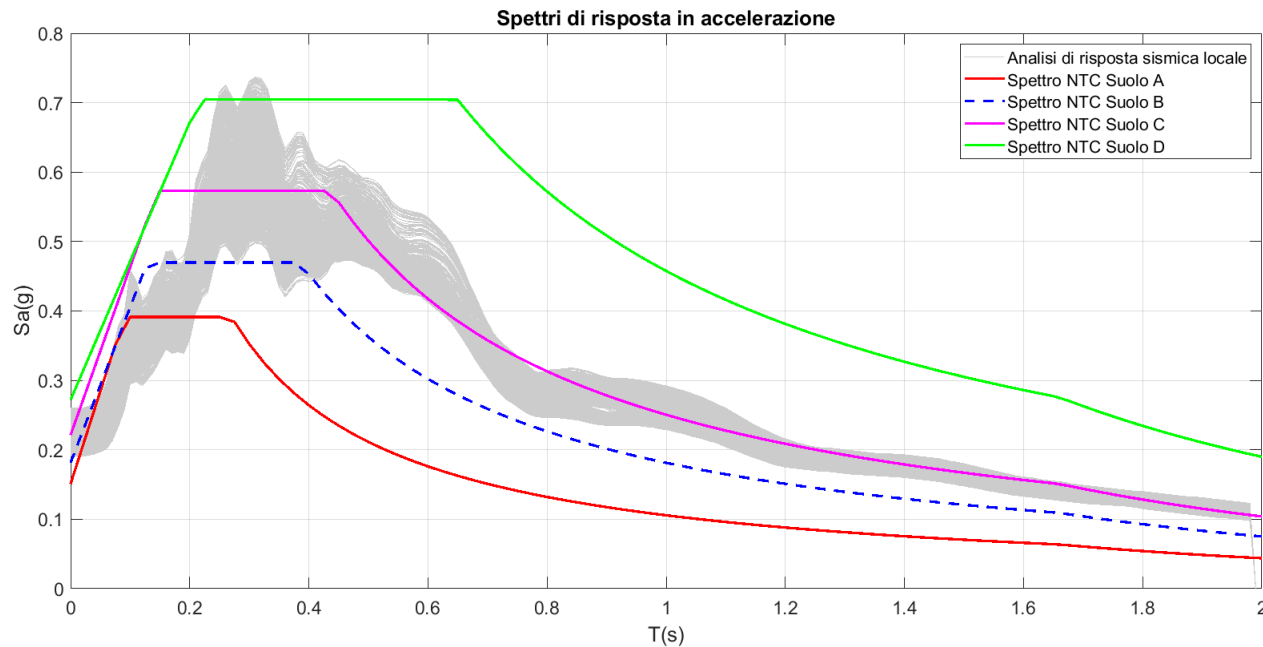
Esempio di modello (geofisico e getecnico), definito per ogni punto della griglia di riferimento



Curve di degrado del modulo di taglio e dello smorzamento da Darendeli (2001) calibrate con le curve da prove di laboratorio su campioni prelevati a Cavezzo.



Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica



Spettri di risposta in accelerazione ($T_R=475$ anni, $\xi=5\%$)
ottenuti per i punti della griglia e confronto con gli
spettri di risposta elastici (approccio semplificato) NTC08

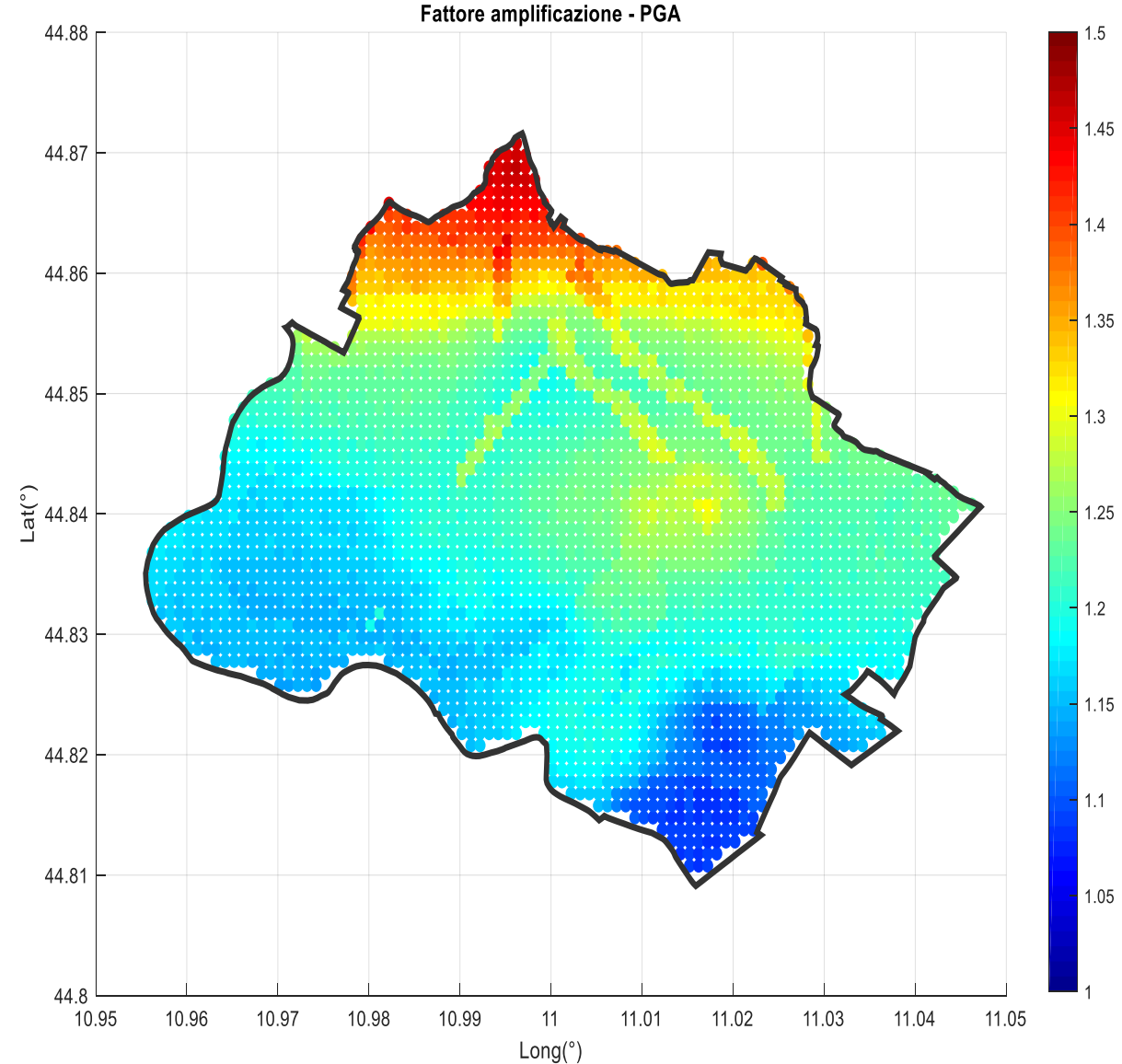
Fattori di amplificazione calcolati:

F_{PGA} , $F_{H_{0105}}$, $F_{H_{0510}}$, $F_{H_{0515}}$, $F_{A_{0105}}$

+ scuotimento H_{SM}

$$H_{SM} = (ASl_{UHS} \times FA_{0105}) / 0,4s = ASl / 0,4s$$

scuotimento atteso al sito in accelerazione (cm/s^2), per $0,1s \leq T \leq 0,5s$



Esempio di mappa di amplificazione 48

Stima del rischio di liquefazione

Mappa delle 444 prove (CPT, CPTu, SCPTu, SCPT) utilizzate

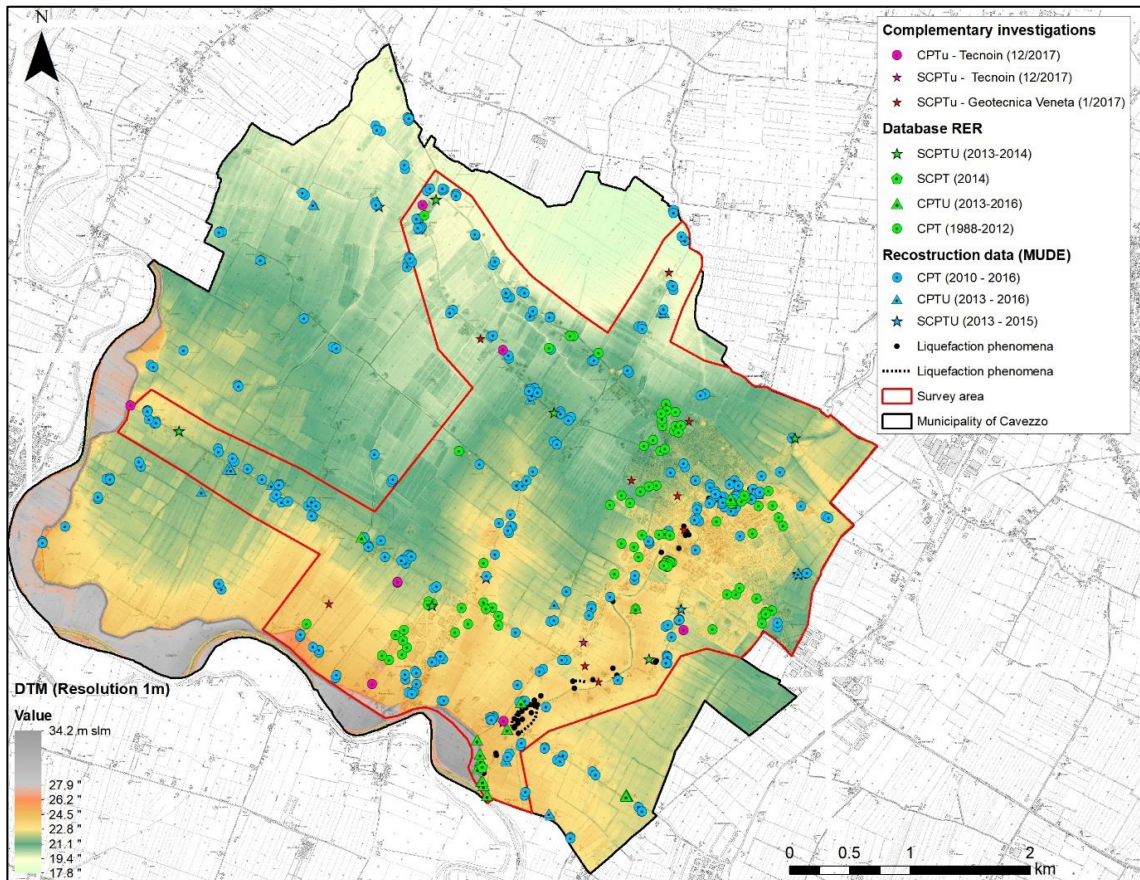
Metodologia applicata:

3 approcci:

- metodologia A, basata su Robertson (2009);
- metodologia B, basata su Boulanger e Idriss (2015);
- metodologia C, basata sulle indicazioni di Seed (2010), che fa riferimento al metodo di Moss et al. (2006).

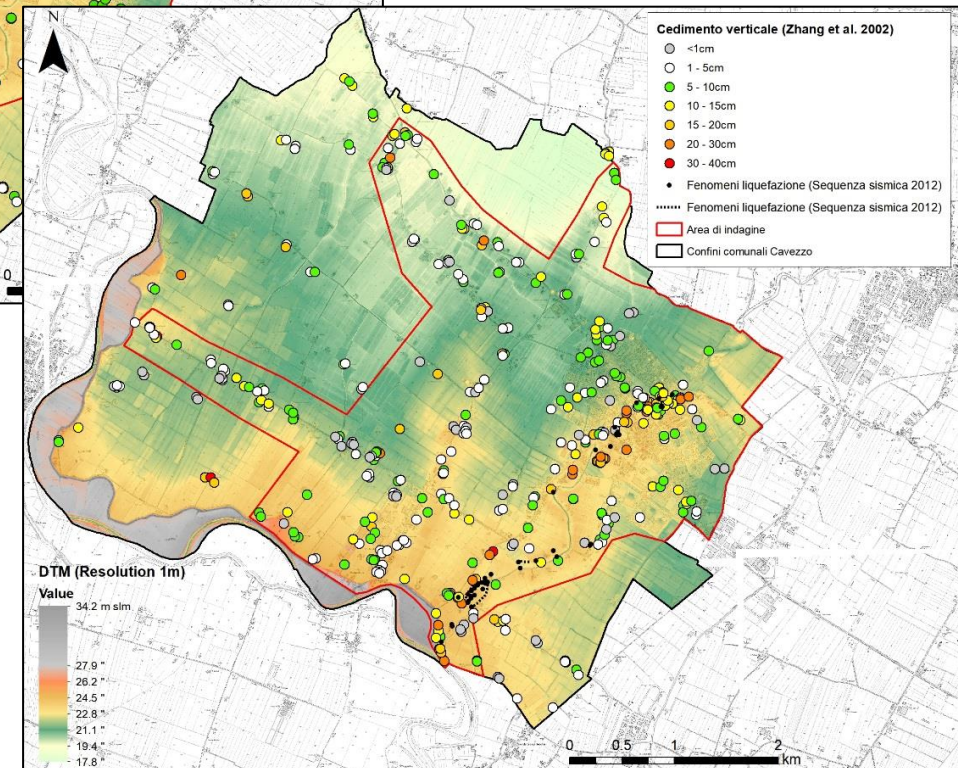
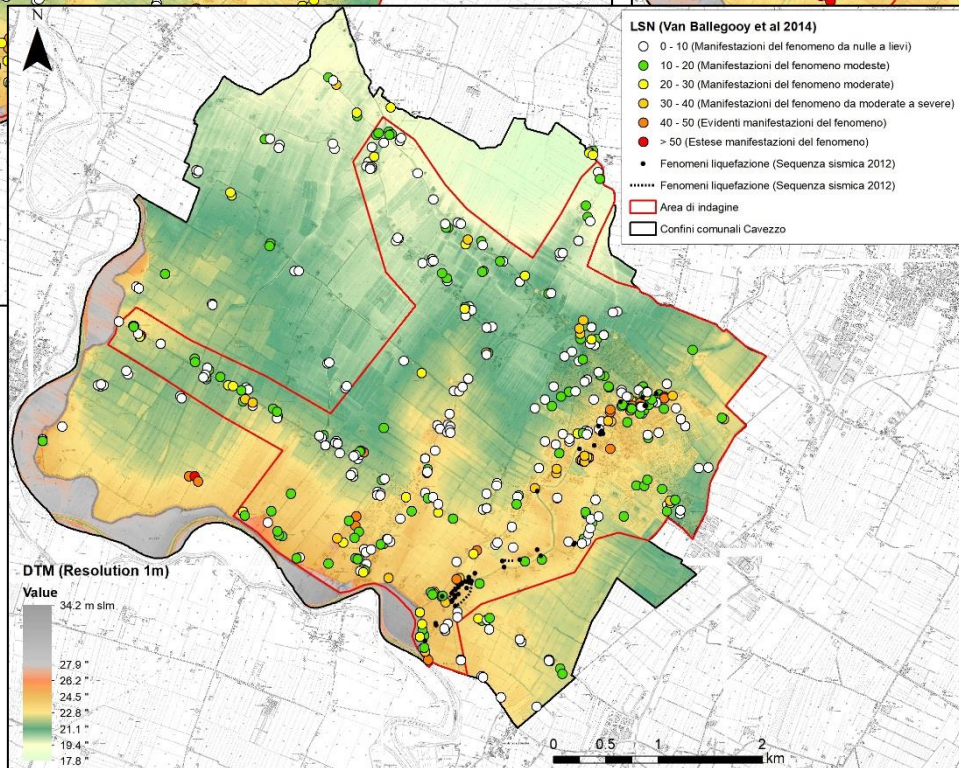
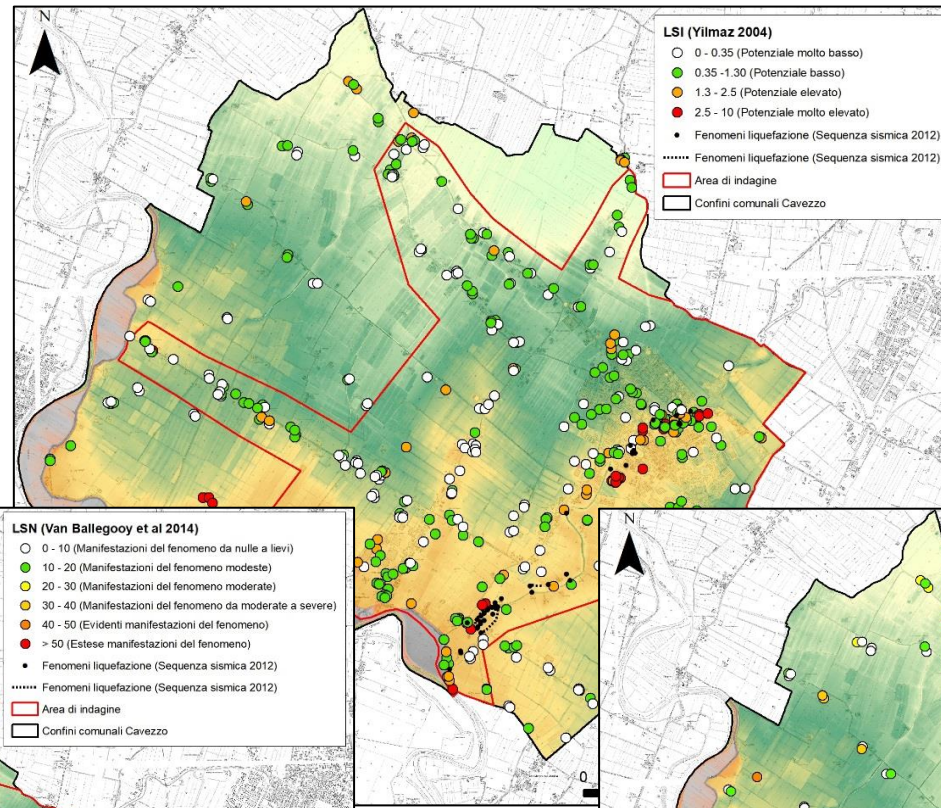
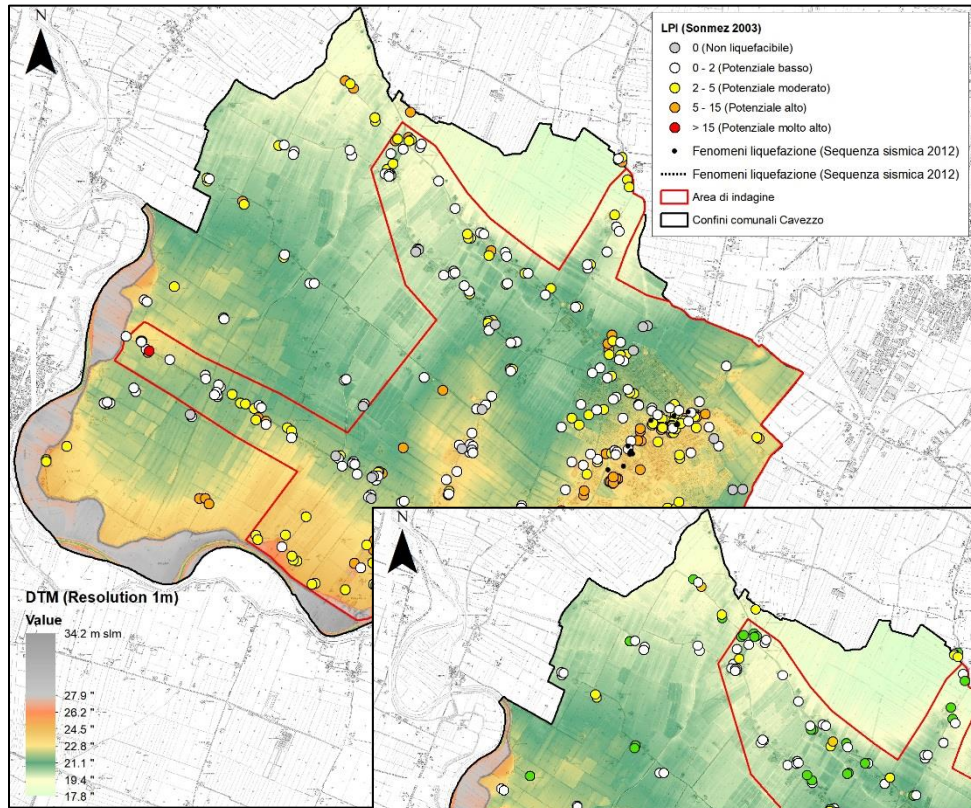
I valori degli indici di liquefazione (i.e., **LPI, LSI, LSN**) sono stati stimati mediante un approccio ad albero logico, attribuendo ai risultati ottenuti con le tre metodologie i seguenti pesi :

- 25% alla metodologia A (Robertson, 2009);
- 50% alla metodologia B (Boulanger & Idriss, 2015);
- 25% alla metodologia C (Moss et al., 2006).



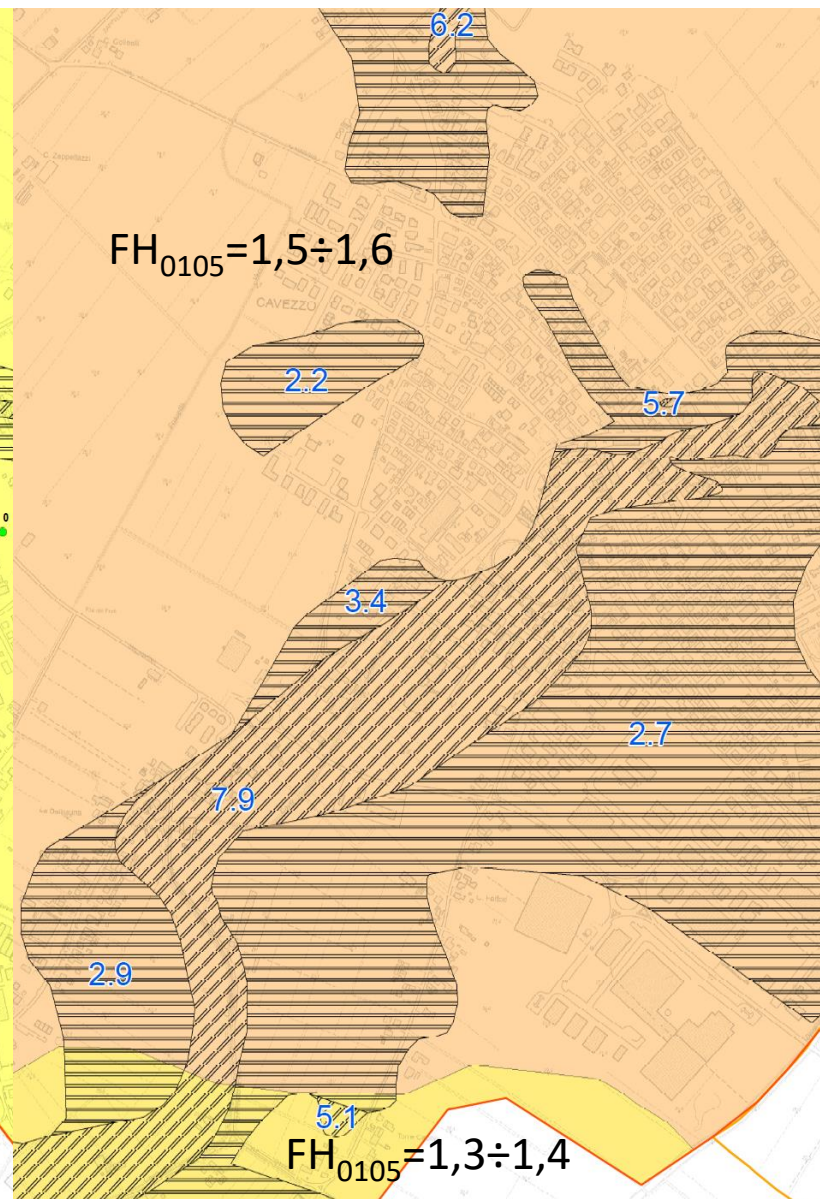
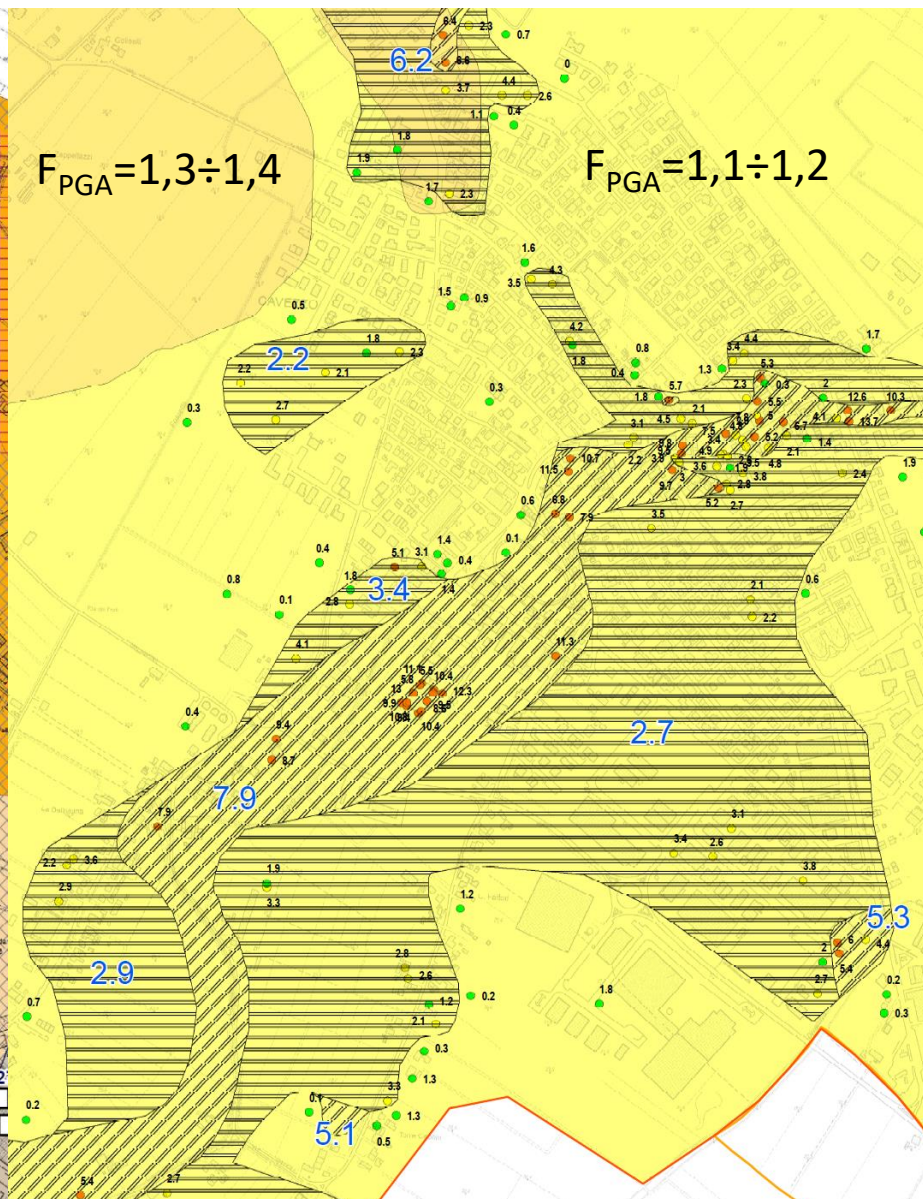
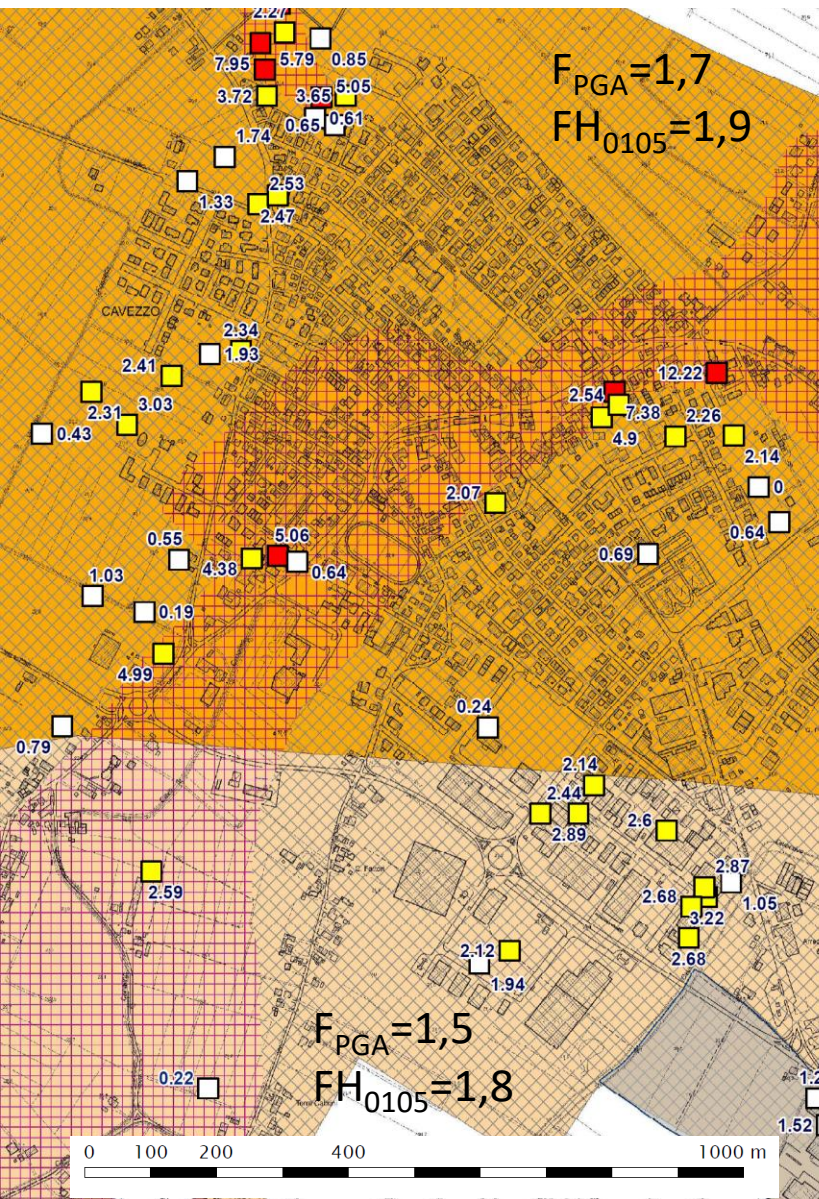
Parametri: livello falda: da circa 0,3 a circa 3m; M=6.05; PGA da RSL

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

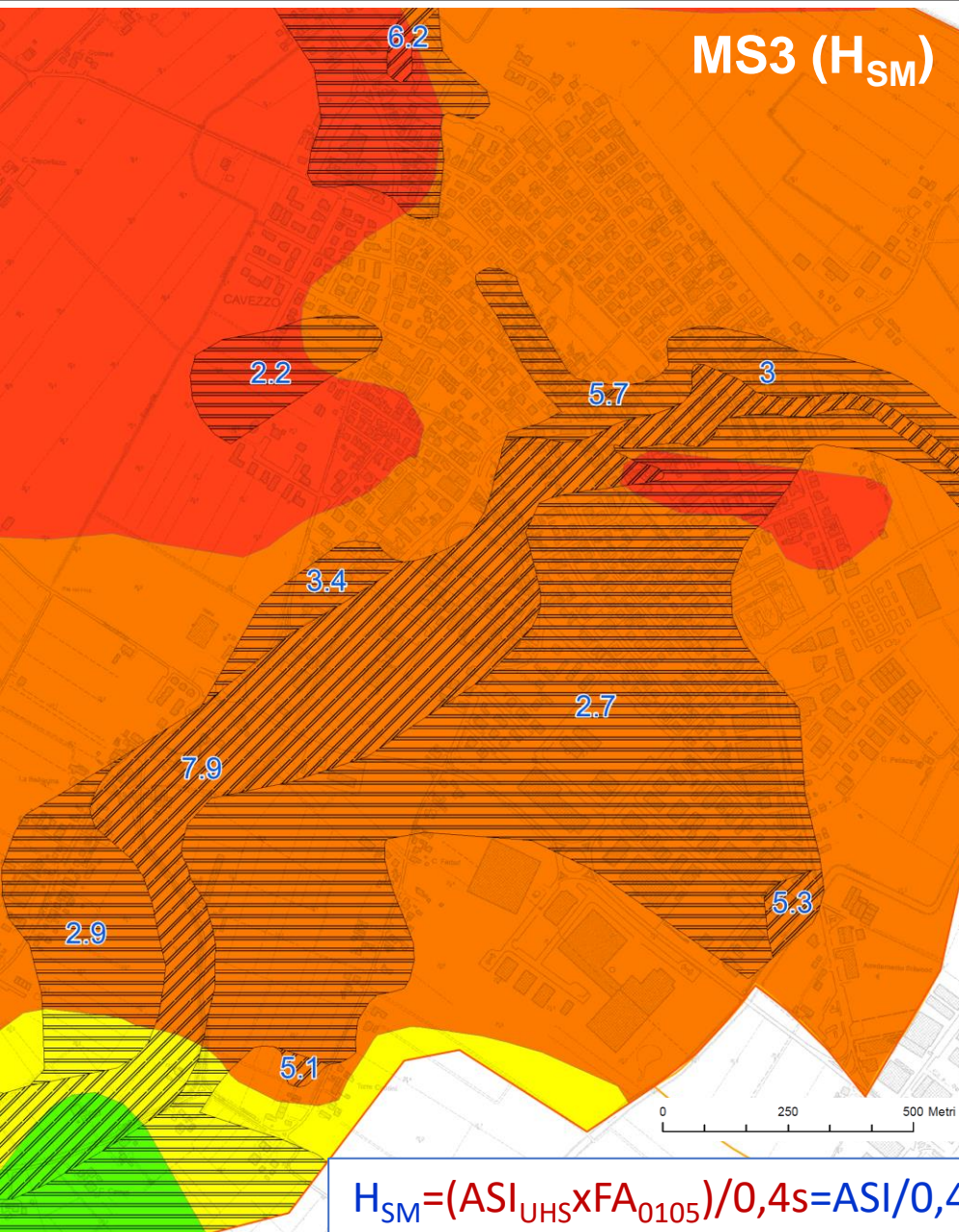


Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica















MS OC 70/2013 vs MS 2018 (standard MS v4.1)

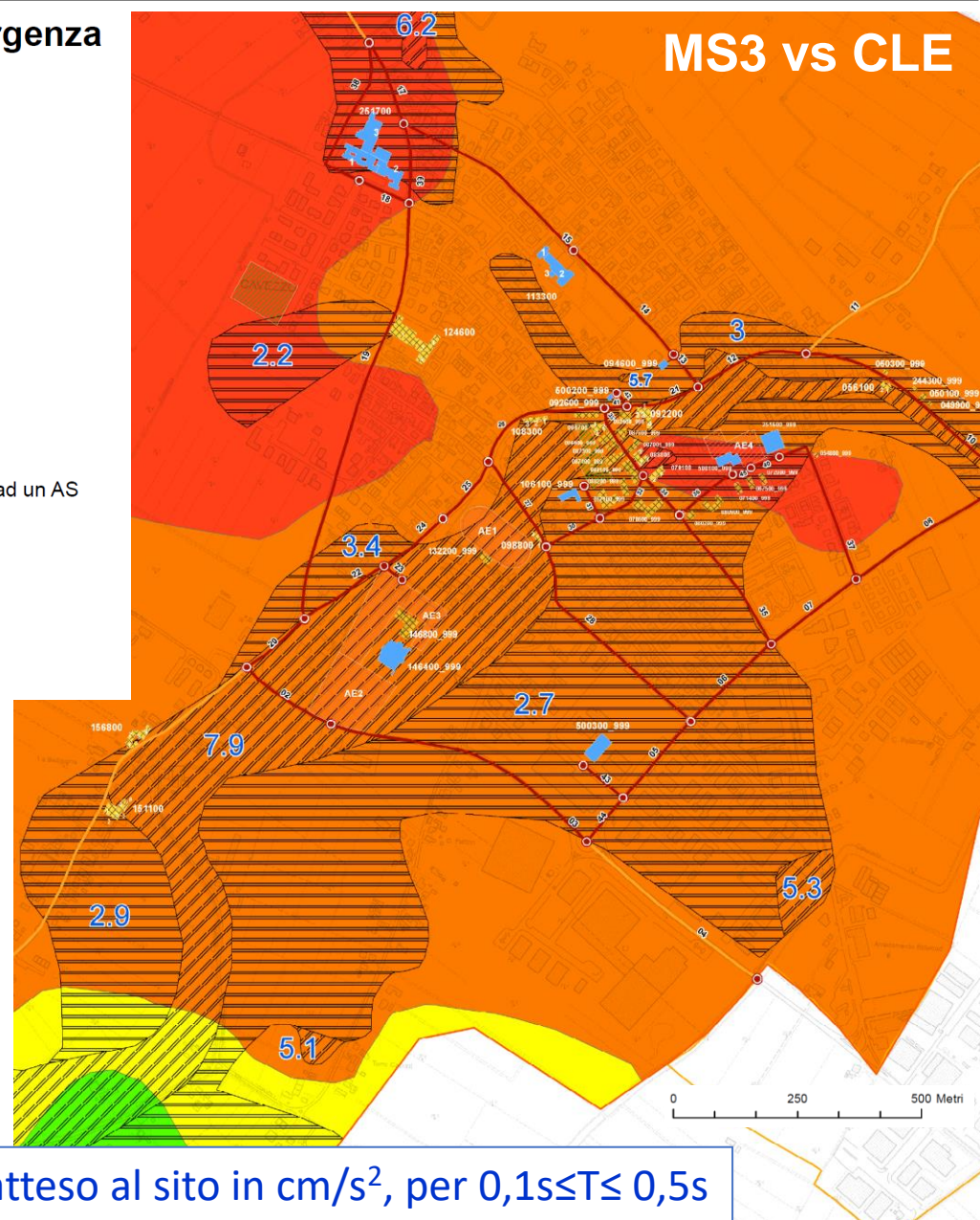


Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica



Sistema di gestione dell'emergenza

-  Infrastruttura di accessibilità
-  Infrastruttura di connessione
-  Edificio strategico
-  Area di emergenza (ATTESA)
-  Area di emergenza (RICOVERO)
-  Unità strutturale interferente appartenente ad un AS
-  Unità strutturale interferente isolata
-  Aggregato strutturale
-  $400 < H_{SM} \leq 425 \text{ cm/s}^2$
-  $425 < H_{SM} \leq 450 \text{ cm/s}^2$
-  $450 < H_{SM} \leq 475 \text{ cm/s}^2$
-  $475 < H_{SM} \leq 500 \text{ cm/s}^2$
-  $2 < IL \leq 5$ rischio moderato
-  $5 < IL \leq 15$ rischio alto



$$H_{SM} = (ASI_{UHS} \times FA_{0.105}) / 0,4s = ASI / 0,4s; \text{ esprime lo scuotimento atteso al sito in cm/s}^2, \text{ per } 0,1s \leq T \leq 0,5s$$

Oltre la MS

Per la prima volta in Italia, in fase di ricostruzione post-sisma, sono stati resi disponibili contributi per interventi di consolidamento del terreno mitigazione del rischio di liquefazione (OC n. 51, n. 57 e n. 86 del 2012). Tali ordinanze prevedono la possibilità di un aumento, fino al 15%, del costo convenzionale di riparazione/ricostruzione di edifici gravemente danneggiati (esito E delle verifiche di agibilità), in siti in cui si sono verificati effetti di liquefazione. Per edifici adibiti ad attività produttive, la possibilità di incremento è stata elevata fino al 50% (OC n. 16/2015 e n. 36/2015).

Per ottenere tali contributi occorre:

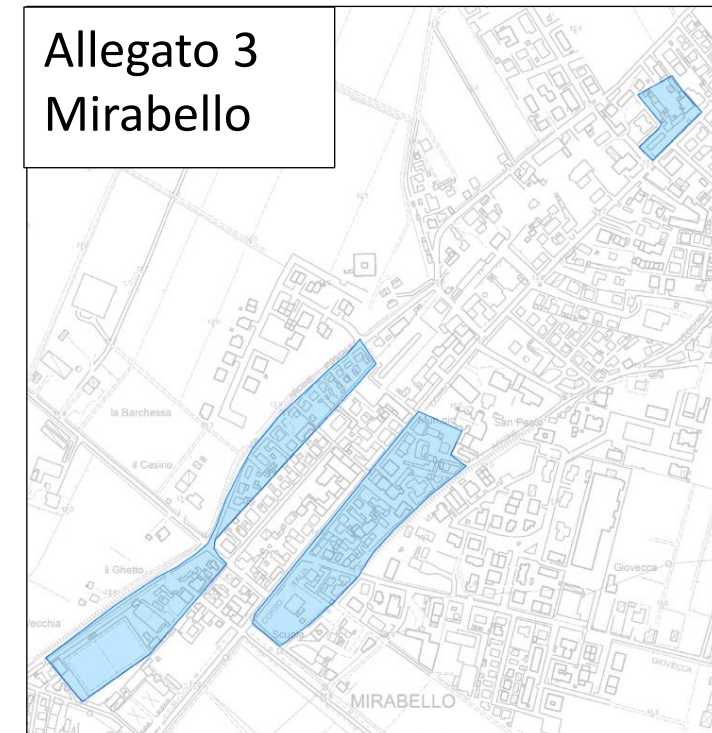
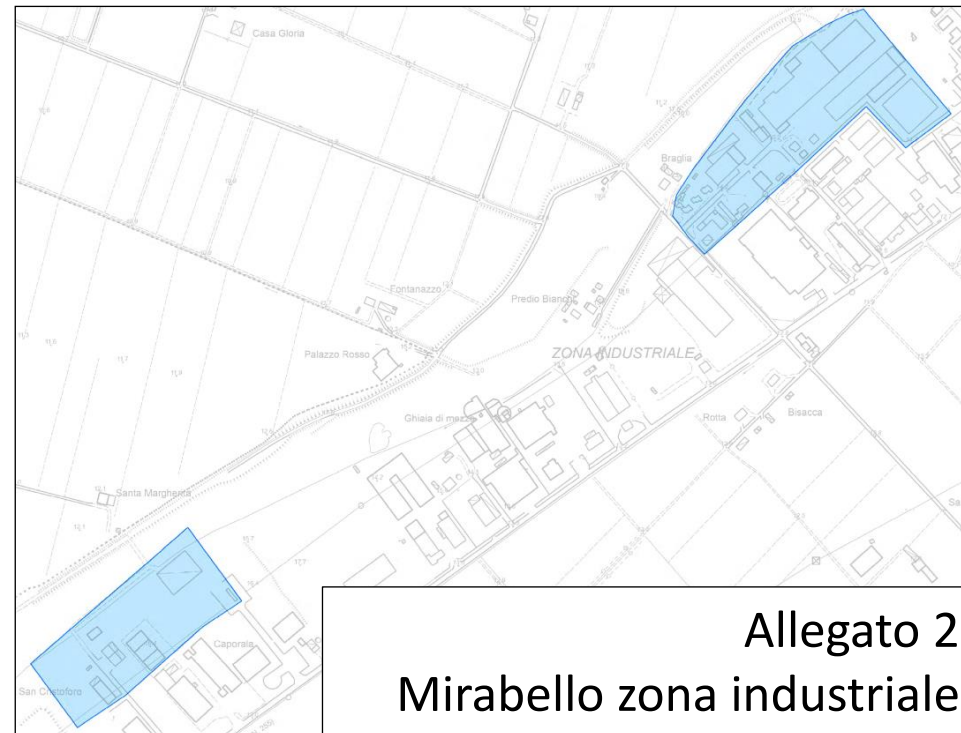
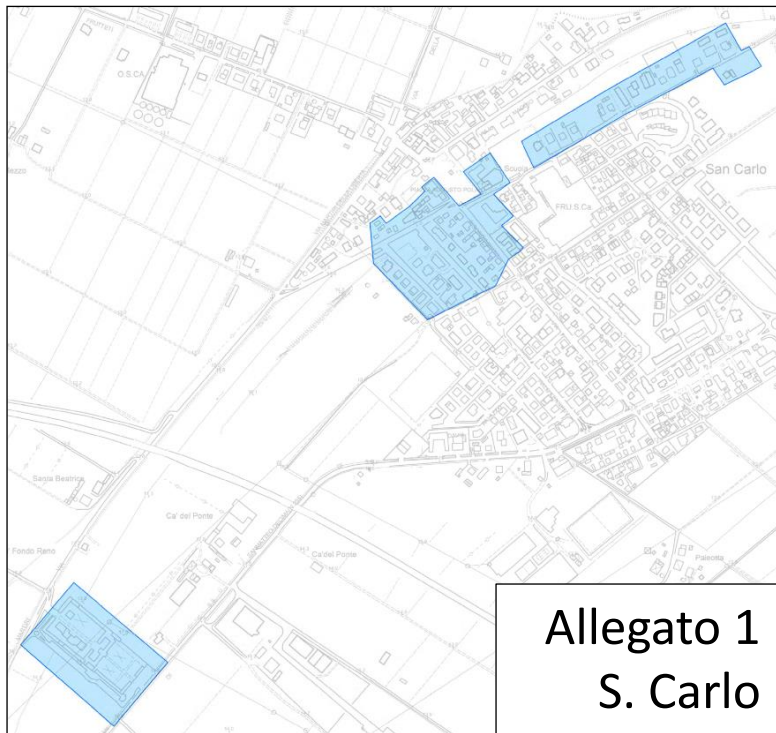
- documentare, nel sito d'interesse, la presenza di effetti di liquefazione a seguito dei terremoti di maggio 2012,
- verificare la potenzialità di liquefazione in caso di futuri terremoti,
- presentare un progetto efficace di mitigazione di tale rischio.

Per i siti in cui sono stati osservati effetti di liquefazione e le aree a maggiore rischio di liquefazione:
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012->

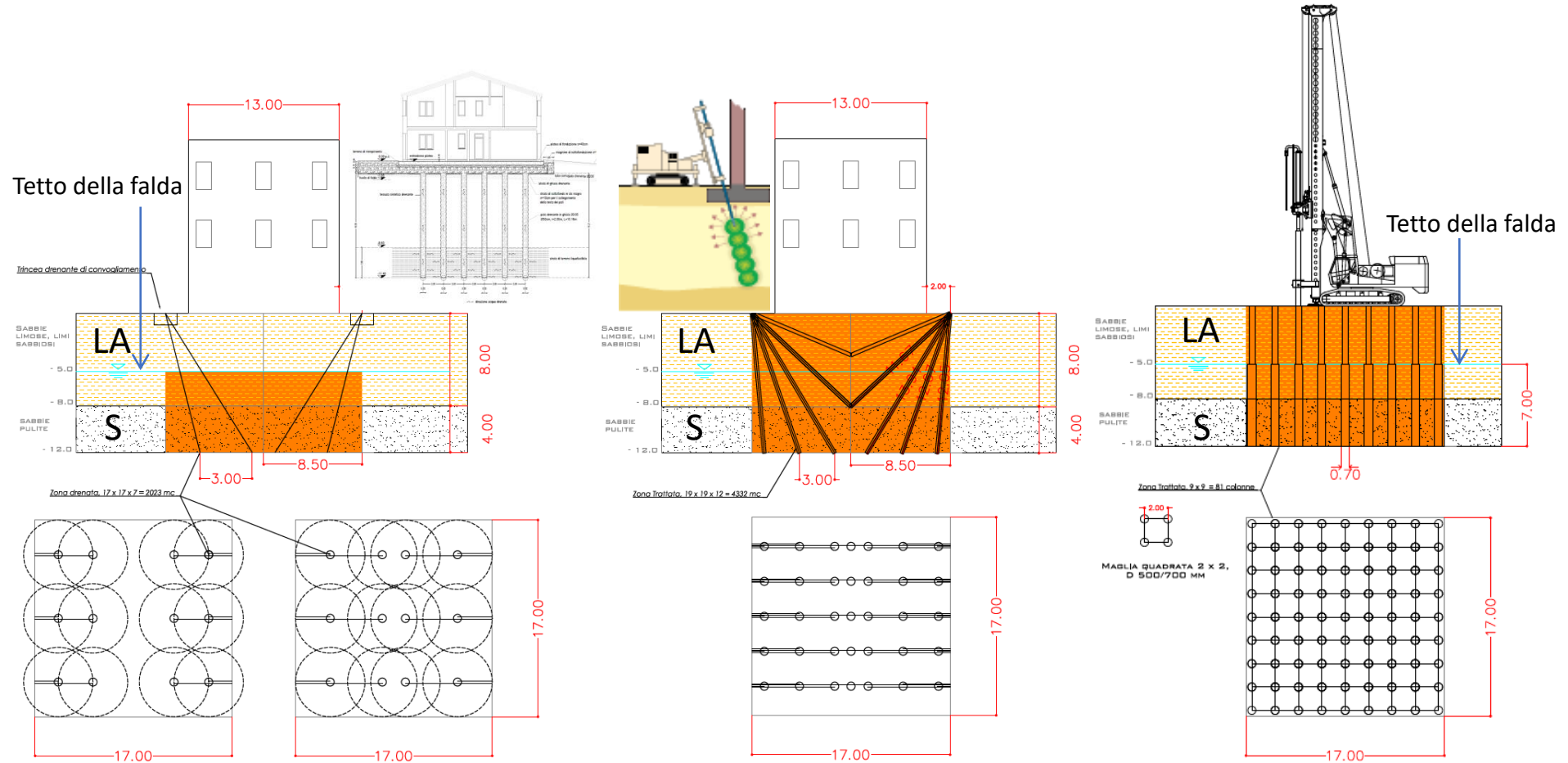
Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

Nei centri abitati di S. Carlo e Mirabello, data la diffusione degli effetti e visti i risultati delle indagini che hanno dimostrato la persistenza diffusa di rischio di liquefazione, con DD 12418/2012 sono state perimetrare le aree in cui non occorre documentare né l'avvenuta liquefazione né la presenza del rischio ed è sufficiente presentare il progetto di intervento (Allegati 1-3).

In tali aree il contributo concesso è massimo (15%)



Per favorire gli interventi sono state pubblicate indicazioni sulle tecniche di mitigazione ritenute più idonee in base alle caratteristiche geologiche locali (DD 12418/2012) e linee guida sulle indagini geotecniche da effettuare a supporto dei progetti (DD 1105/2014)



Schema di trattamento con **dreni** in caso di edifici esistenti

Schema di trattamento con **iniezioni di compattazione** in caso di edifici esistenti

Schema di intervento per edifici di nuova costruzione: **colonne a spostamento** "save composer"

LA = limi argillosi S = sabbie

rappresentazione schematica di alcuni degli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione ritenuti più idonei in base alle caratteristiche geologiche locali (da DD 12418/2012, allegato 4)

124 domande

- 91 con requisiti (danni gravi, effetti osservati e presenza del rischio di liquefazione);
 - 33 senza requisiti (nella maggior parte dei casi è documentata la presenza del rischio ma in siti in cui non sono stati rilevati effetti di liquefazione e non sono state dimostrate relazioni tra danni e liquefazione).
- 1) giugno 2012 - maggio 2013 (primo anno post-sisma): 5 domande (le ordinanze di finanziamento degli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione sono state emanate a partire da ottobre 2012);
 - 2) giugno 2013 - maggio 2014 (secondo anno): 37 domande;
 - 3) giugno 2014 - maggio 2015 (terzo anno): 37 domande;
 - 4) giugno 2015 – maggio 2016 (quarto anno): 46 domande;
 - 5) da giugno 2016: 4 domande.

Progetti approvati (pareri favorevoli): 88

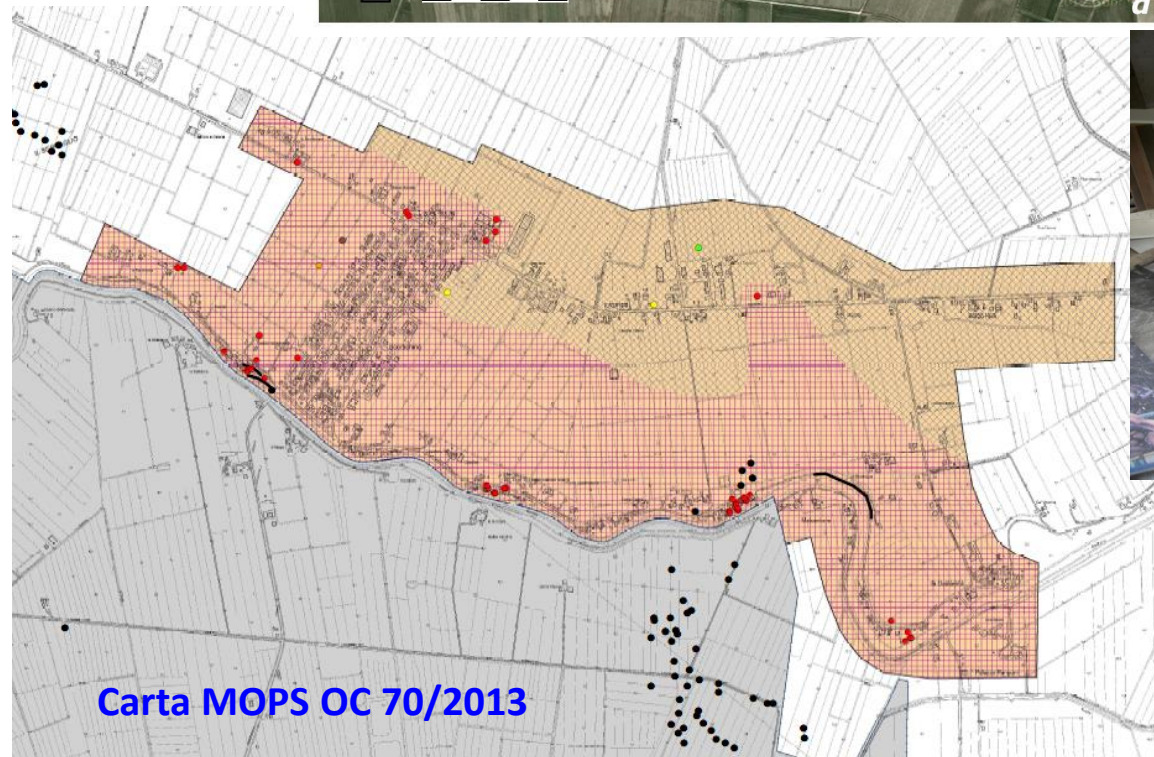
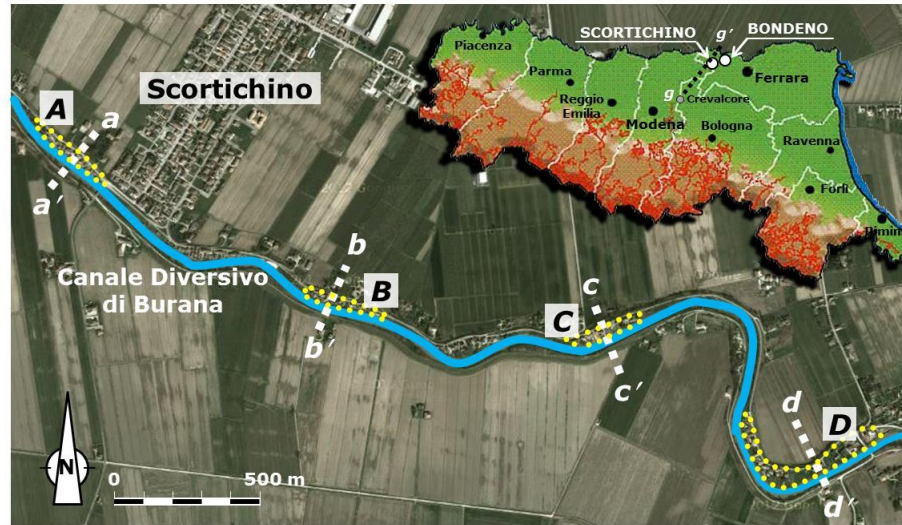
Progetti con esito negativo (anche dopo richieste di modifiche/integrazioni): 3

Sisma Emilia 2012. Effetti sull'ambiente e microzonazione sismica

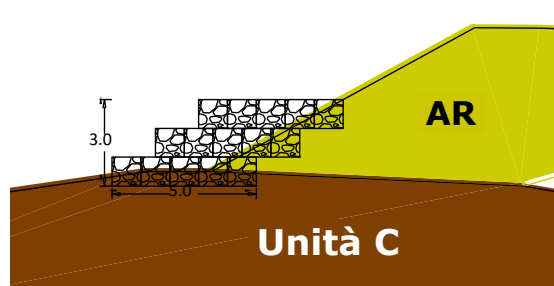
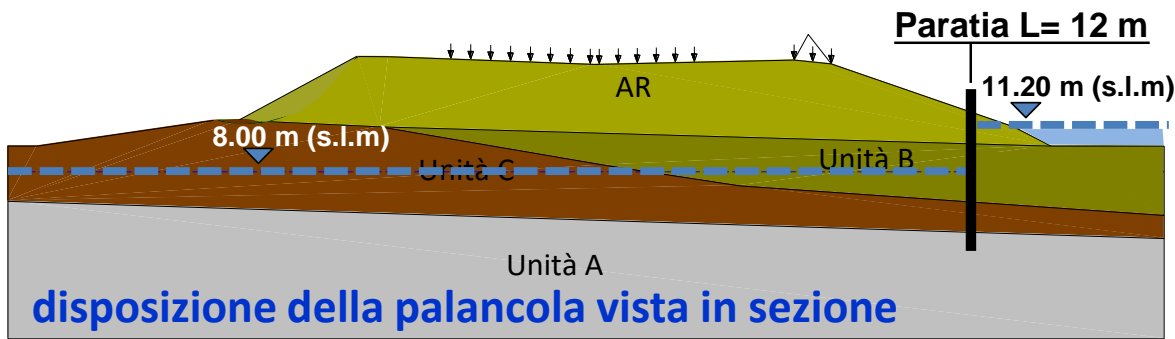
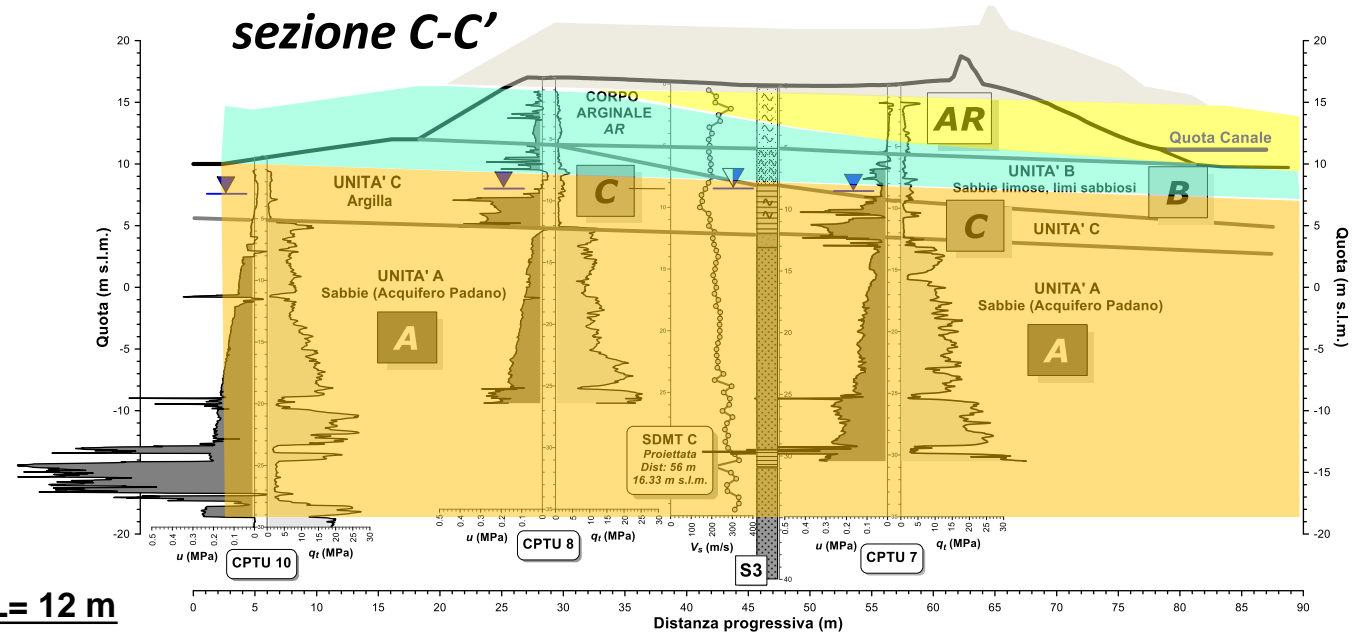
Tipo di intervento	n.	vantaggi	svantaggi
Dreni verticali	43	limita lo sviluppo delle sovrappressioni interstiziali; costi contenuti; facilità di realizzazione (in caso di demolizione e ricostruzione)	non migliora le proprietà meccaniche del terreno; difficoltà di realizzazione in caso di edifici esistenti
Dreni orizzontali	1	limita lo sviluppo delle sovrappressioni interstiziali; possibilità di realizzazione in caso di edifici esistenti	Procedure di progettazione non standard; difficoltà di realizzazione in caso di edifici vicini (accesso limitato)
Fondazioni profonde	11	trasferimento dei carichi delle strutture in elevazione a strati di terreno profondi e stabili in caso di sisma	costi elevati (spesso $L > 15$ m); difficoltà di progettazione (attrito negativo, azioni orizzontali, ...)
Compaction grouting	8	induce addensamento del terreno con conseguente incremento della resistenza ciclica	costi elevati; progettazione subordinata all'esecuzione di un campo prova che ne certifichi l'efficacia e per il dimensionamento; non applicabile in caso di livelli liquefacibili $P < 5,5 \div 6$ m da p.c. (sollevamenti del p.c. = danni potenziali agli edifici adiacenti).
Jet grouting	2	Realizzazione di colonne più rigide del terreno naturale presente tra esse, con la funzione di assorbire gran parte delle deformazioni di taglio indotti dal sisma e conseguente riduzione delle sovrappressioni interstiziali	costi elevati: il trattamento deve partire da pc interessando anche eventuali strati non liquefacibili; le colonne non rinforzate possono avere comportamento fragile e fratturarsi per effetto del sisma, con riduzione dell'efficacia del trattamento
Colonne cls rotoinfisse	11	Addensamento del terreno, nessuna controindicazione per edifici vicini	Realizzabili solo in campo libero; l'efficacia dell'addensamento andrebbe testata con campo prova
Colonne di ghiaia vibrocompattate	6	il terreno viene addensato e durante il sisma le colonne si comportano come dreni	Realizzabili solo in campo libero: rischio di causare danni agli edifici adiacenti durante la vibrocompattazione
Iniezioni di malte cementizie	3	cementazione dei grani e aumento della resistenza ciclica del terreno	progettazione subordinata all'esecuzione di un campo prova che ne certifichi l'efficacia (capacità delle miscele di permeare il terreno e cementarlo) e per il dimensionamento; costi talora elevati
Iniezioni resine	2		
Rinforzo fondazioni	1	Realizzabile sempre	Non impedisce il fenomeno della liquefazione e non migliora le proprietà meccaniche del terreno

Altro caso di studio della liquefazione e dei suoi effetti per la ricostruzione post sisma: l'espansione laterale del rilevato arginale a Scortichino

“Analisi dei fenomeni deformativi indotti dalla sequenza sismica emiliana del 2012 su un tratto di argine del Canale Diversivo di Burana (FE)”,
Tonni et al., RIG, 2015, 49 n. 2, 28 – 58.



Area C
intervento di mitigazione lato canale
mediante abbassamento della falda



disposizione della palanca vista in pianta



Infine, vanno segnalate le linee guida per gli aspetti geotecnici redatte da un gruppo di lavoro AGI-ReLUIS per la riparazione o ricostruzione dei capannoni, documento tecnico promosso da DPC e RER



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

La redazione delle presenti linee guida è stata promossa dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri e dalla Regione Emilia Romagna



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

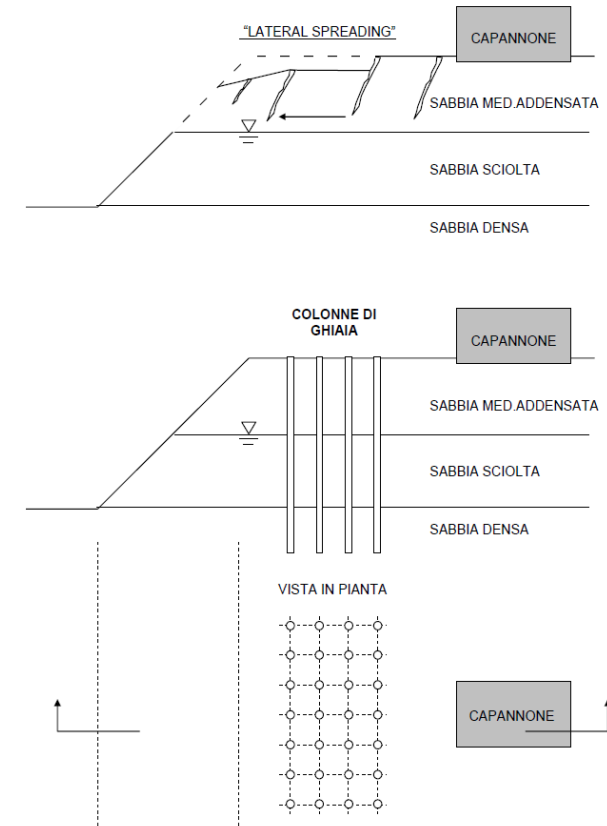


Figura 6.6. Colonne di ghiaia esterne al fabbricato



Grazie per l'attenzione

luca.martelli@regione.emilia-romagna.it

3 dicembre 2020