



COMUNE DI PARMA
Settore Lavori Pubblici
e Patrimonio
S.O. Sismica-Energetica

Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Parma

STUDIO A CURA DI:



Direzione Tecnica:

Dr. Geol. Carlo Caleffi - Dr. Geol. Francesco Cerutti

Collaboratori:

Dott. Geol. Matteo Baisi
Dr.ssa Alessandra Cantoni
Dr. Geol. Alessandro Ferrari
Dott. Ing. Giulia Mainardi



Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Parma



Regione Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore  EN GEO S.r.l. INGEGNERIA E GEOLOGIA www.engeo.it Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott.ssa Alessandra Cantoni Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi	Data Giugno 2018 MS3
---------------------------	---	---------------------------------------

Microzonazione sismica e CLE

➤ 2017 - 2018 – MS 3° Livello

Incarico Amministrazione Comunale

- Determinazione n° DD-2017-2819 del 03/11/2017

Finanziamenti

- 75% dalla Regione Emilia Romagna
- 25% Comune di Parma

In collaborazione con
Settore Lavori Pubblici e Patrimonio
S.O. Sismica – Energetica

- ✓ Arch. Enzo Bertolotti
- ✓ Ing. Marcello Bianchini Frassinelli
- ✓ Ing. Alice Bonati
- ✓ Ing. Cecilia Damoni

Oggetto di studio

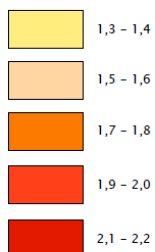
E' stato preso in esame il territorio urbanizzato e urbanizzabile, partendo dai risultati dello studio di 2° livello:

- Amplificazione stratigrafica
- Rischio di liquefazione

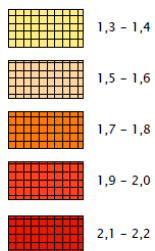
Legenda

Confine comunale

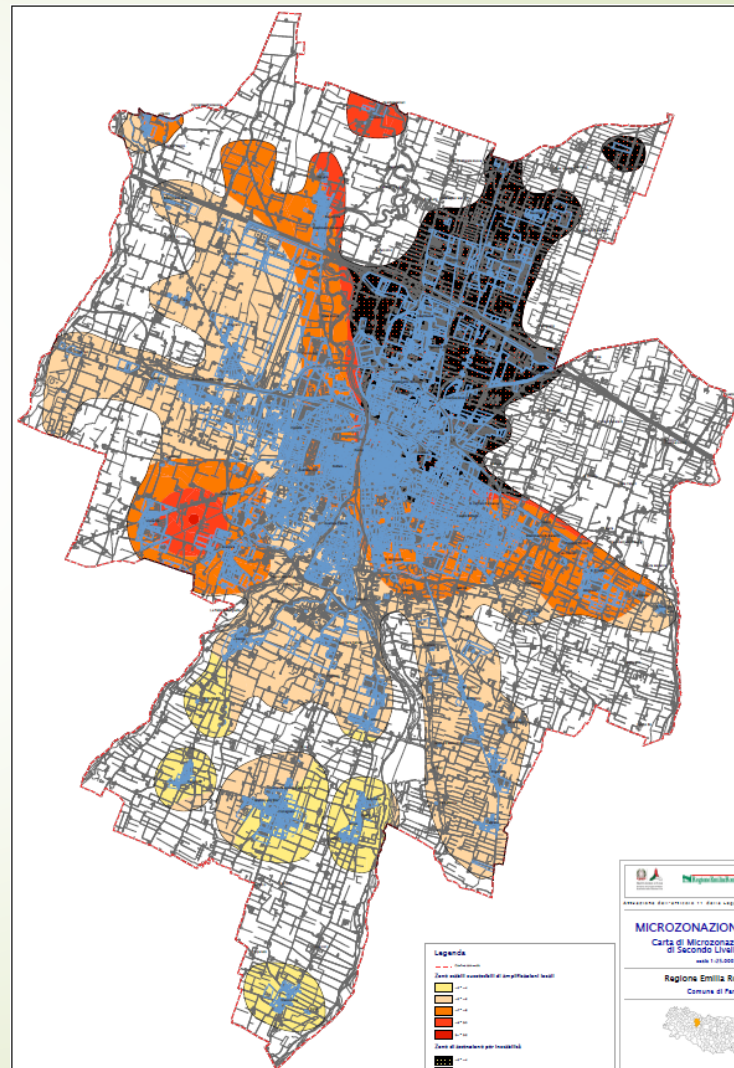
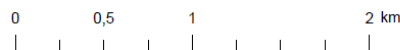
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per instabilità



 area urbanizzata/urbanizzabile



Oggetto di studio

- individuazione di aree rappresentative delle situazioni più critiche classificate nella fase precedente (edifici di interesse pubblico);
- realizzazione di nuove indagini con DH, SCPT CPTU;
- raccolta di ulteriori dati disponibili presso il Comune di Parma relativi a:
 - Prove Down-hole;
 - Prove SCPT;
 - Prove per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione;
 - Prove CPTU (per le verifiche a liquefazione)

Oggetto di studio

- Aggiornamento delle cartografie di primo livello con dati delle nuove indagini:
 - Carta delle indagini
 - Carta delle frequenze naturali dei terreni;
 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)
- valutazione della riposta sismica locale in 29 siti in cui si riteneva di poter disporre di sufficienti dati per la definizione del modello geofisico del sottosuolo.
- verifiche a liquefazione su 34 verticali;
- redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA:
 - FA_{PGA}
 - $FA_{IS\ 0.1-0.5\ s}$
 - $FA_{IS\ 0.5-1.0\ s}$
 - $FA_{IS\ 0.5-1.5\ s}$

MS3

Aree oggetto di microzonazione sismica

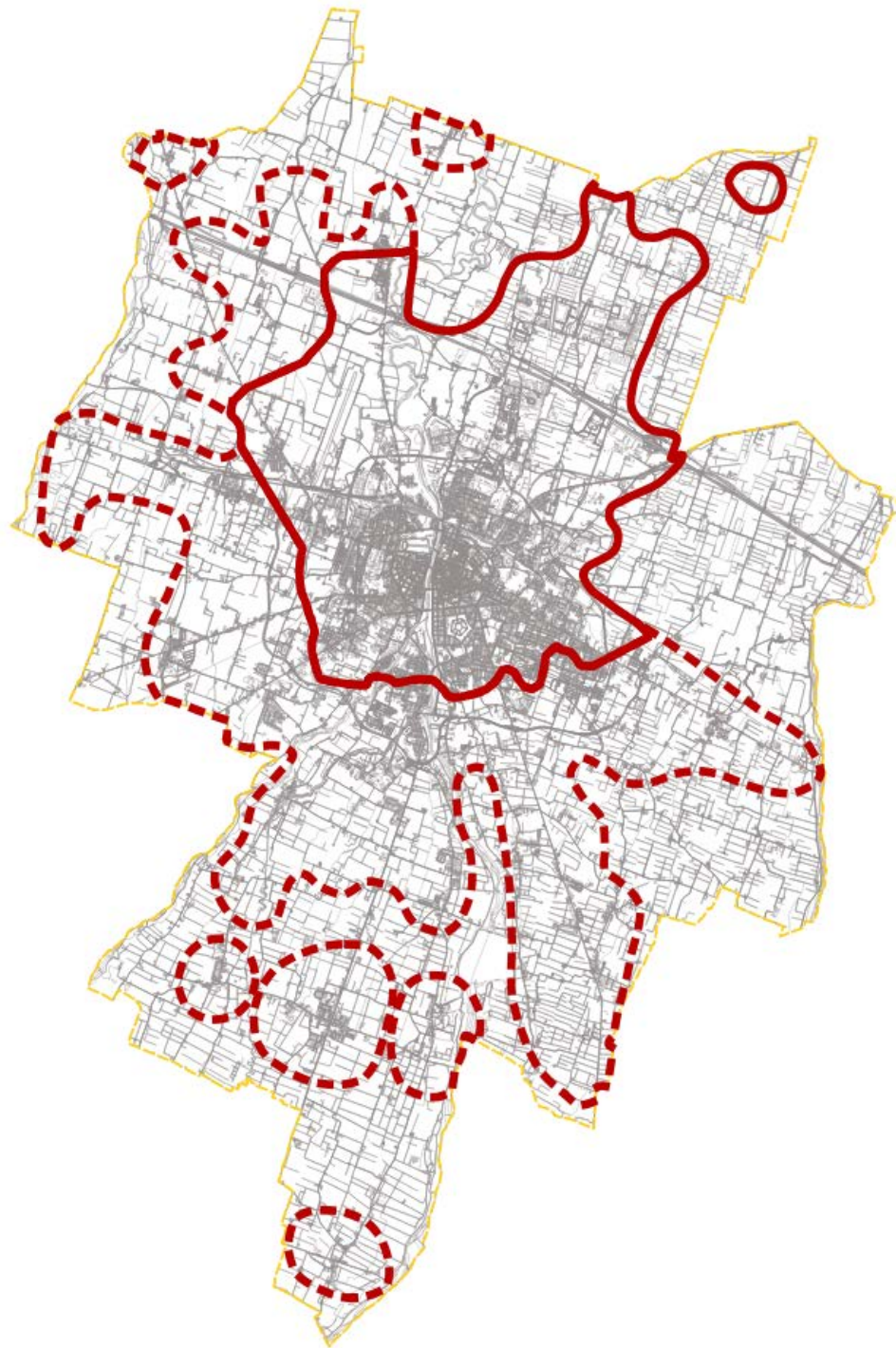


di 2° livello



di 3° livello

La MS3 ha interessato
una superficie di circa
60 Km²



Elenco elaborati

Elab.		scala
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	
1	Carta delle indagini	1:25.000
1a	Carta delle indagini	1:10.000
1b	Carta delle indagini	1:10.000
1c	Carta delle indagini	1:10.000
1d	Carta delle indagini	1:10.000
1e	Carta delle indagini	1:10.000
2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:25.000
2a	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2b	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2c	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2d	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2e	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:25.000
3a	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3b	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3c	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3d	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3e	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
4	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:25.000
4a	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4b	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4c	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4d	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4e	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
5	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:25.000
5a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:10.000
5b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:10.000
5c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:10.000
5d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:10.000
5e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	1:10.000

Elab.		scala
6	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:25.000
6a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:10.000
6b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:10.000
6c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:10.000
6d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:10.000
6e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_o < 0.5s$	1:10.000
7	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:25.000
7a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:10.000
7b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:10.000
7c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:10.000
7d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:10.000
7e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.0s$	1:10.000
8	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:25.000
8a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:10.000
8b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:10.000
8c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:10.000
8d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:10.000
8e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_o < 1.5s$	1:10.000
9	Prove HVSR (esecuzione nel 3° livello)	
10	Stratigrafie sondaggi (esecuzione nel 3° livello)	
11	Prove Down-Hole (esecuzione nel 3° livello)	
12	Analisi di laboratorio (esecuzione nel 3° livello)	
13	Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (esecuzione nel 3° livello)	
14	Prove penetrometriche con sismocono (esecuzione nel 3° livello)	
15	Verifiche a liquefazione (esecuzione nel 3° livello)	

Indagini geognostiche e sismiche

➤ Indagini di nuova esecuzione

- N° 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove Down Hole
- N° 2 prove in colonna risonante
- N° 5 prove SCPT
- N° 26 prove CPTU
- N° 7 prove HVSR

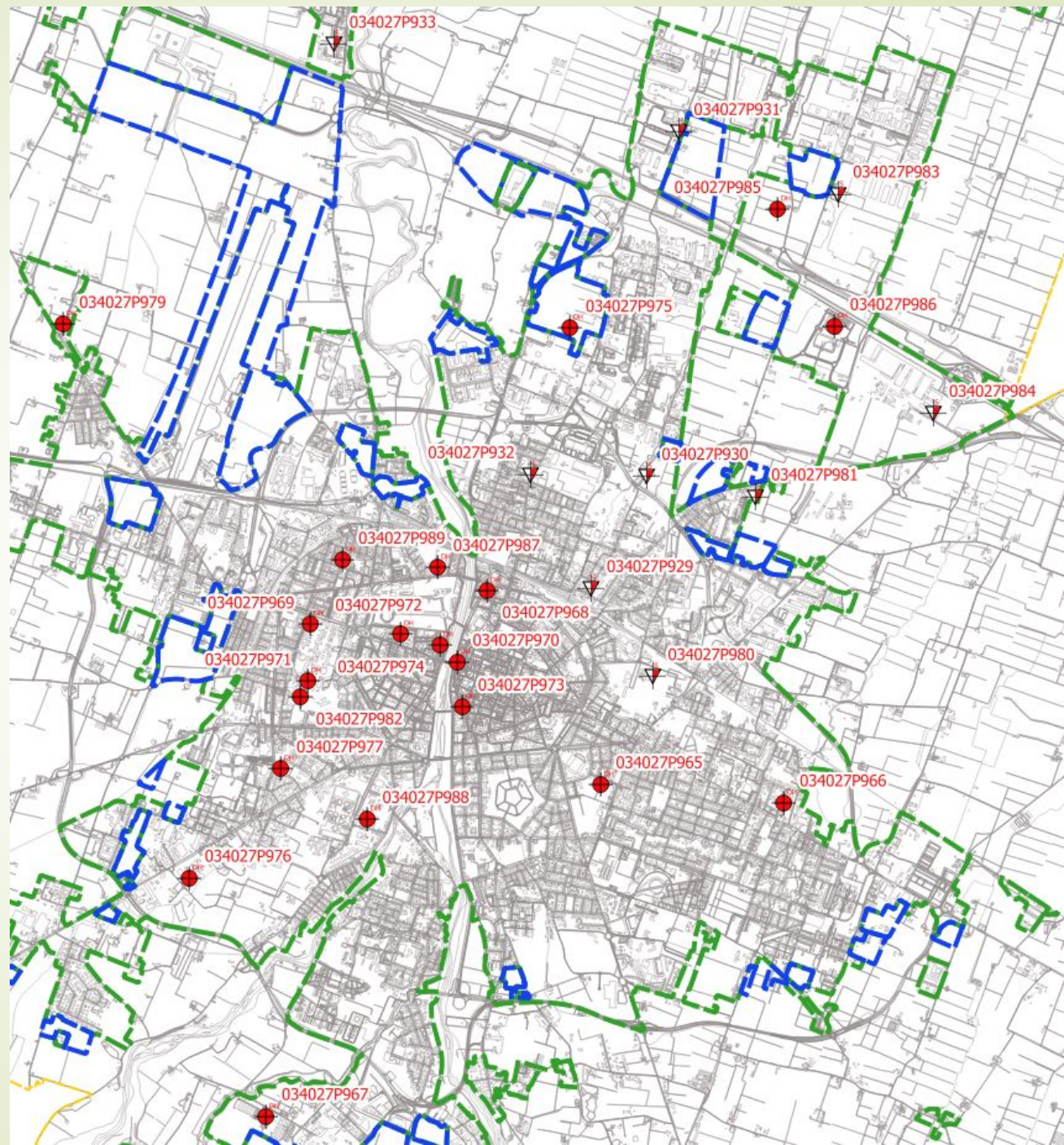
➤ Altre indagini reperite dagli archivi comunali

- N° 22 verticali per cui si disponeva di una misura diretta di V_s (DH o SCPT)
- N° 4 prove con G/G_0 e D

Microzonazione 3° livello

N° 29 siti in cui è
stato effettuato
uno studio di
risposta sismica
locale

**I 7 siti con nuove
indagini eseguite
nel presente studio
corrispondono a
edifici di interesse
pubblico**

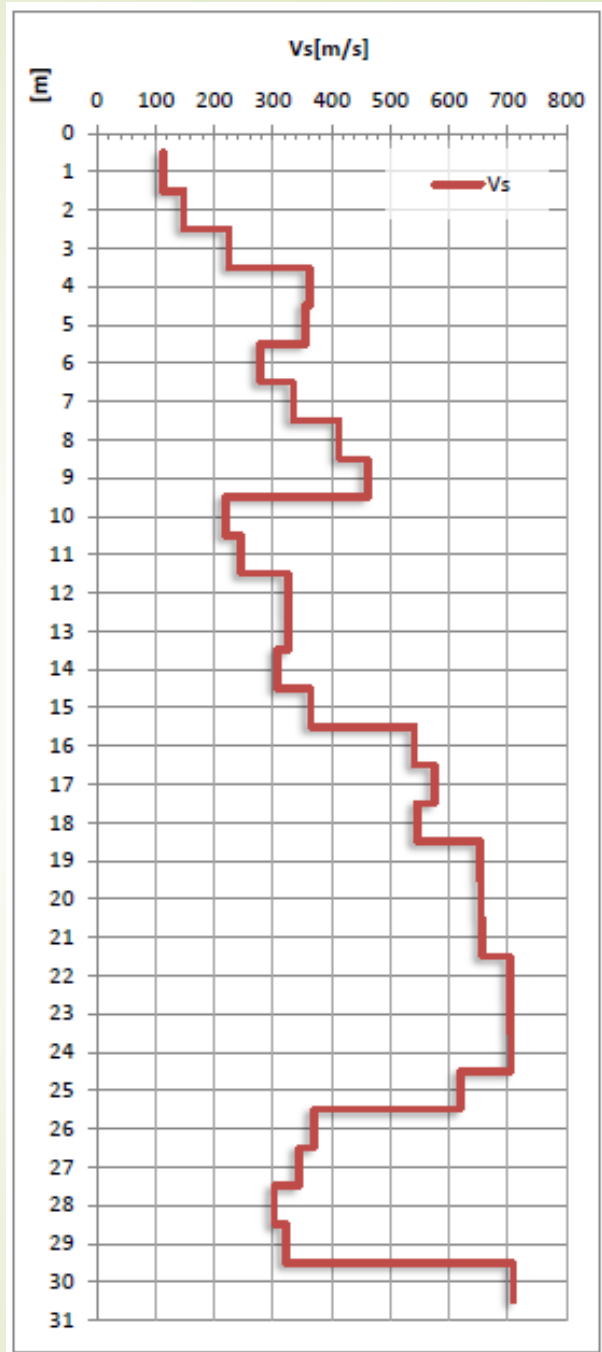
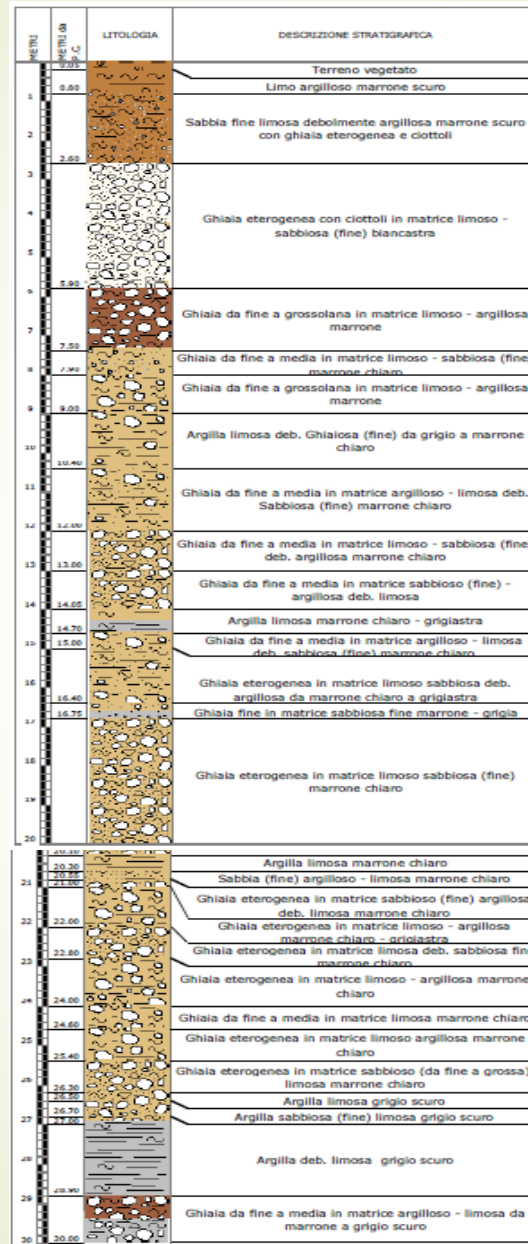


Campagna d'indagine (MS3)

2 sondaggi a carotaggio continuo con D-H e curve D e G/G_0

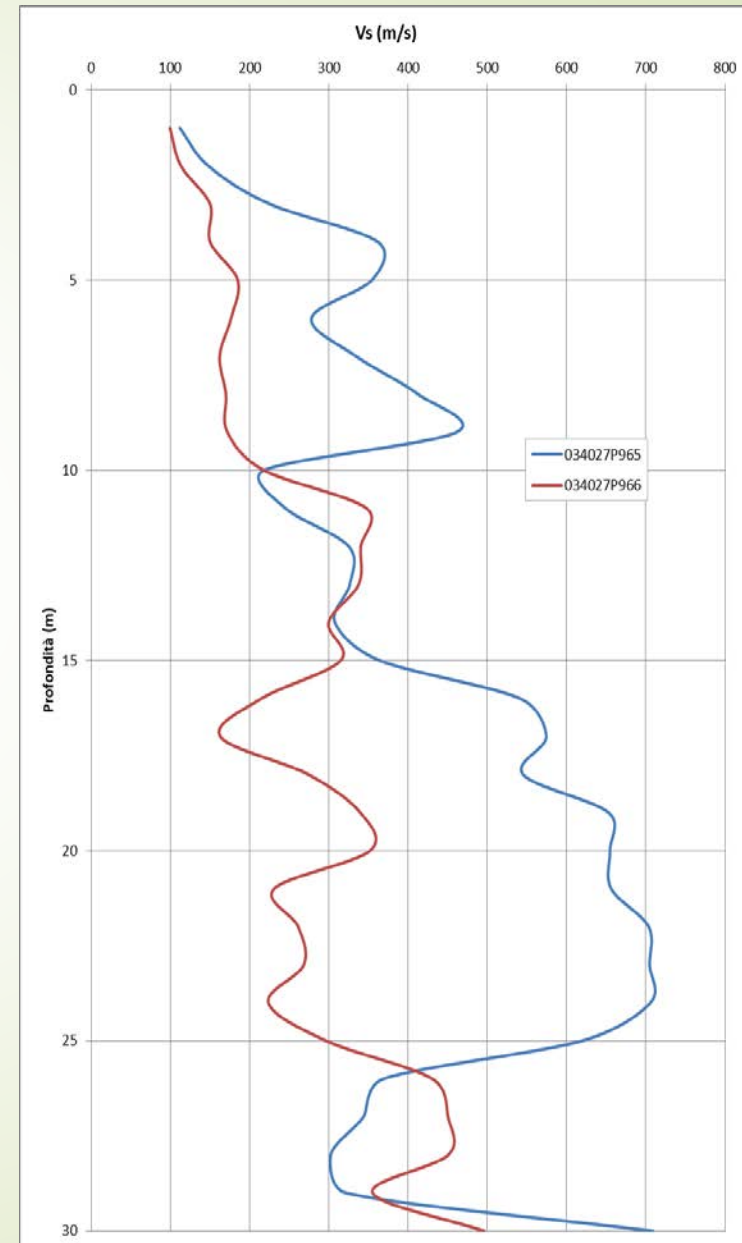
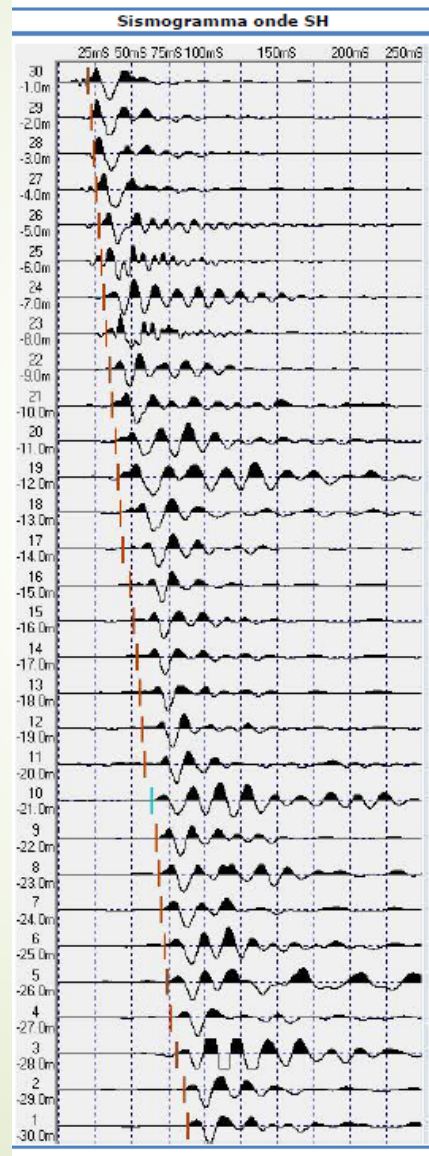
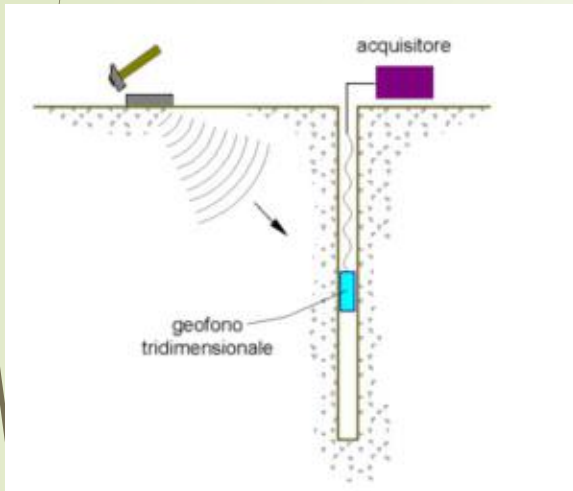
che hanno consentito di determinare in ciascuna verticale

1. La stratigrafia
2. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s con la profondità (misura diretta)
3. La degradazione dei terreni in caso di sisma



Campagna d'indagine (MS3)

Prove Down- Hole

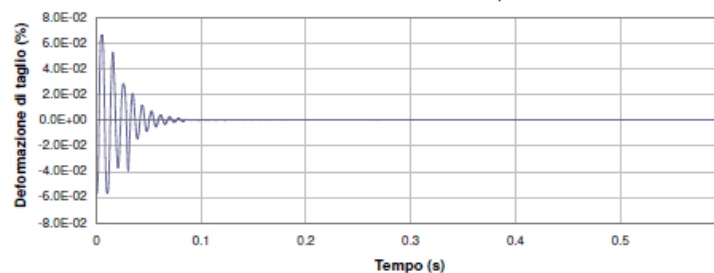
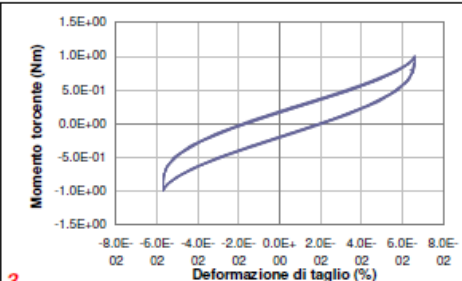
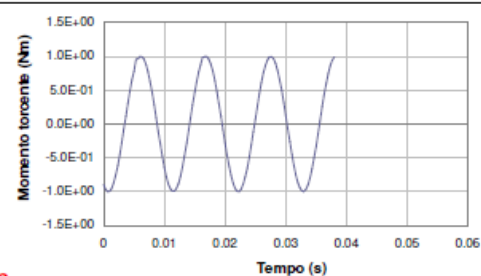
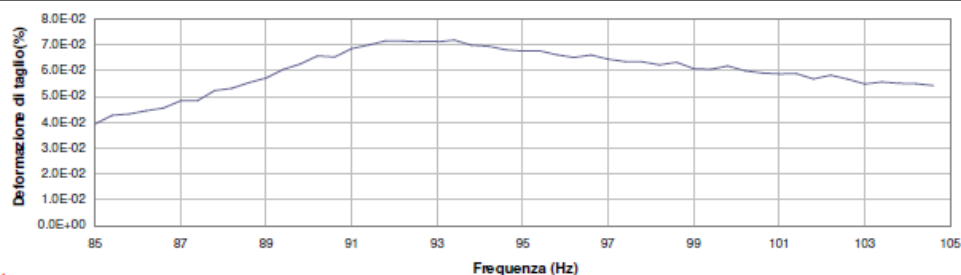


Campagna d'indagine (MS3)

Prove in colonna risonante

- Curve di variazione dello smorzamento D
- Curve di variazione della rigidezza G/G_0

Test 16



- 1 Campo delle frequenze indagate
- 2 Ampiezza momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate
- 3 Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza
- 4 Smorzamento per oscillazioni libere



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Laboratorio Geotecnico e Idraulico con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 50 del D.P.R. 300/2001, Classific. Min. n. 75/19/2012

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality
Qualità Ambiente Sicurezza
UNI EN ISO 9001:2008
UNI EN ISO 14001:2004
BS OHSAS 18001:2007

PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

Committente: ENGE0 s.r.l., Via Suor Maria Adoni 2, 43121 Parma

Località: Parco Ferrari - Parma

Cantiere: Microzonazione Sismica di III livello Parma

Sondaggio: DH1

Campione: SH1

Profondità (m): 27.00 - 27.50

Certificato di prova N°:

Verbale di accettazione N°: 644/17

Commessa: 17238/17

Data ricevimento campione: 11/12/17

Data prova: 11 - 21/12/17

Data emissione certificato:

DATI INIZIALI

Altezza: 100.00 mm
Diametro: 50.00 mm
Raggio eq.: 17.675 mm
Massa: 362.6 g
W: 35.1 %
Y: 18.13 kN/m³
Y_x: 13.41 -
e: 0.97 -

DATI DI PROVA

Limo con argilla organica debolmente sabbioso grigio scuro nerastro
Tipo di campione:
Fattore Raggio Eq.: 0.707 -
Coefficiente B: 0.91 %
Pressione cella: 830 kPa
Contropressione: 450 kPa

DATI FINALI

Altezza: 97.35 mm
Diametro: 48.62 mm
Raggio eq.: 17.190 mm
Massa: 347.2 g
W: 31.3 %
Y: 19.21 kN/m³
Y_x: 14.62 -
e: 0.85 -

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V _s (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G ₀	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ ³
Test 1*	136.20	0.0004	4.20E-05	255.20	120.34	1.000	3.09	0.000
Test 2	136.20	0.0006	5.80E-05	255.20	120.34	1.000	3.11	0.001
Test 3	134.40	0.0011	1.08E-04	251.83	117.18	0.974	3.18	0.000
Test 4	133.20	0.0025	2.37E-04	249.58	115.10	0.956	3.23	0.001
Test 5	131.60	0.0050	5.27E-04	246.59	112.35	0.934	3.35	0.001
Test 6	130.40	0.0085	9.42E-04	244.34	110.31	0.917	3.43	0.000
Test 7	129.80	0.0130	1.32E-03	243.21	109.30	0.908	3.48	0.000
Test 8	128.20	0.0400	3.54E-03	240.21	106.62	0.886	3.56	0.002
Test 9	127.00	0.0750	7.89E-03	237.97	104.63	0.869	4.07	0.002
Test 10	125.00	0.0993	1.19E-02	234.22	101.36	0.842	4.32	0.002
Test 11	122.80	0.1749	2.31E-02	230.10	97.83	0.813	4.92	0.012
Test 12	118.80	0.2499	3.24E-02	222.60	91.56	0.761	5.75	0.019
Test 13	115.00	0.3496	4.12E-02	215.48	85.79	0.713	6.25	0.025
Test 14	109.20	0.5000	4.85E-02	204.61	77.36	0.643	6.84	0.038
Test 15	101.40	0.7499	5.86E-02	190.00	66.70	0.554	7.88	0.046
Test 16	93.40	0.9986	7.19E-02	175.01	56.59	0.470	9.17	0.057
Test 17	83.80	1.2998	8.83E-02	157.02	45.56	0.379	11.72	0.067
Test 18	75.60	1.6000	1.10E-01	141.66	37.08	0.308	12.86	0.086
Test 19	66.40	1.9996	1.41E-01	124.42	28.60	0.238	14.06	0.109

*Test 1 corrispondente al valore G₀

Campagna d'indagine (MS3)

Prove in colonna risonante

- Curve di variazione dello smorzamento D in funzione della deformazione
- Curve di variazione della rigidezza G/G_0 in funzione della deformazione

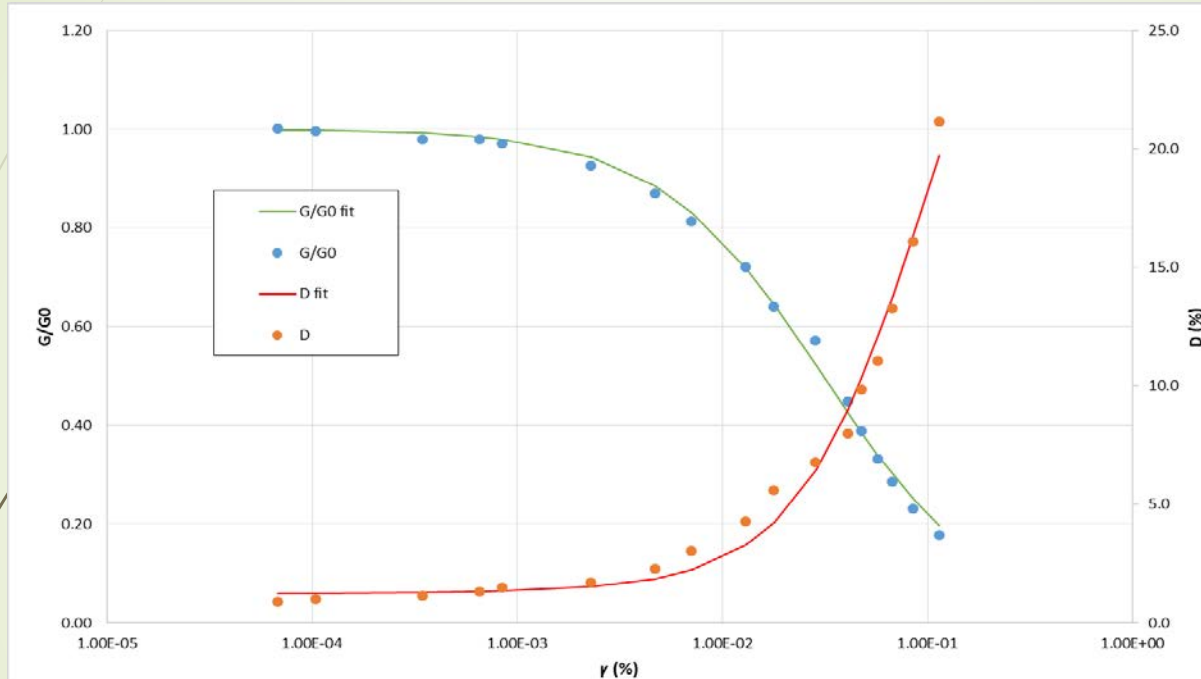


Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione

I dati sperimentali sono stati «normalizzati» mediante il modello iperbolico di Yokota (1981) che ha consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G_0

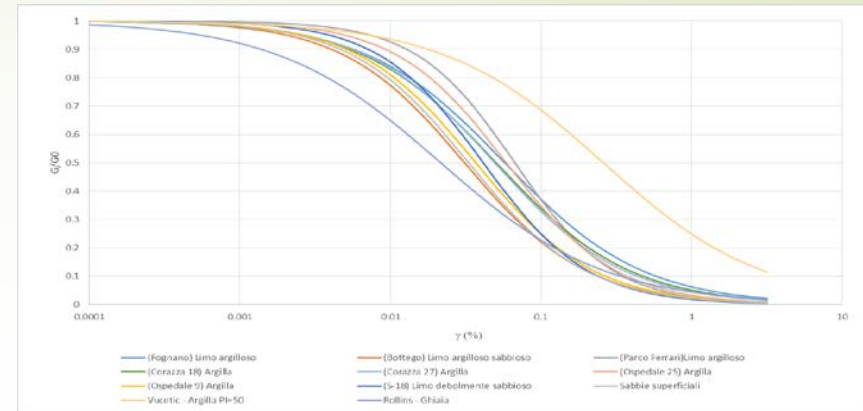
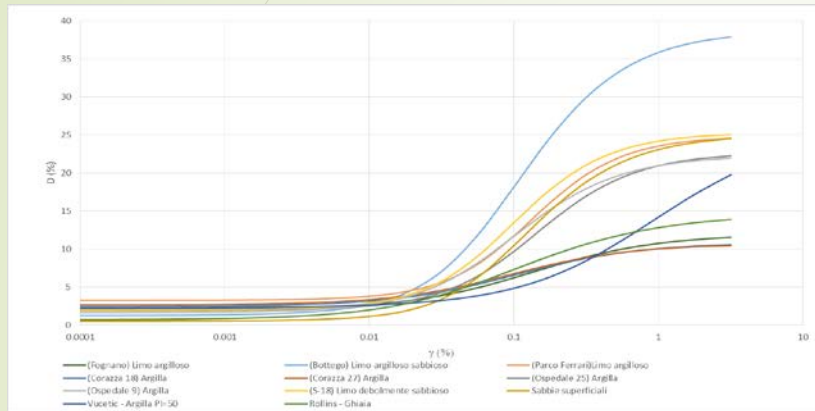
$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{\left[-\lambda \frac{G}{G_0}\right]}$$

Campagna d'indagine (MS3)

Prove in colonna risonante

- Curve di variazione dello smorzamento D
- Curve di variazione della rigidezza G/G_0

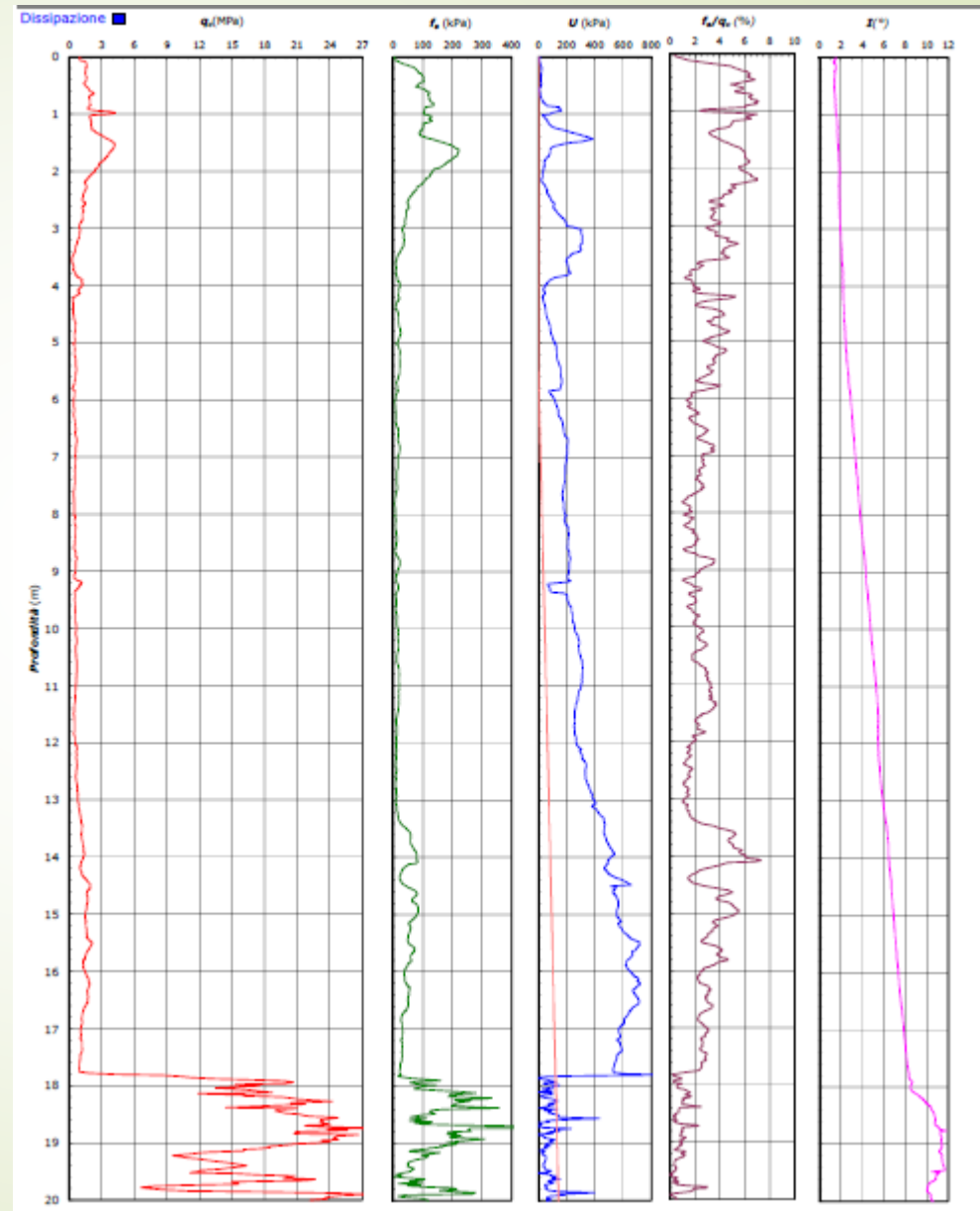


Prof. (m)	litologia (UNI)	Parametri curve G/G_0 e D					
		prova	G_0 (MPa)	a	b	h	l
27.0 – 27.5	Limo con argilla	RC	120.34	36.50	1.33	24.87	2.03
9.0 – 9.7	Limo argilloso sabbioso	RC	91.37	42.56	1.08	38.82	3.44
7.4	Limo argilloso	RC	88.76	15.13	0.95	12	1.77
18.0	Argilla	RC		18.74	0.98	10.85	1.49
27.0	Argilla	RC		20.97	1.01	10.68	1.39
25.0-25.6	Argilla	RC	115.97	29.23	1.19	22.74	2.46
9.0-9.6	Argilla	RC	79.84	39.01	1.11	22.38	2.61
18.1-18.7	Limo debolmente sabbioso	RC	77.87	53.76	1.25	25.35	2.54
	Sabbia	RC		45.62	1.12	25.11	3.9
	Argilla – Vucetic e Dobry $PI=50$			3.03	0.82	26.17	2.46
	Ghiaia - Rollins			21.55	0.8	14.7	3.08

Campagna d'indagine (MS3)

N° 26 Prove CPTU

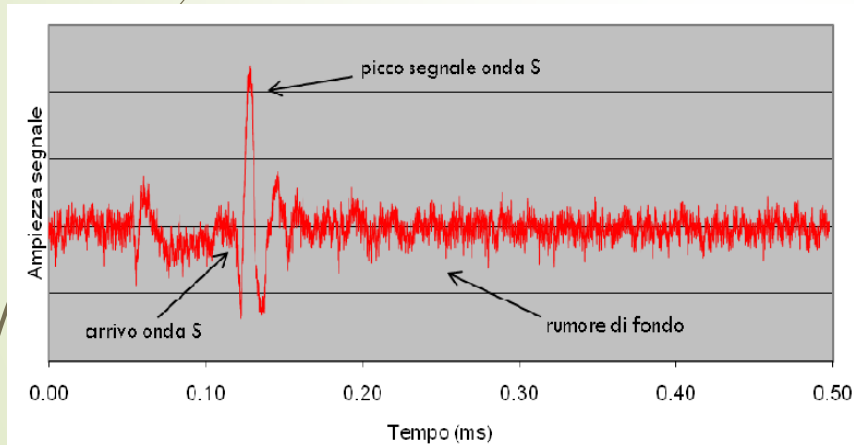
Prove penetrometriche statiche
con punta elettrica e piezocono



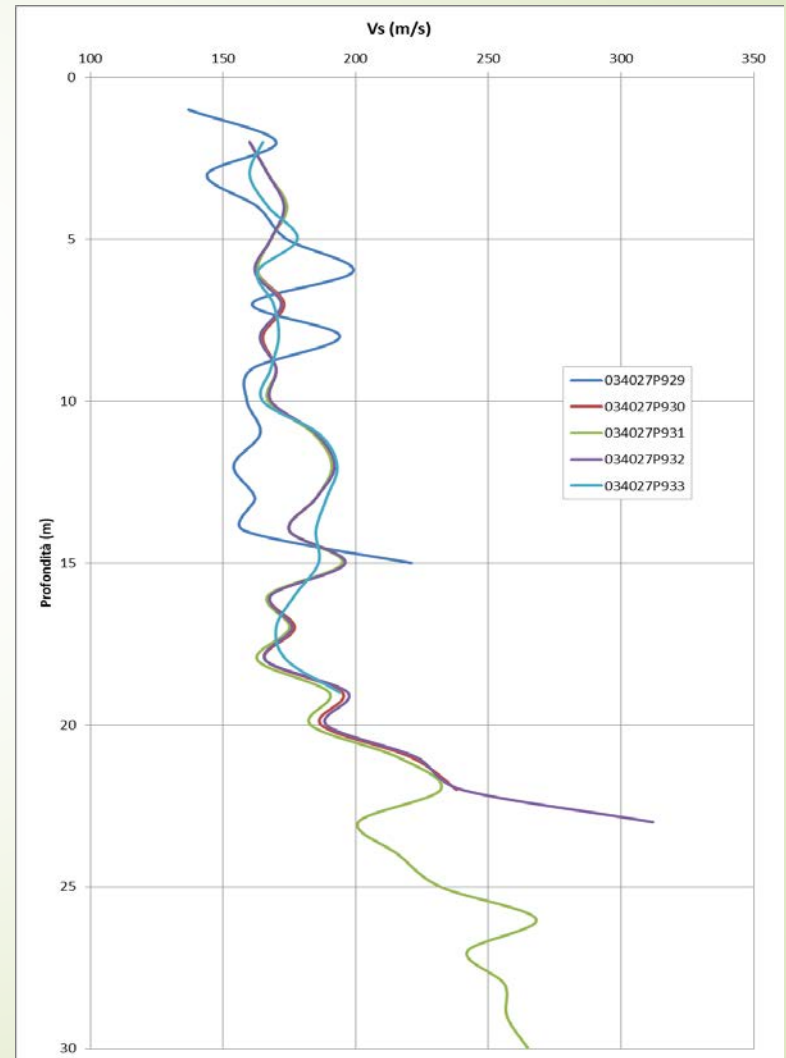
Campagna d'indagine (MS3)

N° 5 Prove SCPT

Prove penetrometriche statiche con punta elettrica, piezocono e cono sismico



In sostanza è una prova che unisce i risultati di una normale CPTU ad una prova DH



Campagna d'indagine (MS3)

N° 7 Prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Per determinare la frequenza caratteristica del terreno da confrontare con la funzione di trasferimento della risposta sismica locale

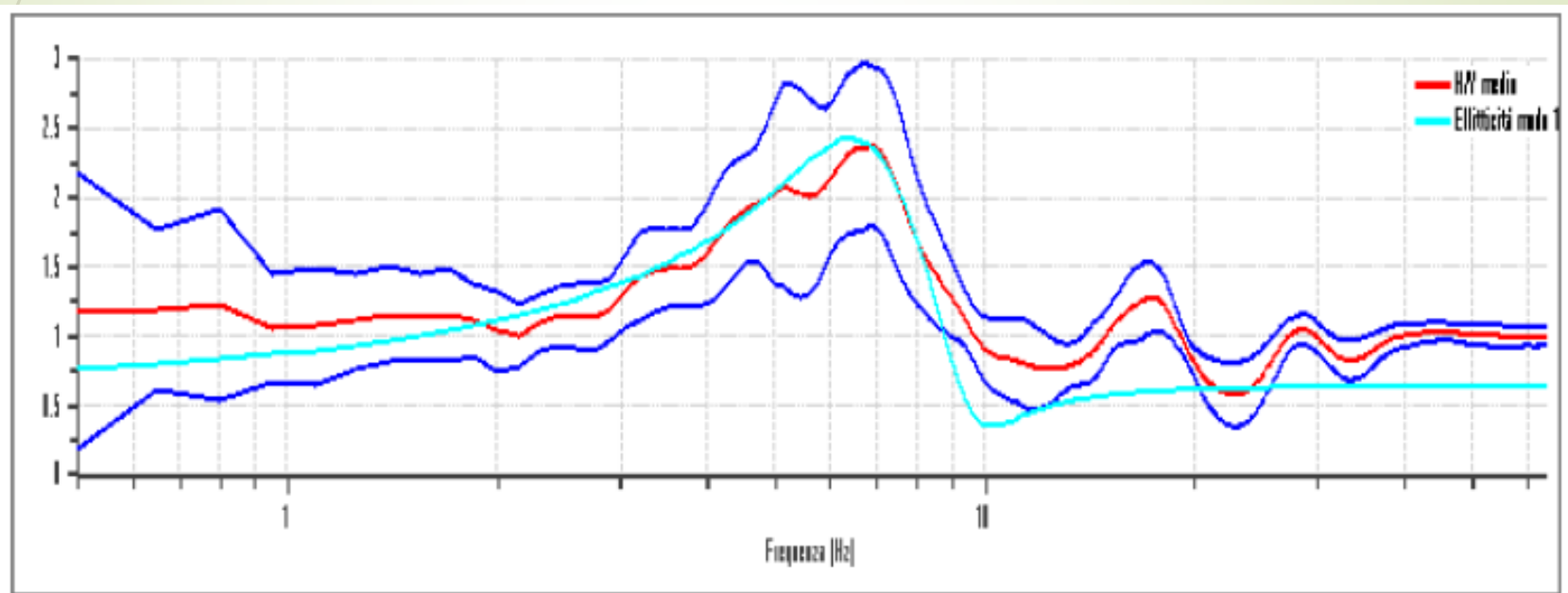
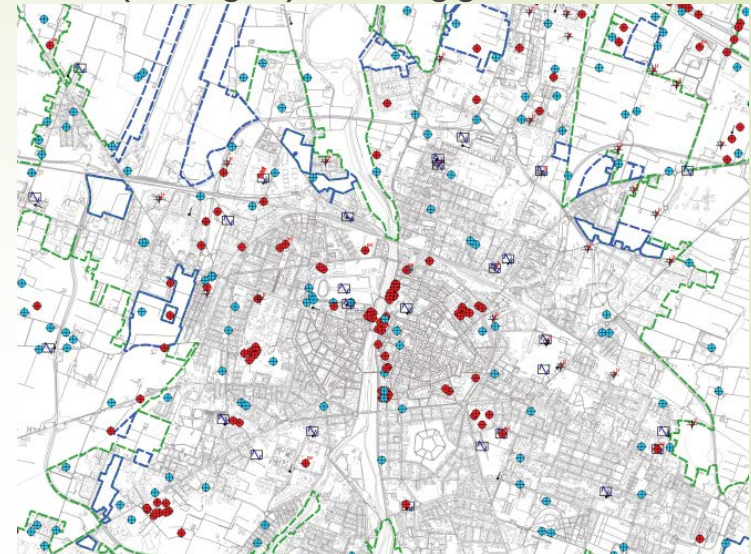


Grafico rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica

MS3 – Aggiornamento cartografia

Sono stati riportati tutti i punti di nuovi dati (indagini) con aggiornamento di:

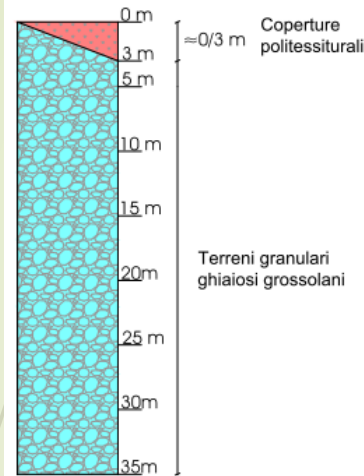
- ❑ Carta delle indagini
- ❑ Carta delle frequenze
- ❑ Carta delle Vs



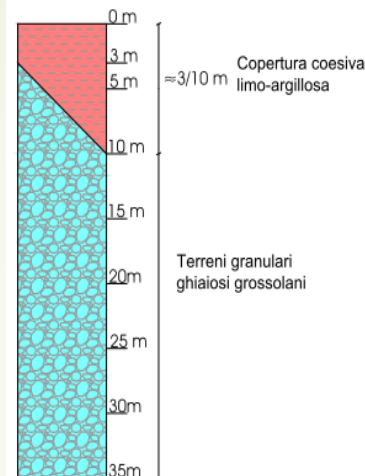
- ❑ La carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) è stata modificata alla luce sia dei dati stratigrafici che della RSL

Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

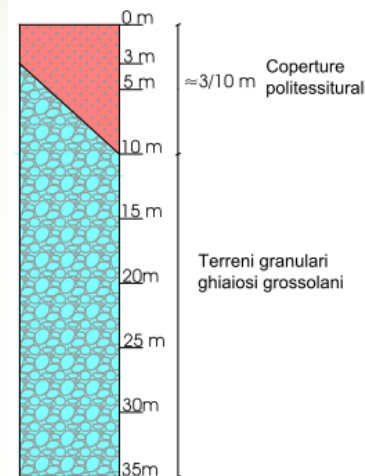
Zona1



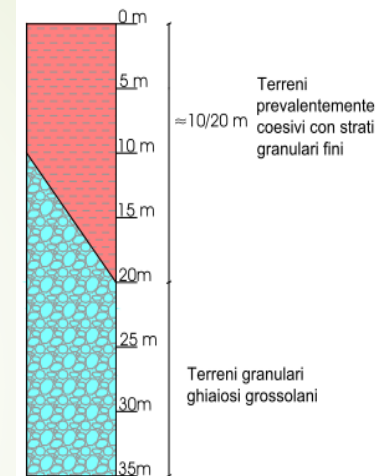
Zona2



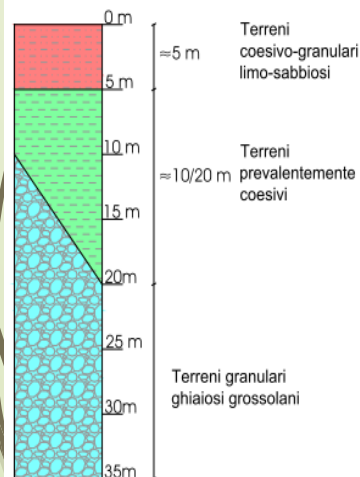
Zona3



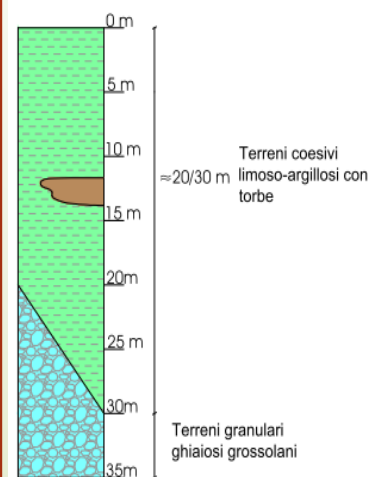
Zona4



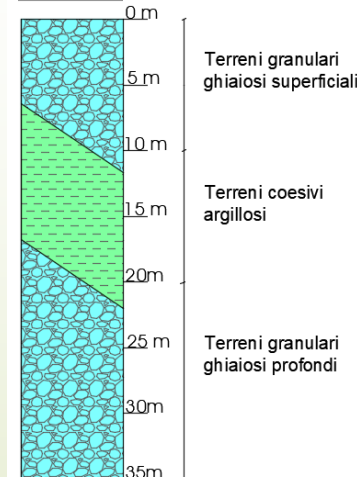
Zona5



Zona6



Zona7



Modificate
rispetto al
2° livello

MS3 – Microzonazione 3° livello

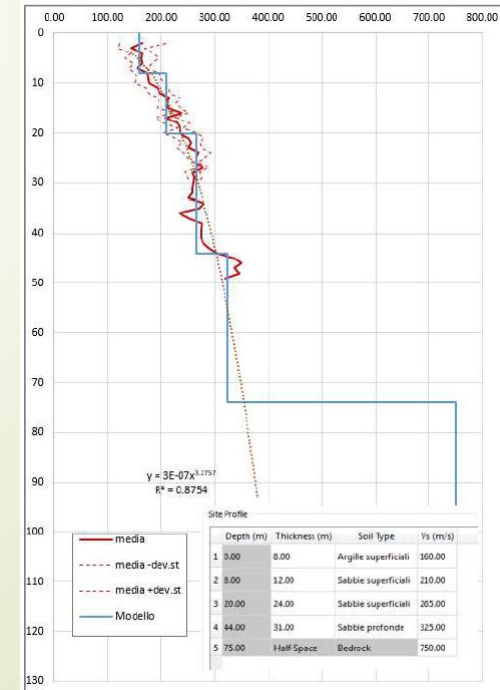
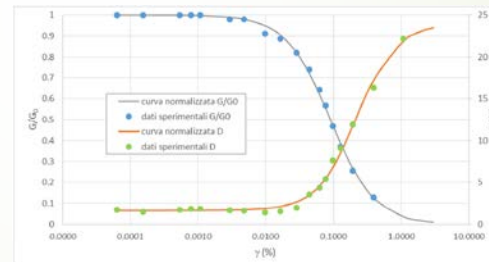
La stima dell'amplificazione stratigrafica, nel secondo livello, viene effettuata sulla base di abachi che mettono in correlazione una «stratigrafia tipo», con la V_s misurata in sito.

Nel terzo livello si passa ad una procedura molto più complessa.

In estrema sintesi, sulla base di specifiche indagini ed analisi, si simula un terremoto al bedrock (TR 475Y), mediante appositi programmi, e si valuta la sua risposta in superficie

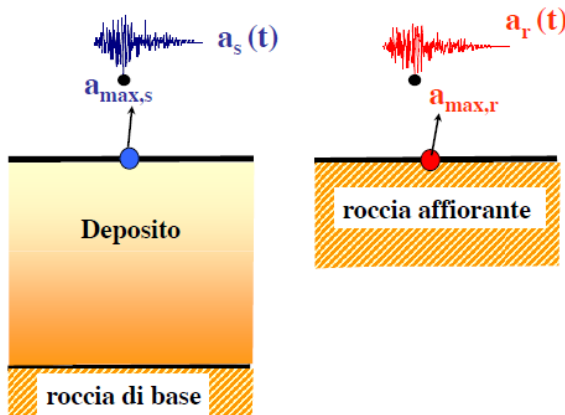
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{sH}/H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0



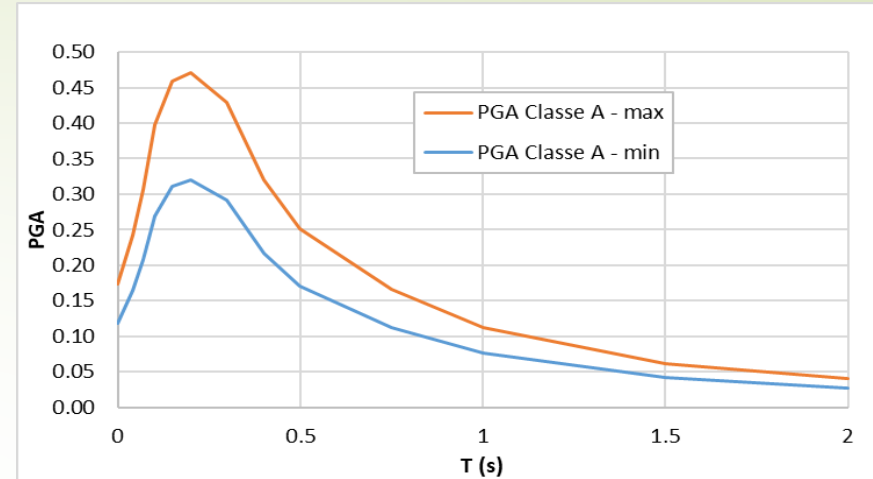
MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

In pratica si esegue uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL) che consente di confrontare gli spettri di risposta (in accelerazione e in velocità) ottenuti dalle elaborazione dei dati in sito con quelli «di normativa», ottenendo in questo modo i fattori di amplificazione.

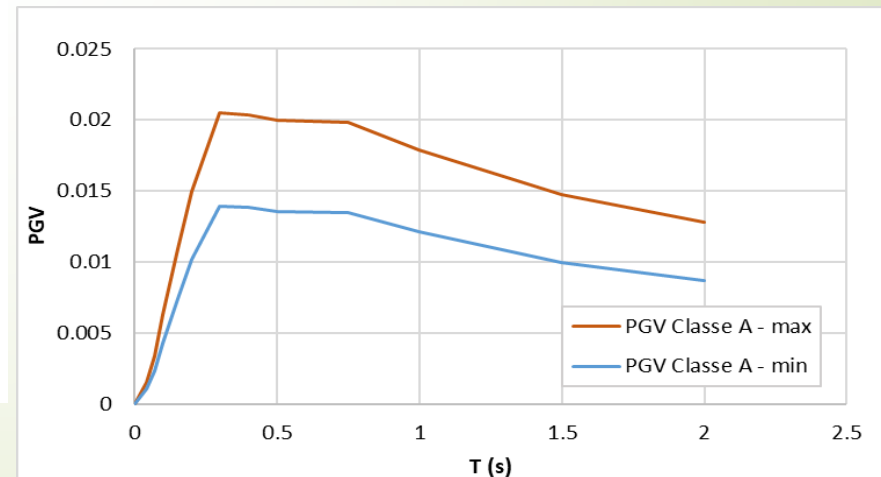


Fattore di
amplificazione

$$A_a = \frac{a_{\max,s}}{a_{\max,r}}$$



Massimi e minimi spettri di risposta elastici in accelerazione su suolo A (475Y) utilizzati per la RSL



Massimi e minimi spettri di risposta elastici in velocità su suolo A (475Y) utilizzati per la RSL

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

La RSL per essere eseguita correttamente richiede un numero considerevole di parametri, che vanno attentamente valutati:

- Definizione della profondità del bedrock sismico;
- Segnali di input (cioè i terremoti di riferimento da utilizzare per «accelerare il sistema»);
- Modello geofisico del sottosuolo fino al bedrock:
 - Litologia;
 - Velocità delle onde di taglio (per ciascuno strato)
 - Curve di variazione dello smorzamento D in funzione della deformazione (per ciascuno strato)
 - Curve di variazione della rigidezza G/G_0 in funzione della deformazione (per ciascuno strato)

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Problema del Bedrock sismico:

Definizione classica: $V_s > 800$ m/s

Dr. L. Martelli – Seminario Terreno e Terremoto: dalla conoscenza del fenomeno alla riduzione del rischio – Bologna 5/11/2018

Nella fascia pedemontana (alta pianura), dove sono frequenti i depositi grossolani di conoide, il bedrock sismico è talora difficilmente individuabile.

Spesso il tetto degli orizzonti ghiaiosi pleistocenici costituisce una superficie di contrasto di velocità importante

Oggi tende ad individuare il bedrock sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di $2 \div 2.5$.

MA ATTENZIONE AL PROBLEMA DELLO SPESSORE DELLO STRATO RIFLETTENTE! Lo riprenderemo in seguito

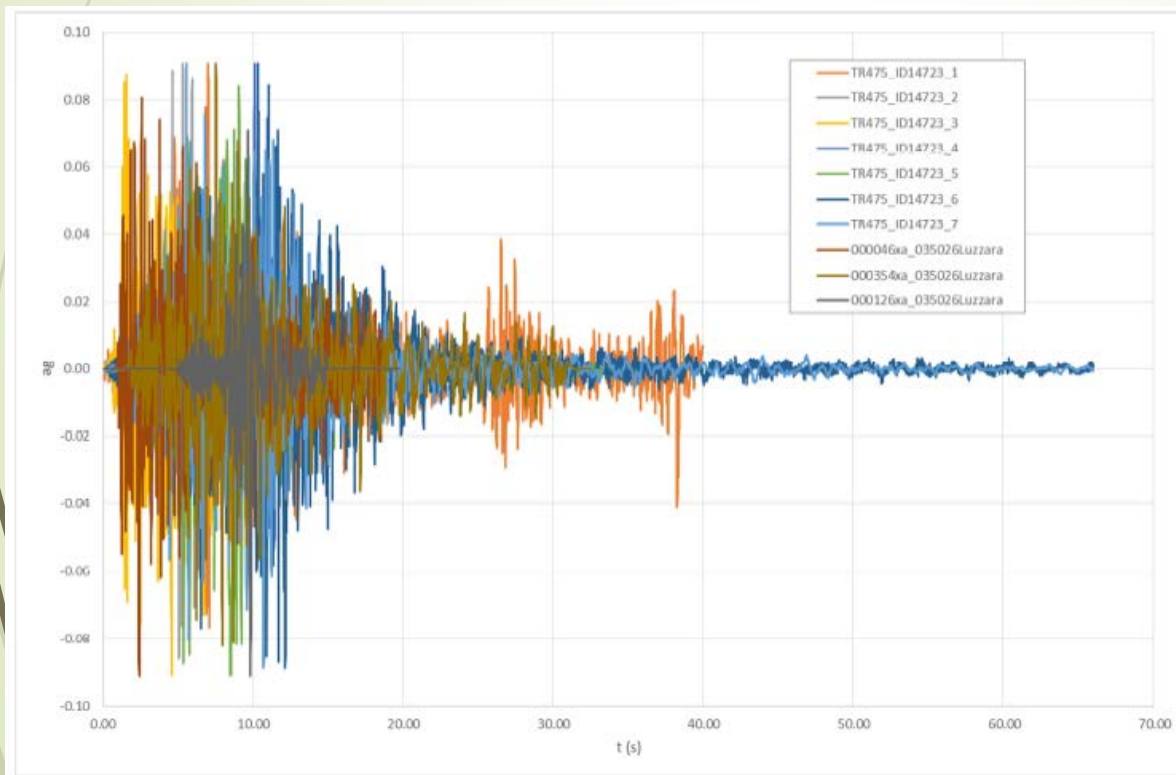
MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Segnali di input;

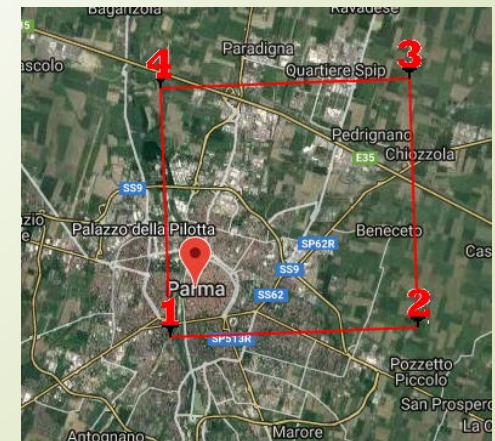
I segnali devono essere «spettrocompatibili», cioè deve essere valutata la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banche dati:

Nello studio di Parma sono stati utilizzati:

- * 3 segnali RER (DAL 112/2007)
- * 7 segnali SEISM_HOME di Eucentre



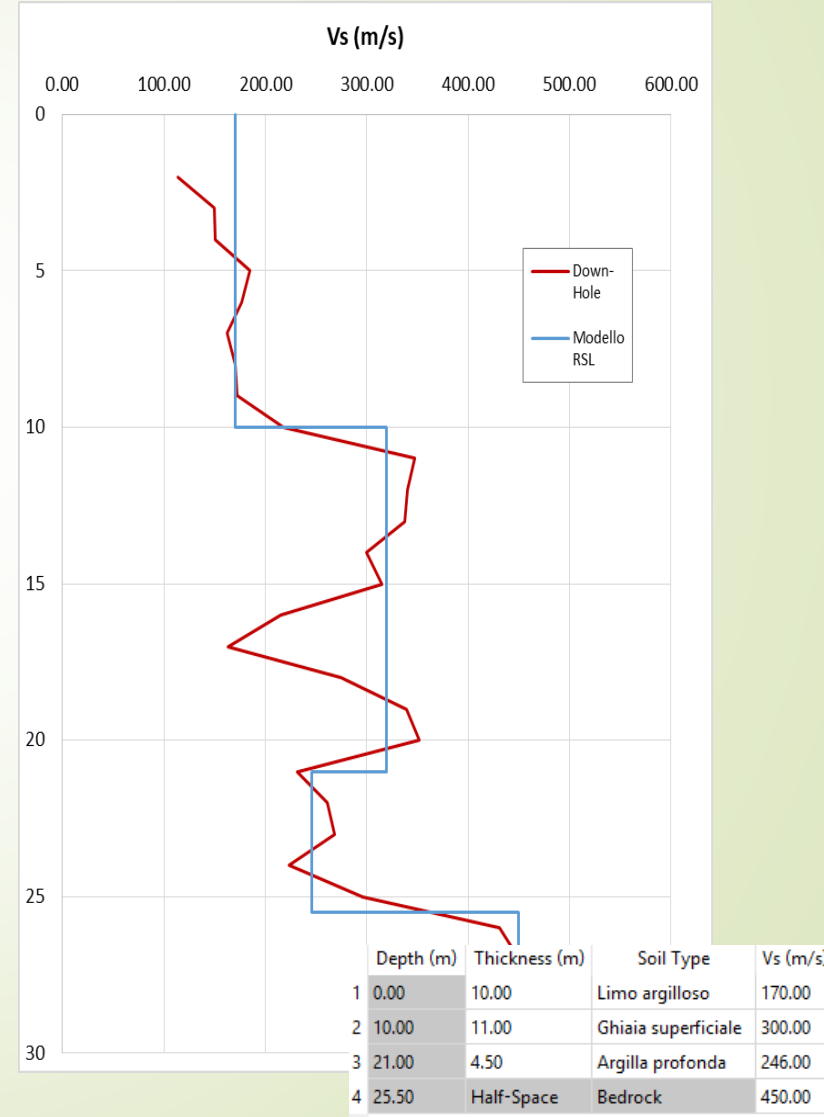
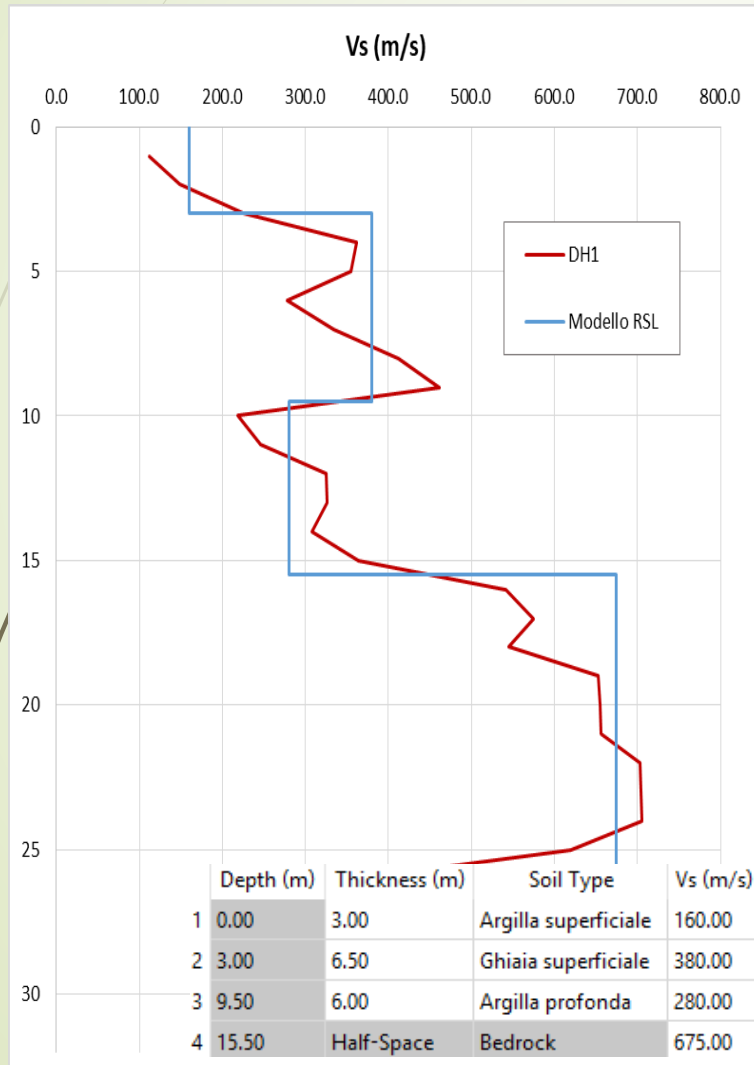
I segnali vengono scalati, per ciascun sito di RSL, in modo che la a_{max} corrisponda al valore del sito studiato, calcolata dall'allegato A delle NTC 2008, per interpolazione, su Suolo A



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Modello geofisico del sottosuolo fino al bedrock:

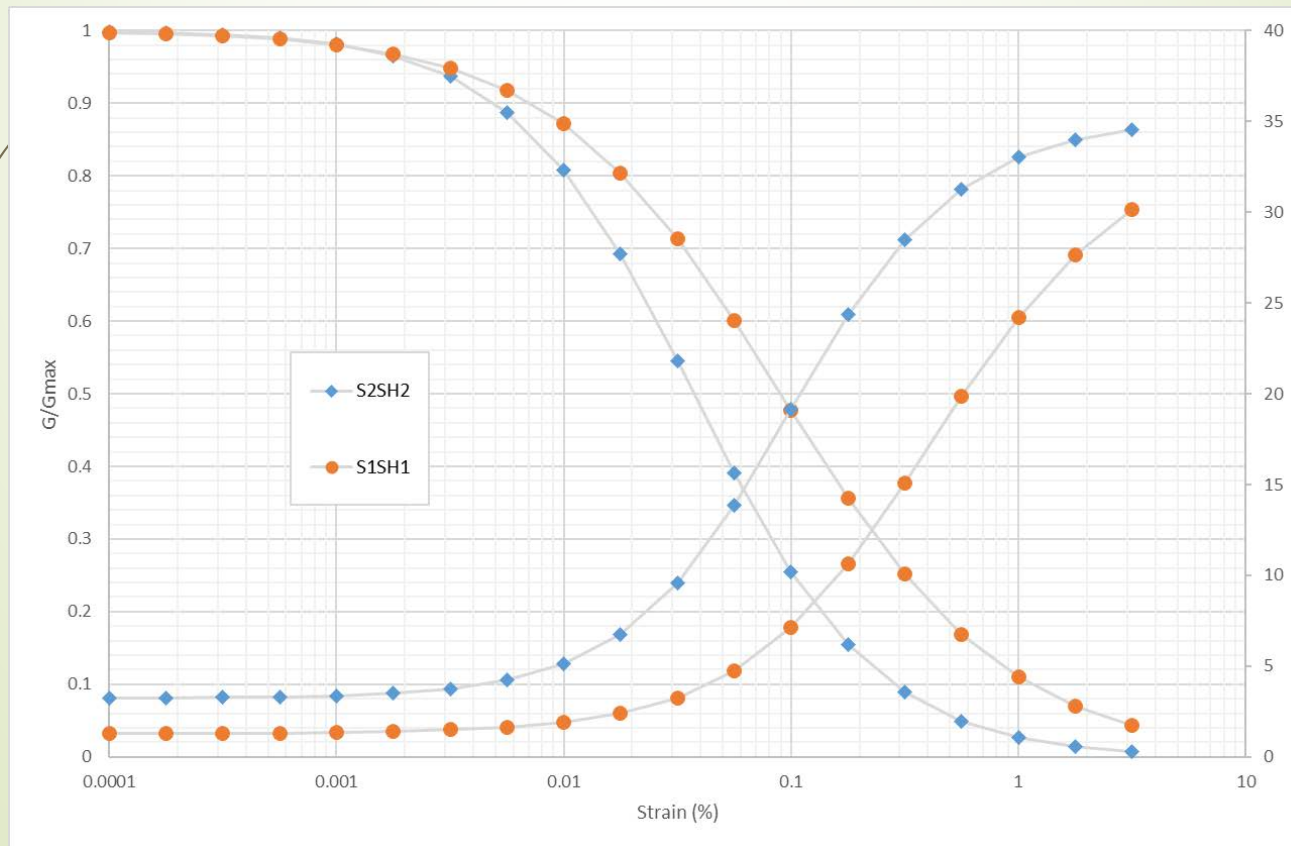
- Litologia e Vs – Prove Down-Hole;



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

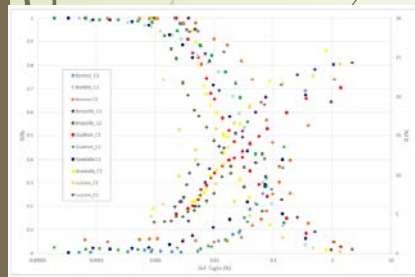
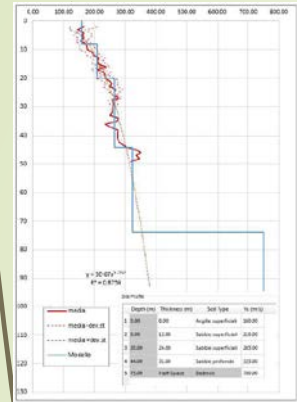
➤ Modello geofisico del sottosuolo fino al bedrock:

- Curve di variazione dello smorzamento D in funzione della deformazione (per ciascuno strato)
- Curve di variazione della rigidezza G/G_0 in funzione della deformazione (per ciascuno strato)



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

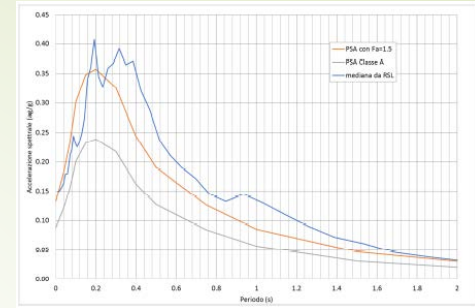
Risultati:



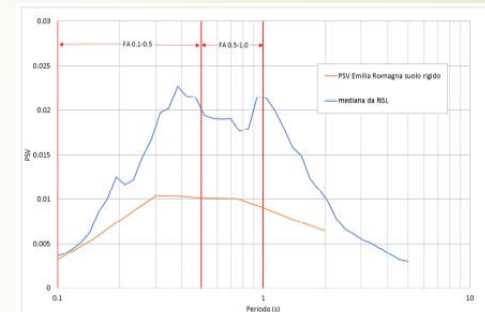
Strato	Litologia	Spess.	Prof.	γ	V_s	Parametri G/G0		Parametri D	
m	m	m	m	kN/m ³	m/s	α	β	η	λ
1	Argille	8	8	18.5	160	31.26	1.03	26.61	1.24
2	Sabbie	12	20	19.5	210	39.45	1.24	26.03	1.07
3	Sabbie	24	44	19.5	265	39.45	1.24	26.03	1.07
4	Sabbie	31	75	20.5	325	39.45	1.24	26.03	1.07
5	Bedrock			22.0	750				



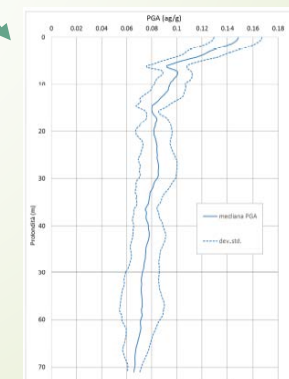
Strata (modello lineare equivalente) calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo



Spettro di risposta elastico in accelerazione



Spettro di risposta elastico in velocità



Profilo dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	2.00
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.65
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.09
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.07

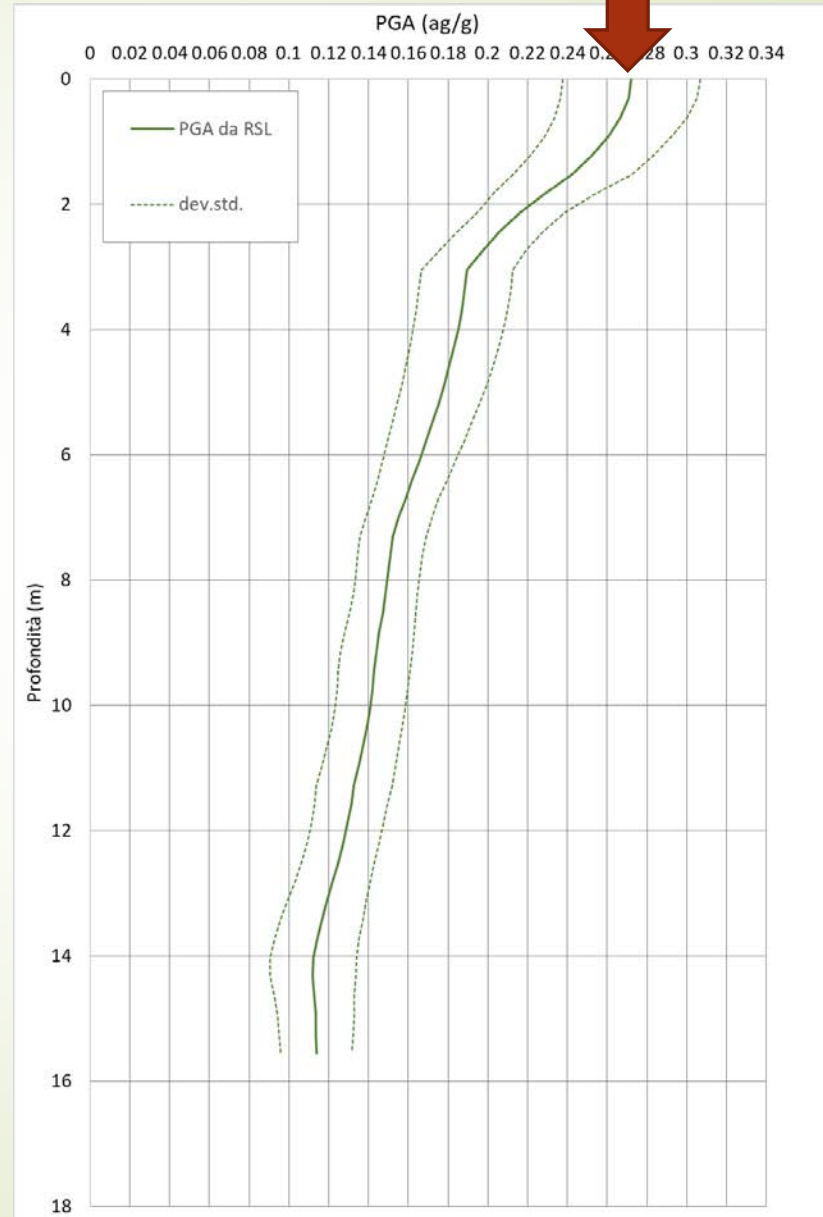
Fattori di amplificazione

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

PGA

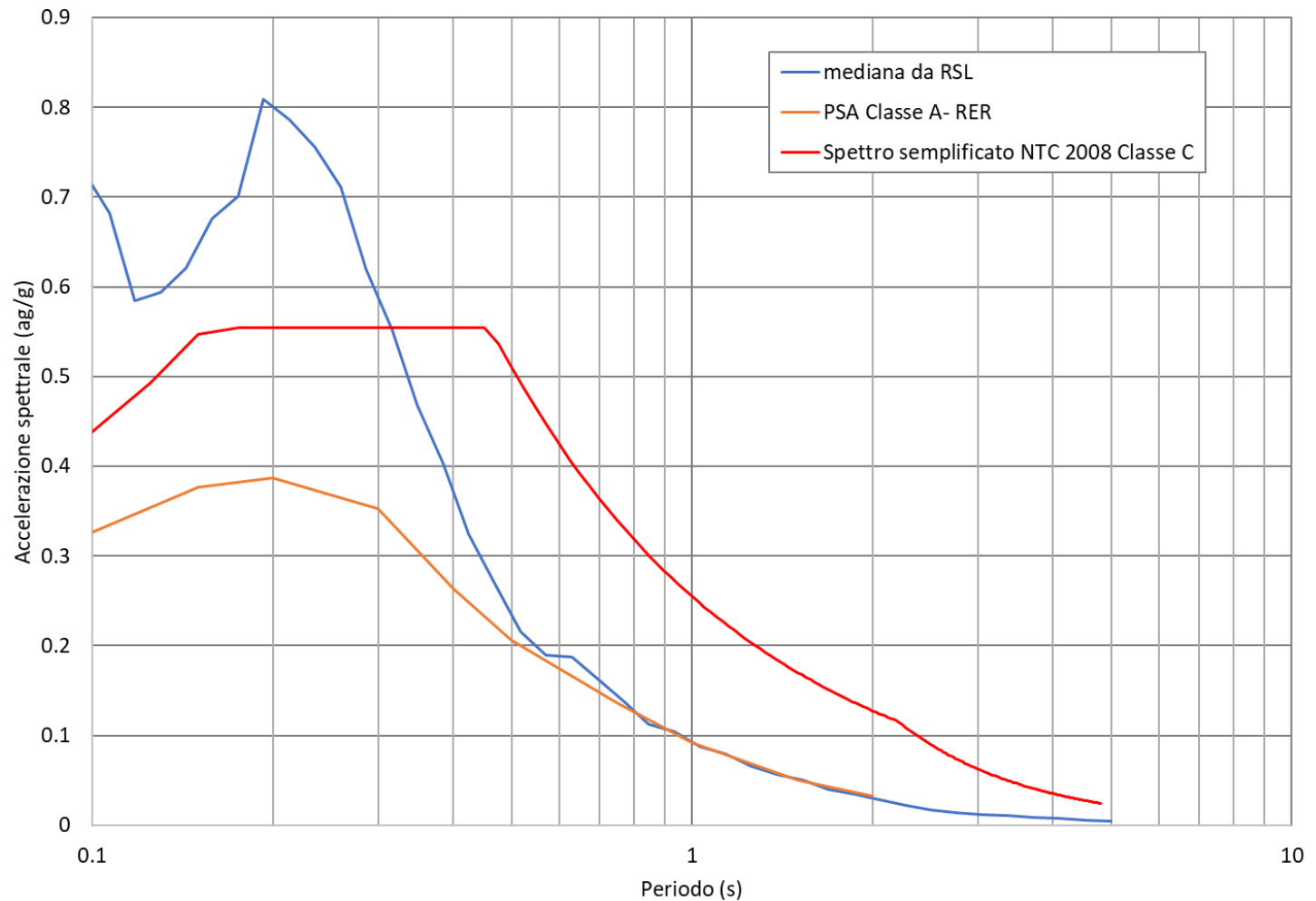
➤ Risultati: Fa_{PGA}

Fa_{PGA} = rapporto tra
l'accelerazione massima
in superficie ed il valore di
riferimento per il sito su
suolo rigido;



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

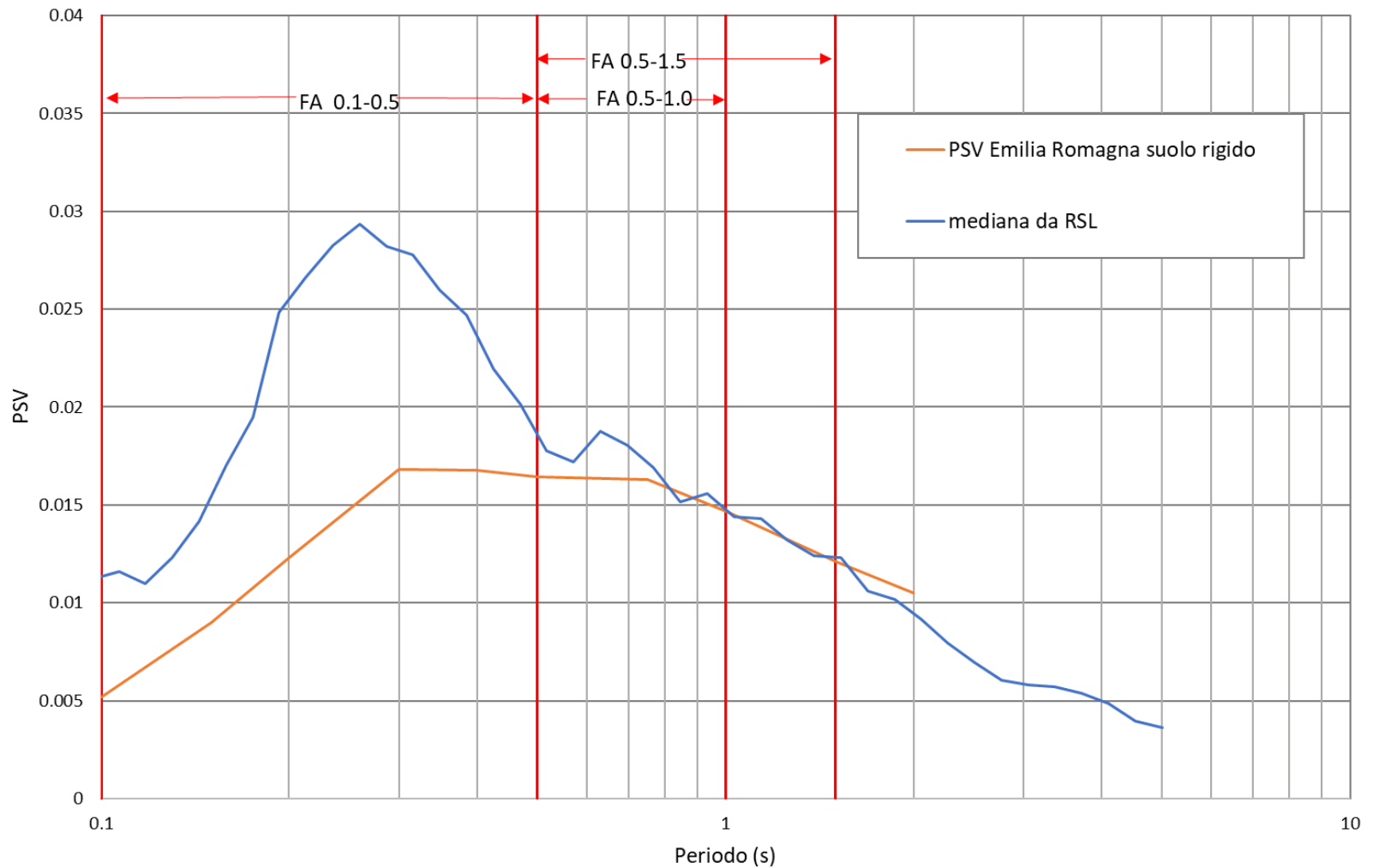
➤ Risultati: Spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA)



Spettro di risposta elastico in accelerazione

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Risultati: Spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV)



Spettro di risposta elastico in velocità

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

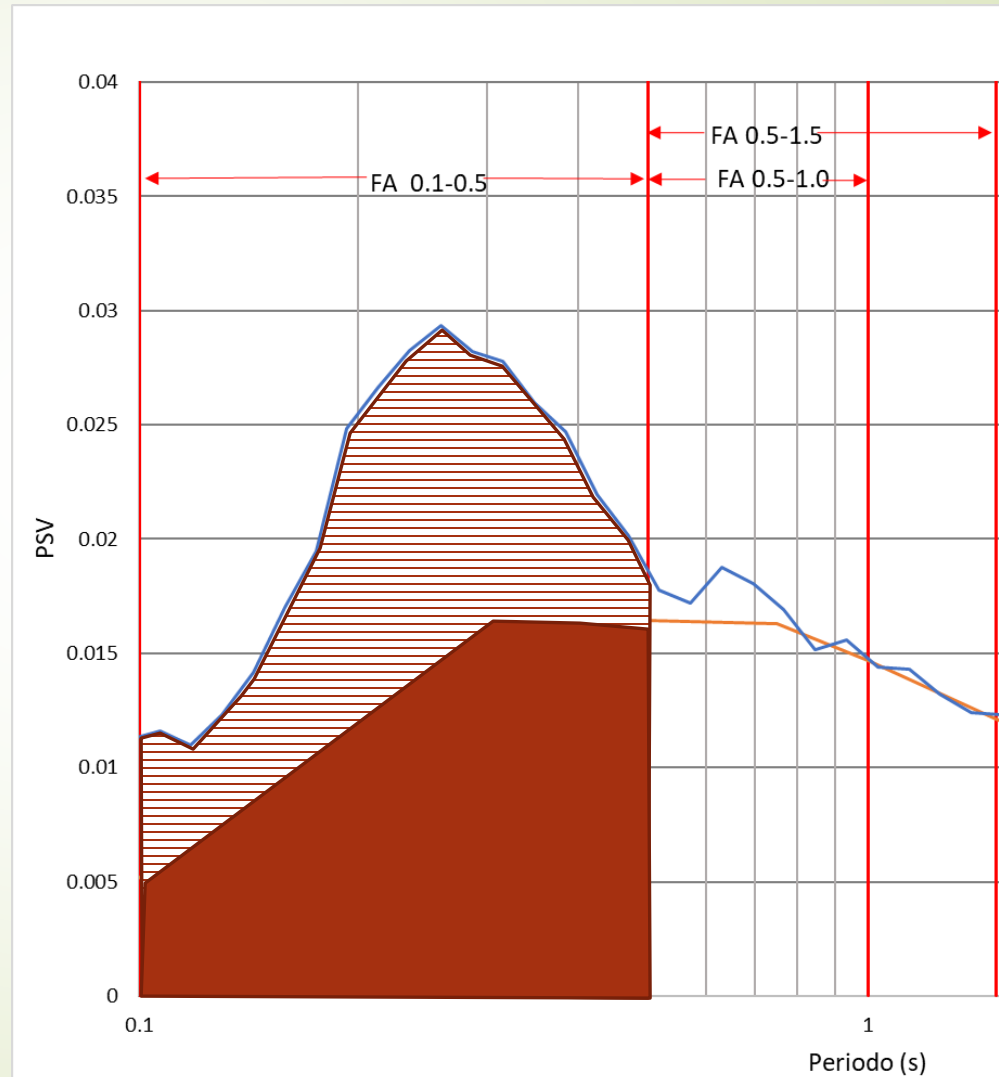
➤ Risultati: Spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV)

FA_{IS} = fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FAIS) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

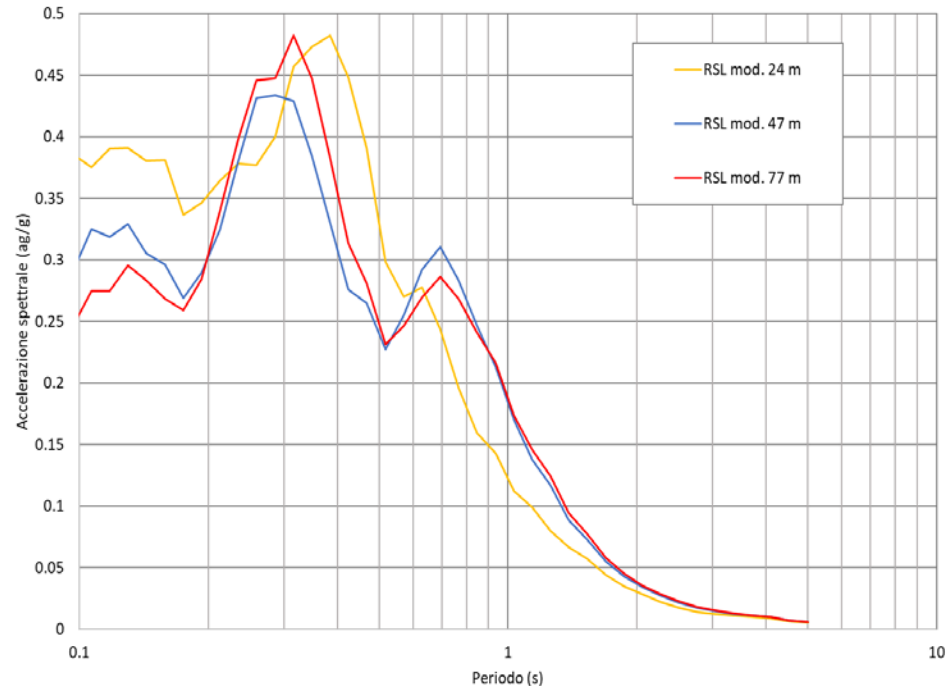
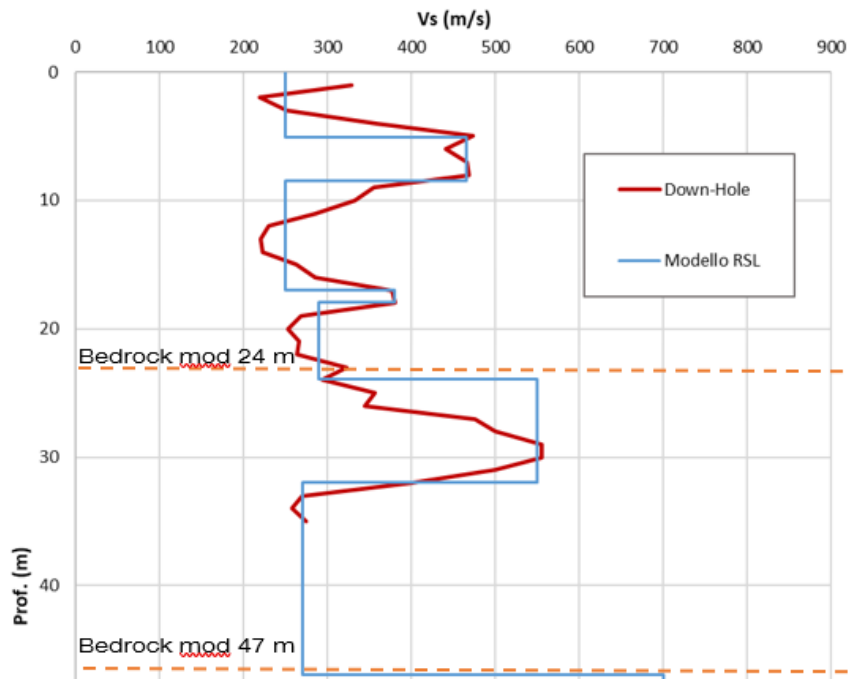


Spettro di risposta elastico in velocità

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Problema del Bedrock sismico

Confronto tra gli spettri di risposta in accelerazione nei 3 modelli

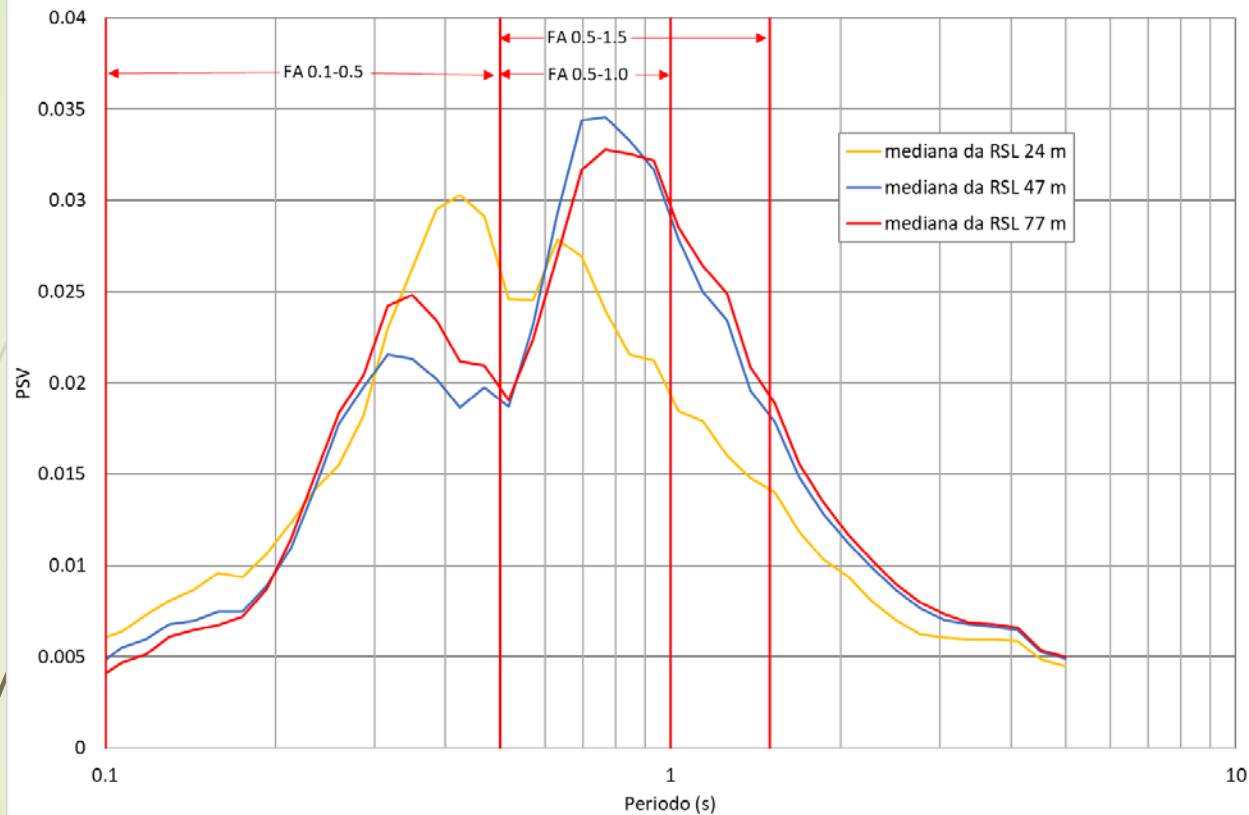


	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	5.10	limo argilloso	250.00
2	5.10	3.40	ghiaia superficiale	465.00
3	8.50	8.45	argilla superficiale	250.00
4	16.95	1.00	ghiaia profonda	380.00
5	17.95	6.00	argilla profonda	290.00
6	23.95	8.00	ghiaia profonda	550.00
7	31.95	15.00	argilla profonda	270.00
8	46.95	20.00	ghiaia profonda	700.00
9	66.95	10.00	argilla profonda	450.00
10	76.95	Half-Space	Bedrock	850.00

La differenza tra il modello con bedrock a 47 e a 77 m è modesta, mentre il modello a 24 sembra leggermente diverso ma...

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

➤ Problema del Bedrock sismico

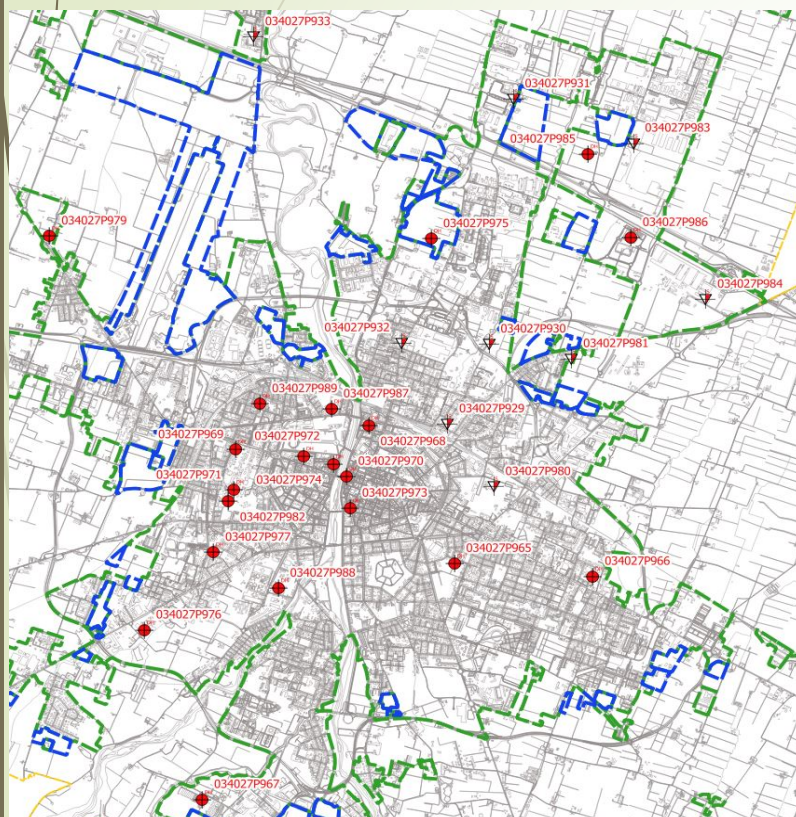


Confronto tra gli
spettri di risposta in
velocità

	Fa PGA	Fa 0.1-0.5 s	Fa 0.5-1.0 s	Fa 0.5-1.5 s
Modello 24 m	1.38	1.36	1.46	1.34
Modello 47 m	1.16	1.08	1.97	1.81
Modello 77 m	1.20	1.15	1.92	1.83

Ciò che è **realmente diverso** è il risultato in termini di fattori di amplificazione

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

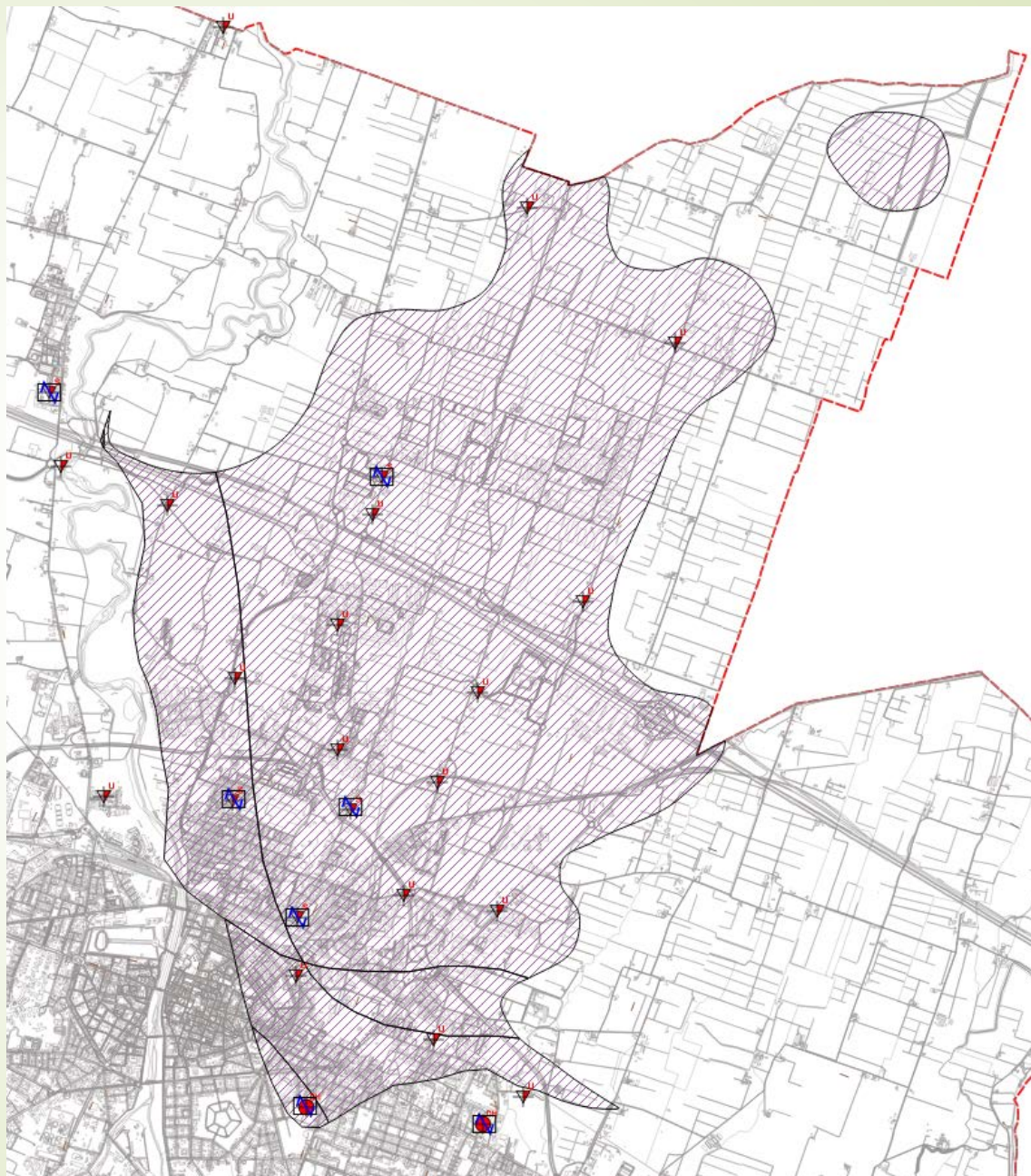


Indagine	FA _{PGA}	FA _{IS 0.1-0.5}	FA _{IS 0.5-1.0}	FA _{IS 0.5-1.5}
P929	1.51	1.69	1.47	1.34
P930	1.33	1.31	1.63	1.42
P931	1.26	1.28	1.7	1.76
P932	1.38	1.34	1.99	1.69
P933	1.42	1.5	1.48	1.3
P965	2	1.65	1.09	1.07
P966	1.27	1.47	2.32	2.09
P967	1.72	1.42	1.02	1.01
P968	1.25	1.23	1.69	1.5
P969	1.71	1.91	1.48	1.39
P970	1.2	1.16	1.76	1.57
P971	1.38	1.42	1.5	1.37
P972	1.61	1.62	1.35	1.32
P973	1.58	1.52	1.23	1.16
P974	1.87	1.69	1.1	1.08
P975	1.87	1.69	1.1	1.08
P976	1.12	1.13	1.45	1.38
P977	1.2	1.18	2.33	2.14
P979	1.73	1.27	1.01	1.02
P980	1.61	1.66	2.63	2.17
P981	1.2	1.25	2.19	1.94
P982	1.16	1.08	1.97	1.81
P983	1.43	1.36	2.26	1.95
P984	1.26	1.18	1.99	1.77
P985	1.27	1.19	1.88	1.58
P986	1.21	1.19	1.78	1.86
P987	1.28	1.11	1.74	1.6
P988	1.44	1.48	1.14	1.07
P989	1.57	1.49	1.19	1.16

MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Liquefazione

La MS2 individuava una zona con presenza di lenti sabbiose sotto falda e quindi con potenziale rischio di liquefazione



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Liquefazione

Interessa, prevalentemente, i depositi granulari: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi

Fattore di sicurezza alla liquefazione (per ogni strato)

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

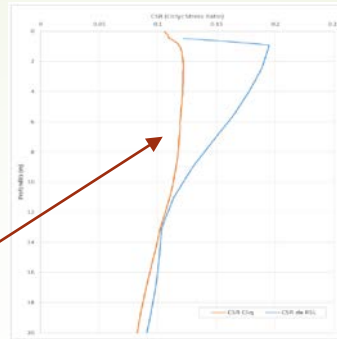
dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per $M=7.5$ (*Cyclic Resistance Ratio*)

MSF = fattore di scala della magnitudo (*Magnitude Scale Factor*)

K_σ = Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR^{12} = rapporto di tensione ciclica (*Cyclic Stress Ratio*) = $CSR = 0.65 \left(\frac{\sigma_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{ho}} \right) \cdot r_d$



LPI valutazione complessiva del rischio di liquefazione per una

$$LPI = \int_0^{20} F(z) W(LPIz) dz$$

Dove:

- $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq 20$, in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL
- $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

LPI=Liquafation Potenzial Index

Terremoto del 20 maggio 2012

LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low

LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

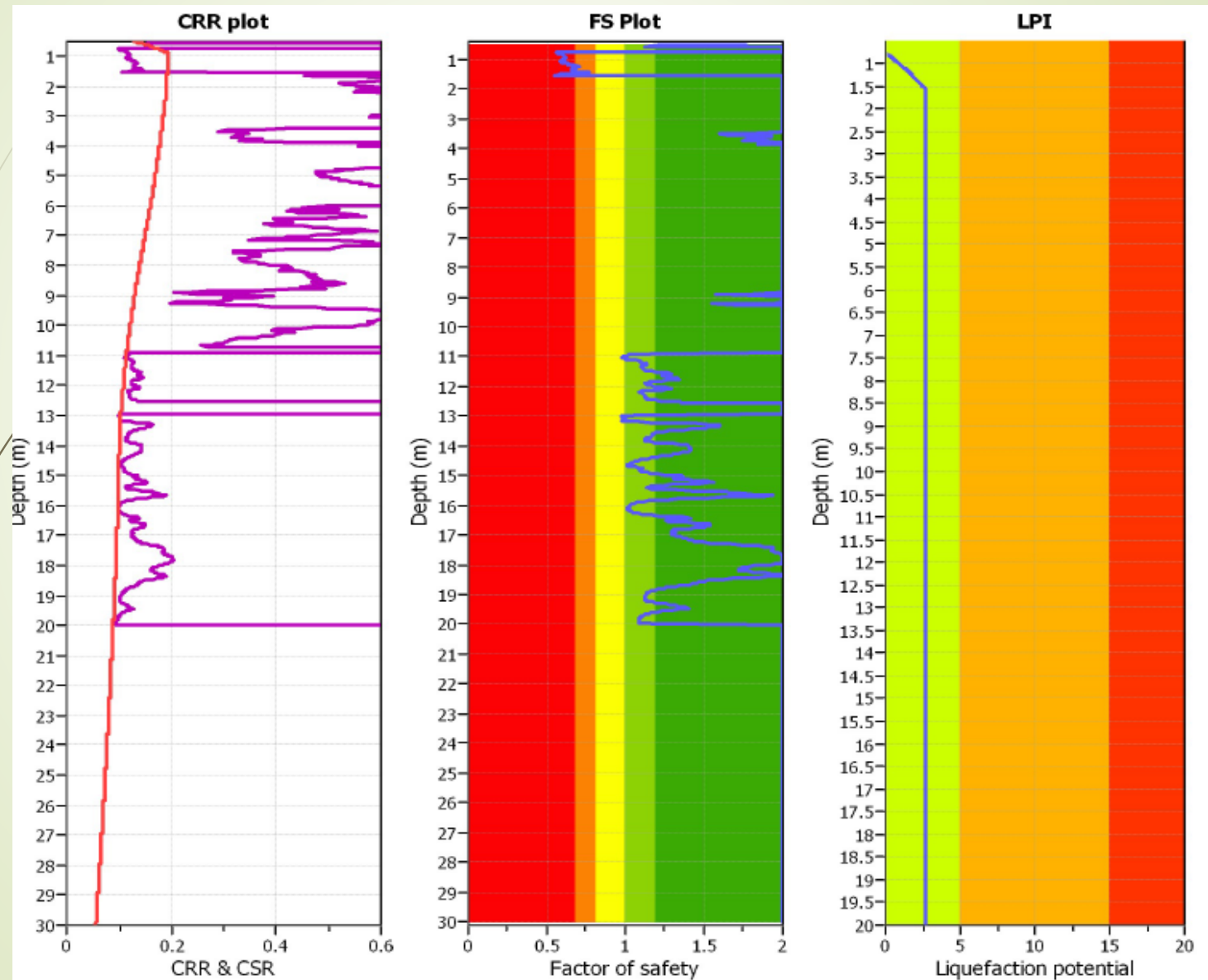
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Liquefazione

➤ Verifica effettuata su 34 verticali



➤ Verifica effettuata su 34 verticali

Tipologia prova	Codice prova	LPI	Tipologia prova	Codice prova	LPI
CPTU_1	034027P935	0.60	CPTU_18	034027P951	0.51
CPTU_2	034027P957	0.14	CPTU_19	034027P952	1.70
CPTU_3	034027P936	0.17	CPTU_20	034027P953	0.27
CPTU_4	034027P937	0.00	CPTU_21	034027P954	0.28
CPTU_5	034027P938	0.04	CPTU_22	034027P955	0.13
CPTU_6	034027P939	0.00	CPTU_23	034027P956	1.12
CPTU_7	034027P940	0.00	SCPTU_1	034027P929	0.02
CPTU_8	034027P941	0.01	SCPTU_2	034027P930	0.09
CPTU_9	034027P942	1.21	SCPTU_3	034027P931	0.00
CPTU_10	034027P943	0.29	SCPTU_4	034027P932	0.05
CPTU_11	034027P944	0.12	SCPTU_5	034027P933	0.03
CPTU_12	034027P945	0.04	SCPTU	034027P980	0.00
CPTU_13	034027P946	0.00	SCPTU	034027P981	0.95
CPTU_14	034027P947	2.10	SCPTU	034027P983	0.29
CPTU_15	034027P948	0.42	CPTU	034027P990	0.06
CPTU_16	034027P949	0.28	CPTU	034027P991	0.15
CPTU_17	034027P950	0.00	CPTU	034027P992	0.11

Nel complesso il rischio di liquefazione è da considerare trascurabile

N.B.: la verifica a liquefazione è comunque obbligatoria in fase di progetto (NTC 2018)

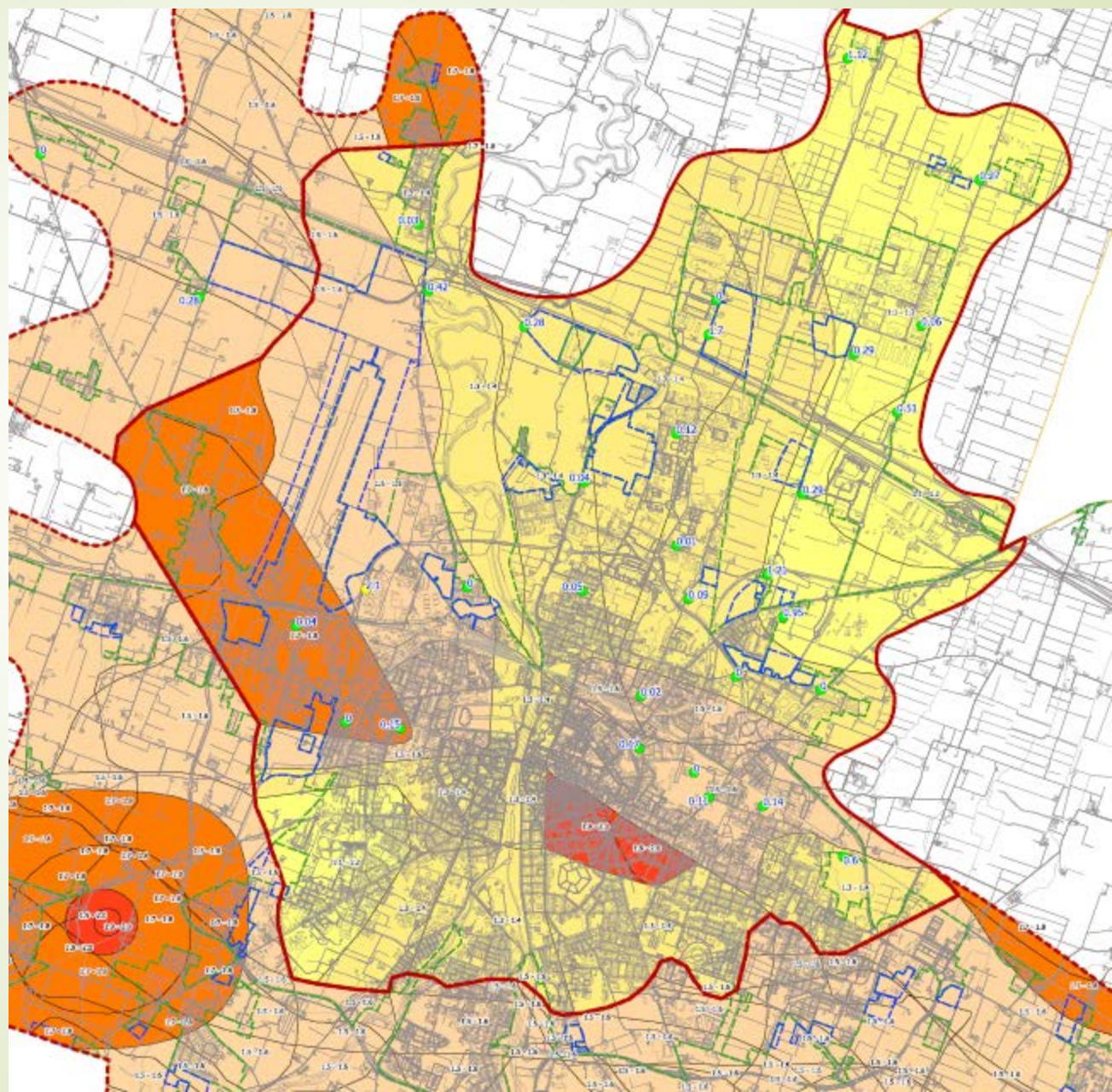
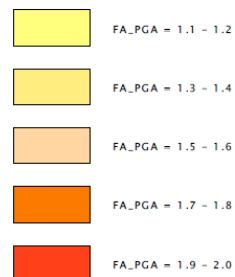
MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Carta di microzonazione sismica FA_{PGA}

Aree oggetto di microzonazione sismica



Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Carta di microzonazione sismica $FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s}$

Aree oggetto di microzonazione sismica

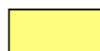


di 2° livello

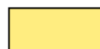


di 3° livello

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 1.1 - 1.2$



$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 1.3 - 1.4$



$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 1.5 - 1.6$



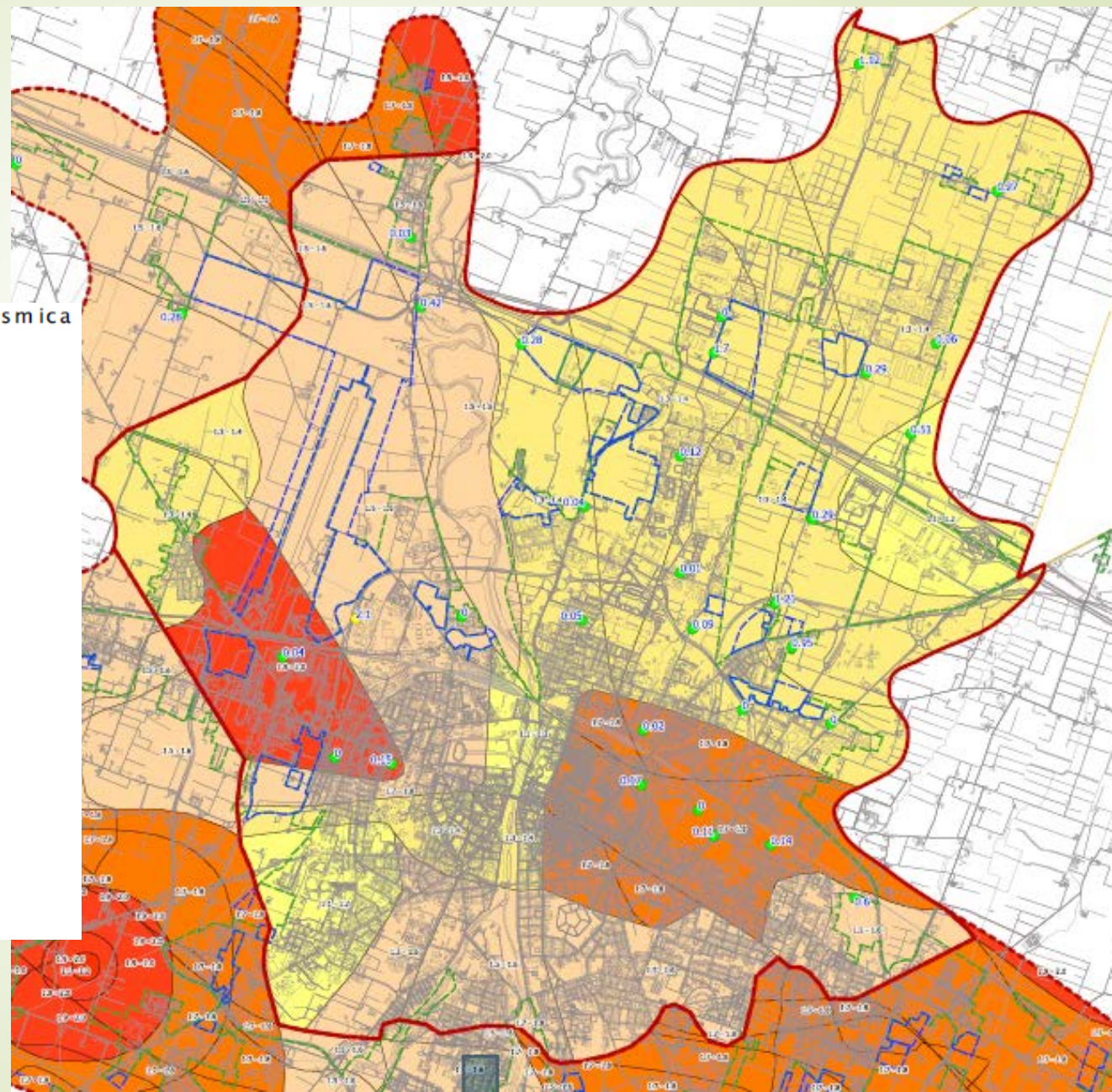
$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 1.7 - 1.8$



$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 1.9 - 2.0$



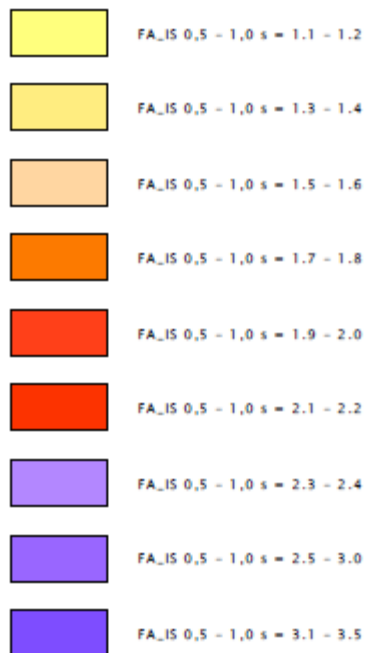
$FA_{IS\ 0.1 - 0.5\ s} = 2.1 - 2.2$



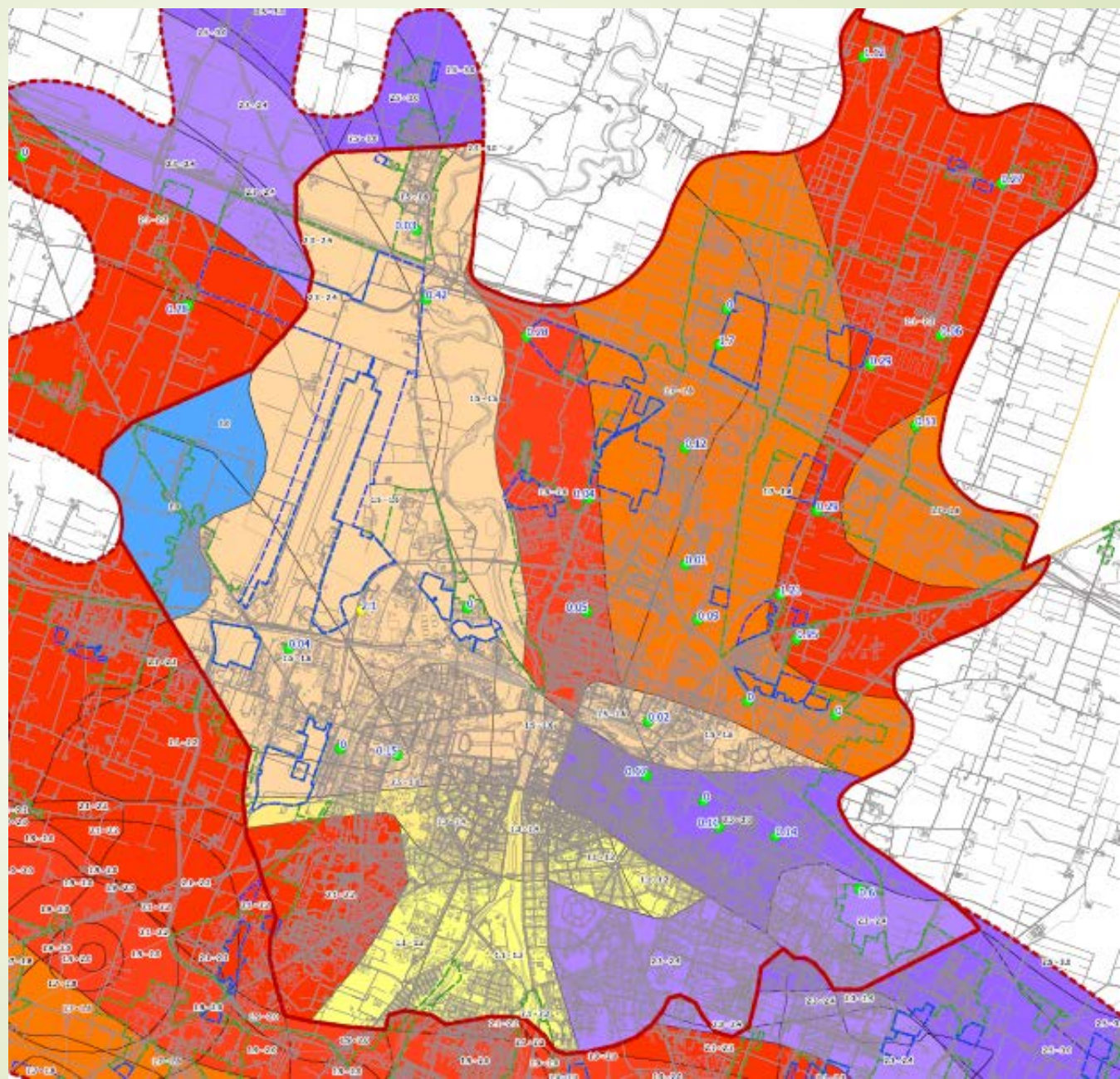
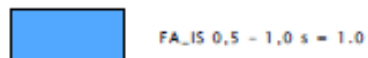
MS3 – Microzonazione 3° livello RSL

Carta di microzonazione sismica $FA_{IS\ 0.5-1.0\ s}$

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



Zone stabili



Microzonazione e pianificazione prossimo passo...

Carta di pericolosità sismica assoluta:

$$H_{MS} = ASI_{PU} * FA_{IS\ 0.1-0.5\ s\ (Tr475Y)}$$

ASI_{PU} = Acceleration Spectrum Intensity (integrale dello spettro tra 0.1 e 0.5 s)

Consentendo una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica, la zonazione del territorio in termini di H_{MS} permette di stabilire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed è quindi un elemento conoscitivo fondamentale per una più realistica valutazione del rischio sismico

