



**Individuazione delle colonne stratigrafiche
rappresentative ed analisi di risposta sismica locale
(Macroaree Guastalla, Sermide e Bondeno)
Valutazione del potenziale di liquefazione
e relative mappe**

Floriana Pergalani, Massimo Compagnoni

**Verifica sismica delle arginature in sponda destra del fiume Po
da Boretto (RE) a Ro (FE)**

**Autorità di Bacino del fiume Po, Regione Emilia-Romagna, Regione Lombardia,
Agenzia Interregionale per il fiume Po**

Parma, 11 aprile 2012



I comuni interessati sono:

Boretto, Gualtieri e Guastalla
rappresentati nei datasets 2 e 3 dalla **macroarea Guastalla**

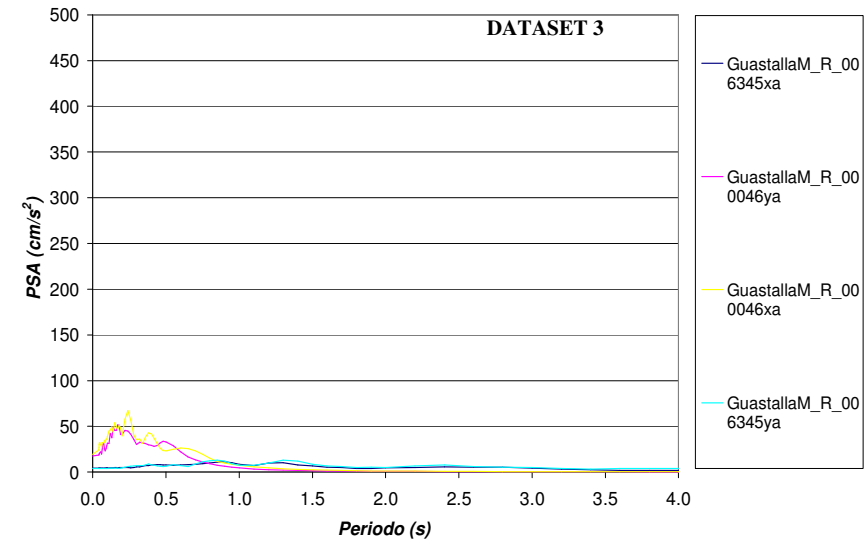
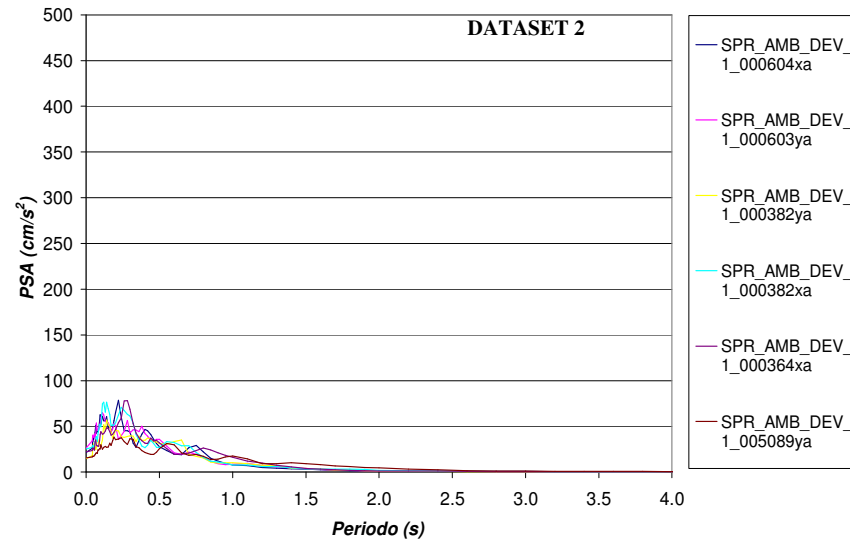
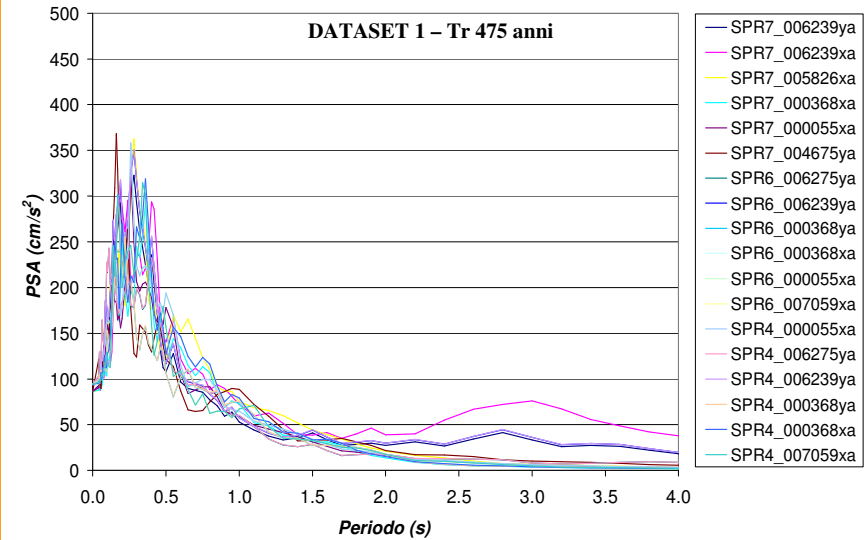
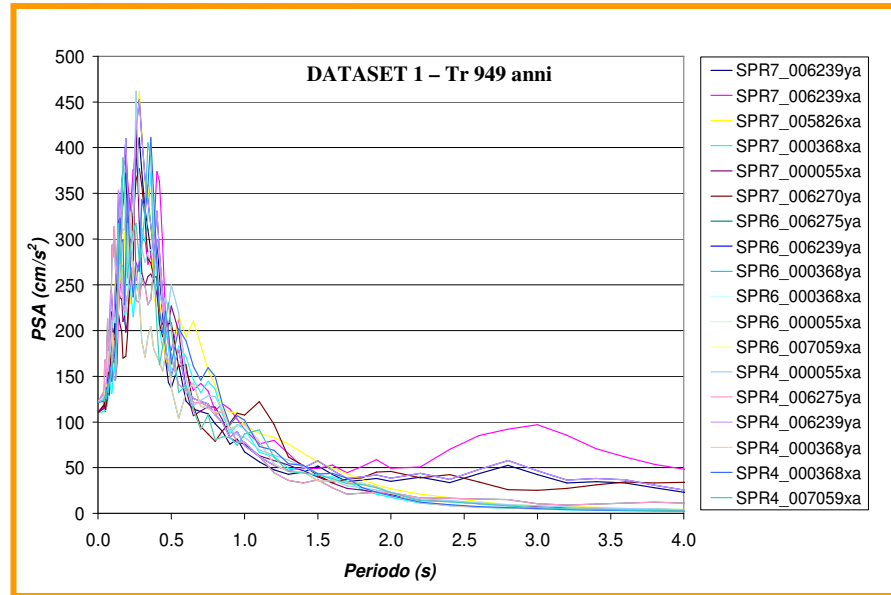
Felonica, Sermide e Carbonara Po
rappresentati nei datasets 2 e 3 dalla **macroarea Sermide**

Ferrara

Bondeno e Ro
rappresentati nei datasets 2 e 3 dalla **macroarea Bondeno**

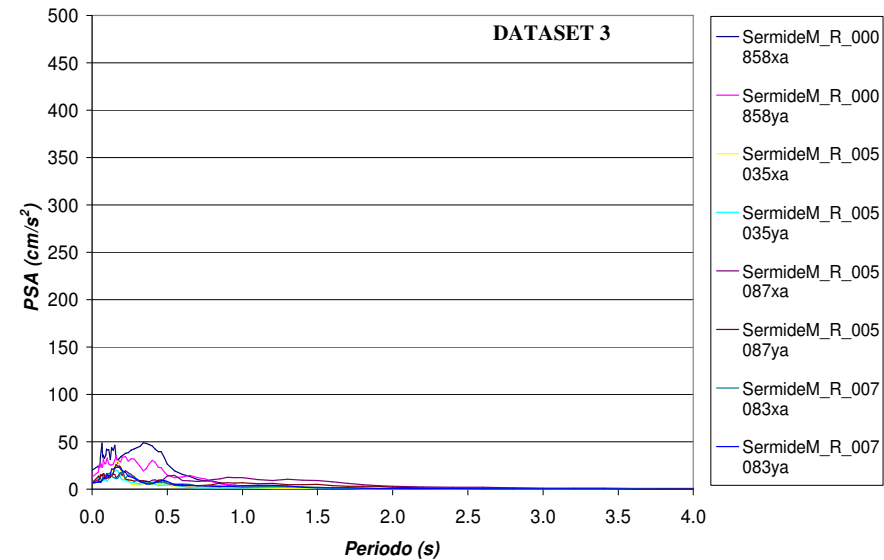
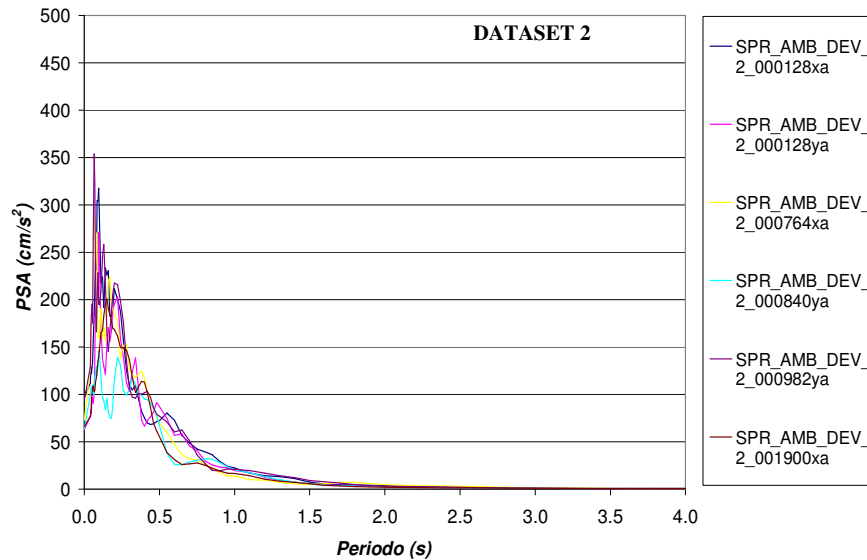
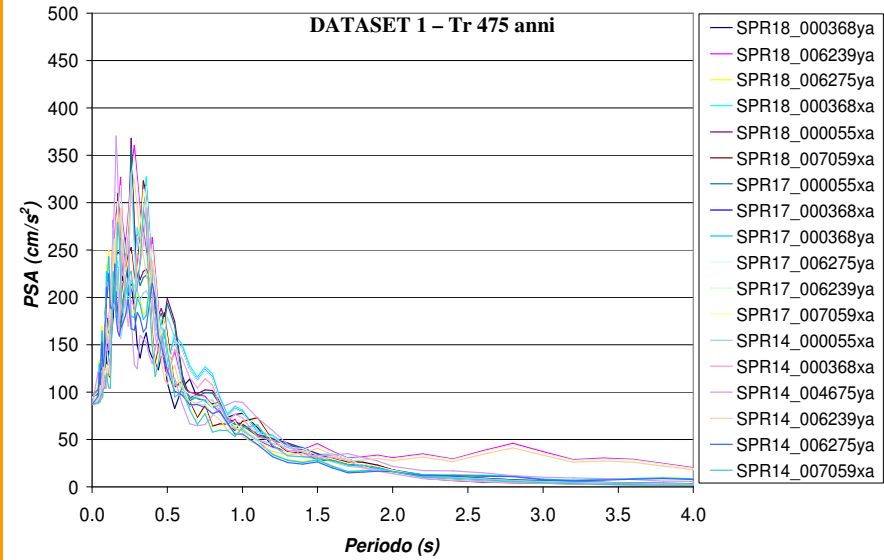
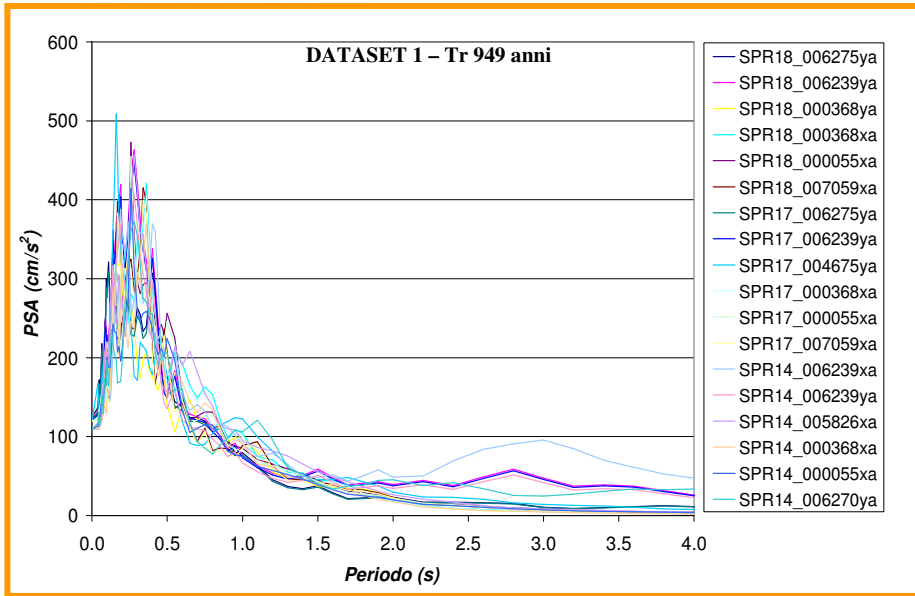


CONFRONTO SPETTRI GUASTALLA



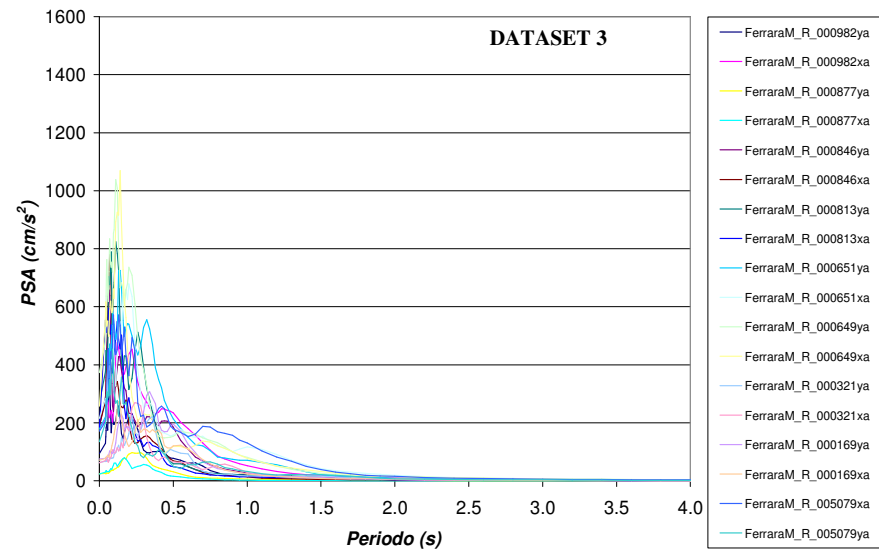
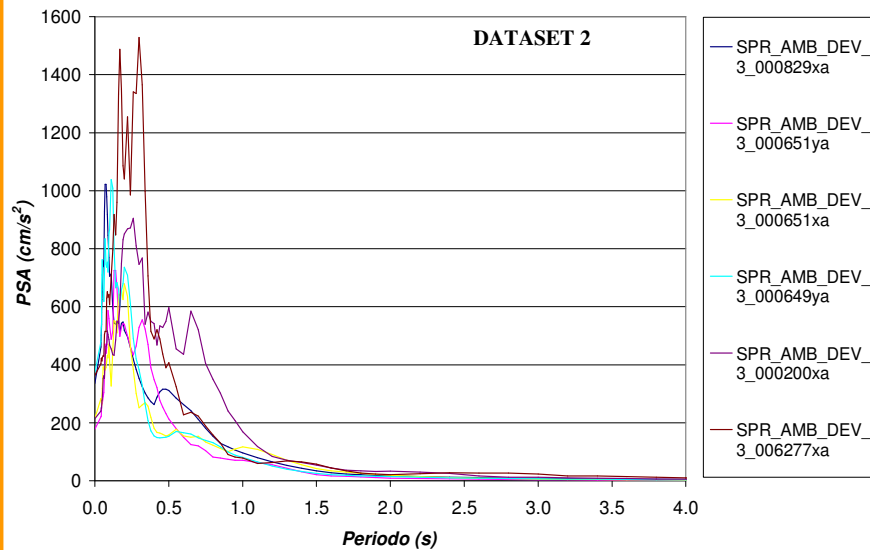
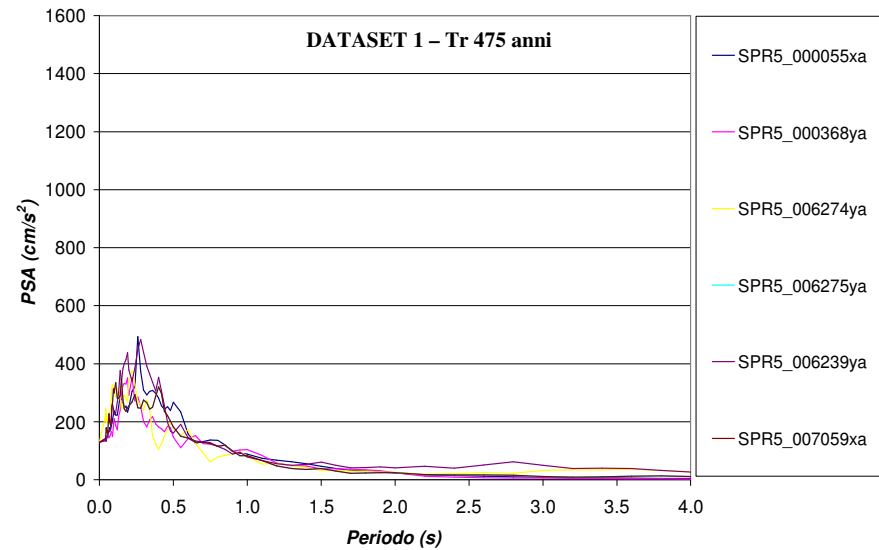
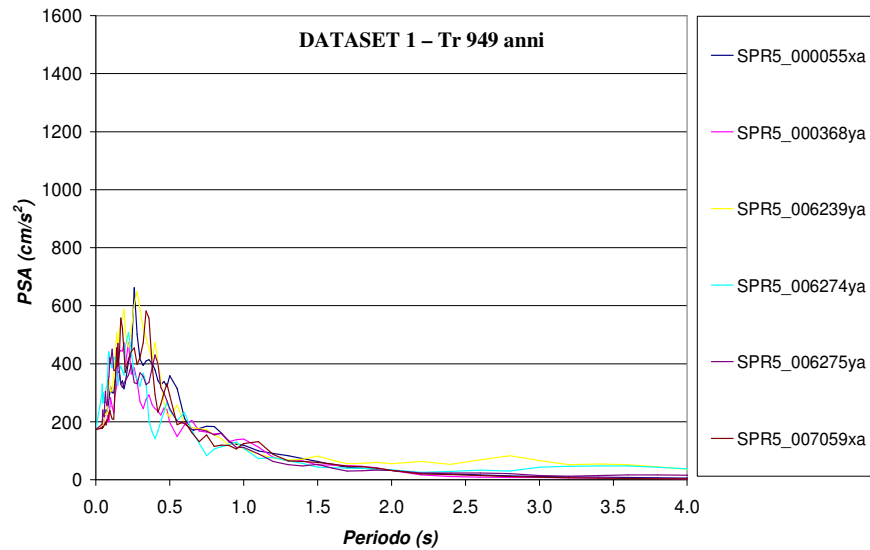


CONFRONTO SPETTRI SERMIDE



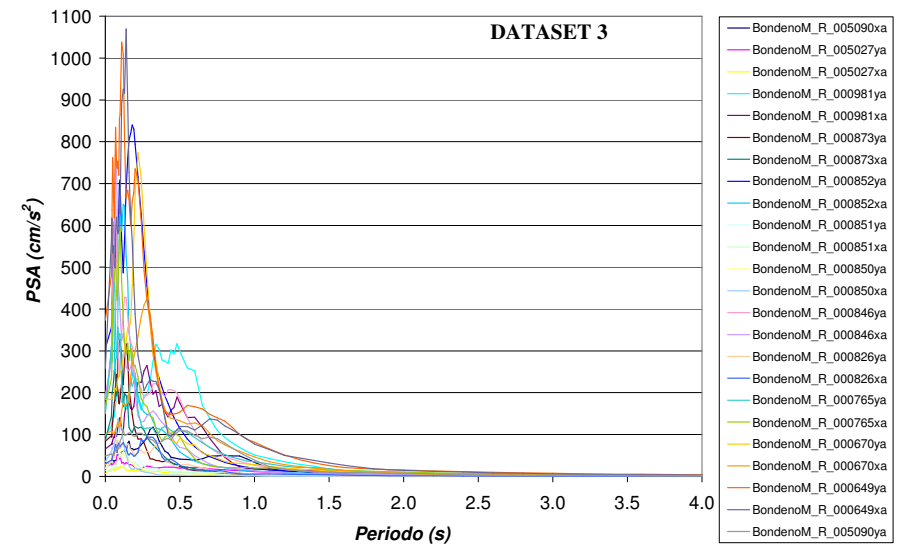
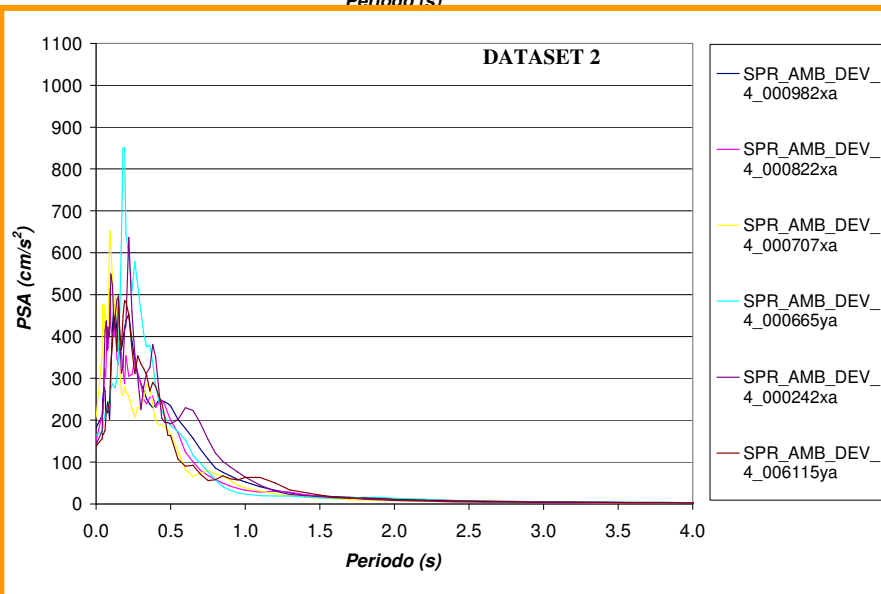
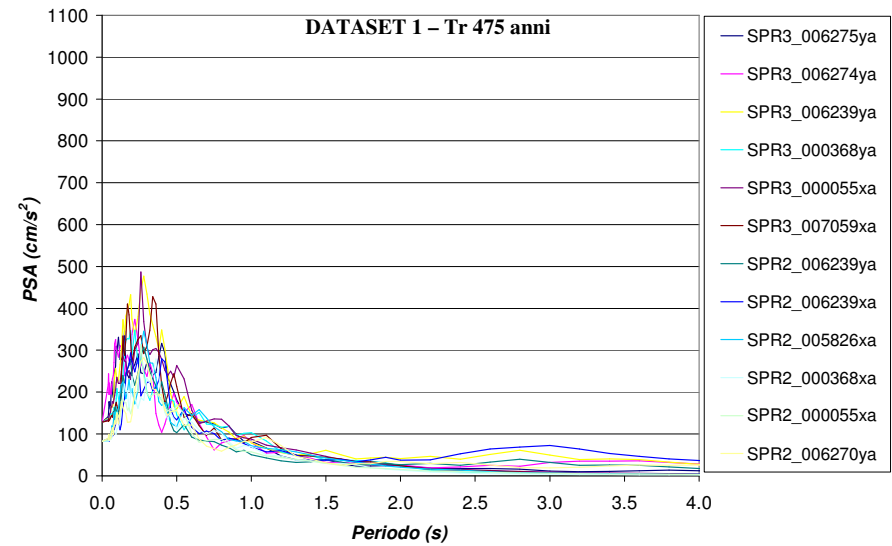
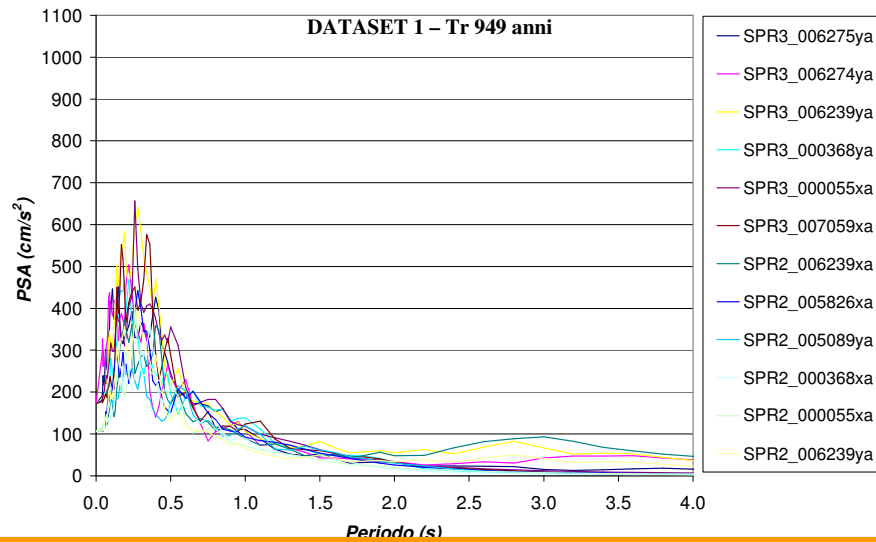


CONFRONTO SPETTRI FERRARA





CONFRONTO SPETTRI BONDENO





PARAMETRI CALCOLATI



pga (picco in accelerazione, cm/s^2)

pgv (picco in velocità, cm/s)

pgd (picco in spostamento, cm)

si (intensità spettrale calcolata nell'intervallo 0.1-2.5, cm)

si₀₅ (intensità spettrale calcolata nell'intervallo 0.1-0.5, cm)

si₁₅ (intensità spettrale calcolata nell'intervallo 0.5-1.5, cm)

a. i. (Arias Intensity, cm/s)

d₉₀ (durata significativa con scarto del 5%, s)

Pd₉₀ (potenziale distruttivo al tempo d₉₀, cms)

dt (tempo totale della registrazione, s)

Pd_f (potenziale distruttivo al tempo dt, cms)



METODOLOGIA

Individuazione di sequenze sismo-stratigrafiche semplificate, posizionate alla base dell'argine mediante analisi dei dati geologici, geofisici e geotecnici per ciascuna macroarea:

- **Individuazione di sequenze stratigrafiche dai modelli geologici ricostruiti lungo sezioni trasversali e longitudinali: corpo arginale Ar, unità A - sabbie dei depositi di canale fluviale; unità B - limi sabbiosi e sabbie limose dei depositi di argine; unità C - argille e limi dei depositi di piana inondabile; unità D - sabbie, limi e argille dei depositi golenali.**
- **Accorpamento tra sezioni geologiche che presentano analogie in termini di litologia, spessore e sequenza delle unità geologiche.**



METODOLOGIA

- Raccolta e confronto dei dati geofisici e geotecnici disponibili dalle verticali di indagine: sondaggi a carotaggio continuo e relative prove Down-Hole (DH) e Cross-Hole (CH), prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT), prove con cono sismico (SCPT), indagini a rifrazione, indagini MASW e REMI, tomografie elettriche e misure di rumore HVSR e dati geotecnici disponibili dalle prove di laboratorio eseguite su campioni indisturbati prelevati nei fori di sondaggio.
- Individuazione dei valori di velocità delle onde di taglio V_s rappresentativi di ciascuna unità geologica al fine di definire le sequenze sismo-stratigrafiche tipo.



METODOLOGIA

- **Scelta dei parametri geotecnici statici e dinamici:**
 - **peso di volume,**
 - **rapporto di smorzamento iniziale D_0 ,**
 - **curve di decadimento del modulo di taglio G/G_0 e del rapporto di smorzamento D in funzione della deformazione tangenziale γ .**
- **Modellazione numerica di ciascuna sequenza sismo-stratigrafica individuata, utilizzando un codice di calcolo monodimensionale applicando a ciascuna sequenza 6 accelerogrammi costituenti il dataset accelerometrico assegnato a ciascuna macroarea.**



RISULTATI

- **Espressi in termini di valori medi dei fattori di amplificazione e di spettro di risposta elastico medio in accelerazione al 5% dello smorzamento critico; in particolare i fattori di amplificazione utilizzati sono definiti come rapporti tra gli integrali del moto di output e del moto di input (intensità spettrale SI), calcolati in due intervalli predefiniti di periodo di vibrazione (0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s) sia sugli spettri di accelerazione PSA (FH - ICMS, 2011) sia sugli spettri di velocità PSV:**

$$Fa_{0.5-1.5} = \frac{si_{0.5-1.5}(\text{PSVoutput})}{si_{0.5-1.5}(\text{PSVinput})}$$

$$Fa_{0.5-1.5} = \frac{si_{0.5-1.5}(\text{PSVoutput})}{si_{0.5-1.5}(\text{PSVinput})}$$

$$FH_{0.1-0.5} = \frac{si_{0.1-0.5}(\text{PSAoutput})}{si_{0.1-0.5}(\text{PSAinput})}$$

$$FH_{0.5-1.5} = \frac{si_{0.5-1.5}(\text{PSAoutput})}{si_{0.5-1.5}(\text{PSAinput})}$$



RISULTATI

- Individuazione di gruppi di sequenze sulla base dei valori medi dei diversi fattori di amplificazione e delle forme spettrali medie in accelerazione ottenute per ciascuna sequenza sismo-stratigrafica analizzata.
- Selezione della sequenza stratigrafica rappresentativa di ciascun gruppo alla quale associare le corrispondenti sezioni geologiche.
- Predisposizione della banca dati accelerometrica e dei relativi parametri rappresentativi del moto sismico atteso in corrispondenza della base dell'argine fluviale.



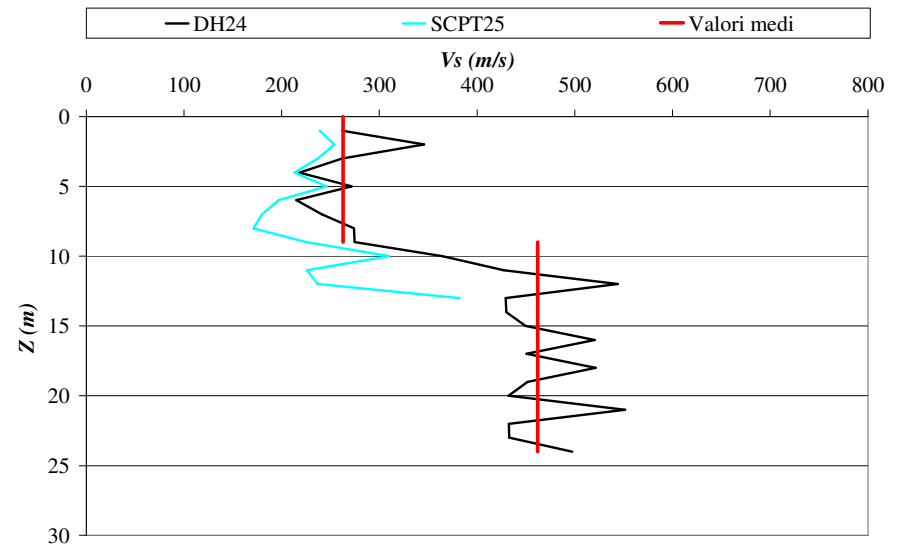
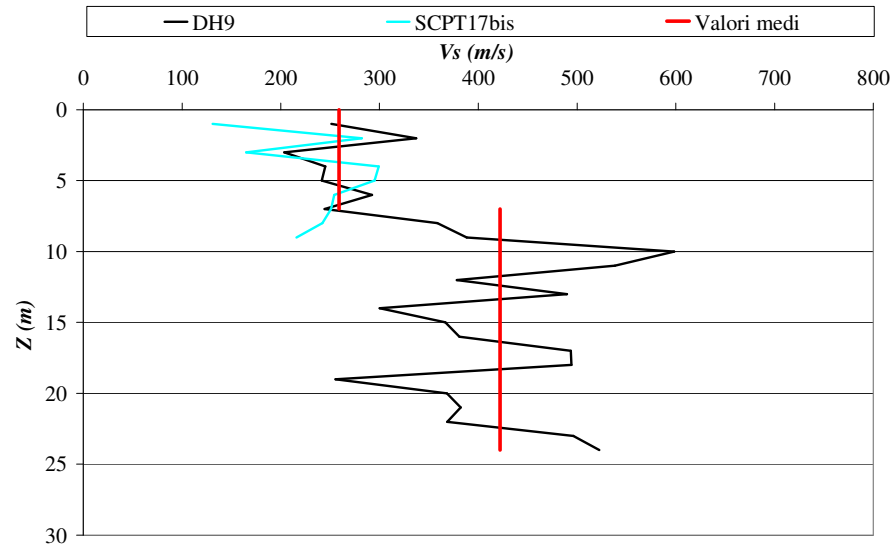
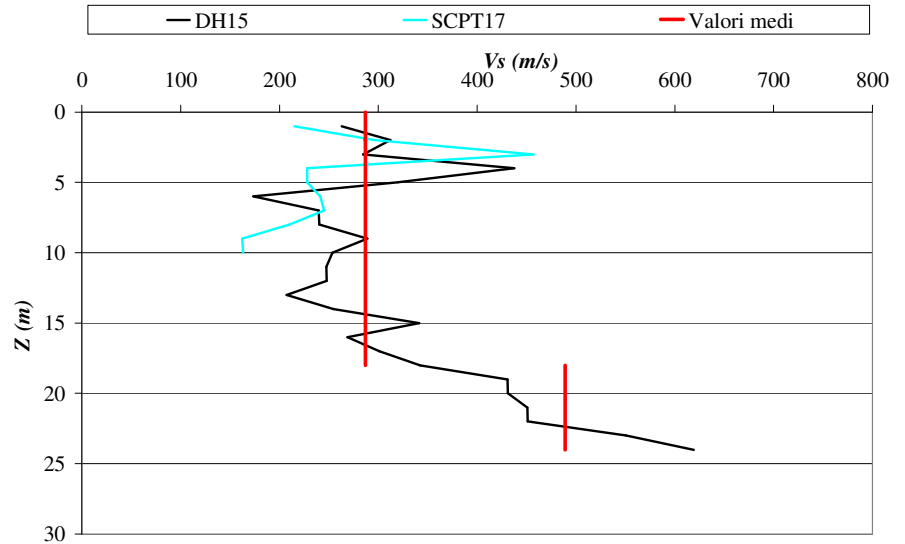
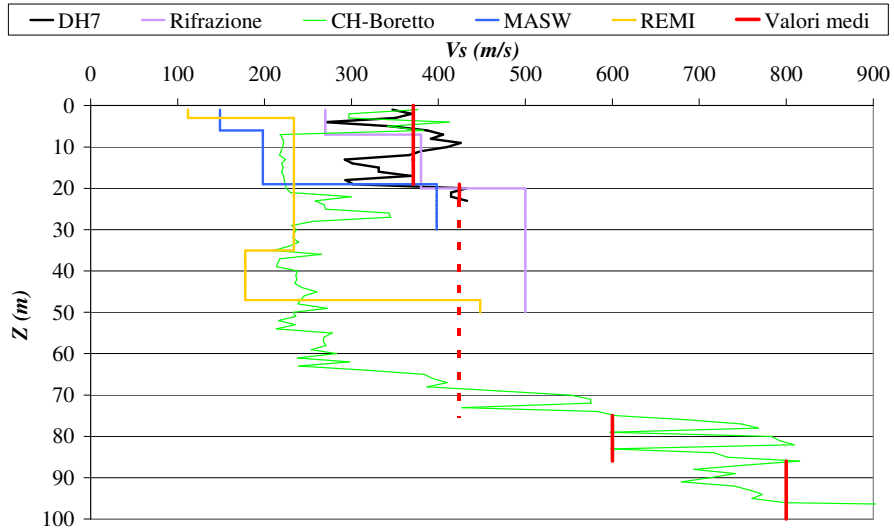
23 sezioni geologiche

- 24 sondaggi a carotaggio continuo della profondità variabile da 30 a 50 m e 140 m
- 54 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- 3 prove con cono sismico (SCPT)
- 8 DH di cui 7 di 30 m ed 1 di 50 m
- 1 CH
- 1 sismica a rifrazione con MASW e REMI
- 2 tomografie elettriche
- 15 misure di rumore HVSR
- 2 campioni prelevati nell'unità litologica A, a profondità di circa 18 e 42 m, costituita da sabbie ed analizzati in colonna risonante a 3 diverse pressioni di confinamento.

<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P9</i>	<i>P10</i>	<i>P11</i>	<i>P12</i>	<i>P13</i>	<i>P14</i>
Sez. 1 Sez. 3 Sez. 4	Sez. 2	Sez. 5	Sez. 6	Sez. 7 Sez. 8	Sez. 9 Sez. 10	Sez. 11 Sez. 12	Sez. 13 Sez. 14	Sez. 15 Sez. 17	Sez. 16 Sez. 18	Sez. 19 Sez. 20	Sez. 21	Sez. 22	Sez. 23



MACROAREA GUASTALLA





MACROAREA GUASTALLA



DH	DH2	MEDIE	DH7	MEDIE	DH9	MEDIE	DH14	MEDIE	DH15	MEDIE	DH16	MEDIE	DH19	MEDIE	DH24	MEDIE
Sezione	Sezione 3		Sezione 7		Sezione 11		Sezione 13		Sezione 15		Sezione 16		Sezione 19		Sezione 22	
Sondaggio	S2BR		S7BR		S9GL		S14GL		S15GS		S16GS		S19GS		S24CP	
Z (m)																
1											94					
2											121					
3											160					
4											160					
5											189					
6											194					
7																
8			347		251				263		237		239		262	
9	335		369		337				312	287	158		258		346	
10	243		351		203		243		285		176		223	243	262	
11	302		270		245	259	243		438		174		225		218	
12	295		345		241		302		320		316		268		272	263
13	246		387		292		264		173		284		302		215	
14	225		405	371	244		246		240		344		264		241	
15	307	287	391		359		289		240		358		252		274	
16	275		426		388		260		289		459		316		275	
17	309		410		599		275		253		362		290		364	
18	329		380		538		291	301	248	278	425	333	328		427	
19	447		366		378		379		248		364		300		544	
20	342		447		490		283		207		489		329		429	
21	493		292		300		310		255		319		353		430	
22	413		301		366		276		341		353		330	323	450	
23	494		331		381	422	331		269		396		342		520	
24	413		331	351	494		311		301		381		367		451	462
25	496		368		494		382		342		381		342		521	
26	398	434	293		255		368		431		343		397		451	
27	414		302		368		414	467	431	489	332		368		432	
28	452		432		382		451		451		414		277		551	
29	415		414	424	368		398		451		382		249		433	
30	433		415		496		523		551		398		356		433	
31			433		523		552		619		497		369		498	
32											383					
33											474					
34											356					
35											312					
36											433					
37											344					
38											415					
39											622	444				
40											710					
41											434					
42											554					
43											525					
44											357					
45											475					
46											333					
47											416					
48											434					
49											525					
50											416					
											454					

LEGENDA

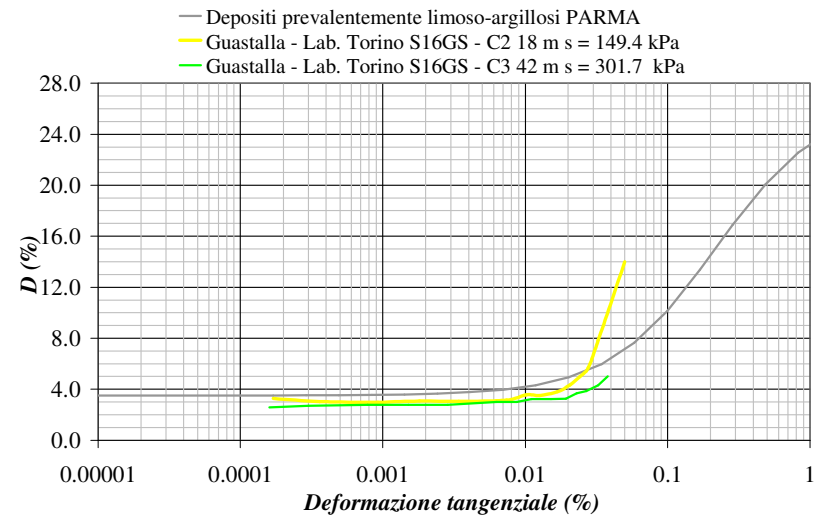
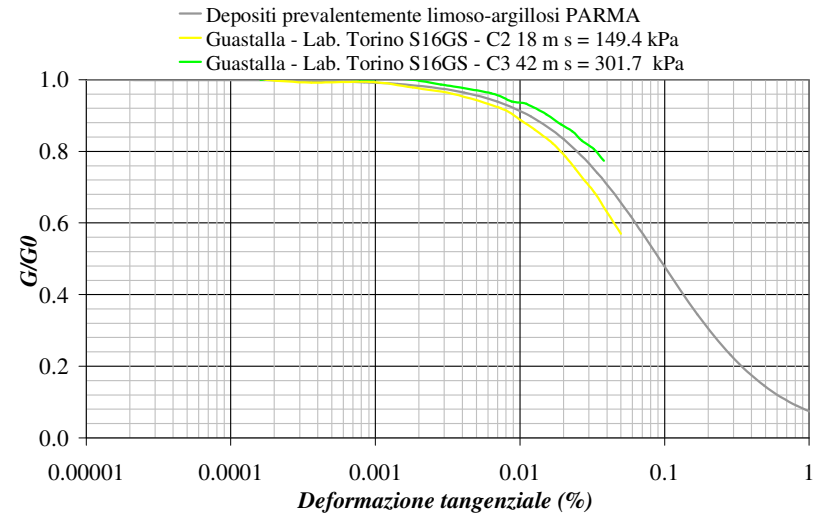
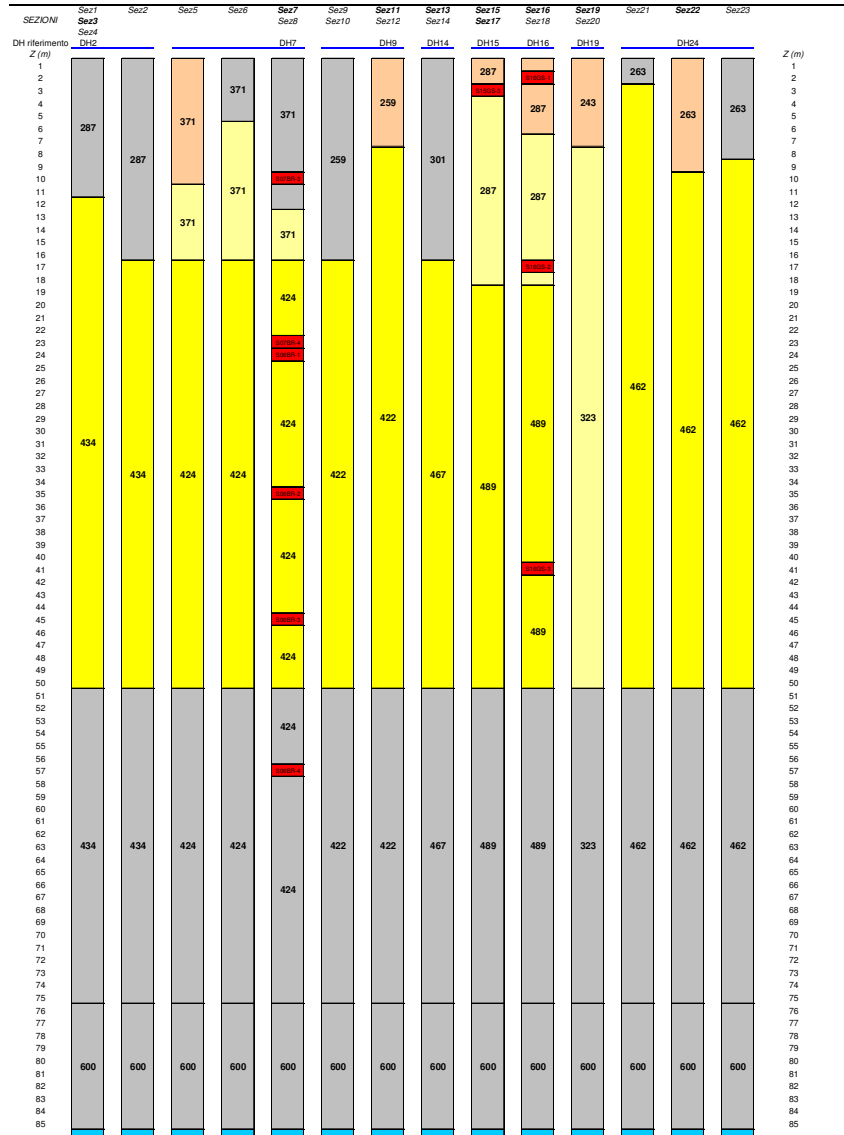
	Corpo arginale non analizzato
	Prevalentemente limi sabbiosi
	Prevalentemente argille e limi
	Prevalentemente sabbie



MACROAREA GUASTALLA



MACROAREA GUASTALLA

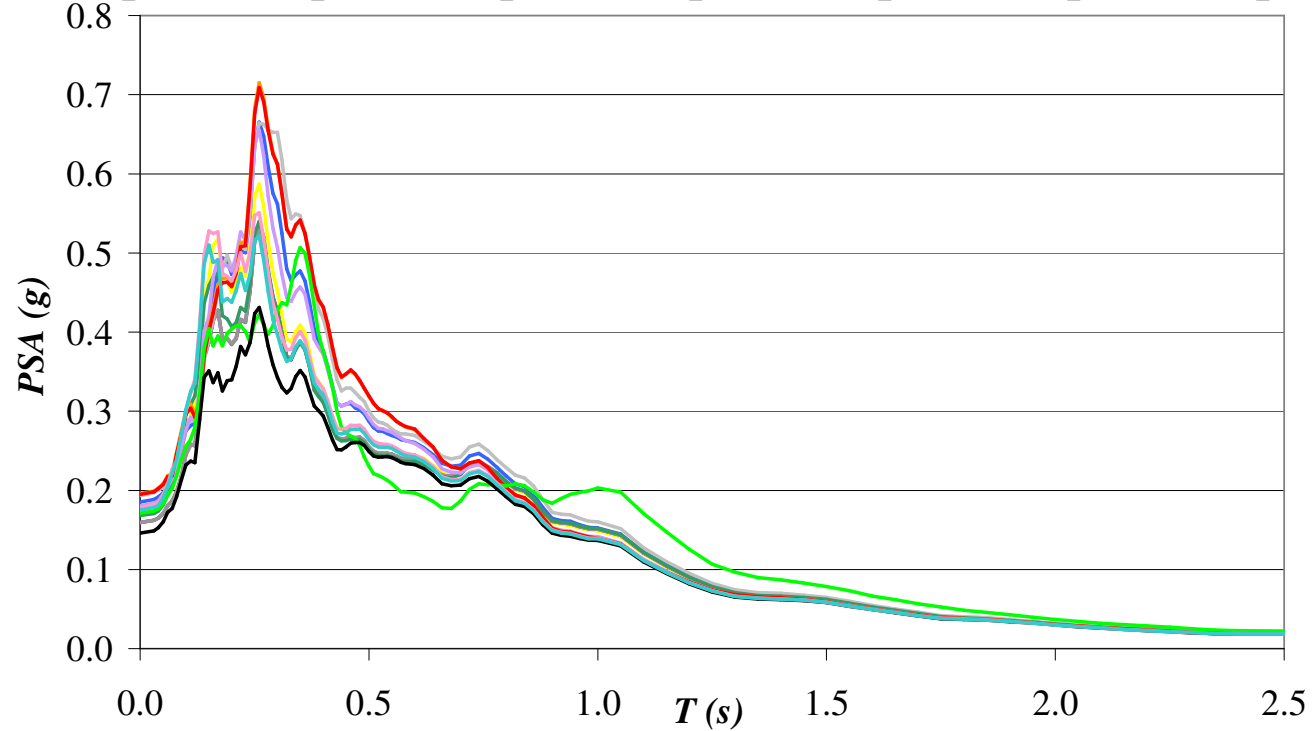




MACROAREA GUASTALLA



MEDIA_P1 MEDIA_P2 MEDIA_P3 MEDIA_P4 MEDIA_P5 MEDIA_P6 MEDIA_P7
MEDIA_P8 MEDIA_P9 MEDIA_P10 MEDIA_P11 MEDIA_P12 MEDIA_P13 MEDIA_P14



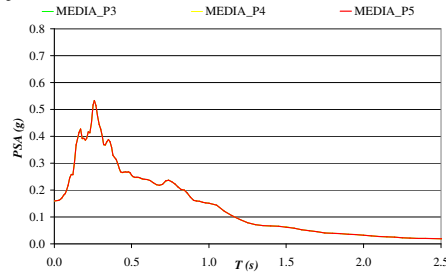
	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P9</i>	<i>P10</i>	<i>P11</i>	<i>P12</i>	<i>P13</i>	<i>P14</i>
<i>Fa</i> _{0.1-0.5}	1.4	1.6	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	1.6	1.7	1.7	1.4	1.2	1.4	1.4
<i>Fa</i> _{0.5-1.5}	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.9	1.5	1.6	1.5
<i>FH</i> _{0.1-0.5}	1.5	1.6	1.3	1.3	1.3	1.7	1.4	1.6	1.7	1.7	1.4	1.2	1.5	1.4
<i>FH</i> _{0.5-1.5}	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.5	1.6	1.6



MACROAREA GUASTALLA

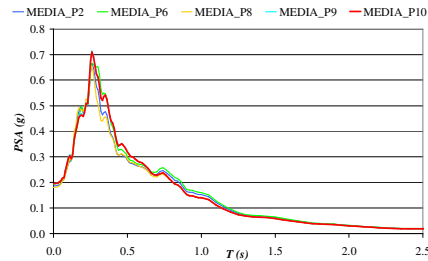


1° gruppo: punto di riferimento P5



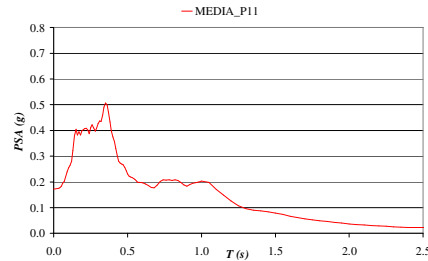
	P3	P4	P5
$Fa_{0,1.0.5}$	1.3	1.3	1.3
$Fa_{0.5,1.5}$	1.6	1.6	1.6
$FH_{0,1.0.5}$	1.3	1.3	1.3
$FH_{0.5,1.5}$	1.6	1.6	1.6

2° gruppo: punto di riferimento P10



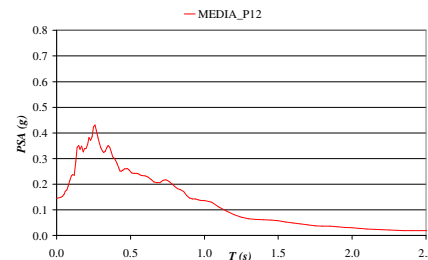
	P2	P6	P8	P9	P10
$Fa_{0,1.0.5}$	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7
$Fa_{0.5,1.5}$	1.7	1.8	1.6	1.6	1.6
$FH_{0,1.0.5}$	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7
$FH_{0.5,1.5}$	1.7	1.8	1.6	1.7	1.7

3° gruppo: punto di riferimento P11



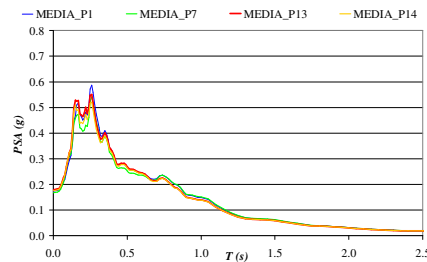
	P11
$Fa_{0,1.0.5}$	1.4
$Fa_{0.5,1.5}$	1.9
$FH_{0,1.0.5}$	1.4
$FH_{0.5,1.5}$	1.8

4° gruppo: punto di riferimento P12



	P12
$Fa_{0,1.0.5}$	1.2
$Fa_{0.5,1.5}$	1.5
$FH_{0,1.0.5}$	1.2
$FH_{0.5,1.5}$	1.5

5° gruppo: punto di riferimento P13



	P1	P7	P13	P14
$Fa_{0,1.0.5}$	1.4	1.3	1.4	1.4
$Fa_{0.5,1.5}$	1.6	1.6	1.6	1.5
$FH_{0,1.0.5}$	1.5	1.4	1.5	1.4
$FH_{0.5,1.5}$	1.7	1.6	1.6	1.6

n° SEZIONE	codifica PROVA	punto significativo rappresentativo
001_GU	U1-2-3BR_5x-A3vert.pdf	P13
002_GU	U4-5-6BR_accor_5x-A3vert.pdf	P10
003_GU	S1-2-3-4_perp_accor.5x-A3-orizzontale.pdf	P13
004_GU	U7-8-9BR_trasv_5x-A3-orizz.pdf	P13
005_GU	U13-14-15BR_5x-A3vert.pdf	P5
006_GU	U16-17-18-BR_5x-A3-orizz.pdf	P5
007_GU	U17-S7-S6-S5BR_5x-A3-orizzontale.pdf	P5
008_GU	U19-2021GS-PSAL_5x-A4tot.pdf	P5
009_GU	U22-23-24GL_5x-A4.pdf	P10
010_GU	U25-26-27GL_A3vert.pdf	P10
011_GU	S8-9-11GL_5x-A3-orizz.pdf	P13
012_GU	U31-32-33GL_5x-A3vert.pdf	P13
013_GU	S14-U35GL_5x-A3orizzontale.pdf	P10
014_GU	U34-35-36GL_5x-A3vert.pdf	P10
015_GU	U38-S15GS_5x-A3vert.pdf	P10
016_GU	U39-S16GS_5x-A3-orizz.pdf	P10
01_GU	S15-16GS_5x-A4.pdf	P10
018_GU	U40-41-42GS_5x-A3vert.pdf	P10
019_GU	S18-19-20GS_5x-A3-orizz.pdf	P11
020_GU	U46-47-48GS_5x-A3vert.pdf	P11
021_GU	U49-50-51GS_5x-A3vert.pdf	P12
022_GU	S24GS_Tagliata5x-A4.pdf	P13
023_GU	U52-53-54GS_5x-A3vert.pdf	P13



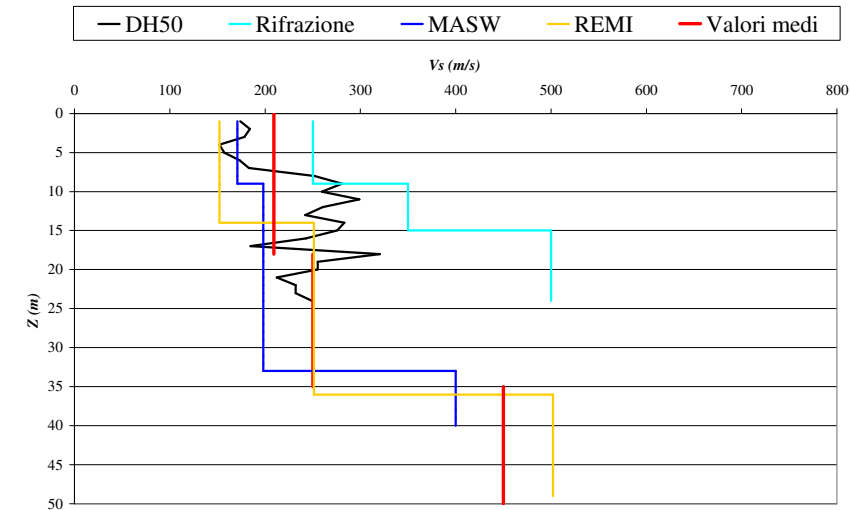
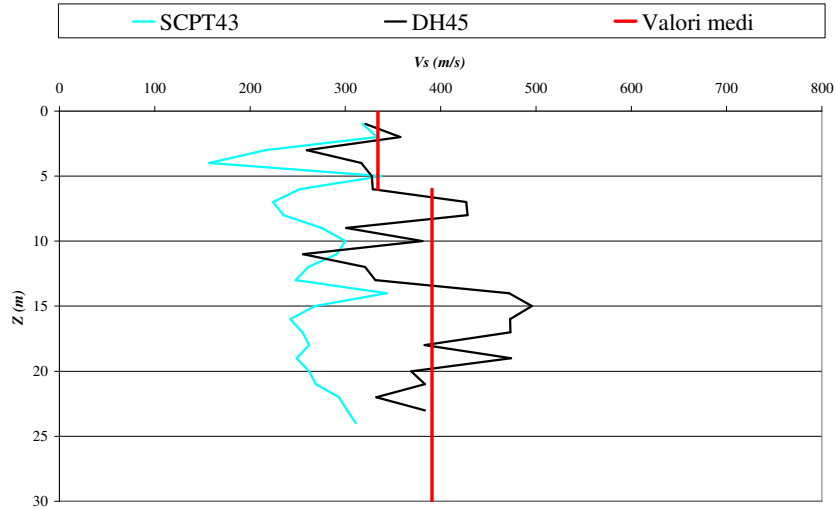
26 sezioni geologiche

- 20 sondaggi a carotaggio continuo della profondità variabile da 30 a 50 m
- 41 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- 1 prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- 1 prova con cono sismico (SCPT)
- 6 DH di cui 5 di 30 m ed 1 di 50 m
- 1 sismica a rifrazione con MASW e REMI
- 2 tomografie elettriche
- 50 misure di rumore HVSR

<i>P15</i>	<i>P16</i>	<i>P17</i>	<i>P18</i>	<i>P19</i>	<i>P20</i>	<i>P21</i>	<i>P22</i>	<i>P23</i>
Sez. 24 Sez. 25 Sez. 26	Sez. 28	Sez. 27 Sez. 29 Sez. 30 Sez. 31 Sez. 32	Sez. 33	Sez. 34 Sez. 35	Sez. 36 Sez. 37	Sez. 38 Sez. 39 Sez. 41 Sez. 42 Sez. 46 Sez. 47 Sez. 48 Sez. 49	Sez. 40	Sez. 43 Sez. 44 Sez. 45



MACROAREA SERMIDE



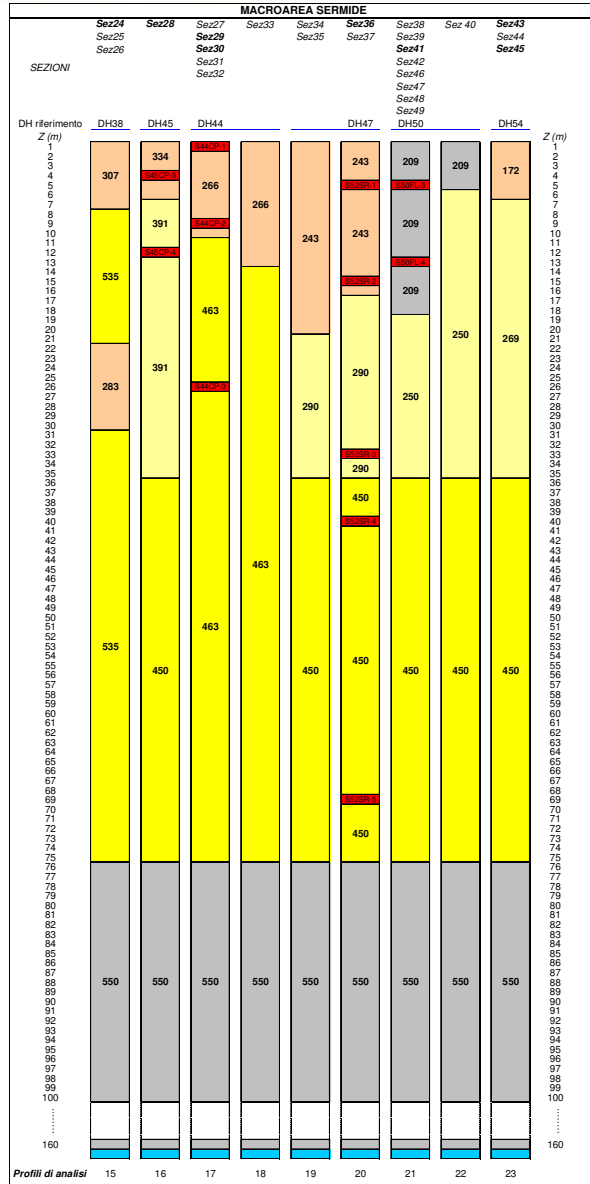
DH	DH38	MEDIE	DH45	MEDIE	DH44	MEDIE	DH47	MEDIE	DH50	MEDIE	DH54	MEDIE
Sezione 36	Sezione 24		Sezione 28		Sezione 29		Sezione 36		Sezione 41		Sezione 43	
Sondaggio	S38CP		S45CP		S44CP		S47SR		S50FL		S54FL	
Z (m)												
1					159							
2					200							
3					261							
4					282							
5					252							
6					228							
7					237							
8	273		321		313		233		174		174	
9	294		358		377		272		184		184	
10	337		259		355		253		178		178	
11	380	307	317	334	455		207		152		152	172
12	264		328		560		236		157		157	
13	272		329		462		226	243	173	209	173	
14	326		427		512		221		183		183	
15	535		428		446		255		252		252	
16	444		301		516		281		281		281	
17	409		381		469		255		260		260	
18	447		255		354		276		299		299	
19	448		321		368		293		261		261	
20	546	535	331		413		302		242		242	
21	614		472		495		256		283		283	
22	548		496		451		293		276		276	
23	581		473	391	618		302		243		243	269
24	658		473		551		293		185		185	
25	659		383		473		256	290	320	250	255	
26	356		474		356		256		255		255	
27	277		369		452		277		212		284	
28	322	283	383		399		293		232		277	
29	263		333		474		302		232		262	
30	200		384		474		356		232		368	
31					474	463	294		249		368	
32					498							
33					553							
34					475							
35					525							
36					399							
37					454							
38					434							
39					475							
40					475							
41					454							
42					587							
43					499							
44					434							
45					400							
46					525							
47					499							
48					333							
49					384							
50					400							
					434							

LEGENDA

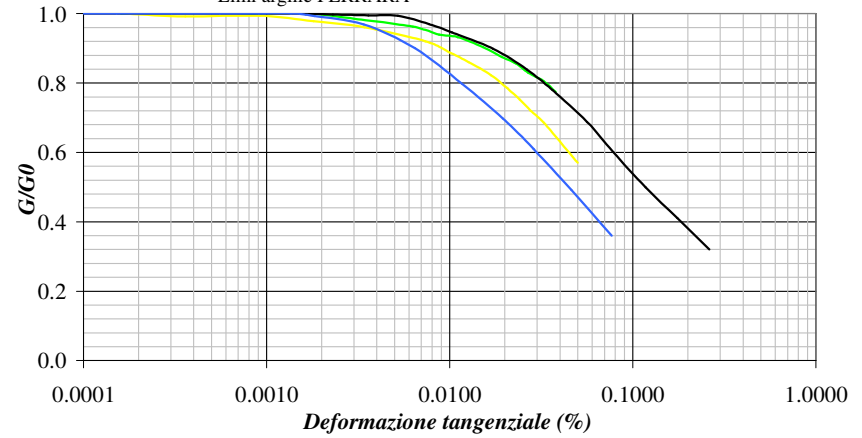
	Corpo arginale non analizzato
	Prevalentemente limi sabbiosi
	Prevalentemente argille e limi
	Prevalentemente sabbie



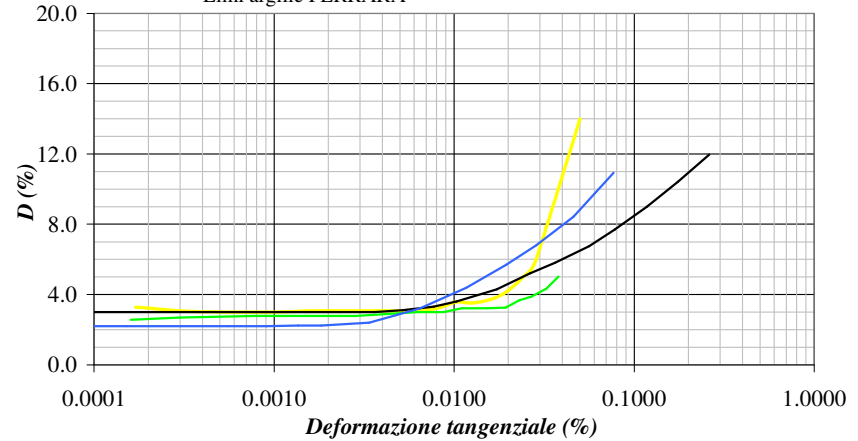
MACROAREA SERMIDE



- Guastalla - Lab. Torino S16GS - C2 18 m s = 149.4 kPa
- Guastalla - Lab. Torino S16GS - C3 42 m s = 301.7 kPa
- Argille e limi FERRARA
- Limi argille FERRARA



- Guastalla - Lab. Torino S16GS - C2 18 m s = 149.4 kPa
- Guastalla - Lab. Torino S16GS - C3 42 m s = 301.7 kPa
- Argille e limi FERRARA
- Limi argille FERRARA

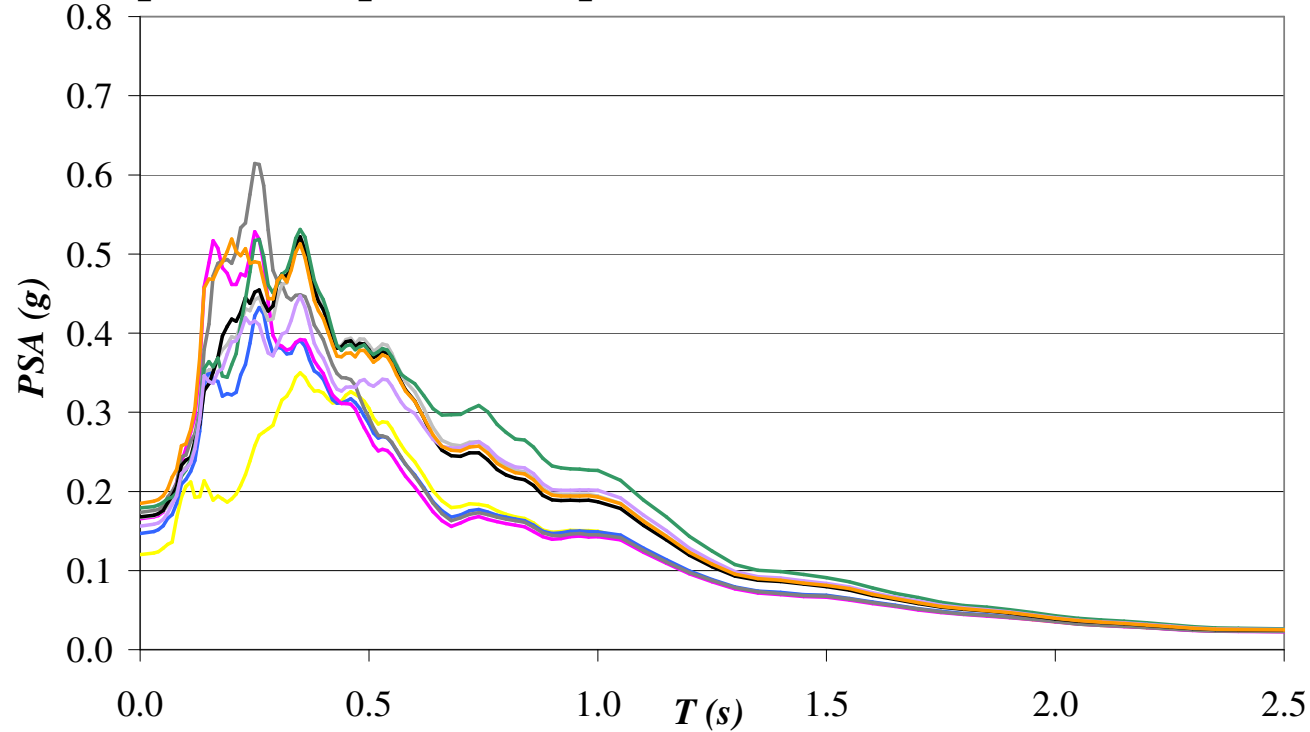




MACROAREA SERMIDE



MEDIA_P15 MEDIA_P16 MEDIA_P17 MEDIA_P18 MEDIA_P19 MEDIA_P20
MEDIA_P21 MEDIA_P22 MEDIA_P23



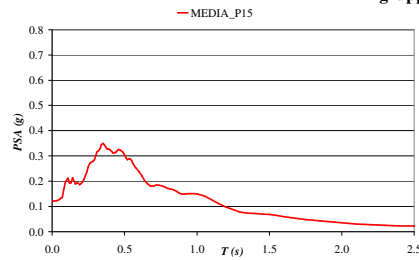
	<i>P15</i>	<i>P16</i>	<i>P17</i>	<i>P18</i>	<i>P19</i>	<i>P20</i>	<i>P21</i>	<i>P22</i>	<i>P23</i>
<i>Fa</i> _{0.1-0.5}	1.1	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.6
<i>Fa</i> _{0.5-1.5}	1.6	1.6	1.5	1.5	2.1	2.0	2.4	2.1	2.0
<i>FH</i> _{0.1-0.5}	1.0	1.2	1.4	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.6
<i>FH</i> _{0.5-1.5}	1.6	1.5	1.5	1.5	2.1	2.0	2.4	2.1	2.1



MACROAREA SERMIDE

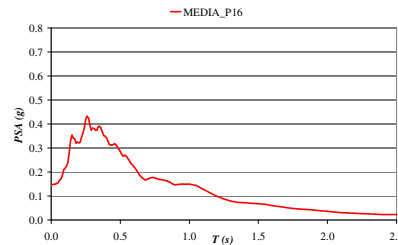


- 1° gruppo: punto di riferimento P15



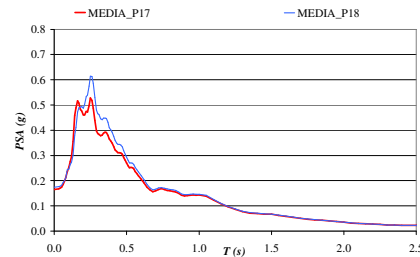
	P15
$Fa_{0.1-0.5}$	1.1
$Fa_{0.5-1.5}$	1.6
$FH_{0.1-0.5}$	1.0
$FH_{0.5-1.5}$	1.6

- 2° gruppo: punto di riferimento P16



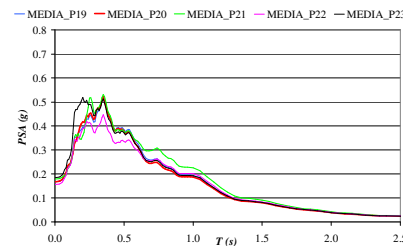
	P16
$Fa_{0.1-0.5}$	1.3
$Fa_{0.5-1.5}$	1.6
$FH_{0.1-0.5}$	1.2
$FH_{0.5-1.5}$	1.5

- 3° gruppo: punto di riferimento P17



	P17	P18
$Fa_{0.1-0.5}$	1.4	1.6
$Fa_{0.5-1.5}$	1.5	1.5
$FH_{0.1-0.5}$	1.4	1.6
$FH_{0.5-1.5}$	1.5	1.5

- 4° gruppo: punto di riferimento P20



	P19	P20	P21	P22	P23
$Fa_{0.1-0.5}$	1.6	1.6	1.6	1.4	1.6
$Fa_{0.5-1.5}$	2.1	2.0	2.4	2.1	2.0
$FH_{0.1-0.5}$	1.5	1.5	1.5	1.3	1.6
$FH_{0.5-1.5}$	2.1	2.0	2.4	2.1	2.1

n° SEZIONE	codifica PROVA	punto significativo rappresentativo
024_SE	S37-38-39CP_5x-A3-orizz.pdf	P15
025_SE	U85-86-87CP_5x-A3vert.pdf	P15
026_SE	U89-90CP_5x-A3vert.pdf	P15
027_SE	U91-92-93CP_5x-A4.pdf	P17
028_SE	S45CP_5x-A4.pdf	P16
029_SE	S44CP_5x-A3vert.pdf	P17
030_SE	S44-U96CP_trasv_5x-A3-orizzontale.pdf	P17
031_SE	U94-95-96CP_5x-A3vert.pdf	P17
032_SE	U97-98-99CP_5x-A4tot.pdf	P17
033_SE	U100-101SR_5x-A3vert.pdf	P17
034_SE	U105-106-107SR_5x-A3vert.pdf	P20
035_SE	S46SR_5x-A3vert.pdf	P20
036_SE	S52FL-S47SR-U109SR_perp_5x-A4tot.pdf	P20
037_SE	U111-112-113SR_5x-A3vert.pdf	P20
038_SE	U114-115-116SR_5x-A3vert.pdf	P20
039_SE	U120-121-122SR_5x-A3vert.pdf	P20
040_SE	U123-124-125FL_5x-A3vert.pdf	P16
041_SE	S50FL_5x-A3vert.pdf	P20
042_SE	U127-128FL_5x-A3vert.pdf	P20
043_SE	S53-54FL_longit_5x-A4.pdf	P20
044_SE	S53FL_5x-A3vert.pdf	P20
045_SE	S54-55FL_perp_5x-A4.pdf	P20
046_SE	U129-130-131FL_5x-A3vert.pdf	P20
047_SE	U132-133-134FL_5x-A3vert.pdf	P20
048_SE	U138-139-140FL_5x-A3vert.pdf	P20
049_SE	U141-142-143FL_5x-A3vert.pdf	P20



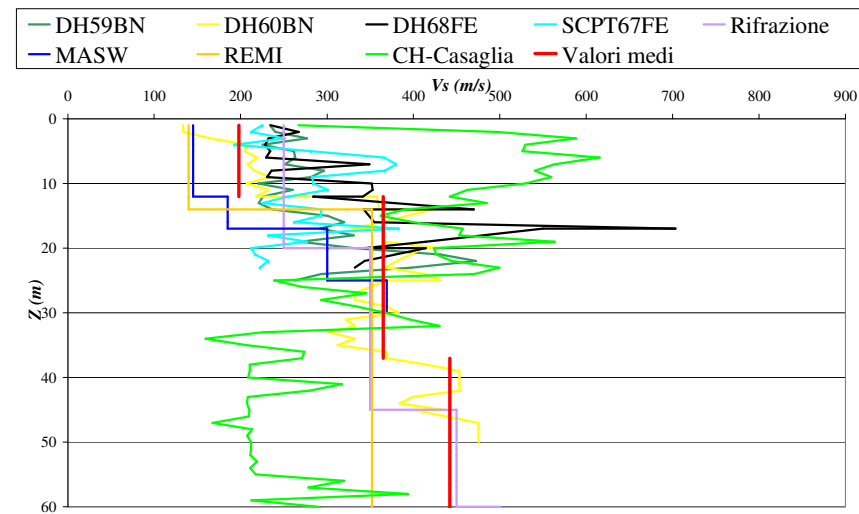
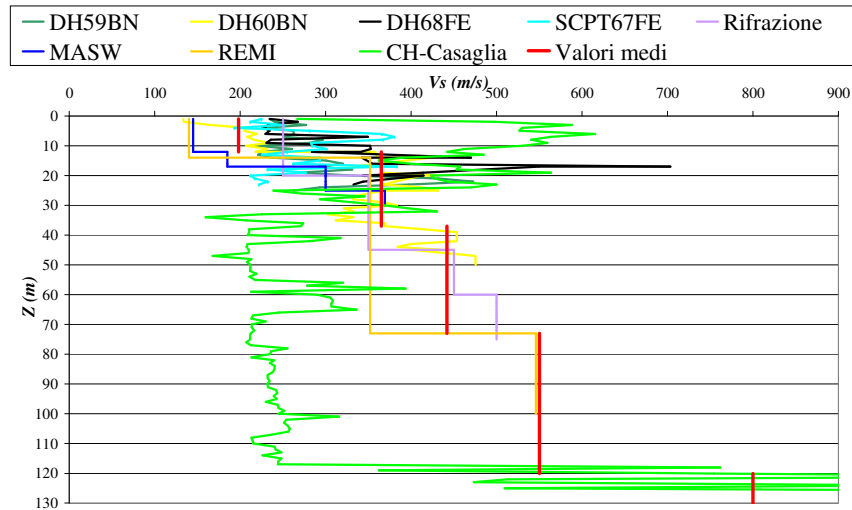
11 sezioni geologiche

- 7 sondaggi a carotaggio continuo della profondità variabile da 30 a 50 m
- 26 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- 4 DH di cui 2 di 30 m ed 2 di 50 m
- 1 CH di profondità pari a 140 m
- 2 tomografie elettriche
- 26 misure di rumore HVSR

<i>P24</i>	<i>P25</i>	<i>P26</i>	<i>P27</i>	<i>P28</i>	<i>P29</i>	<i>P30</i>	<i>P31</i>	<i>P32</i>
Sez. 50	Sez. 51	Sez. 52	Sez. 53	Sez. 54	Sez. 55	Sez. 56 Sez. 57 Sez. 59	Sez. 58	Sez. 60



MACROAREA BONDENO

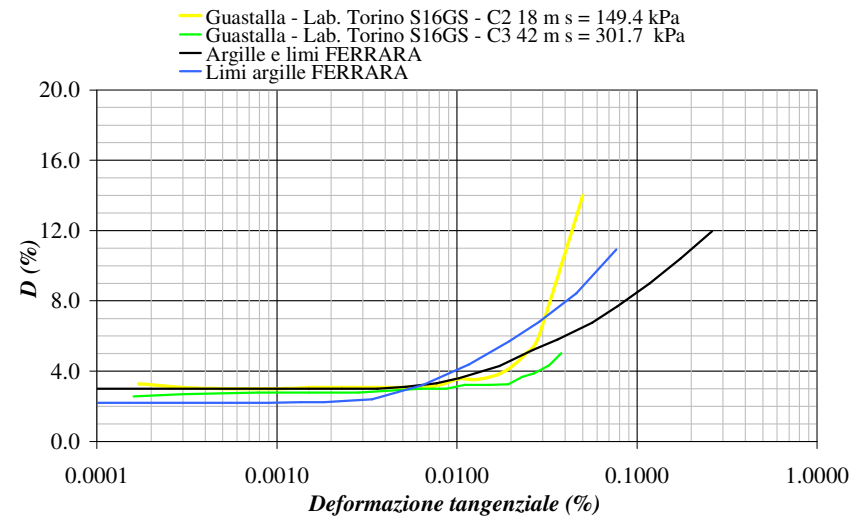
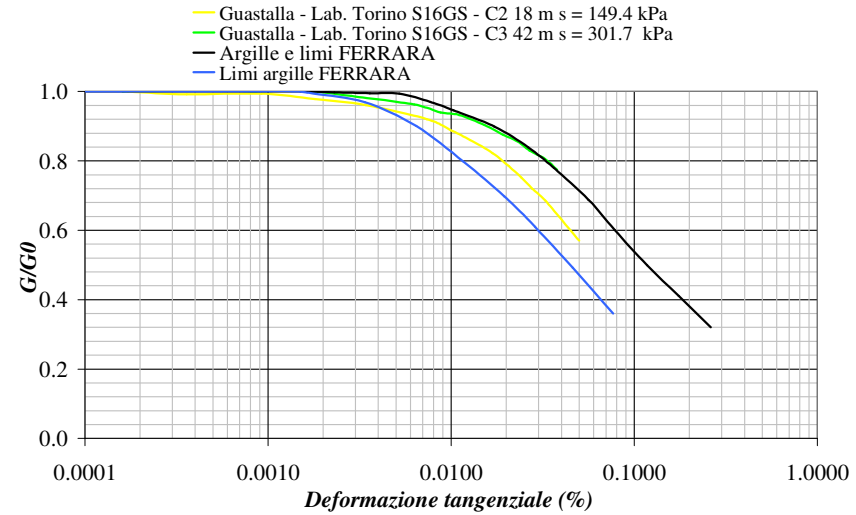
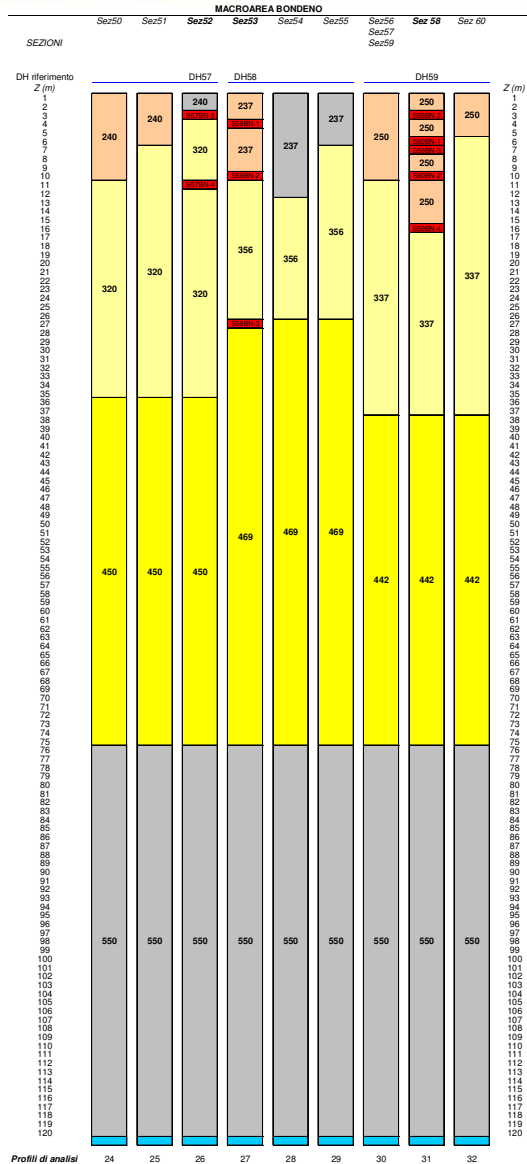


MACROAREA BONDENO								
DH	DH57		DH58		DH59		DH60	
Sezione	Sezione 52	MEDIE	Sezione 53	MEDIE	Sezione 58	MEDIE	Sezione 58	MEDIE
Sondaggio	S57BN		S58BN		S59BN		S60BN	
Z (m)								
1			183					
2			157					
3			182					
4			213				208	
5			215	237		205		
6			263		234		219	
7			246		240		208	
8			239		277		216	216
9			360		225		234	
10	233		310		262		207	
11	234	240	278		263		232	
12	259		347		252		218	
13	235		421		297	250	358	
14	327		376		281		360	
15	363		425		220		422	
16	365		242		260		363	
17	365		268		226		329	
18	366		292	356	221		365	
19	292		262		237		366	
20	284		470		300		429	
21	301		396		320		412	
22	196	320	382		292		381	
23	237		413		331		368	
24	237		321		269		413	
25	321		382		331	337	431	365
26	343		414		431		368	
27	332		473		472		332	
28	356		452		398		332	
29	369		497		293		369	
30	383		452		263		383	
31			524				322	
32			498				332	
33			453				302	
34			498				332	
35			553				312	
36			524				369	
37			475				369	
38			475	469			416	
39			453				453	
40			623				453	
41			303				453	
42			344				453	
43			454				399	
44			475				384	442
45			525				434	
46			416				399	
47			454				475	
48			345				475	
49			525				475	
50			476				475	

LEGENDA	
	Corpo originale o riporto non analizzato
	Prevalentemente limi sabbiosi
	Prevalentemente argille e limi
	Prevalentemente sabbie

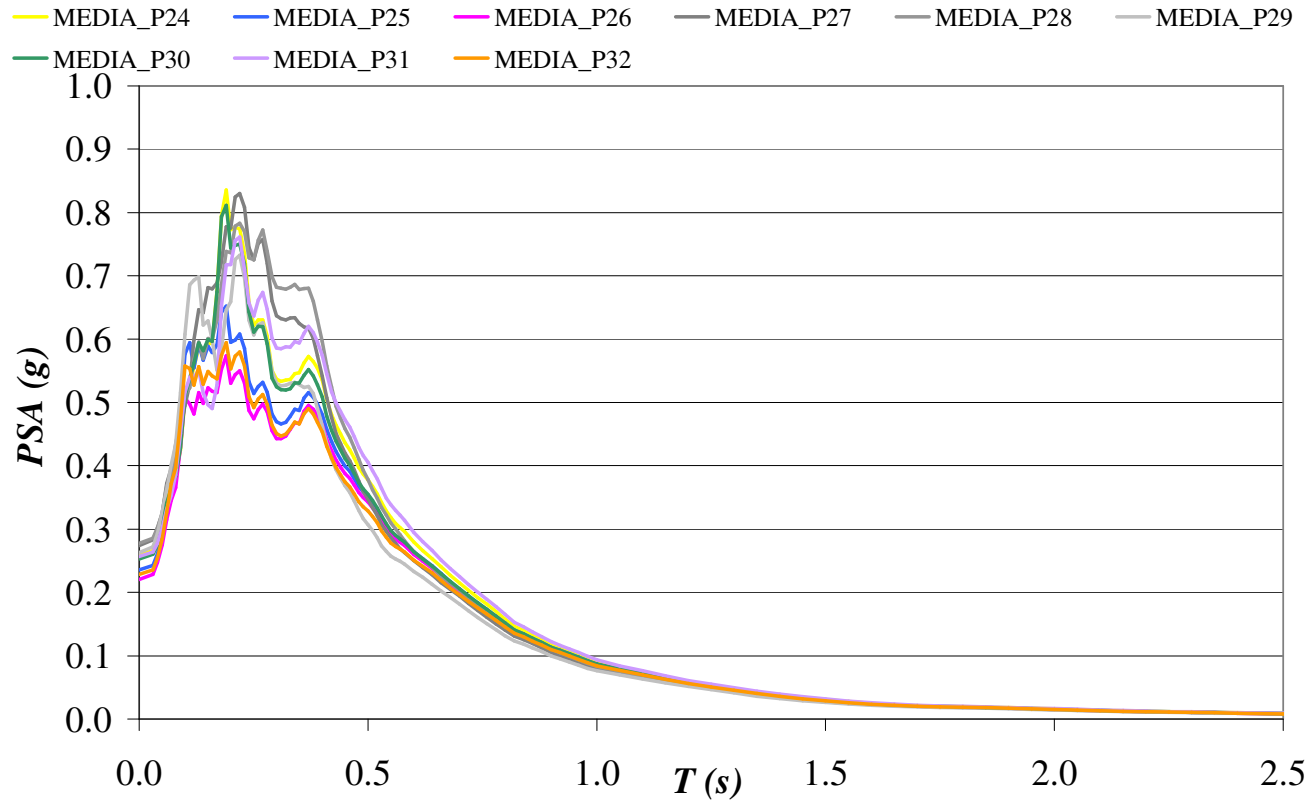


MACROAREA BONDENO





MACROAREA BONDENO



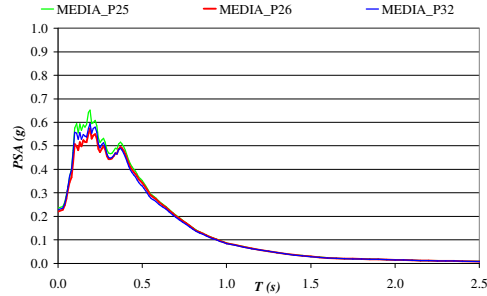
	<i>P24</i>	<i>P25</i>	<i>P26</i>	<i>P27</i>	<i>P28</i>	<i>P29</i>	<i>P30</i>	<i>P31</i>	<i>P32</i>
<i>Fa</i> _{0.1-0.5}	1.8	1.6	1.5	1.9	2.0	1.7	1.7	1.9	1.5
<i>Fa</i> _{0.5-1.5}	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.9	2.0	1.8
<i>FH</i> _{0.1-0.5}	1.7	1.5	1.4	1.8	1.9	1.6	1.7	1.7	1.4
<i>FH</i> _{0.5-1.5}	2.0	1.9	1.8	1.8	1.9	1.6	1.9	2.1	1.8



MACROAREA BONDENO

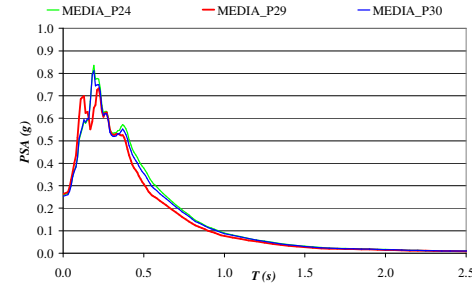


- 1° gruppo: punto di riferimento P26



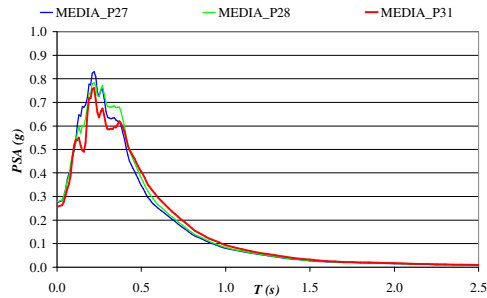
	P25	P26	P32
$Fa_{0,1-0,5}$	1.6	1.5	1.5
$Fa_{0,5-1,5}$	1.9	1.8	1.8
$FH_{0,1-0,5}$	1.5	1.4	1.4
$FH_{0,5-1,5}$	1.9	1.8	1.8

- 2° gruppo: punto di riferimento P29



	P24	P29	P30
$Fa_{0,1-0,5}$	1.8	1.7	1.7
$Fa_{0,5-1,5}$	2.0	1.7	1.9
$FH_{0,1-0,5}$	1.7	1.6	1.7
$FH_{0,5-1,5}$	2.0	1.6	1.9

- 3° gruppo: punto di riferimento P31



	P27	P28	P31
$Fa_{0,1-0,5}$	1.9	2.0	1.9
$Fa_{0,5-1,5}$	1.8	1.8	2.0
$FH_{0,1-0,5}$	1.8	1.9	1.7
$FH_{0,5-1,5}$	1.8	1.9	2.1

n° SEZIONE	codifica PROVA	punto significativo rappresentativo
050_BO	U144-145-146FL_5x-A3vert.pdf	P29
051_BO	U149-148-147FL_5x-A3vert.pdf	P26
052_BO	S57BN_U147FL_5x-A4tot.pdf	P26
053_BO	S58BN_5x-A4.pdf	P31
054_BO	U152-151-150BN_5x-A3vert.pdf	P31
055_BO	U155-154-153BN_5x-A4.pdf	P29
056_BO	U158-157-156BN_5x-A4.pdf	P29
057_BO	U162-163-164BN_5x-A4.pdf	P29
058_BO	S59-60BN_5x-A4tot.pdf	P31
059_BO	U165-166-167BN_NEW_5x-A4.pdf	P30
060_BO	S61-62-63-64BN_5x-A4.pdf	P26



METODOLOGIA

- **Analisi preliminare (paragrafo 7.11.3.4.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008) dell'intera area di studio per l'individuazione delle aree potenzialmente liquefacibili.**
- **Verifiche di sicurezza, attraverso metodi di analisi semplificati di tipo storico-empirico (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, GdL MS 2008; e Linee Guide "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", AGI, 2005).**
- **Per tutte le aree nelle quali è stato riscontrato un alto indice del potenziale di liquefazione sono stati stimati i possibili cedimenti permanenti (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, GdL MS, 2008).**



VERIFICA PRELIMINARE

- **Magnitudo degli eventi attesi è sempre maggiore di 5**
- **Accelerazione massima orizzontale attesa in superficie è sempre superiore a 0.1g.**
- **Soggiacenza della falda freatica in generale inferiore a 15 m.**
- **Distribuzione granulometrica dei materiali analizzati ricade nel fuso granulometrico liquefacibile.**



VERIFICA CON METODI SEMPLIFICATI

- **Determinazione dei termini CRR (rapporto di resistenza ciclica alla liquefazione)**
- **Determinazione dei termini CSR (rapporto di tensione ciclica indotta dall'azione sismica), in funzione della profondità**
- **Calcolo del rapporto tra i due termini che rappresenta il coefficiente di sicurezza FL corrispondente ad una specifica profondità**



VERIFICA CON METODI SEMPLIFICATI

Per CSR è stata utilizzata la relazione proposta da Seed e Idriss, 1971:

- assegnando al valore di a_{\max} il valore medio dell'accelerazione orizzontale attesa in corrispondenza della base dell'argine derivato dalle analisi precedenti RSL;
- utilizzando il coefficiente riduttivo r_d dell'azione sismica in funzione della profondità proposto da Idriss e Boulanger, 2004 e 2006;
- utilizzando il fattore di scala per la magnitudo MSF proposto da Idriss e Boulanger, 2004 e 2006, prevedendo un valore di magnitudo momento pari a quello massimo assegnato alle zone sismogenetiche più vicine all'area di studio e pari a 6.14 per tutta l'area.



VERIFICA CON METODI SEMPLIFICATI

Per CRR è stata scelta come tipologia di indagine le CPTU poste in corrispondenza dell'argine per ciascuna sezione geologica disponibile:

- utilizzo della relazione proposta da Idriss e Boulanger, 2004 e 2006, correggendo il valore di resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} attraverso la procedura di Robertson e Wride, 1998 per tenere in conto la presenza di una frazione fine all'interno delle sabbie pulite;
- per quanto riguarda i valori del peso di volume si è fatto riferimento ai valori utilizzati nelle analisi RSL;
- il livello piezometrico della falda freatica dedotto dai valori riportati su ciascuna sezione geologica e/o dai dati della sezione più vicina.



VERIFICA CON METODI SEMPLIFICATI

Rapporto tra CRR e CSR ottenendo il coefficiente di sicurezza FL, in funzione della profondità.

Per l'intervallo di profondità compreso tra il livello piezometrico della falda freatica e i 20 m dal piano campagna è stato valutato il potenziale di liquefazione IL (Iwasaki et al., 1982), funzione dell'area racchiusa tra i due profili CSR e CRR.

Mappatura dei valori di IL per i tratti di argine analizzati secondo:

$0 < IL \leq 5.0$	BASSO potenziale di rottura (verde)
$5.0 < IL \leq 15.0$	ELEVATO potenziale di rottura (giallo)
$IL > 15.0$	ESTREMAMENTE ELEVATO potenziale di rottura (rosso)



STIMA DEI CEDIMENTI PERMANENTI

La stima dei cedimenti è stata eseguita per i tratti di argine che presentano un valore di $IL > 5$, attraverso la valutazione della deformazione volumetrica ε_v noti l'indice dei vuoti iniziale e_0 , l'indice di riconsolidazione postciclica C_r e il rapporto di pressione interstiziale ru :

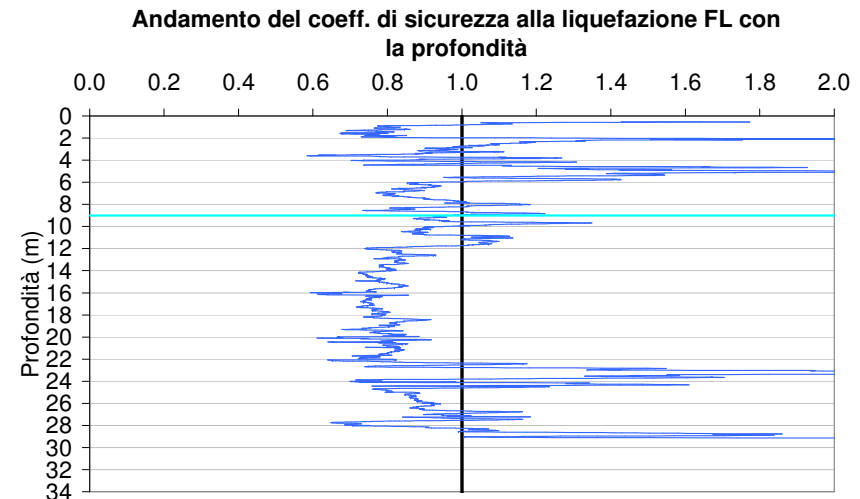
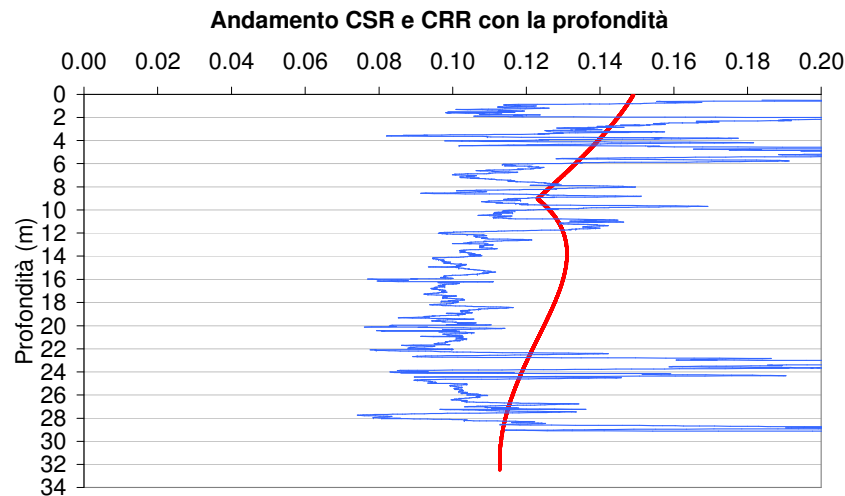
- per e_0 i dati di laboratorio;
- per la stima di C_r è stato utilizzato il valore dell'indice di compressione C_c ricavato direttamente dalle prove edometriche;
- per la stima di ru è stata utilizzata l'ampiezza di deformazione di taglio massima γ_{max} ricavata dalle analisi di risposta sismica locale.



ESEMPIO

Sezione 075_FE

$a_{\max} = 0.325 \text{ g}$
soggiacenza falda freatica = 9 m
altezza argine = 9 m
tipo di prova = CPTU214



IL = 4.16

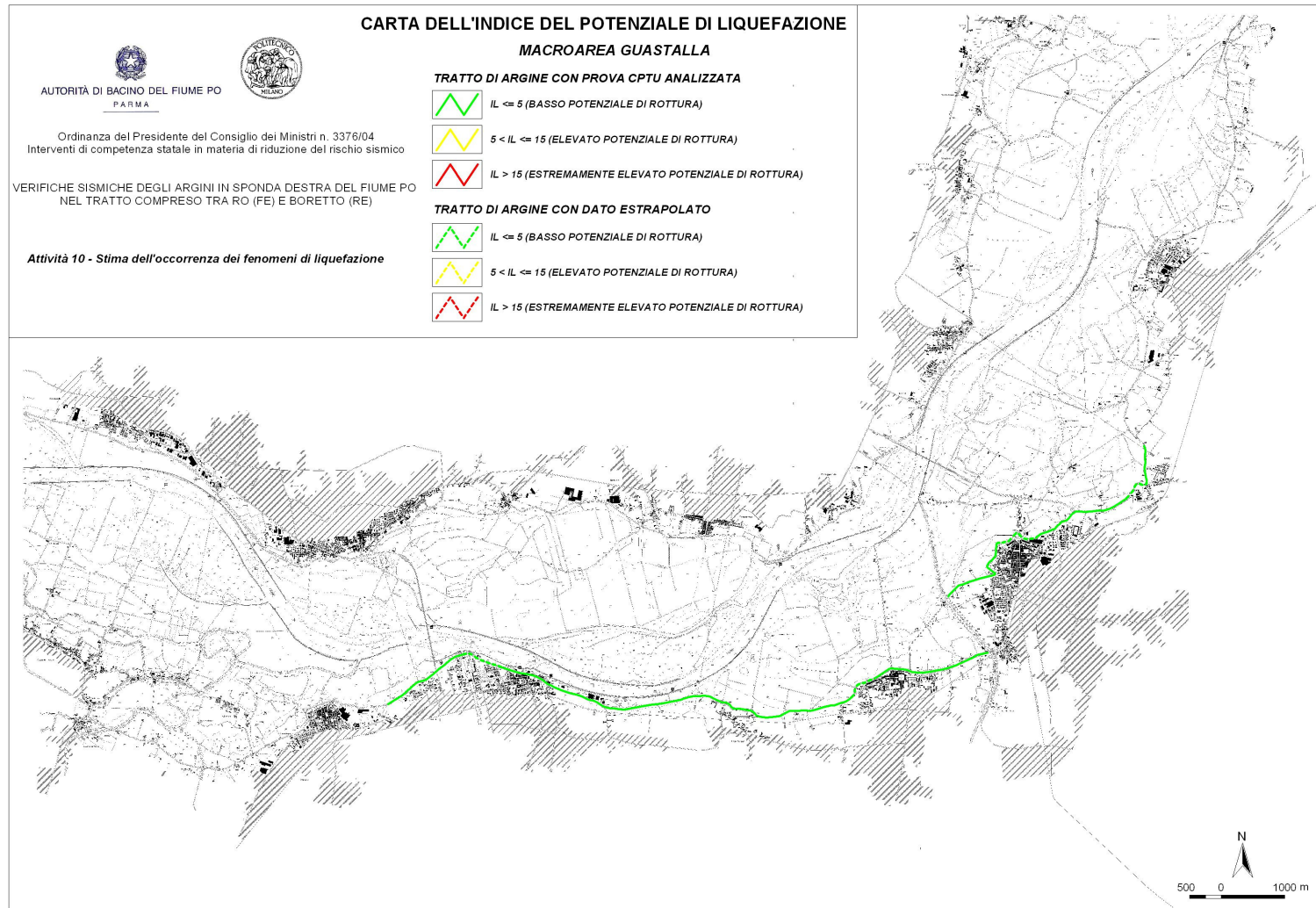


GUASTALLA

n° SEZIONE	codifica PROVA	Prova utilizzata	Valore di IL
001_GU	U1-2-3BR_5x-A3vert.pdf	CPTU2	0.04
002_GU	U4-5-6BR_accor_5x-A3vert.pdf	CPTU5	0.00
003_GU	S1-2-3-4_perp_accor.5x-A3-orizzontale.pdf	analizzata con Vs	
004_GU	U7-8-9BR_trasv_5x-A3-orizz.pdf	CPTU8	0.00
005_GU	U13-14-15BR_5x-A3vert.pdf	CPTU14	0.00
006_GU	U16-17-18-BR_5x-A3-orizz.pdf	CPTU17	0.00
007_GU	U17-S7-S6-S5BR_5x-A3-orizzontale.pdf	analizzata con Vs	
008_GU	U19-2021GS-PSAL_5x-A4tot.pdf	CPTU20	0.00
009_GU	U22-23-24GL_5x-A4.pdf	CPTU23	0.00
010_GU	U25-26-27GL-A3vert.pdf	CPTU26	0.00
011_GU	S8-9-11GL_5x-A3-orizz.pdf	analizzata con Vs	
012_GU	U31-32-33GL_5x-A3vert.pdf	CPTU32	0.00
013_GU	S14-U35GL_5x-A3orizzontale.pdf	analizzata con Vs	
014_GU	U34-35-36GL_5x-A3vert.pdf	CPTU35	0.00
015_GU	U38-S15GS_5x-A3vert.pdf	CPTU38	1.18
016_GU	U39-S16GS_5x-A3-orizz.pdf	non analizzata	
017_GU	S15-16GS_5x-A4.pdf	analizzata con Vs	
018_GU	U40-41-42GS_5x-A3vert.pdf	CPTU41	0.01
019_GU	S18-19-20GS_5x-A3-orizz.pdf	analizzata con Vs	
020_GU	U46-47-48GS_5x-A3vert.pdf	CPTU47	0.09
021_GU	U49-50-51GS_5x-A3vert.pdf	CPTU50	0.00
022_GU	S24GS_Tagliata5x-A4.pdf	analizzata con Vs	
023_GU	U52-53-54GS_5x-A3vert.pdf	CPTU53	0.02



GUASTALLA





VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE



SERMIDE

n° SEZIONE	codifica PROVA	Prova utilizzata	Valore di IL
024_SE	S37-38-39CP_5x-A3-orizz.pdf	analizzata con Vs	
025_SE	U85-86-87CP_5x-A3vert.pdf	CPTU86	0.00
026_SE	U89-90CP_5x-A3vert.pdf	CPTU89	0.00
027_SE	U91-92-93CP_5x-A4.pdf	CPTU92	0.00
028_SE	S45CP_5x-A4.pdf	analizzata con Vs	
029_SE	S44CP_5x-A3vert.pdf	non analizzata	
030_SE	S44-U96CP_trasv_5x-A3-orizzontale.pdf	non analizzata	
031_SE	U94-95-96CP_5x-A3vert.pdf	CPTU95	0.07
032_SE	U97-98-99CP_5x-A4tot.pdf	CPTU98	0.00
033_SE	U100-101SR_5x-A3vert.pdf	CPTU100	0.00
034_SE	U105-106-107SR_5x-A3vert.pdf	CPTU106	0.00
035_SE	S46SR_5x-A3vert.pdf	non analizzata	
036_SE	S52FL-S47SR-U109SR_perp_5x-A4tot.pdf	CPTU109	0.00
037_SE	U111-112-113SR_5x-A3vert.pdf	CPTU112	0.00
038_SE	U114-115-116SR_5x-A3vert.pdf	CPTU115	0.00
039_SE	U120-121-122SR_5x-A3vert.pdf	CPTU121	0.00
040_SE	U123-124-125FL_5x-A3vert.pdf	CPTU124	0.00
041_SE	S50FL-5x-A3vert.pdf	analizzata con Vs	
042_SE	U127-128FL_5x-A3vert.pdf	CPTU127	0.00
043_SE	S53-54FL_longit_5x-A4.pdf	analizzata con Vs	
044_SE	S53FL_5x-A3vert.pdf	non analizzata	
045_SE	S54-55FL_perp_5x-A4.pdf	analizzata con Vs	
046_SE	U129-130-131FL_5x-A3vert.pdf	CPTU130	0.00
047_SE	U132-133-134FL_5x-A3vert.pdf	CPTU133	0.00
048_SE	U138-139-140FL_5x-A3vert.pdf	CPTU139	0.00
049_SE	U141-142-143FL_5x-A3vert.pdf	CPTU142	0.00

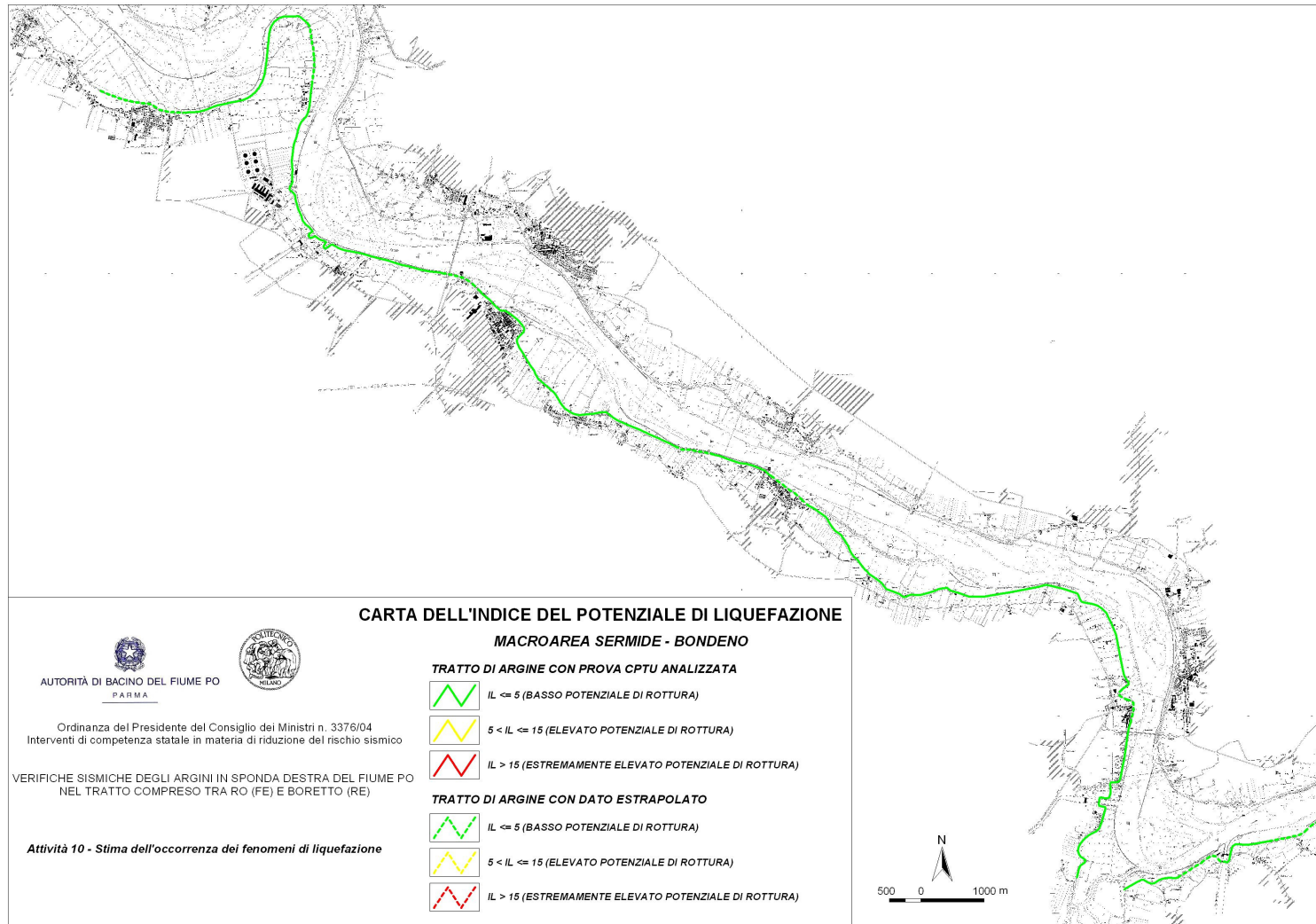


BONDENO

n° SEZIONE	codifica PROVA	Prova utilizzata	Valore di IL
050_BO	U144-145-146FL_5x-A3vert.pdf	CPTU145	0.75
051_BO	U149-148-147FL_5x-A3vert.pdf	CPTU148	0.28
052_BO	S57BN_U147FL_5x-A4tot.pdf	analizzata con Vs	
053_BO	S58BN_5x-A4.pdf	non analizzata	
054_BO	U152-151-150BN_5x-A3vert.pdf	CPTU150	0.86
055_BO	U155-154-153BN_5x-A4.pdf	CPTU154	0.00
056_BO	U158-157-156BN_5x-A4.pdf	CPTU157	1.59
057_BO	U162-163-164BN_5x-A4.pdf	CPTU163	0.37
058_BO	S59-60BN_5x-A4tot.pdf	analizzata con Vs	
059_BO	U165-166-167BN_NEW_5x-A4.pdf	CPTU166	0.22
060_BO	S61-62-63-64BN_5x-A4.pdf	non analizzata	



SERMIDE - BONDENO



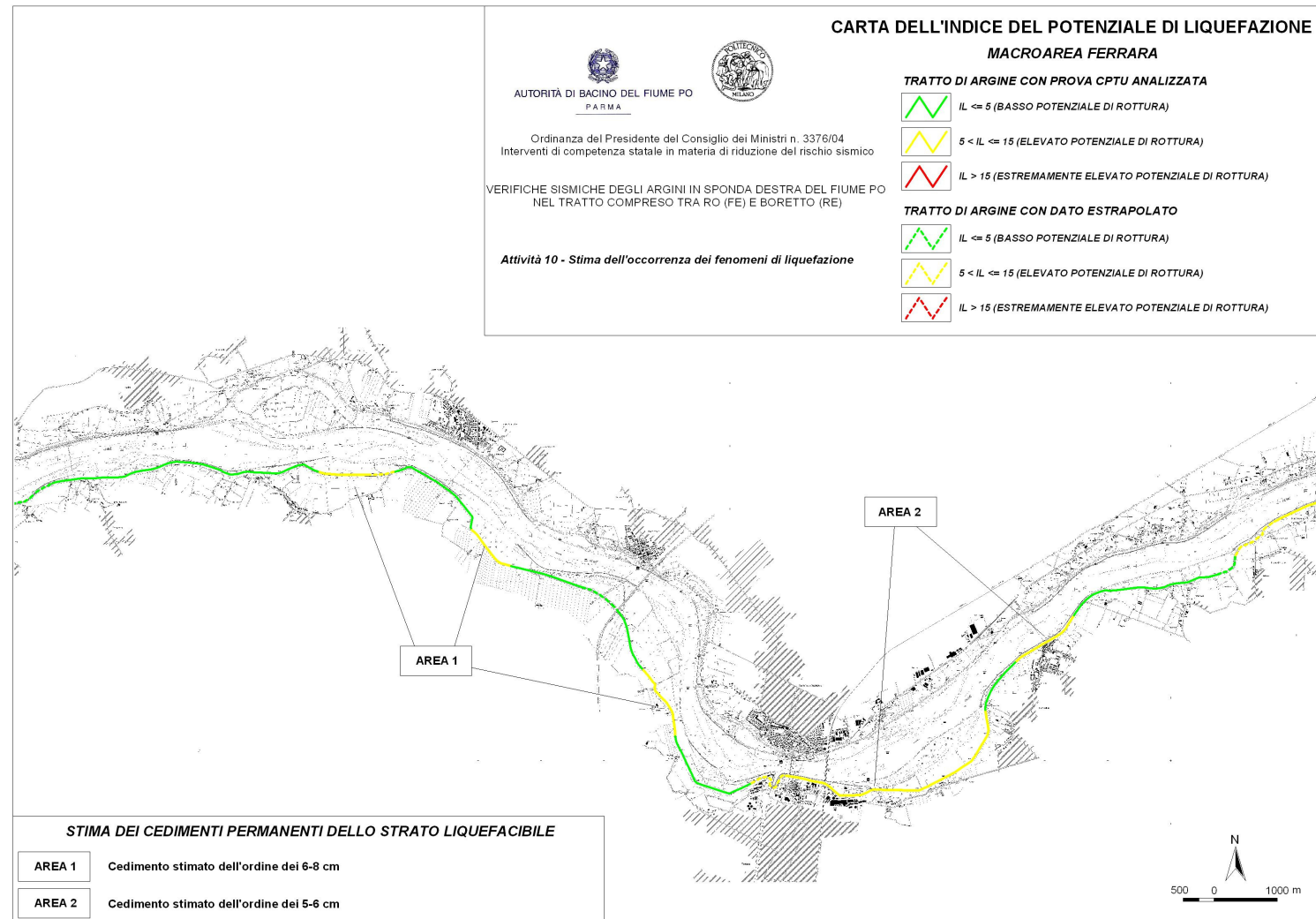


FERRARA

n° SEZIONE	codifica PROVA	Prova utilizzata	Valore di IL
061_FE	U168-169-170FE 5x-A4.pdf	CPTU169	3.40
062_FE	U172-173FE 5x-A3vert.pdf	CPTU172	4.21
063_FE	U177-178-179FE 5X-A3vert	CPTU178	3.34
064_FE	U180-181-182FE 5X-A3vert	CPTU181	1.84
065_FE	U183-184-185FE 5X-A3vert	CPTU184	5.34
066_FE	S68FE-S92RV 5X-A3-orizzontale	analizzata con Vs	
067_FE	U186-187-188FE 5X-A3vert	CPTU187	1.61
068_FE	U189-190-191FE 5X-A3vert	CPTU190	2.28
069_FE	U193-194FE 5X-A3vert	CPTU193	5.98
070_FE	U198-199-200FE 5X-A3-orizzontale	CPTU199	2.27
071_FE	S71-72-73FE 5X A3-orizzontale	analizzata con Vs	
072_FE	U201-202-203FE 5X rev1-A3vert	CPTU202	4.36
073_FE	U204-205-206FE 5X A3-orizzontale	CPTU205	11.80
074_FE	U207-208-209FE 5X A3-orizzontale	CPTU208	4.85
075_FE	U213-214-215FE 5X A3-orizzontale	CPTU214	4.16
076_FE	S74-75-76-77FEperp 5X A3vert	analizzata con Vs	
077_FE	U214-S75-74FE 5X-A3-orizzontale	non analizzata	
078_FE	U215-S77-76FE_piana5X-A3-orizzontale	non analizzata	
079_FE	U216-217-218FE 5X rev1-A3-orizzontale	CPTU217	11.12
080_FE	U219-220-221FE 5X rev1_A3vert	CPTU220	5.51
081_FE	U222-223-224FE 5X-A3vert	CPTU223	8.10
082_FE	U225-226-227FE 5X rev1-A3vert	CPTU226	5.95
083_FE	U231-232-233FE 5X-A3vert	CPTU231	3.47
084_FE	U234-236FE 5X rev1-A3vert	CPTU234	10.60
085_FE	U237-238-239FE 5X-A3vert	CPTU238	2.26
086_FE	U240-241-242FE 5X-A3-orizzontale	CPTU241	2.67
087_FE	U243-244-245FE 5X-A3-orizzontale	CPTU244	4.85
088_FE	S80FE 5X A3vert	analizzata con Vs	
089_FE	S81FE 5X A3vert	non analizzata	
090_FE	U250-251FE 5X rev1-A3vert	CPTU250	7.05



FERRARA





VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE



RO

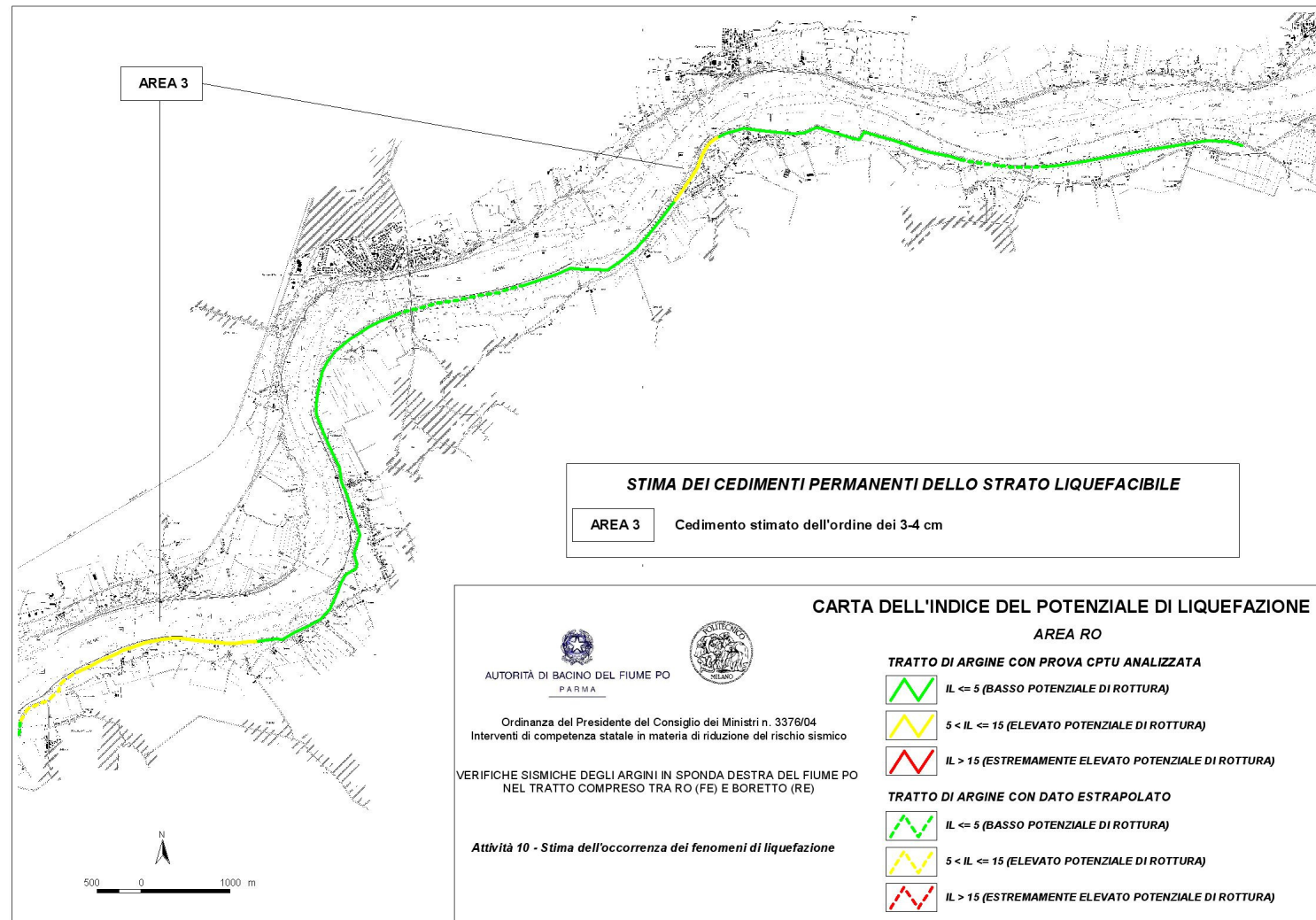
n° SEZIONE	codifica PROVA	Prova utilizzata	Valore di IL
091_RO	U252riquotato-253-254RO_5X_rev1-A3vert	CPTU253	9.59
092_RO	U255-256-257RO_5X_rev1-A3vert	CPTU256	4.84
093_RO	U258riquot-259-260riquotRO_5X_rev1-A3vert	CPTU259	2.19
094_RO	U262-263RO_5X_rev1-A3vert	CPTU262	2.74
095_RO	U264-265-266RO_5X_rev1-A3-orizzontale	CPTU265	1.25
096_RO	U270-271-272RO_rev1-A3vert	CPTU271	4.98
097_RO	S84-85-86RO_5X_rev1_A3vert	analizzata con Vs	
098_RO	U273-274-275RO_5X-A3vert	CPTU274	0.71
099_RO	U276-277-278RO_5X_rev1-A3vert	CPTU277	2.69
100_RO	U279-280-281RO_5X-A3vert	CPTU280	5.32
101_RO	U285-286-287RO_5X_rev1-A3vert	CPTU286	1.11
102_RO	U288-289-290RO_5X-A3vert	CPTU289	0.84
103_RO	U291-292-293RO_5X-A3vert	CPTU292	3.98
104_RO	S89RO_5X-A3vert	non analizzata	
105_RO	S89RO_5X-A3orizz	analizzata con Vs	
106_RO	U295-296RO_5X_rev1-A3vert	CPTU295	4.37
107_RO	U298-299RO_5X-A3vert	CPTU298	4.41



VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE



RO





CEDIMENTI PERMANENTI

Cedimenti permanenti terreni granulari liquefacibili					
AREA 1		AREA 2		AREA 3	
SEZ:	65-69-73	SEZ:	79-80-81-82-84	SEZ:	90-91-100
Sondaggio	S68	Sondaggio	S68	Sondaggio	S90
Campione	C3	Campione	C3	Campione	C3
Profondità	12.50-13.00 m	Profondità	12.50-13.00 m	Profondità	10.60-11.20 m
e_0	1.226	e_0	1.226	e_0	1.061
Cc	0.15	Cc	0.15	Cc	0.14
γ_{max}	0.2	γ_{max}	0.15	γ_{max}	0.1
r_u	0.6	r_u	0.5	r_u	0.4
C_r	0.03375	C_r	0.03375	C_r	0.0315
α	1	α	1	α	1
ϵ_v %	0.006033457	ϵ_v %	0.004564134	ϵ_v %	0.003390701
H strato liquefacibile m	10-14	H strato liquefacibile m	10-14	H strato liquefacibile m	10-12
ΔH liquefacibili cm	6-8	ΔH liquefacibili cm	5-6	ΔH liquefacibili cm	3-4