

COMUNE DI PIANORO  
Provincia di Bologna

*Discarica per rifiuti inerti "Ca' Cirenaica" con finalità di  
recupero geomorfologico*

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
5					
4					
3					
2					
1	12/11/21	Prima Emissione	CDL	FO	GL
0					

COMMITTENTE:



PROGETTISTI:



Lungotevere delle Navi, 19 - 00196 - ROMA  
Tel. 0636010314 - e-mail main@studiosperi.it

GRUPPO DI LAVORO:

Fabio Oliva

Stefano Orlandi

Vincenzo Battistini

Stefano Leo

Giovanni Cuomo

Chiara Tersigni

Fabrizio Cassone


Gianluca Boninsegni

Silvia Poli

Integrazioni prestazioni specialistiche: Giorgio Lupoi


## PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO

Categoria documento Rapporto di Testo	Codice Elaborato 4.4	Scala -
Titolo Studio di Microzonizzazione Sismica	Data di emissione 12 Novembre 2021	

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>Risposta sismica locale .....</b>	<b>2</b>
1.1.1.	Premesse.....	2
1.1.2.	Definizione del modello di sottosuolo .....	2
1.1.3.	Calcolo del moto atteso in superficie .....	5
1.1.4.	Spettri di risposta finale.....	7

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 1.1.1. PREMESSE

Nel presente lavoro è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito (Risposta Sismica Locale), l'analisi è stata eseguita mediante approccio non semplificato (terzo livello di approfondimento) come previsto dalle NTC 2008 e dalla Delibera Assemblea Legislativa Regione Emilia Romagna n. 2193 del 2015, utilizzando il codice di calcolo EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits di Bardet, Ichii e Lin, 2000). L'analisi degli effetti sismici di sito di III Livello è stata condotta secondo il seguente schema:

- Definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
- Selezione di n. 10 accelerogrammi di input (terremoti di riferimento-componente orizzontale) rappresentativi del moto sismico atteso su sito di riferimento rigido affiorante (sottosuolo di categoria A); di questi 10 accelerogrammi di input n. 3 sono stati forniti dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna disponibile nel sito [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) (relativamente al comune a cui appartiene il sito di interesse) e n. 7 dalla banca dati disponibile sul sito SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE (Corigliano M., Lai C.G., Rota M., Strobbia C.L. [2012] "ASCONA: Automated Selection of Compatible Natural Accelerograms") riferiti al sito di Pianoro(BO). Tutte le registrazioni accelerometriche utilizzate sono spettro-compatibili (in media) allo spettro di risposta definito su suolo di categoria A per un periodo di ritorno 475 anni (azione sismica definita secondo il DM 14 Gennaio 2008, Norme tecniche per le costruzioni);
- Calcolo del moto atteso al sito (spettro di risposta in accelerazione dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà SDOF). Lo spettro finale è pertanto una media degli spettri di risposta ottenuti a partire dai 10 accelerogrammi di input sopracitati. Associati allo spettro di risposta finale vengono inoltre forniti i valori del rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ )

### 1.1.2. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO

Il modello di sottosuolo del sito di indagine è stato ricostruito a partire da una serie di indagini geotecniche (sondaggi geognostici, prove penetrometriche ecc) e geofisiche (masw. Remi. Hvsr).

Sono state individuate e caratterizzate tre aree su cui sono state eseguite le verifiche della risposta sismica:

1. AREA A (costituita da argille plioceniche)
2. AREA B (costituita da riporto antropico (PREVAM) che poggia su argille plioceniche)
3. AREA C (depositi alluvionali che poggiano sulle argille plioceniche)

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI


Di seguito le stratigrafie di riferimento utilizzate:

#### AREA A

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)
Surface	1	1		3.0	88.38		19.66	210
	2	1		6.0	125.26		19.66	250
	3	1		16.0	424.07		19.66	460
	4	1		12.0	501.03		19.66	500
	5	1		19.0	795.43		19.66	630
Bedrock	6	0		15.0	1282.63		19.66	800

#### AREA B

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)
Surface	1	1		2.0	80.16		19.66	200
	2	1		5.0	135.48		19.66	260
	3	1		12.0	353.52		19.66	420
	4	1		12.0	461.75		19.66	480
	5	1		14.0	795.43		19.66	630
Bedrock	6	0		15.0	1282.63		19.66	800

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

## AREA C

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)
Surface	1	1		5.0	80.16		19.66	200
	2	1		8.5	135.48		19.66	260
	3	1		4.0	289.39		19.66	380
	4	1		12.5	461.75		19.66	480
	5	1		23.0	795.43		19.66	630
Bedrock	6	0		12.0	1282.63		19.66	800

Le curve di smorzamento impiegate per le coperture e per il bedrock sono riportate nelle figure seguenti:

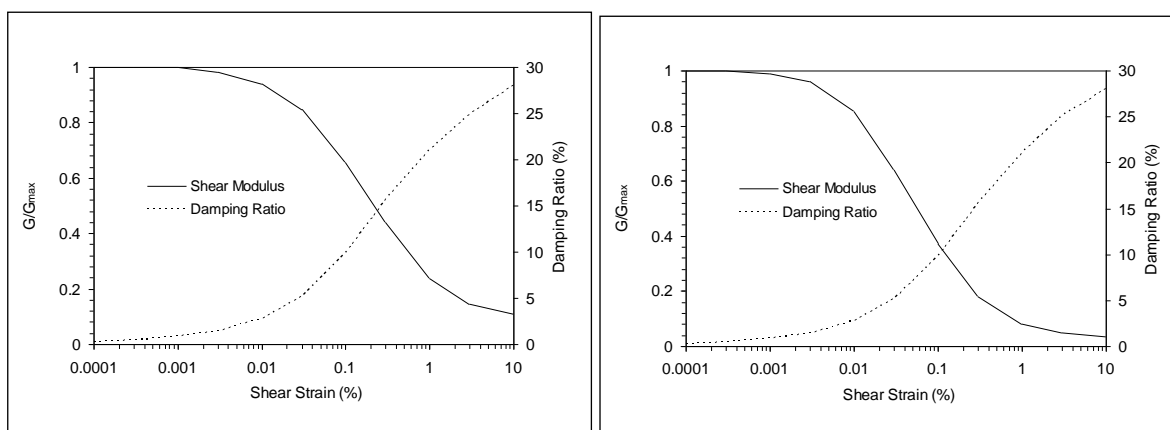



FIGURA 1 - A SX CURVA DI SMORZAMENTO RELATIVA AL **SOIL TYPE 1** (ARGILLA SEED & SUN, 1989); A DX CURVA DI SMORZAMENTO RELATIVA AL **SOIL TYPE 2** (SABBIA; SEED & IDRIS, 1970)

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

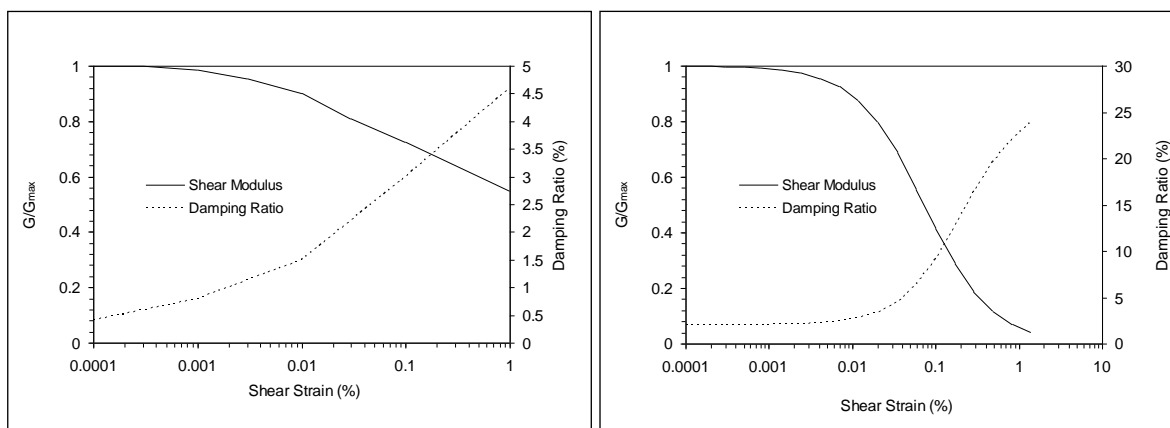
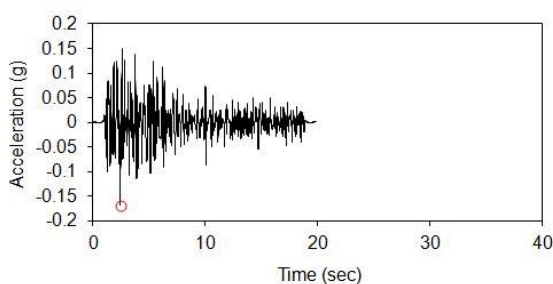


FIGURA 2 – A SX CURVA DI SMORZAMENTO RELATIVA AL **SOIL TYPE 3** (ROCCIA); A DX CURVA DI SMORZAMENTO RELATIVA AL **SOIL TYPE 8** (SABBIOSO; DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE DEL POLITECNICO DI MILANO; ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO IN DETERMINATI COMUNI DEL TERRITORIO LOMBARDO)

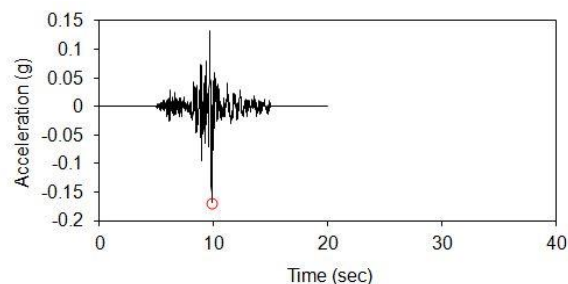
### 1.1.3. CALCOLO DEL MOTO ATTESO IN SUPERFICIE


Come accennato in premessa per il calcolo delle accelerazioni attese in superficie è stato utilizzato il codice EERA (Bardet, Ichii e Lin, 2000) applicandolo al modello di sottosuolo precedentemente descritto. Il moto atteso in superficie è stato calcolato a partire da N. 10 accelerogrammi reali di input (componente orizzontale del moto) riferiti a un sito in roccia (sito di riferimento rigido orizzontale di categoria A) e scalati alla pericolosità sismica di base del sito in esame (accelerazione massima orizzontale di riferimento  $PGA_0$  fornita dalla Regione E-R, pari a 0.170 g, riferita allo Stato Limite Ultimo SLV con periodo di ritorno  $T_R$  di 475 anni e probabilità di superamento  $P_{VR}$  del 10% in 50 anni). In premessa è stato specificato da dove provengono gli accelerogrammi utilizzati nel presente studio di RSL.

ACCELEROGRAMMA 1 (Regione E-R)

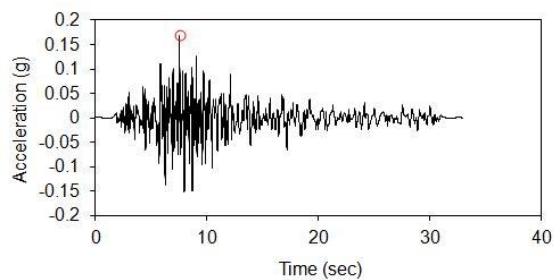


ACCELEROGRAMMA 2 (Regione E-R)

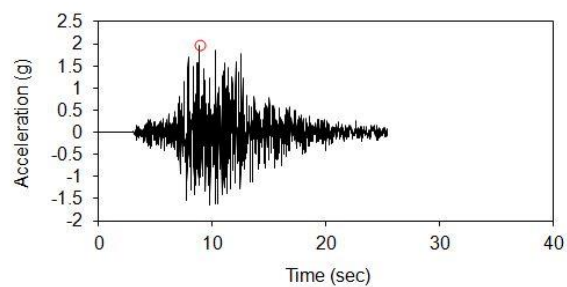


	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

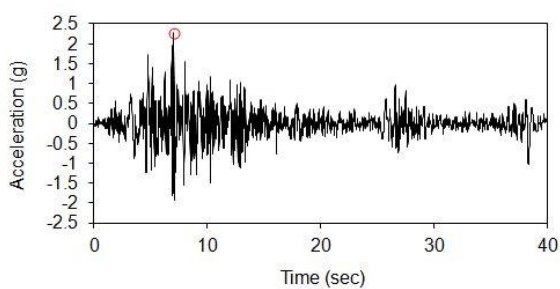
**ACCELEROGRAMMA 3 (Regione E-R)**



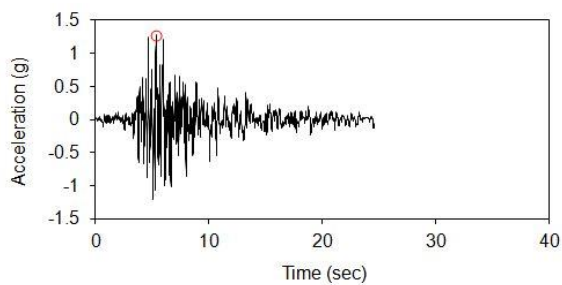
**ACCELEROGRAMMA 1 (Eucentre)**



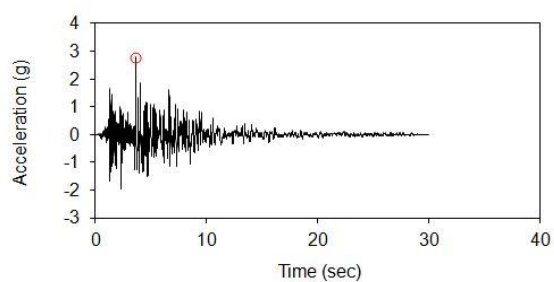
**ACCELEROGRAMMA 2 (Eucentre)**



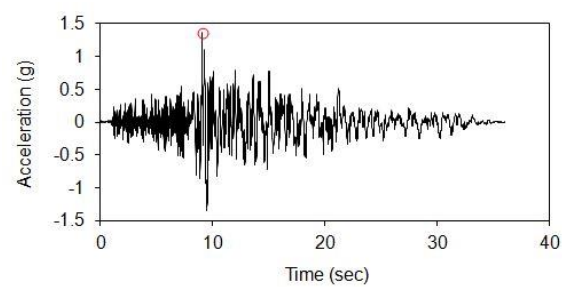
**ACCELEROGRAMMA 3 (Eucentre)**



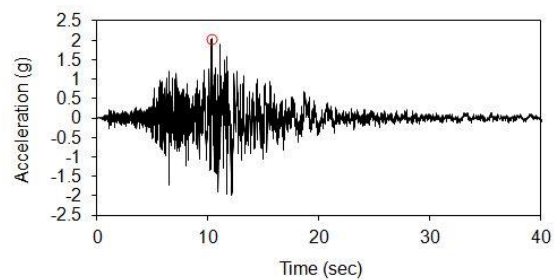
**ACCELEROGRAMMA 4 (Eucentre)**



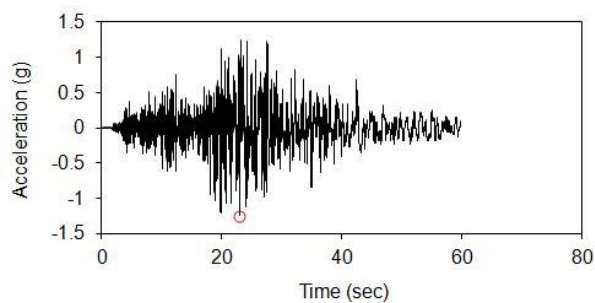
**ACCELEROGRAMMA 5 (Eucentre)**




**ACCELEROGRAMMA 6 (Eucentre)**



**ACCELEROGRAMMA 7 (Eucentre)**



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

#### 1.1.4. SPETTRI DI RISPOSTA FINALE

A partire dai 10 accelerogrammi di input, per il modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un solo grado di libertà SDOF).

##### AREA A

La figura sottostante riporta gli spettri ottenuti:

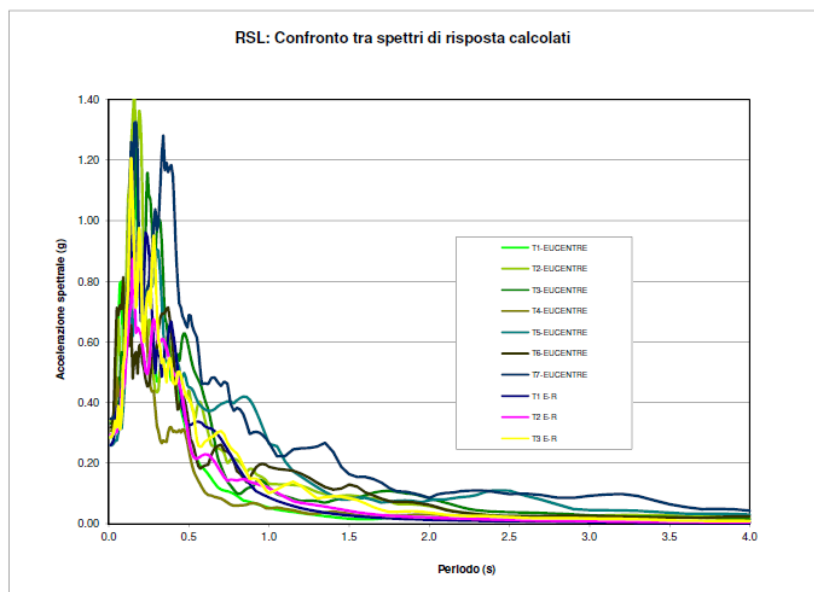



FIGURA 3 – SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE ATTESI AL SITO

La figura seguente riporta lo spettro di risposta finale ottenuto dalla media delle forme spettrali della figura precedente. Lo spettro medio è stato messo a confronto con lo spettro di risposta elastico che si otterrebbe dall'applicazione dell'approccio semplificato basato sul parametro Vs30 (NTC 2008) per lo Stato Limite ultimo SLV ( $T_R = 475$  anni e  $P_{VR}$  del 10% in 50 anni). Per il sito in esame la categoria di sottosuolo sarebbe la C ( $Vs30 = 195$  m/s; come da tabella 3.2. II NTC 2008).



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

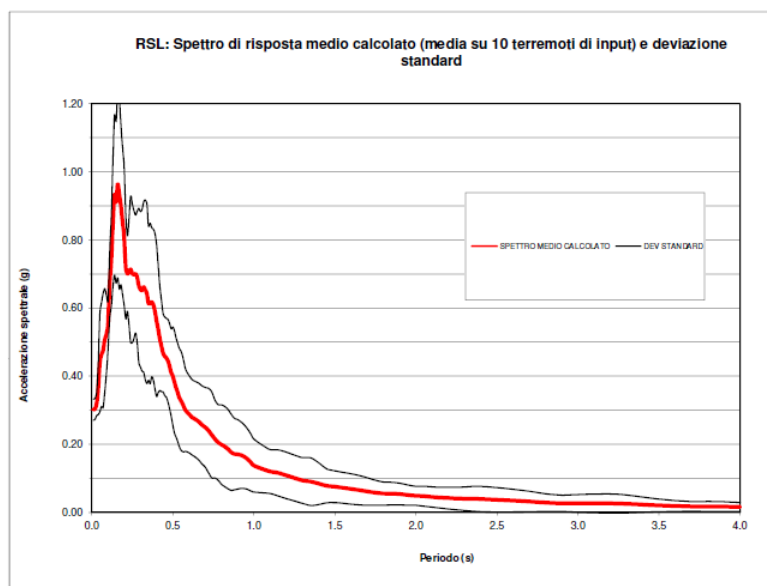


FIGURA 4 – SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO CALCOLATO E DEVIAZIONE STANDARD

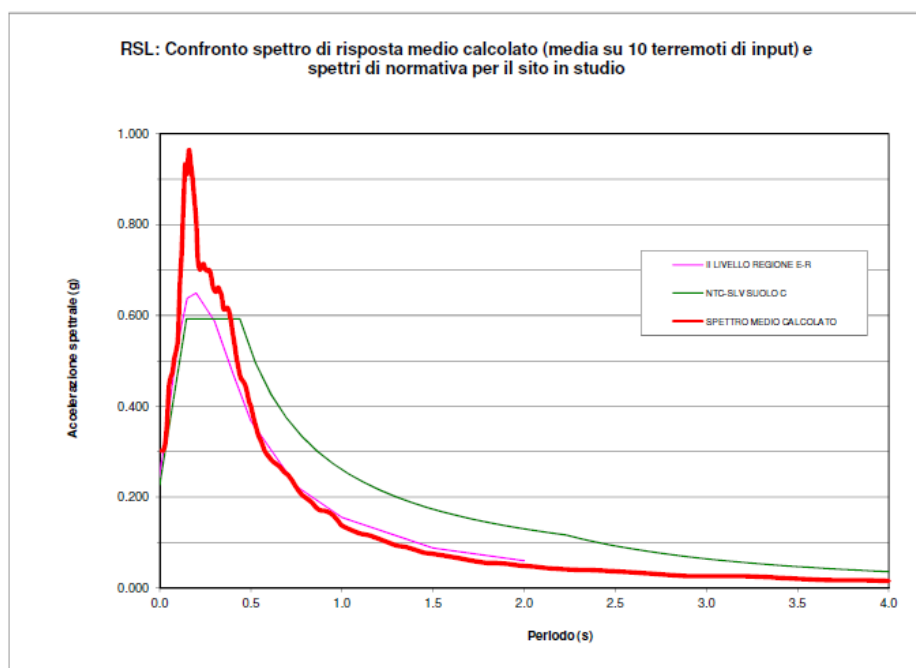




FIGURA 5 – SPETTRO DI RISPOSTA FINALE CALCOLATO (CURVA ROSSA) E CONFRONTO CON SPETTRI DI NORMATIVA

Il valore di PGA dello spettro medio finale è risultato pari a **0.30 g**. Si riportano di seguito il rapporto di amplificazione medio della PGA e le intensità di Housner per ogni accelerogramma utilizzato ed i relativi rapporti nei seguenti intervalli (0 – 0.5, 0.5 – 1.0, 0.5 – 1.5):

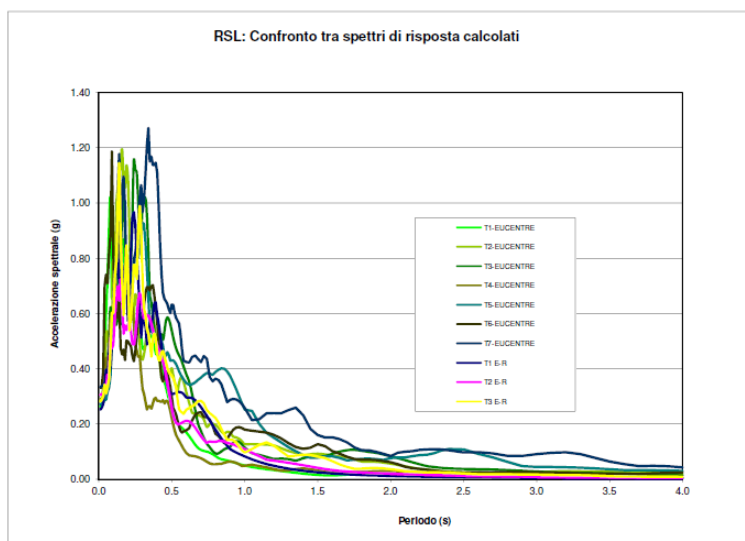
	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

	PGA/PGA0
T1 ER	1.6
T2 ER	1.8
T3 ER	1.7
T1	1.8
T2	2.1
T3	2.0
T4	1.9
T5	1.6
T6	1.9
T7	2.1
<b>MEDIA</b>	<b>1.85</b>
<b>DEV ST.</b>	<b>0.2</b>

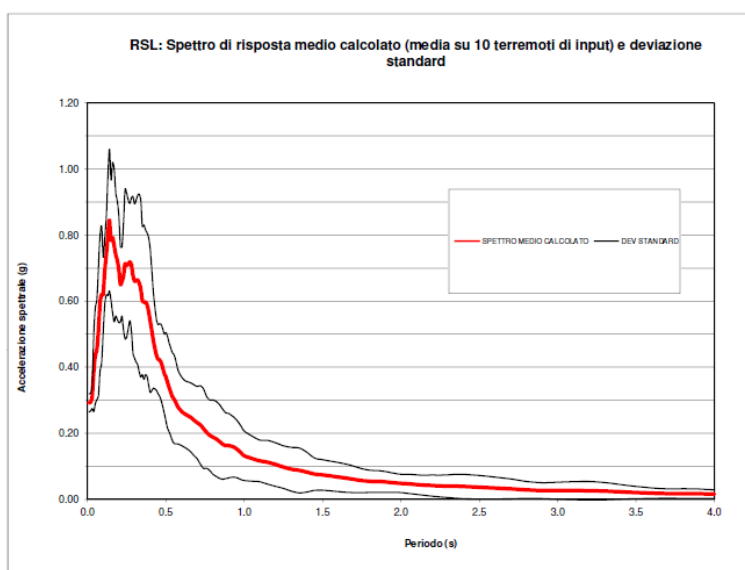
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	RER1	RER2	RER3	MEDIE
<b>SI 0</b>	1678.42	2829.66	3086.99	1508.64	3855.89	2893.51	5541.83	2081.01	1908.50	2509.19	
<b>SI 1</b>	1034.08	1193.26	1435.44	814.47	1210.52	1051.12	1800.20	1144.77	1028.04	1166.44	
<b>SI 2</b>	407.06	821.03	807.45	304.56	1293.11	689.62	1419.70	735.17	570.57	776.54	
<b>SI 3</b>	463.11	1036.30	966.89	382.23	1558.05	974.23	1870.98	822.39	694.87	979.58	
<b>SI0/SI1</b>	1.62	2.37	2.15	1.85	3.19	2.75	3.08	1.82	1.86	2.15	2.28
<b>SI0/SI2</b>	4.12	3.45	3.82	4.95	2.98	4.20	3.90	2.83	3.34	3.23	3.68
<b>SI0/SI3</b>	3.62	2.73	3.19	3.95	2.47	2.97	2.96	2.53	2.75	2.56	2.97


	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

## AREA B



	PGA/PGA0
T1 ER	<b>1.5</b>
T2 ER	<b>1.9</b>
T3 ER	<b>1.7</b>
T1	<b>1.6</b>
T2	<b>1.9</b>
T3	<b>1.7</b>
T4	<b>1.8</b>
T5	<b>1.7</b>
T6	<b>2.0</b>
T7	<b>2.1</b>
<b>MEDIA</b>	<b>1.79</b>
<b>DEV ST.</b>	<b>0.2</b>



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

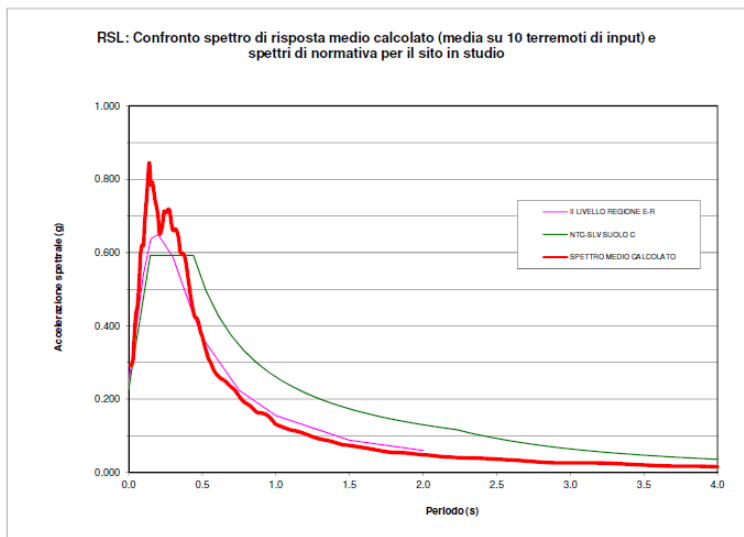


FIGURA 6 – SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE ATTESI AL SITO, SPETTRO MEDIO E RELATIVO CONFRONTO CON QUELLI DI NORMATIVA

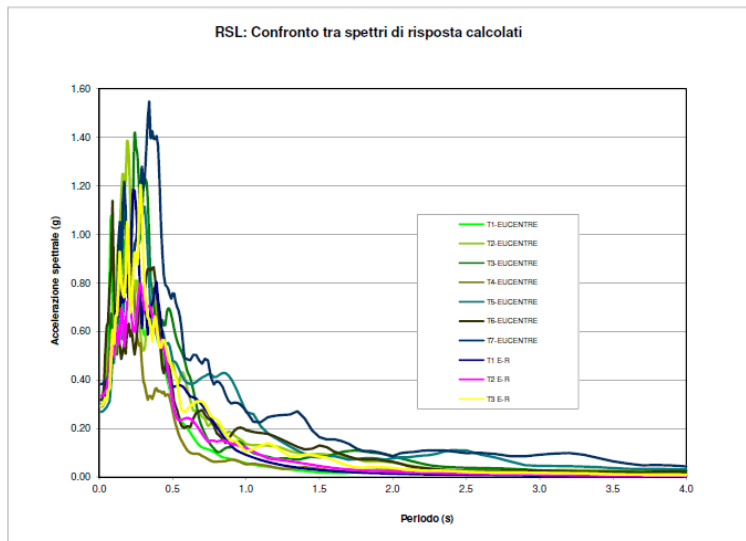
Di seguito le intensità di Housner:

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	RER1	RER2	RER3	MEDIE
<b>SI 0</b>	1592.55	2672.56	2966.25	1428.36	3742.74	2822.04	5352.26	1983.64	1813.54	2404.71	
<b>SI 1</b>	977.47	1105.97	1380.39	760.07	1181.73	1032.70	1721.87	1108.59	981.15	1117.77	
<b>SI 2</b>	381.61	763.45	752.90	281.97	1226.07	649.55	1329.81	689.19	531.95	728.55	
<b>SI 3</b>	434.52	973.15	908.91	357.40	1482.56	926.21	1768.31	770.98	652.06	926.78	
<b>SI0/SI1</b>	1.63	2.42	2.15	1.88	3.17	2.73	3.11	1.79	1.85	2.15	2.29
<b>SI0/SI2</b>	4.17	3.50	3.94	5.07	3.05	4.34	4.02	2.88	3.41	3.30	3.77
<b>SI0/SI3</b>	3.67	2.75	3.26	4.00	2.52	3.05	3.03	2.57	2.78	2.59	3.02

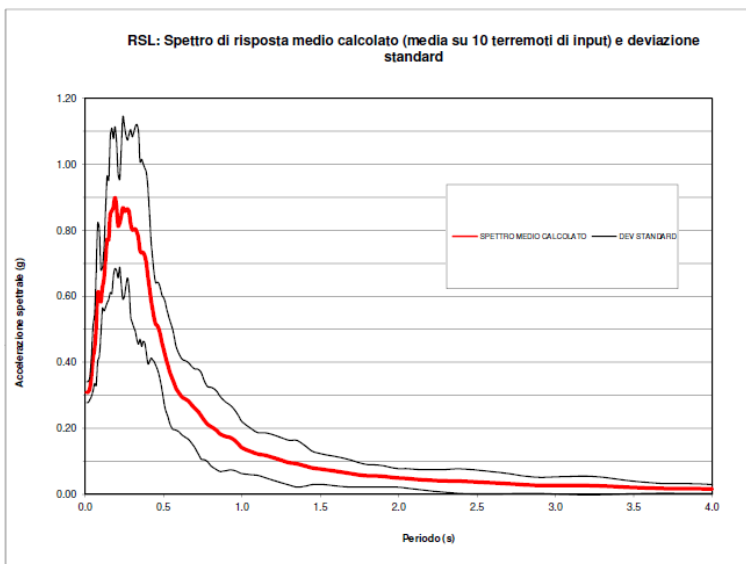
Per l'area B, Il valore di PGA dello spettro medio finale è risultato pari a **0.29 g**


	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

## AREA C



	PGA/PGA0
T1 ER	1.8
T2 ER	2.0
T3 ER	1.8
T1	1.8
T2	1.8
T3	2.0
T4	1.8
T5	1.7
T6	1.9
T7	2.3
<b>MEDIA</b>	<b>1.90</b>
<b>DEV ST.</b>	<b>0.2</b>



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

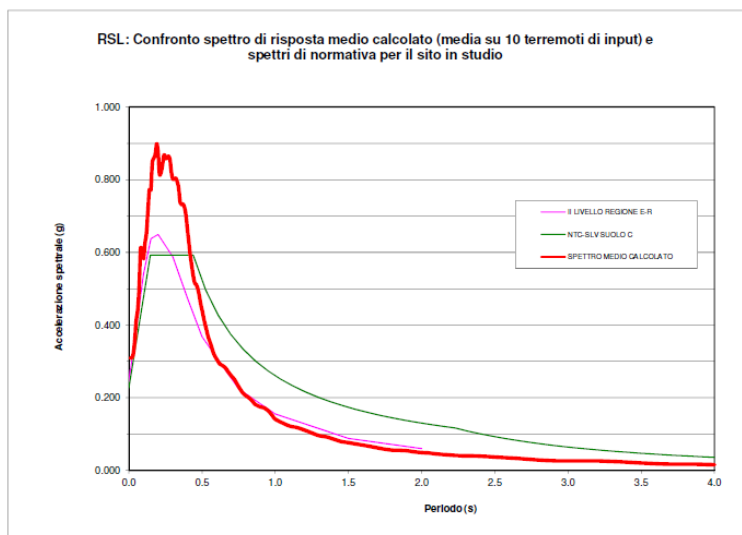



FIGURA 7 – SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE ATTESI AL SITO, SPETTRO MEDIO E RELATIVO CONFRONTO CON QUELLI DI NORMATIVA

Di seguito le intensità di Housner:

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	RER1	RER2	RER3	MEDIE
<b>SI 0</b>	1859.14	2988.07	3351.70	1622.29	4085.99	3102.63	5872.58	2323.21	2085.90	2703.99	
<b>SI 1</b>	1167.34	1304.11	1635.17	904.91	1385.89	1219.65	2055.35	1316.55	1155.33	1321.79	
<b>SI 2</b>	449.02	864.10	866.50	327.39	1338.64	726.49	1488.90	797.41	599.36	813.16	
<b>SI 3</b>	510.58	1081.38	1027.37	406.33	1610.43	1014.45	1946.41	889.22	729.50	1017.61	
<b>SI0/SI1</b>	1.59	2.29	2.05	1.79	2.95	2.54	2.86	1.76	1.81	2.05	2.17
<b>SI0/SI2</b>	4.14	3.46	3.87	4.96	3.05	4.27	3.94	2.91	3.48	3.33	3.74
<b>SI0/SI3</b>	3.64	2.76	3.26	3.99	2.54	3.06	3.02	2.61	2.86	2.66	3.04

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) WBS E ELENCO ELABORATI

Per l'area C, Il valore di PGA dello spettro medio finale è risultato pari a **0.31 g**. Di seguito il confronto degli spettri delle tre aree in esame:

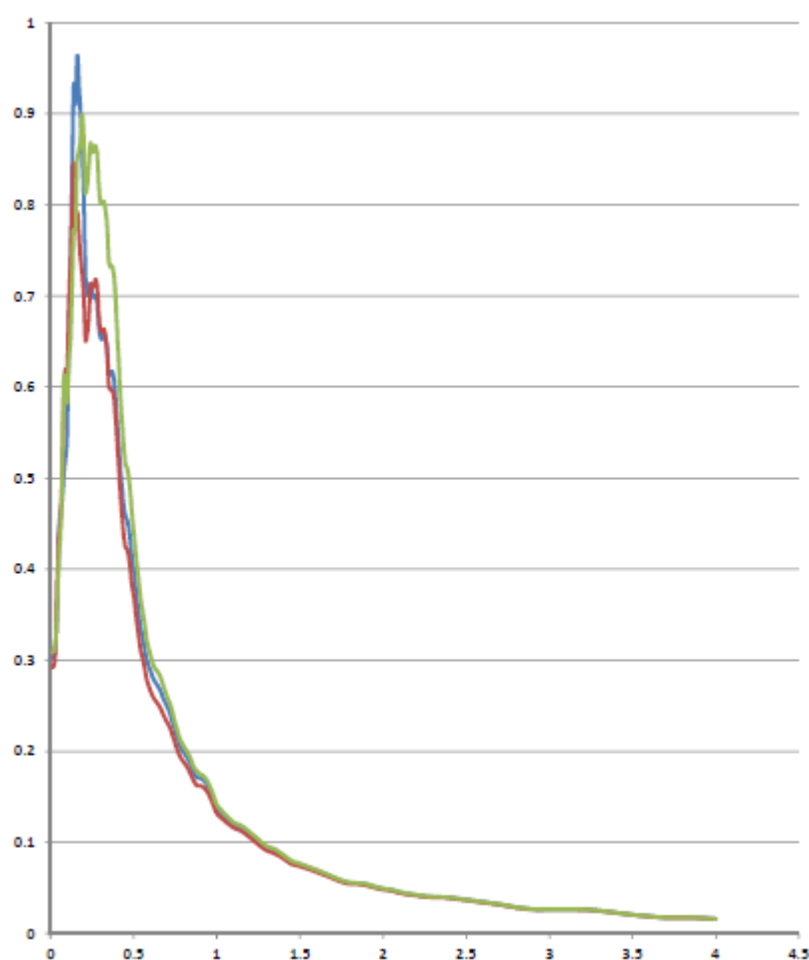


FIGURA 8 – CONFRONTO DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA PER LE TRE AREE IN ESAME