

Le NTC 2018 dicono:

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

PRIMA RELAZIONE GEOLOGICA 8/1/2020

FASE 1 approccio semplificato NTC 2018

Nella prima relazione datata 08 gennaio 2020, al capitolo 3.0 Definizione dei Parametri Sismici, si sono stimate le accelerazioni sismiche attese in superficie mediante l'approccio semplificato, che utilizza la Categoria di Suolo sismico di tipo C, ovvero mediante un metodo che stima le accelerazioni solo attraverso la Vs30, ovvero attraverso le proprietà dei primi 30m di terreno (con questo metodo si trascura completamente cosa c'è e come si comporta, nella porzione di terreno che va oltre i 30m di profondità, quindi a parità di profilo di Vs nei primi 30m, che ci sia il bedrock sismico a 35m di profondità o che esso sia a 400m di profondità, il risultato del calcolo non cambia; è evidente che questo metodo semplificato non è affidabile ed è molto cautelativo nei terreni di pianura ove il bedrock sismico è molto profondo).

Con il metodo semplificato proposto dalle NTC 2018 la PGA di superficie viene fuori di circa:

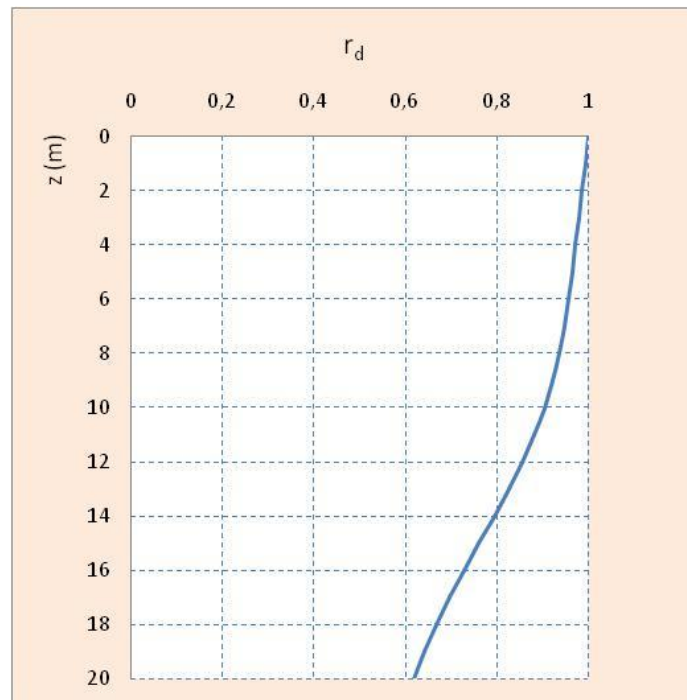
NTC2018 0,192gx1,42=0,272g.

Il profilo della PGA con la profondità, necessario per calcolare la CSR, viene ricostruito utilizzando una semplice funzione matematica che definisce il parametro "rd" che non tiene in alcun conto della stratigrafia geologica presente nei primi 20m, ovvero non tiene conto del decadimento del modulo Go e dello smorzamento che il terreno subisce con la deformazione provocata dall'azione di taglio ciclico indotta dal sisma.

rd - COEFFICIENTE DI RIDUZIONE DELLE TENSIONI

- Formula A utilizzata nei metodi 1. NCEER e 2. Rob

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.001210 \cdot z^2} \leq 1 \quad \text{(Blake, 1996)} \quad (9)$$



E' stato utilizzato il metodo NCEER (1998) praticamente uguale al metodo di Robertson (2010), che verrà utilizzato successivamente.

Prova	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	1,59
CPTU2	0,75
CPTU3	1,89

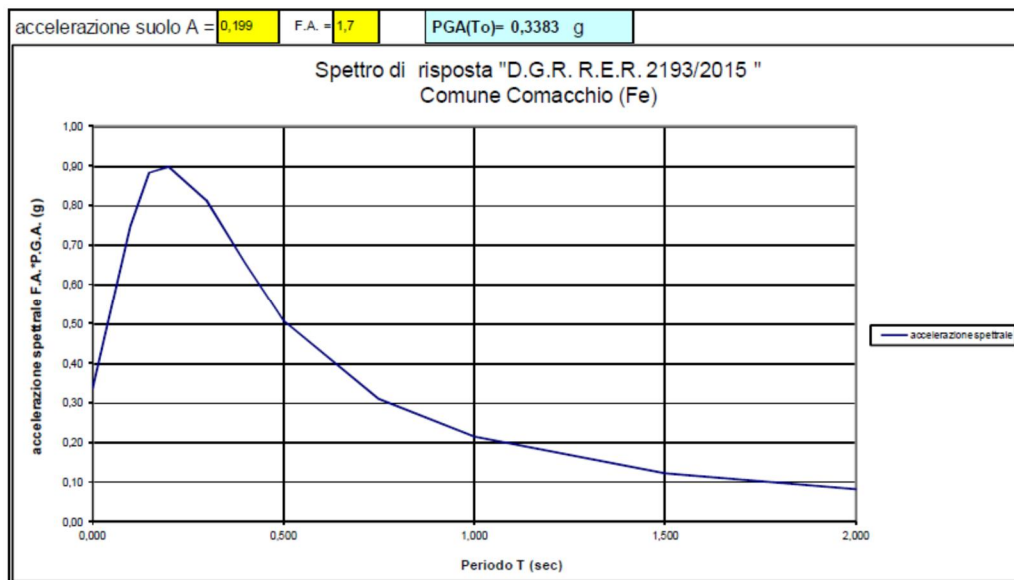
Tabella 3.3 – *Indice potenziale liquefazione calcolato*

Prova	Cedimenti post-sismici (cm)
SCPTU1	6,62
CPTU2	4,02
CPTU3	7,82

Tabella 3.4 – *Cedimenti post-sismici*

Questo metodo semplificato dunque mostra sostanzialmente delle lacune concettuali, per cui nel corso degli studi verrà messo da parte e sostituito con gli studi specifici di risposta sismica locale, dapprima "poco solidi" perché condotti con dati bibliografici ma poi si rimedierà facendo ricorso a costosi dati sito specifici acquisiti in sito.

Come si vedrà l'utilizzo della risposta sismica ricavata da spettri semplificati e successivamente ricavata da abachi regionali, condurrà a differenze significative. Ma queste differenze troveranno poi una convergenza definitiva nello studio specifico di risposta sismica locale di III livello, che supererà entrambi.



Usando la PGA di superficie ($PGA = PGA_{ox} \times FA = 0,199 \times 1,7 = 0,3383g$) ricavata con gli abachi di II livello per la stima dei fattori di amplificazione, ed il metodo NCEER (1998) si ricavano i seguenti valori di IPL:

Prova	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	5,80
CPTU2	2,36
CPTU3	4,76

Tabella D.2 – *Indice potenziale liquefazione calcolato DGR 630/2019 – $F_L = 1,2$.*

Prova	Cedimenti post-sismici (cm)
SCPTU1	11,29
CPTU2	6,36
CPTU3	10,35

Tabella D.3 – *Cedimenti post-sismici*

Anche questa parte di studio è destinata ad essere superata dai successivi studi di risposta sismica locale di III livello, dove le azioni sismiche vengono calcolate mediante lo studio della risposta geotecnica in campo dinamico dei terreni presenti al di sotto del sito allo studio.

PRIMA RELAZIONE GEOLOGICA 8/1/2020

FASE 3

Nella prima relazione datata 08 gennaio 2020 si è redatta una analisi di risposta sismica locale utilizzando dati ricavati dagli studi di micro zonazione sismica del Comune di Bagnara di Romagna, ma che in effetti provenivano da siti lontani, come fatto osservare dagli Enti di controllo. Su questa parte non ci si sofferma in quanto è stata completamente superata dagli studi di RSL sito specifici.

SECONDA RELAZIONE GEOLOGICA 8/1/2020

La seconda relazione, datata 22 aprile 2022, contiene l'analisi di risposta sismica locale redatta dopo aver eseguito un profilo di Vs profondo in sito, prove HVSR in sito, un carotaggio con prelievo di campioni indisturbati, e prove di colonna risonante su tali campioni, che sono andati ad integrare gli altri dati acquisiti precedentemente.

Questo studio supera tutte le altre valutazioni fatte in precedenza e diventa l'unico di riferimento per la variante urbanistica (DGR 476/2021 e DGR 564/2021 che nel frattempo hanno sostituito la 630/2019) e per la progettazione esecutiva NTC 2018.

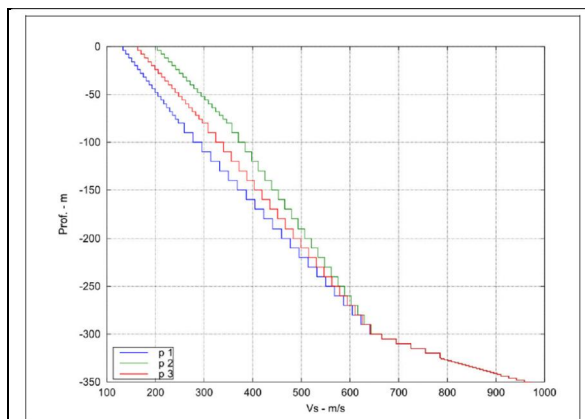
Quindi l'approccio semplificato con lo spettro ricavato dalla categoria di suolo C decade e viene sostituito dalla risposta sismica locale ricavata dallo studio specifico, come prescritto e previsto dalle NTC2018 stesse.

Il risultato della risposta sismica locale è che il fattore di amplificazione atteso FA per PGA/PGAo=1,39.

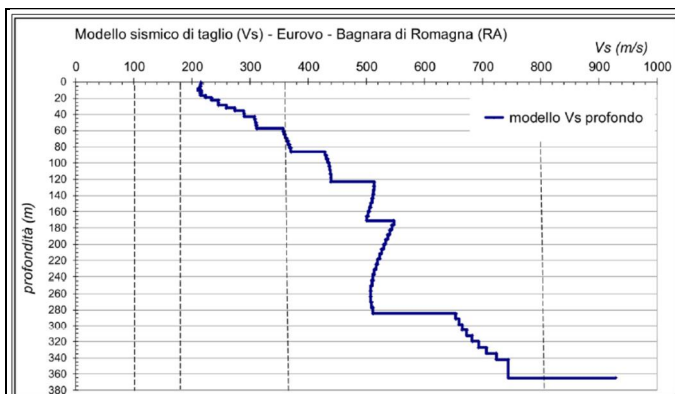
Bagnara di Romagna	Prov. Ravenna				
latitudine:	44.389964	Coordinate WGS84			
longitudine:	11.840444			PIANURA 3	PIANURA 2
	ΔT (sec)	Fattori di amplificazione da RSL		Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021	Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021
FA SA1	0.1-0.5	1,39		1.30	1.80
FA SA2	0.4-0.8	2,17		2.00	2.70
FA SA3	0.7-1.1	2.41		2.40	3.20
FA SA4	0.5-1.5	2,32		2.30	3.10
PGA/PGAo		1.39		1.30	1.70
PGAo		0,194			
PGA		0,269			
SI1	0.1-0.5	1,33		1.50	2.00
SI2	0.5-1.0	2,18		2.20	3.00
SI3	0.5-1.5	2,24		2.40	3.30
		VALORE DA RSL		VALORE DA ABACO RER	
Hsm	0.1-0.5	551	cm/sec ²	554	cm/sec ²
Hsm	0.4-0.8	517	cm/sec ²		
Hsm	0.7-1.1	370	cm/sec ²		
Hsm	0.5-1.5	358	cm/sec ²		

Tabella 5.1 - sintesi con i valori dei fattori di amplificazione e HSM calcolati attraverso l'analisi di risposta sismica locale R.S.L. e il confronto con quelli da abaco per PIANURA 3

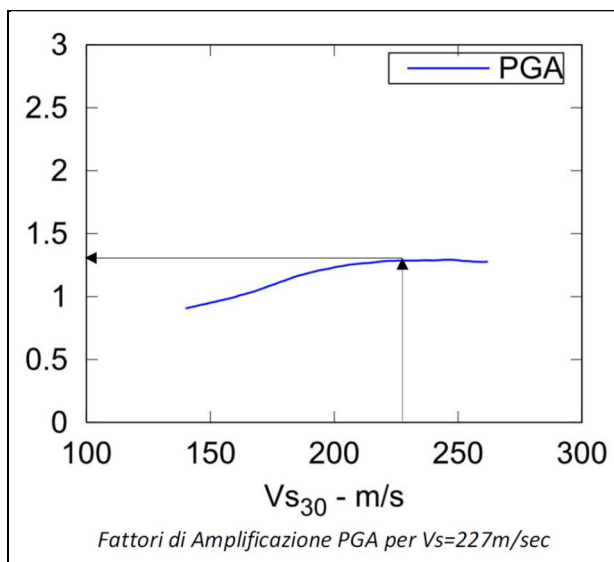
Questo risultano è coerente con quanto ci si può attendere in un settore di pianura dotata di profilo profondo di Vs, come quello qui rilevato. Si vedano i confronti con gli stralci della pubblicazione di seguito riportata:



Profili medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione



Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.



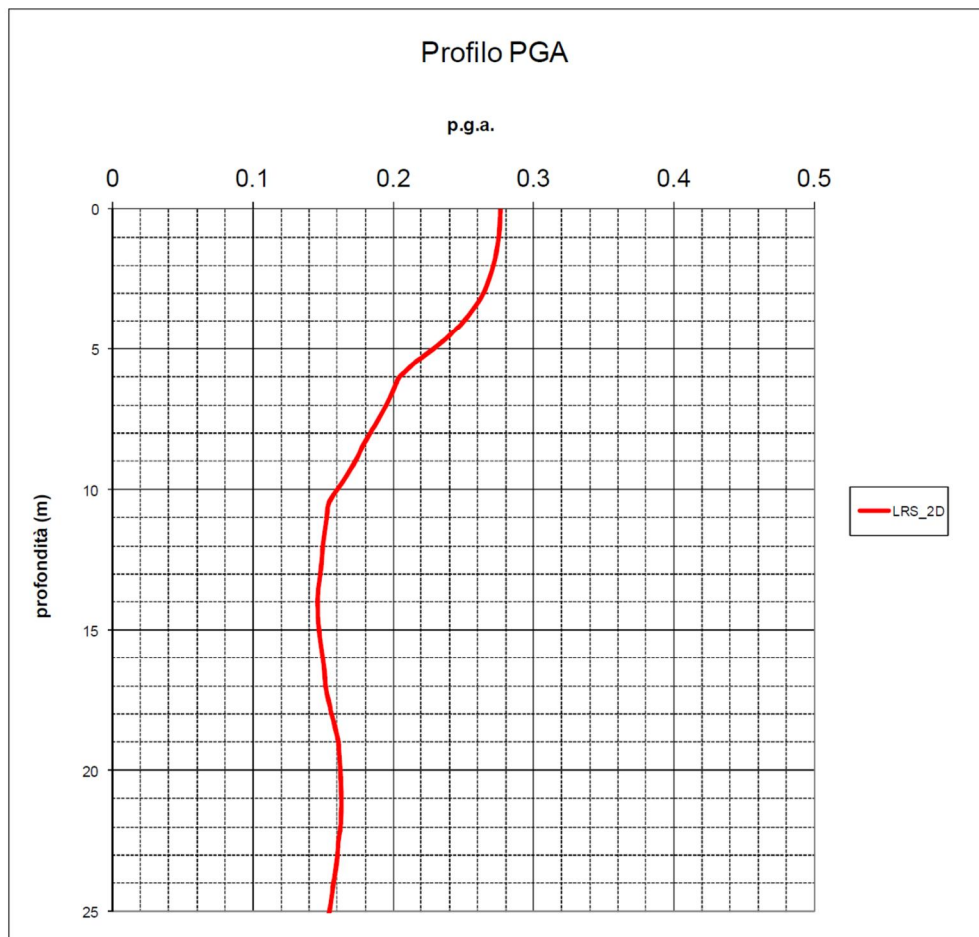
Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISTITUTO PER LA DINAMICA DEI PROCESSI
AMBIENTALI
Unità Organizzativa di Supporto - MILANO

Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna

A. Tento¹, L. Martelli², A. Marcellini¹

Milano, settembre 2015

Il profilo della PGA nei primi 20m è ricavato dai risultati di output della RSL:



Profilo di dettaglio delle PGA alle diverse profondità nei primi 20m di profondità.

Quindi punto per punto della profondità fino a -20m, si è ricavata la $CSR_{7.5.}$, secondo la formula:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

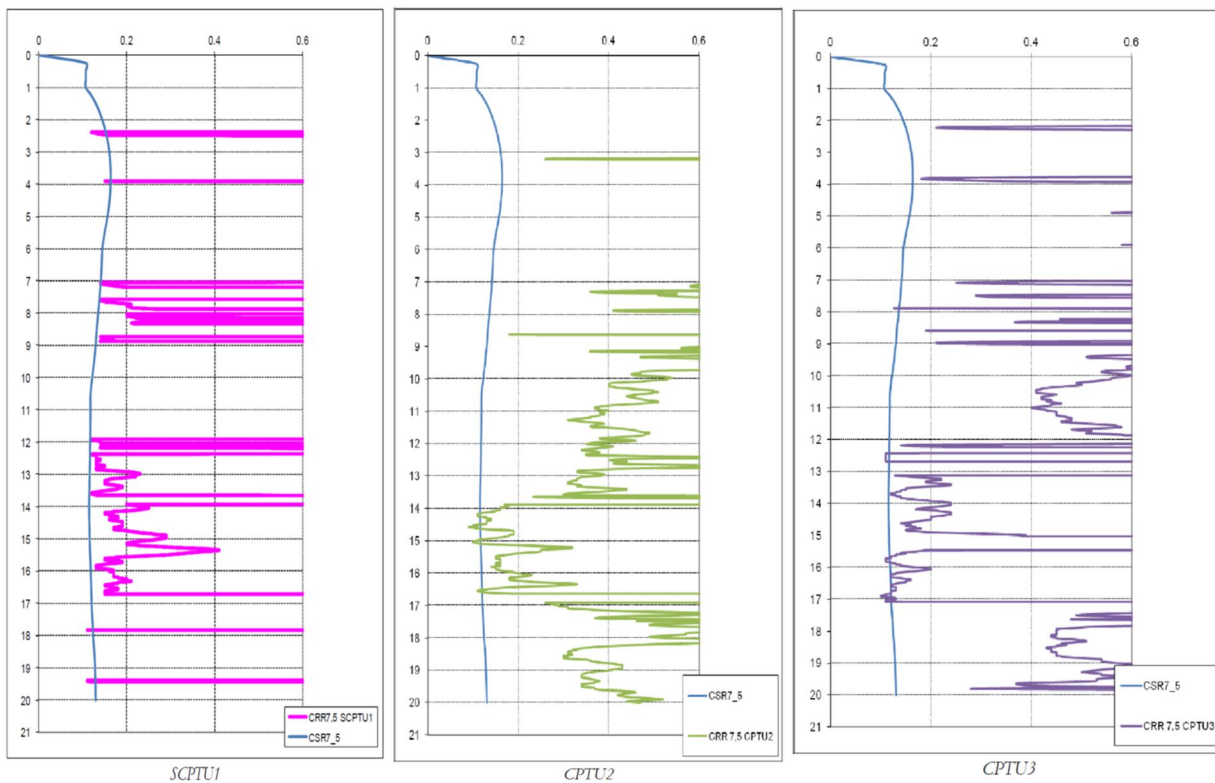
ove il fattore:

$$\cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot r_d$$

viene sostituito dal profilo di PGA ricavato dalla RSL per ogni profondità.

prof (m)	PGA	peso di volumie t/m3	s tot t/m2	u	s/v t/m2	CSR	MSF	CSR7,5
0	0.276039	1.85	0	0	0	0	1.67	0
0.25	0.275969	1.85	0.4625	0	0.4625	0.17938	1.67	0.107413
0.5	0.275751	1.85	0.925	0	0.925	0.179238	1.67	0.107328
0.75	0.27538	1.85	1.3875	0	1.3875	0.178997	1.67	0.107184
1	0.274847	1.85	1.85	0	1.85	0.178651	1.67	0.106976
1.25	0.274153	1.85	2.3125	0.25	2.0625	0.199799	1.67	0.11964
1.5	0.273314	1.85	2.775	0.5	2.275	0.216699	1.67	0.12976
1.75	0.272293	1.85	3.2375	0.75	2.4875	0.230354	1.67	0.137937
2	0.271073	1.85	3.7	1	2.7	0.241456	1.67	0.144584
2.25	0.269664	1.85	4.1625	1.25	2.9125	0.25051	1.67	0.150006
2.5	0.268012	1.85	4.625	1.5	3.125	0.257828	1.67	0.154388
2.75	0.266094	1.85	5.0875	1.75	3.3375	0.263652	1.67	0.157876
3	0.263895	1.85	5.55	2	3.55	0.268169	1.67	0.16058
3.25	0.260985	1.85	6.0125	2.25	3.7625	0.271086	1.67	0.162327
3.5	0.257672	1.85	6.475	2.5	3.975	0.272825	1.67	0.163368
3.75	0.253993	1.85	6.9375	2.75	4.1875	0.273516	1.67	0.163782
4	0.249852	1.85	7.4	3	4.4	0.273134	1.67	0.163553
4.25	0.245156	1.85	7.8625	3.25	4.6125	0.271631	1.67	0.162653
4.5	0.239982	1.85	8.325	3.5	4.825	0.26914	1.67	0.161162
4.75	0.234385	1.85	8.7875	3.75	5.0375	0.265762	1.67	0.159139
5	0.228237	1.85	9.25	4	5.25	0.261386	1.67	0.156518
5.25	0.221761	1.85	9.7125	4.25	5.4625	0.256294	1.67	0.15347
5.5	0.214869	1.85	10.175	4.5	5.675	0.250412	1.67	0.149947
5.75	0.209521	1.85	10.6375	4.75	5.8875	0.246065	1.67	0.147344
6	0.204108	1.85	11.1	5	6.1	0.241417	1.67	0.144561
6.25	0.20171	1.85	11.5625	5.25	6.3125	0.240155	1.67	0.143805
6.5	0.199599	1.85	12.025	5.5	6.525	0.239098	1.67	0.143173
6.75	0.197289	1.85	12.4875	5.75	6.7375	0.23768	1.67	0.142323
7	0.194775	1.85	12.95	6	6.95	0.235902	1.67	0.141258
7.25	0.192081	1.85	13.4125	6.25	7.1625	0.233799	1.67	0.139999
7.5	0.189243	1.85	13.875	6.5	7.375	0.231422	1.67	0.138576
7.75	0.186272	1.85	14.3375	6.75	7.5875	0.22879	1.67	0.137
8	0.183203	1.85	14.8	7	7.8	0.225951	1.67	0.1353
8.25	0.180331	1.85	15.2625	7.25	8.0125	0.223276	1.67	0.133698
8.5	0.17751	1.85	15.725	7.5	8.225	0.220593	1.67	0.132091
8.75	0.175169	1.85	16.1875	7.75	8.4375	0.218442	1.67	0.130804
9	0.172674	1.75	16.625	8	8.625	0.216343	1.67	0.129547
9.25	0.169739	1.75	17.0625	8.25	8.8125	0.213619	1.67	0.127915
9.5	0.166586	1.75	17.5	8.5	9	0.210547	1.67	0.126076
9.75	0.163365	1.75	17.9375	8.75	9.1875	0.207318	1.67	0.124142
10	0.159901	1.75	18.375	9	9.375	0.203714	1.67	0.121984
10.25	0.156266	1.75	18.8125	9.25	9.5625	0.199826	1.67	0.119656
10.5	0.153739	1.75	19.25	9.5	9.75	0.197299	1.67	0.118143
10.75	0.152935	1.75	19.6875	9.75	9.9375	0.19694	1.67	0.117928
11	0.152361	1.75	20.125	10	10.125	0.196847	1.67	0.117873
11.25	0.151729	1.75	20.5625	10.25	10.3125	0.19665	1.67	0.117755
11.5	0.150986	1.75	21	10.5	10.5	0.196282	1.67	0.117534
11.75	0.150323	1.75	21.4375	10.75	10.6875	0.195991	1.67	0.11736
12	0.149589	1.90	21.9125	11	10.9125	0.195246	1.67	0.116913
12.25	0.149272	1.90	22.3875	11.25	11.1375	0.195034	1.67	0.116787
12.5	0.148847	1.90	22.8625	11.5	11.3625	0.194672	1.67	0.11657
12.75	0.148341	1.90	23.3375	11.75	11.5875	0.194195	1.67	0.116285
13	0.147766	1.90	23.8125	12	11.8125	0.193621	1.67	0.115941
13.25	0.14713	1.90	24.2875	12.25	12.0375	0.192958	1.67	0.115544
13.5	0.146482	1.90	24.7625	12.5	12.2625	0.19227	1.67	0.115132
13.75	0.146067	1.90	25.2375	12.75	12.4875	0.191883	1.67	0.1149
14	0.145919	1.90	25.7125	13	12.7125	0.19184	1.67	0.114874
14.25	0.146025	1.90	26.1875	13.25	12.9375	0.192125	1.67	0.115045
14.5	0.146128	1.90	26.6625	13.5	13.1625	0.192402	1.67	0.115211
14.75	0.146519	1.90	27.1375	13.75	13.3875	0.193053	1.67	0.115601
15	0.146929	1.90	27.6125	14	13.6125	0.193726	1.67	0.116004
15.25	0.147439	1.90	28.0875	14.25	13.8375	0.194527	1.67	0.116483
15.5	0.148135	1.90	28.5625	14.5	14.0625	0.19557	1.67	0.117108
15.75	0.14892	1.90	29.0375	14.75	14.2875	0.19673	1.67	0.117802
16	0.149657	1.90	29.5125	15	14.5125	0.197822	1.67	0.118456
16.25	0.150261	1.90	29.9875	15.25	14.7375	0.198736	1.67	0.119004
16.5	0.150804	1.90	30.4625	15.5	14.9625	0.199567	1.67	0.119501
16.75	0.151237	1.90	30.9375	15.75	15.1875	0.200249	1.67	0.11991
17	0.151528	1.90	31.4125	16	15.4125	0.200741	1.67	0.120204
17.25	0.152513	1.85	31.875	16.25	15.625	0.202232	1.67	0.121097
17.5	0.153619	1.85	32.3375	16.5	15.8375	0.203881	1.67	0.122085
17.75	0.154777	1.85	32.8	16.75	16.05	0.205598	1.67	0.123113
18	0.155785	1.85	33.2625	17	16.2625	0.207112	1.67	0.124019
18.25	0.15716	1.85	33.725	17.25	16.475	0.209113	1.67	0.125217
18.5	0.158495	1.85	34.1875	17.5	16.6875	0.211059	1.67	0.126383
18.75	0.159679	1.85	34.65	17.75	16.9	0.212803	1.67	0.127427
19	0.160681	1.85	35.1125	18	17.1125	0.214302	1.67	0.128325
19.25	0.161176	1.85	35.575	18.25	17.325	0.215122	1.67	0.128816
19.5	0.161579	1.85	36.0375	18.5	17.5375	0.215817	1.67	0.129231
19.75	0.161874	1.85	36.5	18.75	17.75	0.216364	1.67	0.12956
20	0.162072	1.85	36.9625	19	17.9625	0.216779	1.67	0.129808

Il confronto tra CRR7,5 e CSR7,5 mostra ove è attesa liquefazione e dove no per le tre verticali indagate con le prove CPTU:

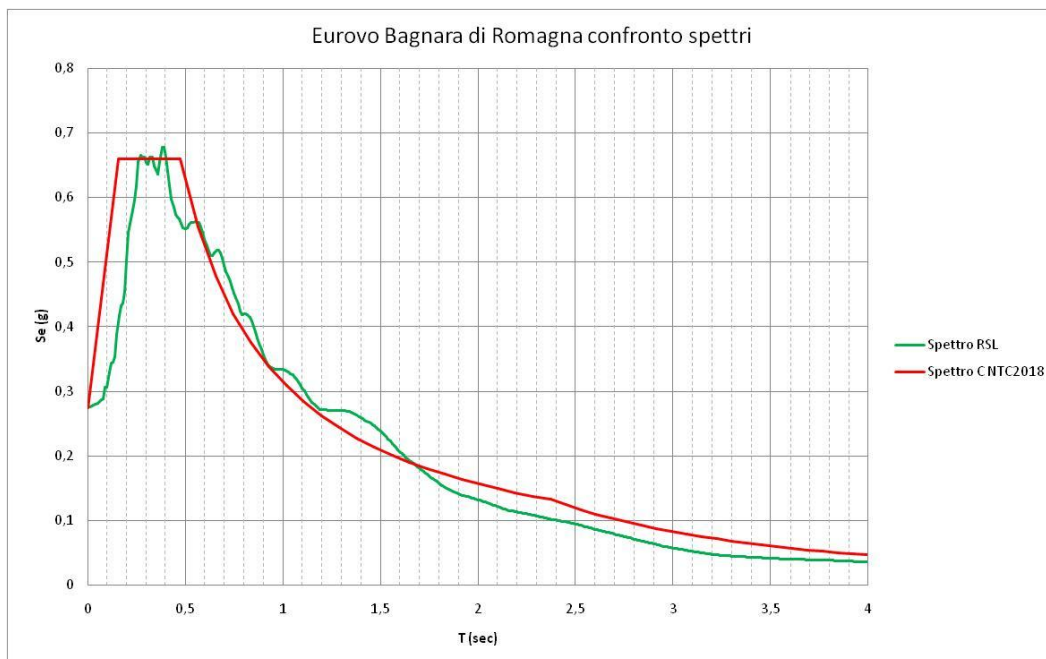


Come si può notare dai tre grafici non sono attesi, per il terremoto di progetto con tempo di ritorno di 475 anni, effetti condizionanti da liquefazione delle sabbie, per il progetto che si va a realizzare.

Solo pochi sottilissimi e profondi straterelli centimentrici mostrano valori del rapporto di resistenza ciclica $CRR_{7,5}$ inferiori al rapporto di tensione ciclica $CSR_{7,5}$ indotta dal terremoto di progetto.

L'eventuale ricorso a pali di fondazione, meglio ancora se prefabbricati e battuti, è dunque ammissibile per il terremoto di progetto con tempo di ritorno di 475 anni ed edificio in classe d'uso II.

Di seguito, come da V_s richiesta, si riporta il confronto tra spettro ricavato da RSL e spettro da NTC 2018.



Codigoro, li 11/10/2022

Dott. Geol. Thomas Veronese

Thomas Veronese