

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI TORINO  
COMUNE DI RIVOLI



**OGGETTO:** Studio sismico a supporto della variante al PRGC ai sensi dell'art. 17 bis comma 4 (Varianti semplificate) della L.R. 25/03/2013 n.3 sui lotti al Foglio di mappa 4 Particella n. 259, 261, 290, 291, 293, 295, 297, 298 e 299.

**ELABORATO: RELAZIONE SISMICA**

D.M. 11/03/1988  
D.M. 14/01/2008  
Circ.Min.Infrastrutture 02/02/2009 n.617  
O.P.C.M. 20/03/2003 n.3274  
O.P.C.M. 03/05/2005 n.3431  
D.G.R. 64-7417/2014  
D.D. 9 MARZO 2012, N. 540

**PROPRIETA':** Soc. BUILDING & LANDS  
CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI 2, TORINO

**DATA:** NOVEMBRE 2015



**STUDIO GEOLOGICO E LABORATORIO GEOTECNICO**

**Dott. Geol. Diego BARBERO**  
*Geologo, Tecnico per l'ambiente,  
Dottore in Fisica*

Timbro e Firma

Via Asti, 7 14010 – San Martino Alfieri (AT)  
Tel./Fax. 0141 976262  
Cell. 3384953385  
e-mail: [diego-barbero@libero.it](mailto:diego-barbero@libero.it)  
[www.reteimprese.it/studiogeologiabarbero](http://www.reteimprese.it/studiogeologiabarbero)  
C.F. BRBDGI80E08A479X  
P. IVA 01463170058



Iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n. 742





## SOMMARIO

<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INQUADRAMENTO GEODINAMICO E SISMICO.....</b>	<b>3</b>
1.1 LA LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA.....	4
1.2 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	6
1.3 INQUADRAMENTO GEODINAMICO.....	11
1.4 STORIA SISMICA LOCALE E NEI COMUNI LIMITROFI.....	12
1.5 LA BANCA DATI GEOLOGICA ARPA PIEMONTE.....	16
1.6 ZONA SISMOGENETICA PERTINENTE.....	20
1.7 DEFINIZIONE DELLA SORGENTE SISMOGENETICA PERTINENTE.....	24
<b>2. LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....</b>	<b>26</b>
2.1 SISMICITÀ DELL'AREA.....	27
2.2 L'INDAGINE SISMICA:STAZIONI TROMOGRAFICHE H.V.S.R.....	28
2.3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE.....	42
2.4 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	45
2.5 AZIONE SISMICA: SPETTRI DI RISPOSTA.....	48
2.6 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE DEI DEPOSITI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO DELL'AREA OGGETTO D'INTERVENTO.....	59
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>60</b>

Allegati:

- La documentazione fotografica





## Premessa

Su incarico conferito dalla proprietà, Soc. Building & Lands con sede in Torino - Corso Duca degli Abruzzi 2, viene effettuato lo studio sismico per l'area sita al Foglio di mappa 4 Particelle n. 259, 261, 290, 291, 293, 295, 297, 298, 299 al fine di richiederne la variante al PRGC, ai sensi dell'art. 17 bis comma 4 (Varianti semplificate) della L.R. 25/03/2013 n. 3 *“Modifiche alla legge regionale 5 dicembre 1977, n. 56 (Tutela ed uso del suolo) e ad altre disposizioni regionali in materia di urbanistica ed edilizia”* con le modifiche introdotte dalla legge regionale n. 17 del 12 agosto 2013 *“Disposizioni collegate alla manovra finanziaria per l'anno 2013”*, Capo II, artt. 2-8, in quanto sui lotti di cui agli estremi catastali sopra citati è prevista la realizzazione da parte della committenza di insediamenti commerciali.

La presente relazione illustra i risultati dello studio sismico dell'area, effettuato sia attraverso una ricerca di dati storici reperite da diverse fonti bibliografiche, sia mediante indagini sismiche di terreno.

Lo studio è stato così articolato:

- raccolta ed analisi della documentazione bibliografica esistente;
- sopralluoghi di campagna e prove sismiche in situ (HVSr) effettuate sui due lotti denominati A e B.

La presente relazione geologica viene redatta in ottemperanza alle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”*, approvate con **D.M. 14 gennaio 2008**, alla **Circ. Min. Infrastrutture 02/02/2009 n.617**, all'**Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003**, all'**Ordinanza P.C.M. n.3431 del 03 maggio 2005** ed alla **D.G.R. n.11-13058 del 19 gennaio 2010** – *Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche O.P.C.M. n.3274/2003 e O.P.C.M. n.3519/2006; D.G.R. 64-7417/2014 “Indirizzi procedurali e tecnici in materia di difesa del suolo e pianificazione urbanistica.”; D.D. 9 marzo 2012, n. 540 “Definizione delle modalità attuative in riferimento alle procedure di gestione e controllo delle attività Urbanistiche ai fini della prevenzione del rischio sismico, approvate con DGR n. 4-3084 del 12.12.2011”*

Per la ricerca bibliografica sono stati consultati i seguenti indirizzi internet:

[http://webgis.arpa.piemonte.it/elenco\\_servizi/index.html](http://webgis.arpa.piemonte.it/elenco_servizi/index.html)

tematica: Geologia e processi di dissesto; sezione: Sismica

<http://webgis.arpa.piemonte.it/risknat/index.php/it/sismica.html>

Geoportale Risknat (evoluzione del precedente sito) - tematica: Sismica

[http://www.regione.piemonte.it/oopp/rischio\\_sismico/microzonazione.htm](http://www.regione.piemonte.it/oopp/rischio_sismico/microzonazione.htm)

<http://www.ingv.it/> ed in particolare <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/rischio\\_sismico.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/rischio_sismico.wp)

<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>

<http://sgi1.isprambiente.it/GMV2/index.html> Portale del Servizio Geologico d'Italia.





## **1. INQUADRAMENTO GEODINAMICO E SISMICO**

- **LA LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA**
- **MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO**
- **INQUADRAMENTO GEODINAMICO**
- **STORIA SISMICA LOCALE E NEI COMUNI LIMITROFI**
- **LA BANCA DATI GEOLOGICA ARPA PIEMONTE**
- **ZONA SISMOGENETICA PERTINENTE**
- **DEFINIZIONE DELLA SORGENTE SISMOGENETICA PERTINENTE**





## 1.1 LA LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

Il sito oggetto dell'indagine geologica è ubicato a NW del concentrico di Rivoli, in destra idrografica del F. Dora Riparia.

In particolare, l'area d'interesse è indicata dal cerchio rosso ripreso dallo stradario (Fig. 1) ed insiste sul Foglio di mappa 4 Particelle n. 259, 261, 290, 291, 293, 295, 297, 298, 299. di cui al C.T. del Comune di Rivoli (Figg.2 e 3).

L'accessibilità generale dell'area è garantita dalla Strada Statale n. 25 che collega l'abitato di Rivoli con la cittadina di Avigliana.

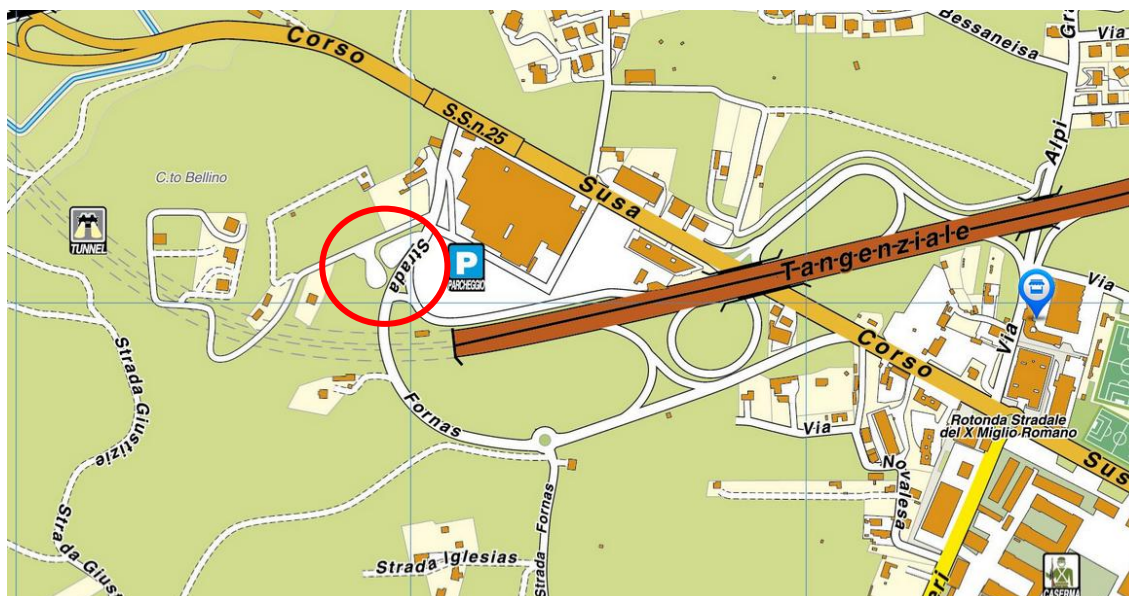


Fig. 1 - Localizzazione geografica (non in scala)

Il cerchio nero in Fig. 2 visualizza sulla C.T.R., ripresa dal sito web Arpa Piemonte, la localizzazione degli interventi in progetto.



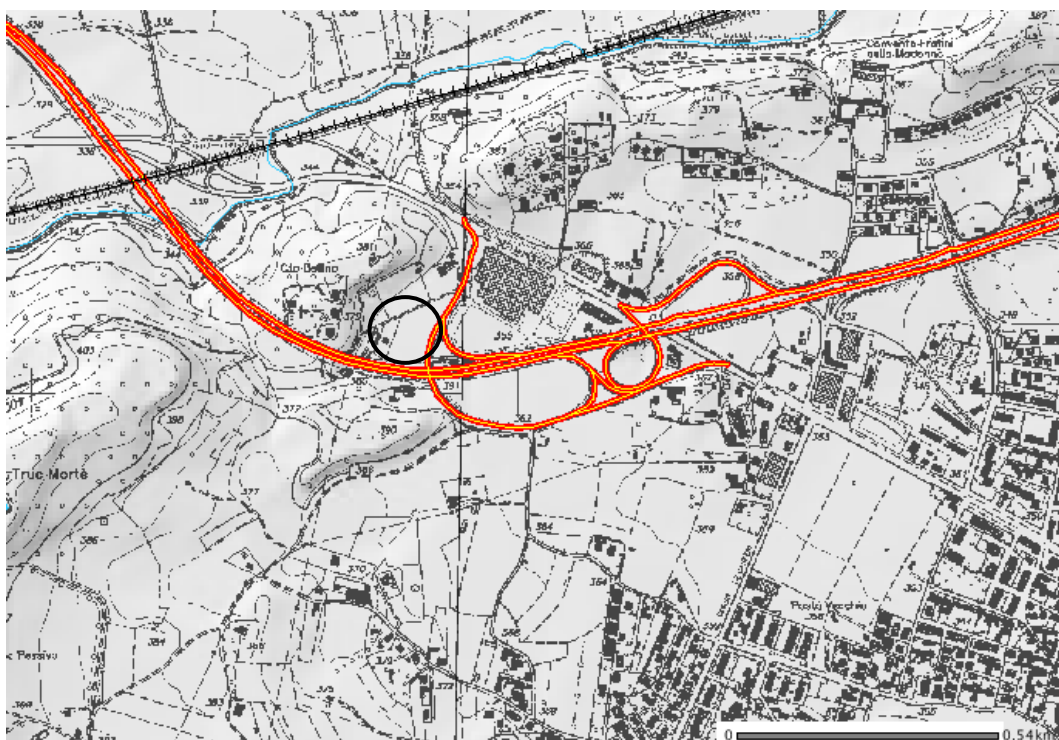


Fig. 2 – Estratto ripreso dalla C.T.R.

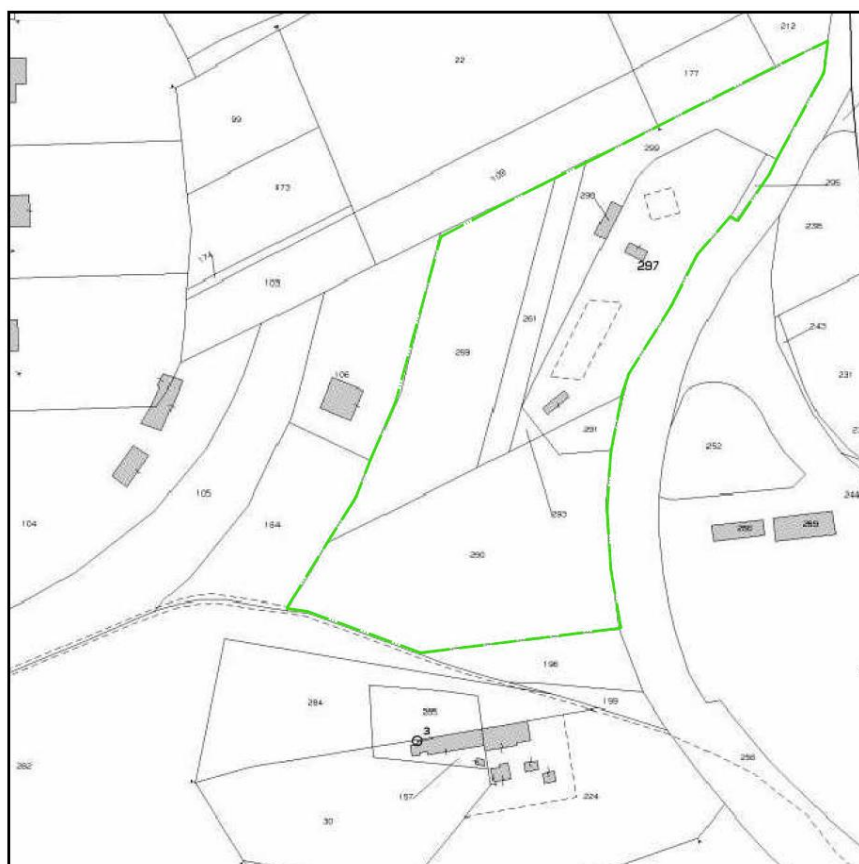


Fig. 3 – Estratto catastale



## **1.2 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO**

Al fine di caratterizzare l'assetto stratigrafico del sottosuolo dell'area in esame, nell'Aprile del 2011 è stata incaricata la Citiemme - Società Torinese Monitoraggi S.r.l. - con sede a Torino in Via Donato 14, di realizzare n. 3 sondaggi spinti fino alla profondità di - 6 m dal P.C. attuale, la cui postazione è visualizzata in Fig. 4

Il piano di appoggio dell'attrezzatura è identico per i sondaggi n. 1 e n. 3, mentre quello del sondaggio n. 2 è posto circa 2 m più in alto.

La stratigrafia del **sondaggio n. 1** è la seguente:

- da 0.00 a 0.15 m: terreno vegetale di copertura;
- da 0.15 a 2.30 m: terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa e ciottoli sparsi;
- da 2.30 a 3.30 m: sabbia medio – fine debolmente limosa con raro ghiaietto;
- da 3.30 a 5.00 m: sabbia medio – fine limosa con poco ghiaietto e ghiaia;
- da 5.00 a 6.00 m: ghiaia ciottolosa con sabbia limosa.

La stratigrafia del **sondaggio n. 2** è la seguente:

- da 0.00 a 0.50 m: terreno vegetale di copertura;
- da 0.50 a 1.30 m: sabbia limosa passante a limo sabbioso;
- da 1.30 a 3.20 m: ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa;
- da 3.20 a 5.20 m: ghiaia ciottolosa con matrice siltoso – sabbiosa;
- da 5.20 a 6.00 m: sabbia medio – fine debolmente limosa con raro ghiaietto.

La stratigrafia del **sondaggio n. 3** è la seguente:

- da 0.00 a 0.10 m: terreno di copertura vegetale;
- da 0.10 a 0.80 m: terreno di riporto costituito da limo ghiaioso;
- da 0.80 a 1.50 m: limo sabbioso debolmente argilloso;
- da 1.50 a 2.50 m: ghiaia medio – fine con sabbia debolmente limosa;
- da 2.50 - 2.80 m: trovante (diametro medio 0,30 m);
- 2.80 – 6.00 m: ghiaia eterometrica in matrice siltoso-sabbiosa con rari ciottoli.

Nel corso della esecuzione dell'indagine geognostica la falda idrica non è stata rilevata. Si ritiene pertanto che il livello piezometrico si collochi a profondità maggiori di – 6 m dal P.C..

Pertanto si possono escludere possibili interferenze della falda con le strutture interrato che verranno realizzate ad una profondità non superiore a - 4 m dal P.C.



La taratura delle 2 prove sismiche, utili a definire il modello sismico del sottosuolo è stata effettuata attraverso l'esame della stratigrafia dei 3 sondaggi.

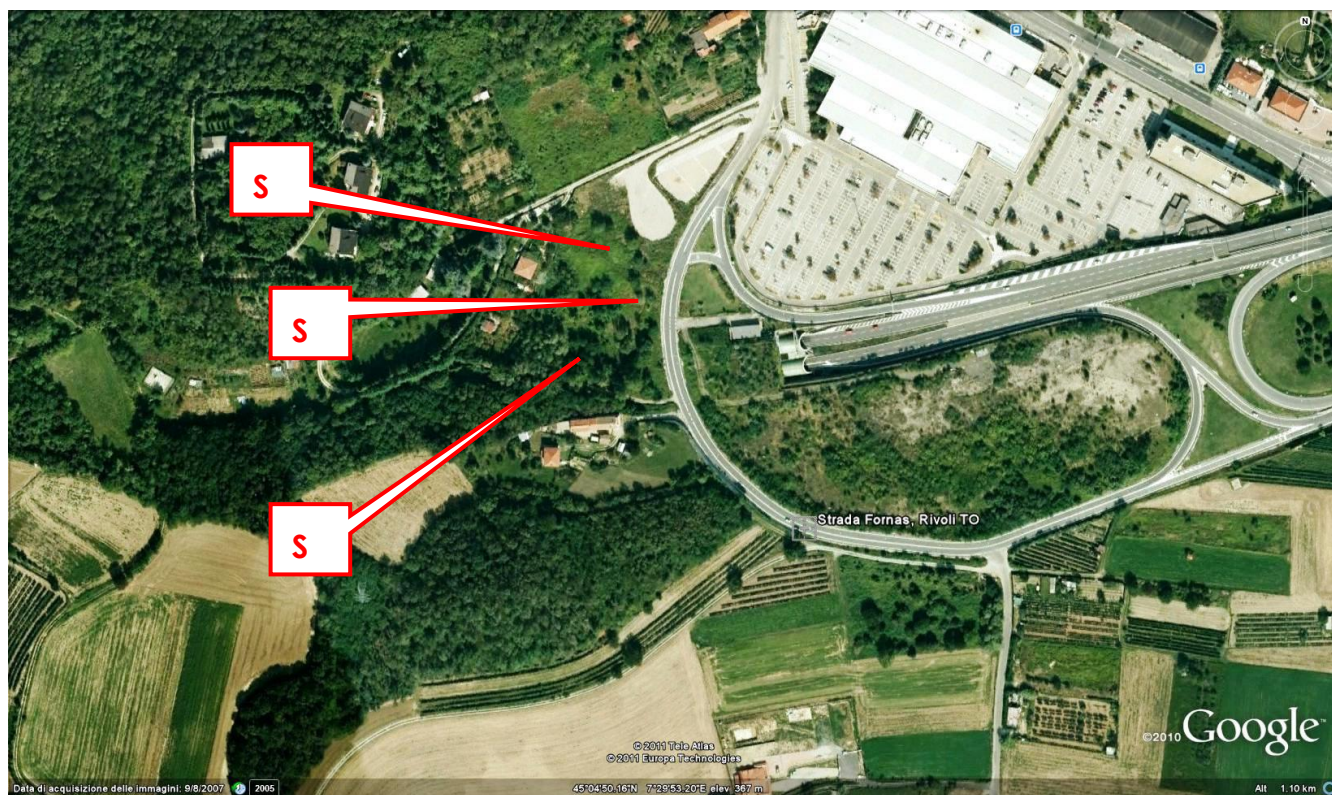


Fig. 4 - Postazione sondaggi su immagine satellitare

Di seguito per completezza si riportano copia dei certificati dei sondaggi sopra descritti.





citiemme		Mod. 7.5.4 rev. 00		RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE		UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004		SONDAGGIO							
		Committente		DESMO Srl				S1							
		Cantiere		Indagini geognostiche finalizzate all'insediamento di nuove attività commerciali				Pagina 1 di 1							
		Località		Rivoli (TO) - Strada Fornas		Commissa n. 11001-25		Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola							
		Perforazione inizio: 06/04/2011 fine: 06/04/2011		Sonda: Comacchio MC 450P		Lo Sperimentatore Dr. A. Cantù									
		Coordinate: N= - E= -		Scala 1:30											
		Accettazione n. 11001-25		Certificato n. 11001-25/01		del 13/04/2011									
profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00 0.15	0.15		Terreno di copertura vegetale.												
	2.15		Terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa con rari frammenti lateritici mm e ciottoli sparsi.		c.c. diam. 131mm					1.50 8 - 5 - 7					
2.30	1.00		Sabbia prevalentemente medio-fine debolmente limosa con raro ghiaietto sparso, poco addensata, colore nocciola.		127mm		90-100%			3.00 7 - 6 - 7					
3.30	1.70		Sabbia medio-fine limosa, da debolmente ghiaioso fine a ghiaiosa, da poco addensata ad addensata con la profondità, debole grado di ossidazione, colore nocciola-brunastro.		carotaggio continuo diam. 101mm					4.50 28 - RIF.					
5.00	1.00		Ghiaia ciottolosa (diam. max 12-15cm) con sabbia silteosa, addensata, colore grigio.												
6.00															

NOTA: Probabile FALDA ASSENTE. Il dato, puramente indicativo non trattandosi di un piezometro, è riferibile al riscontro avuto nel corso della perforazione.







 citiemme Società di Servizi e Studi Via ... Tel. ... Fax. ... E-mail: ...	Mod. 7.5.4 rev. 00	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b> UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004		<b>SONDAGGIO</b>		
	Committente	DESMO Srl			<b>S2</b>	
	Cantiere	Indagini geognostiche finalizzate all'insediamento di nuove attività commerciali				
	Località	Rivoli (TO) - Strada Fornas			Pagina 1 di 1	
	Perforazione	inizio: 06/04/2011	fine: 06/04/2011	Sonda: Comacchio MC 450P	Commessa n. 11001-25	Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola
Coordinate: N=	-	E=	-	Scala 1:30		
Accettazione n. 11001-25	Certificato n. 11001-25/03		del 13/04/2011			

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.50		Terreno di copertura vegetale.												
0.50	0.80		Sabbia fine limosa passante a limo sabbioso, poco addensata, colore nocciola.												
1.30	1.90		Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa, subordinati ciottoli, grado di ossidazione da discreto a intenso, da poco a moderatamente addensata, colore grigio.		c.c. diam. 131mm	127mm	90-100%								
3.20	2.00		Ghiaia ciottolosa (diam. max 10-12cm) in matrice siltoso sabbiosa talora abbondante e/o prevalente, moderatamente addensata, colore grigio.		carotaggio continuo diam. 101mm					4.50 10 - 15 - 13					
5.20	0.80		Sabbia medio-fine debolmente limosa con raro ghiaietto sparso, moderatamente addensata, colore nocciola.												
6.00															

NOTA: Probabile FALDA ASSENTE. Il dato, puramente indicativo non trattandosi di un piezometro, è riferibile al riscontro avuto nel corso della perforazione.







 citiemme Società di Servizi e Studi Piazzale della Libertà, 1 10121 Torino Tel. 011/5511111 Fax 011/5511112 E-mail: info@citiemme.it Web: www.citiemme.it	Mod. 7.5.4 rev. 00	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004	<b>SONDAGGIO</b>
	Committente	DESMO Srl		<b>S3</b>
	Cantiere	Indagini geognostiche finalizzate all'insediamento di nuove attività commerciali		
	Località	Rivoli (TO) - Strada Fornas		Pagina 1 di 1
	Perforazione inizio: 06/04/2011 fine: 06/04/2011 Sonda: Comacchio MC 450P	Commissa n. 11001-25	Lo Sperimentatore Dr. A. Cantù	Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola
Coordinate: N= - E= - Scala 1:30	Accettazione n. 11001-25	Certificato n. 11001-25/05	del 13/04/2011	

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00 0.10	0.10		Terreno di copertura vegetale.												
	0.70		Terreno di riporto costituito da limo ghiaioso con frammenti lateritici cm.		c.c. diam. 131mm										
0.80	0.70		Limo da debolmente sabbioso a sabbioso debolmente argilloso con la profondità, poco consistente, colore da nocciola-brunastro a brunastro.												
1.50	1.00		Ghiaia prevalentemente medio-fine con sabbia debolmente limosa, discreto grado di ossidazione e alterazione, moderatamente addensata, colore nocciola-brunastro.			127mm				2.00 7 - 11 - 11					
2.50	0.30		Trovante.												
2.80			Ghiaia eterometrica in abbondante e/o prevalente matrice fine siltoso-sabbiosa, subordinati ciottoli, da moderatamente addensata ad addensata, colore grigio.		carotaggio continuo diam. 101mm		90-100%			4.00 18 - 21 - 30					
6.00	3.20														

NOTA: Probabile FALDA ASSENTE. Il dato, puramente indicativo non trattandosi di un piezometro, è riferibile al riscontro avuto nel corso della perforazione.





### 1.3 INQUADRAMENTO GEODINAMICO

Nella Carte Neotettonica d'Italia (CNR, 1990) e sulla base delle più recenti interpretazioni geologiche strutturali del sottosuolo (Perrone et al., 2010), la cittadina di Rivoli è situata presso due importanti lineamenti tettonici: quello ad Ovest con andamento circa N-S è rappresentato dalla struttura tettonica denominata “Col del Lys – Trana Deformation Zone” (LTZ in Fig. 5a), alla quale sarebbero geneticamente collegati i più recenti eventi sismici; il lineamento ad Est (CL in Fig. 5a), mostra un andamento NNE-SSW e rappresenterebbe il prolungamento verso Sud della Linea del Canavese. Tali lineamenti darebbero luogo in profondità a una “struttura a fiore” che darebbero origine a movimenti di tipo transpressivo (Fig. 5b).

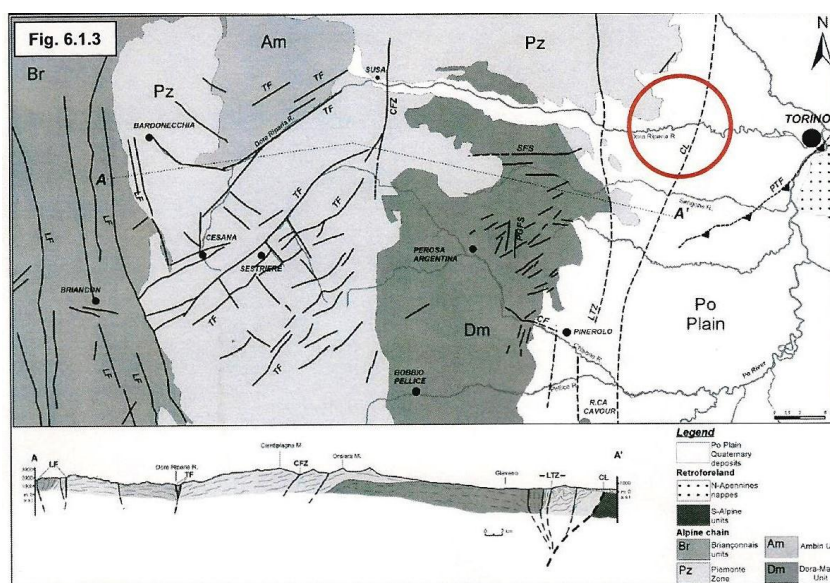


Fig. 3 - Tectonic map of the central Western Alps (a). CF: Chisone Fault, CFZ: Colle delle Finestre Deformation Zone, CL: Canavese Line, LF: Longitudinal Fault System, LTZ: Col del Lis-Trana Deformation Zone, PGFS: Pinasca-Gran Dubbione Fault System, PTF: Padanian Thrust Front, SFS: Sangone Fault System, TF: Transverse Fault System.

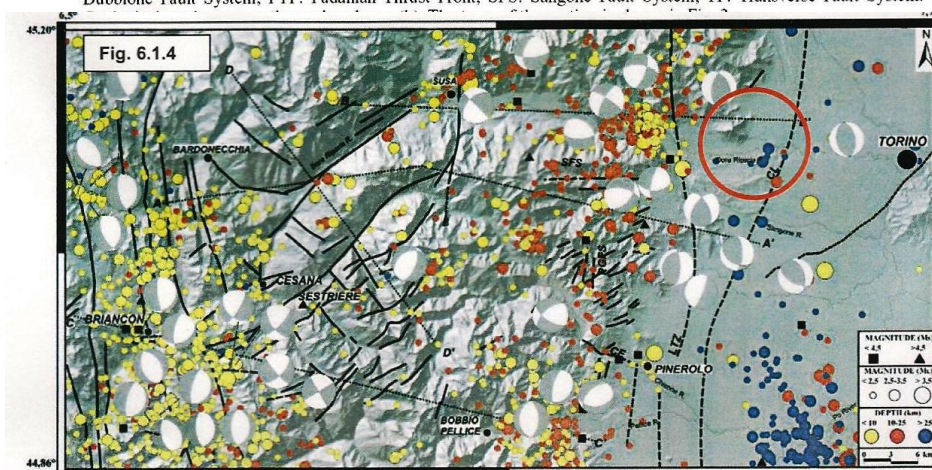


Fig. 5 – Mappa tettonica (a) sismogenetica (b) delle Alpi Occidentali (da Perrone et al., 2010)



## **1.4 STORIA SISMICA LOCALE E NEI COMUNI LIMITROFI**

Le informazioni relative alla sismicità storica di Rivoli sono scarse. La versione 2011 del Database delle Osservazioni Macrosismiche Italiane (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. Milano, Bologna) riporta la storia sismica di Rivoli, dal momento che per questo centro abitato esistono almeno 9 segnalazioni di risentimenti nella documentazione storica (Fig. 6). Si tratta di fenomeni di relativa bassa intensità e recenti.

Se invece si considerano Alpignano (comune confinante il cui capoluogo dista solo 3 km dal centro di Rivoli, in un contesto geologico identico) e Avigliana (comune confinante il cui capoluogo dista solo 10 km dal centro di Rivoli, in un contesto geologico identico), la storia sismica di Alpignano (Fig. 7) si compone di 9 eventi sismici nell'intervallo temporale che va dal 1832 al 2005, mentre quella di Avigliana (Fig. 8) si compone di 10 eventi sismici nell'intervallo temporale che va dal 1832 al 2005

### **Storia sismica di Rivoli [45.070, 7.520]**

Numero totale di terremoti: 9

Effetti

<b>Is (MCS)</b>	<b>Data evento:</b>	<b>Ax</b>	<b>Np</b>	<b>Io</b>	<b>Mw</b>
5	1886 09 05 1887 02 23	VAL DI SUSA	102	7	5.25 ±0.17
6	05:21:50 1901 05 25	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
5	03:59:20	Torinese	35	5-6	4.81 ±0.34
6	1914 10 26 03:43 1960 03 23	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
3	23:08:49 1966 04 07	Vallese	178		5.00 ±0.20
NF	19:38:58 1990 02 11	CUNEESE	48	6	4.65 ±0.27
5	07:00:37 1995 11 21	CANAVESE	201	6	4.71 ±0.09
4	04:04:36 2005 06 12	Torinese	64	5-6	4.46 ±0.15
4-5	21:16:14	Val di Susa	103	5	4.09 ±0.14



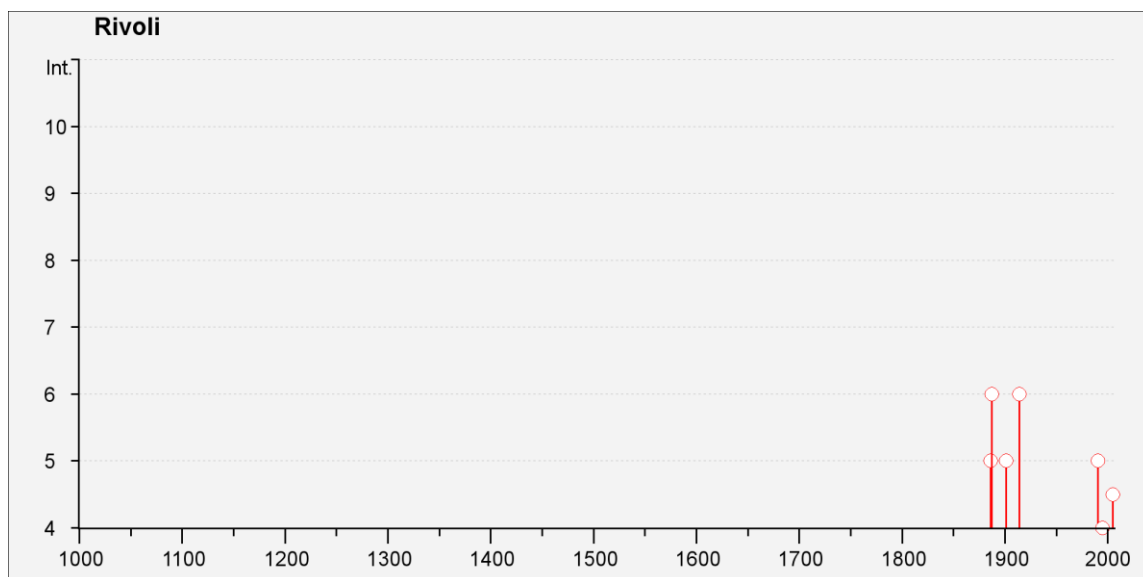


Fig. 6 – Terremoti storici – Rivoli, tratto da <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

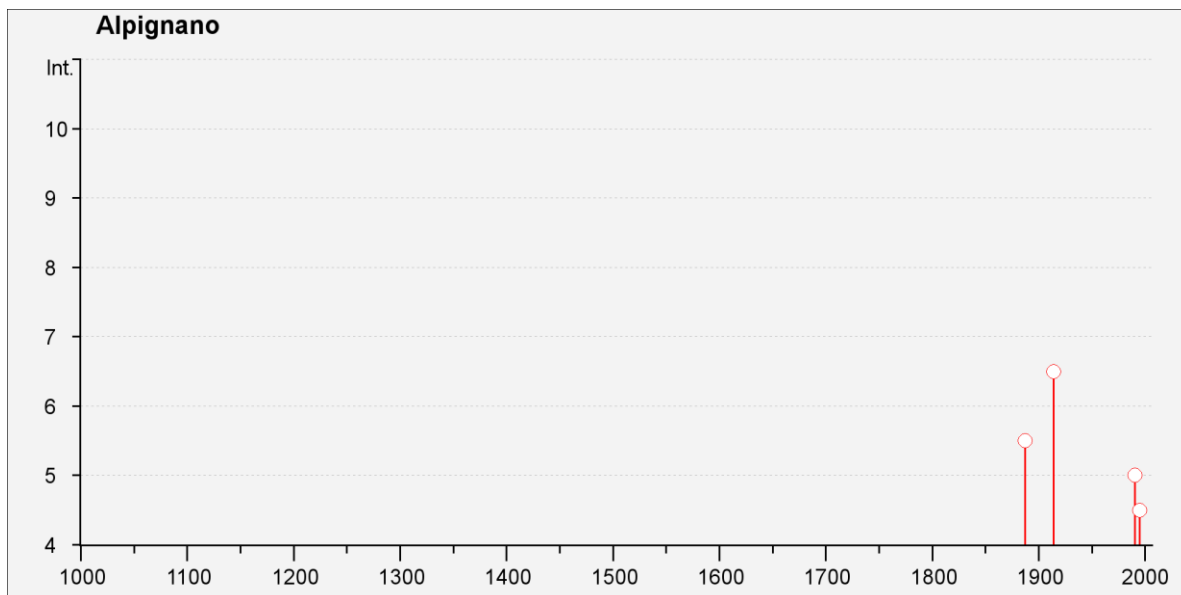
### Località vicine:

Località	Stato	NMO	Distanza
<u>Villarbasse</u>	IT	5	5km
<u>Trana</u>	IT	3	9km
<u>Sangano</u>	IT	6	7km
<u>San Gillio</u>	IT	4	8km
<u>Rosta</u>	IT	4	4km
<u>Rivalta di Torino</u>	IT	4	4km
<u>Piovasasco</u>	IT	4	10km
<u>Pianezza</u>	IT	3	4km
<u>Orbassano</u>	IT	5	7km
<u>Grugliasco</u>	IT	6	5km
<u>Druento</u>	IT	3	8km
<u>Collegno</u>	IT	3	5km
<u>Caselle</u>	IT	3	5km
<u>Buttiglieria Alta</u>	IT	4	7km





<u>Bruino</u>	IT	4 7km
<u>Beinasco</u>	IT	5 7km
<u>Avigliana</u>	IT	10 10km
<u>Alpignano</u>	IT	9 3km

Fig. 7 – Terremoti storici – Alpignano, tratto da <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

## Storia sismica di Alpignano

### [45.099, 7.524]

Total number of earthquakes: 9

Effects

Is

3-4

F

5-6

6-7

3

5

4-5

NF

3

Earthquake occurred:

1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
1886 09 05	VAL DI SUSA	102	7	5.25 ±0.17
1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
1914 10 26 03:43	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
1990 02 11 07:00:37	CANAVESE	201	6	4.71 ±0.09
1995 11 21 04:04:36	Torinese	64	5-6	4.46 ±0.15
2000 08 21 17:14:28	Monferrato	597	6	4.86 ±0.09
2005 06 12 21:16:14	Val di Susa	103	5	4.09 ±0.14





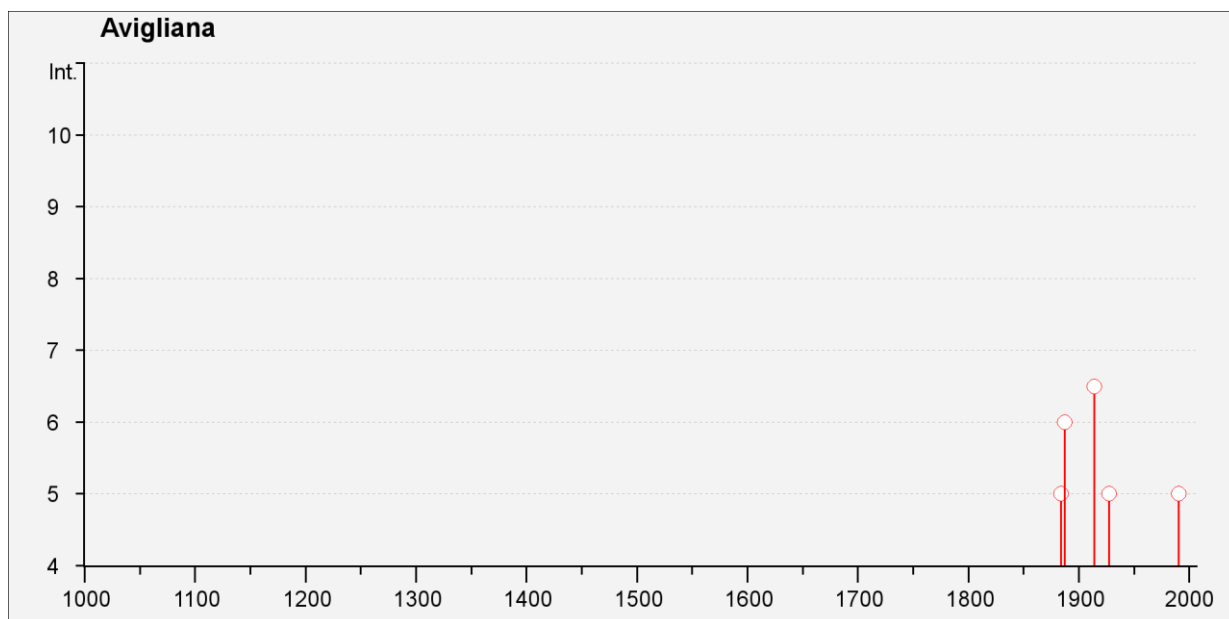


Fig. 8 – Terremoti storici – Avigliana, tratto da <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

## Storia sismica di Avigliana [45.079, 7.397]

Total number of earthquakes: 10

Effects

Is

Earthquake occurred:

5	1884 11 27 22:15	Alpi Cozie	63	6-7	5.33 ±0.20
6	1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
3	1905 04 29 01:46	Alta Savoia	267	7-8	5.63 ±0.09
6-7	1914 10 26 03:43	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
5	1927 12 11 15:49	VAL DI SUSA	13	5	4.97 ±0.31
NF	1966 04 07 19:38:58	CUNEESE	48	6	4.65 ±0.27
5	1990 02 11 07:00:37	CANAVESE	201	6	4.71 ±0.09
3	1995 11 21 04:04:36	Torinese	64	5-6	4.46 ±0.15
NF	2000 08 21 17:14:28	Monferrato	597	6	4.86 ±0.09
3-4	2005 06 12 21:16:14	Val di Susa	103	5	4.09 ±0.14





## **1.5 LA BANCA DATI ARPA PIEMONTE**

La Banca Gati Geologica Arpa Piemonte, riporta i seguenti eventi storici sismici con magnitudo maggiore di 3 nel periodo che va dal 1982 al 2000 e post 2001 che hanno interessato la cittadina di Rivoli e i centri abitati circostanti.

### **EVENTI STORICI**

COMUNE	ANNO	MESE	GIORNO	MAGNITUDO MOMENTO
Giaveno	1980	1	5	5.1
Giaveno	1886	9	5	5.27
Valgioie	1914	26	10	5.36
Avigliana	1969	10	9	4.78
Lanzo T.se	1767	5	26	5.17
S. Giorgio di Susa	1785	12	9	5.17

### **PRINCIPALI EVENTI PERIODO 1982 - 2010**

COMUNE	ANNO	MESE	GIORNO	MAGNITUDO MOMENTO
Nichelino	1990	2	11	4.2
Orbassano	1995	11	21	4.1







<b>Giaveno</b>	1983	1	22	3.9
<b>Lanzo T.se</b>	1989	4	17	3.8
<b>Pinerolo</b>	1995	1	4	3.8
<b>Avigliana</b>	1994	2	5	3.7
<b>Cumiana</b>	1984	2	20	3.6
<b>Avigliana</b>	1987	8	15	3.5
<b>Pinasca</b>	1997	7	25	3.5
<b>Collegno</b>	1992	9	13	3.4
<b>Scalenghe</b>	1998	1	10	3.4
<b>Chiusa di S. Michele</b>	2000	4	1	3.4
<b>Piossasco</b>	1983	5	16	3.3
<b>Val della Torre</b>	1992	6	17	3.3
<b>Giaveno</b>	1993	10	23	3.2
<b>Varisella</b>	1989	8	7	3.1
<b>Cumiana</b>	1990	3	11	3
<b>Giaveno</b>	1990	12	11	3







<b>Rivoli</b>	1991	4	26	3
<b>Poirino</b>	1994	8	28	3
<b>Viù</b>	1996	3	10	3
<b>Rivoli</b>	1999	10	25	3
<b>Viù</b>	1999	8		3

**PRINCIPALI EVENTI POST 2010**

COMUNE	ANNO	MESE	GIORNO	MAGNITUDO MOMENTO
<b>Chivasso</b>	2003	1	17	3.9
<b>Chiusa S. Michele</b>	2004	5	14	3.9
<b>Poirino</b>	2003	3	10	3.5
<b>S. Ambrogio di Torino</b>	2005	6	12	3.4
<b>Collegno</b>	2001	3	29	3.2
<b>Caprie</b>	2004	5	17	3.2







Chiusa S. Miche	<b><u>2004</u></b>	<b><u>4</u></b>	<b><u>26</u></b>	<b><u>3.1</u></b>
Giaveno	2007	10	24	3.1
Rivalta di Torino	2005	6	17	3
Sant'Ambrogio di Torino	2005	6	13	3





## 1.6 LA ZONA SISMOGENETICA PERTINENTE

Recentemente, a cura del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), sono state ridisegnate delle nuove carte di zonazione (o pericolosità sismica) denominate ZS9 (in sostituzione quindi delle ZS4 (impiegate sino al 2002).

Questa cartografia è realizzata per tutto il territorio italiano e si basa su studi accurati che prevedono per la penisola italiana una suddivisione in 42 “Zone Sismogenetiche”, ognuna caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Il vero elemento di novità, con l'introduzione della zonizzazione ZS9, è rappresentato dall'introduzione delle conoscenze più recenti della geometria delle sorgenti sismogenetiche.

Le 42 zone-sorgente di ZS9, sono state identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A a F).

In Fig. 9 sono raffigurate le zone sismogenetiche ZS9 per il nord Italia. Tali zone sono tuttavia soggette a periodica revisione in virtù dell'avanzamento degli studi in merito (cfr: Meletti C. e Valensise G. (a cura di), 2004. Zonazione sismo genetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo; <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>).

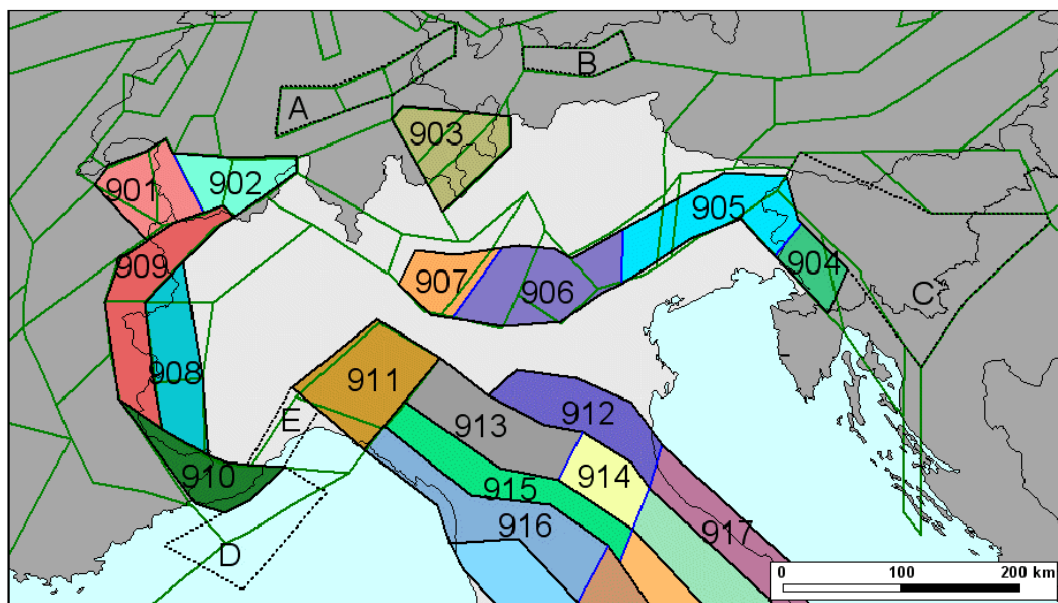


Fig. 9 – Zonazione sismogenetica ZS9.

**Il Comune di Rivoli è collocato a circa 6 - 7 km a Est del limite orientale della Zona Sismogenetica ZS9 n. 908** corrispondente alle sorgenti sismogenetiche (le zone che scatenano i terremoti) della parte interna delle Alpi Occidentali (Fig. 10). Per definire queste zone sono stati utilizzate molte fonti quali le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane del DISS (Database of the Individual Sismogenetic Sources).



Dall'Appendice 2 del "Rapporto Conclusivo" dell'INGV ("Redazione della Mappa di Pericolosità sismica", risulta che la Zona 908 è caratterizzata da:

- Magnitudo durata massima  $M_d = 3.7$ ;
- Classe di profondità: 8-12 km;
- Profondità efficace, ovvero la profondità alla quale si verificano il maggior numero di terremoti che definiscono la pericolosità dell'area: 10 km;
- Meccanismi focali prevalenti: tipo trascorrente

Nel citato "Rapporto Conclusivo" vengono definiti inoltre i criteri per l'adozione del valore di  $M_{wMAX}$  (magnitudo momento massima) per ciascuna zona sismogenetica, da cui risulta che la **Zona 908 è caratterizzata da  $M_{wMAX}$  "osservata" pari a 5.68 e  $M_{wMAX2}$  "cautelativa" pari a 6.14.** (Fig. 11 a e b).

Come già accennato, Il meccanismo di fagliazione geneticamente connesso ai terremoti che caratterizzano di questa zona sono riconducibili a faglie trascorrenti (Fig. 12) con meccanismi focali aventi profondità appartenenti alla classe compresa tra 8-12 km (Fig. 13).

**Figura 17.12 - Localizzazione dei sismi in funzione della loro magnitudo e zone sismogenetiche - anno 2007**

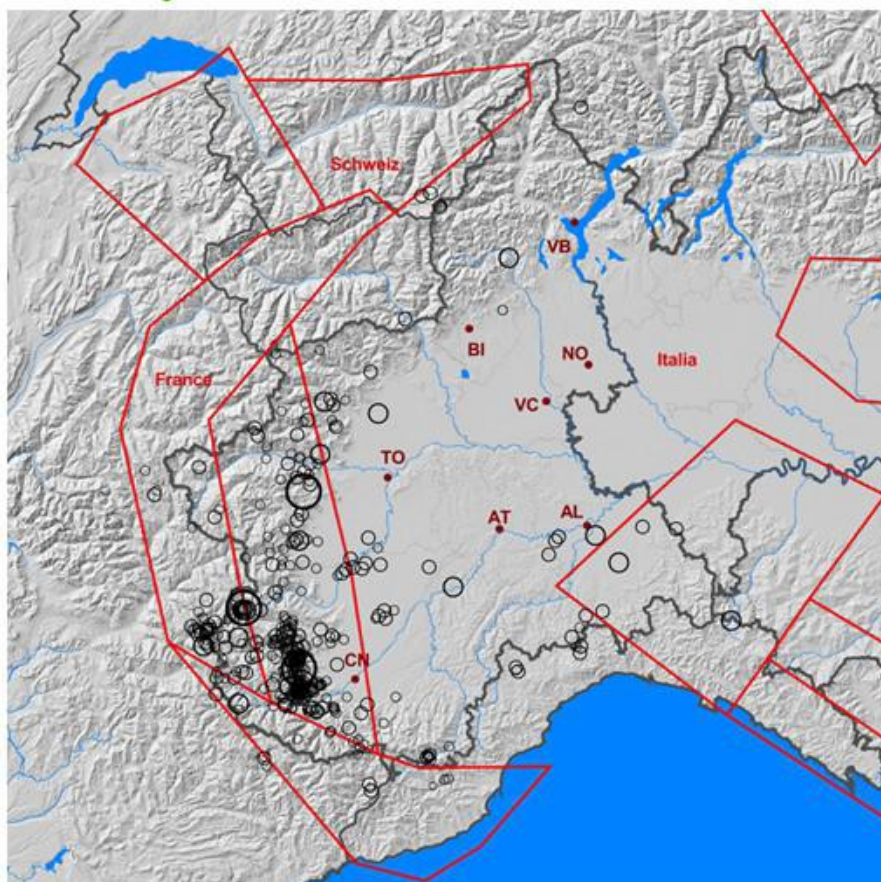


Fig. 10 – Localizzazione sismi con sovrapposte zone sismogenetiche. (da Arpa Piemonte)



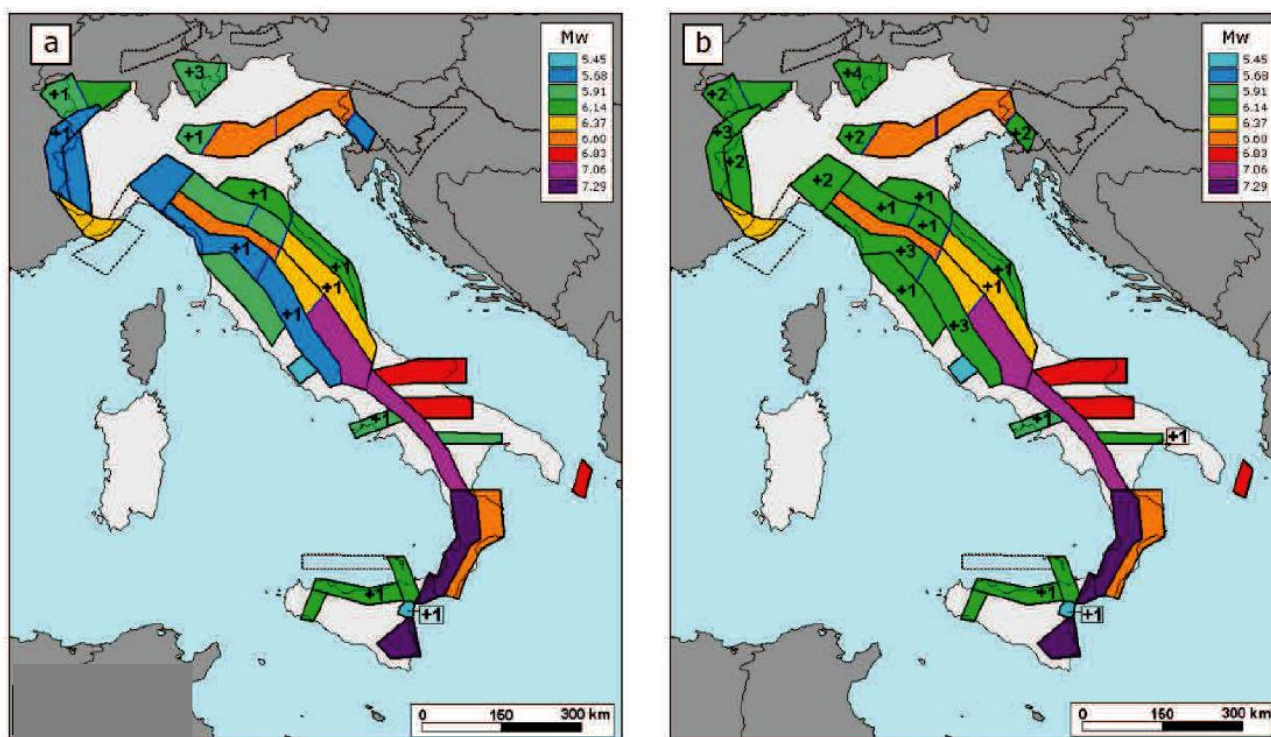


Fig. 11 – Valori di  $M_{wMAX}$  osservati (a) e cautelativi (b).

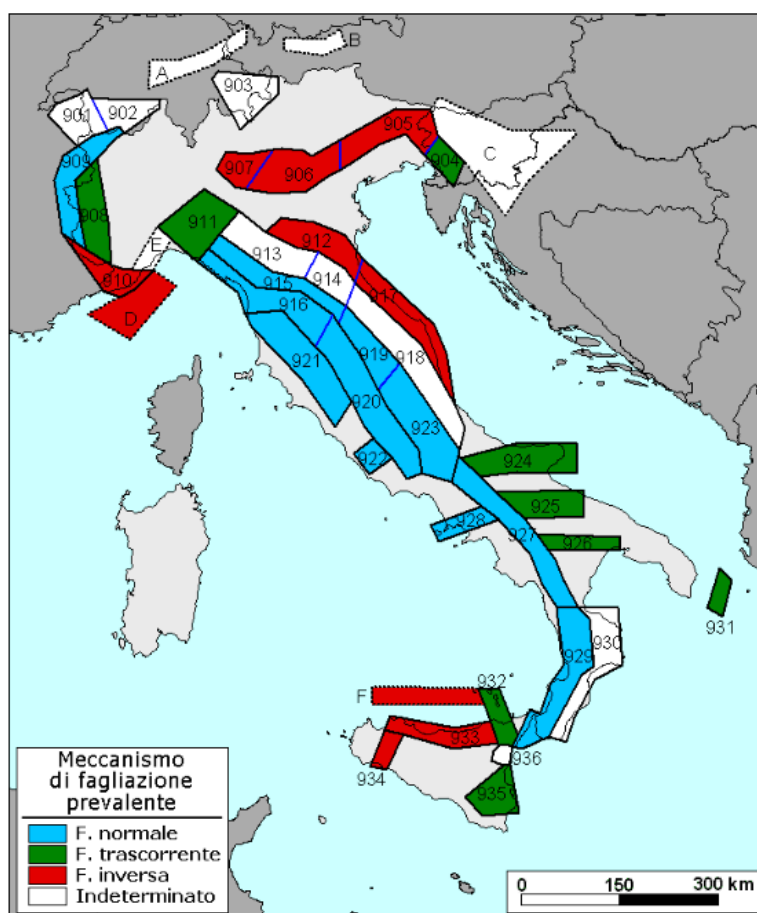


Fig. 12 – Carta dei meccanismi di fagliazione, tratto da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>





Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *
908	495	128	25	3.7	8-12	10
909	263	94	9	4.1	8-12	10
910	80	24	2	3.4	8-12	10
911	126	91	18	4.1	8-12	8
912	180	141	54	4.6	5-8	7
913	767	362	100	4.8	12-20	13
914	878	542	131	4.5	12-20	13
915	614	346	65	4.2	8-12	8
916	140	83	16	4.6	5-8	6 *
917	103	71	22	4.9	5-8	7
918	455	179	26	4.2	12-20	13
919	3001	1545	421	5.0	8-12	8
920	296	201	39	4.6	5-8	6 *

Fig. 13 – Estratto della tabella 1 ripresa da <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>





## 1.7 DEFINIZIONE DELLA SORGENTE SISMOGENETICA PERTINENTE

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia, nell'ambito del Progetto DISS3, ha messo a disposizione in rete all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>, le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Il territorio di Rivoli è situato a nord della sorgente sismogenetica composita classificata come **ITCS023 Western Piemonte** (Fig. 14). Questa sorgente composita appartiene, all'Arco del Monferrato, il più esterno dei fronti di "thrust" (struttura originata dalla spinta tettonica) dell'Appennino settentrionale. Esso comprende i "blind thrust" che formano la parte occidentale del Arco del Monferrato: si tratta di faglie sepolte, al di sotto della pianura, che danno luogo in superficie a struttura anticlinali costituite da rocce di età terziaria.

I fronti dei thrust appenninici che si affacciano sulla Pianura Padana sono tradizionalmente divisi in tre archi, che da ovest a est costituiscono il Monferrato, l' Emilia e gli archi Ferrara - Romagna. Nei settori centrale e orientale (ossia gli archi di Emilia e Ferrara -Romagna) sono sepolti sotto i sedimenti Pianura Padana e sono stati mappati utilizzando i dati di esplorazione del sottosuolo geofisici. Queste strutture deformano la base della successione Pliocenico - Quaternaria a Sud del fiume Po, e sono formate da pieghe e thrust Nord vergenti; al contrario l'arco del Monferrato (Nord -vergente), che è il più occidentale dei tre archi dell'Appennino Settentrionale, costituisce una struttura anticlinale affiorante ( Elter e Pertusati, 1973).

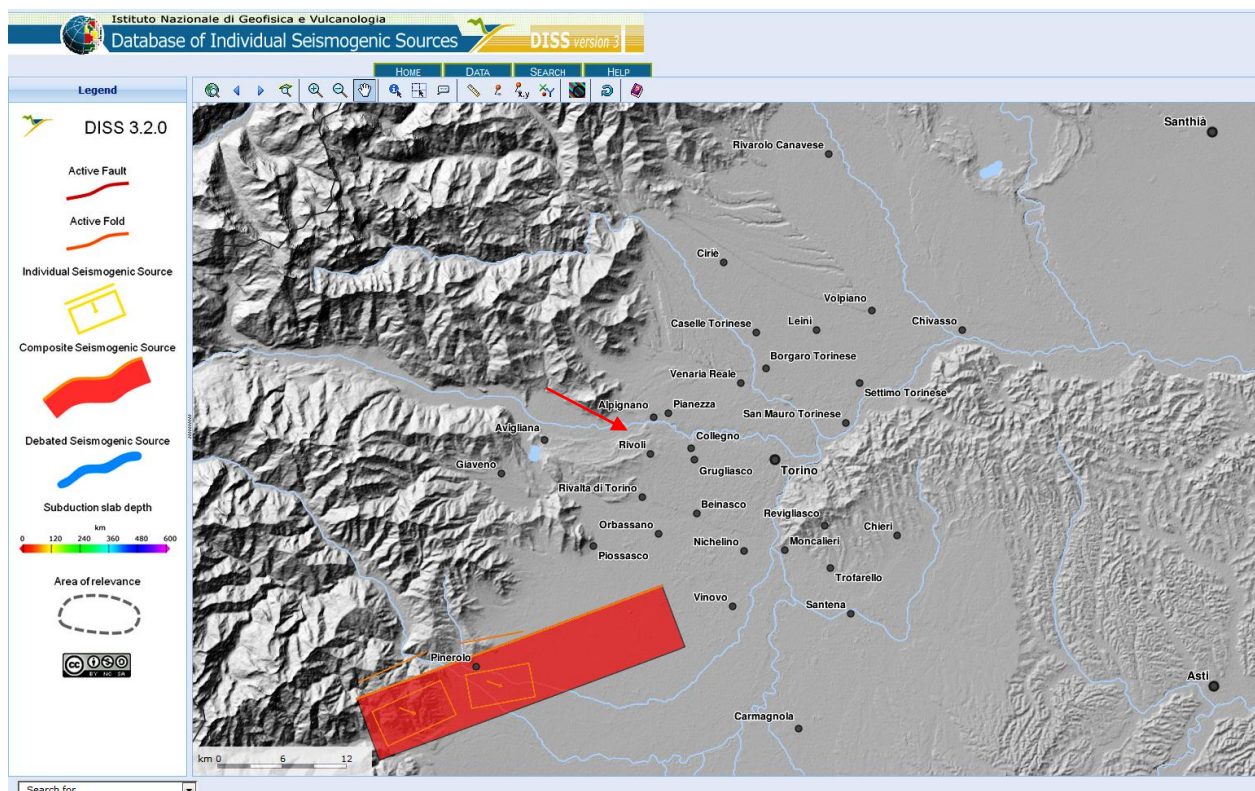


Fig. 14 – Localizzazione del Comune di Rivoli (indicato dalla freccia rossa) rispetto alla sorgente sismogenetica locale.





Lo "strike" o direzione di questa sorgente sismogenetica è stata presa dall'orientamento generale delle strutture tettoniche mappate ( $N60^{\circ}$ -  $80^{\circ}$ ) . L'immersione o "dip" è stata dedotta da considerazioni geologiche regionali riguardanti il piano di thrust ( $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ ). Il "rake" o "pitch" è stato assunto per rappresentare spinta cinematica con la componente di destra-laterale del movimento tettonico sulla base di considerazioni geodinamici generali ( $130^{\circ}$ - $155^{\circ}$ ). Le profondità minima e massima sono stati desunte da considerazioni geometriche riguardanti la profondità alla quale la spinta attiva è radicata ( 1.0 e 7.0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta dai dati geodinamici regionali ( 0,1 - 1,0 mm /anno ). L'ampiezza massima è stata presa da quello del più grande terremoto storico avvenuto nella regione ( Mw 5.7 ). Terremoti i cui ipocentri siano localizzati a profondità così modeste posso essere ben risentiti in superficie.





## **2. LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA**

- **SISMICITÀ DELL'AREA**
- **L'INDAGINE SISMICA: STAZIONI TROMOGRAFICHE H.V.S.R.**
- **CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE**
- **STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA**
- **AZIONE SISMICA: SPETTRI DI RISPOSTA**
- **VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE DEI DEPOSITI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO DELL'AREA OGGETTO D'INTERVENTO**



## **2.1 SISMICITÀ DELL'AREA**

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", l'intero territorio nazionale è suddiviso in 4 zone sismiche, ciascuna delle quali è contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido, indicata con " $a_g$ ", con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (corrispondente quindi allo SLU "Stato Limite Ultimo"), ossia con un tempo di ritorno di 475 anni.

Il Comune di **Rivoli** ai sensi della citata Ordinanza rientrava nella "Zona 4" di cui alla "*Classificazione sismica dei comuni italiani - Allegato A*", ovvero corrispondente ad un livello di pericolosità sismica molto basso e contraddistinto da valori di  $a_g/g < 0,05$  e accelerazione orizzontale di riferimento per la normativa tecnica  $a_g/g = 0,05$ . Con D.G.R. n.11-13058 del 19.01.2010, "*Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)*", la Regione Piemonte ha provveduto alla riclassificazione sismica del territorio regionale stabilendo per tale Comune l'assegnazione della "**ZONA 3**" accelerazione di picco orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni tra 0,05 e 0,15  $a_g/g$  e l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di riferimento per la normativa tecnica è di 0,15  $a_g/g$ , con obbligo al rispetto delle procedure di cui ai punti 4), 5), 7) e 8) della D.G.R. medesima. Questo valore è stato identificato come valore di accelerazione massima attesa per il sito in esame. Con successiva DGR n. 8-1517 del 18/02/2011 la Regione Piemonte ha definito la definitiva entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio Piemontese il 30 settembre 2011.

La normativa vigente identifica 5+2 categorie di sottosuolo, distinte sulla base del valore di velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo (riferiti al piano di posa delle fondazioni):

$$V_{s,30} = 30/(\sum h_i/v_i)$$

essendo  $h_i$  = spessore (m) dello strato i-esimo cui corrisponde una velocità  $v_i$ , la sommatoria delle altezze  $h_i$  deve essere pari a 30 m.

In Figura 15 è rappresentata la "*Carta della Pericolosità sismica*", riportante i valori di picco di accelerazione attesa al suolo su sito rigido di riferimento (per definizione  $V_s > 800$  m/sec); gli intervalli (di 0.025g, pari a circa 24.5 cm/s<sup>2</sup>), come previsti dall'OPCM n. 3274.



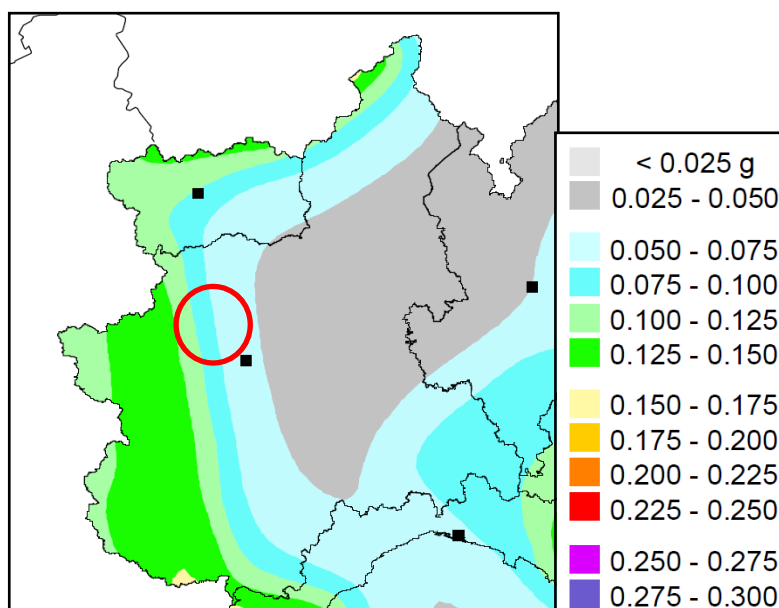


Fig. 15 – Estratto Carta della pericolosità sismica (da INGV).

## **2.2 L'INDAGINE SISMICA: STAZIONI TROMOGRAFICHE H.V.S.R.**

In data 27 Novembre 2015, sono state effettuate n. 2 stazioni di registrazione dei microtremori ambientali secondo la tecnica H.V.S.R., mirate all'acquisizione di elementi fruibili ai fini della risposta sismica locale. E' stata effettuata una registrazione per ciascun lotto edificatorio.

Questo tipo di prova è stata scelta perché poco invasiva, e applicabile quasi ovunque rispetto alle indagini geofisiche che prevedono allineamenti di geofoni (ad es. MASW). Infatti non necessita di lunghi stendimenti, di perforazioni o di sorgenti esterne in quanto fa uso dei rumori ambientali presenti quasi ovunque. Inoltre è particolarmente raccomandata nei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Supplemento a Ingegneria Sismica n.2 2011, ICMS) che costituiscono la base raccomandata su cui impostare lavori di MS.

La tecnica H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) (detta anche o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura"(1989)), si basa sul rapporto spettrale delle componenti orizzontali e di quella verticale del moto del suolo, dovuto al rumore sismico ambientale (microtremore).

La metodologia H.V.S.R. era nata per misurare la amplificazione sismica di sito, consente di determinare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo (o di strutture), che corrispondono ai picchi dei rapporti spettrali tra la componente verticale e quelle orizzontali del rumore sismico.

I picchi, secondo le più recenti interpretazioni della comunità scientifica internazionale, sarebbero riconducibili alla propagazione delle Onde superficiali di Rayleigh. Tali onde sono caratterizzate da una velocità prossima alle onde di taglio (onde S).



Attraverso il rapporto spettrale  $HVRS=(H1^2+H2^2)^{0.5}/Z$ , in cui  $H_1$ ,  $H_2$  e  $Z$  sono le tre componenti degli spettri di Fourier in funzione della frequenza di vibrazione, è possibile valutare la frequenza fondamentale del sito investigato che sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica fra gli strati.

Dall'elaborazione dei dati raccolti, applicando modelli matematici approvati dalla letteratura scientifica (Castellaro & Mulargia, 2007) è possibile ricavare la velocità  $V_{s,30}$  e di conseguenza la categoria di sottosuolo di fondazione in accordo alla normativa vigente.

Il risultato delle elaborazioni è una "curva sperimentale" che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice"  $h$ , la velocità media delle  $V_s$  e la frequenza  $f$  di risonanza fondamentale del sito attraverso la formula:  $f=V_s/4h$

### 2.2.1 Cenni sulla metodologia delle tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{s30}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della



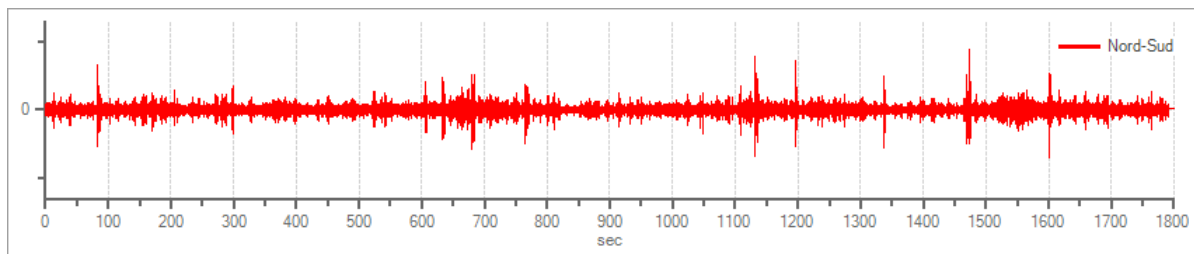
suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

### 2.2.2 PROVA H.V.S.R. 1 (LOTTO A)

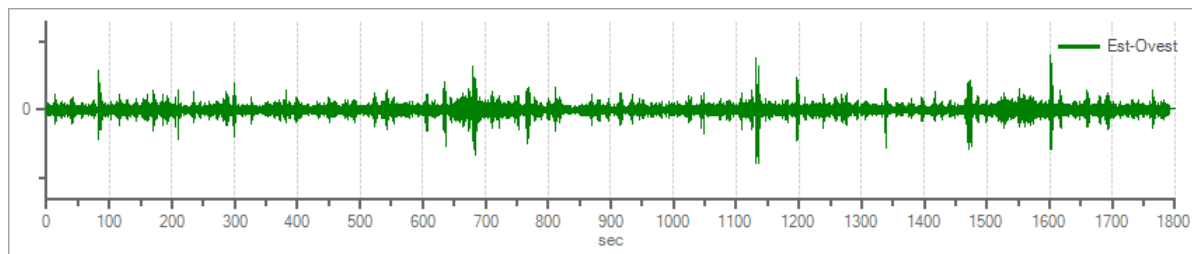
#### Tracce in input

Dati riepilogativi:	
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	200.00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

#### Grafici tracce:

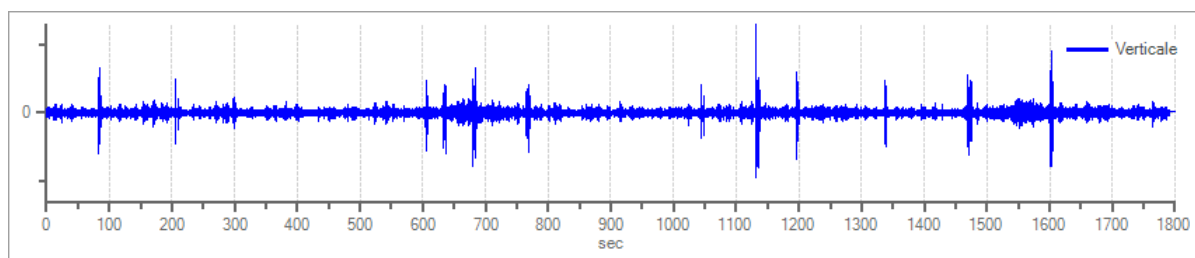


Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest





Traccia in direzione Verticale

**Finestre selezionate****Dati riepilogativi:**

Numero totale finestre selezionate: 82

Numero finestre incluse nel calcolo: 78

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamiento: Konno &amp; Ohmachi

Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Coefficiente di banda: 40.00

**Tabella finestre:**

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Esclusa
13	240	260	Esclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Esclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa



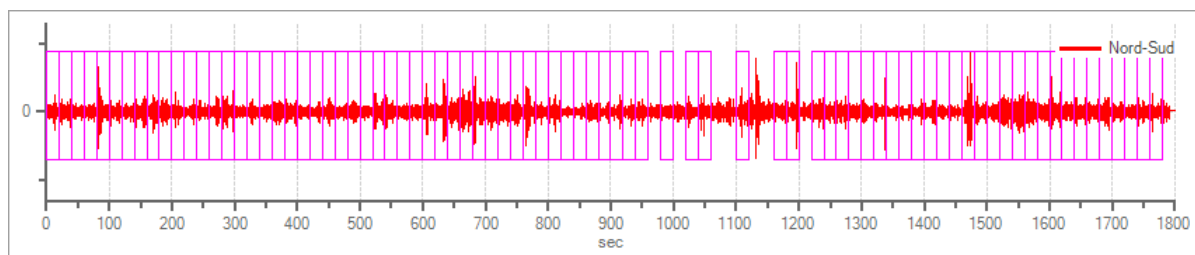




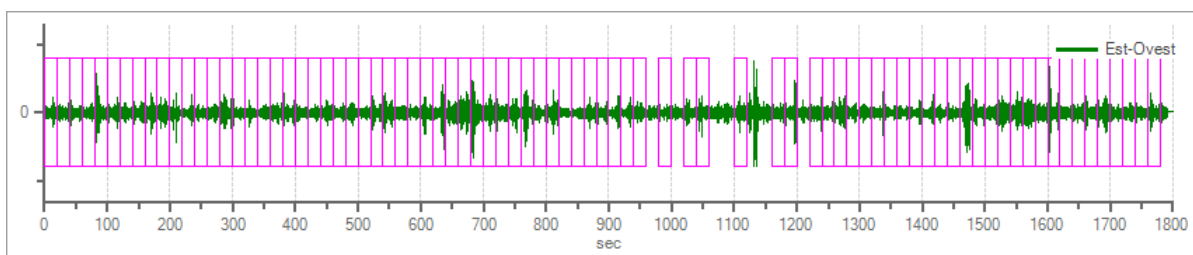
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa
38	740	760	Inclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Inclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	980	1000	Inclusa
50	1020	1040	Inclusa
51	1040	1060	Inclusa
52	1100	1120	Esclusa
53	1160	1180	Inclusa
54	1180	1200	Inclusa
55	1220	1240	Inclusa
56	1240	1260	Inclusa
57	1260	1280	Inclusa
58	1280	1300	Inclusa
59	1300	1320	Inclusa
60	1320	1340	Inclusa
61	1340	1360	Inclusa
62	1360	1380	Inclusa
63	1380	1400	Inclusa
64	1400	1420	Inclusa
65	1420	1440	Inclusa
66	1440	1460	Inclusa
67	1460	1480	Inclusa
68	1480	1500	Inclusa
69	1500	1520	Inclusa
70	1520	1540	Inclusa
71	1540	1560	Inclusa
72	1560	1580	Inclusa
73	1580	1600	Inclusa
74	1600	1620	Inclusa
75	1620	1640	Inclusa
76	1640	1660	Inclusa
77	1660	1680	Inclusa
78	1680	1700	Inclusa
79	1700	1720	Inclusa
80	1720	1740	Inclusa
81	1740	1760	Inclusa
82	1760	1780	Inclusa



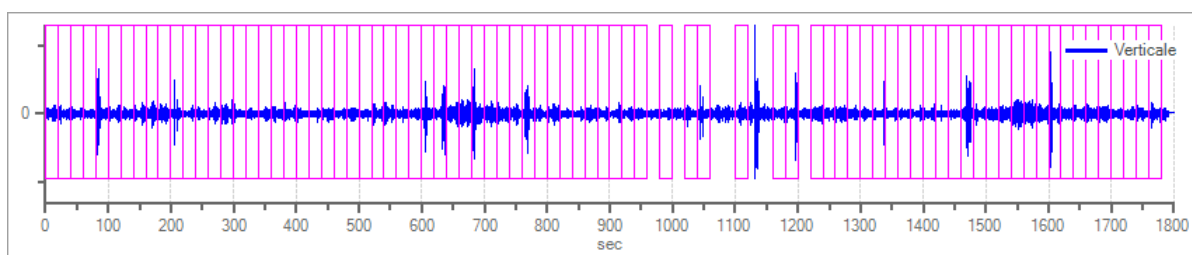


**Grafici tracce con finestre selezionate:**

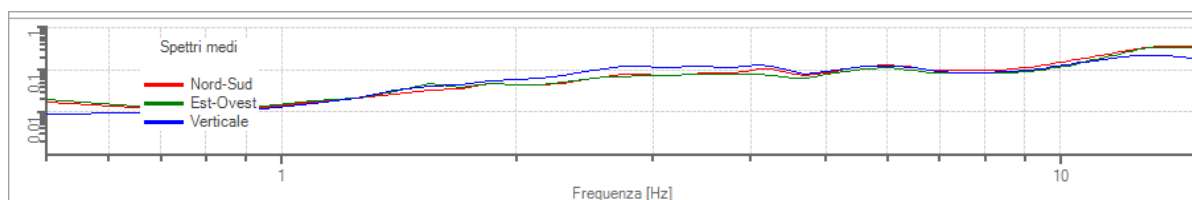
Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

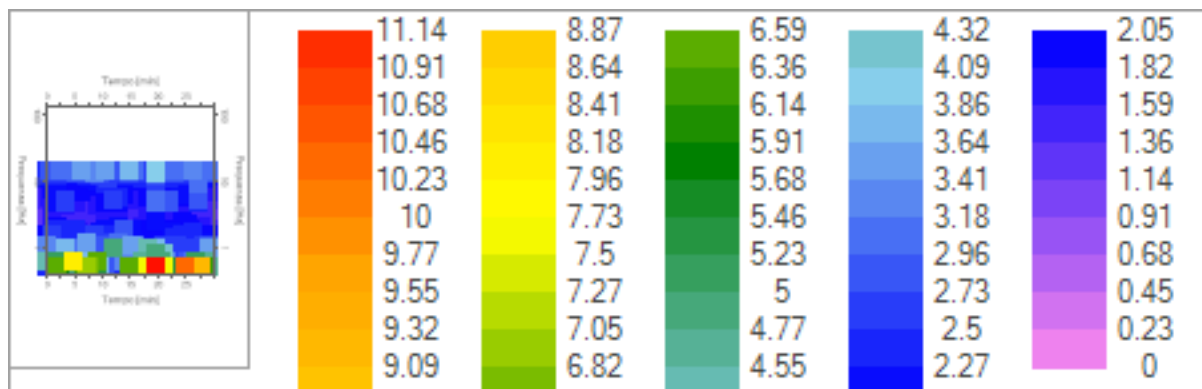


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

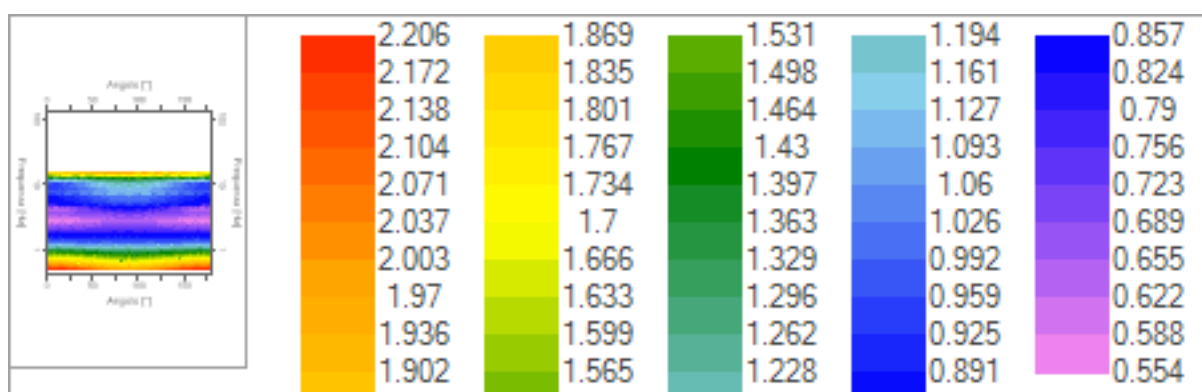
**Grafici degli spettri**

Spettri medi nelle tre direzioni





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

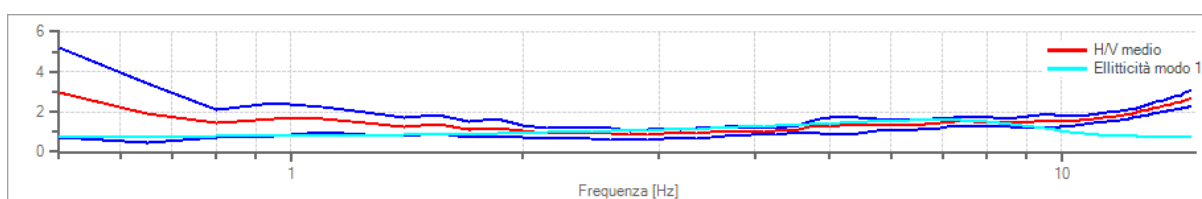
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenza: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.50 Hz  $\pm 0.76$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



### Verifiche SESAME:

Verifica

$$f_0 > 10/l_w$$

$$n_c(f_0) > 200$$

$$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ s,}$$

$$\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ s,}$$

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Esito

Ok

Ok

Ok

Ok

Ok

Ok

Non superato

Non superato

Ok

### Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3

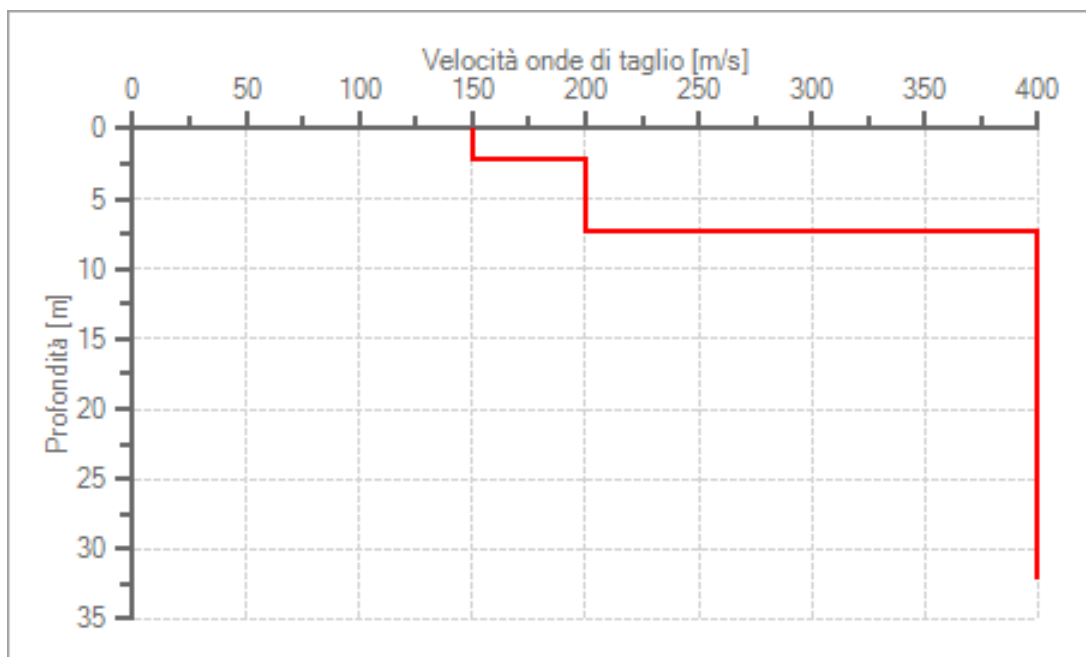
Frequenza del picco dell'ellitticità: 6.80 Hz

Valore di disadattamento: -1.00

**Valore Vs30: 309.01 m/s**

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.3	15	0.3	150
2	2.3	5	18	0.3	200
3	7.3	25	20	0.3	400



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

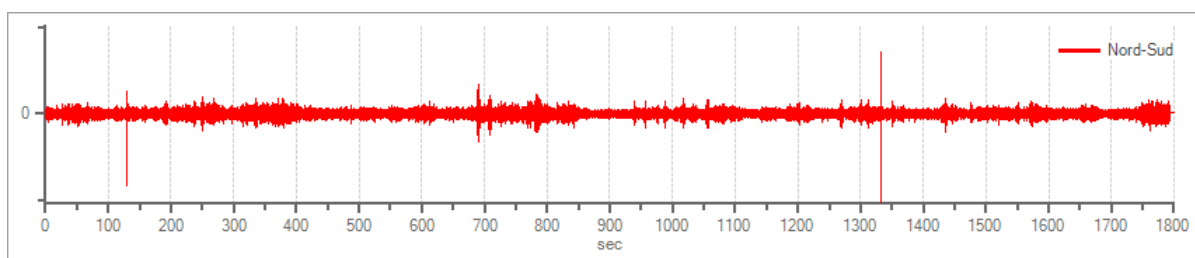


### 2.2.3 PROVA H.V.S.R. 2 (LOTTO B)

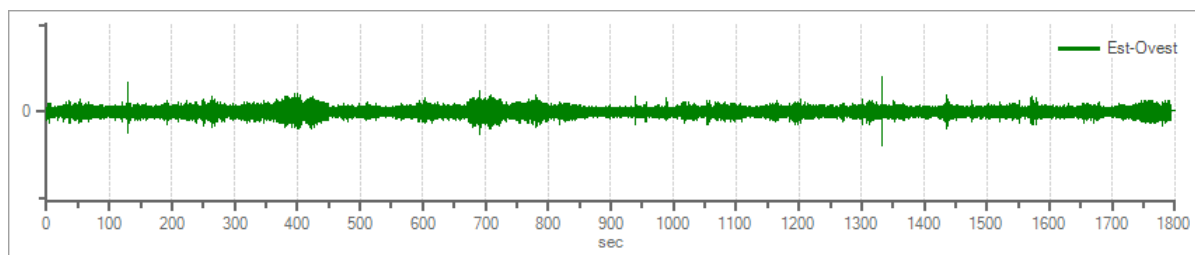
#### Tracce in input

Dati riepilogativi:  
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

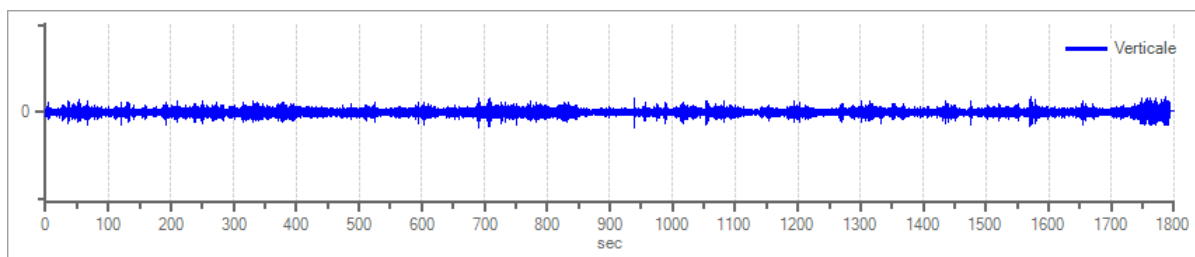
#### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale



**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 86

Numero finestre incluse nel calcolo: 86

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamiento: Konno &amp; Ohmachi

Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Coefficiente di banda: 40.00

**Tabella finestre:**

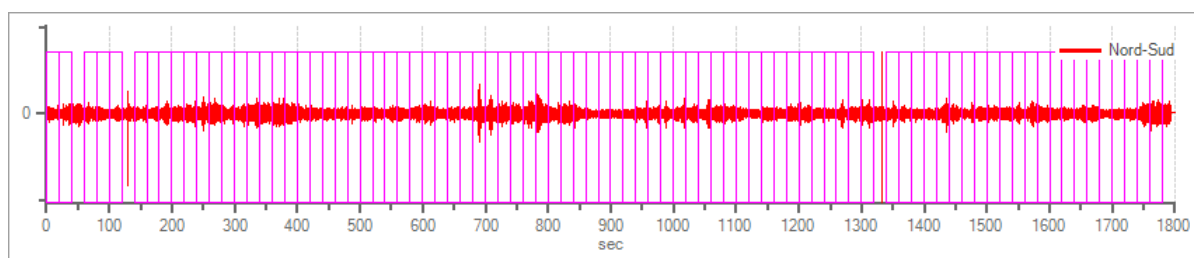
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	740	760	Inclusa
37	760	780	Inclusa
38	780	800	Inclusa
39	800	820	Inclusa
40	820	840	Inclusa
41	840	860	Inclusa
42	860	880	Inclusa
43	880	900	Inclusa







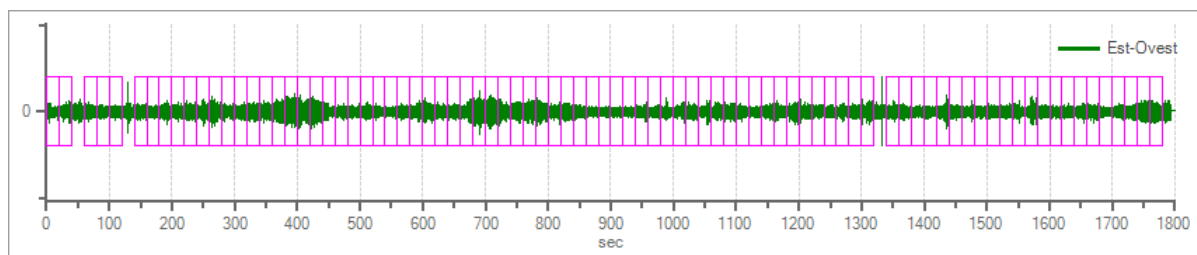
44	900	920	Inclusa
45	920	940	Inclusa
46	940	960	Inclusa
47	960	980	Inclusa
48	980	1000	Inclusa
49	1000	1020	Inclusa
50	1020	1040	Inclusa
51	1040	1060	Inclusa
52	1060	1080	Inclusa
53	1080	1100	Inclusa
54	1100	1120	Inclusa
55	1120	1140	Inclusa
56	1140	1160	Inclusa
57	1160	1180	Inclusa
58	1180	1200	Inclusa
59	1200	1220	Inclusa
60	1220	1240	Inclusa
61	1240	1260	Inclusa
62	1260	1280	Inclusa
63	1280	1300	Inclusa
64	1300	1320	Inclusa
65	1340	1360	Inclusa
66	1360	1380	Inclusa
67	1380	1400	Inclusa
68	1400	1420	Inclusa
69	1420	1440	Inclusa
70	1440	1460	Inclusa
71	1460	1480	Inclusa
72	1480	1500	Inclusa
73	1500	1520	Inclusa
74	1520	1540	Inclusa
75	1540	1560	Inclusa
76	1560	1580	Inclusa
77	1580	1600	Inclusa
78	1600	1620	Inclusa
79	1620	1640	Inclusa
80	1640	1660	Inclusa
81	1660	1680	Inclusa
82	1680	1700	Inclusa
83	1700	1720	Inclusa
84	1720	1740	Inclusa
85	1740	1760	Inclusa
86	1760	1780	Inclusa

**Grafici tracce con finestre selezionate:**

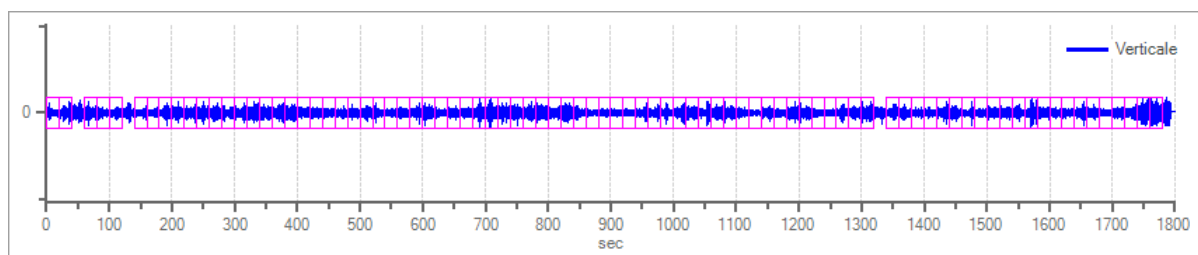
Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud





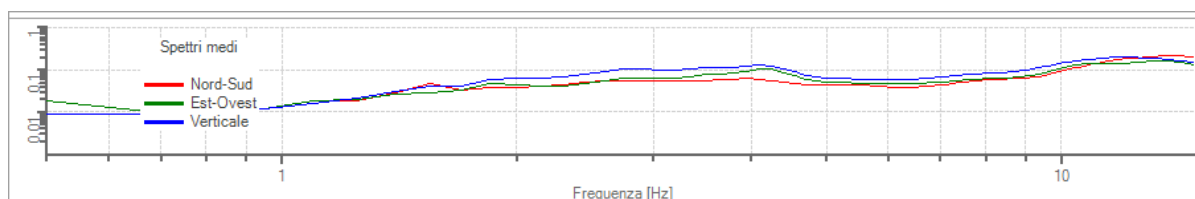


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

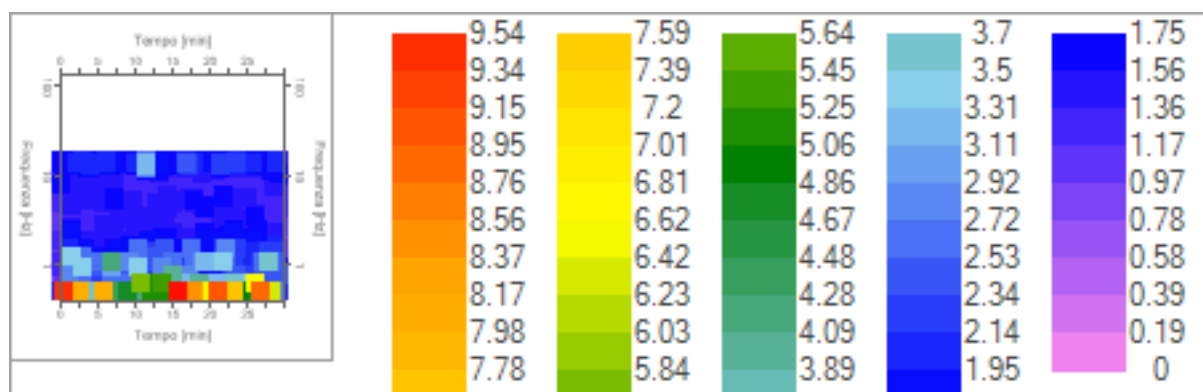


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

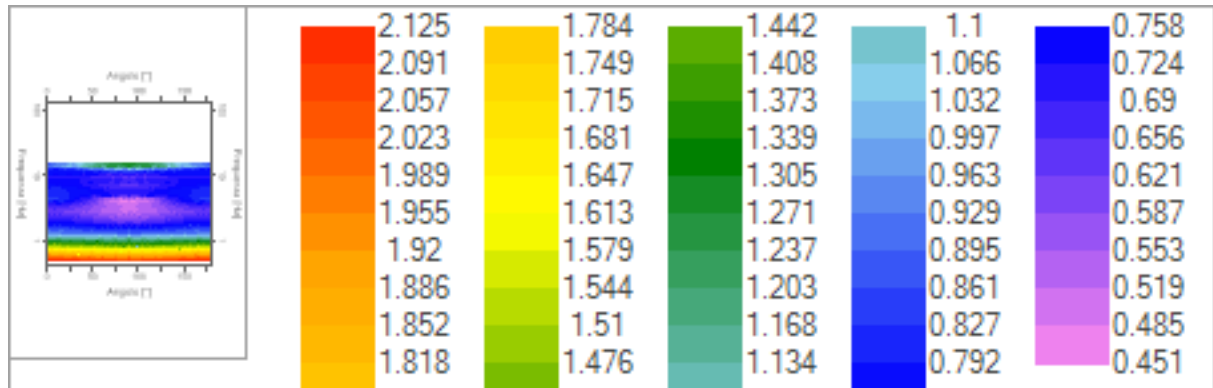


Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri





Mappa della direzionalità degli spettri

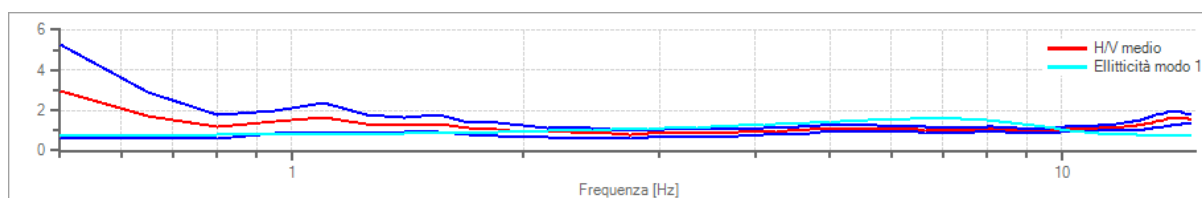
### Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:  
 Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.50 Hz  $\pm 0.78$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok





$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

Ok

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Ok

**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3

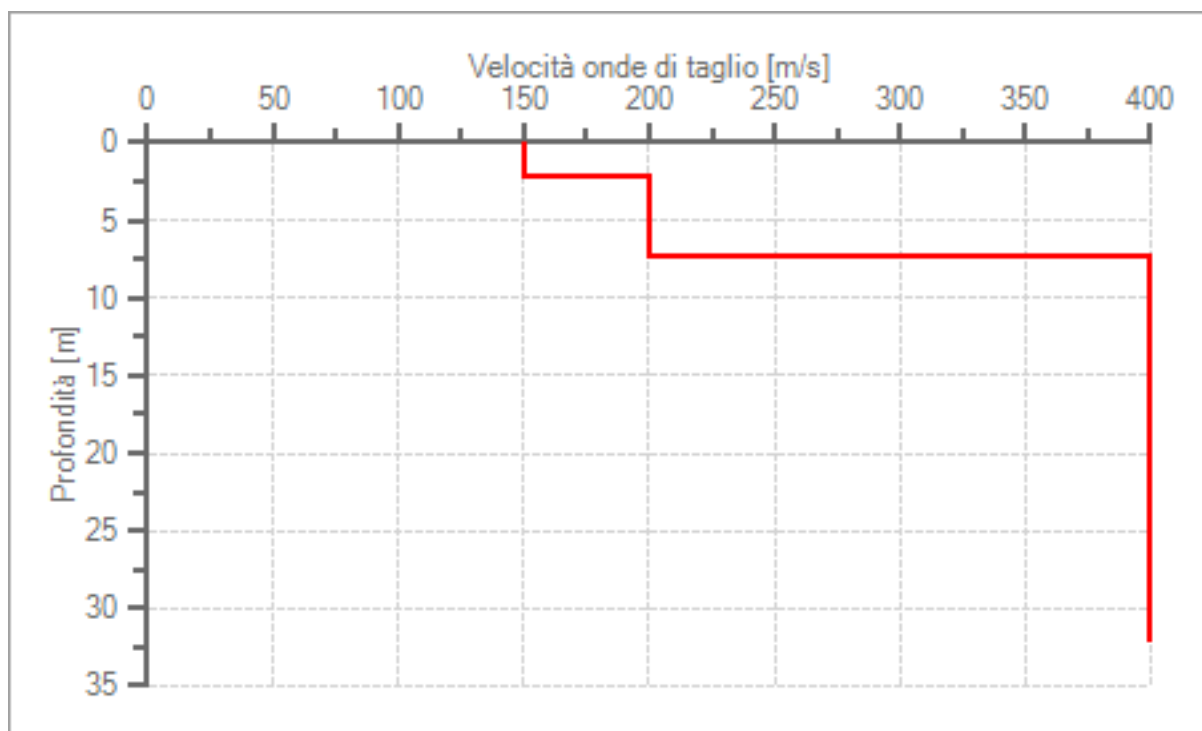
Frequenza del picco dell'ellitticità: 6.80 Hz

Valore di disadattamento: -1.00

**Valore Vs30: 309.01 m/s**

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.3	15	0.3	150
2	2.3	5	18	0.3	200
3	7.3	25	20	0.3	400



Profilo delle velocità delle onde di taglio.





## **2.3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE**

Per definire l'**azione sismica di progetto**, occorre determinare l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi. In assenza di analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) e sulle condizioni topografiche.

### **2.3.1 Determinazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione. Amplificazione stratigrafica**

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei suoli, la categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione è stata definita secondo la procedura specificata al punto 3.2.1. del D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", che prevede che la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità equivalente delle onde sismiche di taglio  $V_{S,30}$  valutata nei primi 30 m di profondità, ovvero sul numero medio di colpi  $N_{SPT}$  ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$ . **Nello specifico sono state effettuate n. 2 prove H.V.S.R.**

Per le **fondazioni superficiali**, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le **fondazioni su pali** è riferita alla testa dei pali.

Le categorie indicate al punto 3.2.II (Categorie di sottosuolo) delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni", approvate con **D.M. 14 gennaio 2008** risultano le seguenti:

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m,



	caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_S &gt; 800</math> m/s).</i>
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

**Tabelle 3.2.II – Categorie di sottosuolo e 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo**

Nel caso in esame, l'esecuzione delle prove H.V.S.R. ha consentito di classificare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione come appartenente alla **Categoria C** di cui all'*Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003* ed al *D.M. 14 settembre 2005*.

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed **E** i **coefficienti  $S_S$  e  $C_C$**  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

**Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$**

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$



### 2.3.2 Amplificazione topografica

Per configurazioni superficiali semplici, come nel caso in esame, si può adottare la seguente classificazione:

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4



## **2.4 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA**

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento"  $V_R$  espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"  $P_{VR}$ .

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di un'area in occasione di eventi sismici possono produrre effetti diversi che devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica del sito.

Tali effetti sono definiti **effetti locali** e sono distinti in:

- effetti di instabilità rappresentati in generale da fenomeni di instabilità, consistenti in veri e propri collassi e talora in movimenti di grandi masse di terreno, incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono diverse a seconda delle condizioni presenti in sito;
- effetti di sito rappresentati dalle interazioni delle onde sismiche con particolari condizioni locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie rispetto allo scuotimento che si avrebbe sulla roccia sottostante (substrato). Le condizioni locali sono rappresentate sia da morfologie superficiali (topografia) e sepolte, sia da particolari caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni, che possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno e fenomeni di risonanza tra terreno e strutture.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .



Per la determinazione dei parametri sismici è stata effettuata la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della struttura: 50 anni

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1,0

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

- Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = 50$  anni
- Categoria di suolo di fondazione: C
- Categoria topografica: T1

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4





Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub> [-]	T* <sub>c</sub> [s]
Operatività SLO	30	0,029	2,491	0,197
Danno SLD	50	0,036	2,550	0,211
Salvaguardia vita SLV	475	0,079	2,632	0,269
Prevenzione collasso SLC	975	0,098	2,635	0,278

I coefficienti per i diversi stati limite sono i seguenti:

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.50	1.50
Cc Coefficiente funz. categoria	1.80	1.75	1.62	1.60
St Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

I valori di accelerazione sismica orizzontale ( $K_h$ ) e verticale ( $K_v$ ) da utilizzare nei calcoli sono stati determinati considerando una categoria di sottosuolo di tipo "C" e una categoria topografica "T1":

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,009	0,011	0,024	0,030
kv	0,004	0,005	0,012	0,015
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,424	0,527	1,159	1,449
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200





## 2.5 AZIONE SISMICA: SPETTRI DI RISPOSTA

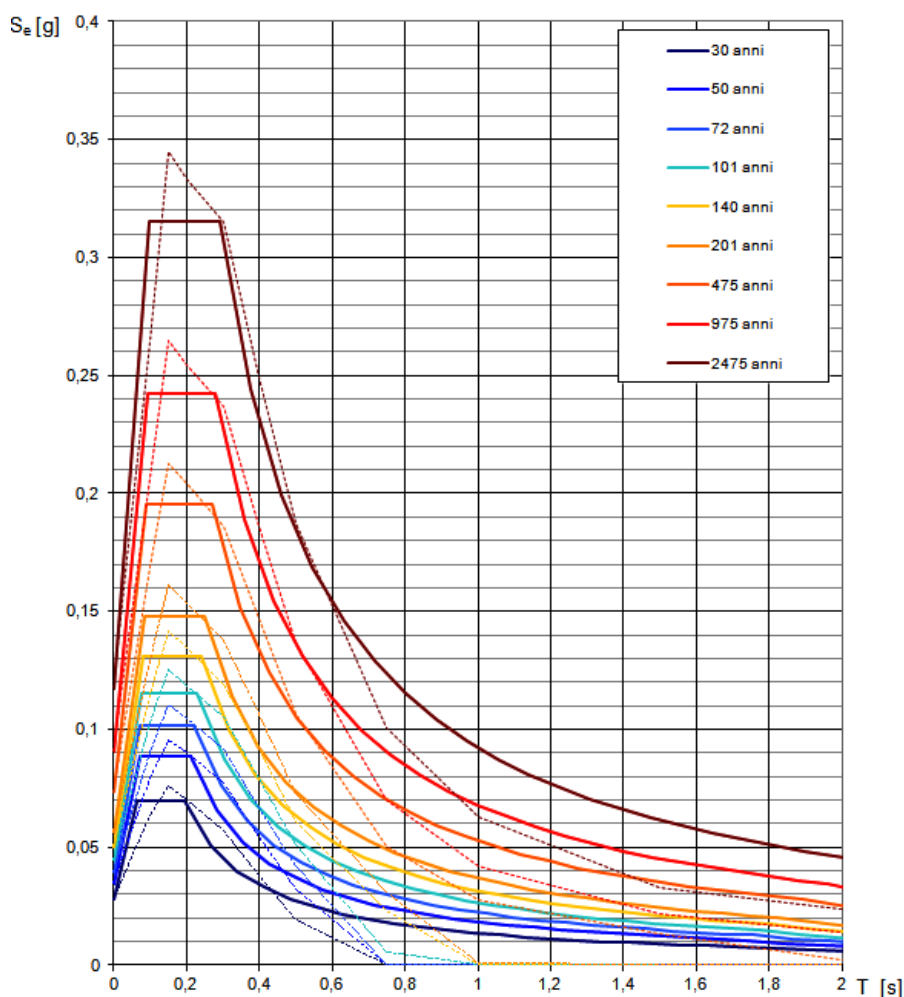
Ai sensi del nuovo D.M.14/01/2008 si riportano di seguito i valori degli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto del sito in esame sulla base degli S.L.U. ed S.L.E calcolati questa volta utilizzando l'applicativo **"Spettri di risposta NTC ver.1.0.3"** messo a disposizione dal Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici.

INDIVIDUZIONE DELLA PERICOLOSITA' DEL SITO:

- Zona sismica: 3
- Topografia: T1
- Categoria del suolo: C

Inserendo il riferimento geografico, il software restituisce in automatico le seguenti elaborazioni grafiche:

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

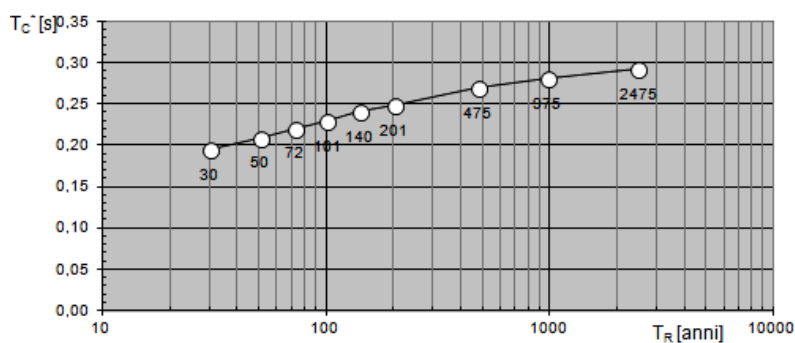
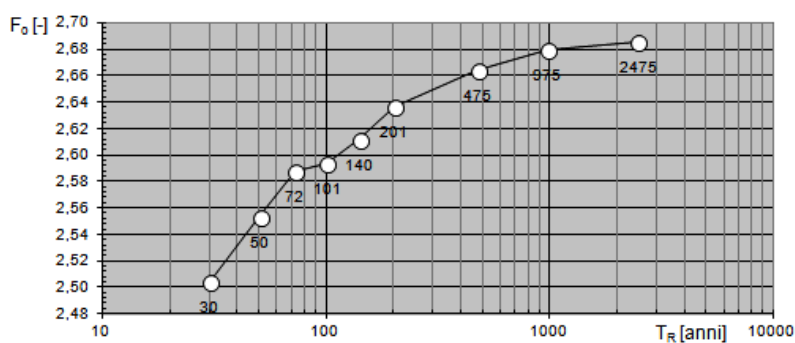
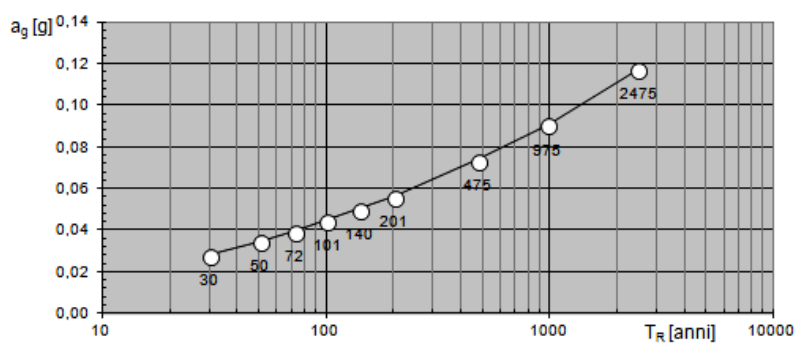


NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,028	2,504	0,195
50	0,035	2,553	0,209
72	0,039	2,587	0,221
101	0,045	2,593	0,230
140	0,050	2,611	0,241
201	0,056	2,636	0,249
475	0,073	2,664	0,269
975	0,091	2,679	0,280
2475	0,117	2,685	0,292



### 2.5.1 SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE:

- Vita nominale della struttura: 50 anni
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso  $C_u$ : 1,0
- 

In particolare, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  il periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni)  $T_R$  è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_u \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

La tabella riassuntiva seguente fornisce i valori di  $T_R$  in funzione di  $V_R$ :

Stati Limite		Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$
Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$(^1) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$

Periodo di riferimento per la costruzione  $V_R$ : 50 anni

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni):  $T_R$ :

#### Stati limite di esercizio SLE

SLO- $P_{VR}$  = 81% 30

SLD- $P_{VR}$  = 63% 50

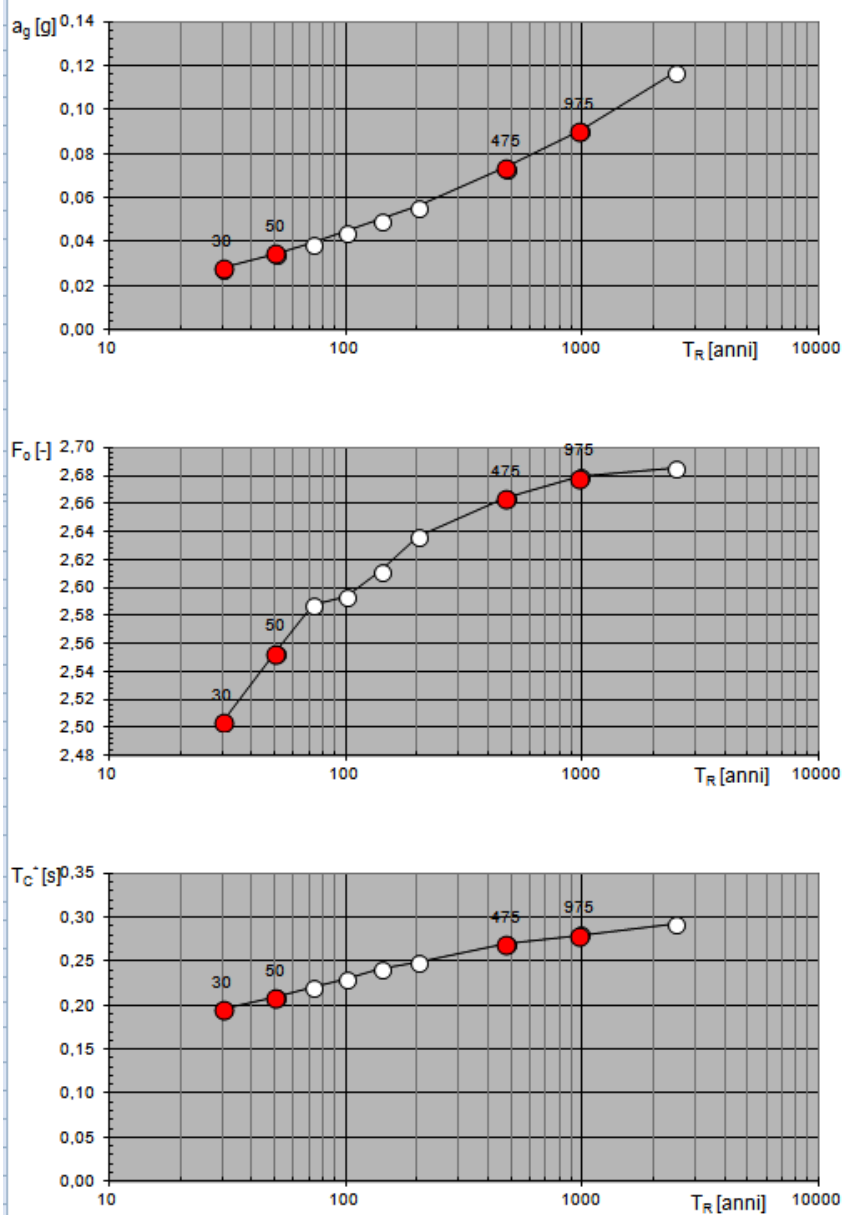
#### Stati limite ultimo SLU

SLV- $P_{VR}$  = 10% 475

SLC- $P_{VR}$  = 5% 975

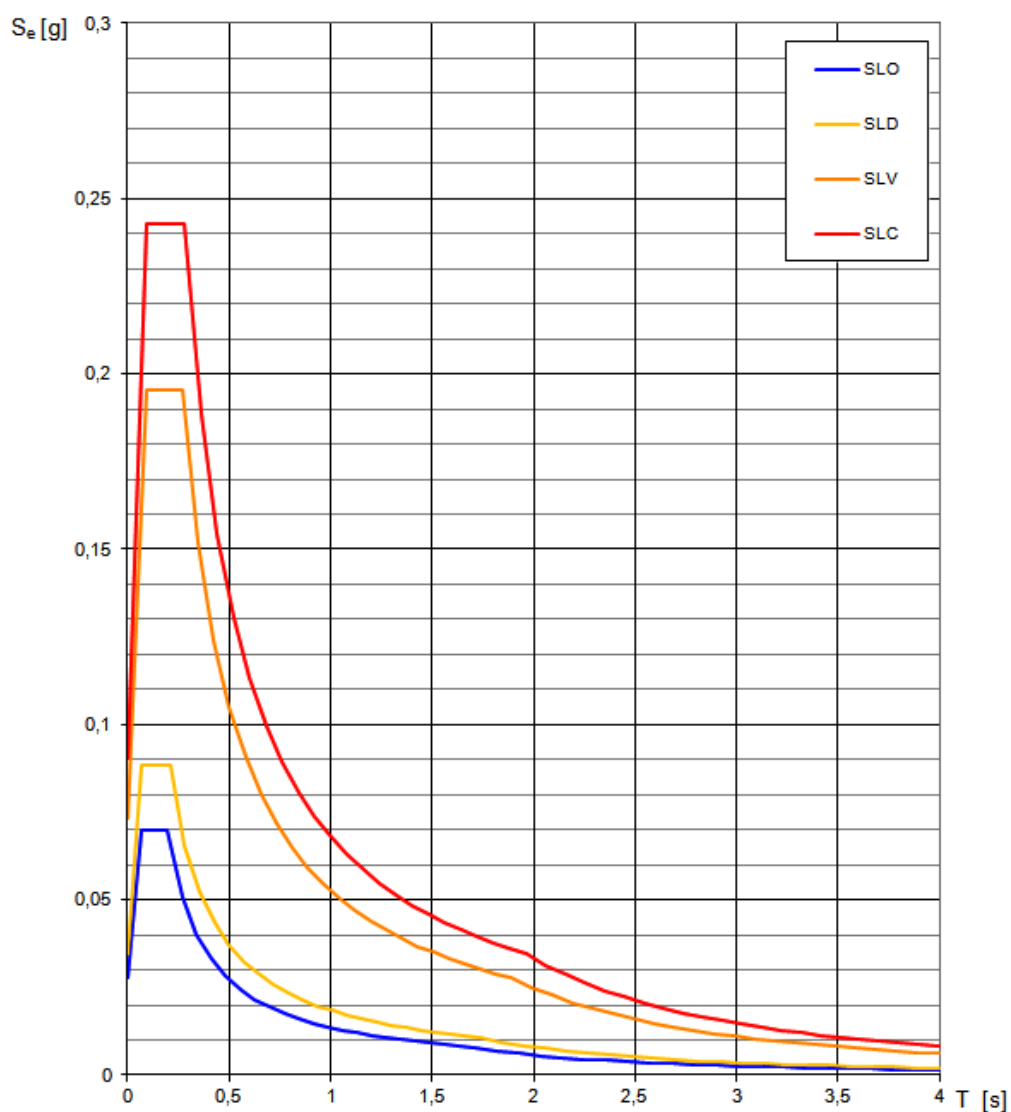


Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno





### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Di seguito sono riportati i valori dei parametri per i periodi di ritorno associati a ciascuno Stato limite

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno Stato

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,028	2,504	0,195
SLD	50	0,035	2,553	0,209
SLV	475	0,073	2,664	0,269
SLC	975	0,091	2,679	0,280



## 2.5.2 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO:

In assenza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito: nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLD; SLE  $\Rightarrow$  SLD nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV. SLU  $\Rightarrow$  SLV

### Spettro di progetto inelastico (SLU)

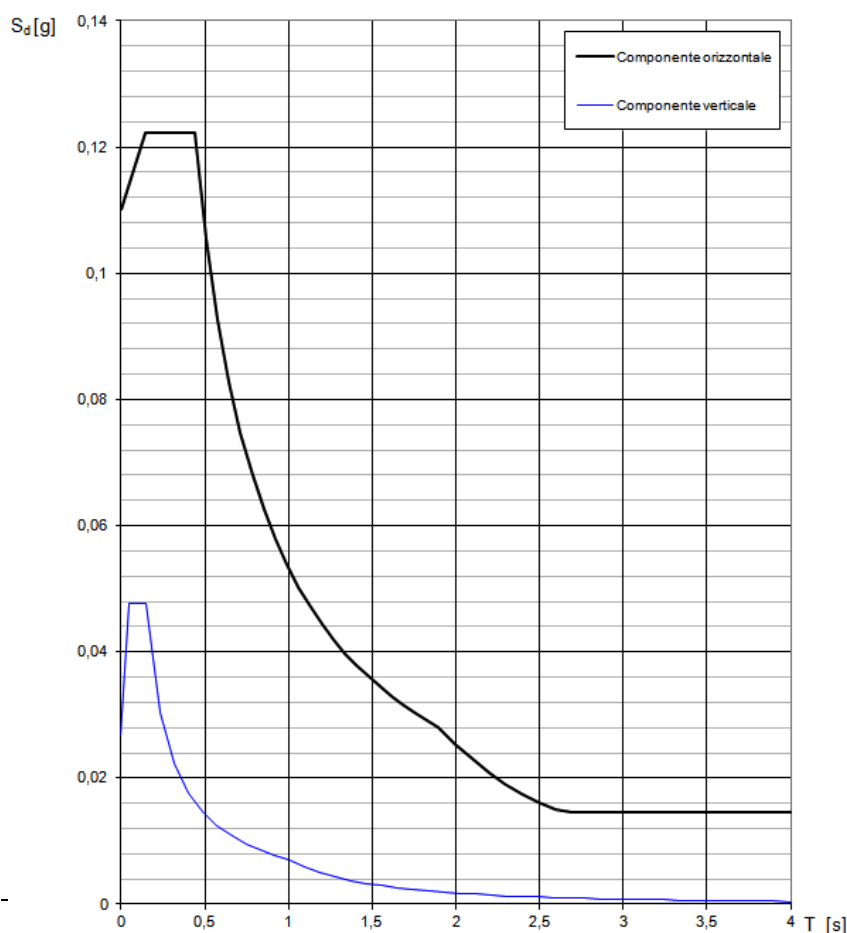
#### Stato limite considerato: SLV

Risposta sismica locale: Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1;  $S_s = 1,500$ ;  $C_c = 1,619$   $S_T = 1,000$

— fattori di struttura:  $\xi = 5.0^*$ ;  $q_{orizzontale} = 3.00^*$ ;  $q_{verticale} = 1.50^*$ ; Regolazione in altezza: no

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



\* valore stimato poiché non fornito dal Progettista



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limiSLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_s$	0,073 g
$F_a$	2,664
$T_c$	0,269 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,619
$S_T$	1,000
$q$	2,400

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,417
$T_a$	0,145 s
$T_c$	0,436 s
$T_D$	1,894 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_a = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_e \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_s / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_a \quad S_a(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_a} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_a} \right) \right]$$

$$T_a \leq T < T_c \quad S_a(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_c T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,110
$T_a$	0,145	0,122
$T_c$	0,436	0,122
	0,505	0,105
	0,575	0,093
	0,644	0,083
	0,714	0,075
	0,783	0,068
	0,852	0,063
	0,922	0,058
	0,991	0,054
	1,061	0,050
	1,130	0,047
	1,200	0,044
	1,269	0,042
	1,338	0,040
	1,408	0,038
	1,477	0,036
	1,547	0,034
	1,616	0,033
	1,685	0,032
	1,755	0,030
	1,824	0,029
$T_D$	1,894	0,028
	1,994	0,025
	2,094	0,023
	2,195	0,021
	2,295	0,019
	2,395	0,018
	2,495	0,016
	2,596	0,015
	2,696	0,015
	2,796	0,015
	2,897	0,015
	2,997	0,015
	3,097	0,015
	3,198	0,015
	3,298	0,015
	3,398	0,015
	3,498	0,015
	3,599	0,015
	3,699	0,015
	3,799	0,015
	3,900	0,015
	4,000	0,015



## Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limiteSLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_{mv}$	0,027 g
$S_s$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,500
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

### Parametri dipendenti

$F_v$	0,974
$S$	1,000
$\eta$	0,667

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_s \cdot \left( \frac{a_s}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

### Punti dello spettro di risposta

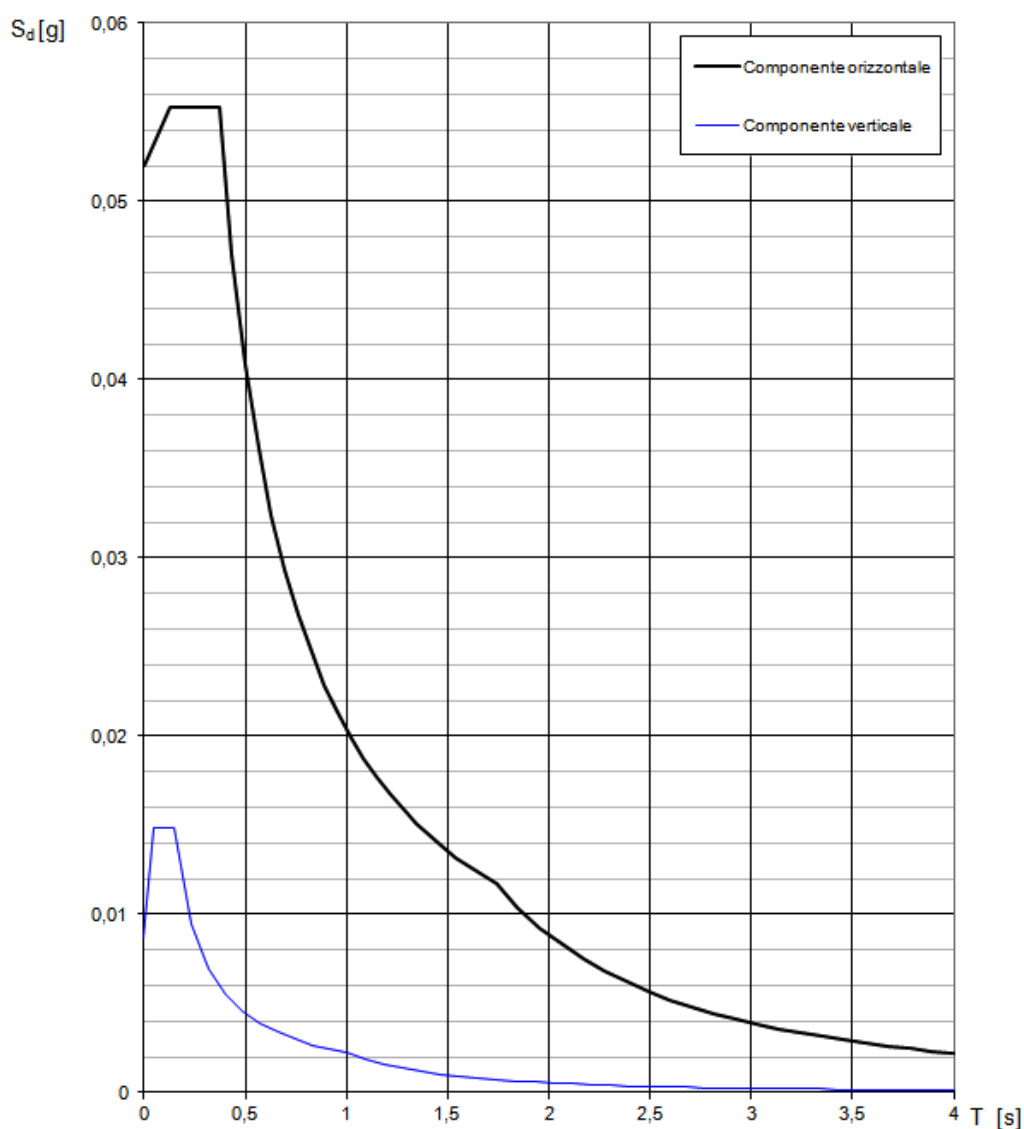
	T [s]	Se [g]
	0,000	0,027
$T_B$	0,050	0,048
$T_C$	0,150	0,048
	0,235	0,030
	0,320	0,022
	0,405	0,018
	0,490	0,015
	0,575	0,012
	0,660	0,011
	0,745	0,010
	0,830	0,009
	0,915	0,008
$T_D$	1,000	0,007
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,004
	1,375	0,004
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000



**Spettro di progetto elastico (SLE)** Smorzamento in %  $\xi = 5\%$   $\eta = 1,000$ **Stato limite considerato: SLD**

Risposta sismica locale:

Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1  $S_s = 1,500$ ;  $C_c = 1,759$ ;  $S_T = 1,000$ - fattori di struttura:  $\xi = 5.0^*$ ;  $q_{orizzontale} = 3.00^*$ ;  $q_{verticale} = 1.050^*$  - Regolazione in altezza: no**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD**

\* valore stimato poiché non fornito dal Progettista



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limBLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,035 g
$F_a$	2,553
$T_c$	0,209 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,759
$S_T$	1,000
$q$	2,400

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,417
$T_B$	0,123 s
$T_C$	0,368 s
$T_D$	1,739 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,052
$T_B$	0,123	0,055
$T_C$	0,368	0,055
	0,434	0,047
	0,499	0,041
	0,564	0,036
	0,629	0,032
	0,695	0,029
	0,760	0,027
	0,825	0,025
	0,890	0,023
	0,956	0,021
	1,021	0,020
	1,086	0,019
	1,151	0,018
	1,217	0,017
	1,282	0,016
	1,347	0,015
	1,412	0,014
	1,478	0,014
	1,543	0,013
	1,608	0,013
	1,673	0,012
$T_D$	1,739	0,012
	1,846	0,010
	1,954	0,009
	2,062	0,008
	2,169	0,008
	2,277	0,007
	2,385	0,006
	2,492	0,006
	2,600	0,005
	2,708	0,005
	2,815	0,004
	2,923	0,004
	3,031	0,004
	3,139	0,004
	3,246	0,003
	3,354	0,003
	3,462	0,003
	3,569	0,003
	3,677	0,003
	3,785	0,002
	3,892	0,002
	4,000	0,002



## Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_{ov}$	0,009 g
$S_s$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,500
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

### Parametri dipendenti

$F_v$	0,642
$S$	1,000
$\eta$	0,667

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_e \cdot \left( \frac{a_s}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_e} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,009
$T_B$	0,050	0,015
$T_C$	0,150	0,015
	0,235	0,009
	0,320	0,007
	0,405	0,005
	0,490	0,005
	0,575	0,004
	0,660	0,003
	0,745	0,003
	0,830	0,003
	0,915	0,002
$T_D$	1,000	0,002
	1,094	0,002
	1,188	0,002
	1,281	0,001
	1,375	0,001
	1,469	0,001
	1,563	0,001
	1,656	0,001
	1,750	0,001
	1,844	0,001
	1,938	0,001
	2,031	0,001
	2,125	0,000
	2,219	0,000
	2,313	0,000
	2,406	0,000
	2,500	0,000
	2,594	0,000
	2,688	0,000
	2,781	0,000
	2,875	0,000
	2,969	0,000
	3,063	0,000
	3,156	0,000
	3,250	0,000
	3,344	0,000
	3,438	0,000
	3,531	0,000
	3,625	0,000
	3,719	0,000
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000



## **2.6 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

essendo:  $c$  = coesione del terreno;  $\sigma_{v0}$  = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine;  $u$  = pressione interstiziale dell'acqua;  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno.

È evidente che la grandezza  $\tau$  si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

- a)  $c = 0$
- b)  $(\sigma_{v0} - u) = 0$
- c)  $\varphi = 0$

La condizione **(a)** impone che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica, mentre la condizione **(b)** si verifica quando la pressione interstiziale eguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie (quando cioè  $\sigma_{v0} = u$ ). Infine la condizione **(c)** non riveste importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione  $c = 0$  non può ovviamente verificarsi. In definitiva il fenomeno della liquefazione può manifestarsi preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Fondamentale è anche il grado di addensamento del terreno, esprimibile attraverso il parametro densità relativa ( $D_r$  %). I terreni molto addensati, se sollecitati, subiscono un aumento di volume (fenomeno di dilatanza) con conseguente diminuzione della  $D_r$  %, che tende a portarsi verso un valore critico, variante in funzione principalmente della granulometria del deposito. L'aumento di volume ha come conseguenza, nei depositi saturi, un richiamo dell'acqua dall'esterno verso l'interno, con creazione di una  $u$  di segno negativo (cioè si ha un aumento del termine  $\sigma_{v0} - u$ ). L'esatto contrario avviene in terreni poco addensati, dove una sollecitazione tende a produrre una diminuzione di volume, con conseguente flusso idrico verso l'esterno e la generazione di una  $u$  di segno positivo (diminuisce il valore di  $\sigma_{v0} - u$ ).

Dall'analisi dei dati ricavati dalle indagini condotte nell'area oggetto d'intervento (caratterizzazione litostratigrafica, assenza di falda per i primi 6 metri di profondità), si ritiene che per il caso in esame i depositi presenti nel sottosuolo non possiedano caratteristiche idrogeologiche, granulometriche e di addensamento tali da far temere fenomeni di liquefazione in presenza di sollecitazioni sismiche.



## **CONCLUSIONI**

Il presente studio sismico è stato prodotto su incarico conferito dalla proprietà, Soc. Building & Lands con sede in Torino - Corso Duca degli Abruzzi 2, a seguito della richiesta integrativa degli Uffici Regionali, per l'area sita al Foglio di mappa 4 Particelle n. 259, 261, 290, 291, 293, 295, 297, 298, 299 al fine di richiederne la variante al PRGC, ai sensi dell'art. 17 bis comma 4 (Varianti semplificate) della L.R. 25/03/2013 n. 3, in quanto sui lotti di cui agli estremi catastali sopra citati è prevista la realizzazione da parte della committenza di insediamenti commerciali.

Di seguito sono riportate le considerazioni conclusive:

- in relazione alla classificazione sismica del territorio nazionale O.P.C.M. 3274 del 2003 e della successiva D.G.R. n.11-13058 del 19.01.2010 il sito ricade in Zona Sismica 3;
- il modello geologico del sito è stato ricavato dall'esame di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nell'aprile del 2011 dalla ditta Citiemme di Torino;
- dal punto di vista geodinamico la cittadina di Rivoli è situata presso due importanti lineamenti tettonici: quello ad Ovest è rappresentato dalla struttura tettonica denominata "Col del Lys – Trana Deformation Zone", mentre quello situato ad Est rispetto il concentrico di Rivoli è rappresentato dal prolungamento verso Sud della Linea del Canavese;
- la ricerca storica effettuata sulla sismicità di Rivoli riporta almeno 9 segnalazioni di scuotimenti sismici;
- Il Comune di Rivoli è collocato a circa 7 km a Est del limite orientale della Zona Sismogenetica ZS9 n. 908, corrispondente alle sorgenti sismogenetiche (le zone che scatenano i terremoti) della parte interna delle Alpi Occidentali: tale Zona è caratterizzata da: Magnitudo durata massima  $M_d = 3.7$ ; Classe di profondità: 8-12 km; Profondità efficace, ovvero la profondità alla quale si verificano il maggior numero di terremoti che definiscono la pericolosità dell'area: 10 km; Meccanismi focali prevalenti: tipo trascorrente. Il "Rapporto Conclusivo" a cura dell'INGV indica per questa zona sismogenetica una  $M_{wMAX}$  "osservata" pari a 5.68 e  $M_{wMAX2}$  "cautelativa" pari a 6.14;
- la realizzazione di n. 2 prove HVSR ha consentito di inquadrare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione come appartenente alla Categoria C (velocità delle onde di taglio  $V_{s,30} = 309,01$  m/s) di cui all'Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003 ed al D.M. 14 settembre 2005;
- è stata stimata la pericolosità sismica del sito ed è stata calcolata l'accelerazione max per i diversi stati limite;
- al fine di avere una corretta progettazione per l'attuazione degli interventi previsti all'interno del sito indagato sono stati calcolati gli spettri di risposta sismici, con l'applicativo "Spettri di risposta NTC ver.1.0.3" messo a disposizione dal Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici, relativamente agli SLU e SLE corrispondenti ad una vita media nominale dell'opera pari a 50 anni,





appartenenti ad una classe d'uso II e categoria topografica T1; in particolare sono stati considerati lo stato limite SLV e SLD;

- dall'analisi dei dati ricavati dalle indagini in situ eseguite sui lotti, oggetto d'intervento edificatorio, si ritiene che i depositi presenti nel sottosuolo non possiedano caratteristiche granulometriche e di addensamento tali da far temere fenomeni di liquefazione in presenza di sollecitazioni sismiche.

San Martino Alfieri, Novembre 2015

Il tecnico

Dott. Geol. Diego Barbero





## LA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

### LOTTO A







**LOTTO B**

