Valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica in una valle alpina del Trentino: il caso studio di Canazei

M. Compagnoni, F. Pergalani
Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano

G. Di Capua, G. Milana
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

A. Franceschini, A. Viganò
Dipartimento di Protezione Civile, Provincia Autonoma di Trento
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, CRS, Udine

GNGTS 33° CONVEGNO NAZIONALE
Palazzo della Regione
Bologna, 25-27 novembre 2014

OBIETTIVO

Analisi di microzonazione sismica di dettaglio (MS3) da utilizzarsi come studio pilota i cui risultati siano fruibili sia in ambito pianificatorio sia in ambito progettuale

ATTIVITA' DELLO STUDIO

ATTIVITA' 1: Rilevamento geologico e geomorfologico dell'area d'indagine

ATTIVITÀ 2: Definizione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche e geofisiche dei depositi presenti

ATTIVITÀ 3: Registrazione del rumore sismico

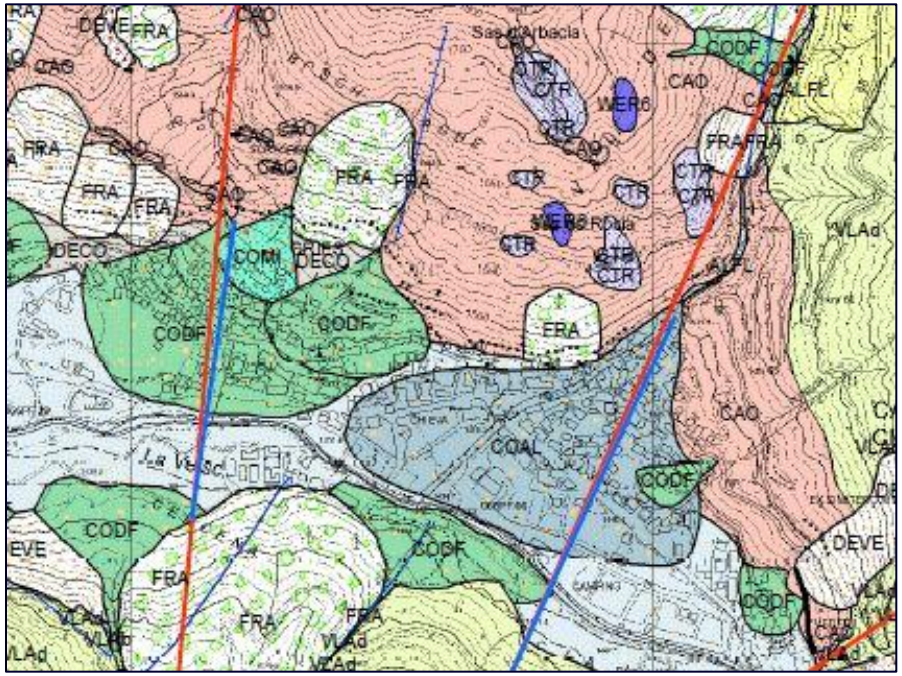
ATTIVITÀ 4: Definizione del terremoto di "progetto"

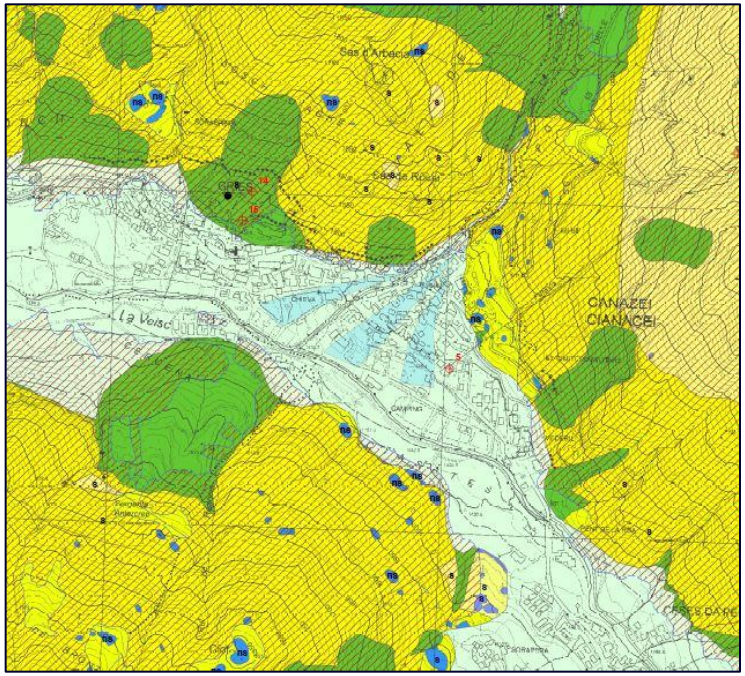
ATTIVITÀ 5: Modellazione numerica

ATTIVITÀ 6: Rappresentazione cartografica dei risultati

ATTIVITA' 1 – DATI DI BASE

Carta geologica a scala 1:10000





Carta della Microzonazione Sismica Livello 1 (febbraio 2012)

ATTIVITA' 1 – DATI DI BASE

Modello geologico della valle del Torrente Avisio

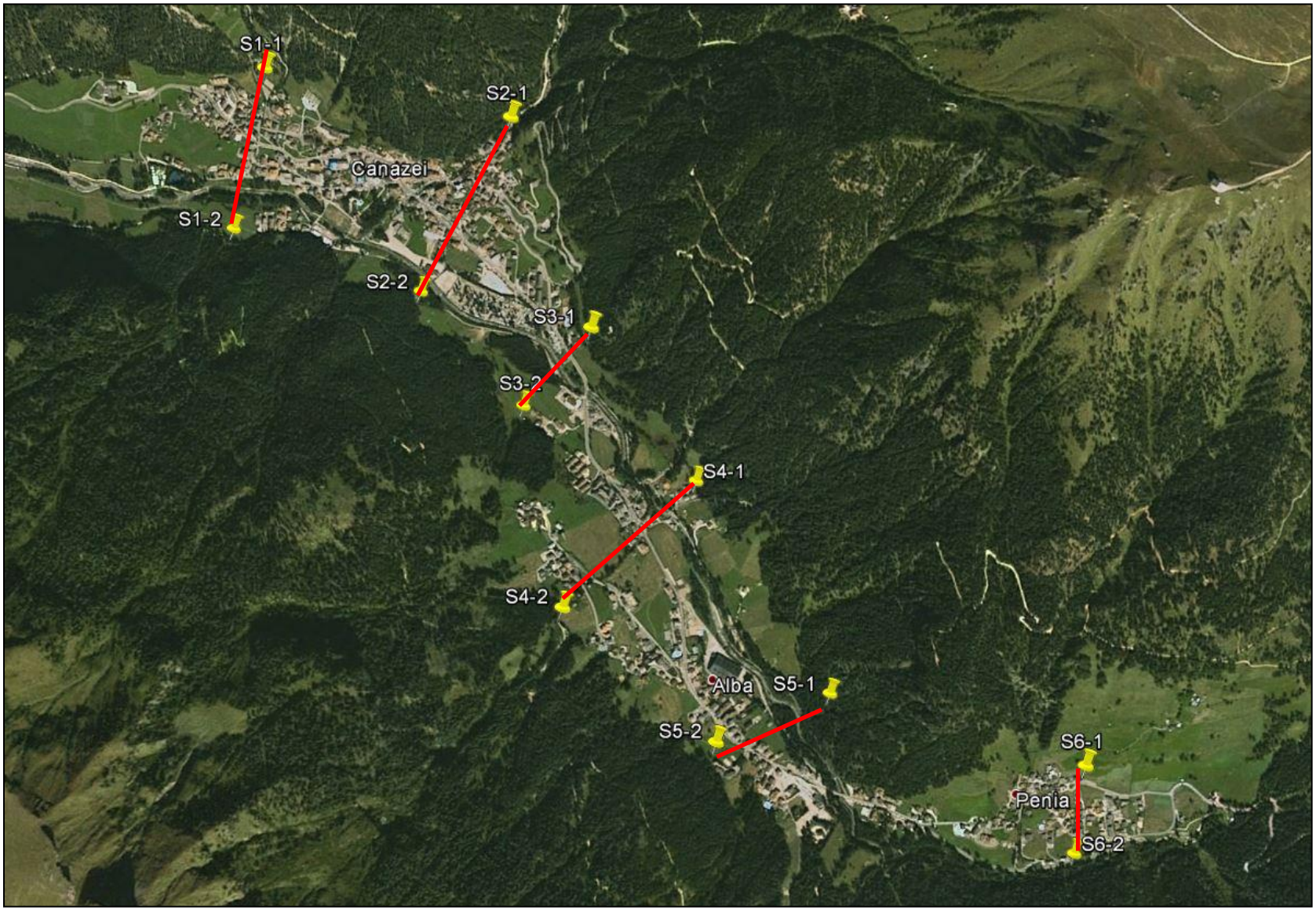
Depositi di fondovalle (ALFL) di origine alluvionale e/o fluvioglaciale
Conoidi di debris flow (CODF)
Conoidi alluvionali e/o fluvioglaciali (COAL)
Conoidi misti di debris flow e torrentizi alluvionali (COMI)
Coni di detrito (CODE)
Depositi di Frana (FRA)
Depositi di versante (DEVE)
Depositi colluviali (DECO)

Per quanto riguarda i depositi prequaternari, costituenti il bedrock geologico dell'area di studio, sono rappresentati principalmente dal Caotico eterogeneo (CAO) e dalle Pillow Brecce (VLAd).

Individuazione di n. 6 sezioni trasversali di analisi

ATTIVITA' 1

sezioni rappresentative



ATTIVITA' 2 – INDAGINI

Per la caratterizzazione del sottosuolo si è scelto di impiegare tecniche indirette di indagine geofisica di tipo standard normalmente in uso in ambito professionale

Sezione 1: n. 4 HVSR e n. 4 MASW

Sezione 2: n. 3 HVSR e n. 3 MASW

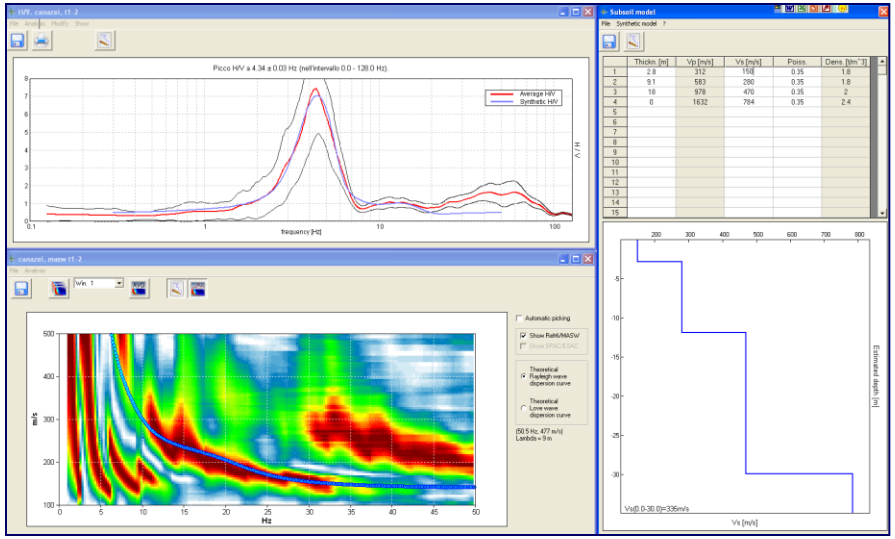
Sezione 3: n. 4 HVSR e n. 4 MASW

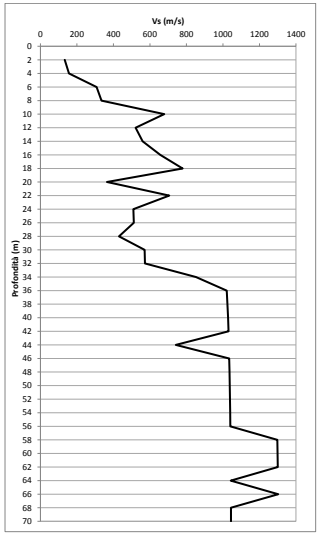
Sezione 4: n. 4 HVSR e n. 4 MASW

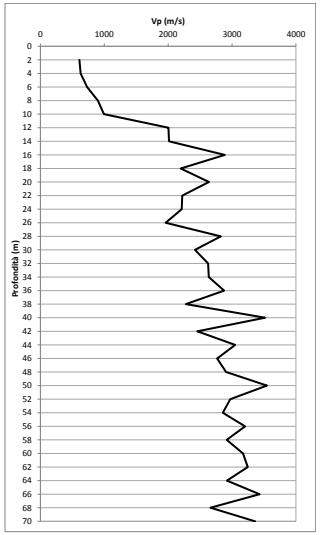
Sezione 5: n. 4 HVSR, n. 3 MASW e n. 1 ERT

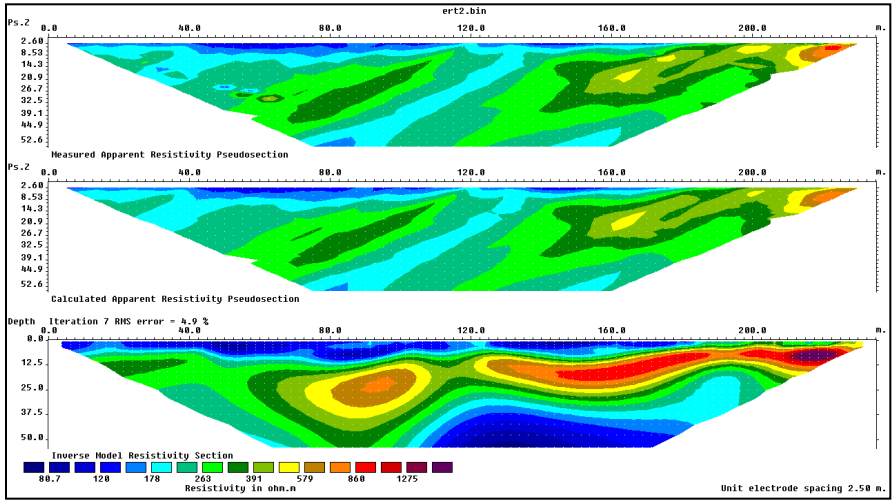
Sezione 6: n. 4 HVSR e n. 3 MASW

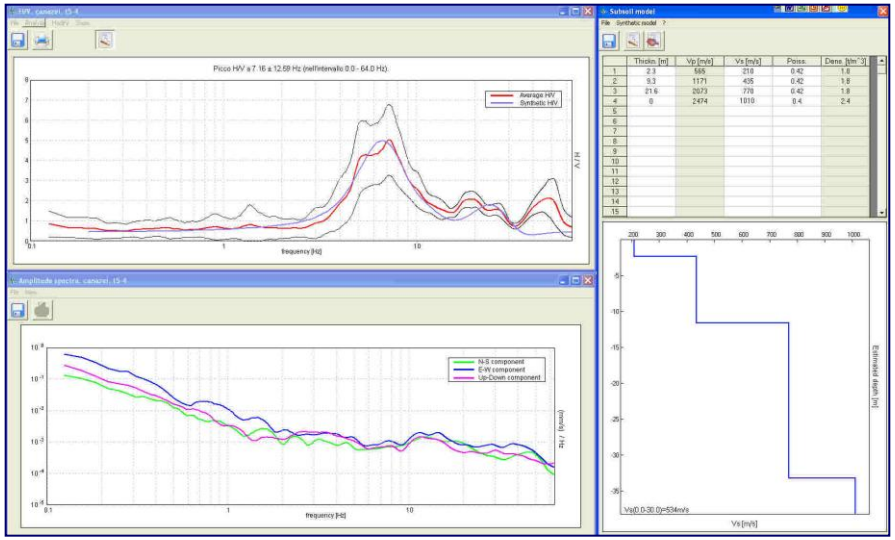
ATTIVITA' 2 – INDAGINI





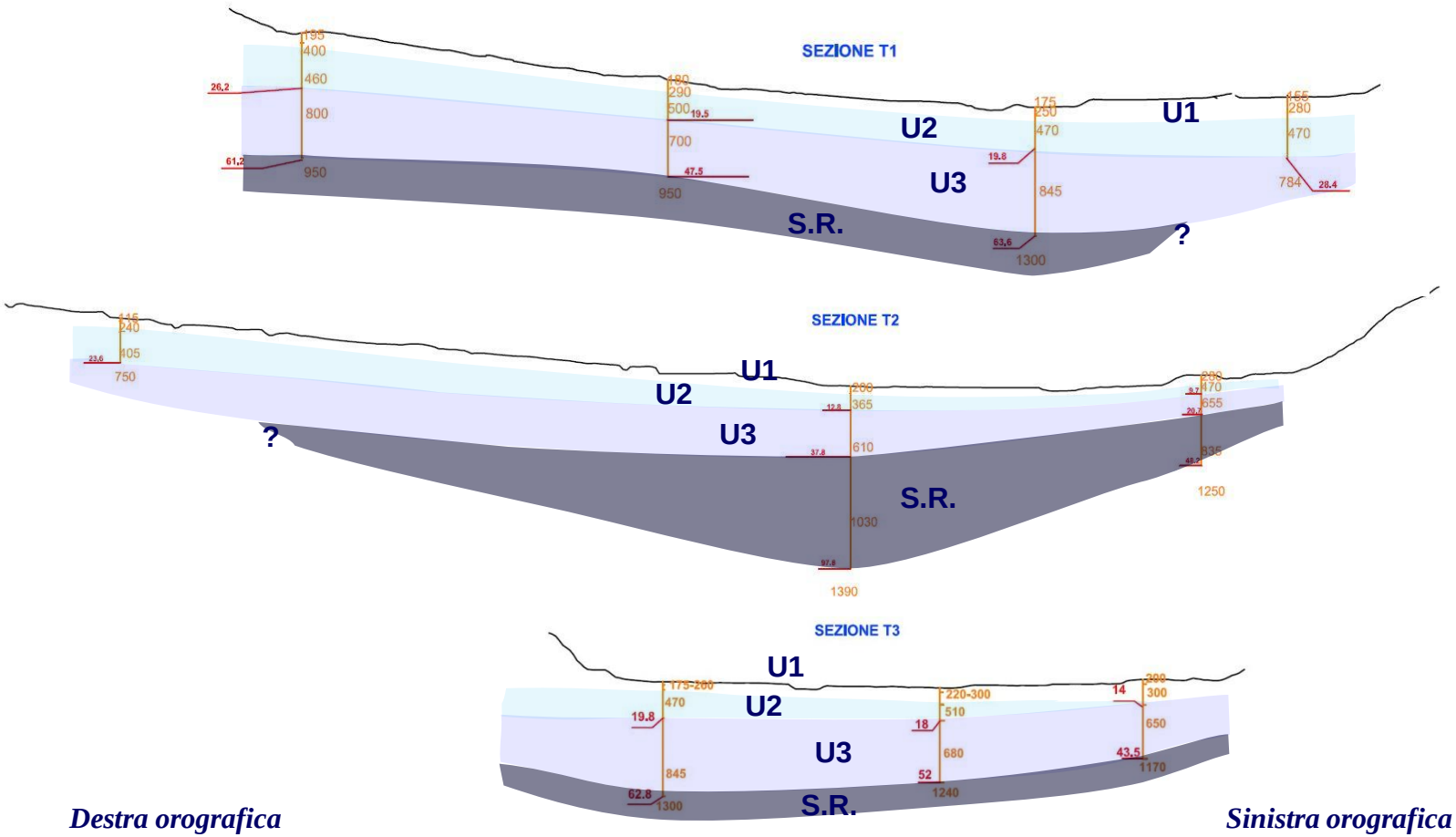






ATTIVITA' 2 – INDAGINI

SCHEMI RIASSUNTIVI

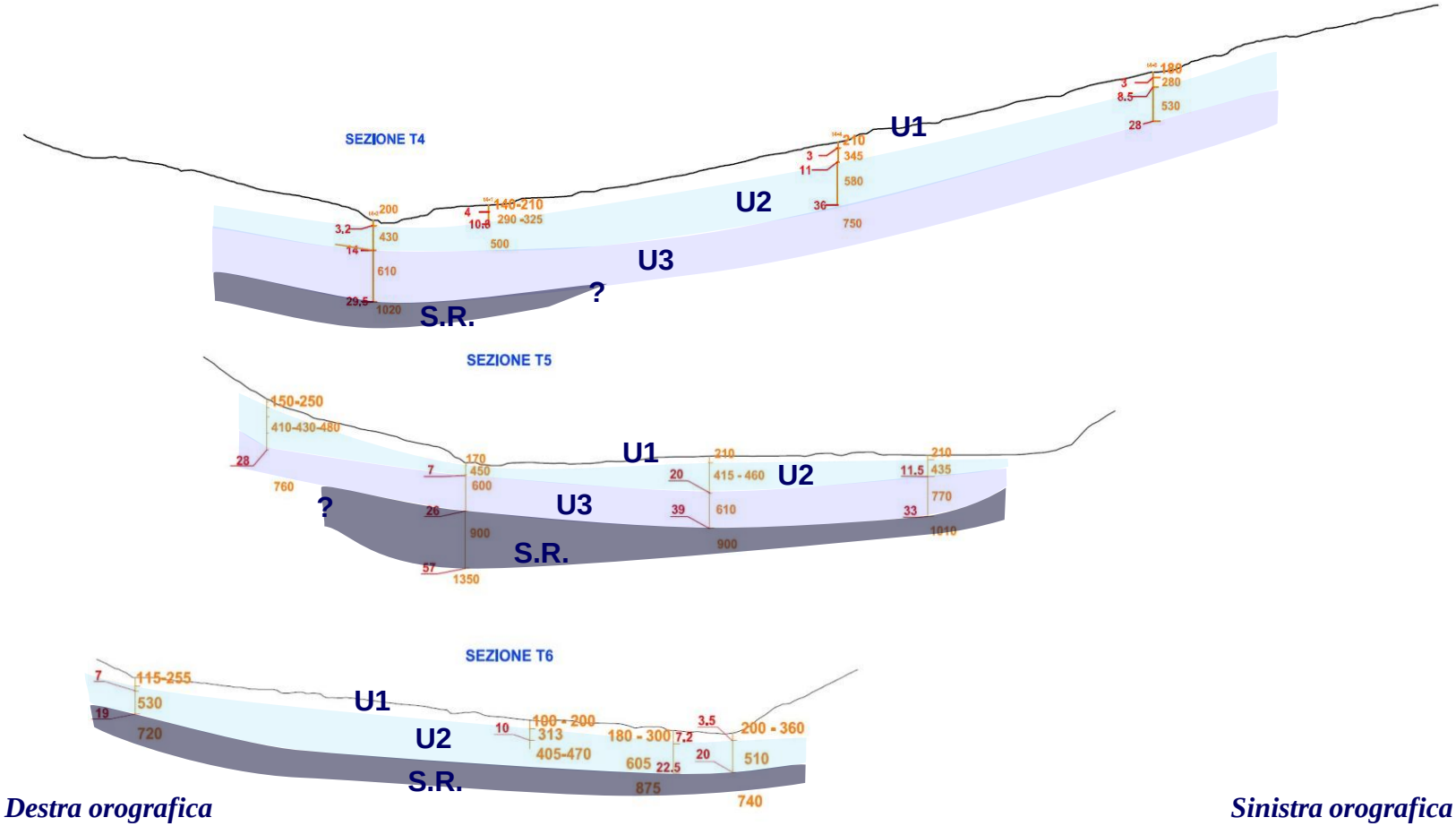


Destra orografica

Sinistra orografica

ATTIVITA' 2 – INDAGINI

SCHEMI RIASSUNTIVI



Destra orografica

Sinistra orografica

ATTIVITA' 2 – INDAGINI

STRATIGRAFIA 0 -20 m

Committente Provincia Autonoma di Trento - Servizio Geologico (TN)	Sondaggio S1	S1	Son.geo.srl
Località Canazei (TN)	Profondità raggiunta -70 m		
Impresa esecutrice Son.Geo.Srl - Erto e Casso (PN)	Dal a 27/09/2013		
Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Redattore Geologo: Giuseppe Filippin		

Pag: 1/4

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n°Colpi)	Tubo PVC Geo Ø 3	Eventuali Note
		Riporto: sabbia e ghiaia fine	-0.40			
		spigolosa con ciottoli				
		Trovante : Basaltico	-0.60			
-1		Ghiaia medio fine sub-angolare , con sabbia debolmente limosa argillosa marrone scuro e ciottoli (Ø max 10 cm)				
-2						
			-3.00			
-3		Argilla limosa debolmente sabbiosa marrone	-3.40			
-4		Ghiaia medio fine sub-angolare , con sabbia debolmente limosa argillosa marrone	-4.40	7 - 3 - 2 -4.00 PC		
-5		Ghiaia e sabbia debolmente limosa con rari ciottoli				
-6			-6.20			
-7		Alternanza di sabbia limosa e argilla limosa sabbiosa marrone, con rara ghiaia	-7.20	1 Colpo 45 cm -7.30 PC		
		Argilla debolmente limosa con rare lenti di sabbia fine	-7.80			
-8		Ghiaia e sabbia con ciottoli spigolosi	-8.20			
		Trovante: Basaltico	-8.40			
-9		Ghiaia medio grossa spigolosa, con ciottoli poligenici variocolore e sabbia				
-10						
-11			-11.50			
		Trovante: Basaltico	-11.70			
-12		Ghiaia con livelli sabbiosi limosi e ciottoli				
			-12.00			
-13		Trovante : Basaltico	-12.40			
-14		Ghiaia e sabbi con ciottoli spigolosi poligenci				
-15						
-16			-16.00			
-17		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia debolmente limosa grigia e ciottoli				
-18						
-19						
-20			-21.00	36/Rif cm 6 -21.00 PC		

Tra 0 - 10 m

Ghiaia da medio fine a medio grossolana con sabbia debolmente limosa e rari ciottoli alternata ad orizzonti decimetrici di sabbia limosa e limo argilloso (U1)

Tra 10 - 20 m

Ghiaia medio grossolana con sabbia debolmente limosa e ciottoli con rari trovanti (U2)

ATTIVITA' 2 – INDAGINI

STRATIGRAFIA 20 - 40 m

Committente Provincia Autonoma di Trento - Servizio Geologico (TN)	Sondaggio S1	S1
Località Canazei (TN)	Profondità raggiunta - 70 m	Son.geo.srl
Impresa esecutrice Son.Geo.Srl - Erto e Casso (PN)	Data 27/09/2013	
Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Redattore Geologo: Giuseppe Filippin	

Pag: 2/4

Scala m	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Tubo PVC Cieco Ø 3"	Eventuali Note
-22		ghiaia medio grossa sub-arrotondata con sabbia limosa e ciottoli (Ø max 11 cm)				
-23						
			-24.00			
-24		ghiaia fine spigolosa con sabbia limosa marrone scuro e rari ciottoli (Ø max12 cm)	-24.60			
-25		ghiaia medio grossa sub-angolare con sabbia debolmente limosa e ciottoli (Ø max 13 cm)				
-26			-26.50			
		trovante: Basaltico	-26.70			
-27		ghiaia medio grossa sub-angolare con sabbia debolmente limosa e rari ciottoli (Ø max 12 cm)	-27.80			
-28		trovante: Basaltico	-28.20			
-29		ghiaia medio fine prevalentemente sub-angolare, con sabbia debolmente limosa marrone	-29.40			
-30		ciottoli e trovanti poligenici (basaltici -dolomitici)	-30.90			
-31		ghiaia medio grossa , con sabbia limosa grigio scuro e ciottoli (Ø max 15 cm)	-31.70			
-32		trovante: Basaltico	-32.20	36 - 44 - 49 -32.00 PC		
		ghiaia medio grossa prevalentemente sub-angolare, con sabbia limosa grigio scuro e rari ciottoli (Ø max 8 cm)	-32.80			
-33		ghiaia debolmente sabbiosa grigio chiaro, con ciottoli (Ø max 17 cm)				
-34						
-35			-35.40			
-36		ghiaia medio grossa prevalentemente sub-angolare , con sabbia debolmente limosa grigio scura e ciottoli (Ø max 12 cm)				
-37						
-38						
-39			-39.60			
-40		ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia grigio chiaro debolmente limosa e ciottoli (Ø max 11 cm)		42/Rif cm7 -40.00 PC		
-41			-41.00			

Tra 20 - 30 m

Alternanze di ghiaia medio fine con sabbia limosa e di ghiaia medio grossolana con sabbia debolmente limosa e ciottoli di diametro da 10 a 15 cm (U3)

Tra 30 - 40 m

Alternanza di ghiaia media debolmente sabbiosa e ghiaia medio grossolana con sabbia debolmente limosa e ciottoli di diametro da 10 a 20 cm (U3)

ATTIVITA' 2 – INDAGINI

STRATIGRAFIA 40 - 60 m

Committente Provincia Autonoma di Trento - Servizio Geologico (TN)	Sondaggio S1	S1	Son.geo.srl
Località Canazei (TN)	Profondità raggiunta -70 m		
Impresa esecutrice Son.Geo.Srl - Erto e Casso (PN)	Data 27/09/2013		
Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Redattore Geologo: Giuseppe Filippin		

Pag: 3/4

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Tubo PVC Cieco Ø 7	Eventuali Note
-42 -43		Ghiaia medio grossa prevalentemente sub-angolare, con sabbia limosa marrone scuro e rari ciottoli (Ø max 14 cm)	-42.40			
-44 -45		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia debolmente limosa grigio chiara e ciottoli (Ø max 16 cm)	-45.40			
-46		Ciottoli spigolosi dolomitici	-46.40			
-47		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia marrone scura	-47.20			
		Trovante: Basaltico	-47.40			
-48 -49		Ghiaia limosa sabbiosa nocciola, con ciottoli (Ø max 11 cm)	-49.80			
-50 -51 -52 -53 -54 -55 -56		Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa nocciola, con ciottoli (Ø max 13 cm)	-56.10			
-57		Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa grigio-verde, con ciottoli (Ø max 10 cm)	-57.60			
-58		Ghiaia medio grossa prevalentemente sub-angolare , con sabbia limosa e rari ciottoli (Ø max 9 cm)	-58.90			
-59 -60		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia debolmente limosa grigio scuro e rari ciottoli (Ø max 8 cm)	-60.20			
		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia limosa marrone scuro	-60.80			
-61						

Tra 40 - 50 m

Ghiaia medio grossolana con sabbia da limosa a debolmente limosa con ciottoli di diametro da 10 a 15 cm e trovanti (U3)

Tra 50 - 60 m

Ghiaia limoso sabbiosa debolmente limosa con ciottoli di diametro da 5 a 10 cm molto addensata (SUBSTRATO RIGIDO)

ATTIVITA' 2 – INDAGINI

STRATIGRAFIA 60 - 70 m

Committente Provincia Autonoma di Trento - Servizio Geologico (TN)	Sondaggio S1	S1
Località Canazei (TN)	Profondità raggiunta - 70 m	
Impresa esecutrice Son.Geo.Srl - Erto e Casso (PN)	Data 27/09/2013	
Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Redattore Geologo: Giuseppe Filippin	

Son.geo.srl

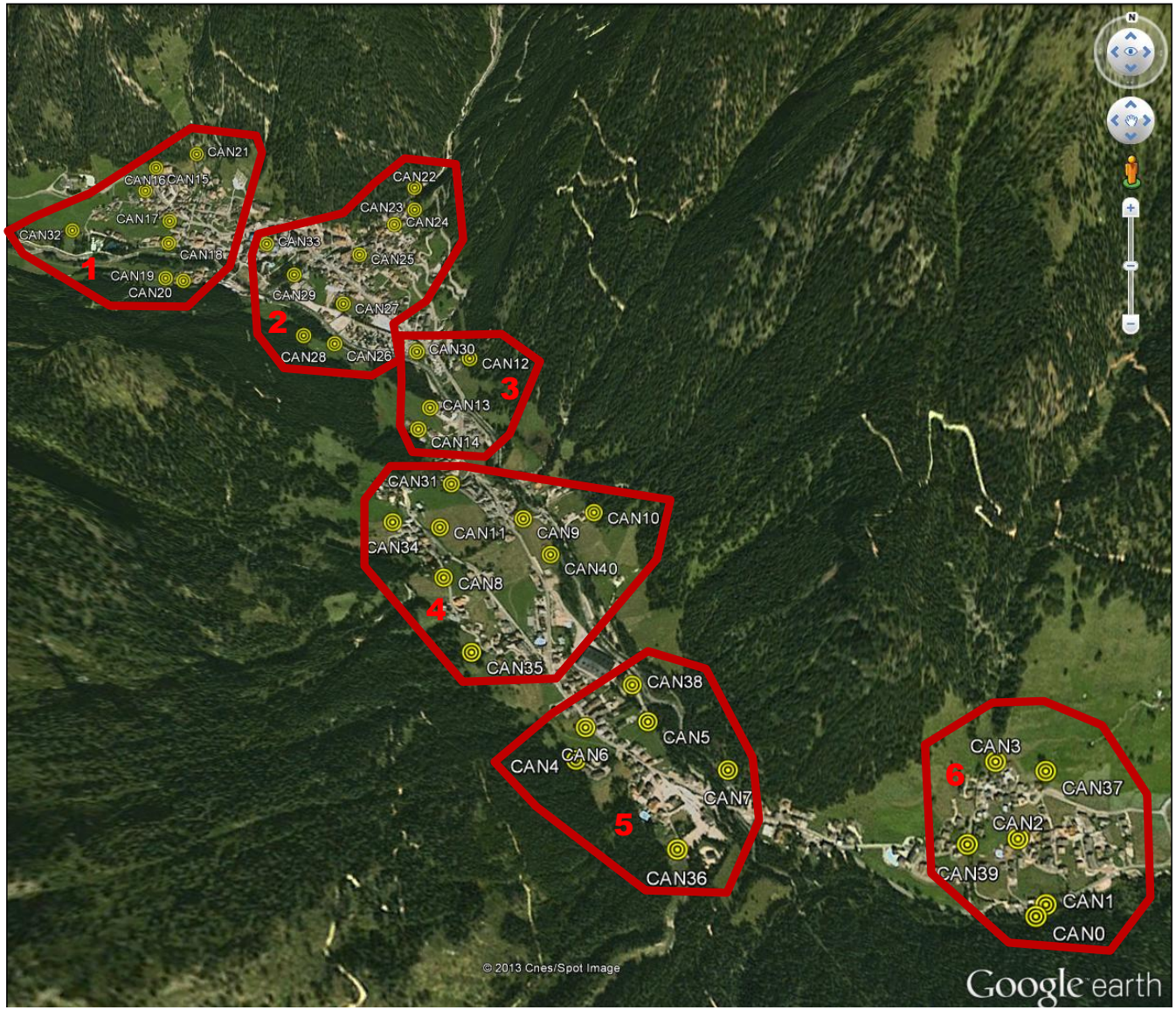
Pag: 4/4

Scala [mt]	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Tubo PVC Deco Ø3"	Eventuali Note
-62		Ghiaia medio grossa sub-angolare , con sabbia limosa argillosa marrone scuro e rari ciottoli (Ø max 8 cm)	-62.00			
-63						
-64		Ghiaia medio grossa spigolosa , con limo sabbioso debolmente argilloso grigio chiaro alternata da trovanti basaltici	-65.50			
-65						
-66		Ghiaia medio grossa prevalentemente sub-angolare, con limo sabbioso nocciola e ciottoli (Ø max 9 cm)				
-67						
-68						
-69						
-70			-70.00			Fine Foro
-71						
-72						
-73						
-74						
-75						
-76						
-77						
-78						
-79						
-80						
-81						

Tra 60 - 70 m

Ghiaia medio grossolana con sabbia limosa debolmente argillosa e ciottoli di diametro da 5 a 10 cm molto addensata (SUBSTRATO RIGIDO)

ATTIVITA' 3 – RUMORE

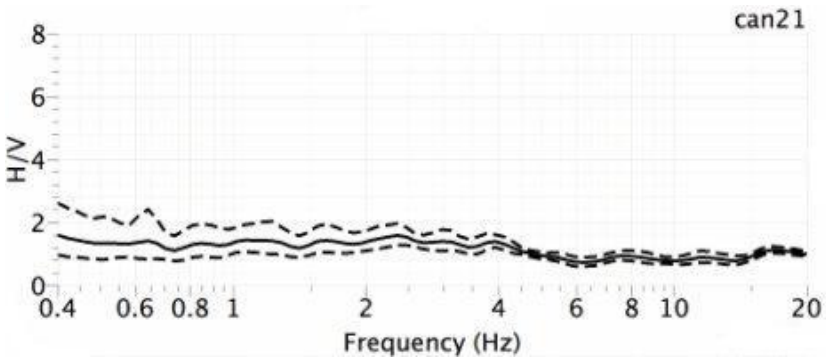


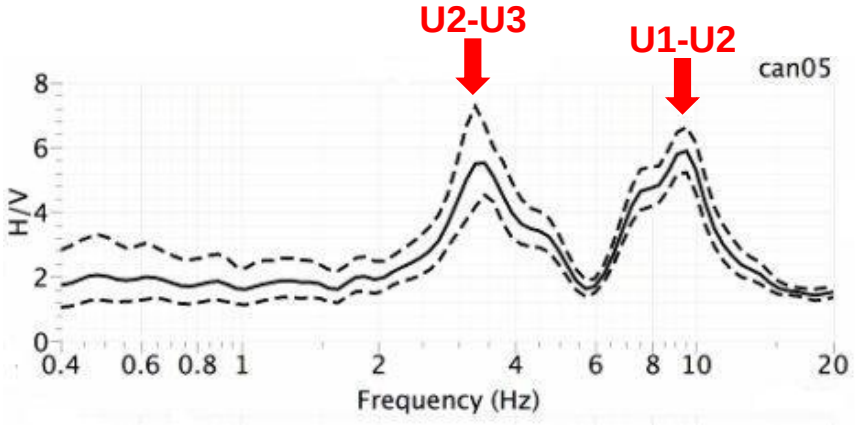
ATTIVITA' 3 – RUMORE

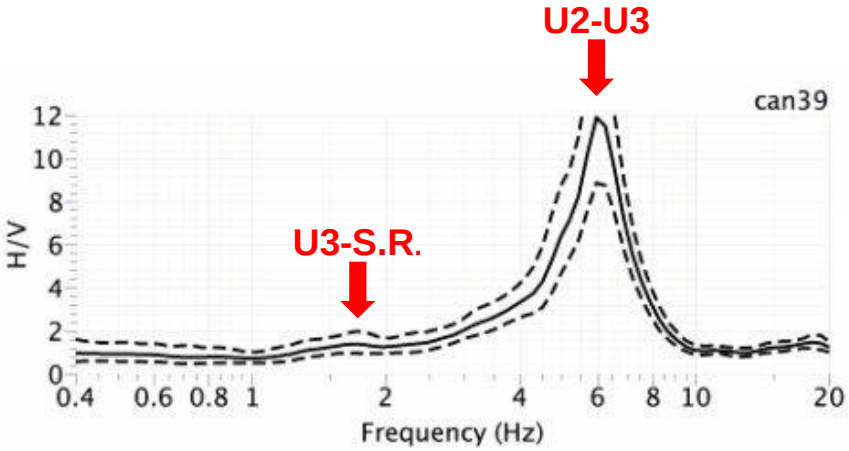
Stazione	Lat. (N)	Long. (E)	f0 (Hz)	A	Stazione	Lat. (N)	Long. (E)	f0 (Hz)	A
CAN01	46.455737°	11.799330°	15.0	7.0	**CAN20**	46.475017°	11.764754°	3.5	3.5
CAN03	46.459004°	11.798319°	12.0	6.0	**CAN25**	46.476025°	11.773119°	5.0	5.0
CAN04	46.458976°	11.784134°	15.0	2.5	**CAN26**	46.472466°	11.772574°	4.0	7.0
CAN05	46.460145°	11.786722°	3.5	5.5	**CAN28**	46.472635°	11.771151°	4.0	6.0
CAN06	46.459864°	11.784450°	6.0	3.5	**CAN29**	46.475368°	11.770018°	3.0	7.0
CAN08	46.463672°	11.778885°	3.5	3.0	**CAN30**	46.472090°	11.776442°	5.5	6.5
CAN09	46.465902°	11.781744°	3.0	6.0	**CAN31**	46.467122°	11.778650°	3.8	2.5
CAN10	46.466081°	11.784587°	5.0	3.5	**CAN32**	46.477152°	11.758562°	2.5	6.0
CAN11	46.465333°	11.778490°	5.5	6.0	**CAN33**	46.476644°	11.768402°	3.1	8.0
CAN14	46.469085°	11.776963°	3.2	3.5	**CAN35**	46.461536°	11.780197°	10.0	3.0
CAN15	46.479592°	11.762236°	2.2	3.0	**CAN36**	46.456958°	11.787663°	3.8	2.5
CAN16	46.478908°	11.761722°	4.0	5.0	**CAN37**	46.458860°	11.800040°	9.0	3.5
CAN18	46.476646°	11.763535°	3.0	7.0	**CAN38**	46.461162°	11.786166°	4.0	4.0
CAN19	46.475120°	11.763855°	4.0	4.5	**CAN39**	46.457230°	11.797312°	6.0	12.0

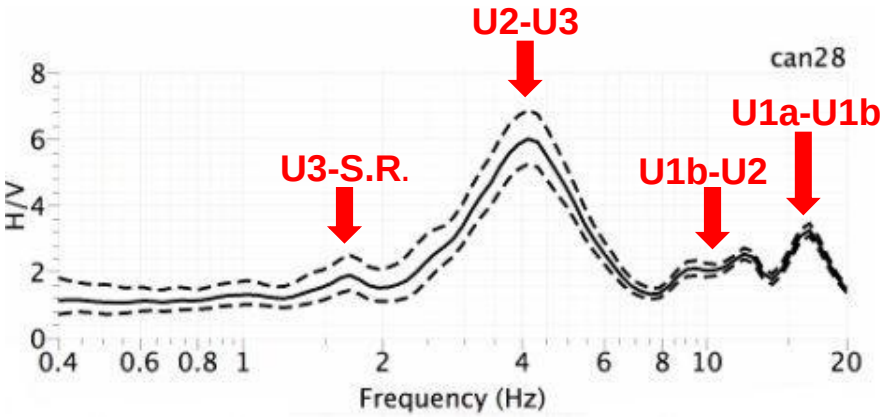
ATTIVITA' 3 – RUMORE

4 tipologie principali di risposta del sito – stazione singola HVSR









ATTIVITA' 3 – RUMORE

I risultati ottenuti nell'ambito dell'attività 3 sono in linea con quelli ottenuti nell'ambito dell'attività 2:

situazione litostratigrafica all'interno della Valle del T. Avisio caratterizzata dalla presenza di 3 contrasti di impedenza: modello sismo-stratigrafico del sottosuolo costituito da 3 strati, a differente impedenza sismica, all'interno del deposito di copertura posto al di sopra del substrato rigido

progressivo spostamento dei picchi di amplificazione verso frequenze minori, passando dai siti posti più a monte rispetto a quelli posti più a valle: progressivo aumento di spessore del pacco di depositi posti al di sopra del substrato rigido, muovendosi in direzione longitudinale alla valle verso quote inferiori.

ATTIVITA' 4 – INPUT SISMICO

Valori di a_{max} (g) – Comune di Canazei				
ID 7857	ID 7858	ID 8079	ID 8080	Media Ponderata
0.0626	0.0654	0.0664	0.0695	0.066

Coerenza in termini di:

- **sismicità storica di Canazei**
- **caratteristiche sismogenetiche della sorgente (inverso – trascorrente)**
- **coppia magnitudo-distanza dalla sorgente (da disaggregazione, 2004 magnitudo 5.0-6.5 e distanza epicentrale 50-60 km)**
- **massima accelerazione orizzontale attesa (0.066 g)**
- **registrazioni effettuate su substrato rigido**
- **spettro-compatibilità**

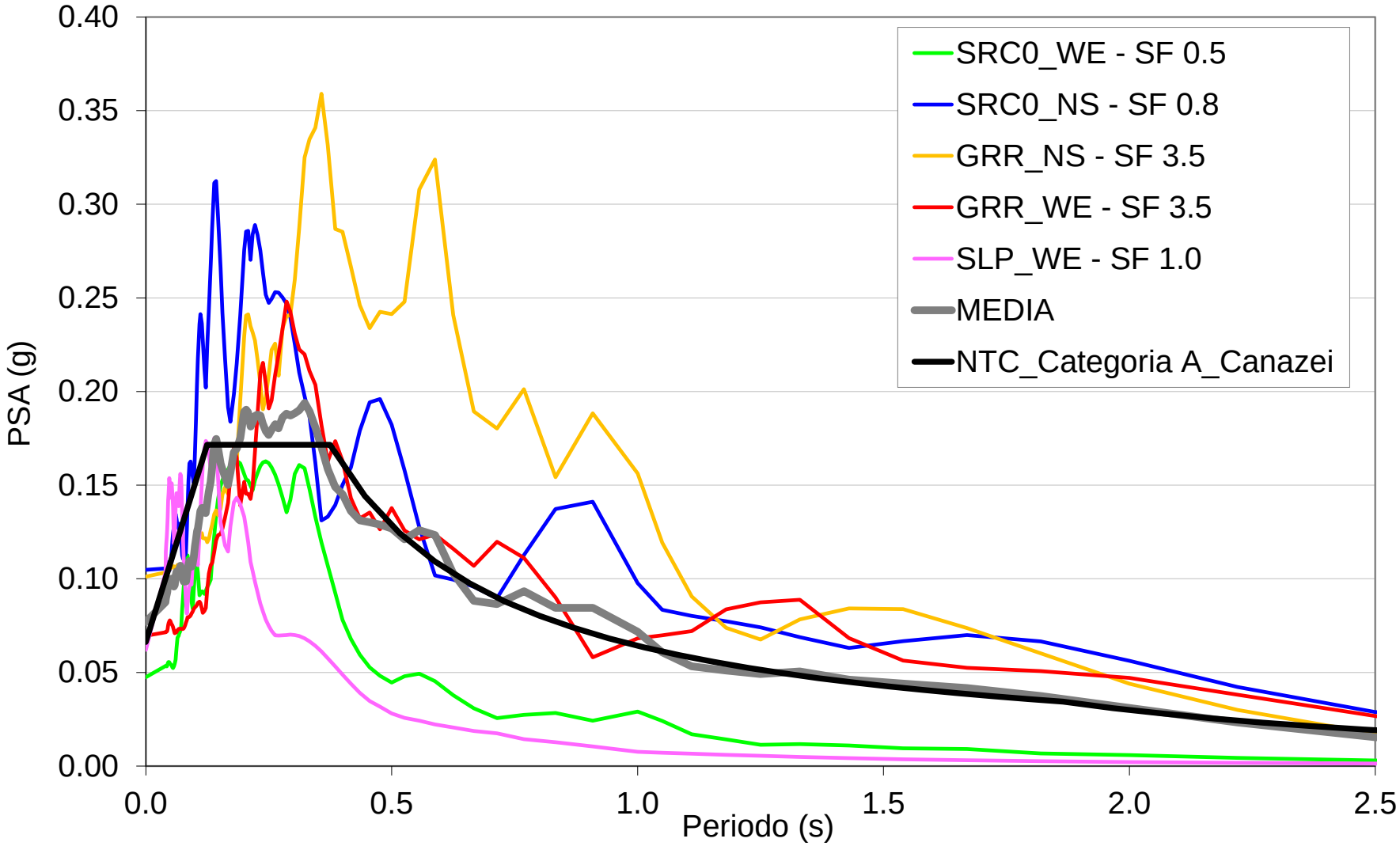
Le registrazioni scelte sono state oggetto di scalatura.

ATTIVITA' 4 – INPUT SISMICO

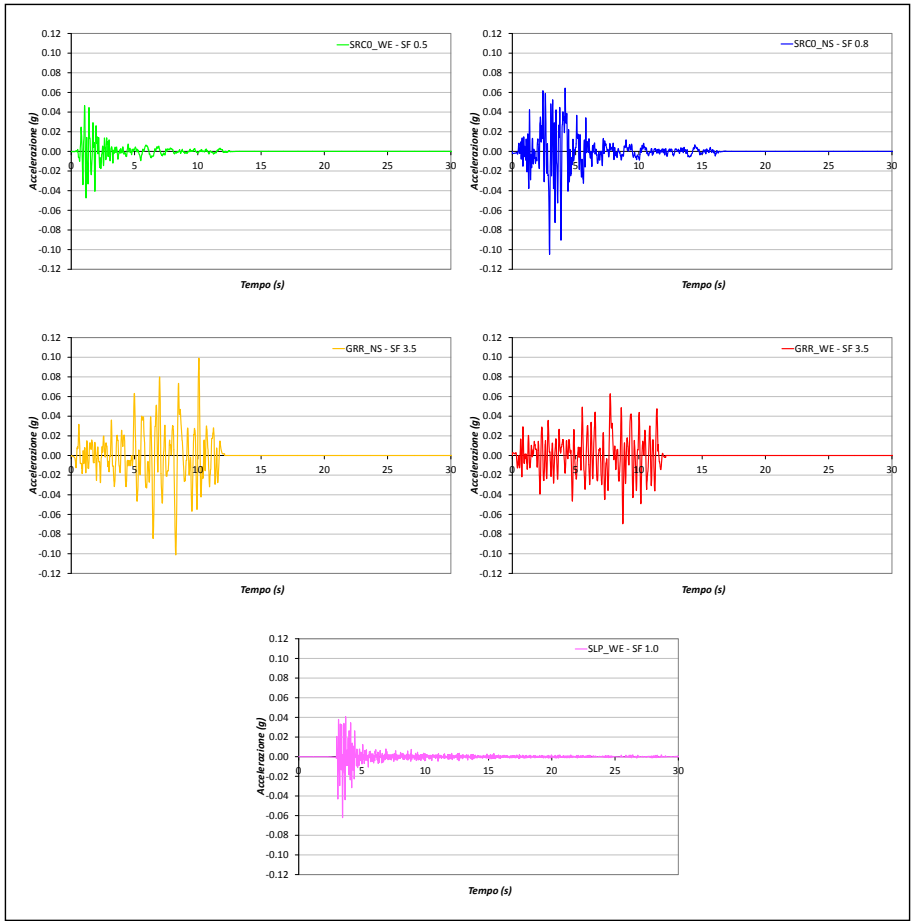
Evento	Data	Ora	Lat (°)	Lon (°)	Prof. (km)	Mw	ML	Regime tettonico
FRIULI 2° shock	1976-09-11	16:35:01	46.300	13.317	9.0	5.6	5.8	Faglia inversa
FRIULI 4° shock	1976-09-15	09:21:18	46.300	13.183	21.0	5.9	6.0	Faglia inversa
GOLFO DI PATTI	1978-04-15	23:33:47	38.268	15.112	22.0	6.0	5.5	Faglia trascorrente
MASSICCIO ORTLES	2001-07-17	15:06:15	46.698	11.075	-	4.8	5.3	Faglia trascorrente

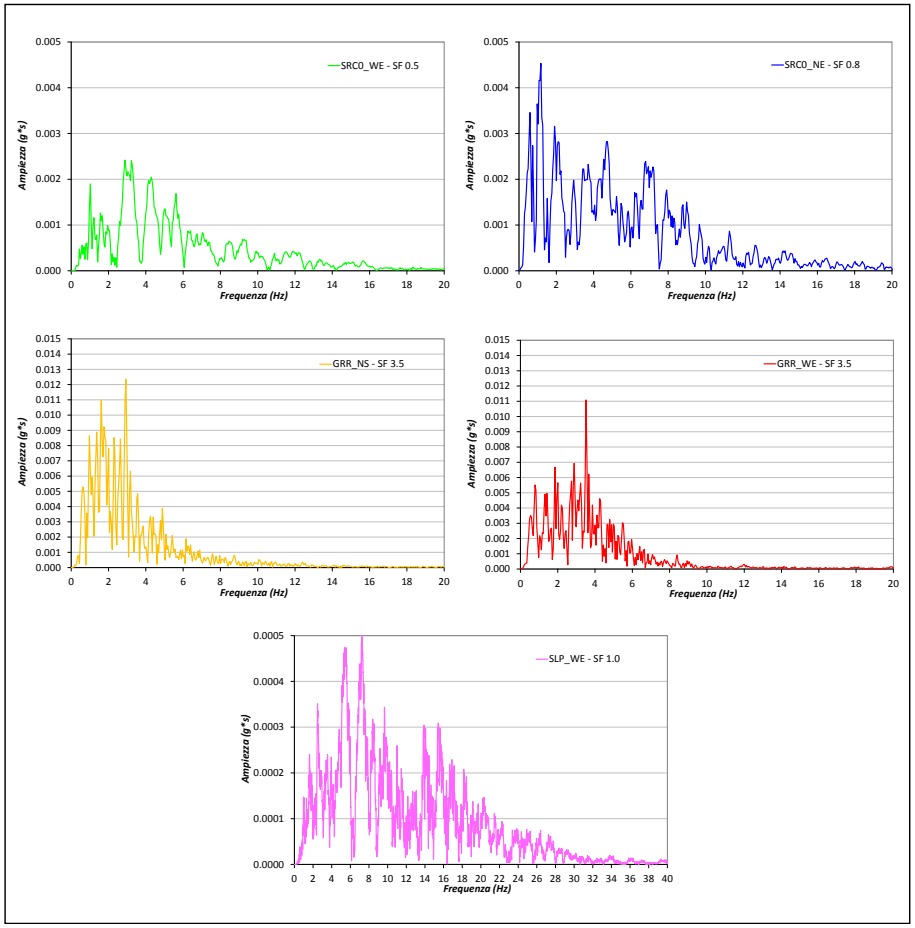
Sigla	Lat (°)	Long (°)	Distanza epicentrale (km)	Evento	Stazione	Comp.	Litologia	pga (g)
SRC0	46.226	12.998	25.9	FRIULI 2° shock	S. Rocco	W-E	Roccia	0.095
SRC0	46.226	12.998	16.4	FRIULI 4° shock	S. Rocco	N-S	Roccia	0.131
GRR	37.726	15.163	60.3	GOLFO DI PATTI	Giarre	N-S	Roccia	0.029
GRR	37.726	15.163	60.3	GOLFO DI PATTI	Giarre	W-E	Roccia	0.020
SLP	46.812	11.253	18.7	MASSICCIO ORTLES	S. Leonardo Val Passiria	W-E	Roccia	0.062

ATTIVITA' 4 – INPUT SISMICO

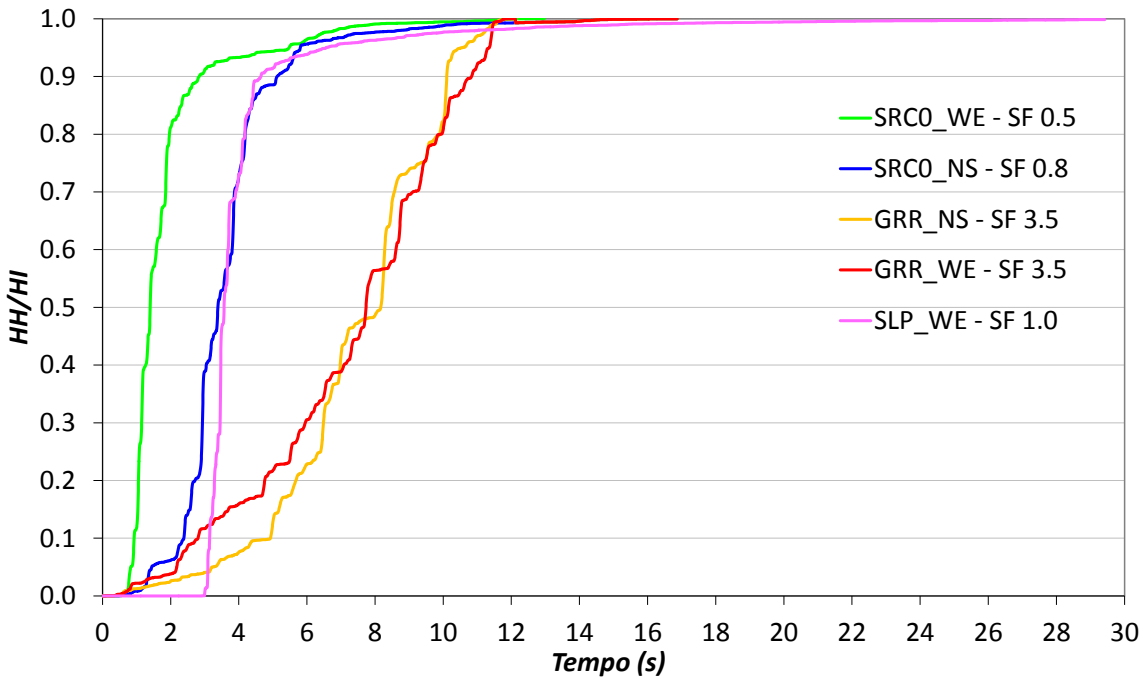


ATTIVITA' 4 – INPUT SISMICO





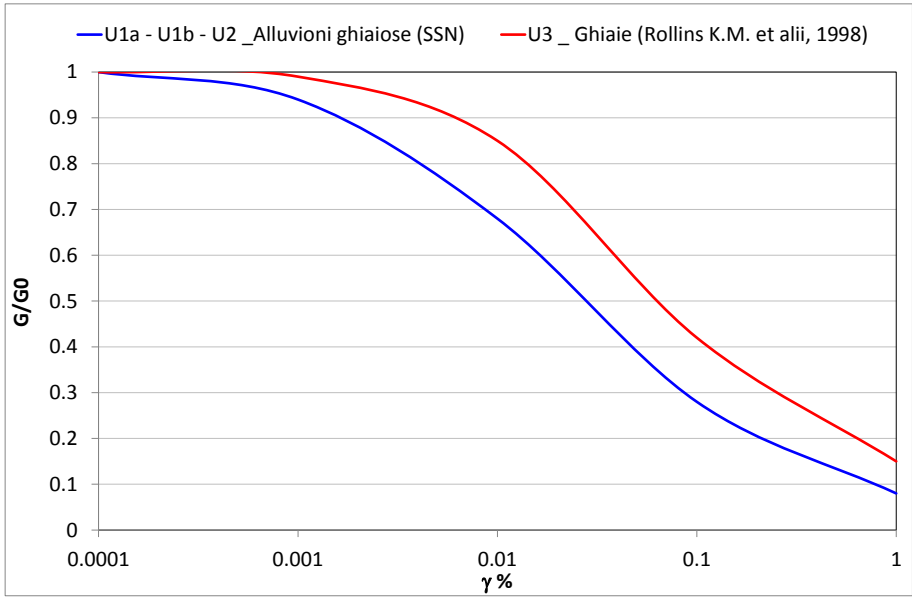
ATTIVITA' 4 – INPUT SISMICO

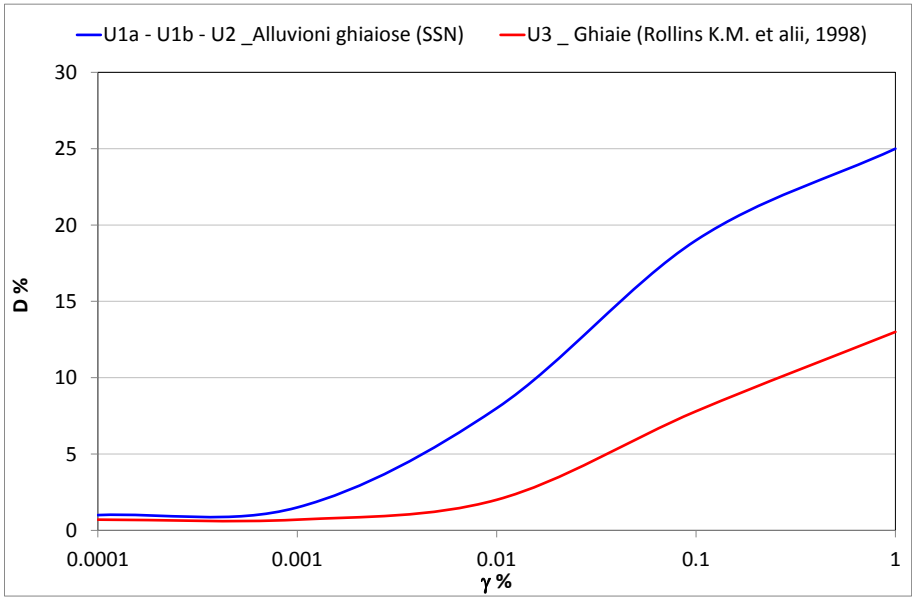


Accelerogramma	Fattore scala	pga	pgv	pgd	si	si05	si15	a.i.	d90	Pd90	dt	Pdf
	SF	g	cm/s	cm	cm	cm	cm	cm/s	s	cms	s	cms
SRC0_WE	0.5	-0.046	2.52	0.26	6.98	1.98	3.18	1.23	4.65	0.0113	12.97	0.0203
SRC0_NS	0.8	-0.102	-8.60	1.94	33.93	3.72	14.15	6.05	4.37	0.0681	16.88	0.0892
GRR_NS	3.5	-0.099	-11.03	-1.29	38.59	4.67	20.15	13.01	7.35	0.6583	12.13	0.5496
GRR_WE	3.5	-0.068	-7.82	-1.55	29.57	3.10	12.98	7.26	9.18	0.1578	12.13	0.1710
SLP_WE	1.0	-0.060	1.73	0.13	3.21	1.24	1.38	0.92	3.47	0.0013	41.05	0.0028

ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

UNITA' GEOFISICA	g (kN/m³)	n (-)	D_0 (%)	Vs (m/s)					
				Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3	Sezione 4	Sezione 5	Sezione 6
U1a	18.5	0.40	0.010	200					
U1b	19.0	0.40	0.010	270	260	290	310	250	300
U2	20.0	0.45	0.010	470	410	490	510	440	520
U3	22.0	0.40	0.007	780	670	720	740	680	-
Bedrock	24.0	0.37	0.005	1000	930	1200	1000	940	800





ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

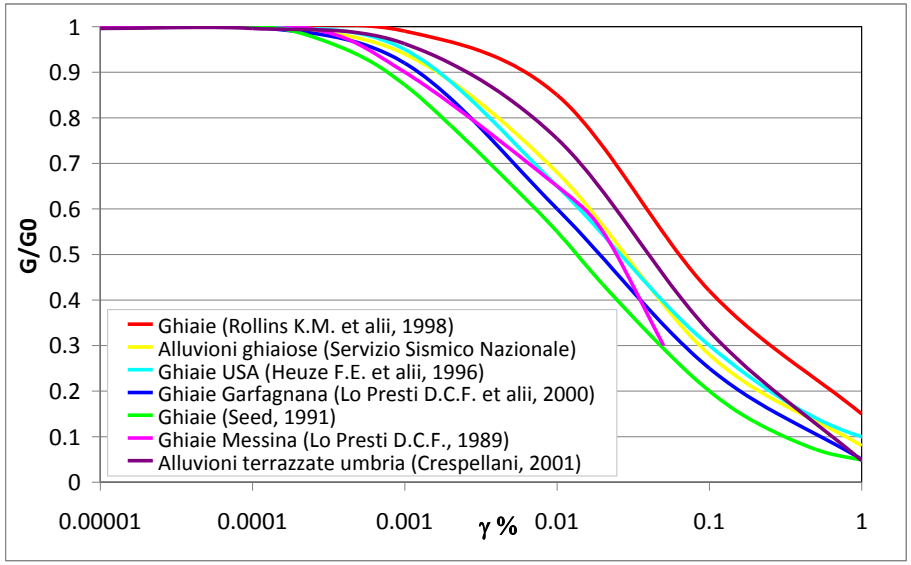
Principali curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento in funzione della deformazione tangenziale presenti in letteratura per litologie ghiaiose

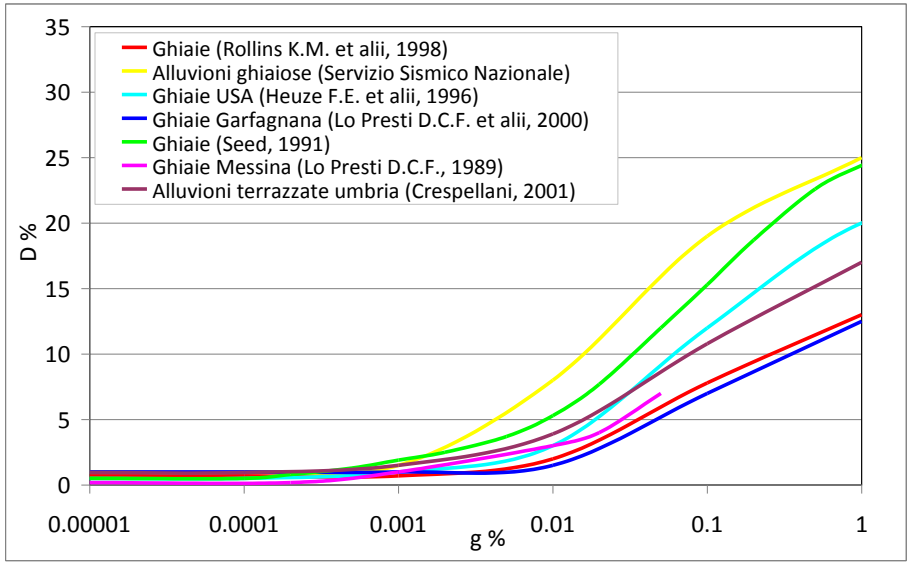
CRITERI DI SCELTA

Affidabilità e robustezza del dato

Compatibilità litologica con le litologie presenti nell'area

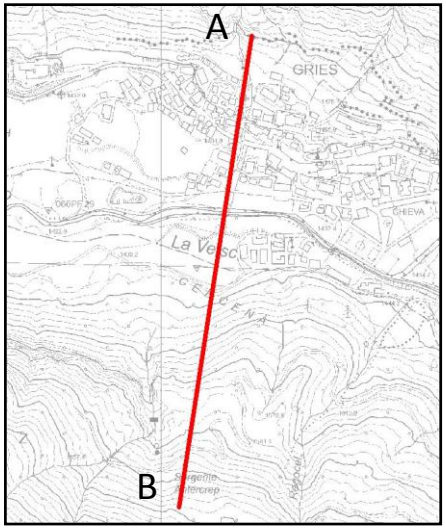
Correlazione con le caratteristiche elastiche e geotecniche dei materiali presenti nell'area

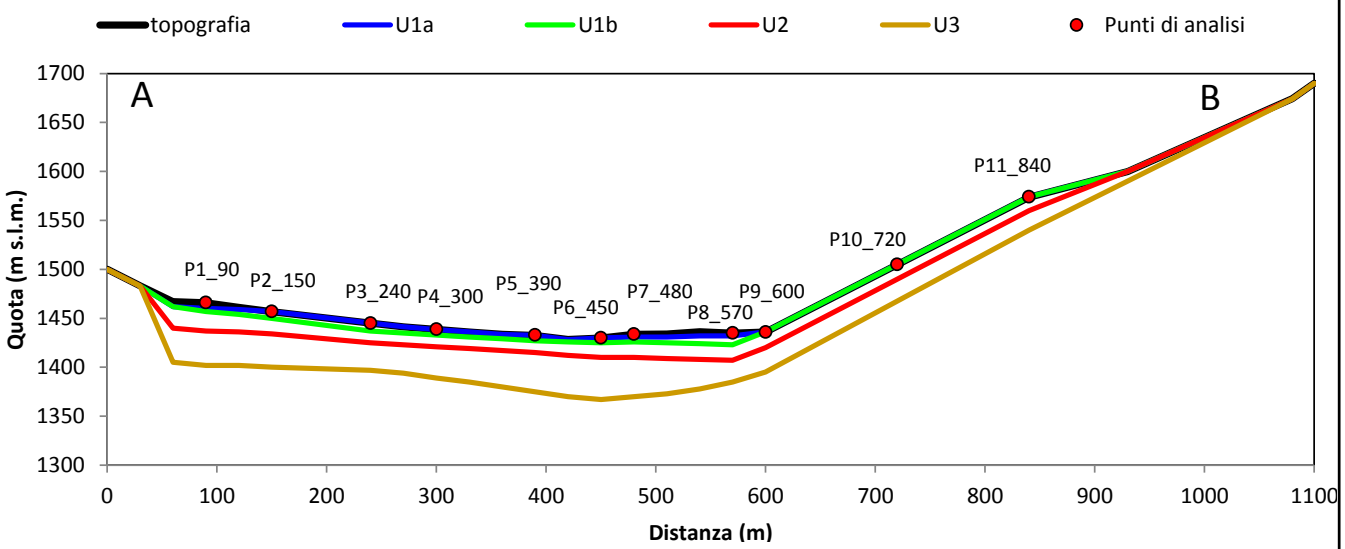


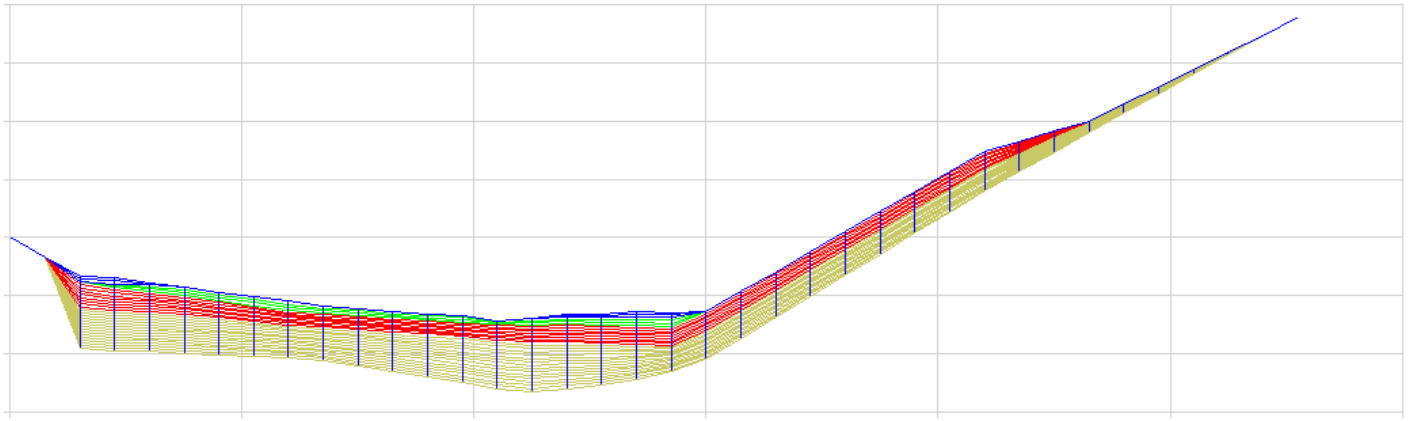


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 1

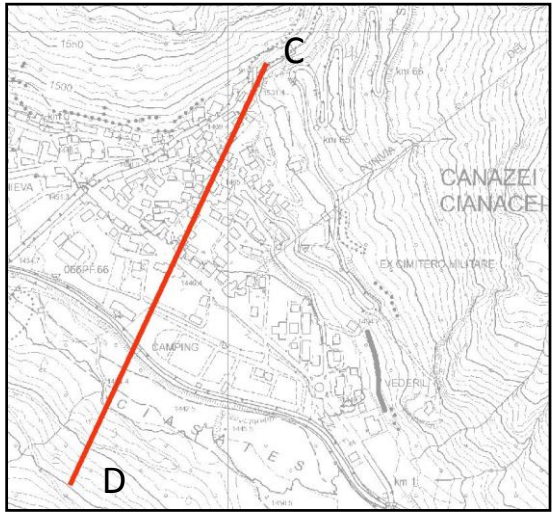


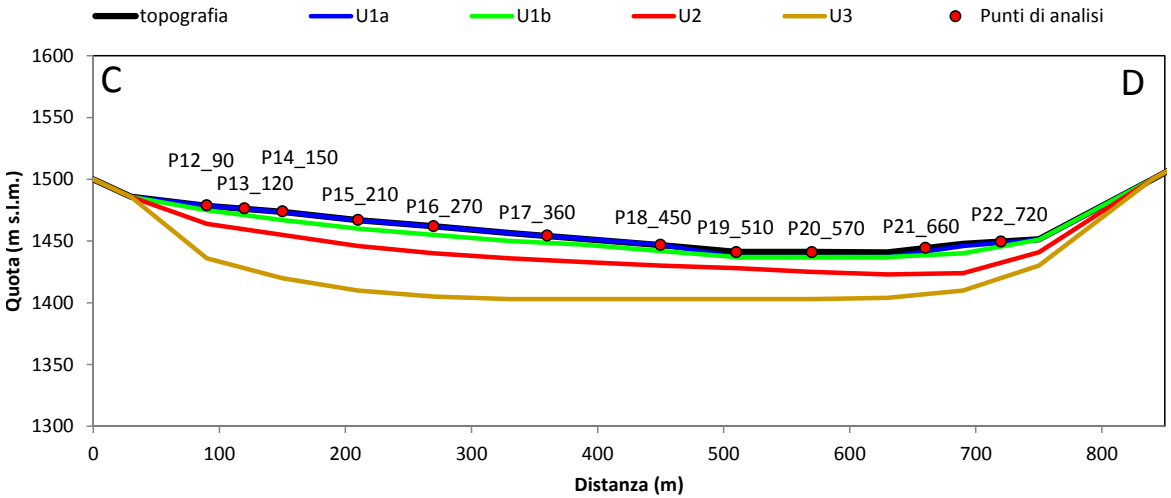


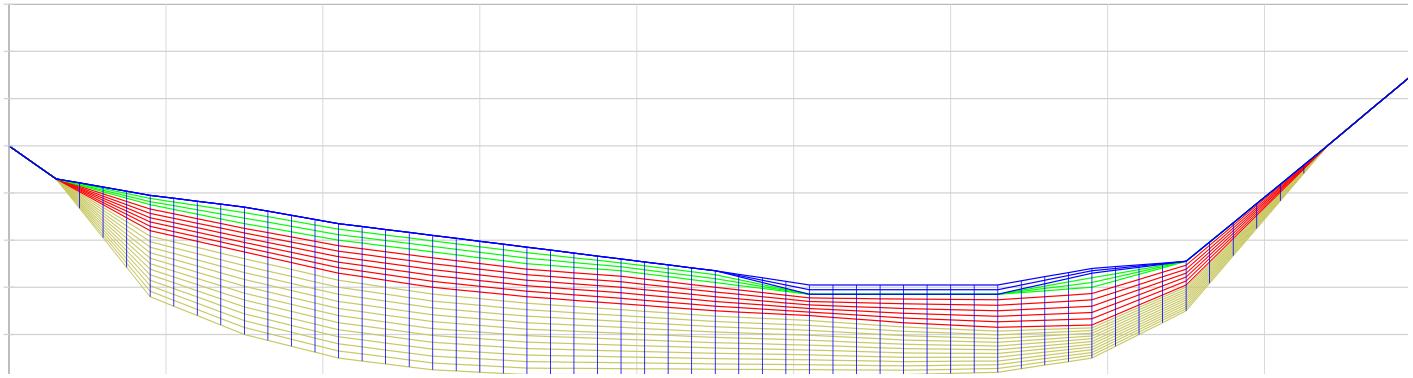


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 2

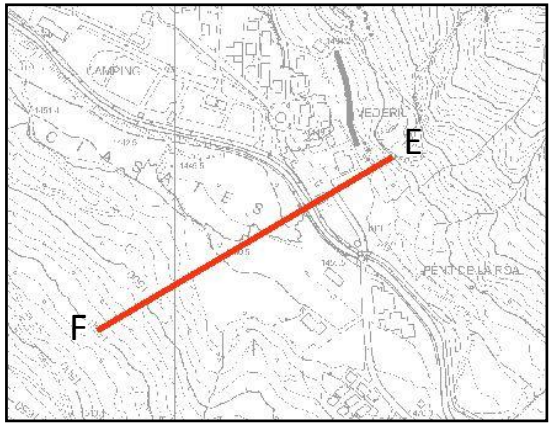


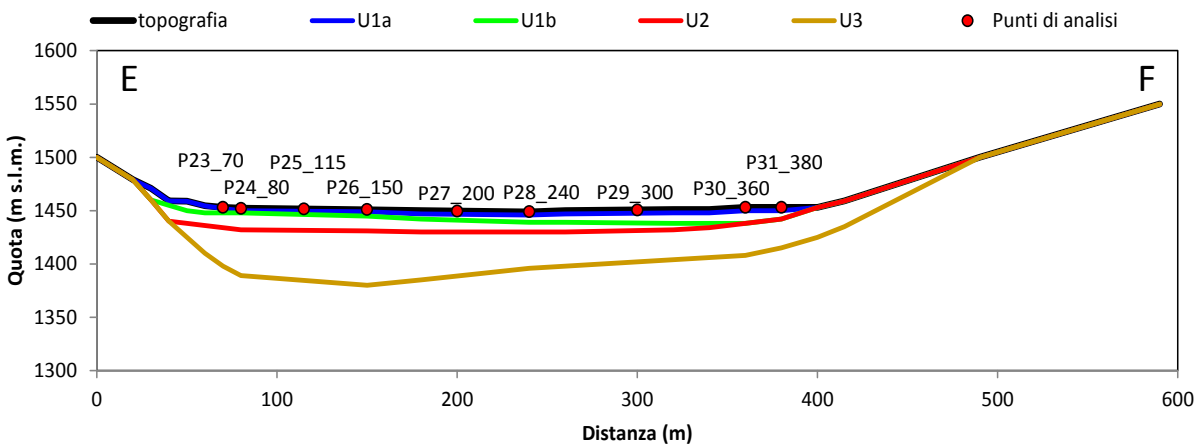


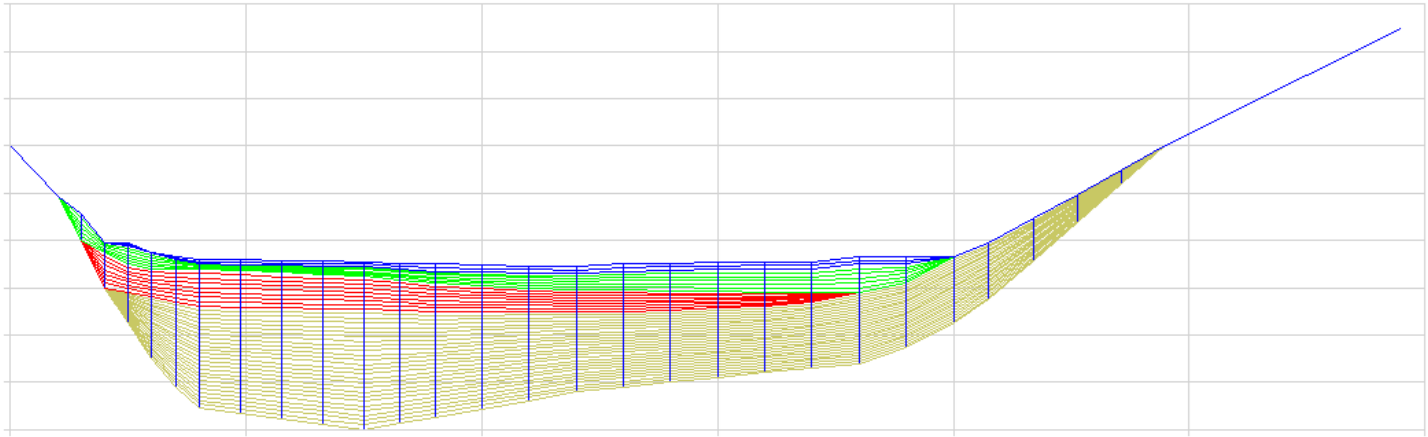


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 3

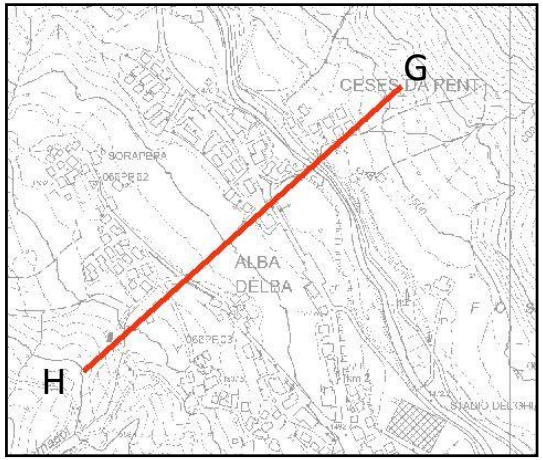


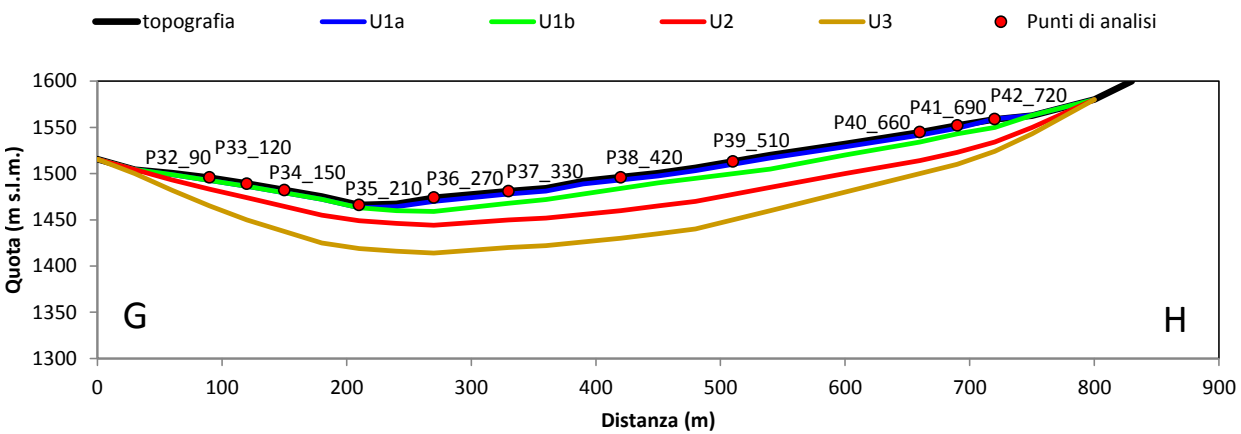


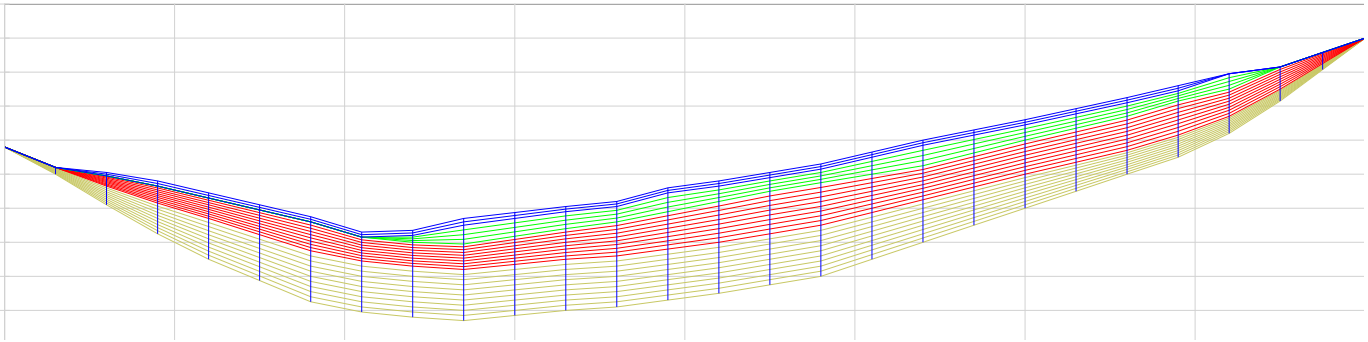


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 4

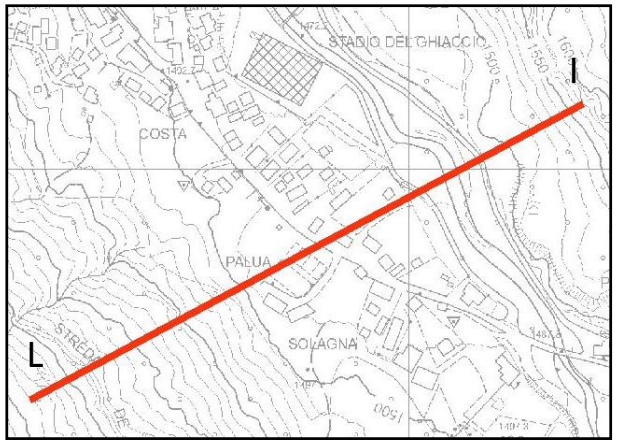


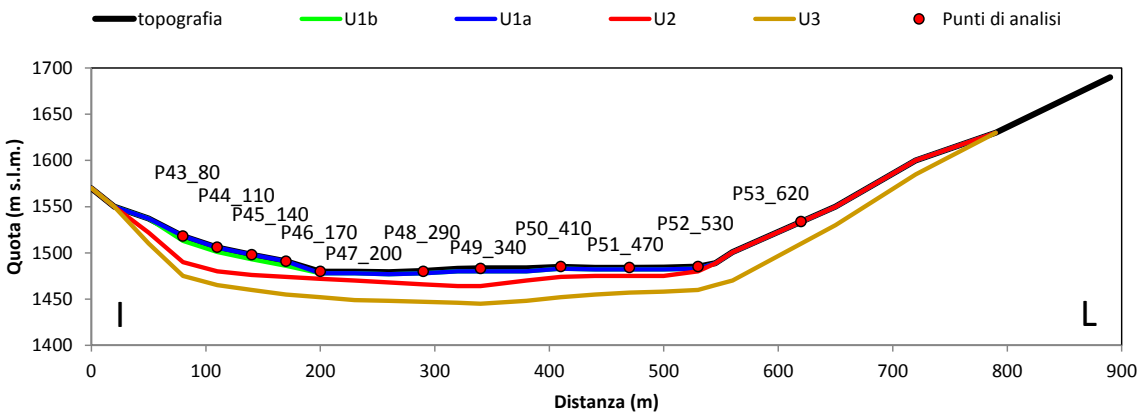


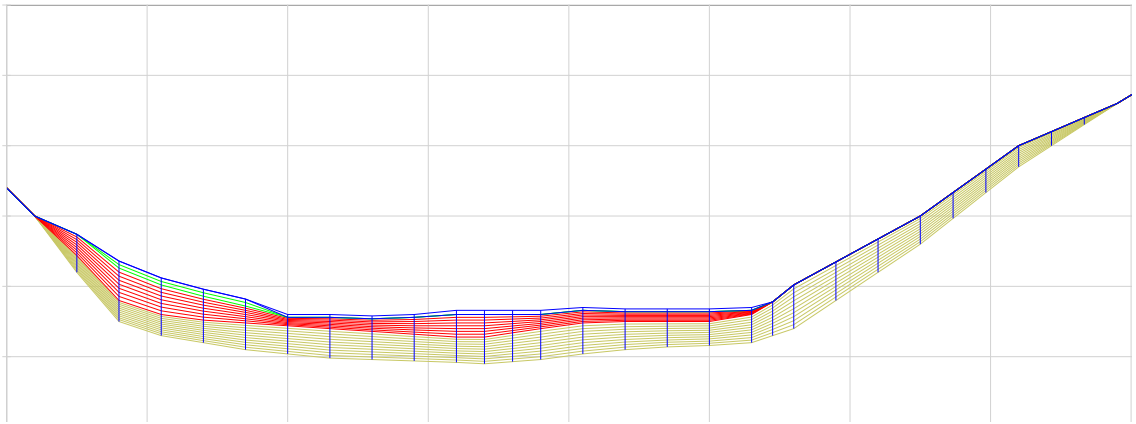


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 5

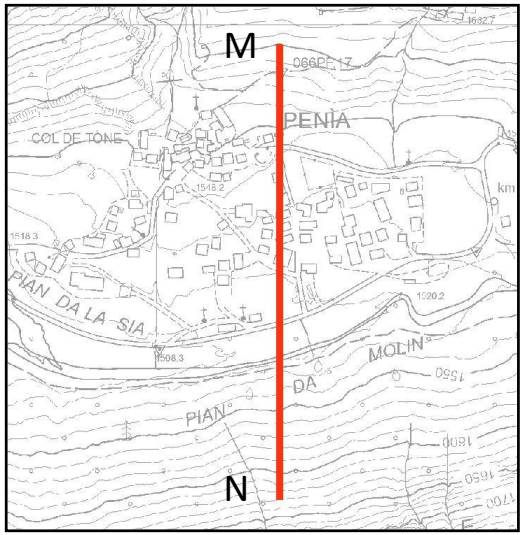


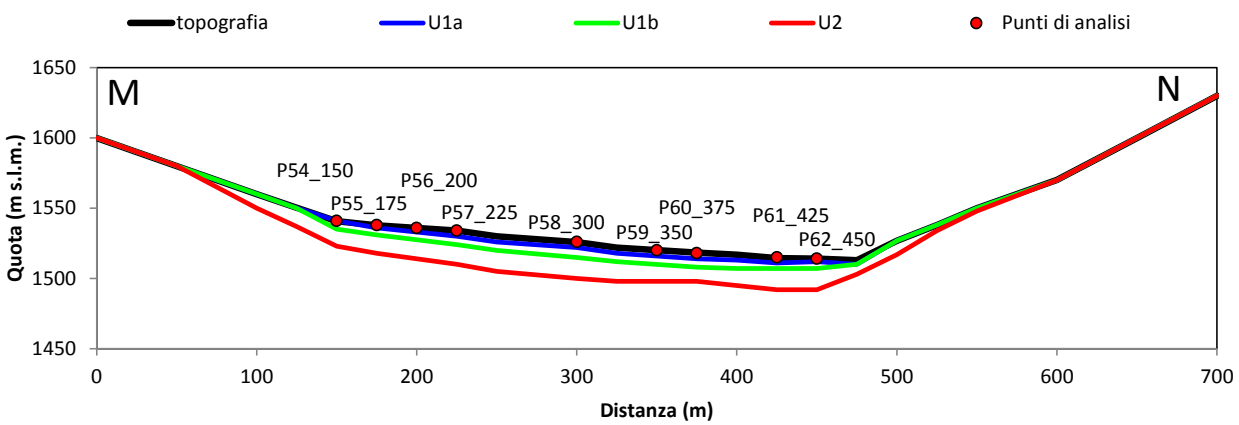


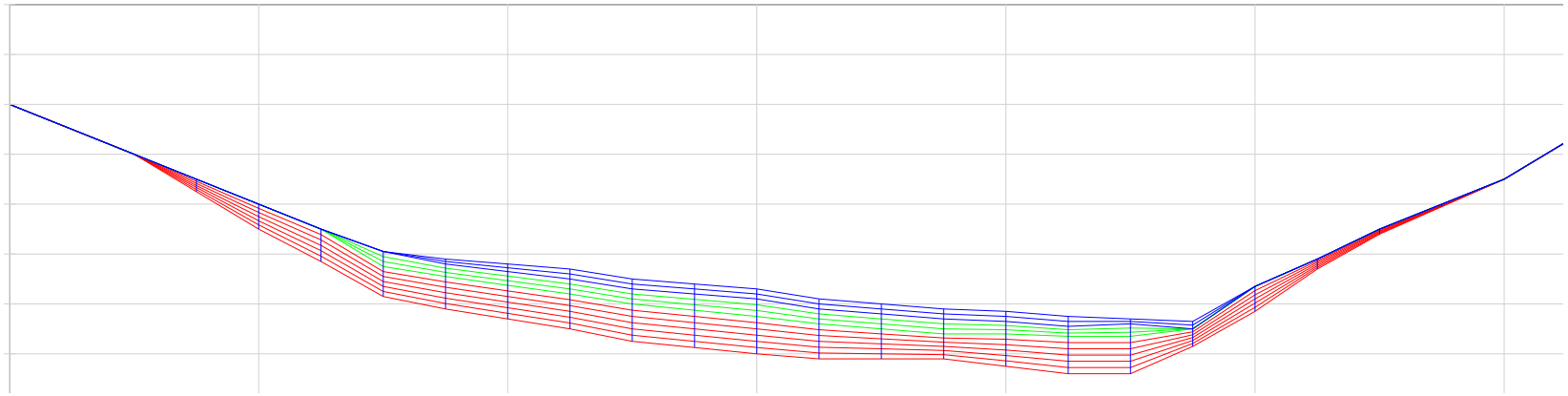


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 6







ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO: BIDIMENSIONALE FEM
Nato dalla revisione di QUAD4M (Hudson, Idriss, Beikae, 1993)

RISULTATI IN TERMINI DI
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE (3 intervalli di periodo)
SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE AL 5% DELLO SMORZAMENTO CRITICO

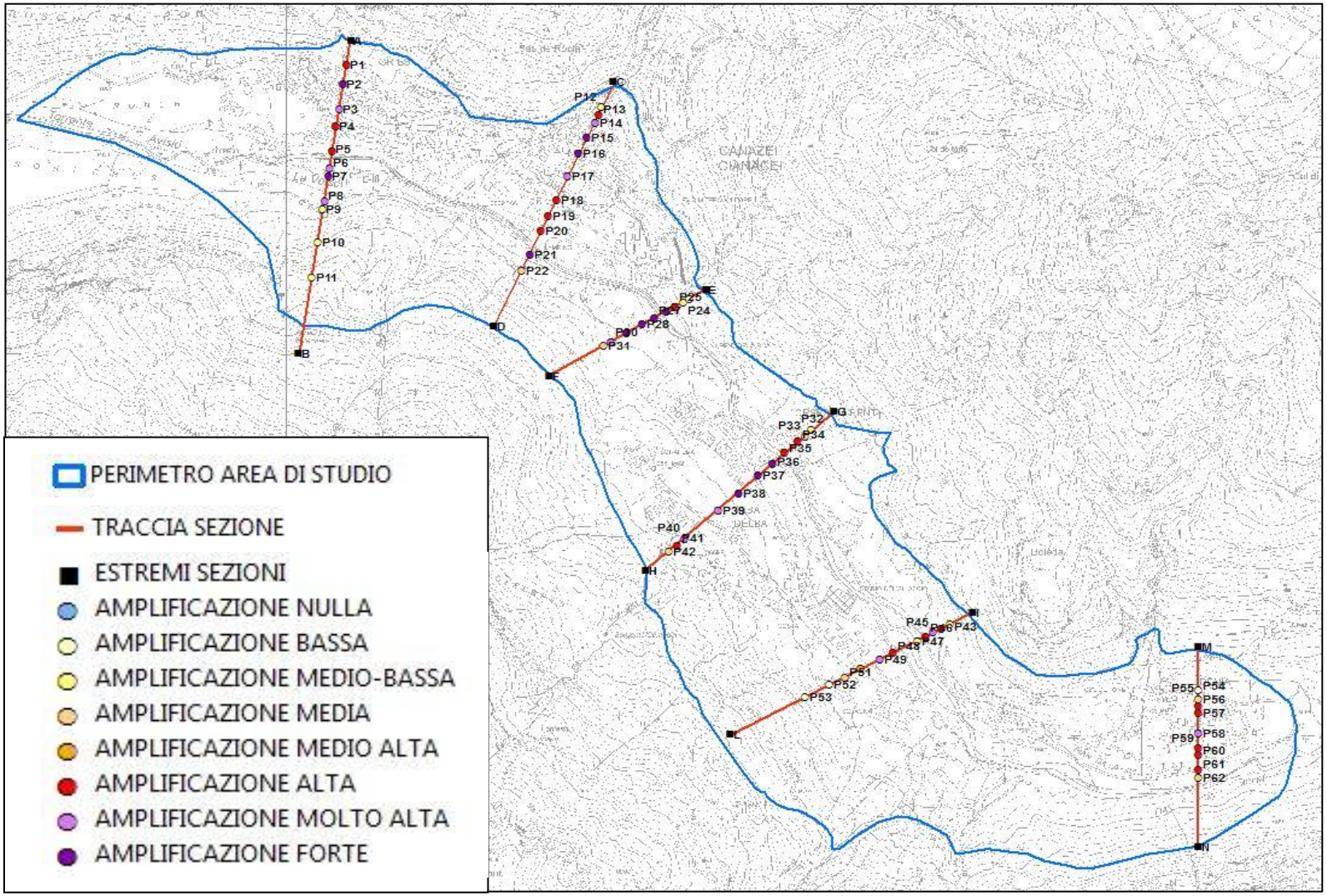
$$SI_{0.1-0.5}(PSV) = \int_{0.1}^{0.5} PSV(T,\mu)dT \qquad Fa_{0.1\text{-}0.5} = \frac{SI_{0.1\text{-}0.5}(output)}{SI_{0.1\text{-}0.5}(input)}$$

$$SI_{0.5-1.5}(PSV) = \int_{0.5}^{1.5} PSV(T,\mu)dT \qquad Fa_{0.5\text{-}1.5} = \frac{SI_{0.5\text{-}1.5}(output)}{SI_{0.5\text{-}1.5}(input)}$$

$$SI_{0.1-2.5}(PSV) = \int_{0.1}^{2.5} PSV(T,\mu)dT \qquad Fa_{0.1\text{-}2.5} = \frac{SI_{0.1\ \ 2.5}(output)}{SI_{0.1\ \ 2.5}(input)}$$

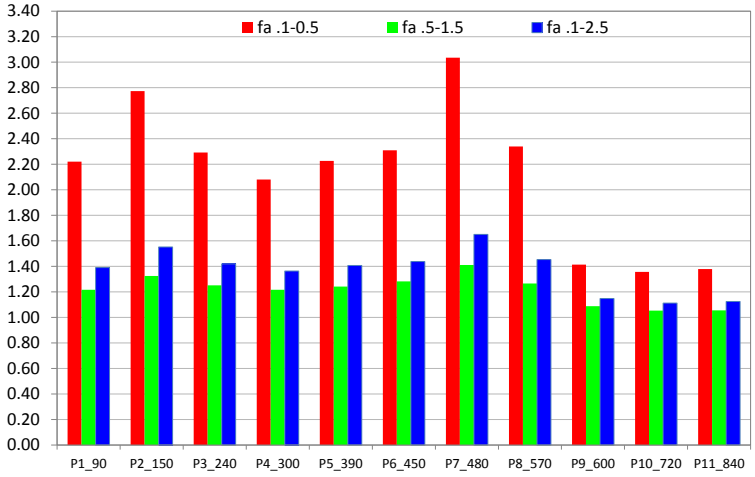
ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

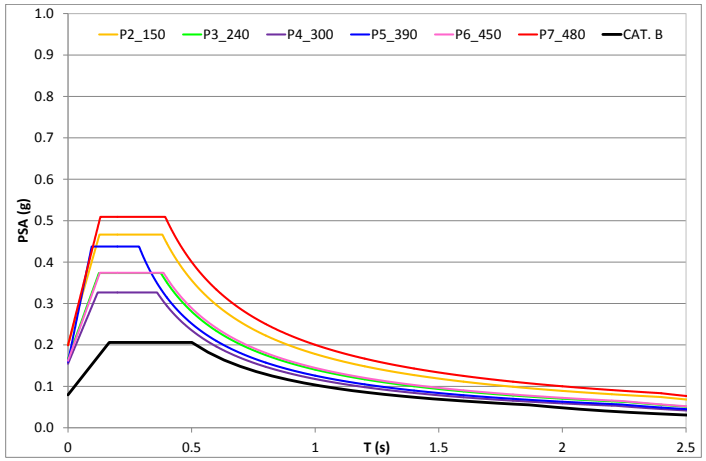
SEZIONI E PUNTI DI ANALISI

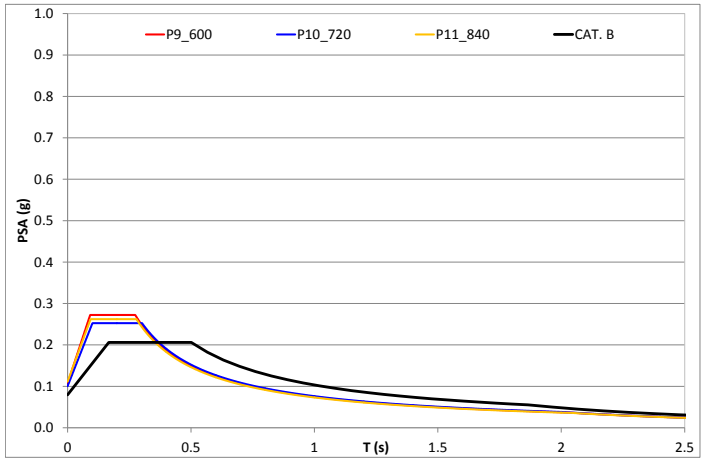


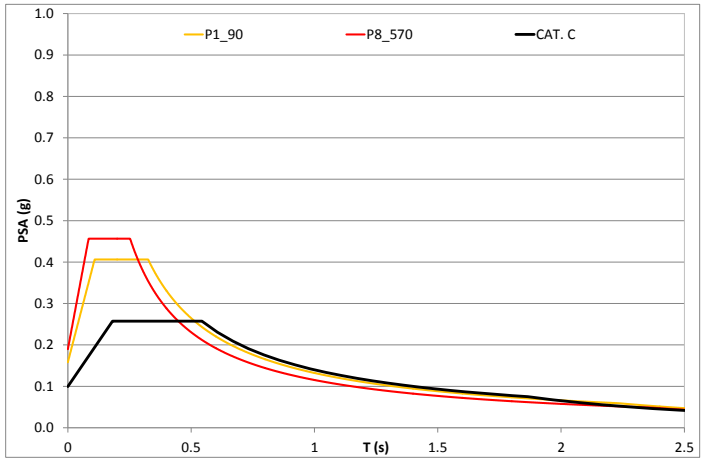
ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 1



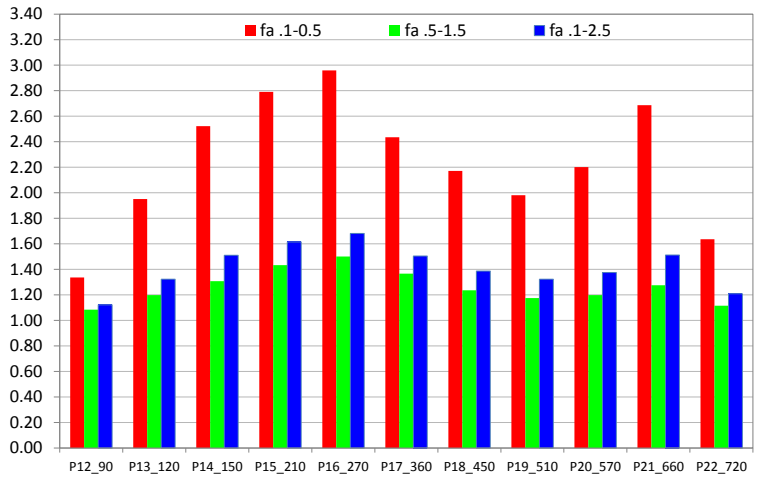


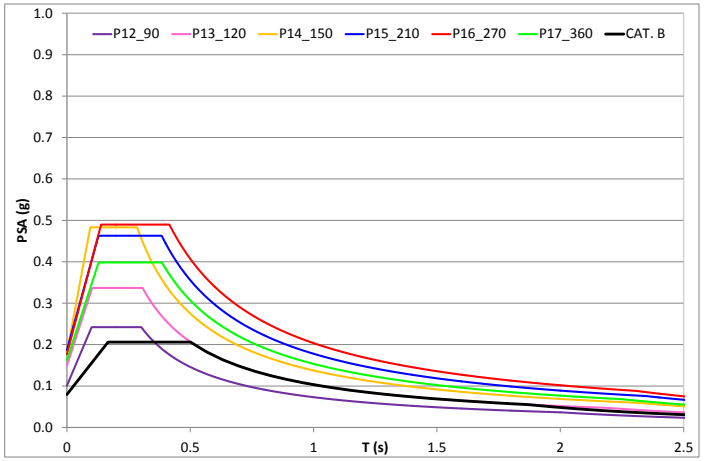


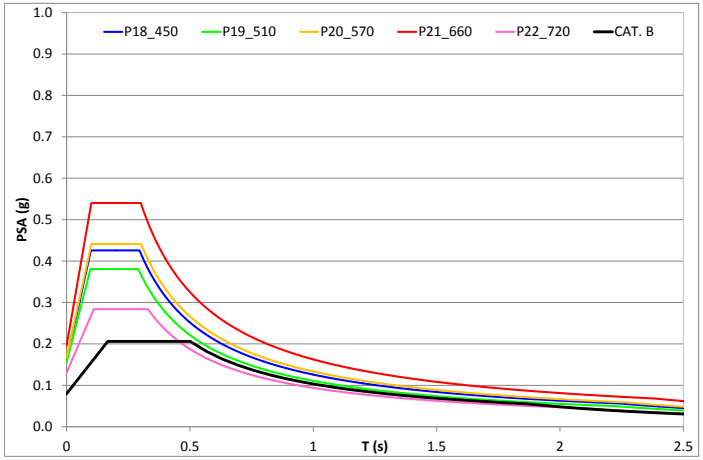


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 2

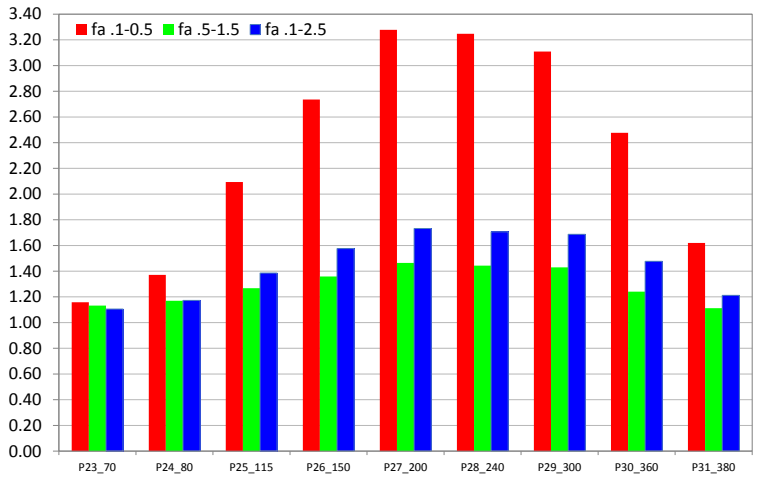


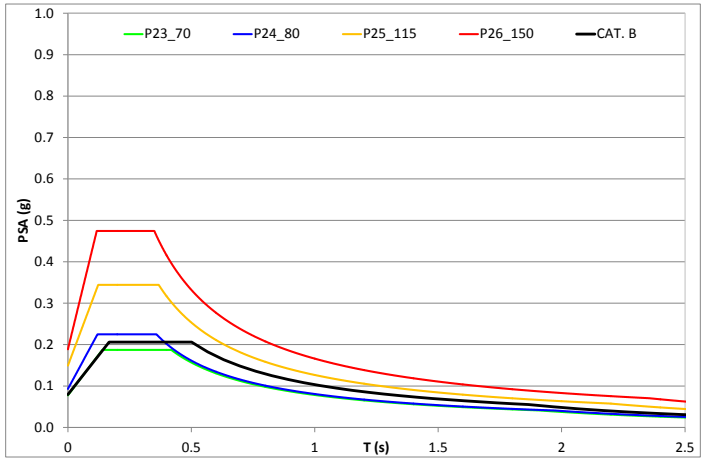


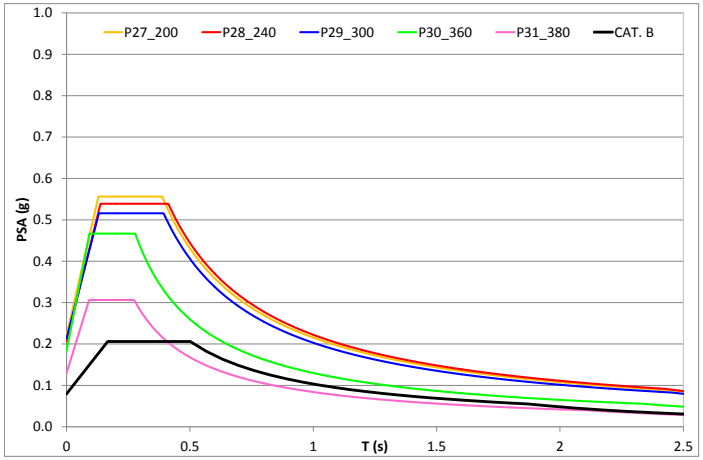


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 3

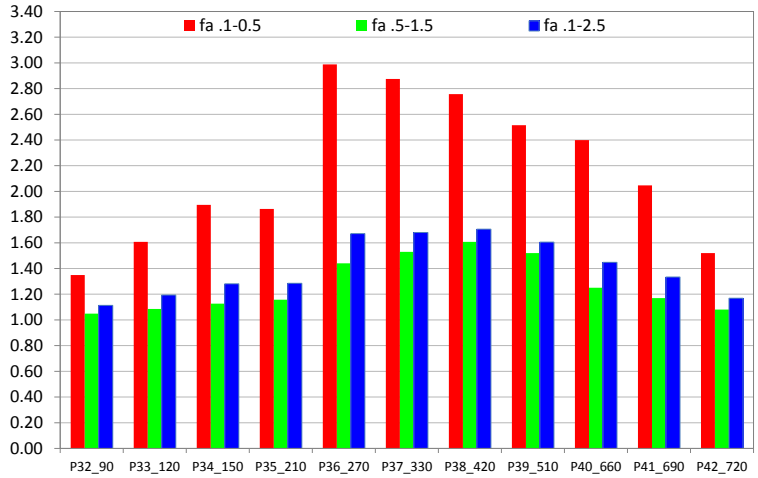


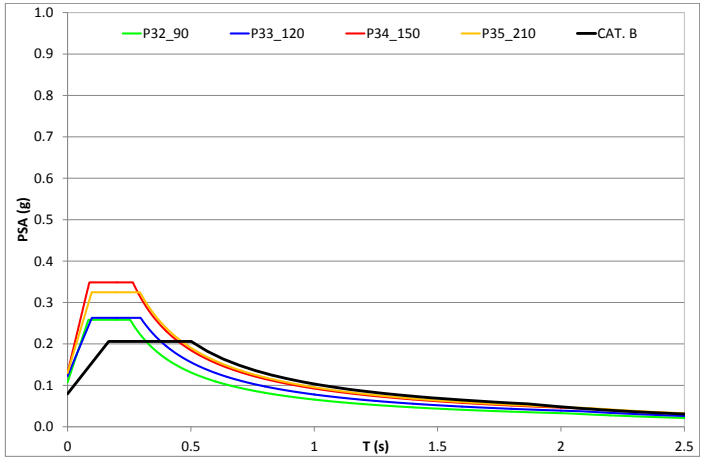


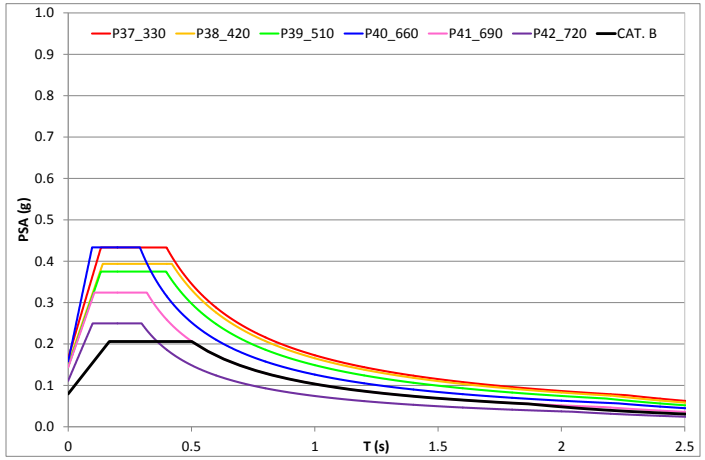


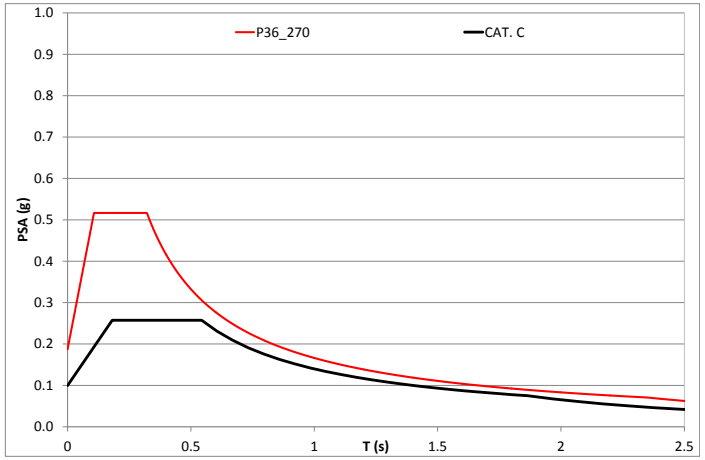
ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 4



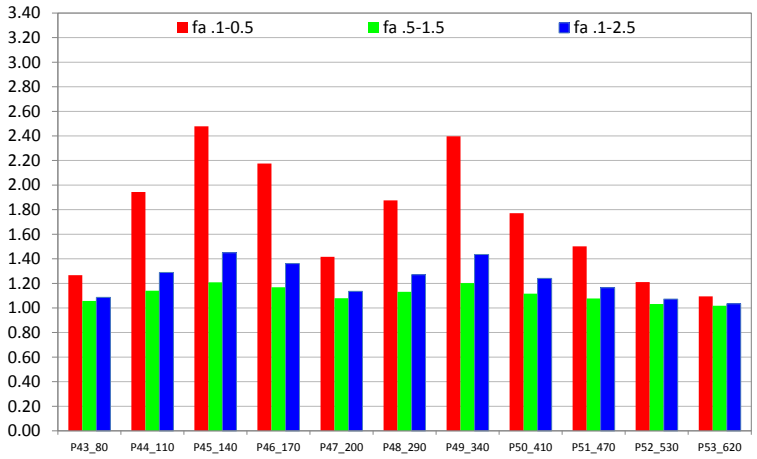


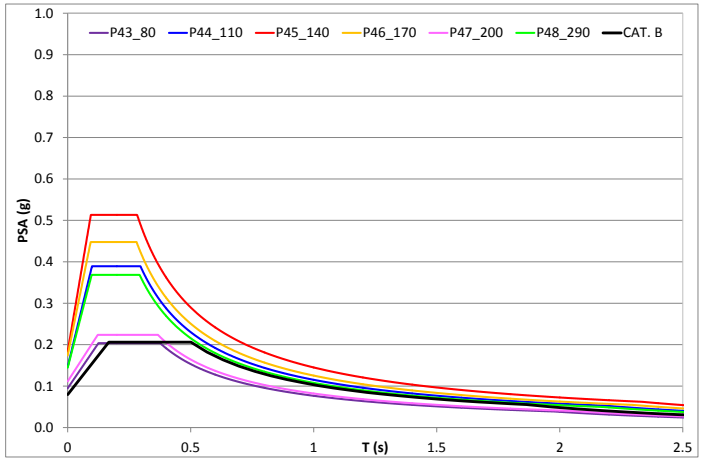


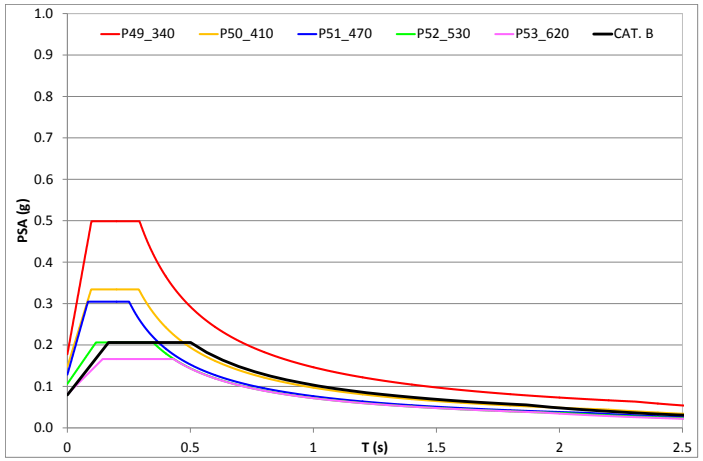


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 5

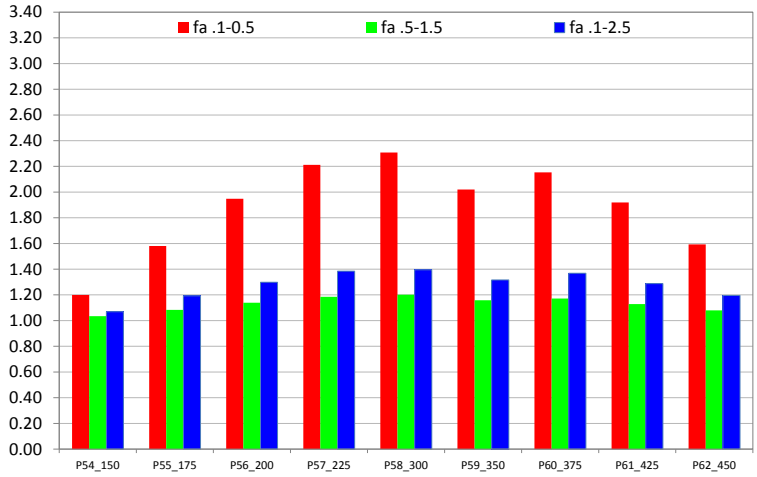


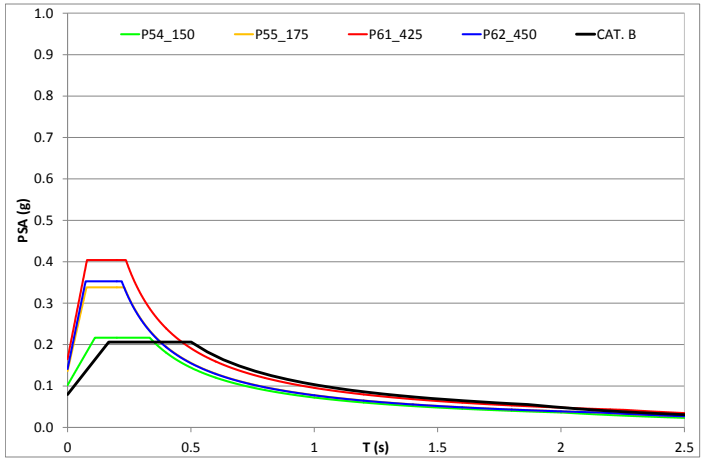


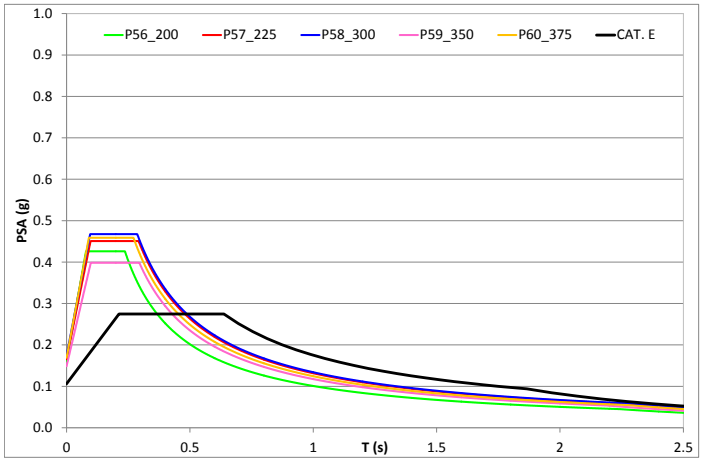


ATTIVITA' 5 – MODELLAZIONE

SEZIONE n. 6

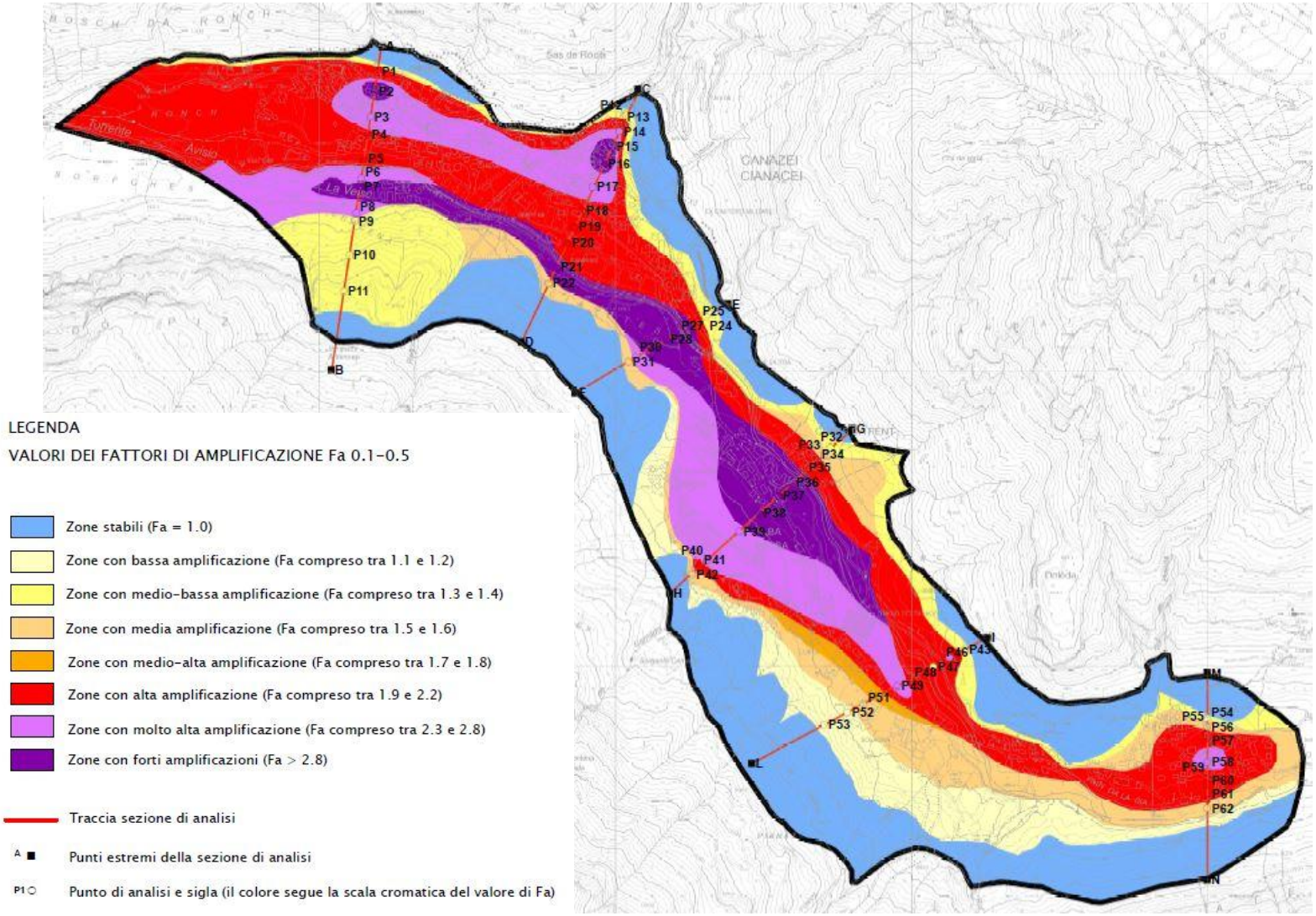






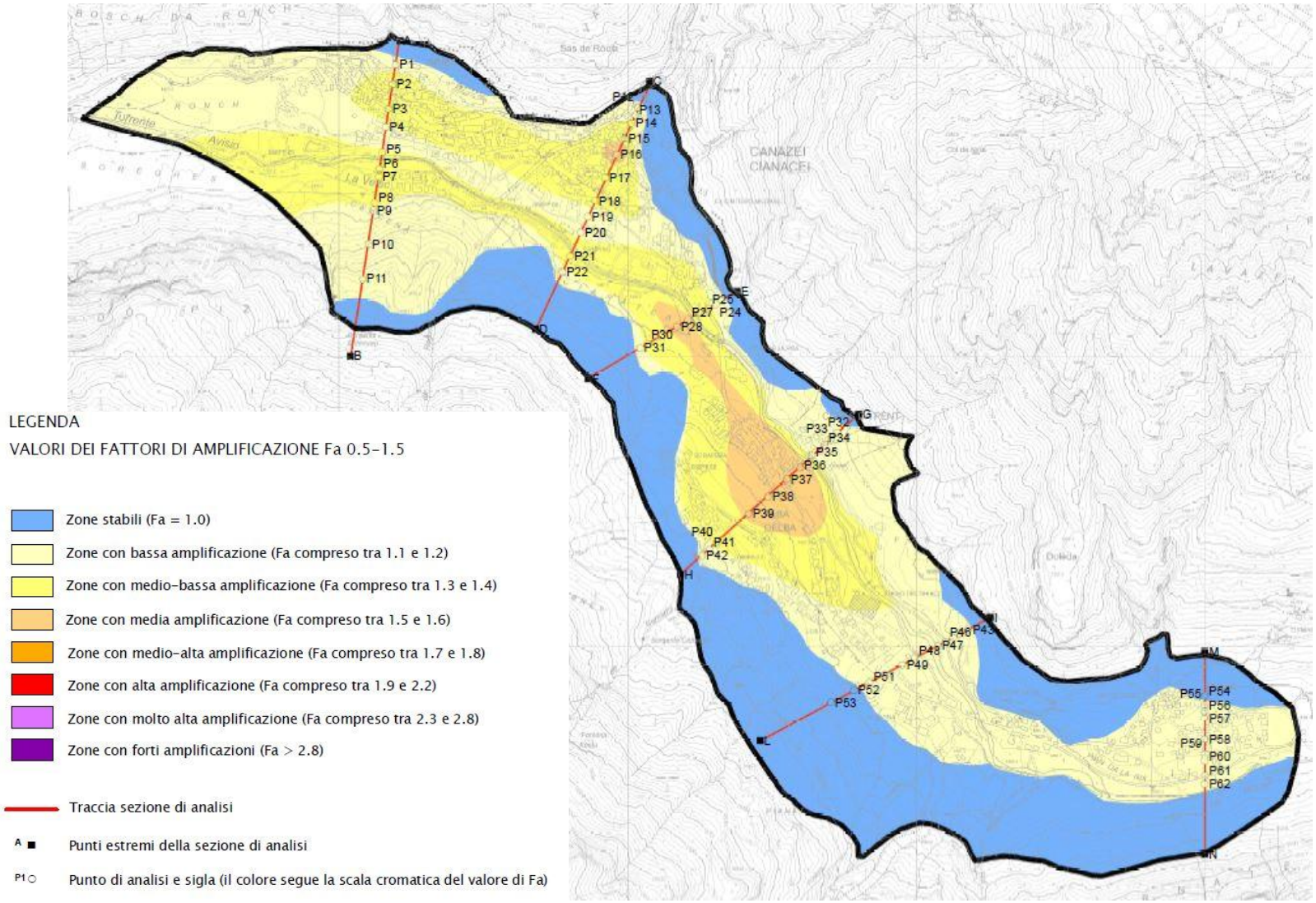
ATTIVITA' 6 – RISULTATI

MAPPA FA 0.1-0.5 s



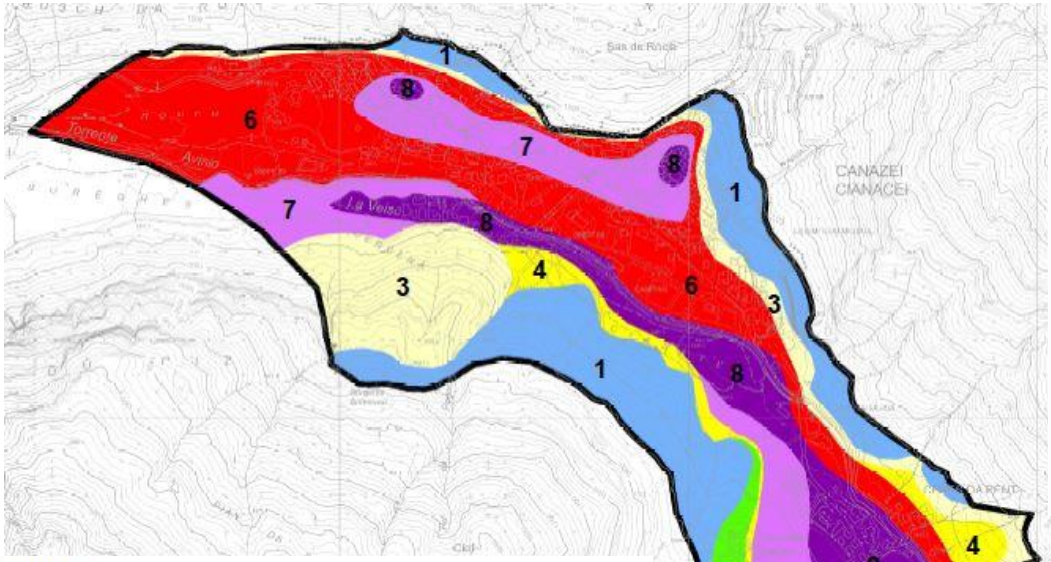
ATTIVITA' 6 – RISULTATI

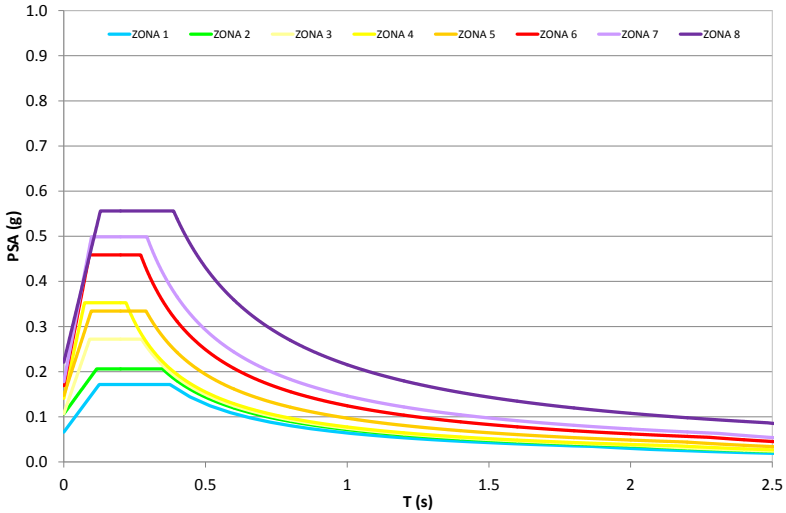
MAPPA FA 0.5-1.5 s

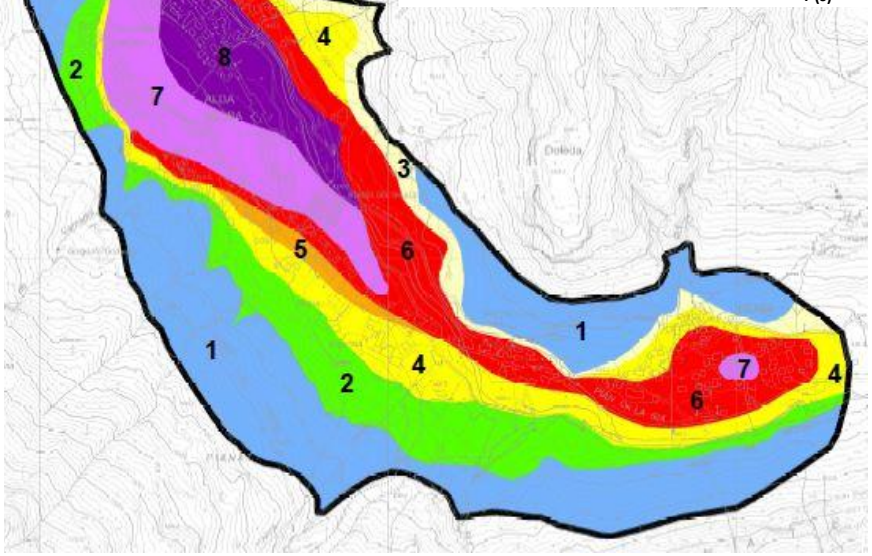


ATTIVITA' 6 – RISULTATI

MAPPA MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO 3







LEGENDA

ZONE OMOGENEE IN TERMINI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

- ZONA 1
- ZONA 2
- ZONA 3
- ZONA 4
- ZONA 5
- ZONA 6
- ZONA 7
- ZONA 8

UTILIZZO DEI RISULTATI

- **MAPPA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE: utilizzo in ambito urbanistico al fine di definire possibili graduatorie in termini di pericolosità sismica locale;**

- **SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA: in corrispondenza dei 62 punti di analisi utilizzo diretto dello spettro di risposta elastico calcolato (RSL) in ambito progettuale;**

- **MAPPA MS3: utilizzo indiretto dello spettro di risposta elastico assegnato all'intera area MS3 attraverso estrapolazione, previa verifica della corrispondenza in termini di caratteristiche geologiche e geofisiche.**

I risultati sono stati recepiti nella carta di Pericolosità Sismica Locale Provinciale secondo quanto disposto dalla:

DELIBERAZIONE GIUNTA PROVINCIALE del 6 ottobre 2014

«Disposizioni tecniche e organizzative per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità di cui all'art. 10 comma 5 della legge provinciale 1 luglio 2011 n. 9»