

REGIONE DEL VENETO

**COMUNE DI
FONTE**

**PROVINCIA DI
TREVISO**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

**PIANO DI LOTTIZZAZIONE
DI INIZIATIVA PRIVATA Z.T.O. C2/14**

COMMITTENTE : Guadagnin e altri

TREVISO, Aprile 2010

Il geologo

Livio dott. Sartor



PREMESSA

Su incarico della ditta Guadagnin Katia e altri, questo studio ha effettuato una indagine geologica richiesta dagli organi tecnici competenti, per un Piano di Lottizzazione, nel Comune di Fonte.

In seguito all'avvenuta pubblicazione nella G.U. della Repubblica Italiana n.147 in data 31.05.1982 del decreto 14.05.1982 (Ministero dei LL.PP.) "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche della Regione Veneto" il Comune di Fonte, in Provincia di Treviso, e' divenuto zona sismica ai sensi e per gli effetti della legge 02.02.1974 n. 64 con grado di sismicità = 9; con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 questo comune è stato classificato sismico e rientra nella "zona n.2". Nel D.M. 21.01.1981 sono contenute le " Norme Tecniche ... " di attuazione della sopracitata legge n. 64 poi precisata dalle " Istruzioni con circolare LL.PP. 03.06.1981 n. 21597. Nel D.M. 11.03.1988 sono contenute le " Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilita' dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. La Regione Veneto con circolare n.9 del 05.04.2000 "Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla L. 02.02.1974 n.64 e dal D.M. 11.03.1988", ha prescritto a tutti gli Enti locali del Veneto la relazione geotecnica "per le opere pubbliche o private ...". Con la Legge del 24.06.2009 n.77 "Interventi urgenti a favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo di aprile 2009...", all'art. 1 bis, si anticipa al 01.07.2009 l'entrata in vigore delle "Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.01.2008.

Le indagini sono consistite in :

- rilievo geologico, geomorfologico e idrogeologico di un'area convenientemente estesa;
- esecuzione di sondaggi;
- indagine geofisica;
- elaborazione dei dati di campagna.

Le informazioni e le indagini locali sono state inquadrate nelle conoscenze geologiche e idrogeologiche regionali, reperibili nella bibliografia ufficiale e in studi editi e inediti.

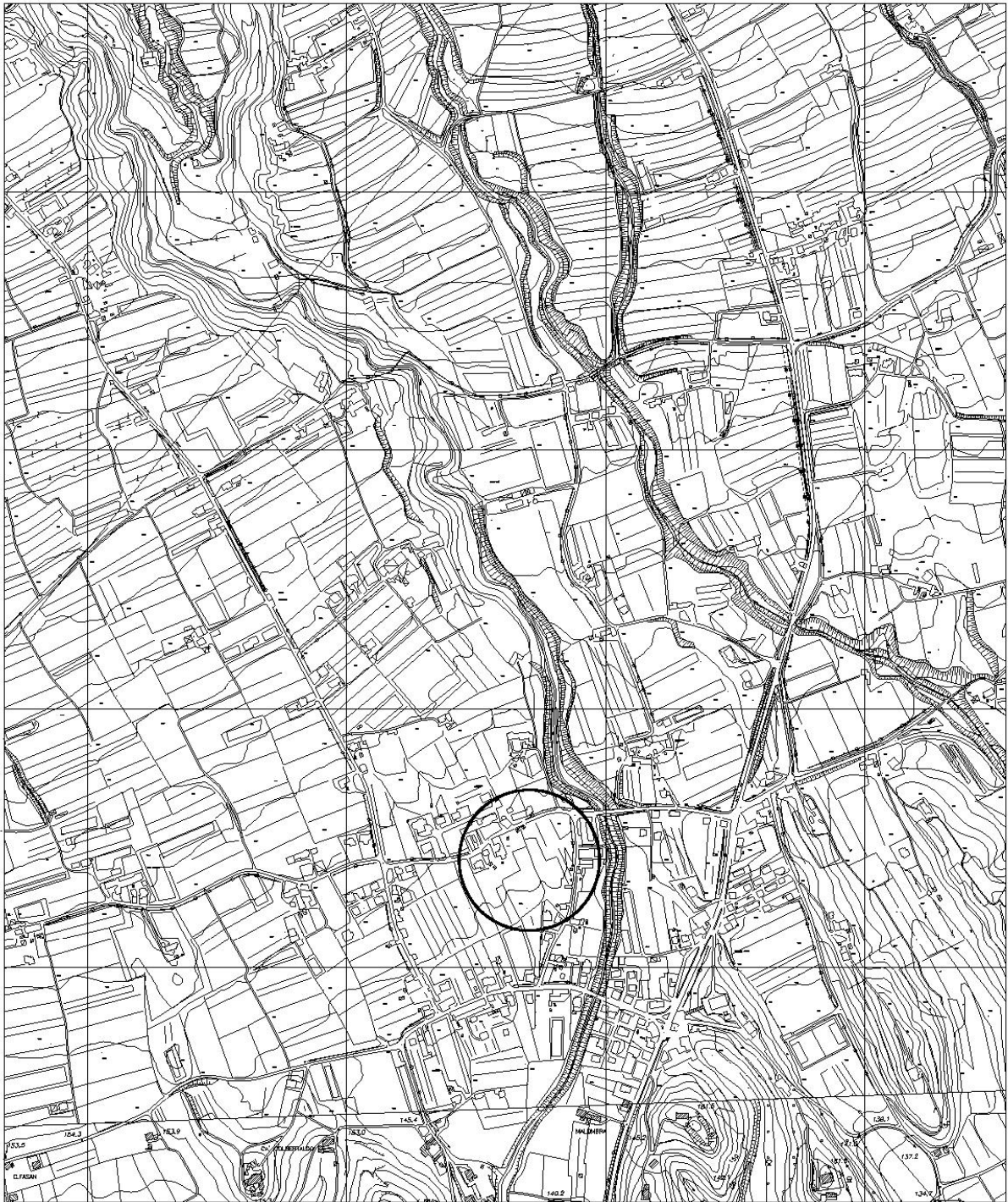


Figura n.1: - Inquadramento topografico
 - scala 1:10.000

SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il Comune di Fonte si estende nella fascia pedemontana del Trevigiano Occidentale, considerata sismogenetica sulla base delle conclusioni del progetto finalizzato "Geodinamica" del C.N.R.. Tale area è stata nel passato, e potrà essere nel futuro, interessata da eventi sismici sia di natura locale, sia indotti da epicentri situati in corrispondenza con strutture sismogenetiche vicine.

Per quanto riguarda la sismicità locale si possono ricordare i dati storici raccolti dal Baratta che colloca gli epicentri "locali" nelle aree del Feltrino, Trevigiano, Vicentino e più specificatamente nelle zone di Borso del Grappa, Cornuda, Maser, Follina, Asolo, Pieve di Soligo e Collalto.

Tale sismicità locale è da ricollegare a fenomeni neotettonici legati all'attività della flessura Bassano-Valdobbiadene, i cui movimenti si ripercuotono anche nella fascia collinare pedemontana.

Per quanto riguarda la sismicità indotta assumono un ruolo importante le aree sismogenetiche "vicine" del Bellunese, Friulano e Veronese. I dati storici indicano una forte attività sismica nel Trevigiano dal 778 al 1348, periodo cui fece seguito una lunga pausa interrotta dai sismi del 1511 e 1695 (terremoto di Santa Costanza). Un altro periodo di forti terremoti si verificò nella metà del XIX secolo (1836,1859,1873).

Nel 2004 è stato aggiornato il Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI04) da parte di INGV; dall'analisi di questo catalogo possiamo rilevare che il terremoto di maggiore magnitudo, avente l'area epicentrale nelle vicinanze del Comune di Fonte, è quello avvenuto il 25.02.1695 ore 5.30, con un'intensità epicentrale di 9.5 e magnitudo $M_w=6.61$. L'area dell'epicentro è posta tra la chiesa di Coste e di Crespignaga di Maser (lat. $45^{\circ}48'$, long. $11^{\circ}57'$).

La sismicità dell'area è dovuta dalla presenza di una faglia denominata Bassano-Cornuda.

Le caratteristiche della stessa, ricavate da "Italy hazard from capable faults", aggiornato al 2008, sono le seguenti:

Identificazione n. 70302;

Grado: primario associato ad moderata-alta sismicità;

Lunghezza: 22 km;

Profondità: 11 km;

Tipo di movimento: inverso;

Possibilità di attività della faglia: A;

Evento sismico associato: sisma del 25.02.1695.

Altri sismi con magnitudo di una certa entità e aventi l'area epicentrale nelle vicinanze del Comune di Fonte sono quelli avvenuti negli anni:

- 1836 (lat. 45°48', long. 11°49' circa un chilometro a Nord di Liedolo di S. Zenone degli Ezzelini) con intensità epicentrale di 7.5 e magnitudo $M_w=5.48$;
- 1887 nel Comune di Aso (lat. 45°48', long. 11°55' zona Est) con intensità epicentrale di 7 e magnitudo $M_w=5.17$;
- 1897 (lat. 45°49', long. 12°2' circa un chilometro a Nord di Villa Guillon Mangilli sita in Montebelluna) con intensità epicentrale di 6 e magnitudo $M_w=4.83$;
- 1919 nel Comune di Aso (lat. 45°48', long. 11°55' zona Est) con intensità epicentrale di 5.5 e magnitudo $M_w=4.98$.

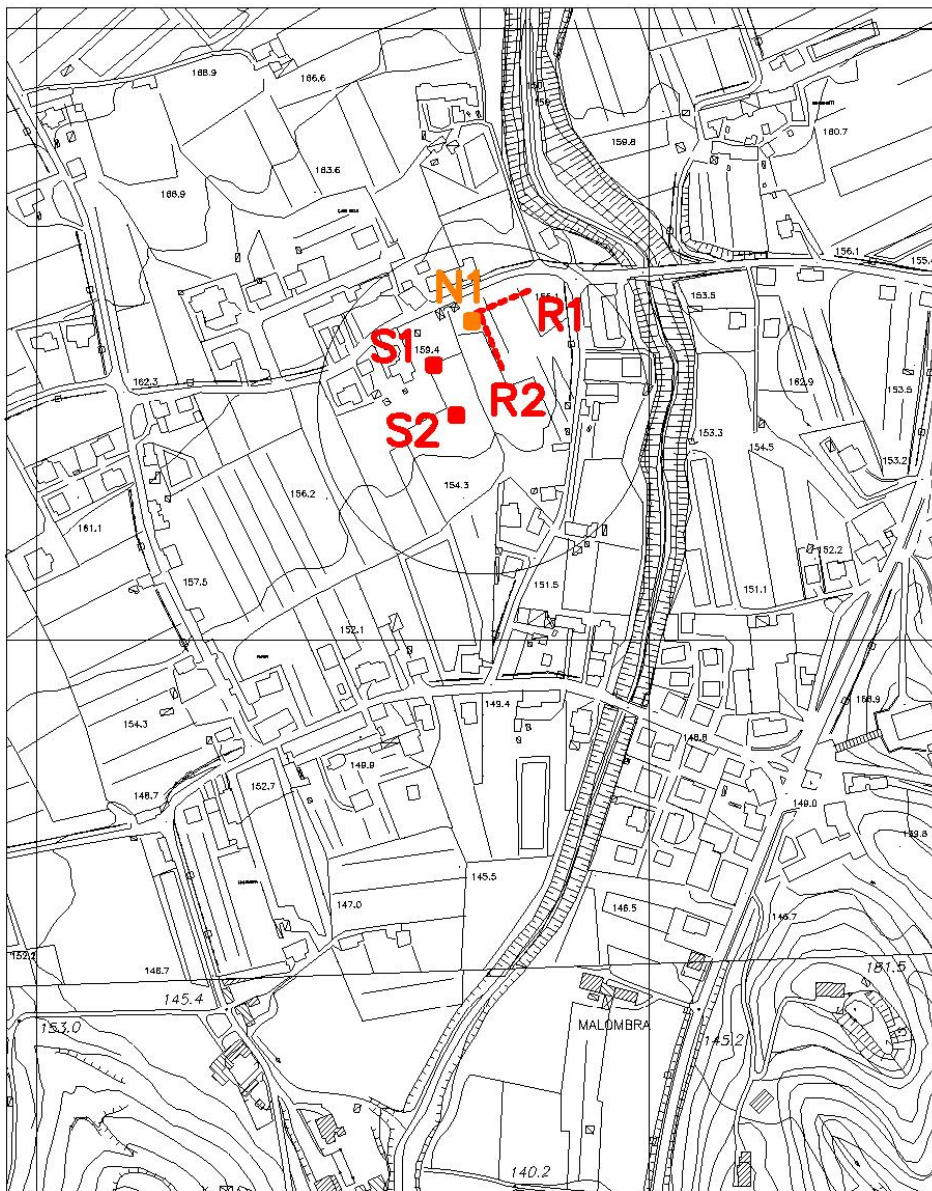


Figura n.2: **S1** ■ - Ubicazione sondaggi
R2 --- - Prova ReMi
N1 ■ - Test di Nakamura (HVSr)

scala 1:5.000

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE , GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

Il settore Nord Occidentale della Provincia di Treviso, è geologicamente e geomorfologicamente dominato dal Massiccio del Grappa e da una serie di colline quasi parallele tra loro, orientate grosso modo secondo la direzione Nord/Est - Sud/Ovest. Dal punto di vista geologico-strutturale l'intera zona in esame è compresa nella piega monoclinale che è stata interpretata come la parte più meridionale della ben nota "piega faglia a ginocchio" che si estende da Bassano all'altopiano del Cansiglio. Il sottosuolo dell'area interessata è inoltre solcato prevalentemente dai paleoalvei del F. Brenta che, in epoca geologicamente recente, hanno più volte cambiato il loro percorso determinando delle zone con terreni a permeabilità differenziata. In seguito all'ultimo ritiro del ghiacciaio Wurmiano, si ha una marcata attenuazione dei deflussi fluvio-glaciali; si formano probabilmente ampie zone acquitrinose e ha inizio la fase terrazzante lungo i numerosi rami di divagazione. Nel Comune di Fonte la copertura alluvionale, dovuta al F. Brenta poggia su un basamento di conglomerati che possono essere di età quaternaria o pre-quaternaria (Messiniano). Le acque torrentizie, in particolare quelle del T. Musone e del T. Lastego, che dalle colline si riversavano sulla pianura venivano assorbite ed abbandonavano di conseguenza su di essa il materiale alluvionale. I sedimenti che costituiscono il sottosuolo di questa zona sono costituiti da alluvioni limoso argillose con lenti sabbiose ghiaiose, di spessore variabile e poggianti sulle alluvioni ghiaioso sabbiose del F. Brenta e/o sui conglomerati.

Nell'area e/o nelle immediate vicinanze sono presenti i seguenti litotipi:

- **Marna di Tarzo**

- *Serravaliano/Miocene p.p. – Tortoniano p.p./Miocene p.p. – (circa 17 – 14 milioni di anni fa)*

Si tratta di una formazione molto potente localizzata tra la cresta dell'Arenite di M. Baldo e quella Tortoniano-Messiniana. Essa è costituita da marne siltose grigio-azzurre, in cui non è ben evidente la stratificazione, tanto da impedire il rilevamento della giacitura. Queste marne si presentano generalmente poco compatte, risultando così facilmente erodibili, erosione che crea condizioni di instabilità diffusa nei pendii. La copertura vegetale non consente di avere estesi affioramenti. Il passaggio tra l'Arenite di M. Baldo e le Marne di Tarzo è graduale. Si ha infatti una diminuzione progressiva della frequenza e dello spessore delle intercalazioni arenacee ed il limite è stato posto in corrispondenza dell'ultimo

livello arenitico ritrovato in campagna. Il limite al tetto della Marna di Tarzo con l'Arenaria di Vittorio Veneto è stato posto in corrispondenza della prima intercalazione arenacea ritrovata.

Il contenuto in macrofossili non è molto abbondante, nei vari affioramenti è stata notata la presenza di Lamellibranchi e Gasteropodi soprattutto nelle parti basali più compatte, anche se spesso è impossibile riconoscere i generi poiché gli esemplari sono frequentemente decalcificati e rotti. Tra i microfossili si ha un abbondante contenuto in Foraminiferi, per lo più planctonici, ritrovati nella parte inferiore della formazione. Questi fossili hanno permesso di attribuire la Marna di Tarzo al Serravalliano-Tortoniano. Nel sito in esame questa formazione non affiora, però i depositi alluvionali poggiano su di essa.

- **Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia**

Ai piedi del rilievo montuoso, allo sbocco delle valli in pianura, si aprono a ventaglio conoidi alluvionali anche di notevole estensione e spessore, dovuti ad apporto misto detritico ed alluvionale dei corsi d'acqua. I depositi alluvionali sono costituiti da alternanze di ghiaie, a volte cementate, e sabbie, con intercalati lenti limose e/o argillose. Talvolta presentano accumuli di argille rossastre contenenti schegge di selce e soprattutto frammenti di Biancone. Nell'area in esame poggiano sulla "Marna di Tarzo".

Considerata la natura dei terreni che costituiscono l'area in esame, sono stati eseguiti due sondaggi geognostici.

Nella trincea n.1 si è messo in evidenza un primo terreno vegetale dello spessore di 1.10 metri, un secondo terreno costituito da limo argilloso con ciottoli dello spessore di 0.40 metri e un terzo terreno costituito da ghiaia con matrice limoso sabbiosa dello spessore di 3.00 metri.

Nella trincea n.2 si è messo in evidenza un primo terreno vegetale dello spessore di 1.00 metri, un secondo terreno costituito da limo argilloso con ciottoli dello spessore di 0.20 metri, un terzo costituito da limo argilloso di colore nocciola e un quarto terreno costituito da ghiaia con matrice limoso sabbiosa dello spessore di 0.80 metri.

Nella trincee sono stati prelevati due campioni e sono stati determinati i seguenti parametri geotecnici:

- **Campione n.1** (trincea n.1 – profondità circa –3.0 mt dal p.c.)
 - γ (peso di volume).....= 2.05 gr/cmc
 - cu (coesione non drenata).....= /
 - ϕ (angolo d'attrito)= 39°

- **Campione n.2** (trincea n.2 – profondità circa –2.00 mt dal p.c.)
 - γ (peso di volume).....= 1.75 gr/cmc
 - cu (coesione non drenata).....= 0.60 kg/cm²
 - ϕ (angolo d'attrito)= /

Nell'area in esame, durante l'esecuzione dei sondaggi, non si è rilevata la presenza di una venute d'acqua. Il livello della falda riscontrato nelle vicinanze all'area in esame (circa 50 metri a Sud-Ovest) era a -4.50 metri dal piano campagna nell'aprile 2010, non si tratta però della massima oscillazione della falda.

Committente	Guadagnin Mara, Katia e Zorzi Roberto		SONDAGGIO	FOGLIO
Cantiere	Costruzione fabbricati		1	1
Località	Fonte Alto (TV)		Il geologo Sartor dott. Livio	
Data Inizio	18.07.2007	Data Fine		

Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione	Profondità'	Potenza
		Terreno vegetale		1.10
		Limo argilloso con ciottoli	1.10	0.40
		Ghiaia con matrice limoso sabbiosa	1.50	3.00
			4.50	

Non sono state riscontrate venute d'acqua.

Committente	Guadagnin Mara, Katia e Zorzi Roberto	SONDAGGIO	FOGLIO
Cantiere	Costruzione fabbricati	2	1
Località	Fonte Alto (TV)	Il geologo Sartor dott. Livio	
Data Inizio	18.07.2007	Data Fine	

Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione	Profondità'	Potenza
		Terreno vegetale		1.00
		Limo argilloso con ciottoli	1.00	0.20
		Ghiaia con matrice limoso sabbiosa	1.20	
				1.40
		Limo argilloso di colore nocciola	2.60	0.60
		Ghiaia con matrice limoso sabbiosa	3.20	
				0.80
			4.00	

Non sono state riscontrate venute d'acqua.

INDAGINI E RISCHIO SISMICO

1. INDICAZIONI GENERALI

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 questo comune è stato classificato sismico e rientra nella "zona n.2" .

L'oggetto della norma, ripresa successivamente dalle *Norme tecniche per le costruzioni* DM 14 gennaio 2008, qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al paragrafo 3.2.2 «*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*» si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di V_{s30} cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio fino a 30 metri di profondità e comunque fino alla profondità significativa. Si sottolinea inoltre che "...la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori... N_{spt30} ...e della ... c_{u30} ...".

Riportiamo di seguito il paragrafo 3.2.2 e 3.2.3 in parte, delle "Norme tecniche per le costruzioni" del 14.01.2008.

"3.2. AZIONE SISMICA

*... La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al capitolo 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} , come definite nel capitolo 3.2.1, nel periodo di riferimento T_r , come definito nel capitolo 2.4. ...*

*...In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 , e T^*c .*

...

3.2.1 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel capitolo 7.11.3 In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tan 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $NSPT > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E – Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 metri di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano d'impasto delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita al piano di impasto della fondazione. La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (SPT) N_{spt30} (definito successivamente) nei terreni a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente Cu_{30} (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fine. Per queste cinque categorie di suolo, le azioni sismiche sono definite al capitolo 3.2.3 delle presenti norme. Per i sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** e **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo

S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/sec, (ovvero $10 < c_u < 70$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fine a bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 metri di torba o di argille altamente organiche.

S2 – Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{s30} è definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \text{ (m/s)}$$

...

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo compreso nei primi 30 metri di profondità....

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 metri di profondità, ricadenti nelle categorie da **A** ad **E**, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare N_{spt30} limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30 metri di profondità;
- determinare $Cu30$ limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 metri di profondità;
- individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri N_{spt30} e $Cu30$;
- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

- T1** – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$;
T2 – Pendi con inclinazione media $i > 15^\circ$;
T3 – Rilievi con larghezza della cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$;
T4 – Rilievi con larghezza della cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

3.2.3. Valutazione dell'azione sismica

3.2.3.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vr} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot [T/T_B + 1/\eta \cdot F_0 (1 - T/T_B)]$$

...

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Inoltre:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione $S = S_s \cdot S_T$ essendo S_s il coefficiente di amplificazione topografica (v. tab. 3.2V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi tab. 3.2 VI);

η ...

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha il valore minimo pari a 2,2;

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_c = C_c \cdot T^*c$, dove T^*c è definito dal capitolo 3.2 e C_c è un coefficiente funzione della categoria del sottosuolo (v. tab. 3.2V);

...

Amplificazione stratigrafica

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. 3.2V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi

Tabella 3.2.V Espressioni di S_s e C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*c)^{-0.2}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*c)^{-0.33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*c)^{-0.5}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*c)^{-0.4}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in tab. 3.2 VI, in funzione delle categorie topografiche definite in capitolo 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

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

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

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

...

2. INDAGINI SISMICHE IN SITU

Per ottenere la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la normativa prevede il calcolo del parametro Vs₃₀, indicando come metodologia di elezione la misura della velocità delle onde di taglio ed in subordine la prova SPT e, nei mezzi coesivi, il valore della cu. Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

$$Vs_{30}=30/\sum_{i=1,N} h_i/V_i$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio γ<10⁻⁶) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Si ricorda che la velocità delle onde di taglio (Vs) è quella che meglio di ogni altro parametro fisico caratterizza i materiali dal punto di vista del loro comportamento meccanico.

Sono stati realizzati due profili ReMi, della lunghezza di 46 metri, e un test di Nakamura (HVSr) per la misura della curva di risposta elastica del terreno. Le indagini sismiche sono state eseguite ed elaborate da una ditta specializzata.

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal D.M. 14 Gennaio 2008 l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale ag riferito a suoli rigidi caratterizzati da Vs,30 > 800 m/s compreso tra **0,200g** e **0,225g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile).

Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0,203g**.

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della “Strategia di progettazione” adottata una volta definita la Vita Nominale, la Classe d’uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE LATITUDINE

☐ Ricerca per comune
 REGIONE PROVINCIA COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☐ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☒ Interpolazione corretta
 Interpolazione

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.052	2.484	0.235
50	0.070	2.452	0.250
72	0.085	2.420	0.260
101	0.101	2.405	0.269
140	0.119	2.392	0.278
201	0.140	2.376	0.287
475	0.203	2.374	0.313
975	0.270	2.399	0.331
2475	0.386	2.410	0.352

2.2 INDAGINE SISMICA MEDIANTE LA TECNICA DEI MICROTREMORI “ReMi”

2.2.1 Premessa

Le tecniche correntemente usate per la stima della velocità di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica sono troppo costose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione. In particolare esse richiedono l'adozione di sorgenti di elevata energia per essere significative in ambienti rumorosi, come quelli urbani, o registratori indipendenti da disporre in estesi stendimenti.

La tecnica qui adottata (ReMi = Refraction Microtremor) si basa sulla constatazione che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, fatte con uno stendimento sismico “tradizionale” per rifrazione, possono essere utilizzate, con un opportuno trattamento numerico, per stimare la velocità delle onde di taglio V_s fino a profondità che possono essere superiori a 100 metri con una precisione del 20%. Questa metodologia studiata e sperimentata da J.N. Louie del Seismological Laboratory and Dept. Of Geological Sciences dell'Università del Nevada, si basa su due idee cardine, la prima delle quali è quella che molti sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz, la seconda è quella che una semplice trasformata bidimensionale (p - f) *slowness* ($1/\text{Velocità}$) – *frequenza* della registrazione di un rumore di fondo (*microtremor*) è in grado di separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde che compongono il sismogramma rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Il profilo verticale delle V_s può essere ricavato per inversione monodimensionale o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love) (Dorman e Ewing, 1962). Le onde di Rayleigh (1885) costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P-waves) e di taglio verticali (Sv-waves).

Tali onde sono presenti in natura e sono conosciute con il termine di microtremori. Possono venire accuratamente captate ed analizzate nei loro contenuti cromatici ed energetici con un array geometrico lineare simile a quelli utilizzati nella prospezione sismica classica. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh.

La dispersione è un fenomeno indotto dalla deformazione del treno d'onda che produce una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Un apposito grafico (spettro di potenza $p-f$) in cui è diagrammato in ascissa la frequenza f (Hz) ed in ordinata lo slowness, che altro non è che l'inverso della velocità di fase (m/s), consente agevolmente di individuare il trend dispersivo che contraddistingue il sito sottoposto ad indagine.

Dalla curva di dispersione si passa al profilo di velocità verticale mediante modellazione diretta. Viene cioè costruito il modello teorico la cui curva di dispersione calcolata presenta il minor errore rispetto alla curva sperimentale.

Il processo di modellazione diretta soffre delle limitazioni prodotte dal principio dell'equivalenza secondo il quale possono esistere più modelli che soddisfano la medesima curva di dispersione. In questo caso quindi diventa importante avere dei punti di calibrazione per una ricostruzione "litologica" della struttura sismica del sottosuolo. Tuttavia questa limitazione non inficia la correttezza della determinazione dei valori di V_{s30} che rappresentano una relazione tra spessori e velocità dei singoli strati.

Per il trattamento di questo tipo di dati è stato utilizzato il software ReMi® aggiornato alla sua ultima versione V.4 e commercializzato dalla Optim LLC (Reno, Nevada - USA). L'approccio analitico si basa sugli studi condotti da J.Louie presso la Nevada University.

2.2.2 Modalità operative

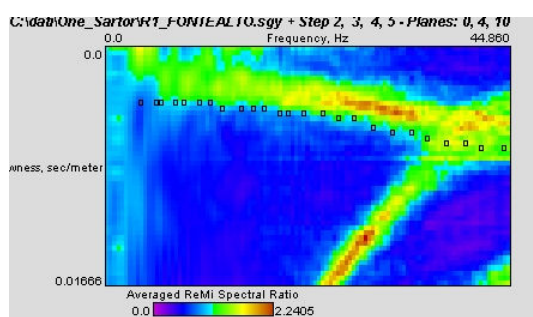
La sequenza del processo elaborativo sono i seguenti:

- trasformazione del formato dei dati;
- preprocessing dei dati;
- calcolo della trasformata $p-f$ per ogni record e loro combinazione;
- picking per la costruzione della curva di dispersione;
- calcolo del modello 1D del VSP mediante modellazione diretta della curva di dispersione.

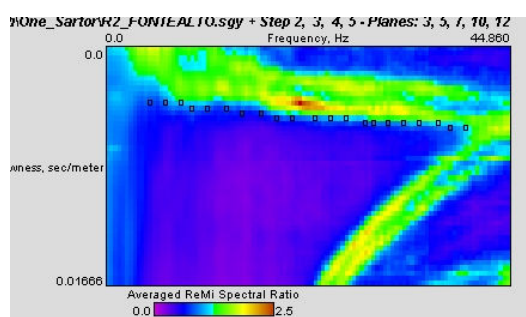
Nello studio del sito in questione è stata adottata la tecnica sopra descritta e l'elaborazione dei dati è stata facilitata dall'uso di un software dedicato denominato *ReMi* e prodotto dalla Optim LLC. Operativamente è stato realizzato uno stendimento da 46 metri; sono stati utilizzati geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz) ed un acquisitore digitale RAS24 a 24 canali con dinamica a 24 bit.

2.2.3 Analisi delle risultanze

Gli spettri di potenza sono stati ottenuti utilizzando una velocità di fase minima di 60m/s e frequenza di corner di 45Hz. Si può facilmente notare come i due spettri mostrino alcune differenze tra di loro a causa della diversa orientazione ed una direttività, anche se non molto marcata, delle sorgenti vibrazionali antropico/naturali.



Spettro p-f profilo 1



Spettro p-f profilo 2

La bassa velocità di fase di input per la focalizzazione dello spettro è indicativa di terreni lenti superficiali. In realtà lo strato soffice superficiale è di spessore molto ridotto e pare che tenda a crescere in direzione sud. Dai modelli verticali delle Vs emerge come al di sotto della coltre epidermica di spessore max 3m si incontrino sedimenti abbastanza addensati ($V_s=300\text{m/s}$) e sostanzialmente omogenei fino a circa 40m dove vengono intercettati terreni più rigidi ($V_s=400\text{m/s}$)

La categoria del sottosuolo di fondazione è la **C** dal momento che i valori di V_{s30} sono compresi tra 272m/s e 288m/s.

2.3 INDAGINE SISMICA PASSIVA CON TECNICA “HVSR” (Horizontal Vertical Spectra Ratio)

2.3.1 Premessa

La tecnica di indagine adottata a supporto di questo studio è conosciuta come *metodo di Nakamura* (1989), dal nome dello scienziato giapponese che l'ha messa a punto, parte dal presupposto che:

1. Il rumore ambientale è generato da riflessioni e rifrazioni di onde di taglio con gli strati superficiali e dalle onde di superficie;
2. Le sorgenti di rumore superficiale non interessano il rumore ambientale alla base di una struttura non consolidata;
3. Gli strati soffici non amplificano la componente verticale del rumore ambientale: questo è composto da onde di superficie tipo Rayleigh generate dall'interazione del vento con le strutture, dal traffico e da altre attività urbane.

Le funzioni di trasferimento **SE** e **AS** che sono rispettivamente l'effetto intrinseco di sito e l'effetto della singola onda Rayleigh possono essere definite come:

$$SE=H_s/H_b \quad AS=V_s/V_b$$

dove **H** e **V** sono gli spettri per le componenti orizzontali e verticali delle registrazioni di rumore ambientale alla superficie (s) o al top del basamento rigido.

Gli effetti di sito, che non comprendono il contributo della sorgente, sono definiti da **SM** come:

$$SM= Se/As \quad \Leftrightarrow SM=H_sV_b/V_sH_b$$

Nakamura e Theodulidis *et al.* (1996) hanno dimostrato che gli spettri delle componenti verticali (**Vb**) e orizzontali (**Hb**) sono equivalenti al top del basamento rigido:

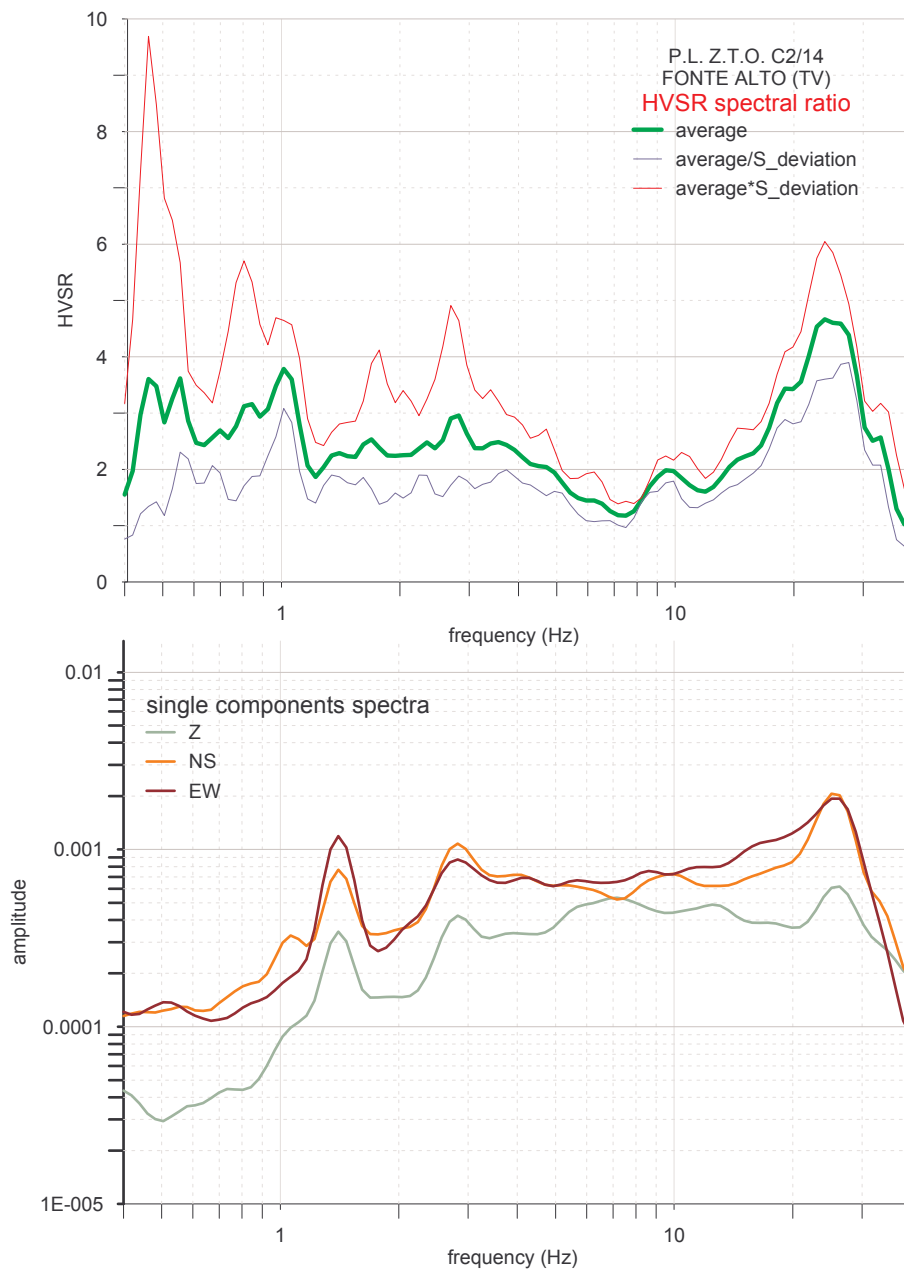
$$\text{Se } H_b/V_b = 1 \text{ allora } SM= H_s/V_s$$

Alla fine quindi, gli effetti di sito **SM** (ampiezza del rapporto spettrale) posso essere espressi come *rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale alla superficie del suolo*. In conclusione questa affermazione implica che **una stima della risposta del terreno in un determinato sito può essere ottenuta con un singolo sismometro a tre componenti**. Esperienze di campagna hanno dimostrato che registrazioni di una quindicina di minuti per sito sono sufficienti per fornire risultati stabili nei differenti contesti urbani.

2.3.2 Sintesi dei risultati

Il test di Nakamura ha fornito una curva dei rapporti spettrali HVSR che risente della bassa qualità della serie temporale disturbata fortemente da condizioni di rumore transiente.

Le informazioni circa le frequenze di interesse sono deducibili dalle curve spettrali delle componenti singole dove si osservano minimi della componente verticale a 0.6Hz, 2Hz oltre che a 20Hz.



Il minimo a 2Hz corrisponde all'interfaccia posta a circa 40m: assumendo una velocità media di 290m/s si ottiene una frequenza di 1.8Hz.

Per il minimo a 0.6Hz si deve ipotizzare che sia il bedrock sismico la sorgente generatrice che si troverebbe ad oltre 150m di profondità.

Nel contesto sismico è sfavorevole la doppia risonanza suolo-struttura.

Nella valutazione del valore massimo di frequenza dei picchi, è opportuno considerare le condizioni più sfavorevoli è perciò l'intervallo del +/- 40% del picco.

Nel caso in esame si consiglia di ripetere le misure HVSR, in quanto la serie temporale è disturbata fortemente da condizioni di rumore transiente.

CONCLUSIONI

In questa relazione sono stati considerati i principali fattori di natura geologica, idrogeologica necessari per l'intervento in oggetto :

- vicinanza della falda al piano campagna, possibilità di saturazione del terreno;
- caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche;
- natura litologica e determinazione dei parametri geotecnici dei terreni, contatti tra formazioni geologiche a comportamento marcatamente diverso.

Si può perciò concludere che:

1. l'area in esame è posta in un'area pianeggiante, per cui non vi è effetto topografico;
2. durante l'esecuzione dei sondaggi, non si è rilevata la presenza di una venute d'acqua. Il livello della falda riscontrato nelle vicinanze all'area in esame (circa 50 metri a Sud-Ovest) era a -4.50 metri dal piano campagna nell'aprile 2010, non si tratta però della massima oscillazione della falda.
3. i sondaggi hanno evidenziato la presenza di terreni superficiali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi. All'atto della costruzione dei singoli fabbricati è necessario eseguire delle indagini geotecniche puntuali, per verificare l'omogeneità laterale e verticale dei litotipi.
4. l'indagine sismica con il metodo "ReMi" ci ha permesso di individuare la velocità delle onde di taglio (per la categoria del sottosuolo v. paragrafi

precedenti). Si consiglia invece di ripetere le misure HVSR, prima della costruzione dei fabbricati, in quanto la serie temporale misurata è disturbata fortemente da condizioni di rumore transiente;

5. le caratteristiche litologiche e idrogeologiche ci permettono di affermare che non vi è alcun rischio di liquefazione nel sito in oggetto.

Il direttore dei lavori dovrà controllare la validità delle ipotesi di progetto durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure e osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

Treviso, Aprile 2010

IL GEOLOGO

