

REGIONE PIEMONTE

Provincia di Cuneo

COMUNE DI BARBARESCO

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE
ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E
CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato n.

A1-8

"Relazione sulla modellazione Sismica"

Dicembre 2014

IL COMMITTENTE:

Tanaro Power S.p.A.

Via Vivaro 2
12051 - Alba (CN)

IL TECNICO INCARICATO:

Dott. Geol. Sergio ROLFO



STUDIO GEOLOGICO
Dott. Geol. Sergio Rolfo
Via Trento e Trieste, 8/c - 12042 Bra (CN)
tel: 0172 421933
e-mail: studiogeologico@tiscali.it

INDICE

PREMESSA.....	2
1 MACROZONIZZAZIONE SISMICA	4
2 MICROZONIZZAZIONE SISMICA	7
3 AZIONE SISMICA.....	9
3.1 Pericolosità sismica di base del sito	9
3.2 Condizioni topografiche	12
3.3 Categoria del suolo di fondazione	13
3.3.1 La tecnica impiegata	14
3.3.2 Metodologia di analisi.....	16
3.3.3 Risultati ottenuti.....	16
3.4 Verifica a liquefazione.....	19
4 PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI	21

ELENCO ALLEGATI

Allegato A **Indagine sismica per la determinazione delle Vs30**

PREMESSA

La presente relazione illustra gli studi e le indagini sismiche, condotti nell'ambito della progettazione finalizzata alla ricostruzione di uno sbarramento fluviale esistente ad uso irriguo che, attualmente, si presenta in avanzato stato di dissesto a causa del crollo verificatisi nel novembre del 2010. La traversa in oggetto è ubicata sul Fiume Tanaro in comune di Barbaresco, circa 650 m a monte del ponte della SP 3 "Castagnito – Neive".

La ricostruzione dello sbarramento si rende necessaria in quanto, a seguito del crollo della traversa, è stata interrotta la derivazione ad uso irriguo del Canale San Marzano di cui è titolare il Consorzio irriguo Capitto; occorre quindi ripristinare le opere di derivazione per garantire la funzionalità della presa attualmente non fruibile.

Oltre che per scopi irrigui, la derivazione è idonea ad essere sfruttata anche per fini idroelettrici, in modo da garantire un uso plurimo della risorsa idrica; a tal proposito si prevede l'installazione di un innalzamento abbattibile al di sopra della traversa fissa e la realizzazione di una centrale idroelettrica in corpo traversa.

Il rischio sismico è il risultato dell'interazione tra il fenomeno naturale e le principali caratteristiche della comunità esposta. Si definisce come l'insieme dei possibili effetti che un terremoto di riferimento può produrre in un determinato intervallo di tempo, in una determinata area, in relazione alla sua probabilità di accadimento ed al relativo grado di intensità (severità del terremoto). La determinazione del rischio è legata a tre fattori principali:

- **Pericolosità** - Esprime la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, un'area sia interessata da terremoti che possono produrre danni. Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata nonché dalle condizioni geomorfologiche. La pericolosità è indipendente e prescinde da ciò che l'uomo ha costruito.
- **Esposizione** - È una misura dell'importanza dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle principali caratteristiche dell'ambiente costruito. Consiste nell'individuazione, sia come numero che come valore, degli elementi componenti il territorio o la città, il cui stato, comportamento e sviluppo può venire alterato dall'evento sismico (il sistema insediativo, la popolazione, le attività economiche, i monumenti, i servizi sociali).
- **Vulnerabilità** - Consiste nella valutazione della possibilità che persone, edifici o attività

subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel suo complesso esprime in condizioni normali. Ad esempio nel caso degli edifici la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione ed esprime la loro resistenza al sisma.

Le indagini per la valutazione del rischio sismico possono quindi essere suddivise in due fasi:

- Macrozonizzazione sismica.
- Microzonizzazione sismica.

1 MACROZONIZZAZIONE SISMICA

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone *et al.* 1996 - 2000), riportata nella figura 1.1, che rappresenta la traduzione operativa del modello sismo-tettonico riassunto in Meletti *et al.* (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici".

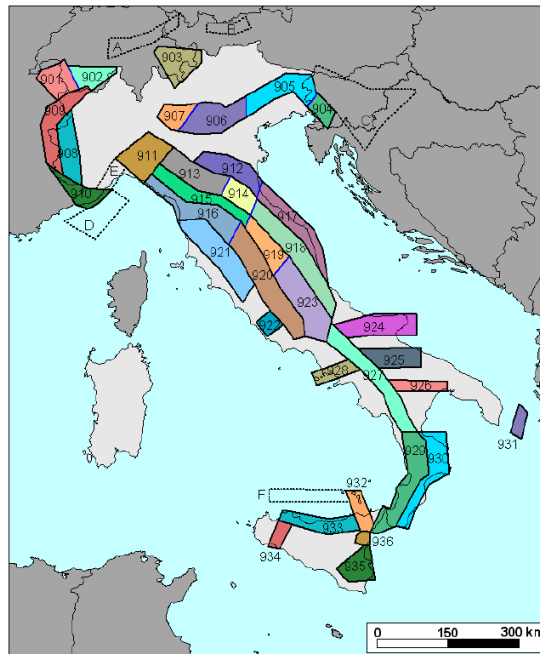


Figura 1.1 - Zonizzazione sismogenetica ZS9.

Come accennato in precedenza, con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72, vengono individuate, in prima applicazione, le zone sismiche sul territorio nazionale, e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone sismiche stesse. Secondo tale ordinanza il territorio nazionale è suddiviso in 4 zone sismiche, ciascuna delle quali è stata definita in funzione di determinati intervalli

dei valori dell'accelerazione orizzontale massima del suolo, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (a_g , a_{max} o PGA - *Peak Ground Acceleration*) riferita ad un substrato rigido assimilabile al *bedrock* ("suolo di categoria A") e associata ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, cioè ad un tempo di ritorno di 475 anni. L'accelerazione massima di riferimento, per il sito oggetto di studio, raggiunge valori massimi di PGA pari a 0,05g.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni a_g/g	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) a_g/g
1	> 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

La classificazione vista sopra è stata successivamente integrata dall'Ordinanza PCM. n. 3519/2006 con la pubblicazione della mappa della pericolosità sismica di riferimento (Fig. 1.2) e della seguente tabella che attribuisce i valori di a_g orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta.

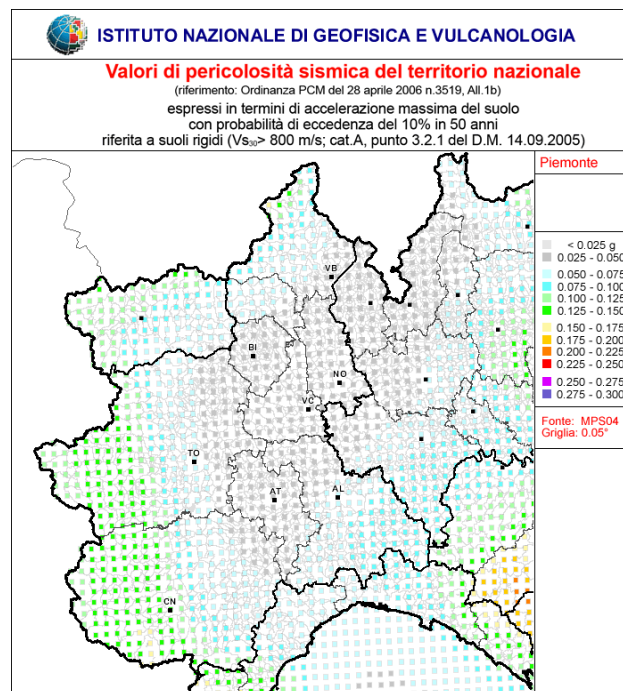


Figura 1.2 - Carta di pericolosità sismica del territorio regionale espresse in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni) Le aree a diverso PGA sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi.

Infine la Deliberazione della Giunta Regionale 12 dicembre 2011, n. 4-3084 "D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 - Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese" provvede all'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche e approva le procedure attuative della nuova classificazione sismica secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 e sancisce che il comune di Barbaresco risulta classificato in zona 4 (Fig. 1.3).

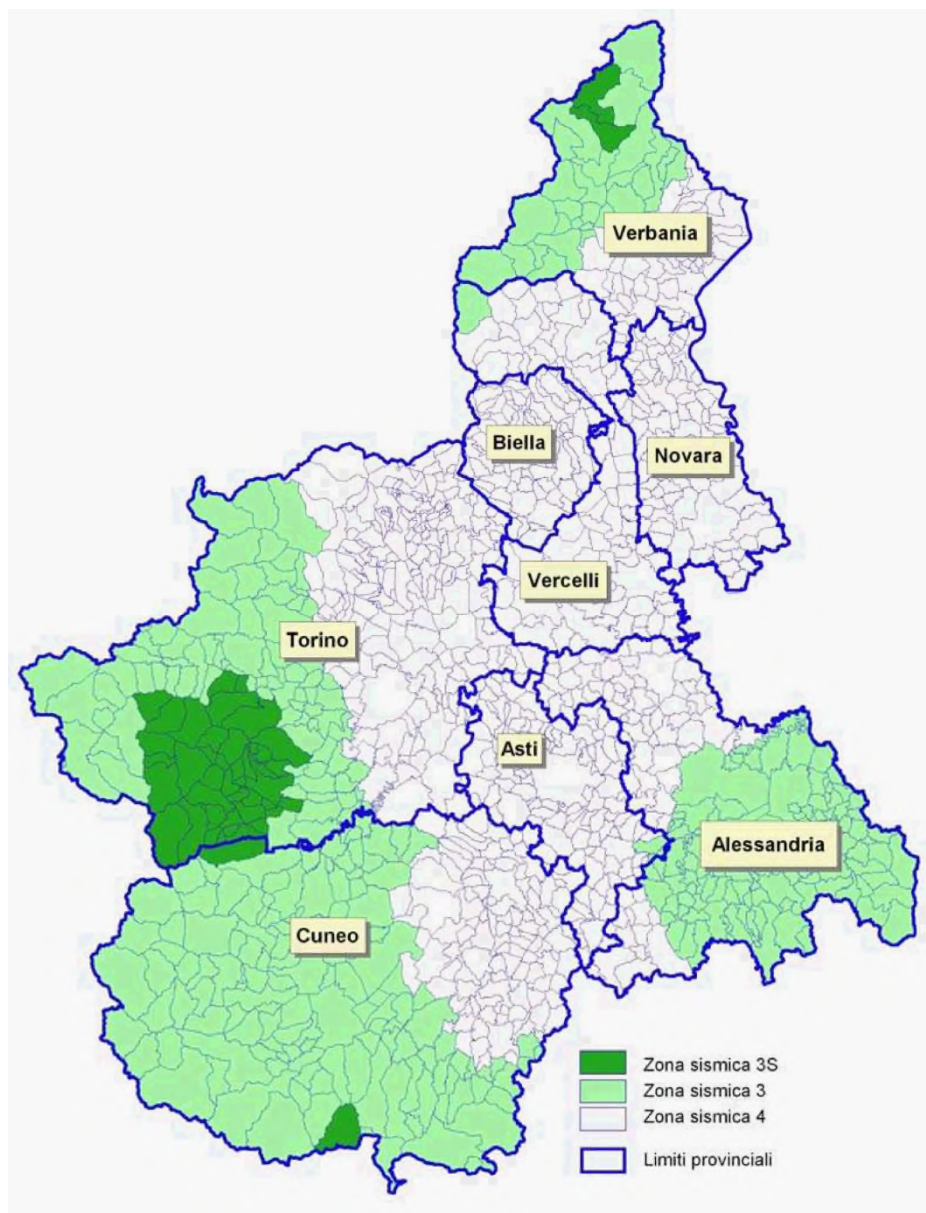


Figura 1.3 - Nuova classificazione ai sensi della DGR n. 4-3084 del 12 dicembre 2011.

2 MICROZONIZZAZIONE SISMICA

La microzonazione deve sostanzialmente individuare la presenza di terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono determinare sui terreni dinamicamente stabili. Esistono infatti particolari situazioni geologiche e geomorfologiche che determinano variazioni nella risposta sismica locale (amplificazione e attenuazione delle onde sismiche, fenomeni di liquefazione) e quindi condizioni di pericolosità indotta.

Sulla base di informazioni raccolte in bibliografia (Geoportale - ARPA Piemonte) sono disponibili i dati relativi a:

- **"Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04)"** fornisce la localizzazione dei terremoti italiani storici sino al 2002; catalogo realizzato a seguito dell'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 (Gruppo di lavoro MPS, 2004), come aggiornamento del precedente CPTI99 del 1999.
- **"Sismicità strumentale e Sismicità recente"** fornisce un elenco di sismi registrati dalla rete RSNi dal 1982 ad oggi. Dallo stesso dataset sono estratti gli eventi sismici occorsi negli ultimi 15 giorni che costituiscono il tematismo della sismicità recente.

Le informazioni raccolte evidenziano la seguente attività sismica (Tabb. 2.1 e 2.2):

Data origine	Latitudine	Longitudine	Magnitudo	Orario origine	Tipo di magnitudo
11/24/1786	44,692	8,033	4,63	06:00:00	MOMENTO
08/21/2000	44,768	8,433	4,9	17:14:28	MOMENTO
05/14/1549	44,666	8,000	4,83	00:00:00	MOMENTO

Tabella 2.1 – Geoportale - ARPA Piemonte - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04).
Dati relativi ai terremoti con relativa magnitudo nell'intorno di circa 15 km dall'area in esame.

Data origine	Latitudine	Longitudine	Magnitudo	Profondità	Tipo di magnitudo
03/23/2004	44,7229995728	8,1099996567	2,10	3,1700000763	DURATA
07/05/2001	44,7439994812	8,1129999161	2,10	4,4099998474	DURATA
08/20/2011	44,7271995544	8,128499984700001	1,18	4,4200000763	LOCALE
04/10/2009	44,7532997131	8,148500442500001	1,23	15,9300003052	LOCALE
01/21/2007	44,7130012512	8	2,70	16,2800006866	DURATA
01/08/1988	44,7599983215	8,0279998779	2,40		LOCALE

Data origine	Latitudine	Longitudine	Magnitudo	Profondità	Tipo di magnitudo
08/05/1998	44,7480010986	8,1789999008	2	19	LOCALE
10/17/1986	44,7220001221	8,1949996948	2,80		LOCALE
04/10/2009	44,7022018433	8,1335000992	1,19	15,1499996185	LOCALE
08/20/2011	44,7197990417	8,1326999664	1,20	0,4199999869	LOCALE
08/20/2011	44,7293014526	8,134499549900001	1,20	7,5	LOCALE
08/20/2011	44,7318000793	8,1346998215	1,44	2,4500000477	LOCALE
04/15/1995	44,75	8,1420001984	2,10	14	LOCALE
08/20/2011	44,7247009277	8,1323003769	1,55	2,7100000381	LOCALE
10/01/2003	44,7569999695	8,1610002518	2,20	17,4200000763 00003	DURATA
06/18/1996	44,7879981995	8,1319999695	2,10	2	LOCALE

Tabella 2.2 – Geoportale - ARPA Piemonte - Sismicità strumentale e Sismicità recente. Dati relativi ai terremoti con relativa magnitudo nell'intorno di circa 5 km dall'area in esame.

3 AZIONE SISMICA

3.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO

L'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è intesa come accelerazione massima orizzontale ag in condizioni di campo libero su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), con superficie topografica orizzontale (*di categoria di sottosuolo A*; NTC, § 3.2.2), ma è definita anche in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PV_R , come definite nelle NTC nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è consentito l'uso di accelerogrammi, purché congruenti con la pericolosità sismica del sito.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "*sito dipendente*" e non più tramite un criterio "*zona dipendente*".

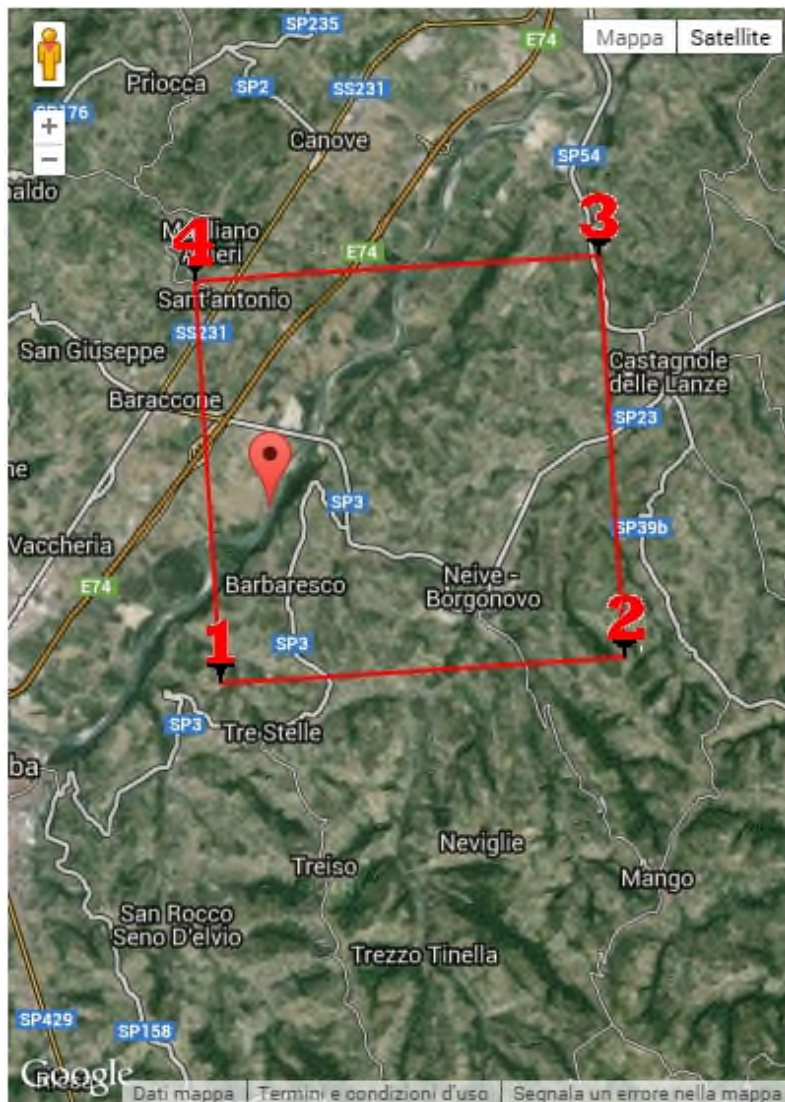
In particolare, le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento PV_R nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori di alcuni parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag** accelerazione massima sul sito;
- **F_0** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T_c^*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per i 10751 nodi del reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio italiano e per 9 valori del periodo di ritorno T_R .

Il primo passo dell'analisi è quindi quello di calcolare le coordinate geografiche del sito di intervento in modo da acquisire successivamente le azioni sismiche locali (proprie del sito specifico) sulla base di un reticolo di riferimento (Fig. 3.1).

Successivamente sono definiti i parametri fondamentali di seguito indicati, sulla scorta dei coefficienti che definiscono la tipologia e la classe d'uso dell'opera, in funzione della scelta della strategia di progettazione.



	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15352	44,711990	8,073431	2486,0
Sito 2	15353	44,715160	8,143599	5302,2
Sito 3	15131	44,765060	8,139113	5729,9
Sito 4	15130	44,761890	8,068980	3305,7

Fig. 3.1 - Ubicazione dell'area in esame e identificativo / coordinate / distanza dei siti di riferimento dall'area in esame.

▪ Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella seguente tabella:

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

▪ **Coefficiente d'uso della costruzione**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

▪ **Periodo di riferimento per la costruzione**

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso $C_U - V_R = V_N * C_U$.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente tabella:

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

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

In riferimento all'intervento in esame, si sono attribuiti i seguenti parametri:

Ubicazione*		Classe d'uso**	Coeff. d'uso**	Vita nominale
Latitudine (°)	Longitudine (°)			
44,733564	8,081686	I	0,7	50

* coordinate geografiche espresse nel sistema ED50.

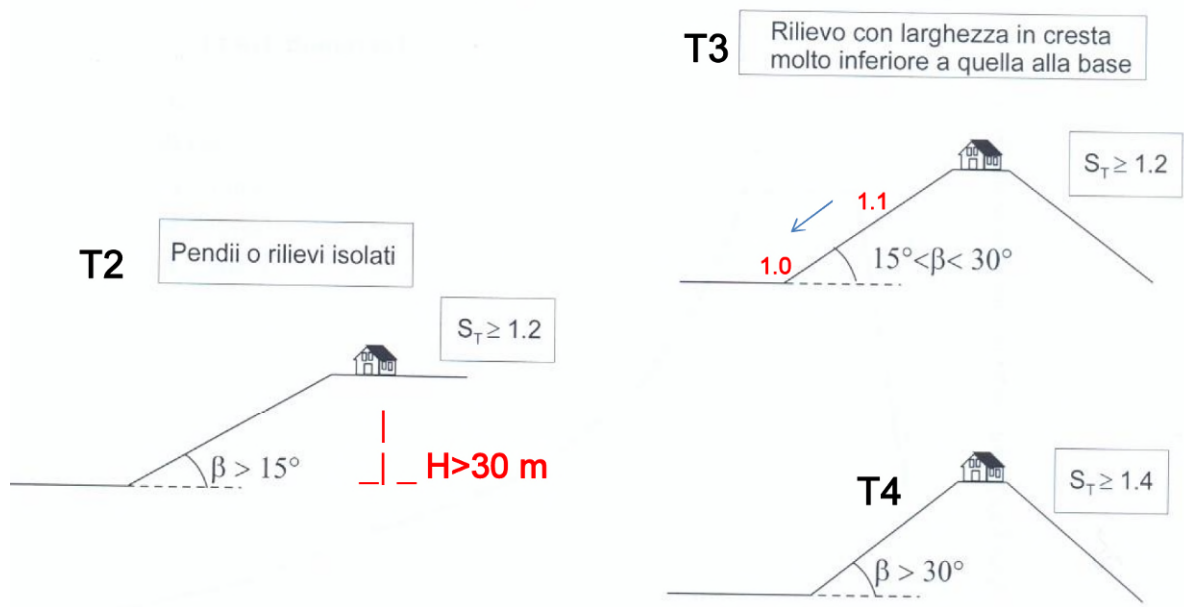
** tale assegnazione deve essere verificata in fase progettuale.

3.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Tabella 3.2.IV - *Categorie topografiche* + T ab. 3.2.VI - *Valori del fattore di amplificazione*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4



Le su esposte 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 $> 30\text{ m}$, tenendo conto che si ha un decremento lineare con l'altezza del pendio dalla sommità alla base dove $S_T = 1.0$.

In riferimento all'intervento in esame, si sono attribuiti i seguenti parametri:

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

3.3 CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Il D.M. 14.1.2008, in accordo con la ridetta Ordinanza n. 3274 2003 propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque (A - B - C - D - E) tipologie di suoli (più altri due speciali: S1 e S2), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno ($V_{s,30}$). In particolare è consentito un *approccio semplificato* per la determinazione dell'azione sismica, qualora si utilizzino i metodi di *analisi lineare statica* per le verifiche di sicurezza. Essa è determinata come *risposta sismica locale*, attraverso l'individuazione delle **Categorie di sottosuolo** (Cap. 3.2.2 delle N.T.C.) e delle *Categorie topografiche* (Tab. 3.2.IV delle N.T.C.) elementi in grado di valutare l'influenza locale delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche.

Tipo di terreno	Descrizione stratigrafica del profilo	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (colpi/30 cm)	C_u (kPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille consistenti, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con valori $V_{s,30}$ di simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con valore di $V_{s,30}$ > 800 m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato dello spessore di almeno 10 m di argille /limi di bassa consistenza con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua	< 100 (indicativo)	-	10-20
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti A-E o S1			

Al fine di ottenere informazioni indirette sulla velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, secondo profili verticali relativi ai primi 30 m di profondità, misurati dal piano di imposta delle fondazioni, è stata eseguita un'analisi sismica passiva (All. A) basata sulla tecnica delle misure del microtremore ambientale.

3.3.1 LA TECNICA IMPIEGATA¹

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 3.2, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo "minimo" di riferimento mentre la curva verde rappresenta il "massimo" di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

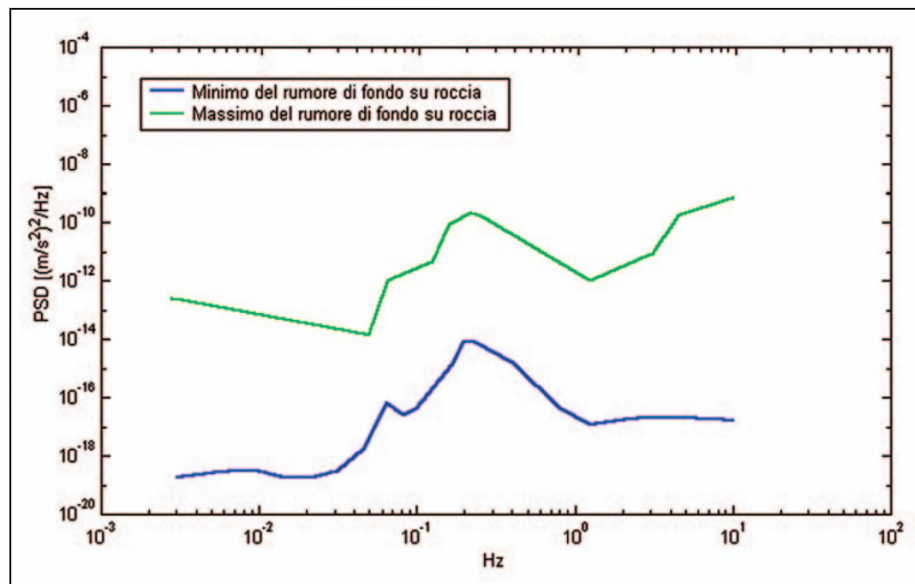


Fig. 3.2 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

1 Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L.M, *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica*, «IL GEOLOGO», 2007, 25, pp. 25 - 38.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di *guida d'onda*. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (***Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V***), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001).

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D) e variano solo con la profondità. Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sottostante equazione.

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H}$$

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relati-

vamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (si rimanda alla letteratura per le basi teoriche).

3.3.2 METODOLOGIA DI ANALISI

La misura di microtremore ambientale, della durata di 20 minuti, è stata effettuata con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz. Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro S. (2010)², con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

Nei casi multistrato più complessi le curve H/V si invertono invece creando una serie di modelli sintetici, da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

3.3.3 RISULTATI OTTENUTI

L'indagine è stata svolta eseguendo n° 1 misura di microtremore ambientale a stazione singola (TR), la cui ubicazione è riportata nell'Elaborato A3-9 *Carta geologica con ubicazione indagini*. Tale indagine è stata svolta nelle vicinanze del punto in cui è stata eseguito il sondaggio S1 (Elaborato A3-9 / Fig. 3.4).

Nella prova TR la curva H/V mostra 3 picchi (Fig. 3.3); l'analisi degli spettri singoli mette chiaramente in evidenza che si tratta di picchi di natura stratigrafica (All. A).

Il primo picco, in alta frequenza, a circa 46 Hz è causato dalla differenza di competenza interna all'UGT1 (Complesso ghiaioso-sabbioso) tra le ghiaie sciolte superficiali e le sottostanti ghiaie più addensate (Elaborato A1-3 *Relazione geologica e geotecnica sulle indagini*).

Il picco a circa 11 Hz è causato dalla differenza di competenza tra l'UGT1 e la sottostante UGT2 (Elaborato A1-3).

Più in profondità si osserva che le litologie hanno caratteristiche sismiche maggiormente uniformi, seppur intorno a 50 - 60 m si nota un terzo picco a circa 2 Hz probabilmente causato dall'aumento di consistenza del Complesso marnoso (UGT2).

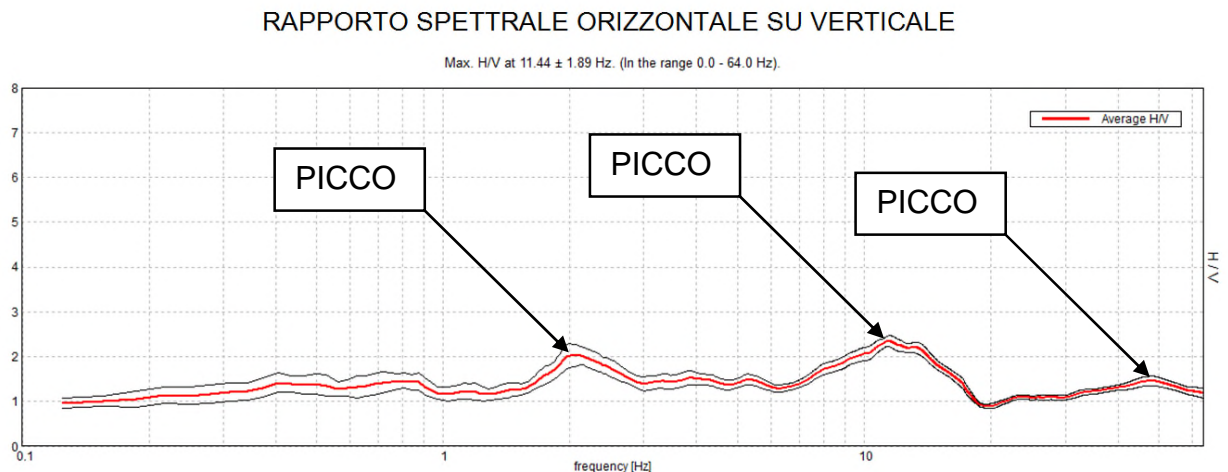


Fig. 3.3 - Estratto del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" contenuto nell'Allegato A.

Nel sito, sulla base del modello derivato, si ottiene la stima del V_{s30} in questi termini:

Categoria B di sottosuolo (Cap. 3.2.2 delle N.T.C.): Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti 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 $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).



Fig. 3.4 - Particolare e ubicazione dello strumento utilizzato (Tromografo TROMINO).

3.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

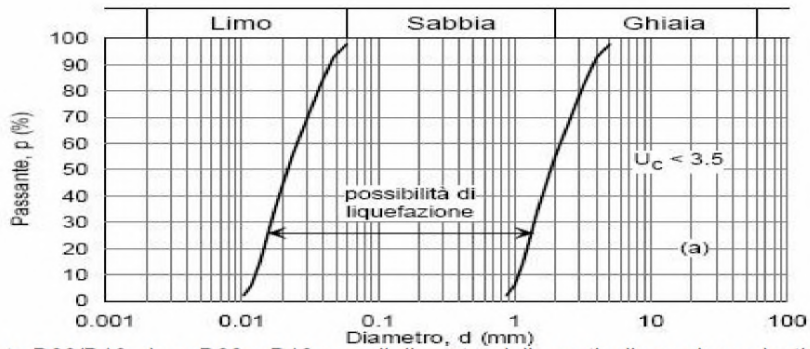
Il sito deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze (D.M. 14/01/2008 - NTC 2008):

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (D.M. 14/01/2008).

(U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).



U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa

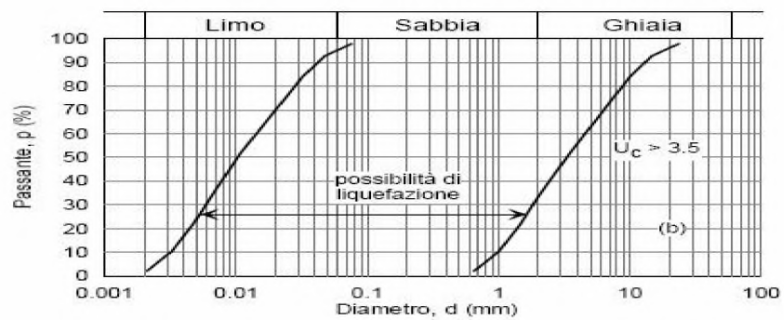


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione, nel caso in esame, **può essere omessa** in quanto, sulla base delle indagini eseguite e dei dati bibliografici (Elaborato A1-3) si manifesta la circostanza 4.

4 PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI

In riferimento a quanto precedentemente esposto nell'ambito del sito, oggetto di studio, si evidenziano i seguenti dati:

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 35 anni*

Coefficiente c_u : 0.7*

* tale assegnazione deve essere verificata in fase progettuale

	Probabilità superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,018	2,624	0,161
Danno (SLD)	63	35	0,020	2,618	0,169
Salvaguardia della vita (SLV)	10	332	0,041	2,678	0,273
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	682	0,050	2,739	0,300

Coefficienti Sismici

(fondazioni)

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,580	1,000	0,004	0,002	0,216	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,005	0,002	0,231	0,200
SLV	1,200	1,430	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLC	1,200	1,400	1,000	0,012	0,006	0,583	0,200

ALLEGATO A

Indagine sismica per la determinazione delle Vs30

BARBARESCO, IMPIANTO IDROELETTRICO

Strumento: TRZ-0154/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 11/12/14 14:42:04 Fine registrazione: 11/12/14 15:02:04

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 58% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

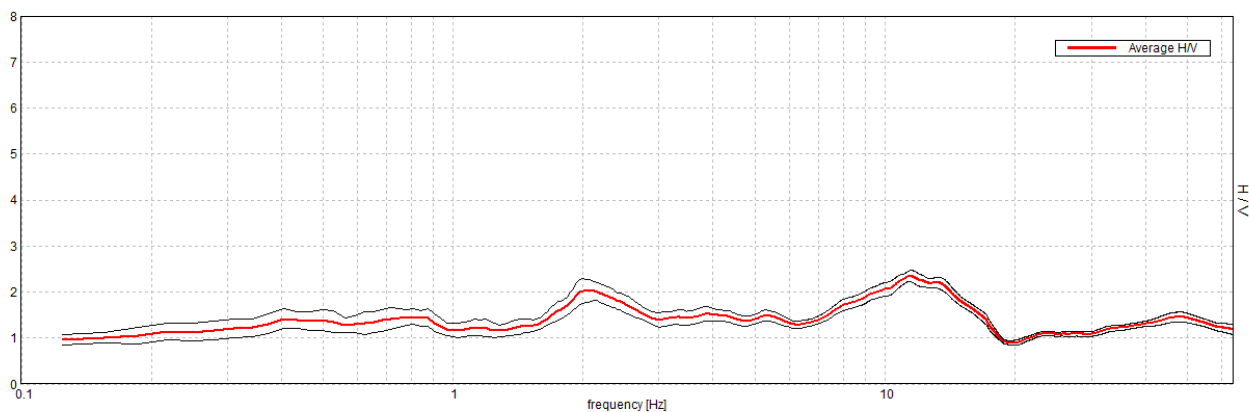
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

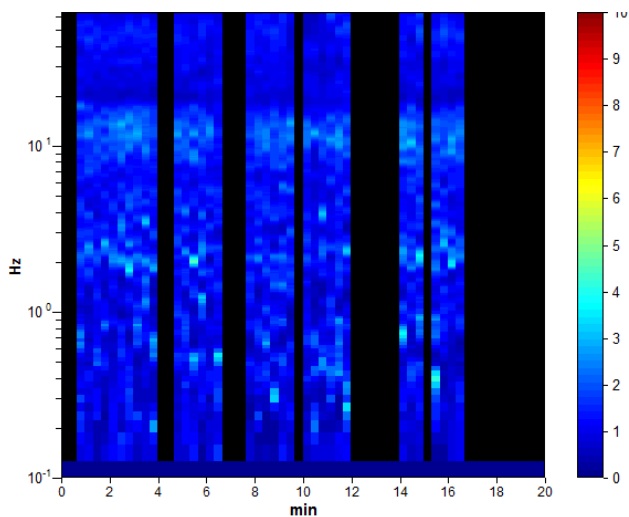
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

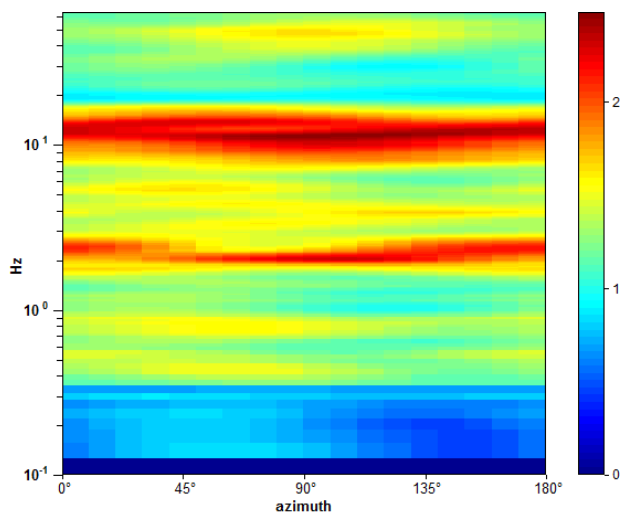
Max. H/V at 11.44 ± 1.89 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



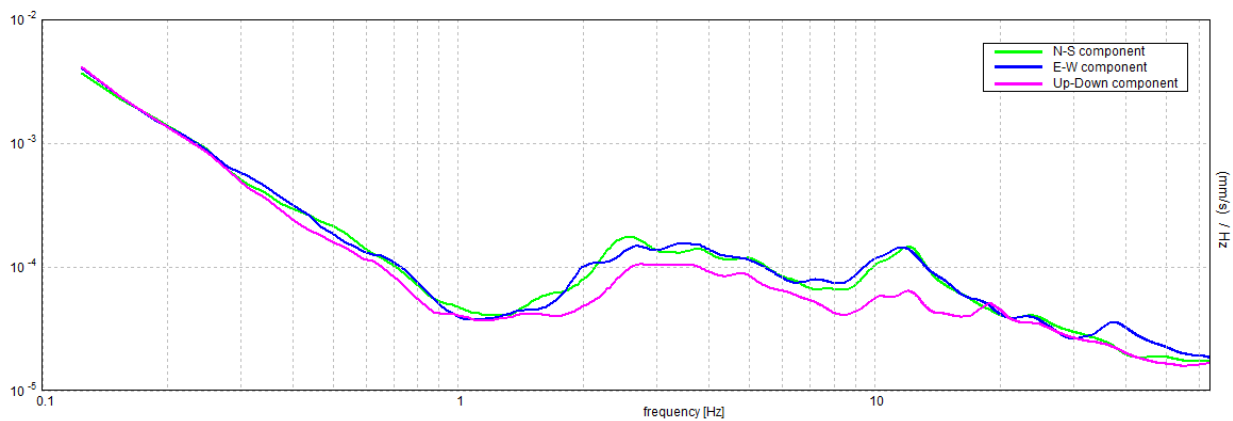
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

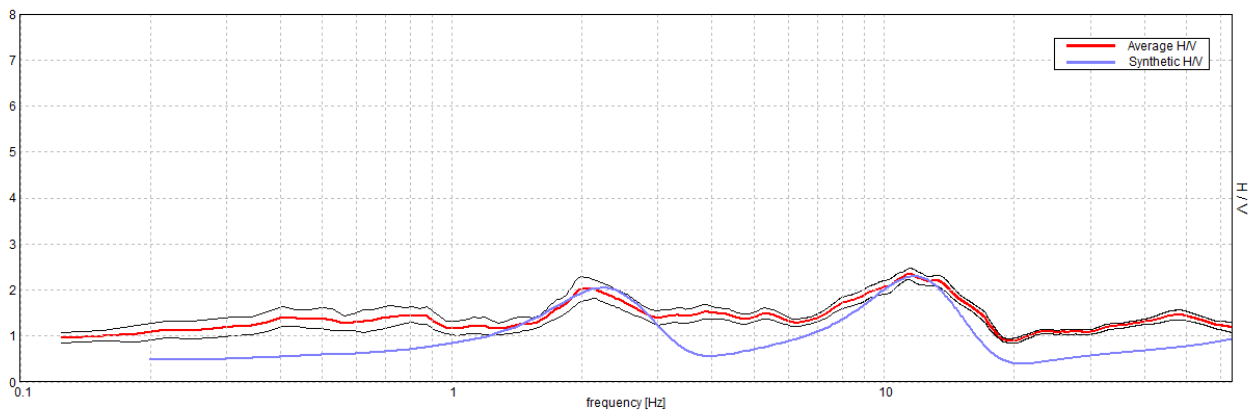


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



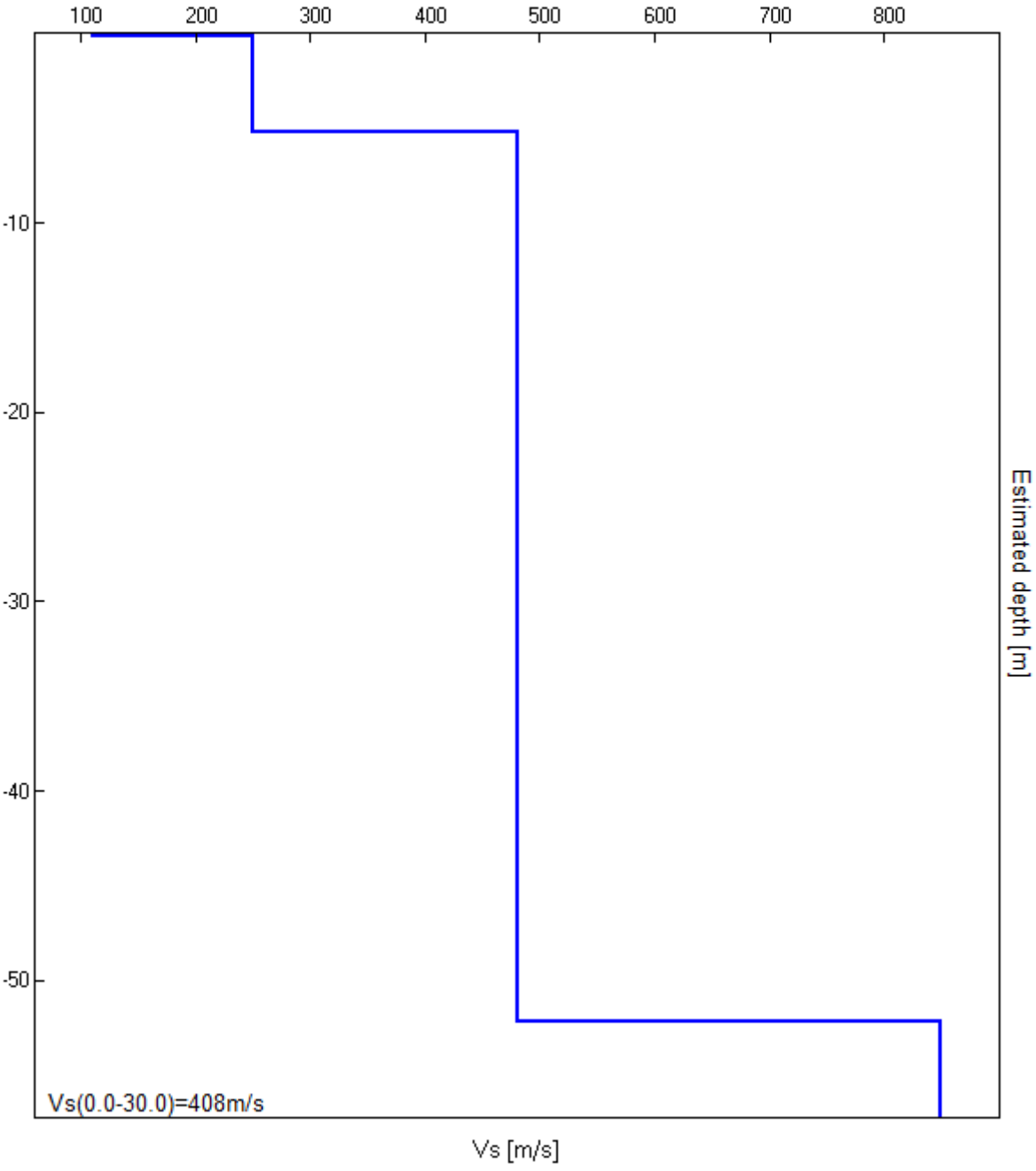
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 11.44 ± 1.89 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.20	0.20	110	0.42
5.20	5.00	250	0.42
52.20	47.00	480	0.40
inf.	inf.	850	0.40

Vs(0.0-30.0)=408m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 11.44 ± 1.89 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$8006.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 550	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.35 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16493 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.88642 < 0.57188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1217 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20