

**Dr. Geologo Roby VUILLERMOZ**

Tel 016541854 - 3358079496 - Fax 0165369567 - e-mail: [studio@vuillermoz.it](mailto:studio@vuillermoz.it)

Partita IVA 00621420074

rue Charrey, 6 - 11100 AOSTA (AO)

[studio@vuillermoz.it](mailto:studio@vuillermoz.it)

C.F. VLL RBY 69A25 A326A



Regione Autonoma Valle d'Aosta

Comune di Gignod

Region Autonome Vallee d'Aoste

Commune de Gignod

*Progetto di realizzazione di  
cabina MT/BT e collegamento  
linea elettrica  
in località Planet*

**PROGETTO MUNICIPALE**

- **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**
- **MODELLAZIONE SISMICA**

**Committente:**

*C.E.G.*

**Commessa:**

**18221RG**

**Emissione:**

*ottobre 2018*

**Versione:**

*1*





# SOMMARIO

<b>1. GENERALITÀ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELLE OPERE .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>7</b>
4.1 CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA .....	7
4.2 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	7
4.3 CARATTERIZZAZIONE STRUTTURALE.....	7
4.4 CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA .....	7
4.5 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA.....	8
4.6 PERICOLOSITÀ GEOLOGICA.....	9
<b>5. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO .....</b>	<b>11</b>
5.1 DEFINIZIONE DI SOTTOPRODOTTO.....	11
5.2 CANTIERI DI PICCOLE DIMENSIONI.....	12
<b>6. AMBITI INEDIFICABILI E VINCOLI TERRITORIALI.....</b>	<b>12</b>
<b>7. MODELLAZIONE SISMICA .....</b>	<b>14</b>
7.1 PREMESSE .....	14
7.2 DEFINIZIONE DEL TERREMOTO DI PROGETTO .....	16
7.3 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	18
7.4 DEFINIZIONE DELLE FORME SPETTRALI.....	19
7.5 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	22
7.5.1 <i>Indagine geofisica tramite tecnica HVSR .....</i>	<i>23</i>
7.5.2 <i>Analisi dei risultati dell'indagine HVSR.....</i>	<i>24</i>
7.5.3 <i>Coefficiente di amplificazione stratigrafica Ss.....</i>	<i>25</i>
7.5.4 <i>Coefficiente di amplificazione topografica St .....</i>	<i>26</i>
7.6 PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO.....	27
7.6.1 <i>Stabilità alla liquefazione .....</i>	<i>28</i>
<b>8. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>29</b>
<b>9. PRECAUZIONI PROGETTUALI E MODALITÀ COSTRUTTIVE.....</b>	<b>30</b>
<b>10. CONCLUSIONI .....</b>	<b>31</b>

Collaboratore: dott. geol. iunior Alessandro Zoja

## 1. GENERALITÀ

Su incarico della **C.E.G. Società Cooperativa Elettrica Gignod** è stata eseguita un'indagine geologico-tecnica riguardante il progetto di realizzazione di una cabina MT/BT e del collegamento della linea elettrica in località Planet, nel comune di Gignod.

Al fine di raggiungere la piena conoscenza dell'area oggetto dell'opera, si è proceduto all'esecuzione di una campagna di rilievi, all'analisi delle fotografie aeree disponibili ed allo studio della letteratura esistente circa il sito in questione.

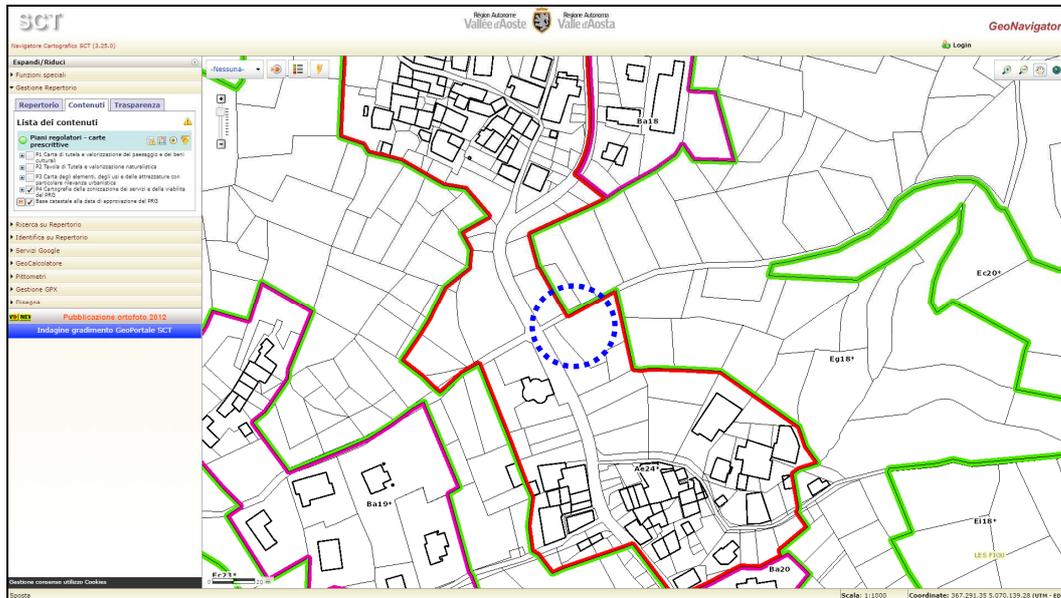
Il contenuto della presente è conforme a:

- D.M. 11.03.88 – *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno sulle terre e delle opere di fondazione"*;
- D.M. 14.01.08 – *"Norme tecniche per le costruzioni"*;
- CIRCOLARE n. 617 del 02.02.09 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.08;*
- D.M. 17.01.18 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*;
- Legge regionale 6 aprile 1998, n. 11 e s.m.i. – *Normativa urbanistica e di pianificazione territoriale della Valle d'Aosta;*
- Deliberazione della Giunta regionale n. 2939 del 10 ottobre 2008 – *Approvazione delle nuove disposizioni attuative della legge regionale 6 aprile 1998 n. 11 previste agli artt. 35, 36 e 37 in sostituzione dei capitoli I, II e III dell'allegato a alla deliberazione della giunta regionale 15 febbraio 1999, n. 422 e revoca della deliberazione della giunta regionale n. 1968/2008 – e s.m.i.;*
- Legge regionale 31 luglio 2012, n. 23 e s.m.i. – *Disciplina delle attività di vigilanza su opere e costruzioni in zone sismiche;*
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - *Norme in materia ambientale;*
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 13 giugno 2017, n. 120 (Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164);
- LINEE-GUIDA PER LA GESTIONE DEI MATERIALI/RIFIUTI INERTI DERIVANTI DALLE ATTIVITÀ DI DEMOLIZIONE, COSTRUZIONE E SCAVO, COMPRESSE LE COSTRUZIONI STRADALI, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DERIVANTI DA SCAVI E DELLE MISCELE BITUMINOSE – DISPOSIZIONI PER LA GESTIONE DEI FANGHI DI DRAGAGGIO DEI BACINI IDROELETTRICI – RAVDA – Settembre 2018 vers. 2.

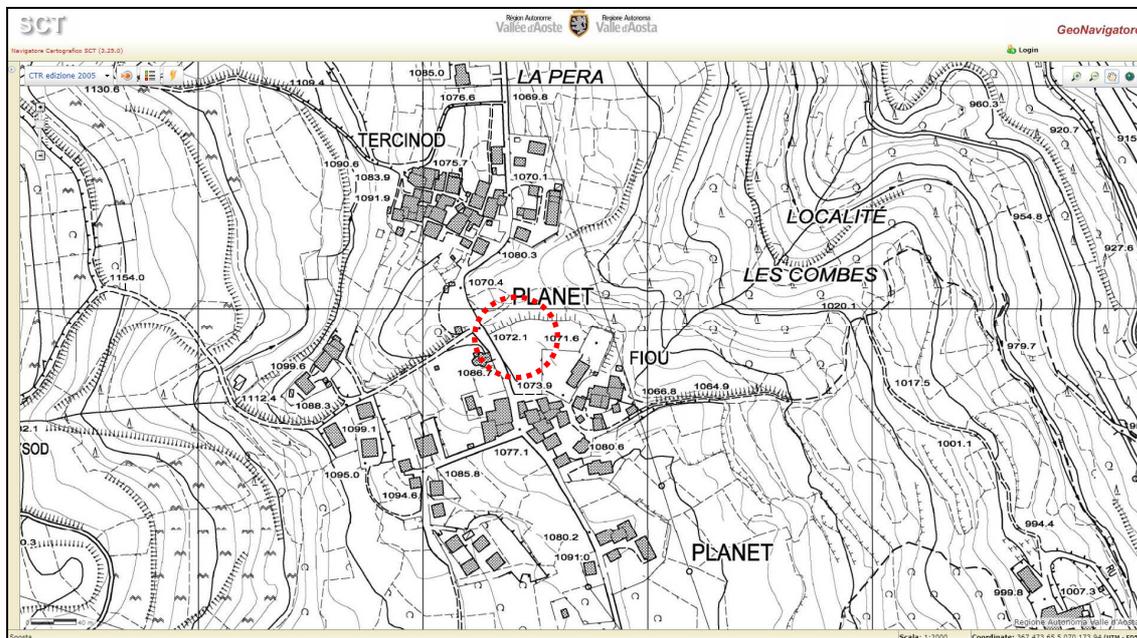
## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il settore, individuato sulla planimetria catastale del comune di Gignod, è situato in località Planet, ad una quota di circa 1.070 m s.l.m..

L'area insiste su di un settore moderatamente acclive, caratterizzato in prevalenza da pascoli e/o prati irrigui.



*Estratto di PRG del comune di Gignod – GeoNavigator – sito web RAVA*



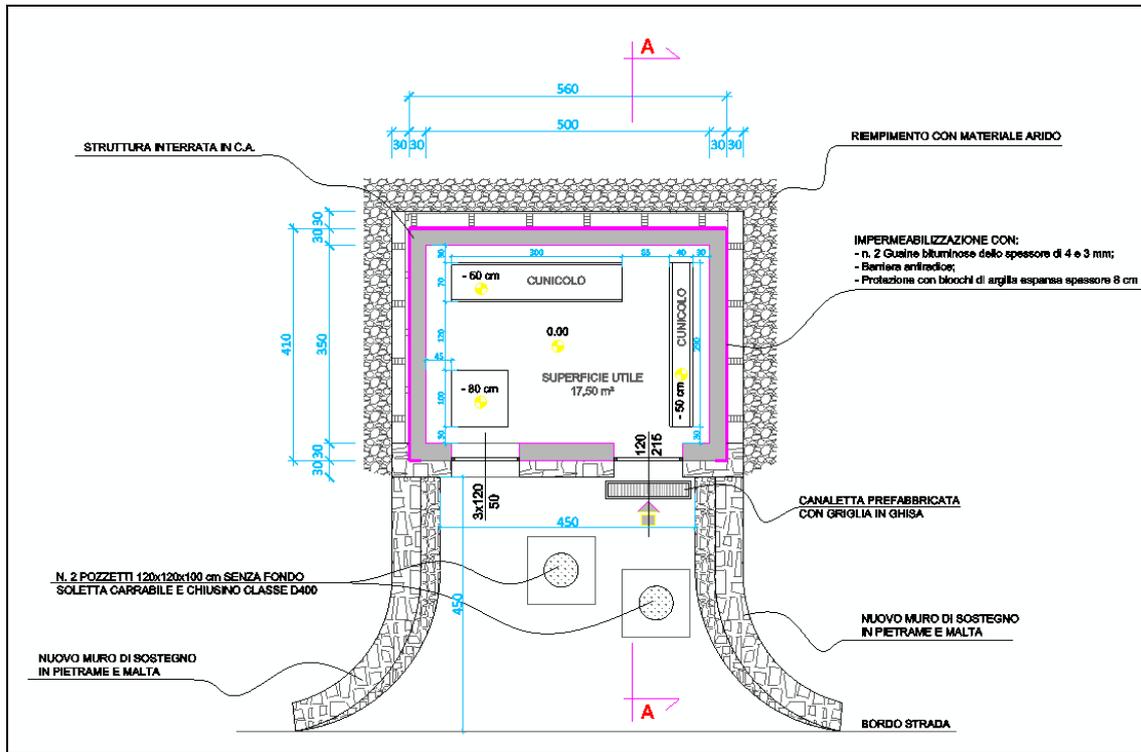
*Corografia su base C.T.R. – GeoNavigator – sito web RAVA*

### 3. DESCRIZIONE DELLE OPERE

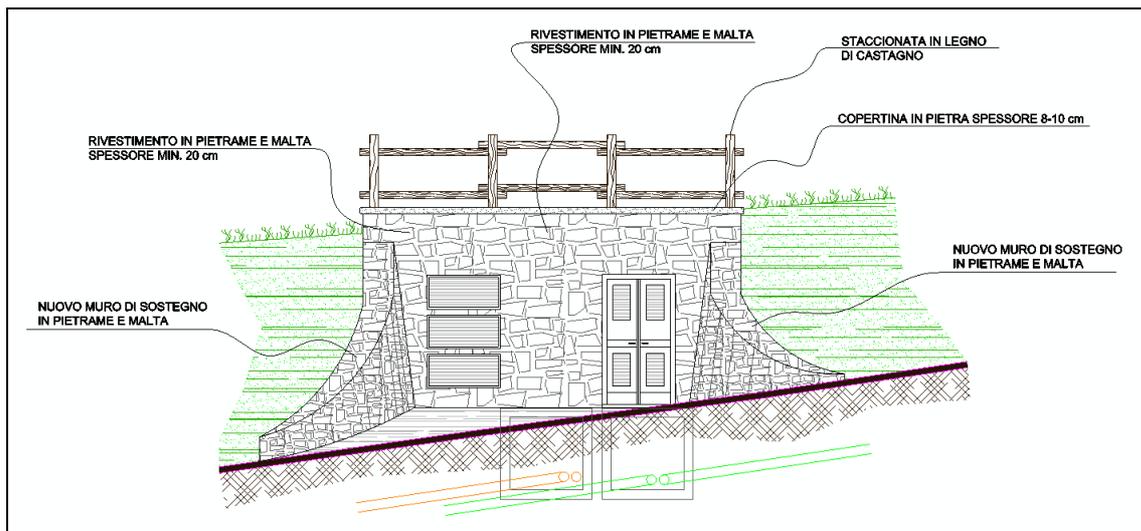
In base a quanto risulta dagli elaborati del progetto eseguito dal geom. BOCH Luca, di cui si riportano alcuni estratti progettuali, si intende realizzare una nuova cabina MT/BT ed il collegamento della linea elettrica.

La struttura è impostata secondo la consueta tipologia e con usuali strutture fondali di tipo superficiale.

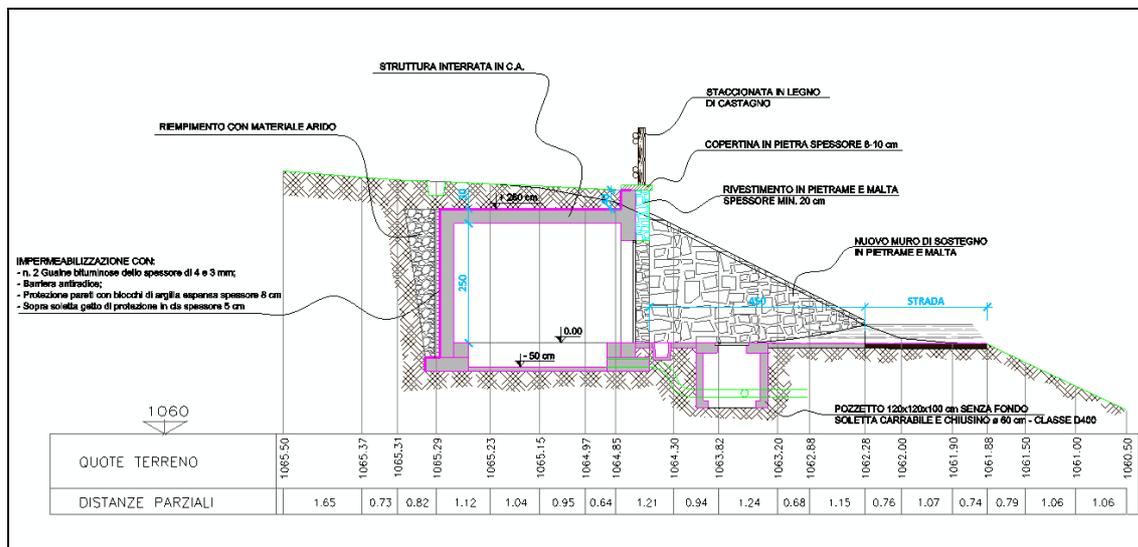
Il piano di fondazione è previsto, compatibilmente all'andamento topografico del sito, ad un livello massimo di -3.5 m dal piano di campagna attuale.



*Pianta di progetto*



*Prospetto di progetto*



Sezione AA di progetto

Per maggiori ragguagli tecnici si rimanda agli elaborati di progetto.

## 4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

### 4.1 CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA

Il substrato è presente in diversi affioramenti lungo gli speroni, nelle pareti rocciose ed in corrispondenza delle incisioni torrentizie. Le rocce appartengono essenzialmente alla “Falda della Dent Blanche”; a Sud, nel settore di fondovalle, è rinvenibile il substrato appartenente alla Zona Piemontese. Alla “falda della Dent Blanche” (unità del Mont Mary) si hanno in questo settore essenzialmente degli gneiss.

### 4.2 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il sito in esame è caratterizzato dalla presenza di aree mediamente acclivi e composte essenzialmente da depositi glaciali: questi comprendono materiale eterometrico ed eterogenico costituito da ghiaie e ciottoli immersi in una matrice sabbioso-limosa. Tutta la formazione risulta notevolmente rimaneggiata e sormontata da una importante copertura eluvio-colluviale di potenza variabile (solitamente la potenza raggiunge i 40 cm), nonché da materiale di riporto.

Non si esclude inoltre la presenza di occasionali trovanti di grosse dimensioni.

### 4.3 CARATTERIZZAZIONE STRUTTURALE

Nell’areale non sono presenti affioramenti rocciosi e non si segnalano fenomeni di neotettonica nei depositi quaternari.

### 4.4 CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

La circolazione idrica del settore avviene principalmente nei materiali sciolti costituenti la copertura glaciale e risulta legata alla presenza di livelli impermeabili costituiti da occasionali intercalazioni limose.

La falda freatica non si manifesta, nella zona in esame, a livelli superficiali.

Tuttavia, dato il grado di permeabilità del terreno e la struttura geomorfologica del sito, non sono da escludere falde di versante stagionali caratterizzate tuttavia da una bassa potenzialità.

Nell'areale ove si intendono realizzare i lavori non si sono rilevate, durante il sopralluogo, risorgenze o venute d'acqua.

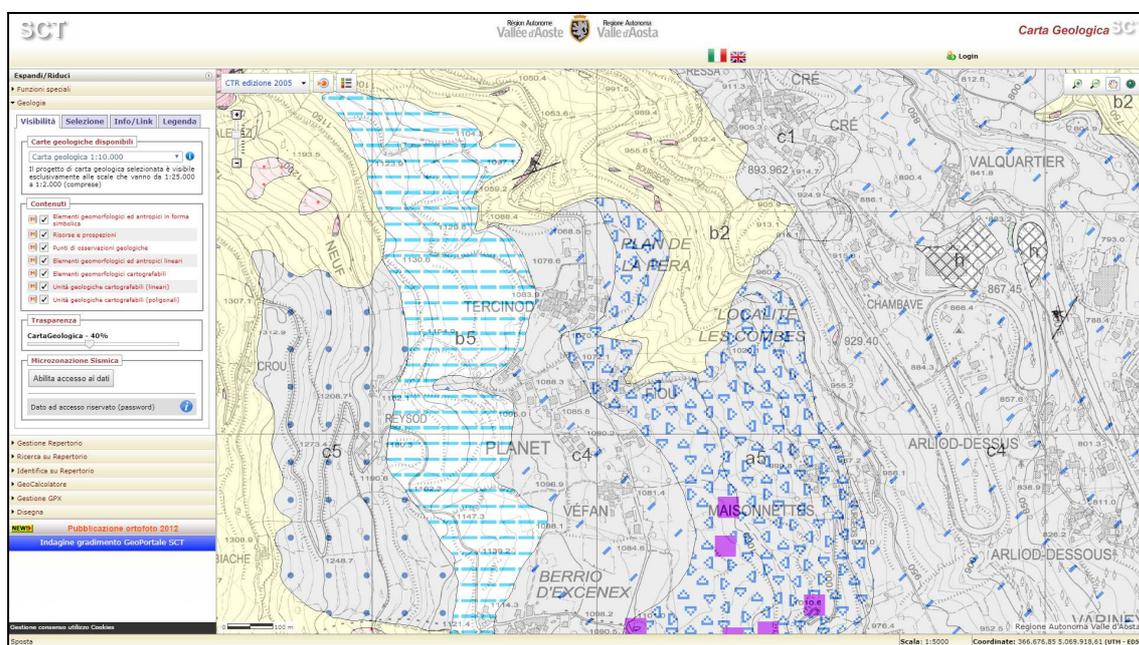
#### 4.5 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

Il territorio oggetto della presente relazione è situato lungo il versante destro orografico della valle incisa dal "Torrent Buthier".

Tutto il versante è caratterizzato da una morfologia glaciale profondamente rimodellata, sulla quale si è sovrimposta l'azione di diversi movimenti gravitativi che ne hanno determinato l'attuale assetto morfologico.

Dal punto di vista geologico, il settore in oggetto si sviluppa su di un ampio terrazzo glaciale, in un'area costituita da depositi di materiali sciolti, in prevalenza di origine glaciale e da rari affioramenti rocciosi del substrato.

Si segnala infine che il settore in oggetto è posto sul versante con esposizione est della Punta Chaligne, interessato da una deformazione gravitativa profonda di versante: il pendio è infatti affetto da deformazioni che interessano il materiale sciolto ed il sottostante substrato roccioso fino a profondità considerevoli (dell'ordine delle centinaia di metri).



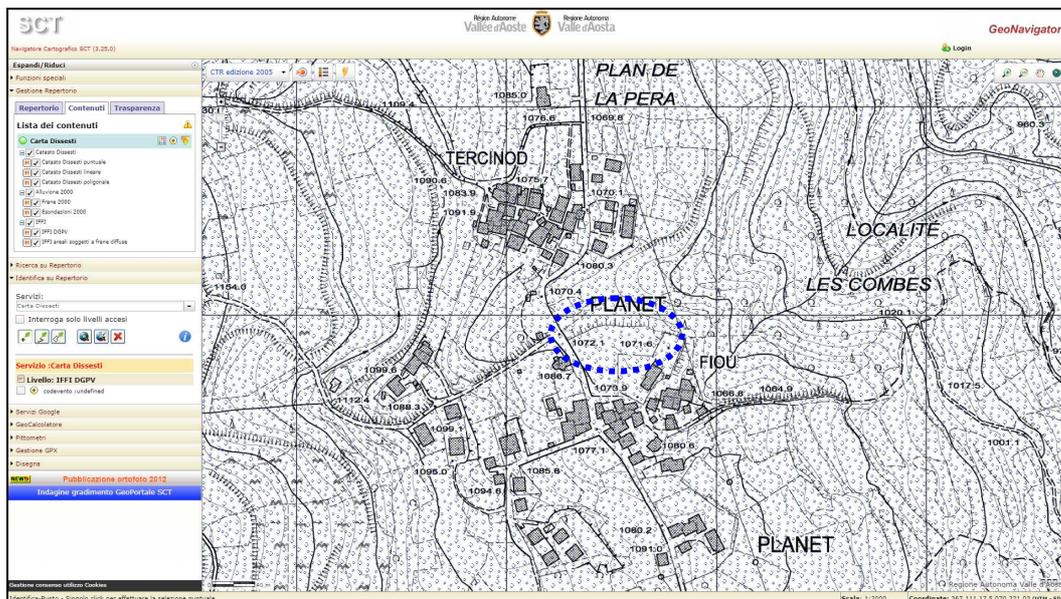
*Estratto della Carta Geologica SCT – sito web RAVA*

Elementi geomorfologici ed antropici in forma simbolica	
	Masso erratico significativo
Punti di osservazioni geologiche	
	Superficie di scistosità (scistosità regionale)
Elementi geomorfologici cartografabili	
	DGPV, Deformazione Gravitativa Profonda di Versante
Unità geologiche cartografabili (lineari)	
	Limite geologico certo
Unità geologiche cartografabili (poligonali)	
DEPOSITI QUATERNARI	
Depositi quaternari	
	a3g - Accumulo a grandi massi Accumulo a grandi massi. Ammasso di blocchi spigolosi monogenici, talora in parte derivati dalla disarticolazione in situ del substrato.
	h - Discarica / riporti antropici Discarica e riporti antropici.
	b2 - Coltre detritico-colluviale Coltre detritico-colluviale. Sabbie ghiaiose, poco limose, massive o mal stratificate, non addensate, a clasti spigolosi
	b5 - Deposito di contatto glaciale s.l. Deposito di contatto glaciale s.l. Alternanza complessa di ghiaie, sabbie e ghiaie sabbioso-limose a stratificazione inclinata e tessitura variabile.
	c4 - Till di alloggiamento Till di alloggiamento. Sabbie ghiaioso-limose massive, molto addensate, con tessitura a supporto di matrice e ciottoli sfaccettati, smussati e striati.
	c5 - Till di ablazione Till di ablazione. Deposito eterometrico grossolano, non addensato, a supporto di clasti, da massivo a mal stratificato in lenti inclinate, con ciottoli e blocchi spigolosi o smussati in matrice sabbiosa.
	c1 - Till indifferenziato Till indifferenziato. Ghiaie sabbioso-limose con blocchi, massive, con clasti da subangolosi a subarrotondati.
	b - Deposito alluvionale e fluvio-glaciale Deposito alluvionale e fluvio-glaciale. Ghiaie sabbiose stratificate, a supporto di clasti, con ciottoli arrotondati, embricati, in matrice sabbiosa medio-grossolana.
	a5 - Deposito di frana con trasporto glaciale Deposito di frana con trasporto glaciale. Deposito a blocchi spigolosi e monogenici, in subordinata matrice ghiaioso-sabbiosa.
Substrato pre-quaternario	
AUSTRALPINO	
<i>Lembi austroalpini superiori, non eclogitici: Dent Blanche, Mont Mary-Cervino, Pilonnet</i>	
<b>Lembo della Dent Blanche</b>	
	Ar5 - Gneiss milonitici in facies scisti verdi Gneiss milonitici. Gneiss milonitici in facies scisti verdi, omogenei o a bande, con alternanza di letti leucocratici e grigio-verdognoli albatico-micaceo-cleribico-epidotici e biotite, anfibolo calcico, stilpnomelano, derivati da protoliti granitico-q
ZONA PIEMONTESE	
<i>Unità superiori, non eclogitiche (Zona del Combin s.l.)</i>	
<b>Unità dell'Ouilletta</b>	
	Au1 - Calcescisti s.l. indifferenziati Calcescisti s.l. indifferenziati. Calcescisti pelitico-carbonatici in facies scisti blu, con intercalazioni di marmi impuri, scisti filitici, quarziti e ofioliti non cartografabili. GIURASSICO - CRETACICO INF.?

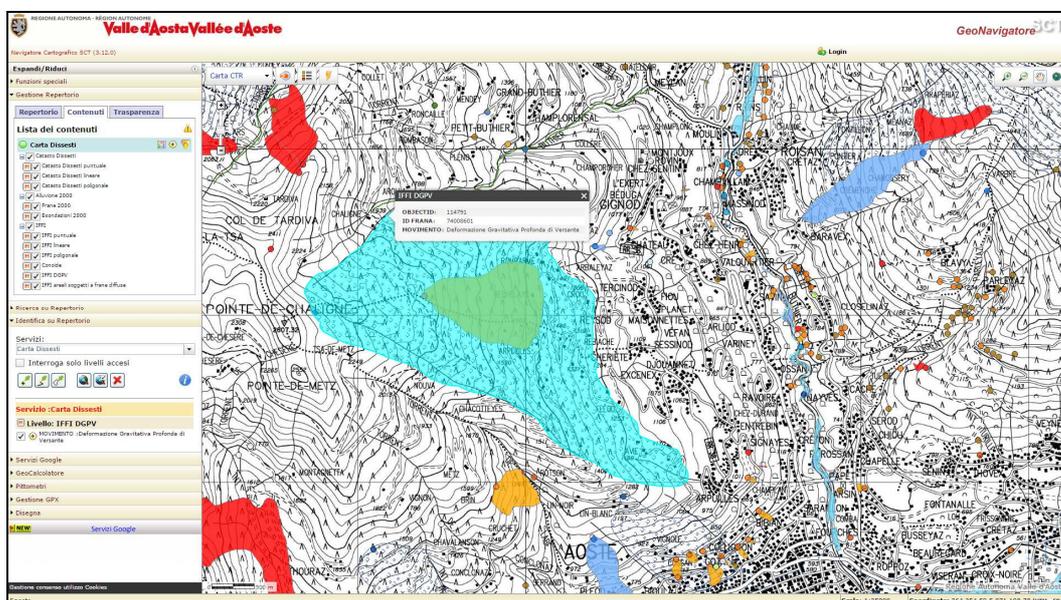
#### 4.6 PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Il settore oggetto di intervento non risulta essere posto all'interno delle aree vincolate ai sensi della L.R. 11/98 e s.m.i..

Secondo la carta dei dissesti della RAVA, che include le zone censite dal PROGETTO IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), nel settore oggetto di studio si segnalano fenomeni di dissesto: si tratta in particolare della DGPV descritta nel paragrafo precedente.

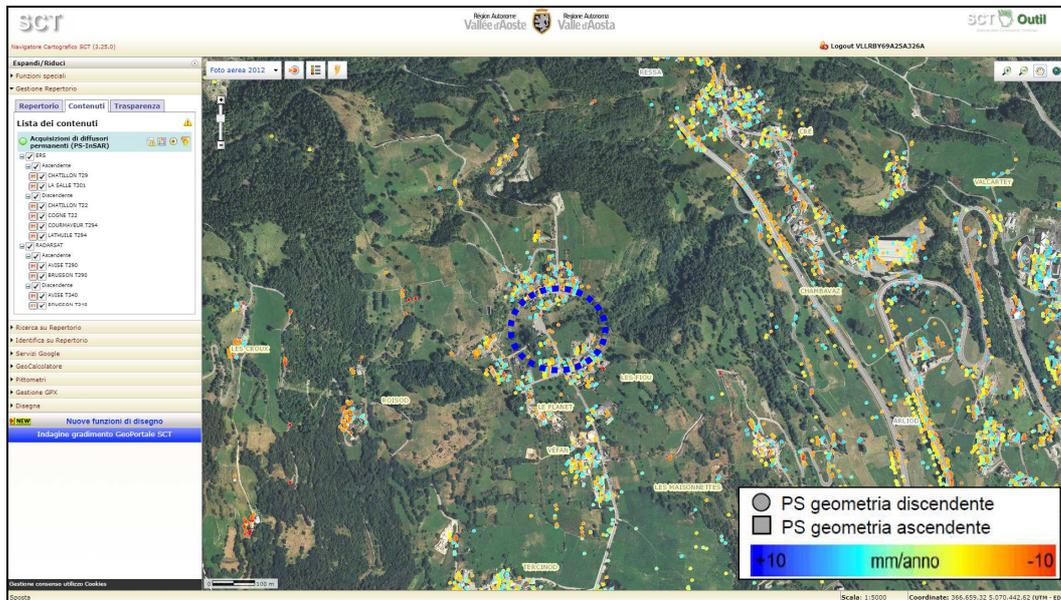


*Carta dei dissesti – GeoNavigator – sito web RAVA*



*Carta dei dissesti – GeoNavigator – sito web RAVA – dettaglio DGPV*

La propensione al dissesto dell'areale è stata infine valutata attraverso l'analisi dei dati PSInSAR<sup>TM</sup>: sono attualmente disponibili sul GeoNavigator della RAVA i risultati sull'intero territorio valdostano che possono integrare le conoscenze finora acquisite sui fenomeni franosi con nuove informazioni di carattere quantitativo sull'entità e distribuzione areale dei movimenti superficiali. I dati radar satellitari elaborati con tecnica interferometrica derivano da due satelliti differenti: ERS 1 & 2 e RADARSAT. I dati derivanti dalla piattaforma ERS sono stati elaborati con la tecnica PSInSAR<sup>TM</sup> (permanent scatterers) e si riferiscono al periodo temporale 1992 – 2001. I dati derivanti dalla piattaforma RADARSAT sono stati elaborati con la tecnica SqueeSAR<sup>TM</sup> (permanent scatterers e distributed scatterers) e si riferiscono al periodo temporale 2003 – 2010.



*PS-InSAR – SGT Outil – sito web RAVA*

Nel settore di versante comprendente l'area di intervento sono stati riconosciuti movimenti superficiali solo di entità medio-alta, pari comunque ad alcuni millimetri all'anno.

## 5. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

### 5.1 DEFINIZIONE DI SOTTOPRODOTTO

La classificazione di un rifiuto come “sottoprodotto” presuppone il rispetto delle condizioni di cui agli articoli 184-bis e 184-ter del citato d. lgs. N. 152/2006, ed in particolare:

- Art. 184-bis (sottoprodotto)

- la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

Rientrano nella disciplina dei sottoprodotti di cui all'articolo 184-bis del d.lgs. n. 152/2006, e quindi esclusi dall'ambito di applicazione della disciplina dei rifiuti (art. 184-ter), altresì, le tipologie di materiali sotto riportati. Tali materiali, allo stato naturale e non contaminati, possono essere avviati ad operazioni di recupero/riciclaggio purché rispondano alle esigenze geotecniche in relazione alle opere a cui sono destinati:

- i materiali inerti costituiti da materiale lapideo, pietre e rocce sia derivanti da scavi che provenienti da operazioni di spietramento, aventi le caratteristiche per essere riutilizzati in edilizia tal quali, impiegati come materiale da costruzione, senza alcun trattamento, ad eccezione della

vagliatura e della riduzione volumetrica, impiegati per la formazione di arginature, realizzazione di muri, ricoperture esterne di fabbricati, ecc.;

- i materiali inerti, provenienti da frane, smottamenti e depositi alluvionali, derivanti da operazioni di sgombero per motivi di sicurezza e per ripristinare la funzionalità delle infrastrutture;
- i materiali inerti di natura lapidea, pietre e rocce depositati su aree già a servizio di attività di estrazione che derivano da cave dismesse e aventi le caratteristiche di cui all'articolo 184-bis.

Non rientrano nella disciplina dei rifiuti, in quanto non soggette ad alcuna delle formalità previste dal DPR 13 giugno 2017, n. 120, le TRS riutilizzate direttamente nel luogo di produzione (piazzali, tratti di strada, ecc.) purché assolvano alla stessa funzione che avevano in origine.

## **5.2 CANTIERI DI PICCOLE DIMENSIONI**

Per opere non sottoposte a VIA, in base a quanto stabilito dall'art. 24, del DPR 120/2017, l'utilizzo delle TRS, escavate nel corso di attività di costruzione, nel medesimo sito di produzione, allo stato naturale ai fini di costruzione, non deve essere preceduto dalla presentazione di alcuna comunicazione fatta salva la predisposizione dell'elaborato progettuale denominato "Bilancio di produzione dei materiali e dei rifiuti".

In tal caso l'esclusione delle TRS dalla disciplina dei rifiuti, giusto il richiamo all'art. 185, comma 1, lett. c) del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, deve essere comprovata mediante la verifica dell'assenza di contaminazione secondo quanto previsto dall'allegato 4 del DPR 120/2017.

Si specifica che tale obbligo sorge soltanto quando le TRS utilizzate assolvono effettivamente un ruolo utile ai fini di attività di costruzione. Rimane quindi esclusa qualsiasi formalità prevista dal DPR 120/2017 quando l'utilizzo non avviene ai fini di costruzione (così come definita dalle vigenti norme in materia edilizia-urbanistica), ad es. quando il materiale viene ricollocato nel medesimo scavo dopo l'esecuzione di opere di manutenzione o la posa di cavi e tubazioni interrato ovvero quando viene utilizzato per rinterri, riempimenti, rimodellamenti, ecc.

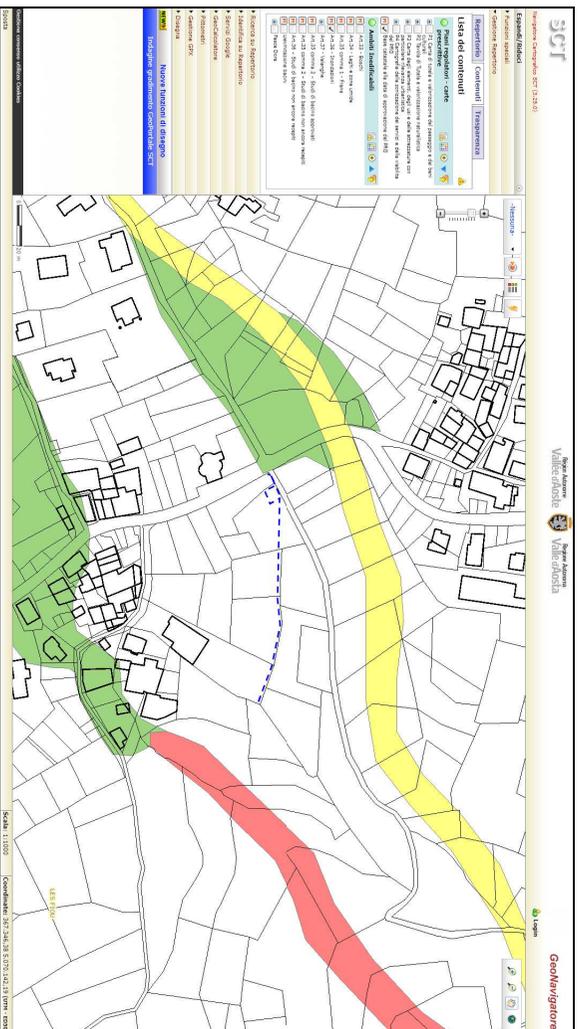
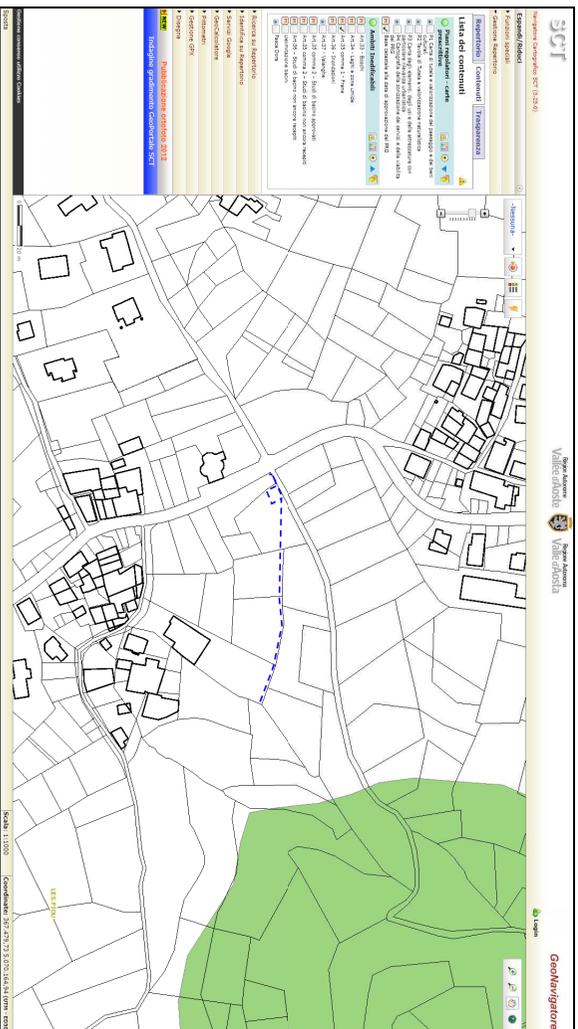
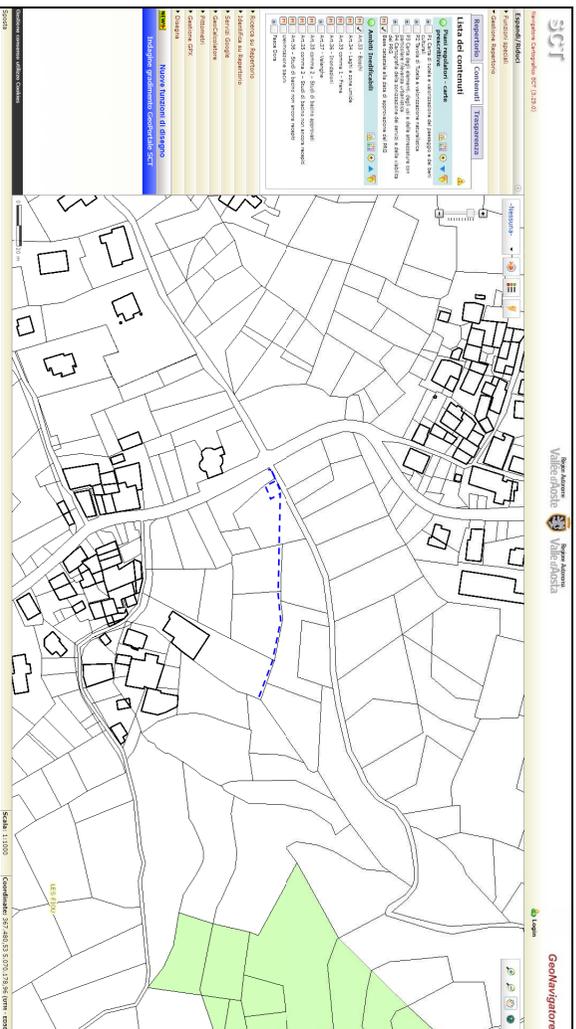
Nel nostro caso, trattandosi di cantiere di piccole dimensioni (dimensione inferiore a 350 mq) per il quale il sottoprodotto viene riutilizzato in sito e nelle immediate vicinanze è necessario eseguire un unico campionamento, così come previsto dalle linee guida.

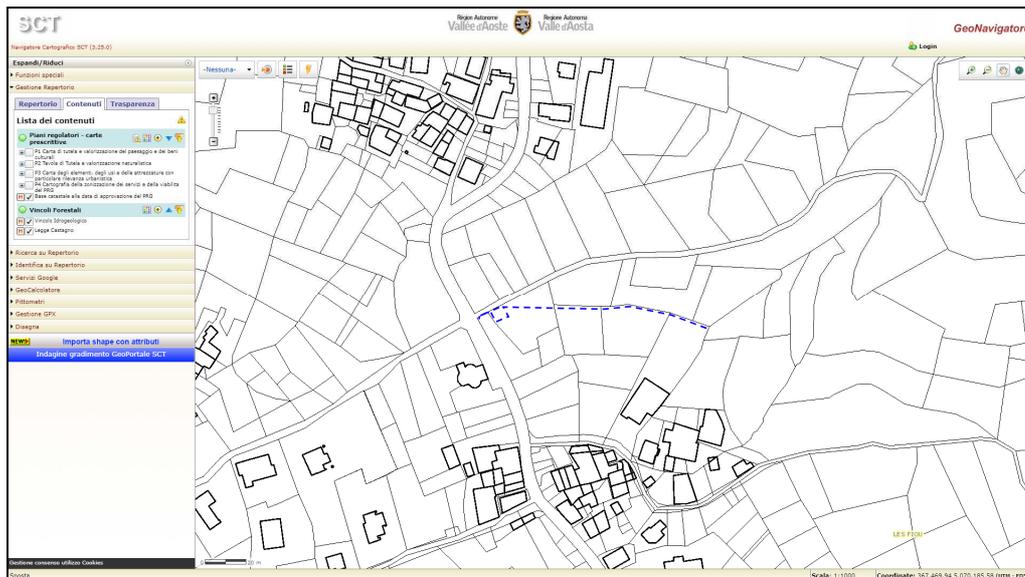
Il numero dei punti di indagine è infatti definito in base alla superficie dell'area di scavo facendo riferimento alla seguente tabella:

Dimensione dell'area	Punti di prelievo
Inferiore a 350 metri quadri	1
Tra 350 e 1.000 metri quadri	2
Tra 1.000 e 2.500 metri quadri	3
Tra 2.500 e 10.000 metri quadri	3 + 1 ogni 2.500 metri quadri
Oltre i 10.000 metri quadri	7 + 1 ogni 5.000 metri quadri

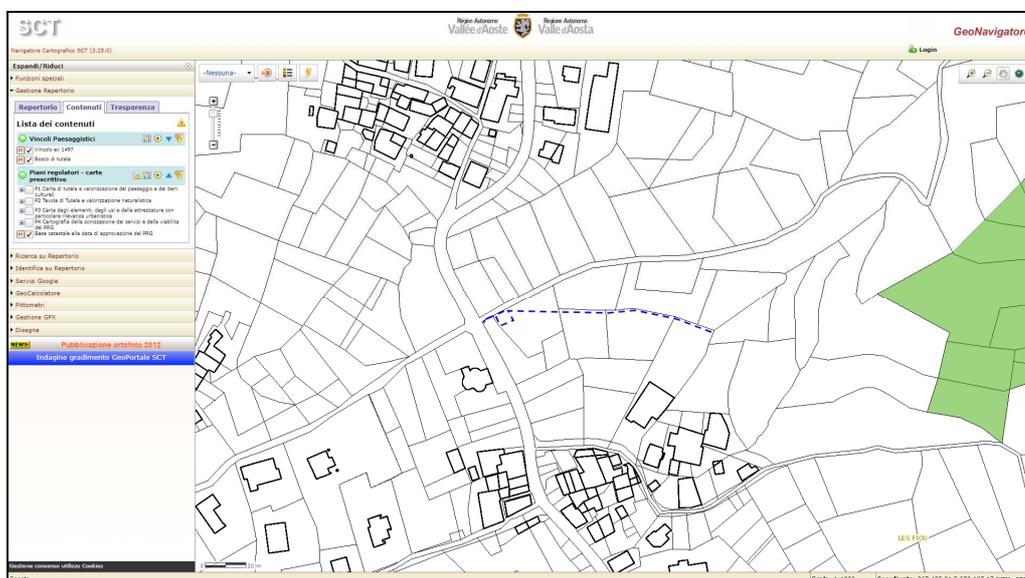
## **6. AMBITI INEDIFICABILI E VINCOLI TERRITORIALI**

Il settore oggetto di intervento non risulta essere posto all'interno delle aree vincolate ai sensi della L.R. 11/98 e s.m.i.; non rientra nei terreni soggetti al vincolo idrogeologico, né ai vincoli paesaggistici.





*Vincolo idrogeologico – GeoNavigator – sito web RAVA*



*Vincoli paesaggistici – GeoNavigator – sito web RAVA*

## 7. MODELLAZIONE SISMICA

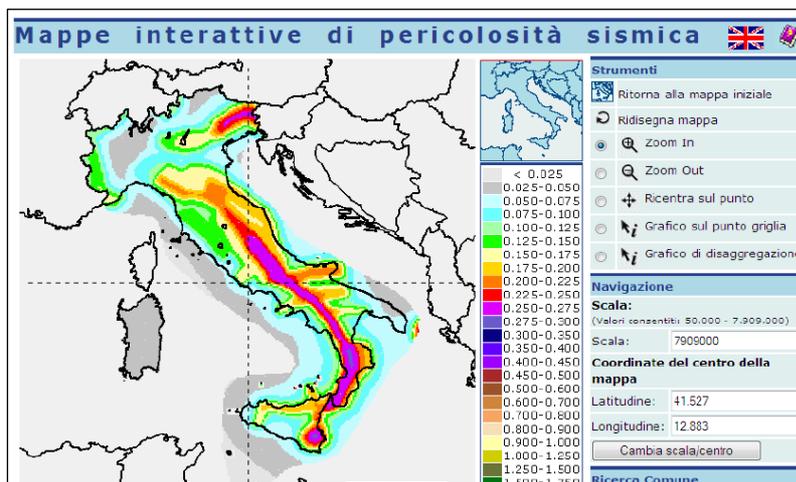
### 7.1 PREMESSE

La normativa attuale relativa alla classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica è rappresentata dal OPCM 3274 del 20 marzo 2003, dal OPCM 3379 del 5 novembre 2004, dal D.M. 14.01.08 "Norme tecniche per le costruzioni" e dal D.M. 17.01.18 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

La vecchia normativa italiana (D.M. 16.1.96), come noto, classifica le aree sismiche in tre categorie (I, II e III) caratterizzate da diversi gradi di sismicità (12, 9 e 6), cui corrispondono i cosiddetti coefficienti sismici  $C$ , pari rispettivamente a 0.1, 0.07 e 0.04. Tale classificazione scaturisce essenzialmente dalle mappe di intensità macrosismica, che a loro volta si basano sulla osservazione degli effetti indotti dai terremoti in superficie, sull'ambiente fisico, sui manufatti ed anche sulle persone (vedi ad esempio le varie scale di intensità Mercalli). In pratica la classificazione sismica, e le azioni che congruentemente si

determinano, derivano da una osservazione del fenomeno terremoto che potremmo definire “dall’alto” ed “a posteriori”: dall’alto nel senso fisico del termine, poiché si osservano sia l’ambiente fisico sia quello costruito, ed a posteriori, poiché si tiene conto degli effetti prodotti al termine dell’azione sismica, che sono funzione sia della “pericolosità” intrinseca del sito, sia della “vulnerabilità” dell’ambiente fisico e costruito.

Nella valutazione delle azioni sismiche è inoltre contemplato il ruolo delle condizioni “locali” dei terreni del sottosuolo, attraverso il cosiddetto coefficiente di fondazione  $\epsilon$ , che incrementa le azioni sismiche del 30% per il solo caso di depositi alluvionali di spessore variabile da 5 a 20 m, soprastanti terreni coesivi o litoidi con caratteristiche meccaniche significativamente superiori. Tale coefficiente costituisce quindi una sorta di numero magico, che si basa esclusivamente sulla natura del deposito, e non su valutazioni quantitative delle reali caratteristiche meccaniche dei terreni. La nuova normativa italiana che recepisce parte del EC8 ( EN1998 - Eurocodice 8 – Design of structures for earthquake resistance), invece, cambia completamente approccio nella valutazione della sismicità di un’area, in quanto essa scaturisce da una osservazione del fenomeno sismico che potremmo definire “dal basso” ed “a priori”: dal basso nel senso fisico del termine, poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo “profondo” verso la superficie libera, ed a priori, poiché la zonazione sismica tiene conto esclusivamente del moto sismico atteso (in termini di accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull’ambiente fisico e costruito.



In definitiva la norma mira anzitutto alla identificazione del valore di una particolare accelerazione massima, al termine del viaggio del moto sismico dalla zona d’origine (sorgente sismica) fino in superficie, su di una formazione rigida affiorante.

Con il D.M. 14 gennaio 2008 e gli

aggiornamenti successivi la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito, si verifichi un evento sismico di entità pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento”  $V_R$  e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel “periodo di riferimento”  $P_{VR}$ .

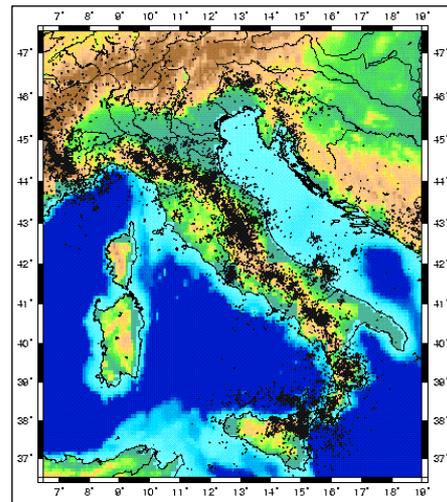
Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita facendo riferimento ad un sito rigido con superficie topografica orizzontale in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata  $P_{VR}$ , si ritengono individuate quando se ne conosca l’accelerazione massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione ( $S_E$ ).

E’ necessario inoltre tenere conto, certamente in maniera più razionale, della presenza dei terreni sciolti a ricoprimento della formazione rigida, e quindi del cosiddetto effetto “locale”, previa individuazione di diverse classi di sottosuolo, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. In tale caso, però, i

diversi tipi di sottosuolo inducono modifiche sul segnale sismico che consistono non solo nella variazione dell'accelerazione di picco, ma anche nella implicita variazione del contenuto in frequenza del segnale stesso.

La Rete Sismica Nazionale Centralizzata registra più di 2000 terremoti l'anno. La rete opera con continuità dalla metà degli anni '70 ed è stata ampliata in seguito al terremoto distruttivo dell'Irpinia del 1980 ( $M_s=6.9$ ). Il catalogo sismico strumentale riporta circa 35.000 terremoti verificatisi in Italia a partire dal 1975. La sismicità crostale rappresenta la maggior parte dell'attività sismica registrata. Come risulta dalla mappa, la sismicità si concentra soprattutto nelle Alpi, lungo gli Appennini e riguarda la maggior parte dei vulcani attivi del Quaternario (per esempio l'Etna, il Vesuvio, i Campi Flegrei, i Colli Albani). Inoltre si verificano sequenze anche nel promontorio del Gargano mentre la Puglia e la Sardegna sembrano essere relativamente asismiche.



La penisola italiana è interessata anche da terremoti intermedi e profondi. Sebbene il loro numero sia relativamente esiguo, sono di grande importanza per la comprensione della dinamica dei processi profondi. Terremoti fino a 500 km di profondità avvengono nella zona del Tirreno meridionale e la loro profondità aumenta andando da Sud-Est verso Nord-Ovest. Questi eventi evidenziano la subduzione attiva della litosfera Ionica al di sotto dell'Arco Calabro. La maggior parte dell'attività è concentrata soprattutto verso i 300 km di profondità, dove i terremoti possono raggiungere anche Magnitudo 7. Un esiguo numero di terremoti di Magnitudo moderata ( $< 4.0$ ) e di profondità intermedia si verificano anche nell'Appennino settentrionale. La profondità massima osservata per questi terremoti è di circa 100 Km e, sebbene non siano ancora ben studiati, suggeriscono un processo di subduzione attiva anche per questo settore della penisola italiana.

Nel D.M. 14 Gennaio 2008 e nel suo successivo aggiornamento del Gennaio 2018 viene evidenziato che, *“Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.*

*I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche”.*

## 7.2 DEFINIZIONE DEL TERREMOTO DI PROGETTO

L'area di Gignod è attualmente classificata in **zona sismica 3** ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 con recepimento della Delibera di Giunta regionale n. 1603 del 4 ottobre 2013 – Approvazione delle prime disposizioni attuative di cui all'art. 3 comma 3, della legge regionale 31 luglio 2012, n. 23

“Disciplina delle attività di vigilanza su opere e costruzioni in zone sismiche” – Revoca della DGR 1271 del 2 agosto 2013 – per le quali *“tutti i comuni della Regione autonoma della Valle d’Aosta sono classificati in zona sismica 3 ai fini e per gli effetti di quanto stabilito dalla legge regionale 23/2012”*.

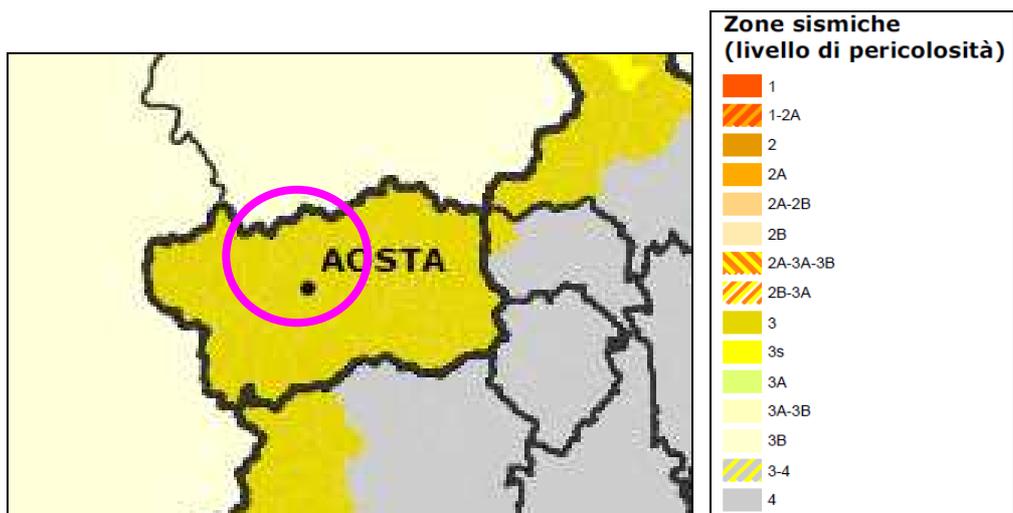


Presidenza del Consiglio dei Ministri  
**Dipartimento della protezione civile**  
Ufficio rischio sismico e vulcanico

### Classificazione sismica al 2015

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.

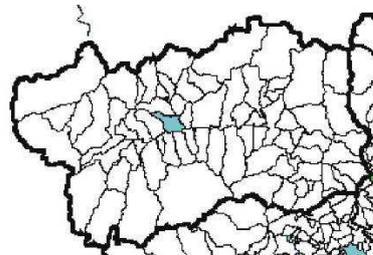
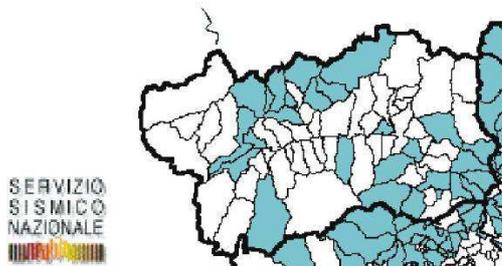
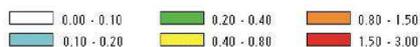
Atti di recepimento al 1° giugno 2014. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447. Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 19/11/10, n. 1362. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129. Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 2/8/06, n. 1171. Piemonte: DGR 12/12/11, n. 4-3084. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31. Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111. Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d’Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603.



Di seguito si riporta, per maggiore completezza d’indagine, i risultati del Gruppo di lavoro del GNDT (1996) sull’analisi di rischio sismico per tutta la nazione riferita al patrimonio abitativo (elaborazioni basate sui dati ISTAT 1991), le massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani e le principali osservazioni sismiche disponibili per Gignod (storia sismica):

Danno totale annuo atteso per comune espresso in percentuale della superficie abitativa

Danno totale annuo atteso del patrimonio abitativo per comune (metri quadri equivalenti)



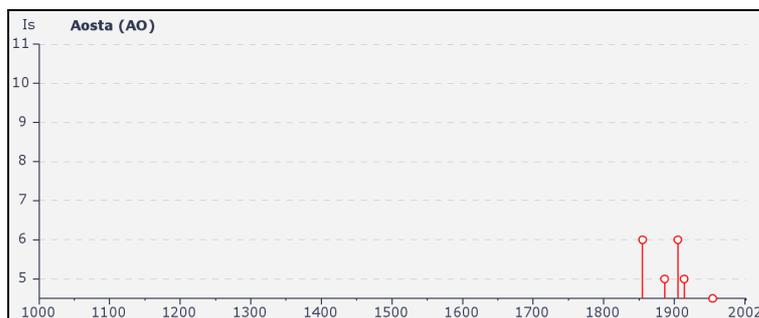
COD-ISTAT	COD-94	DENOMINAZIONE	IMAX
2007030	2007030	Gignod	<6

**Seismic history of Aosta**  
**[45.737, 7.313]**

Total number of earthquakes: 15

Is	Effects	Earthquake occurred:										
		Anno	Me	Gi	Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw		
3		1808	04	02	16	43	Valle del Pellice	CFTI	107	8	5.67	
6		1855	07	25	12		Vallese	CFTI	52	8-9	5.81	
2		1873	03	12	20	04	Marche meridionali	CFTI	196	8	5.88	
4		1880	07	04	19	55	Vallese	CFTI	85	7	5.38	
4		1884	11	27	22	15	Alpi Cozie	CFTI	63	6-7	5.36	
5		1886	09	05			VAL DI SUSÀ	DOM	102	6-7	5.27	
4		1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	CFTI	1515	9	6.29
3		1892	03	05				PONT S. MARTIN	DOM	86	7	5.09
6		1905	04	29	01	46	45	Alta Savoia	CFTI	267	7-8	5.79
5		1914	10	26	03	45		TAVERNETTE	DOM	67	7	5.36
2		1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	CFTI	638	9-10	6.48
4-5		1954	05	19	09	34	55	Vallese	CFTI	40	6	5.46
3		1960	03	23	23	08	49	Vallese	CFTI	178	6-7	5.36
F		1968	06	18	05	27		BARD	DOM	60	6	5.18
2		1983	11	09	16	29	52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10

this file has been downloaded from INGV - DBMI04



Negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica- Gruppo di lavoro MS 2008”, è riportato un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare per il sito che si basa, sempre a partire sempre dalla zonazione sismogenetica (ZS 9) sulle coppie di valori Magnitudo media - distanza M-R caratteristici di ogni sito desunti dai dati di disaggregazione della pericolosità sismica (vedi dati Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia - Gruppo di lavoro, 2004 e INGV Spallarossa e Barani, 2007), i quali permettono di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito per determinati tempi di ritorno. Di seguito si riportano, per il Comune in esame, i valori medi e modali presenti nella tabella Comuni\_MR (nel DVD allegato agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica):

Cod Istat	Comune	DentroVicino	Mmedia	Rmedia	Mmoda	Rmoda
2007030	Gignod	D	4,87	13	4,75	5

### 7.3 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La **vita nominale** di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo. Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a  $P_N$ , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a  $P_N$  e comunque non inferiore a 5 anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in **classi d'uso** così definite::

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* 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 Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* 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 DM 5/11/2001, 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.

Le **azioni sismiche** sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

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

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di  $C_U$  anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Nel nostro caso, in base alle indicazioni fornite dal progettista, si ha come periodo di riferimento  $V_R$ :

Vita nominale	Classi d'uso	Periodo di riferimento
$V_N$	IV	$V_R$
	Coefficiente d'uso	
	$C_U$	
50	2	100

#### 7.4 DEFINIZIONE DELLE FORME SPETTRALI

Di seguito si riportano gli spettri di risposta, la variabilità dei parametri ed i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  riferiti al sito in oggetto calcolati con il programma SPETTRI-NTC ver. 1.0.3.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

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

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_u$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

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

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	60
SLD - $P_{VR} = 63\%$	101

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	949
SLC - $P_{VR} = 5\%$	1950

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

--- Strategie per costruzioni ordinarie

--- Strategie scelte

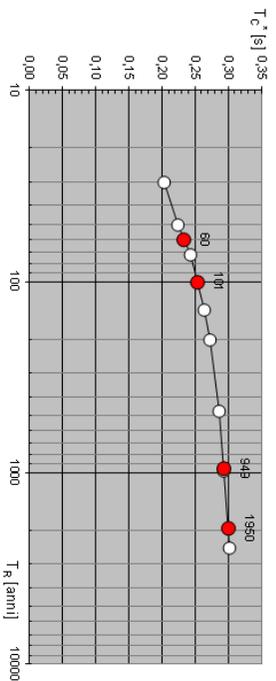
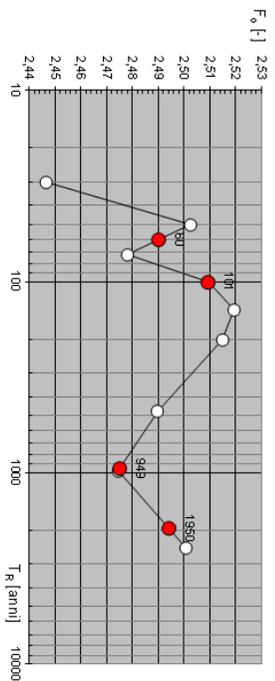
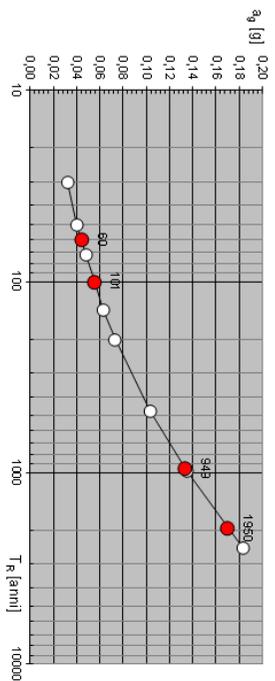
Strategia di progettazione

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

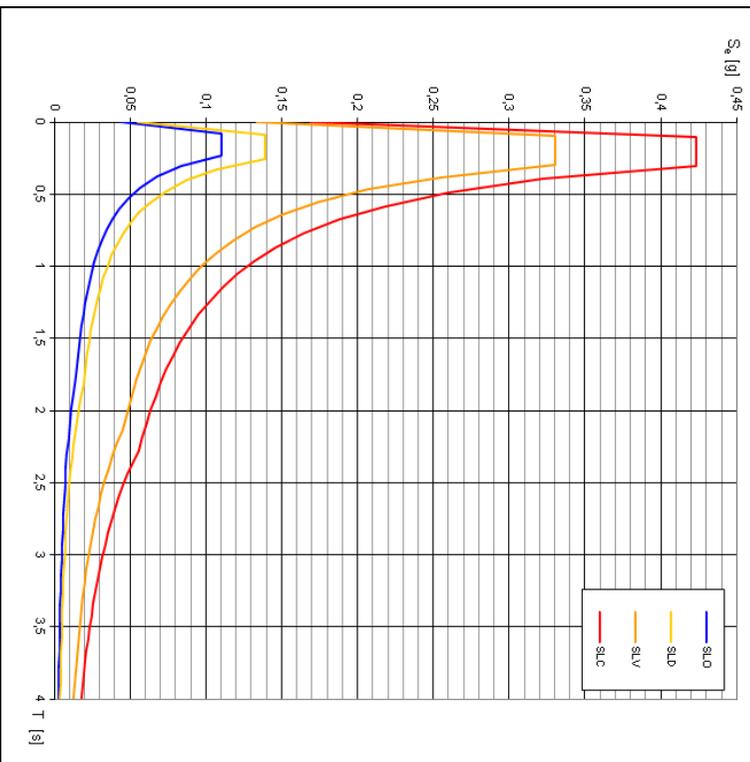
### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	60	0,044	2,490	0,234
SLD	101	0,055	2,509	0,254
SLV	949	0,134	2,475	0,294
SLC	1950	0,170	2,494	0,301

Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_g$ ,  $T_c$ ,  $T_r$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



## 7.5 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'azione sismica individuata al capitolo precedente, viene successivamente variata, con le modalità precisate dalle NTC 08 e successivi aggiornamenti, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo, effettivamente presenti nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale (RSL).

Quindi, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi di dettaglio. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_S$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

In considerazione delle condizioni geologico-stratigrafiche e strutturali ed alla luce dell'importanza del progetto, si è deciso di utilizzare l'approccio semplificato. Tale approccio prevede che i valori di  $V_S$  vengano ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, vengano valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Con:

$h_i$	spessore dell' <i>i</i> -esimo strato;
$V_{S,i}$	velocità delle onde di taglio nell' <i>i</i> -esimo strato;
$N$	numero di strati;
$H$	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_S$ non inferiore a 800 m/s.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 14.01.08 e l'aggiornamento del gennaio 2018 definisce le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazioni. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

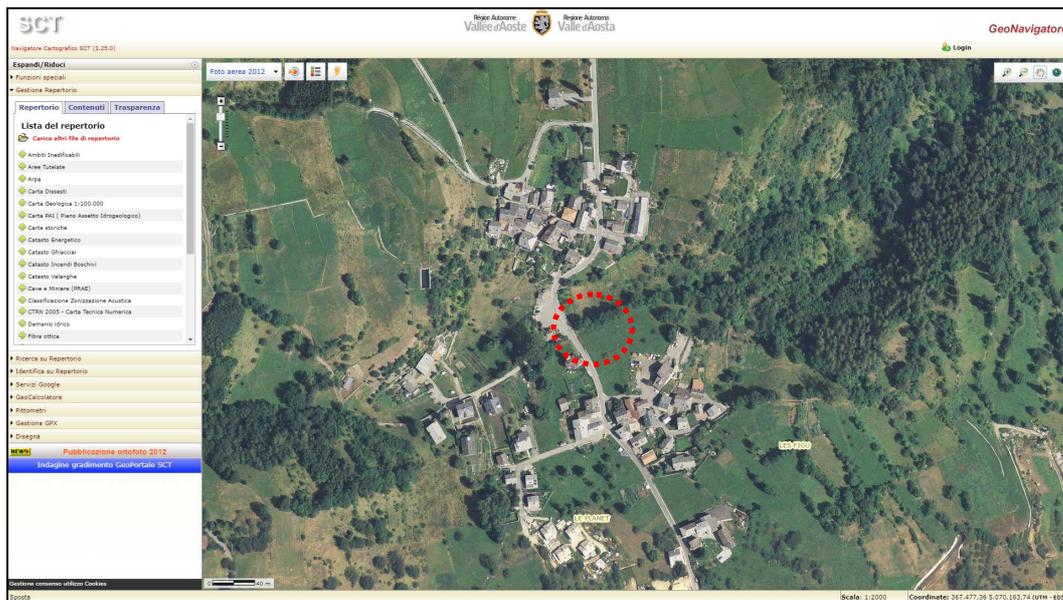
Di seguito si riporta la tabella con i differenti tipi di profilo:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

### 7.5.1 *Indagine geofisica tramite tecnica HVSR*

Per la caratterizzazione sismostratigrafica del terreno attraverso la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio è stata effettuata, nel settore in oggetto, una prova geofisica indiretta (HVSR) eseguita dal dott. geol. iunior Alessandro Zoja, di cui si riportano di seguito, in sintesi, l'ubicazione ed i risultati.



**Planimetria dell'indagine HVSR – GeoNavigator – sito web RAVA**



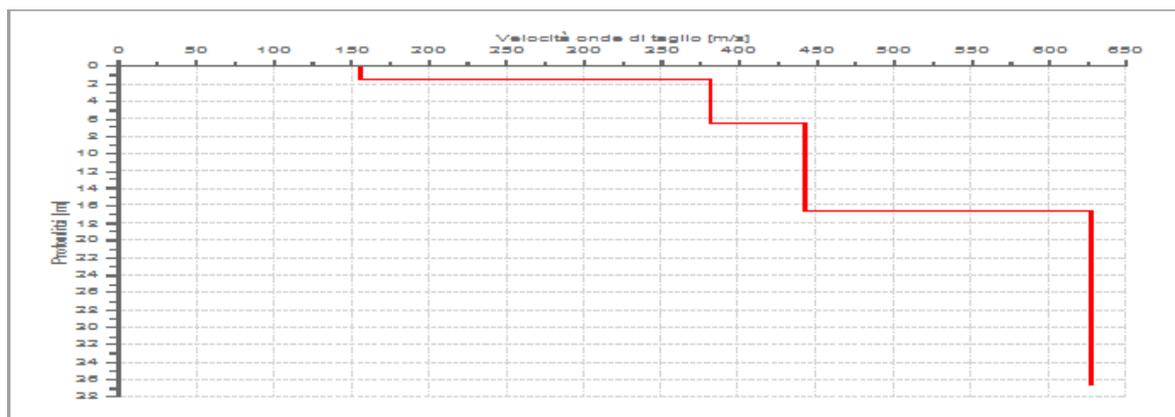
### **MODELLO STRATIGRAFICO**

Dati riepilogativi:

- Numero strati: 4
- Frequenza del picco dell'ellitticità: 23,45 Hz
- Valore di disadattamento: 0,09

### **DATI DELLA STRATIGRAFIA**

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1,6	18	0,3	156
2	1,6	5	18	0,3	382
3	6,6	10	18	0,3	443
4	16,6	20	19	0,3	628



#### 7.5.2 Analisi dei risultati dell'indagine HVSR

La situazione sismostratigrafica ricostruita sulla base delle indagini eseguite è risultata la seguente: ad una profondità di circa 16 m è stato individuato un livello di materiali ben addensati caratterizzati da velocità  $V_s$  pari a circa 630 m/s, sottostante una copertura di terreni da poco a mediamente addensati, caratterizzata da velocità  $V_s$

comprese tra 380 e 440 m/sec, nonché da un livello più superficiale e poco potente di terreni scarsamente addensati con velocità pari a circa 160 m/s; il bedrock sismico non è stato individuato.

Considerando il piano di fondazione posto ad una profondità di circa 3.5 m dal piano di campagna, il valore della velocità  $V_{s,eq}$  è pari a 521 m/s riconducibile ad una **categoria di sottosuolo B**, visto che si è in presenza di terreni caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

h	$V_s$	$h/V_s$
3,1	382	0,008115
10	443	0,022573
16,9	628	0,026911
<b>30</b>		<b>0,0576</b>

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

<b>521</b>	<b><math>V_s</math></b>
------------	-------------------------

Categoria	Descrizione	Categoria sito specifica
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	<b>X</b>
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

### 7.5.3 Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo di cui ai capitoli precedenti. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima ( $a_{max}$ ) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di  $a_{max}$  può essere ricavato dalla relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot a_g$$

dove  $a_g$  è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Per la valutazione delle azioni sismiche agenti nell'area in progetto si dovrà pertanto considerare il fattore  $S_s$  (fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di

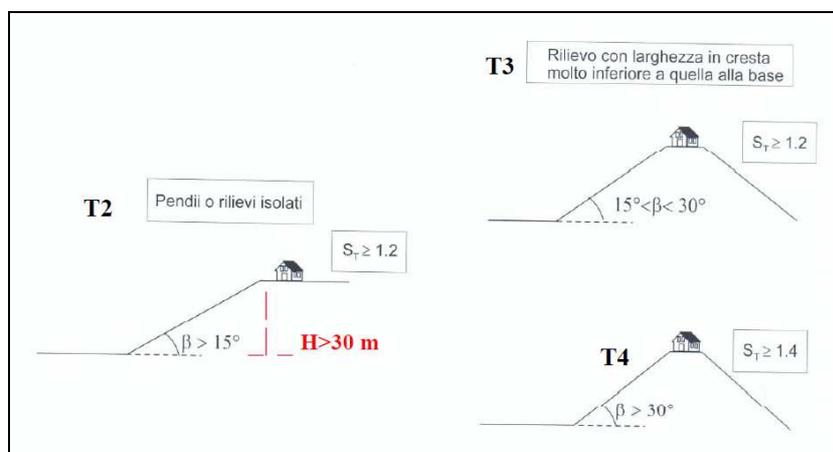
fondazione), ottenuto attraverso la formulazione sotto riportata, considerando la categoria di sottosuolo precedentemente individuata.

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

#### 7.5.4 Coefficiente di amplificazione topografica $S_T$

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ . Il parametro  $S_T$  deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m.

Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a  $15^\circ$ .



Per quanto riguarda le condizioni topografiche si è classificato il settore nella categoria T1, in considerazione della morfologia del sito; il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  risulta pertanto pari a 1,0.

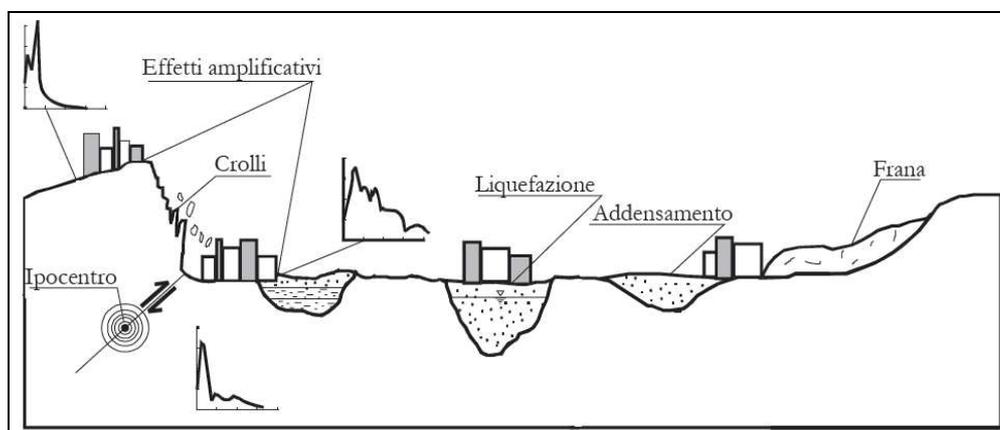
Categorie	S <sub>T</sub>	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera
T1	1,0	Superficie pianeggiante, pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	-
T2	1,2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	Sommità del pendio
T3	1,2	Larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	Cresta del rilievo
T4	1,4	Larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $i > 30^\circ$	Cresta del rilievo

## 7.6 PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti devono in generale essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Le situazioni geologiche e morfologiche, in cui le condizioni locali possono portare a una modificazione del segnale sismico in arrivo al sito su roccia sono essenzialmente tre:

- i depositi costituiti da terreni stratificati di caratteristiche meccaniche diverse da quelle della roccia sottostante (effetti stratigrafici 1D);
- i depositi di valle con bordi e morfologie del substrato irregolari dove le onde sismiche possono subire fenomeni di rifrazione e riflessione con generazione all'interfaccia di onde superficiali e concentrazioni di energia (effetti di bordo 2D-3D);
- la sommità di rilievi collinari, creste, promontori costituiti da formazioni rocciose, profili di versanti, pendii, bordi di terrazzi (effetti topografici)



*Possibili effetti locali indotti da un evento sismico (Madiati C.)*

La risposta sismica locale è condizionata, oltre che da fattori morfologici, cioè dalla collocazione del sito (valle stretta, cresta, pendio etc.), soprattutto dalla natura dei depositi sollecitati dalla vibrazione sismica: questi infatti amplificano l'accelerazione massima in superficie rispetto a quella che ricevono alla loro base, agendo al contempo da filtro del moto sismico, diminuendone l'energia complessiva ma modificandone la composizione con accentuazione di alcune frequenze e smorzamento di altre. A parità di impedenza sismica (prodotto della velocità delle onde di taglio  $V_s$  per la densità  $\rho$ ) del bedrock, l'amplificazione inoltre è tanto più elevata quanto minore è l'impedenza sismica dei terreni di copertura. Si ha quindi che a ciascuna categoria di sottosuolo è associato uno spettro di risposta ( $S_e/T$ ) che mostra la variazione in ampiezza dell'accelerazione al suolo in funzione del periodo delle vibrazioni del terreno: si ha "risonanza" e, quindi, particolare

accentuazione dell'amplificazione, per periodo  $T = 4h/V_s$ , con  $h$  spessore della copertura e  $V_s$  velocità delle onde di taglio nella copertura; è noto che l'amplificazione massima del moto del suolo di un terreno si ha alla sua frequenza di risonanza.

$$\text{Frequenza e periodo fondamentale dello strato (F, T) } F=V_s/4H \quad T=4H/V_s$$

Risentimenti particolari si avranno qualora il periodo del terreno (frequenza) o comunque il periodo fondamentale (frequenza fondamentale) coincida con il periodo proprio del fabbricato (frequenza struttura), determinando, in questi casi, dannosi effetti di risonanza.

In base a quanto descritto nei capitoli precedenti, il sito non presenta particolari rischi di instabilità.

Lo strutturista dovrà valutare che il periodo del terreno (frequenza) o comunque il periodo fondamentale (frequenza fondamentale) non coincida con il periodo proprio della struttura (frequenza struttura), determinando, in questi casi, possibili dannosi effetti di risonanza.

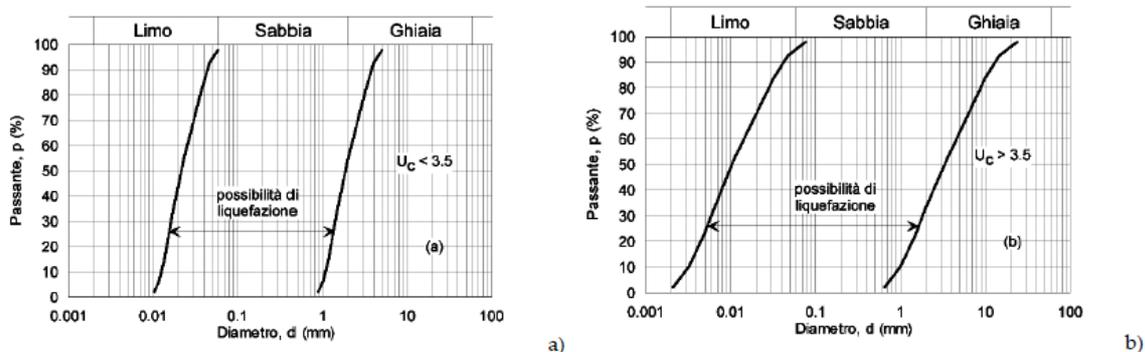
### 7.6.1 Stabilità alla liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto 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. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Nel caso in esame si può quindi escludere il rischio di liquefazione in quanto presumibilmente la distribuzione granulometrica è esterna alle zone indicate precedentemente.

## **8. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA**

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi.

La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Tale scelta richiede una valutazione specifica da parte del progettista, per il necessario riferimento ai diversi tipi di verifica. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri. Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato. Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità, o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali (Cap. 6.2.2. DM 17/01/18).

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, ci si è basati essenzialmente sull'analisi dei tagli artificiali e naturali: in tal modo si è potuto ricostruire la stratigrafia dell'area, utilizzando poi le caratteristiche tipiche dei terreni incontrati attribuendone dei valori desunti da prove effettuate dallo scrivente su terreni in situazioni geologiche analoghe.

Come indicato precedentemente, tendenzialmente il settore oggetto degli interventi è caratterizzato dalla presenza, sotto una coltre di 0.5/1.0 metri di terreno di riporto e/o rimaneggiato, di depositi glaciali rimaneggiati.

In considerazione della natura decisamente eterogenea dei depositi sciolti e soprattutto di quelli sottostanti, risulta comunque piuttosto problematico individuare dei valori precisi per i loro parametri geotecnici. In ogni caso, in sede di calcolo, si è tenuto conto dei valori seguenti, che hanno evidentemente il significato di un'indicazione media.

➤ Unità geotecnica 1: terreno di riporto

<b>Parametro considerato</b>		<b>valore min</b>	<b>valore max</b>	<b>valore medio</b>
<i>Peso specifico</i>	<i>t/m<sup>3</sup></i>	1,6	1,8	<b>1,7</b>
<i>Coesione</i>	<i>kPa</i>	0	0	<b>0</b>
<i>Angolo attrito</i>	<i>°</i>	32	34	<b>33,0</b>

➤ Unità geotecnica 2: depositi glaciali

<b>Parametro considerato</b>		<b>valore min</b>	<b>valore max</b>	<b>valore medio</b>
<i>Peso specifico</i>	<i>t/m<sup>3</sup></i>	1,7	1,9	<b>1,8</b>
<i>Coesione</i>	<i>kPa</i>	1	3	<b>2</b>
<i>Angolo attrito</i>	<i>°</i>	34	38	<b>36,0</b>

## 9. PRECAUZIONI PROGETTUALI E MODALITÀ COSTRUTTIVE

Per quanto riguarda le problematiche relative alla fase di realizzazione delle opere si dovranno seguire le seguenti avvertenze, oltre a quelle precedentemente riportate:

- aprire gradualmente gli scavi in periodi non immediatamente successivi ad intense precipitazioni con immediata realizzazione delle opere;
- disporre, ove possibile, una canaletta di gronda provvisoria e mantenere una fascia di rispetto al contorno dell'area di opera per far fronte ai possibili franamenti ai bordi degli scavi;
- effettuare gli scavi "a campione" prevedendo scarpate provvisorie subverticali non superiori ai 2.0 metri di altezza ed aprire un fronte di scavo non superiore ai 4 metri;
- in fase di scavo, nel caso si verificassero piccoli cedimenti lungo le scarpate di monte, effettuare la sbadacchiatura delle stesse;
- proteggere gli scavi con teli impermeabili;
- mantenere una distanza di sicurezza dal bordo dello scavo da parte di autobetoniere, autocarri, macchine di movimento terra ecc.;
- utilizzare fondazioni di tipo continuo;
- eventuali livelli isolati di materiale cedevole, come ad esempio limo e/o sabbia limosa, dovranno essere superati approfondendo lo scavo delle sottofondazioni;
- perfezionare l'adattamento al suolo della struttura all'apertura dello scavo, in modo da situare la fondazione al disotto della coltre di terreno vegetale, in corrispondenza di materiali non prevalentemente limosi;
- benché si sia constatata l'assenza di una falda freatica superficiale, non sono da escludere percolazioni superficiali e/o infiltrazioni di acque meteoriche e di irrigazioni, in conseguenza al discreto grado di permeabilità del terreno. Pertanto, allo scopo di preservare le strutture da fenomeni di capillarità e/o infiltrazioni, si richiede la creazione di un vespaio drenante lungo i muri contro terra e/o una intercapedine isolante;
- porre alla base dello scavo di tutto il perimetro di monte un tubo fenestrato in grado di raccogliere le acque drenate e di convogliarle in un idoneo scarico;
- predisporre un'approfondita impermeabilizzazione della struttura, evitando di drenare le acque di falda;
- predisporre la raccolta e lo smaltimento delle acque superficiali, proteggendo l'accesso con un cordolo e/o una adeguata canaletta grigliata;

- accantonare il terreno vegetale asportato per poi poterlo utilizzare come strato superficiale per il settore destinato a verde.

Se durante gli scavi dovessero esserci delle discrepanze rispetto a quanto descritto precedentemente, si dovrà procedere ad una ulteriore indagine geognostica; si invita pertanto il Direttore dei Lavori ad informare il sottoscritto sull'andamento degli stessi.

## 10. CONCLUSIONI

In relazione a quanto esposto, tenendo conto delle modalità esecutive e delle precauzioni consigliate, non si rilevano elementi geologici e geotecnici tali da impedire la realizzazione dell'opera.

Aosta, ottobre 2018



Regione Autonoma Valle d'Aosta  
*Region Autonome Vallee d'Aoste*



Comune di Gignod  
*Commune de Gignod*

# Progetto di realizzazione di cabina MT/BT e collegamento linea elettrica in località Planet

*Committente: dott. geol. Roby Vuillermoz*

*Commessa: 18130HV  
Versione: 1*

*Ottobre 2018*

**DOTT. GEOL. JUNIOR ALESSANDRO ZOJA**



PARTITA I.V.A. 01130170077  
CODICE FISCALE ZJQLSN78D24A326Q

Via Voison, 26  
11100 Aosta  
alezo.78@gmail.com  
alessandro.zoja@epap.sicurezza postale.it  
telefono 3470865279

---

## Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

## **SOMMARIO**

<b>1. GENERALITÀ.....</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR.....</b>	<b>5</b>
<b>4. INDAGINE GEOFISICA TRAMITE TECNICA HVSR.....</b>	<b>7</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>14</b>

## 1. GENERALITÀ

Su incarico del **dott. geol. Roby Vuillermoz** è stata eseguita una indagine geofisica tramite tecnica HVSR riguardante il progetto di realizzazione di una cabina MT/BT ed il collegamento alla linea elettrica in località Planet, nel comune di Gignod.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico AMBROGEO "ECHO-TROMO" a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2,0 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 200 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo la direzione geografica Nord.



La prova ha comportato una registrazione della durata di 20 minuti.

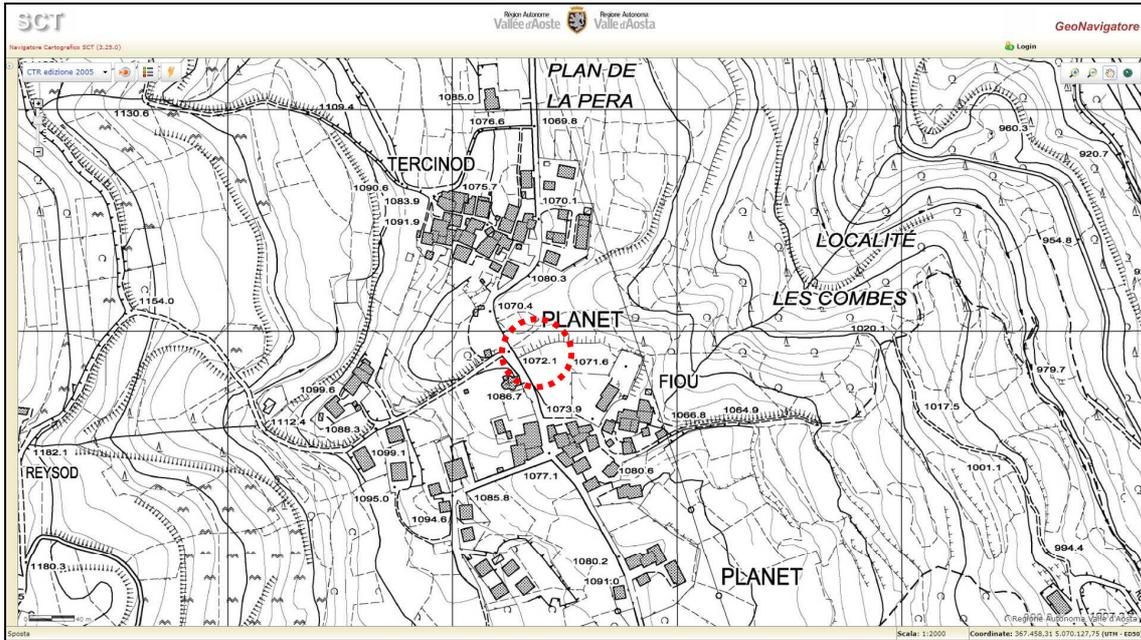
Il metodo di indagine utilizzato è quello a stazione singola dei rapporti spettrali (HVSR).

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con l'ausilio del software Easy HVSR della *GeoStru software*: si tratta di un software per l'analisi e l'archiviazione di registrazioni di rumori ambientali nelle tre direzioni ortogonali a stazione singola, secondo la ben nota tecnica di Nakamura.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il settore, individuato sulla planimetria catastale del comune di Gignod, è situato in località Planet, ad una quota di circa 1.070 m s.l.m..

Il sito è ubicato su di un settore moderatamente acclive, attualmente adibito a pascoli e/o prati irrigui.



Stralcio di carta CTR tratto dal GeoNavigator - sito web RAVA

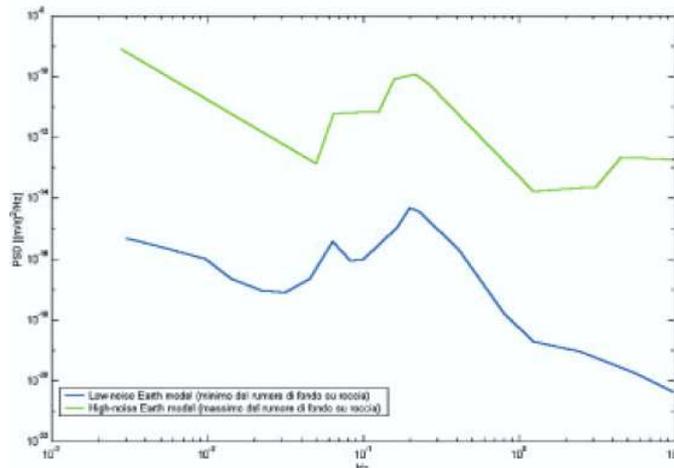


### 3. CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15}$  [m/s<sup>2</sup>] in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura, dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche.



*J. Peterson, Observations and modelling of background seismic noise, Open-file report 93-322, USGS, 1993 e Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, veloce ed economica (Silvia Castellaro, Francesco Mulargia, Luca Bianconi)*

Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però 'sepolta' all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

Dai primi studi di KANAI [1957] in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da NOGOSHI e IGARASHI [1970]. Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da NAKAMURA [1989] come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Su questo punto non è però ancora stato raggiunto consenso sebbene sia ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime

affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

La tecnica HVSR permette quindi in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

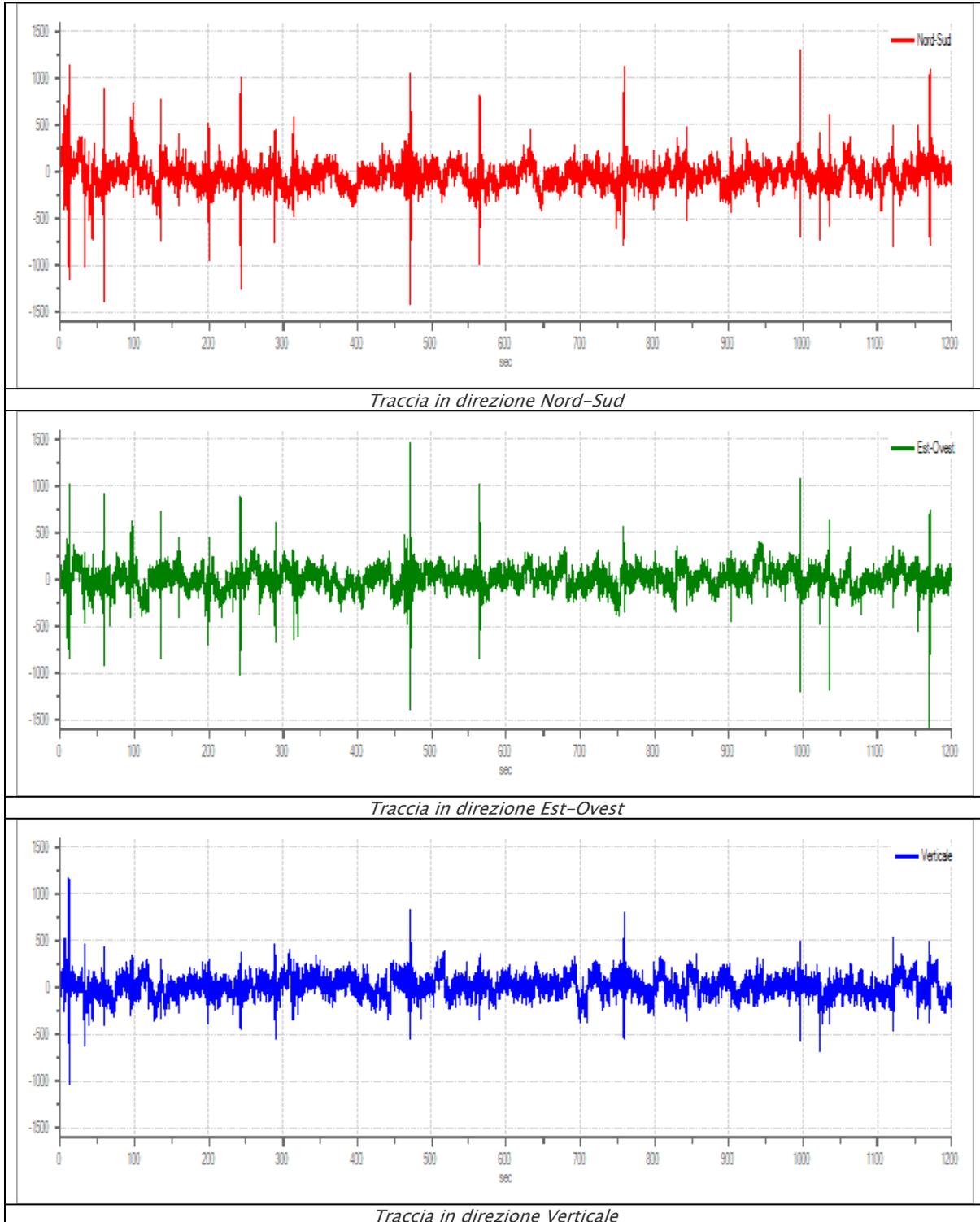
## 4. INDAGINE GEOFISICA TRAMITE TECNICA HVSR

### 4.1 TRACCE IN INPUT

#### 4.1.1 Dati riepilogativi:

➤ Numero tracce:	3
➤ Durata registrazione:	1200 s
➤ Frequenza di campionamento:	155,00 Hz
➤ Numero campioni:	186000
➤ Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

#### 4.1.2 Grafici tracce REGISTRATE



#### 4.1.3 Finestre selezionate

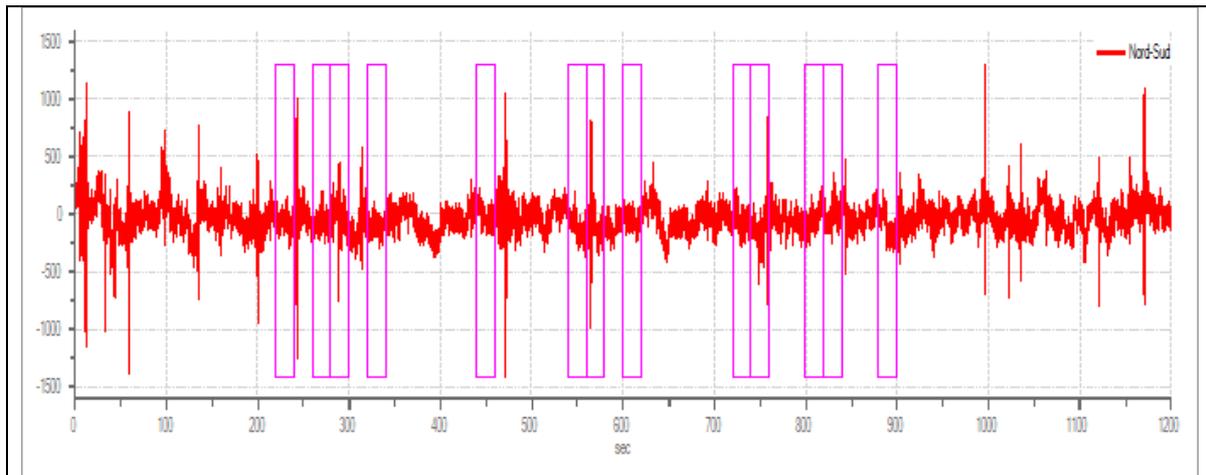
Dati riepilogativi:

- Numero totale finestre selezionate: 13
- Numero finestre incluse nel calcolo: 13
- Dimensione temporale finestre: 20,000 s
- Tipo di lisciamento: Triangolare costante
- Percentuale di lisciamento: 10,00 %

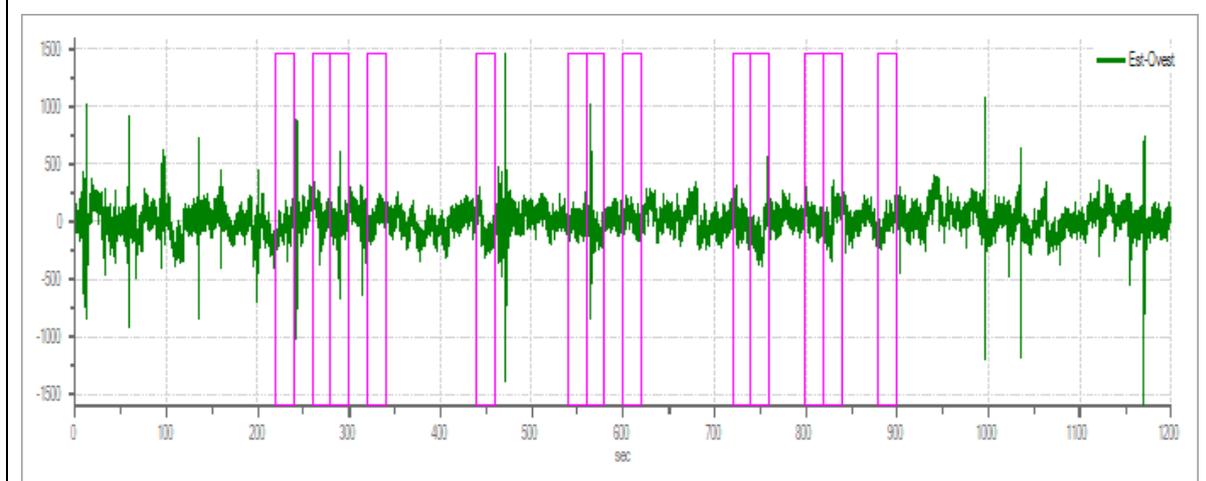
#### 4.1.4 Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	220	240	Inclusa
2	260	280	Inclusa
3	280	300	Inclusa
4	320	340	Inclusa
5	440	460	Inclusa
6	540	560	Inclusa
7	560	580	Inclusa
8	600	620	Inclusa
9	720	740	Inclusa
10	740	760	Inclusa
11	800	820	Inclusa
12	820	840	Inclusa
13	880	900	Inclusa

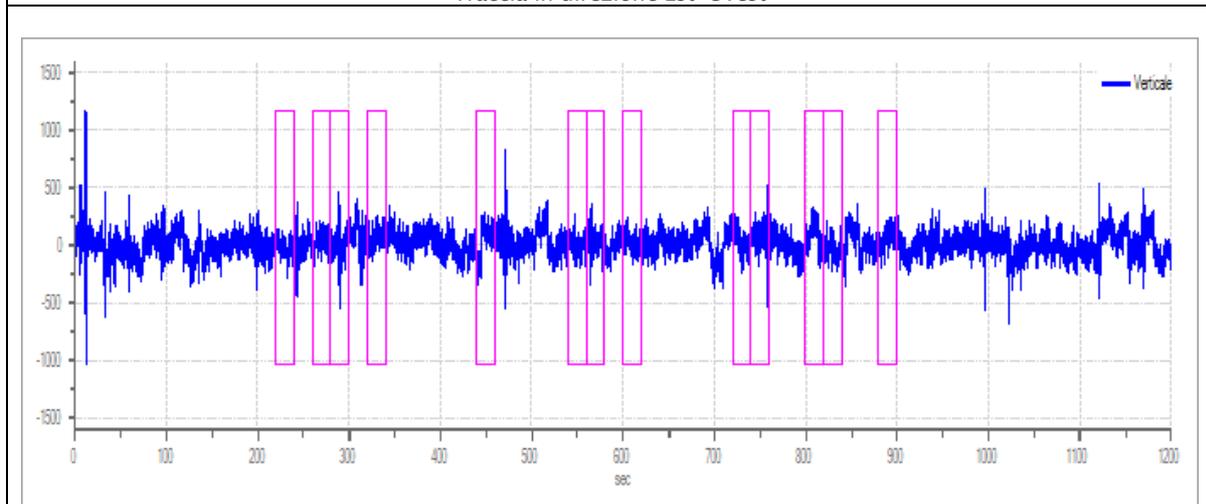
#### 4.1.5 Grafici tracce SELEZIONATE



*Traccia in direzione Nord-Sud*

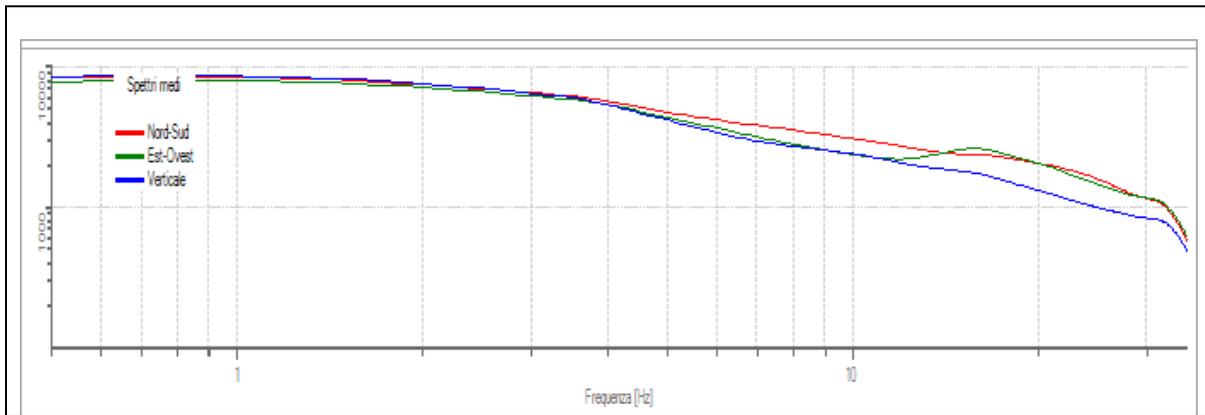


*Traccia in direzione Est-Ovest*

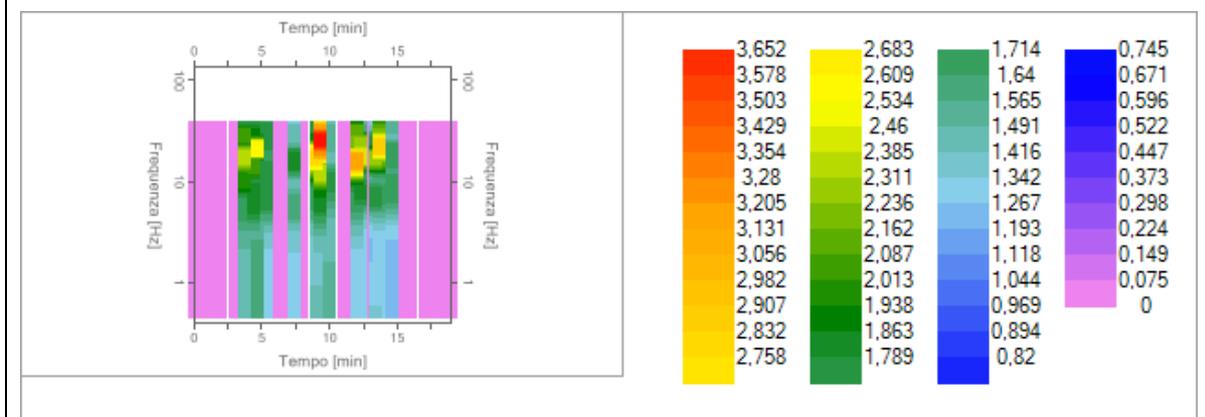


*Traccia in direzione Verticale*

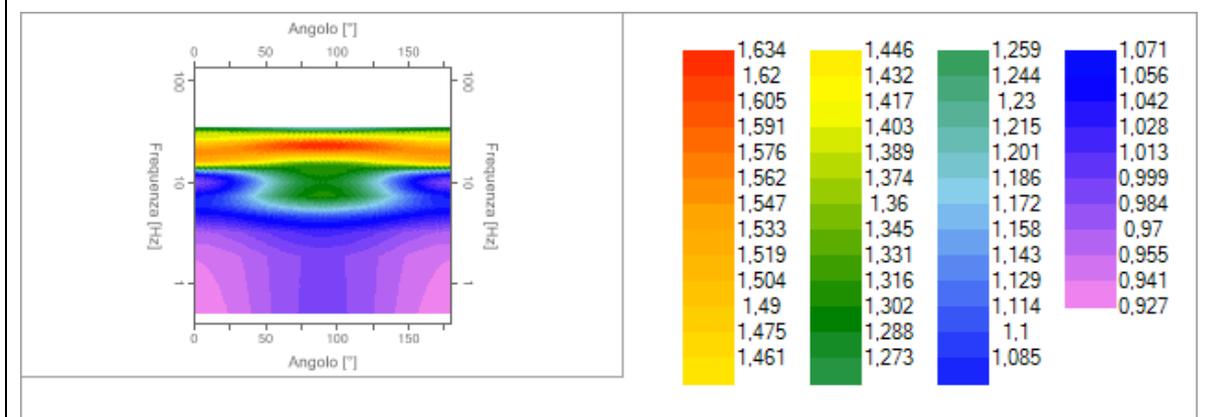
4.1.6 Grafici DEGLI SPETTRI



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## 4.2 RAPPORTO SPETTRALE H/V

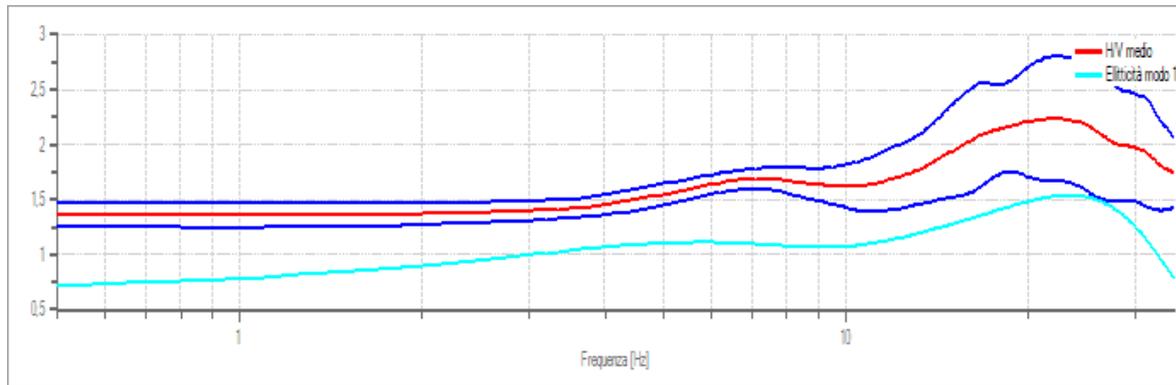
### 4.2.1 Dati riepilogativi:

- Frequenza massima: 35,00 Hz
- Frequenza minima: 0,50 Hz
- Passo frequenze: 0,15 Hz
- Tipo lisciamento:: Triangolare costante
- Percentuale di lisciamento: 10,00 %
- Tipo di somma direzionale: Media geometrica

### 4.2.2 Risultati:

- Frequenza del picco del rapporto H/V: 21,95 Hz  $\pm 0,25$  Hz

### 4.2.3 Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### 4.2.4 Verifiche SESAME:

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

Come si evince dalle verifiche la prova ha rilevato un segnale lievemente disturbato.

### 4.3 MODELLO STRATIGRAFICO

#### 4.3.1 Dati riepilogativi:

- Numero strati: 4
- Frequenza del picco dell'ellitticità: 23,45 Hz
- Valore di disadattamento: 0,09

#### 4.3.2 Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1,6	18	0,3	156
2	1,6	5	18	0,3	382
3	6,6	10	18	0,3	443
4	16,6	20	19	0,3	628



Aosta, ottobre 2018



## 5. BIBLIOGRAFIA

- CASTELLARO S., MULARGIA F., ROSSI P.L., 2008. Vs30: Proxy for Seismic Amplification? *Seism. Res. Lett.*, 79, 540–543.
- CASTELLARO S. E MULARGIA F., 2009a. VS30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, 761–773.
- CASTELLARO S. E MULARGIA F., 2009. The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.*, 166, 567–592.
- CASTELLARO S. E MULARGIA F., 2010. How far from a building does the ground motion free field start? The cases of three famous towers and of a modern building, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, 2080–2094.
- CASTELLARO S., PADRÓN A.L., MULARGIA F., 2013. The different response of apparently identical structures: a far-field lesson from the Mirandola 20th May 2012 earthquake, *Bull. Earthq. Eng.*, DOI 10.1007/s10518-013-9505-9
- CHOPRA A.K. E GOEL R.K., 2000. Building period formulas for estimating seismic displacements, *Earth. Spectra*, 16, 533–536.
- IBS-VON SEHT M., WOHLBERG J. (1999): Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bull. Seismol. Soc. America*, Vol. 89, pp. 250–259.
- KANAI K. (1957): The requisite conditions for predominant vibration of round. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, Vol. 31, p. 457.
- LACHET C., BARD P.Y. (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique. *J. Phys. Earth*, Vol. 42, pp. 377–397.
- MORA P., BALDI P., CASULA G., FABRIS M., GHIROTTI M., MAZZINI E., PESCI A. (2003): Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslides (northern Apennines, Italy). *Engineering Geology*, Vol. 68, pp. 103–121.
- MUCCIARELLI M., GALLIPOLI M.R. (2001): A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 42, pp. 255–266.
- NAKAMURA Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface. *QR of RTRI*, Vol. 30, pp. 25–33.
- NOGOSHI M., IGARASHI T. (1970): On the propagation characteristics of microtremors. *J. Seism. Soc. Japan*, Vol. 23, pp. 264–280.
- SESAME Project, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: Measurements, processing and interpretation, SESAME European Research Project WP12, deliverable no. D23.12.