

# COMUNE DI ALSENO



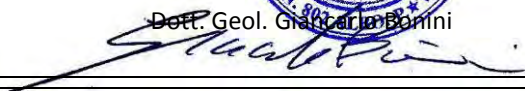

PROVINCIA DI PIACENZA  
REGIONE EMILIA ROMAGNA

LAVORO:

## AREA 4 – CORTINA

### AREA DI COMPLETAMENTO RESIDENZIALE

*Analisi geologica di fattibilità e analisi di III livello sismico*

FASE:	<b>VARIANTE AL RUE</b>	COMMESSA N°	G	1	5	G	A	0	6	5	
TITOLO:	<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	DATA	<b>SETTEMBRE 2015</b>								
		ELABORATO	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>A</b>				
		DOCUMENTO	G15_065								
ESTENSORI:	COMMITTENTE:										
 Via Martinella 50/C 43124 – PARMA tel: 0521257057 – fax: 0521921910 e-mail: <a href="mailto:geologia@geodeonline.it">geologia@geodeonline.it</a>	 Dott. Geol. Giancarlo Bonini 										
			 <b>Amministrazione Comunale di</b> <b>ALSENO</b> Piazza XXV Aprile, 1 <b>29010 ALSENO (PC)</b>								

**LAVORO A CURA DI**

**Geode s.c.r.l. Via Martinella 50/C 43124 Parma Tel 0521/257057 Fax 0521/921910**

Dott. Geol. Giancarlo Bonini

Iscritto all'Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna (n. 802)

Collaboratori

Dott.ssa Simona Contini

Dott.ssa Simona Costa

**INDICE**

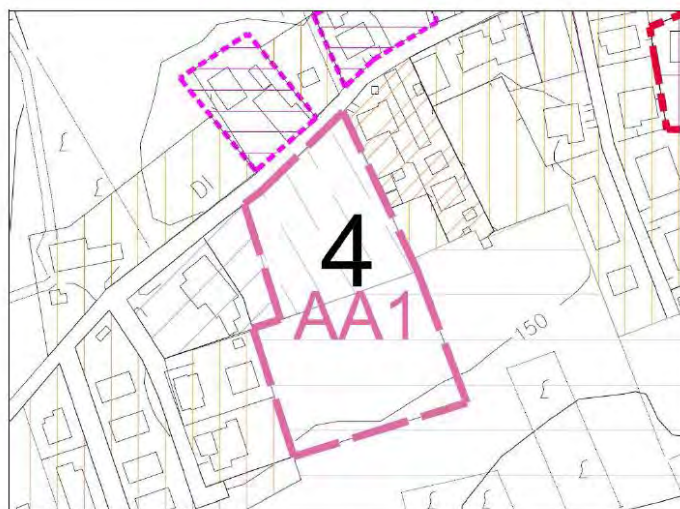
<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	Normative di riferimento	6
1.2	Localizzazione del sito e sintesi del progetto	6
<b>2</b>	<b>Inquadramento geologico ed idrogeologico</b>	<b>7</b>
2.1	Quadro geologico	7
2.2	Supersistema Emiliano-Romagnolo	7
2.2.1	AES8 - Subsistema di Ravenna	9
2.2.1.1	AES8a - Unità di Modena	9
2.2.2	AES7 - Subsistema di Villa Verucchio	10
2.2.2.1	AES7b - Unità di Vignola	10
2.2.2.2	AES7a - Unità di Niviano	10
2.2.3	AES3 - Subsistema di Agazzano	10
2.3	Supersistema del Quaternario Marino	11
2.3.1	CMZ - Sintema di Costamezzana	11
2.4	Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico	11
2.5	Idrogeologia, vulnerabilità degli acquiferi e aree di rispetto dei pozzi ad uso acquedottistico	13
2.5.1	La vulnerabilità – Tutela delle risorse idriche	13
<b>3</b>	<b>Dati geognostici</b>	<b>15</b>
3.1	Prove penetrometriche statiche (CPT)	17
3.2	Le prove sismiche tipo MASW	17
3.3	Prove sismiche tipo HV	18
3.3.1	Sismica a rifrazione con elaborazione tomografica	19
3.4	Schema litologico e modello geologico-tecnico	21
3.5	Parametri meccanici	22
3.5.1	Coesione non drenata	22
3.5.2	Modulo Edometrico	23
3.5.3	Resistenza al taglio e densità relativa	23
<b>4</b>	<b>Modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito</b>	<b>25</b>
4.1	Zonazione sismogenetica	28
4.1.1	Le sorgenti sismogenetiche	29
4.2	Sismicità storica	29
4.2.1	Classificazione sismica	31
4.3	Elementi di microzonazione sismica	33
4.3.1	Rischio sismico da PTCP Piacenza	33
4.3.2	Rischio sismico da PSC di Alseno	34
4.4	Azioni sismiche	36
4.4.1	Categorie di sottosuolo	36
4.4.2	Parametri sismici di calcolo	36
<b>5</b>	<b>Studio di microzonazione sismica di terzo livello</b>	<b>38</b>
5.1	Amplificazione topografica	38
5.2	Modello geologico del sottosuolo	38
5.3	Frequenza naturale dei depositi	40

<b>5.4</b>	<b>Velocità delle onde di taglio</b>	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping</b>	<b>43</b>
<b>5.6</b>	<b>Definizione del moto di input</b>	<b>44</b>
<b>5.7</b>	<b>Analisi di risposta sismica locale</b>	<b>45</b>
<b>5.8</b>	<b>Stabilità nei confronti della liquefazione e stima cedimenti permanenti nei terreni granulari e coesivi</b>	<b>50</b>
<b>5.9</b>	<b>Identificazione dei pendii potenzialmente instabili</b>	<b>53</b>
5.9.1	Verifica dello spostamento laterale (laterl spreading) dei terreni liquefacibili	53
5.9.2	Analisi di stabilità del pendio	53
5.9.2.1	Coefficiente di sicurezza e ricostruzione versante (Fase 1)	53
5.9.2.2	Pendio finito e metodi di calcolo	55
5.9.2.3	Definizione dei coefficienti sismici per le verifiche pseudostatiche	55
5.9.2.4	Risultati delle verifiche in condizioni statiche e pseudo statiche (Casi 1, 2 e 3)	56
5.9.2.5	Analisi di stabilità con metodi dinamici semplificati (Fase 5 – Caso 4)	61
<b>6</b>	<b>Considerazioni di fattibilità geologico-sismica</b>	<b>63</b>
	<b>ALLEGATO 1 Indagini sismiche passive anno 2013</b>	<b>68</b>
	<b>ALLEGATO 2 Indagini sismiche passive anno 2015</b>	<b>72</b>
	<b>ALLEGATO 3 Prove penetrometriche</b>	<b>84</b>
	<b>ALLEGATO 4 Indagine sismica a rifrazione-masw</b>	<b>85</b>



## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione geologica è redatta a supporto della Variante al R.U.E. per l'area n. 4 sita in località Cortina del Comune di Alseno (PC); lo studio ha come fine la valutazione di fattibilità geologico-sismica e l'esecuzione dell'analisi sismica di III Livello ai sensi della D.A.L. 112/2007 e smi.



Estratto tav.RUE4.2 "Zonizzazione"

Lo studio svolto ha contemplato:

- ✓ Esecuzione e reperimento di indagini geognostiche costituite da prove penetrometriche statiche, stendimento sismico a rifrazione, prove sismiche tipo MASW e misure di microtremore sismico (HVSr).
- ✓ Redazione di modello geologico di riferimento: in esso vengono descritte le formazioni e le litologie presenti nell'area, l'assetto stratigrafico e strutturale; la condizione morfologica e di pericolosità idrogeologica; lo studio è supportato dalla redazione della carta geologica, della carta geomorfologica e della carta idrogeologica.
- ✓ Definizione del modello litotecnico e stratigrafico locale con annessa caratterizzazione sismo-meccanica del sottosuolo; il modello è supportato da un rilievo topografico specifico eseguito per valutare le pendenze locali ed estrarre le sezioni topografiche su cui ricostruire la condizione geologica (sezioni geologiche interpretative) necessarie per l'esecuzione delle verifiche relative all'analisi di III Livello sismico.
- ✓ Analisi sismica di III Livello con elaborazione della Risposta Sismica Locale (RSL) ai sensi della DAL 112/2007, verifica della liquefazione dei terreni, verifica della stabilità globale e di versante in condizioni statiche (pre-sisma) e pseudo statiche e dinamiche (durante il sisma; verifiche eseguite sia con metodi dell'equilibrio limite – pseudostatici che con metodi dinamici – blocco rigido di Newmark).
- ✓ Valutazioni sulla fattibilità dell'intervento

In allegato sono riportate le seguenti cartografie:

**Tavola 1.** Ubicazione dell'area ed indagini geognostiche alla scala 1:2.000

**Tavola 2.** Carta geologica alla scala 1:5.000

**Tavola 3.** Carta geomorfologica alla scala 1:5.000

**Tavola 4.** Carta idrogeologica alla scala 1:5.000

**Tavola 5.** Rilievo topografico, carta dell'acclività e sezione topografica 1:1.000

**Tavola 6.** Sezioni geologiche 1:750

## 1.1 Normative di riferimento

- ⇒ O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 Costruzioni in zona sismica
- ⇒ Delibera Assemblée Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 (D.A.L. 112/2007). Approvazione Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, c.1 della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"
- ⇒ D.M. 14 Gennaio 2008. Nuove Norme Tecniche per le costruzioni
- ⇒ L.R. n. 19 del 30 Ottobre 2008. Norme per la riduzione del Rischio Sismico.
- ⇒ L.R. 19 del 30.10.2008. Norme per la riduzione del rischio sismico.
- ⇒ D.G.R. 1373/2011. Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. 19 del 2008.

## 1.2 Localizzazione del sito e sintesi del progetto

L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 180123 "Cortina" alla scala 1:5.000, ad una quota di circa 150 m s.l.m. Latitudine e longitudine (ED50) di un punto baricentrico dell'area valgono rispettivamente 44.872957° e 9.924724°.

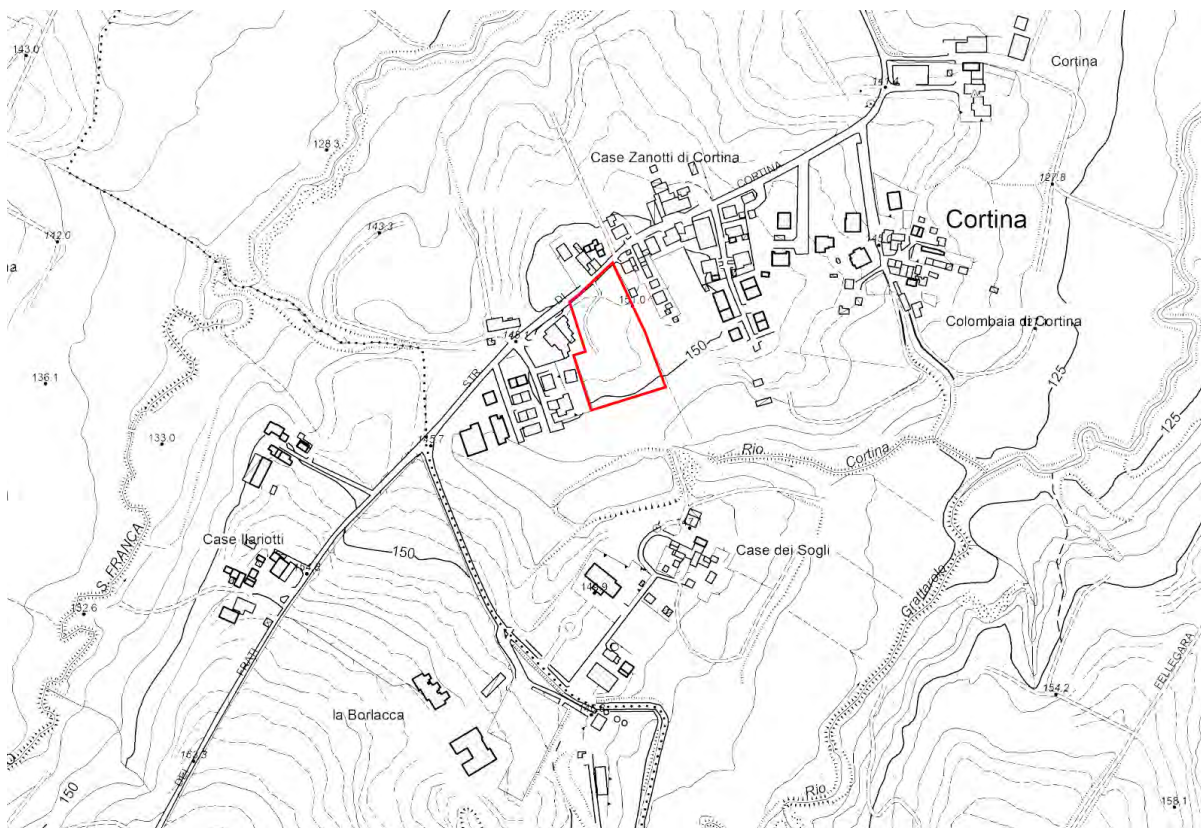


Figura 1 Ubicazione dell'area su CTR





Figura 2. Ubicazione dell'area su ortofoto Bing

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 2.1 Quadro geologico

La zona in esame rientra nel Foglio 180 "Salsomaggiore" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG): l'area risulta caratterizzata dalla presenza dei depositi appartenenti alla successione neogenica-quadernaria del margine appenninico padano ed in particolare al Subsistema di Agazzano (AES3). Si tratta di depositi appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo di origine continentale quaternario di piana e conoide alluvionale che hanno ricoperto, attraverso una vasta superficie erosionale le successioni sottostanti ed hanno progressivamente colmato i resti del bacino marino padano, attraverso un'alternanza di fasi erosivo-deposizionali. L'assetto geologico che possiamo osservare attualmente è infatti il risultato delle complesse vicende che hanno visto dapprima la sedimentazione (in ambiente marino), la strutturazione e l'emersione della catena appenninica e successivamente, a partire da circa 650.000 anni fa, il riempimento della pianura padana ad opera delle deposizioni alluvionali (in ambiente continentale).

### 2.2 Supersistema Emiliano-Romagnolo

Le unità geologiche affioranti nell'area in esame possono essere raggruppate all'interno del ciclo Quaternario Continentale, denominato Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente all'Allogruppo Emiliano-Romagnolo di R.E.R., ENI-AGIP, 1998<sup>1</sup>).

La base della successione emiliano-romagnola, definita "Supersistema Emiliano-Romagnolo" è posta intorno agli 0.65 milioni di anni fa, nel Pleistocene medio, quando la sedimentazione è diventata ovunque di ambiente continentale. Questa successione si è sviluppata in una fase di relativa calma tettonica, dove hanno predominato lenti movimenti verticali (sollevamento, subsidenza e basculamento) e si è quindi maggiormente esercitata l'influenza dei cicli climatici sulla sedimentazione.

Si distinguono due distinte porzioni, il "Sistema (o Allogruppo) Emiliano-Romagnolo inferiore" (AEI), deposto tra 650.000 e 400.000 anni fa circa, e il "Sistema Emiliano-Romagnolo superiore" (AES) (post 400.000 anni).

<sup>1</sup> REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp..

Il Sintema AEI, per lo più sepolto, corrisponde ad un ambiente di piana alluvionale, essendo composto da depositi prevalentemente fini, con intercalazioni di corpi ghiaiosi di limitata continuità laterale che diventano invece preponderanti solo in corrispondenza dei paleofiumi principali. Gli spessori variano da poche decine di metri nelle sinclinali sepolte interne e raggiungono qualche centinaio di metri nelle più profonde depressioni settentrionali. Non affiora e non è segnalato nel sottosuolo dell'area in esame.

Il Sintema AES è l'unità geologica di superficie maggiormente presente nel territorio piacentino in quanto affiora in tutto il settore di pianura. E' costituito da depositi di conoide alluvionale, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque più abbondanti nelle aree di interconoide. Soprattutto nei settori più meridionali, questi depositi risultano terrazzati, cioè in posizione sopraelevata rispetto agli alvei attuali, a testimonianza delle vicende tettoniche e climatiche che si sono verificate in questo periodo. Ampi settori basso-collinari del piacentino si presentano, infatti, come piatte superfici topografiche inclinate verso la pianura, solcate dal reticolo di drenaggio.

I ritrovamenti archeologici rivelano che i pianalti terrazzati lontani dalle aree di divagazione fluviale hanno costituito zone preferenziali di insediamento sin dal Paleolitico.

La distinzione delle unità interne al AES, cioè la definizione dei Subsintemi, viene condotta in base a considerazioni morfo-pedostratigrafiche, deposizionali, radiometriche, paleontologiche e, per l'appunto, anche antropologiche (resti di pietre lavorate e altri manufatti). La distribuzione areale di tali emergenze mostra una generale migrazione verso valle della deposizione alluvionale.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio-Olocene) è stato suddiviso in cinque subsintemi: si tratta infatti di conoidi alluvionali terrazzati, le cui superfici deposizionali relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano un'evoluzione pedostratigrafica differente; in ordine crescente di età si trova: Subsintema di Ravenna (AES8), Subsintema di Villa Verucchio (AES7), Subsintema di Agazzano (AES3), Subsintema di Maiatico (AES2) e Subsintema di Monterlinzana (AES1).

Nell'area di interesse affiora il Subsintema di Agazzano (AES3); la cui descrizione è riportata all'interno dei paragrafi successivi ed è tratta dalle note illustrative della cartografia geologica disponibile sul sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it> e dalla relazione geologica di supporto al PSC Comunale.



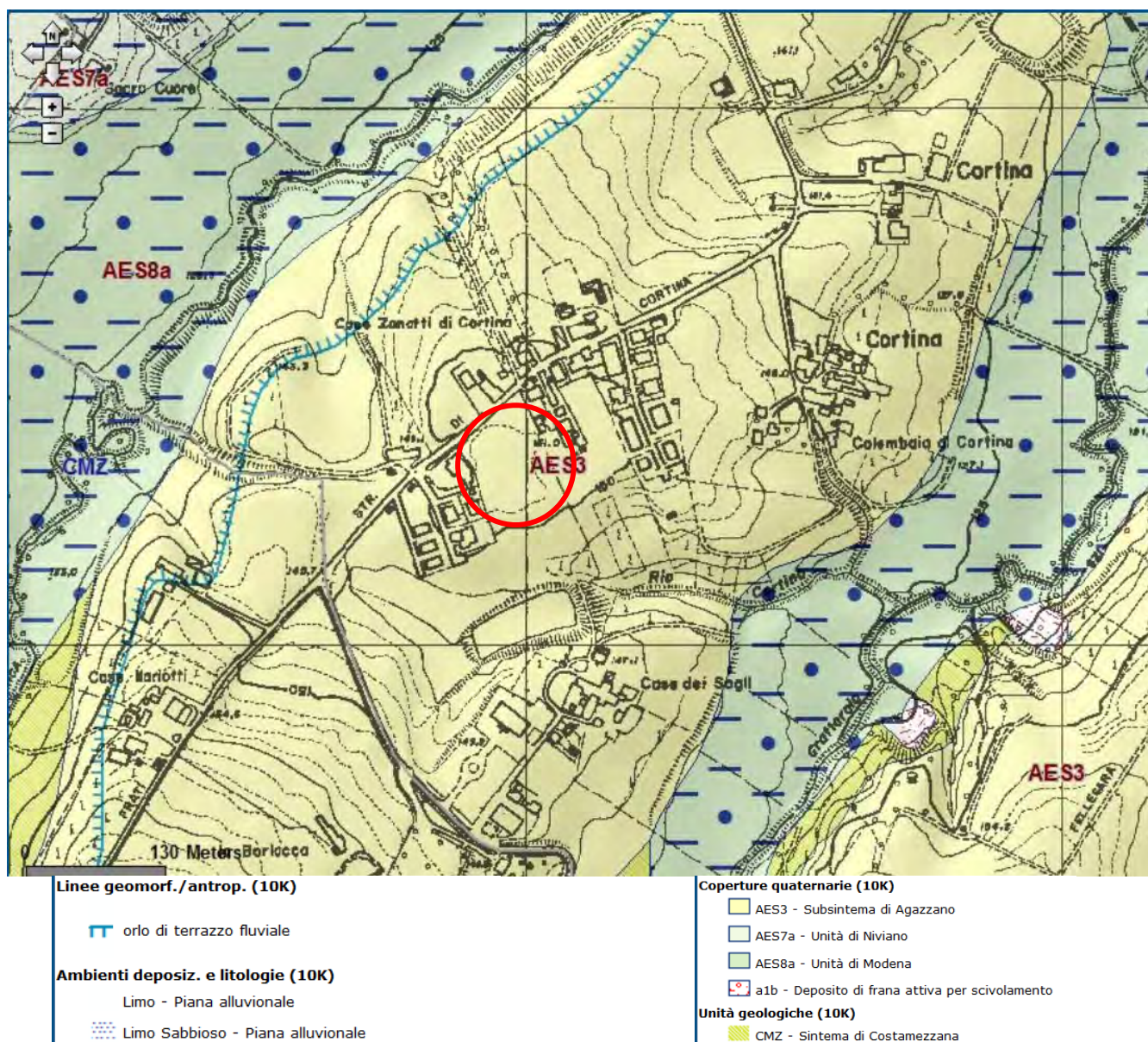


Figura 3. Estratto dalla carta geologica del progetto CARG disponibile nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

Di seguito è riportata la descrizione dei subsistemi presenti anche nell'intorno dell'area in esame

### 2.2.1 AES8 - Subsistema di Ravenna

Il Subsistema di Ravenna è composto da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sul substrato pliocenico e su AES2, AES3 e AES7. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 15 metri (zona Arda \_ Lusurasco-Alseno spessore 8.0-12.0 m; Ongina Calstelnuovo F. 2.0-4.0 m; area Stirone 3.0-8.0 m). L'unità coincide con gli ultimi depositi terrazzanti e terrazzati dei reticoli idrografici dei torrenti Stirone, Ongina e Arda. L'età è Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta, all'interno dell'Subsistema di Ravenna, l'Unità di Modena.

#### 2.2.1.1 AES8a - Unità di Modena

L'unità di Modena affiora prevalentemente nelle incisioni dei reticoli idrografici più recenti (rio S. Franca e rio Grattarolo-acqua Puzza) e nel caso dei t. Stirone, Arda, e Ongina è terrazzante rispetto all'AES8; questa unità è composta generalmente da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua:

depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide; nelle piccole vallecole dei rii S.Franca e Grattarolo è prevalentemente costituito da depositi limo-argillosi. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C.

L'età è Olocene; post IV-VII sec. d.C. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

### 2.2.2 AES7 - Subsistema di Villa Verucchio

Il subsistema è suddiviso, su base morfologica e pedostratigrafica, in due unità di spessore variabile da alcuni metri ad alcune decine di metri. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale relitta corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è erosivo e discordante su AES2, AES3, CMZ, ATS e BDG. Lo spessore massimo è di 30 m circa.

#### 2.2.2.1 AES7b - Unità di Vignola

L'AES7b affiora prevalentemente nella parte Ovest del Comune di Alseno; Alseno capoluogo giace sulla sua superficie deposizionale relitta corrispondente al piano topografico. L'unità è composta da Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino ad 1.5-2.0 m ed è di tipo A/Bw/BC/C e A/Bt/Bck/C. I depositi sono attribuibili ai sistemi idrografici dei torrenti Arda, Ongina e Stirone. L'età è Pleistocene superiore. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 15 m.

#### 2.2.2.2 AES7a - Unità di Niviano

Gli affioramenti dell'unità AES7a sono arealmente limitati e si trovano nella zona ovest del comune di Alseno; in particolare sulla sua superficie deposizionale relitta giace l'abitato di S.Rocchino e parte della strada provinciale che da S.Rocchino porta a Castell'Arquato (posta ad ovest dell'area in esame).

L'unità è composta da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 4-5 m di profondità ed è di tipo Btb/Btgb/BCb/Ckb sulle litofacies grossolane e di tipo A/Bw/Bkss e A/Bw/Btc/Bg sulle litofacies fini. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. I depositi sono attribuibili al t. Arda. L'età è Pleistocene superiore. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri.

### 2.2.3 AES3 - Subsistema di Agazzano

L'areale in cui affiora l'AES3 è decisamente più esteso rispetto a quello dell'AES7a e si trova prevalentemente nella parte sud ed orientale del comune di Alseno; in particolare sulla sua superficie deposizionale relitta giacciono da monte verso valle gli abitati di Cortina, Fellegara e Gasparini per la zona affiorante tra la Val d'Arda e la Valle Ongina e l'abitato di Castelnuovo Fogliani per la zona affiorante tra la Valle Ongina e la Valle dello Stirone.

L'unità è costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose di colore grigio-nocciola, giallo-rossastro all'alterazione (depositi di conoide alluvionale) e da depositi fini dati da limi stratificati, grigio-nocciola, giallo-ocracei all'alterazione, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie (depositi di interconoide). I depositi intravallivi sono spesso terrazzati e incisi dai reticoli idrografici più recenti.

Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 6-7 m di profondità ed è di tipo Btb/Btcb/BCb/Ckb/Cb sulle litofacies grossolane e di tipo A/Bw/Bkss sulle litofacies fini. L'unità presenta una copertura fine, composita, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto e di tipo A/E/Bt/Btc/Btb/Btcb/Btb/Btcb. Parte di tale copertura fine è interpretato come un deposito eolico (loess). Il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità AES2 e sulle unità plio-pleistoceniche. Nell'area in esame è in contatto erosivo sui depositi marini del CMZ (capitolo successivo). I depositi sono attribuibili all'attività dei paleotorrenti Arda e Stirone. Lo spessore massimo è di circa 25-30 metri e l'età è Pleistocene medio.

### 2.3 Supersintema del Quaternario Marino

Stratigraficamente sottostante al Sintema Emiliano-Romagnolo affiora il Supersintema del Quaternario Marino. L'unità è costituita da depositi paralici e marini, giacenti al di sopra di una superficie di discontinuità regionale, cartografata in affioramento e presente nel sottosuolo del comune di Alseno. Al tetto l'unità è limitata da una superficie di discontinuità, localmente erosiva, marcata dal brusco avanzamento dei sistemi deposizionali e dalla diffusione dei depositi continentali. La presenza, all'interno dell'unità, di una importante superficie di discontinuità di ordine gerarchico inferiore consente la distinzione di due sintemi: il Sintema del Torrente Stirone (ATS) ed il Sintema di Costamezzana (CMZ). L'età è Pliocene superiore - Pleistocene inferiore. Nel sottosuolo dell'area in esame è presente il Sintema di Costamezzana (CMZ).

#### 2.3.1 CMZ - Sintema di Costamezzana

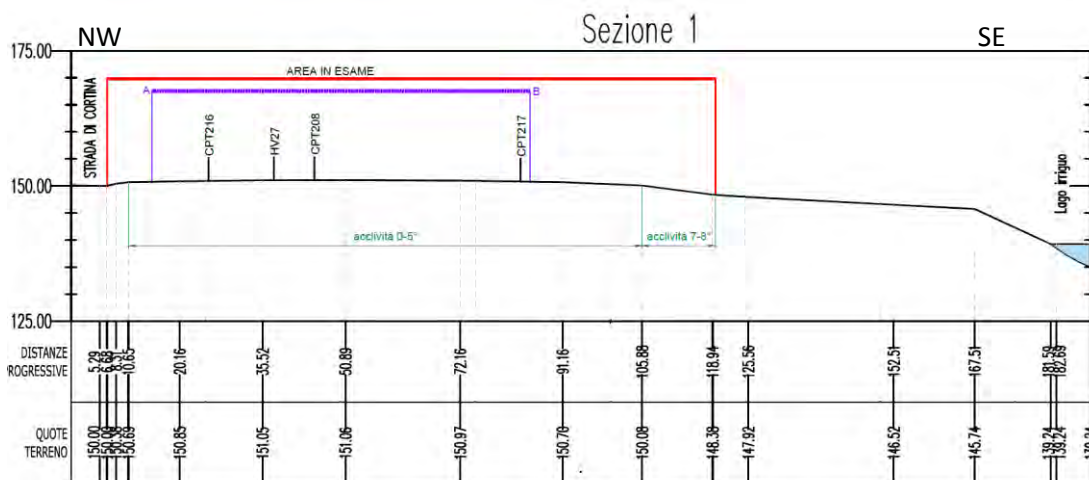
Il CMZ affiora prevalentemente nella zona sud del comune di Alseno, in particolare i suoi depositi affiorano nella zona di Colle S. Giuseppe ed a valle dello colle dove vengono incisi e portati in affioramento dal reticolo idrografico minore (rio S. Maria e rio Posticcio), inoltre affiora lungo i versanti meridionali della valle del t. Ongina, mentre verso Ovest sono individuabili lungo l'impluvio del rio Castellazzo e soprattutto del rio Serra-Grattarolo (posto poco a sud-est dell'area in esame).

L'unità è costituita da corpi metrici lenticolari di ghiaie, raramente gradate, amalgamate con matrice sabbiosa e clasti pelitici anche di grandi dimensioni (metrici), sabbie medie o fini ben selezionate con localmente sviluppo di stratificazione obliqua, laminazione piano-parallela, HCS. Intercalazioni lenticolari di ghiaie fini e medie in matrice sabbiosa. Argille e limi grigio-nerastri fossiliferi (presenza di pecten e cerastodermi lungo l'impluvio dei rio Posticcio e del rio S. Maria) e bioturbati con presenza di frustoli vegetali. Le facies sono interpretate come depositi di *fan-delta* e di ambienti marino-marginali e continentali. Il contatto basale è erosivo o netto e discordante su ATS. L'età è del Pleistocene inferiore e lo spessore è variabile da alcuni metri a qualche centinaio di metri.

### 2.4 Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico

Dal punto di vista morfologico l'area è, in prevalenza, il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'intervento antropico. Il sito oggetto di studio è posto nel settore meridionale del territorio comunale di Alseno ad una quota di circa 150 m slm.

Per quanto concerne i dissesti sui versanti **non sono censite e presenti frane attive e/o quiescenti**; si evidenzia come l'area, subpianeggiante presenta pendenze inferiori a 5° nella porzione di monte e di circa 7-8° nella scarpata di valle come si evince anche dalla sezione topografica e dalla carta dell'acclività riportata nella tavola 5.



L'area risulta **esterna alle perimetrazioni di frane attive e/o quiescenti della Tavola A3 del PTCP** di Piacenza (figura seguente): come descritto in precedenza, il sito è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati.



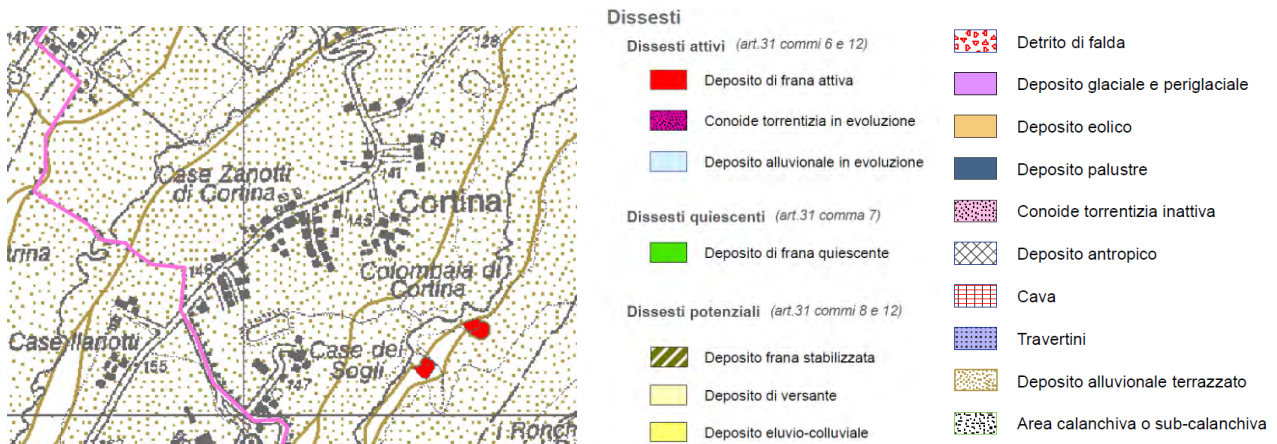


Figura 4.. Estratto dalla Tavola A3 del PTCP di Piacenza

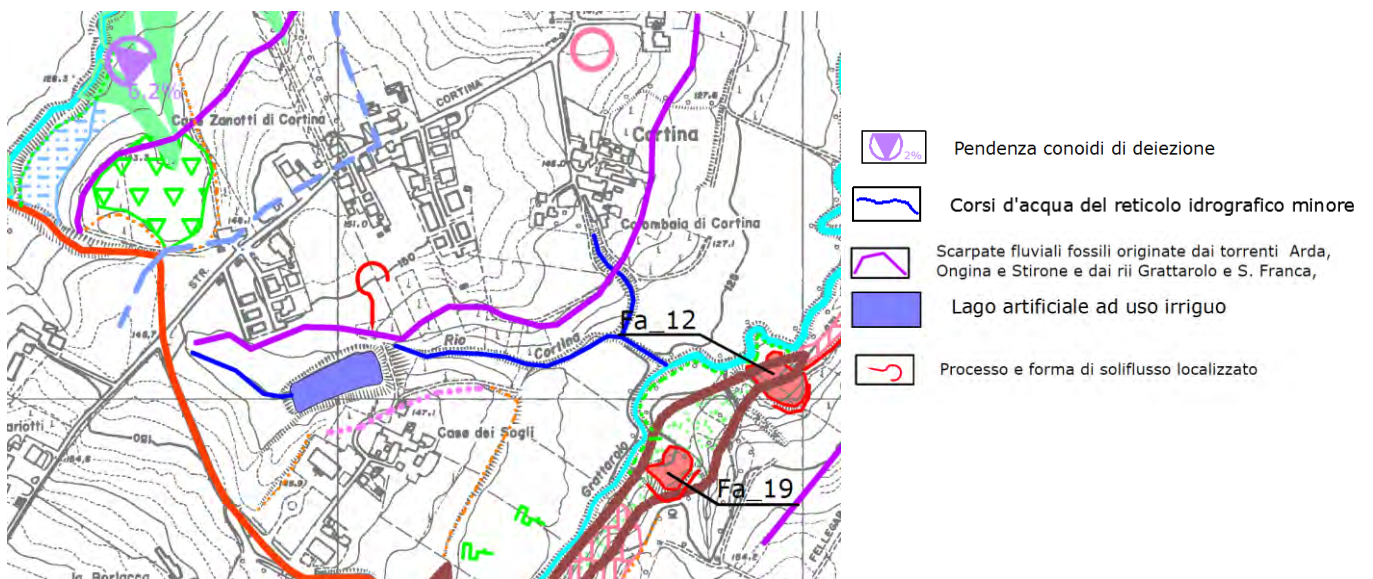


Figura 5. Estratto dalla tav. QC B10 "carta geomorfologica" del PSC di Alseno

In merito al reticolo idrografico, l'area è ubicata ad ovest del Rio di Cortina.

Nella Tavola A.1 del PTCP di Piacenza "Tutela ambientale, paesaggistica e storico culturale" si segnala come **il sito ricada esternamente alle fasce fluviali**. Per il Rio S. Franca, presente ad ovest dell'area in esame è invece indicata la fascia di integrazione dell'ambito fluviale (art.14 del PTCP).

Dal punto di vista idraulico l'area risulta esterna alla perimetrazione delle fasce fluviali così come definite dal PAI/PTCP.

**Nel Piano di Gestione delle Alluvioni l'area è esterna agli scenari del rischio alluvioni.** Di seguito si riporta la cartografia del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Bacino del Fiume Po (dic.2014) in riferimento ai tre scenari di piena previsti dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.lgs n.49/2010.



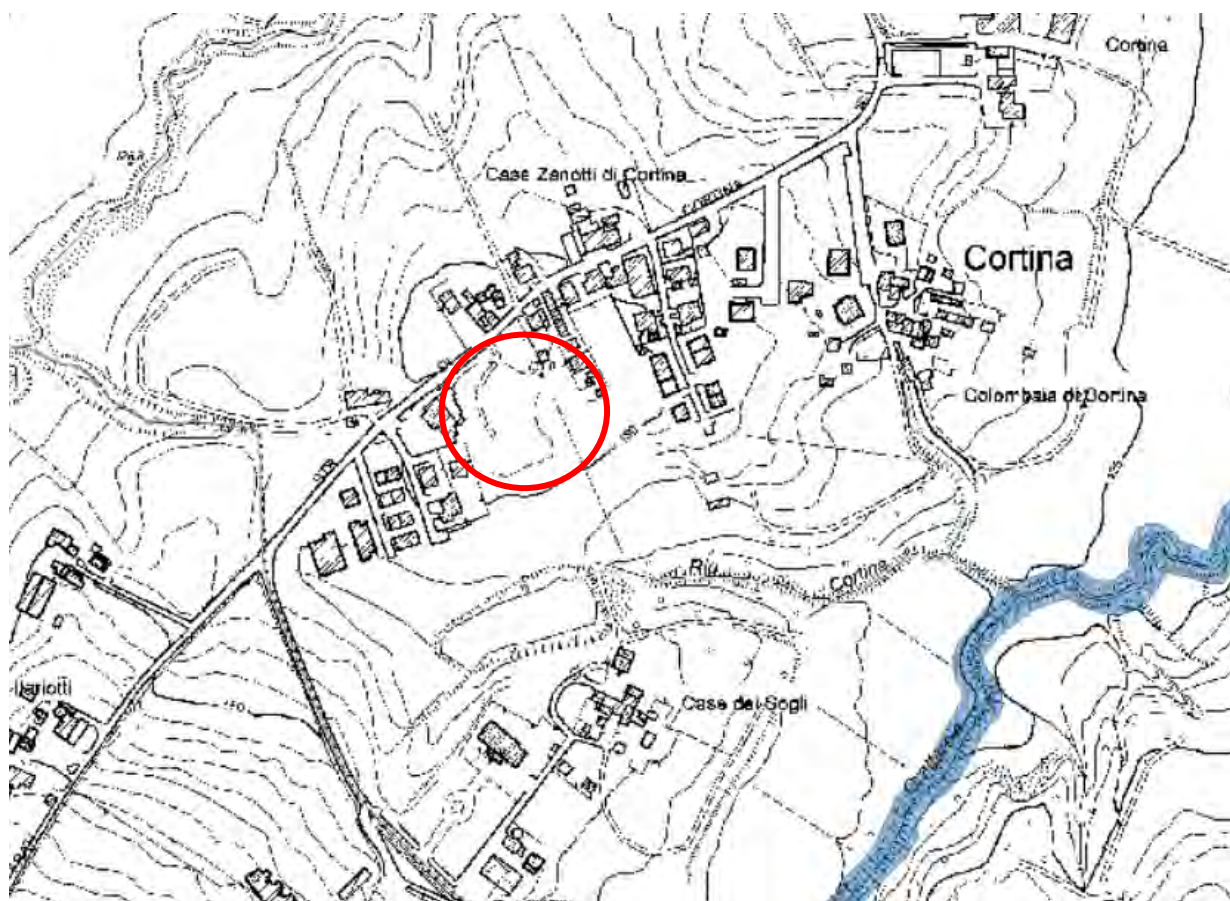


Figura 6. Estratto dal Piano di Gestione Alluvioni [estratto dal sito <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni>]

## 2.5 Idrogeologia, vulnerabilità degli acquiferi e aree di rispetto dei pozzi ad uso acquedottistico

Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata dalla presenza del complesso acquifero A2 con piezometria media di circa 122 m s.l.m. e soggiacenza -27 m dal p.c. Non si esclude comunque che durante gli eventi meteorici occasionali o in corrispondenza di periodi particolarmente piovosi il livello piezometrico possa risalire a quote anche elevate e soprattutto che i livelli di ghiaie superficiali siano interessati da acque effimere.

L'area è esterna alle zone di rispetto dei pozzi ad uso acquedottistico.

L'area si trova all'interno della zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

E' segnalata inoltre come area di ricarica di tipo B (ricarica indiretta), come Zona di vulnerabilità intrinseca alta, elevata ed estremamente elevata dell'acquifero superficiale e come Zona di vulnerabilità da nitrati.

L'elemento idraulico di maggiore rilievo risulta essere il Rio Cortina che scorre sud dell'area in esame.

Nella pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998)<sup>2</sup> l'area in esame è ubicata in una zona in cui lo spessore cumulativo dei depositi porosi permeabili del gruppo acquifero A è compreso tra 20-40 m e la profondità del limite basale è compresa tra 0-50 m s.l.m.

### 2.5.1 La vulnerabilità – Tutela delle risorse idriche

Per meglio individuare la zona in esame sotto il profilo della pericolosità idrogeologica sono state consultate diverse cartografie disponibili.

Dallo stralcio della tavola B1g del PTCP della provincia di Piacenza "Carta delle aree rilevanti per la tutela delle acque", riportato in figura seguente, è possibile notare che l'area in esame si trova in una zona a **vulnerabilità alta**, in settore di ricarica di tipo B (ricarica indiretta).

<sup>2</sup> REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp..

Nella *tavola A1* del PTCP di Piacenza “Tutela ambientale, paesaggistica e storico culturale” il sito è compreso all’interno delle zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Nella *tavola A5* “Tutela delle risorse idriche” del PTCP di Piacenza, il sito ricade all’interno delle aree di ricarica in territorio di Pedecollina-Pianura, settore di ricarica di tipo B – ricarica indiretta, nelle zone di vulnerabilità intrinseca alta, elevata ed estremamente elevata dell’acquifero superficiale e nelle aree critiche in quanto zone di vulnerabilità da nitrati (ZVN).

Nella carta della vulnerabilità allegata al quadro conoscitivo del P.S.C. del comune di Alseno, l’area in esame è indicata **vulnerabilità Media (Am)**, derivata da vulnerabilità idrogeologica alta e da una capacità di attenuazione dei suoli moderata e limitatamente alla porzione nord orientale in **vulnerabilità Media (Mm)** derivata da vulnerabilità idrogeologica media e da una capacità di attenuazione dei suoli moderata.

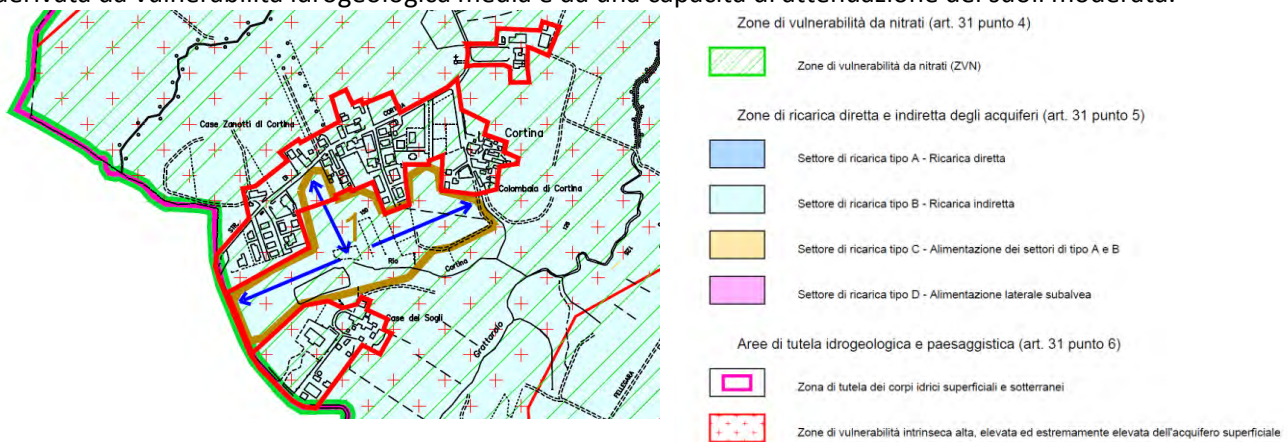


Figura 7.. Estratto dalla Tavola PSC7bis del PSC del Comune di Alseno (PC)

Nella Tavola PSC7bis del PSC del comune di Alseno l’area in esame ricade all’interno delle zone di ricarica diretta ed indiretta degli acquiferi, settore di ricarica tipo B – Ricarica indiretta, in una zona di vulnerabilità da nitrati (ZVN) e in una zona di vulnerabilità intrinseca alta, elevata ed estremamente elevata dell’acquifero superficiale.



### 3 DATI GEOGNOSTICI

Sono stati analizzati i dati geognostici riportati nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>, nel PSC del Comune di Alseno ed eseguite alcune indagini geognostiche integrative (n. 2 prove penetrometriche, n. 1 stendimento sismico a rifrazione, n. 1 prova MASW e n. 3 HV); le indagini eseguite e reperite sono riportate nella figura e tabella sottostanti:

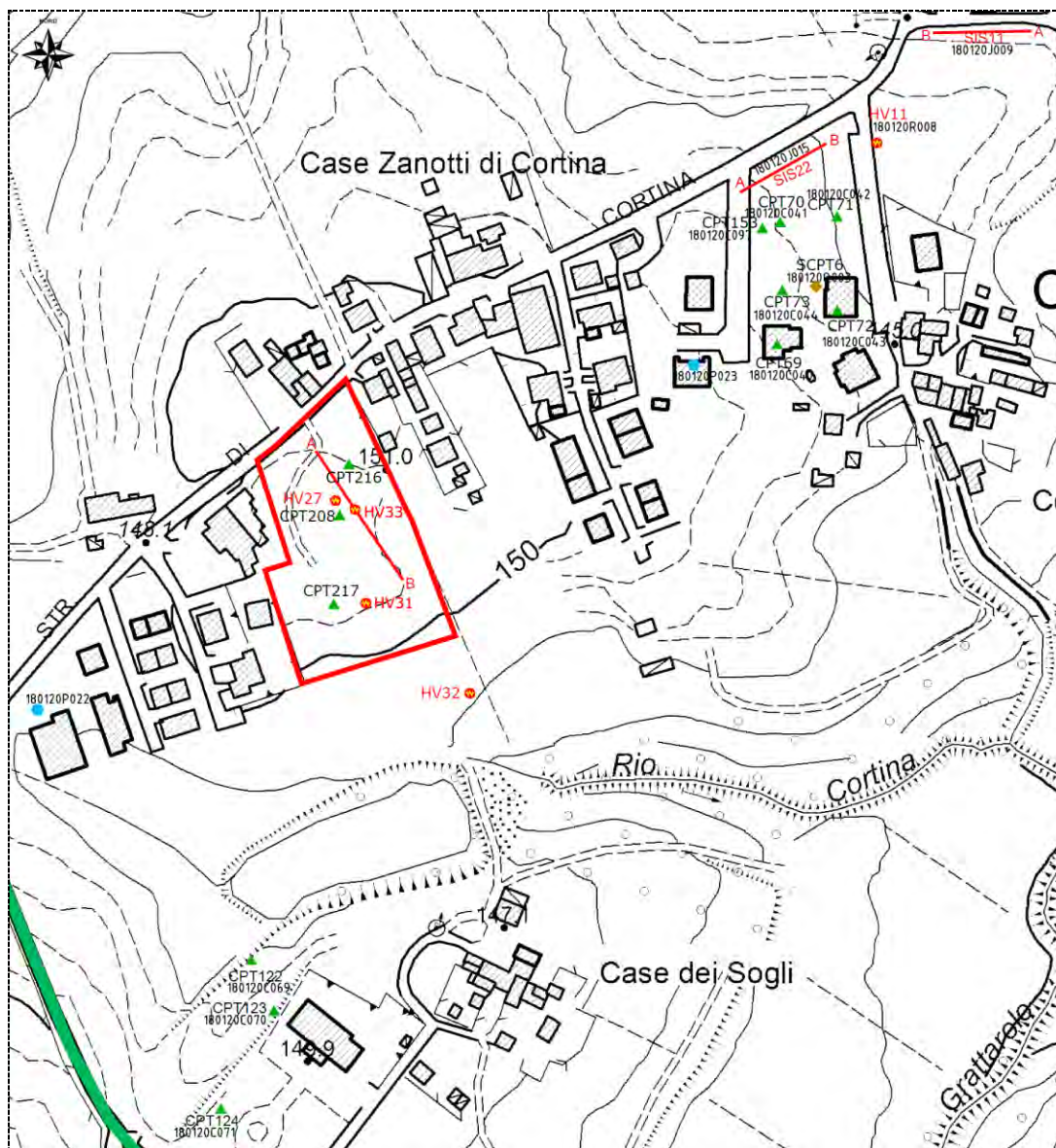


Figura 8. Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite e reperite

SIGLA RER	SIGLA DB Comunale	QUOTA_P_C	PROF_RAGGI	DATA_ESECU	TETTO_GHIA	TIPO_PROVA	COMUNE	CTR
180120P022		149.0	4.7		0.0	sondaggio a distruzione	ALSENO	180120
180120P023		149.0	4.8		0.0	sondaggio a distruzione	ALSENO	180120
180120P607		123.0	84.0		24.0	pozzo per acqua	ALSENO	180120
180120R008	Hv11	145.0	100.0	09/05/2013	0.0	misure di microtremore a stazione singola (HVSR)	ALSENO	180120
180120C040	CPT69	147.0	9.6	14/05/2004	0.0	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C041	CPT70	146.0	8.4	14/05/2004	0.0	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C042	CPT71	145.0	9.0	14/05/2004	9.0	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C043	CPT72	145.0	9.6	14/05/2004	9.6	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120

SIGLA RER	SIGLA DB Comunale	QUOTA_P_C	PROF_RAGGI	DATA_ESECU	TETTO_GHIA	TIPO_PROVA	COMUNE	CTR
180120C044	CPT73	146.0	9.8	14/05/2004	0.0	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C069	CPT122	145.0	7.8	03/03/2008	7.8	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C070	CPT123	147.0	6.8	03/03/2008	6.6	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C071	CPT124	148.0	5.8	03/03/2008	5.8	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120C097	CPT153	146.0	8.8	12/04/2011	0.0	prova CPT con punta meccanica	ALSENO	180120
180120Q003	SCPT6	146.0	10.2	30/07/2001	10.2	prova dinamica con penetrometro medio (DPM)	ALSENO	180120
180120J009	SIS 11	141.0	-		-	Prova MASW	ALSENO	180120
180120J015	SIS 22	146.0	-	01/05/2011	-	Prova MASW	ALSENO	180120

Per la caratterizzazione geologica e geotecnica del sito sono state considerate diverse prove geognostiche: n°4 misure di rumore ambientale a stazione singola (Hv), n°3 prove penetrometriche statiche e n°1 stendimento sismico a rifrazione/masw.

<i>Sigla</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Profondità indagata (m da p.c.)</i>	<i>Tetto delle ghiaie (m dal p.c.)</i>
CPT208	Prova penetrometrica statica	7.0	6.6
CPT216	Prova penetrometrica statica	14.6	7.0
CPT217	Prova penetrometrica statica	14.4	6.2
Masw	Stendimento sismico a rifrazione e prova sismica tipo MASW	-	-
HV027	Prova tipo HVSR	>30	-
HV031	Prova tipo HVSR	>30	-
HV032	Prova tipo HVSR	>30	-
HV033	Prova tipo HVSR	>30	-

### 3.1 Prove penetrometriche statiche (CPT)

Le prove penetrometriche statiche sono state effettuate con un penetrometro statico olandese tipo "Gouda" da 10 t di spinta, velocità di avanzamento di 2 centimetri al secondo con punta meccanica tipo "Begemann" avente diametro di 35,7 mm, area della punta di 10 cmq, angolo di apertura di 60 gradi con manicotto laterale. Le prove penetrometriche statiche consistono nell'infiggere nel terreno la punta, precedentemente descritta e misurare la resistenza che oppone il terreno alla penetrazione. E' opportuno sottolineare che le prove penetrometriche, così come sono state eseguite, permettono di ottenere la resistenza di punta ( $q_c$  o  $R_p$ ) e la resistenza laterale ( $q_s$  o  $R_l$ ). Tramite i valori di  $q_c$  e  $q_s$  è possibile ricavare informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche meccaniche del terreno. I valori di resistenza alla punta  $q_c$  e di resistenza laterale  $q_s$  delle prove penetrometriche statiche hanno permesso di eseguire una interpretazione litologica puntuale ogni 20 cm di spessore del terreno.

Tramite i valori di  $q_c$  e  $q_s$  è possibile ricavare informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche meccaniche del terreno. Per la caratterizzazione litologica dei terreni sono state utilizzate le classificazioni proposte dalle Raccomandazioni A.G.I (1977)<sup>3</sup> e da Begemann (1965)<sup>4</sup> sulla base del rapporto  $F$  e quelle proposte da Schmertmann (1978)<sup>5</sup> e da Robertson-Campanella (1983)<sup>6</sup> in base al valore del rapporto di resistenza  $F_r$  (friction ratio) correlato con la resistenza alla punta  $q_c$ .

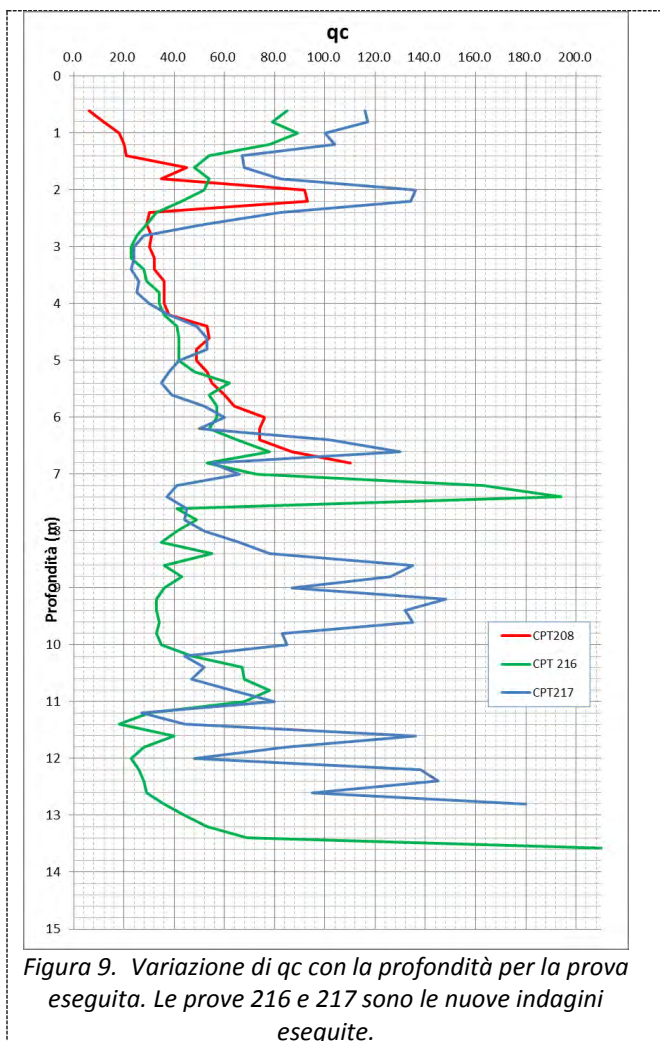


Figura 9. Variazione di  $q_c$  con la profondità per la prova eseguita. Le prove 216 e 217 sono le nuove indagini eseguite.

### 3.2 Le prove sismiche tipo MASW

Per mezzo della tecnica MASW (Park et al.,1999<sup>7</sup>), e quindi lo studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi, è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. Le indagini MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono utilizzate per la determinazione del profilo di rigidezza dei terreni più superficiali. L'approccio utilizzato è basato su una doppia trasformata del campo d'onda (trasformate Slant-Stack e di Fourier), per mezzo della quale viene rappresentato il segnale nel dominio  $\omega$ - $p$  (frequenza angolare-slowness), in cui è possibile identificare la curva di dispersione sperimentale delle onde di Rayleigh.

Le indagini MASW sono eseguite con un sismografo a 24 canali e geofoni a bassa frequenza (<10 Hz); lo stendimento è realizzato partendo da un punto centrale (misuratore) dove è posizionato lo strumento di acquisizione; nella norma i 24 canali sono suddivisi in due stendimenti da 12 geofoni con baricentro posto

<sup>3</sup> Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

<sup>4</sup> Begeman H.K. (1965) "The fiction racket cone a san aid in determining the soil profile" Proc. 6th ICSMFE, V.1, 17-20

<sup>5</sup> Schmertmann, J.H. (1978) "Guidelines for Cone Penetration Test performance and design" U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report no. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C. 145p.

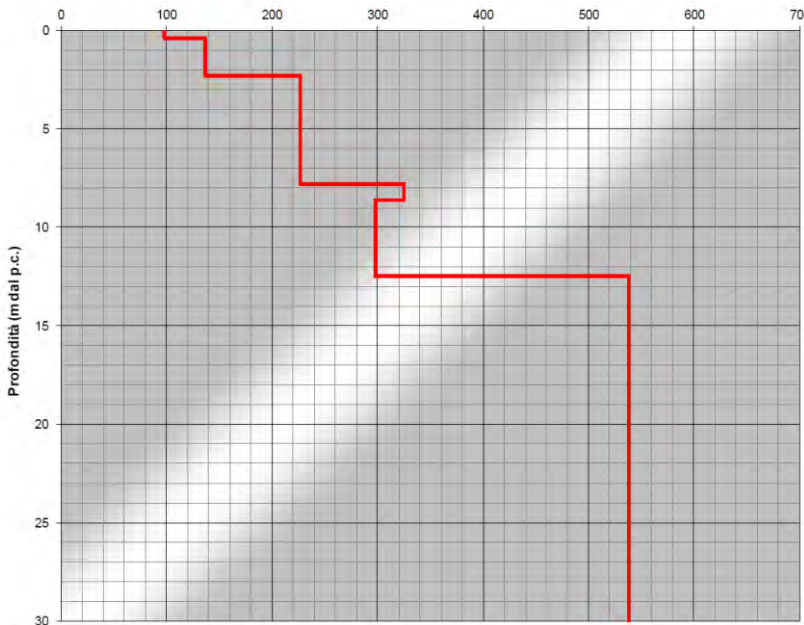
<sup>6</sup> Robertson, P.K., and R.G. Campanella, (1989). "Design Manual for Use of CPT and CPTU", University of British Columbia, BC, 200p.

<sup>7</sup> Park C. B., Miller R. D. & Xia J., 1999. Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800-808.



nello strumento di acquisizione; l'asse intergeofonico è pari a 2/3 m. L'energizzazione viene eseguita in posizione esterna a circa 4-8 m dal geofono più distante dall'acquisitore; l'energizzatore è rappresentato da una mazza battente su piastra orizzontale

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato sulla base della prova Masw risulta pari a **332m/s** evidenziando la presenza di terreni appartenenti al **tipo C**, secondo le NTC2008.



Spessore (m)	$V_s$ (m/s)
0,4	98
1,9	137
5,5	227
0,8	325
3,9	298
40,0	538
145,0	518
Inf.	1340

Figura 10. Prova sismica Masw

### 3.3 Prove sismiche tipo HV

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo a una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz.

Il principio su cui si basa questo strumento è piuttosto semplice. Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si tenta di determinare il profilo verticale delle  $V_s$ .

Il rapporto spettrale H/V è sensibile ai contrasti di  $V_s$ , ma può identificarne la profondità solo una volta che siano note le  $V_s$  o, viceversa, può identificare le  $V_s$  una volta note le profondità.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

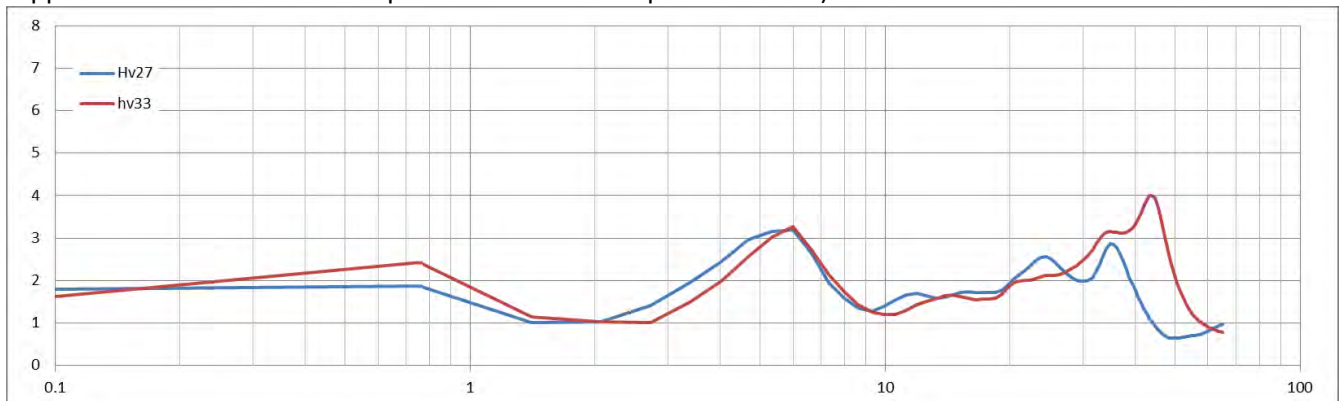


Figura 11. Spettri d'ampiezza delle prove Hv27-Hv33

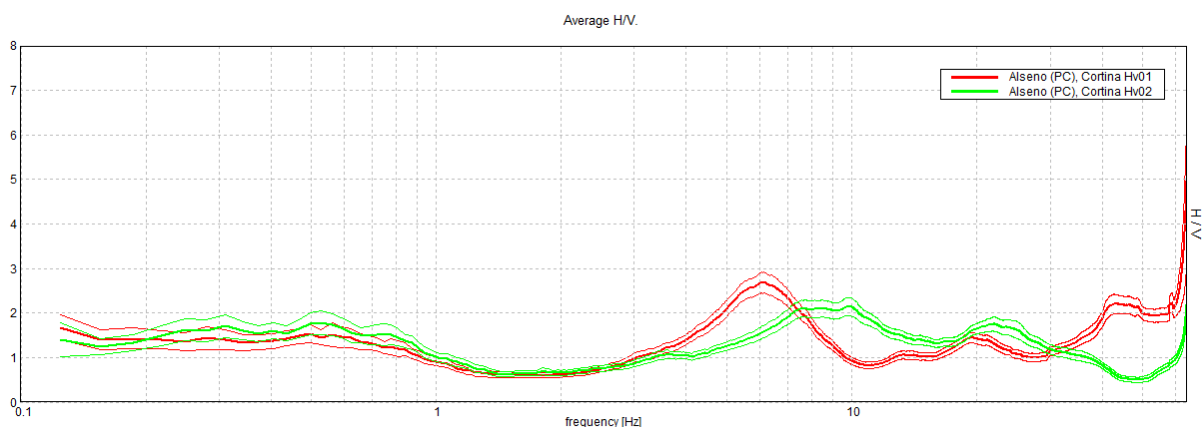


Figura 12. Spettri d'ampiezza delle prove Hv31(1)-Hv32(2)

### 3.3.1 Sismica a rifrazione con elaborazione tomografica

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione (shot) fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

La strumentazione necessaria per le prospezioni comprende una serie di geofoni che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico stratigrafica. I dati acquisiti sono stati elaborati secondo il metodo sismico-tomografico. L'elaborazione tomografica è una tecnica di indagine con un alto potere risolutivo che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Le tomografie offrono comunque una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale: è doveroso inoltre tener conto che il metodo topografico individua generalmente, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità), spessori diversi, di solito maggiori, di quelli valutati dalla sismica a rifrazione.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a 24 geofoni verticali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzata una mazza da 8 Kg ad impatto verticale su piastra metallica.

La sezione tomografica ottenuta evidenzia profondità d'indagine dell'ordine di 15 m. Sulla base delle velocità sismiche rilevate si è individuato il seguente modello di sottosuolo:

- ✓ Unità superficiale a medio-bassa velocità: velocità sismiche inferiori a 1100 m/sec e spessore costante lungo lo stendimento di circa 13-14 m. Si tratta di depositi continentali di origine alluvionale;
- ✓ Unità di fondo a velocità media: velocità sismiche maggiori di 1100 m/s, dovrebbe rappresentare il substrato roccioso marino rappresentato in loco da areniti mediamente cementate appartenenti al Sintema di Costamezzana.

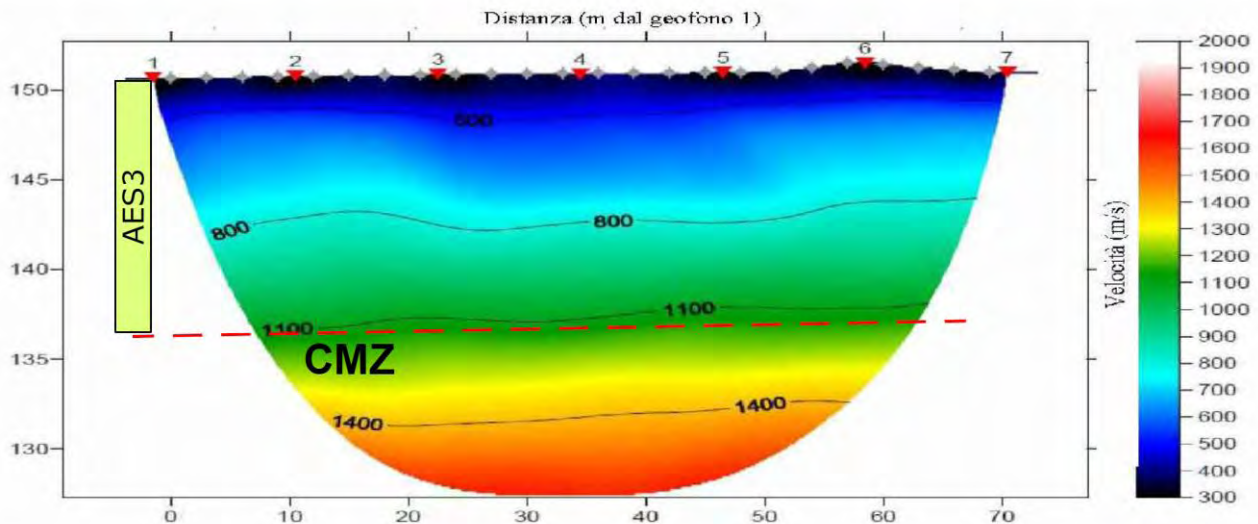


Figura 13..Sezione tomografica relativa allo stendimento sismico.

La sismica a rifrazione evidenzia una monotona successione di sismostrati tendenzialmente piano paralleli individuando nella fascia superficiale piccole anomalie nel passaggio tra i 600-700 m/s di  $V_p$  facendo supporre la presenza di livelli ghiaiosi relativamente diffusi.

Si segnala come il passaggio depositi continentali AES3 e depositi marini CMZ sembra contrassegnato dalle isolinee corrispondenti 1100 m/s di  $V_p$ .

Il gradiente di  $V_p$ , con la profondità, risulta lineare ed alquanto omogeneo.



### 3.4 Schema litologico e modello geologico-tecnico

Per ottenere informazioni relative alla situazione del sottosuolo sono state considerate le risultanze delle indagini eseguite, costituite da prove penetrometriche statiche dalle indagini sismiche e dai dati bibliografici reperiti. Sulla base di queste informazioni è possibile definire il seguente schema litologico e geotecnico:

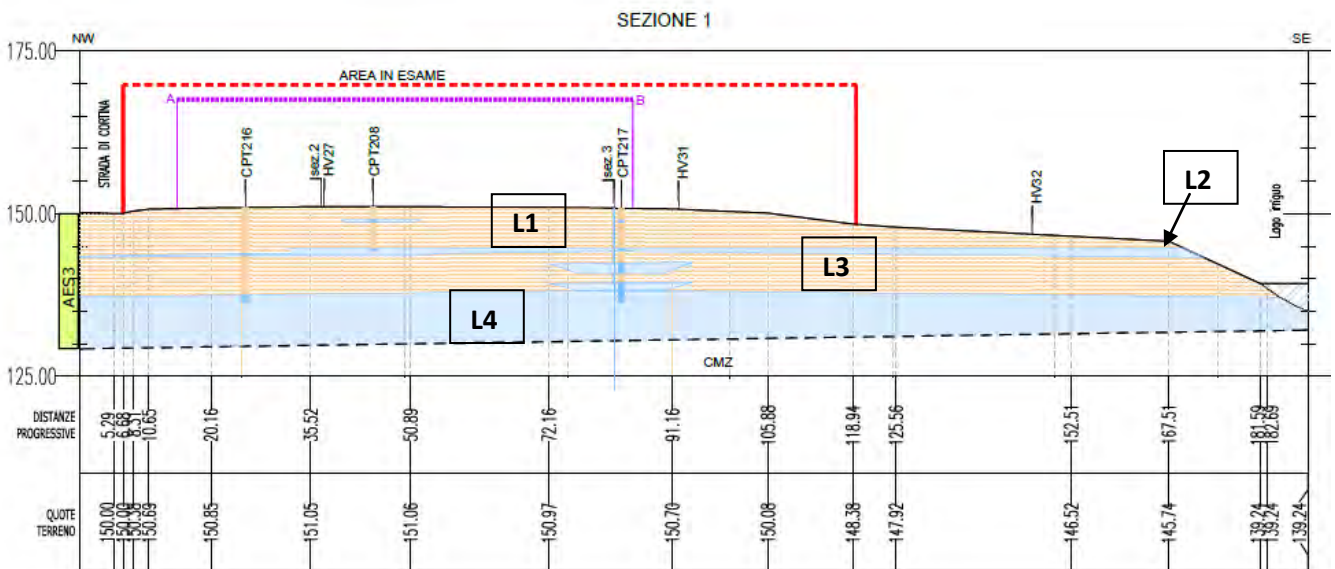
- *livello L1*: limo, limo argilloso con intercalazioni (tra 2.0-2.20 m da p.c) di ghiaie in matrice argillosa ed “argille con ciottoli”, consistente di colore giallo ocra ed in superficie suoli e paleo suoli ocra, talora rossicci, lisciviati. Lo spessore del livello è compreso tra 6.4-7.0 m da p.c. *Dati caratterizzanti: qc medio = 48 kg/cmq; Vs = 130-230 m/s; Vp = 400-600 m/s. Geologicamente appartiene all’unità AES3.*

- *livello L2*: livello dello spessore di circa 40 cm posto a profondità variabili tra 6.4 e 7.0 m da p.c. costituito da ghiaie eterometriche e ghiaie con sabbie in matrice argillosa; peculiare è la continuità con cui è rinvenuto nel sottosuolo, affiora anche lungo la scarpata del rio Cortina posta a sud. *Dati caratterizzanti: qc > 100 Kg/cmq. Geologicamente appartiene all’unità AES3.*

- *livello L3*: limo, limo argilloso ed argilla limosa da consistente a molto consistente, con presenza di orizzonti di ghiaie pluricentimetrici discontinui. Tale orizzonte è presente fino alla profondità di 11.4-13.4 m da p.c.. *Dati caratterizzanti: qc medio 45 Kg/cmq; Vs = 300-330 m/s; Vp = 600-900m/s. Geologicamente appartiene all’unità AES3.*

-*livello L4*: ghiaie eterometriche e ghiaie con sabbie in matrice sabbioso limosa addensate, localmente cementate. *Dati caratterizzanti: qc > 200 Kg/cmq; Vs = 520-540 m/s; Vp = 900-1100 m/s. Geologicamente appartiene all’unità AES3 (porzione basale di AES3; il contatto con CMZ è posto a circa -20 m dal pc individuabile dalle sismiche a rifrazione ma non visibile dai profili delle onde Vs che sono mascherati dall’elevata velocità delle onde di taglio delle ghiaie basali dell’AES3 – L4).*

Per meglio comprendere lo sviluppo delle unità sopra descritte sono state costruite alcune sezioni litologiche riportate nella tavola 6 allegata e di seguito riportate per chiarezza.



Profondità m dal pc	Sigla/Unità geologica – livello titotecnico	Comportamento prevalente	Litologia	Parametri
0.00-6.4/7.0	AES3 - L1	Coesivo/Granulare $qc$ medio = 48 kg/cm <sup>q</sup> ; $Vs = 130-230$ m/s; $Vp = 400-600$ m/s	Limo, limo argilloso	Parametri totali $\gamma_k = 18-19$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 104-179$ kPa $\Phi_u = 0$ $Mk = 5.6-9.5$ MPa Parametri efficaci $\gamma_k = 18-19$ KN/m <sup>3</sup> $c'_k = 0.0-5.0$ kPa $\Phi'_k = 26-29^\circ$
6.4/7.00-6.8/7.4	AES3 - L2	Granulare $qc > 100$ Kg/cm <sup>q</sup>	Ghiaie eterometriche	$\gamma_k = 19-20$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 200$ k Pa $\Phi_u = 0$ Parametri efficaci $\gamma_k = 19-20$ KN/m <sup>3</sup> $c'_k = 0.0-5.0$ kPa $\Phi'_k = 29-33^\circ$
6.8/7.4-11.4/13.4	AES3 - L3	Coesivo/Granulare $qc$ medio 45 Kg/cm <sup>q</sup> ; $Vs = 300-330$ m/s; $Vp = 600-900$ m/s	Limo, limo argilloso	Parametri totali $\gamma_k = 17-19$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 117-174$ k Pa $\Phi_u = 0$ $Mk = 6.4-9.3$ MPa Parametri efficaci $\gamma_k = 18-19$ KN/m <sup>3</sup> $c'_k = 0-5$ kPa $\Phi'_k = 22-26^\circ$
Prof. > 11.4/13.4 fino a –circa 20.0 m	AES3 - L4	Granulare $qc > 200$ Kg/cm <sup>q</sup> ; $Vs = 520-540$ m/s; $Vp = 900-1100$ m/s	Ghiaie eteromeriche e ghiaie con sabbie.	$\gamma_k = 20$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 200$ k Pa $\Phi_u = 0$ Parametri efficaci $\gamma_k = 19-20$ Kn/m <sup>3</sup> $c'_k = 5.0-10$ kPa $\Phi'_k = 30-35^\circ$
>20.0 m	CMZ	Pseudo – roccioso $Vs > 500$ m/s; $Vp > 1100$ m/s	Alternanza di livelli ghiaioso sabbiosi e livelli argillitico - marnosi	$\gamma_k = 21$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 200$ k Pa $\Phi_u = 0$ Parametri efficaci $\gamma_k = 20-21$ KN/m <sup>3</sup> $c'_k = 10$ kPa $\Phi'_k = 35^\circ$

Dove:  $\gamma$  = peso di volume naturale;  $Cu$  = Resistenza al taglio in condizioni non drenate;  $M$  = Modulo Edometrico,  $\phi'$  = angolo di attrito efficace;  $c'$  = coesione efficace,  $E$  = Modulo di Young.

### 3.5 Parametri meccanici

#### 3.5.1 Coesione non drenata

Per la valutazione della coesione non drenata ( $Cu$ ), tipica dei terreni coesivi, è stata utilizzata la relazione proposta da Schmertmann (1975)<sup>8</sup>, espressa in funzione della resistenza alla punta  $qc$  (o  $Rp$ ) del penetrometro statico e della pressione geostatica  $\sigma_v$ ;  $Cu = Rp - \sigma_v / Nc$  [Kg/cm<sup>q</sup>]; dove  $Nc$  è una costante dipendente dal tipo di terreno in esame. Il valore di  $Cu$  è stato discretizzato per i livelli individuati, di seguito si riportano i valori ottenuti.

Per la determinazione dei parametri caratteristici è stato riportato il range tra il valore del 5°percentile ed il valore Bayesiano.

parametro $Cu$	L1	L3
media	234,3	213,7
5° percentile	104,4	117,0
minimo	28,8	77,1
massimo	572,9	381,5
Dev stad	110,7	77,6
COV	0,47	0,36
Bayesiano	179,00	174,93
16° percentile	134,50	139,33

<sup>8</sup> Schmertmann, J. H. 1975. "Measurement of In-Situ Strength," Proceedings of the Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties, American Society of Civil Engineers, pp 55-138.

Figura 14 Elaborazione del parametro Cu per le indagini penetrometriche eseguite: Misure in KPa.

3.5.2 Modulo Edometrico

Per la valutazione del modulo edometrico (M) dalle prove statiche è stata impiegata la correlazione proposta da Mitchell & Gardner (1975)<sup>9</sup>:

$$M = \alpha qc \quad \text{Mitchell \& Gardner (1975)}$$

dove  $\alpha$  è una costante dipendente dalle caratteristiche del terreno esaminato.

Per la determinazione dei parametri caratteristici è stato riportato il range tra il valore del 5°percentile ed il valore Bayesiano. Per il livello AL1, si riporta come sopra la distinzione tra le due litologie presenti A e LS.

parametro M	L1	L3
media	12,4	11,2
5° percentile	5,6	6,4
minimo	3,2	5,6
massimo	28,7	19,6
Dev stad	5,8	3,8
COV	0,47	0,34
Bayesiano	9,46	9,31
16° percentile	7,05	7,50

Figura 15 Elaborazione del parametro M per le indagini eseguite. Misure in MPa.

3.5.3 Resistenza al taglio e densità relativa

I valori caratteristici della resistenza al taglio drenata ( $\tau$ ) sono rappresentati dalla coesione drenata  $c'$  e dall'angolo di attrito  $\phi'$ . Questo ultimo parametro è stato determinato dalle prove penetrometriche statiche, partendo dai valori  $qc$  in modo diretto (equazioni che correlano  $qc$  con  $\phi$ ) ed in modo indiretto (es. equazioni che correlano parametri tipo  $Dr$  con  $\phi$  – i parametri tipo  $Dr$  sono ricavati da  $qc$ ). Le relazioni dirette utilizzate sono le seguenti:

$$\Phi' = 9.8 + 4.96 * \ln(qc / \sigma'_{v})$$

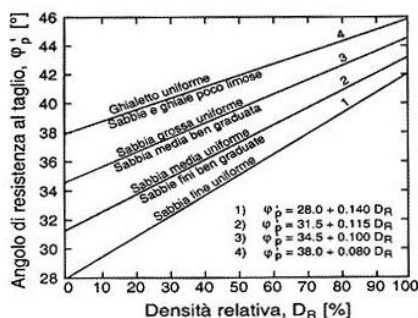
$$\Phi' = 5.8 + 5.21 * \ln(qc / \sigma'_{v})$$

$$\Phi' = 17.6 + 11 * \log(Q_{c1n})$$

Caquot

Koppejan et al. (1948)<sup>10</sup>

Kulhawy & Mayne (1990)<sup>11</sup>



La determinazione attraverso i parametri indiretti è avvenuta anche secondo l'equazione di Schmertmann '77 in funzione della densità relativa ( $Dr$ ). Per il calcolo della  $Dr$  è stata utilizzata l'equazione di Schmertmann.

Figura 16 Diagramma di Schmertmann (1978)

Per la determinazione dei parametri caratteristici è stato riportato il range tra il valore del 5°percentile ed il valore Bayesiano .

<sup>9</sup> Mitchell J.K. & Gardner W.S. (1975) "In situ measurement of volume change characteristics" Proceeding of the ASCE specialty conference In situ, Volume II, Raleigh, NC, ASCE, pp 279-345.

<sup>10</sup> Koppejan, A.W., van Wamelen, B.M., Weinberg, L.J.H. (1948): "Coastal flow slides in the Dutch province of Zeeland." In Proceeding of the 1st Int. Conf. Of Int. Soc. of Soil Mechanics and Foundation Engineer, Rotterdam, Vol.4.

<sup>11</sup> Kulhawy, FH & Mayne, PW (1990). "Manual on estimating soil properties for foundation design", Rpt. EL-6800, Electric Power Research Inst., Palo Alto, 306 p"

L'elaborazione ha permesso di ricavare i seguenti valori dell'angolo di attrito.

<i>parametro <math>F_i</math></i>	L1	L2	L3	L4
media	31,1	34,5	28,9	35,7
5° percentile	25,8	28,7	21,7	27,5
minimo	20,9	27,6	19,0	23,9
massimo	43,9	41,9	38,3	45,4
Dev stad	3,9	4,0	5,0	5,7
COV	0,12	0,12	0,17	0,16
Bayesiano	29,19	32,50	26,37	32,86
16° percentile	27,06	30,46	23,94	31,16

Figura 17 .Elaborazione del parametro  $\phi$  per le indagini eseguite (°)

<i>parametro <math>\phi</math></i>	LA/AL	GSL	AL2
media	27,9	37,4	28,7
5° percentile	20,6	28,2	25,8
minimo	18,0	20,7	23,6
massimo	35,9	42,4	38,3
Dev stad	4,3	3,8	1,9
COV	0,15	0,10	0,06
Bayesiano	25,74	35,47	27,79
16° percentile	23,03	34,99	27,19

<i>parametro <math>\phi</math></i>	AL1	
	A	LS
media	23,1	30,8
5° percentile	19,6	27,6
minimo	18,0	27,1
massimo	26,8	35,9
Dev stad	2,0	2,1
COV	0,09	0,07
Bayesiano	22,05	29,77
16° percentile	20,75	28,64

Figura 18. Elaborazione del parametro  $\phi$  per le indagini eseguite: nella tabella a destra suddivisione del livello AL1 in A e LS. (°)

#### 4 MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO

Il territorio del comune di Alseno (PC) è inserito in un contesto sismo-tettonico caratteristico del margine appenninico-padano e della pianura padano-emiliana. Il margine appenninico rappresenta la zona di transizione tra il limite morfologico dell’Appennino e la Pianura Padana ed in tale fascia, nell’area comunale, sono affioranti o subaffioranti le “Argille azzurre di Lugagnano”, le “Marne del Termina”, le “Sabbie di Castell’Arquato” ed i depositi marino marginali delle unità del t. Stirone e di Costamezzana oltre ai depositi terrazzati appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo.

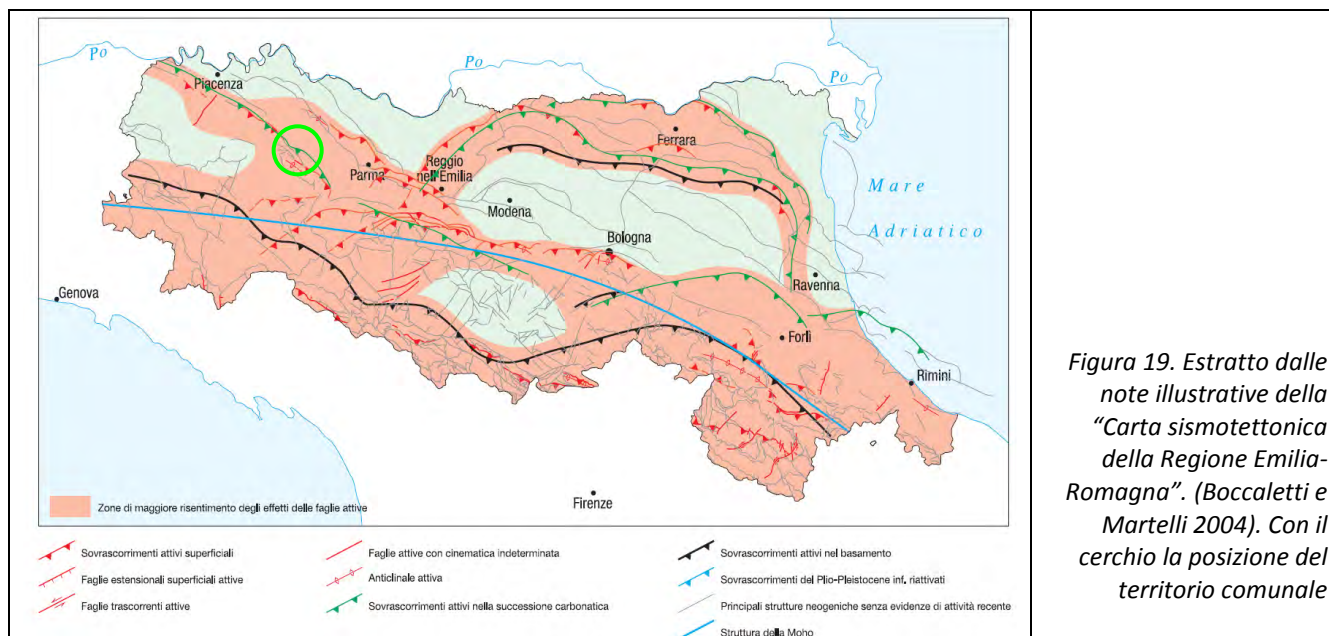
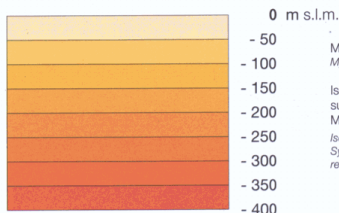
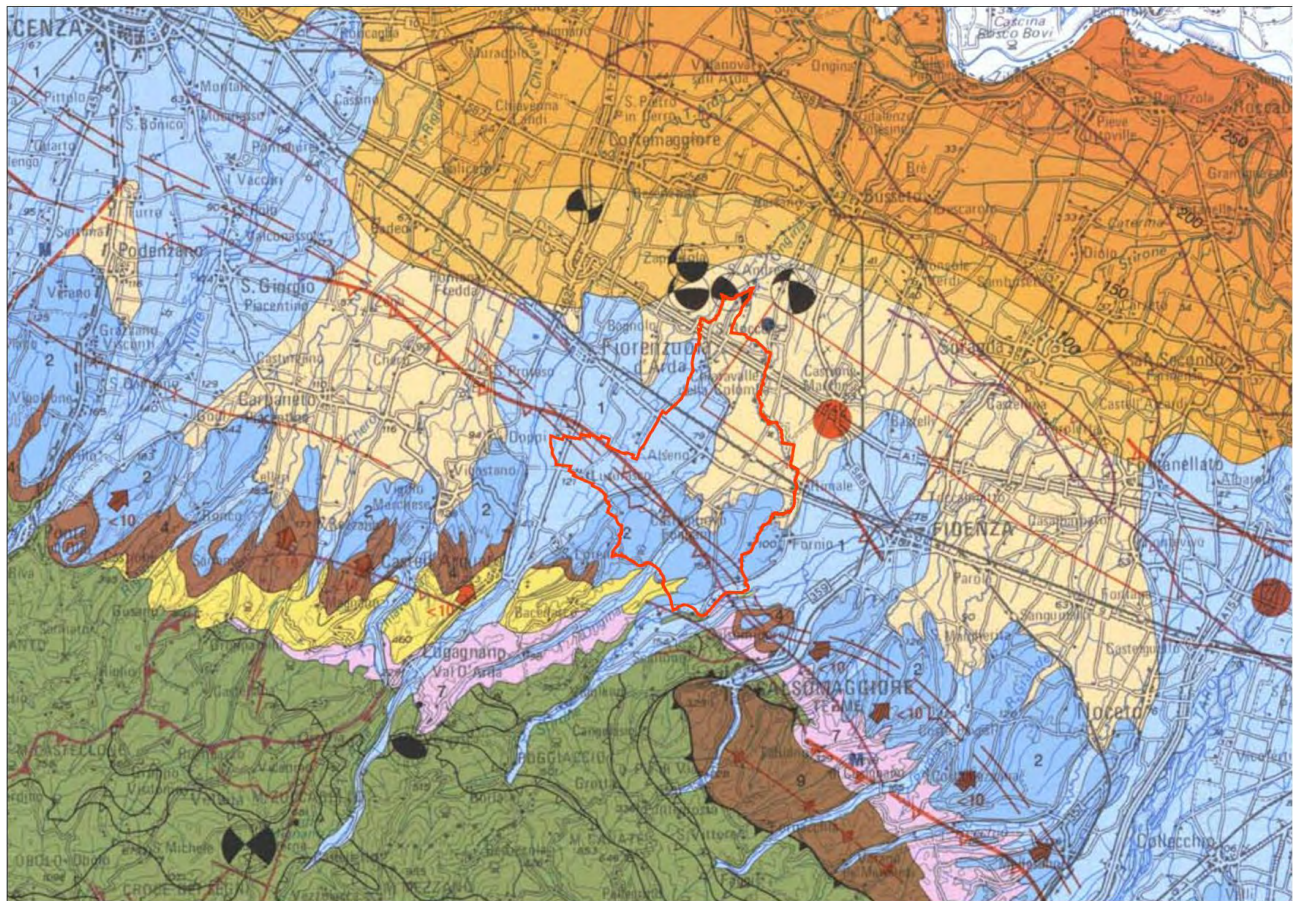


Figura 19. Estratto dalle note illustrative della “Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. (Boccaletti e Martelli 2004). Con il cerchio la posizione del territorio comunale

L’area di interesse è caratterizzata da strutture compressive (faglie inverse – thrust) di cui “presentano evidenze di attività tettonica recente le faglie che non coincidono con il margine ma quelle strutture che corrispondono al fronte sepolto delle Pieghie Emiliane” (Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – Note Illustrative<sup>12</sup>). In particolare l’attività sismica è legata a due discontinuità tettoniche legate al movimento di un thrust fault (sovrascorrimento) sepolto e di un fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica anch’esso sepolto; entrambi ubicati nella porzione meridionale del territorio comunale. Nella porzione settentrionale del territorio comunale si evidenzia la presenza, sulla base dei dati macrosismici, di un “box” sismogenetico (con un terremoto di magnitudo >5.5).

<sup>12</sup> Boccaletti M, Martelli L. a cura di (2004) “Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna” Selca Firenze



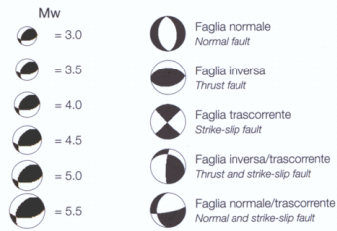


Ma = milioni di anni  
My = millions of years

Isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (depositi della Pianura Padana di età 0,45 Ma - Presente) riferita al livello del mare

Isobathes of the base of the Emilia-Romagna Upper Synthem (Po Plain deposits 0,45 My - Present in age) referred to the sea level

**Meccanismi focali Earthquake focal solutions**

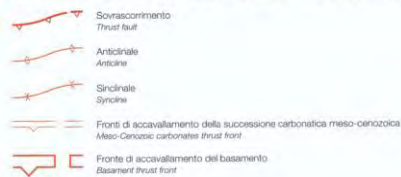


- 1 Depositi di conoide e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente)  
Alluvial fan and intramontain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)
- 2 Depositi alluvionali terrazzati della Pianura Padana (Pleistocene medio e superiore, 0,8 - 0,01 Ma)  
Po Plain terraced alluvial deposits (Middle and Late Pleistocene, 0,8 - 0,01 My)
- 6 Depositi marini post fase Pliocene inferiore (zona a G. Punctulata) (Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, 4,5 - 1 Ma)  
Post Early Pliocene (G. Punctulata zone) tectonic phase marine deposits (Early Pliocene - Early Pleistocene, 4,5 - 1 My)

**Strutture sepolte Buried structures**

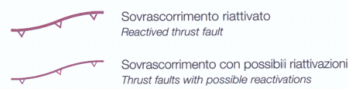
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo

Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsol geological data



Fronti dei principali sovrascorrimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)

Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)



**Epicentri dei terremoti Earthquake epicenters**

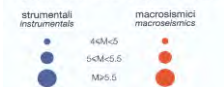


Figura 20. Estratto dalla "Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna" (2004) con sovrapposizione del limite comunale

Il territorio comunale ricade essenzialmente nel Foglio 180 "Salsomaggiore Terme" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e marginalmente nel Foglio 181 "Parma Nord".

Nello schema tettonico allegato al Foglio 180 è cartografato un sovrascorrimento principale denominato "thrust di Salsomaggiore"; tale elemento interessa il settore meridionale del territorio comunale di Alseno attraversando il territorio da ESE a WNW. Nello schema tettonico allegato al Foglio 181 si nota la prosecuzione del thrust di Salsomaggiore esternamente al limite comunale. Nello schema del Foglio "Salsomaggiore Terme" è anche cartografato un asse di sinclinale sepolto posto a nord del thrust di Salsomaggiore ed interessante il territorio comunale in corrispondenza della SS9 Via Emilia.



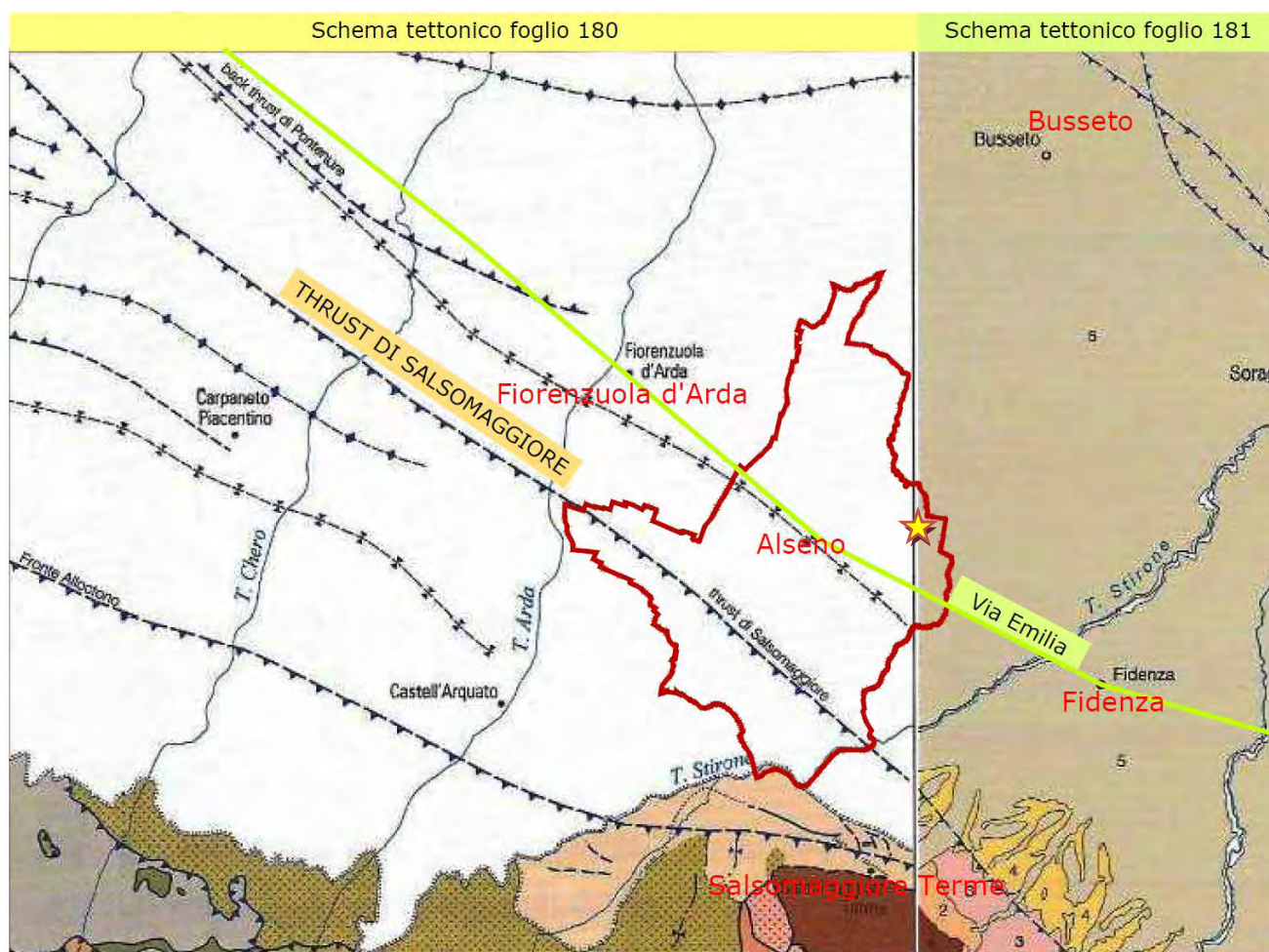


Figura 21. Estratto dagli schemi tettonici dei Fogli 180 e 181 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. In evidenza il thrust di Salsomaggiore che attraversa il territorio comunale [con la stella gialla è indicato l'ultimo terremoto registrato ricadente all'interno del territorio comunale - 30/07/2007].

In merito al thrust di Salsomaggiore dalle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Foglio 180 "Salsomaggiore Terme" si estrae quanto segue (Cap.V §1): *il thrust di Salsomaggiore costituisce il lineamento strutturale dominante del foglio e si manifesta diversamente in funzione dell'orientazione delle sezioni che lo attraversano. L'asse di questa struttura è orientato circa ESE-ONO e la sua proiezione in superficie attraversa l'allineamento S. Giorgio Piacentino, S. Protaso (Fiorenzuola), Salsomaggiore. L'asse è immergente verso ONO e la culminazione della struttura si osserva nel settore SO del Foglio (in prossimità di Salsomaggiore). Nel settore SE il thrust di Salsomaggiore determina una struttura anticlinale rovesciata e fagliata. Verso ovest l'anticlinale non è rovesciata e nelle porzioni più occidentali del Foglio è simmetrica ed oltre al thrust frontale si osservano anche retroscorrimenti (back thrust di Turro e back thrust di S. Giorgio Piacentino). Il piano del thrust si immerge ad alto angolo verso SSO attraversando e dislocando parte della successione pliocenica (apparentemente fino al Pliocene medio-superiore), tutta la successione di avansfossa appenninica e si radica nei livelli profondi all'interno dei carbonati mesozoici. Localmente il rigetto del thrust è stato valutato almeno 1000-1500 m.*

Per quanto concerne le faglie capaci o attive una sola faglia, detta faglia di "Fiorenzuola d'Arda sud", interessante il territorio comunale da ESE a ONO ed appartenente al sistema Parma-Piacenza (faglia inversa – sovrascorrimento) è censita nel progetto ITHACA ed i cui dati sono disponibile nel sito: <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>.

Di seguito si riportano le indicazioni relative alla faglia Fiorenzuola d'Arda sud estratte dal progetto Ithaca.

GEOLOGIC SETTING	
<b>SYNOPSIS</b>	
<b>FAULT NAME</b>	Fiorenzuola d'Arda sud
<b>FAULT CODE</b>	90523
<b>MACROZONE</b>	3
<b>REGION NAME</b>	Emilia Romagna
<b>SYSTEM NAME</b>	Sistema Piacenza - Parma
<b>RANK</b>	PRIMARY
<b>AVERAGE STRIKE</b>	125
<b>DIP</b>	
<b>LENGTH (Km)</b>	20
<b>GEOMETRY</b>	
<b>SEGMENTATION</b>	yes
<b>DEPTH (Km)</b>	0
<b>LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)</b>	1:250000
<b>LAST ACTIVITY</b>	Middle Pleistocene (125,000÷700,000)
<b>ACTIVITY RELIABILITY</b>	Low reliability
<b>RECURRENCE INTERVAL (yr)</b>	0
<b>SLIP-RATE (mm/yr)</b>	0
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH</b>	20
<b>MAX CREDIBLE SLIP (m)</b>	0
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	
<b>MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)</b>	6.6
<b>MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)</b>	
<b>STUDY QUALITY</b>	LOW
<b>NOTES</b>	

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
90523	CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA P.	Carta geologico strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo alla scala 1:250000	Regione Emilia-Romagna - CNR	2002
90523	REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP, a cura di DI DIO G. (1998)	Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna.	S.EL.CA., Firenze	1998
90523	SERVA L. (1990)	Il ruolo delle Scienze della Terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN).	Boll. Soc. Geol. It., 109, 375-411	1990

#### 4.1 Zonazione sismogenetica

La zonazione sismogenetica rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico: in particolare la zonazione sismogenetica ZS9 "Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo" pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004<sup>13</sup>) è stata ottenuta partendo dalla zonizzazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999), accorpando e modificando le zone sorgente rendendole più coerenti con le informazioni disponibili. Il modello sismotettonico che ha guidato nel tracciamento delle aree di ZS4 è basato sia su un modello strutturale 3D della penisola, sia sulla distribuzione spaziale dei terremoti storici ed attuali, sia sul modello cinematico dell'area mediterranea. In particolare il territorio del comune di Alseno, nella nuova zonazione ZS9, ricade prevalentemente nella zona sismogenetica **913** e limitatamente nella zona **911**.

Di seguito si riporta una breve descrizione relativa alle zone 911 e 913, estratta dal già citato Rapporto conclusivo ("Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo", G.d L, 2004).

Tutto l'arco appenninico settentrionale è stato riorganizzato secondo cinque fasce parallele longitudinali alla catena.

...  
L'arco è limitato, a Nord, da una zona (**911**, unione delle zone 25 e 26 di ZS4 opportunamente ristrette) che comprende il cosiddetto "Arco di Pavia" e le strutture ad esse relative. In realtà, si suppone che la funzione delle strutture comprese all'interno

<sup>13</sup> Gruppo di Lavoro (2004): redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma



della **911** sia di "svincolo" cinematico del sistema supposto in migrazione (in accordo con quanto espresso, ad esempio, in Paracca et al.,1990).

Le zone sismogenetiche **913**, **914** e **918** risultano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna.

La zonazione (ZS9) indica anche una profondità dello strato sismogenetico, che risulta essere compreso tra 12 e 20 km per la zona sismogenetica 913 e 8-12 km per la zona 911.

Zona	Numero eventi Md>2.0	Numero eventi Md>2.5	Numero eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (Km)	Profondità efficace (Km)
911	126	91	18	4.1	8-12	8
913	767	362	100	4.8	12-20	13

La valutazione della magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) per le zone sismogenetiche, riportata anche negli ICMS (2008), per zone 911 e 913 fornisce un valore di **6,14**.

#### 4.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

Per la determinazione delle sorgenti sismogenetiche principali dell'area in esame si è fatto riferimento al "Database of individual seismogenetic sources - DISS"<sup>14</sup> disponibile nel sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it).

Il database rappresenta la sintesi di tutte le evidenze geologiche e storiche relative alla fagliazione sismogenetica, con apporti derivanti dai dati della sismicità strumentale, dalla geodinamica a larga scala e dai caratteri geomorfologici. L'area in esame ricade internamente ad una delle sorgenti sismogenetiche individuate ed in particolare nella sorgente sismogenetica denominata **ITCS045** "San Giorgio Piacentino – Fornovo di Tarò".

Nella tabella a lato sono riportati i dati estratti dal database relativi a tale sorgente.

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS045		
Name	San Giorgio Piacentino-Fornovo di Tarò		
Compiler(s)	Burrato P.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), Basili R.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	26-Jun-2015		
Display map ...			
Related sources			
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	110...150	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Based on geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013).
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXTENSIVE JUDGEMENT;

#### 4.2 Sismicità storica

La sismicità storica è stata studiata a partire dai cataloghi dei terremoti disponibili, in particolare sono stati presi in considerazione i cataloghi presenti sul sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)).

Per un primo sguardo d'insieme della sismicità storica dell'area in esame è stato consultato il "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (Gruppo di lavoro CPTI, 2004<sup>15</sup>), INGV, Bologna), nel quale, per un intorno significativo dell'area in esame (un raggio di 50 Km con centro lat. 44.89 e long. 9.96 ovvero dal centro

<sup>14</sup> Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), *The Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics*

<sup>15</sup> Gruppo di lavoro CPTI (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*, INGV, Bologna.



Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2011-09-10 17:28:00.950	44.643	10.252	18.2	3.4	Bollettino
2011-09-09 14:24:03.140	44.630	10.229	21.5	3.2	Bollettino
2011-09-08 22:55:05.520	44.638	10.207	19.4	3.2	Bollettino
2011-09-08 20:36:42.380	44.643	10.202	19.7	3.2	Bollettino
2011-09-08 15:43:52.570	44.633	10.226	18.1	3.0	Bollettino
2011-09-08 15:23:38.250	44.638	10.233	18.2	3.2	Bollettino
2011-09-08 15:23:19.690	44.629	10.242	23.5	3.1	Bollettino
2011-09-08 13:17:28.030	44.635	10.202	20.1	3.7	Bollettino
2011-04-28 20:14:38.800	44.631	10.004	24.7	3.0	Bollettino
2009-10-19 10:08:49.640	44.814	9.772	23.6	4.0	Bollettino
2008-04-03 05:07:29.830	44.640	9.982	18.3	3.2	Bollettino
2007-07-30 19:05:43.080	44.898	10.003	20.5	4.1	Bollettino
2005-04-19 08:27:39.880	44.769	9.687	25.6	3.5	Bollettino
2005-04-19 07:42:01.250	44.770	9.724	25.2	3.8	Bollettino

Tabella 4.2. Catalogo dei terremoti con magnitudo >3.0 reperiti nel data-base dell'Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base (ISIDE).

Nel catalogo DBMI11 a cura di Locati et al. (2011)<sup>17</sup> viene riportata la storia sismica nota del comune di Alseno da cui si estrae quanto segue:

Numero di eventi: 4

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
4-5	1991 10 31 09:31	Parmense	134	5 4.45 ±0.14
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09

In sintesi si segnalano in particolare il terremoto del 30/07/2007 di magnitudo 4.1 per il quale risulta un epicentro all'interno del territorio comunale e più precisamente nei pressi della località Casa Nuova Cascinazzo (nei pressi del confine con il comune di Fidenza a nord della Via Emilia) interno al box sismogenetico presente nella porzione nord orientale del territorio comunale (vedasi Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna", 2004<sup>18</sup>) ed il terremoto del 19/10/2009 di magnitudo 4.0 con epicentro in comune di Lugagnano tra le località San Genesio e Antognano.

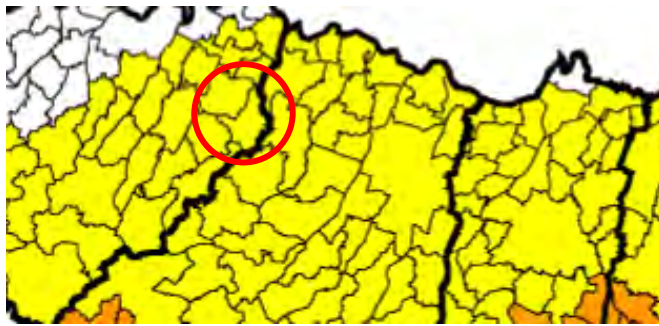
Nel catalogo USGS sono segnalati due terremoti avvenuti il 27/12/1994 di magnitudo 3.1 posto a meno di 1.0 km a nord di Alseno Capoluogo ed il 14/03/1996 di magnitudo 3.8 posto a circa 2.0 km verso ovest dal limite comunale all'altezza della via Emilia.

#### 4.2.1 Classificazione sismica

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 "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 sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 il Comune di **Alseno** viene classificato in **zona 3**. Nella figura seguente viene riportata la classificazione sismica a scala regionale.

<sup>17</sup> Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di), (2011). "DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano". Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

<sup>18</sup> Boccaletti M, Martelli L. a cura di (2004) "Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna" Selca Firenze



**Legenda**

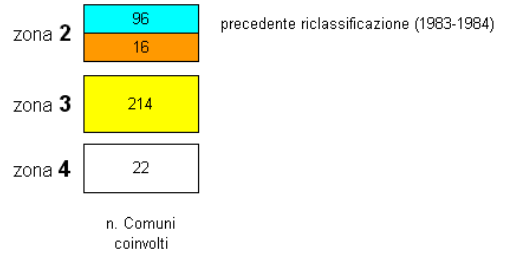


Figura 22. Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna in base all'Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003, il n° di comuni si riferisce all'intero territorio regionale.

Con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14/01/08 sono state approvate le *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. n°29 del 04/02/08) nelle quali è presente un allegato relativo alla pericolosità sismica del territorio nazionale, in particolare è fornita la pericolosità sismica su reticolo di riferimento per diversi intervalli di riferimento (sito <http://esse1.mi.ingv.it/>). Poiché l'area in esame non ricade precisamente su uno di tali punti, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame; p<sub>i</sub> è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame; d è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i parametri a<sub>g</sub>, F<sub>0</sub> e T<sub>c</sub>' per diversi periodo di ritorno TR ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 9.92472    LATITUDINE: 44.87296

Ricerca per comune  
 REGIONE: Emilia-Romagna    PROVINCIA:    COMUNE:

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

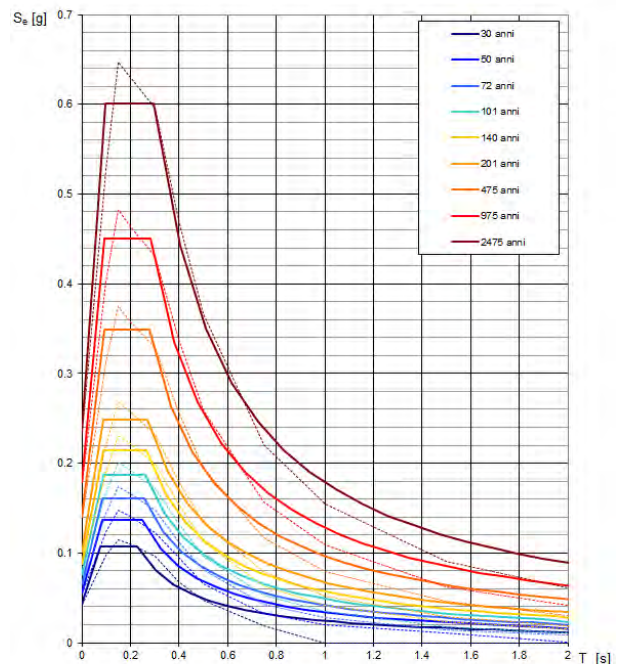
Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione:  
 media ponderata

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".

T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>c</sub> ' [s]
30	0.043	2.479	0.230
50	0.056	2.471	0.248
72	0.065	2.465	0.258
101	0.076	2.456	0.263
140	0.087	2.453	0.268
201	0.101	2.457	0.271
475	0.140	2.487	0.278
975	0.179	2.516	0.284
2475	0.236	2.553	0.297

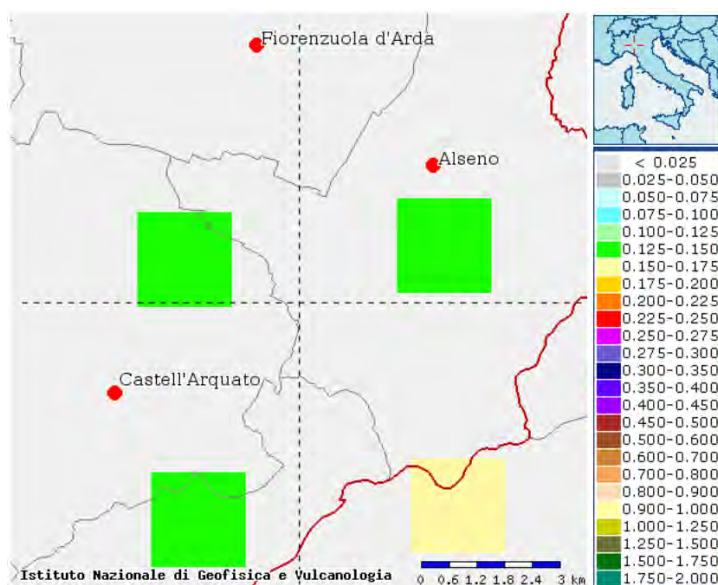
**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T<sub>R</sub> di riferimento**



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



I dati di disaggregazione riportati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i vertici identificati riferiscono valori di magnitudo (M) per a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni comprese tra 4-6 e distanze (D) comprese tra 0-30 km.



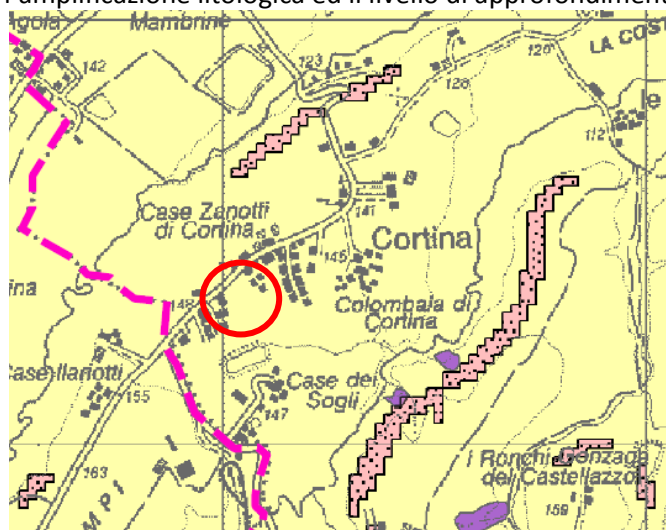
	15157	15156	14935	14934
M	4.840	4.830	4.820	4.830
D	7.840	8.050	7.720	9.070
Epsilon	0.769	0.694	0.660	0.722

Figura 23. Dati di disaggregazione estratti dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i nodi relativi all'area in esame per una probabilità del 10% in 50 anni.

### 4.3 Elementi di microzonazione sismica

#### 4.3.1 Rischio sismico da PTCP Piacenza

Nella tavola A4 "Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali" del PTCP della provincia di Piacenza, l'area oggetto del presente studio ricade in classe "D" depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800$  m/s e assimilabili, per la quale gli effetti attesi sono l'amplificazione litologica ed il livello di approfondimento è II.



CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (rif. Delib. A.L. n. 112/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
F1i	X	X	X			III
F1	X		X			III
F2i	X	X	X			III
F2	X		X			III
Di	X	X	X			III
Si	X	X	X		X	III (classe Di se si esclude il rischio di liquefazione)
Ci	X	X	X	X		III (classe Di se si esclude il rischio di cedimenti)
S	X				X	III (II, classe D, se si esclude il rischio di liquefazione)
C	X			X		III (II, classe D, se si esclude il rischio di cedimenti)
T	X					II (III, classe Di, in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fretturazione di spessore > 5m)
I		X				II (III, classe Di, in caso di orizzonti di alterazione/fretturazione di spessore > 5m)
D	X					II
R						I (II, classe D, in caso di orizzonti di alterazione/fretturazione di spessore > 5m)

- F1i Frane attive con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)
- F1 Frane attive
- F2i Frane quiescenti con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)
- F2 Frane quiescenti
- Di Depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800$  m/s e assimilabili con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)
- Si Depositi alluvionali sabbiosi con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)
- Ci Depositi alluvionali argillosi con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)

- S Depositi alluvionali sabbiosi
- C Depositi alluvionali argillosi
- T Zone di contatto tettonico
- I Aree con inclinazione critica (pendenza > 15° e dislivello >= 30 m)
- D Depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800$  m/s e assimilati
- R Substrato roccioso rigido ( $V_{s30} >= 800$  m/s)

Figura 24 Estratto dalla tavola A4 del PTCP della Provincia di Piacenza

4.3.2 Rischio sismico da PSC di Alseno

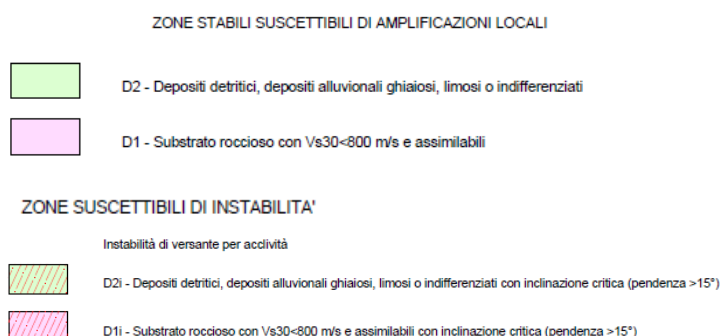
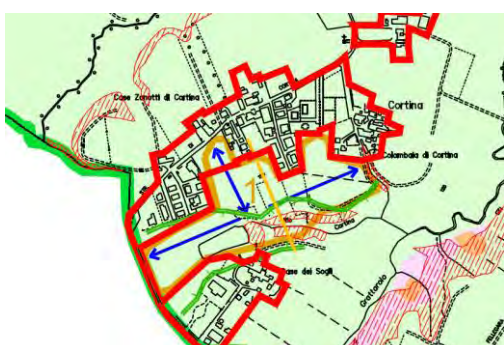
All'interno del PSC del comune di Alseno è stata redatta la "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" (PSC7ter), della quale nella figura seguente si riporta un estratto relativo all'area di interesse: al suo interno sono state definite le zone omogenee in prospettiva sismica. Il sito in esame è caratterizzato dalla presenza di "depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati" (D2). Per la classe D2 l'effetto atteso è l'amplificazione litologica e il livello di approfondimento previsto è II.

Nella carta PSC.9.2 "Carta di Microzonazione sismica" del PSC del Comune di Alseno l'area in esame ricade all'interno della zona 9, che si trova in un'area di Appennino e margine appenninico-padano con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800 \text{ m/s}$  e per la quale sono previsti i seguenti fattori di amplificazione: F.A. P.G.A. pari a **2.2**, F.A. INTENSITÀ SPETTRALE ( $0.1s < T_0 < 0.5s$ ) pari a **2.2** e F.A. INTENSITÀ SPETTRALE ( $0.5s < T_0 < 1.0s$ ) pari a **1.7**.

I fattori di amplificazione sono espressi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner ( $SI/SI_0$ ) per prefissati intervalli di periodi ( $0.1s < T_0 < 0.5s$  e di  $0.5s < T_0 < 1.0s$ ), dove  $PGA_0$  e  $SI_0$  sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e  $PGA$  e  $SI$  sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Sulla base di quanto riportato nell'Allegato A4 dell'Atto di Indirizzo della Regione Emilia Romagna il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per  $T=0$ ) per il comune di Alseno è  $a_{g,ref} = 0,139$ ; il valore di  $PGA$  calcolato sulla base del fattore di amplificazione stratigrafico calcolati nei paragrafi precedenti risulta:

$$A_{max} = a_{g,ref} * F_a \text{ (stratigrafico)} * F_a \text{ (topografico)} = 0.139 * 2.2 = 0.3058g$$



**ASPETTI STRUTTURANTI IL TERRITORIO**

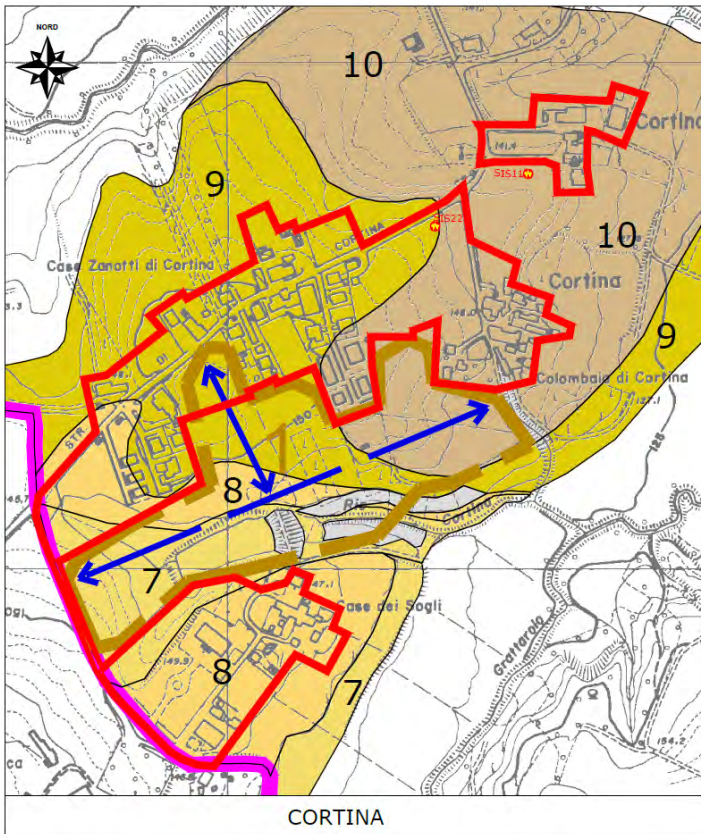


**LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO DEL TERRITORIO COMUNALE**

Classe	Effetti di sito					Livello di approfondimento (Delib. A. L. n°112/2007)
	Amplificazione litologica	Amplificazione topografica	Instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
F1	X		X			III
F1i	X	X	X			III
F2	X		X			III
F2i	X	X	X			III
S	X				X	III
Si	X	X	X		X	III
D1	X					II
D1i	X	X	X			III
D2	X					II
D2i	X	X	X			III

Figura 25 Estratto dalla carta delle aree suscettibili ad effetti locali del PSC del Comune di Alseno (PSC7ter).



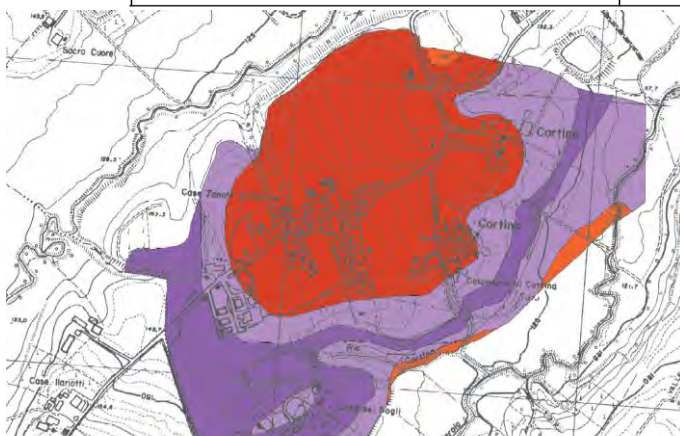


- 7** **ZONA 7** - Appennino e margine appenninico-padano con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s;  $V_{SH} = 250$  m/s; profondità bedrock (m da p.c.) = 5  
FA di PGA = 1.7  
FA di SI  $0.1s < T_0 < 0.5s = 1.5$   
FA di SI  $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.4$
- 8** **ZONA 8** - Appennino e margine appenninico-padano; con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s;  $V_{SH} = 250$  m/s; profondità bedrock (m da p.c.) = 10  
FA di PGA = 2.0  
FA di SI  $0.1s < T_0 < 0.5s = 1.9$   
FA di SI  $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.5$
- 9** **ZONA 9** - Appennino e margine appenninico-padano; con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s;  $V_{SH} = 250$  m/s; profondità bedrock (m da p.c.) = 15  
FA di PGA = 2.2  
FA di SI  $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.2$   
FA di SI  $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.7$
- 10** **ZONA 10** - Appennino e margine appenninico-padano; con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s;  $V_{SH} = 250$  m/s; profondità bedrock (m da p.c.) = 20  
FA di PGA = 2.2  
FA di SI  $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.5$   
FA di SI  $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.9$

Figura 26 Estratto dalla carta PSC.9.2 "Carta di Microzonazione sismica" del PSC del Comune di Alseno.

Nella Microzonazione sismica di Il Livello ai sensi dell'OPCM 4007/2012 [certificato di conformità prot. PG.2015.0033658 della Regione Emilia Romagna] l'area in esame ricade nell'area 18 e limitatamente nell'area 20 con il substrato marino a profondità comprese tra 20-25m e 15-20 m rispettivamente e  $V_{SH} = 200$  m/s.

<p><b>Zona 18</b> Stratigrafia tipo = <b>2009</b> [Fx] - F.A. P.G.A = <b>2.1</b> [Fy] - F.A. Intensità spettrale <math>0.1s &lt; T_0 &lt; 0.5s = 2.4</math> [Fz] - F.A. Intensità spettrale <math>0.5s &lt; T_0 &lt; 1s = 2.4</math></p>	<p><b>Zona di amplificazione stratigrafica.</b> Ambito di APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO con substrato marino caratterizzato da <math>V_s &lt; 800</math> m/s a profondità comprese tra 20-25 m dal p.c. Per la definizione di questa zona, si è fatto riferimento ad un valore di <math>V_{SH} \approx 200</math> m/s [derivante dalla prova sismica 033002L11MASW11].</p>
<p><b>Zona 20</b> Stratigrafia tipo = <b>2009</b> [Fx] - F.A. P.G.A = <b>2.3</b> [Fy] - F.A. Intensità spettrale <math>0.1s &lt; T_0 &lt; 0.5s = 2.6</math> [Fz] - F.A. Intensità spettrale <math>0.5s &lt; T_0 &lt; 1s = 2.1</math></p>	<p><b>Zona di amplificazione stratigrafica.</b> Ambito di APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO con substrato marino caratterizzato da <math>V_s &lt; 800</math> m/s a profondità comprese tra 15-20 m dal p.c. Per la definizione di questa zona, si è fatto riferimento ad un valore di <math>V_{SH} \approx 200</math> m/s [derivante dalla prova sismica 033002L11MASW11].</p>



**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

- Fa P.G.A = 1.1 - 1.2
- Fa P.G.A = 1.3 - 1.4
- Fa P.G.A = 1.5 - 1.6
- Fa P.G.A = 1.7 - 1.8
- Fa P.G.A = 1.9 - 2.0
- Fa P.G.A = 2.1 - 2.2
- Fa P.G.A = 2.3 - 2.4
- Fa P.G.A =  $\geq 2.5$

**Zone suscettibili di instabilità**

- Instabilità di versante
- Liquefazioni
- Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci
- Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti

Figura 27. Estratto dalla tavola di Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – Fx – Accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0)

4.4 Azioni sismiche

4.4.1 Categorie di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle NTC2008 che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento così come riportate nelle tabelle 3.2.II e 3.2.III riportate a lato.

Sulla base dei valori di Vs ricavati dalle prove sismiche è possibile classificare il sottosuolo come **tipo C**.

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	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 $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

4.4.2 Parametri sismici di calcolo

A titolo esemplificativo l'opera è definita con Vita Nominale  $V_N \geq 50$  (vedasi tabella 2.4.1 delle NTC 2008), Classe d'uso II, da cui deriva un coefficiente  $C_u = 1.0$  (vedasi tabella 2.4.II delle NTC 2008).

**Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.**

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

*Figura 4-28. Categorie di sottosuolo ai sensi delle NTC08.*

Sulla base delle definizioni precedenti le azioni sismiche si possono calcolare in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$ , che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$  secondo la relazione riportata nella formula 2.4.1 delle NTC 2008 e di seguito riportata.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per l'opera in esame il valore di  $V_R$  risulta pari a 50 anni.

Come parametro caratterizzante della pericolosità sismica è utilizzato il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni e calcolato secondo la formula (1) dell'allegato A delle NTC 2008, riportata di seguito:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Il valore di probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$  cui riferirsi per individuare l'azione sismica in ciascuno degli stati limite sono riportate nella tabella 3.2.I delle NTC2008.

Il valore del tempo di ritorno  $T_R$  in SLV per l'opera in esame è risultato pari a 475 anni.

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i dati relativi all'area di interesse per una costruzione con Vita Nominale 50 anni e coefficiente d'uso  $C_u = 1.0$  ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

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

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

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 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.

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%



Di seguito si riportano in sintesi i parametri di calcolo per le opere di fondazione:

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_d$   info  
 Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_u$   info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLO} - P_{ov} = 81\% \\ \text{SLD} - P_{ov} = 63\% \end{array} \right.$   info

Stati limite ultimi - SLU  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLV} - P_{ov} = 10\% \\ \text{SLC} - P_{ov} = 5\% \end{array} \right.$   info

Elaborazioni

Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

—□— Strategia per costruzioni ordinarie  
 —■— Strategia scelta

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.043	2.479	0.230
SLD	50	0.056	2.471	0.248
SLV	475	0.140	2.487	0.278
SLC	975	0.179	2.516	0.284

Comune di	Alseno	
Longitudine	44.872957	
Latitudine	9.924724	
Zona sismica	3	
Zona sismogenetica	913	
Magnitudo attesa	M	6.14
Vita nominale	VN	50 anni
Coefficiente d'uso	CU	1
Periodo di riferimento	VR	50
Tempo di ritorno SLV	Tr	475 anni

Stato Limite Ultimo		SLV	
accelerazione di progetto	ag	0.140	g
Parametro spettrale	F0	2.487	-
Parametro spettrale	Tc'	0.278	s

Stato Limite di Esercizio		SLD	
accelerazione di progetto	ag	0.056	g
Parametro spettrale	F0	2.471	-
Parametro spettrale	Tc'	0.248	s

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_{max}$  è stata determinata con la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;  $S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica. Il prodotto  $S_s \cdot S_t = S$  = coefficiente di amplificazione locale. Nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica, rispettivamente in funzione della categoria topografica e del tipo di terreno.

Tabella 3.2.VI - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_t$

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

Tabella 3.2.V - Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

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

Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	$S_s$	1.491	di progetto
Categoria topografica		<b>T1</b>	
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_t$	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = S_t \cdot S_s$	1.491	
Am <sub>ax</sub>	$A_{max} = A_g \cdot S$	<b>0.2088</b>	g
Coefficiente di riduzione	$\beta =$	0.24	Da tabella 7.11.I
Coefficiente sismico orizzontale	$k_{hk} = a_g \cdot S \cdot \beta$	0.0501	
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.0251	
Stato Limite di Esercizio		SLD	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	$S_s$	1.50	di progetto
Categoria topografica		<b>T1</b>	
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_t$	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = S_t \cdot S_s$	1.50	
Am <sub>ax</sub>	$A_{max} = A_g \cdot S$	<b>0.0840</b>	g
Coefficiente di riduzione	$\beta =$	0.18	Da tabella 7.11.I
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h = k_{hk} = a_g \cdot S \cdot \beta$	0.0151	
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.0076	

## 5 STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO

Il terzo livello di analisi è finalizzato alla valutazione dell'effettivo grado della pericolosità sismica locale.

Al fine di valutare l'effettiva stratigrafia del sito sono state considerate le prove geognostiche pregresse, costituite da una prova penetrometrica ed una misura di rumore ambientale ad integrazione della quali sono state condotte diverse analisi integrative: n°3 misure di rumore ambientale a stazione singola (Hv), n°2 prove penetrometriche statiche/dinamiche, n°1 stendimento sismico a rifrazione e n. stendimento tipo MASW. Inoltre al fine di verificare l'acclività effettiva dell'area è stato eseguito un rilievo topografico con GPS Stonex S9, le cui risultanze sono riportate in Tavola 5.

### 5.1 Amplificazione topografica

In primo luogo è stata valutata la possibilità che il pendio esistente possa provocare fenomeni di amplificazione topografica, pertanto per quello che riguarda gli effetti topografici sono stati considerati i possibili effetti di amplificazione dell'onda sismica sia sulla base di quanto indicato nell'allegato A2 della DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, sia sulla base di quanto indicato dagli ICMS 2008<sup>19</sup>.

L'analisi eseguita ha permesso di evidenziare come il pendio di interesse abbia una pendenza complessiva di circa <math>10^\circ</math> ed un'altezza <math>\ll 30\text{m}</math>, pertanto il fattore di amplificazione topografica sia secondo la DAL 112/2007 sia secondo gli ICMS2008 è risultato pari a 1 [St=1].

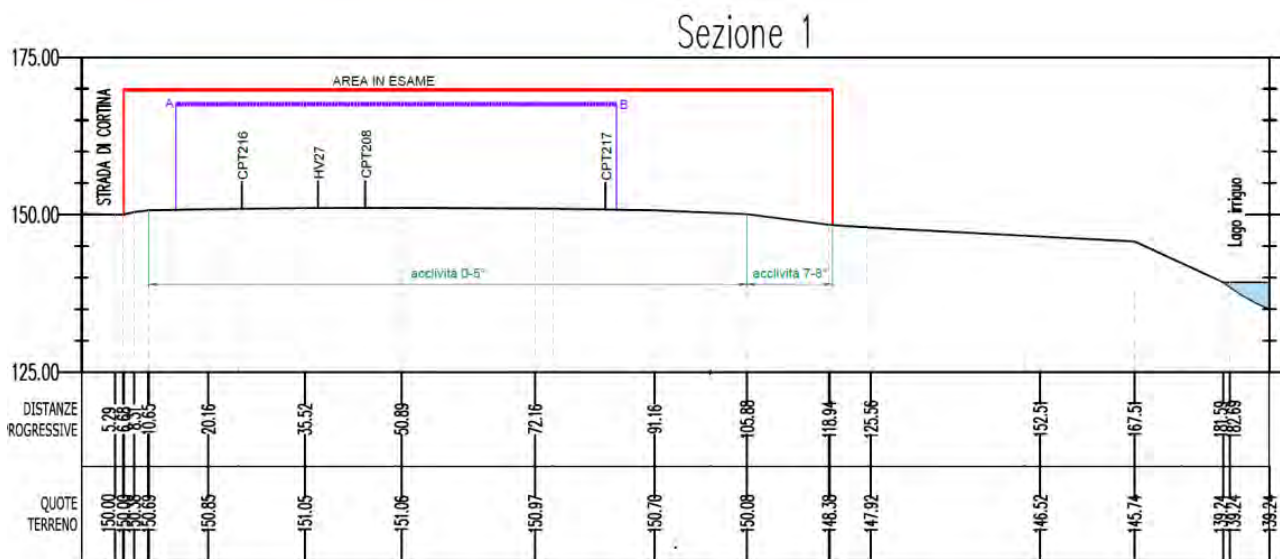


Figura 29. Schema pendio in esame

### 5.2 Modello geologico del sottosuolo

La ricostruzione del modello geologico del sito ha tenuto in considerazione i dati provenienti da diversi studi eseguiti sul territorio ed in particolare della Relazione illustrativa della Microzonazione Sismica del Comune di Alseno dalla quale sono estratte le figure seguenti. In particolare per l'area in esame si evidenzia la presenza di terreni quaternari continentali fino alla profondità di circa 130-135 m slm (AES3) seguiti dai terreni di origine marina appartenenti al Sintema di Costamezzana (CMZ).

Dai dati reperiti i terreni quaternari continentali sono costituiti da un'alternanza di argille, argille limose e ghiaie in matrice argilloso-limosa e sabbiosa con una netta predominanza dei materiali più fini.

<sup>19</sup> Gruppo di Lavoro MS, 2008. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma

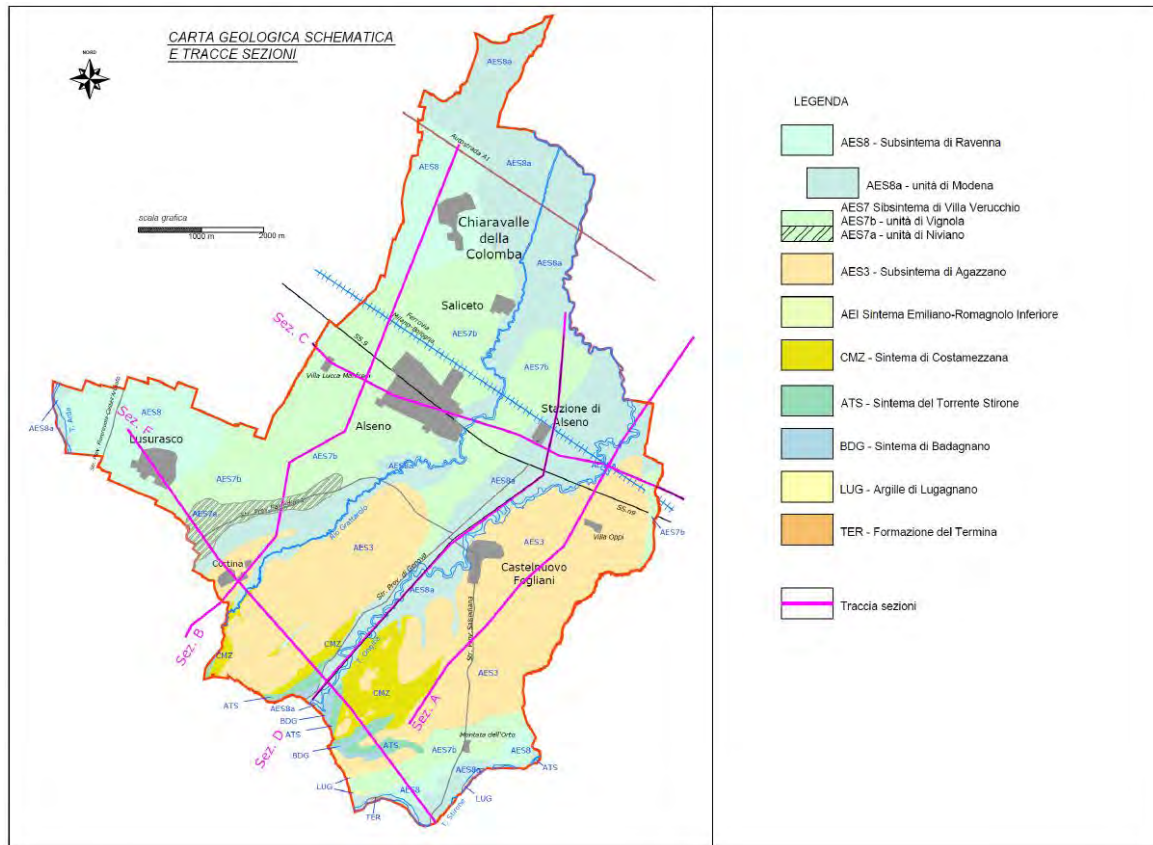


Figura 30. Ubicazione della Sezione D

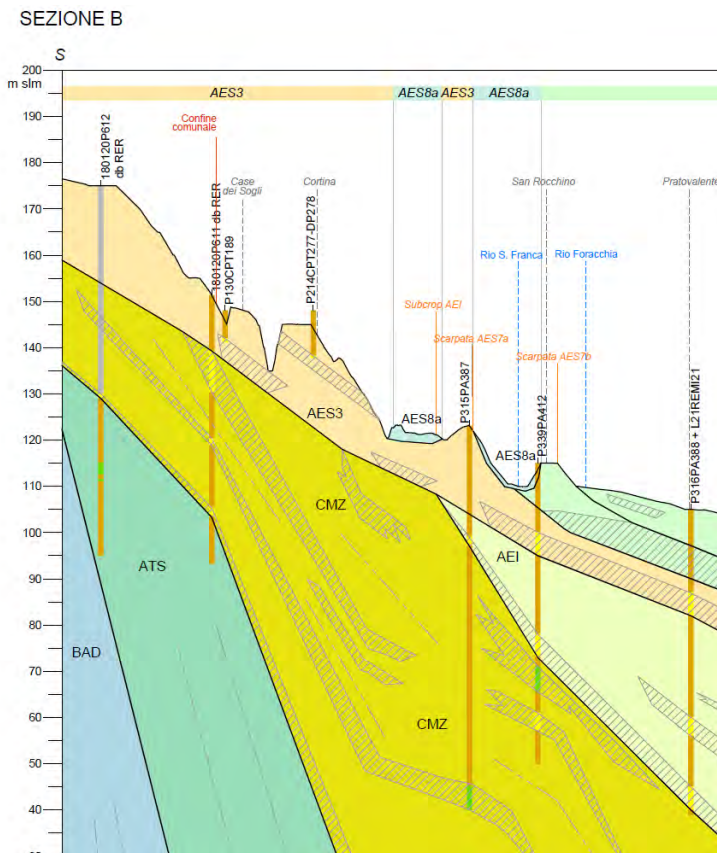


Figura 31. Estratto dalla Sezione B (dalla Tavola Sezioni Geologiche della Microzonazione Sismica del Comune di Alseno).

Nella Tavola 6 “Sezioni litologiche” sono riportate 3 sezioni rappresentative della situazione dell’area in cui si evince come lo spessore dei depositi quaternari presenti nel sito sia variabile da circa 21m nella porzione sommitale a circa 17m nella porzione più a valle, in funzione sia dell’andamento est-ovest del limite tra terreni quaternari continentali e marini, sia della topografia del sito.

L’andamento delle unità stratigrafiche riconosciute risulta pressochè pianoparallelo, pertanto si è ritenuto di poter utilizzare un modello 1D per l’analisi di Risposta Sismica Locale.



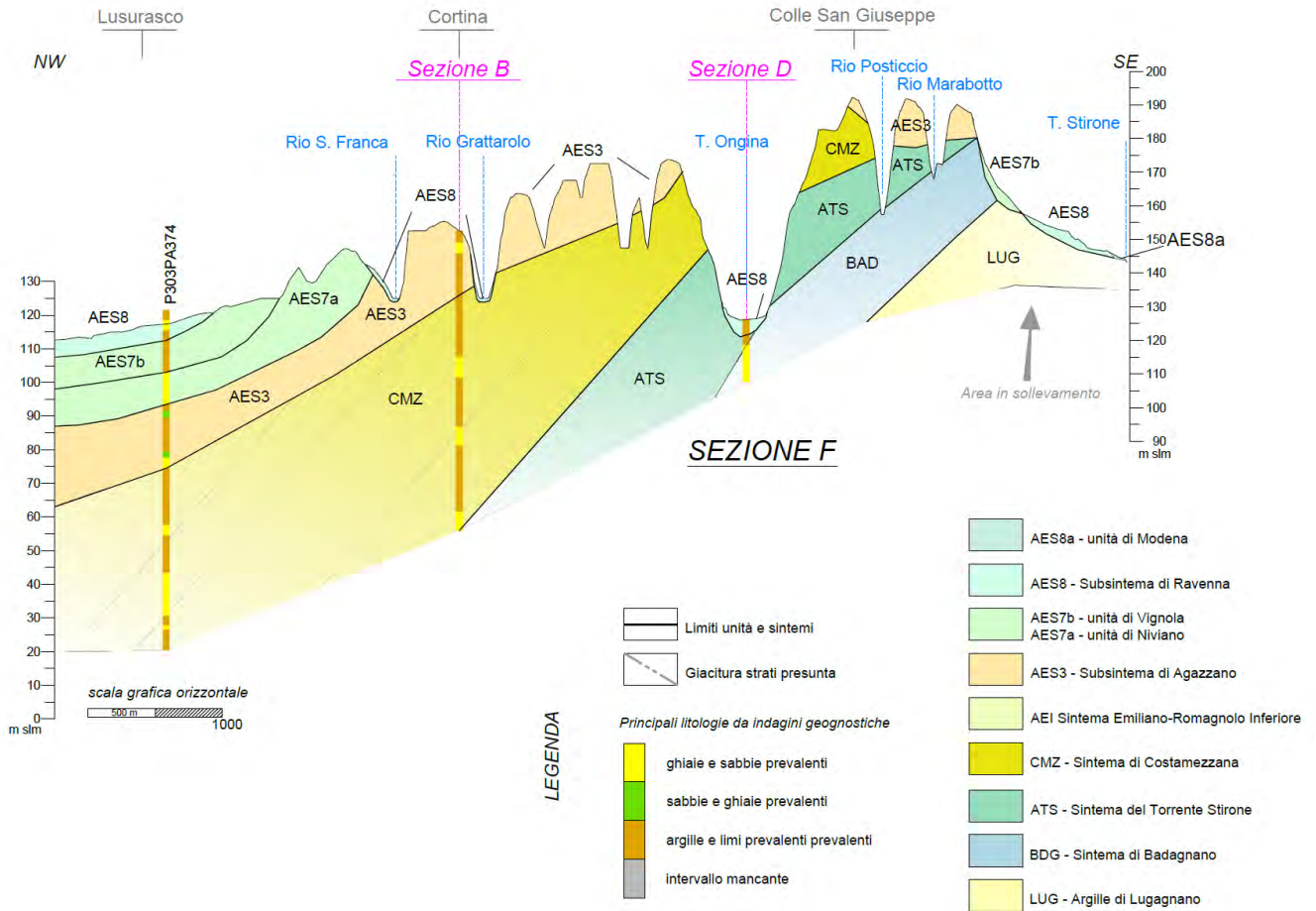


Figura 32. Estratto dalla Sezione F (dalla Relazione illustrativa della Microzonazione Sismica del Comune di Alseno).

### 5.3 Frequenza naturale dei depositi

Nella figura seguente sono rappresentati i punti di misura del rumore ambientale a stazione singola eseguiti nella zona la prova Hv27 è stata eseguita nel novembre 2013 mentre le prove Hv31, Hv32 ed Hv33 sono state eseguite nel settembre 2015.

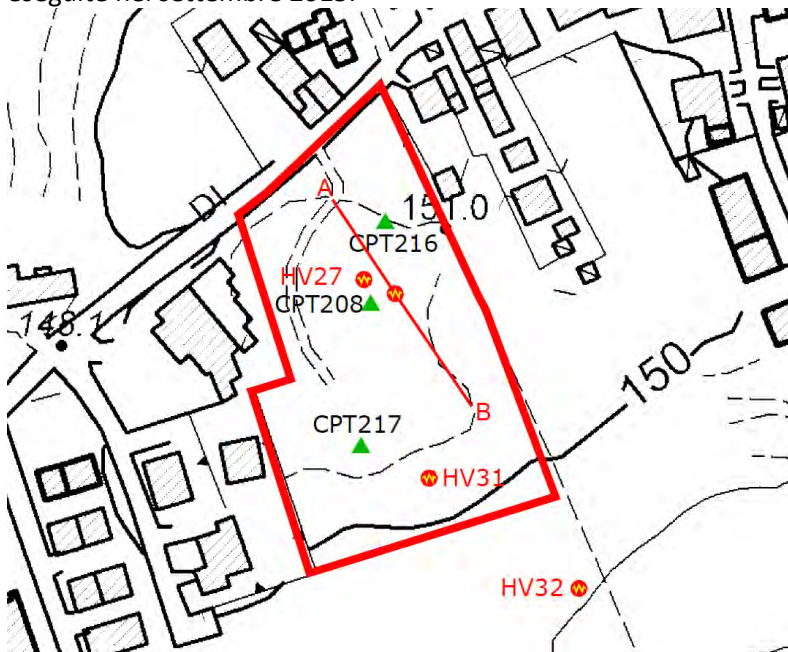


Figura 33. Ubicazione indagini Hv

Nella tabella seguente sono riportati i valori delle due frequenze principali individuate ( $f_0$  ed  $f_1$ ) nell'intervallo di frequenza di interesse ingegneristico tra 0.1-20Hz e le relative ampiezze A. In allegato sono riportati i dati relativi alle analisi dei picchi individuati eseguite attraverso i criteri Sesame. I picchi individuati sono risultati sempre rispondenti ai criteri di affidabilità.

	Hv27	Hv31	Hv32	Hv33
$f_0$	0.79	0.50	0.50	0.76
$A_0$	1.83	1.53	1.82	1.83
$f_1$	5.85	6.16	9.91	5.76
$A_1$	3.18	2.69	2.15	3.2

Tabella 3 Picchi di frequenza individuati e relativa ampiezza



Sulla base dell'abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinata nelle misure HV riportata in Albarello & Castellaro (2011)<sup>20</sup> un valore di  $f_0$  inferiore ad 1Hz indica, in prima approssimazione, uno spessore della copertura >100 m forse ad indicare il passaggio tra il CMZ e ATS o tra ATS e BAD.

Il valore del picco di frequenza secondario  $f_1$  tra 5.7-6.2 presenti nelle misure eseguite all'interno del sito Hz indica, in prima approssimazione, uno spessore delle coperture tra 10-20 m, il valore di  $f_1$  misurato nell'Hv32 di 9.9Hz indica coperture con spessori inferiori a 10m.

L'analisi dei dati riportati nella tabella precedente evidenzia un buon accordo in relazione al picco individuato come  $f_0$  a 0.5-0.8Hz che risulta evidente nelle prove eseguite e mostra contrasti di impedenza molto bassi con ampiezze A comprese tra 1.5-1.8. Il picco individuato tra 5.7-6.2 Hz evidenzia in tutte le prove contrasti di impedenza più alti (fino a 3.2), ad indicare una variazione più sensibile tra il comportamento della porzione argillosa limosa e le ghiaie presenti. Nella prova Hv32 il picco F1 si trova a frequenze più elevate ad indicare una diminuzione dello spessore della copertura, così come individuato anche nelle sezioni di tavola 6.

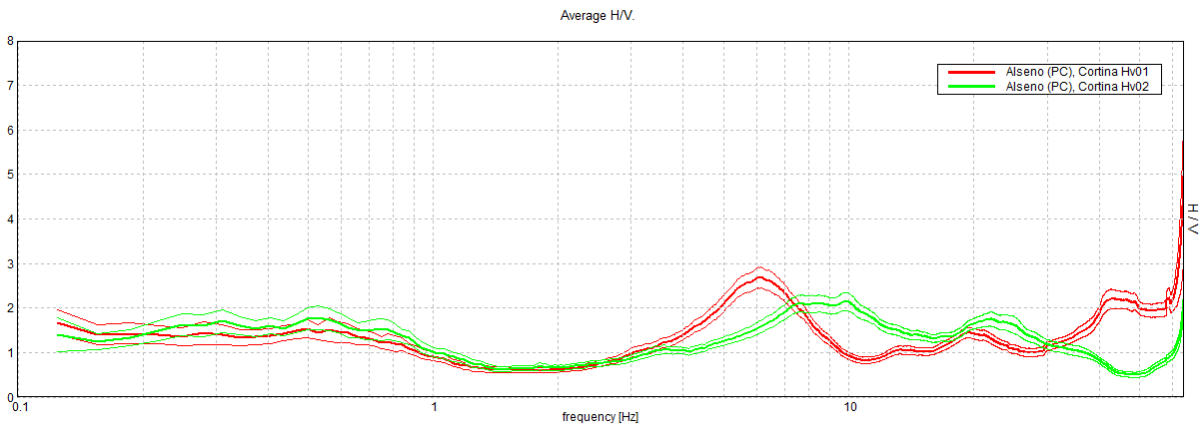


Figura 34. Spettri d'ampiezza delle prove Hv31-Hv32

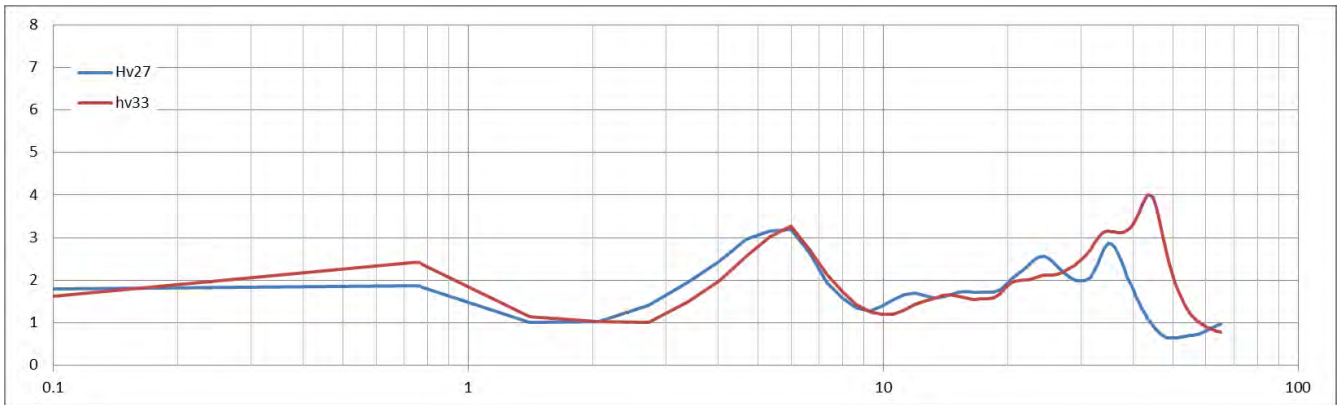
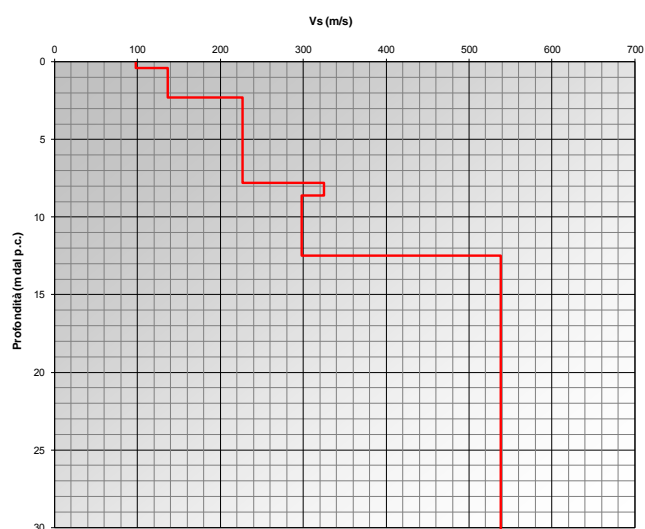


Figura 35. Spettri d'ampiezza delle prove Hv27-Hv33

<sup>20</sup> Albarello D., Castellaro S. (2011): "Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola" *Ingegneria sismica* anno XXVIII, n.2,

### 5.4 Velocità delle onde di taglio

La stima delle velocità delle onde di taglio è stata eseguita sulla base della prova Masw-Rifrazione eseguita e delle prove Hv interpretate sulla base dei dati penetrometrici.



Spessore (m)	Vs (m/s)
0,40	98
1,9	137
5,5	227
0,8	325
3,9	298
40,0	538
145,0	518
Inf.	1340

Figura 36. Elaborazione della prova Masw

In generale si evidenzia come i valori di  $V_{s30}$  ovvero velocità delle onde di taglio equivalente nei primi 30 m di sottosuolo determinata attraverso la formula  $V_{s30} = 30 / [\sum_{i=1,n} (h_i / V_{s,i})]$  mostrino valori di 332 m/s indicando terreni di tipo C secondo l'approccio semplificato riportato nelle NTC2008.

Sono state eseguite anche le inversioni delle prove sismiche tipo Hv (Hv31 – Hv32) per la determinazione delle velocità delle onde di taglio che hanno fornito i seguenti risultati:

<b><math>V_{s(0.0-30.0)}=344m/s</math></b>		
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.90	1.90	145
10.90	9.00	262
47.90	37.00	480
97.90	50.00	460
327.90	230.00	720
inf.	inf.	1000

<b><math>V_{s(0.0-30.0)}=399m/s</math></b>		
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.90	1.90	157
9.40	7.50	320
37.40	28.00	520
97.40	60.00	500
337.40	240.00	700
inf.	inf.	1150

### 5.5 Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping

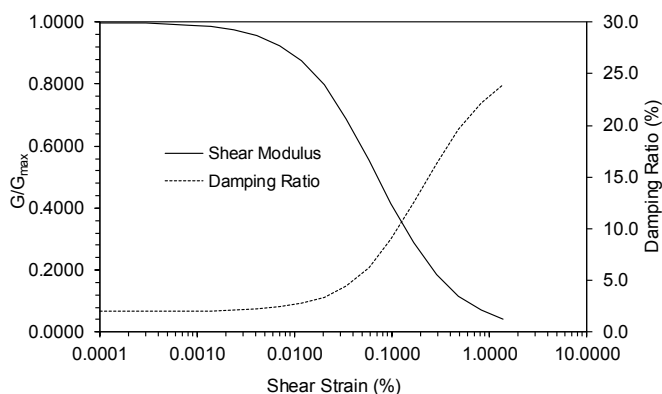
Per quanto riguarda le curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping, non essendo stati analizzati direttamente e sperimentalmente tramite laboratorio ciclico, sono state utilizzati i dati forniti dalla Regione Lombardia (curve\_lombardia.xls) e per le sabbie del CMZ i dati delle sabbie di Seed & Idriss 1970<sup>21</sup>.

In particolare è stata utilizzata la seguente stratigrafia.

Profondità (m)		Litotipo		Vs (m/s)
da	a	(curve di stress & strain)		
0	2.3	LIMI ARGILLOSI	Regione Lombardia	120
2.3	5.5	LIMI SABBIOSI	Regione Lombardia	227
7.8	0.8	GHIAIE	Regione Lombardia	325
8.6	3.9	LIMI ARGILLOSI	Regione Lombardia	298
12.5	8.5	GHIAIE	Regione Lombardia	538
21	31.5	Sand upper	Seed & Idriss 1970	538
52.5	145	Sand lower	Seed & Idriss 1970	518
197.5	Half-Space	Bedrock		1340

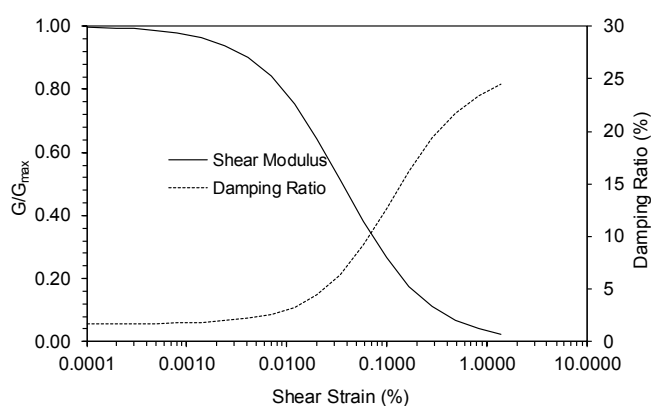
Limi argillosi (da Regione Lombardia, PoliM2008)

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	0.9992	0.0001	1.9870
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.0253
0.0014	0.9856	0.0014	2.0583
0.0024	0.9747	0.0024	2.1171
0.0041	0.9560	0.0041	2.2220
0.0070	0.9246	0.0070	2.4103
0.0119	0.8739	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.3617
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.5560	0.0583	6.2701
0.0990	0.4154	0.0990	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.5506
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.1155	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.1530
1.4063	0.0405	1.4063	23.8929



Limi sabbiosi (da Regione Lombardia, PoliM2008)

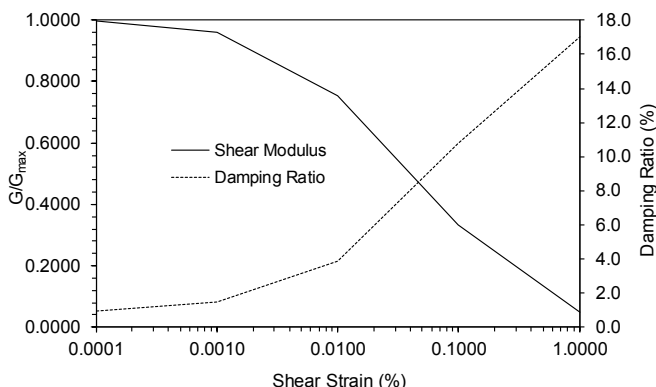
Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	0.9974	0.0001	1.6775
0.0002	0.9956	0.0002	1.6859
0.0003	0.9925	0.0003	1.7004
0.0005	0.9872	0.0005	1.7252
0.0008	0.9783	0.0008	1.7678
0.0014	0.9636	0.0014	1.8414
0.0024	0.9392	0.0024	1.9690
0.0041	0.9003	0.0041	2.1917
0.0070	0.8407	0.0070	2.5831
0.0119	0.7551	0.0119	3.2705
0.0202	0.6431	0.0202	4.4540
0.0343	0.5129	0.0343	6.3758
0.0583	0.3810	0.0583	9.1679
0.0990	0.2647	0.0990	12.6313
0.1684	0.1740	0.1684	16.2228
0.2862	0.1097	0.2862	19.3697
0.4866	0.0673	0.4866	21.7752
0.8272	0.0405	0.8272	23.4409
1.4063	0.0242	1.4063	24.5209



<sup>21</sup> Seed H.B. & Idriss I.M. (1970) "Soil moduli and damping factor for dynamic response analysis." Rep. No.EERC70-10, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, Calif.

Ghiaie (da Regione Lombardia, PoliM2008)

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	0.9960	0.0001	0.9488
0.0010	0.9624	0.0010	1.4981
0.0100	0.7540	0.0100	3.8938
0.1000	0.3311	0.1000	10.7935
1.0000	0.0476	1.0000	17.0087



Sand - Seed & Idriss (1970)

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1.0000	0.0001	0.5000
0.0003	1.0000	0.0003	0.6000
0.0010	0.9900	0.0010	0.8000
0.0032	0.9400	0.0032	1.4000
0.0100	0.8400	0.0100	2.8000
0.0316	0.6500	0.0316	5.3000
0.1000	0.3600	0.1000	10.0000
0.3160	0.1900	0.3160	15.8000
1.0000	0.0800	1.0000	21.5000

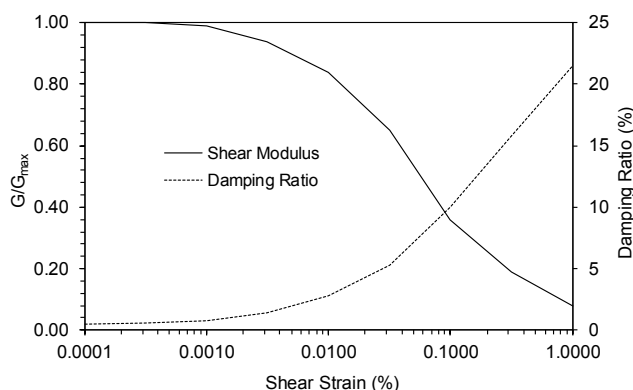


Figura 37. Dati e grafici relativi ai valori di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping utilizzati nelle elaborazioni successive

## 5.6 Definizione del moto di input

La definizione del moto di input è stata eseguita sulla base dei segnali di riferimento della Delibera A.L. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, disponibili sul sito [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) per il comune di Alseno.

Tali segnali sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  stabilito per il comune di Alseno (**0.139g**, allegato A4 della DGR 112/2007).

Si tratta di accelerogrammi reali il cui spettro di risposta è compatibile con lo spettro di risposta del moto atteso nel comune di Alseno con un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni) ottenuto moltiplicando lo spettro di risposta normalizzato presente nell'allegato 4 per il valore di  $a_{refg}$  del comune. Le elaborazioni dei dati numerici sono riportate nelle figure seguenti.

Nome	PGA (g)	PGV (cm/s)
Alseno033002\000046xa_033002Alseno.xy	0.139	6.29
Alseno033002\000126xa_033002Alseno.xy	0.139	7.93
Alseno033002\000354xa_033002Alseno.xy	0.139	6.86



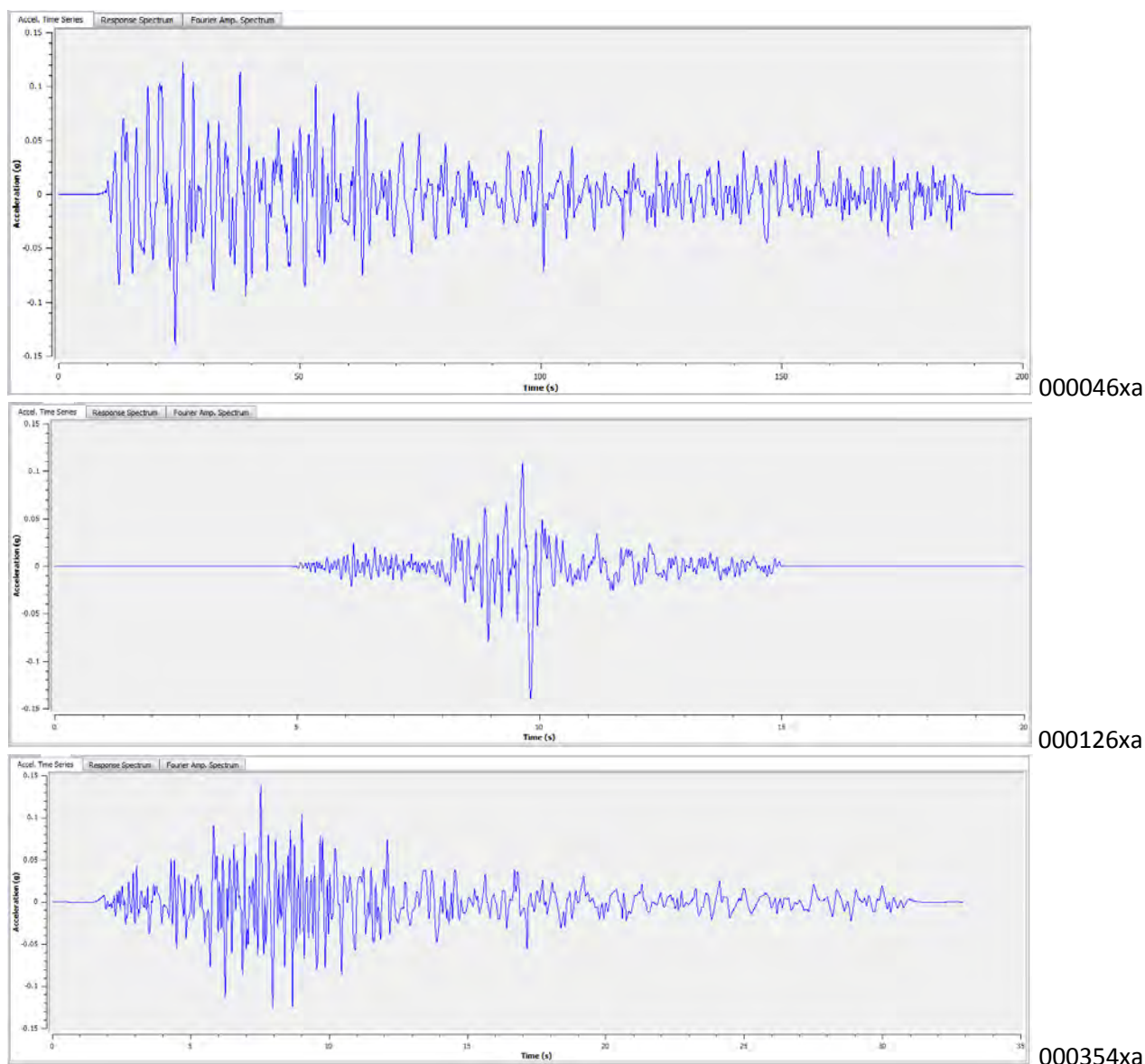


Figura 38. Accelerogrammi utilizzati per lo studio di risposta sismica locale (dati dal sito [www.regione.emilia-romagna.it/geoologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geoologia/sismica)).

### 5.7 Analisi di risposta sismica locale

La modellazione quantitativa degli effetti di amplificazione specifici dell'area in esame è stata eseguita tramite l'ausilio dei software EERA<sup>22</sup> (Bardet et al., 2000), e Strata<sup>23</sup> (Kottke et al., 2010) validi per modellare situazioni piano-parallele ad uno o più strati (1D).

L'area in esame è stata suddivisa in due sottozone con spessore della copertura maggiore e minore di 20 m.

Le elaborazioni sono state eseguite considerando la seguente stratigrafia tipo.

Profondità (m)		Litotipo		Vs (m/s)
da	a	(curve di stress & strain)		
0	2.3	LIMI ARGILLOSI	Regione Lombardia	120
2.3	5.5	LIMI SABBIOSI	Regione Lombardia	227
5.5	8.6	GHIAIE	Regione Lombardia	325
8.6	12.5	LIMI ARGILLOSI	Regione Lombardia	298
12.5	21.0	GHIAIE	Regione Lombardia	538
21	52.5	Sand upper	Seed & Idriss 1970	538

<sup>22</sup> J. P. Bardet, k. Ichii, and c. H. Lin "EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits

<sup>23</sup> Albert Kottke; Ellen M. Rathje (2010), "Strata," <http://nees.org/resources/692>.

Profondità (m)		Litotipo (curve di stress & strain)		Vs (m/s)
da	a			
52.5	145	Sand lower	Seed & Idriss 1970	518
145	Half-Space	Bedrock		1340

Nelle figure successive sono riportati i grafici dell'accelerazione (g), della velocità (m/sec) e dello spostamento (m) in funzione del tempo amplificati al piano campagna ottenuti con il software EERA.

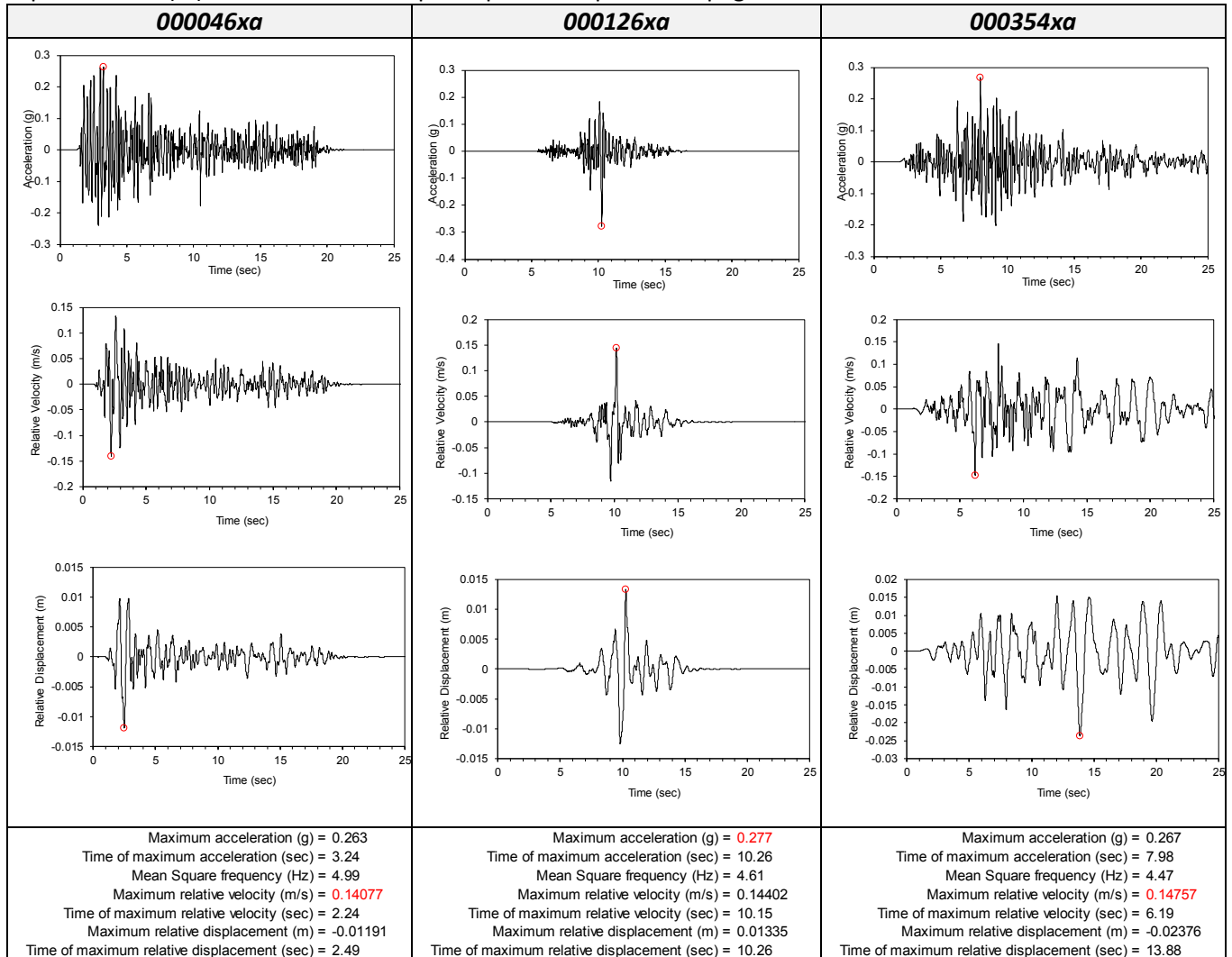
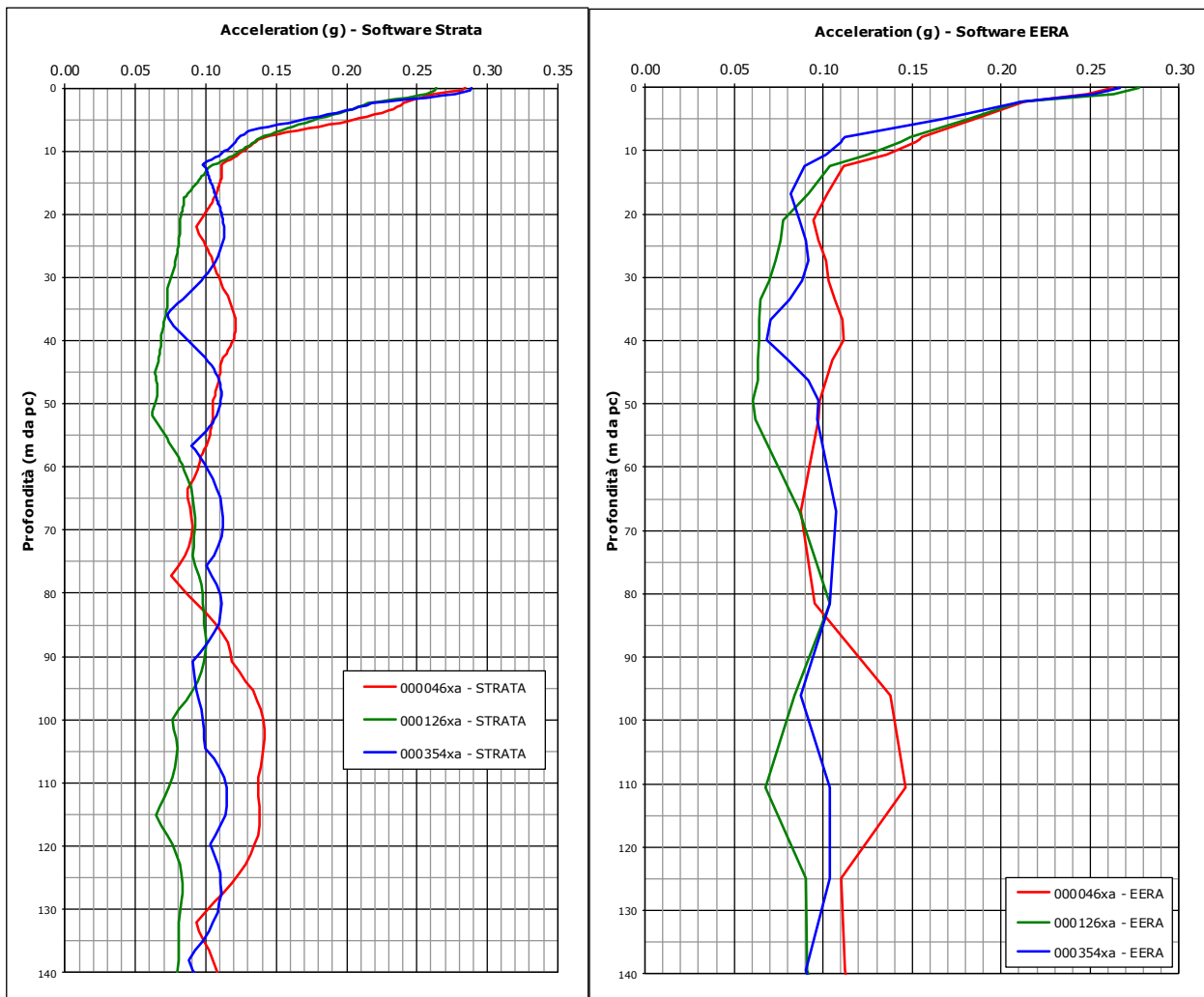


Figura 39. Grafici dell'accelerazione (g), della velocità (m/sec) e dello spostamento (m) in funzione del tempo e relativi dati ottenuti con il software EERA per i tre accelerogrammi utilizzati

Nella figura successiva si riportano i grafici relativi alla variazione di PGA con la profondità ottenuti con i due diversi software utilizzando il modello lineare equivalente EQL in cui G e D variano al variare delle deformazioni.



Da cui si ottengono i seguenti valori di PGA ed i relativi coefficienti di amplificazione in termini di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) a livello del piano campagna.

<b>EERA</b>	<b>000046xa</b>	<b>000126xa</b>	<b>000354xa</b>	<b>Media</b>
PGA	0.2629	0.2771	0.2671	0.2690
$FA_{(PGA)}$	1.89	1.99	1.92	1.94

<b>STRATA</b>	<b>000046xa</b>	<b>000126xa</b>	<b>000354xa</b>	<b>Media</b>
PGA	0.2839	0.2637	0.2891	0.2789
$FA_{(PGA)}$	2.04	1.90	2.08	2.01

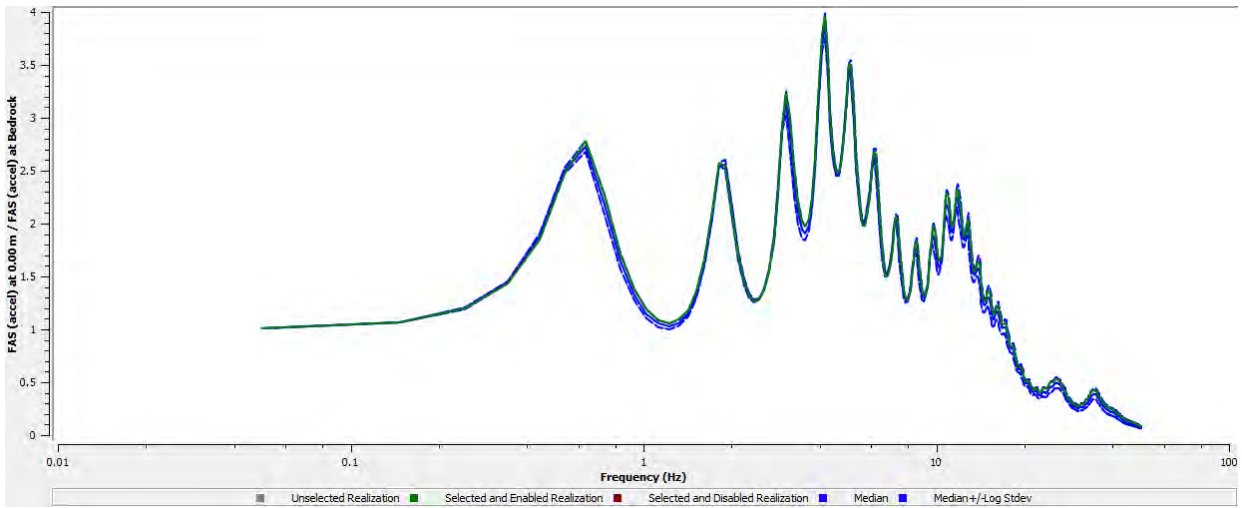


Figura 40. Andamento della funzione di amplificazione in funzione della frequenza

Nella figura seguente si riportano i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate in termini di spettri di risposta al piano campagna per i tre accelerogrammi utilizzati (in nero è riportato anche il valore medio). Per confronto sono riferiti anche gli spettri a probabilità uniforme amplificati (FA PGA pari a 2.1) per il comune di Alseno (DGR 112/2007).

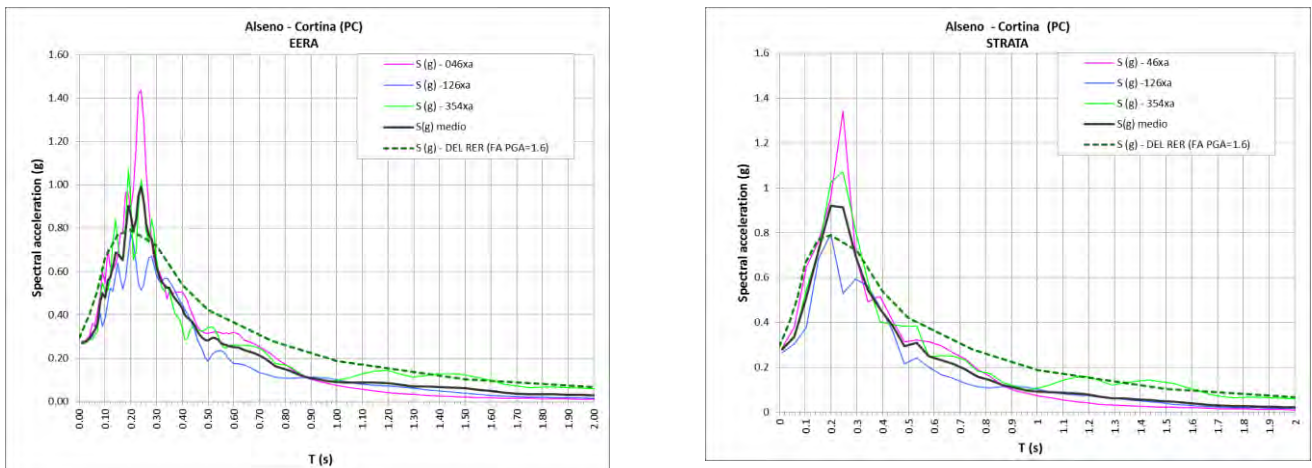


Figura 41 Spettri di risposta ottenuti (accelerazione in g) mediante l'utilizzo del software EERA e Strata e spettri a probabilità uniforme amplificati dalla DGR 112/2007 (FA PGA pari a 2.1).

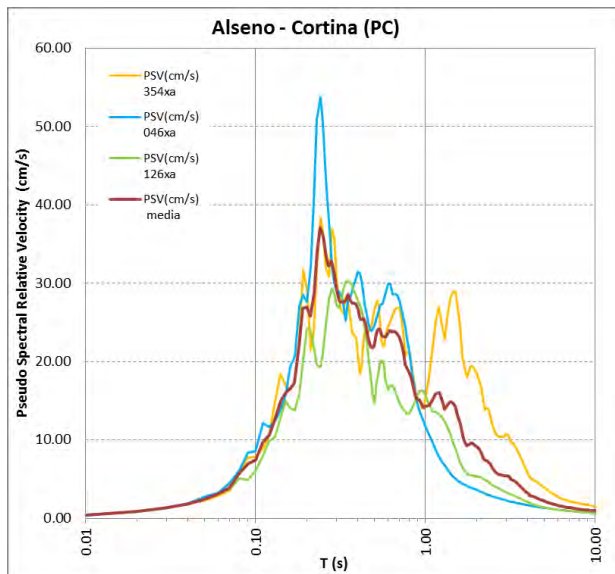
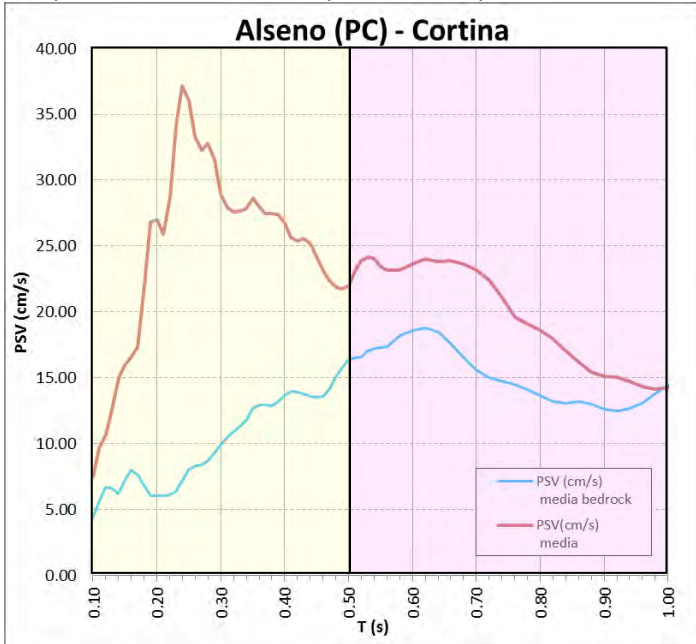


Figura 42 Spettri di risposta PSV (velocità spettrali in cm/s).



L'esame dei dati risultanti dalle simulazioni numeriche evidenzia che i valori massimi di accelerazione spettrale sono concentrati nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.5s, il picco di valore massimo è compreso nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1 e 0.3s



E' stata inoltre calcolata l'Intensità di Housner (SI) definita come segue

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV dT$$

Dove PSV è lo spettro di risposta in velocità (smorzamento  $\zeta=5\%$ ).

Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi numeriche sono stati ricavati i valori dei coefficienti di amplificazione in termini di intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>).

FA Intensità Spettrale  $-0.1s < T_0 < 0.5s = 2.7$

FA Intensità Spettrale  $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.3$

Figura 43 Spettri di risposta in velocità ottenuti dalle simulazioni con il software EERA.

E' stata inoltre calcolata l'intensità di Arias (I<sub>A</sub>) secondo l'equazione

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a^2(t) dt$$

I cui risultati sono di seguito riportati

la 0046xa (m/s)	la 0126xa (m/s)	la 0354xa (m/s)
0.121	0.025	0.105

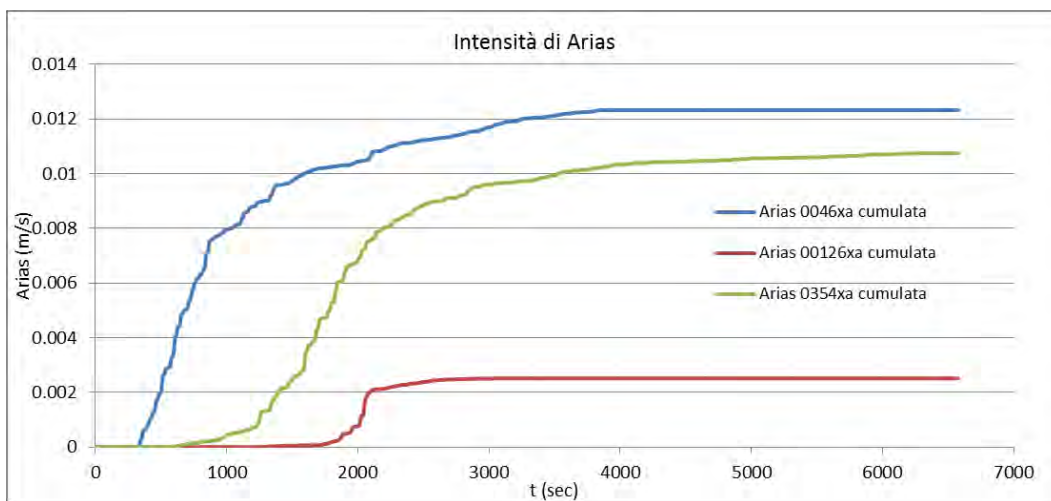


Tabella 4. Andamento della funzione di Arias nel tempo per i tre accelerogrammi utilizzati

Nelle successive analisi eseguite è stato utilizzato il valore medio ottenuto dalle elaborazioni eseguite con il programma Strata pari a 0.28g.

### 5.8 Stabilità nei confronti della liquefazione e stima cedimenti permanenti nei terreni granulari e coesivi

Al fine di verificare la possibilità dell'occorrenza del fenomeno della liquefazione nei terreni indagati sono state verificate le verticali eseguite attraverso l'utilizzo di metodi semplificati.

Le verifiche eseguite nel presente paragrafo ottemperano quanto previsto al punto A e B dell'allegato 3 alla DAL 112/2007.

Per la verifica della suscettibilità alla liquefazione è necessario il calcolo di due variabili: il carico sismico, espresso tramite il carico tensionale ciclico CSR e la capacità del terreno a resistere alla liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica CRR.

Il metodo semplificato permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza ciclica (CRR) ed il carico tensionale ciclico (CSR).

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza è minore di **1.00**.

La verifica a liquefazione è stata eseguita sulle prove CPT tramite l'utilizzo del software CLiq v.1.7.1.14 - CPT Liquefaction Assessment Software della ditta GeoLogismiki Geotechnical Software con i metodi proposti da Robertson & Wride (1998)<sup>24</sup>, NCEER (1998)<sup>25</sup> e Idriss & Boulanger (2008)<sup>26</sup> e Boulanger & Idriss (2014).

L'analisi è stata condotta imponendo una profondità della falda pari a **6.0 m dal p.c.** corrispondente al primo livello di ghiaie reperito ed un valore di magnitudo di momento (M) pari **6.14**. L'analisi è stata condotta considerando il valore di  $a_{max}$  più elevato tra quello ottenuti nell'analisi RSL **0.28g** ed inoltre è stata eseguita un'analisi parametrica per evidenziare la variazione dell'indice di potenziale liquefazione al variare di  $a_{max}$ .

E' stato inoltre calcolato inoltre l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  secondo il metodo di Iwasaki et al. (1982)<sup>27</sup>.

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z) dz$$

Dove z è la profondità dal piano campagna in metri  
 $W(z) = 10 - 0.5z$   
 $F = 1 - FL$  se  $FL \leq 1.0$   
 $F = 0$  se  $FL > 1.0$

I valori di  $I_L$  ottenuti sono stati classificati secondo le classi proposte da Somnez (2003)<sup>28</sup>; in particolare se  $I_L = 0$  il rischio di liquefazione è nullo, se  $0 < I_L \leq 2$  il rischio di liquefazione è basso; se  $2 < I_L \leq 5$  il potenziale di rottura è moderato, se  $5 < I_L \leq 15$  il potenziale di rottura è elevato,  $I_L \geq 15$  il potenziale di rottura è estremamente elevato. E' stato inoltre eseguito un calcolo dei possibili cedimenti post sismici secondo il metodo proposto da Zhang et. al. (2002)<sup>29</sup>. Nella tabella seguente si riportano i dati ottenuti con i metodi di calcolo utilizzati. Le analisi eseguite evidenziano un indice di potenziale liquefazione **nullo** e cedimenti post sismici dei terreni granulari pressoché nulli.

	Metodo NCCER -Robertson (1998)		Metodo Idriss & Boulanger (2008)	
	$I_L$	Cedimenti (cm)	$I_L$	Cedimenti (cm)
CPT208	0	0	0	0.041
CPT216	0	0	0	0
CPT217	0	0	0	0.286

<sup>24</sup> Robertson P.K. & Wride C.E. (1998) "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test" *Can. Geotech. J.* 35: 442-459 (1998)

<sup>25</sup> Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, ASCE, *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, October, pp 817-833

<sup>26</sup> Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008) "Soil Liquefaction during Earthquakes." *MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.*

<sup>27</sup> Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. Yasuda S., Sato H. (1983) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", *III Int. Conf. In Microzon., San Francisco*

<sup>28</sup> Somnez H (2003) *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*. *Environ Geology* 44(7):862-871

<sup>29</sup> Zhang H., Robertson P.K., Brachman R.W.I "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground" *Can. Geotech. J.* 39:1168-1180.

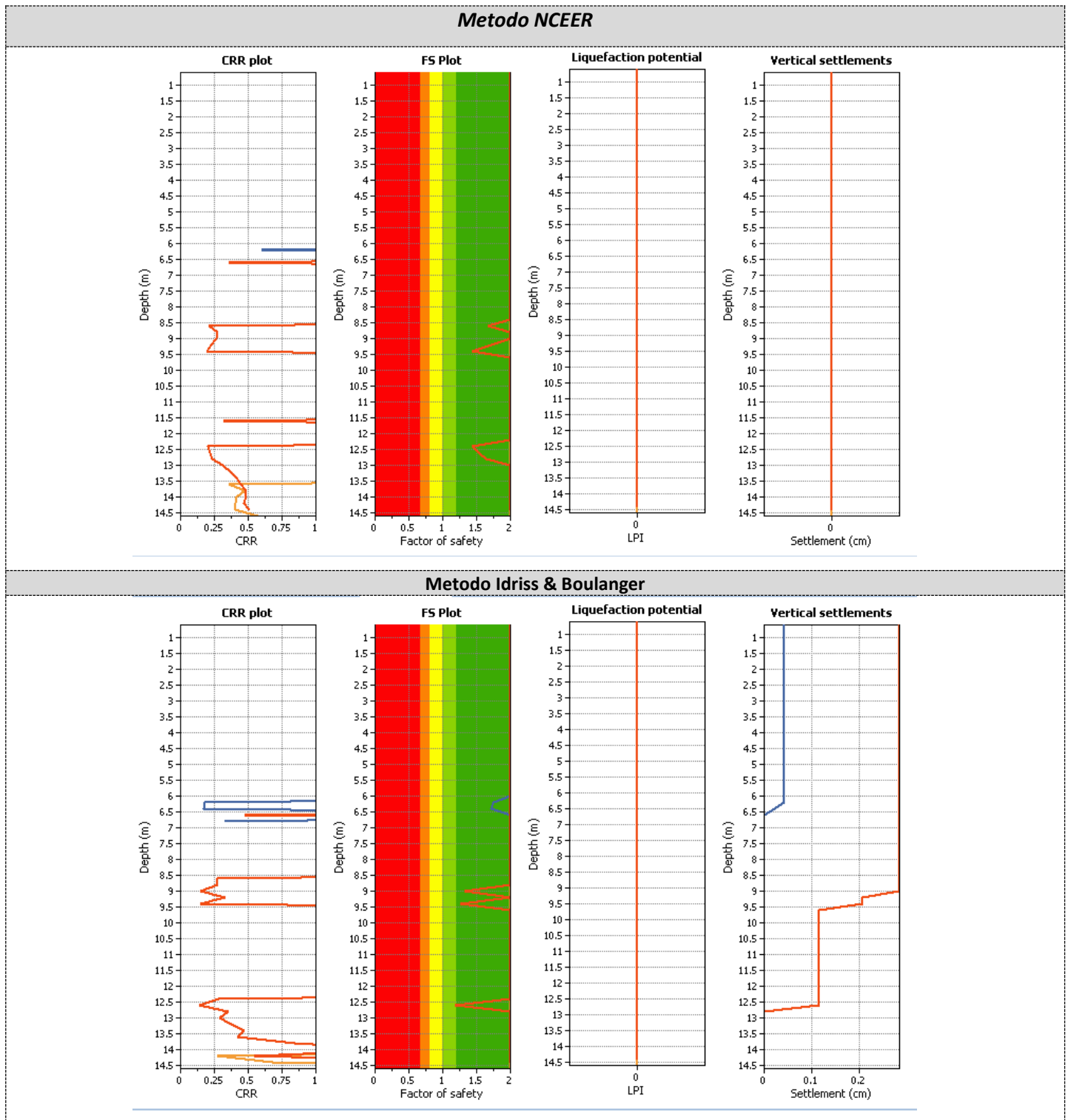


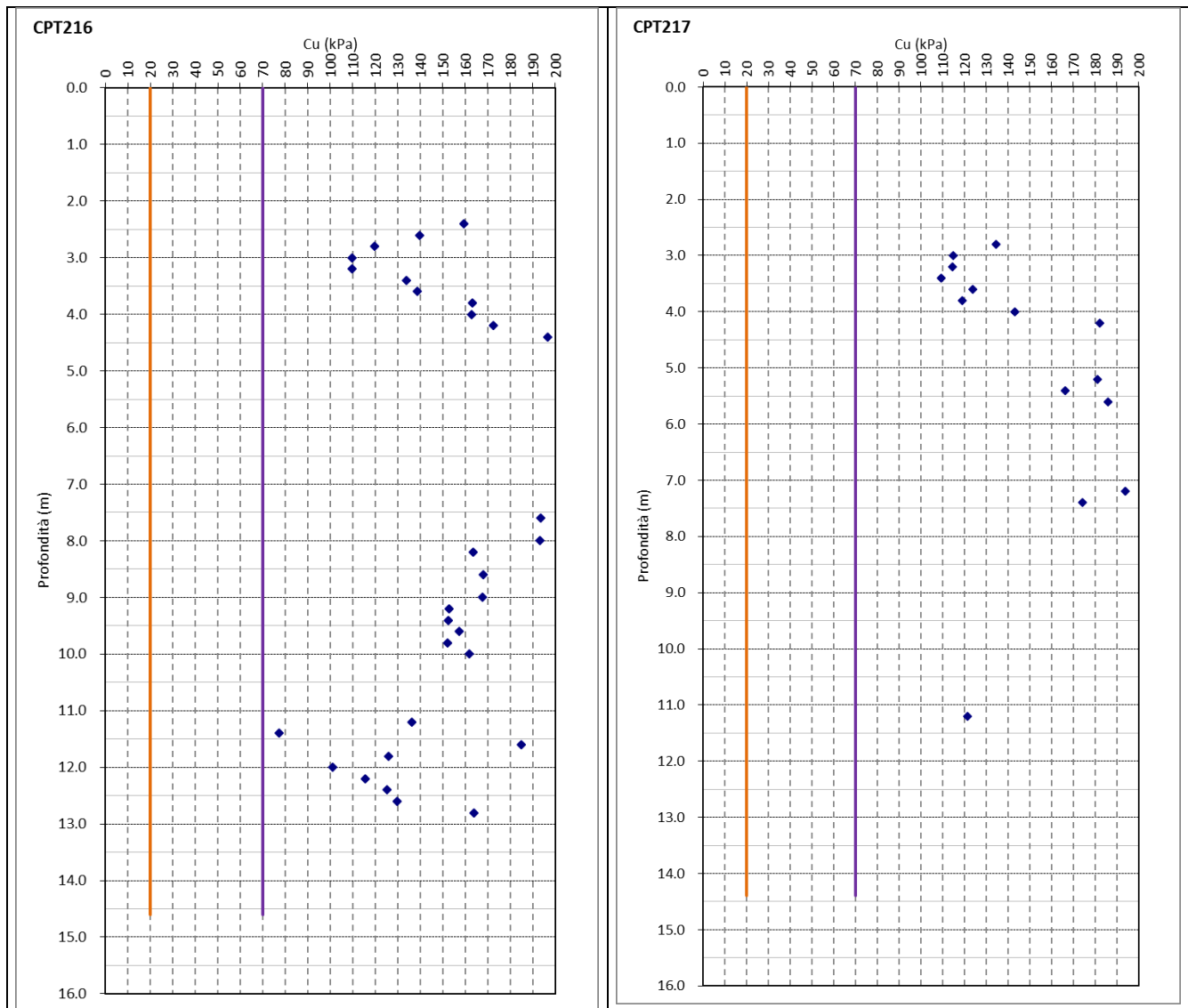
Figura 44 Verifiche alla liquefazione prove CPT216 e CPT217. Risultate negative assenza di liquefazione

Per quanto riguarda i cedimenti post sismici dei terreni coesivi sono state verificate le verticali CPT2016 e CPT2017. L'analisi dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche eseguite ha evidenziato la presenza di depositi caratterizzati con valori di  $C_u$  inferiori a 70kPa per spessori complessivi pari a 0.

Malgrado tale dato è stata eseguita la verifica sulla base delle metodologie proposte da Boulanger & Idriss (2007)<sup>30</sup> e Robertson (2009)<sup>31</sup>. L'analisi è stata condotta imponendo una profondità della falda pari a 1.0m dal

<sup>30</sup> Boulanger R.W. & Idriss I.M. (2007): "Evaluation of cyclic softening in silts and clay. Journal of Geotechnical and geoenvironmental Engineering. ASCE, Vol. 132(12) 1549-656

p.c. ed un valore di magnitudo di momento (M) per l'area in esame è stata utilizzato 6.14. Il valore di  $a_{max}$  stimato sulla base del fattore di amplificazione ricavato nei paragrafi precedenti.



Il valore di FSI è risultato sempre superiore a 1, indicando pertanto l'assenza di terreni suscettibili di cedimenti postsismici per i valori utilizzati. Il calcolo quindi del cedimento è risultato pari a 0.0 cm.

**Cedimento terreni coesivi**

Fs minimo	1.66
Spessore con $F_s < 2$ (m)	0.20 m
Cedimenti (cm)	0.00 cm

Prova CPT216

**Cedimento terreni coesivi**

Fs minimo	2.85
Spessore con $F_s < 2$ (m)	0.00 m
Cedimenti (cm)	0.00 cm

Prova CPT217

<sup>31</sup> Robertson P.K. (2009) "Performance based earthquake design using the CPT" in Case History to Practice Edited by Takaji Kokusho , Yoshimichi Tsukamoto , and Mitsutoshi Yoshimine CRC Press 2009



## 5.9 Identificazione dei pendii potenzialmente instabili

### 5.9.1 Verifica dello spostamento laterale (laterl spreading) dei terreni liquefacibili

Per la valutazione dello spostamento laterale (lateral spreading) la procedura DAL 112/2007 prevede nel caso siano presenti materiali liquefacibili di ricavare un coefficiente  $K\alpha$  funzione del parametro  $\alpha$  (dove  $\alpha = \tau_{Hst}/\sigma'_0$  dove  $\tau_{Hst}$  = sforzo di taglio in condizioni statiche e  $\sigma'_0$  = pressione efficace verticale) e nel caso  $K\alpha$  risulti minore di 1 (secondo le tabelle sotto riportate) è necessario verificare la stabilità laterale.

Nel caso in esame non essendo presenti livelli liquefacibili la procedura per la verifica allo spostamento laterale di cui al punto C1-Caso a dell'Allegato 3 della DAL 112/2007 non si applica.

### 5.9.2 Analisi di stabilità del pendio

Le verifiche sono eseguite secondo quanto riportato al punto C2-Casob dell'allegato III alla DAL 112/2007. Per valutare la stabilità del pendio esaminato è stata adottata la seguente procedura:

- ✓ Fase 1: Ricostruzione geometrica e geotecnica del versante esaminato.
- ✓ Fase 2: Verifica di stabilità in condizioni statiche (pre - sisma) – Caso 1.
- ✓ Fase 3. Verifica di stabilità in condizioni pseudostatica del versante (durante il sisma) – Caso 2.
- ✓ Fase 4. Verifica di stabilità in condizioni statiche (post – sisma) – Caso 3.
- ✓ Fase 5. Verifica di stabilità dinamica con blocco rigido di Newmark (durante il sisma) – Caso 4.

#### 5.9.2.1 Coefficiente di sicurezza e ricostruzione versante (Fase 1)

La verifica confronta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione  $E_d$  con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$ .

Il livello di sicurezza è espresso come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale. La DAL 112/2007 prevede un fattore di sicurezza  $FS > 1.2$  per considerare un pendio in condizioni stabili.

La ricostruzione geometrica e geotecnica del versante è stata descritta nei paragrafi precedenti ma di seguito viene schematizzata.

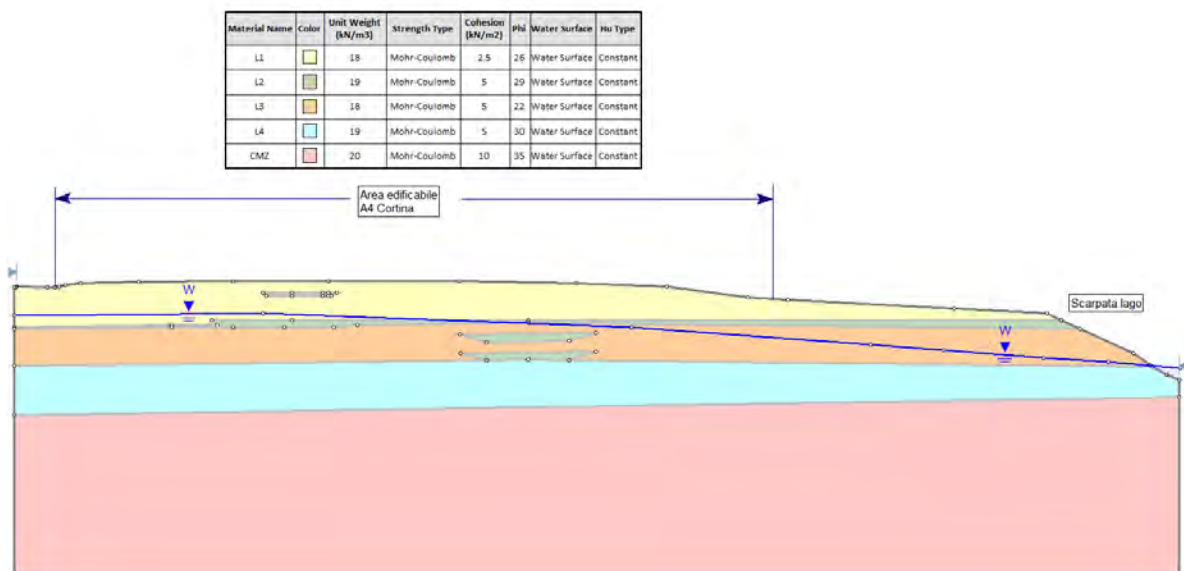


Figura 45 Schematizzazione ricostruzione geometrica e geotecnica versante

Per quanto concerne i parametri geotecnici e le condizioni in cui eseguire le verifiche si riporta:

1. Verifica pre sisma: condizioni drenate con parametri non ridotti ai sensi della Dal 112/2007;
2. Verifica durante il sisma: condizione non drenata con riduzione parametro  $C_u$  come da Dal 112/2007 e Linee guida AGI 2005;

3. Verifica post sisma: in condizioni drenate con riduzione delle condizioni geotecniche prodotte dallo stress sismico (determinazione  $\Delta u$  come Dal 112/2007 e Linne guida AGI e calcolo di  $\sigma' = \sigma'_{vo} - \Delta u$ ).

Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità in condizioni drenate pre sisma

	$\gamma d$ kN/mc	$c'd$ kN/mq	$\phi'd$ °
L1	18	2.5	26
L2	19	5	29
L3	18	5	22
L4	19	5	30
CMZ	20	10	35

Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità in condizioni non drenate durante il sisma

	$\gamma d$ kN/mc	$C_{uk}$ kPa	$\delta_{cu}$ -	$C_{ud}$ kPa
L1	18	104	1	104
L2	19	200	1	200
L3	18	117	1	117
L4	19	200	0.99	199
CMZ	20	200	0.99	199

Il parametro  $C_{uk}$  è moltiplicato per il parametro  $\delta_{cu}$  (coefficiente di riduzione della resistenza non drenata ai sensi della DAL112/2007 e delle Linee Guida AGI 2005) che risulta pari a  $\delta_{cu} = N^{-t}$  dove N è il numero dei cicli di carico indotti dal terremoto di riferimento e t è un parametro di degradazione.

N è determinato in funzione della magnitudo e si fa riferimento alla tabella 6 dell'allegato 3 della DAL 112/2007 che individua per un terremoto di magnitudo 6.14 un numero di cicli equivalente di poco inferiore a 6 (si assume N = 6).

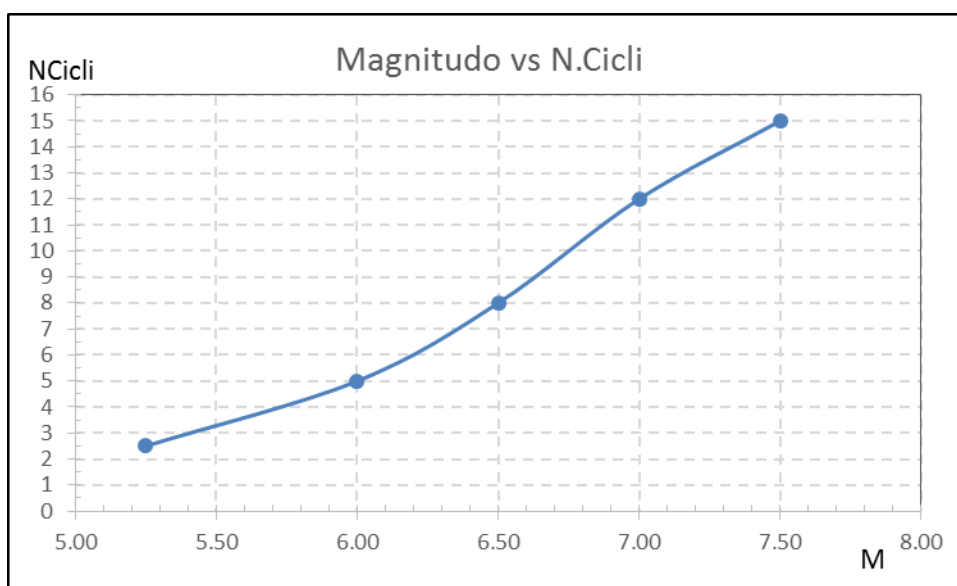


Figura 46. Valori del numero di cicli equivalenti corrispondenti ad un'ampiezza dello sforzo di taglio pari a  $0.65 \tau_{max} = \tau_e$

Per quanto riguarda t le Linee guida AGI suggeriscono di ricavarlo come segue:  $t = s * (\gamma_c - \gamma_v)^r$  dove r ed s sono stimati da tabelle in funzione dell'indice di plasticità e di OCR mentre  $\gamma_c = t_{eq}/G$  ( $t_{max}/G$ ) e  $\gamma_v = A * (OCR - 1) + B$  (A e B coefficienti in funzione di IP). Nel caso in cui  $\gamma_v < \gamma_c$   $C_{ud} = C_{uk}$ .

Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità in condizioni drenate post sisma

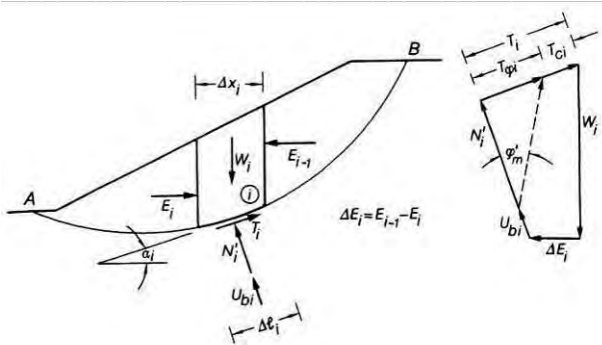
	$\gamma d$ kN/mc	$c'd$ kN/mq	$\phi'd$ °	$\Delta u$ kPa
L1	18	2.5	26	19.14
L2	19	5	29	9.87

	$\gamma d$ kN/mc	c'd kN/mq	$\phi'd$ °	$\Delta u$ kPa
L3	18	5	22	25.02
L4	19	5	30	12.02
CMZ	20	10	35	13.20

5.9.2.2 Pendio finito e metodi di calcolo

Le verifiche sono state eseguite utilizzando i metodi di Bishop (1955) e Jambu (1955) ipotizzando superfici di scorrimento circolari e non circolari di raggio r, con il materiale coinvolto nella rottura suddiviso in conci di larghezza b (vedi schema riportato di seguito), per ognuna delle quali vengono valutati il momento stabilizzante  $M_s$  e il momento ribaltante  $M_r$  calcolati rispetto al centro del cerchio.

Il contributo al momento stabilizzante  $M_s$  di un concio è fornito in generale dalla resistenza alla base, somma della componente del peso  $W$  ortogonale alla base moltiplicata per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi$  e della eventuale coesione  $c$ , moltiplicata per la lunghezza  $b/\cos\alpha$ , dove  $\alpha$  è l'inclinazione della base del concio rispetto all'orizzontale.



Nel caso in esame l'azione di progetto  $E_d$  corrisponde al momento ribaltante  $M_r$  e la resistenza di progetto  $R_d$  al momento stabilizzante  $M_s$ ; la verifica viene quindi soddisfatta, considerando il fattore parziale  $\gamma_r$  sulla resistenza di progetto, se:

$$E_d \leq R_d \Leftrightarrow M_r \leq \frac{M_s}{\gamma_r}$$

5.9.2.3 Definizione dei coefficienti sismici per le verifiche pseudostatiche

Le forze orizzontali di inerzia, dovute alla azione sismica e applicate nel baricentro della massa instabile, sono state considerate con intensità pari a:

$$F_h = Kh \times W$$

dove:  $Kh$ = coefficiente sismico orizzontale;  $W$  = peso del materiale.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte mediante l'analisi di tipo pseudo-statico che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti.

Le forze verticali sono state considerate pari a:

$$F_v = \pm 0.5 \times F_h$$

Lo studio di RSL ha individuato un valore di  $a_{max}$  pari a 0.28g, di seguito si riportano differenti valori di  $Kh$  calcolati con formulazioni differenti derivanti da diverse normative (Eurocodice 8, D.G.R.112/2007, NTC2008) ed autori di seguito riportate:

$$Kh_{EC8} = 0.5 * (a_{max}) - Kh_{(Marcuson, 1981)} = 0.33 * (a_{max}) - Kh_{NTC2008} = \beta * (a_{max}) / g$$

Dove  $\gamma_i$  è un fattore di importanza che per costruzioni ordinarie risulta pari all'unità;  $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito riportato nella tabella 7.11.I delle NTC2008, in funzione della categoria di suolo;  $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;  $g$  = accelerazione di gravità.

In relazione alle analisi di risposta sismica locale si evidenzia come il valore di  $a_{max}$ (PGA) sia variabile in funzione della profondità, cautelativamente si è scelto di applicare il valore massimo di accelerazione a tutto il suolo oggetto di verifica.

	$Kh_{eq}$	$Kv_{eq}$
EC8 –Linee Guida AGI (2005) <sup>32)</sup>	<b>0.140</b>	<b>0.070</b>
(Marcuson, 1981) <sup>33)</sup>	0.092	0.046
NTC2008	0.067	0.034

<sup>32</sup> Associazione Geotecnica Italiana (2005): "Linee guida: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" Patron Editore

<sup>33</sup> Marcuson W.F. III (1981): "Moderator's report for session on Earth dmas and stability of slopes under dynamic loads" Proc. Of International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and soil Dynamic , St. Louis, vol3.1175

Per la presente relazione i coefficienti sismici Kh e Kv sono stati determinati secondo la metodologia dell'EC8 in accordo con quanto riportato nel paragrafo C.3 dell'allegato 3 della DAL 112/2015.

#### 5.9.2.4 Risultati delle verifiche in condizioni statiche e pseudo statiche (Casi 1, 2 e 3)

Sulla base di quanto riportato nell'allegato A3 paragrafo C della DGR.RER n°112/2007 le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate nella situazione pre-sisma e post sisma ed in condizioni non drenate durante il sisma.

Le verifiche eseguite effettuate con coefficienti sismici determinati da un'analisi di III Livello hanno individuato una buona e generalizzata stabilità dell'area; di seguito si riportano i coefficienti di sicurezza ricavati:

	<b>Statica</b>	<b>Sismica pseudostatica Kh (EC8 – AGI 2005)</b>
<b>Caso 1</b> Pre sisma Condizioni drenate	<b>5.52</b> [internamente all'area] <b>1.244</b> [sulla scarpata del lago irriguo]	
<b>Caso 2</b> Durante il sisma Condizioni non drenate		<b>2.255</b> – pendio senza urbanizzazione <b>2.091</b> - pendio urbanizzato
<b>Caso 3</b> Post sisma Condizioni drenate	<b>3.129</b> [internamente all'area] <b>1.204</b> [sulla scarpata del lago irriguo]	

Le varie verifiche di stabilità deterministiche eseguite indicano un pendio in condizioni naturali e di urbanizzazione stabile sia in situazione pre-sisma (statica) che durante il sisma (pseudostatica) che post sisma (statica con condizioni di sovrappressione).

Di seguito si riportano gli output di calcolo.

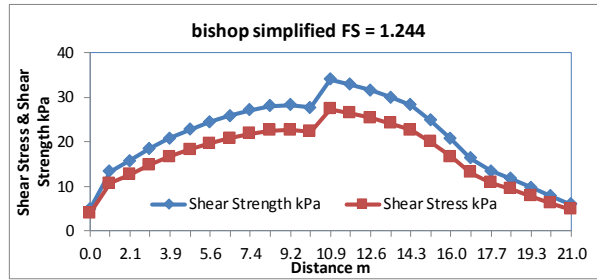


**CASO 1 – Sezione 1 di progetto -- Condizioni statiche – pre sisma con falda prossima al pc**

**VERIFICA IN CONDIZIONI STATICHE PRE SISMA**

Analysis Method: bishop simplified

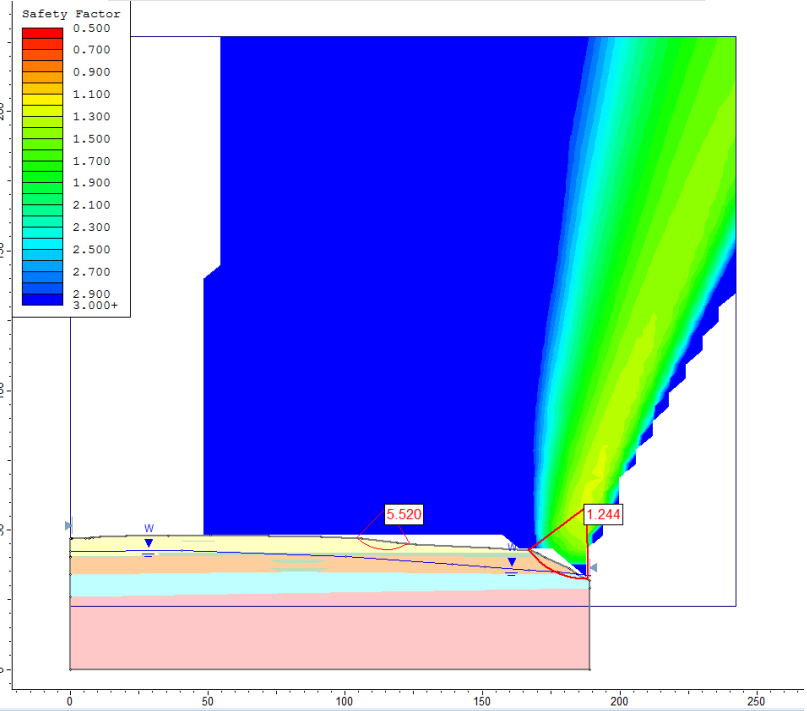
Factor of Safety	1.24398	
Circle Center	187.800	58.493
Radius	26.3525	
Circle Endpoint 1	166.655	42.765
Circle Endpoint 2	188.559	32.151
Surface Intercept 1	166.655	42.765
Surface Intercept 2	188.559	33.927



Distance m	Shear Strength kPa	Shear Stress kPa
0.000	4.88213	3.9246
1.047	13.3688	10.7468
2.087	15.7261	12.6418
2.973	18.4921	14.8653
3.859	20.8119	16.7301
4.745	22.7885	18.319
5.631	24.4519	19.6562
6.517	25.9063	20.8253
7.403	27.0997	21.7847
8.289	28.0133	22.5191
9.175	28.2356	22.6978
10.061	27.742	22.301
10.925	34.0175	27.3457
11.767	32.8919	26.4409
12.609	31.5632	25.3728
13.452	30.0322	24.142
14.294	28.2258	22.6899
15.136	24.8507	19.9768
15.979	20.7082	16.6467
16.821	16.3039	13.1062
17.663	13.4338	10.7991
18.506	11.6956	9.40174
19.348	9.74804	7.83617
20.190	7.81152	6.27946
21.033	6.01837	4.838

524.81906 421.88717

Fs 1.244



Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.24398

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.900774	8.88291	L1	2.5	26	3.9246	4.88213	4.88409	0	4.88409
2	1.19399	32.3836	L2	5	29	10.7468	13.3688	15.0978	0	15.0978
3	0.88592	34.6806	L3	5	22	12.6418	15.7261	26.548	0	26.548
4	0.88592	41.5424	L3	5	22	14.8653	18.4921	33.3942	0	33.3942
5	0.88592	46.9701	L3	5	22	16.7301	20.8119	39.1359	0	39.1359
6	0.88592	51.3349	L3	5	22	18.319	22.7885	44.0281	0	44.0281
7	0.88592	54.7743	L3	5	22	19.6562	24.4519	48.1452	0	48.1452
8	0.88592	57.6071	L3	5	22	20.8253	25.9063	51.7449	0	51.7449
9	0.88592	59.722	L3	5	22	21.7847	27.0997	54.6986	0	54.6986
10	0.88592	61.0974	L3	5	22	22.5191	28.0133	56.9599	0	56.9599
11	0.88592	61.7797	L3	5	22	22.6978	28.2356	58.713	1.20298	57.51
12	0.88592	61.8079	L3	5	22	22.301	27.742	59.9407	3.65228	56.2885
13	0.842318	58.3676	L4	5	30	27.3457	34.0175	58.3887	8.12878	50.2599
14	0.842318	57.5829	L4	5	30	26.4409	32.8919	58.8514	10.5412	48.3102
15	0.842318	56.2803	L4	5	30	25.3728	31.5632	58.6449	12.6361	46.0088
16	0.842318	54.4773	L4	5	30	24.142	30.0322	57.7813	14.4243	43.357
17	0.842318	52.071	L4	5	30	22.6899	28.2258	56.1434	15.9151	40.2283
18	0.842318	47.0054	L4	5	30	19.9768	24.8507	51.4987	17.1163	34.3824
19	0.842318	40.6559	L4	5	30	16.6467	20.7082	45.242	18.0345	27.2075
20	0.842318	33.861	L4	5	30	13.1062	16.3039	38.2541	18.6752	19.5789
21	0.842318	29.3966	L4	5	30	10.7991	13.4338	33.6506	19.0427	14.6079
22	0.842318	26.5503	L4	5	30	9.40174	11.6956	30.7377	19.1406	11.5971
23	0.842318	23.2445	L4	5	30	7.83617	9.74804	27.1954	18.9715	8.22385
24	0.842318	19.817	L4	5	30	6.27946	7.81152	23.4067	18.537	4.86971
25	0.842318	16.4588	L4	5	30	4.838	6.01837	19.6019	17.8381	1.76381

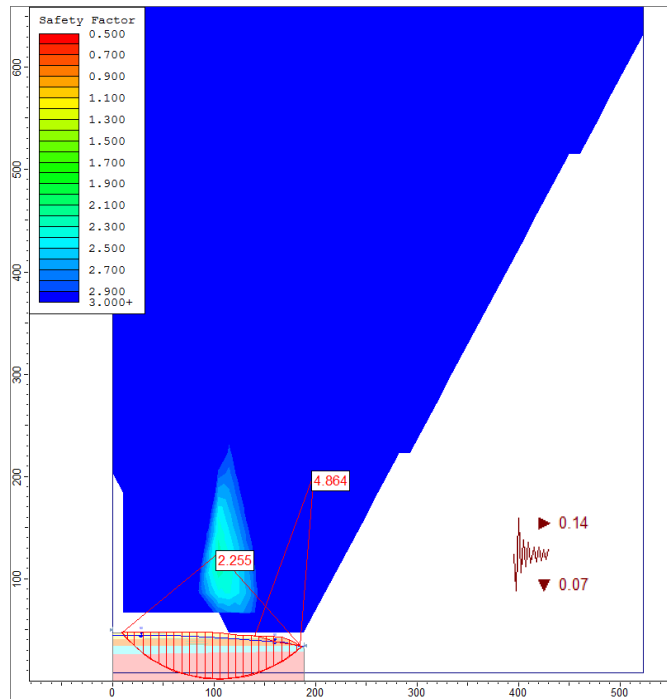
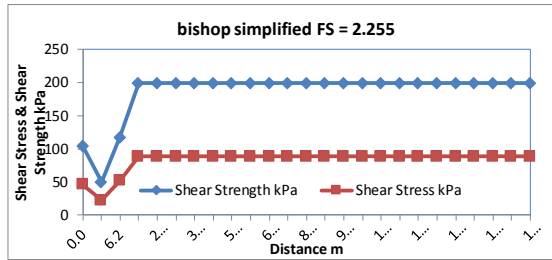
**Caso 2 – Sezione 1 di progetto – Verifica durante il sisma – Verifica pseudostatica**

**VERIFICA IN CONDIZIONI PSEUDOSTATICHE DURANTE IL SISMA**

Analysis Method: bishop simplified

Factor of Safety	2.25525	
Circle Center	104.532	125.054
Radius	123.272	
Circle Endpoint 1	8.776	47.423
Circle Endpoint 2	186.575	33.049
Surface Intercept 1	8.776	47.423
Surface Intercept 2	186.575	34.116

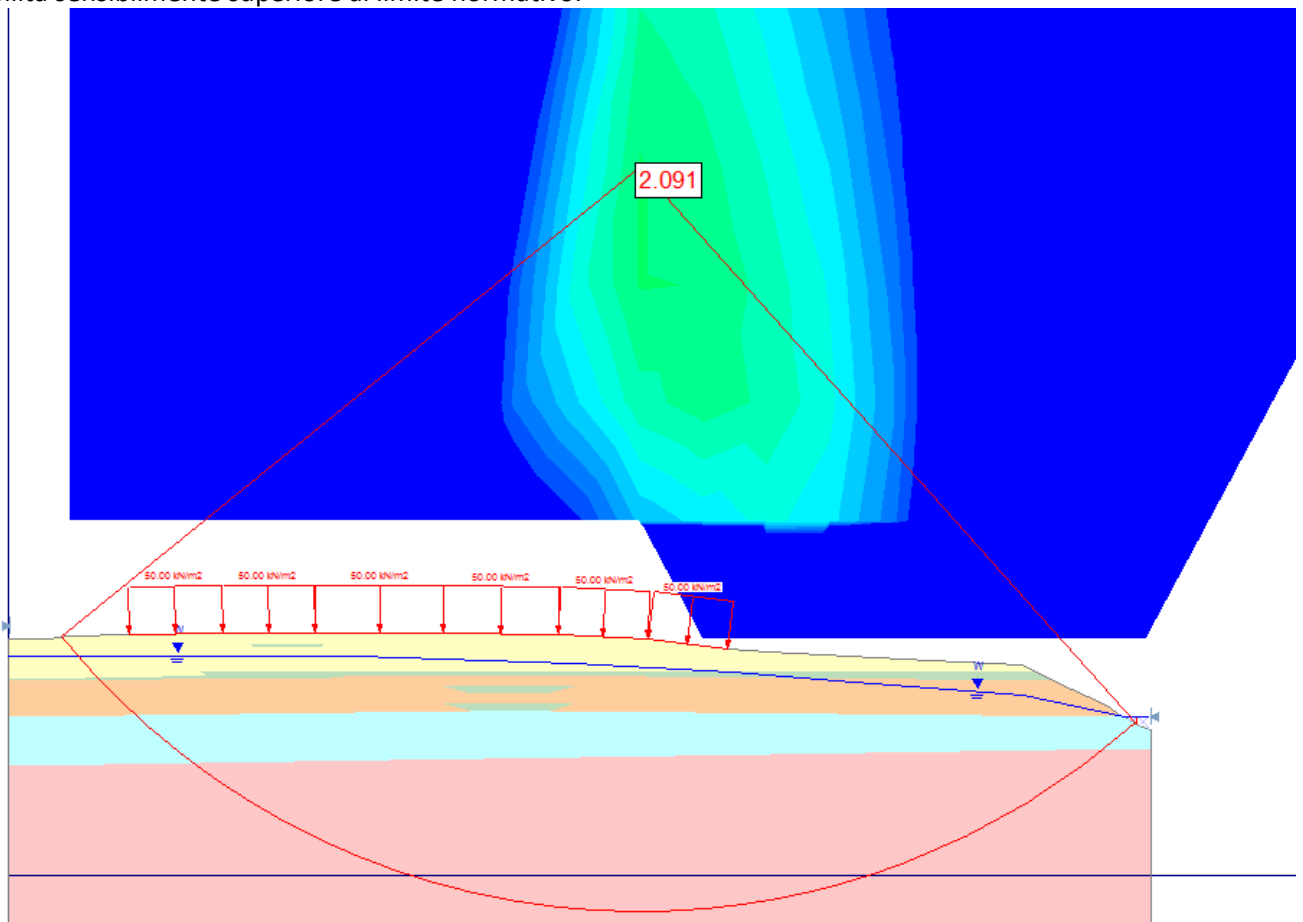
Distance m	Shear Strength kPa	Shear Stress kPa
0.000	104	46.1146
3.088	50	22.1705
6.247	117	51.8789
13.911	199	88.2386
22.361	199	88.2386
29.935	199	88.2386
37.508	199	88.2386
45.081	199	88.2386
52.655	199	88.2386
60.228	199	88.2386
67.802	199	88.2386
75.375	199	88.2386
82.949	199	88.2386
90.522	199	88.2386
98.096	199	88.2386
105.669	199	88.2386
113.243	199	88.2386
120.816	199	88.2386
128.389	199	88.2386
135.963	199	88.2386
143.536	199	88.2386
151.110	199	88.2386
158.683	199	88.2386
166.257	199	88.2386
172.457	199	88.2386
	4649	2061.4132
	Fs	2.255



Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.25525

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.8576	377.89	L1	104	0	46.1146	104	16.1722	2.25978	13.9125
2	0.317805	41.2239	L2	50	0	22.1705	50	115.253	36.8469	78.4058
3	6.00129	1123.89	L3	117	0	51.8789	117	149.136	67.5806	81.5552
4	9.32639	2953.21	L4	199	0	88.2386	199	265.132	134.859	130.273
5	7.57346	3377.82	CMZ	199	0	88.2386	199	415.689	198.968	216.721
6	7.57346	4127.27	CMZ	199	0	88.2386	199	530.722	246.931	283.791
7	7.57346	4758.86	CMZ	199	0	88.2386	199	628.002	287.655	340.347
8	7.57346	5281.63	CMZ	199	0	88.2386	199	709.108	321.94	387.168
9	7.57346	5716.71	CMZ	199	0	88.2386	199	777.239	348.105	429.134
10	7.57346	6070.39	CMZ	199	0	88.2386	199	833.433	368.613	464.82
11	7.57346	6349.01	CMZ	199	0	88.2386	199	878.702	384.015	494.687
12	7.57346	6536.78	CMZ	199	0	88.2386	199	910.909	394.539	516.37
13	7.57346	6622.69	CMZ	199	0	88.2386	199	928.575	400.076	528.499
14	7.57346	6633.38	CMZ	199	0	88.2386	199	935.531	399.535	535.996
15	7.57346	6529.94	CMZ	199	0	88.2386	199	926.344	394.417	531.927
16	7.57346	6314.64	CMZ	199	0	88.2386	199	901.397	384.711	516.686
17	7.57346	6073.57	CMZ	199	0	88.2386	199	872.916	368.932	503.984
18	7.57346	5787.76	CMZ	199	0	88.2386	199	838.293	347.796	490.497
19	7.57346	5428.39	CMZ	199	0	88.2386	199	793.539	321.712	471.827
20	7.57346	4988.44	CMZ	199	0	88.2386	199	737.762	290.87	446.892
21	7.57346	4462.32	CMZ	199	0	88.2386	199	670.299	254.449	415.85
22	7.57346	3842.51	CMZ	199	0	88.2386	199	590.263	211.966	378.297
23	7.57346	2951.11	CMZ	199	0	88.2386	199	472.757	159.28	313.477
24	7.57346	1682.69	CMZ	199	0	88.2386	199	303.246	92.234	211.012
25	4.82748	326.56	L4	199	0	88.2386	199	146.945	31.5328	115.412

Verificata la condizione di stabilità generalizzata del pendio è stato applicato un carico uniformemente distribuito lungo il versante per simulare la possibile edificazione che ha evidenziato una condizione di stabilità sensibilmente superiore al limite normativo.



Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.09135

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.8576	377.89	L1	104	0	49.7286	104	12.0299	2.25978	9.77015
2	0.317805	41.2239	L2	50	0	23.908	50	113.408	36.8469	76.561
3	6.00129	1123.89	L3	117	0	55.9447	117	151.746	67.5806	84.1656
4	9.32639	2953.21	L4	199	0	95.1538	199	309.358	134.859	174.499
5	7.57346	3377.82	CMZ	199	0	95.1538	199	460.867	198.968	261.899
6	7.57346	4127.27	CMZ	199	0	95.1538	199	576.616	246.931	329.685
7	7.57346	4758.86	CMZ	199	0	95.1538	199	674.527	287.655	386.872
8	7.57346	5281.63	CMZ	199	0	95.1538	199	756.201	321.94	434.261
9	7.57346	5716.71	CMZ	199	0	95.1538	199	824.853	348.105	476.748
10	7.57346	6070.39	CMZ	199	0	95.1538	199	881.535	368.613	512.922
11	7.57346	6349.01	CMZ	199	0	95.1538	199	927.268	384.015	543.253
12	7.57346	6536.78	CMZ	199	0	95.1538	199	959.92	394.539	565.381
13	7.57346	6622.69	CMZ	199	0	95.1538	199	978.019	400.076	577.943
14	7.57346	6633.38	CMZ	199	0	95.1538	199	985.401	399.535	585.866
15	7.57346	6529.94	CMZ	199	0	95.1538	199	976.64	394.417	582.223
16	7.57346	6314.64	CMZ	199	0	95.1538	199	937.482	384.711	552.771
17	7.57346	6073.57	CMZ	199	0	95.1538	199	874.078	368.932	505.146
18	7.57346	5787.76	CMZ	199	0	95.1538	199	839.905	347.796	492.109
19	7.57346	5428.39	CMZ	199	0	95.1538	199	795.624	321.712	473.912
20	7.57346	4988.44	CMZ	199	0	95.1538	199	740.346	290.87	449.476
21	7.57346	4462.32	CMZ	199	0	95.1538	199	673.422	254.449	418.973
22	7.57346	3842.51	CMZ	199	0	95.1538	199	593.976	211.966	382.01
23	7.57346	2951.11	CMZ	199	0	95.1538	199	477.131	159.28	317.851
24	7.57346	1682.69	CMZ	199	0	95.1538	199	308.379	92.234	216.145
25	4.82748	326.56	L4	199	0	95.1538	199	152.8	31.5328	121.267

**Caso 3 – Sezione 1 di progetto – Verifica post sisma – Verifica statica**

**VERIFICA IN CONDIZIONI PSEUDOSTATICHE POST SISMA**

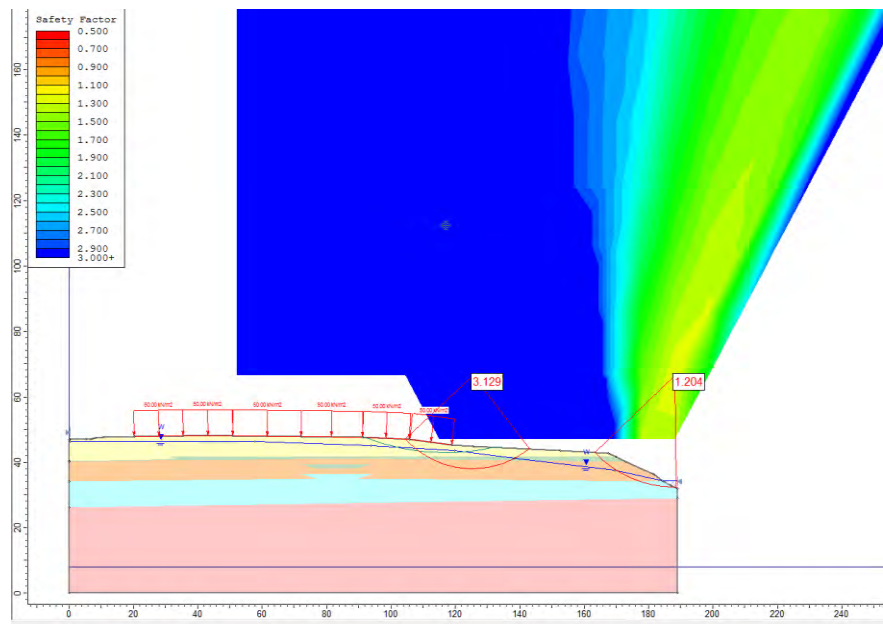
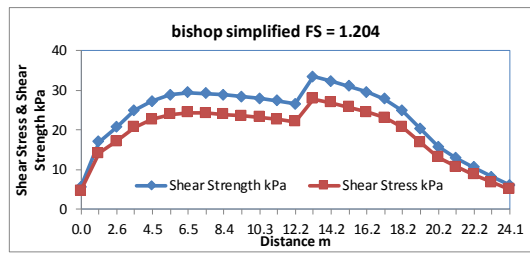
Analysis Method: bishop simplified

Factor of Safety	2.25525	
Circle Center	104.532	125.054
Radius	123.272	
Circle Endpoint 1	8.776	47.423
Circle Endpoint 2	186.575	33.049
Surface Intercept 1	8.776	47.423
Surface Intercept 2	186.575	34.116

Distance m	Shear Strength kPa	Shear Stress kPa
0.000	5.70306	4.73723
1.391	17.0234	14.1404
2.602	20.6489	17.152
3.565	24.8928	20.6771
4.528	27.2029	22.596
5.492	28.8289	23.9467
6.455	29.3996	24.4207
7.418	29.1802	24.2385
8.382	28.8205	23.9397
9.345	28.3758	23.5703
10.308	27.8989	23.1742
11.272	27.2984	22.6753
12.235	26.5741	22.0737
13.213	33.431	27.7694
14.206	32.3219	26.8481
15.199	31.0147	25.7623
16.192	29.5085	24.5112
17.185	27.8015	23.0932
18.178	24.8739	20.6614
19.171	20.3922	16.9387
20.164	15.7336	13.0691
21.157	12.8382	10.664
22.150	10.5876	8.79456
23.143	8.20344	6.81417
24.137	6.09563	5.06332

574.64963 477.33128

Fs 1.204



Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20388

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.32296	14.9629	L1	2.5	26	4.73723	5.70306	6.56722	0	6.56722
2	1.45839	50.0986	L2	5	29	14.1404	17.0234	21.6909	0	21.6909
3	0.963333	50.7748	L3	5	22	17.152	20.6489	38.7323	0	38.7323
4	0.963333	62.5115	L3	5	22	20.6771	24.8928	49.2363	0	49.2363
5	0.963333	68.2601	L3	5	22	22.596	27.2029	54.954	0	54.954
6	0.963333	71.9107	L3	5	22	23.9467	28.8289	58.9786	0	58.9786
7	0.963333	74.5755	L3	5	22	24.4207	29.3996	62.5667	2.17559	60.3911
8	0.963333	76.2449	L3	5	22	24.2385	29.1802	65.4686	5.62042	59.8481
9	0.963333	77.2029	L3	5	22	23.9397	28.8205	67.6212	8.66339	58.9579
10	0.963333	77.6276	L3	5	22	23.5703	28.3758	69.1822	11.325	57.8572
11	0.963333	77.6804	L3	5	22	23.1742	27.8989	70.2997	13.6228	56.6769
12	0.963333	77.1244	L3	5	22	22.6753	27.2984	70.7629	15.5724	55.1905
13	0.963333	75.9765	L3	5	22	22.0737	26.5741	70.585	17.1872	53.3978
14	0.993037	76.6739	L4	5	30	27.7694	33.431	67.7377	18.4938	49.2439
15	0.993037	74.5514	L4	5	30	26.8481	32.3219	66.8157	19.4929	47.3228
16	0.993037	71.8082	L4	5	30	25.7623	31.0147	65.2281	20.1693	45.0588
17	0.993037	68.4605	L4	5	30	24.5112	29.5085	62.9815	20.5315	42.45
18	0.993037	64.5223	L4	5	30	23.0932	27.8015	60.0798	20.5866	39.4932
19	0.993037	58.1037	L4	5	30	20.6614	24.8739	54.7634	20.3408	34.4226
20	0.993037	48.6807	L4	5	30	16.9387	20.3922	46.4593	19.7993	26.66
21	0.993037	38.8743	L4	5	30	13.0691	15.7336	37.5577	18.9664	18.5913
22	0.993037	33.7454	L4	5	30	10.664	12.8382	32.9985	19.4223	13.5762
23	0.993037	30.2452	L4	5	30	8.79456	10.5876	29.9025	20.2245	9.678
24	0.993037	26.3395	L4	5	30	6.81417	8.20344	26.2918	20.7433	5.54847
25	0.993037	22.7445	L4	5	30	5.06332	6.09563	22.8777	20.98	1.89768



5.9.2.5 Analisi di stabilità con metodi dinamici semplificati (Fase 5 – Caso 4)

Al fine di valutare il comportamento del pendio in esame in condizioni dinamiche è stata eseguita un'analisi semplificata secondo il metodo del blocco rigido proposto da Newmark (1965)<sup>34</sup>, metodo che consente la valutazione degli effetti della storia delle accelerazioni. L'azione sismica viene definita da un'accelerogramma e la risposta del pendio all'azione sismica è valutata in termini di spostamenti accumulati. Ogni volta che l'accelerazione alla base del deposito superficiale  $a(t)$  supera il valore di soglia  $a_c$  (accelerazione critica) deposito si sposta lungo la superficie di scorrimento.

Gli spostamenti  $S$  del pendio vengono espressi con la seguente formula:

$$S = S_0 * A$$

Dove  $A = \frac{\cos(\varphi-\alpha)}{\cos\varphi}$  dove  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno,  $\alpha$  = inclinazione della superficie di scorrimento ed  $S_0$  è lo spostamento di un blocco rigido su un piano orizzontale ricavabile dalle seguenti formulazioni:

metodo	spostamento
Newmark (1965)	$S_{0(max)} = \frac{v_{max}^2}{2a_c} \left( \frac{a_{max}}{a_c} \right)$
Whitman e Liao (1984)	$S_{0(av)} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} e^{-9.4 \frac{a_c}{a_{max}}}$
Jibson (1993)	$\log S_{0(av)} = 1.460 \log I_A - 6.642 \frac{a_c}{g} + 1.546$

Relazioni utilizzate per i calcoli eseguiti (da Linee Guida AGI (2005)<sup>35</sup>)

Dove  $v_{max}$  e  $a_{max}$  rappresentano la velocità e l'accelerazione massime del terremoto di progetto,  $I_A$  è l'intensità di Arias e  $a_c$  è l'accelerazione critica.

$$a_c = k_c * g$$

Il valore di  $k_c$  è stato calcolato sia col metodo proposto da Simonelli & Viggiani (1993)<sup>36</sup>  $K_c = \text{tg}(\varphi-\alpha)$  sia con quello proposto da Newmark (1965)  $K_c = (FS-1) * \text{sen}(\alpha)$ , sia con la formula  $K_c = (FS-1) * \tan\alpha / (1 + \tan\varphi * \tan\alpha)$ ,

Caso 1 – Assenza di falda

Risultati								per
Newmark (1965)	S0(max)	0.003	m	0.31	cm	S (cm)	0.32	Kc Simoncelli
	S0(max)	0.0030	m	0.30	cm	S (cm)	0.31	Kc Romeo
	S0(max)	0.0031	m	0.31	cm	S (cm)	0.32	Kc Newmark
Withman & Liao (1984)	S0(av)	0.000	m	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Simoncelli
	S0(av)	0.0000	m	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Romeo
	S0(av)	0.0000	m	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Newmark
Jibson (1993)	LOGS0(av)	-1.74	S0(av)	0.02	cm	S (cm)	0.02	Kc Simoncelli
	LOGS0(av)	-1.8460	S0(av)	0.01	cm	S (cm)	0.01	Kc Romeo
	LOGS0(av)	-1.9080	S0(av)	0.01	cm	S (cm)	0.01	Kc Romeo
Media spostamenti				<b>0.12</b>	<b>cm</b>		<b>0.12</b>	<b>cm</b>

<sup>34</sup> Newmark (1965): "Effects of earthquake on dams and embankments" The fifth Rankine Lecture of the British Geotechnical Society, Geotechnique, 15 (2), 139-160

<sup>35</sup> Associazione Geotecnica Italiana (2005): "Linee guida: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" Patron Editore

<sup>36</sup> Simonelli A.L., Viggiani C. (1993): "Spostamenti di pendii in condizioni sismiche" gruppo Nazionale di Coordinamento per gli studi di Ingegneria Geotecnica del CNR. 385-388. Ed. SGE Padova

Caso 2 – Falda ad 1 m dal p.c.

<b>Risultati</b>								per
Newmark (1965)	S0(max)	0.003	m	0.31	cm	S (cm)	0.32	Kc Simoncelli
	S0(max)	0.0063	m	0.63	cm	S (cm)	0.65	Kc Romeo
	S0(max)	0.0065	m	0.65	cm	S (cm)	0.67	Kc Newmark
Withman & Liao (1984)	S0(av)	0.000	m	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Simoncelli
	S0(av)	0.0017	m	0.17	cm	S (cm)	0.18	Kc Romeo
	S0(av)	0.0015	m	0.15	cm	S (cm)	0.15	Kc Newmark
Jibson (1993)	LOGS0(av)	-1.74	S0(av)	0.02	cm	S (cm)	0.02	Kc Simoncelli
	LOGS0(av)	-0.7759	S0(av)	0.17	cm	S (cm)	0.17	Kc Romeo
	LOGS0(av)	-0.8055	S0(av)	0.16	cm	S (cm)	0.16	Kc Romeo
<b>Media spostamenti</b>				<b>0.26</b>	<b>cm</b>		<b>0.27</b>	<b>cm</b>

Lo spostamento ammissibile dipende da molteplici fattori tra i quali la natura delle strutture presenti, in mancanza di indicazioni normative si fa riferimento, così come indicato nelle linee guida AGI ad alcune ricerche sintetizzate nella tabella seguente:

Tabella 8.1 - Relazione fra spostamenti osservati e danno strutturale (Legg & Slosson, 1984)

livello di danno	spostamento (cm)
irrelevante	< 0.5
modesto	0.5÷5
forte	5÷50
severo	50÷500
catastrofico	> 500

Tabella 8.2 - Spostamenti ammissibili di pendii naturali stabiliti dallo State of Alaska Geotechnical

Evaluation Criteria Committee (Idriss, 1985)		
livello di danno	spostamento (cm)	
V	irrelevante	< 3
IV	modesto	15
III	moderato	30
II	elevato	90
I	catastrofico	300

Il confronto tra i dati ottenuti e le tabelle precedenti evidenzia in entrambi i casi l'ammissibilità degli spostamenti del pendio esaminato (spostamento irrilevante) e la relativa fattibilità dell'intervento.

## 6 CONSIDERAZIONI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICO-SISMICA

Lo studio eseguito è stato articolato in due fasi principali in cui nella prima sono state analizzate le condizioni geologiche di fattibilità generale (es. fattibilità idrogeologica, idraulica, geomorfologica etc.) ed una seconda fase in cui sono state approfondite le verifiche sismiche e di geotecnica in zona sismica attraverso un'analisi di terzo livello sismico ricavando la Risposta Sismica Locale (RSL) e verificando la stabilità nei confronti della liquefazione, della stabilità del pendio e dei cedimenti post sismici. Di seguito una sintesi delle analisi eseguite.

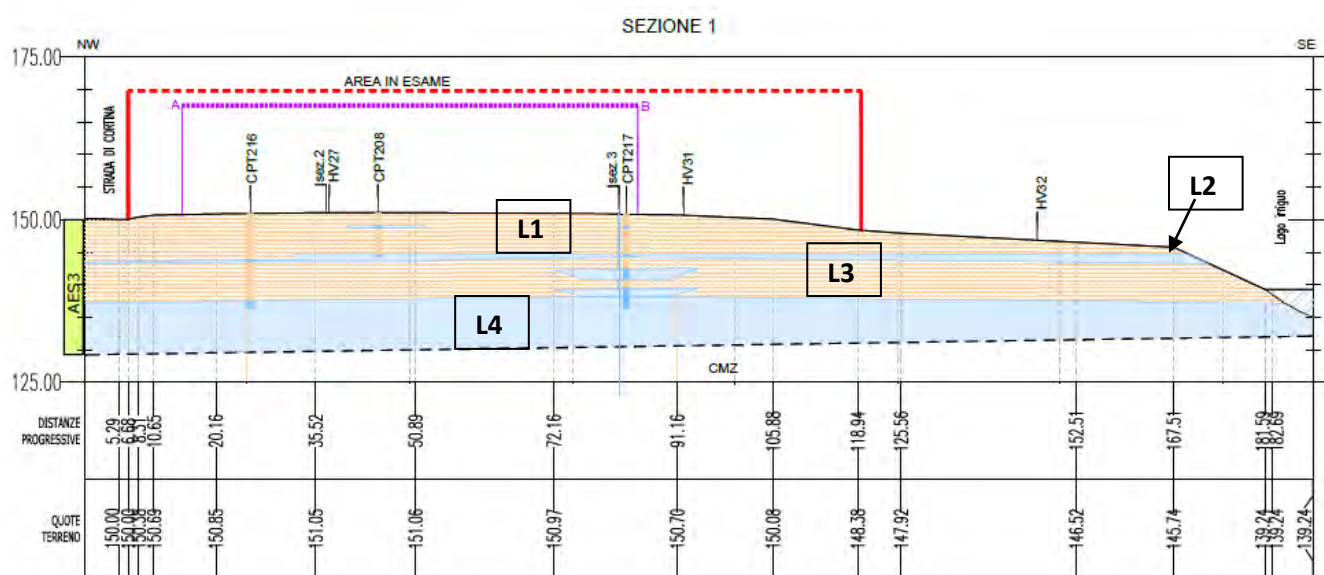
- ⇒ L'area è ubicata in una zona in cui è affiorante l'unità geologica AES3 (Subsistema di Agazzano) costituita da un'alternanza di ghiaie di colore grigio-nocciola, giallo-rossastro all'alterazione (depositi di conoide alluvionale) e da depositi fini dati da limi stratificati, grigio-nocciola, giallo-ocracei all'alterazione, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie (depositi di interconoide). I depositi intravallivi sono spesso terrazzati e incisi dai reticoli idrografici più recenti. L'AES3 localmente presenta uno spessore di circa 20 m ed è posto sopra i depositi marini del Sistema di Costamezzana (CMZ).
- ⇒ Non sono censiti dissesti in atto e/o quiescenti. L'area in esame risulta esterna alle fasce fluviali di PAI. Nel Piano di Gestione delle Alluvioni l'area è esterna agli scenari di rischio individuati. Dal punto di vista morfologico l'area è subpianeggiante e presenta pendenze inferiori a 5° nella porzione di monte e di circa 7-8° nella piccola scarpata di valle come si evince anche dalla sezione topografica e dalla carta dell'acclività riportata nella tavola 5, la pendenza media dell'area risulta pari a 1.23°; l'area è posta ad una distanza di circa 49 m dalla scarpata di erosione generata dal rio Cortina; l'area è sita ad una quota di circa 150 m s.l.m. Latitudine e longitudine (ED50) valgono rispettivamente 44.872957° e 9.924724°.
- ⇒ Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche non è stata reperita acqua nei fori di sondaggio. Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata dalla presenza del complesso acquifero A2 con piezometria media di circa 122 m s.l.m. e soggiacenza, misurata in pozzo irriguo posto a monte durante le fasi di stesura del PSC e del PAE comunale pari a circa -27 m dal p.c. Non si esclude comunque che in corrispondenza di periodi piovosi o eventi intensi la quota della falda possa risalire e soprattutto che le ghiaie superficiali diventino sede di acquiferi effimeri. L'area è esterna alle zone di rispetto dei pozzi ad uso acquedottistico. Nella carta della vulnerabilità allegata al quadro conoscitivo del P.S.C. del comune di Alseno, l'area in esame è indicata avente vulnerabilità Media (Am), derivata da vulnerabilità idrogeologica alta e da una capacità di attenuazione dei suoli moderata e limitatamente alla porzione nord orientale è posta in zona a vulnerabilità Media (Mm) derivata da vulnerabilità idrogeologica media e da una capacità di attenuazione dei suoli moderata. L'area ricade all'interno delle zone di ricarica degli acquiferi tipo B.
- ⇒ Per la caratterizzazione dei terreni dell'area in esame sono state eseguite n°2 prove penetrometriche statiche, n°1 stendimento sismico a rifrazione, n.1 prova tipo MASW, n 3 prove di rumore sismico (HVSr) ed inoltre sono state consultate ed elaborate le prove eseguite in sede di PSC/POC costituite da n. 1 prova penetrometrica e n. 1 HVSr. L'ubicazione delle prove eseguite e reperite è riportata nella presente relazione e nella tavola 1 allegata
- ⇒ Le indagini ed i rilievi eseguiti hanno permesso di ricostruire la successione litologica del sottosuolo che di seguito viene descritta ed è riportata nelle tavole 2, 3, 4 e 5 e 6 allegate alla presente relazione.
  - *livello L1*: limo, limo argilloso con intercalazioni (tra 2.0-2.20 m da p.c) di ghiaie in matrice argillosa ed "argille con ciottoli", consistente di colore giallo ocre ed in superficie suoli e paleosuoli ocre, talora rossicci, lisciviati. Lo spessore del livello è compreso tra 6.4-7.0 m da p.c. *Dati caratterizzanti: qc medio = 48 kg/cmq; Vs = 130-230 m/s; Vp = 400-600 m/s. Geologicamente appartiene all'unità AES3.*
  - *livello L2*: livello dello spessore di circa 40-60 cm posto a profondità variabili tra 6.4 e 7.0 m da p.c. costituito da ghiaie eterometriche e ghiaie con sabbie in matrice argillosa; peculiare è la continuità con

cui è stato rinvenuto nel sottosuolo, affiora anche lungo la scarpata del rio Cortina posta a sud. *Dati caratterizzanti:  $q_c > 100 \text{ Kg/cm}^2$ . Geologicamente appartiene all'unità AES3.*

- *livello L3: limo, limo argilloso ed argilla limosa da consistente a molto consistente, con presenza di orizzonti di ghiaie pluricentrici discontinui. Tale orizzonte è presente fino alla profondità di 11.4-13.4 m da p.c. Dati caratterizzanti:  $q_c$  medio  $45 \text{ Kg/cm}^2$ ;  $V_s = 300-330 \text{ m/s}$ ;  $V_p = 600-900 \text{ m/s}$ . Geologicamente appartiene all'unità AES3.*

- *livello L4: ghiaie eterometriche e ghiaie con sabbie in matrice sabbioso limosa addensate, localmente cementate. Dati caratterizzanti:  $q_c > 200 \text{ Kg/cm}^2$ ;  $V_s = 520-540 \text{ m/s}$ ;  $V_p = 900-1100 \text{ m/s}$ . Geologicamente appartiene all'unità AES3 (porzione basale di AES3; il contatto con CMZ è posto a circa -20 m dal pc individuabile dalle sismiche a rifrazione ma non visibile dai profili delle onde Vs che sono mascherati dall'elevata velocità delle onde di taglio delle ghiaie basali dell'AES3 – L4).*

Per meglio comprendere lo sviluppo delle unità sopra descritte sono state costruite alcune sezioni litologiche riportate nella tavola 6 allegata e di seguito si riporta estratto della sezione 1.



Di seguito i parametri geotecnici ricavati dalle prove eseguite.

Profondità m dal pc	Sigla/Unità geologica – livello titotecnico	Comportamento prevalente	Litologia	Parametri
0.00-6.4/7.0	AES3 - L1	Coesivo/Granulare $q_c$ medio = $48 \text{ kg/cm}^2$ ; $V_s = 130-230 \text{ m/s}$ ; $V_p = 400-600 \text{ m/s}$	Limo, limo argilloso	Parametri totali $\gamma_k = 18-19 \text{ KN/m}^3$ $Cu_k = 104-179 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0$ $Mk = 5.6-9.5 \text{ MPa}$ Parametri efficaci $\gamma_k = 18-19 \text{ KN/m}^3$ $c'_k = 0.0-5.0 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 26-29^\circ$
6.4/7.00-6.8/7.4	AES3 - L2	Granulare $q_c > 100 \text{ Kg/cm}^2$	Ghiaie eterometriche	Parametri efficaci $\gamma_k = 19-20 \text{ KN/m}^3$ $c'_k = 0.0-5.0 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 29-33^\circ$
6.8/7.4-11.4/13.4	AES3 - L3	Coesivo/Granulare $q_c$ medio $45 \text{ Kg/cm}^2$ ; $V_s = 300-330 \text{ m/s}$ ; $V_p = 600-900 \text{ m/s}$	Limo, limo argilloso	Parametri totali $\gamma_k = 17-19 \text{ KN/m}^3$ $Cu_k = 117-174 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0$ $Mk = 6.4-9.3 \text{ MPa}$ Parametri efficaci $\gamma_k = 18-19 \text{ KN/m}^3$ $c'_k = 0-5 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 22-26^\circ$
Prof. > 11.4/13.4 fino a –circa 20.0 m	AES3 - L4	Granulare $q_c > 200 \text{ Kg/cm}^2$ ; $V_s = 520-540 \text{ m/s}$ ; $V_p = 900-1100 \text{ m/s}$	Ghiaie eterometriche e ghiaie con sabbie.	Parametri efficaci $\gamma_k = 19-20 \text{ KN/m}^3$ $c'_k = 5.0-10 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 30-35^\circ$



Profondità m dal pc	Sigla/Unità geologica – livello titotecnico	Comportamento prevalente	Litologia	Parametri
>20.0 m	CMZ	Pseudo – roccioso $V_s > 500$ m/s; $V_p > 1100$ m/s	Alternanza di livelli ghiaioso sabbiosi e livelli argillitico - marnosi	$\gamma_k = 21$ KN/m <sup>3</sup> $Cu_k = 200$ k Pa $\Phi_u = 0$ Parametri efficaci $\gamma_k = 20-21$ KN/m <sup>3</sup> $c'_k = 10$ kPa $\Phi'_k = 35^\circ$

Dove:  $\gamma$  = peso di volume naturale;  $Cu$  = Resistenza al taglio in condizioni non drenate;  $M$  = Modulo Edometrico,  $\phi'$  = angolo di attrito efficace;  $c'$  = coesione efficace,  $E$  = Modulo di Young.

⇒ Il Comune di Alseno in base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 "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 sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, viene classificato in prima applicazione in zona 3. Nella carta PSC.9.2 "Carta di Microzonazione sismica" del PSC del Comune di Alseno l'area in esame ricade all'interno della zona 9, che si trova in un'area di Appennino e margine appenninico-padano con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s e per la quale sono previsti i seguenti fattori di amplificazione: F.A. P.G.A. pari a 2.2, F.A. INTENSITÀ SPETTRALE (0.1s <  $T_0$  < 0.5s) pari a 2.2 e F.A. INTENSITÀ SPETTRALE (0.5s <  $T_0$  < 1.0s) pari a 1.7. Nella Microzonazione sismica di II Livello ai sensi dell'OPCM 4007/2012 [certificato di conformità prot. PG.2015.0033658 della Regione Emilia Romagna] l'area in esame ricade nell'area 18 e limitatamente nell'area 20 con il substrato marino a profondità comprese tra 20-25m e 15-20 m rispettivamente e  $V_{sH} = 200$  m/s.

Zona 18 Stratigrafia tipo = 2009 [Fx] - F.A. P.G.A = 2.1 [Fy] - F.A. Intensità spettrale 0.1s<T<0.5s =2.4 [Fz] - F.A. Intensità spettrale 0.5s<T<1s =2.4	Zona di amplificazione stratigrafica. Ambito di APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s a profondità comprese tra 20-25 m dal p.c. Per la definizione di questa zona, si è fatto riferimento ad un valore di $V_{sH} \approx 200$ m/s [derivante dalla prova sismica 033002L11MASW11].
Zona 20 Stratigrafia tipo = 2009 [Fx] - F.A. P.G.A = 2.3 [Fy] - F.A. Intensità spettrale 0.1s<T<0.5s =2.6 [Fz] - F.A. Intensità spettrale 0.5s<T<1s =2.1	Zona di amplificazione stratigrafica. Ambito di APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s a profondità comprese tra 15-20 m dal p.c. Per la definizione di questa zona, si è fatto riferimento ad un valore di $V_{sH} \approx 200$ m/s [derivante dalla prova sismica 033002L11MASW11].

L'area è stata sottoposta ad un'analisi di terzo livello sismico e di seguito si riporta sintesi delle analisi e verifiche effettuate.

⇒ In primo luogo è stata valutata la possibilità che il pendio esistente possa provocare fenomeni di amplificazione topografica, pertanto per quello che riguarda gli effetti topografici sono stati considerati i possibili effetti di amplificazione dell'onda sismica sia sulla base di quanto indicato nell'allegato A2 della DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, sia sulla base di quanto indicato dagli ICMS 2008. Per meglio valutare le pendenze e le geometrie in gioco è stato eseguito un rilievo topografico dell'area con GPS. L'analisi eseguita ha permesso di evidenziare come il pendio di interesse abbia una pendenza complessiva di circa  $< 10^\circ$  ed un'altezza  $\ll 30$  m, pertanto il fattore di amplificazione topografica sia secondo la DAL 112/2007 sia secondo gli ICMS2008 è risultato pari a 1 [St=1].

⇒ In seconda fase sono stati definiti il modello geologico di sottosuolo di riferimento, la frequenza naturale dei terreni, la velocità delle onde simiche di taglio, le curve di decadimento del modulo di taglio ed in fine il moto di input. La definizione del moto di input è stata eseguita sulla base dei segnali di riferimento della Delibera A.L. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, disponibili sul sito [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) per il comune di Alseno. Tali segnali sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  stabilito per il comune di Alseno (**0.139g**, allegato A4 della DGR 112/2007). Si tratta di accelerogrammi reali il cui spettro di risposta è compatibile con lo spettro di risposta del moto atteso nel comune di Alseno con un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni) ottenuto moltiplicando lo spettro

di risposta normalizzato presente nell'allegato 4 per il valore di  $a_{refg}$  del comune. Le elaborazioni dei dati numerici sono riportate nel capitolo 5.

⇒ Come terza fase di lavoro è stata eseguita la simulazione verificando gli effetti di amplificazione dell'onda sismica. La modellazione quantitativa degli effetti di amplificazione specifici dell'area in esame è stata eseguita tramite l'ausilio dei software EERA<sup>37</sup> (Bardet et al., 2000), e Strata<sup>38</sup> (Kottke et al., 2010) validi per modellare situazioni piano-parallele ad uno o più strati (1D). Dall'analisi sono anche stati ottenuti i seguenti valori di PGA ed i relativi coefficienti di amplificazione in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) a livello del piano campagna.

<b>EERA</b>	<b>000046xa</b>	<b>000126xa</b>	<b>000354xa</b>	<b>Media</b>
PGA	0.2629	0.2771	0.2671	0.2690
FA <sub>(PGA)</sub>	1.89	1.99	1.92	1.94

<b>STRATA</b>	<b>000046xa</b>	<b>000126xa</b>	<b>000354xa</b>	<b>Media</b>
PGA	0.2839	0.2637	0.2891	0.2789
FA <sub>(PGA)</sub>	2.04	1.90	2.08	2.01

⇒ Come quarta fase di lavoro è stata eseguita la verifica alla liquefazione che ha evidenziato assenza di strati liquefacibili e potenziale di liquefazione nullo. Sono stati calcolati anche i cedimenti post sismici dei terreni coesivi che sono risultati pari a 0.

⇒ Come quinta fase sono state eseguite le verifiche per individuare la potenziale instabilità del versante. Nel caso in esame non essendo presenti livelli liquefacibili la procedura per la verifica allo spostamento laterale (lateral spreading) di cui al punto C1-Caso a dell'Allegato 3 della DAL 112/2007 non si applica in quanto non possono innescarsi spostamenti di tale tipo. Sono invece state eseguite le verifiche di stabilità del versante secondo quanto riportato al punto C2-Casob dell'allegato III alla DAL 112/2007. Per valutare la stabilità del pendio esaminato è stata adottata la seguente procedura:

- ✓ Fase 1: Ricostruzione geometrica e geotecnica del versante esaminato.
- ✓ Fase 2: Verifica di stabilità in condizioni statiche (pre - sisma) – Caso 1.
- ✓ Fase 3. Verifica di stabilità in condizioni pseudostatica del versante (durante il sisma) – Caso 2.
- ✓ Fase 4. Verifica di stabilità in condizioni statiche (post – sisma) – Caso 3.
- ✓ Fase 5. Verifica di stabilità dinamica con blocco rigido di Newmark (durante il sisma) – Caso 4.

Di seguito i risultati delle verifiche eseguite secondo il criterio dell'equilibrio limite.

	<b>Statica</b>	<b>Sismica pseudostatica Kh (EC8 – AGI 2005)</b>
<b>Caso 1</b> Pre sisma Condizioni drenate	<b>5.52</b> [internamente all'area] <b>1.244</b> [sulla scarpata del lago irriguo]	
<b>Caso 2</b> Durante il sisma Condizioni non drenate		<b>2.255</b> – pendio senza urbanizzazione <b>2.091</b> - pendio urbanizzato
<b>Caso 3</b> Post sisma Condizioni drenate	<b>3.129</b> [internamente all'area] <b>1.204</b> [sulla scarpata del lago irriguo]	

Le varie verifiche di stabilità deterministiche eseguite indicano un pendio in condizioni naturali e di urbanizzazione stabile sia in situazione pre-sisma (statica) che durante il sisma (pseudostatica) che post sisma (statica con condizioni di sovrappressione).

Al fine di valutare il comportamento del pendio in esame in condizioni dinamiche è stata anche eseguita un'analisi semplificata secondo il metodo del blocco rigido proposto da Newmark (1965)<sup>39</sup>, metodo che consente la valutazione degli effetti della storia delle accelerazioni. L'azione sismica viene definita da un accelerogramma e la risposta del pendio all'azione sismica è valutata in termini di spostamenti accumulati.

<sup>37</sup> J. P. Bardet, k. Ichii, and c. H. Lin "EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits

<sup>38</sup> Albert Kottke; Ellen M. Rathje (2010), "Strata," <http://nees.org/resources/692>.

<sup>39</sup> Newmark (1965): "Effects of earthquake on dams and embankments" The fifth Rankine Lecture of the British Geotechnical Society, Geotechnique, 15 (2), 139-160

Ogni volta che l'accelerazione alla base del deposito superficiale  $a(t)$  supera il valore di soglia  $a_c$  (accelerazione critica) il deposito si sposta lungo la superficie di scorrimento. Le verifiche sono state eseguite senza falda e con falda posta a -1.0 m dal pc. I risultati evidenziano spostamenti variabili da 0.12 a 0.26 cm. Lo spostamento ammissibile dipende da molteplici fattori tra i quali la natura delle strutture presenti, in mancanza di indicazioni normative si fa riferimento, così come indicato nelle linee guida AGI ad alcune ricerche sintetizzate nella tabella seguente:

Tabella 8.1 - Relazione fra spostamenti osservati e danno strutturale (Legg & Slosson, 1984)

livello di danno	spostamento (cm)
irrelevante	< 0.5
modesto	0.5÷5
forte	5÷50
severo	50÷500
catastrofico	> 500

Tabella 8.2 - Spostamenti ammissibili di pendii naturali stabiliti dallo State of Alaska Geotechnical

Evaluation Criteria Committee (Idriss, 1985)		
livello di danno		spostamento (cm)
V	irrelevante	< 3
IV	modesto	15
III	moderato	30
II	elevato	90
I	catastrofico	300

Il confronto tra i dati ottenuti e le tabelle precedenti evidenzia in entrambi i casi l'ammissibilità degli spostamenti del pendio esaminato (spostamento irrilevante) e la conseguente fattibilità dell'intervento.

Sulla base delle indagini e degli studi eseguiti si ritiene la **previsione urbanistica geologicamente e simicamente compatibile** con le seguenti prescrizioni.

- ✓ L'ambito ricade all'interno delle zone di ricarica degli acquiferi tipo B ed è pertanto assoggettato alle condizioni previste dall'art.35 comma 5 delle norme del PTCP e dell'art.31 comma 5 delle norme del PSC; si dovrà limitare lo sviluppo di aree impermeabili predisponendo specifiche misure compensative degli interventi urbanistico-edilizi finalizzate a garantire la parità del bilancio idrico ed inoltre è obbligatorio collettare tutti i reflui prodotti alla pubblica fognatura.
- ✓ lo studio di risposta sismica locale eseguito ha evidenziato come i fattori di amplificazione individuati risultano leggermente inferiori alle stime eseguite con gli abachi regionali per quello che riguarda i valori di  $F_a$  di PGA e sarà comunque necessario eseguire le verifiche ingegneristiche considerando i risultati dell'analisi sismica di III livello.
- ✓ Nel caso in cui si rendessero necessari sbancamenti e/o significativi movimenti terra (es. scavi maggiori di 2.0 m) sarà necessario eseguire verifiche tecniche e geotecniche sulla stabilità degli scavi e sulla presenza di acque anche se effimere.
- ✓ Si raccomanda l'esecuzione di un sistema di drenaggio superficiale idoneo (es. perimetrale all'area in esame) in grado di evitare ristagni di acqua e ruscellamenti locali.

Dott. Geol. Giancarlo Bonini

**ALLEGATO 1**  
**INDAGINI SISMICHE PASSIVE ANNO 2013**



**Premessa**

La prova H/V valuta sperimentalmente i rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno.

Le vibrazioni ambientali sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze  $10^{-4}$  –  $10^{-2}$  mm dovute a diverse sorgenti quali ad esempio onde marine e perturbazioni atmosferiche (campo d'onda a frequenze inferiori a 0.5Hz), vento, traffico veicolare e attività industriali (campo d'onda a frequenze superiori a 0.5Hz).

La struttura del campo d'onde presente sul terreno (microtremore) è pertanto condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti ma anche dalle proprietà dei terreni attraversati, infatti in presenza di campo d'onde diffuso (sorgenti distribuite in modo statisticamente omogeneo) la struttura media del segnale risulterà statisticamente indipendente dalla natura e posizione delle sorgenti, ma rifletterà la struttura del sottosuolo. La struttura del segnale registrato in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si può identificare in maniera passiva la frequenza di risonanza del sottosuolo, che risulta in relazione diretta con l'amplificazione sismica.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore principale che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

**Strumentazione**

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo ad una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano normalmente circa 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo SR04-GEOBOX sensore 2.0Hz con una frequenza di campionamento di 300Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Geopsy, impostando la lunghezza delle finestre a 20s e lisciamiento con finestra triangolare di ampiezza 5%.

**Ubicazione delle prove**

Le aree in esame sono ubicate in comune di Alseno (PC).

Le prove sono state eseguite il 29 novembre 2013 ed il 2 dicembre 2013.

L'ubicazione delle prove è riportata nelle figure seguenti.

**HV27 – CORTINA**

**HV27**

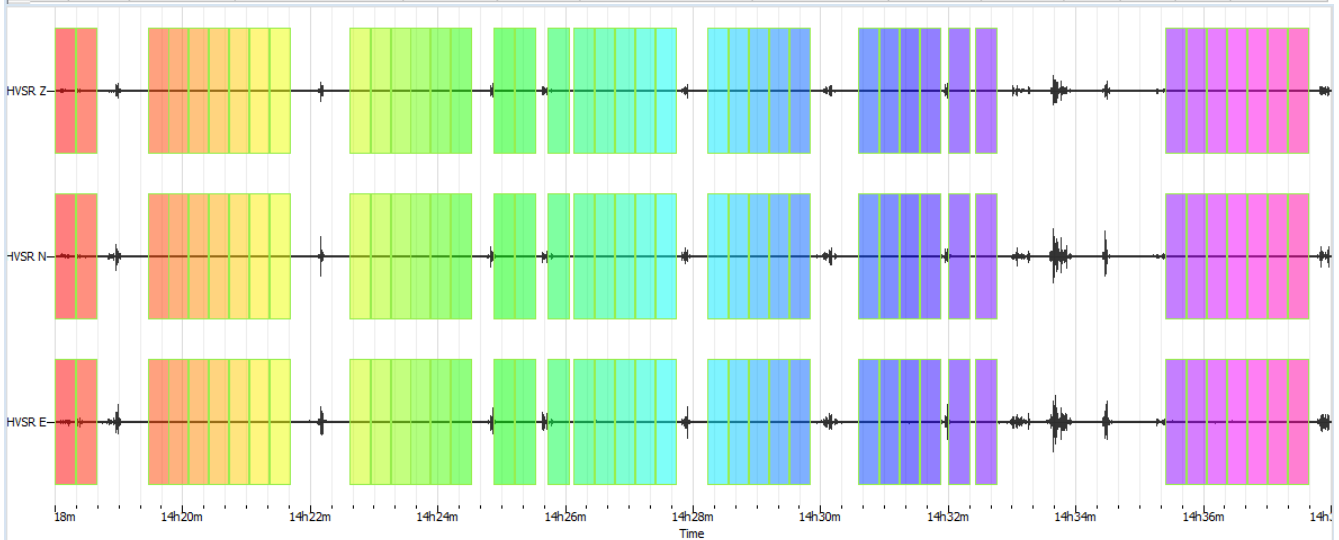
**DATASET**

Date: 29/11/2013  
 Time: 14:18  
 Dataset: MT\_20131129\_141807.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 300  
 Window length (sec): 20  
 Length of analysed temporal sequence (min): 20.0

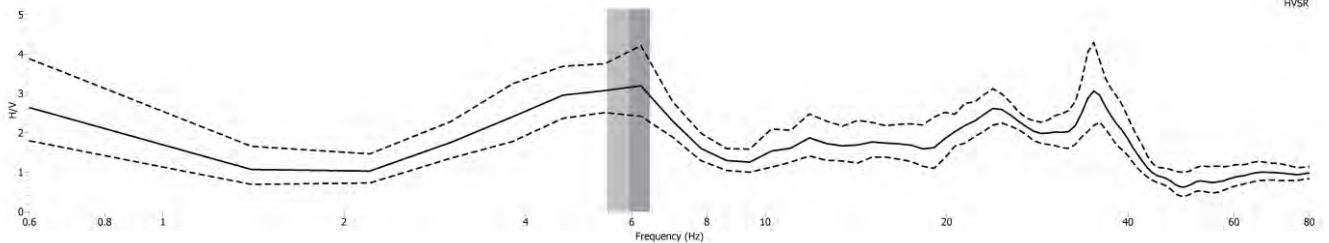
Anti triggering sul segnale naturale: STA=1, LTA=30s; min STA/LTA=0.20; max STA/LTA=2.50  
 Filtri = -  
 Funzione di liscio: Proporzionale  
 Costante di liscio: 5%

**TIME HISTORY**

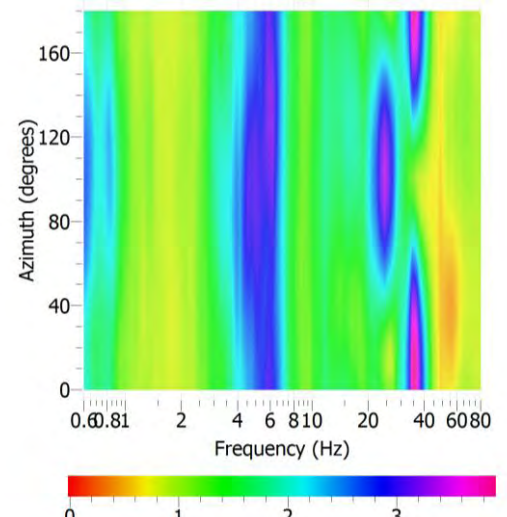
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	1	HVSR	Vertical	29/11/2013 00:00:00	14h18m	14h38m	300	0.003333333333	360000	20m	0	0	0	Waveform
2	2	HVSR	North	29/11/2013 00:00:00	14h18m	14h38m	300	0.003333333333	360000	20m	0	0	0	Waveform
3	3	HVSR	East	29/11/2013 00:00:00	14h18m	14h38m	300	0.003333333333	360000	20m	0	0	0	Waveform



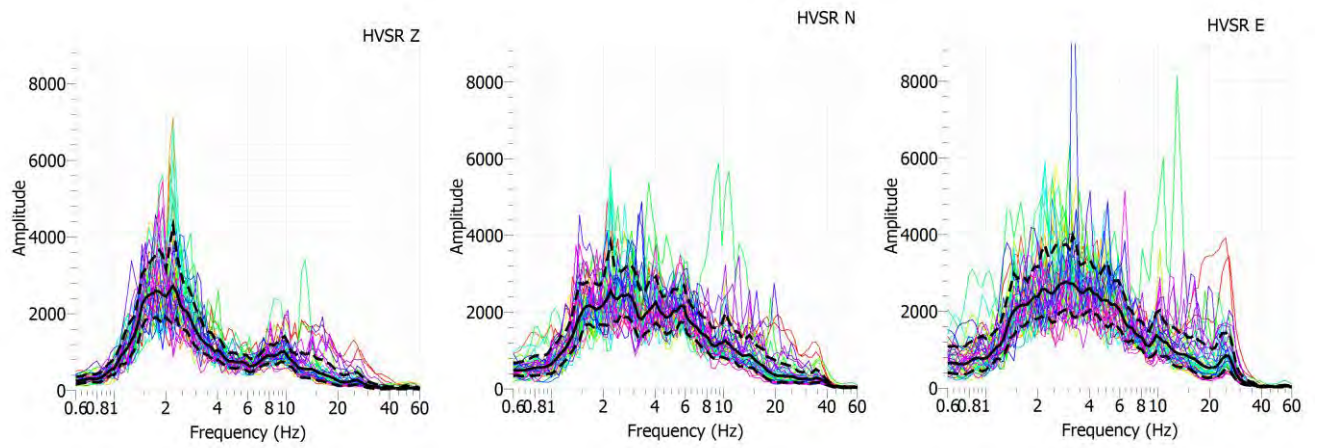
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



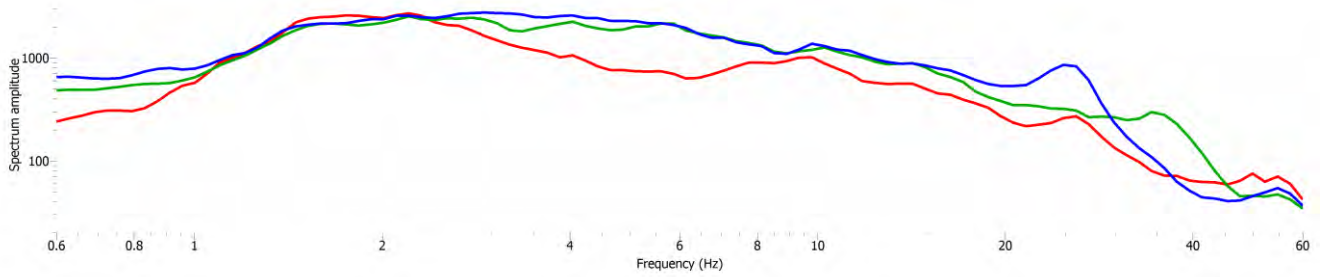
**H/V ROTATE**



**SINGLE COMPONENT SPECTRA**



**SPECTRUM SUMMARY**





**ALLEGATO 2**  
**INDAGINI SISMICHE PASSIVE ANNO 2015**



HV01



HV02



**Premessa**

La prova H/V valuta sperimentalmente i rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno.

Le vibrazioni ambientali sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze  $10^{-4} - 10^{-2}$  mm dovute a diverse sorgenti quali ad esempio onde marine e perturbazioni atmosferiche (campo d'onda a frequenze inferiori a 0.5Hz), vento, traffico veicolare e attività industriali (campo d'onda a frequenze superiori a 0.5Hz).

La struttura del campo d'onde presente sul terreno (microtremore) è pertanto condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti ma anche dalle proprietà dei terreni attraversati, infatti in presenza di campo d'onde diffuso (sorgenti distribuite in modo statisticamente omogeneo) la struttura media del segnale risulterà statisticamente indipendente dalla natura e posizione delle sorgenti, ma rifletterà la struttura del sottosuolo. La struttura del segnale registrato in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si può identificare in maniera passiva la frequenza di risonanza del sottosuolo, che risulta in relazione diretta con l'amplificazione sismica.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore principale che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

**Strumentazione**

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo ad una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano normalmente 10-20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz. Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo Micromed Tromino Zero 3G con una frequenza di campionamento di 128Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Grilla della Micromed, impostando la



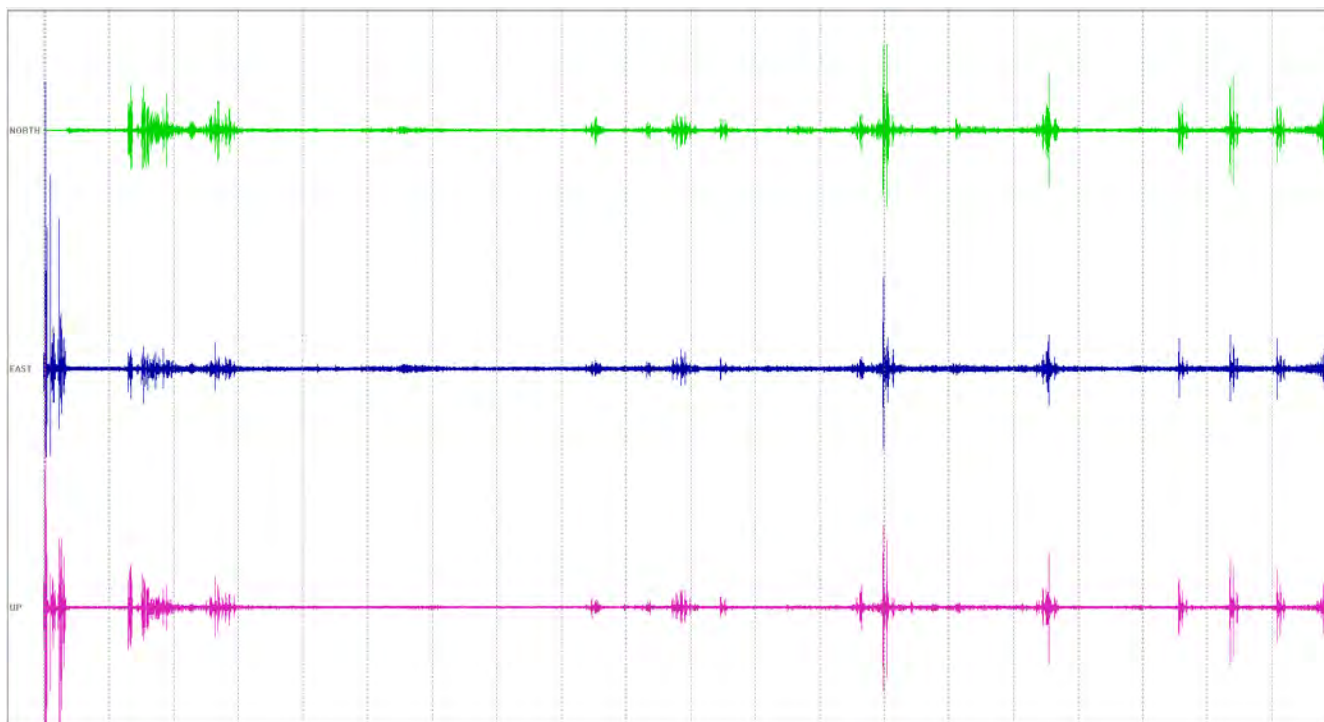
lunghezza delle finestre a 20s e lisciamiento con finestra rettangolare di ampiezza 10%.

**ALSENO (PC), CORTINA HV31**

Strumento: TZ3-0013/01-13  
 Formato dati: 32 byte  
 Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 28/09/15 08:32:37  
 Fine registrazione: 28/09/15 08:52:37  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Orientamento: nord verso base scarpata

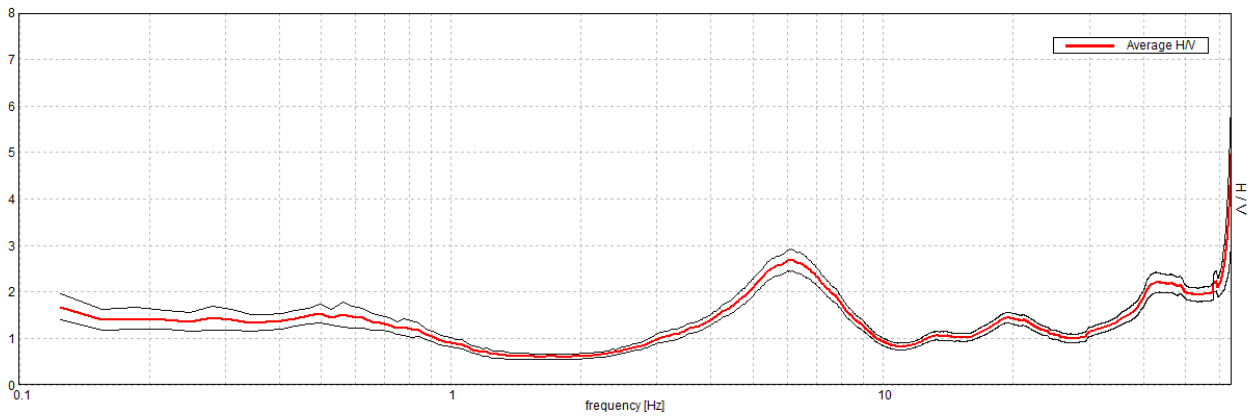
Durata registrazione: 0h20'00".  
 Analisi effettuata sull'intera traccia.  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Rectangular window  
 Lisciamento: 10%

CONDIZIONI METEO		VENTO		<input checked="" type="checkbox"/> NESSUNO	<input type="checkbox"/> DEBOLE (5m/s)	<input type="checkbox"/> MEDIO	<input type="checkbox"/> FORTE
		PIOGGIA		<input checked="" type="checkbox"/> NESSUNA	<input type="checkbox"/> DEBOLE	<input type="checkbox"/> MEDIA	<input type="checkbox"/> FORTE
		TEMPERATURA		15°		NOTE: nuvoloso	
TIPO DI SUOLO		<input checked="" type="checkbox"/> TERRA	<input type="checkbox"/> SOFFICE	<input type="checkbox"/> GHIAIA	<input type="checkbox"/> SABBIA	<input type="checkbox"/> ROCCIA	<input checked="" type="checkbox"/> ERBA
		<input checked="" type="checkbox"/> DURA	<input type="checkbox"/> CEMENTO				<input type="checkbox"/> PAVIMENTAZIONE
		<input type="checkbox"/> ASFALTO	<input type="checkbox"/> SUOLO ASCIUTTO	<input type="checkbox"/> SUOLO BAGNATO	NOTE: vicino all'asfalto		
ACCOPIAMENTO SUOLO/SENSORE ARTIFICIALE				<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI, TIPO		
DENSITA' DEGLI EDIFICI				<input type="checkbox"/> NESSUNA	<input checked="" type="checkbox"/> CASE SPARSE	<input type="checkbox"/> DENSE	<input type="checkbox"/> ALTRO
TRANSIENTI	NESSUNO	POCHI	MEDI	DIVERSI	MOLTI	DISTANZA	SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICHE (industrie, lavori, fiumi, ecc)
AUTO				x			<input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
CAMION							STRUTTURE ADIACENTI (piante, edifici, ponti, strutture sotterranee, ecc)
PEDONI							
ALTRO							

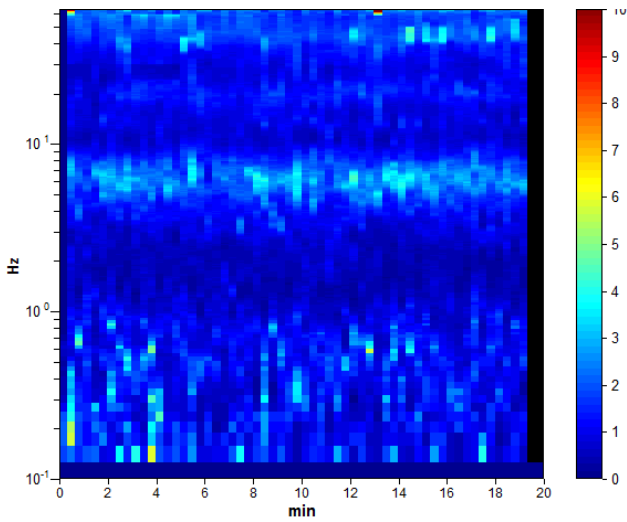


### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

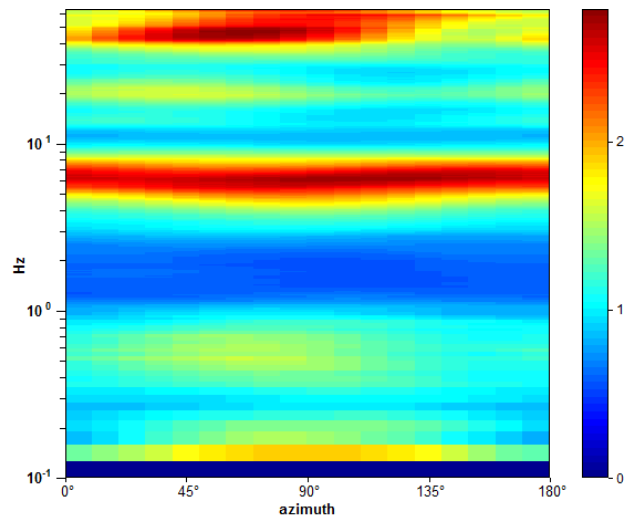
Max. H/V at 6.16 ± 2.21 Hz. (In the range 0.0 - 50.0 Hz).



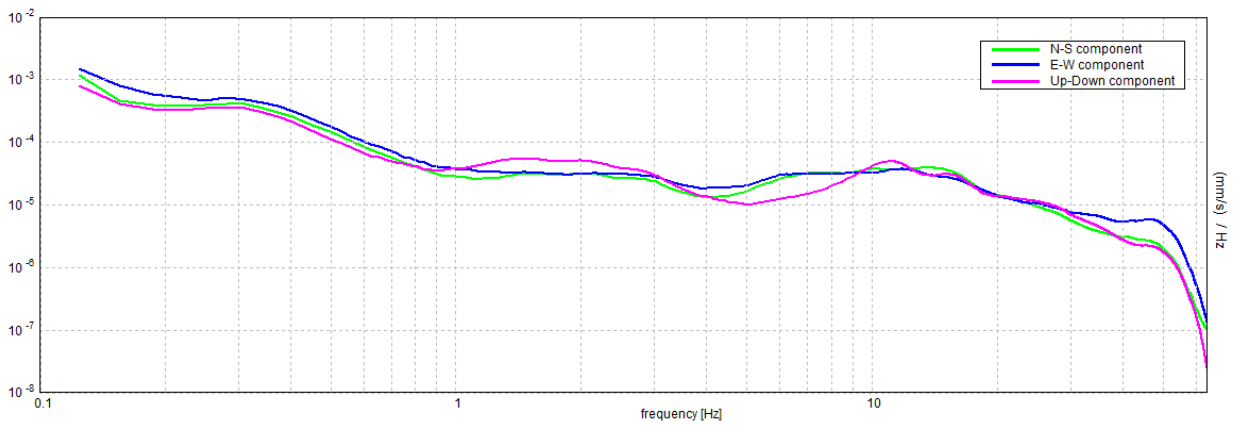
### SERIE TEMPORALE H/V



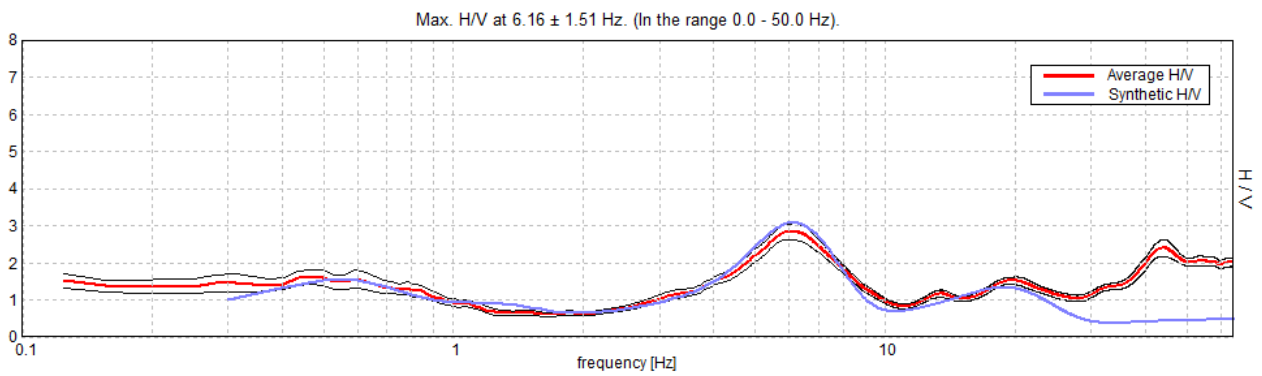
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

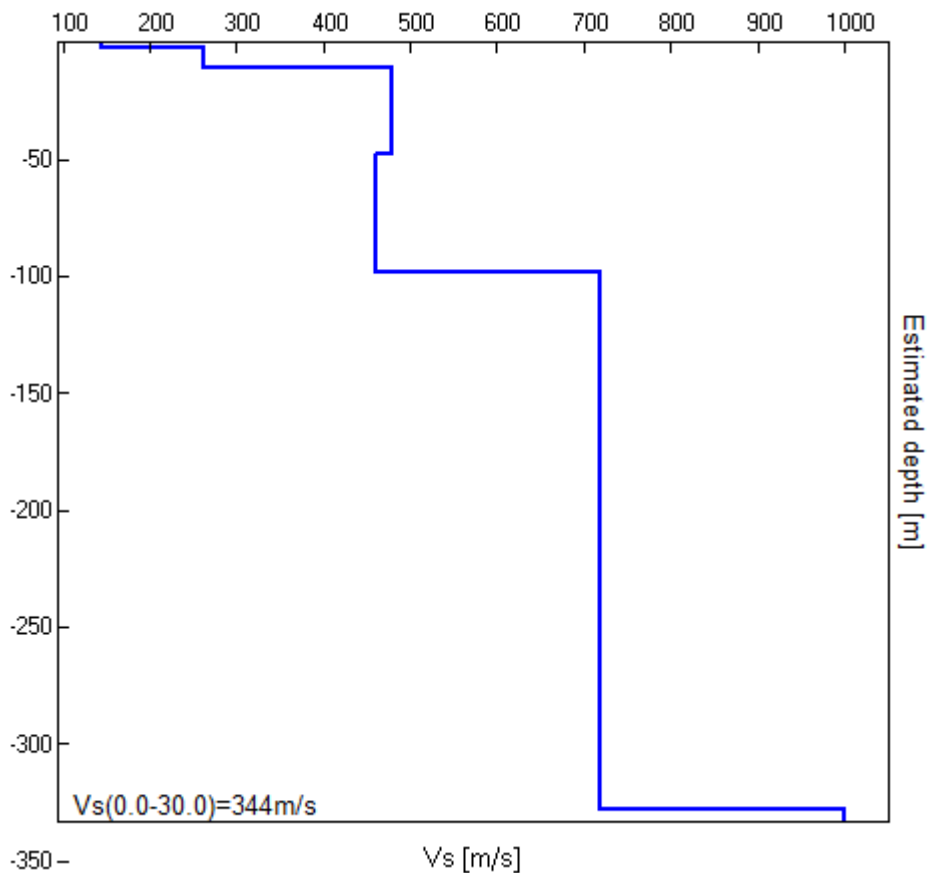


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.90	1.90	145	0.40
10.90	9.00	262	0.40
47.90	37.00	480	0.40
97.90	50.00	460	0.40
327.90	230.00	720	0.42
inf.	inf.	1000	0.42

Vs(0.0-30.0)=344m/s





**Picco H/V a  $0.63 \pm 0.13$  Hz (nell'intervallo 0.5 - 1.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.40$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$750.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 31	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.156 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.42 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20425  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12766 < 0.09375$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2139 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

**Picco H/V a  $6.16 \pm 2.21$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$7387.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 296	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.875 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.813 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.69 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.35827  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.20562 < 0.30781$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2345 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

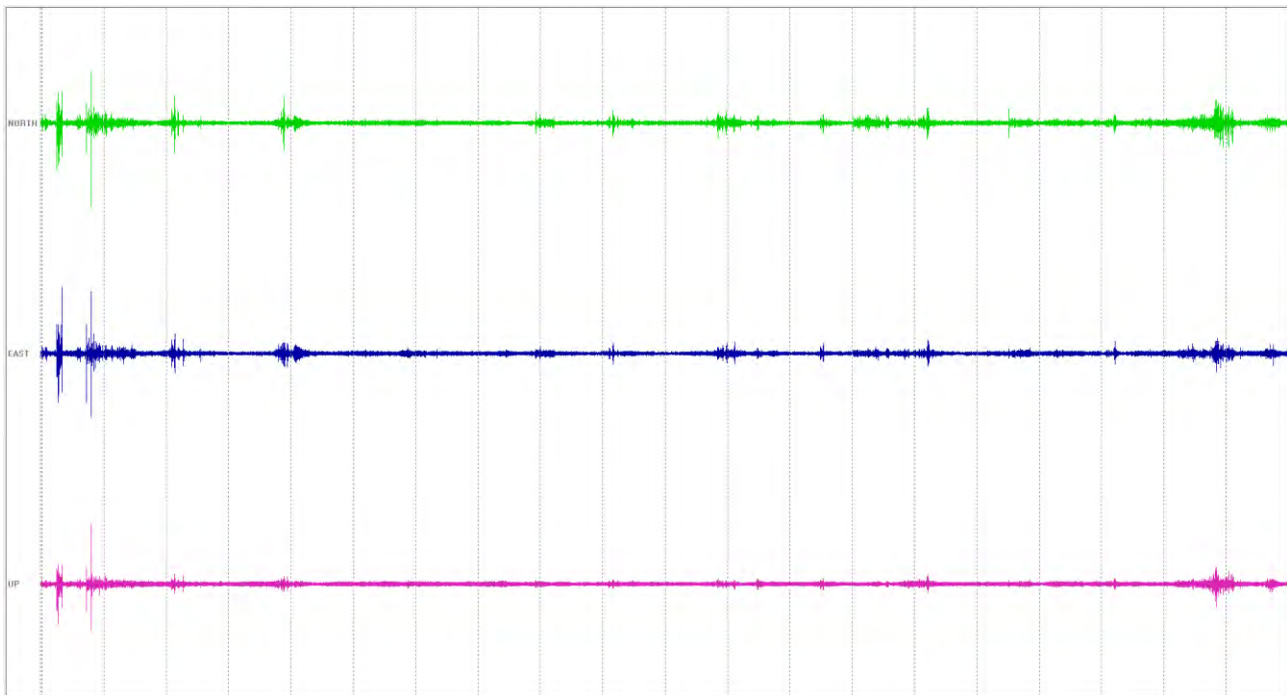
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**ALSENO (PC), CORTINA HV32**

Strumento: TZ3-0013/01-13  
 Formato dati: 32 byte  
 Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 28/09/15 08:57:29  
 Fine registrazione: 28/09/15 09:17:29  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Orientamento: nord verso base scarpata

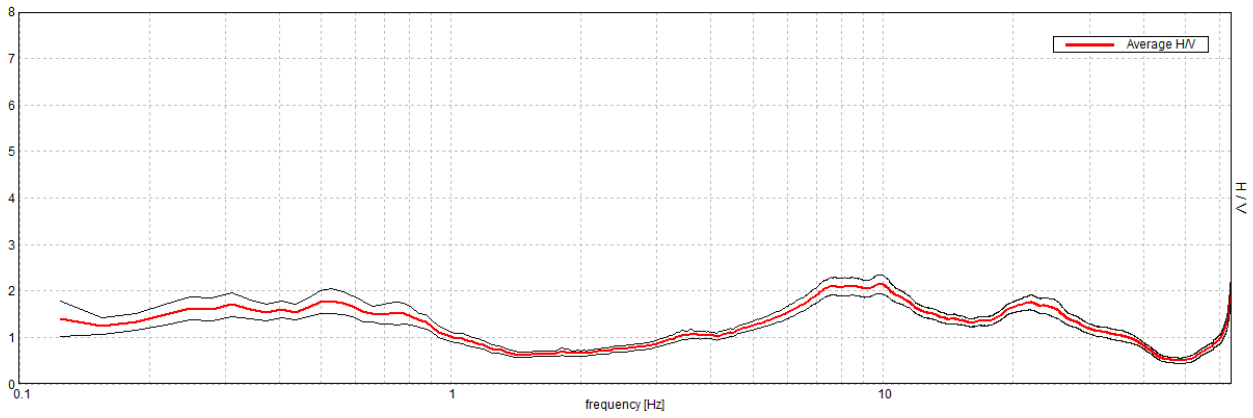
Durata registrazione: 0h20'00".  
 Analisi effettuata sull'intera traccia.  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Rectangular window  
 Lisciamento: 10%

CONDIZIONI METEO	VENTO	<input checked="" type="checkbox"/> NESSUNO	<input type="checkbox"/> DEBOLE (5m/s)	<input type="checkbox"/> MEDIO	<input type="checkbox"/> FORTE		
	PIOGGIA	<input checked="" type="checkbox"/> NESSUNA	<input type="checkbox"/> DEBOLE	<input type="checkbox"/> MEDIA	<input type="checkbox"/> FORTE		
	TEMPERATURA	15°		NOTE: nuvoloso			
TIPO DI SUOLO	<input checked="" type="checkbox"/> TERRA	<input type="checkbox"/> SOFFICE <input checked="" type="checkbox"/> DURA	<input type="checkbox"/> GHIAIA	<input type="checkbox"/> SABBIA	<input type="checkbox"/> ROCCIA	<input checked="" type="checkbox"/> ERBA	<input checked="" type="checkbox"/> CORTA <input type="checkbox"/> LUNGA
	<input type="checkbox"/> ASFALTO	<input type="checkbox"/> CEMENTO	<input type="checkbox"/> PAVIMENTAZIONE	<input type="checkbox"/> ALTRO:			
	<input checked="" type="checkbox"/> SUOLO ASCIUTTO	<input type="checkbox"/> SUOLO BAGNATO	NOTE: vicino all'asfalto				
	ACCOPPIAMENTO SUOLO/SENSORE ARTIFICIALE		<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI, TIPO			
DENSITA' DEGLI EDIFICI			<input type="checkbox"/> NESSUNA	<input checked="" type="checkbox"/> CASE SPARSE	<input type="checkbox"/> DENSE	<input type="checkbox"/> ALTRO	
TRANSIENTI	NESSUNO	POCHI	MEDI	DIVERSI	MOLTI	DISTANZA	SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICHE (industrie, lavori, fiumi, ecc)
AUTO				x			<input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
CAMION							STRUTTURE ADIACENTI (piante, edifici, ponti, strutture sotterranee, ecc)
PEDONI							
ALTRO							

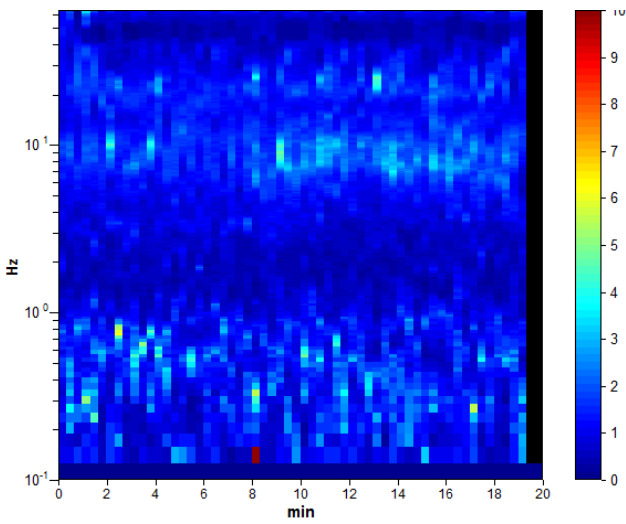


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

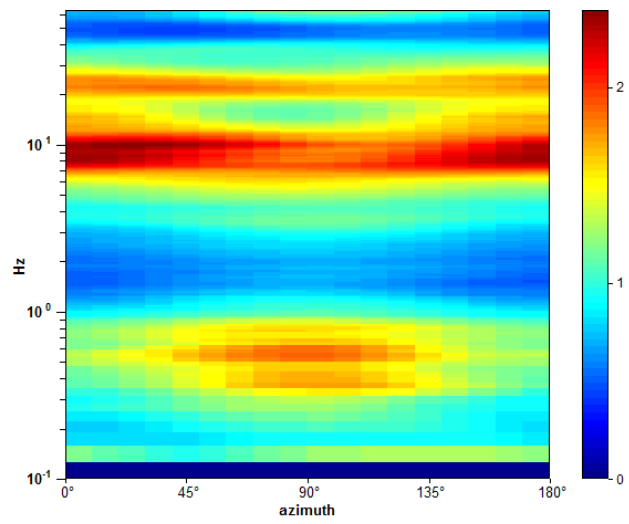
Max. H/V at  $9.91 \pm 5.84$  Hz. (In the range 0.0 - 50.0 Hz).



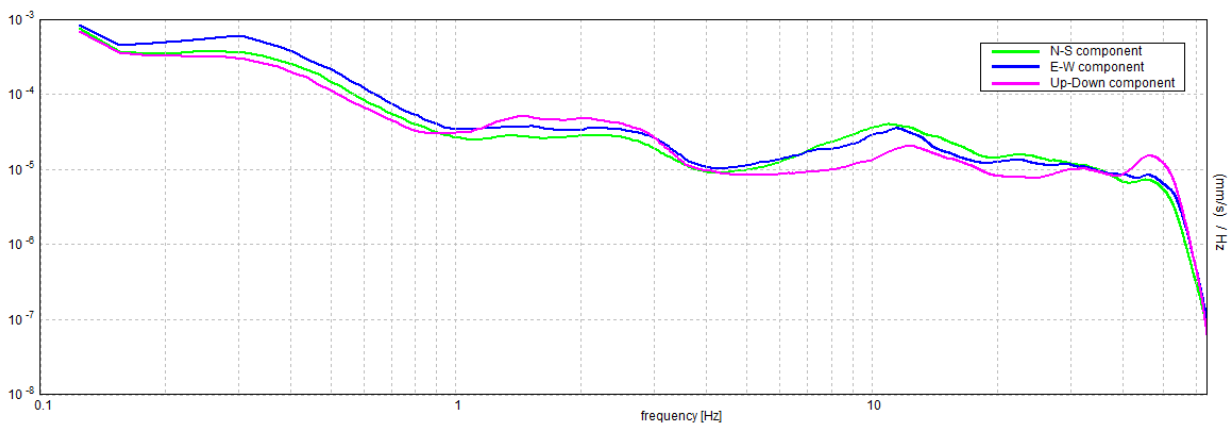
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

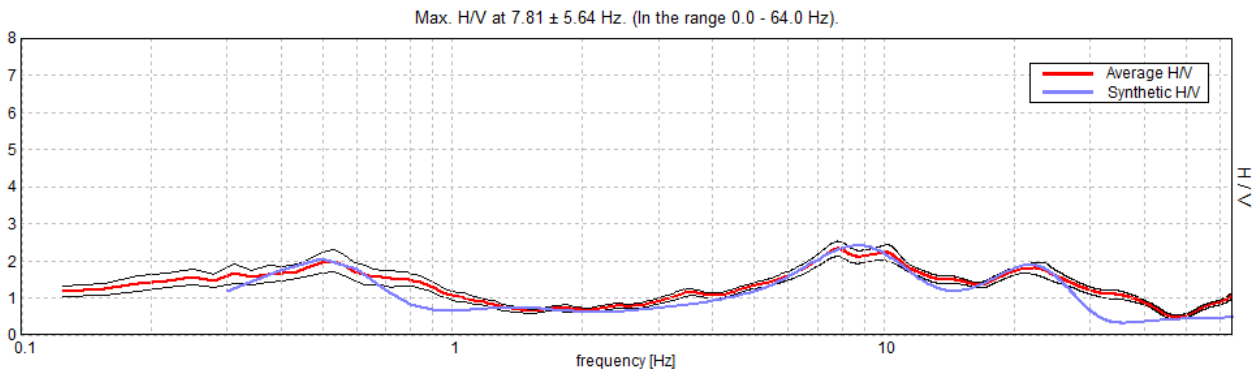


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



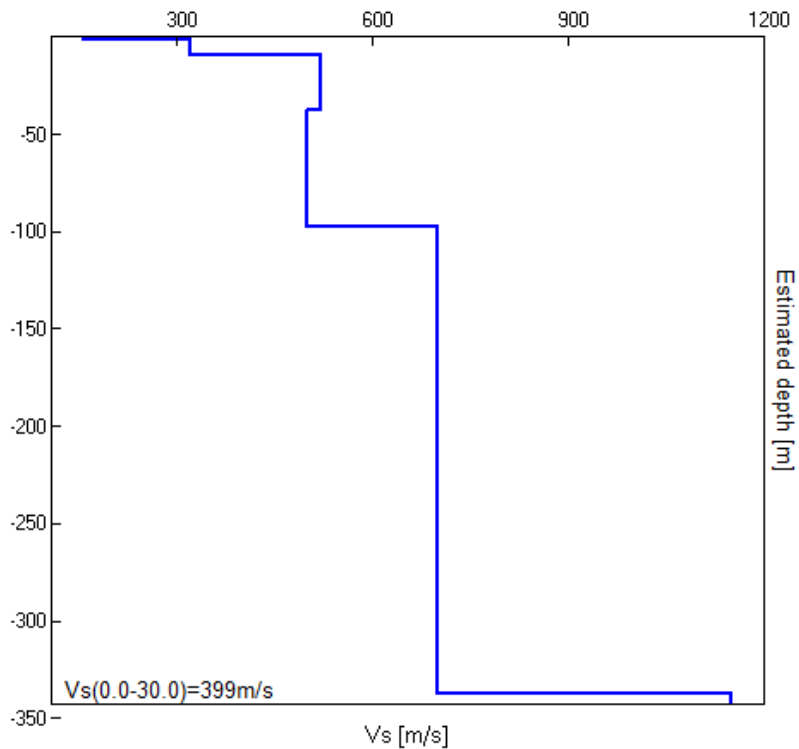


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.90	1.90	157	0.40
9.40	7.50	320	0.40
37.40	28.00	520	0.42
97.40	60.00	500	0.42
337.40	240.00	700	0.42
inf.	inf.	1150	0.42

Vs(0.0-30.0)=399m/s



**Picco H/V a  $0.5 \pm 0.1$  Hz (nell'intervallo 0.4 - 1.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.50 > 0.40$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$525.0 > 200$	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 25	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.82 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.19118  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09559 < 0.075$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2681 < 2.0$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

**Picco H/V a  $9.91 \pm 5.84$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$9.91 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$11887.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 476	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.313 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	33.719 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.15 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.58983  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.84302 < 0.49531$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2058 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

**ALLEGATO 3**  
**PROVE PENETROMETRICHE**

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.010496-053

- committente : GEODE scrI  
- lavoro :  
- località : Cortina di Alseno (PC)  
- note :

- data : 11/09/2015  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	---	---	--	----	---	7,60	41,0	127,0	41,0	3,07	13,0
0,40	---	---	--	1,33	---	7,80	49,0	95,0	49,0	2,53	19,0
0,60	85,0	105,0	85,0	2,93	29,0	<b>8,00</b>	41,0	79,0	41,0	2,00	20,0
0,80	79,0	123,0	79,0	0,80	99,0	8,20	35,0	65,0	35,0	1,00	35,0
<b>1,00</b>	89,0	101,0	89,0	1,47	61,0	8,40	55,0	70,0	55,0	1,53	36,0
1,20	78,0	100,0	78,0	2,20	35,0	8,60	36,0	59,0	36,0	2,27	16,0
1,40	54,0	87,0	54,0	2,53	21,0	8,80	43,0	77,0	43,0	1,73	25,0
1,60	48,0	86,0	48,0	1,60	30,0	<b>9,00</b>	36,0	62,0	36,0	1,00	36,0
1,80	54,0	78,0	54,0	2,93	18,0	9,20	33,0	48,0	33,0	1,00	33,0
<b>2,00</b>	52,0	96,0	52,0	2,87	18,0	9,40	33,0	48,0	33,0	1,33	25,0
2,20	43,0	86,0	43,0	3,80	11,0	9,60	34,0	54,0	34,0	1,40	24,0
2,40	33,0	90,0	33,0	2,73	12,0	9,80	33,0	54,0	33,0	1,80	18,0
2,60	29,0	70,0	29,0	2,20	13,0	<b>10,00</b>	35,0	62,0	35,0	1,93	18,0
2,80	25,0	58,0	25,0	2,47	10,0	10,20	47,0	76,0	47,0	3,27	14,0
<b>3,00</b>	23,0	60,0	23,0	2,67	9,0	10,40	67,0	116,0	67,0	3,93	17,0
3,20	23,0	63,0	23,0	2,60	9,0	10,60	68,0	127,0	68,0	3,00	23,0
3,40	28,0	67,0	28,0	2,33	12,0	10,80	78,0	123,0	78,0	2,60	30,0
3,60	29,0	64,0	29,0	2,60	11,0	<b>11,00</b>	68,0	107,0	68,0	0,93	73,0
3,80	34,0	73,0	34,0	2,80	12,0	11,20	30,0	44,0	30,0	1,27	24,0
<b>4,00</b>	34,0	76,0	34,0	2,80	12,0	11,40	18,0	37,0	18,0	0,80	22,0
4,20	36,0	78,0	36,0	2,73	13,0	11,60	40,0	52,0	40,0	1,53	26,0
4,40	41,0	82,0	41,0	2,73	15,0	11,80	28,0	51,0	28,0	1,67	17,0
4,60	42,0	83,0	42,0	2,87	15,0	<b>12,00</b>	23,0	48,0	23,0	1,40	16,0
4,80	42,0	85,0	42,0	2,80	15,0	12,20	26,0	47,0	26,0	0,67	39,0
<b>5,00</b>	42,0	84,0	42,0	3,40	12,0	12,40	28,0	38,0	28,0	0,93	30,0
5,20	48,0	99,0	48,0	3,20	15,0	12,60	29,0	43,0	29,0	1,13	26,0
5,40	62,0	110,0	62,0	3,80	16,0	12,80	36,0	53,0	36,0	1,73	21,0
5,60	54,0	111,0	54,0	3,40	16,0	<b>13,00</b>	44,0	70,0	44,0	1,73	25,0
5,80	57,0	108,0	57,0	2,87	20,0	13,20	53,0	79,0	53,0	2,07	26,0
<b>6,00</b>	57,0	100,0	57,0	3,00	19,0	13,40	69,0	100,0	69,0	4,00	17,0
6,20	54,0	99,0	54,0	3,73	14,0	13,60	232,0	292,0	232,0	5,93	39,0
6,40	65,0	121,0	65,0	3,60	18,0	13,80	218,0	307,0	218,0	2,33	93,0
6,60	78,0	132,0	78,0	3,87	20,0	<b>14,00</b>	260,0	295,0	260,0	1,67	156,0
6,80	53,0	111,0	53,0	6,40	8,0	14,20	225,0	250,0	225,0	2,00	112,0
<b>7,00</b>	73,0	169,0	73,0	0,67	109,0	14,40	270,0	300,0	270,0	3,33	81,0
7,20	163,0	173,0	163,0	0,87	188,0	14,60	300,0	350,0	300,0	----	----
7,40	194,0	207,0	194,0	5,73	34,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)



**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 2**

2.010496-053

- committente : GEODE scrI  
- lavoro :  
- località : Cortina di Alseno (PC)  
- note :

- data : 11/09/2015  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	---	---	--	----	----	7,40	37,0	87,0	37,0	2,40	15,0
0,40	---	---	--	1,13	----	7,60	45,0	81,0	45,0	2,53	18,0
0,60	116,0	133,0	116,0	1,07	109,0	7,80	44,0	82,0	44,0	2,40	18,0
0,80	117,0	133,0	117,0	1,87	63,0	<b>8,00</b>	52,0	88,0	52,0	2,60	20,0
<b>1,00</b>	100,0	128,0	100,0	2,67	37,0	8,20	66,0	105,0	66,0	1,93	34,0
1,20	104,0	144,0	104,0	3,93	26,0	8,40	78,0	107,0	78,0	1,13	69,0
1,40	67,0	126,0	67,0	2,73	25,0	8,60	135,0	152,0	135,0	1,73	78,0
1,60	68,0	109,0	68,0	2,07	33,0	8,80	126,0	152,0	126,0	4,00	32,0
1,80	82,0	113,0	82,0	1,80	46,0	<b>9,00</b>	87,0	147,0	87,0	0,80	109,0
<b>2,00</b>	136,0	163,0	136,0	1,80	76,0	9,20	148,0	160,0	148,0	0,53	277,0
2,20	134,0	161,0	134,0	4,47	30,0	9,40	132,0	140,0	132,0	1,13	116,0
2,40	82,0	149,0	82,0	4,93	17,0	9,60	135,0	152,0	135,0	1,60	84,0
2,60	52,0	126,0	52,0	3,87	13,0	9,80	83,0	107,0	83,0	3,27	25,0
2,80	28,0	86,0	28,0	2,00	14,0	<b>10,00</b>	85,0	134,0	85,0	1,27	67,0
<b>3,00</b>	24,0	54,0	24,0	1,40	17,0	10,20	44,0	63,0	44,0	1,93	23,0
3,20	24,0	45,0	24,0	1,80	13,0	10,40	52,0	81,0	52,0	2,27	23,0
3,40	23,0	50,0	23,0	1,73	13,0	10,60	47,0	81,0	47,0	1,80	26,0
3,60	26,0	52,0	26,0	2,27	11,0	10,80	63,0	90,0	63,0	3,00	21,0
3,80	25,0	59,0	25,0	2,20	11,0	<b>11,00</b>	80,0	125,0	80,0	1,67	48,0
<b>4,00</b>	30,0	63,0	30,0	3,13	10,0	11,20	27,0	52,0	27,0	2,07	13,0
4,20	38,0	85,0	38,0	3,53	11,0	11,40	44,0	75,0	44,0	3,00	15,0
4,40	49,0	102,0	49,0	4,00	12,0	11,60	136,0	181,0	136,0	5,07	27,0
4,60	53,0	113,0	53,0	4,27	12,0	11,80	84,0	160,0	84,0	2,80	30,0
4,80	53,0	117,0	53,0	4,40	12,0	<b>12,00</b>	48,0	90,0	48,0	2,00	24,0
<b>5,00</b>	42,0	108,0	42,0	4,27	10,0	12,20	138,0	168,0	138,0	1,40	99,0
5,20	38,0	102,0	38,0	3,27	12,0	12,40	145,0	166,0	145,0	3,00	48,0
5,40	35,0	84,0	35,0	3,27	11,0	12,60	95,0	140,0	95,0	2,33	41,0
5,60	39,0	88,0	39,0	3,60	11,0	12,80	180,0	215,0	180,0	0,80	225,0
5,80	52,0	106,0	52,0	3,80	14,0	<b>13,00</b>	220,0	232,0	220,0	1,53	143,0
<b>6,00</b>	60,0	117,0	60,0	3,73	16,0	13,20	242,0	265,0	242,0	1,40	173,0
6,20	50,0	106,0	50,0	2,93	17,0	13,40	250,0	271,0	250,0	2,80	89,0
6,40	102,0	146,0	102,0	2,27	45,0	13,60	248,0	290,0	248,0	1,67	149,0
6,60	130,0	164,0	130,0	2,07	63,0	13,80	275,0	300,0	275,0	1,33	206,0
6,80	55,0	86,0	55,0	2,80	20,0	<b>14,00</b>	290,0	310,0	290,0	3,33	87,0
<b>7,00</b>	66,0	108,0	66,0	2,87	23,0	14,20	250,0	300,0	250,0	1,33	187,0
7,20	41,0	84,0	41,0	3,33	12,0	14,40	300,0	320,0	300,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

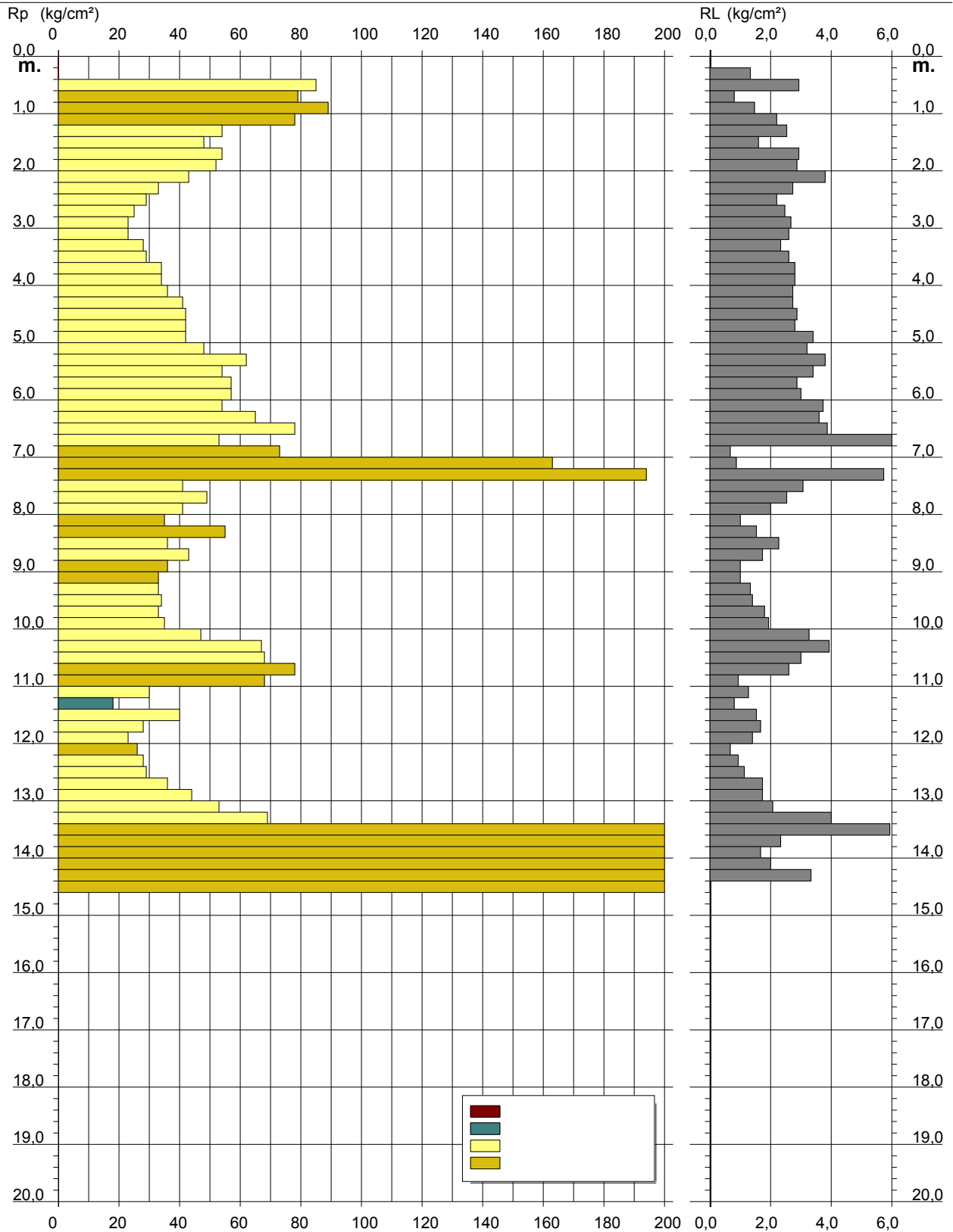
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-053

- committente : GEODE srl  
- lavoro :  
- località : Cortina di Alseno (PC)

- data : 11/09/2015  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- scala vert.: 1 : 100



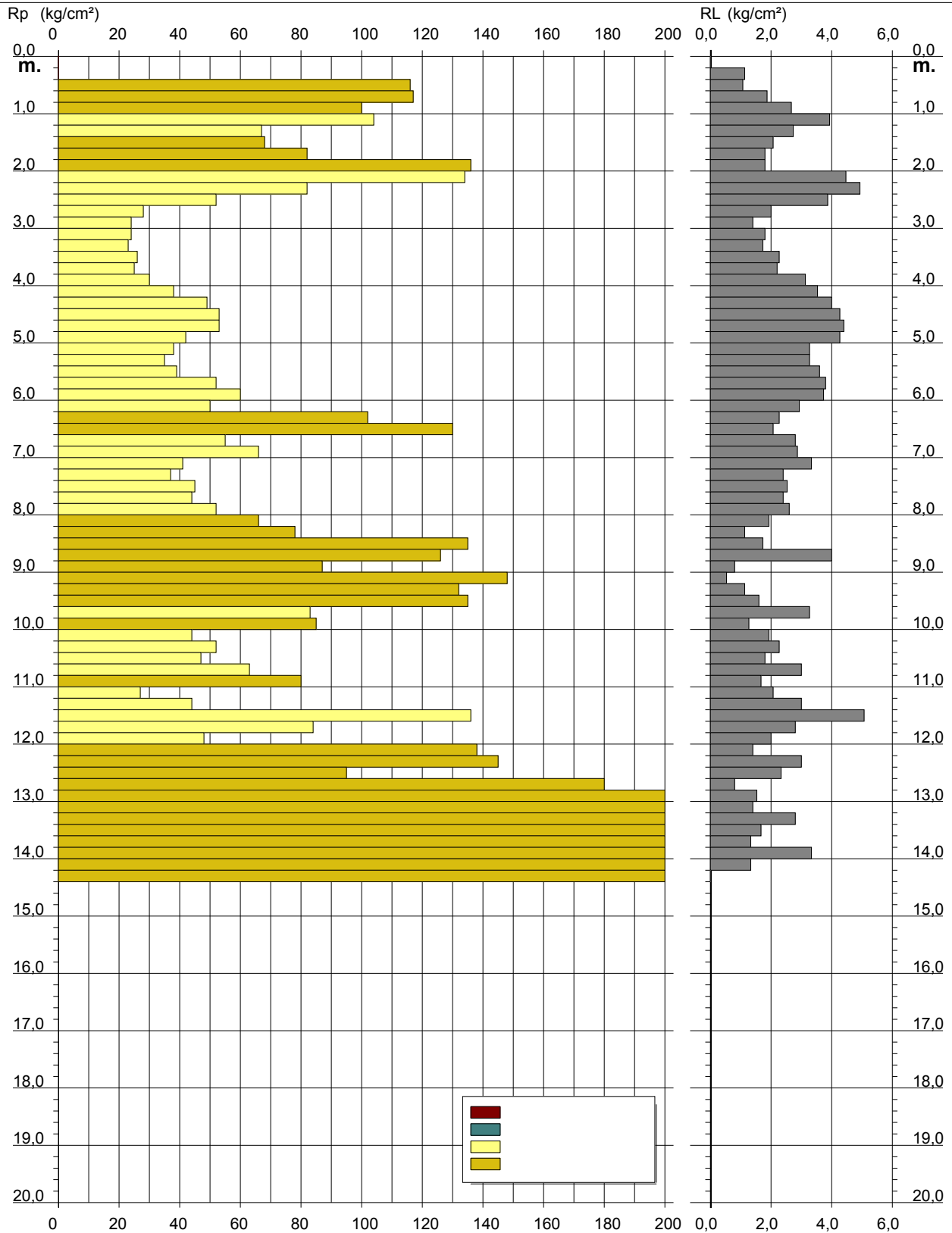
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-053

- committente : GEODE srl  
- lavoro :  
- località : Cortina di Alseno (PC)

- data : 11/09/2015  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- scala vert.: 1 : 100



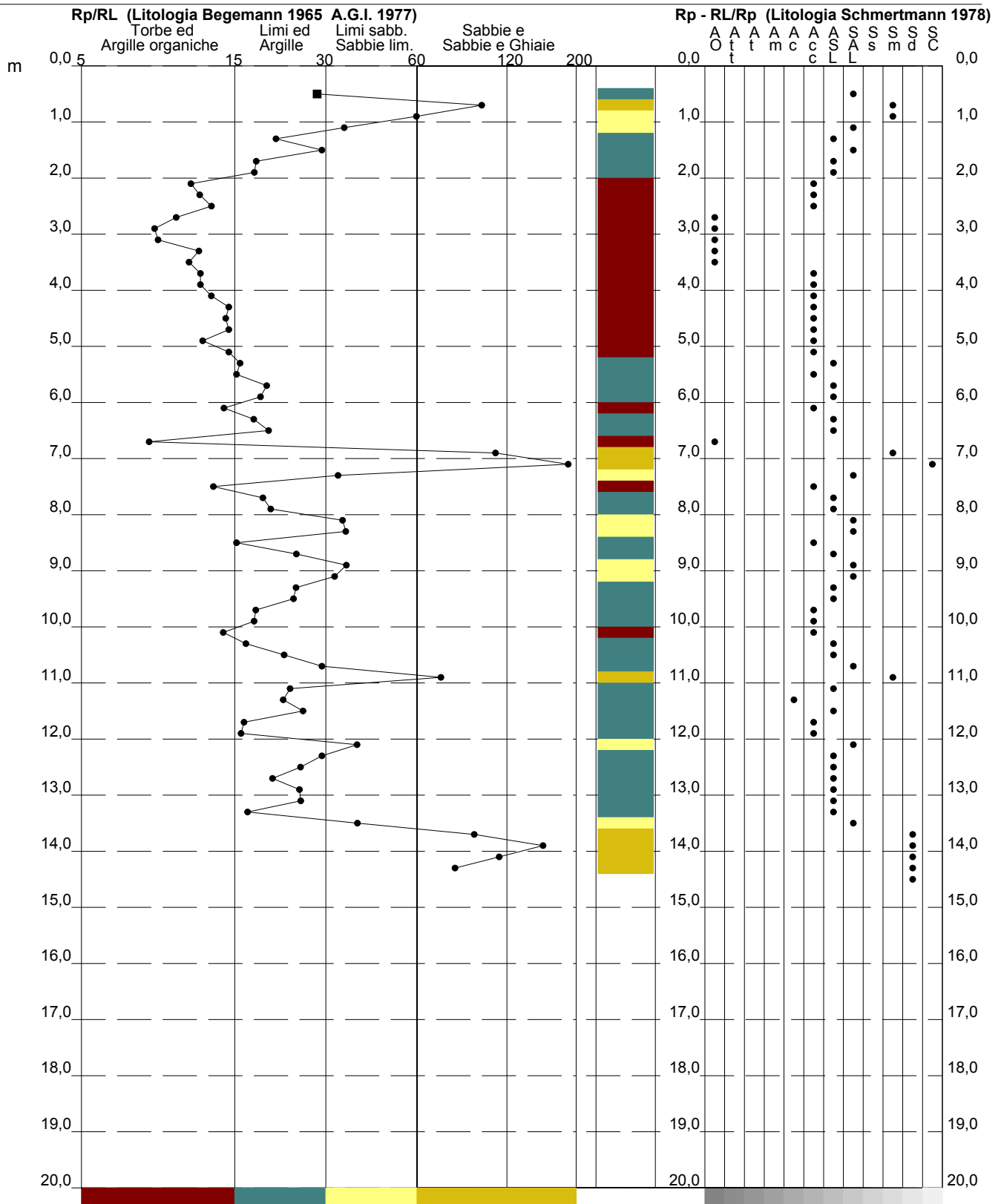
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

## CPT 1

2.010496-053

- committente : GEODE scrI  
 - lavoro :  
 - località : Cortina di Alseno (PC)  
 - note :

- data : 11/09/2015  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - scala vert.: 1 : 100



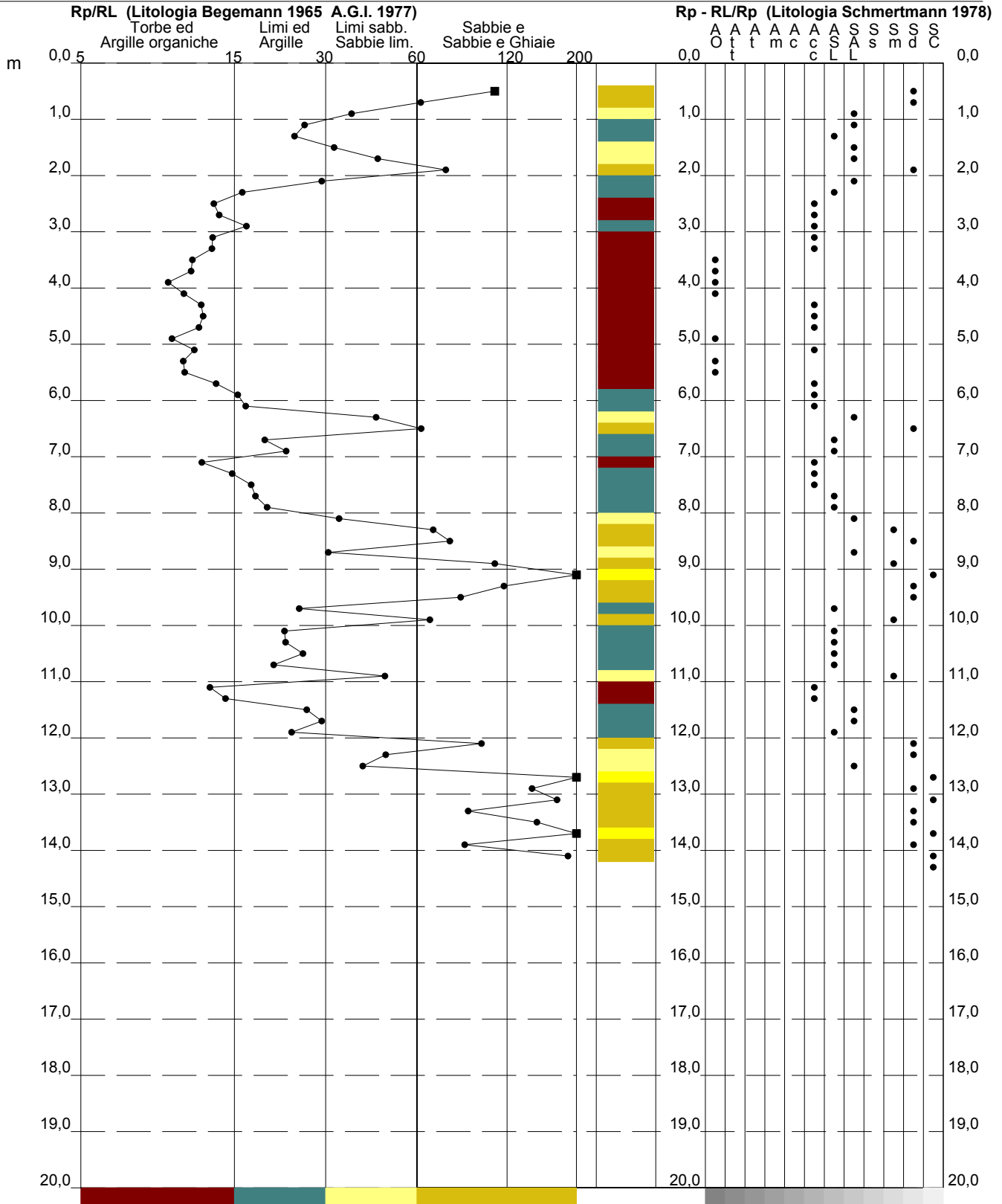
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 2**

2.010496-053

- committente : GEODE srl  
- lavoro :  
- località : Cortina di Alseno (PC)  
- note :

- data : 11/09/2015  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- scala vert.: 1 : 100









## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

**PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - (area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  Spinta)  $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta  $R_p \text{ ( Kg / cm}^2 \text{)} = (\text{L. punta}) C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale  $R_L \text{ ( Kg / cm}^2 \text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale  $R_t \text{ ( Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

$R_p / R_L = \text{'rapporto Begemann'}$

- L. punta = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta ( fase 1 )
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S \text{ ( Kg)}$ , corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$ .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $R_L$  viene computata 20 cm sopra la punta.

### CONVERSIONI

1 kN ( kiloNewton ) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton ) = 1000 kN = 1000000 N  $\approx$  100 t

1 kPa ( kiloPascal ) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa ( MegaPascal ) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t / m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (R_p / R_L)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = R_p / R_L$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $R_p$  e di  $FR = (R_L / R_p) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

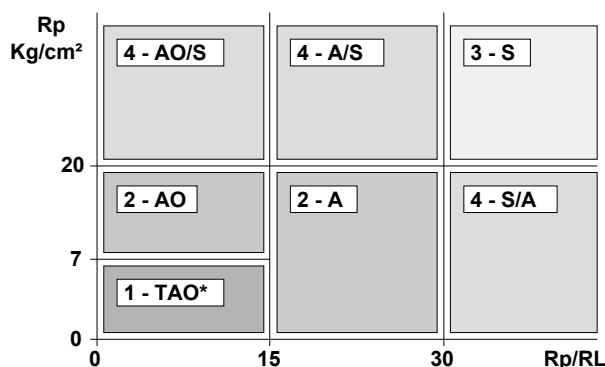
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $R_p / R_L$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI anche se  $( R_p / R_L ) > 30$

$R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI anche se  $( R_p / R_L ) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $R_p$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $R_p$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $R_p$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. : Mo -  $R_p$  - natura]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni : Dr -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\phi'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\phi'$  - Dr -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)  
 $\phi'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\phi'_{2s}$  - sabbia media unif./ fine ben gradata  
 $\phi'_{3s}$  - sabbia grossa unif./ media ben gradata       $\phi'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.  
 $\phi'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\phi'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
(  $g$  = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/ $g$ ) - Dr]



**ALLEGATO 4**  
**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE-MASW**

# REPORT INDAGINI SISMICHE



Località: Cortina, comune di Alseno(PC)

Data: Settembre 2015

Committente: Geode S.c.r.l.

Acquisizione ed elaborazione: Geol. F. Segalini





## SISMICA A RIFRAZIONE – ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

### A. METODOLOGIA

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione (*shot*) fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

La strumentazione necessaria per le prospezioni comprende una serie di geofoni che vengono spaziatamente lungo un determinato allineamento (base sismica) e un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono (Figura 1). Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

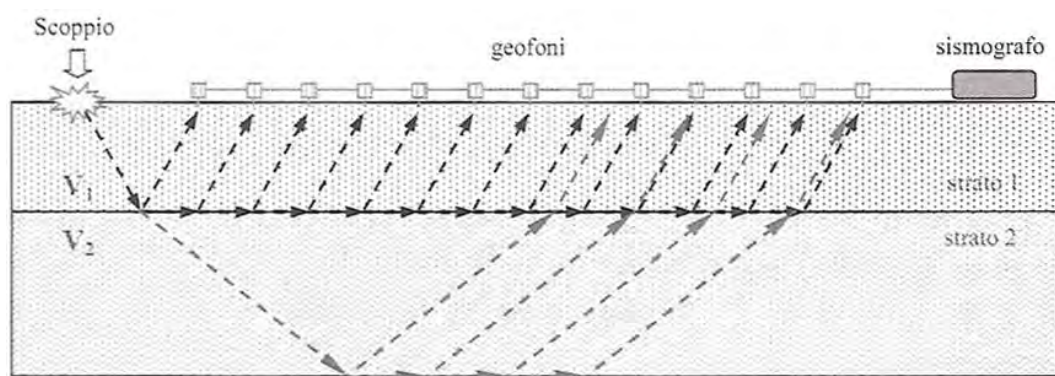


Figura 1. Metodo sismico a rifrazione.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da



quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

I dati acquisiti sono stati elaborati secondo il metodo sismico-tomografico. L'elaborazione tomografica è una tecnica di indagine con un alto potere risolutivo che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Le tomografie offrono comunque una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale: è doveroso inoltre tener conto che il metodo tomografico individua generalmente, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità), spessori diversi, di solito maggiori, di quelli valutati dalla sismica a rifrazione.

## **B. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

### *STRUMENTAZIONE*

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a 24 geofoni verticali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzata una mazza da 8 Kg.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza di 69 m, spaziatura tra i geofoni di 3.0 m e tempo di acquisizione pari a 200 ms. L'energizzazione è stata effettuata in 7 punti lungo ciascun stendimento e precisamente nelle seguenti posizioni:

- due punti esterni a 1.5 m dai geofoni g1 e g24;
- cinque punti ubicati all'interno dello stendimento e precisamente in posizione intermedia tra i geofoni g4-g5, g8-g9, g12-g13, g16-g17, g20-g21.



Figura 2. Stendimento sismico: geofoni dall'1 al 12 nella fotografia a sinistra e dal 13 al 24 a destra.

Geofono	Distanza da G1 (m)	Quota (m s.l.m.)	Geofono	Distanza da G1 (m)	Quota (m s.l.m.)
G1	0,0	150,67	G13	36,0	150,95
G2	3,0	150,70	G14	39,0	150,96
G3	6,0	150,73	G15	42,0	150,97
G4	9,0	150,76	G16	45,0	150,98
G5	12,0	150,79	G17	48,0	150,99
G6	15,0	150,82	G18	51,0	151,00
G7	18,0	150,84	G19	54,0	151,26
G8	21,0	150,86	G20	57,0	151,53
G9	24,0	150,89	G21	60,0	151,44
G10	27,0	150,91	G22	63,0	151,26
G11	30,0	150,92	G23	66,0	151,15
G12	33,0	150,94	G24	69,0	151,00
Shot	Distanza da G1 (m)	Quota (m s.l.m.)	Shot	Distanza da G1 (m)	Quota (m s.l.m.)
1	-1,50	150,7	5	46,50	151,0
2	10,50	150,8	6	58,50	151,5
3	22,50	150,9	7	70,50	151,0
4	34,50	150,9			

Tabella 1. Posizione e quote dei geofoni e degli spari (shots) nello stendimento.





## ELABORAZIONE

I dati acquisiti sono stati processati con il software RAYFRACT versione 3.18 (Rowdewahl, 2003) per ricostruire sezioni tomografiche che rappresentano l'evoluzione della velocità sismica delle onde P o delle onde SH nel sottosuolo.

La prima fase prevede l'introduzione delle informazioni topografiche relative ai vari punti di posizionamento dei geofoni e dei tiri e il picking dei primi arrivi. Nella figura successiva si riportano le dromocrone misurate e calcolate, mentre in allegato si riportano tutti i sismogrammi acquisiti con i relativi picking dei primi arrivi.

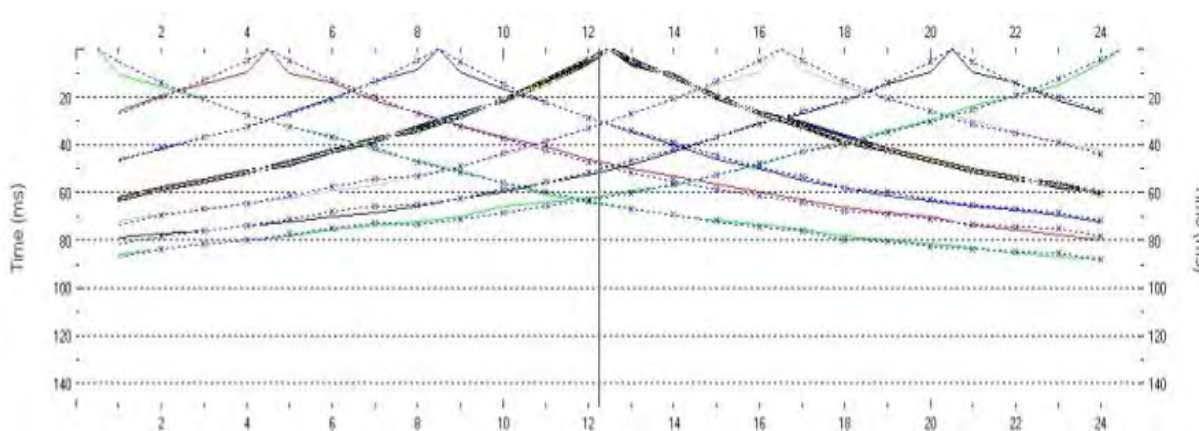


Figura 3. Dromocrone, in ascissa i geofoni e in ordinata il tempo in millisecondi.

Successivamente si procede ad una prima elaborazione che porta alla ricostruzione delle stratigrafie di velocità sismica con la tecnica Delta-t-V, cioè si ricompongono con cadenza pari alla metà della cadenza dei geofoni (CMP = *Common Mid Point*) le successioni di velocità compatibili con l'andamento di tutte le possibili dromocrone nei punti intermedi tra punto di tiro e geofono. Dal modello ricostruito come successione di stratigrafie di resistività viene elaborato un modello ad elementi finiti di piccolissime dimensioni (ordine di grandezza di qualche decimetro di lato) che può già rappresentare un attendibile modello del sottosuolo. Tuttavia questo rappresenta una prima approssimazione alla soluzione.

Il passo successivo è quello di ottimizzare, in maniera iterativa, il suddetto modello di partenza mediante la tecnica WET (*Wavepath Eikonal Traveltime*). In pratica si effettua il calcolo delle differenze dei tempi di arrivo dai vari punti di tiro ai vari geofoni, tra i valori sperimentali misurati nei sismogrammi ed i tempi calcolati sul modello di partenza. In base alle differenze riscontrate, per ciascun percorso delle onde sismiche, si apportano modifiche, in aumento o in diminuzione, delle velocità che caratterizzano i vari elementi che sono stati



interessati dal passaggio del fronte d'onda considerato. Ad ogni iterazione, dopo avere apportato le modifiche alle velocità dei vari elementi, il nuovo modello viene sottoposto ad una operazione di "smoothing" che porta ad una migliore omogeneità dei valori di velocità entro aree di dimensioni maggiori. In genere sono sufficienti da 10 a 20 iterazioni per giungere ad un modello che porta a scarti medi tra i tempi (*Traveltime*) dei vari percorsi dell'ordine di qualche millisecondo (Schuster & Quintus-Bosz, 1999).

### C. RISULTATI

Con le modalità suddette è stata ottenuta la sezione tomografica relativa alla velocità delle onde P riportate nella figura seguente.

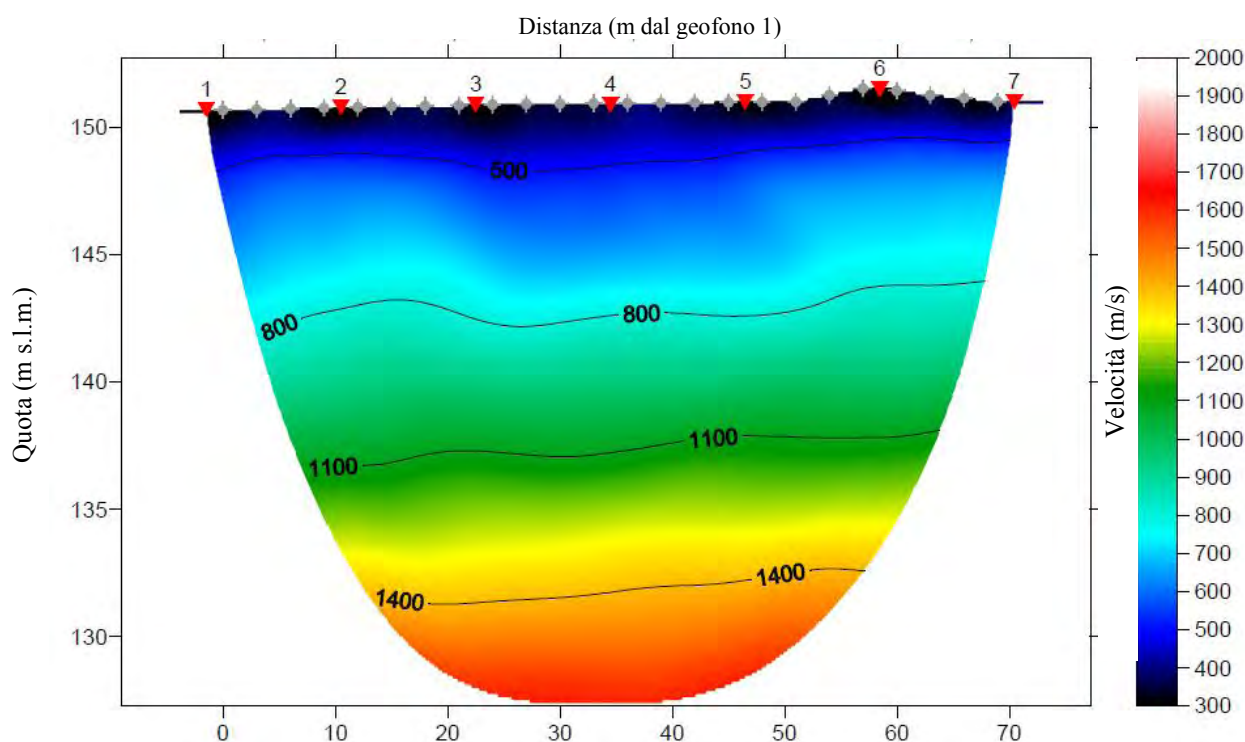


Figura 4. Sezione tomografica relativa alla stendimento sismico. G1 a sinistra, G24 a destra.

La sezione tomografica ottenuta evidenzia profondità d'indagine dell'ordine di 20 m. Sulla base delle velocità sismiche rilevate si è individuato il seguente modello di sottosuolo:



- ✓ *Unità superficiale a medio-bassa velocità:* velocità sismiche inferiori a 1100 m/sec e spessore costante lungo lo stendimento di circa 13-14 m. Si tratta di depositi continentali di origine alluvionale;
- ✓ *Unità di fondo a velocità media:* velocità sismiche maggiori di 1100 m/s, dovrebbe rappresentare il substrato roccioso marino rappresentato in loco da areniti mediamente cementate appartenenti al Sintema di Costamezzana.



**ALLEGATO A**  
**PICKING PRIMI ARRIVI STENDIMENTO SISMICO RF**

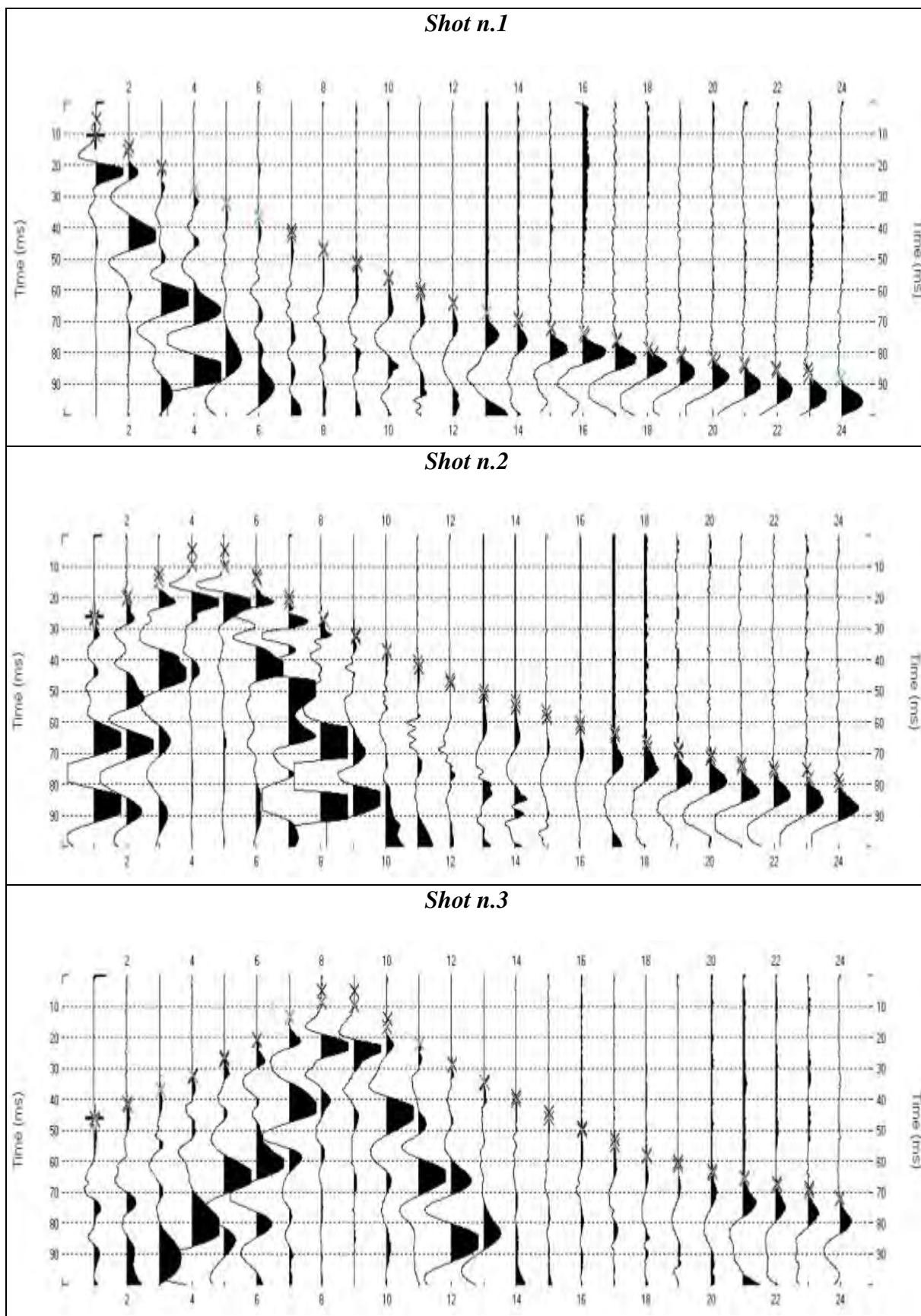


Figura 5. Sismogrammi acquisiti e picking dei primi arrivi per gli shots 1, 2, 3.



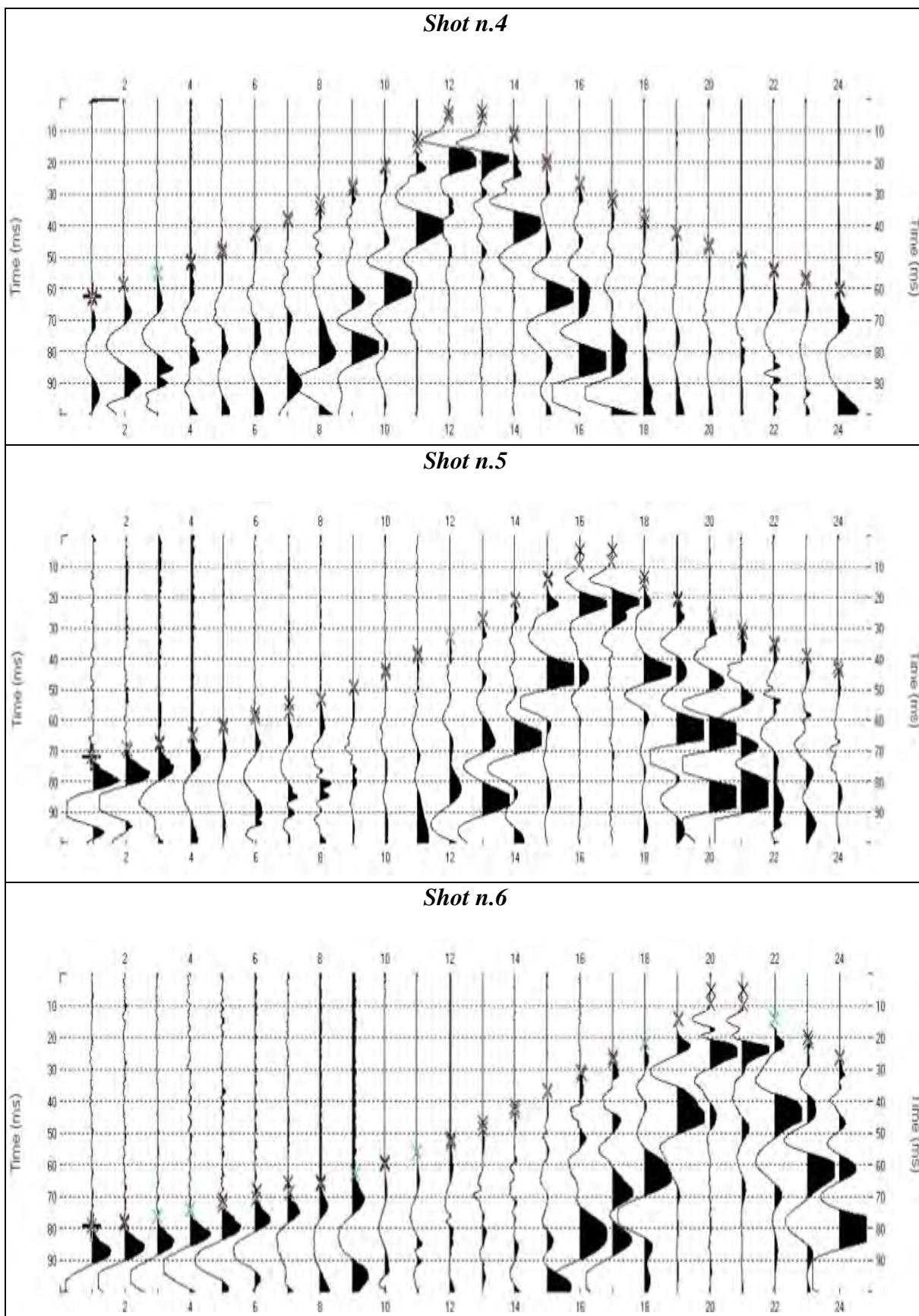


Figura 6. Sismogrammi acquisiti e picking dei primi arrivi per gli shots 4,5,6.

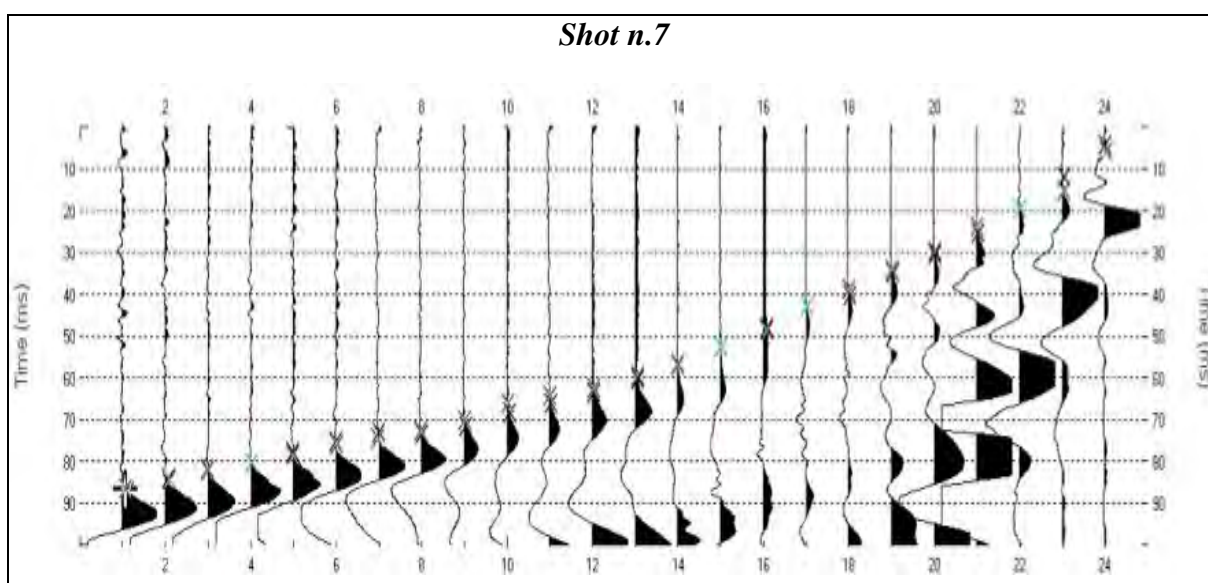


Figura 7. Sismogramma acquisito e picking dei primi arrivi per lo shot 7.

Geofono	Distanza da g1 (m)	Quota (m s.l.m.)	Shot	Distanza da g1 (m)	Quota (m s.l.m.)	PRIMI ARRIVI E PUNTI DI ENERGIZZAZIONE						
						1 (ms)	2 (ms)	3 (ms)	4 (ms)	5 (ms)	6 (ms)	7 (ms)
g1	0,0	150,67	1	-1,50	150,7	0.010480	0.026069	0.045981	0.062225	0.071657	0.078862	0.086067
g2	3,0	150,7				0.015458	0.019519	0.041920	0.058295	0.068775	0.077421	0.083971
g3	6,0	150,73	2	10,50	150,8	0.021091	0.014410	0.036942	0.055020	0.067596	0.075980	0.081351
g4	9,0	150,76				0.027379	0.009432	0.032226	0.050959	0.064714	0.073753	0.079910
g5	12,0	150,79				0.032226	0.010087	0.026462	0.048470	0.062225	0.072312	0.078207
g6	15,0	150,82	3	22,5	150,9	0.036418	0.014148	0.020567	0.042706	0.058950	0.070216	0.075587
g7	18,0	150,84				0.042182	0.021353	0.013362	0.038383	0.056854	0.068382	0.074146
g8	21,0	150,86				0.046636	0.026724	0.008646	0.032619	0.052793	0.065893	0.072312
g9	24,0	150,89	4	34,50	150,9	0.051090	0.031833	0.009825	0.027117	0.048863	0.062618	0.069823
g10	27,0	150,91				0.056068	0.036942	0.016637	0.021353	0.044540	0.059736	0.065893
g11	30,0	150,92				0.060915	0.040479	0.022008	0.014803	0.039038	0.055675	0.064059
g12	33,0	150,94	5	46,50	151,0	0.064059	0.046374	0.028951	0.005764	0.032881	0.052793	0.062225
g13	36,0	150,95				0.066810	0.049911	0.034715	0.006157	0.027117	0.048470	0.059343
g14	39,0	150,96				0.069430	0.053186	0.040217	0.010480	0.020960	0.043099	0.056854
g15	42,0	150,97	6	58,50	151,5	0.071657	0.056461	0.045981	0.020567	0.014410	0.036942	0.052400
g16	45,0	150,98				0.073622	0.059998	0.049911	0.026462	0.009432	0.030785	0.048470
g17	48,0	150,99				0.075587	0.063011	0.054627	0.030785	0.008384	0.027117	0.042706
g18	51,0	151	7	70,50	151,0	0.078338	0.066155	0.058295	0.036549	0.015589	0.021746	0.038776
g19	54,0	151,26				0.080041	0.068382	0.061177	0.041920	0.020960	0.014410	0.034060
g20	57,0	151,53				0.081482	0.070216	0.063666	0.045981	0.026069	0.009432	0.029606
g21	60,0	151,44	7	70,50	151,0	0.083185	0.074146	0.065500	0.050697	0.029999	0.009825	0.023842
g22	63,0	151,26				0.085281	0.075587	0.067596	0.053579	0.034715	0.014148	0.019519
g23	66,0	151,15				0.086853	0.077814	0.069430	0.057509	0.039038	0.021353	0.015196
g24	69,0	151				0.087901	0.079910	0.072050	0.059736	0.042313	0.026462	0.005764

Tabella 2. Primi arrivi per ogni punto di energizzazione (shot).



## MASW + HVSr

### A. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

#### STRUMENTAZIONE

L'acquisizione dei dati MASW è eseguita sullo stesso stendimento utilizzato per l'elaborazione tomografica. L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna con offsets pari a 1.5 e 3.0 m facendo acquisizioni della durata di un secondo.

L'acquisizione utile ad analizzare il rapporto spettrale H/V è stata realizzata a metà stendimento, impiegando lo strumento SR04-GEOBOX dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments).

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 Professional.

#### ANALISI RAYLEIGH

Dal sismogramma acquisito (dominio spazio-tempo) si è determinato mediante la trasformata di Fourier lo spettro di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), da cui si ricava lo spettro di velocità nel dominio frequenza-velocità attraverso il metodo denominato *phase shift* (Figura 8).

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione riconoscendo frammenti di modo fondamentale a varie frequenze ed il primo modo superiore, nettamente dominante.

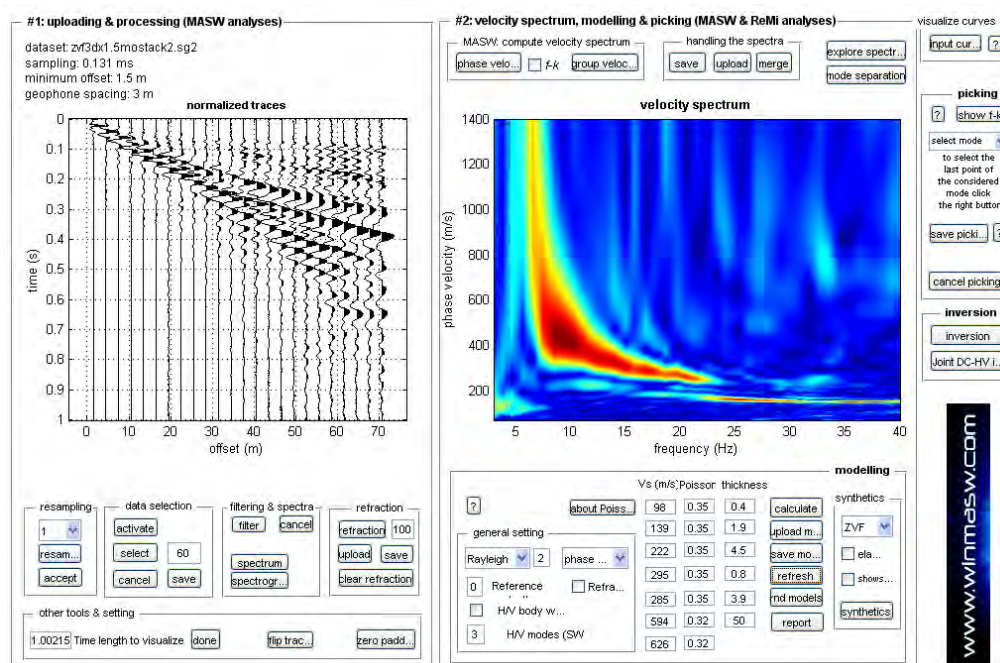


Figura 8. Acquisizione della componente verticale delle onde Rayleigh (ZVF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma) e sulla destra lo spettro di velocità.



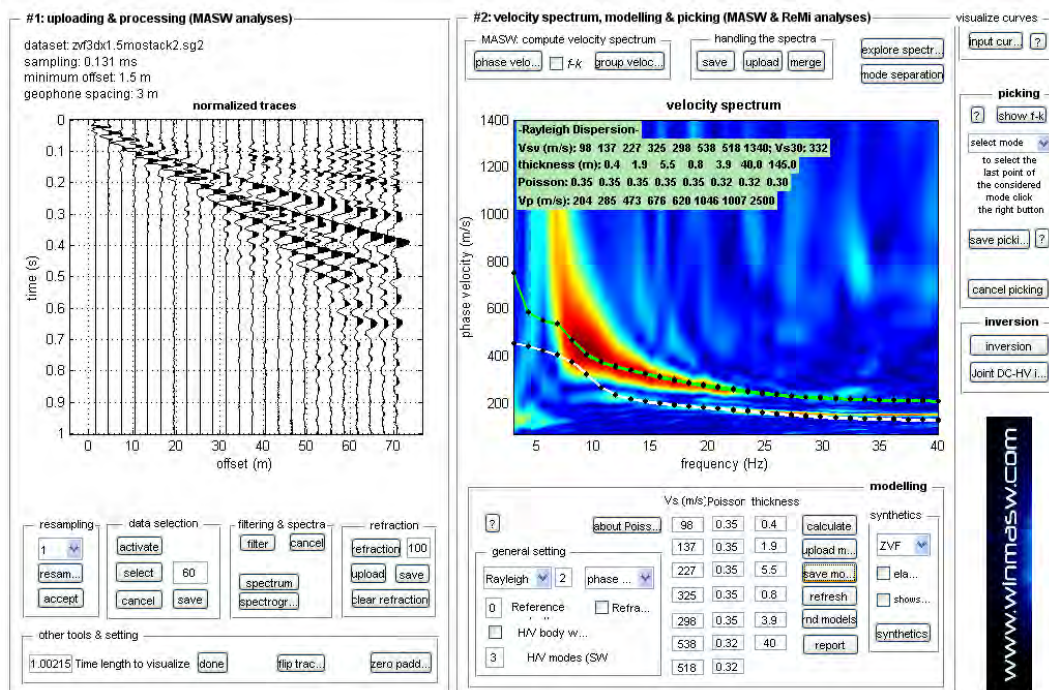


Figura 9. Spettro di velocità per le onde Rayleigh con sovrapposte le curve di dispersione del modo di vibrazione fondamentale e del primo superiore.

### RAPPORTI SPETTRALI H/V

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSR) la definizione del profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremore utile a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

Nelle figure successive si riportano i dati acquisiti, lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSR per l'acquisizione eseguita.

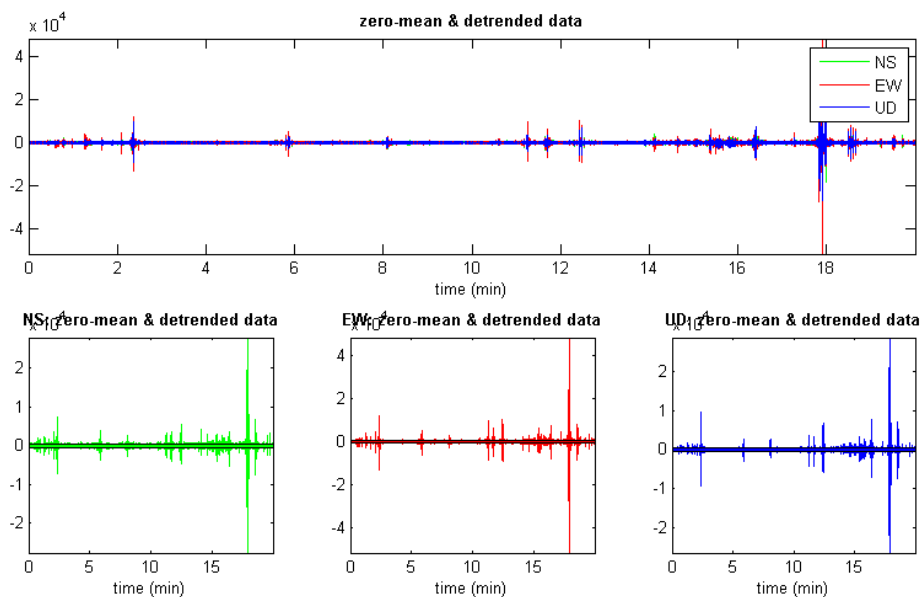


Figura 10. Dati acquisiti "grezzi".

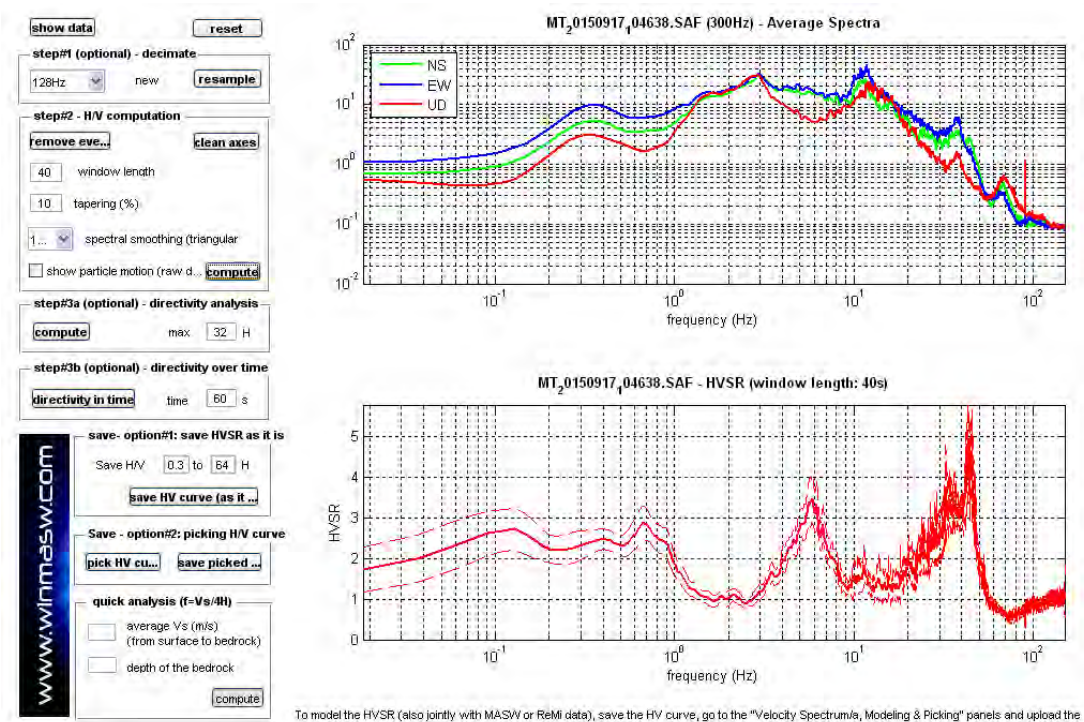


Figura 11. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

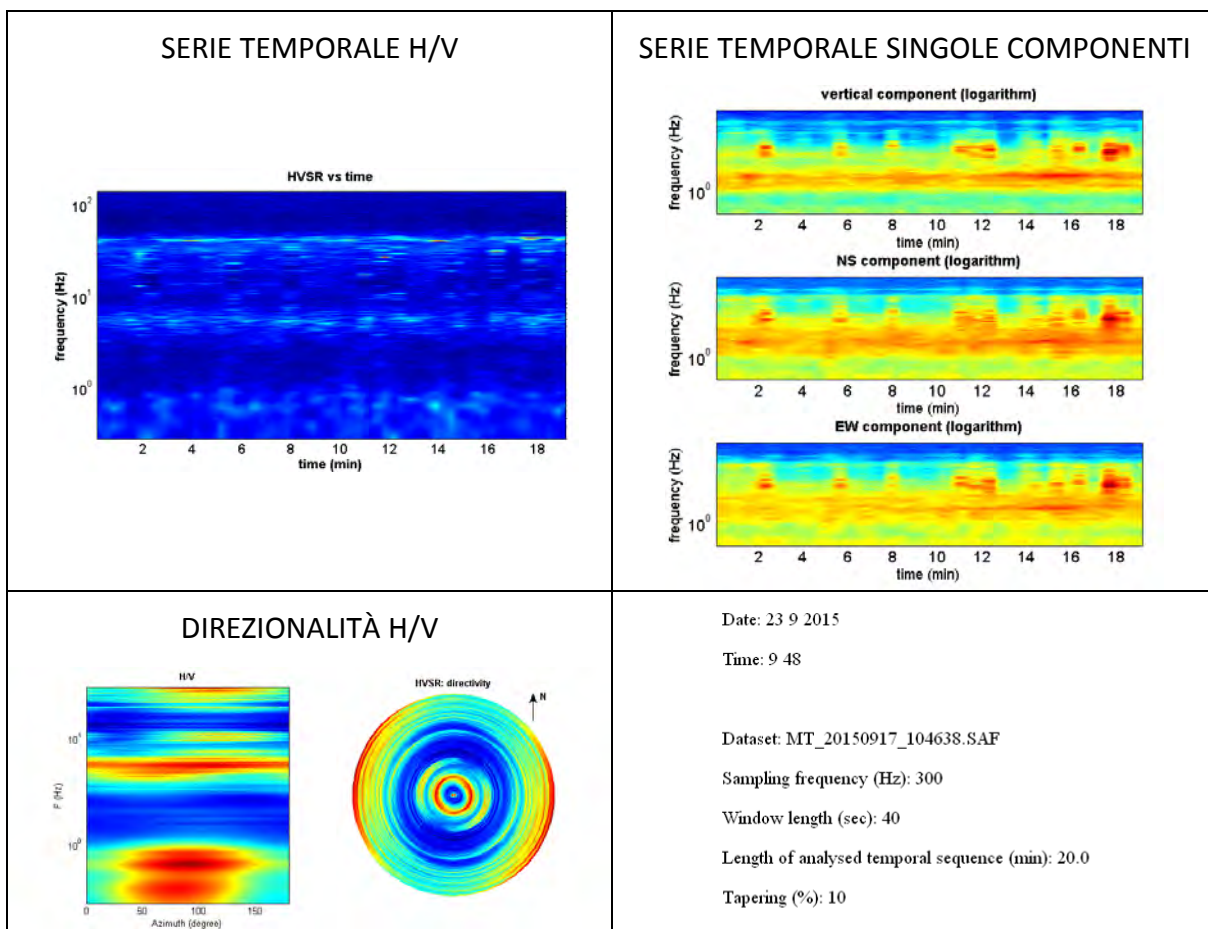


Figura 12. Caratteristiche dati acquisiti.





I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 5.9 Hz è riportato nel seguente box. Sono soddisfatti 5 criteri su 6, la frequenza è quindi da ritenersi di risonanza.

Peak frequency (Hz): 5.9 ( $\pm 0.6$ )

Peak HVSR value: 3.5 ( $\pm 0.6$ )

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]: 5.9 > 0.25 (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]: 13680 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.9Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 8.2Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.5 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$ ]: 0.553 > 0.295 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.577 < 1.58 (OK)

Di seguito la modellazione della curva HVSR ottenuta applicando lo schema geologico dato dalla dispersione delle onde di superficie (vedi figura seguente).

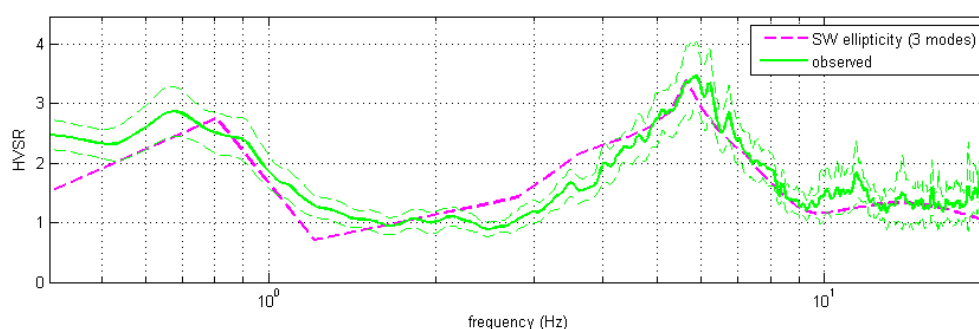


Figura 13. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per la modellazione della dispersione delle onde di superficie.



## ANALISI CONGIUNTA

L'analisi congiunta MASW+HVSR ha permesso di ricavare il modello finale riportato di seguito.

Spessore (m)	Vs (m/s)
0,4	98
1,9	137
5,5	227
0,8	325
3,9	298
40,0	538
145,0	518
Inf.	1340

Tabella 3. Modello del sottosuolo individuato.

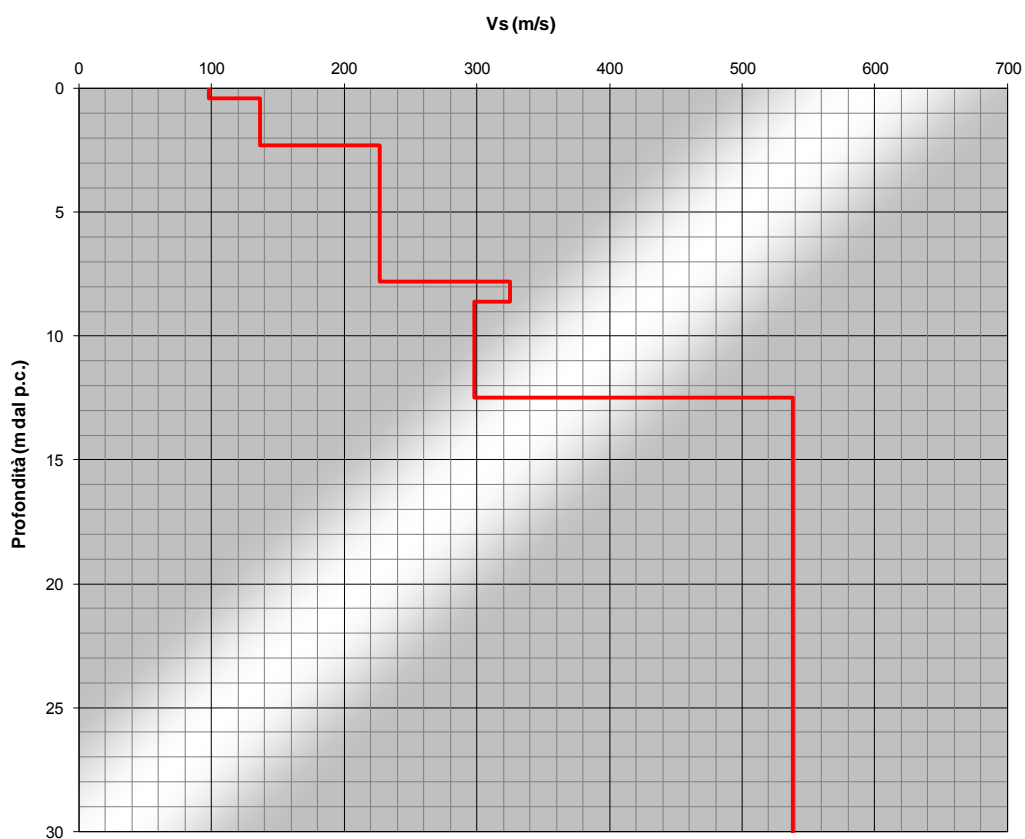


Figura 14. Profilo di velocità ottenuto dall'analisi congiunta.



## B. RISULTATI

La prova MASW unitamente all'analisi HVSR ha consentito di determinare, tramite la relazione riportata di seguito (NT08), un valore di Vs30 al piano campagna pari a 332 m/s.

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

hi: spessore in metri dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

Vs,i: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)	Hi/Vs <sub>i</sub>
0,0 – 0,4	98	0,00408
0,4 – 2,3	137	0,01387
2,3 – 7,8	227	0,02423
7,8 – 8,6	325	0,00246
8,6 – 12,5	298	0,01309
12,5 – 30,0	538	0,03253

Tabella 4. Modello per calcolo Vs30.

Profondità calcolo Vs30 (m dal p.c.)	Vs30 (m/s)
0,0	332
0,5	347
1,0	359
1,5	371
2,0	384
3,0	401
4,0	415
5,0	430

Tabella 5. Valori di Vs30 in funzione della profondità di calcolo.

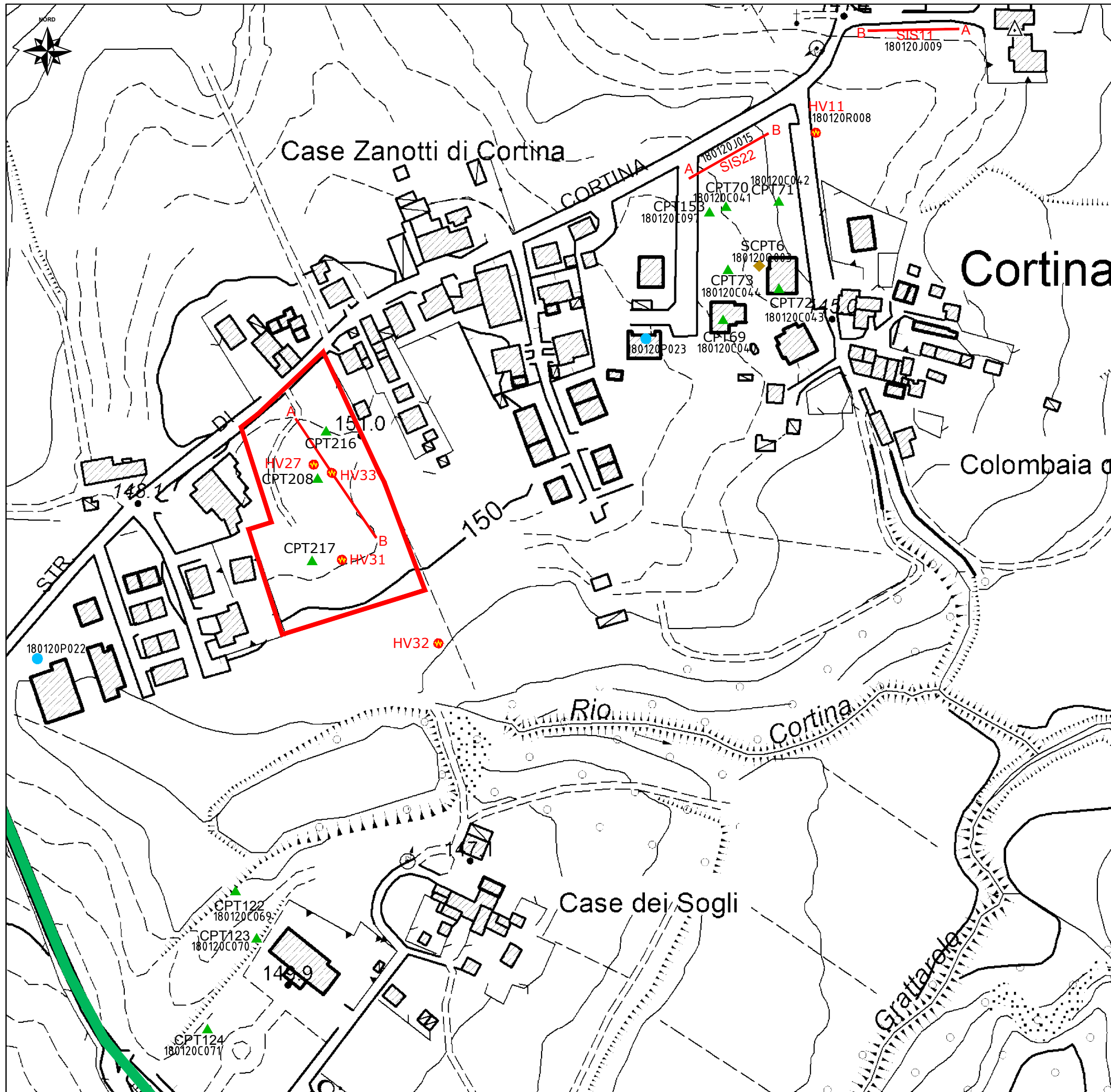


## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI








- Rowdewahl S., 2003. *Manual for the software RAYFRAC*T, Intelligent Resources Inc.
- Schuster, G. T., Quintus-Bosz A., 1999. *Wavepath eikonal traveltime inversion: Theory*. *Geophysics* v. 58, 1314-1323.
- Lecomte I., Gjøystdal H., Dahle A., Pedersen O. C., 2000. *Improving modelling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver*. *Geophysical Prospecting*, Vol. 48 Issue 3.
- Dziewonski A., Bloch S., and Landisman M., 1969. *A technique for the analysis of transient seismic signals*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59, No. 1, 427-444
- Levshin A.L., Pisarenko V., Pogrebinsky G., 1972. *On a frequency-time analysis of oscillations*. *Annales Geophys.*, 28, 211-218.
- Achenbach J.D., 1999. *Wave Propagation in Elastic Solids*, North-Holland, Amsterdam, Netherlands.
- Aki K. and Richards P.G., 1980. *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, Vol. 1-2, W.H. Freeman & Co., New York.
- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007. *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation*, *J. Appl. Geophysics*, 61, 39-55.
- Herrmann R.B. 2003. *Computer Programs in Seismology*.
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003. *Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications*, *Exploration Geophysics*, 34, 158-173.
- Park C. B., Miller R. D. & Xia J., 1999. *Multichannel analysis of surface waves*, *Geophysics*, 64, 3; 800-808.
- Zywicki D.J., 1999. *Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves*, Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Safari J., O'Neill A., Matsuoka T., Sanada Y. (2005). *Applications of Love Wave Dispersion for Improved Shear-wave Velocity Imaging*, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 10, 135-150.
- Herak M., 2008. *Model HVSR - A Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise*, *Computers & Geosciences*, 34, 1514-1526.
- Lunedei E. and Albarello D.; 2009. *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014.
- Software *Microtremor* (<http://nato.gfz.hr/SW.zip>) di Alberello D. & Lunedei E. (vedi Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014).
- Dal Moro G., 2010. *Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality*, *J. Appl. Geophysics*, 72, 29-140.
- Dal Moro G. & Ferigo F., 2011. *Joint Analysis of Rayleigh - and Love-Wave Dispersion for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements*, *J. Appl. Geophysics*, in stampa.
- Dal Moro G., 2011. *Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Short Overview and a Case Study*, *BGTA (Bollettino Geofisica Teorica e Applicata)*, Vol. 52, in stampa.
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, *Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications*. *Journal of Applied Geophysics*, 74, 157-165.

## RIFERIMENTI NORMATIVI


- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.



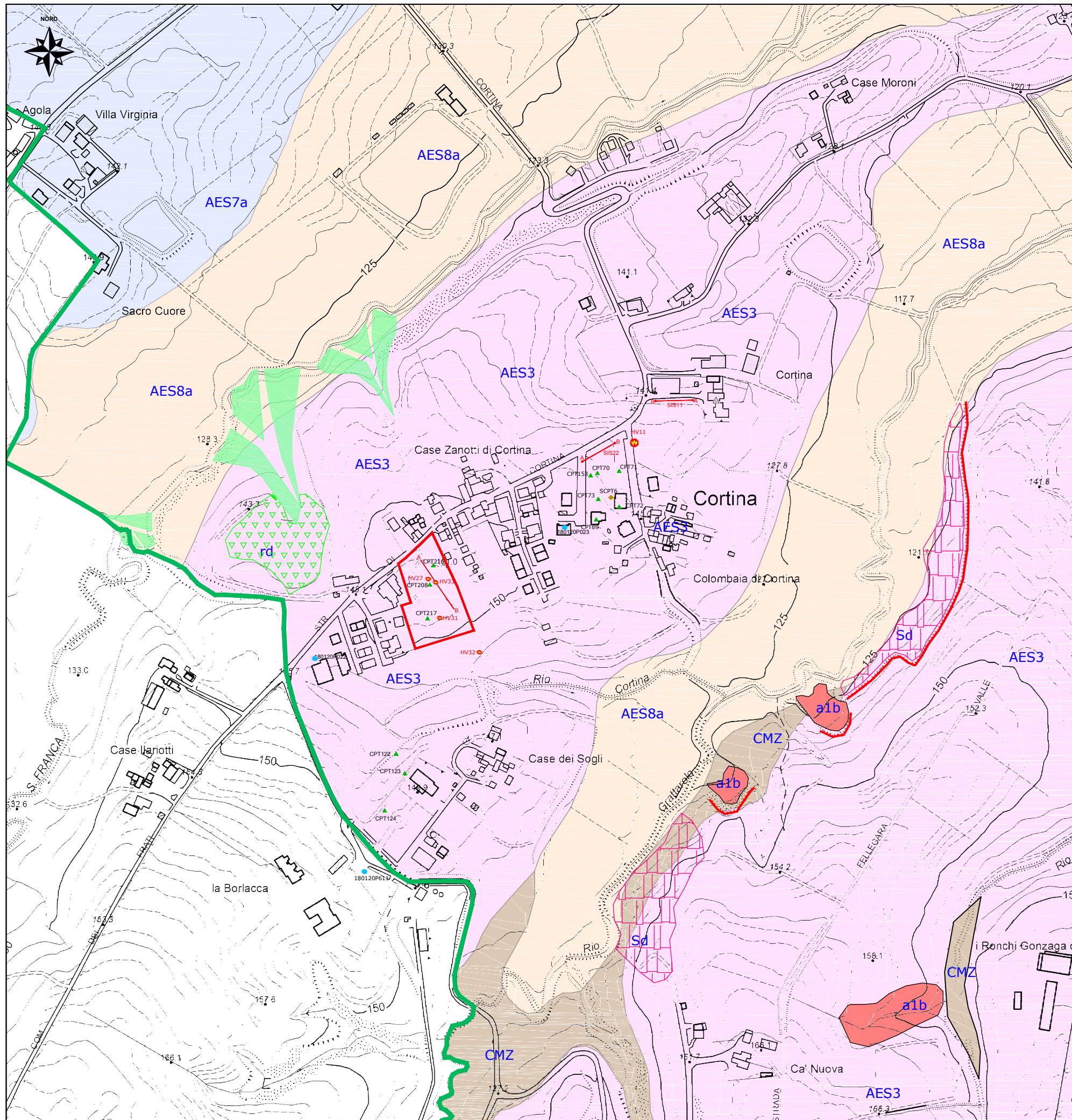
**LEGENDA**

-  Confine comunale
-  Area in esame
- Indagini geognostiche*
-  CPT69 — Prova penetrometrica statica  
180120C040 — numerazione db RER
-  SCPT6 — Prova penetrometrica dinamica  
180120Q003 — numerazione db RER
-  — Prova sismica tipo MASW  
A SIS22 — numerazione db comunale
-  HV11 — Prova sismica tipo HV
-  — Indagine geognostica da db RER



SCALA 1:2.000

COMMITTENTE:	COMUNE DI ALSENO
ESTENSORI:	 GEODE strada Martinella 50/c 43124 Parma COMMESSA: G15_065
TITOLO:	R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio Variante Settembre 2015 TAV.1 - UBICAZIONE DELL'AREA ED INDAGINI GEOGNOSTICHE FILE: TAV01.DWG
DATA:	SETTEMBRE 2015











### LEGENDA

-  Confine comunale
-  Area in esame




#### UNITA' GEOLOGICHE

- Sintema Emiliano - Romagna Superiore*
-  Subsintema di Ravenna (AES8; AES8\_1 e AES8\_2)
  -  Unità di Modena (AES8a; AES8a2)
  - Subsintema di Villa Verrucchio (AES7)*
  -  Unità di Vignola (AES7b)
  -  Unità di Niviano (AES7a)
  -  Subsintema di Agazzano (AES3)



- Supersintema Quaternario Marino*
-  Sintema di Costamezzana (CMZ)

#### ACCUMULI E FORME MORFOLOGICHE






##### Depositi e forme legate all'azione della gravità

-  Deposito di frana attiva (a1)  
b - deposito di frana per scivolamento
-  Deposito di versante in s.l. (a3)
-  Area in soliflusso diffuso (Sd)


##### Depositi e forme legate allo scorrimento delle acque superficiali

-  Area in ruscellamento diffuso (rd)
-  Conoidi di deiezione e conoidi poligenetici non attivi del reticolo idrografico minore

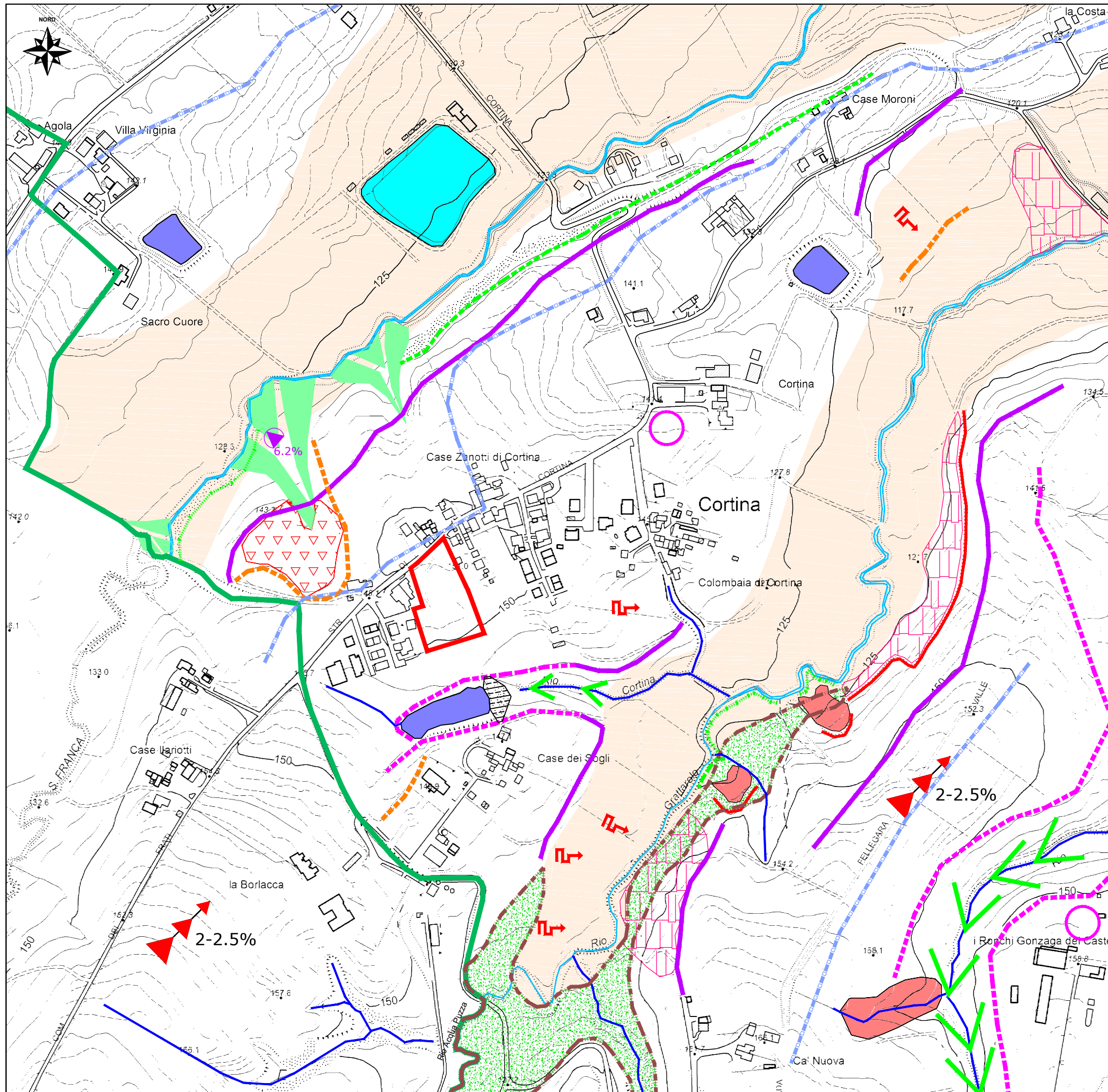
#### Indagini geognostiche

-  CPT69 Prova penetrometrica statica
-  SCPT6 Prova penetrometrica dinamica
-  SIS22 Prova sismica tipo Masw
-  HV11 Prova sismica tipo Hv
-  180120P023 Indagine geognostica da db RER



























SCALA 1:5.000

COMMITENTE:	COMUNE DI ALSENO
ESTENSORI:	 <b>GEODE</b> strada Martinella 50/c 43124 Parma COMMESSA: G15_065
TITOLO:	R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio Variante Settembre 2015 TAV.2 - CARTA GEOLOGICA FILE: TAV02.DWG
DATA: SETTEMBRE 2015	





### LEGENDA

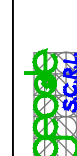
-  Confine comunale
-  Area in esame
-  Area con ruscellamento diffuso ed erosione (rd)
-  Processo e forma di ruscellamento concentrato
-  Limite tra depositi marini con terrazzi fluviali sospesi (zona sud) e depositi alluvionali con terrazzi incastrati (zona nord)
-  Corsi d'acqua locali: S. Franca, Acqua Puzza-Grattarolo
-  Corsi d'acqua del reticolo idrografico minore
-  Pendenza conoidi di deiezione
-  Pendenza paleo superficie di spianamento
-  Scarpate fluviali fossili originate dai rii Grattarolo e S. Franca
-  Scarpate fluviali fossili originate dal reticolo idrografico secondario
-  Lago artificiale ad uso irriguo
-  Lago artificiale anche rinaturalizzato ad uso vario
-  Depositi alluvionali recenti (Olocene - AES8a)
-  Spartiacque secondari
-  Aree di concentrazione di materiale preromano  
a. ben delimitate; b. non delimitate
-  Vallecola a V associata a corso d'acqua in erosione di fondo:  
a = simmetrica; b = asimmetrica
-  Scarpate fluviali in evoluzione
-  Area in soliflusso generalizzato o diffuso (Sd)
-  Scarpata morfologica in degradazione
-  Nicchia di frana
-  Colmatura di avvallo o depressione morfologica (Depositi antropici)
-  Accumulo di frana attiva (Fa; a1)
-  Depositi di origine marina ("substrato roccioso")
-  Conoidi di deiezione e conoidi poligenetici non attivi del reticolo idrografico minore
-  Traversa o sbarramento fluviale

SCALA 1:5.000

COMMITENTE:

COMUNE DI ALSENO

ESTENSORI:



GEODE  
strada Martinella 50/c  
43124 Parma

DATA: SETTEMBRE 2015

COMMESSA: G15\_065

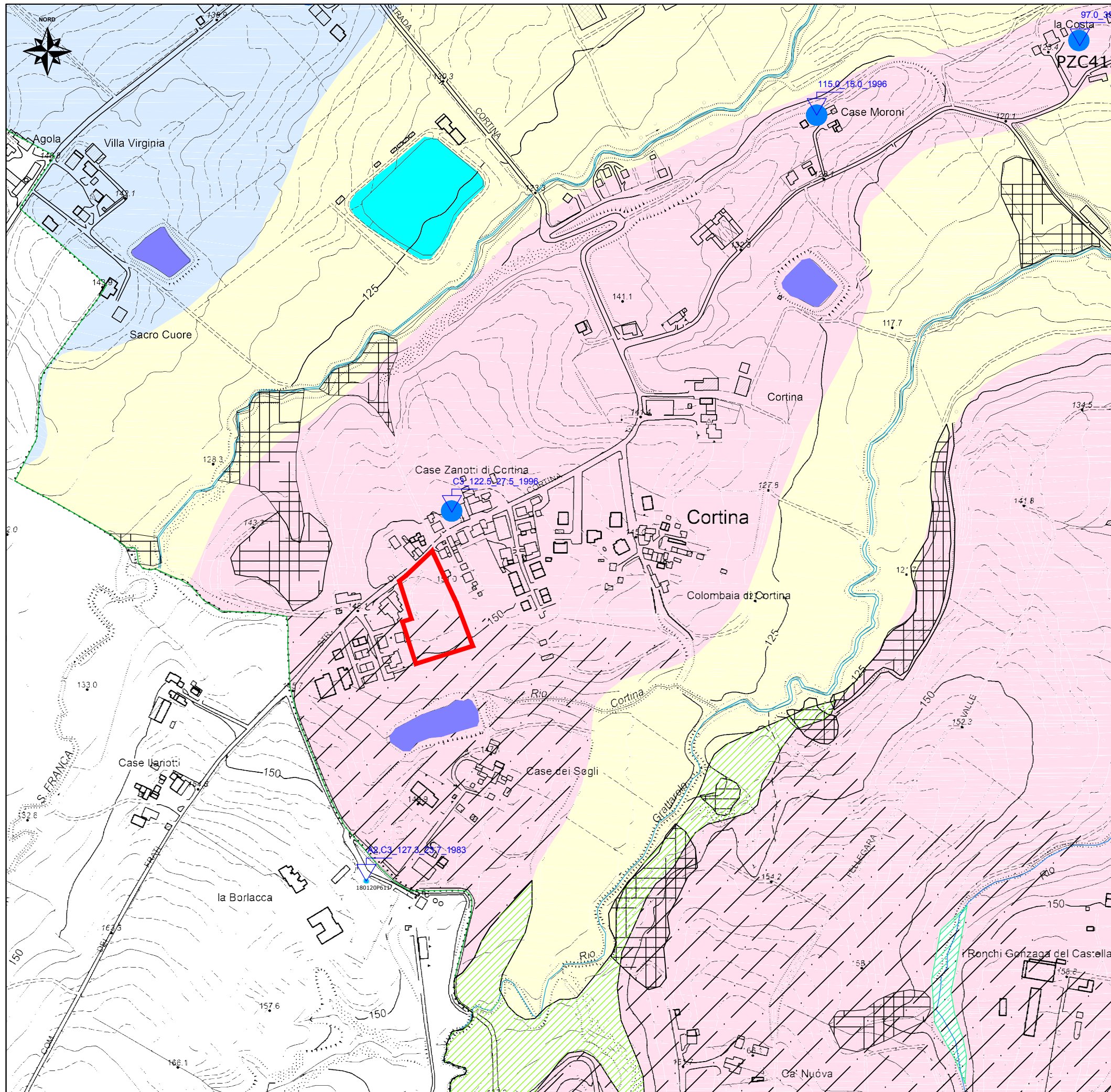
TITOLO

R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio  
Variante Settembre 2015



TAV3 - CARTA GEOMORFOLOGICA

FILE: TAV\_03.DWG





















**LEGENDA**

-  Confine comunale
-  Area in esame


**UNITA' IDROGEOLOGICHE**

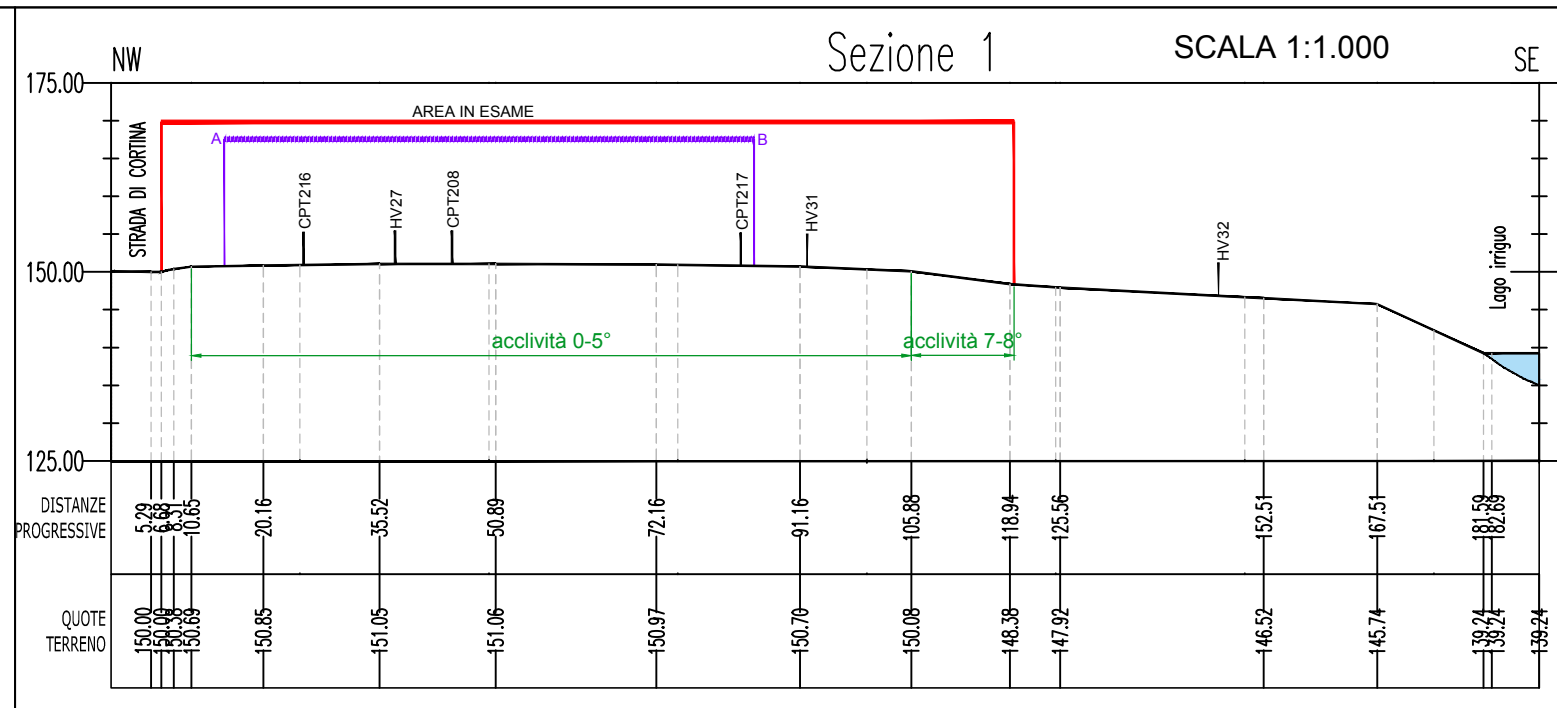
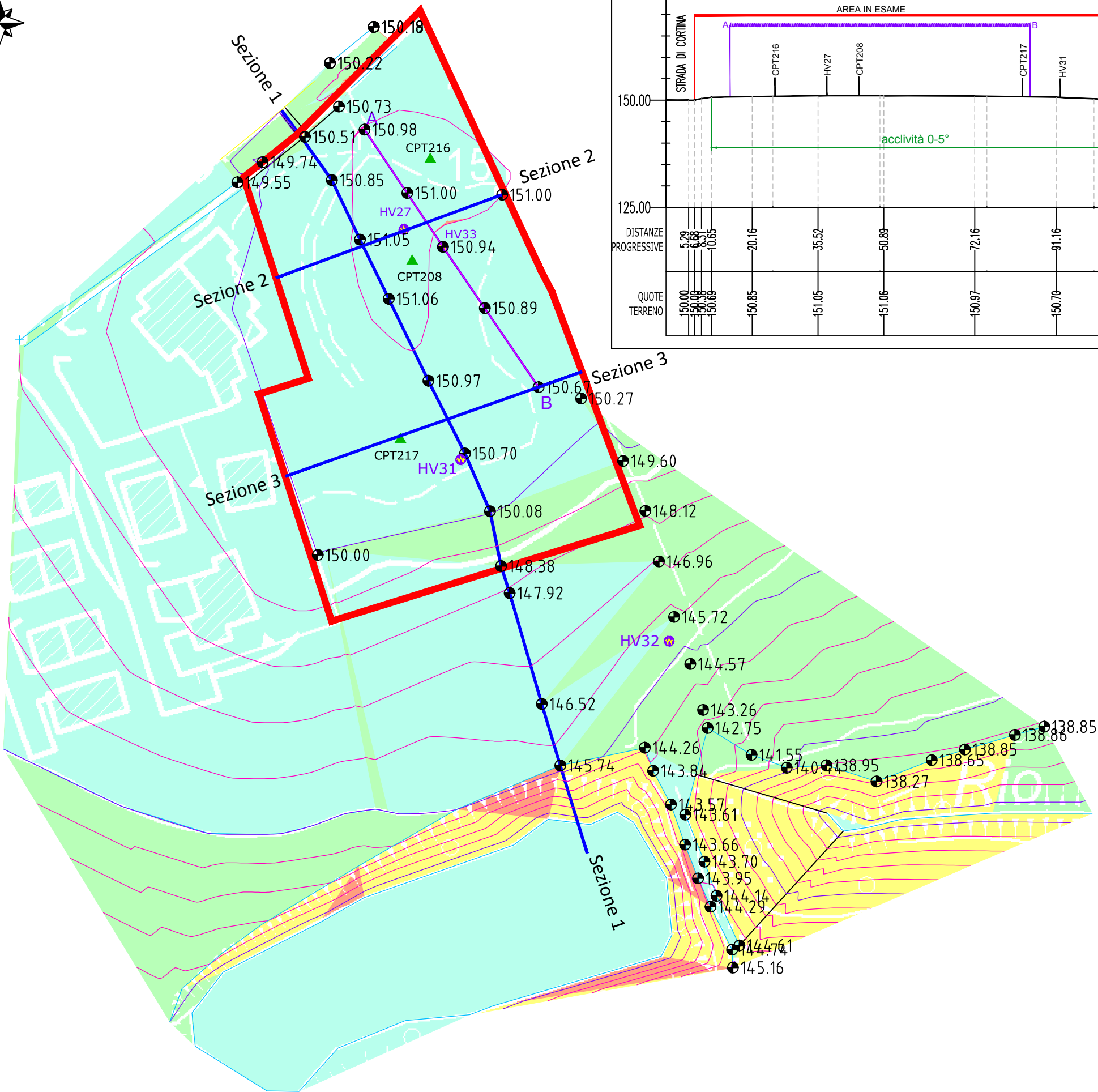
- GRUPPO ACQUIFERO A**
-  Complesso acquifero A0 = AES8
  -  Complesso acquifero A1 = AES7
  -  Complesso acquifero A1b = AES7b
  -  Complesso acquifero A1a = AES7a
  -  Complesso acquifero A2 = AES3
  -  Complesso acquifero C3 = CMZ  
Sono distinguibili due sottounità definite C3a e C3b
  -  Acquitardo ATS
  -  Complesso acquifero C4 = BDG  
Serbatoio bacino minerale
  -  Acquiclude basale = LUG
  -  Depositi presenti lungo i versanti o nelle vallecole (frane, soliflussi, depositi colluviali etc)

- PZC1  Pozzi idrici di cui è nota la stratigrafia
  - PZM456  PZxx Stratigrafie varie  
PMxx Da "Mille Pozzi"
  -  Pozzi censiti nel PAE (1996)
- Dati piezometrici:**  
 A = Gruppo/complesso acquifero  
 \_ 90.0 = livello piezometrico in m slm  
 \_ 5.00 = soggiacenza in m dal pc.  
 "d" indica una condizione dinamica  
 \_ 2003 = anno di rilevamento (sempre in periodo di magra)

-  Lago artificiale ad uso irriguo
-  Lago artificiale anche rinaturalizzato ad uso vario
-  Spessore complesso idrogeologico A2 < 10.0 m

SCALA 1:5.000

COMMITTENTE:	COMUNE DI ALSENO
ESTENSORI:	 <b>GEODE</b> strada Martinella 50/c 43124 Parma COMMESSA: G15_065
TITOLO:	R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio Variante Settembre 2015 TAV.4 - CARTA IDROGEOLOGICA FILE: TAV04.DWG
DATA: SETTEMBRE 2015	FILE: TAV04.DWG



### LEGENDA

- Confine comunale
- Area in esame

*Indagini geognostiche*

- CPT69 Prova penetrometrica statica
- SCPT6 Prova penetrometrica dinamica
- A-B Prova sismica tipo Masw
- HV11 Prova sismica tipo Hv

*Rilievo topografico*

- 150.27 Punto rilevato
- Isoipse principali [equidistanza 5m]
- Isoipse secondarie [equidistanza 1m]
- Traccia di sezione

*Carta dell'acclività*

- 0-5°
- 5-15°
- 15-30°
- >30°

SCALA 1:1.000

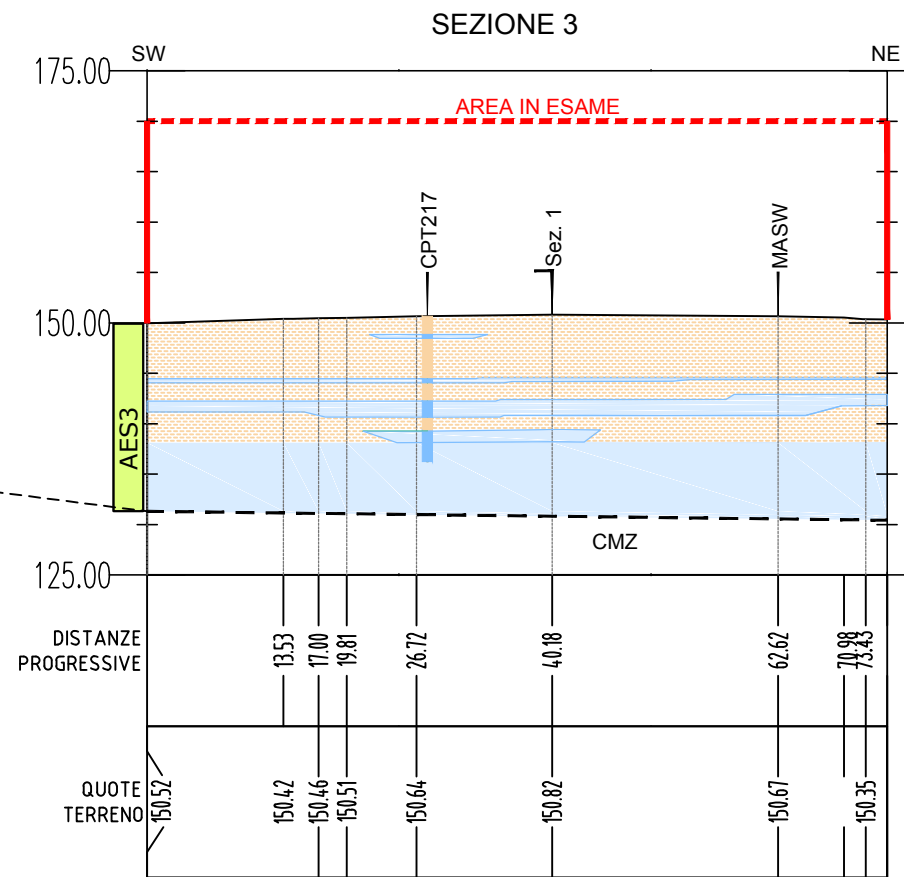
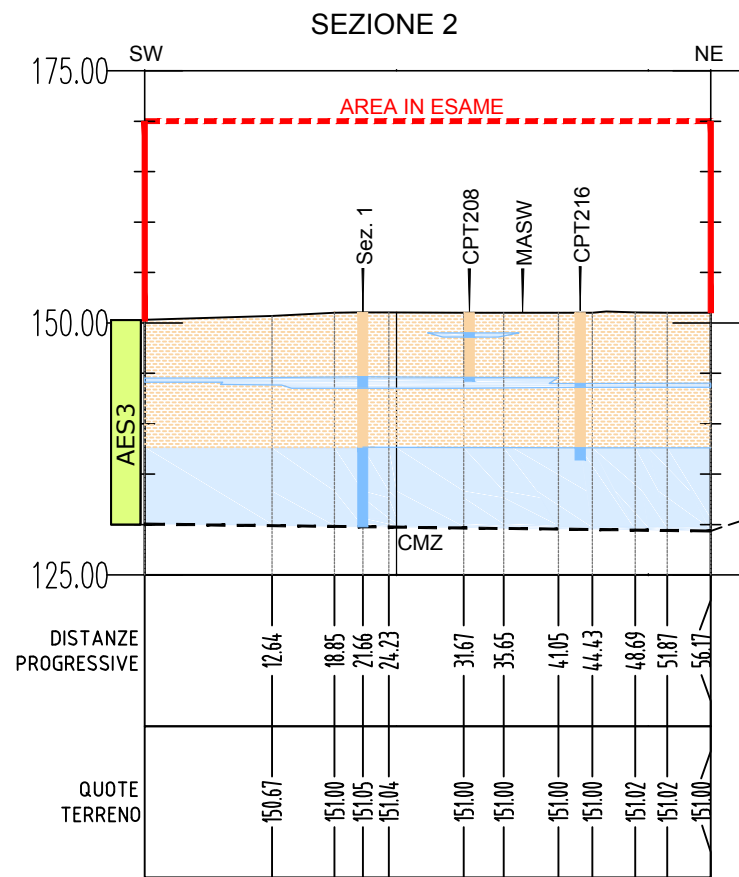
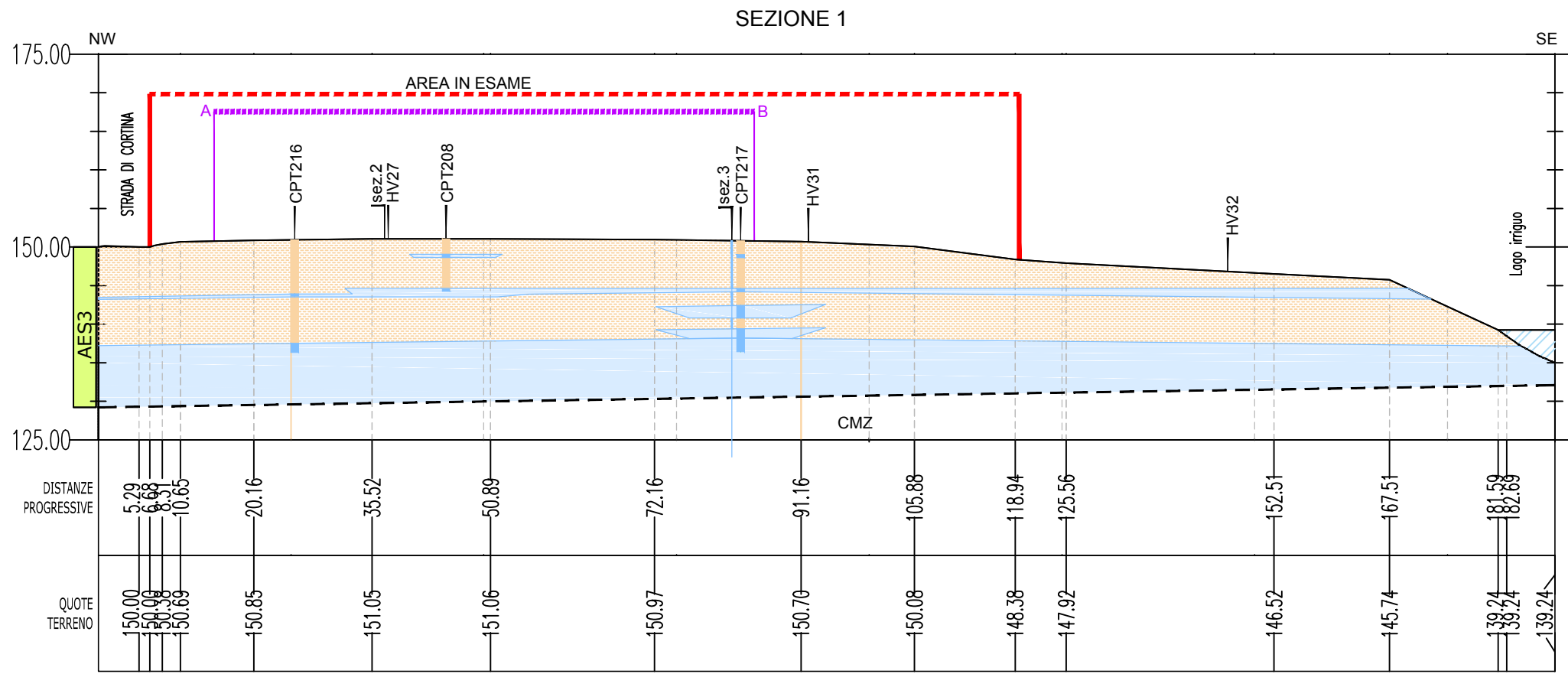
COMMITTENTE:  
**COMUNE DI ALSENSO**

DATA: SETTEMBRE 2015

ESTENSORI:  
 **GEODE**  
strada Martinella 50/c  
43124 Parma  
COMMESSA: G15\_065

TITOLO  
R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio  
Variante Settembre 2015  
**TAV.5 - RILIEVO TOPOGRAFICO, CARTA  
DELL'ACCLIVITA' E SEZIONE TOPOGRAFICA**  
FILE: TAV05.DWG





**LEGENDA**

**Unità geologiche**

Subsistema di Agazzano **AES3**

Sintema di Costamezzana **CMZ**

**Litologia**

Argille e limi

Ghiaie in matrice argilloso-sabbiosa

limite presunto continentale/marino

Substrato roccioso

**Indagini geognostiche**

CPT217 Prova penetrometrica statica

A-B Prova sismica a rifrazione e Masw

HV27 Prova sismica tipo Hv

SCALA 1:750

COMMITENTE:	COMUNE DI ALSENSO
ESTENSORI:	 GEODE strada Martinella 50/c 43124 Parma COMMESSA: G15_065
TITOLO	R.U.E. Regolamento Urbanistico Edilizio Variante Settembre 2015 TAV.6 - SEZIONI GEOLOGICHE
FILE: TAV06.DWG	DATA: SETTEMBRE 2015