COMUNE DI PORTO CERESIO

Provincia di Varese

DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA A SUPPORTO DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

L.R. 11 marzo 2005, n. 12 s.m.i.

ALLEGATO 12

RAPPORTO INDAGINE SISMICA DI II^ LIVELLO AREE DI TRASFORMAZIONE AT1-AT6

Aggiornamento in recepimento di:
- Deliberazione Giunta Provinciale P.V. n. 131 del 16.04.2013 Prot. n. 34955/7.4.1
- Osservazioni parere istruttorio Regione Lombardia Prot. n. Z1.2013.0011486 del 17.06.2013
- D.C.C. Porto Ceresio n. 10 del 19.06.2013

Luglio 2013

STUDIO TECNICO ASSOCIATO DI GEOLOGIA

Via Dante Alighieri, 27 - 21045 Gazzada Schianno (VA)
tel. 0332-464105 - fax 0332-870234
e_mail: tecnico@gedageo.it

Dott. geol. Roberto Carimati

Dott. geol. Giovanni Zaro

ABM - Studio Geologico Associato

Sede legale: Via N. Martignoni, 1
Fraz. Gornate Sup. - 21043 Castiglione Olona (VA)
Sede operativa: Via Europa, 33 - 21040 Morazzone (VA)
Tel. & Fax 0332 462004
Mail: info@abmgeo.it
Web: www.abmgeo.it

Committenti:

Comune di Porto Ceresio

via G. Butti, 8
Porto Ceresio (VA)

Indagini geofisiche per determinazione effetti sismici di sito con metodologia passiva (Re.Mi.) a supporto della redazione del Piano di Governo del Territorio - Ambiti di trasformazione AT1 e At6 -

Comune di Porto Ceresio (VA)

Maggio 2013

Dott. Geol. Luca Arieni
Ord. Geol. Reg. Lombardia n. 1169

Dott. Geol. Marco Canavesi
Ord. Geol. Reg. Lombardia n. 1547

Committente:
Comune di Porto Ceresio – Via G. Butti, 40 – Porto Ceresio (VA)

INDICE

1 INTRODUZIONE _____ 1

1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DEL LAVORO _____ 1

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI_____ 2

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED ELEMENTI PROGETTUALI 4

3 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO AI SENSI DELL' OPCM 3274/2003 E DELLE NTC 2008 _____ 5

3.1 CARATTERIZZAZIONE GENERALE DELL'AZIONE SISMICA _____ 5

3.2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI _____ 6

3.2.1 Categorie di suolo di fondazione _____ 6

3.2.2 Zona sismica di appartenenza_____ 8

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE – SECONDO LIVELLO _____ 12

4.1 APPROFONDIMENTO DI II° LIVELLO _____ 12

4.2 AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI – AMBITI DI TRASFORMAZIONE AT1 e AT6_____ 13

4.3 EFFETTI SISMICI DI SITO AI SENSI DELLE DIRETTIVE REGIONALI 14

4.4 INDAGINE GEOFISICA DI TIPO SISMICO PASSIVO RE.MI. – REFRACTION MICREOTREMOR _____ 14

4.5 GENERALITÀ SUL METODO RE.MI. _____ 15

4.6 MODALITA' ESECUTIVE RE.MI. _____ 18

4.7 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E PROFILO SISMICO VS30 – AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT1 – Via Casamora _____ 20

4.8 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E PROFILO SISMICO VS30 – AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT6 – Via Monte Piambello _____ 24

4.9 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO E DEL PERIODO DI RIFERIMENTO AL SITO _____ 28

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE _____ 35

TAVOLE:

Tav. 1: Corografia generale alla scala 1:10.000 (base topografica: stralcio dalle sezioni A4d2-A4d3-A4e2-A4e3 della Carta Tecnica Regionale – volo aggiornato al 1994);

Tav. 2 a: AT6 - via M.te Piambello - Ubicazione degli stendimenti alla scala 1:1.000 (base estr. Ril. Aerofot. comunale)

Tav. 2 b: AT1 - via Casamora - Ubicazione degli stendimenti alla scala 1:1.000 (base estr. Ril. Aerofot. comunale)

APPENDICI:

Appendice 1: Documentazione fotografica

Appendice 2: Schema tecnico sismografo GEODE Geometrics

Appendice 3a: Acquisizione Re.Mi. – AT1

Appendice 3b: Acquisizione Re.Mi. – AT6

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DEL LAVORO

La presente indagine geofisica, redatta su incarico del Comune di Porto Ceresio, ha per oggetto la caratterizzazione sismica di due aree site in Comune di Porto Ceresio (Provincia di Varese), in Via Casamora (Ambito di trasformazione AT1) e in via Monte Piambello (Ambito di trasformazione AT6), a supporto della redazione del Piano di Governo del Territorio dove sono previste rispettivamente la realizzazione di una struttura alberghiera e di un supermercato.

La presente relazione, redatta in conformità a quanto stabilito dal "Testo unico Norme tecniche per le costruzioni" - D.M. 14.01.2008, sarà così articolata:

- ✓ cenni sugli elementi di progetto;
- ✓ illustrazione delle indagini geofisiche per la valutazione degli effetti sismici di sito;
- ✓ interpretazione e risultati delle indagini geofisiche per la definizione delle Vs30;
- ✓ Individuazione della categoria di suolo di fondazione ai sensi del D.M. 14/01/2008 e dell' Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (suolo di fondazione tipo A-B-C-D-E-S1-S2);
- ✓ Valutazione del periodo di riferimento al sito e del periodo principale di vibrazione della struttura;
- ✓ Analisi sismica di II° livello ai sensi della D.G.R. 15.12.2011 n. VIII/2616;
- ✓ considerazioni conclusive.

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il seguente documento è stato elaborato sulla base delle indicazioni tecniche e direttive regolamentate dai seguenti indirizzi normativi:

- Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e relativi Allegati;
- Ordinanza n. 3316 del 2 Ottobre 2003: "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003";
- Ordinanza n. 3431 del 3 Maggio 2005: "Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003";
- Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006): "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)";
- D.G.R. 22.12.2005 n. VIII/1566 "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11marzo 2005, n. 12", in particolare l'Allegato 5 - "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio";
- D.G.R. 28.05.2008 n. VIII/7374 Aggiornamento dei "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11marzo 2005, n. 12", in particolare l'Allegato 5 - "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio";
- D.G.R. 15.12.2011 n. VIII/2616 inerente all'Aggiornamento dei "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12*";

- "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Ministero delle Infrastrutture e Trasporti: "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario - n.27);
- L. n. 77 del 24 giugno 2009: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile" –entrata in vigore definitiva delle NTC (01/07/2009).

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED ELEMENTI PROGETTUALI

Le aree oggetto del presente studio sono situate entro i confini comunali di Porto Ceresio, la prima area (Ambito di trasformazione AT1) si trova lungo via Casamora in prossimità del confine comunale coi comuni di Brusimpiano e Cuasso al Monte mentre la seconda area (Ambito di trasformazione AT6) è ubicata nella porzione centrale del comune di Porto Ceresio in via Monte Piambello, come individuabile sulla corografia generale di tavola 1 alla scala 1:10.000, stralciata dalle sezioni A4d2-A4d3-A4e2-A4e3 della Carta Tecnica Regionale.

L'intervento in dettaglio prevede la realizzazione di una struttura alberghiera all'interno dell'ambito di trasformazione AT1e la realizzazione di un'area commerciale per la grande distribuzione all'interno dell'ambito di trasformazione AT6.

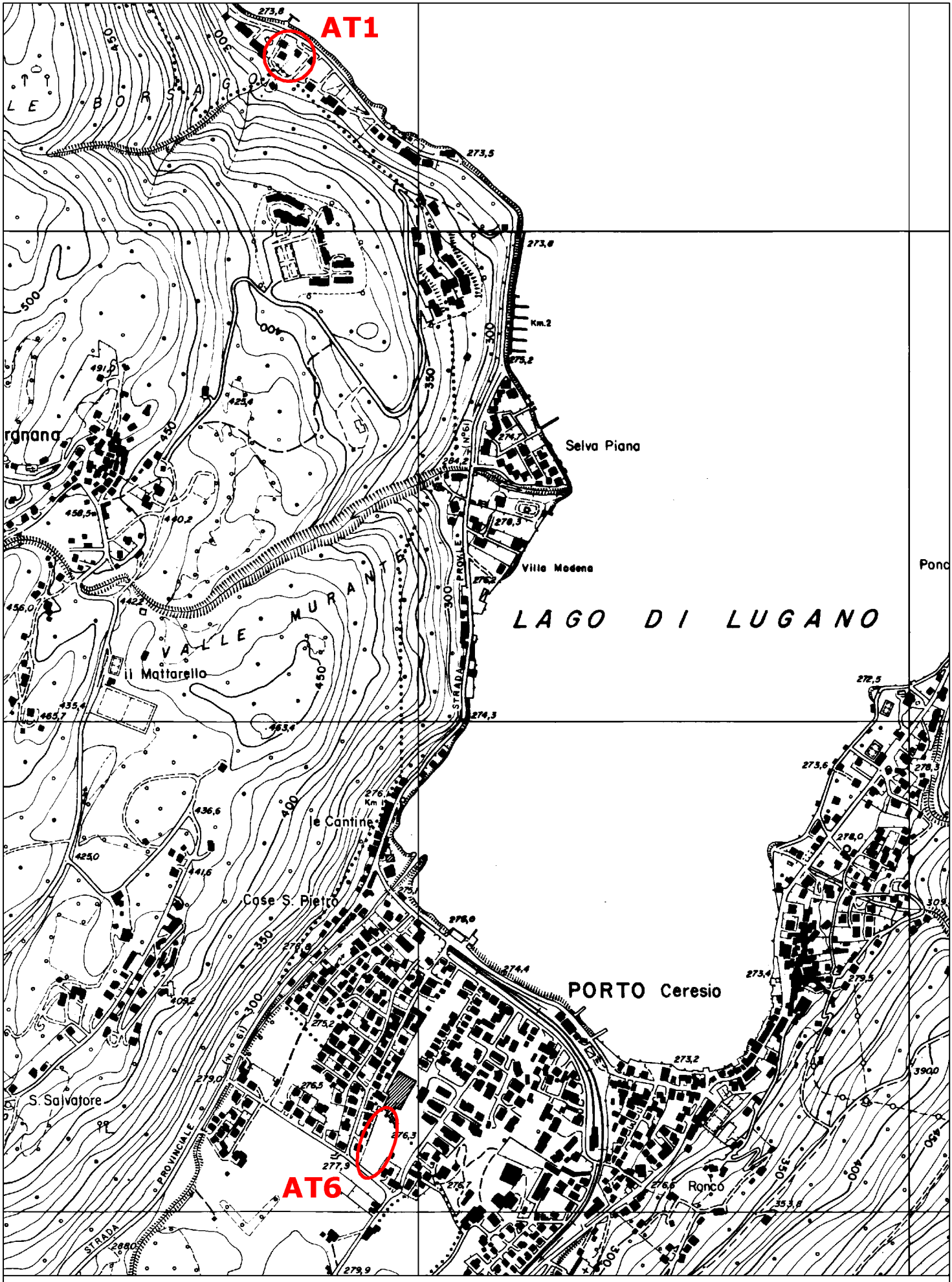


Tavola 1

Corografia di inquadramento alla scala 1:10.000

(base topografica stralciata dalle sezioni A4d2-A4d3-A4e2-A4e3 della Carta Tecnica Regionale)

3 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO AI SENSI DELL' OPCM 3274/2003 E DELLE NTC 2008

3.1 CARATTERIZZAZIONE GENERALE DELL'AZIONE SISMICA

Come accennato precedentemente, sia l'Ordinanza 3274 che le norme tecniche allegate al D.M. 14.01.2008 (entrate definitivamente in vigore dal 01/07/2009 con la L. n. 77 del 24 giugno 2009), disciplinano la progettazione di opere di fondazione e di sostegno dei terreni soggetti ad azioni sismiche, individuando i requisiti cui devono soddisfare i siti di costruzione ed i terreni di fondazione in presenza di tali azioni, sia per edifici di interesse pubblico che privato.

L'ordinanza e le nuove norme tecniche inoltre hanno portato ad un allineamento del sistema normativo in fatto di costruzione antisismica al sistema dei codici europei (EuroCode 8), aggiornando le norme contenute nel D.M. del 16 Gennaio 1996, abbandonando il metodo delle "Tensioni Ammissibili" (TA) ed adottando il metodo degli stati limite (SL).

Rispetto all'analisi alle TA, che considera solo il comportamento elastico, il caso sismico richiede l'attento esame del comportamento delle strutture soggette a sollecitazioni che comportano il superamento della fase elastica; infatti le strutture dispongono di una riserva di capacità in grado di assolvere la loro funzione anche al di là del limite elastico, che viene misurata attraverso la definizione del parametro di duttilità della struttura (fattore q).

La filosofia introdotta dalle nuove norme è legata ad un criterio prestazionale, ovvero il sistema edificio deve soddisfare requisiti minimi di sicurezza rispetto agli stati limite di funzionalità e collasso in caso di eventi sismici. In linea di principio il sistema deve garantire una prestazione "buona" per terremoti probabili, nel senso che devono essere soddisfatti requisiti più stringenti come per esempio assenza di danni strutturali

e conservazione della funzionalità del sistema, che potrebbero identificarsi come "stato limite di danno " (SLD); al contrario, per il terremoto poco probabile o severo, si richiede che il sistema garantisca una prestazione "sufficiente", nel senso che devono essere soddisfatti requisiti meno vincolanti, che potrebbero identificarsi come "stato limite ultimo" (SLU), come per esempio collassi parziali o interruzioni temporanee della funzionalità del sistema.

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

3.2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, unitamente alla normativa sismica nazionale, OPCM 3274/2003 e successive modificazioni, con l'Allegato 2 *"Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici"* disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti, con lo scopo di assicurare, in caso di evento sismico, la protezione della vita umana, la limitazione dei danni e il funzionamento delle strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Relativamente ai requisiti di sicurezza e ed ai criteri di verifica (cap. 2.4 *"Prescrizioni relative ai terreni di fondazione")* l' OPCM 3274/2003 prescrive che lo scopo delle indagini necessarie per la determinazione dell'azione sismica di progetto nel sito di costruzione è anche quello di classificare il terreno in una delle categorie di suolo di fondazione definite al cap. 3.1 *"Categorie di suolo di fondazione"*.

3.2.1 Categorie di suolo di fondazione

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo spettro di risposta elastico. Il moto orizzontale è

considerato composto da due componenti ortogonali indipendenti, caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. La componente verticale del moto sismico si considera rappresentata da uno spettro di risposta elastico diverso da quello delle componenti orizzontali. Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato), considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima (a_g) del terreno che caratterizza il sito.

Pertanto, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, l' OPCM 3274/2003 ha introdotto le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono a partire dal piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	*Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi*, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	*Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	*Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	*Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*	<180	<15	<70
E	*Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V_{s30} > 800m/s			

Alle cinque categorie principali si aggiungono altre due categorie per le quali vengono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
S1	*Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza*, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di VS30 < 100 m/s (10 < cu < 20kPa)	< 100	-	-
S2	*Depositi di terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti*	-	-	-

La classificazione viene effettuata sulla base del parametro V_S30 che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio Vs (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$ %) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m al di sotto del piano di fondazione. L'assegnazione della categoria di suolo costituisce l'aspetto principale nella definizione dell'azione sismica in quanto definisce le condizioni litologiche e morfologiche proprie dell'area in esame, in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate dalla sorgente che si propagano verso la superficie (fattore di amplificazione litologico e/o morfologico).

Vista l'importanza di questo aspetto l'area in cui è inserito il progetto in studio è stata classificata sulla base del valore delle V_{s30}, misurato direttamente in sito attraverso un'apposita indagine geofisica di tipo passivo Re.Mi. – Refraction Microtremor.

3.2.2 Zona sismica di appartenenza

L'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 ha aggiornato la normativa sismica previgente con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di

un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo.

Il territorio del comune di Porto Ceresio (VA) secondo la nuova classificazione appartiene alla zona Z4 caratterizzata dal valore di "accelerazione sismica di picco al suolo" (PGA: Peak Ground Acceleration) a_g <= 0,05g (g=9.81 m/s^2). Più in dettaglio, per il Comune di Porto Ceresio (VA), in base ad una griglia di calcolo con spaziatura 0.05° long. - lat. dei valori di accelerazione a diversi periodi di ritorno calcolati per l'intero territorio nazionale (rif. *Università degli Studi di Urbino - Istituto di Geologia Applicata, Progetto di Pericolosità sismica del territorio nazionale: Spettri a pericolosità uniforme attesi a ciascun capoluogo comunale con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, ca. 475 anni di periodo di ritorno*), i valori di picco di accelerazione su suolo rigido, riferiti direttamente alle coordinate del centro-capoluogo di Porto Ceresio (VA), sono:

PGA ***picco di accelerazione (in g)***	***PGV*** ***velocità (in cm/sec)***
0,038	2,267

La Regione Lombardia, con D.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza 3274/2003. In particolare, in base alla riclassificazione della Regione Lombardia, il Comune di Porto Ceresio (VA) ricade in una zona a "sismicità bassa" (ora Zona 4) con valori minimi di accelerazione al suolo, come evidenziato nella seguente figura 1.

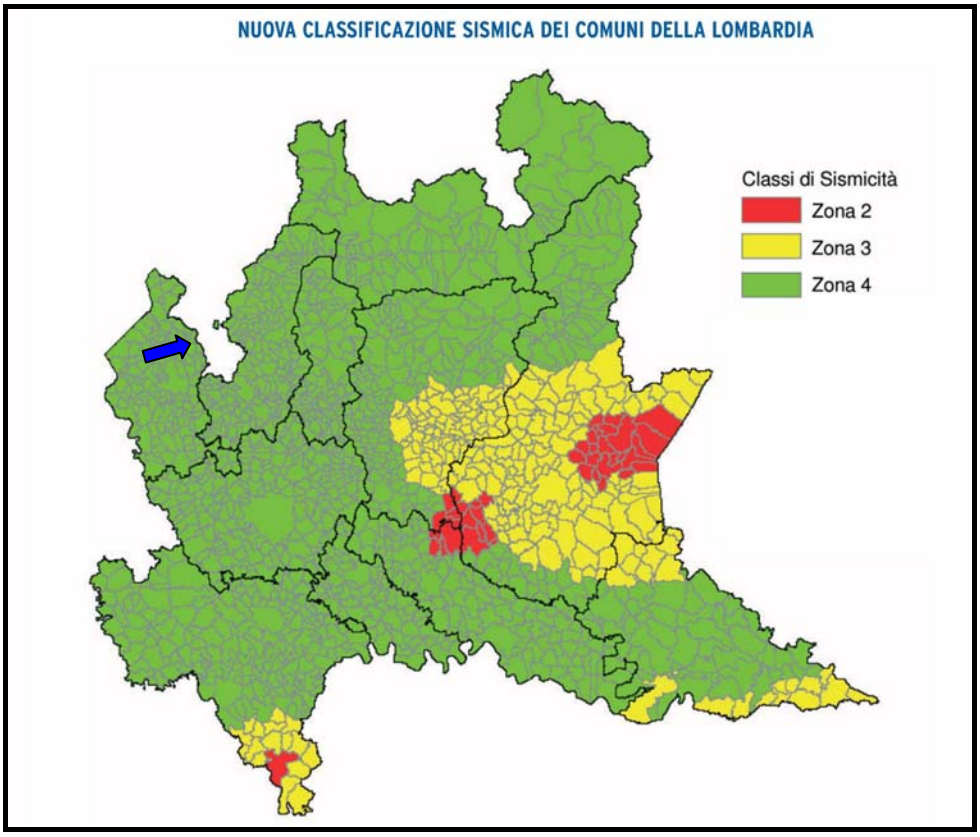


Figura 1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n.7/14964 del 7 novembre 2003).

A completamento si riportano alcune valutazioni relative al comune di Porto Ceresio provenienti da studi di pericolosità sismica del territorio nazionale.

In particolare si riporta in figura 2 la mappa dei valori dell'accelerazione orizzontale massima (PGA) che ha la probabilità del 10% di essere superata almeno una volta nei prossimi 50 anni.

Da questa figura si ricava che il territorio di Porto Ceresio risulta contraddistinto da un valore di PGA compreso tra 0.025 e 0.05g (elaborazione INGV, 2004 e 2006).

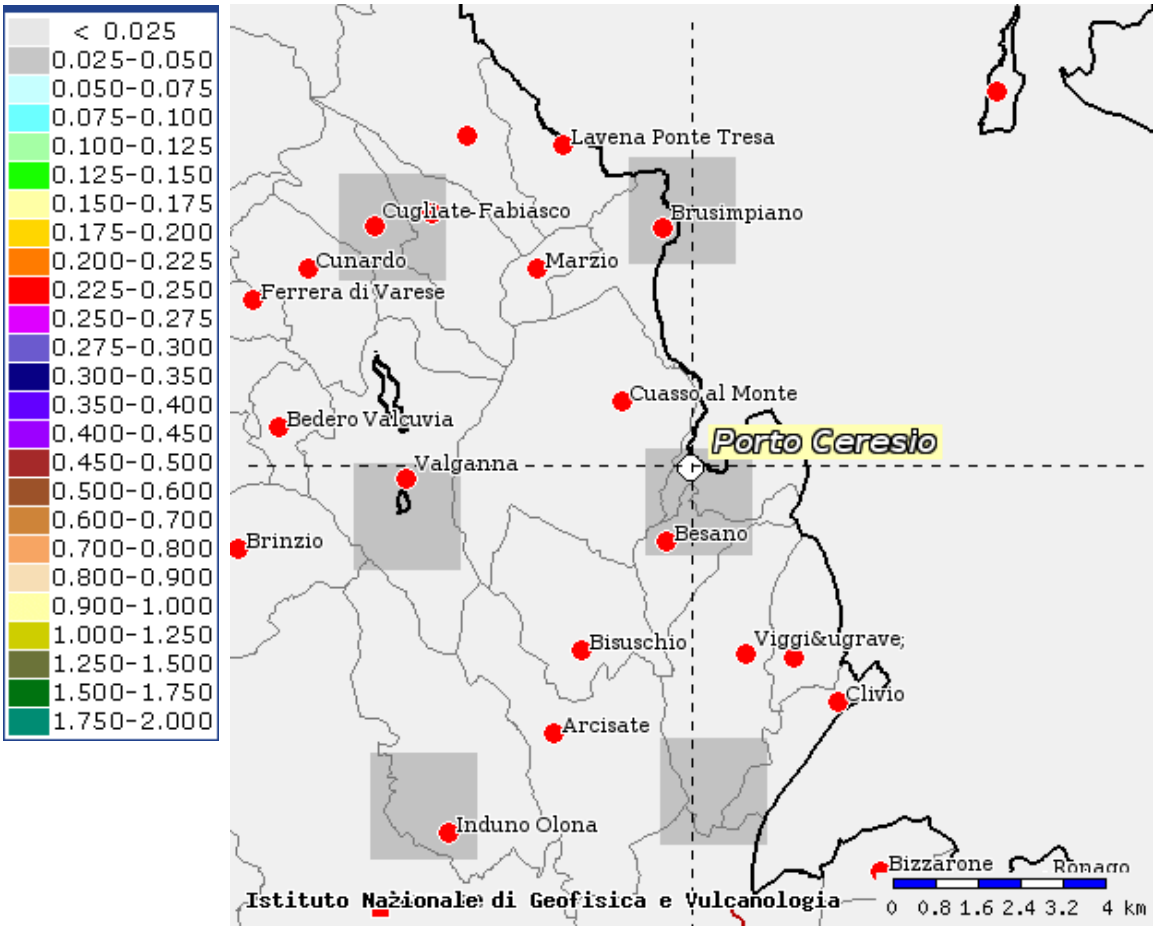


Figura 2: valori di PGA espressi come frazione di g con il 10% di eccedenza nei prossimi 50 anni relativi al Comune di Porto Ceresio (elaborazione INGV, 2006).

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE – SECONDO LIVELLO

4.1 APPROFONDIMENTO DI II° LIVELLO

L'approfondimento di II° livello, così come previsto nell'Allegato 5 alla D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 1566 (ora D.G.R. 15.12.2011 n. VIII/2616), ha lo scopo di valutare alla scala del sito in studio ("microzonazione") se gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa vigente (OPCM 3274/03 e NTC 2008) sono sufficienti a verificare in modo esaustivo gli effetti di amplificazione litologica propri dell'area in esame.

L'approfondimento di II° livello consiste nel confrontare il valore di Fa (Fattore di Amplificazione) caratteristico dell'area in cui è inserito il progetto in esame rispetto al valore di Fa caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: quest'ultimo valore, detto Fa di soglia, è noto e fa riferimento ad un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia, suddiviso per categoria di suolo di fondazione e per periodo di riferimento.

Comune: Porto Ceresio (Provincia di Varese)			
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s			
Suolo tipo B	*Suolo tipo C*	*Suolo tipo D*	*Suolo tipo E*
1.4	1.8	2.2	2.0
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s			
Suolo tipo B	*Suolo tipo C*	*Suolo tipo D*	*Suolo tipo E*
1.7	2.4	4.2	3.1

In particolare, i valori soglia di Fa relativi al periodo di riferimento 0.1-0.5 s vengono utilizzati per applicazioni inerenti edifici strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s viene utilizzato per strutture più alte e più flessibili.

4.2 AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI – AMBITI DI TRASFORMAZIONE AT1 E AT6

Nel quadro generale della pericolosità sismica del territorio comunale di Porto Ceresio, come espresso nel capitolo precedente, in relazione alle condizioni locali dettate da determinate situazioni stratigrafiche che possono portare ad un'amplificazione e a una modificazione dell'accelerazione sismica, sostanzialmente confermate nel corso del presente studio, gli ambiti di trasformazione AT1 e AT6 rientrano tra le "zone con basso rischio di amplificazione dell'accelerazione sismica".

In particolare l'area di trasformazione AT1 nella porzione settentrionale del territorio comunale, è classificata in zona "*Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre*" all'interno della Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL); l'ambito di trasformazione AT6 localizzato nella porzione pianeggiante meridionale del territorio di Porto Ceresio, rientra all'interno della zona "*Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali granulari e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*".

L'ambito di trasformazione AT1 (vedi NTA del D.d.P. dicembre 2012), localizzato lungo via Casamora nella porzione settentrionale del territorio comunale al confine con il comune di Brusimpiano e Cuasso al Monte, prevede una superficie territoriale di 5.150 mq con destinazione d'uso ad attività turistico-ricettive - RA (Par. 5.1 delle N.T.A del D.d.P.).

L'ambito di trasformazione AT6, localizzato lungo via Monte Piambello nella porzione centrale del territorio comunale, prevede una superficie territoriale di 5.400 mq con destinazione d'uso

- ✓ Residenziale - R,

- ✓ esercizi commerciali di vicinato – C1,
- ✓ medie strutture di vendita non food – C2,
- ✓ pubblici esercizi di contesto – C6,
- ✓ attività terziarie di contesto – T1,
- ✓ attività artigianale di servizio non molesto - I4.a

come previsto nel Par. 5.1 delle N.T.A del D.d.P.

4.3 EFFETTI SISMICI DI SITO AI SENSI DELLE DIRETTIVE REGIONALI

In merito alla valutazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale e dello spettro di risposta elastico e/o di progetto da adottare la Regione Lombardia ha introdotto con l'Allegato 5 alla D.G.R. 22.12.2005 n. VIII/1566 (ora D.G.R. 15.12.2011 n. VIII/2616) i criteri da utilizzarsi per l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito.

Tali criteri prospettano diversi livelli di approfondimento che vanno da una semplice suddivisione del territorio sulla base di osservazioni di tipo geologico e geomorfologico (I° Livello) alla caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi (II° Livello – verifica dei fattori di amplificazione attesi e compatibilità con i parametri sismici forniti dalla normativa nazionale) e, nel caso di superamento dei valori di soglia (Fattori di Amplificazione) nel II° Livello, un ulteriore approfondimento di tipo quantitativo (III° Livello) che va a ridefinire i parametri sismici caratteristici.

4.4 INDAGINE GEOFISICA DI TIPO SISMICO PASSIVO RE.MI. – REFRACTION MICREOTREMOR

Le tecniche correntemente utilizzate (Down-Hole, Cross-Hole, MASW, SASW) per la stima delle velocità delle onde di taglio allo scopo di caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica sono normalmente onerose e complesse per

poter essere utilizzate come indagini di routine per la classificazione dei profili stratigrafici dei primi 30 m dei suoli di fondazione, soprattutto per progettazioni di opere di scarsa o modesta entità e concentrate in aree di proprietà poco estese. Contrariamente, la tecnica di Refraction Microtremor (Re.Mi.) utilizzata a supporto della presente relazione risulta molto utile per determinare velocemente ed economicamente l'andamento della velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (Vs30) e quindi la categoria del suolo di fondazione in base al nuovo DPCM 3274 del 20 marzo 2003; inoltre, tale metodologia è anche usata per analisi di liquefazione, determinazione del profilo del terreno, mappatura del substrato, stima degli stati tensionali dei materiali costituenti il sottofondo e determinazione di anomalie sotterranee.

In particolare, questa tecnica, sviluppata negli Stati Uniti a partire dal 2001, viene estensivamente utilizzata nell'ambito del NEHRP (National Earthquacke Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di Vs30 e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana. In particolare, per gli scopi specifici della presente relazione sono state effettuate un totale di n. 18 registrazioni lungo n. 1 stendimento all'interno di ciascuna area in esame, come riportate cartograficamente nelle tavole seguenti (Tavola 2-a e 2-b: ubicazione degli stendimenti alla scala 1:1000).

4.5 GENERALITÀ SUL METODO RE.MI.

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. Il software commerciale (ReMi®) che supporta questo tipo di elaborazione è stato prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito (velocità delle onde di taglio S) tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh (V_R) ed un successivo processo di inversione.

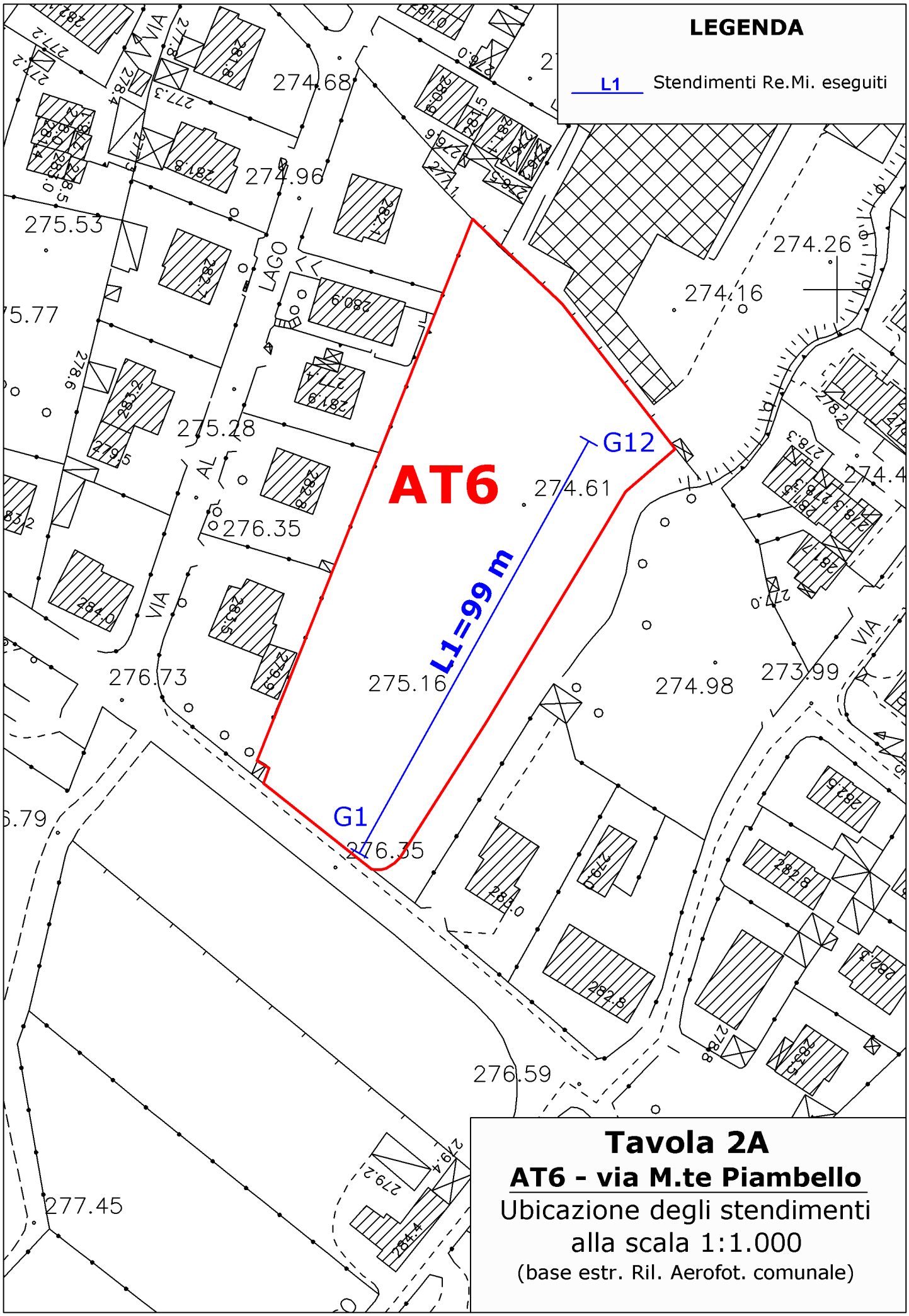


Tavola 2A

AT6 - via M.te Piambello

Ubicazione degli stendimenti
alla scala 1:1.000
(base estr. Ril. Aerofot. comunale)

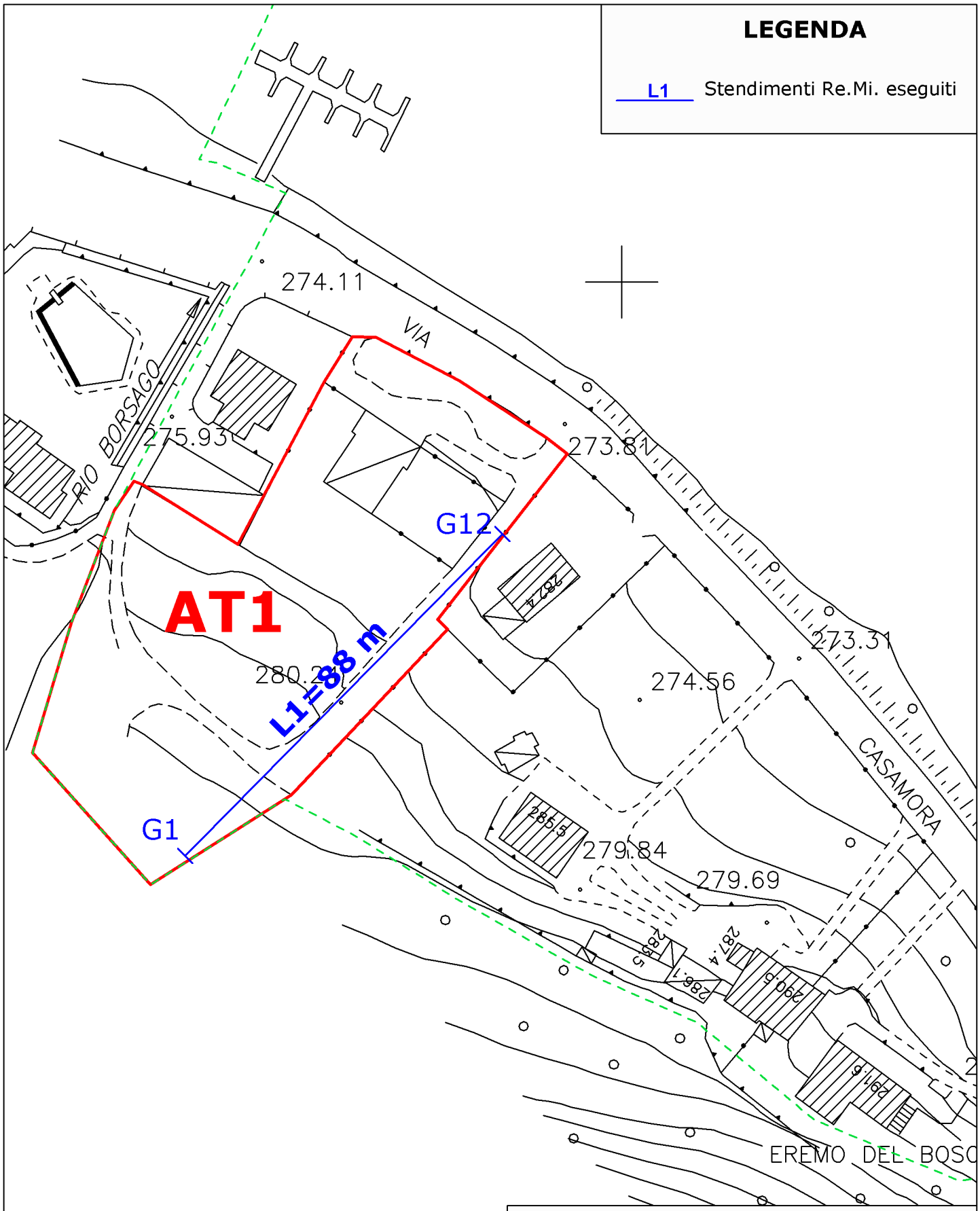


Tavola 2B

AT1 - via Casamora

Ubicazione degli stendimenti
alla scala 1:1.000
(base estr. Ril. Aerofot. comunale)

Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

Le sorgenti sismiche consistono in "rumori ambientali", o microtremori, costantemente generati da disturbi naturali o artificiali (traffico veicolare, cantieri e mezzi d'opera, vibrazioni indotte da esplosioni o dalla caduta di gravi, e molti altri). A causa del sistema di acquisizione dei dati e delle sorgenti necessarie a generare i microtremori, questo metodo è più veloce e soprattutto economicamente più conveniente rispetto alle indagini sismiche in foro e agli altri metodi sismici superficiali utilizzati per il calcolo del profilo delle onde di taglio

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare, eventualmente in posizioni ortogonali tra loro in caso di sorgenti di rumore ambientale fisse, utilizzando da 12 a 48 geofoni verticali; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni verticali con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30 s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30 Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f (cfr. figura 4).

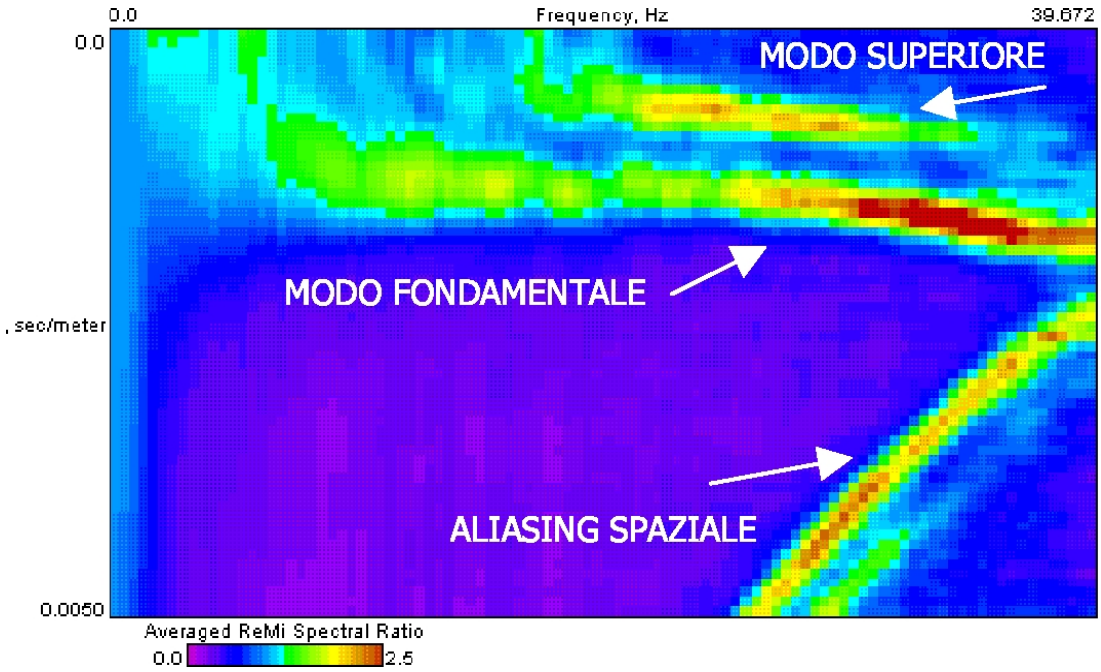


Figura 3: esempio di spettro di potenza p-f.

Le metodiche analitiche del sistema rendono possibile operare in ambienti fortemente "deteriorati" vibrazioni disperse tipiche del rumore urbano e industriale tanto che ogni sito si presta ad essere studiato a patto che ci sia le condizioni logistiche per realizzare array lineari tra 50 e 200 m complessivi.

I profili Re.Mi. possono essere realizzati anche su terreni solitamente inadatti all'accoppiamento di geofoni ed elettrodi quali ad esempio le pavimentazioni stradali, i marciapiedi e/o i manti d'usura.

La procedura di registrazione dei dati consiste in n. 5 o più registrazioni di rumori sismici per ciascuna postazione, ognuno di durata pari almeno a 30 secondi, usando sismografo a rifrazione e geofoni convenzionali P-wave. La trasformazione del campo di onde della registrazione del rumore rivela la curva di dispersione dell'onda di taglio (S-wave dispersion curve). Sulla curva di dispersione dell'onda di taglio vengono poi selezionati i punti (picking) necessari alla determinazione del profilo di velocità dell'onda di taglio nel substrato.

In definitiva l'elaborazione del software ReMi prevede tre passi:

- Analisi Spettrale di Velocità
- Picking della Dispersione delle Velocità di fase delle onde di Rayleigh
- Modellazione della Velocità delle Onde di Taglio

Nella prima fase elaborativa si svolgono in sequenza alcuni passi obbligati tra cui la conversione dei file dati in forma SEG-Y e il preprocessing che filtra ed equalizza le tracce. Viene richiesta l'introduzione di alcuni parametri quali la geometria utilizzata, la frequenza massima, la velocità di fase minima di partenza ed il numero di vettori "slowness". Il corretto dimensionamento di questi parametri ha lo scopo di diminuire il grado di incertezza e di arbitrarietà che distingue le operazioni di campionatura della curva di dispersione (picking).

L'operazione di picking prevede di selezionare un certo numero di triplette di valori (f, p, V-apparente) ricalcando il trend visualizzato nel grafico p-f.

I dati selezionati dall'immagine p-f vengono quindi plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile dall'interpretatore. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità (peso di volume naturale) dei terreni attraversati la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

Una volta ottenuta la modellazione più confacente ai dati sperimentali, il profilo stratigrafico in termini di Vs permette la determinazione delle Vs medie relative ai primi 30 m di profondità.

4.6 MODALITA' ESECUTIVE RE.MI.

Conformemente alle direttive tecniche ed alle normative vigenti in campo sismico, per la ricostruzione del profilo stratigrafico dei primi 35 m dei suoli di fondazione e, conseguentemente, per la definizione della velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (Vs30) è stato realizzato n. 1 stendimento di 12 geofoni per ciascun ambito per una lunghezza complessiva rispettivamente di 88

m (Ambito di trasformazione AT1) e 99 m (Ambito di trasformazione AT6) ed ubicati come riportato in tavola 2-a e 2-b.

Ciascuna registrazione di rumore ambientale è stata condotta per un periodo di ascolto di 30 s ed un passo di campionamento di 2 ms. Allo scopo di registrare tutti i segnali in arrivo non è stato pre-impostato nessun filtro in frequenza.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con lo strumento GEODE Geometrics a 12 canali e ad elevata dinamica di segnale. Il GEODE è uno strumento modulare, alimentato con batterie esterne da 12 Volt, guidato da una unità di controllo esterna (PC portatile) su cui è installato il software che gestisce autonomamente il testing dei collegamenti e delle interfacce e l'acquisizione (Seismodule Controller).

Le caratteristiche principali dello strumento sono le seguenti:

- 24 bit di risoluzione
- Larghezza di banda: 1.75 Hz – 20000 Hz
- Intervalli di campionamento da 0.02 ms (50000 campioni/secondo) a 16 ms
- Range dinamico di sistema 144 dB (110 dB misurato, a 2 ms)
- Distorsione: 0.0005%
- Consumo: 7 W / 12 canali
- Tenuta stagna a prova di immersione
- Accuratezza del trigger: 1/32 del passo di campionamento

I geofoni utilizzati sono del tipo "Sensor" con frequenza tipica di 14 Hz collegati tramite appositi cavi, con take-outs ogni 10 m, al GEODE.

Come precedentemente accennato, il metodo è valido ed applicabile solamente se accoppiato all'analisi della trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) per mezzo del software applicativo ReMi®, che supporta questo tipo di elaborazione, prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).

4.7 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E PROFILO SISMICO VS30 – AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT1 – Via Casamora

In relazione alle condizioni logistiche ed alla disponibilità di "rumore ambientale" nel sito di indagine è stato possibile acquisire n. 1 Array lineare della lunghezza di 88 m disposti come identificato in figura 2-a.

La sommatoria delle registrazioni effettuate ha permesso di ricostruire un'analisi spettrale di velocità, i cui risultati sono riportato in figura 5a, e, conseguentemente, di effettuare un'operazione di picking della dispersione delle Velocità di fase delle onde di Rayleigh, anch'essa evidenziata nella figura 5a.

I valori ottenuti di dispersione della velocità di fase sono stati quindi rappresentati nelle figura 6a, sovrapposti al successivo risultato della modellazione per l'analisi di velocità delle onde di taglio.

Come visibile dai grafici in figura 6a, la sovrapposizione tra il picking della velocità di fase (valori misurati) ed il risultato del processo di inversione e modellizzazione (valori calcolati) permettono di validare la procedura di calcolo ed il modello stesso.

La curva di dispersione calcolata ha quindi consentito di ricostruire un modello di velocità delle onde trasversali come riprodotto nella seguente figura 7a.

Il modello di velocità che meglio si adatta ai valori di picking permette di evidenziare una successione di strati a diversa Velocità delle onde trasversali Vs, come riportato sinteticamente nella seguente tabella:

Strato	Profondità letto strato (m)	Velocità onde trasversali V_s (m/s)
1	-8.40	250.82
2	-19.10	446.28
3	-35.00	1300.44

***Tabella 4.1**: Modello di velocità array L1*

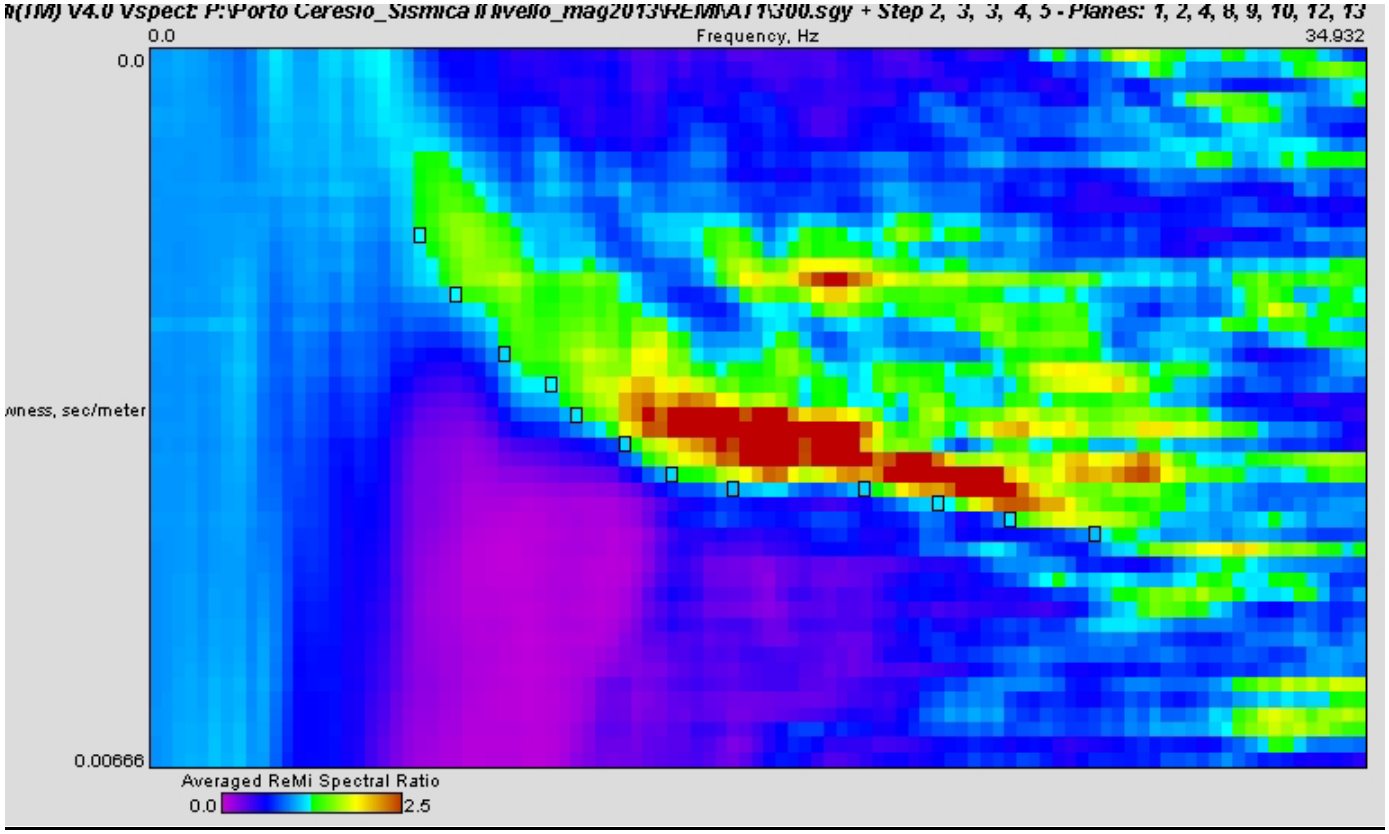
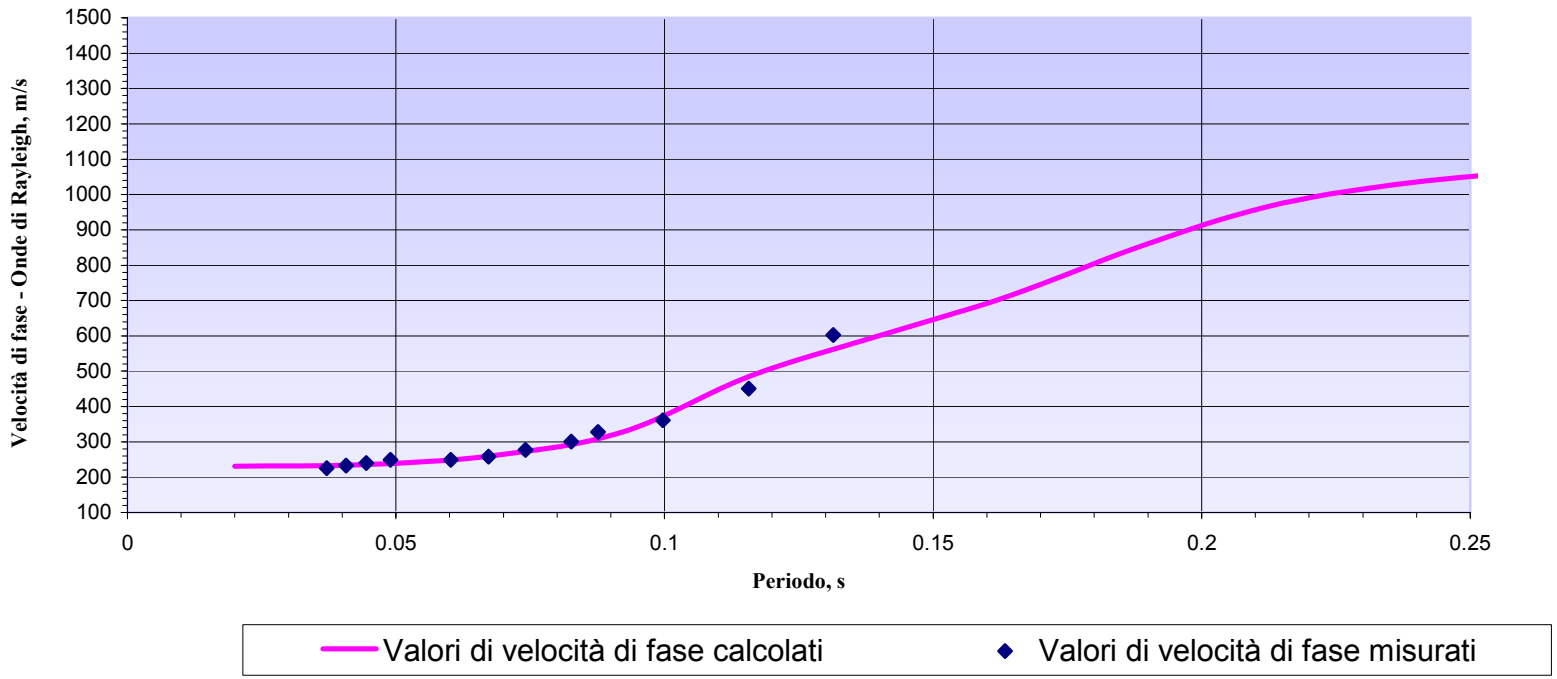


Figura 5a: *Immagine lentezza/frequenza (p/f) e picking Stendimento L1, Ambito di trasformazione AT1*

Figura 6a: Curva di dispersione delle velosità di fase, misurata e calcolata AT1, Via Casamora - Porto Ceresio (VA)



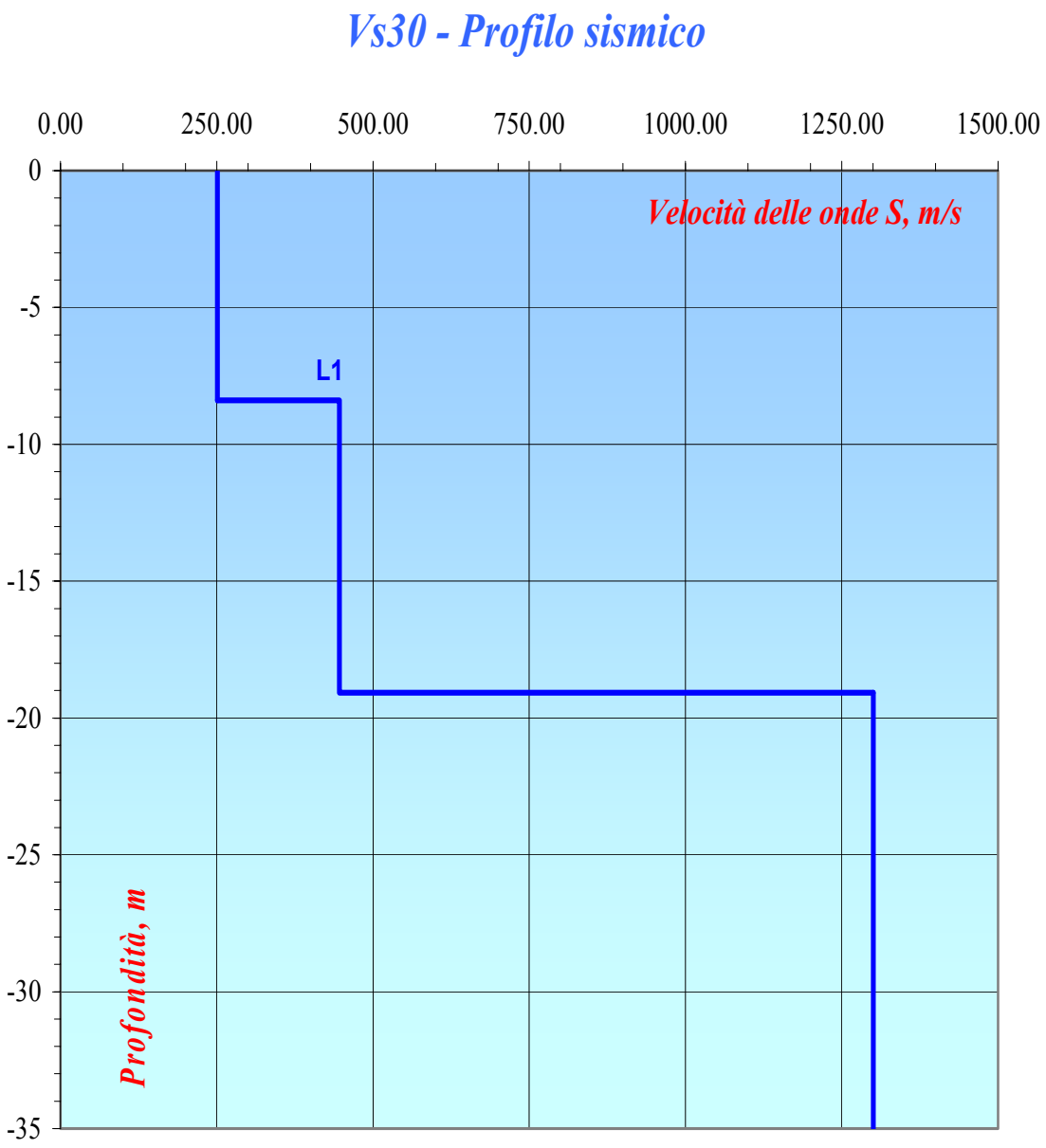


Figura 7a: *Modello di velocità delle onde trasversali Vs a seguito del modello di inversione Stendimento L1, Ambito di trasformazione AT1.*

4.8 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E PROFILO SISMICO VS30 – AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT6 – Via Monte Piambello

In relazione alle condizioni logistiche ed alla disponibilità di "rumore ambientale" nel sito di indagine è stato possibile acquisire n. 1 Array lineare della lunghezza di 99 m disposti come identificato in tavola 2-b.

La sommatoria delle registrazioni effettuate ha permesso di ricostruire un'analisi spettrale di velocità, i cui risultati sono riportato in figura 5b, e, conseguentemente, di effettuare un'operazione di picking della dispersione delle Velocità di fase delle onde di Rayleigh, anch'essa evidenziata nella figura 5b.

I valori ottenuti di dispersione della velocità di fase sono stati quindi rappresentati nelle figura 6b, sovrapposti al successivo risultato della modellazione per l'analisi di velocità delle onde di taglio.

Come visibile dai grafici in figura 6b, la sovrapposizione tra il picking della velocità di fase (valori misurati) ed il risultato del processo di inversione e modellizzazione (valori calcolati) permettono di validare la procedura di calcolo ed il modello stesso. La curva di dispersione calcolata ha quindi consentito di ricostruire un modello di velocità delle onde trasversali come riprodotto nella seguente figura 7b.

Il modello di velocità che meglio si adatta ai valori di picking permette di evidenziare una successione di strati a diversa Velocità delle onde trasversali Vs, come riportato sinteticamente nella seguente tabella:

Strato	Profondità letto strato (m)	Velocità onde trasversali V_s *(m/s)*
1	-6.02	108.90
2	-17.25	218.69
3	-35.00	505.19

***Tabella 4.2**: Modello di velocità array L1*

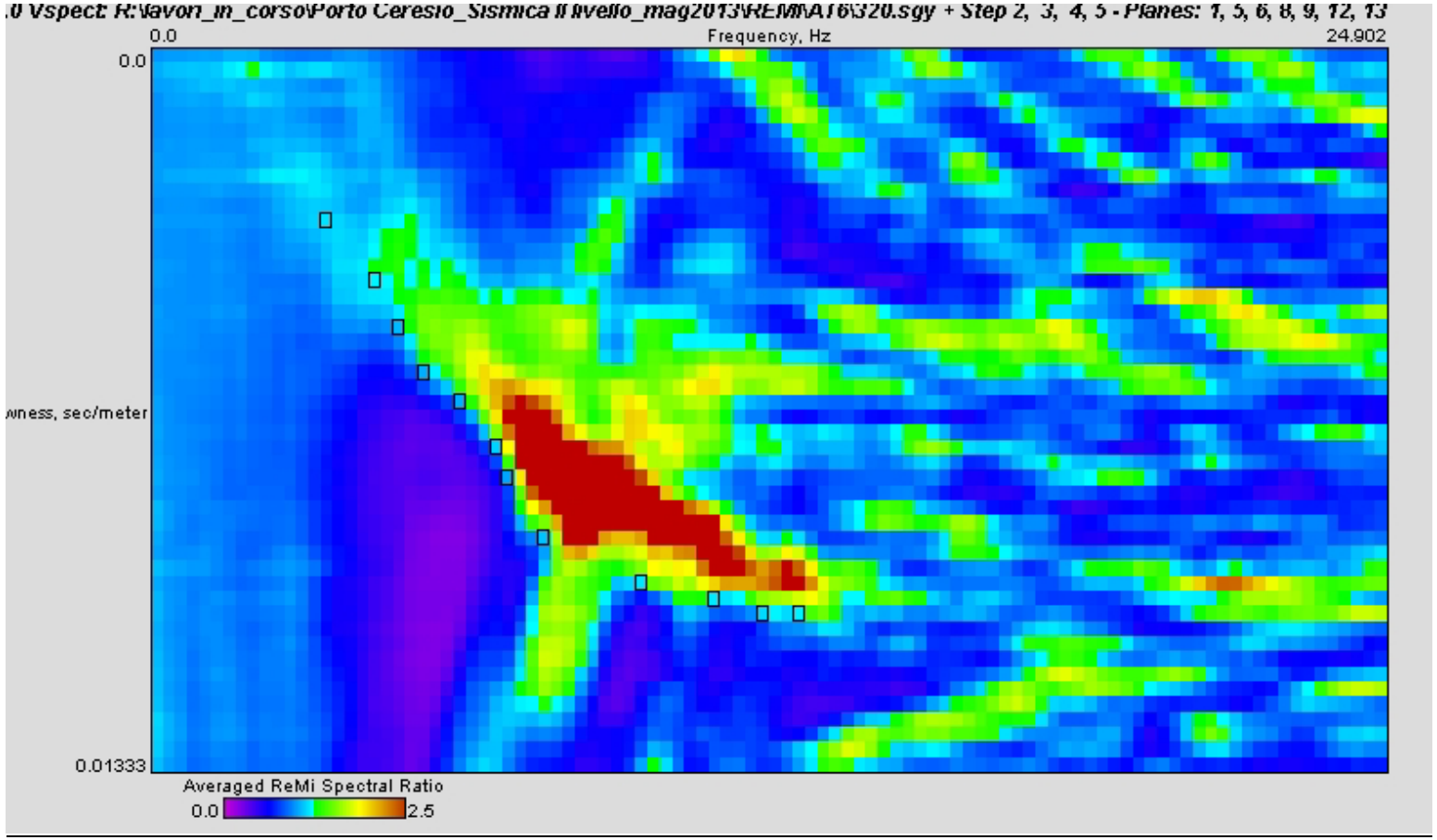
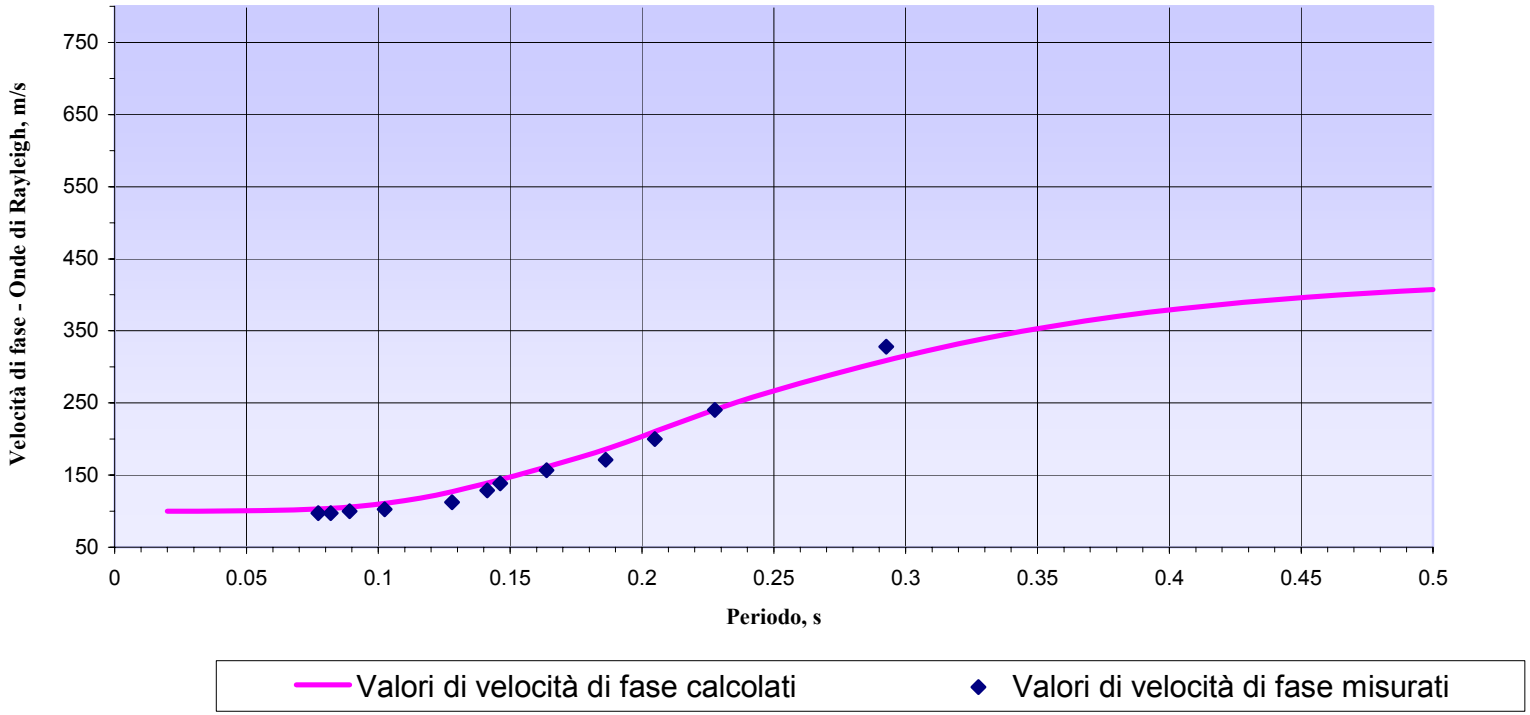


Figura 5b: *Immagine lentezza/frequenza (p/f) e picking Stendimento L1, Ambito di trasformazione AT6*

Figura 6b: Curva di dispersione delle velosità di fase, misurata e calcolata
AT6 , via Monte Piambello - Porto Ceresio(VA)



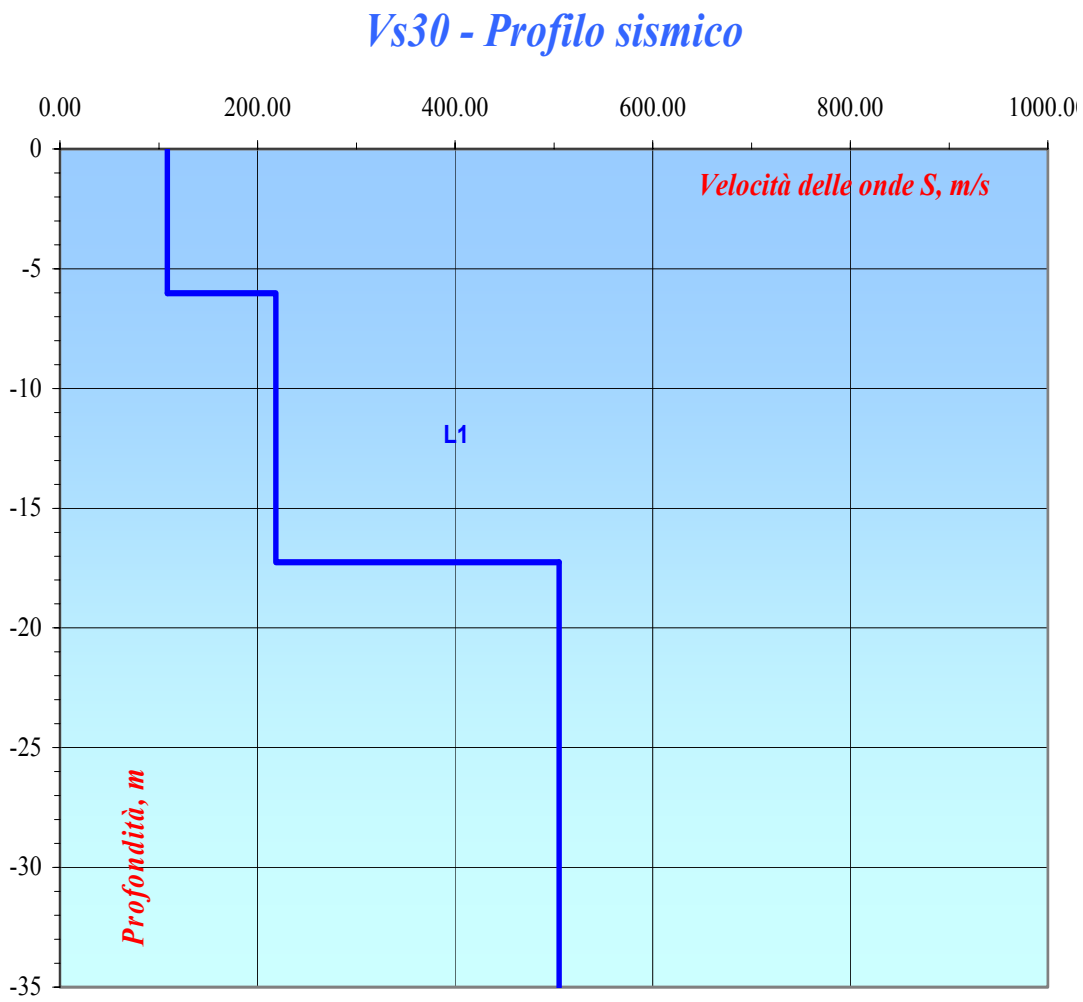


Figura 7b: *Modello di velocità delle onde trasversali Vs a seguito del modello di inversione Stendimento L1, Ambito di trasformazione AT6.*

4.9 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO E DEL PERIODO DI RIFERIMENTO AL SITO

A questo punto, noti i valori di Vs fino a 35 m di profondità, può essere effettuato il calcolo della velocità media di propagazione delle onde di taglio S riferita ai 30 m di spessore oltre il piano di fondazione dei manufatti (ipotizzati per semplificazione a -1, -2, -3, -4, -5 m da p.c.), con l'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} H_i / V_i}$$

ottenendo i valori di Vs_{30} per ogni profondità di riferimento.

Con le stesse modalità, il periodo caratteristico del sito, una volta noto il profilo sismo-stratigrafico locale, può essere calcolato a partire dalla seguente equazione, S riferita ai 30 m di spessore oltre il piano di fondazione dei manufatti (ipotizzati per semplificazione a -1, -2, -3, -4, -5 m da p.c.):

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

dove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del profilo fino all'ipotetico raggiungimento del substrato rigido (V_s>800 m/s).

Utilizzando il modello di velocità ricostruito sulla base dell'indagine sismica appositamente realizzata nell'area si ottengono i valori del periodo proprio del sito.

Nella tabella seguente è possibile valutare la variazione delle velocità Vs30 e del periodo T in funzione della variazione della profondità di fondazione.

AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT1 – Via Casamora

Valori di Vs30		
Quota di riferimento (m da p.c.)	*Vs 30 di riferimento (m/sec)*	*Periodo di riferimento (T - sec)*
-31.00 m	479.00	0.163
-32.00 m	504.95	0.155
-33.00 m	533.86	0.149
-34.00 m	566.29	0.143
-35.00 m	602.92	0.137

AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT6 – Via Monte Piambello

Valori di Vs30		
Quota di riferimento (m da p.c.)	*Vs 30 di riferimento (m/sec)*	*Periodo di riferimento (T - sec)*
-31.00 m	240.64	0.362
-32.00 m	259.78	0.342
-33.00 m	282.22	0.322
-34.00 m	308.90	0.303
-35.00 m	341.16	0.284

Pertanto è possibile assegnare al sito in esame di via Casamora – AT1 un valore complessivo di Vs_{30} compreso tra 479 m/s (quote più superficiali, - 1 m da p.c.) e 603 m/s (quote d'appoggio più profonde, - 5 m da p.c.), cui corrispondono periodi di riferimento al sito T compresi tra 0.163 e 0.137.

Al sito presso l'ambito di trasformazione AT6 lungo via M.te Piambello è invece possibile assegnare un valore complessivo di Vs_{30} compreso tra 240 m/s (quote più superficiali, - 1 m da p.c.) e 341 m/s (quote d'appoggio più profonde, - 5 m da p.c.), cui corrispondono periodi di riferimento al sito T compresi tra 0.362 e 0.284.

Tali valori, ai sensi dell'OPCM 3274/03 ed in base alla classificazione di cui al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2008, permettono di classificare il suolo di fondazione, a tutte le quote, come appartenenti alle seguenti categorie di suolo:

Ambito di trasformazione	Intervallo di Velocità V_s (m/s)	Categoria di suolo	Descrizione
AT1	479-603	E	*Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V_{s30} > 800m/s*
AT6	240-341	C	*Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri*

Sulla base dell'andamento delle Vs con la profondità e delle caratteristiche litologiche proprio di entrambe le aree, le schede litologiche di riferimento (cfr. Allegato 5 alla D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 1566, ora D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616) che corrispondono alle caratteristiche dei siti in esame sono quella relativa rispettivamente alla litologia "ghiaiosa" (AT1) e "sabbiosa" (AT6).

Nell'ambito di questa scheda di riferimento si verifica (come proposto nelle figure 8a e 8b) la validità del profilo Vs rispetto ai limiti imposti. In queste condizioni, le schede litologiche di riferimento possono rappresentare la situazione locale e possono essere utilizzate per valutare in prima approssimazione il Fattore di Amplificazione atteso al sito.

Committente:
Comune di Porto Ceresio – Via G. Butti, 40 – Porto Ceresio (VA)

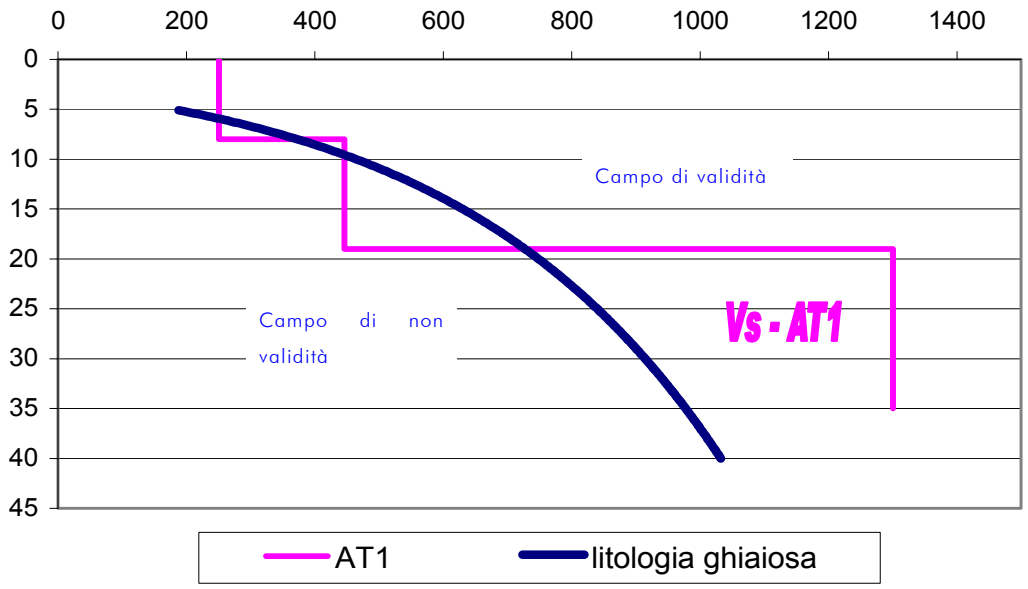


***Figura 8a**: Confronto dei modelli di velocità relativi al profilo misurato ed alla scheda litologica di riferimento*

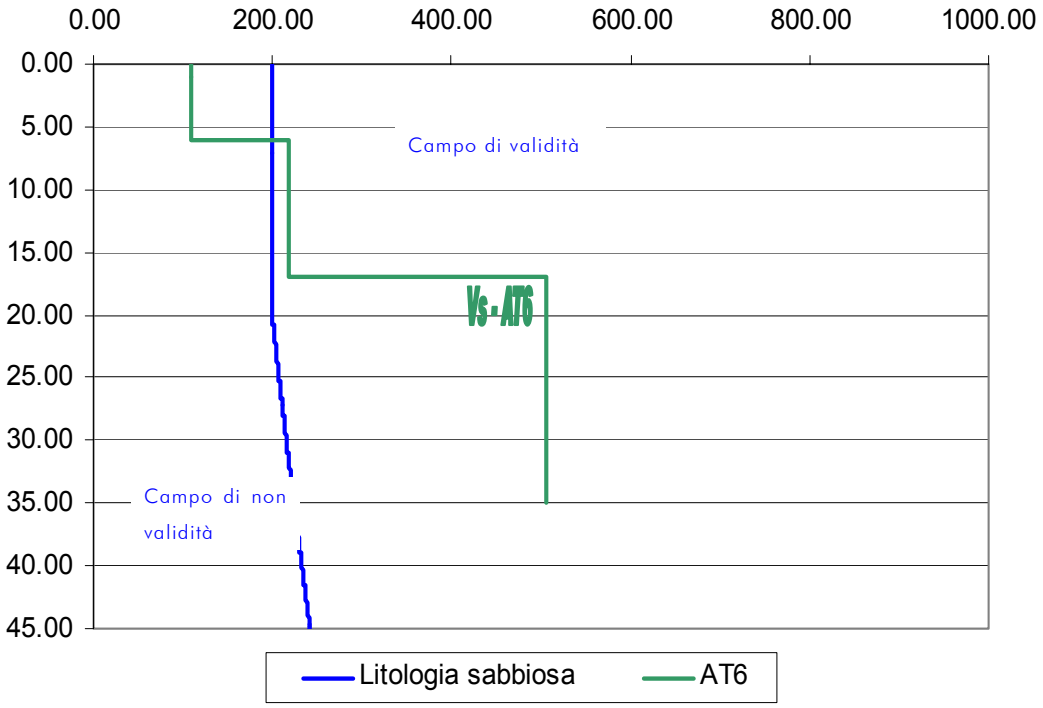


***Figura 8b**: Confronto dei modelli di velocità relativi al profilo misurato ed alla scheda litologica di riferimento*

Una volta individuata la scheda di valutazione più appropriata occorre individuare, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato più superficiale, la formula e la curva di riferimento per la valutazione del valore locale del Fattore di amplificazione Fa.

Alla luce della carenza di dati circa le ipotesi progettuali da svilupparsi all'interno di entrambi gli ambiti di trasformazione in esame, non è stato possibile calcolare un periodo di vibrazione tipico dell'edificio in progetto secondo l'espressione:

$$T = C_1 \times H^{3/4}$$

dove H è l'altezza in metri dell'edificio dal piano di fondazione, mentre C_1 vale 0.085 per edifici con struttura intelaiata in acciaio, 0.075 per edifici con struttura intelaiata in cls e 0.050 per edifici di qualsiasi altra struttura.

Si è pertanto deciso di sviluppare la procedura di calcolo (per ogni ambito di trasformazione analizzato) con periodo di vibrazione dell'edificio compreso nell'intervallo 0.1 - 0.5.

Per quanto riguarda l'ambito di trasformazione AT1 – via Casamora, in base ai dati ottenuti dalle indagini in sito, risulta che la curva di riferimento propria della scheda di riferifemento "*litologia ghiaiosa*" (per il periodo compreso tra 0.1-0.5 s) è caratterizzata dalla seguente equazione:

$$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$$

Per quanto riguarda invece l'ambito di trasformazione AT6 – via Monte Piambello, in base ai dati ottenuti dalle indagini in sito, risulta che la curva di riferimento propria della scheda di riferifemento "*litologia sabbiosa*" (per il periodo compreso tra 0.1-0.5 s) è caratterizzata dalla seguente equazione:

$$Fa_{0.1-0.5} = -8.65\,T^2 + 5.44\,T + 0.84$$

A questo punto, come precedentemente descritto, utilizzando il modello di velocità ricostruito sulla base delle indagini sismiche appositamente realizzate nelle aree si ottengono valori del periodo proprio del sito pari a:

Ambito di trasformazione AT1 – Via Casamora:

- periodo T_{medio} per piano di posa fondazionale a -3 m da p.c. pari a 0.149 s;

a cui corrisponde, secondo le equazione precedente, un valore di Fa pari a:

con 0.1<T< 0.5	Fa_{sito} = 1.26+/- 0.1

Ambito di trasformazione AT6 – Via Monte Piambello:

- periodo T_{medio} per piano di posa fondazionale a -3 m da p.c. pari a 0.322 s;

a cui corrisponde, secondo le equazione precedente, un valore di Fa pari a:

con 0.1<T< 0.5	Fa_{sito} = 1.69 +/- 0.1

Avendo i siti in esame differenti categorie di suolo di appartenenza come riportato in precedenza, il periodo di vibrazione dell'edificio ($T_{0.1-0.5}$) che identifica i siti in esame il valore di Fa di soglia risulta rispettivamente pari a 2.0 per l'ambito AT1 – via Casamora (categoria di suolo E) e a 1.8 per l'ambito AT6 – via Monte Piambello (categoria di suolo C)

Tenendo conto della variabilità pari a +/- 0.1 rispetto al metodo utilizzato, risulta inferiore al valore Fa proprio del sito.

$$Fa_{sito} < Fa_{soglia\ (+/-0.1)}$$

Ciò implica che la normativa antisismica (OPCM 3274 e DM 14.01.2008) può essere considerata sufficiente a stimare i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito e quindi è possibile applicare lo spettro di risposta previsto dalla normativa per la classe di appartenenza (Zona 4) e le categoria di suolo dei siti (Categorie E e C).

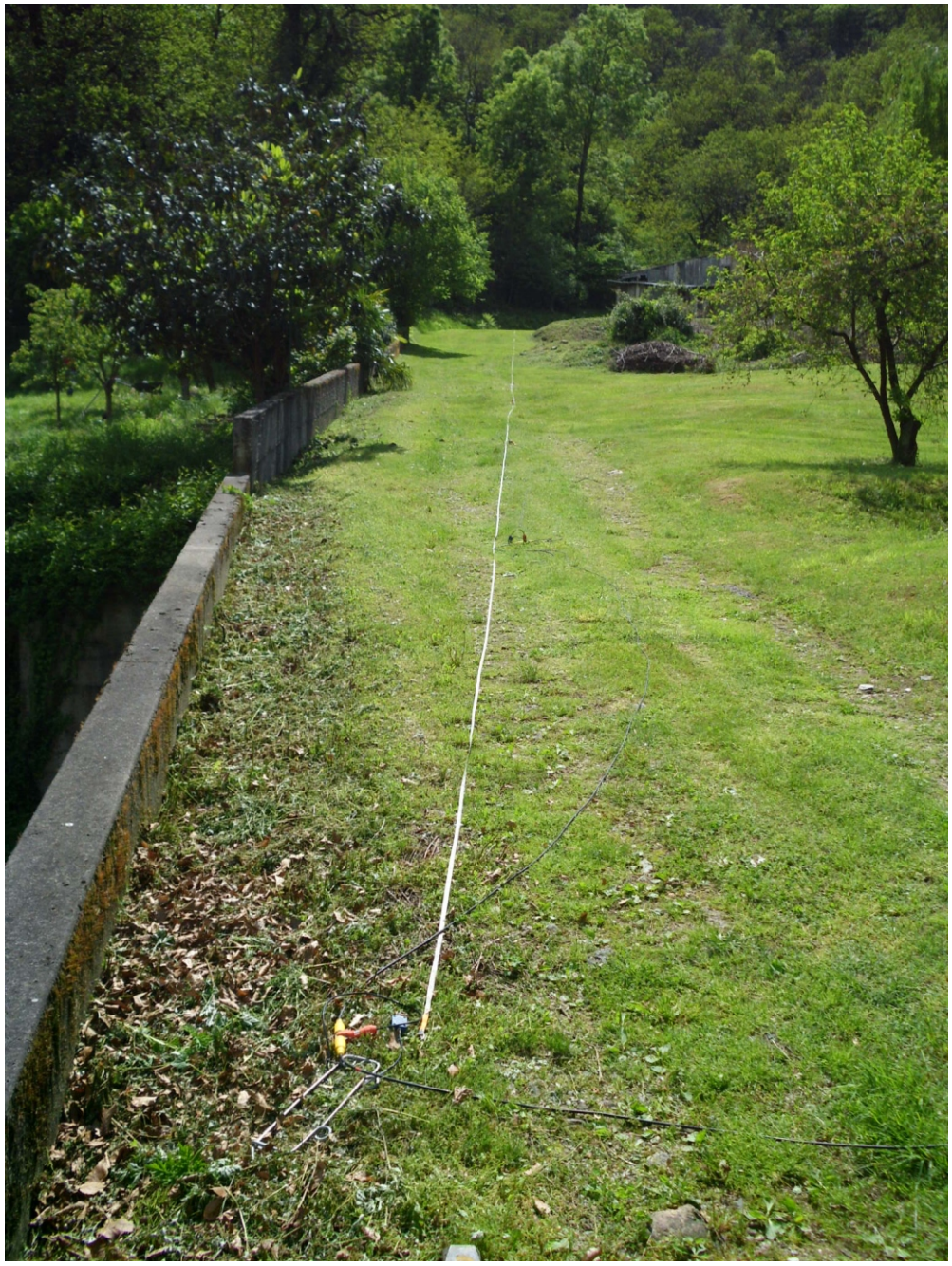
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini sismiche hanno inoltre permesso:

- di ricostruire il modello sismo-stratigrafico locale in termini di velocità delle onde trasversali nei primi 35 m (V_s30);
- di ricavare il valore V_s30 e di confrontarlo con la normativa nazionale vigente: le velocità Vs30, il cui profilo di velocità di riferimento è quello tra il piano fondazionale e i 30 m sottostanti, per l'ambito di trasformazione AT1 – via Casamora è compreso tra 479 m/s (alle quote più superficiali, - 1 m da p.c.) e 603 m/s (quote più profonde, - 5 m da p.c.), cui corrispondono periodi di riferimento al sito T compresi tra 0.163 e 0.137; per l'ambito di trasformazione AT6 - via M.te Piambello è invece possibile assegnare un valore complessivo di Vs_{30} compreso tra 240 m/s (quote più superficiali, - 1 m da p.c.) e 341 m/s (quote d'appoggio più profonde, - 5 m da p.c.), cui corrispondono periodi di riferimento al sito T compresi tra 0.362 e 0.284.
- la *Categoria di sottosuolo* di riferimento per l'ambito di Trasformazione AT1 è la *E* - *"Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800m/s"*;
- la *Categoria di sottosuolo* di riferimento per l'ambito di Trasformazione AT1 è la *C* - *"Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri"*;

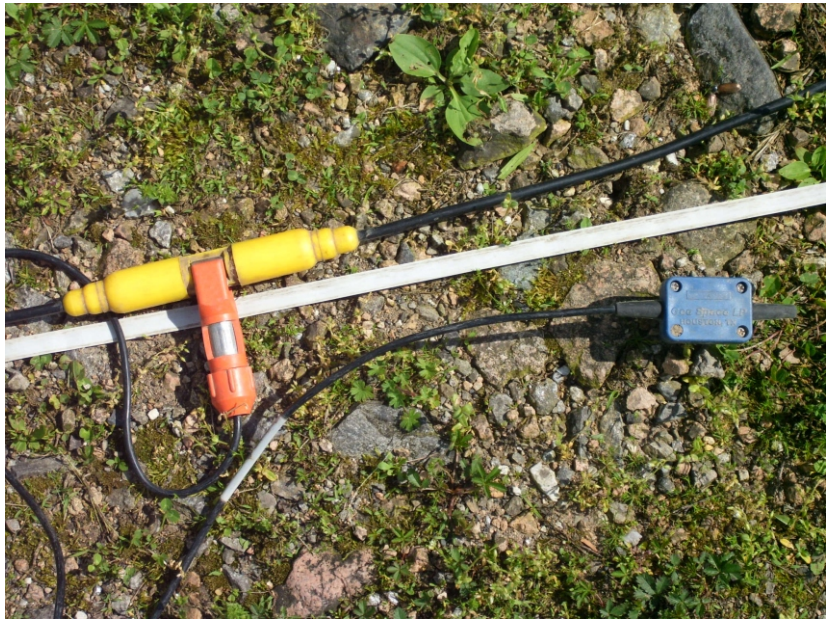
Appendice 1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fotografia 1: Panoramica verso W dell'array lineare L1 all'interno dell'ambito di trasformazione At1, via Casamora

Fotografia 2: Stazione di acquisizione dell'array lineare L1-RE.MI



Fotografia 3:Dettaglio del geofono utilizzato per l'acquisizione

Fotografia 4: Panoramica verso W dell'array lineare L1 all'interno dell'ambito di trasformazione AT6, via Monte Piambello

Fotografia 5: Dettaglio del geofono utilizzato per l'acquisizione

Fotografia 6: Stazione di acquisizione dell'array lineare

Appendice 2

SCHEMA TECNICO SISMOGRAFO GEODE GEOMETRICS

Geode Ultra-Light Exploration Seismograph

Studi ed indagini in campo geologico

- Multi-purpose seismic recorder: refraction, reflection, earthquake monitoring, VSP, blast and vibration measurements, marine surveys, sub-bottom profiling and continuous recording
- Light-weight (8 lb/3.6 kg), in-field modules connect to the Ethernet port on your laptop for easy, instant interfacing
- Available with 3 to 24 channels per box; connect more boxes to build low cost distributed systems up to 1000 channels
- Data transmitted from Geode to host computer digitally, reducing long, expensive analog cables
- 24-bit dynamic range, low distortion and built-in geophone and line testing , noise monitor
- 20 kHz bandwidth provides ultra-high resolution or low frequencies for earthquake monitoring
- Standby low-power means light batteries, long life
- Powerful built-in no-charge applications software gives quick answers:
  - Model problems before going to the field
  - Pick breaks on site and view travel-time curves on site for optimum shot positioning
  - Display an in-field preliminary cross section to see what you might have missed
  - Undertake a comprehensive analysis back at the office and easily compare results with several interpretation methods

The new 24-bit Geode seismic recorder is the most versatile and flexible seismograph available today. Small and lightweight enough to throw in your suitcase for an evaluation survey. Expands instantly for full-scale 2-D and 3-D surveys at a cost your accountant will love. And when you are not using the Geode for reflection, refraction downhole or tomography surveys, use it for monitoring earthquakes, quarry blasts or vibration from heavy equipment. The Geode will even do sub-bottom profiling or record data continuously.

For light-duty applications, you can use your laptop to view, record and process your data. In harsh conditions, control your Geodes with Geometrics' StrataVisor™ NZ/C series computers and seismographs. You can connect Geodes together to build systems over 1000 channels on multiple lines. Geodes are shock-proof, dust-proof, submersible and withstand extreme temperatures.

Geode modules deploy right in the field close to your geophones to improve signal quality and reduce cable costs. Data are transmitted digitally using industrystandard Ethernet eliminating expensive, hard to configure interface cards. Geodes can even be installed on your office network.

Geodes operate from laptop or

from Geometrics StrataVisor NZ field computer

Studi ed indagini in campo geologico

ABM - Studio Geologico Associato

Specifications:

Configurations: 3, 6, 8, 12, 16 or 24 channels in weatherproof field deployable Geode module. Geode is operated from either Windows 98/NT4/ME/W2K/XP based laptop[1] or by Geometrics' ruggedized StrataVisor NZ field computer/seismograph. Basic operating software controls one Geode and can be optionally expanded to control multiple Geodes, do marine surveying, continuous recording, repeaters, sub-bottom profiling, VSP, GPS synchronization, blast and vibration monitoring and surveillance.

A/D Conversion: 24 bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary over sampling.

Dynamic Range: 144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2 ms, 24 dB.

Distortion: 0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.

Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz. 0.6 and DC low frequency option available.

Common Mode Rejection: > 100dB at <= 100 Hz, 36 dB.

Crosstalk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.

Noise Floor: 0.20 uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.

Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval.

Maximum Input Signal: 2.8V PP, 0 dB.

Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 uf.

Preamplifier Gains: Standard factory configuration is 24 and 36 db, selectable in software. Optionally, can be jumpered for software selectable 12 and 24 dB or can be jumpered in four channel blocks as a single fixed gain of 0 dB for high-voltage devices.

Anti-alias Filters: -3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.

Acquisition and Display Filters:

Low Cut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 or 48 dB/octave, Butterworth.

Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency.

High Cut: OUT, 32, 64, 125, 250, 500 or 1000 Hz, 24 or 48 dB/ octave.

Sample Interval: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.

Correlation: Optional high-speed hardware correlator available in each Geode for fast cycle time with vibrators and pseudo-random (MiniSosie) sources[2]. Correlates 16K record, unlimited channels in under 1 sec.

Record Length: 16,384 samples standard, 65,536 samples optional[2].

Pre-trigger Data: Up to full record length.

Delay: 0 to 100 sec in steps of 1 sample interval.

Data Transmission: Uses Ethernet transmission standard over CAT 5 copper or multimode fiber-optic cable. Distance between boxes: CAT 5 cable up to 0.25 km; fiber-optic cable up to 1.5 km.

Intelligent Self-Trigger: Earthquake, blasting and vibration monitoring[2]

Optional Built-In Test Functions Digital:

- CPU diagnostics
- Internal network test
- Digital functions
- Battery Warning

Instrument:

- Noise
- DC Offset
- Gain Accuracy
- Gain and Phase

Similarity

- Distortion
- Crossfeed
- Bandwidth
- Timing Accuracy Line:
- Noise
- Geophone similarity
- Disconnected phones

Continuous Recording: Available for vibration monitoring. [2]

Auxiliary Channels: All Geode channels can be programmed as either AUX or DATA. Fixed data and aux channels available in StrataVisor NZ.

Roll Along: Built-in, no external roll box required[2]

Line Testing: Real time noise monitor displays real-time output from geophones. Optional geophone pulse test helps identify bad geophones and shorted or broken cables[2].

Instrument Tests: Optional built-in daily, weekly and monthly testing available [2] External laboratory quality test system available to measure noise, crosstalk, dynamic range, gain similarity and trigger accuracy to factory specification.

Data Formats: SEG-2 standard. SEG-D and SEG-Y also available[2].

System Software:
Basic operating software includes full compliment of acquisition, display, plotting, filtering and storage features.
Other functions available as options to control multiple Geodes, add additional preamp gains, high-speed correlation, expanded record length, tape writing, geophone pulse test, expanded test and diagnostics, roll along capability, marine surveying, sub-bottom profiling, blast and vibration monitoring, continuous recording and surveillance.

Bundled Applications Software:

- SIPQC delay time refraction software from Rimrock Geophysics
- SeisImager refraction modeling and analysis software from OYO
- WinSeis-Lite reflection processing software from Kansas G. S. SIPQC

and SeisImager are configured for preliminary in-field analysis and require connection to instrument to run. Full desktop versions of these packages are available either from Geometrics.

Data Storage: Stores data locally in SEG2 on laptop/PC media. Drivers available for tape/disk storage in SEG2/D/Y[2].

Plotters: Drives a variety of Windows™ compatible printers including Printrex 4, 8 and 12 inch plotters. Consult factory.

Triggering: Positive, negative or contact closure, software adjustable threshold. Will self-trigger on continuous data using threshold detecting STA/LTA-like algorithm.

Power: Requires 12V external battery. Uses 0.65 W/channel during acquisition, sleep mode reduces power consumption by 70% while in standby.

Environmental: -30 to 70 degrees C. Waterproof and submersible. Withstands a 1 m drop onto concrete on 6 sides and 8 corners. Passes MIL810E/F vibration.

Physical: 10"L x 12"W x 7"D (25.4cm L x 30.5cmW x 17.75cmD). Weighs 8 lb. (3.6 kg). Uses waterproof Bendix 61 pin connector for geophone input.

Operating System: Windows 98/ME/NT4/W2K/XP.

Warranty: Three year standard, extended warranty available.

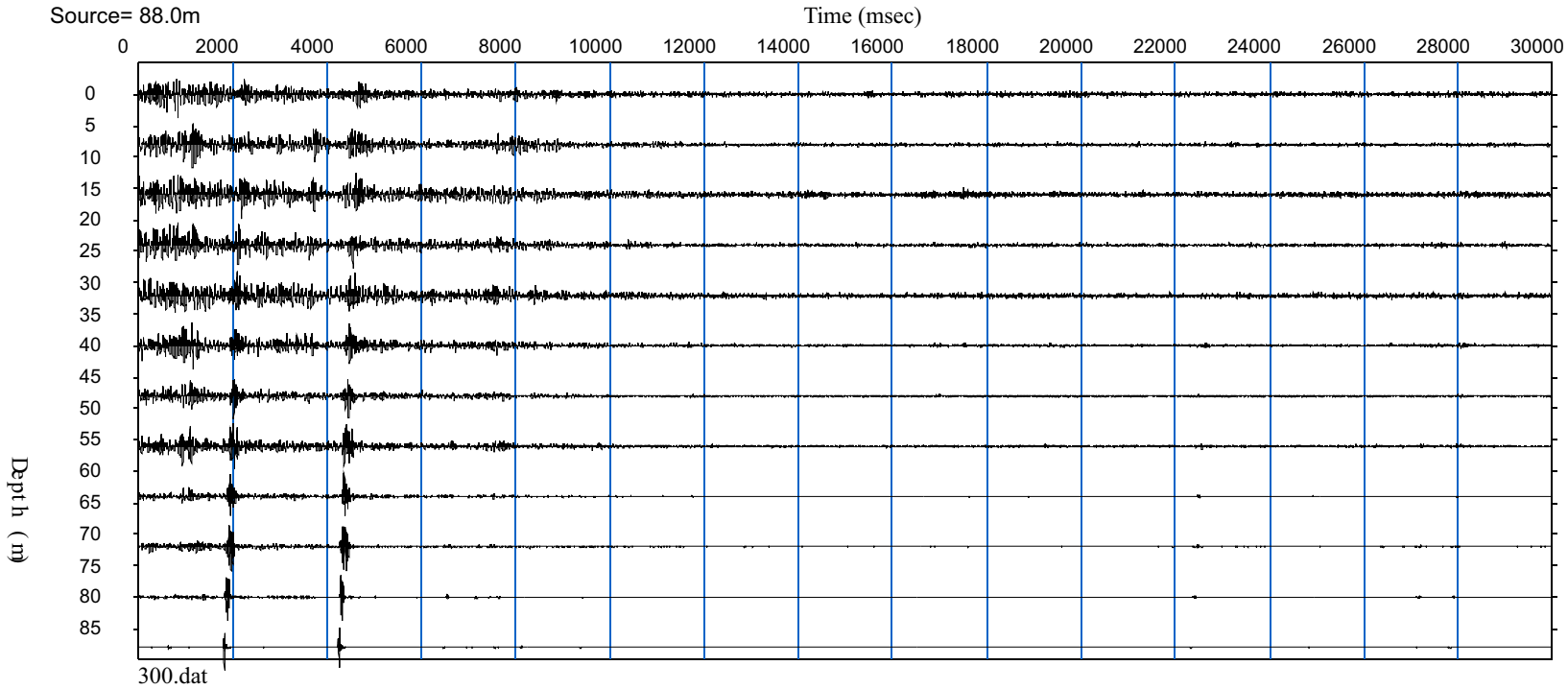
1- **Most laptop computers are NOT field devices.** They are easily damaged by harsh treatment or exposure to extreme environments Geometrics StrataVisor NZ/Cs designed to operate in harsh conditions for extended periods and should be used with the Geode for surveys where reliability is important.

GEOMETRICS

Appendice 3A

ACQUISIZIONE RE.MI.

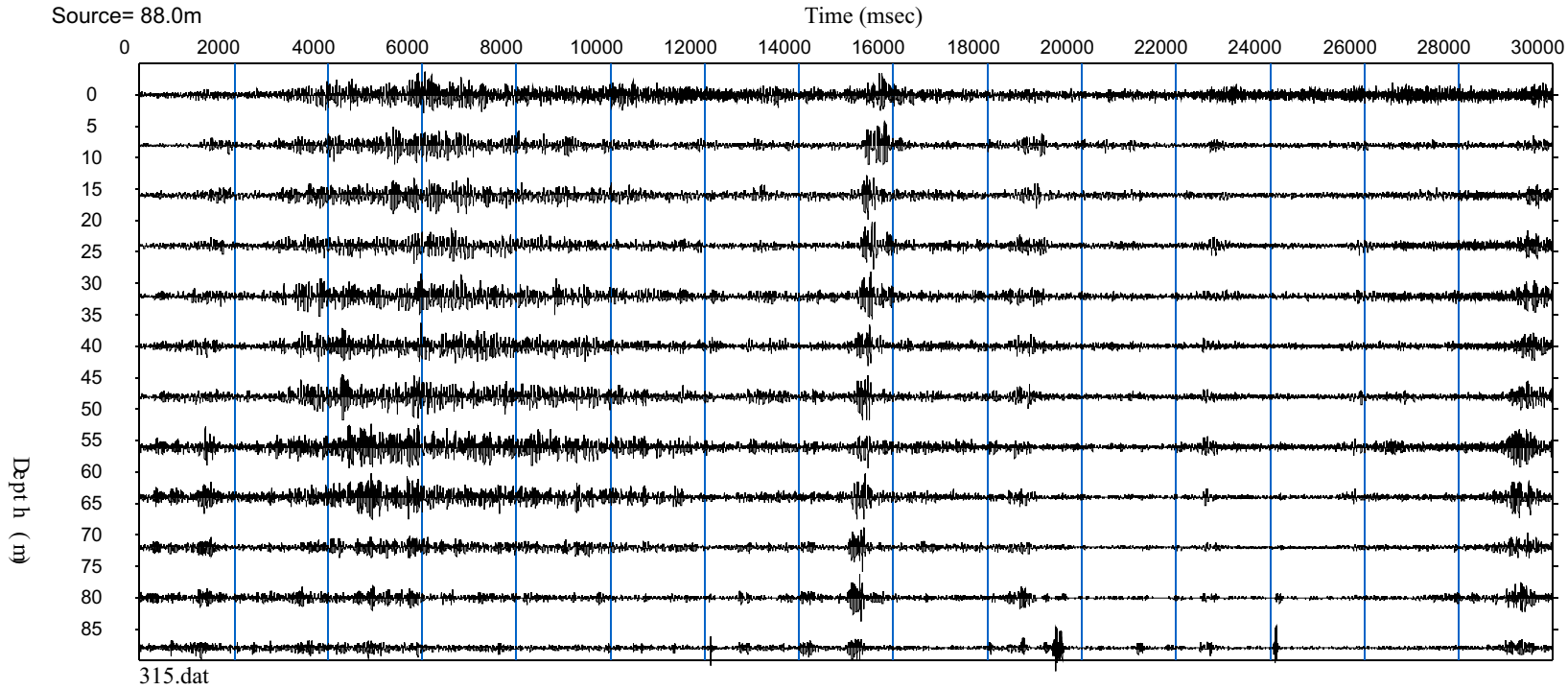
- AT1, VIA CASAMORA -



Acquisizione Re.Mi.

Array L1

Acquisizione N. 1



Acquisizione Re.Mi.

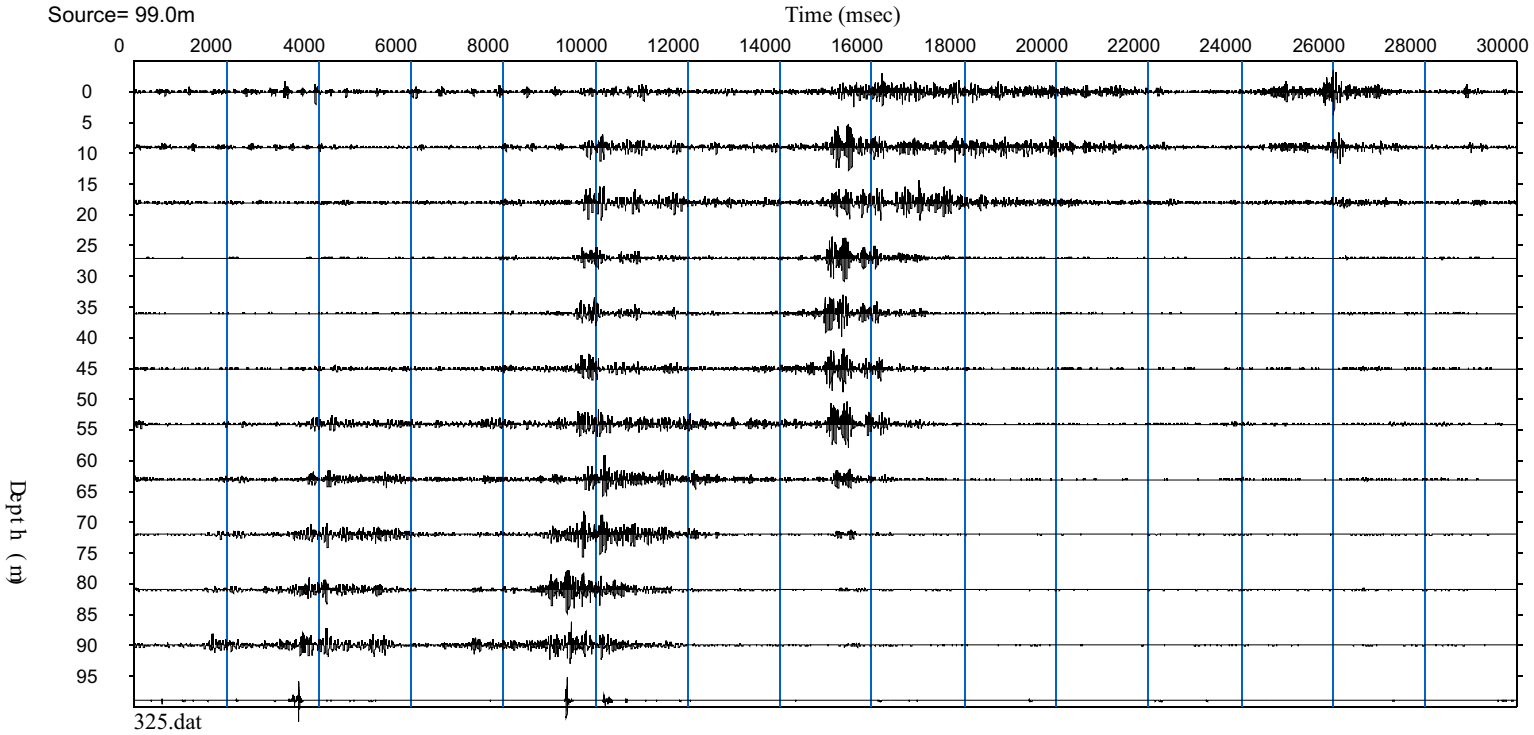
Array L1

Acquisizione N. 2

Appendice 3B

ACQUISIZIONE RE.MI.

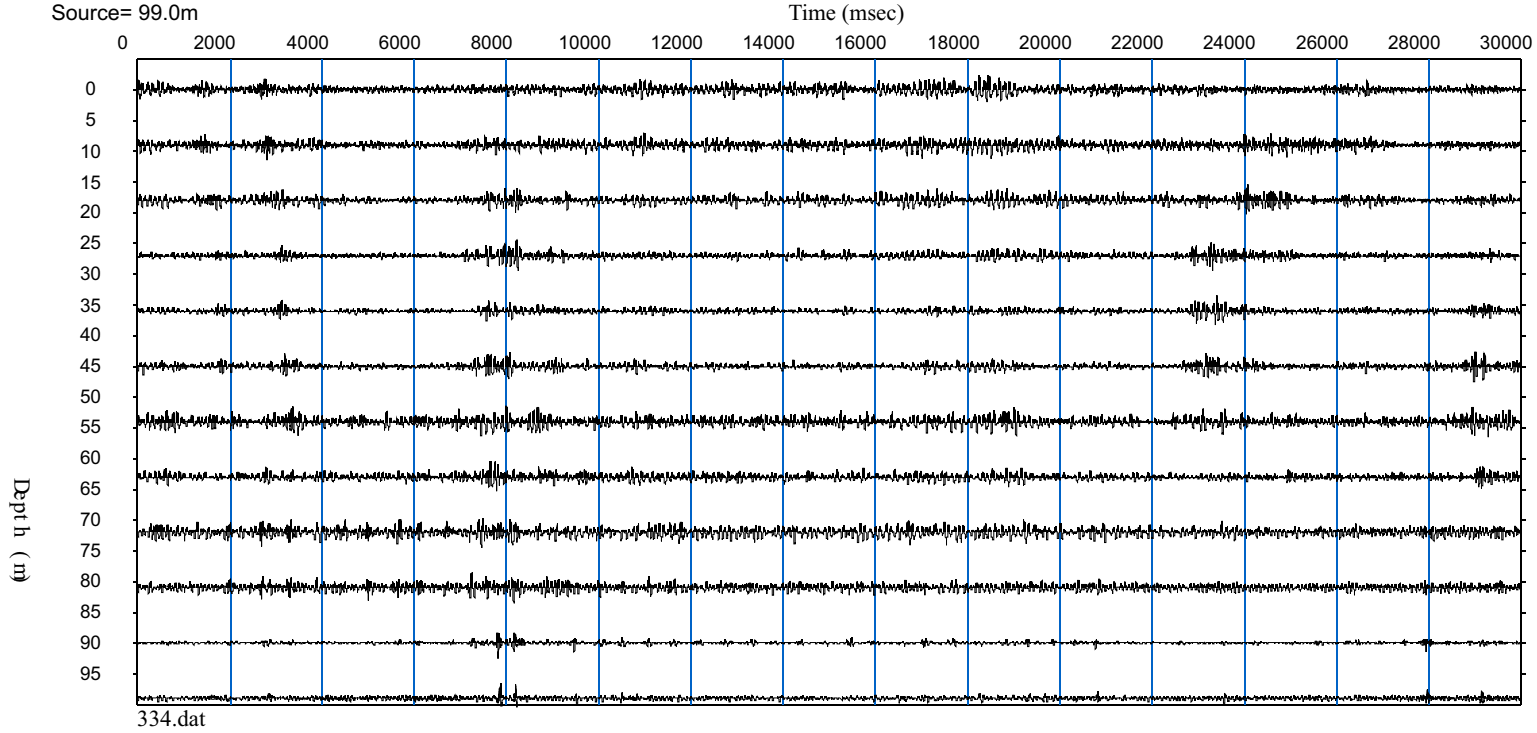
- AT6, VIA M.TE PIAMBELLO -



Acquisizione Re.Mi.

Array L1

Acquisizione N. 1



Acquisizione Re.Mi.

Array L1

Acquisizione N. 2