



**DR. ARCH. STEFANO M. CANE'**

Via Kennedy n. 59/61 - 40041 - Silla di Gaggio Montano (Bo)  
Tel. 0534/30653 - Fax 0534/30480 - mail: info@studiotecnicosilla.it

**DR. GEOL. BENIAMINO COSTANTINI**

via Felsina n. 7 - 40139 - Bologna  
Tel. 335/8161447 - mail: geolcost@yahoo.it

COMUNE DI ALTO RENO TERME  
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

**PROGETTO PROPEDEUTICO ALLA RIFUNZIONALIZZAZIONE  
IN SCUOLA MATERNA DI UNA PORZIONE DI EDIFICIO SITO  
IN PORRETTA TERME, VIA PIER CAPPONI N. 14,  
GIA' ADIBITO A CASA PROTETTA (ex Villa Maria)**

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

FASCICOLO C

RELAZIONE GEOLOGICA

Il Tecnico incaricato:

Dott. Arch. Stefano M. Canè

# Comune di Alto Reno terme

## Provincia di Bologna

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA PER  
LA RIFUNZIONALIZZAZIONE IN SCUOLA MATERNA –  
ASILO-NIDO DI UNA PORZIONE DI EDIFICIO SITO IN  
PORRETTA TERME, VIA PIER CAPPONI N. 14, GIA'  
ADIBITO A CASA PROTETTA  
(ex Villa Maria).



## Relazione geologica

*Caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni*

Consulente tecnico:  
Dott. Geol Beniamino Costantini

Committente:  
Amministrazione Comunale Alto Reno Terme

Luglio 2019

## Indice

|   |    |
|---|----|
| 1 - Normativa di riferimento .....  | 2  |
| 2. Premessa .....   | 3  |
| 3. Inquadramento geologico .....  | 4  |
| 3.1 - Condizioni geologiche e morfologiche .....                            | 4  |
| 4) Analisi delle cartografie tematiche (PTCP - Vincolo Idrogeologico) ..... | 6  |
| 5. Acque superficiali e sotterranee .....                                   | 7  |
| 5.1 Idrologia superficiale .....  | 7  |
| 5.2 Idrogeologia del sottosuolo .....                                       | 7  |
| 6 – Caratteri del primo sottosuolo .....                                    | 7  |
| 6.1 - Successione stratigrafica .....                                       | 7  |
| 7 - Modellazione geotecnica .....   | 8  |
| 8- SISMICITA' .....   | 8  |
| 8.1 - Coordinate geografiche .....  | 8  |
| 8.2 - Condizioni topografiche .....   | 9  |
| 8.3 - Caratterizzazione sismica del comparto .....                          | 9  |
| 8.4 - RISPOSTA SISMICA LOCALE (III Livello di Approfondimento) .....        | 9  |
| 8.5 - Moto di Input .....   | 9  |
| 8.6 - Sismostratigrafia di input .....                                      | 11 |
| 8.7 - Risposta sismica locale .....   | 12 |
| 8.8 Liquefazione dei terreni .....  | 14 |
| 9 - CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI .....                                      | 14 |

*In allegato:*

*Stratigrafia sondaggio geognostico*

*Report indagine sismica*

## **1 - Normativa di riferimento**

**Decreto Ministeriale 2018** - Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. - Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

**Eurocodice 8 (1998)** - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

**Eurocodice 7.1 (1997)** - Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

**Eurocodice 7.2 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

**Eurocodice 7.3 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

**PSAI** – Piano Autorità di Bacino Fiume Reno – Tavole e relazioni di progetto

**PTCP** – Provincia di Bologna – Tavole e relazioni di progetto

**PSC** – Comune Alto Reno Terme– Tavole e relazioni di progetto

## 2. Premessa

Vengono di seguito esposte le risultanze di uno studio atto a caratterizzare da un punto di vista geologico- geotecnico e sismico i terreni di sedime di una porzione di edificio, sito in Porretta Terme, via Pier Capponi n. 14, in cui è previsto un progetto di rifunzionalizzazione in scuola materna – asilo nido, già adibito a casa protetta. **(Fig. 1).**



Fig. 1- Veduta aerea dell'area di intervento

L'area oggetto di intervento, attualmente sottoposta a vincolo idrogeologico ai sensi del RD 3267/1923, è identificata nel repertorio cartografico R.E.R. sulla Tavoletta 251 NE/Porretta Terme alla scala 1:25.000 e sull'elemento n° 251042– Porretta Terme alla scala 1:5.000 **(fig. 2).**

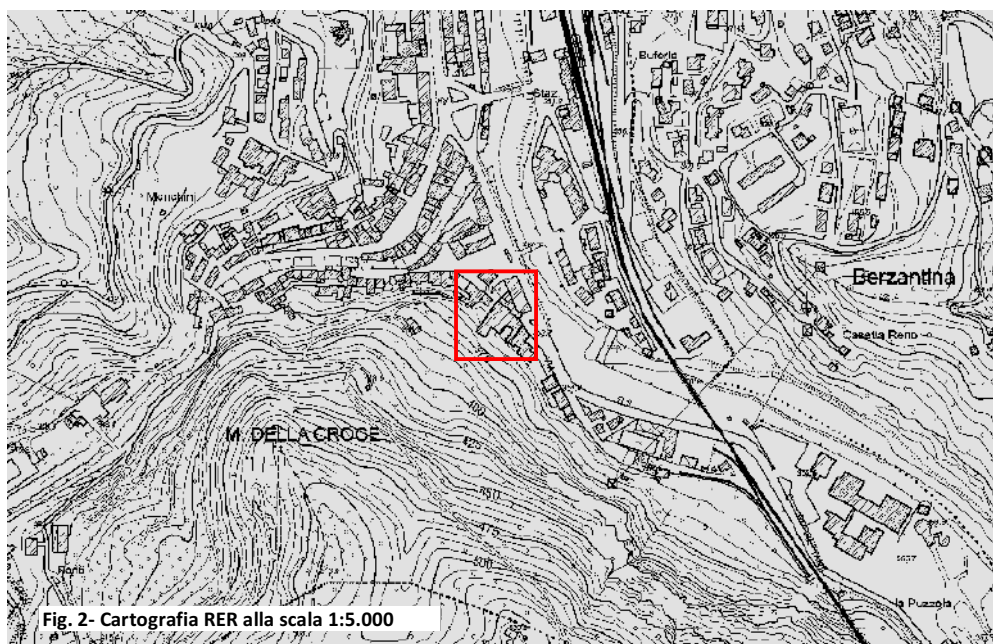


Fig. 2- Cartografia RER alla scala 1:5.000

Alla caratterizzazione del primo sottosuolo, sotto i profili stratigrafico, idrologico e geomeccanico si è risaliti eseguendo 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo, eseguito dalla Ditta Sogeo srl di Lugo.

Per la caratterizzazione sismica del sito è stata effettuata un'indagine geofisica dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio, articolata nell'esecuzione di n°1 sezione sismica multicanale a riflessione ad alta risoluzione integrata da una acquisizione con tecnica a rifrazione SH. Vista la tipologia di intervento in progetto, nonostante in base alle Norme del PTCP sia consentito, per il sito in esame, stimare la risposta sismica locale attraverso l'approccio semplificato delle NTC18, è stato comunque condotto uno studio di risposta sismica locale di III livello.

Entrambi le prove dell'indagine geognostiche sono state appaltate direttamente dall'Amministrazione Comunale.

Le condizioni morfologiche e la litologia di superficie sono state definite a seguito sopralluoghi.

### **3. Inquadramento geologico**

#### ***3.1 - Condizioni geologiche e morfologiche***

Dal punto di vista geomorfologico generale, l'area è ubicata nell'alta collina bolognese ad una quota di 360 m s.l.m, in sinistra idrografica del Fiume Reno.

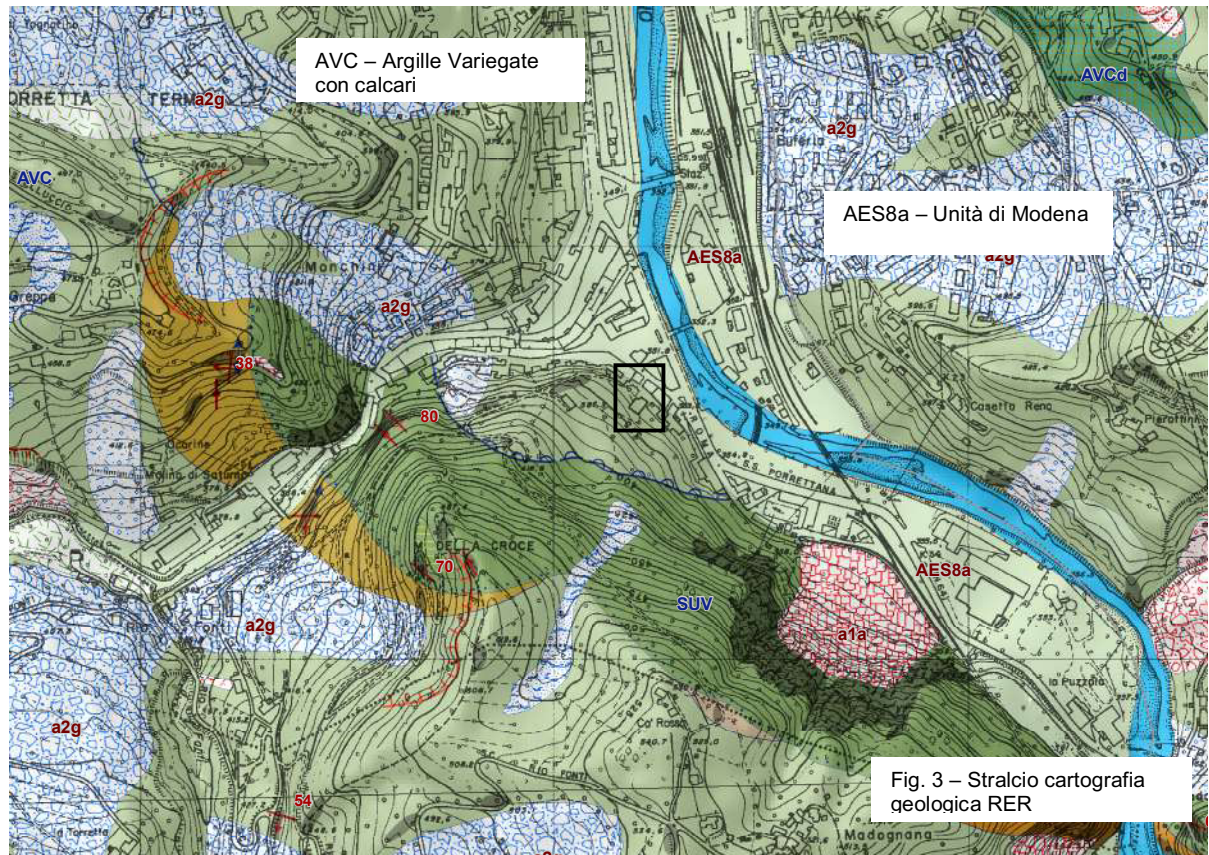
Più precisamente si svolge in corrispondenza di un elemento idrografico, a ridosso della confluenza dell'affluente del Rio Maggiore. La morfologia è tipicamente collinare con zone a bassa acclività e/o sub-pianeggianti, in corrispondenza del crinale e del fondovalle, e zone mediamente o fortemente acclivi che caratterizzano i versanti. Le celle idrografiche presenti mostrano un pattern di drenaggio da subparallelo a subdendritico/dendritico, con impluvi fortemente incisi nelle zone di affioramento litoide.

L'esame morfologico effettuato riferisce di un'area di fondovalle sviluppata e fortemente urbanizzata. Il fianco vallivo sn del Fiume Reno presenta tratte di versanti fortemente acclivi e ricoperti da formazioni boschive e tratte meno acclivi, con terreni parzialmente coltivati e/o lasciati incolti: i pattern di drenaggio delle celle idrografiche sono sub-dendritici. Nell'area in esame non è visibile alcuna forma di dissesto.

Sotto il profilo idrologico l'area sottesa dall'edificio è connessa direttamente con l'area di fondovalle del Fiume Reno: le acque dilavanti o quelle raccolte delle aree impermeabilizzate convergono nella rete fognaria per poi immettersi nell'alveo principale

Sotto l'aspetto prettamente geologico, il substrato marino è rappresentato dalla Formazione delle Argilliti variegata con Calcari qui costituito da argille intensamente tettonizzate, argilliti sottoforma di unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente

piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose" – AVC in Fig. 3).



In corrispondenza della zona di fondovalle sono presenti terreni alluvionali (ghiaie e sabbie) sottoforma di depositi terrazzati afferibili all'Unità di Modena (AES8a): non si esclude che sulla tratta di pendio su cui insiste il fabbricato siano presenti depositi detritici di versante.

L'edificio oggetto di rifunzionalizzazione, composto da più corpi di fabbrica giustapposti e realizzati in epoche diverse, insiste in parte nella zona di fondovalle ed in parte sul bordo pedecollinare: a suo tempo, per la realizzazione del piano seminterrato sono stati effettuati sbancamenti con tagli del versante. Le aree cortilive di pertinenza presentano una pendenza accentuata con gradonature: è presente una folta vegetazione arborea ed arbustiva di tipo infestante e non.

#### 4) Analisi delle cartografie tematiche (PTCP - Vincolo Idrogeologico)

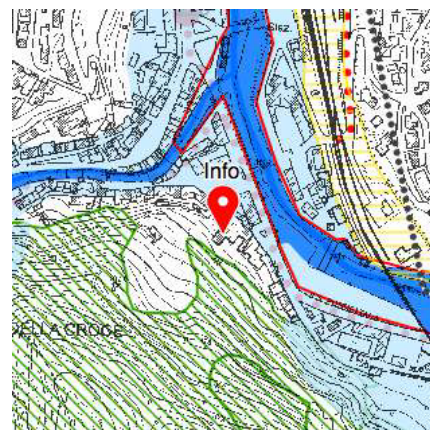
##### **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP)**

La tavola 1 “Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico-culturali” (figura a lato) indica che l’edificio non rientra in alcun tematismo contenuto nell’elaborato di piano.



La tavola 2a “Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque

meteoriche (la tavola riprende le cartografie dell’Autorità di Bacino Reno” (figura a lato ) mostra che, per quanto concerne il rischio da frana l’area risulta inserita in una U.I.E. a rischio molto elevato e da sottoporre a verifica.

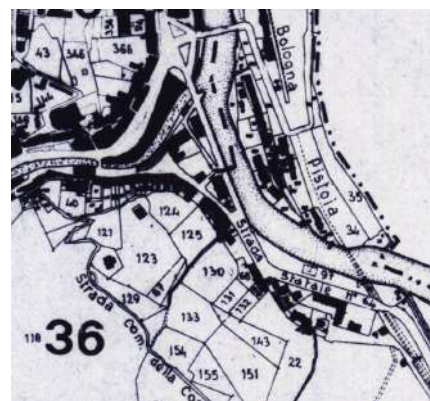


La tavola 2b “Tutela delle acque superficiali e sotterranee” (vedi stralcio a lato) indica che l’edificio non rientra in alcun tematismo contenuto nell’elaborato di piano.



La tavola 2c “Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali” (figura a lato) mostra l’area oggetto dell’intervento, ai sensi delle *Norme di Attuazione del Piano di Coordinamento Provinciale – Variante in materia di riduzione del rischio sismico* si trova all’interno di una zona S– “Area potenzialmente non soggetta ad effetti locali.

**Vincolo idrogeologico:** in merito al Regio decreto 30/12/1923 n. 3267 “Riordinamento e riforma in materia di boschi e terreni montani”, l’area è integralmente sottoposta a vincolo idrogeologico (figura a lato).



## **5. Acque superficiali e sotterranee**

### **5.1 Idrologia superficiale**

Il comparto in esame è idraulicamente connesso con la zona di fondovalle del bacino imbrifero del Fiume Reno. Le acque raccolte dalle aree impermeabilizzate convergono nella rete fognaria comunale per poi immettersi nell'alveo attuale del collettore principale.

### **5.2 Idrogeologia del sottosuolo**

I dati idrogeologici noti per questo territorio indicano la presenza di una falda di subalveo connessa con il livello del corso d'acqua principale.

Le misure effettuate nel foro di sondaggio non riportano la presenza d'acqua.

## **6 – Caratteri del primo sottosuolo**

Come da premessa tali caratteri sono stati desunti tramite un sondaggio a carotaggio continuo effettuato dalla Ditta Sogeo srl di Lugo, ubicata a valle dell'edificio nella zona di fondovalle, e dall'indagine sismica effettuata lungo il pendio nell'area cortiliva (vedi Fig. 4)

Il sondaggio è stato spinto fino ad una profondità max di -15 m rispetto al p.d.c, ben addentro al substrato argillitico: durante la terebrazione sono state effettuate prove SPT in foro.

Si rimanda al report allegato per la visualizzazione della stratigrafia rilevata.

### **6.1 - Successione stratigrafica**

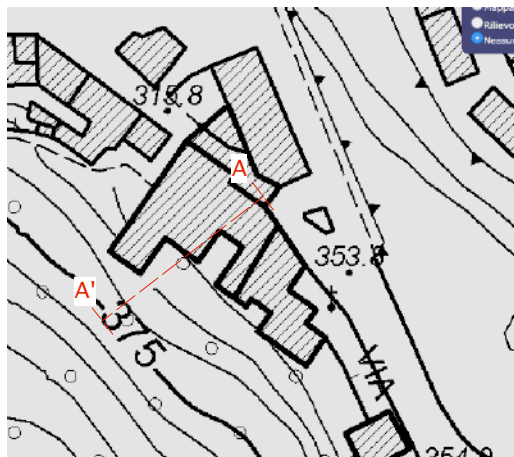
Dalla stratigrafia del sondaggio si evince la presenza di ghiaia, ciottoli e brecce ( $\varnothing_{max} > 10$  cm) in matrice sabbiosa, debolmente limosa, di colore grigio con intercalati sottili livelli limo-argillosi afferibile al deposito terrazzato AES8 del Fiume Reno (Unità di Modena)

Lo spessore di tale litotipo è di circa 11,5 m: oltre è stato rinvenuto il substrato argillitico della Formazione delle Argilliti variegata con Calcari.

L'indagine sismica effettuata lungo il pendio mostra la presenza di 2 unità rappresentate da :

- Depositi detritici di versante sottofoma di limi argillosi con trovanti con spessori compresi tra 2 m e 6 m: non si escludono nelle zone dei ripiani locali accumuli di materiali di riporto.
- Argille intensamente tettonizzate, argilliti che rappresentano il substrato marino afferibile alla formazione AVC - Argilliti variegata con calcari

Le correlazioni litostratigrafiche eseguite lungo la sezione (**Fig. 5**), mostrano la presenza nella zona di fondovalle del deposito terrazzato che si rastrema procedendo verso il bordo pedecollinare con l'assenza di depositi di versante : questi ultimi hanno un maggiore spessore nelle zone dei ripiani dove non si escludono riporti di terreno.



### Legenda

S1 ● Sondaggio a carotaggio continuo

G1 — Sezione sismica

A — Traccia di sezione

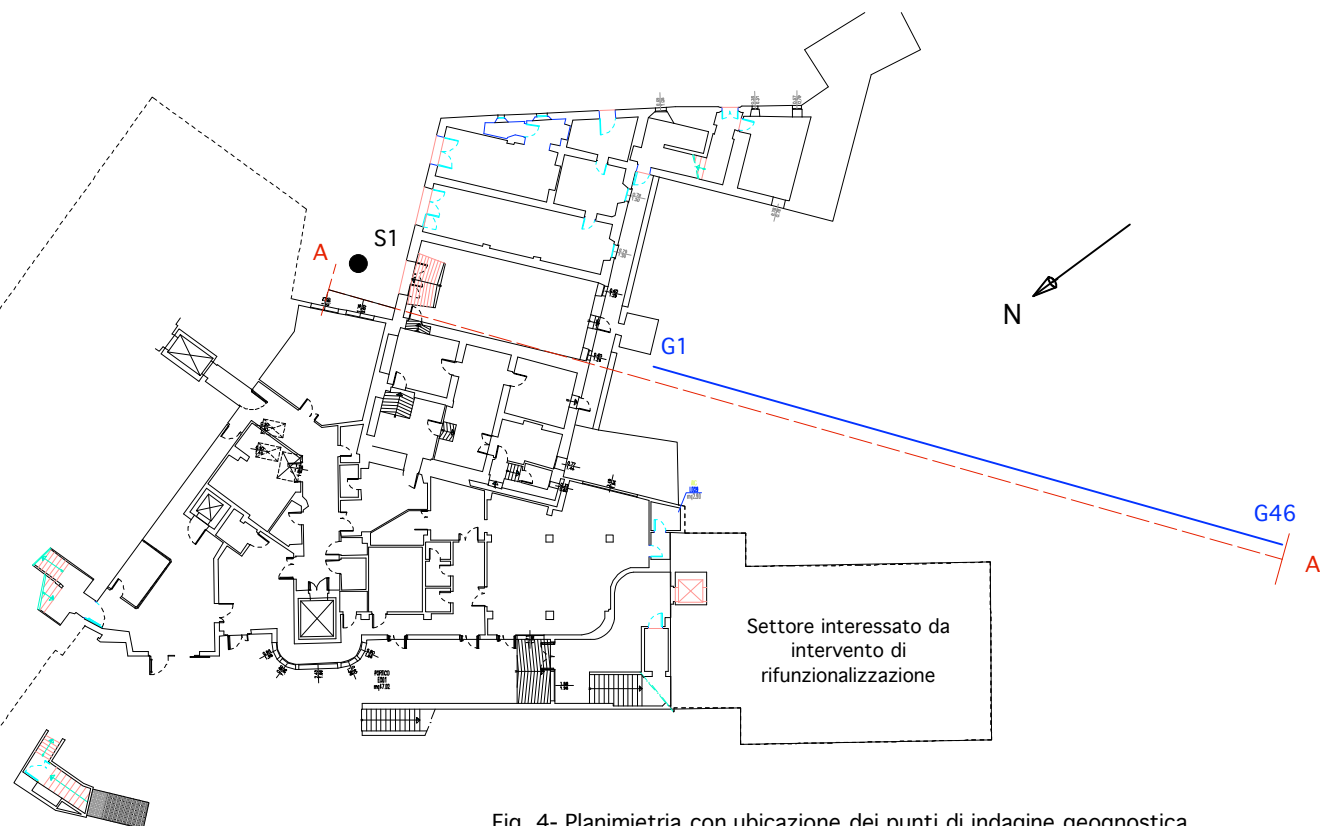


Fig. 4- Planimetria con ubicazione dei punti di indagine geognostica

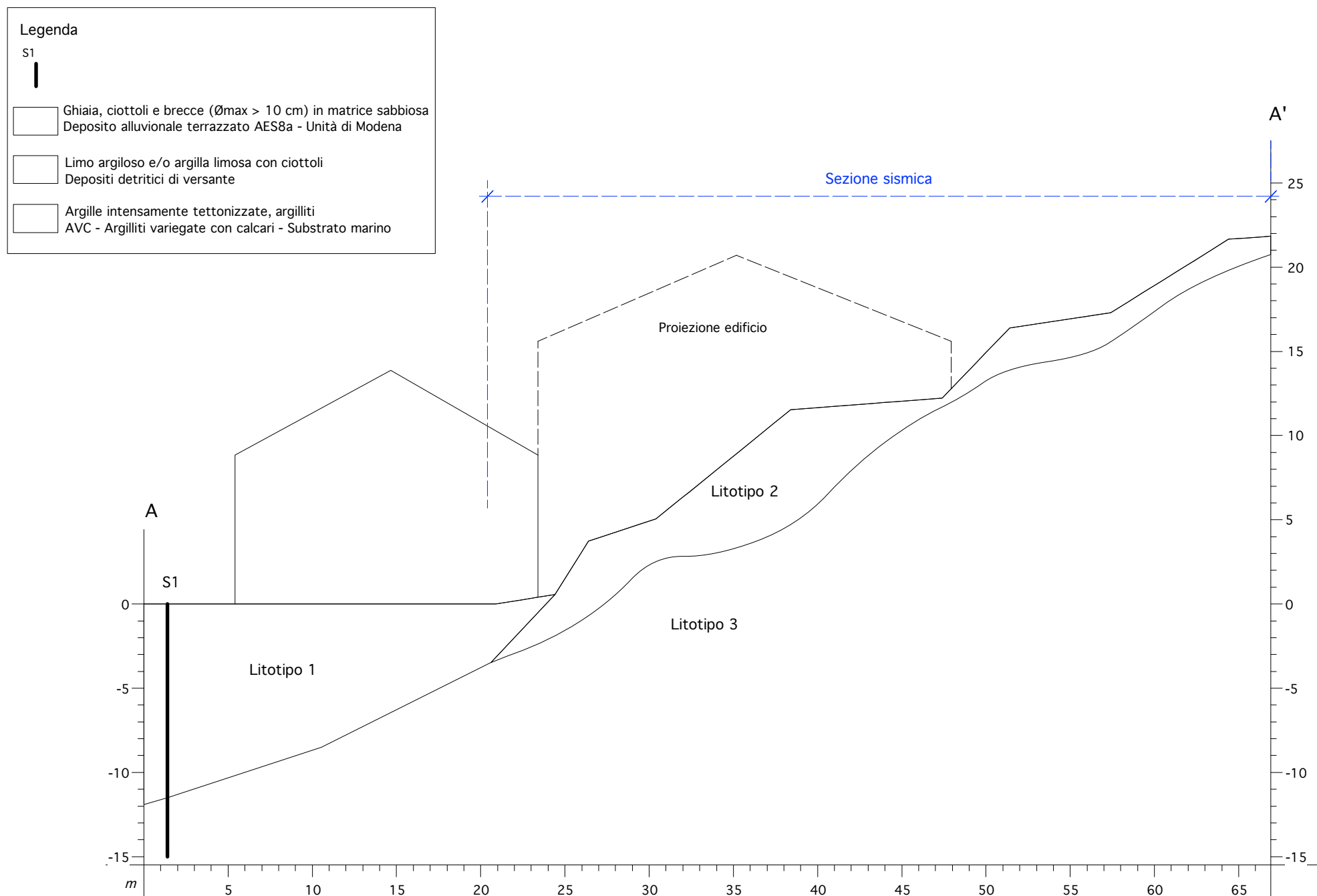


Fig 5. - Correlazioni litostratigrafiche

In base alla stratigrafia del sondaggio e all'indagine geofisica viene schematizzata la seguente stratigrafia di riferimento:

| Unità<br>Litostra-<br>tigrafica | Spessore         | Litologia  |
|---------------------------------|------------------|--|
| 1                               | Da 0 a 11,5 m    | Ghiaia, ciottoli e breccie ( $\varnothing_{\max} > 10$ cm) in matrice sabbiosa, debolmente limosa, di colore grigio con intercalati sottili livelli limo-argillosi Presente nella zona di fondovalle |
| 2                               | Da 2 a 6 m       | Limi argillosi e/o argille limose con trovanti (depositi di versante)  |
| 3                               | Superiore a 100m | Argille intensamente tettonizzate, argilliti (substrato marino)  |

## 7 - Modellazione geotecnica

Sulla scorta delle indagini svolte e delle informazioni acquisite nonché delle correlazioni disponibili in letteratura si riportano i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici attribuiti ai litotipi individuati.

| Unità litostratigrafica | $\gamma$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $Cu_k$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $C'_k$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'_k$<br>(°) |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1                       | 1,7                             | -                               | -                               | 42               |
| 2                       | 1,8                             | 0,60                            | 0,05                            | 25               |
| 3                       | 2                               | 2                               | 1                               | 26               |

## 8- SISMICITA'

In base alla classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n° 3274, il Comune di Porretta Terme (Alto Reno Terme) (BO) è inserito in **Zona 3**.

### 8.1 - Coordinate geografiche

Le coordinate del sito di intervento sono

- ✓ WGS84 (Lat,Lng): 41.902783,12.496364;
- ✓ ED50 (Lat,Lng): 44.154277,10.977716;

## **8.2 - Condizioni topografiche**

L'area in esame si colloca nella zona di fondovalle e a ridosso del bordo pedecollinare: pertanto l'area è ascrivibile, secondo la classificazione della Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche delle NTC18, alla categoria T1, dove non si prevedono fenomeni di amplificazione topografica ( $S_T = 1$ ).

## **8.3 - Caratterizzazione sismica del comparto**

Al fine di caratterizzare da un punto di vista sismico il comparto, è stata eseguita dal Dott. Lorenzo Del Maschio un'indagine sismica sottoforma di di n°1 sezione sismica multicanale a riflessione ad alta risoluzione integrata da una acquisizione con tecnica a rifrazione SH. Si rimanda al report indagini da Lui redatto per una dettagliata visione dei risultati ottenuti.

Per il settore in esame (vedi pag. 16 Report indagini), dall'elaborazione delle misure si ricava una velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s30}$  compresa tra 388 e 400 m/s che, in base alla Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo delle NTC18 (metodo semplificato), individua una categoria di suolo **B** definito, nella Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo delle NTC18, come: "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*".

Vista la tipologia di intervento in progetto, nonostante in base alle Norme del PTCP sia consentito, per il sito in esame, stimare la risposta sismica locale attraverso l'approccio semplificato delle NTC18, è stato comunque condotto uno studio di risposta sismica locale di III livello.

## **8.4 - RISPOSTA SISMICA LOCALE (III Livello di Approfondimento)**

In base alle caratteristiche geologiche dell'area in esame, che presentano un andamento degli strati superficiali assimilabili a strati piano-paralleli, è stato applicato un codice di calcolo monodimensionale (1D) per valutare gli effetti di amplificazione del terreno.

Il codice di calcolo utilizzato è STRATA scritto nel 2007 da Albert Kottke e il professor Ellen M. Rathje e distribuito sotto la GNU General Public License. Il programma calcola la risposta di sito utilizzando il metodo lineare equivalente di propagazione delle onde nel dominio della frequenza con moti di ingresso nel dominio del tempo, o utilizzando il metodo della teoria vibrazione casuale (RVT), e permette la randomizzazione delle proprietà del sito.

## **8.5 - Moto di Input**

Per la definizione del moto di input ci si è riferiti a quanto contenuto nella Delibera Giunta della Regione Emilia Romagna **n. 2193 del 21 dicembre 2015** che costituisce l'aggiornamento degli indirizzi

regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica, atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007). La Regione Emilia Romagna ha predisposto tale aggiornamento a seguito dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/1/2008), della pubblicazione degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P. A. (ICMS 2008), delle numerose fusioni di Comuni, avvenute e in atto, in Emilia-Romagna nonché dei numerosi dati acquisiti e studi effettuati in oltre 8 anni di attività. In particolare, l'aggiornamento tiene conto dei dati acquisiti e degli *studi effettuati per la ricostruzione e la pianificazione urbanistica post-sisma* di L'Aquila 2009 ed Emilia 2012, ai quali hanno contribuito i Servizi regionali Geologico, Sismico e dei Suoli e Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e Uso Sostenibile del Territorio e gli *studi realizzati con i contributi per studi di riduzione del rischio sismico* di cui all'art. 11 della L. 77/2009 (OPCM 3907/2011 – DGR 1051/2011; OPCM 4007/2012 – DGR 1302/2012; OCDPC 52/2013 – DGR 1919 2013) che hanno consentito anche l'*aggiornamento degli ICMS 2008* e degli *standard nazionali di riferimento per gli studi di microzonazione sismica* (v. documenti della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del Dipartimento della Protezione Civile).

La DGR 2193/2015 fornisce, per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello, tre accelerogrammi di riferimento rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A definita nella tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, ovvero con  $V_{s30}$  superiore a 800 m/s. I segnali di riferimento sono forniti in forma normalizzata (ampiezza massima assoluta unitaria), e devono pertanto essere moltiplicati per il valore di accelerazione massima orizzontale ( $a_{gref}$ ) di riferimento per il sito in esame. Tale valore di accelerazione si determina attraverso un'interpolazione lineare dei valori di accelerazione forniti dalla Regione, per l'intero territorio regionale, sui punti di una griglia con passo  $0.05^\circ$  gradi.

In questo caso la classe d'uso dell'opera è la III per cui l'azione sismica deve essere determinata su un periodo di ritorno di 712 anni (10% di probabilità di superamento in 75 anni). Sulla base del documento Excel SPETTRI -NTC ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici è stato ottenuto il valore di accelerazione massima orizzontale ( $a_{gref}$ ) di riferimento per il sito in esame di 0.218 g utilizzato per ricavare gli accelerogrammi di riferimento rappresentativi dello scuotimento atteso nel periodo di ritorno di 712 anni.

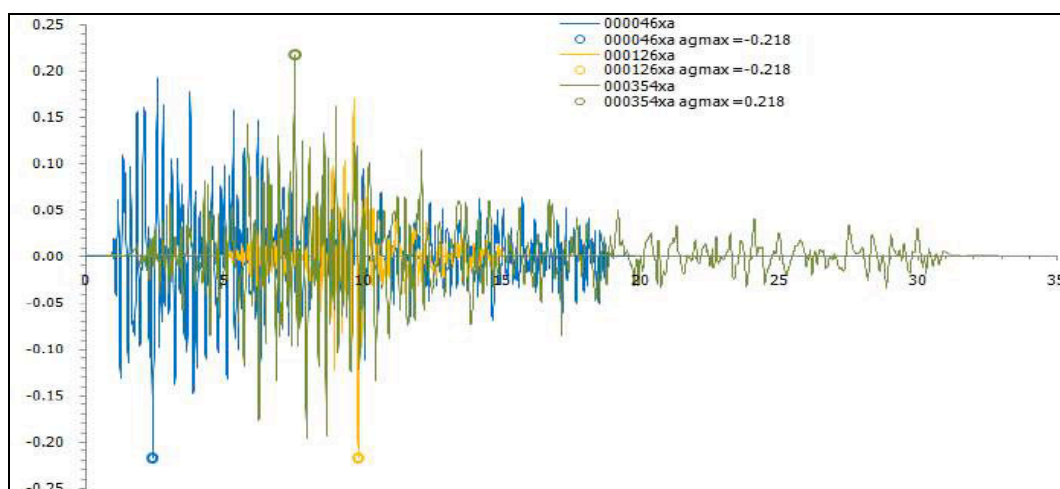


Figura 6. Rappresentazione grafica dell'andamento temporale degli accelerogrammi rappresentativi dello scuotimento atteso nel periodo di ritorno di 712 anni.

### 8.6 - Sismostratigrafia di input

L'indagine sismica realizzata dal Dott. Geol. Lorenzo Dal Maschio, ha consentito di definire adeguatamente la stratigrafia sismica utilizzata nella modellazione con il software STRATA di seguito rappresentata:

|   | Depth (m) | Thickness (m) | Soil Type          | Vs (m/s) |
|---|-----------|---------------|--------------------|----------|
| 1 | 0.00      | 4.00          | Coltre argillosa   | 300.00   |
| 2 | 4.00      | 5.00          | Substrato alterato | 500.00   |
| 3 | 9.00      | Half-Space    | Bedrock            | 800.00   |

Vista la tipologia di opera in progetto e il contesto di inserimento, per le curve di degrado dei terreni (selezionabili direttamente dal programma STRATA) si è fatto riferimento a dati bibliografici. In particolare quella ritenuta meglio rappresentativa del comportamento del terreno è di seguito riportata.

|   | Name               | Unit Weight (kN/m³) | G/G_max Model          | Damping Model          |
|---|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | Coltre argillosa   | 19.64               | Idriss (1990), Clay    | Idriss (1990), Clay    |
| 2 | Substrato alterato | 20.64               | Argilliti (Garfagnana) | Argilliti (Garfagnana) |

Al fine di valutare l'incertezza e la dispersione che generalmente caratterizzano le curve di degrado è stata attivata l'opzione "Varied". In tal modo il programma utilizza differenti curve generate attraverso la funzione proposta da Darendeli.

Nonlinear Curve Variation Parameters

Standard deviation model ([more information](#)): Darendeli

Normalized shear modulus (G/G\_max):

Function:  $\text{Math.exp}(-4.23) + \text{Math.sqrt}(0.25 / \text{Math.exp}(3.62) - \text{Math.pow}(\text{modulus} - 0.5, 2) / \text{Math.exp}(3.62))$  Min: 0.100 Max: 1.000

Damping:

Function:  $\text{Math.exp}(-5) + \text{Math.exp}(-0.25) * \text{Math.sqrt}(\text{damping})$  Min: 0.20 % Max: 15.00 %

G/G\_max, Damping Correlation Coefficient (p): -0.50

### 8.7 - Risposta sismica locale

La modellazione con il software STRATA porta a definire il seguente spettro di risposta in superficie rappresentato sia in forma grafica che tabellare.

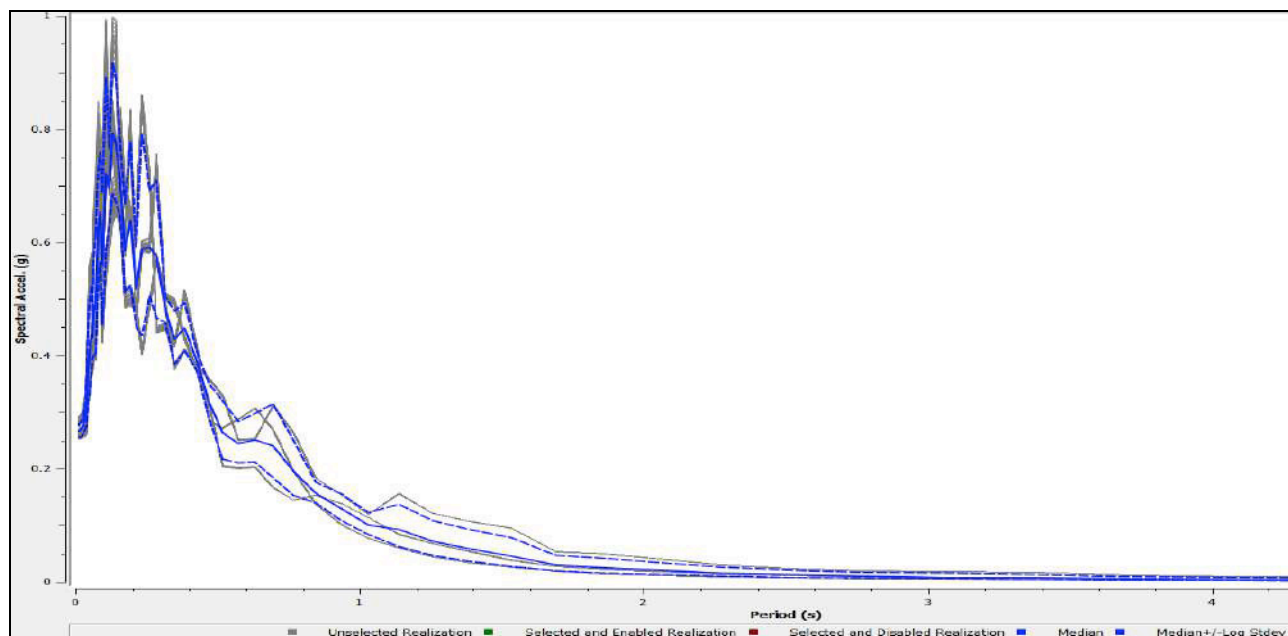


Figura 7. Spettro di risposta ricavato dall'elaborazione con il software Strata.

| OUTPUT STRATA |       |                     |
|---------------|-------|---------------------|
| T(s)          | medio | Deviazione standard |
| 0.010         | 0.266 | 0.045               |
| 0.011         | 0.267 | 0.045               |
| 0.012         | 0.267 | 0.045               |
| 0.013         | 0.267 | 0.046               |
| 0.015         | 0.268 | 0.046               |
| 0.016         | 0.269 | 0.047               |
| 0.018         | 0.270 | 0.048               |
| 0.020         | 0.271 | 0.049               |
| 0.022         | 0.272 | 0.051               |
| 0.024         | 0.274 | 0.053               |
| 0.027         | 0.277 | 0.056               |
| 0.030         | 0.280 | 0.061               |
| 0.033         | 0.286 | 0.069               |
| 0.036         | 0.295 | 0.084               |
| 0.040         | 0.322 | 0.142               |
| 0.044         | 0.376 | 0.147               |
| 0.048         | 0.399 | 0.202               |
| 0.053         | 0.437 | 0.180               |
| 0.059         | 0.431 | 0.084               |
| 0.065         | 0.474 | 0.175               |
| 0.072         | 0.499 | 0.212               |
| 0.079         | 0.624 | 0.152               |
| 0.088         | 0.656 | 0.147               |
| 0.097         | 0.558 | 0.206               |
| 0.107         | 0.723 | 0.211               |
| 0.118         | 0.693 | 0.098               |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 0.130 | 0.793 | 0.144 |
| 0.143 | 0.773 | 0.140 |
| 0.158 | 0.704 | 0.087 |
| 0.175 | 0.585 | 0.132 |
| 0.193 | 0.638 | 0.197 |
| 0.213 | 0.517 | 0.132 |
| 0.235 | 0.587 | 0.300 |
| 0.259 | 0.591 | 0.157 |
| 0.286 | 0.575 | 0.211 |
| 0.316 | 0.480 | 0.048 |
| 0.349 | 0.428 | 0.109 |
| 0.385 | 0.449 | 0.095 |
| 0.425 | 0.390 | 0.045 |
| 0.469 | 0.318 | 0.095 |
| 0.517 | 0.264 | 0.194 |
| 0.571 | 0.244 | 0.148 |
| 0.630 | 0.251 | 0.169 |
| 0.695 | 0.241 | 0.269 |
| 0.767 | 0.196 | 0.246 |
| 0.847 | 0.157 | 0.119 |
| 0.935 | 0.129 | 0.181 |
| 1.032 | 0.101 | 0.196 |
| 1.139 | 0.093 | 0.394 |
| 1.257 | 0.071 | 0.414 |
| 1.387 | 0.058 | 0.466 |
| 1.531 | 0.046 | 0.536 |
| 1.689 | 0.030 | 0.427 |
| 1.864 | 0.025 | 0.511 |
| 2.058 | 0.021 | 0.502 |
| 2.271 | 0.016 | 0.485 |
| 2.507 | 0.013 | 0.492 |
| 2.766 | 0.010 | 0.514 |
| 3.053 | 0.008 | 0.596 |
| 3.370 | 0.007 | 0.618 |
| 3.719 | 0.005 | 0.596 |
| 4.105 | 0.004 | 0.579 |
| 4.530 | 0.003 | 0.600 |
| 5.000 | 0.003 | 0.544 |

Di seguito inoltre si riporta il grafico con il confronto tra gli spettri di risposta semplificati delle NTC18 e quello medio ottenuto dall'elaborazione con Strata.

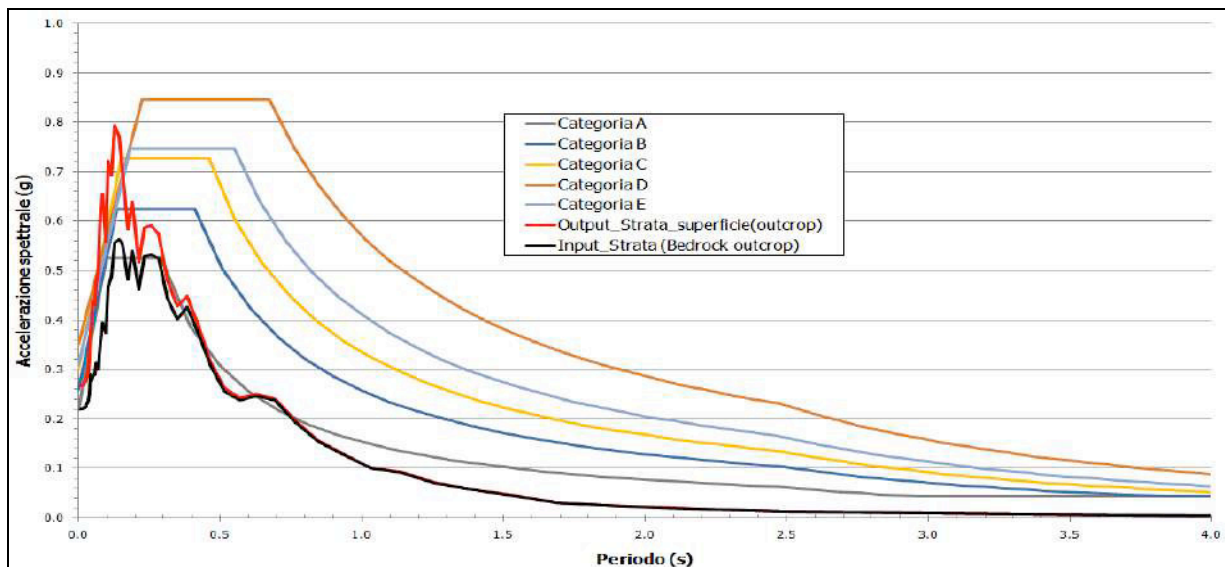


Figura 8. confronto tra gli spettri di risposta semplificati delle NTC18 e quello medio ottenuto dall'elaborazione con Strata.

Per la tipologia di fabbricato oggetto di intervento il risultato dello studio di risposta sismica locale eseguito definisce uno spettro di risposta compatibile con quello relativo ad un suolo di tipo B definito dell'approccio semplificato delle NTC 2018.

### 8.8 Liquefazione dei terreni

La verifica a liquefazione non viene effettuata in quanto non sono presenti depositi sabbiosi immersi in falda, condizione predisponente per la quale tale fenomeno possa avvenire.

## 9 - CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti, le verifiche condotte e le analisi effettuate, hanno permesso di definire le principali caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dell'area dove sorge la porzione di edificio in cui è previsto un progetto di rifunzionalizzazione in scuola materna – asilo nido, già adibito a casa protetta. Per definire gli interventi di adeguamento sismico del fabbricato si dovrà fare riferimento a quanto contenuto nella presente relazione di seguito sinteticamente riassunto:

#### a) Caratterizzazione sismica:

- Comune di Porretta Terme (alto Reno Terme **Zona 3**;
- Coordinate geografiche del sito d'intervento ED50 (Lat.,Lng.): **44.154277,10.977716**;
- Categoria di suolo: fare riferimento alla risposta sismica locale di III livello;
- Categoria topografica **T1**;

- **Modello e parametrizzazione geotecnica:**
- Il modello litostratigrafico è rappresentato graficamente nella sezione litotecnica di Figura 5.  
Per il settore di edificio oggetto di adeguamento si può far riferimento ai litotipi 2 e 3
- La parametrizzazione geotecnica è riportata al Capitolo 7.

La presente relazione geologica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale, inerente il progetto di fattibilità tecnica ed economica è stata anche mirata a verificare la fattibilità dell'intervento di adeguamento sismico redatto dagli Ingegneri GIUSEPPE MONARI e GIOVANNI MONARI (in data 4/07/2018), e si è fondata sulle prove commissionate direttamente dall'Amministrazione Comunale consistenti in :

- Sondaggio geognostico eseguito dalla Ditta Sogeo srl di Lugo spinto fino ad una profondità di – 15 m dal pdc attuale con esecuzione di prove SPT in foro
- Indagine geofisica dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio, articolata nell'esecuzione di n°1 sezione sismica multicanale a riflessione ad alta risoluzione integrata da una acquisizione con tecnica a rifrazione SH.

A seguito di questo studio si conferma la piena fattibilità, e realizzabilità, di quanto previsto, in merito all'ipotesi di ADEGUAMENTO DELLA STRUTTURA IN FONDAZIONE, come risultante dalla Perizia redatta dagli Ingegneri GIUSEPPE MONARI e GIOVANNI MONARI, dello STUDIO MONARI INGEGNERI ASSOCIATI, denominata "CONSULENZA PER LA VALUTAZIONE DI MASSIMA DEL COMPORTAMENTO SISMICO DELL'EDIFICIO SITO IN VIA PIER CAPPONI GIÀ ADIBITO A CASA PROTETTA", in data 4/07/2018, e, quindi, della medesima metodologia di intervento adottata anche nel PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA, oggetto del presente incarico.

Bologna, Luglio 2019


dott. geol. Beniamino Costantini



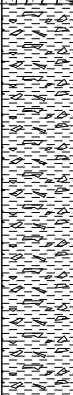

Ordine Geologi Abruzzo

n° 132



***Report sondaggio a carotaggio continuo***

|  |                          |  |                                       |                   |
|--|--------------------------|--|---------------------------------------|-------------------|
| <div><div><div><div>SOGEO</div><div>S.R.L.</div></div><div><div>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI</div><div>Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)</div><div>Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: <a href="mailto:sogeo@sogeo-srl.com">sogeo@sogeo-srl.com</a></div><div>Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C</div><div>Decr. n. 005754 del 05/07/2010</div></div></div></div> |                          | COMMITTENTE: Comune Alto Reno Terme              | SOND.N°: S.1                          | PROF.(m): 15.00   |
|  |                          | CANTIERE: Ospedale Vecchio - Porretta Terme (BO) | QUOTA (m): p.d.c.                     |                   |
|  |                          | PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR                | LATITUDINE (°):                       |                   |
|  |                          | METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo            | LONGITUDINE (°):                      |                   |
| RIVESTIMENTO: Ø 127 mm   |                          | ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice           | DATA INIZ-FINE: 21/06/2019-21/06/2019 |                   |
| PIEZOMETRO:  |                          |  | SCALA: 1:100                          |                   |
| RIF.PREV.N°: 128-19  | CERTIFICATO N°: C19-49-1 | RAPPORTO N°: -----                               | DATA DI EMISSIONE: 24/06/2019         | PAGINA N°: 1 di 1 |

| scala | P.P. I [daN/cm²] | Vane Test [daN/cm²] | Profondita' | Stratigrafia  | Descrizione  | Falda | Campioni | Campioni Rim. | S.P.T. [n. colpi] P.A.   | Pz.Norton |
|-------|------------------|---------------------|-------------|---|--|-------|----------|---------------|--|-----------|
| 1.00  |                  |                     |             |   | Ghiaia, ciottoli e brecce (Ømax > 10 cm) in matrice sabbiosa, debolmente limosa, di colore grigio  |       |          |               | <div><div>2.50</div><div>20/5/17</div><div>2.95</div></div>    |           |
| 2.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 3.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 4.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 4.50  |                  |                     |             |   | Limo argilloso di colore marrone, con rari ciottoli  |       |          |               |  |           |
| 5.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 6.00  |                  |                     |             |  | Ghiaia e ciottoli, talora brecce, (Ømax > 10 cm) in matrice limo sabbiosa, talora debolmente argillosa, di colore grigio. Da -9.50 m aumenta la frazione argillosa e il colore passa a grigio chiaro |       |          |               | <div><div>5.00</div><div>9/22/11</div><div>5.45</div></div>    |           |
| 7.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 8.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 9.00  |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 10.00 |                  |                     |             |  | Argille molto consistenti, di colore grigio chiaro, con trovanti calcarei  |       |          |               | <div><div>9.00</div><div>22/100 (*)</div><div>9.20</div></div> |           |
| 11.00 |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 12.00 | > 6              |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 13.00 | > 6              |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 14.00 | > 6              |                     |             |  |  |       |          |               |  |           |
| 15.00 |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 16.00 |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 17.00 |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |
| 18.00 |                  |                     |             |   |  |       |          |               |  |           |

Note:  
(\*) Prova S.P.T. da -9.00 a -9.20 m: rifiuto = 5 cm per 100 colpi.  
-----  
Livello acqua non rilevabile a fine sondaggio.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



**SOGEO**  
S.p.A.

INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI

Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA)

Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: [sogeo@sogeo-srl.com](mailto:sogeo@sogeo-srl.com)

**COMMITTENTE:** Comune Alto Reno Terme

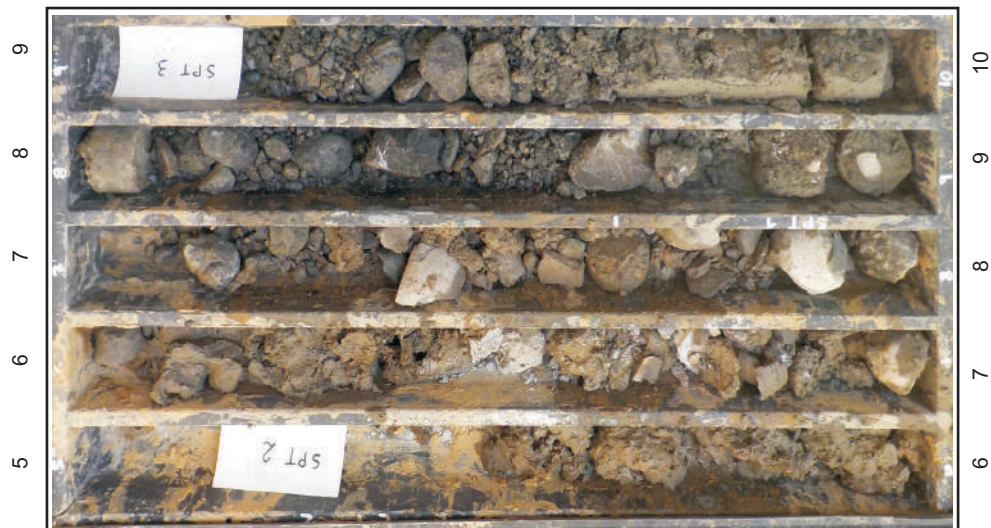
**LOCALITA':** Ospedale Vecchio - Porretta Terme (BO)

**SONDAGGIO N:** S.1

**RIF. N° :** 128-19

**ALLEGATO A:** C19-049-1

**DATA:** 21/06/2019



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Posizionamento



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

***Report analisi geofisica***

**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA**  
**Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO**

Via Camogli 59 - 41125 Modena  
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816  
e-mail [delmaschio.l@alice.it](mailto:delmaschio.l@alice.it)  
PEC [delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it](mailto:delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it)

**COMUNE ALTO RENO TERME**  
**CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA**

**OGGETTO:**

**REPORT INDAGINE GEOFISICA**  
**RIFLESSIONE AD ALTA RISOLUZIONE E TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE**

**LOCALITÀ:**

Porretta Terme

**COMMITTENTE**

Comune Alto Reno Terme

LUGLIO 2019



## 1. PREMESSA

Su incarico della Committenza con Determinazione 96/2019 è stata condotta una campagna di indagini geofisiche volta alla definizione del modello geologico del sottosuolo in un'area ubicata nei pressi del centro abitato di Porretta Terme nel Comune di ALTO RENO TERME (BO).

La campagna, svolta in data 24-06-2019, si è articolata nell'esecuzione di n°1 sezione sismica multicanale a riflessione ad alta risoluzione integrata da una acquisizione con tecnica a rifrazione SH;



Figura 1: Ubicazione stesa linea sismica.

## 2. STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati di campagna è la seguente:

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| <b>Energizzatore</b>                | mazza da 12 kg<br>martello da 1,250 Kg | generazione segnale                      |
| <b>Geofoni orizz.</b>               | 4kOhm 4,5 Hz                           | conversione segnale sismico in elettrico |
| <b>Sismografo SARA Do.Re.Mi.</b>    | digitalizzatori - 24 bit               | conversione segnale e registrazione      |
| <b>Interfaccia Do.Re.Mi. master</b> |  | alimentazione, collegamento PC,          |
| <b>Computer</b>                     | Acer Aspire One D150-1Bw               | visualizzazione, memorizzazione dati     |

Tabella 1 - Strumentazione di acquisizione per analisi Sismica.

La strumentazione utilizzata è composta da una serie di geofoni ad oscillazione orizzontale collegati ai canali di registrazione. Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall'arrivo del treno di onde sismiche prodotte dal sistema di energizzazione e lo convertono istantaneamente in formato digitale.

Il dato acquisito viene quindi registrato nell'unità di memoria interna al canale stesso rendendosi disponibile per il successivo *download*, mediante interfaccia *master*, da parte del programma di acquisizione installato su computer portatile. L'interfaccia *master*, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, fornisce l'alimentazione elettrica necessaria allo strumento, registra con precisione il segnale *start* proveniente dalla fonte di energizzazione e consente la corretta comunicazione tra il PC e i canali di acquisizione.

### 3. TECNICA SISMICA A RIFLESSIONE (Onde "SH")

La tecnica sismica a riflessione si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante in cui viene generato uno specifico impulso elastico in superficie e l'istante di ricezione dell'impulso generato da una o più riflessioni su altrettante superfici (riflettenti) poste al di sotto del piano di campagna. Quindi, diversamente dalla sismica rifrazione, nella sismica a riflessione non ci si limita alla misura del tempo di

primo arrivo del segnale ma si effettua l'analisi dei treni d'onda ricevuti.

Un'altra caratteristica che differenzia la sismica a riflessione da quella a rifrazione, è che questa metodologia d'indagine non necessita dell'assunto che la velocità di propagazione dell'onda aumenti con la profondità. La riflessione infatti sfrutta il solo contrasto di impedenza sismica (sia positivo che negativo) tra materiali di diversa natura; così una variazione delle caratteristiche tra litotipi, o all'interno dello stesso litotipo, sarà in grado di generare una riflessione delle onde elastiche sulla superficie di discontinuità.

Il vantaggio significativo di questa raffinata tecnica d'esplorazione è la capacità di penetrazione nel sottosuolo e l'accuratezza con cui è possibile localizzare le superfici riflettenti, definirne la geometria, l'estensione e le relazioni reciproche. Per raggiungere questi risultati servono geometrie di stendimento più complesse così come più numerose sono le attrezzature di registrazione e complesse le procedure di elaborazione. Per gli ambiti di indagine quale quello in oggetto, solitamente vengono impiegati sistemi di acquisizione di almeno 48 canali con digitalizzatori a 24 bit.

Tramite appositi sistemi di energizzazione sono generate onde nel sottosuolo che vengono progressivamente registrate in superficie con una catena (*array*) di ricevitori (geofoni).

L'equazione matematica che descrive la curva di un segnale riflesso è di tipo iperbolico:

$$(V_1 \cdot t)^2 = 4H^2 + x^2 + 4H \cdot x \cdot \sin \varphi$$

dove  $V_1$  rappresenta la velocità dell'onda che si propaga nel mezzo considerato omogeneo;  $t$  il tempo d'arrivo nel punto di ascissa generica  $x$ ;  $H$  lo spessore dello strato interessato;  $x$  la distanza del geofono dalla sorgente energizzante;  $\varphi$  l'inclinazione della superficie riflettente.

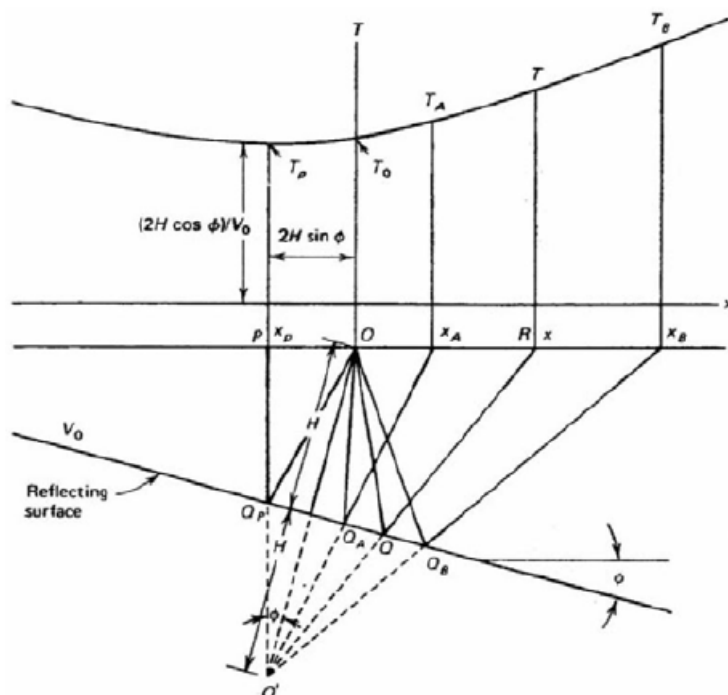


Figura 2: Traiettoria dei raggi sismici su un riflettore inclinato e relativo diagramma tempo-distanza.

In fase di acquisizione dei dati, i parametri fondamentali riguardanti la geometria dello stendimento sono:

- l'*offset* (distanza tra la sorgente energizzante ed il primo sensore);
- il numero delle tracce da registrare;
- la distanza tra le tracce.

La sorgente energizzante nella sismica a riflessione può essere posta all'esterno dello stendimento geofonico (geometria *off-end spread*), oppure all'interno di esso (geometria *split-spread*).

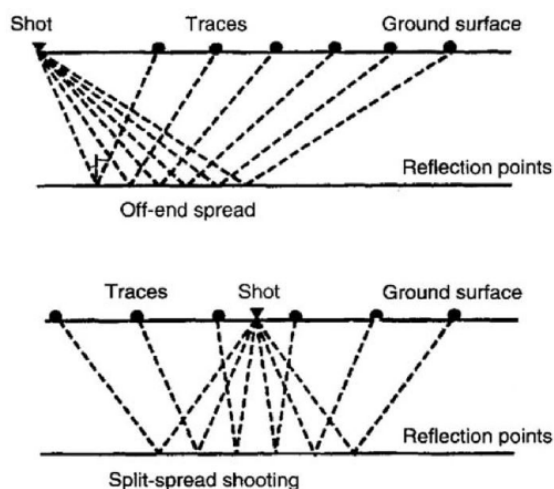


Figura 3: Principali geometrie d'acquisizione.

Solitamente vengono eseguite più misurazioni spostando la sorgente di energizzazione e la catena geofonica in direzioni uguali oppure opposte, così da investigare una porzione più ampia di terreno.

Su queste geometrie si basa la modalità di acquisizione del *common-depth-point* (CDP) che, energizzando in differenti posizioni in superficie, permette di indagare (illuminare) più volte un dato punto in profondità ottenendo così più segnali associati. Tale processo consente di incrementare il rapporto *segnale/rumore* rendendo il risultato finale più *nitido* in quanto *filtrato* degli effetti casuali generati dal *rumore*. Tale modalità d'acquisizione prevede dunque almeno due coperture per ogni punto comune da cui risulta utile operare con tecniche multicanale (*multifold coverage*).

Un aspetto importante del tipo di tecnica di prospezione è il campionamento del segnale. Quest'ultimo infatti è di tipo analogico (continuo nel tempo) mentre lo strumento di acquisizione (un calcolatore) è di tipo digitale (ossia in grado di campionare il segnale solo ad intervalli di tempo imposti dall'operatore). La

funzione *continua* che rappresenta il segnale viene quindi *campionata* con un intervallo di tempo  $\Delta t$  ed un intervallo di distanza  $\Delta x$ . Risulta pertanto molto importante la scelta dei valori di campionamento per evitare che da un errore in fase di registrazione digitale derivi un'acquisizione imprecisa/falsata dei dati (*aliasing temporale/spaziale*).

In linea generale è lecito considerare che il valore del rapporto tra la massima profondità di investigazione

e la massima distanza tra sorgente e ricevitori della linea attiva possa corrispondere a 1. In questo modo è

possibile ottenere la miglior condizione *near-vertical* dei raggi incidenti sulle superfici riflettenti (condizione necessaria per l'applicazione della funzione di deconvoluzione del segnale) evitando così che riflessioni con angoli eccessivamente ampi vengano disturbate da eventuali e significative variazioni laterali della velocità di transito (condizione che inficia la corretta realizzazione della *semblance* su cui operare l'analisi di velocità).

Infine per poter determinare la profondità alla quale si collocano i diversi riflettori (le acquisizioni sono in

tempi) e favorire l'interpretazione geologica del profilo, è necessario conoscere la velocità delle onde sismiche nelle formazioni attraversate. Così, mentre nella sismica applicata alla ricerca profonda tale informazione è ottenuta in modo accurato attraverso dati di pozzo (*control well*), nell'ambito della riflessione ultra-superficiale è possibile eseguire un'affidabile analisi di velocità affiancando le risultanze ottenute dalle correzioni dei segnali in fase di elaborazione (vedasi il paragrafo successivo relativo al processing dei dati) a quelle desumibili dall'analisi in rifrazione dei segnali, oltre ovviamente dalle caratteristiche del contesto geologico presente.

#### 4. TECNICA SISMICA A RIFRAZIONE (Onde “SH”)

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono considerate metodologie d'indagine indiretta tra le più efficaci per la ricostruzione della stratigrafia bidimensionale di un'area e per la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali presenti nel sottosuolo. Tuttavia, quali tecniche d'indagine indirette, sono soggette alle limitazioni di cui alla bibliografia specifica e pertanto richiedono la taratura con altre metodologie d'indagine e/o osservazioni dirette. Il metodo della rifrazione consiste nel generare artificialmente onde elastiche longitudinali o trasversali in un punto della superficie (*Shot*) e nel misurare il tempo impiegato dalle onde prodotte per propagarsi dalla sorgente ai ricevitori (Geofoni), opportunamente disposti sul terreno.

Il fondamento teorico di questa metodologia risiede nel fatto che le velocità e le direzioni di propagazione dei raggi sismici generati con lo *shot* sono strettamente correlate sia al comportamento elasto-meccanico dei terreni attraversati, e dunque alle loro peculiari caratteristiche fisico-meccaniche, che alla presenza di superfici di discontinuità.

Il campo di variazione delle velocità di un litotipo può essere ampio in quanto correlato ai parametri elastici intrinseci al litotipo stesso; questi a loro volta possono essere influenzati da numerosi fattori quali: compattezza, grado di litificazione, di alterazione, porosità, tessitura, contenuto dei fluidi, ecc.

Dall'interpretazione delle dromocrone (curve inviluppo dei tempi di primo arrivo del segnale generato a ogni singolo geofono per ogni diverso punto di energizzazione) è possibile ricostruire l'andamento in profondità delle isocinetiche (curve che uniscono punti ad uguale velocità). Queste ultime, dopo un'accorta valutazione/interpretazione, possono essere ragionevolmente correlate con l'assetto lito-stratigrafico del sito.

La buona precisione raggiungibile, specie disponendo di indagini dirette di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

La tecnica dell'elaborazione tomografica del dato permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, consentendo la ricostruzione della morfologia sepolta anche nel caso di variazioni e discontinuità stratigrafiche particolarmente complesse: più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati", caratterizzati da velocità variabili lungo il profilo d'indagine, con morfologie di superficie non piane.

Con la tecnica di elaborazione tomografica si ottiene l'*imaging* della variabilità della velocità delle onde sismiche nel sottosuolo in relazione ai tempi di primo arrivo e alla geometria di acquisizione; ciò rende possibile la ricostruzione di un modello che è possibile affinare attraverso iterazioni successive. La fase di calcolo si conclude quando viene verificata la condizione di migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il *processing* dei dati (eseguito con il programma RAYFRACT® 3.32) prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (*Wavepath Eikonal Traveltime*), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (*wavepath*) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo. Successivamente, con la fase di *imaging*, si ottiene la rappresentazione grafica della sezione tomografica.

I principali limiti della tecnica a rifrazione sono legati sia allo sviluppo in termini di lunghezza degli stendimenti che alla presenza di forti inversioni di velocità nei livelli più superficiali (come può essere la condizione della presenza della massicciata stradale su terreno di copertura).

In tali circostanze i segnali generati dalla superficie rifrangente subiscono una deviazione verso il basso a causa del rapporto d'impedenza negativo. Ciò porta inevitabilmente al contrasto con i

principi di base della tecnica a rifrazione che richiedono l'aumento progressivo delle velocità di propagazione dell'onda nel sottosuolo con l'incremento di profondità.

Tuttavia qualora la lunghezza dello stendimento raggiunga valori significativi, le limitazioni legate all'elaborazione delle dromocrone con le tecniche classiche a strati omogenei (GRM, plus-minus, wavefront, etc...) possono essere superate ricorrendo al metodo di elaborazione dell'analisi tomografica. Tale procedura (qualora attentamente esaminata in quanto sensibile al disturbo di *artefatti* generati dall'interpolazione dei dati) consente infatti di spingere la modellazione geofisica al di sotto del contrasto d'impedenza negativo, pur restando comunque condizionata nella sua capacità di penetrazione. Per ovviare a tale limitazione, e dunque incrementare la capacità di penetrazione nel sottosuolo, è stato deciso dal sottoscritto, di abbinare alla tecnica a rifrazione quella in riflessione ad alta risoluzione ottenendo i risultati descritti più avanti.

## 5. MODALITÀ E GEOMETRIA D'ACQUISIZIONE DELLE STESE SISMICHE

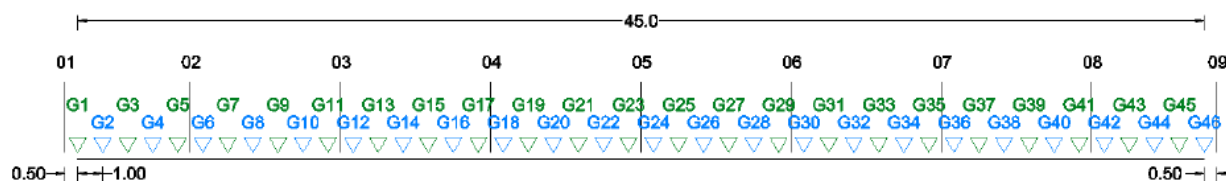
I parametri di acquisizione e la geometria dello stendimento adottati per l'acquisizione sismica a RIFLESSIONE sono riportati di seguito:

| STENDIMENTO                      | SL1 (SH)             |
|----------------------------------|----------------------|
| <b>PARAMETRI DI ACQUISIZIONE</b> |                      |
| Sismografo                       | Do.Re.Mi SARA        |
| Numero geofoni per canale        | 1                    |
| Frequenza naturale geofoni       | 4,5 Hz               |
| Impedenza geofoni                | 3400 $\Omega$        |
| Sensibilità                      | 80 v/m/s             |
| Passo campionamento              | 0,5 ms               |
| Lunghezza registrazione          | 500 ms               |
| Numero di canali                 | 46                   |
| Copertura nominale               | 2300 %               |
| <b>GEOMETRIA STENDIMENTO</b>     |                      |
| Passo geofoni                    | 1,0 m                |
| Passo punti di energizzazione    | 1,0 m                |
| Offset minimo                    | 0,5 m                |
| Offset massimo                   | 45,5 m               |
| Spread                           | Off-end/Split-spread |

La geometria dello stendimento a rifrazione ha ricalcato quella utilizzata per la riflessione. In particolare sullo stendimento in riflessione il segnale è stato elaborato anche con tecnica a rifrazione per le onde di taglio, al fine di definire il valore di riferimento della velocità nei primi metri (areato).

Di seguito si riportano le caratteristiche adottate per la prospezione a RIFRAZIONE:

| STENDIMENTO                      | SR1 (SH)      |
|----------------------------------|---------------|
| <b>PARAMETRI DI ACQUISIZIONE</b> |               |
| Sismografo                       | Do.Re.Mi SARA |
| Numero geofoni per canale        | 1             |
| Frequenza naturale geofoni       | 4,5 Hz        |
| Impedenza geofoni                | 3400 $\Omega$ |
| Sensibilità                      | 80 v/m/s      |
| Passo campionamento              | 0,5 ms        |
| Lunghezza registrazione          | 500 ms        |
| Numero di canali                 | 46            |
| n° punti di scoppio              | 9             |
| Passo geofoni                    | 1,0 m         |



I dati acquisiti sono stati elaborati con tecnica tomografica secondo lo svolgimento delle seguenti fasi:

- determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRACT® 3.32;
- formazione di un *database* contenente la geometria della linea sismica;
- conversione dei dati in formato ASCII;
- processo di *smooth inversion* che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) profondità/velocità;
- ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET;
- controllo del “*fitting*” tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione;
- output grafico della sezione tomografica.

Per maggiori dettagli sui risultati delle prove eseguite e le relative elaborazioni si rimanda agli elaborati grafici in allegato.

## 6. PROCESSING DEI DATI IN RIFLESSIONE - STENDIMENTO SL1

La condizione del sito è risultata favorevole in termini di rumorosità ambientale, determinata esclusivamente dall'occasionale traffico stradale di Via Roma. In ogni caso, per ciascun punto d'energizzazione (*shot-point*) si è proceduto ad un numero minimo di 2 registrazioni (*multistacking*).

Tale accorgimento adottato in fase di acquisizione consente infatti una significativa attenuazione del rumore (*noise*) presente nelle singole tracce, ottenendo un sismogramma *stack* in cui il segnale (*signal*) generato è sempre in fase e si somma mentre il rumore, *random*, tende ad annullarsi. I dati acquisiti con gli stendimenti sono stati sottoposti alla sequenza di *processing* di seguito indicata:

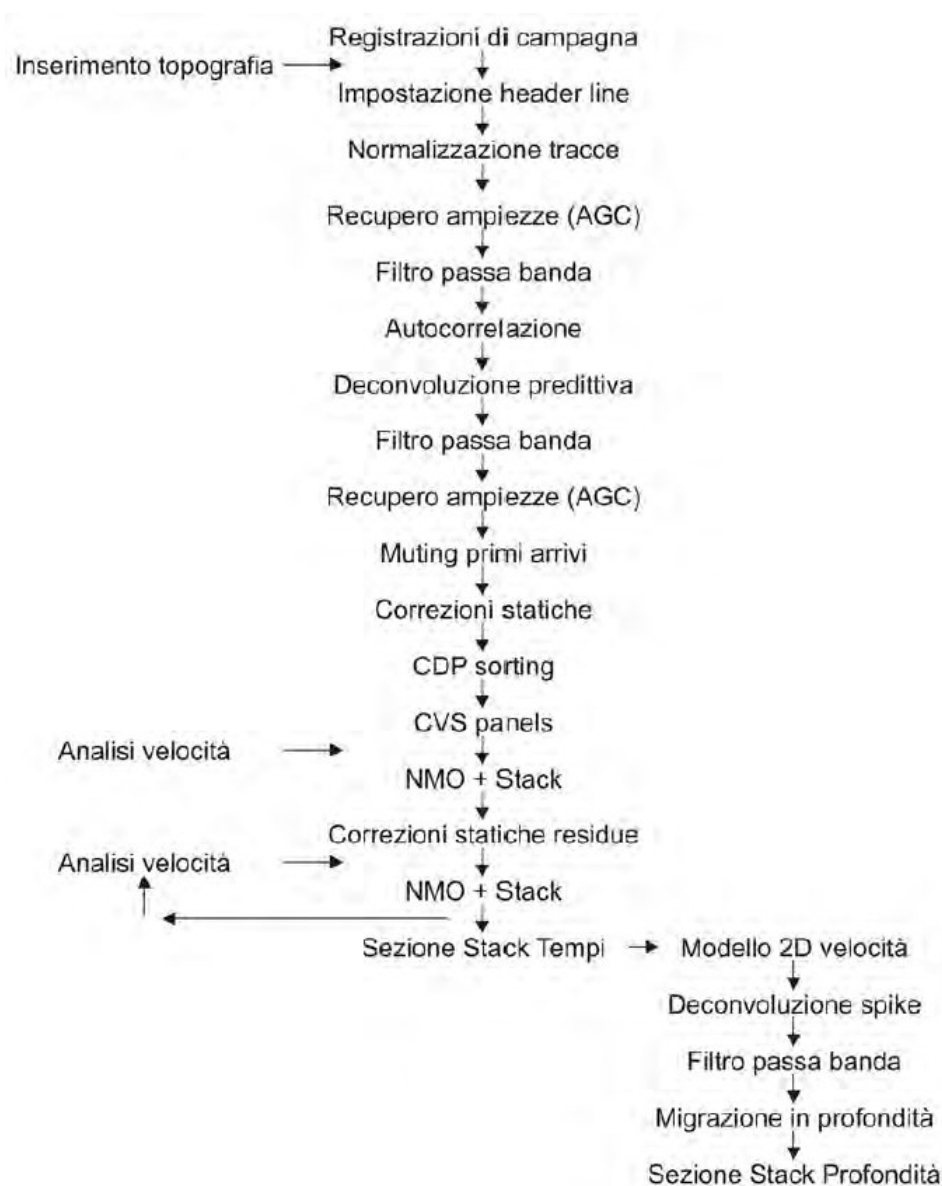


Figura 4: Flow-Chart delle operazioni di processing.

Partendo dalla geometria di acquisizione sono state applicate le correzioni statiche di quota e di rifrazione. A tal fine è stato utilizzato un modello a due strati (ottenuto con il Metodo *wavefront*) in cui le velocità del primo e del secondo strato sono state ricavate su ogni verticale dai primi arrivi delle singole tracce scoppio-ricevitori.

E' stata quindi eseguita l'analisi di velocità su raggruppamenti CDP (*supergathers*) realizzati sommando in *stack* più raggruppamenti cdp continui in modo tale da incrementare il rapporto S/N del segnale. I pannelli di velocità evidenziano i valori di coerenza relativi a eventi di riflessione e consentono di tracciare l'andamento della velocità con la profondità lungo la linea.

Per l'analisi della velocità sono stati presi in considerazione 1 *supergather* ogni 5 m per avere un maggior dettaglio di continuità laterale. E' stato costruito un modello di velocità iniziale selezionando le coppie (To, Vsh) sulle semblance realizzate; successivamente questo modello è stato perfezionato nei suoi punti più rilevanti, utilizzando le semblance a risoluzione più elevata. L'analisi di velocità eseguita sui raggruppamenti CDP è stata inoltre comparata a Sezioni CVS (Constant Velocity Stack) per migliorare l'efficacia del picking sui riflettori principali. Infine, affiancando graficamente i risultati ottenuti per ciascun *supergather*, è stato ricavato il modello di velocità 2D lungo la sezione sismica.

## 7. COMMENTO DEI RISULTATI IN RIFLESSIONE - STENDIMENTO SL1

La prospezione sismica è stata condotta in assetto subortogonale alla direzione delle principali strutture locali e secondo la massima pendenza del versante. Essa ha consentito di ottenere un'immagine risolta dei domini sismostratigrafici presenti nell'ambito dei primi 75 m c.a. di profondità nel sottosuolo così come evidenziati nelle seguenti figure sia in modalità *wiggle* che *point mode*.

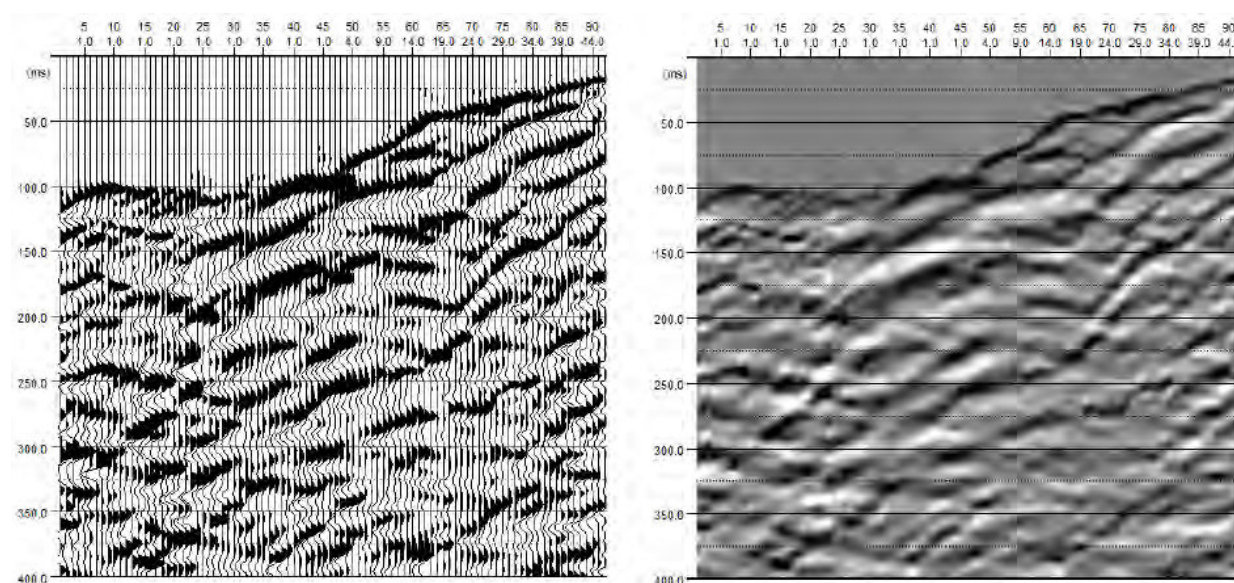
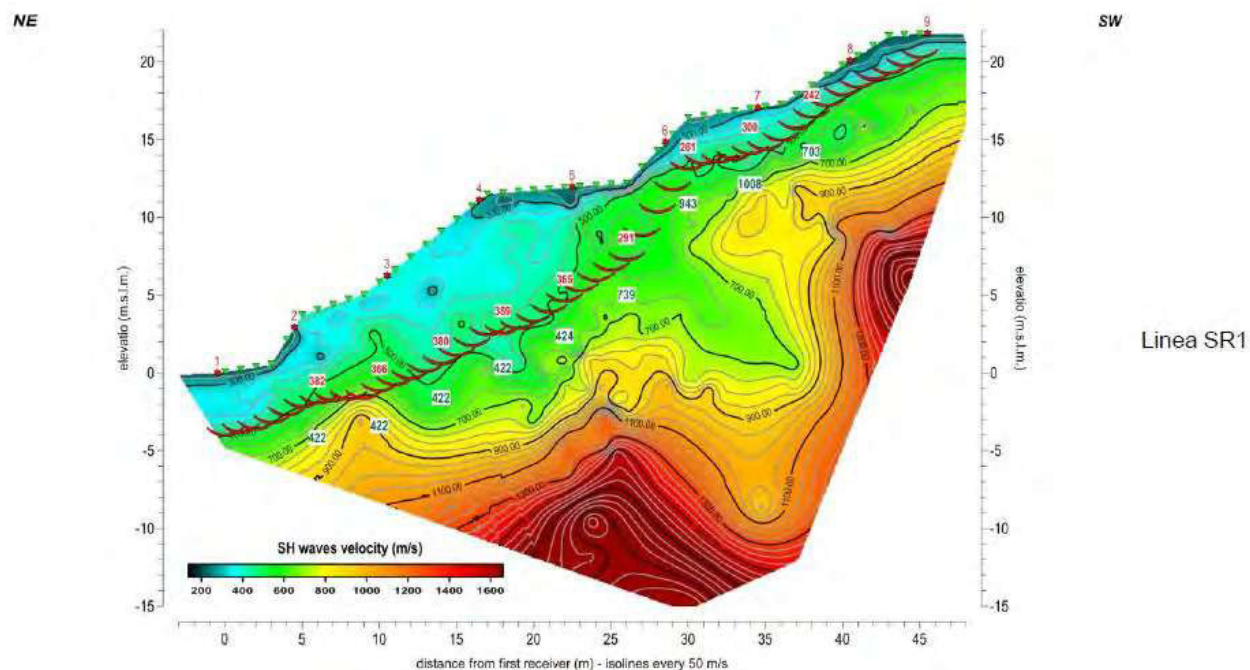


Figura 5: Sezione stack in tempi. Rappresentazione wiggle (sx) e point mode (dx).

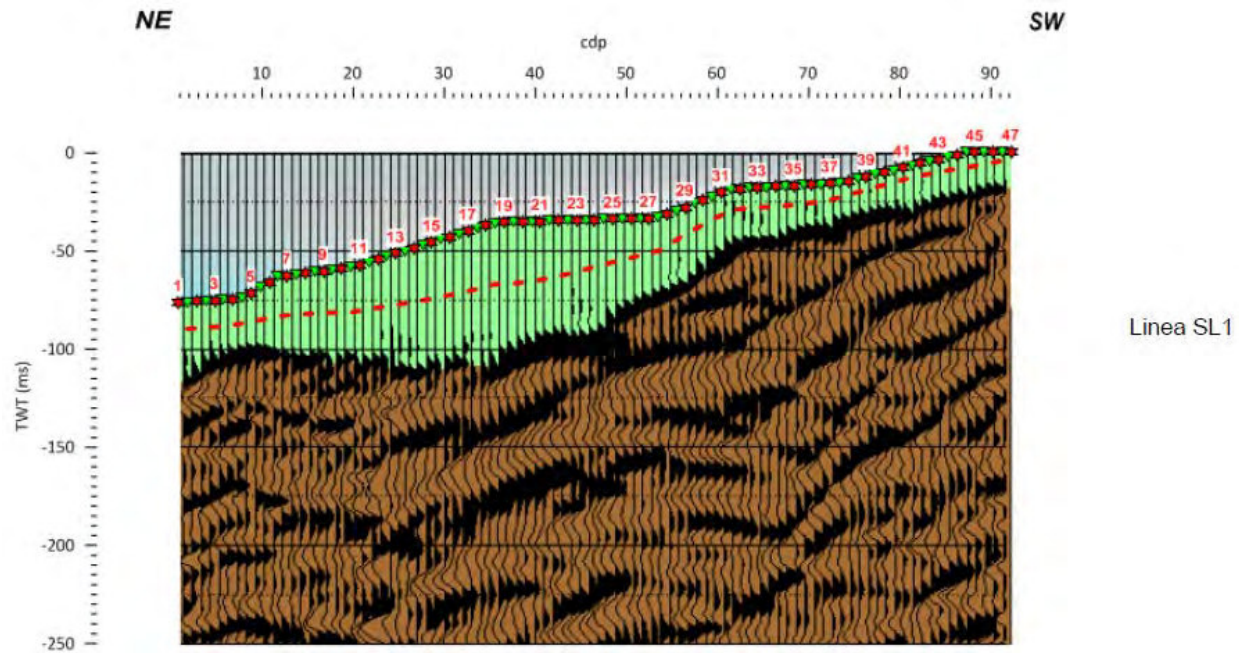
Sulla base di quanto specificato al precedente paragrafo relativo alla tecnica sismica a riflessione, la profondità di massima risoluzione dei riflettori per la sezione investigata è risultata di circa 45,5 m essendo questa vincolata all'*offset* massimo utilizzato in fase di acquisizione secondo il rapporto 1:1.

L'analisi del *dataset* con tecnica a rifrazione sia classica che tomografica oltre aiutare nella ricostruzione del modello di velocità più superficiale, permette di correggere efficacemente le statiche morfologiche.



Una volta ricavato il modello sismostratigrafico, sulla base delle informazioni geologiche disponibili e opportunamente acquisite, sarà possibile attribuire il significato geologico a quello sismostratigrafico.

Con riferimento alle immagini precedentemente riportate e alle tavole allegate, le *sismofacies* individuate possono essere così sintetizzate:



**Sismofacies 1** - (verde). E' presente nella porzione più superficiale lungo l'intera sezione sismica, collocandosi tra il piano campagna e la prima riflessione significativa. Ha uno spessore variabile da 2,0 a 13,0 m c.a. ed è dotata di velocità delle onde di taglio comprese tra i 200 m/s nella parte a dx fino a circa 400 m/s in quella di sinistra. Per completezza d'informazione all'interno di questa sismofacies è evidenziato con una linea rossa tratteggiata il rifrattore individuato con la tecnica a rifrazione classica (metodo *wavefront*, Rockwell 1967);

**Sismofacies 2** - (marrone). E' riconoscibile lungo l'intero stendimento e si caratterizza per la presenza di un segnale a bassa frequenza con riflessioni sub-parallelle continue e ben marcate associabili a una litologia stratificata, con inclinazione a franapoggio ad alto angolo. In questa sismofacies le velocità di transito delle onde SH sono nettamente più elevate variando tra circa 800 e 1200 m/s.

Nella Tavola allegata sono riportati graficamente i risultati dell'analisi sismica eseguita, con particolare riferimento ai cdp 1,10,20,30,40,50,60,70,80 e 92 utilizzati per ottenere il modello di velocità individuato e la relativa  $V_{seq}$  fino al bedrock.

## 8. ALLEGATI

### Appendice 1: report sismica a RIFLESSIONE

(Ultra-Shallow Seismic Reflection Survey)

(SEISMIC UNIX)

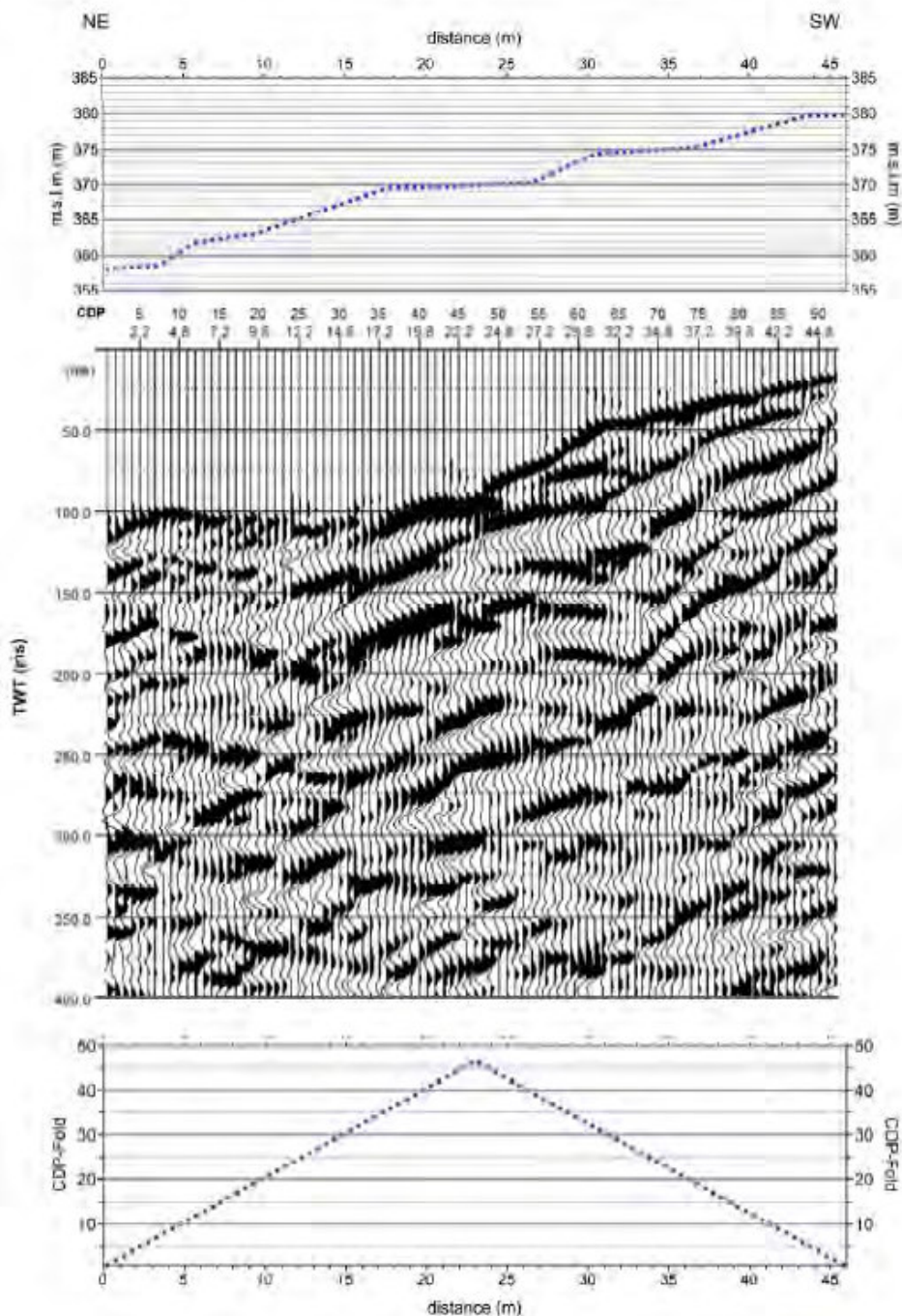


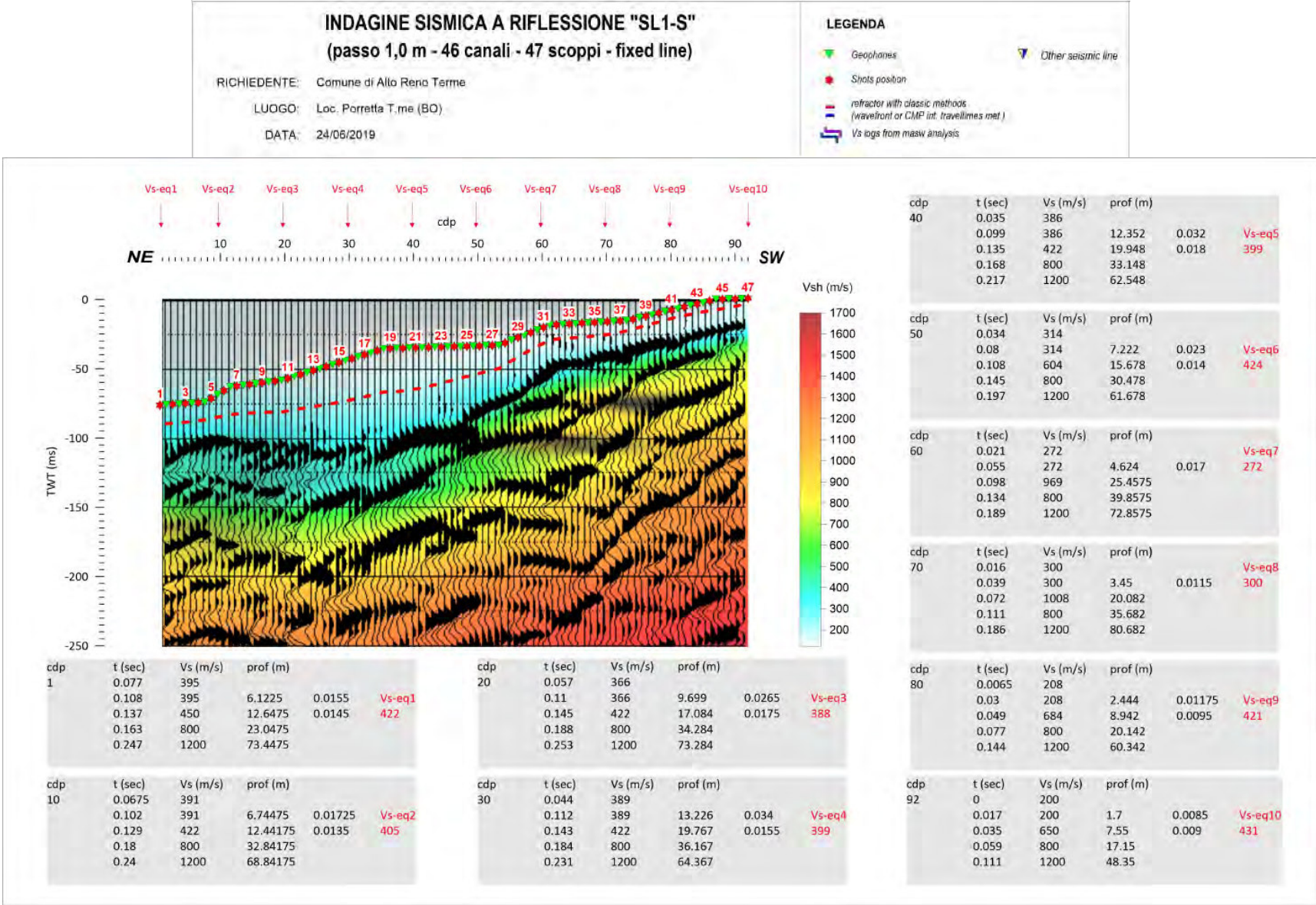
STENDIMENTO SL1 - Ubicazione CDP -Riferimento ortofoto



Stendimento SL1 - Ubicazione CDP -Riferimento cartografico CTR Emilia Romagna scala 1:5.000

| Misura | Tipologia | Lat.<br>WGS84 | Lon.<br>WGS84 | Z             | Lungh.  | Passo geof | ch | T      | $\tau$   |
|--------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------|------------|----|--------|----------|
| PC     | USSR      | 44.1531       | 10.9767       | 358,04÷379,82 | 45,50 m | 1,0 m      | 46 | 0,50 s | 0.0005 s |



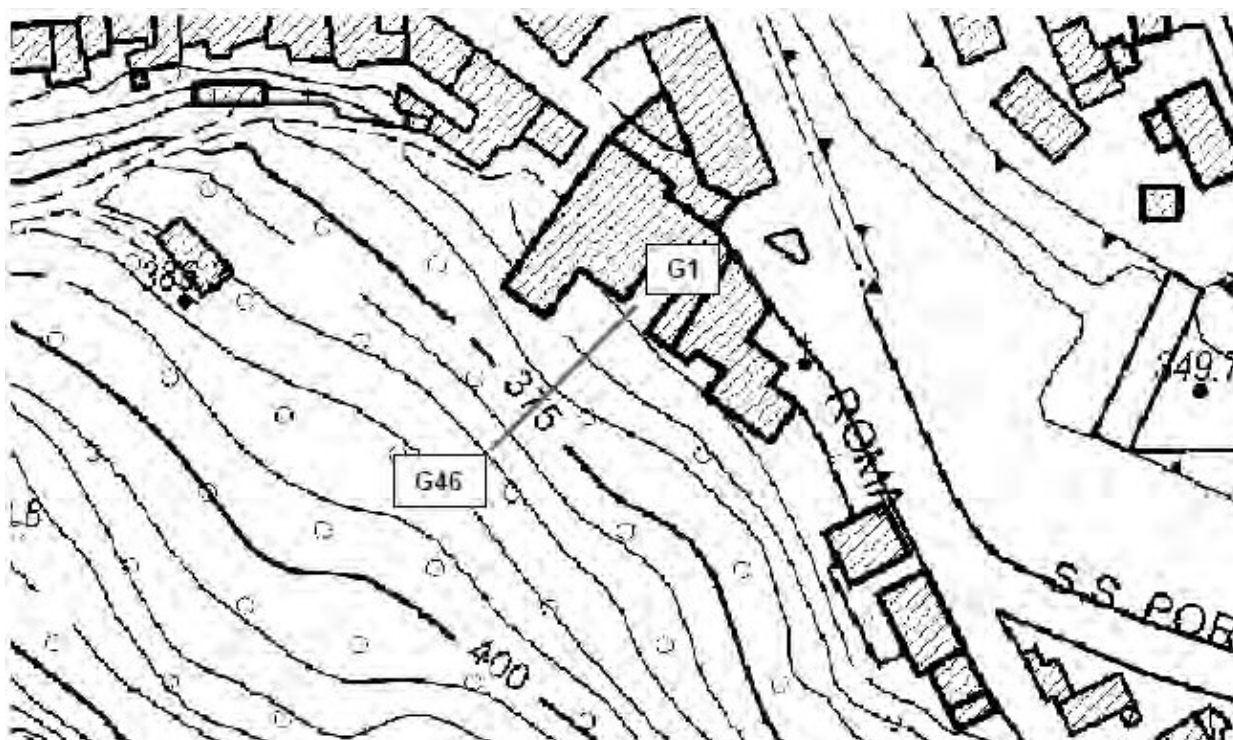


## Appendice 2: report sismica a RIFRAZIONE

(REYFRACT 3.32)



STENDIMENTO SR1 - Ubicazione Geofoni -Riferimento ortofoto

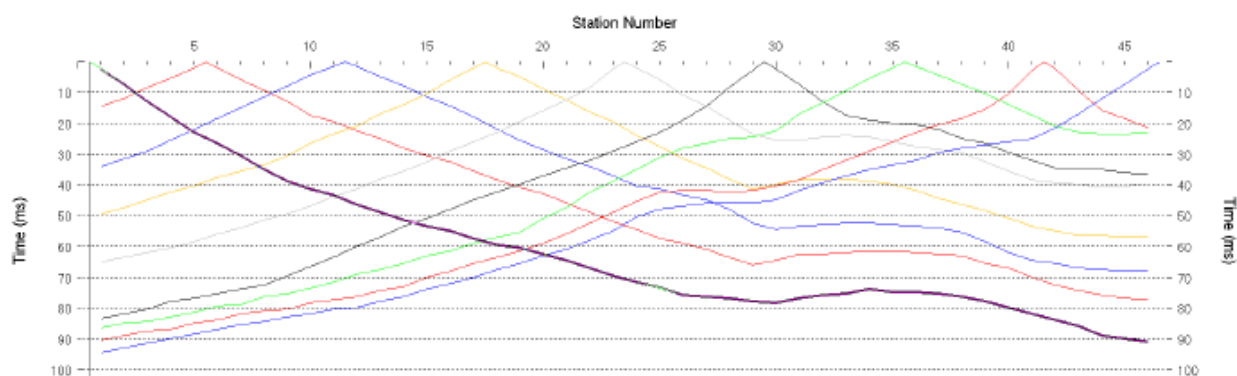


Stendimento SR1 - Ubicazione Geofoni -Riferimento cartografico CTR Emilia Romagna scala 1:5.000

STENDIMENTO SR1 SH - GEOMETRIA STENDIMENTO

| Scoppio - Geofono | x [m] | y [m] | z [m] |
|-------------------|-------|-------|-------|
| S1                | 0.50  | 0.00  | 0.00  |
| G1                | 1.00  | 0.00  | 0.08  |
| G2                | 2.00  | 0.00  | 0.24  |
| G3                | 3.00  | 0.00  | 0.40  |
| G4                | 4.00  | 0.00  | 0.56  |
| G5                | 5.00  | 0.00  | 2.15  |
| S2                | 5.50  | 0.00  | 2.94  |
| G6                | 6.00  | 0.00  | 3.73  |
| G7                | 7.00  | 0.00  | 4.06  |
| G8                | 8.00  | 0.00  | 4.39  |
| G9                | 9.00  | 0.00  | 4.72  |
| G10               | 10.00 | 0.00  | 5.05  |
| G11               | 11.00 | 0.00  | 5.86  |
| S3                | 11.50 | 0.00  | 6.27  |
| G12               | 12.00 | 0.00  | 6.67  |
| G13               | 13.00 | 0.00  | 7.48  |
| G14               | 14.00 | 0.00  | 8.29  |
| G15               | 15.00 | 0.00  | 9.10  |
| G16               | 16.00 | 0.00  | 9.91  |
| G17               | 17.00 | 0.00  | 10.73 |
| S4                | 17.50 | 0.00  | 11.13 |
| G18               | 18.00 | 0.00  | 11.54 |
| G19               | 19.00 | 0.00  | 11.61 |
| G20               | 20.00 | 0.00  | 11.69 |
| G21               | 21.00 | 0.00  | 11.77 |
| G22               | 22.00 | 0.00  | 11.84 |
| G23               | 23.00 | 0.00  | 11.92 |
| S5                | 23.50 | 0.00  | 11.96 |
| G24               | 24.00 | 0.00  | 12.00 |
| G25               | 25.00 | 0.00  | 12.07 |
| G26               | 26.00 | 0.00  | 12.15 |
| G27               | 27.00 | 0.00  | 12.23 |
| G28               | 28.00 | 0.00  | 13.27 |
| G29               | 29.00 | 0.00  | 14.31 |
| S6                | 29.50 | 0.00  | 14.83 |
| G30               | 30.00 | 0.00  | 15.35 |
| G31               | 31.00 | 0.00  | 16.39 |
| G32               | 32.00 | 0.00  | 16.54 |
| G33               | 33.00 | 0.00  | 16.69 |
| G34               | 34.00 | 0.00  | 16.84 |
| G35               | 35.00 | 0.00  | 16.99 |
| S7                | 35.50 | 0.00  | 17.06 |
| G36               | 36.00 | 0.00  | 17.14 |
| G37               | 37.00 | 0.00  | 17.29 |
| G38               | 38.00 | 0.00  | 17.91 |
| G39               | 39.00 | 0.00  | 18.54 |
| G40               | 40.00 | 0.00  | 19.16 |
| G41               | 41.00 | 0.00  | 19.78 |
| S8                | 41.50 | 0.00  | 20.10 |
| G42               | 42.00 | 0.00  | 20.41 |
| G43               | 43.00 | 0.00  | 21.03 |
| G44               | 44.00 | 0.00  | 21.66 |
| G45               | 45.00 | 0.00  | 21.73 |
| G46               | 46.00 | 0.00  | 21.80 |
| S9                | 46.50 | 0.00  | 21.84 |

| PRIMI ARRIVI SR1-SH |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Geofono             | Shot 1 | Shot 2 | Shot 3 | Shot 4 | Shot 5 | Shot 6 | Shot 7 | Shot 8 | Shot 9 |
| 1                   | 2.5    | 14.5   | 34.0   | 49.5   | 65.0   | 83.5   | 86.5   | 90.5   | 94.5   |
| 2                   | 7.5    | 12.0   | 31.5   | 47.5   | 63.5   | 82.0   | 85.0   | 89.0   | 93.0   |
| 3                   | 13.0   | 8.5    | 29.0   | 45.0   | 62.0   | 80.5   | 84.5   | 87.5   | 91.5   |
| 4                   | 18.0   | 5.5    | 25.5   | 42.5   | 60.5   | 78.0   | 83.0   | 87.0   | 90.0   |
| 5                   | 23.0   | 2.0    | 22.0   | 40.5   | 58.5   | 77.0   | 81.5   | 85.0   | 88.5   |
| 6                   | 28.5   | 2.0    | 18.5   | 37.5   | 56.0   | 75.5   | 79.5   | 84.0   | 87.0   |
| 7                   | 30.5   | 6.0    | 15.0   | 35.5   | 54.0   | 74.0   | 79.0   | 82.0   | 85.5   |
| 8                   | 35.0   | 9.5    | 11.5   | 33.5   | 51.5   | 72.5   | 76.5   | 81.0   | 84.5   |
| 9                   | 39.0   | 13.0   | 8.0    | 30.5   | 49.5   | 69.5   | 75.5   | 80.5   | 83.0   |
| 10                  | 41.5   | 17.5   | 4.5    | 28.5   | 47.0   | 66.5   | 73.5   | 78.5   | 82.0   |
| 11                  | 43.5   | 19.5   | 1.5    | 23.5   | 44.0   | 63.5   | 71.5   | 77.5   | 80.5   |
| 12                  | 46.5   | 22.5   | 1.5    | 21.0   | 41.5   | 60.0   | 69.0   | 76.5   | 80.0   |
| 13                  | 49.0   | 25.0   | 5.0    | 17.0   | 38.0   | 57.0   | 67.5   | 74.5   | 78.0   |
| 14                  | 51.5   | 28.0   | 8.0    | 14.0   | 35.5   | 53.5   | 65.5   | 73.0   | 76.5   |
| 15                  | 53.5   | 30.5   | 11.5   | 10.5   | 32.5   | 51.0   | 63.0   | 70.0   | 74.0   |
| 16                  | 55.0   | 32.5   | 14.5   | 8.0    | 29.0   | 48.0   | 61.5   | 68.0   | 72.0   |
| 17                  | 57.5   | 35.5   | 18.0   | 2.0    | 26.0   | 45.0   | 59.0   | 65.5   | 70.0   |
| 18                  | 59.5   | 38.5   | 22.0   | 2.0    | 23.0   | 42.5   | 57.0   | 63.5   | 67.5   |
| 19                  | 60.5   | 41.0   | 25.5   | 5.0    | 19.5   | 40.0   | 55.5   | 61.5   | 65.5   |
| 20                  | 62.5   | 43.0   | 28.5   | 9.0    | 16.0   | 37.0   | 51.0   | 59.0   | 63.0   |
| 21                  | 64.5   | 46.0   | 31.5   | 12.5   | 12.5   | 34.5   | 47.5   | 56.0   | 61.0   |
| 22                  | 67.0   | 49.0   | 34.0   | 16.5   | 8.5    | 32.0   | 42.5   | 52.5   | 58.0   |
| 23                  | 69.5   | 52.0   | 37.0   | 19.5   | 2.5    | 29.0   | 39.0   | 49.0   | 55.0   |
| 24                  | 71.5   | 54.5   | 40.5   | 24.0   | 2.0    | 26.0   | 35.0   | 45.5   | 50.5   |
| 25                  | 73.5   | 57.5   | 41.5   | 27.5   | 6.0    | 23.0   | 31.0   | 42.5   | 48.0   |
| 26                  | 76.0   | 59.0   | 43.5   | 31.5   | 11.0   | 19.0   | 28.0   | 42.0   | 47.0   |
| 27                  | 78.5   | 61.0   | 45.0   | 34.5   | 14.5   | 14.5   | 26.5   | 42.0   | 46.0   |
| 28                  | 77.0   | 63.5   | 48.0   | 38.0   | 19.0   | 8.5    | 25.0   | 42.5   | 46.0   |
| 29                  | 78.0   | 66.0   | 52.5   | 41.5   | 23.5   | 3.0    | 24.5   | 42.0   | 46.0   |
| 30                  | 78.5   | 64.5   | 54.5   | 40.0   | 25.5   | 2.5    | 22.5   | 40.5   | 45.0   |
| 31                  | 77.0   | 62.5   | 53.5   | 38.5   | 25.5   | 7.5    | 17.0   | 38.5   | 42.0   |
| 32                  | 76.0   | 62.5   | 53.0   | 38.5   | 24.5   | 13.0   | 13.5   | 35.0   | 39.5   |
| 33                  | 75.5   | 62.0   | 52.5   | 38.0   | 24.0   | 17.5   | 9.5    | 32.0   | 37.0   |
| 34                  | 74.0   | 61.5   | 52.5   | 39.0   | 24.5   | 19.0   | 5.5    | 29.0   | 35.0   |
| 35                  | 75.0   | 61.5   | 53.0   | 40.0   | 26.0   | 20.0   | 2.0    | 26.0   | 33.5   |
| 36                  | 75.0   | 62.0   | 53.5   | 42.0   | 27.5   | 20.5   | 1.5    | 23.0   | 32.0   |
| 37                  | 75.5   | 62.5   | 54.0   | 44.5   | 28.5   | 22.0   | 4.5    | 20.5   | 29.5   |
| 38                  | 76.5   | 63.0   | 55.5   | 46.5   | 29.5   | 25.0   | 7.5    | 18.5   | 28.0   |
| 39                  | 78.0   | 65.5   | 58.5   | 48.5   | 32.5   | 26.5   | 10.5   | 15.5   | 27.0   |
| 40                  | 80.0   | 67.0   | 62.0   | 51.0   | 35.5   | 29.5   | 14.0   | 10.5   | 26.0   |
| 41                  | 82.0   | 70.0   | 64.5   | 53.5   | 38.5   | 32.0   | 17.5   | 3.0    | 25.0   |
| 42                  | 84.0   | 72.5   | 65.5   | 55.0   | 39.5   | 34.5   | 21.0   | 2.5    | 21.5   |
| 43                  | 86.0   | 74.5   | 67.0   | 56.5   | 40.0   | 35.0   | 23.0   | 9.5    | 17.0   |
| 44                  | 89.0   | 76.0   | 67.5   | 56.5   | 41.0   | 35.0   | 23.5   | 16.0   | 12.0   |
| 45                  | 90.0   | 77.0   | 68.0   | 57.0   | 40.5   | 36.0   | 23.5   | 18.5   | 7.5    |
| 46                  | 91.0   | 77.5   | 68.0   | 57.0   | 40.0   | 36.5   | 23.0   | 21.5   | 2.5    |



INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE "S"  
(passo 1,5 m - 60 canali)

