

# REGIONE UMBRIA

A.T.I.  
UMBRIA 1 e 2



RIORDINO DEL SISTEMA DI RACCOLTA E  
DEPURAZIONE DELL'AGGLOMERATO DI SAN GIUSTINO  
ADEGUAMENTO IMPIANTO DI DEPURAZIONE IN LOC.  
SELCI LAMA – COMUNE DI SAN GIUSTINO  
(PAR-FSC 2007-2013)

## PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONI TECNICHE:

Relazione geologica e  
geotecnica sulle indagini

ALLEGATO:

1

ELABORATO:

3

SCALA:

NOME FILE

Rel\_geol\_dep\_s\_giustino

CODICE COMMESSA

UMA\_SGDEP\_PD

DATA PROGETTO:

GENNAIO 2015

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA TRA IMPRESE:

CAPOGRUPPO:

- ING. ALESSANDRO TOCCACELI

MANDANTI:

- ST. ASS.TO LOMBARDI SPAZZOLI PAGLIONICO  
ING. ENNIO SPAZZOLI

- ING. ELISABETTA SANTIONI

UMBRA ACQUE S.P.A.  
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO E  
DIRIGENTE U.O. INVESTIMENTI E PROGRAMMAZIONE  
(ING. MARINO BURINI)

PROCEDURA DI CONTROLLO INTERNO:

REV.	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	VALIDAZIONE:	DATA:
00	EMISSIONE	SR	AT	ES	GENNAIO 2015

# **STUDIO DI GEOLOGIA**

## **Dott. SILVIA ROSSI**

Viale Patrono d'Italia, 66/A  
06081 S. Maria degli Angeli  
Telefono: 075.8040050  
Cell: 338.3297663

Piazza del Tabacchificio, 14  
06083 Bastia Umbra  
Telefono: 075.8003511  
@mail: rossisilvia06@gmail.com

## **REGIONE DELL'UMBRIA**

## **PROVINCIA DI PERUGIA**

## **COMUNE DI SAN GIUSTINO**

## **RIORDINO DEL SISTEMA DI RACCOLTA E DEPURAZIONE DELL'AGGLOMERATO DI SAN GIUSTINO ADEGUAMENTO IMPIANTO DI DEPURAZIONE IN LOCALITA' SELCI LAMA PROGETTO PRELIMINARE**

COMMITTENTE: A.T.I. UMBRIA 1 e 2 - UMBRA ACQUE  
LOCALITA': Selci Lama

## **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI**



## 1 - PREMESSA

Su incarico e per conto dell'A.T.I. UMBRIA 1 e 2 e di UMBRA ACQUE è stato eseguito uno studio geologico e geotecnico sulle indagini a corredo del progetto preliminare relativo all'intervento di riordino del sistema di raccolta e depurazione dell'agglomerato di San Giustino e di adeguamento dell'impianto di depurazione ubicato in località Selci Lama (Comune di San Giustino).

Lo studio, svolto in conformità alle normative vigenti (Norme Tecniche per le costruzioni - Testo Unico D.M. 14 Gennaio 2008 e Circolare 2 Febbraio 2009 N. 617), si è articolato secondo le seguenti fasi operative:

- caratterizzazione geomorfologica, geologica ed idrogeologica dell'area in esame, attraverso:
  - consultazione della cartografia tematica,
  - rilevamento geologico-geomorfologico di superficie,
  - esecuzione di n. 1 prova penetrometrica dinamica;
  - esecuzione di n. 1 profilo sismico con tecnica masw,
- caratterizzazione geotecnica dei terreni fondali e valutazione dei parametri geotecnici caratteristici;
- definizione della sismicità dell'area, della pericolosità sismica di base e locale del sito studiato;
- valutazione del rischio di liquefazione dei terreni fondali;
- valutazione del rischio idraulico e del rischio idrogeologico;
- elaborazione dei dati, degli elaborati grafici e stesura della presente relazione illustrativa.

Si allegano i seguenti elaborati:

- Corografia topografica, scala 1:25.000;
- Foto aerea, non in scala;
- Estratto P.R.G., Sistemi ed ambiti - Zone territoriali omogenee;
- Estratto P.R.G., Aree sottoposte a vincolo idrogeologico - Estratto Tavola N. 2 P.A.I.;
- Carta geologica, scala 1:10.000;
- Planimetria catastale, scala 1:5.000;
- Planimetria di progetto, scala 1:500;
- Sezioni geologiche, scala 1:200;
- Elaborati prova penetrometrica P1;
- Relazione tecnica indagine sismica.



## **2 - UBICAZIONE DELL'AREA, RIFERIMENTI URBANISTICI ED INSERIMENTO NELLA CARTOGRAFIA TERRITORIALE**

L'area in esame è ubicata lungo Via Madonna del Tevere, in posizione Sud occidentale rispetto alla frazione di Selci, ad una distanza media pari a 880 m circa da essa, e a valle della Strada Statale Tiberina E45, alla distanza media di 200 m circa.

Dal punto di vista topografico, tale area è compresa nella Tavoletta "Pistrino" IV S.E. del Foglio n. 115 della Carta d'Italia (vedi corografia topografica allegata).

Le **coordinate geografiche ED50** riferite al sito progettuale sono le seguenti: latitudine 43,509605° - longitudine 12,186349°.

Dal punto di vista catastale, l'impianto di depurazione è censito al foglio di mappa n. 74 del Comune di San Giustino con le particelle n. 195 e 196, ed al foglio di mappa n. 75 con le particelle n. 52 - 189 - 225 (vedi planimetria catastale).

Infine, dal punto di vista urbanistico, dalla consultazione della cartografia a corredo del P.R.G. del Comune di San Giustino Parte Strutturale risulta quanto segue (vedi estratti allegati):

- nell'elaborato "Sistemi ed ambiti" il sito progettuale ricade nel sistema ambientale agricolo di pianura;
- nell'elaborato "Zone territoriali omogenee" il sito progettuale ricade nella zona omogenea F ricompresa nell'area agricola di pregio Ep.

Per quanto riguarda l'inserimento del sito oggetto di studio nell'ambito della cartografia tematica territoriale sono state consultate le seguenti tavole:

- Carta Geologica d'Italia Foglio 289 "Città di Castello", alla scala 1:50.000 a cura del Servizio Geologico d'Italia;
- Carta Geomorfologica d'Italia Foglio 289 "Città di Castello", alla scala 1:50.000 a cura del Servizio Geologico d'Italia;
- tavola N. 291 "Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio da frana" a corredo del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere;
- cartografia Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia);
- tavola N. 2 "Fasce fluviali e zone a rischio" a corredo del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

## **3 - INDAGINI GEOLOGICHE**

Il presente studio geologico è corredato da una campagna di indagini consistente in:

- n. 1 prova penetrometrica dinamica,
- n. 1 profilo sismico con tecnica masw.

Per l'ubicazione di tali indagini si veda la planimetria di progetto allegata.



### **3.a - PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1**

La prova penetrometrica dinamica P1, spinta alla profondità di 9,2 m dal p.c., è stata eseguita mediante penetrometro dinamico DPSH (super pesante) avente massa battente pari a 63,5 kg.

Le risultanze di tale indagine sono state elaborate nei seguenti allegati:

- tabella valori di resistenza,
- diagramma N20 e diagramma Rpd in funzione della profondità,
- documentazione fotografica.

La resistenza del terreno può essere valutata per correlazione del numero di colpi ogni 20 cm, N20, con quello dello Standard Penetration Test, NSPT.

In particolare, per il penetrometro utilizzato la casa produttrice propone la seguente legge di correlazione:  $NSPT = 1,489 N20$ .

### **3.b - PROFILO SISMICO PS1**

Al fine di determinare le caratteristiche sismo-stratigrafiche del sito progettuale è stato eseguito n. 1 profilo sismico con tecnica masw per l'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh.

Tale indagine, finalizzata alla determinazione della velocità delle onde di taglio Vs, ha permesso di investigare il sottosuolo fino alla profondità di 30,0 m circa dal p.c.

Per i dettagli sulla strumentazione e sulle modalità di esecuzione del profilo sismico, si rimanda alla relazione tecnica allegata.

## **4 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE**

L'area in esame si colloca nell'Alta Valle del Tevere, nell'ambito di una zona sub-pianeggiante caratterizzata a scala locale da una debole pendenza in direzione Sud Ovest, alla quota topografica assoluta di circa 292÷293 m s.l.m.

L'area è stabile come risulta anche dalla consultazione della cartografia tematica consultata (Tavola 291 "Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio da frana" a corredo del P.A.I. e cartografia Progetto I.F.F.I.).

La rete idrica è costituita dal Torrente Selci e da alcuni fossi secondari e canali di scolo che drenano le acque di scorrimento superficiale in direzione SO, verso il Fiume Tevere, principale agente morfogenetico locale.

Rispetto al Torrente Selci, tributario di sinistra del Fiume Tevere, il sito progettuale si colloca in sinistra idrografica, ad una distanza media pari a 400 m circa dall'argine fluviale.

Rispetto al Fiume Tevere, invece, il sito studiato si colloca in sinistra idrografica, ad una distanza media pari a 1,0 km circa dall'argine fluviale.

## 5 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E MODELLO GEOLOGICO

L'area in esame è costituita dai **depositi alluvionali recenti** (*Olocene*) del Fiume Tevere, caratterizzati da limi argillosi debolmente sabbiosi di colore bruno localmente alternati a sabbie e sabbie ghiaiose in orizzonti di spessore variabile.

Le condizioni geologico-stratigrafiche locali sono state delineate attraverso:

- rilevamento geologico di superficie;
- consultazione della Carta Geologica d'Italia Foglio 289 "Città di Castello", alla scala 1:50.000 a cura del Servizio Geologico d'Italia;
- esecuzione di n. 1 prova penetrometrica dinamica (vedi paragrafo 3.a);
- esecuzione di n. 1 profilo sismico con tecnica masw PS1 (vedi paragrafo 3.b).

Su tali basi, per il sito progettuale si ricostruisce il seguente **modello geologico del sottosuolo di tipo bi-strato** (vedi sezioni geologiche allegate):

**STRATO 1:** da 0,0 a 3,6 m dal p.c.

costituito da limi argillosi di colore bruno, scarsamente consistenti, sormontati da un orizzonte di terreno vegetale di spessore pari a 50÷60 cm.

**STRATO 2:** da 3,6 m dal p.c. in poi

costituito da limi argillosi debolmente sabbiosi di colore bruno con tonalità grigie, mediamente consistenti.

Le risultanze del profilo sismico PS1, eseguito a corredo del presente studio, confermano la presenza dei depositi descritti fino alla profondità di 30 m dal p.c..

## 6 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

In relazione al modello geologico ricostruito al paragrafo 5, si deduce che la circolazione idrica sotterranea è strettamente condizionata dalla presenza e dall'assetto dei depositi alluvionali descritti, caratterizzati da permeabilità variabile in funzione della granulometria e da geometrie lenticolari.

In particolare i terreni di natura limoso argillosa investigati nel corso delle indagini presentano una permeabilità per porosità da bassa a molto bassa con valori di  $k$  pari a  $10^{-8} \div 10^{-10}$  m/sec, mentre è decisamente elevata la permeabilità che caratterizza gli orizzonti sabbioso ghiaiosi che

secondo dati bibliografici risultano essere ad essi intercalati, con valori di  $k$  fino a  $10^{-1} \div 10^{-3}$  m/sec.

Nel complesso, i depositi alluvionali descritti ospitano un acquifero di tipo freatico, di buone potenzialità. Si tratta dell'acquifero alluvionale dell'Alta Valle del Tevere che si estende dalla diga di Montedoglio fino a Città di Castello, costituito da depositi alluvionali quaternari in prevalenza ghiaioso sabbiosi con locali coperture ed intercalazioni limoso argillose di scarsa continuità laterale, che poggiano sui depositi argillosi fluvio lacustri plio-pleistocenici.

Tale acquifero freatico presenta grado di vulnerabilità estremamente elevato ed elevato, come risulta dalla consultazione della Carta n. 45 del P.U.T. (L.R. N. 27 del 24 Marzo 2000, art. 47) "Ambiti degli acquiferi di rilevante interesse regionale e punti di approvvigionamento idrico della rete acquedottistica regionale". A tale proposito è stata consultata anche la "Carta della vulnerabilità all'inquinamento" (1995) a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nella quale per l'area in esame risulta la presenza di un acquifero con grado di vulnerabilità elevato.

Il livello statico locale è stato misurato nel pozzo censito Pz1, ubicato a valle del sito studiato ad una distanza pari a 600 m circa (vedi carta geologica per l'ubicazione), e si attesta alla profondità di 2,1 m dal p.c.

Il regime dell'acquifero in oggetto è caratterizzato da oscillazioni stagionali, spesso significative, in considerazione dell'influenza sia delle precipitazioni meteoriche che del regime del Fiume Tevere e degli altri corsi d'acqua secondari che drenano le acque di scorrimento superficiale verso la valle tiberina.

Per quanto riguarda la direzione del flusso della falda, dalla consultazione della cartografia di cui sopra, per l'area in esame risulta una direzione principale verso S-SO sia nei periodi di magra che di morbida, con gradiente piezometrico apprezzabile.

## **7 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI FONDALI E MODELLO GEOTECNICO**

In riferimento al modello geologico delineato al paragrafo 5 e sulla base delle risultanze delle indagini eseguite di cui al paragrafo 3, per il sito progettuale si ricostruisce il seguente **modello geotecnico semplificato di tipo bi-strato**:

**STRATO 1** - da 0,0 m a 3,6 m dal p.c.

costituito da terreni a comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi) scarsamente consistenti, caratterizzati da un numero di colpi medio NSPT pari a 5; tali materiali sono sormontati da un orizzonte di terreno vegetale di spessore pari a 50÷60 cm circa.



Per la parametrizzazione geotecnica dei terreni in oggetto è stato fatto riferimento ai dati penetrometrici della prova P1 e sono state applicate le seguenti formule:

- espressione di Buismann Sanglerat per la valutazione della resistenza alla compressione semplice:  $q_u = \alpha \cdot N_{SPT}$  (t/mq), dove  $\alpha$  si assume pari a 2,0 in relazione alla consistenza e natura del terreno fondale;

- formula di Buismann, Sanglerat, Schmertmann:  $E_d = 6 \cdot N_{SPT}$  (per terreni coesivi) per la determinazione del modulo di compressibilità edometrica;

- "Road Bridge Specification" per la valutazione dell'angolo d'attrito drenato, per terreni a comportamento complessivamente granulare:  $\phi' = (\sqrt{15 \cdot N_{SPT}}) + 15$ ;

- formula di Buismann, Sanglerat, Schmertmann:  $E_d = 8 \cdot N_{SPT}$  (per terreni granulari) per la determinazione del modulo di compressibilità edometrica.

Per quanto riguarda la valutazione del valore caratteristico della coesione non drenata  $C_{uk}$  e dell'angolo d'attrito efficace  $\phi'_k$  dei terreni descritti, è stato utilizzato un foglio di calcolo che applica il metodo semiprobabilistico del 5° percentile di distribuzione della media, per superficie di rottura grande.

Invece, per il modulo di compressibilità edometrica è stata calcolata la media aritmetica relativamente all'intervallo di valori considerato.

Su tali basi ai terreni dello strato 1 si possono attribuire i seguenti parametri geotecnici cautelativi in termini di coesione non drenata:

$\gamma = 1,8 \div 1,85$ t/mc	peso di volume naturale
$C_{um} = 0,51$ kg/cmq	coesione non drenata media
$C_{uk} = 0,4$ kg/cmq	coesione non drenata caratteristica
$\phi' = 0^\circ$	angolo d'attrito
$E_{dm} = 30,4$ kg/cmq	modulo edometrico medio;

ed in termini di attrito:

$\phi'_m = 23,54^\circ$	angolo d'attrito efficace medio
$\phi'_k = 22,7^\circ$	angolo d'attrito efficace caratteristico
$C' = 0,0$ kg/cmq	coesione drenata
$E_{dm} = 40,53$ kg/cmq	modulo edometrico medio.

**Strato 2** - da 3,6 m dal p.c. in poi

costituito da terreni a comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi debolmente sabbiosi) mediamente consistenti, caratterizzati da un numero di colpi medio  $N_{SPT}$  pari a 12.

Per la parametrizzazione geotecnica di tali terreni attraverso i dati penetrometrici è stato fatto riferimento alle medesime formule e metodi applicati in precedenza per i materiali dello strato 1.

Su tali basi ai terreni dello strato 2 si possono attribuire i seguenti parametri geotecnici cautelativi in termini di coesione non drenata:

$\gamma = 1,85 \div 1,9$  t/mc      peso di volume naturale

$C_{um} = 1,21$  kg/cmq      coesione non drenata media

$C_{uk} = 1,1$  kg/cmq      coesione non drenata caratteristica

$\phi' = 0^\circ$       angolo d'attrito

$E_{dm} = 72,6$  kg/cmq      modulo edometrico medio;

ed in termini di attrito:

$\phi'_m = 28,38^\circ$       angolo d'attrito efficace medio

$\phi'_k = 27,8^\circ$       angolo d'attrito efficace caratteristico

$C' = 0,0$  kg/cmq      coesione drenata

$E_{dm} = 96,8$  kg/cmq      modulo edometrico medio.

**TABELLA 1** - parametri geotecnici

PARAMETRI GEOTECNICI	$\gamma$ (t/mc)	$C_{um}$ (kg/cmq)	$C_{uk}$ (kg/cmq)	$\phi'_m$ (°)	$\phi'_k$ (°)	$C'$ (kg/cmq)	$E_{dm}$ (kg/cmq)
STRATO 1 MODELLO COESIVO	1,8÷1,85	0,51	0,4				30,4
STRATO 1 MODELLO ATTRITIVO	1,8÷1,85			23,54	22,7	0,0	40,53
STRATO 2 MODELLO COESIVO	1,85÷1,9	1,21	1,1				72,6
STRATO 2 MODELLO ATTRITIVO	1,85÷1,9			28,38	27,8	0,0	96,8

## 8 - INTERVENTO PROGETTUALE

Come accennato in premessa, il progetto in esame prevede il riordino del sistema di raccolta e depurazione dell'agglomerato di San Giustino e l'adeguamento dell'impianto di depurazione.

Nel particolare, gli interventi di interesse ai fini del presente studio consistono nella realizzazione di una vasca di denitrificazione e di un ispessitore dei fanghi.

La vasca di denitrificazione sarà realizzata in c.a. e presenterà pianta rettangolare, con dimensioni pari a 7,8 m x 24,1 m. L'altezza complessiva sarà pari a 6,65 m, di cui 3,5 m fuori terra.

Per tale opera si prevede una fondazione superficiale, del tipo su platea, con imposta alla profondità di circa 3,6 m dal p.c., entro i terreni limoso argillosi dello strato 2 del modello geologico e geotecnico.

L'ispessitore di fanghi sarà costituito da una struttura in c.a. a pianta circolare, con diametro pari a 8,0 m. La parte di opera fuori terra presenterà altezza pari a 2,0 m.

Per tale struttura verrà realizzata una fondazione di tipo superficiale con imposta alla profondità di 1,8÷2,0 m dal p.c., entro i terreni limoso argillosi dello strato 1 del modello geologico e geotecnico.

## 9 - SISMICITA' DELL'AREA

Per quanto riguarda la **sismicità storica**, dalla ricerca nel database Macrosismico Italiano versione DBMI11 a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (2011), consultabile sul sito web dell'INGV, risulta che la storia sismica di San Giustino è caratterizzata da n. 22 eventi a partire dall'anno 1789 fino al 2001.

Tra questi, l'evento sismico che ha fatto registrare la maggiore intensità macrosismica epicentrale è stato quello della Valle del Topino avvenuto il 13 gennaio 1832 di magnitudo momento pari a 6,33. Invece l'evento sismico con epicentro più vicino è stato il terremoto di Monterchi (AR) verificatosi il 25 ottobre 1919 di magnitudo momento pari a 5,02, il cui effetto nell'area medesima ha avuto intensità 6 della scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Per quanto riguarda invece la **zonazione sismogenetica**, è stata fatta una ricerca nel Database delle sorgenti sismogenetiche singole (DISS versione 3) a cura di R. Basili, G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, sul sito web dell'INGV. Dalla consultazione di tale database risulta che l'area studiata si inserisce nella zona sismogenetica ITCS037 denominata Mugello - Città di Castello - Leonessa caratterizzata da magnitudo massima pari a 6,2.

## 10 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Dal punto di vista della risposta sismica di base, dalla consultazione della D.G.R. 18 settembre 2012 n. 1111 "Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria", risulta che l'area in esame, compresa nel Comune di San Giustino, ricade in **ZONA SISMICA 2** definita come "zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti".

Per quanto riguarda la definizione degli eventi sismici di riferimento sono stati consultati i risultati dello studio di pericolosità sismica eseguito su tutto il territorio nazionale dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.



Tale studio, basato sulla disaggregazione della pericolosità sismica, permette la definizione della magnitudo e della distanza epicentrale per il sito di interesse progettuale sulla base dell'inserimento nel reticolo di riferimento che suddivide il territorio nazionale.

In primo luogo, per il sito in esame sono state determinate le coordinate geografiche ED50 mediante l'utilizzo di software on line nel sito web della GeoStru Software dal quale risulta: latitudine 43,509605° - longitudine 12,186349°.

Infine, inserendo le coordinate geografiche calcolate nelle mappe interattive di pericolosità sismica consultate nel sito web dell'INGV, è stato ottenuto un valore medio della magnitudo  $M$  pari a 5,25 e della distanza epicentrale pari a 6,31 km.

## 11 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Per la valutazione dell'effetto della risposta sismica locale è stato fatto riferimento all'approccio semplificato individuando la categoria di sottosuolo di riferimento.

A tale scopo, è stato eseguito il profilo sismico con tecnica masw di cui al paragrafo 3.b, che ha permesso di determinare i seguenti valori di  $V_{s30}$ : shot 1  $V_{s30} = 278,075$  m/s - shot 2  $V_{s30} = 249,941$  m/s.

Pertanto, sulla base di tali valori e facendo riferimento alla tabella 3.2.II riportata al Capitolo 3.2 - Paragrafo 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008), al profilo geologico-stratigrafico delineato per il sito di interesse progettuale si può assegnare la **categoria di sottosuolo "C"** corrispondente a "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, considerando che l'area esaminata presenta una morfologia praticamente pianeggiante (vedi paragrafo 4), si può concludere che questa rientra nella **categoria topografica T1**, cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1,0.

## 12 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

La valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni fondali è stata eseguita mediante il metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato, basato sulla determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  attraverso indagini sismiche.

Tale metodo considera, inoltre, le caratteristiche granulometriche dei terreni ed il sisma di progetto introducendo nel calcolo la magnitudo  $M$  (Richter) e l'accelerazione sismica orizzontale massima  $a_g$ .

Per la valutazione delle caratteristiche granulometriche dei terreni, facendo riferimento alla descrizione litologica riportata al paragrafo 5, si è deciso di impostare nel programma di calcolo la condizione cautelativa con  $FC < 5\%$ .

A questo punto, inserendo il valore della  $V_{s30}$  ottenuto dal profilo sismico PS1, pari a 278 m/s, la profondità della falda pari a 2,1 m dal p.c. (vedi paragrafo 6), la magnitudo  $M$  pari a 5,25 (vedi paragrafo 10) e  $a_g = 0,25$ , si ottiene un coefficiente di sicurezza  $F_s = 1,77$  che consente di considerare il deposito non liquefacibile.

### 13 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista del **rischio idraulico** dalla consultazione della Tavola N. 2 "Fasce fluviali e zone a rischio" a corredo del P.A.I., a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, risulta che il sito progettuale non ricade nelle aree soggette a rischio di esondazione trovandosi in un'area cartografata con colore bianco, ad una distanza pari a 220÷230 m dalle zone ricomprese nella fascia fluviale C (vedi estratto allegato).

Dal punto di vista del **rischio idrogeologico** dalla consultazione della cartografia allegata al P.R.G. Parte Strutturale del Comune di San Giustino riportata in allegato, risulta che il sito progettuale non ricade nelle aree sottoposte a tale vincolo ai sensi del R.D. 3267/23.

Considerando, comunque, che nell'ambito del progetto in esame sarà prevista una generale regimazione delle acque superficiali, al fine di garantire il mantenimento di un ordinato assetto idrogeologico, si ritiene che tale progetto nel suo complesso è compatibile con le condizioni geologiche ed idrogeologiche dell'area studiata.

### 14 - CONCLUSIONI

Sulla base della situazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica illustrata, si conclude quanto segue:

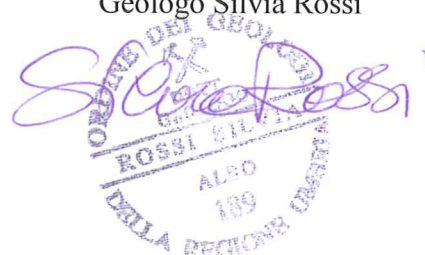
- il sito progettuale si colloca su un'area stabile dal punto di vista geologico e geomorfologico;
- si segnala la presenza di una falda idrica superficiale (vedi paragrafo 6);
- per le opere in progetto verranno realizzate fondazioni di tipo superficiale con imposta entro i terreni descritti nel modello geologico e geotecnico (vedi paragrafo 5 e 7);

- dal punto di vista sismico, il modello geologico-stratigrafico ricostruito per il sito progettuale può essere riferito alla categoria di sottosuolo di tipo C (vedi paragrafo 11);
- per quanto riguarda le condizioni topografiche, l'area esaminata rientra nella categoria topografica T1 (vedi paragrafo 11);
- si esclude il rischio di liquefazione dei terreni fondali (vedi paragrafo 12);
- il sito progettuale non è soggetto a rischio idraulico (vedi paragrafo 13);
- per quanto riguarda il vincolo idrogeologico, il sito studiato non ricade nelle zone sottoposte a tale vincolo ai sensi del R.D. 3267/23 (vedi paragrafo 13).

Nella fase della progettazione definitiva ed esecutiva verrà approfondita la caratterizzazione geotecnica dei terreni fondali al fine di individuare la più idonea tipologia fondale e di valutare le possibili interazioni terreno-struttura.

Si resta a disposizione per ulteriori chiarimenti.

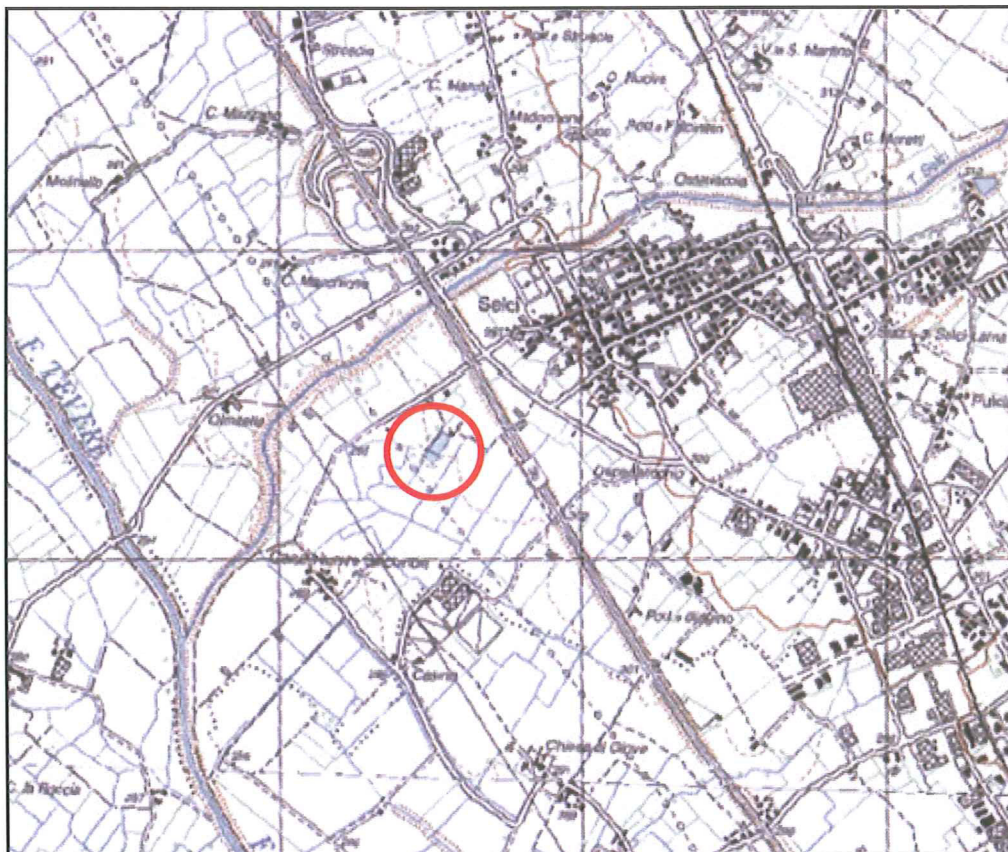
Geologo Silvia Rossi





# COROGRAFIA TOPOGRAFICA

SCALA 1:25.000



Comune di San Giustino - Località Selci Lama

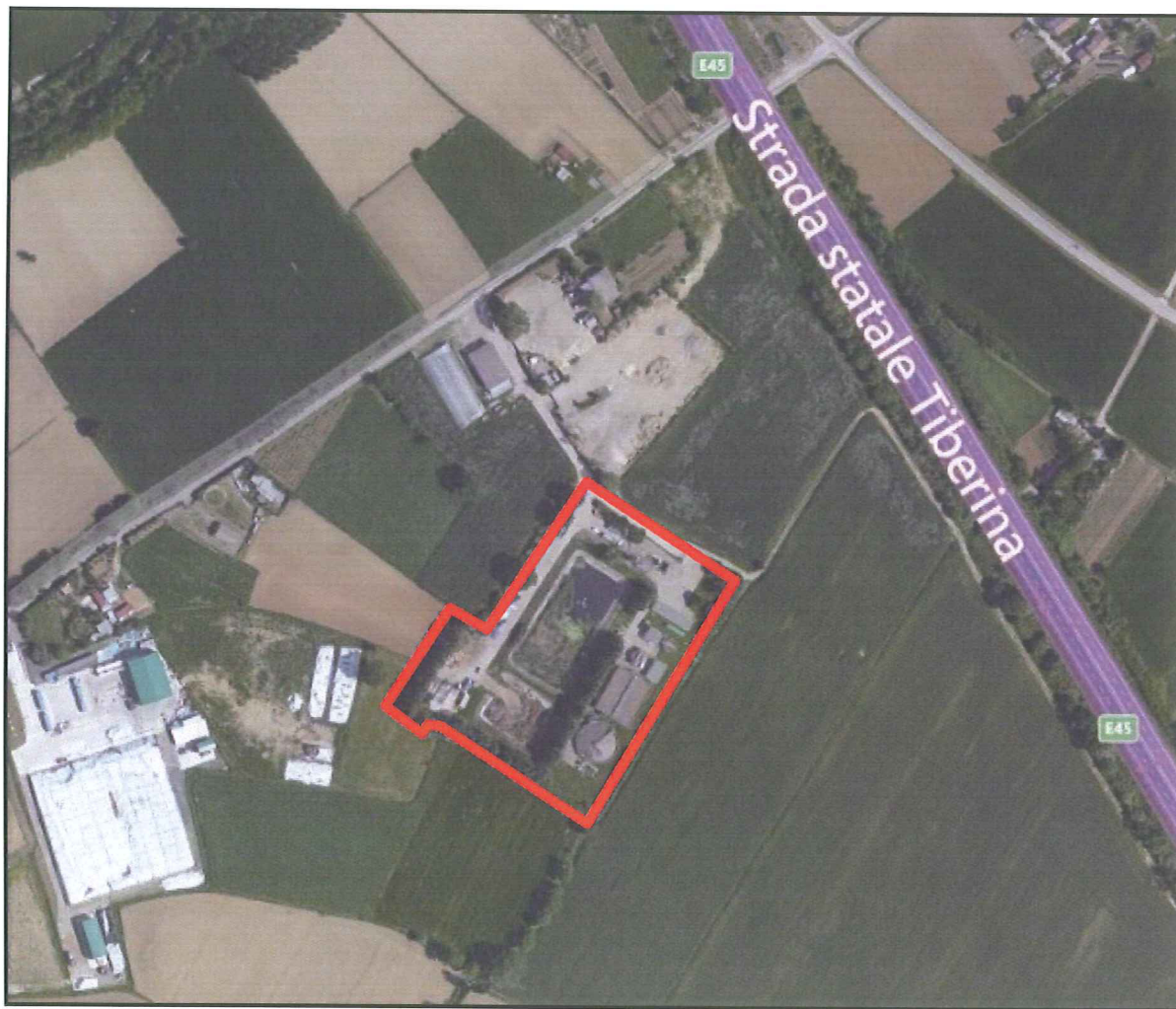
Tavoletta "Pistrino" IV S.E. - Foglio n. 115 della Carta d'Italia



Area in esame


## FOTO AEREA

NON IN SCALA



Comune di San Giustino - Località Selci Lama

Coordinate Geografiche Ed50: latitudine 43,509605° longitudine 12,186349°

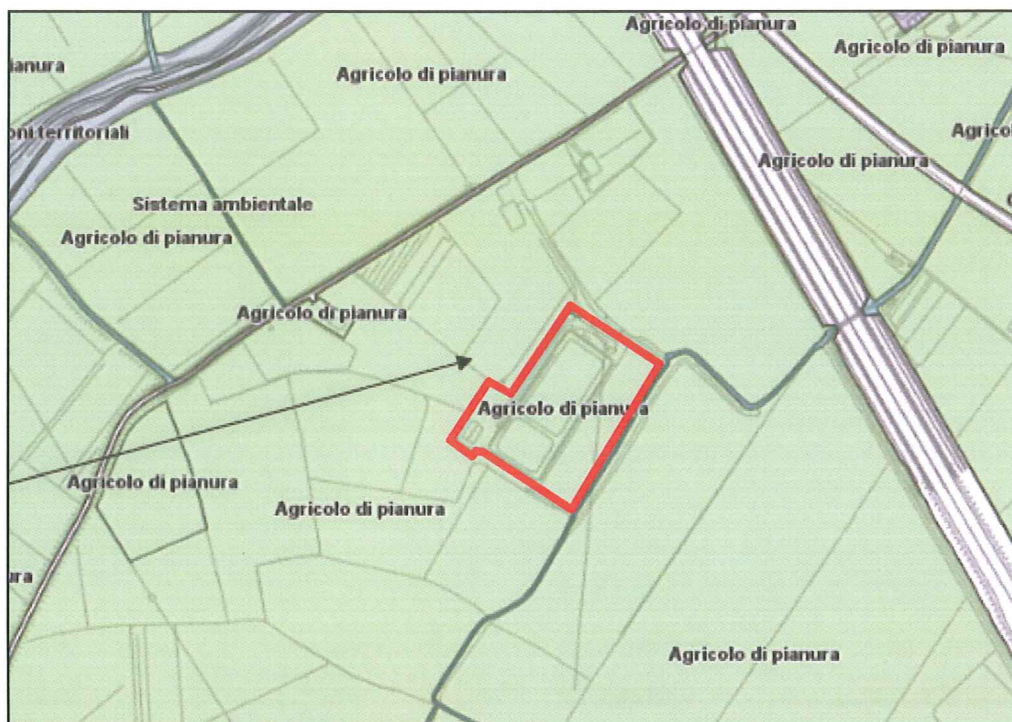
 Sito progettuale




## P.R.G. COMUNE DI SAN GIUSTINO - PARTE STRUTTURALE

### SISTEMI ED AMBITI

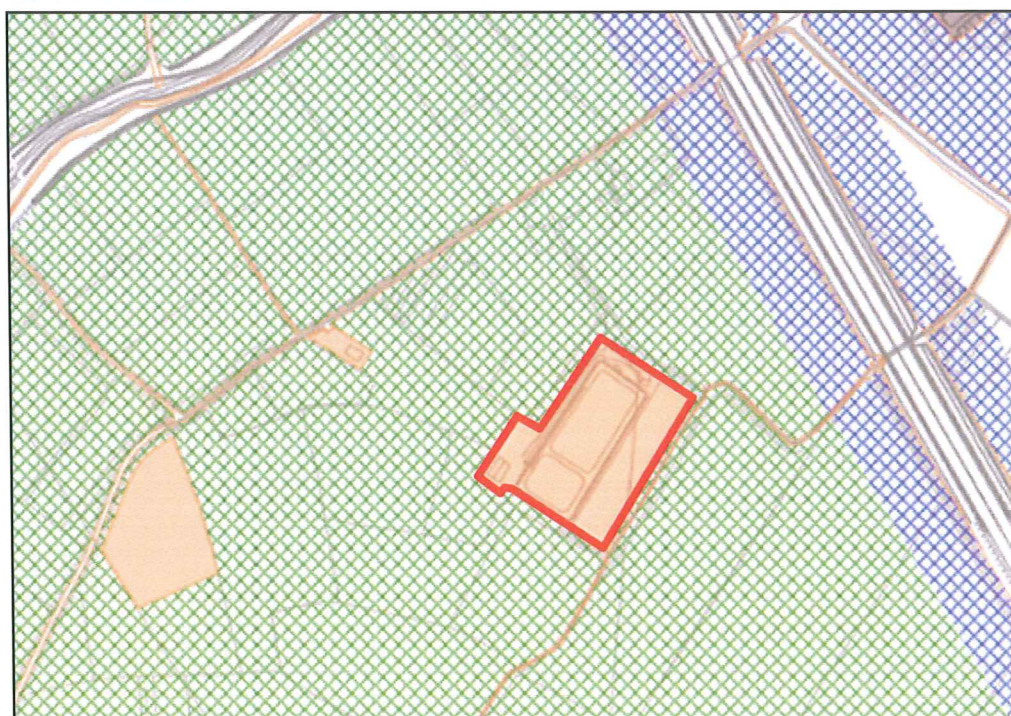
NON IN SCALA




 Sistema ambientale agricolo di pianura - V5

## ZONE TERRITORIALI OMOGENEE


NON IN SCALA



 Zona omogenea F

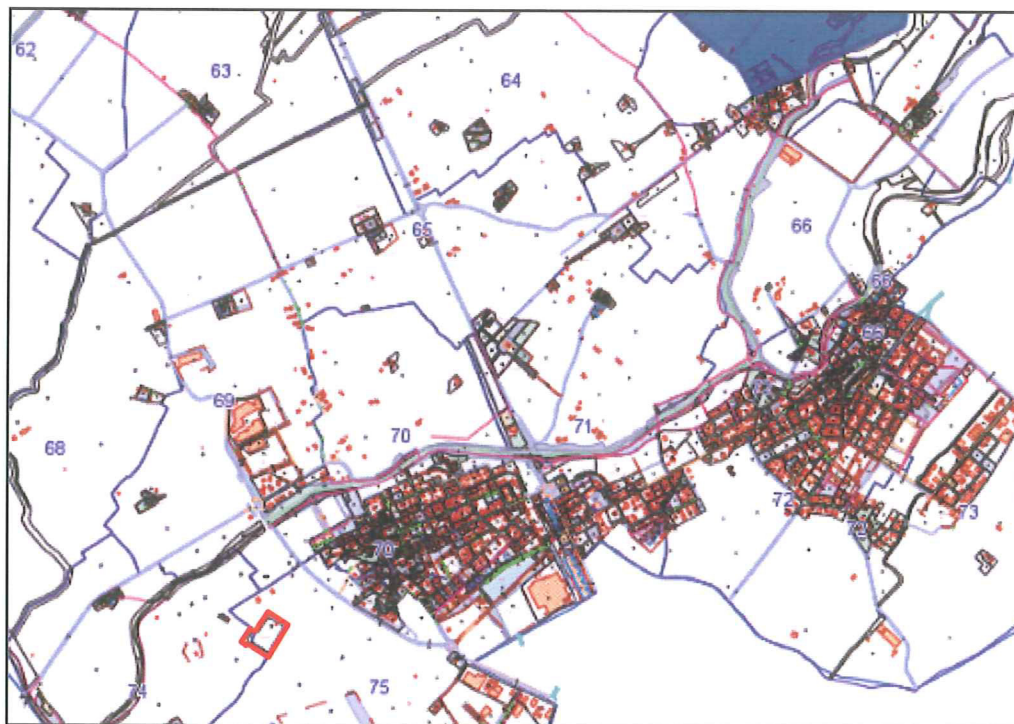
 Area agricola di pregio Ep

Comune di San Giustino - Località Selci Lama

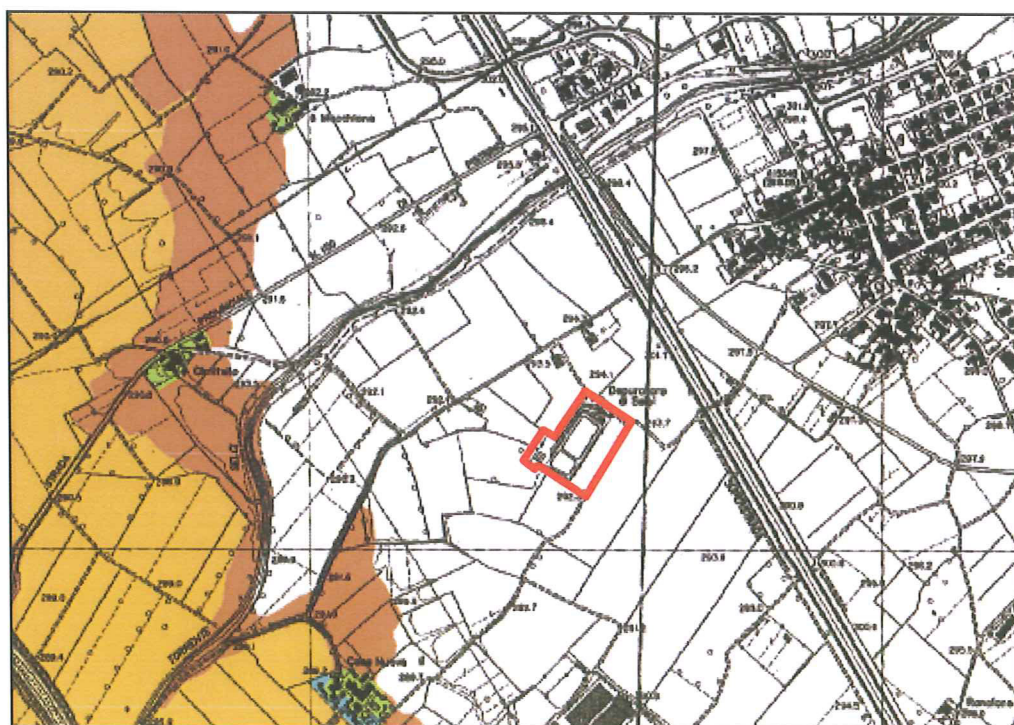
 Sito progettuale







P.A.I - FASCE FLUVIALI E ZONE A RISCHIO  
TAVOLA N. 2- SCALA 1:10.000



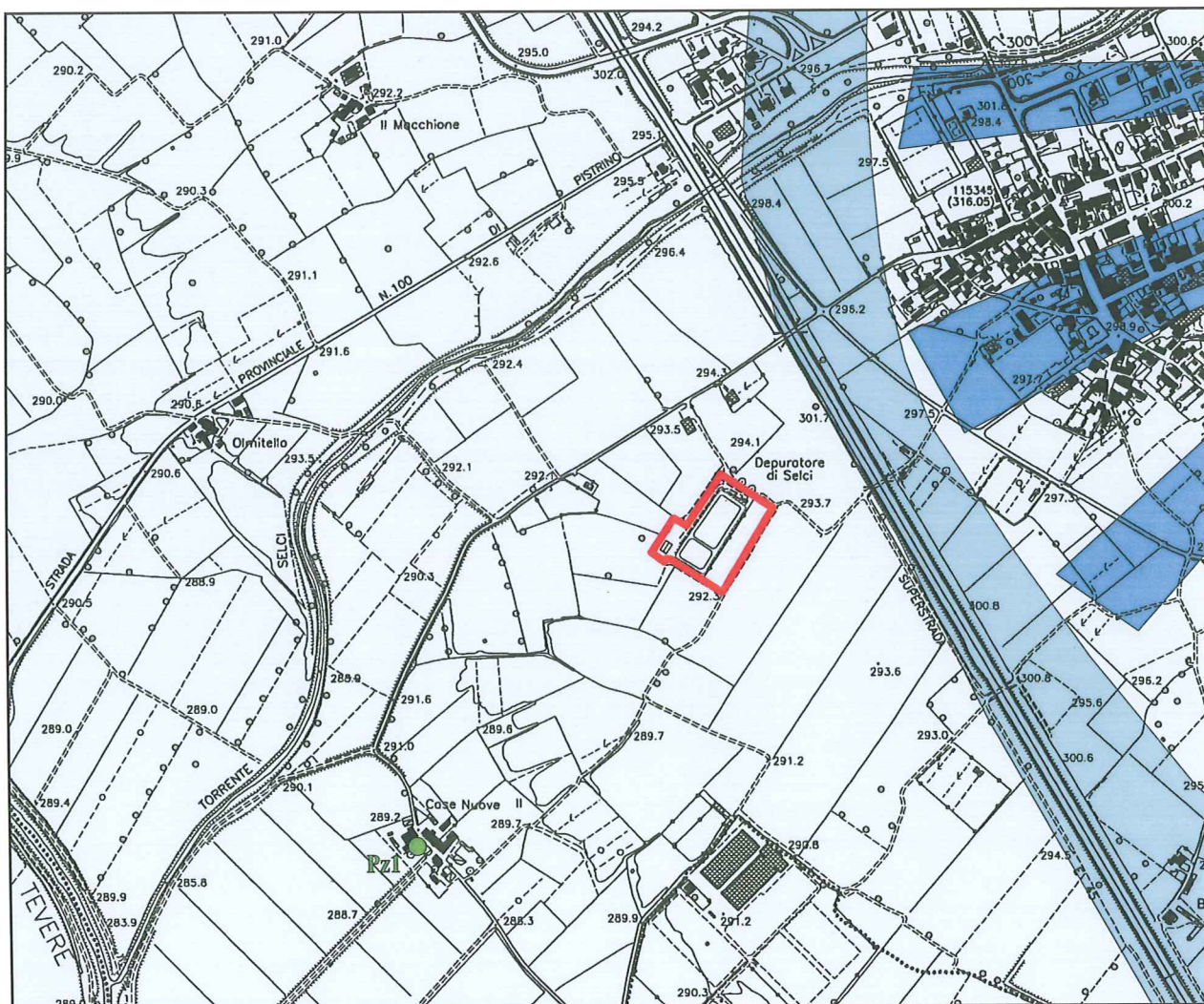
Comune di San Giustino - Località Selci Lama







# CARTA GEOLOGICA


SCALA 1:10.000




Comune di San Giustino - Località Selci Lama

 Depositi alluvionali recenti ed attuali  
(Olocene)

 Depositi alluvionali terrazzati  
(Pleistocene medio - superiore)

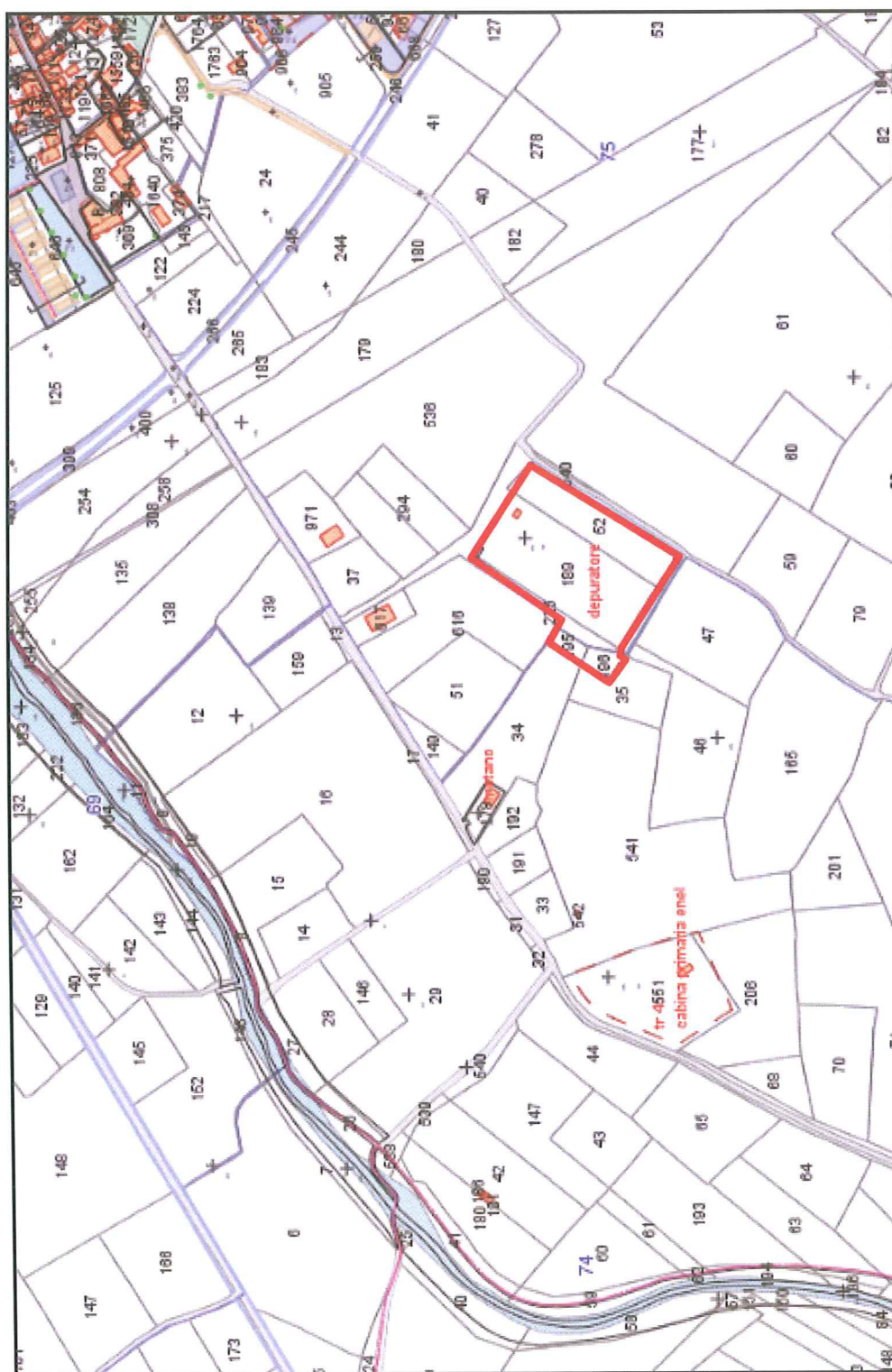
 Conoide alluvionale

 Pozzo censito

 Sito progettuale



# PLANIMETRIA CATASTALE - SCALA 1:5.000



Comune di San Giustino - Località Selci Lama

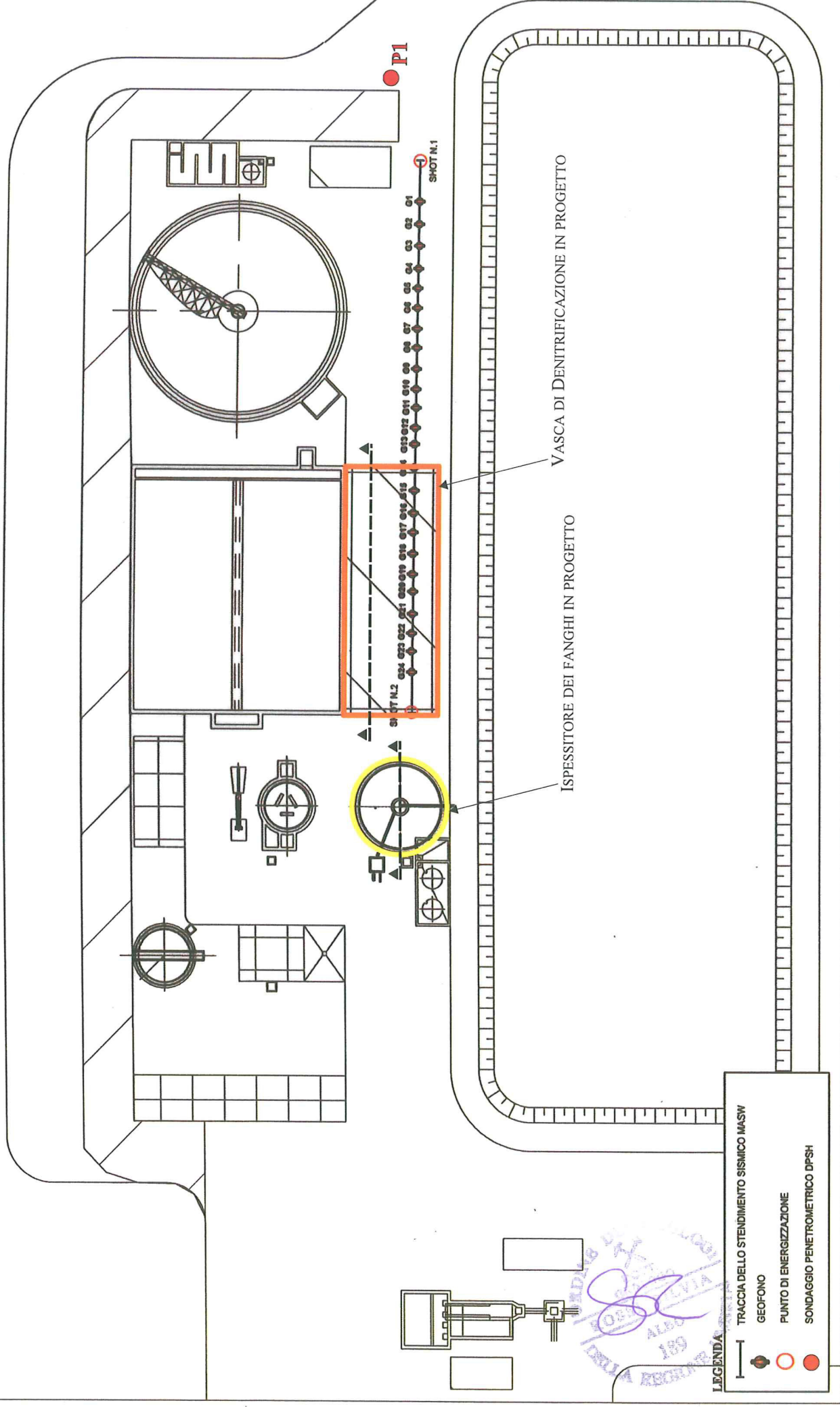
Foglio di mappa n. 74 - Particelle catastali n. 195 - 196

Foglio di mappa n. 75 - Particelle catastali n. 52 - 189 - 225

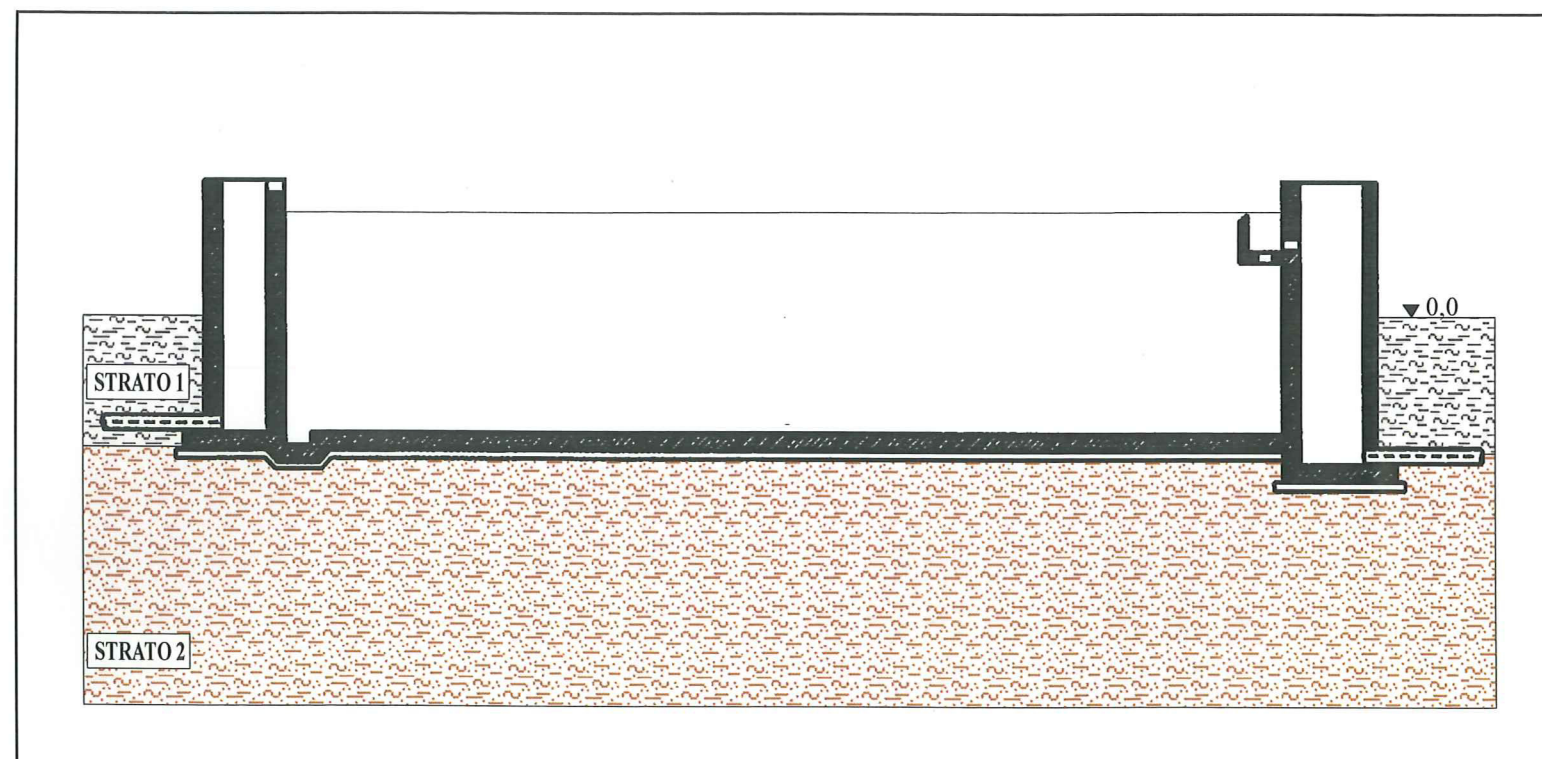
 Sito progettuale



# PLANIMETRIA DI PROGETTO - SCALA 1:500

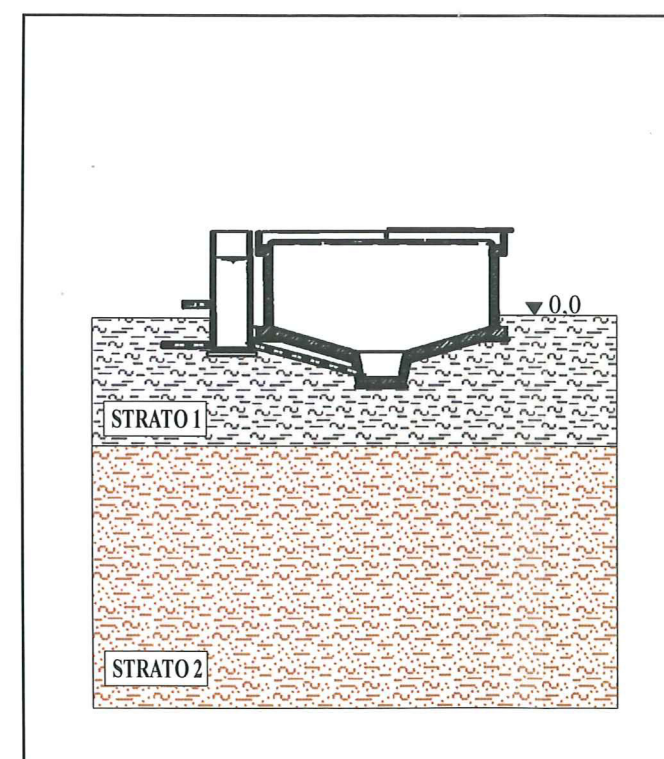


## VASCA DI DENITRIFICAZIONE



Comune di San Giustino - Località Selci Lama

## ISPESSITORE FANGHI



SEZIONI GEOLOGICHE - SCALA 1:200

# INDAGINI GEOLOGICHE



## PENETROMETRO DINAMICO IN USO : TG 63-200 (S.H)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

## CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-200 (S.H)

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M <sub>s</sub> = 0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L <sub>a</sub> = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M <sub>a</sub> = 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P <sub>1</sub> = 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 11,66 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Q <sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,489$ ( teoricamente : N <sub>spt</sub> = $\beta_t$ N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub> [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

## UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  
1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 1

- indagine : Indagine penetrometrica DPSH  
- cantiere :  
- località : San Giustino  
- note :

- data : 23/03/2015  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	31,5	----	1	4,60 - 4,80	7	50,8	----	6
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	4,80 - 5,00	8	58,1	----	6
0,40 - 0,60	3	28,9	----	2	5,00 - 5,20	8	58,1	----	6
0,60 - 0,80	3	28,9	----	2	5,20 - 5,40	7	50,8	----	6
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2	5,40 - 5,60	8	54,7	----	7
1,00 - 1,20	2	19,3	----	2	5,60 - 5,80	8	54,7	----	7
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	5,80 - 6,00	8	54,7	----	7
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3	6,00 - 6,20	8	54,7	----	7
1,60 - 1,80	3	26,7	----	3	6,20 - 6,40	9	61,5	----	7
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	6,40 - 6,60	10	64,6	----	8
2,00 - 2,20	2	17,8	----	3	6,60 - 6,80	10	64,6	----	8
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3	6,80 - 7,00	12	77,5	----	8
2,40 - 2,60	3	24,8	----	4	7,00 - 7,20	11	71,0	----	8
2,60 - 2,80	4	33,1	----	4	7,20 - 7,40	10	64,6	----	8
2,80 - 3,00	5	41,4	----	4	7,40 - 7,60	13	79,6	----	9
3,00 - 3,20	5	41,4	----	4	7,60 - 7,80	13	79,6	----	9
3,20 - 3,40	5	41,4	----	4	7,80 - 8,00	13	79,6	----	9
3,40 - 3,60	5	38,7	----	5	8,00 - 8,20	14	85,7	----	9
3,60 - 3,80	6	46,4	----	5	8,20 - 8,40	14	85,7	----	9
3,80 - 4,00	6	46,4	----	5	8,40 - 8,60	15	87,3	----	10
4,00 - 4,20	6	46,4	----	5	8,60 - 8,80	16	93,1	----	10
4,20 - 4,40	6	46,4	----	5	8,80 - 9,00	16	93,1	----	10
4,40 - 4,60	6	43,5	----	6	9,00 - 9,20	17	98,9	----	10

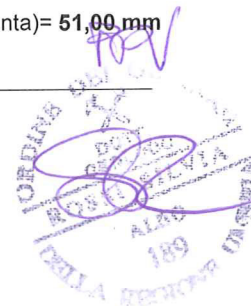
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-200 (S.H)**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m**

- Numero Colpi Punta N = **N(20)** [  $\delta$  = 20 cm ]

- A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



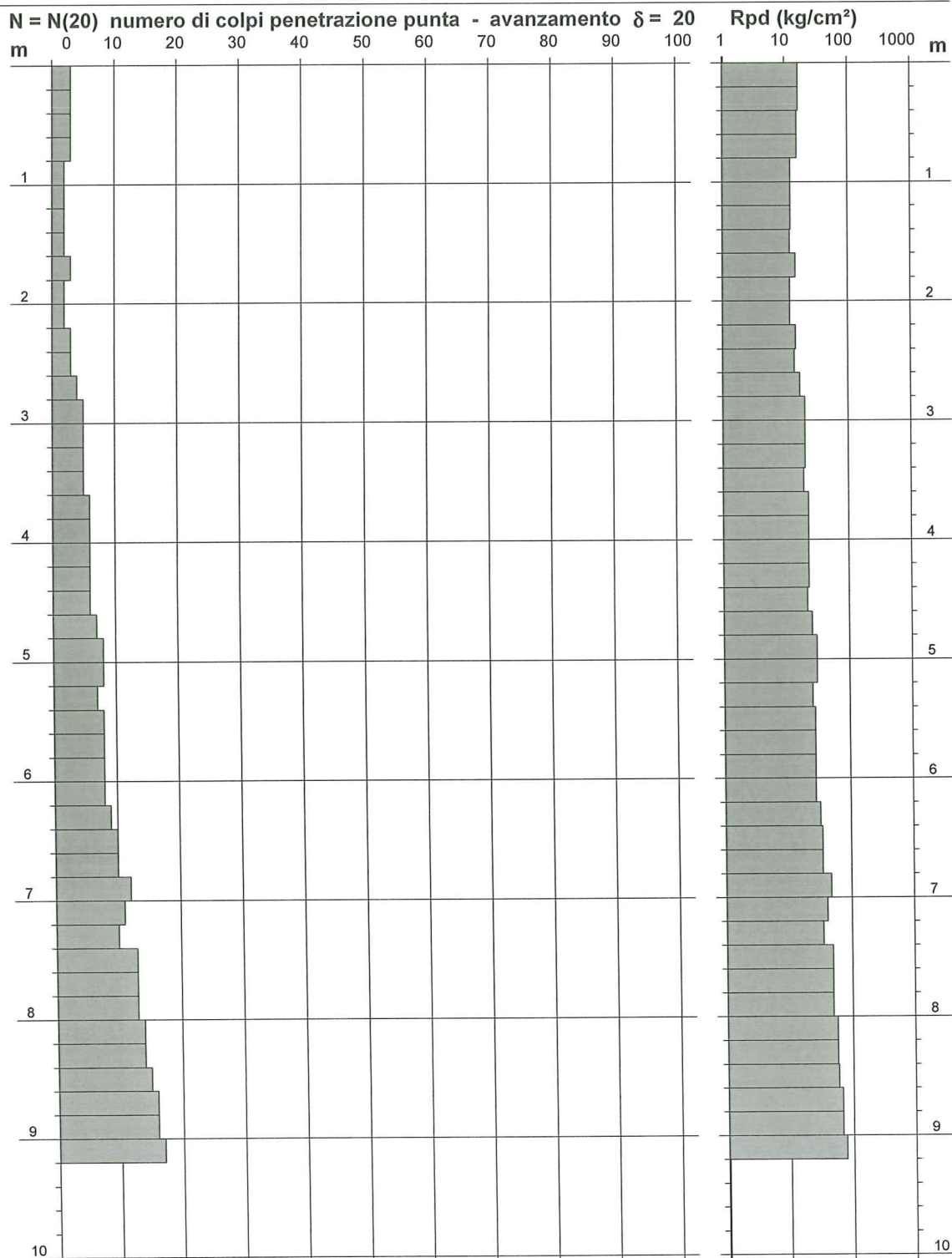
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 50

- indagine : Indagine penetrometrica DPSH  
- cantiere :  
- località : San Giustino

- data : 23/03/2015  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 63-200 (S.H)

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- A (area punta)= 20,43 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 51,00 mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO



## COMUNE DI SAN GIUSTINO

### PROSPEZIONE SISMICA MASW

INERENTE IL PROGETTO PER IL RIORDINO DEL SISTEMA DI RACCOLTA E DEPURAZIONE  
DELL'AGGLOMERATO DI SAN GIUSTINO- ADEGUAMENTO IMPIANTO DI DEPURAZIONE  
IN LOCALITA' SELCI LAMA



Committente: Dott.ssa Geol. Silvia Rossi

Dott. Geol. Diego Albini



## INDICE

PREMESSA.....	pag. 3
PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....	pag. 3
PROSPEZIONI SISMICHE MASW.....	pag. 6
INDAGINE ESEGUITA.....	pag. 8
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	pag. 8
INTERPRETAZIONE ED ANALISI DATI.....	pag. 9



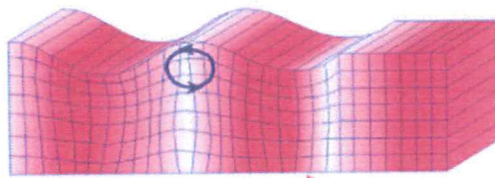
## PREMESSA

Su incarico e per conto della Dott.ssa Geol. Silvia Rossi è stata effettuata una prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves, ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) presso l'area di sedime sulla quale verrà realizzato il progetto per il riordino del sistema di raccolta e depurazione dell'agglomerato di San Giustino- adeguamento impianto di depurazione, al fine di individuare le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo, secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008). Le indagini sono state effettuate sul sito ubicato in loc. Selci Lama nel territorio comunale di San Giustino (PG).

## PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Direzione di propagazione →

Fig. 2 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità

in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_S$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 gennaio 2008). Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 3).

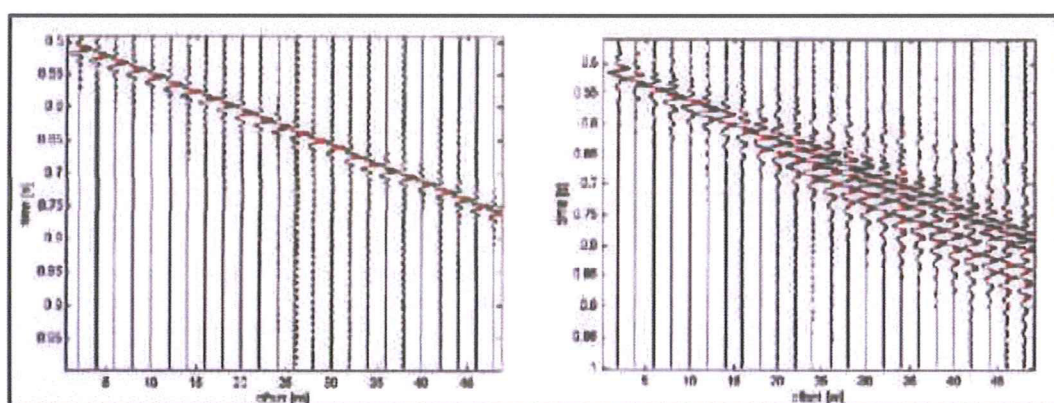


Fig. 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 4).



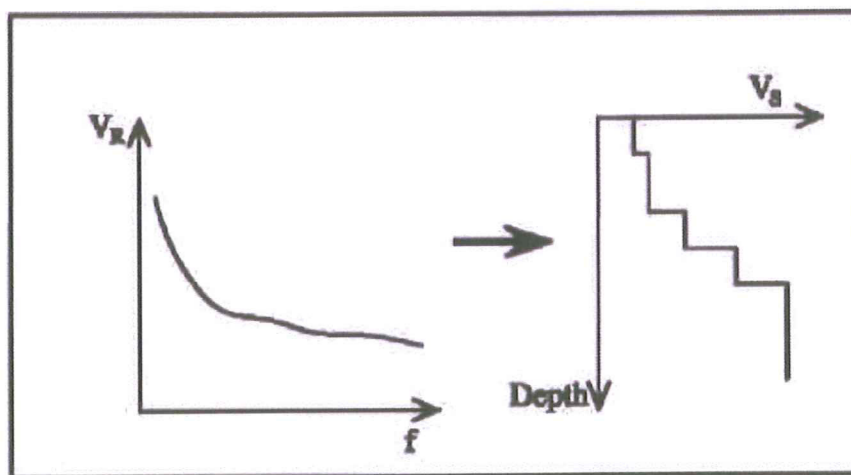


Fig. 4 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_s < 15\%$ .

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANALysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La tecnica ReMi consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle  $V_s$  relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera. Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito del NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di  $V_{s30}$  e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana.

Il metodo FTAN per la determinazione delle  $V_{s30}$  ha bisogno di un solo ricevitore e permette la definizione di un profilo medio su distanze di decine-centinaia di metri. Inoltre il metodo fornisce valori di velocità delle onde di taglio in buon accordo con le misure in foro.

Il metodo SASW viene generalmente impiegato per la determinazione delle  $V_s$  di strati superficiali ( $< 30m$ ) e per la determinazione delle proprietà elastiche di strade e pavimentazioni (Stokoe & Nazarian, 1985) e, pertanto, sembra essere tra i metodi non invasivi quello più popolare tra gli ingegneri.

La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 5), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione (modello 1D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti (Fig. 5) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 6).

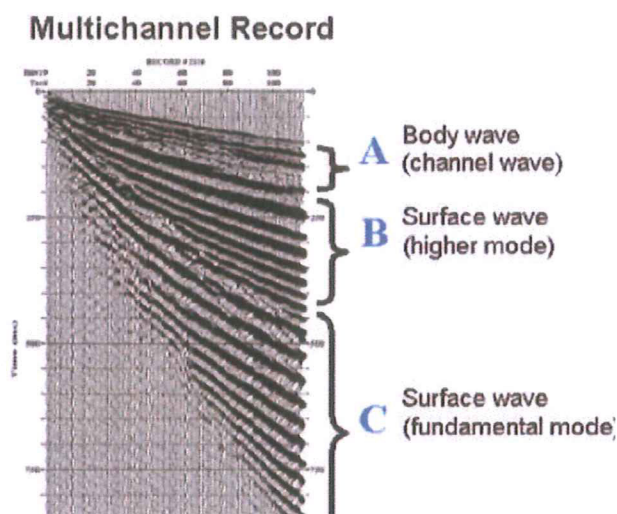


Fig. 5 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).

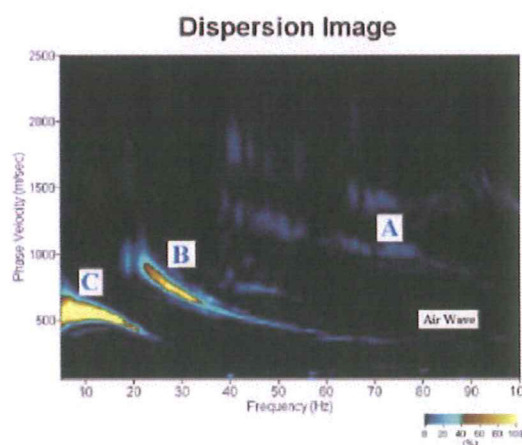


Fig. 6 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 5. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.



## INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo in area progettuale, è stata eseguita una prospezione sismica MASW con il seguente stendimento geofonico:

- MASW: 54.0 m

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo DoReMi 16 bit 24 canali. L'elevata dinamica unita alla notevole memoria per l'acquisizione, consente l'utilizzo di tale sismografo per tecniche di indagine di tipo convenzionale (riflessione e rifrazione) e non convenzionale (ReMi, S.A.S.W, M.A.S.W). L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un sensore ad innesto nella piastra posizionata alla distanza di:

- 4.0 m dal primo geofono

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova è stata ripetuta.

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali da 4.5Hz posizionati lungo il profilo di indagine con distanza intergeofonica di:

- 2.0 m

La lunghezza complessiva dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni di sedime fino alla profondità di circa 30 m dal p.c..

## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.0s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=1.0ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  
 $f_{campionamento}=1/dt=1000Hz$ .

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati.

## INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI – APPROCCIO SEMPLIFICATO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel cap. 7.11.3 delle Norme Tecniche.

L'indagine eseguita, considerando le sole velocità delle onde S fino alla profondità di 30,00m, ha fornito dei risultati che permettono di collocare i terreni oggetto d'indagine in categoria C del D.M. 14 gennaio 2008 (Tab. 1; Tab. 2).

Infatti applicando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30m}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei primi 30m di profondità e considerando un'incertezza di misura dell'ordine del 20% (Mulargia & Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 958, 989) si ottengono le seguenti  $V_{s30}$  rispettivamente per lo shot n°1 e per lo shot n°2:

:

shot 1

$V_{s30\ 1} = 347.5941 \pm 69.519$  m/s da cui si ottiene per difetto  $V_{s30\ 1} = \mathbf{278.075}$  m/s;

shot 2

$V_{s30\ 2} = 312.4261 \pm 62.485$  m/s da cui si ottiene per difetto  $V_{s30\ 2} = \mathbf{249.941}$  m/s;

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3.00m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).

<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 m, posti su substrato di riferimento (con <math>V_{S30} &gt; 800</math> m/s).</i>
----------	---

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S30}$ inferiore a 100 m/s (ovvero $1 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3m di torba o di argille altamente organiche.
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

**Tab. 1 – Categorie Suolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008)**

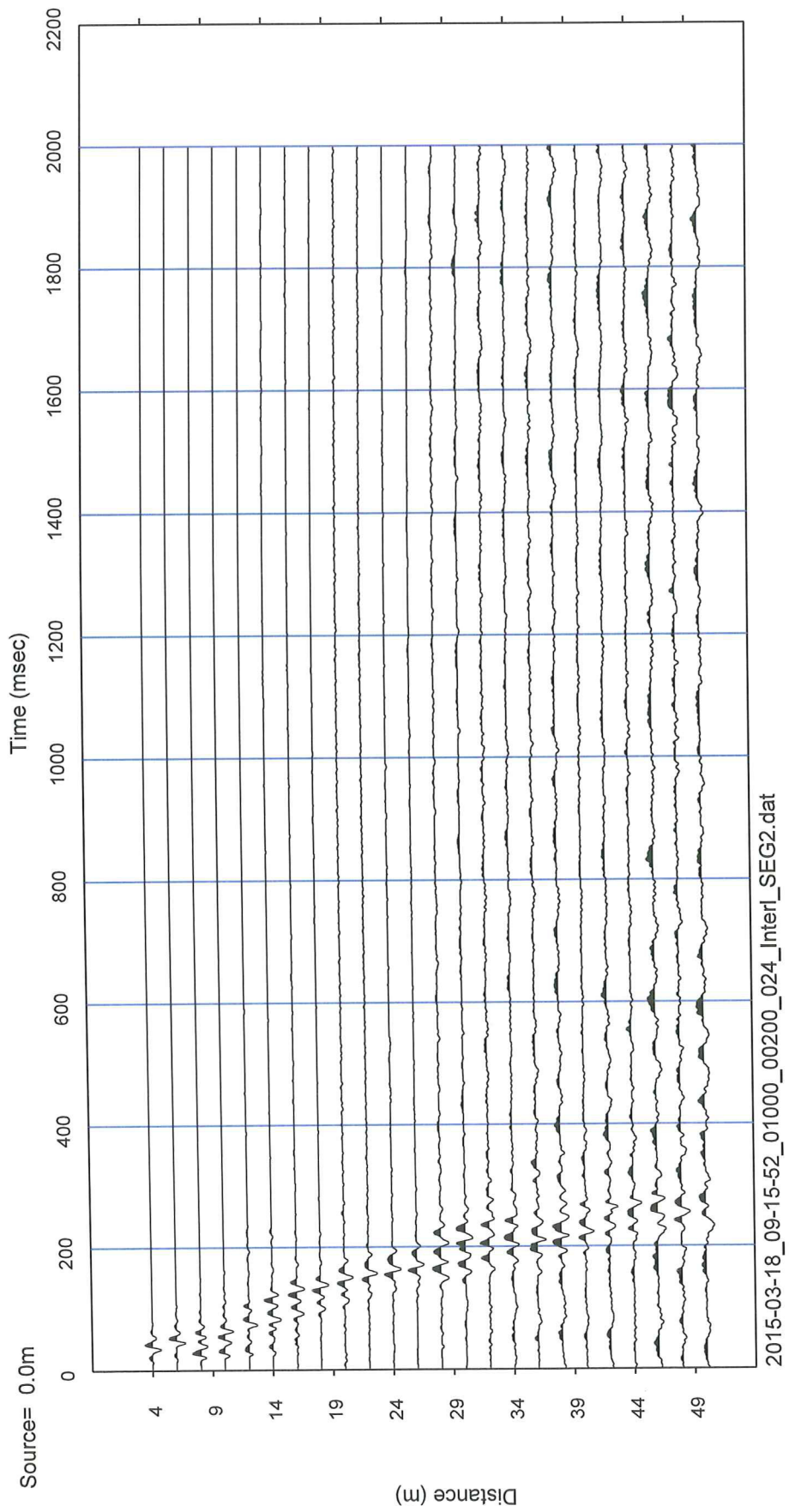
<b>Prospezione sismica</b>	<b><math>V_{S30}</math> (m/s)</b>	<b>Categoria Suolo di Fondazione (D.M. 14 gennaio 2008)</b>
<b>MASW</b>	<b>180-360</b>	<b>C</b>

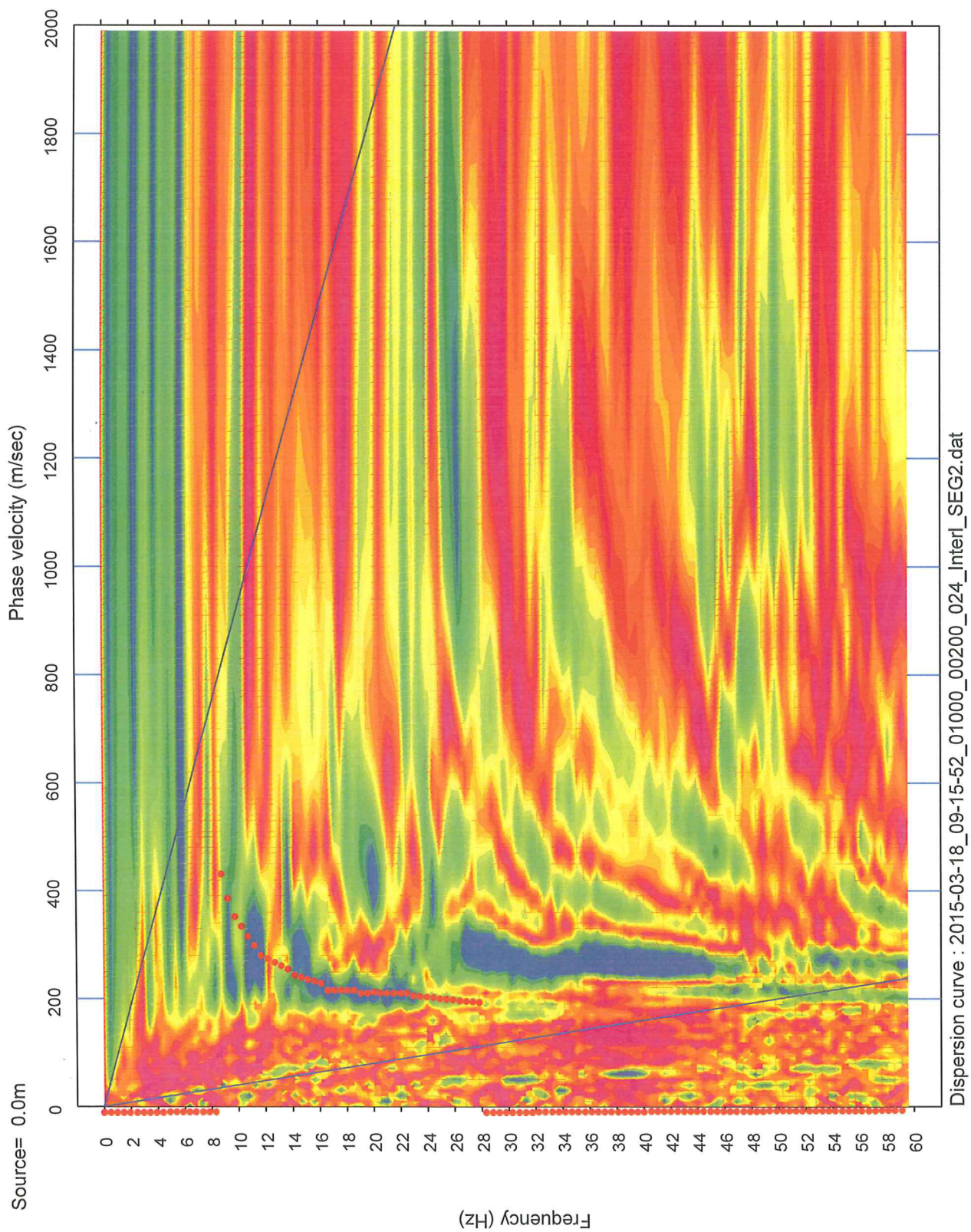
**Tab. 2 – Categorie Suolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW effettuata.**

**Dott. Geol. Diego Albini**

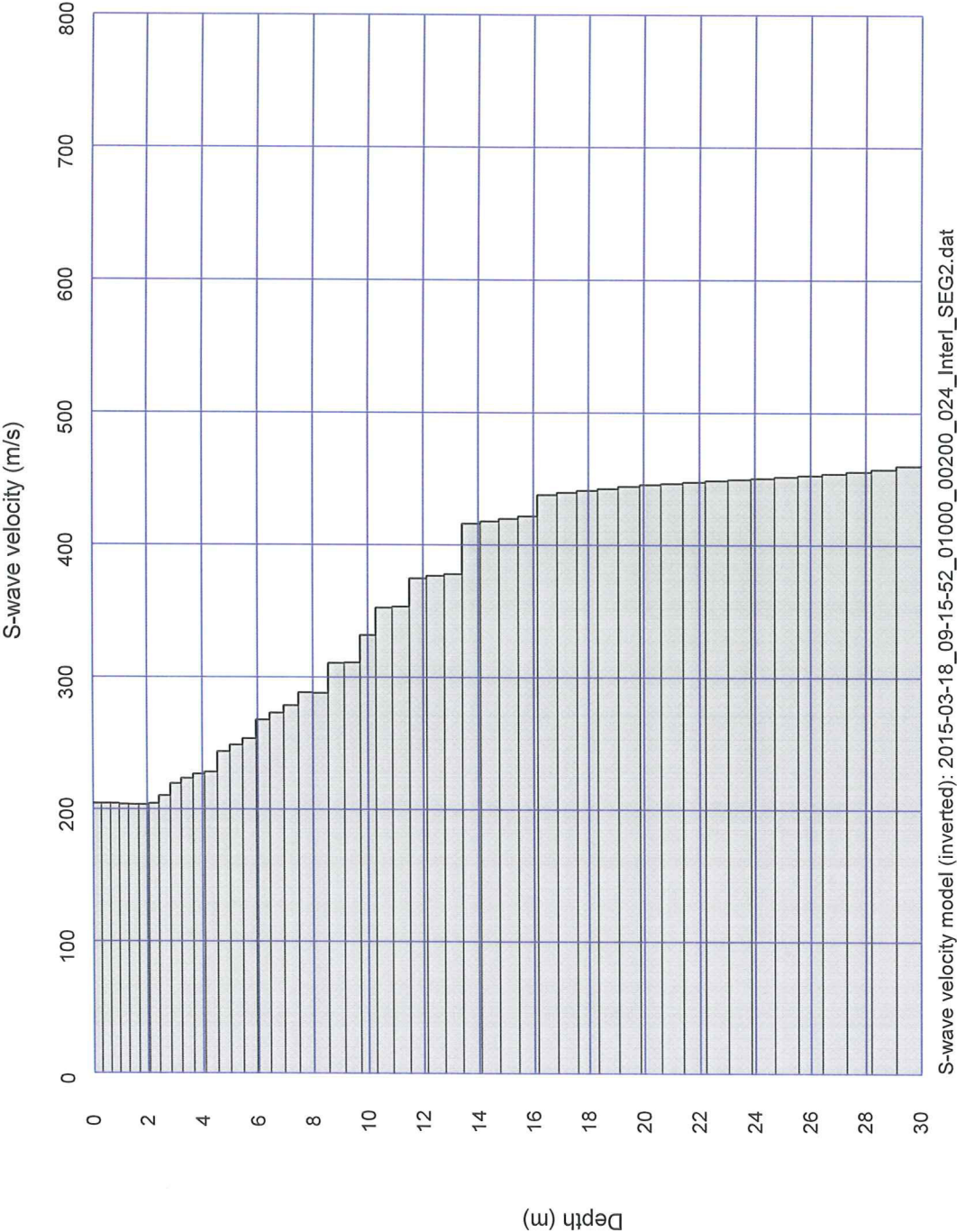








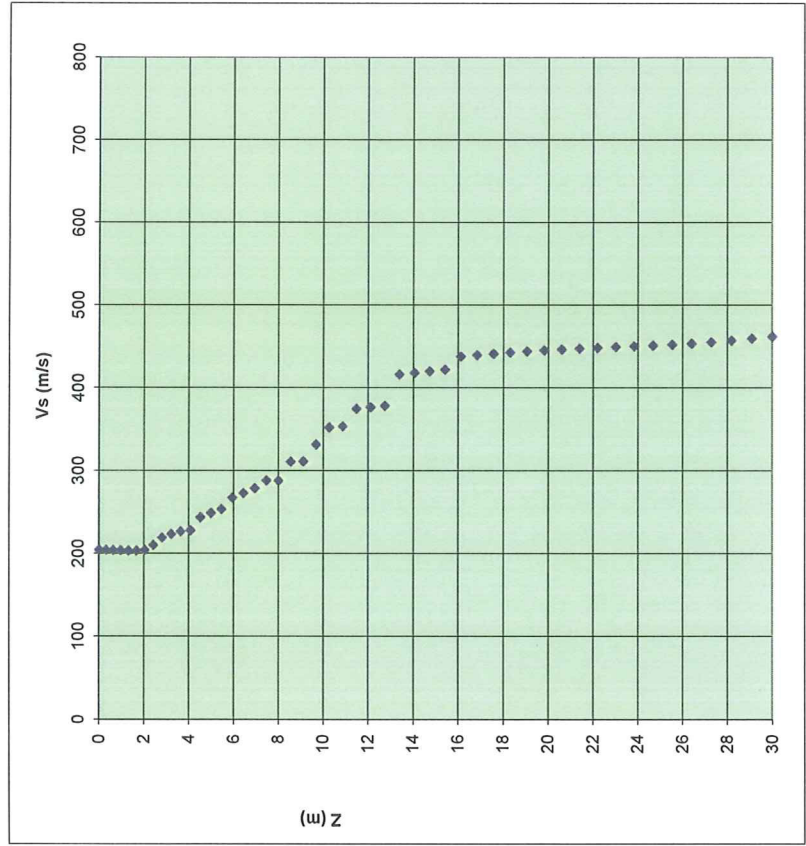
1D Surface wave analysis (3)

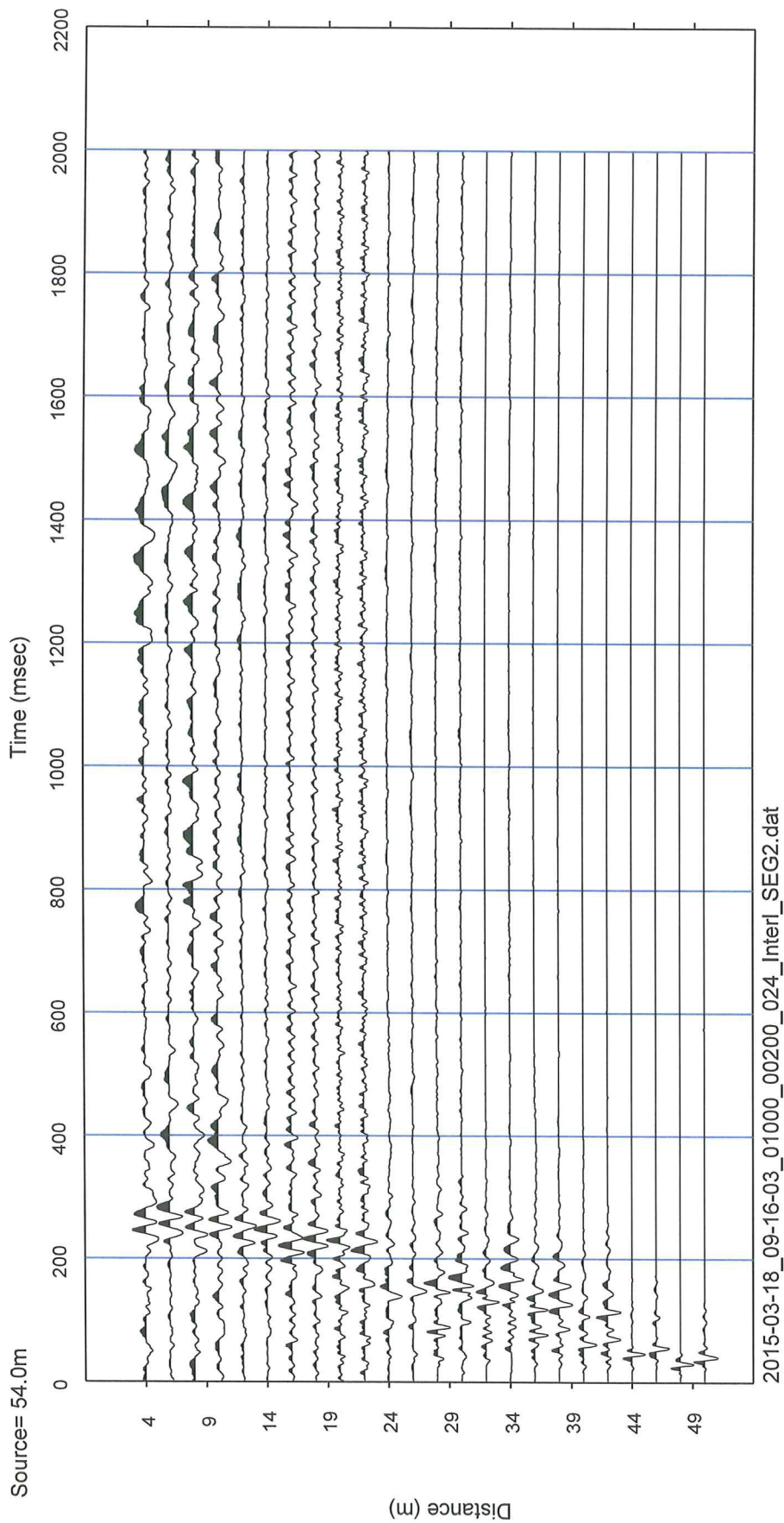


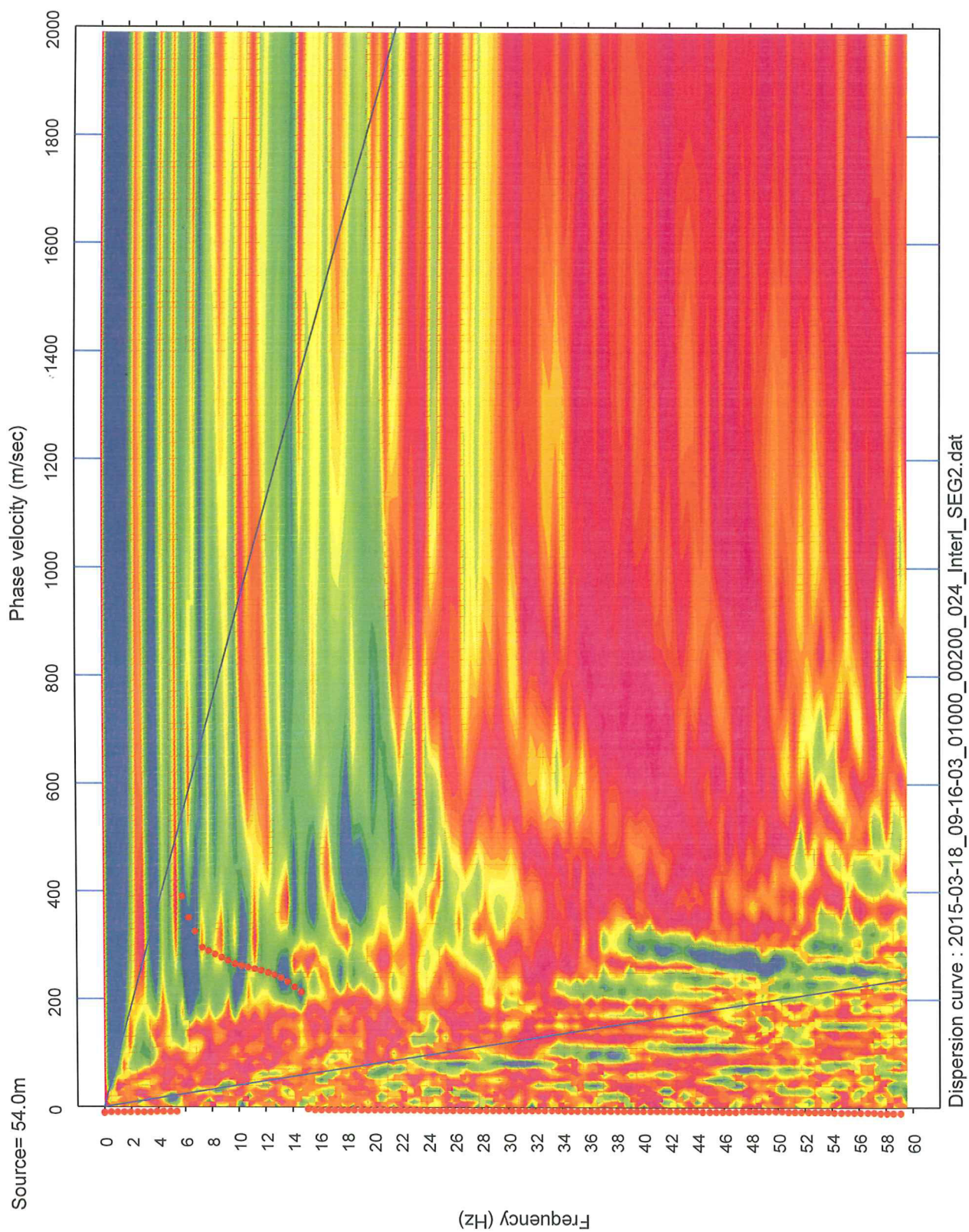


Depth(m)	S-velocity(m/s)	hi (m)	hi/Vi <sub>s</sub>
0.000	204.382		
0.306	204.254	0.306122	0.001499
0.625	204.002	0.318878	0.001563
0.957	203.696	0.331633	0.001628
1.301	203.464	0.344387	0.001693
1.658	203.404	0.357143	0.001756
2.028	204.229	0.369898	0.001811
2.411	210.069	0.382653	0.001822
2.806	219.102	0.395408	0.001805
3.214	223.401	0.408164	0.001827
3.635	226.409	0.420918	0.001859
4.069	227.811	0.433674	0.001904
4.515	243.658	0.446428	0.001832
4.974	248.656	0.459184	0.001847
5.446	253.497	0.471938	0.001862
5.931	267.209	0.484694	0.001814
6.429	272.833	0.497449	0.001823
6.939	278.635	0.510205	0.001831
7.462	288.059	0.522959	0.001815
7.997	287.784	0.535714	0.001862
8.546	310.752	0.548469	0.001765
9.107	311.151	0.561225	0.001804
9.681	331.515	0.573979	0.001731
10.268	352.186	0.586735	0.001666
10.867	353.522	0.59949	0.001696
11.480	374.692	0.612245	0.001634
12.105	376.428	0.625	0.00166
12.742	378.285	0.637755	0.001686
13.393	416.142	0.65051	0.001563
14.056	418.070	0.663266	0.001586
14.732	420.090	0.67602	0.001609
15.421	422.025	0.688775	0.001632
16.122	437.863	0.701531	0.001602
16.837	439.635	0.714285	0.001625
17.564	441.261	0.727041	0.001648
18.304	442.797	0.739796	0.001671
19.056	444.198	0.752552	0.001694
19.821	445.460	0.765307	0.001718
20.599	446.564	0.77806	0.001742
21.390	447.616	0.790816	0.001767
22.194	448.549	0.803571	0.001791
23.010	449.462	0.816327	0.001816
23.839	450.347	0.829082	0.001841
24.681	451.311	0.841837	0.001865
25.536	452.396	0.854591	0.001889
26.403	453.685	0.867346	0.001912
27.283	455.299	0.880102	0.001933
28.176	457.314	0.892857	0.001952
29.082	459.882	0.905612	0.001969
30.000	462.163	0.918369	0.001987
		Somma 30	Somma 0.086308

Vs30 (SHOT 1)= 347.5941

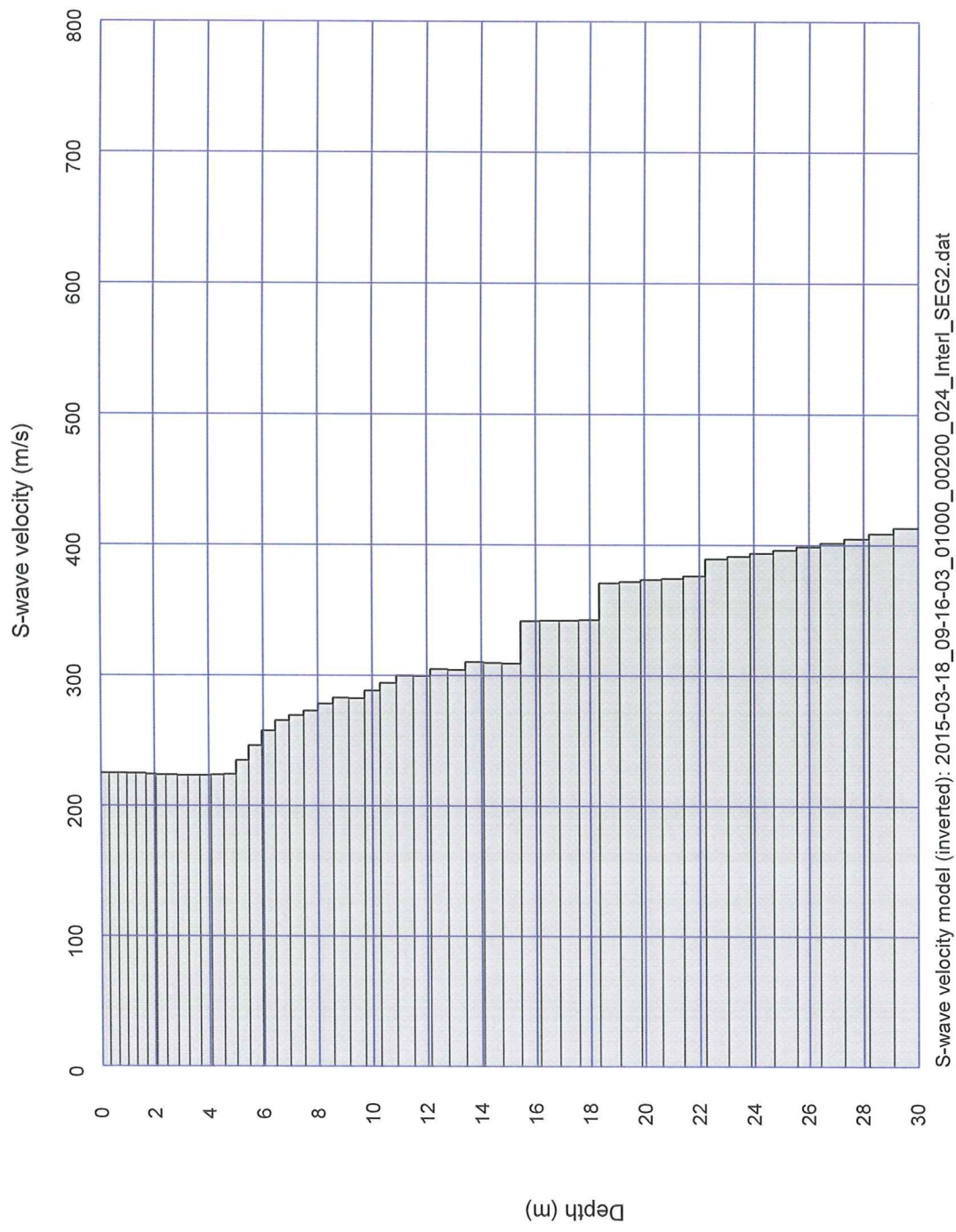






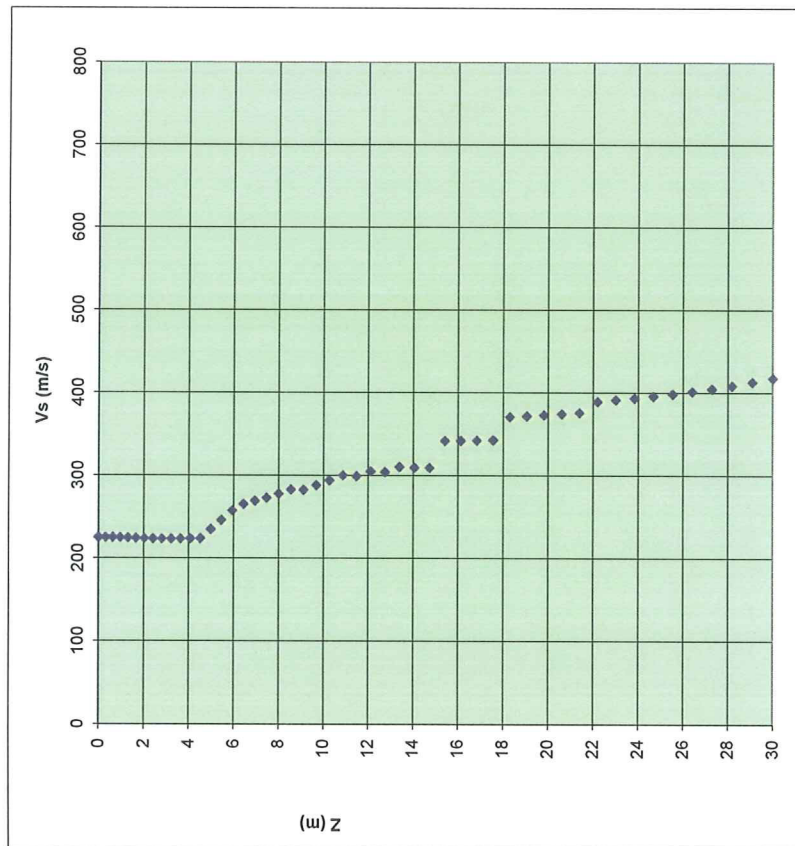


### 1D Surface wave analysis (3)



Depth(m)	S-velocity(m/s)	hi (m)	hi/V <sub>s</sub>
0.000	225.028		
0.306	225.046	0.306122	0.00136
0.625	225.001	0.318878	0.001417
0.957	224.852	0.331633	0.001475
1.301	224.555	0.344387	0.001534
1.658	224.182	0.357143	0.001593
2.028	223.817	0.369898	0.001653
2.411	223.536	0.382653	0.001712
2.806	223.323	0.395408	0.001771
3.214	223.272	0.408164	0.001828
3.635	223.353	0.420918	0.001885
4.069	223.580	0.433674	0.00194
4.515	223.965	0.446428	0.001993
4.974	234.915	0.459184	0.001955
5.446	245.947	0.471938	0.001919
5.931	257.459	0.484694	0.001883
6.429	265.270	0.497449	0.001875
6.939	269.139	0.510205	0.001896
7.462	272.766	0.522959	0.001917
7.997	277.890	0.535714	0.001928
8.546	282.848	0.548469	0.001939
9.107	282.513	0.561225	0.001987
9.681	288.130	0.573979	0.001992
10.268	294.121	0.586735	0.001995
10.867	300.029	0.59949	0.001998
11.480	299.196	0.612245	0.002046
12.105	304.995	0.625	0.002049
12.742	304.196	0.637755	0.002097
13.393	310.182	0.65051	0.002097
14.056	309.628	0.663266	0.002142
14.732	309.286	0.67602	0.002186
15.421	341.882	0.688775	0.002015
16.122	341.957	0.701531	0.002052
16.837	342.273	0.714285	0.002087
17.564	342.821	0.727041	0.002121
18.304	370.847	0.739796	0.001995
19.056	371.866	0.752552	0.002024
19.821	373.062	0.765307	0.002051
20.599	374.415	0.77806	0.002078
21.390	375.965	0.790816	0.002103
22.194	389.376	0.803571	0.002064
23.010	391.359	0.816327	0.002086
23.839	393.512	0.829082	0.002107
24.681	395.890	0.841837	0.002126
25.536	398.521	0.854591	0.002144
26.403	401.446	0.867346	0.002161
27.283	404.793	0.880102	0.002174
28.176	408.641	0.892857	0.002185
29.082	413.097	0.905612	0.002192
30.000	417.762	0.918369	0.002198
		Somma	Somma
		30	0.096023

Vs30 (SHOT 2)= 312.4261



### INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



### INDAGINE SISMICA MASW





