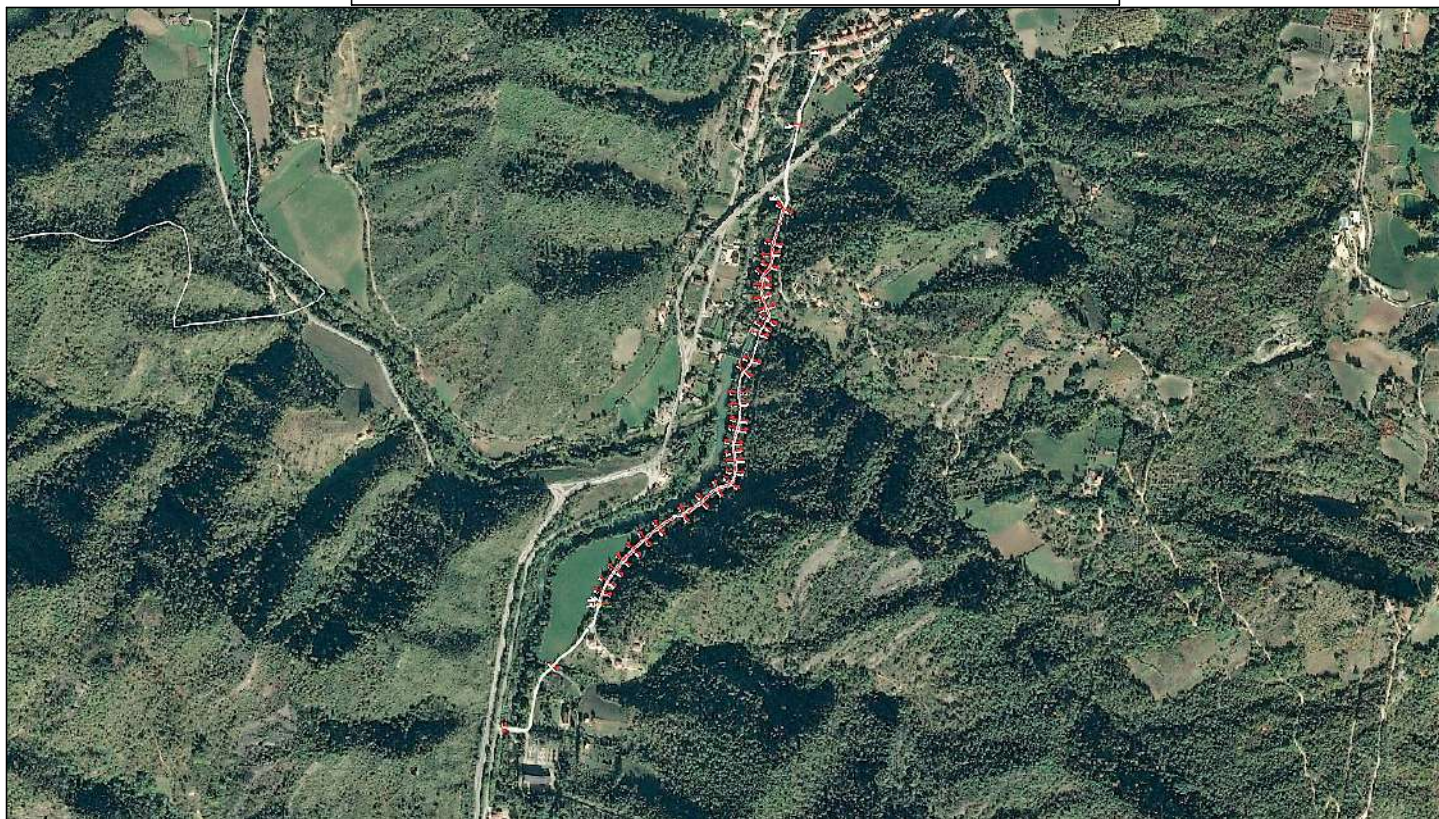




**Comune
di Ascoli Piceno**
MEDAGLIA D'ORO AL VALOR MILITARE
PER ATTIVITÀ PARTIGIANA



CICLOVIA DELLA VALLATA DEL TRONTO TRATTO C, LOTTO AD OVEST DELLA FRAZIONE MOZZANO

PROGETTO DEFINITIVO

GEOL. ROSMARINI FRANCESCO

Viale Indipendenza 42, 63100 Ascoli Piceno-Email:geo.rosmarini@gmail.com-Cell 3292077121

Il Responsabile del Procedimento: **ing. Maurizio Piccioni**

Servizio Urbanistica, SIT

Viale Vellei, 16 63100 Ascoli Piceno tel: 0736.298449 cel: 320.4395392

TITOLO ELABORATO
**STUDIO DI INSERIMENTO URBANISTICO FINALIZZATO
ALLA VARIANTE PARZIALE AL P.R.G. AI SENSI
DELL'ART. 15 C. 5 DELLA L.R. 34/92"**

Relazione geologica

ELABORATO

	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA:
2			
1			SOSTITUISCE ELABORATO
0	GENNAIO 2022	EMISSIONE	

Sommario

1 – PREMESSA	2
2 – INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	5
3 – GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA	6
Inquadramento geologico.....	6
Inquadramento geomorfologico.....	7
Inquadramento idrogeologico	12
4 – CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	14
5 – VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA	15
Determinazione del tempo di corrivazione	16
Stime delle altezze critiche di pioggia	16
Stime di coefficiente di deflusso e delle portate massima di piena.....	17
6 – CONCLUSIONI.....	19

La presente relazione è costituita da n°19 pagine

- Tav. 1 – Inquadramento topografico	Scala 1:10.000
- Tav. 2 – Inquadramento geologico	Scala 1:10.000
- Tav. 3 – Stralcio cartografia PAI	Scala 1:10.000
- Tav. 4 – Carta geomorfologica	Scala 1:4.000
- Tav. 5 – Carta delle indagini	Scala 1:4.000
- Tav. 6 – Sezioni litologiche	Scala 1:1.000
- Report indagini sismiche HVSR	
- Tabelle e grafici prove penetrometriche DPSH	
- Report tomografia sismica a rifrazione	

**OPERA DELL'INGEGNO – RIPRODUZIONE VIETATA OGNI DIRITTO RISERVATO –
ART.99 L.633/41**

COMUNE DI ASCOLI PICENO

(Provincia di Ascoli Piceno)

“INTERVENTI PER LO SVILUPPO E LA MESSA IN SICUREZZA DI ITINERARI E
PERCORSI CICLABILI E CICLOPEDONALI E PER L’INCENTIVAZIONE DI TRASPORTI
URBANI PULITI” - “REALIZZAZIONE DELLA CICLOVIA DELLA VALLATA DEL TRONTO
– TRATTO C – LOTTO TRATTO AD OVEST FRAZIONE MOZZANO”

Loc. Mozzano

COMMITTENTE: AMMINISTRAZIONE COMUNALE

1 – PREMESSA

L’Amministrazione comunale di Ascoli Piceno ha commissionato al sottoscritto, con D.D. n. 1666 del 09/06/2021 la redazione della relazione geologica per la realizzazione di una ciclovia nel tratto ad Ovest dell’abitato di Mozzano nel Comune di Ascoli Piceno.

Nello specifico tale studio si focalizza sull’individuazione delle emergenze geologiche e geomorfologiche che sono state osservate lungo il tracciato che misura circa 1,7 Km.

Nella presente relazione e nelle tavole allegate sono contenuti ed esposti i dati e le osservazioni raccolte durante le indagini svolte nella zona in oggetto. Il presente studio parte da una approfondita indagine geognostica effettuata su tutta l’area finalizzata alla verifica del locale assetto litologico e geologico. Complessivamente, nell’area in oggetto, si è proceduto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

- una prima fase conoscitiva caratterizzata dall’osservazione e definizione delle principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche mediante opportuni sopralluoghi e rilievi di superficie;
- esecuzione della seguente campagna geognostica

- n°3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH
- esecuzione della seguente campagna geofisica
 - n°4 stendimento sismica a rifrazione della lunghezza di 92 ml ciascuno
 - n°2 misure dei microtremori effettuate utilizzando un rilevatore digitale di microtremori Tromino Engy®

L'esatta ubicazione delle prove di indagine è riportata negli elaborati allegati alla presente relazione.

- elaborazione e sintesi dei risultati dell'indagine effettuata;

L'indagine è stata svolta in ottemperanza alla normativa tecnica di riferimento:

- ✓ D.M. 11.03.88 [norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione];
- ✓ Circolare Min. LL.PP. 24.09.1988 n.30483 [istruzione riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii, i criteri generali...];
- ✓ L. n. 64 del 02.02.74 [legge sismica];
- ✓ NTC08 aggiornate dalle NTC18 di cui al D.M. 17.01.2018 [testo unico per le costruzioni].

I principali dati bibliografici utilizzati nella presente relazione come riferimenti litostratigrafici di base, sono stati dedotti dalla consultazione dei seguenti lavori e pubblicazioni:

1. **La geologia delle Marche** - Studi Geologici Camerti – Numero Speciale - (E. Centamore & G. Deiana - 1986)
2. **L'ambiente fisico delle Marche. Geologia, geomorfologia, idrogeologia** – Regione Marche, Giunta Regionale Assessorato urbanistica, ambiente (1991)
3. **Carta geologica regionale** – Edizione CTR scala 1/10.000 (consultabile sul sito web della Regione Marche:
<http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartageologicaregionale10000>)
4. **Carta geomorfologica regionale** – Edizione CTR scala 1/10.000 (consultabile sul sito web della Regione Marche:



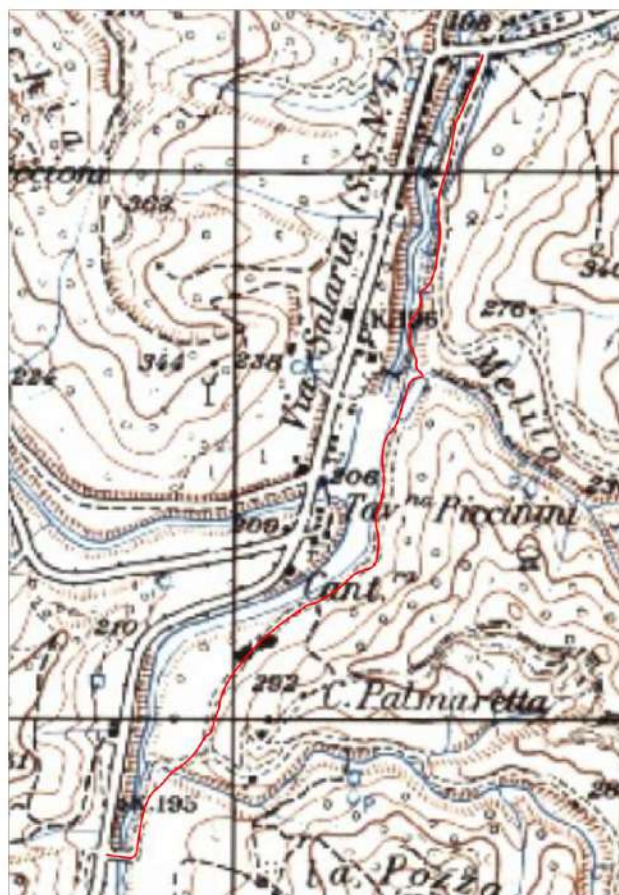
Dr. Geol. FRANCESCO ROSMARINI
Viale Indipendenza 42, 63100 Ascoli Piceno
Email: geo.rosmarini@gmail.com Cell 3292077121

<http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartageomorfologicaregionale10000>

5. **Cartografia P.A.I.** redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tronto.
6. **Progetto I.F.F.I Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia** predisposto e curato dall'ISPRA e consultabile dal sito dell'Istituto.

2 – INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area in oggetto si estende per una lunghezza complessiva di circa 1780 ml e comprende una ristretta fascia posizionata in destra idrografica del Fiume Tronto in località Mozzano nel Comune di Ascoli Piceno. La zona interessata dal progetto è posizionata all'interno di una quota compresa tra i 200 e i 220 m slm. Il tracciato è posizionato su versanti di discreta acclività (maggiore di 20°) che degradano fino ad incontrare il Fiume Tronto. Nel primo tratto della pista (dall'abitato di Mozzano fino ad arrivare allo sbarramento Enel) il percorso si posiziona circa a metà versante, subito dopo lo sbarramento è posizionato nella parte terminale del versante quasi a contatto con l'asta fluviale. Nell'ultima parte invece il percorso si discosta dal Fiume Tronto attraversando un terreno fino a intercettare nuovamente l'asta fluviale al termine del percorso.



Stralcio cartografia IGM 1:25000

3 – GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Inquadramento geologico

L'area oggetto di studio ricade all'interno del bacino marchigiano-abruzzese esterno sviluppatosi durante il Pleistocene medio-superiore e legato al sistema catena – avanfossa che migrava in direzione adriatica durante questo periodo. Le discontinuità che si rinvengono in questi depositi possono essere ricondotte ad attività tettoniche sinsedimentarie che, pur mantenendo nel complesso una situazione omogenea di sedimentazione, può presentare dei casi di facies legati a fenomeni di trasgressione – regressione marina.



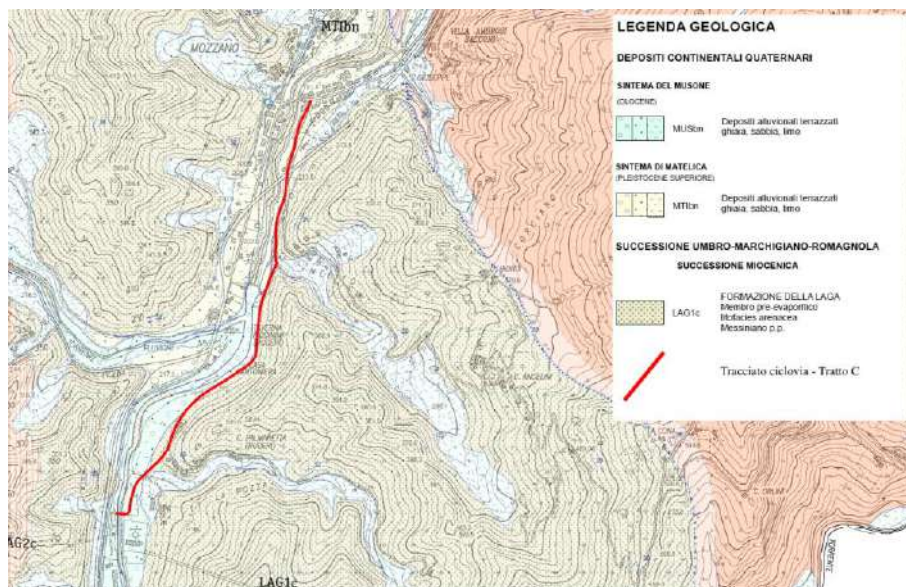
Foto – Litofacies arenacea

Nel territorio comunale di Ascoli Piceno, i litotipi della Formazione della Laga sono costituiti da sedimenti silicoclastici, di natura torbidity, che affiorano prevalentemente nel settore centro orientale fino ad entrare in contatto con la successione marina plio-pleistocenica (Formazione delle Argille azzurre). Questa formazione è stata suddivisa in tre principali unità litostratigrafiche (membri), di scala regionale, denominati dal basso verso l'alto:

- Membro pre-evaporitico;
- Membro evaporitico;
- Membro post-evaporitico.

Nell'area in esame affiorano i termini appartenenti al membro pre-evaporitico del Messiniano. Per tale membro. Nell'ambito di questa formazione, per l'area in oggetto, si rinvengono la litofacies

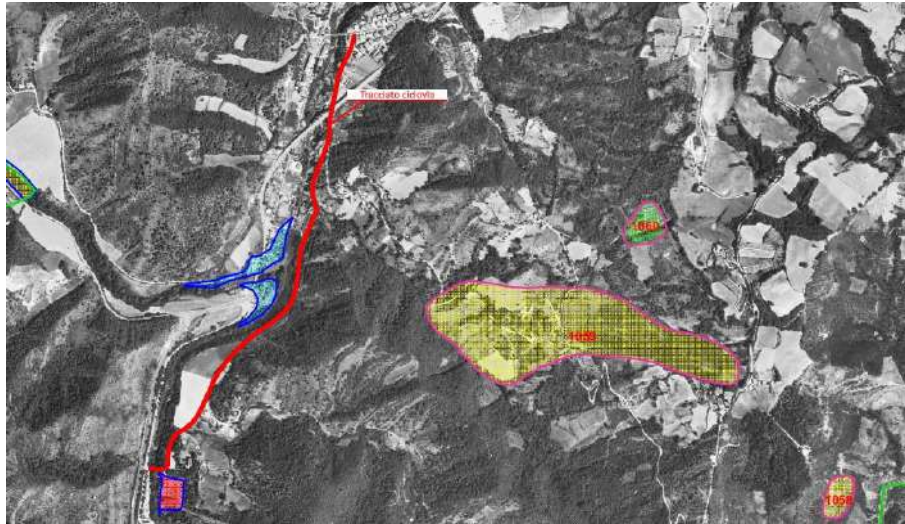
arenacea LAG1c; tale associazione è costituita da arenarie medio-grossolane in strati spessi, molto spessi e massicci. Nella prima parte del tracciato risultano evidenti depositi alluvionali caratterizzati da ghiaie in matrice sabbiosa che mascherano la sottostante formazione marina. Nella seconda parte del tracciato, subito dopo lo sbarramento artificiale dell'Enel si rinvencono invece depositi eluvio colluviali costituiti da limo sabbioso e sabbia limosa che sovrastano la sottostante formazione marina del substrato.



Stralcio carta geologica della Regione Marche (CARG)

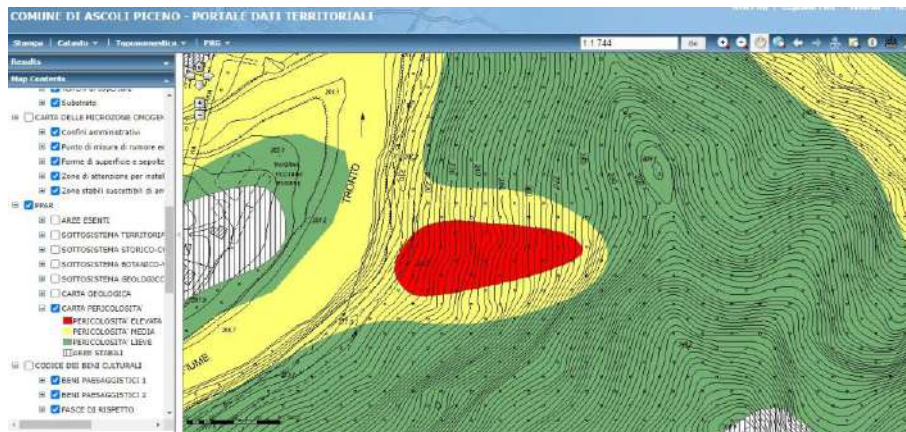
Inquadramento geomorfologico

L'area interessata dal progetto si colloca, nella maggior parte del suo tracciato, lungo il versante W-NW che degrada verso l'asta fluviale del Fiume Tronto. La fascia altimetrica che comprende tutto questo tratto della ciclovia varia da circa 200 a 220 m slm interessando dei versanti con andamento E-SE/W-NW con pendenze medie superiori ai 20°. Da un'analisi della cartografia PAI non si rinvencono manifestazioni di fenomeni gravitativi in atto. Deve comunque essere segnalato che, vista la natura della litologia affiorante, i fenomeni che possono innescarsi sono della tipologia di crollo con contestuale elevata velocità del fenomeno così come si evidenzia nel tratto adiacente lo sbarramento Enel. Tale situazione di pericolo necessita di opere di mitigazione del rischio e di una continua sorveglianza.



Stralcio cartografia PAI

Da un'analisi della cartografia online (https://sit.comune.ap.it/PORTALE_1/) del portale del Comune di Ascoli Piceno è possibile rilevare la presenza di un'area a pericolosità elevata che lambisce il percorso della ciclovia posizionata poco più a sud della confluenza del Torrente Fluvione sull'asta del Fiume Tronto mentre per la restante parte il tracciato insiste su aree a pericolosità media.



Stralcio carta pericolosità PPAR del Comune di Ascoli Piceno

Nella porzione Nord del tracciato, in corrispondenza della strada asfaltata attualmente sfruttata per il normale traffico veicolare si segnalano delle fessurazioni sul ciglio della scarpata prospiciente al Fiume Tronto. Una volta oltrepassati i piloni della S.S.4 si rinvengono delle gabbionate a protezione del taglio del versante per il passaggio della strada e che ad oggi presenta un fondo stradale ancora sterrato.



Foto – Fessurazioni in corrispondenza della porzione Nord del tracciato



Foto – Gabbionate presenti prima dell'imbocco per il “Sentiero del Brigante”



Foto – Formazione arenacea in aderenza al tracciato

Procedendo verso sud in tracciato fiancheggia una parete arenacea che presenta una notevole acclività; su questo versante, in corrispondenza di fratture e/o stratificazioni si sono insediate specie vegetali. Tali organismi, in sinergia con eventuali fratturazioni e stratificazioni, tendono a creare instabilità nella struttura dell'ammasso e non è da escludere la possibilità che si manifestino cadute di blocchi in maniera improvvisa. I blocchi possono avere dimensioni considerevoli e creare pericolo per gli eventuali fruitori del percorso. Si ritiene necessario provvedere ad un disgaggio degli eventuali blocchi pericolanti, la messa in sicurezza attraverso una rete adeguatamente dimensionata e posizionata e comunque procedere periodicamente con monitoraggio e controllo dell'ammasso.



Foto – Blocco di arenaria caduto vicino al tracciato

Lungo tutto il tracciato sono visibili emergenze geomorfologiche quali nicchie di frana che si presentano attualmente attive e in arretramento localizzabili per lo più lungo la seconda metà del tracciato dove è più marcato il cambio litologico e si passa da formazione affiorante a depositi eluvio colluviali con spessori di alcuni metri. Nella prima parte del tracciato invece sono visibili fenomeni di crollo di muri a secco risalenti a diversi decenni prima che fungono da contenimento per il passaggio del tracciato.

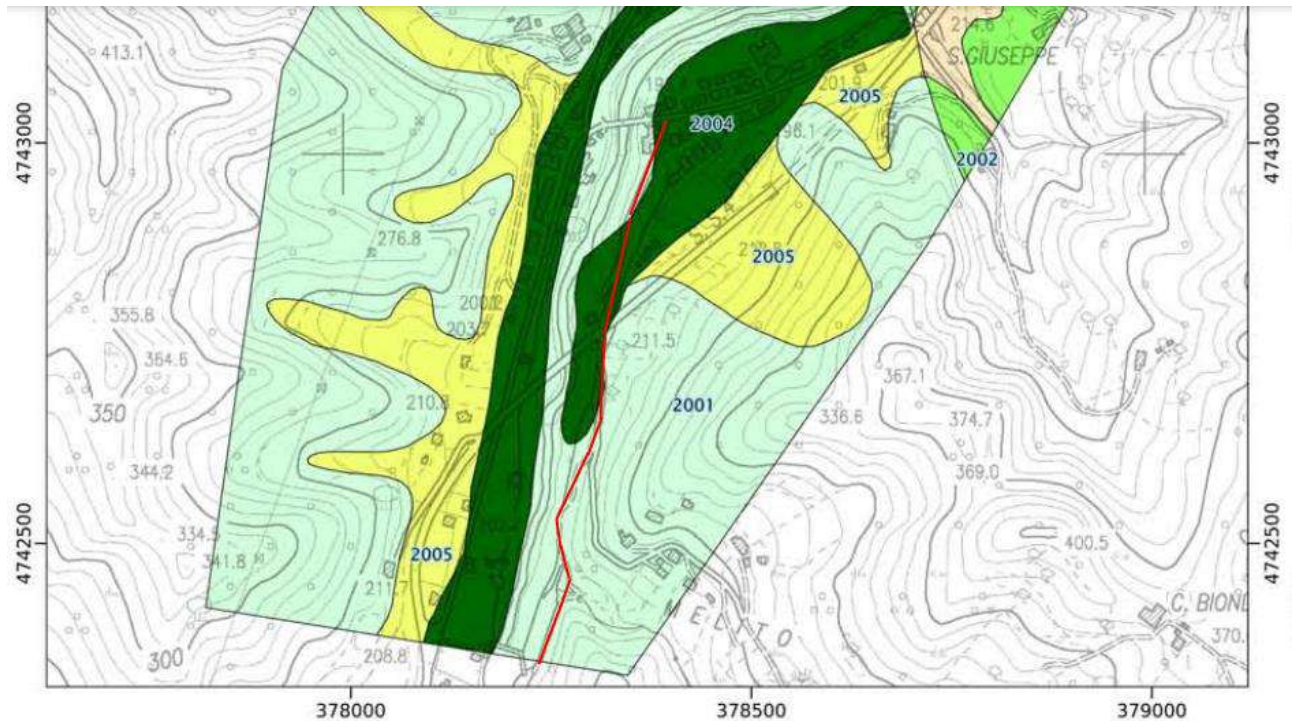


Foto – Muro a secco caduto



Foto – Nicchie di frana

Per quanto riguarda gli studi di Microzonazione sismica di III livello del Comune di Ascoli Piceno, il percorso viene coperto solo in parte dalla perimetrazione mentre la restante parte del percorso risulta esterna al perimetro.



Inquadramento idrogeologico

La circolazione idrica sotterranea assume caratteristiche differenti e peculiari legate alla litologia dell'acquifero e al suo assetto geologico-strutturale. All'interno delle arenarie, che contraddistinguono l'area in oggetto, può manifestarsi la presenza di una porosità secondaria legata principalmente a fratturazione per stress tettonico.

Nell'area risulta particolarmente importante la presenza di corsi d'acqua che ne caratterizzano l'idrografia superficiale. Il Fiume Tronto costituisce sicuramente il primo e più importante corso d'acqua che fiancheggia per la totalità della sua lunghezza il tracciato; a Nord della chiusa il fiume Tronto si presenta incassato all'interno delle arenarie della Laga una quota di una decina di metri sotto la quota della ciclovia. A sud della chiusa dell'Enel in fiume scorre su un letto più ampio ed in questa zona è presente la confluenza con il Torrente Fluvione in sinistra idrografica; in questa area il percorso ciclabile dapprima si trova ad una quota di un paio di metri al di sopra del fiume per poi acquistare sempre maggiore quota spostandosi verso sud.

Oltre al Fiume Tronto è allo sbarramento dell'Enel con le varie vasche che lo caratterizzano

è da annoverare anche la presenza del Rio di Corciano. Questo piccolo corso d'acqua, affluente in destra idrografica del Fiume Tronto attualmente attraversa il percorso pedonale e, visto il carattere torrentizio, alterna momenti di poca portata a momenti di piena.



Foto – Attraversamento del Rio di Corciano

Nella parte terminale del tracciato, in prossimità della centrale ENEL vicina a Taverna di Mezzo, è presente un torrente denominato “il Canale” che attraversa la strada asfaltata per confluire nel Fiume Tronto. In corrispondenza della strada il fosso è stato precedentemente intubato.

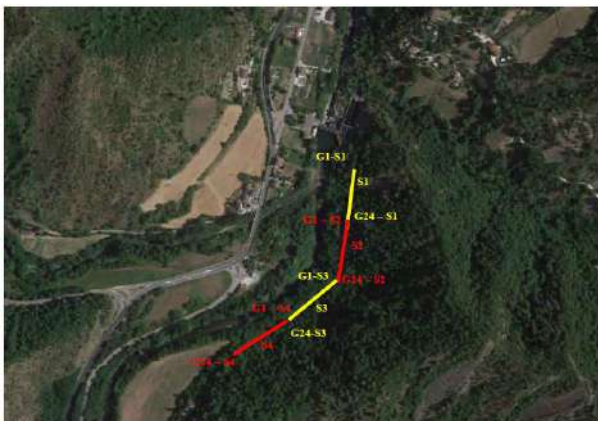


Foto – Attraversamento del “il Canale”

4 – CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

La campagna di indagini è stata effettuata per caratterizzare gli elementi geologico del tracciato di progetto, oltre ai rilievi di superficie preliminari è stata eseguita una specifica campagna di indagini geognostiche in sito. Le prove geotecniche e sismiche sono state eseguite principalmente per riconoscere la natura litologica del sottosuolo e per parametrizzare le caratteristiche geotecniche e geofisiche dei terreni indagati. La campagna geognostica (TAV 5 – Carta delle indagini) comprende:

- esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH),
- esecuzione di tomografia sismica a rifrazione tramite 4 stendimenti della lunghezza di 92 ml
- esecuzione di n. 2 indagini mediante tromografo (HVSr)



5 – VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA

Il tracciato della Ciclovia del Tronto - Tratto C incontra il Rio di Corciano all'altezza dello sbarramento Enel. Tale corso d'acqua ha un regime torrentizio e quindi in alcuni momenti risulta impraticabile il superamento dello stesso vista la presenza di una abbondante acqua. Per valutare al meglio le varie opzioni di intervento in questo specifico tratto si è effettuata una verifica idraulica di tutto il bacino del Rio di Corciano.



Foto – Attraversamento del Rio di Corciano

Per il calcolo della portata massima di piena, in questa fase si è fatto riferimento al cosiddetto metodo razionale che trova frequente applicazione per i piccoli bacini. Tale metodo presuppone che la portata massima sia prodotta da una precipitazione di durata uguale al tempo di corrivazione del bacino. Il metodo in questione è sintetizzato dalla seguente formula:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

dove:

A: area del bacino a monte della sezione considerata [Km²];

i: intensità della precipitazione che provoca la piena [mm/h];

C: coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso.

Determinazione del tempo di corrivazione

Per la stima del tempo di corrivazione t_c caratteristico del bacino, è stata utilizzata la formula di Giandotti [1] e quella modificata di Aronica e Paltrinieri [2] per consentire l'applicazione nel caso di piccoli bacini (minori di 10 Km²)

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{hm}} \quad [1] \quad t_c = \frac{1}{Md} \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{hm}} \quad [2]$$

In cui M e d sono costanti numeriche funzione del tipo di utilizzazione del suolo e della permeabilità dei terreni.

Le caratteristiche morfometriche del bacino esaminato sono le seguenti:

L = 1,76 Km (lunghezza dell'asta fluviale)

A = 1,4036 Km² (area del bacino)

Hm = 411 m (quota media stimata del bacino riferita alla quota della sezione considerata);

I tempi di corrivazione determinati sono:

Giandotti $t_c = 0,45$ ore

Aronica e Paltrinieri $t_c = 0,59$ ore

Stime delle altezze critiche di pioggia

Per la determinazione delle altezze critiche di pioggia con il metodo di Gumbel si è provveduto all'individuazione, dall'esame degli Annali del Servizio Idrografico Italiano, delle altezze massime di pioggia registrate per una durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore. I dati utilizzati si riferiscono alla stazione pluviometrica di Ascoli Piceno (Tronto) e riguardano 80 anni per un periodo compreso tra il 1935 e il 2019.

Per quanto riguarda la stima della massima precipitazione attesa si è fatto riferimento alla legge di precipitazione fornita dal Servizio Idrografico Nazionale riguardante la stazione pluviometrica; la legge è data dalla:

$$h = a * t^n$$

Con:

h = altezza di precipitazione in mm;

t = durata della precipitazione in ore;

a,n = parametri dipendenti dalle caratteristiche climatiche locali.

Mediante l'elaborazione dei dati pluviometrici ottenuti, è stata dedotta la cosiddetta "legge di

pioggia” per un determinato tempo di ritorno, attraverso la definizione dei parametri a ed n della distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel.

I parametri ottenuti sono riassunti nella tabella seguente:

TR anni	a mm ore ⁻ⁿ	n
20	53,627	0,315
30	58,105	0,314
50	63,702	0,312
100	57,250	0,291
200	62,729	0,290

Ponendo $t = t_c$, (cioè ipotizzando che si verifichi una precipitazione di durata uguale al tempo di corrivazione) ed estendendo le leggi di precipitazione fornite dalle tabelle allegate del Servizio Idrografico Nazionale all’area in oggetto (mediante le formule di Puppini) si ha:

Tempo di ritorno (anni)	Altezza precipitazione (hc) mm	
	Fosso “Rio di Corciano”	
	Giandotti	Puppini
20	41,84	38,85
30	45,37	42,13
50	49,82	46,26
100	45,52	42,27
200	49,92	46,35

Stime di coefficiente di deflusso e delle portate massima di piena

La corretta valutazione delle portate di piena attese per un determinato tempo di ritorno si può ottenere, facendo riferimento al metodo razionale, mediante l’espressione:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

dove:

A: area del bacino a monte della sezione considerata [Km²];

i: intensità della precipitazione che provoca la piena [mm/h];

C: coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell’afflusso.

Il coefficiente di deflusso tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche morfologiche, tessitura e di copertura vegetale e può essere stimato, per ogni bacino, mediante il consulto di opportune tabelle di riferimento reperibili in letteratura.

In questa fase ed in via preliminare è stata stimata la portata di piena adottando il coefficiente di deflusso pari a 0,59, considerando un'altezza di precipitazione critica h_c corrispondente ad una durata pari al tempo di corrivazione t_c ; inoltre sono state fatte le seguenti considerazioni:

- Il tempo di corrivazione t_c è stato preso quello determinato con la formula di Giandotti in quanto più cautelativo;
- È stata stimata una portata di piena tenendo conto anche delle relazioni di Puppini.

Le portate così ottenute sono riassunte nelle tabelle seguenti:

Tempo di ritorno (anni)	Portata di piena (mc/sec)	
	Giandotti	Puppini
20	28,36	20,22
30	30,75	21,93
50	33,76	24,08
100	30,85	22,00
200	33,83	24,13

La portata di massima attesa è stata determinata tenendo conto della formula di Giandotti; il valore è pari a:

$$\underline{\underline{Q = 33,83 \text{ m}^3/\text{sec}}}$$

Si rende necessario sottolineare che qualsiasi opera di attraversamento venga progettata, oltre ad avere un appropriato dimensionamento in funzione della portata di piena, dovrà essere impostata sulla formazione marina del substrato che nel caso specifico è costituita dalle Aree marine della Laga.

6 – CONCLUSIONI

Dai dati raccolti, dalle indagini effettuate e dalle evidenze emerse durante i sopralluoghi avvenuti, il tratto C della Ciclovía del Tronto presenta diverse criticità da considerare durante la progettazione:

- il ciglio della scarpata che fiancheggia il tracciato è interessato, in diversi punti, da fenomeni franosi che ne determinano l'arretramento; in alcuni casi la nicchia di frana è ben evidente ed eventuali opere di risanamento devono comunque prevedere compatibilità con la presenza di un sito di interesse storico-archeologico;
- ove possibile si consiglia di allontanarsi dal ciglio di scarpata preferendo un posizionamento verso monte onde evitare possibili interazioni con il tracciato;
- nei tratti del percorso in cui sono presenti riporti, gli stessi potranno essere fatti solamente dove il terreno del versante si dimostri adatto a sopportare il sovraccarico, e nei siti in cui la pendenza dei versanti non sia eccessiva. Gli eventuali scavi non dovranno aumentare le condizioni di pericolosità del sito;
- il tracciato prevede l'attraversamento del Rio di Corciano pertanto è necessario prevedere un percorso che ne permetta il superamento alla luce della portata di piena stimata. Si ritiene necessario impostare le eventuali opere di attraversamento sulla formazione marina del substrato integra (Arenaria della Laga);
- il percorso dovrebbe affiancare delle scarpate di natura arenacea di elevata acclività che potrebbero essere interessate da fenomeni di crollo resta pertanto necessario prevedere un eventuale disaggio e la posa in opera di protezioni;
- qualora si dovesse optare per una impermeabilizzazione del fondo stradale è necessaria un'adeguata regimazione delle acque di corrivazione meteorica onde evitare fenomeni di dilavamento superficiale e di erosione concentrata che metterebbero a rischio la stabilità del tracciato.

Ascoli Piceno, dicembre 2021

il geologo
Dr. Francesco Rosmarini
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE
geologo numero 809 albo sezione A

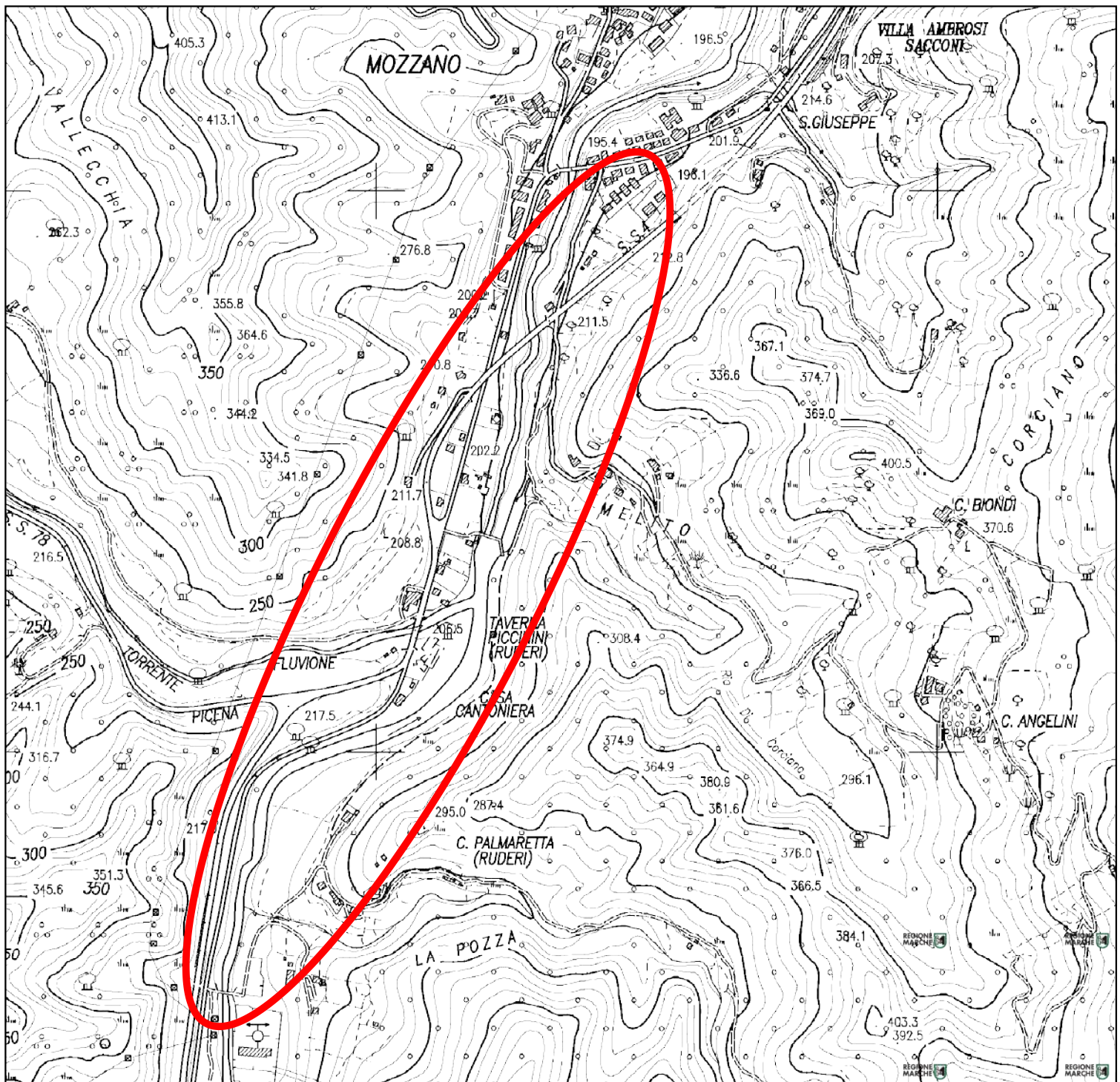
TAV 1 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

LEGENDA



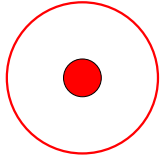
Area in oggetto

Scala 1:10.000



TAV 3 - CARTOGRAFIA PAI

Legenda



Area in oggetto

AREE A RISCHIO FRANA

-  AREE A RISCHIO MODERATO - R1
-  AREE A RISCHIO MEDIO - R2
-  AREE A RISCHIO ELEVATO - R3
-  AREE A RISCHIO MOLTO ELEVATO - R4

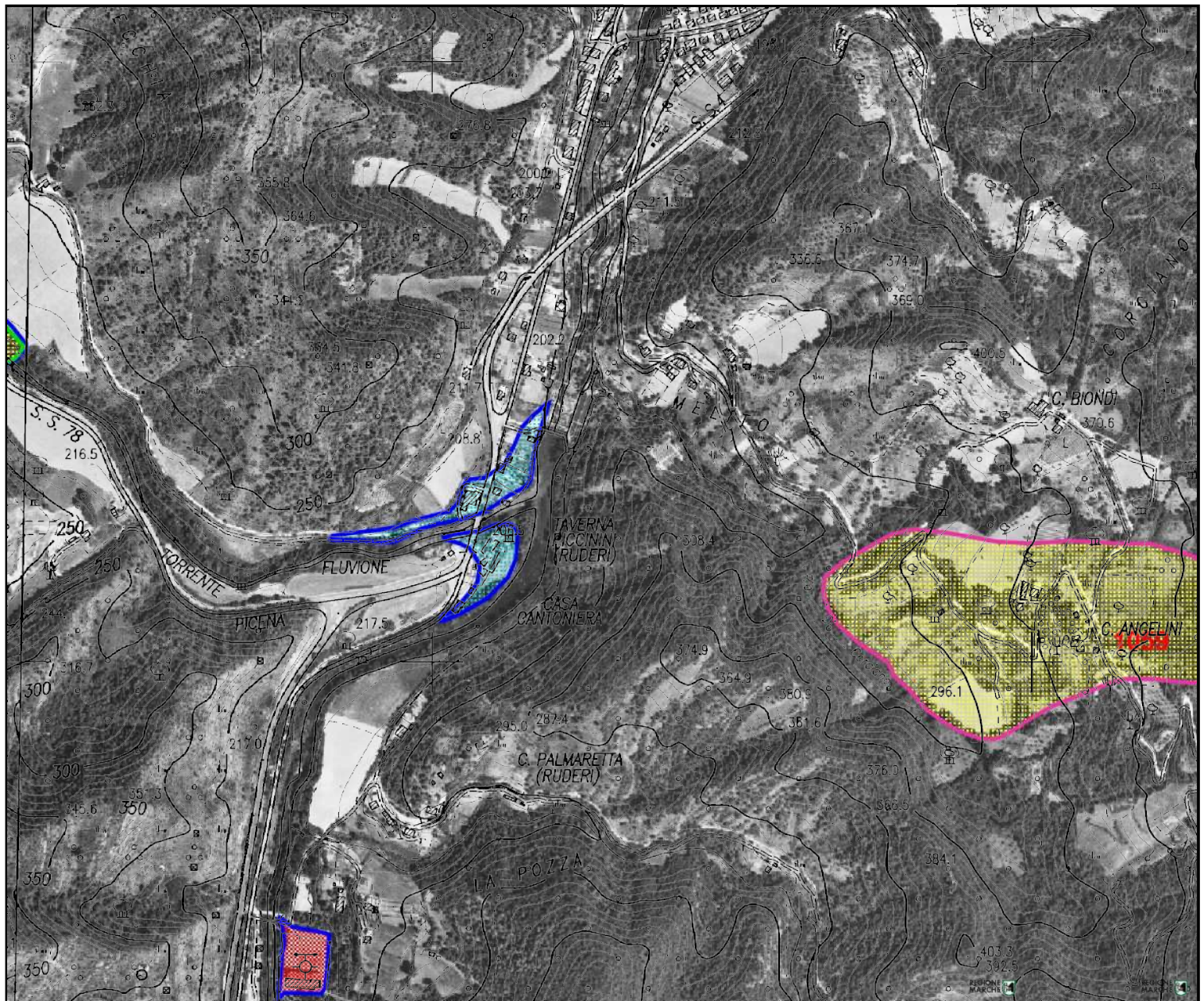
AREE A RISCHIO ESONDAZIONE

-  AREE A RISCHIO MODERATO - E1
-  AREE A RISCHIO MEDIO - E2
-  AREE A RISCHIO ELEVATO - E3
-  AREE A RISCHIO MOLTO ELEVATO - E4

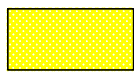
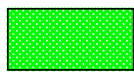
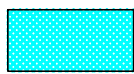



 LIMITI AMMINISTRATIVI COMUNALI

 LIMITE BACINO IDROGRAFICO

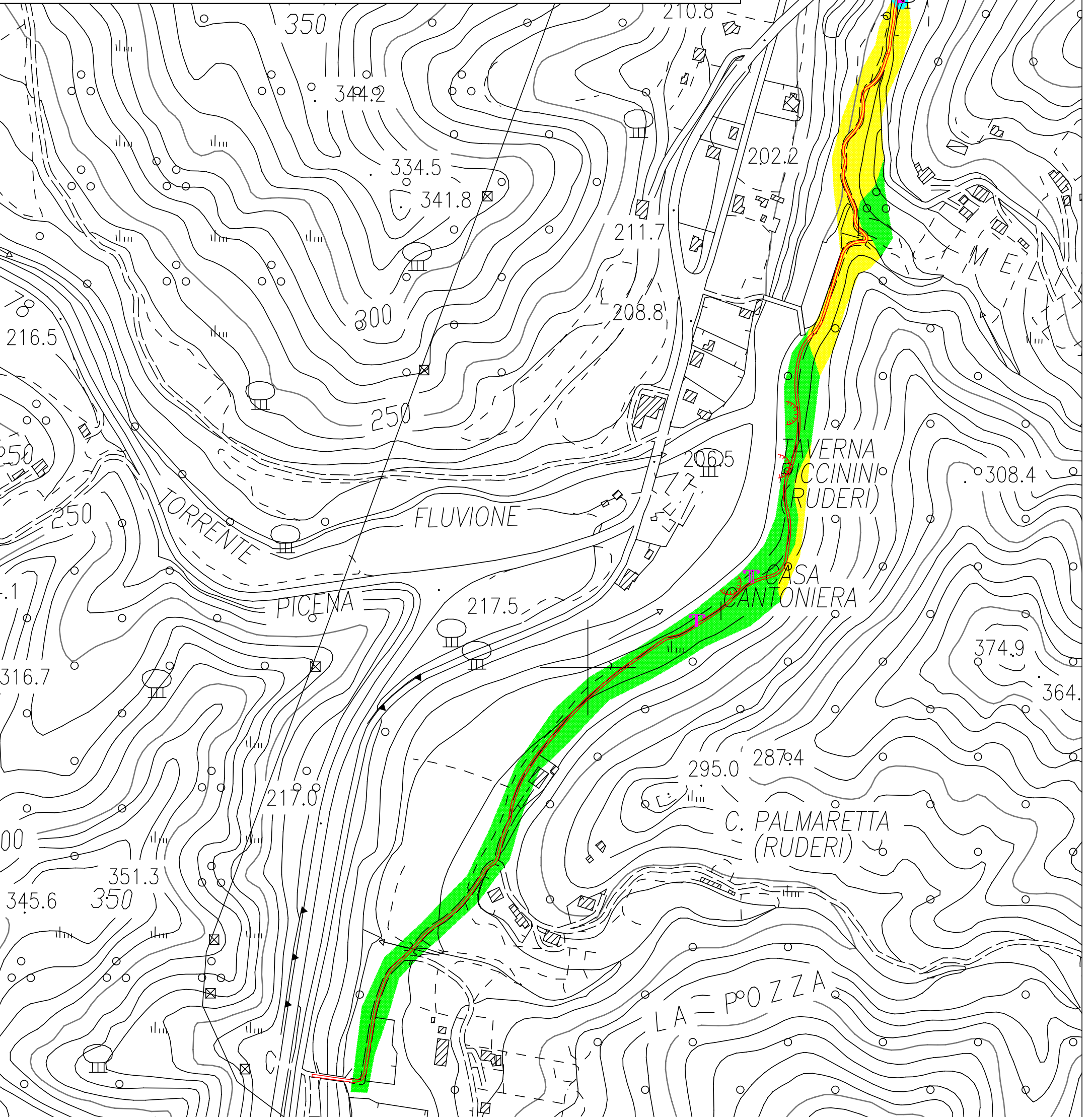
Scala 1:5000



TAV4 - CARTA GEOMORFOLOGICA

-  Arenaria della laga (SUBSTRATO)
-  Limi e limi sabbiosi
-  Ciottoli in abbondante matrice sabbiosa e sabbioso-limosa
-  Corona di frana
-  Area di interesse archeologico
-  Gabbionata esistente

Scala 1:4000



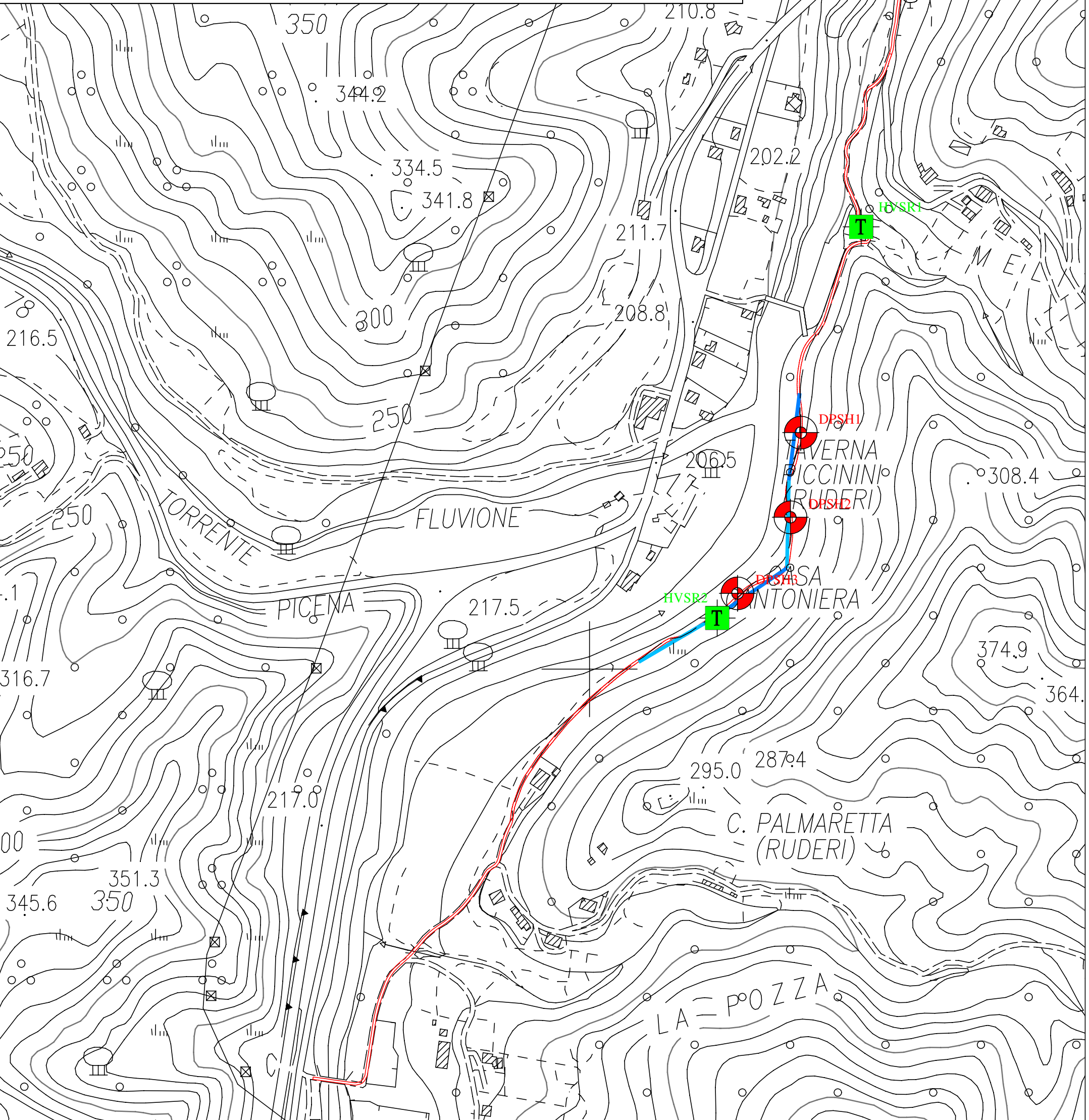
TAV5 - CARTA DELLE INDAGINI

 **DPSH** Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)

 **HVSr** Indagine sismica passiva a stazione sismica (HVSr)

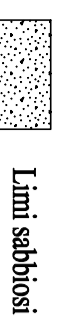
 Stendimento sismica a rifrazione

Scala 1:4000



TAV6 - SEZIONI LITOLOGICHE

DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI



Limi sabbiosi

FORMAZIONE MARINA DEL SUBSTRATO

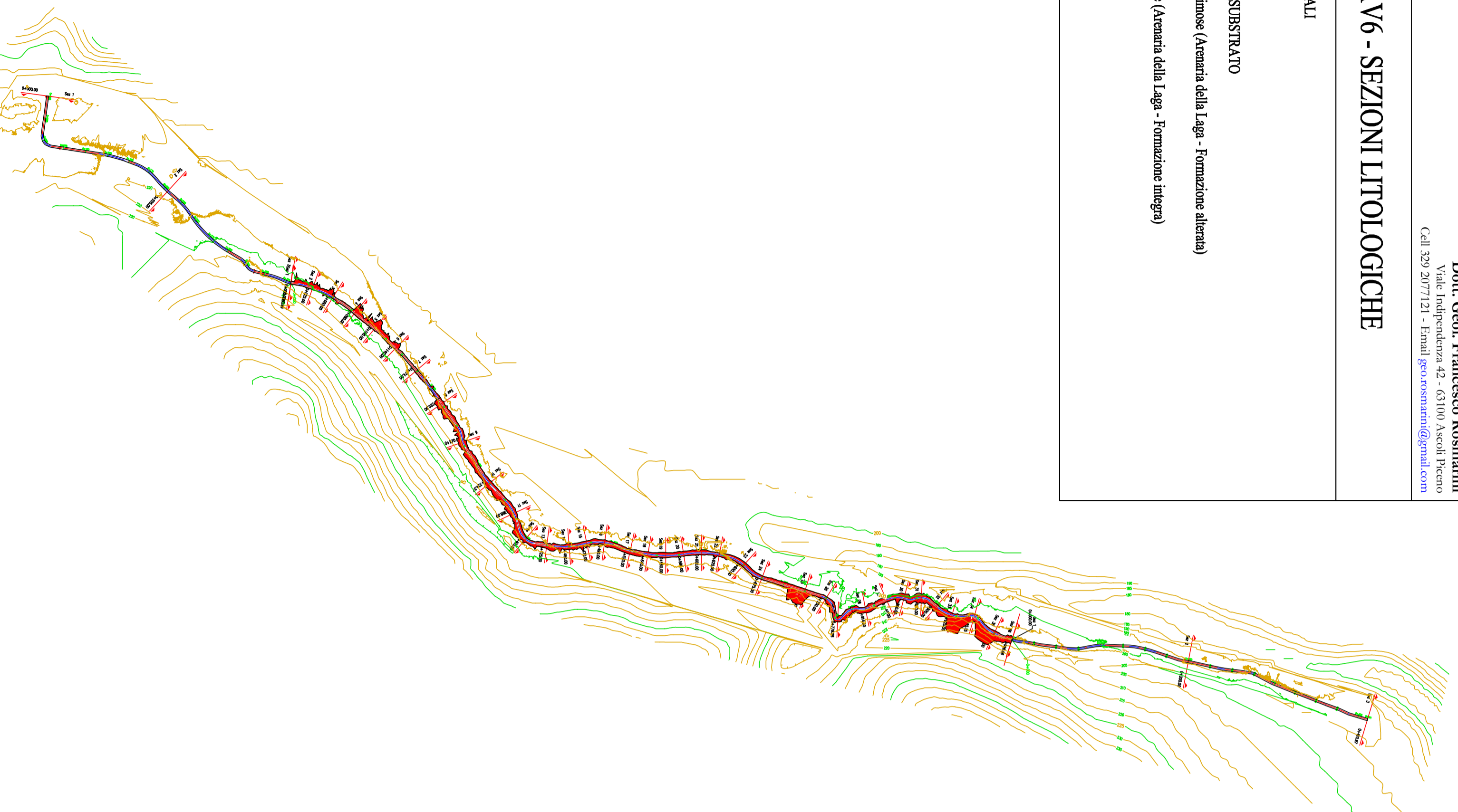


Sabbie e sabbie limose (Arenaria della Laga - Formazione alterata)



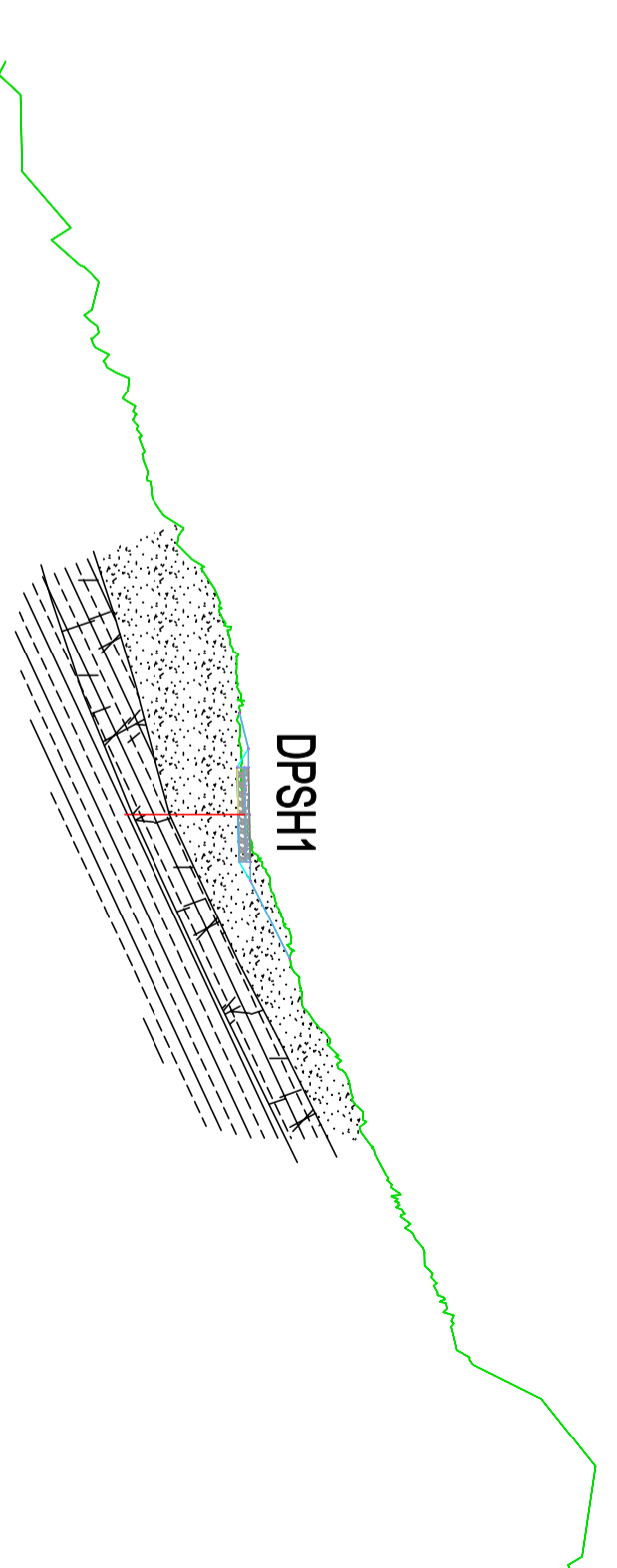
Sabbie addensate (Arenaria della Laga - Formazione integra)

Scala 1:4000



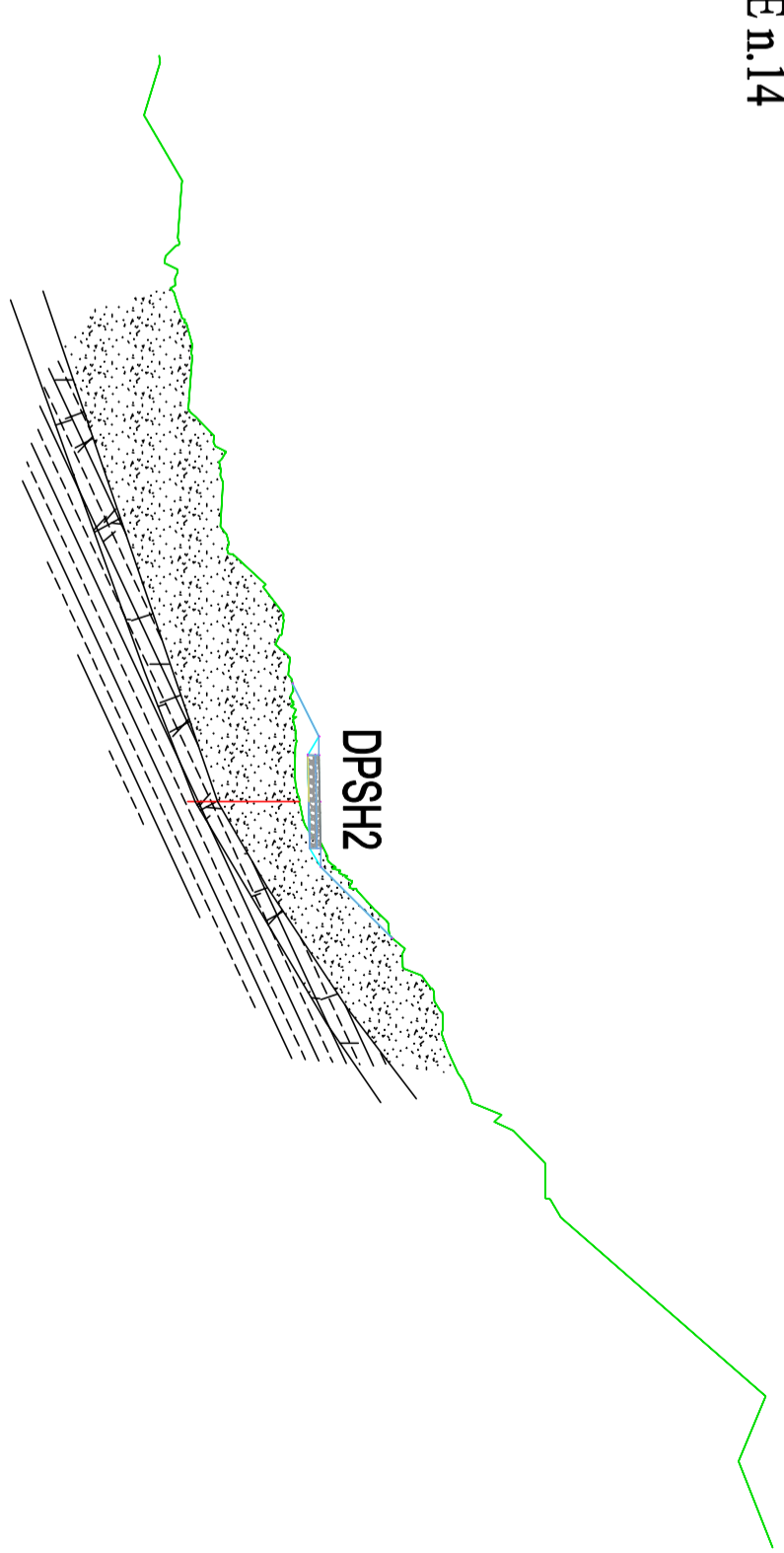
SEZIONE n. 18

Scala 1:1000



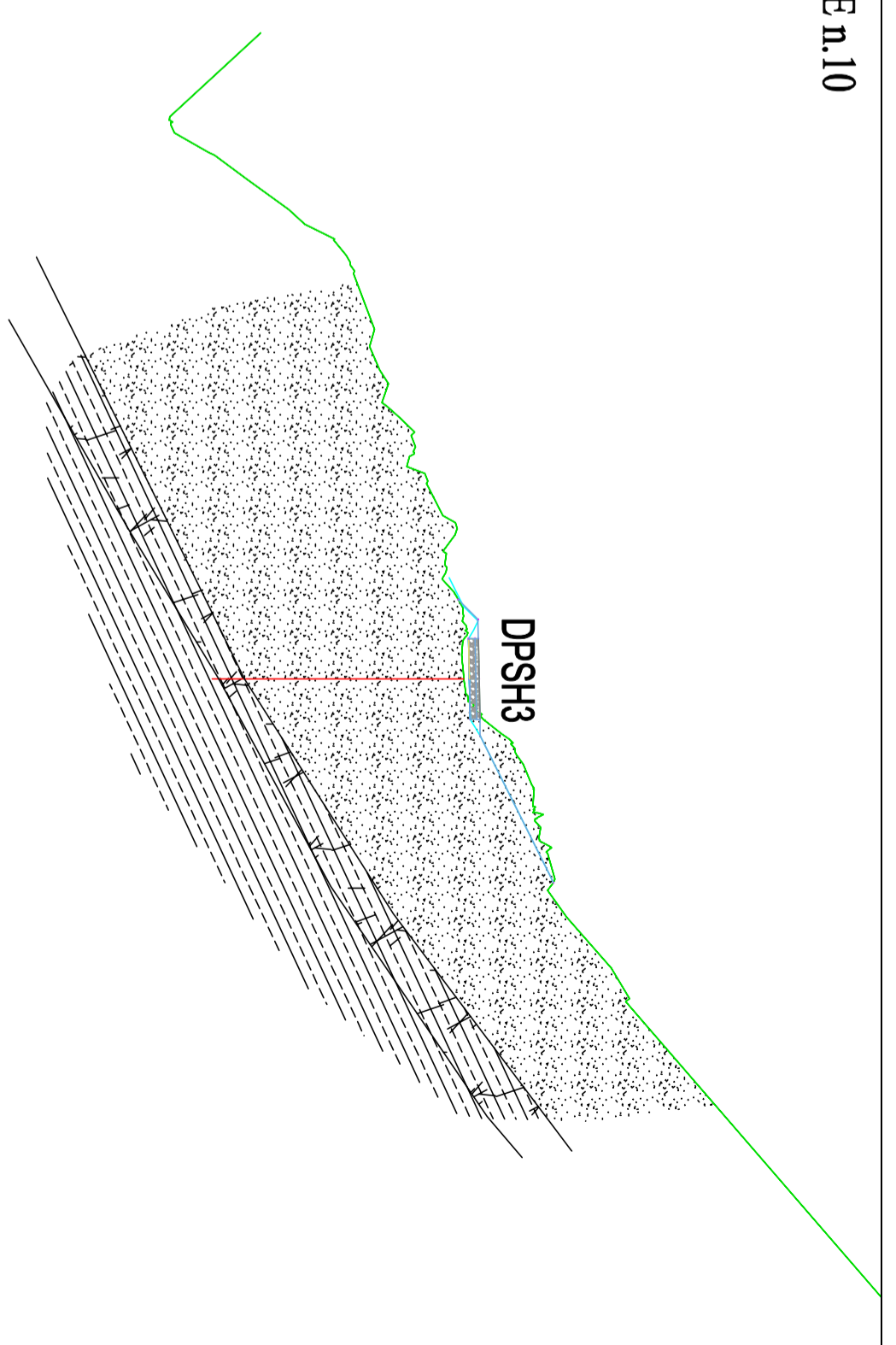
DPSH1

SEZIONE n. 14



DPSH2

SEZIONE n. 10



DPSH3



STUDIO
TECNICO
GEOLOGICO

Studio Tecnico Geologico
Dott. Geol. **ROSMARINI FRANCESCO**
Viale Indipendenza 42, 63100 Ascoli Piceno
Cell 329 2077121 – E-mail geo.rosmarini@gmail.com

COMUNE DI ASCOLI PICENO

Provincia di ASCOLI PICENO

PROGETTO: “INTERVENTI PER LO SVILUPPO E LA MESSA IN SICUREZZA DI ITINERARI E PERCORSI CICLABILI E CICLOPEDONALI E PER L’INCENTIVAZIONE DI TRASPORTI URBANI PULITI” - “REALIZZAZIONE DELLA CICLOVIA DELLA VALLATA DEL TRONTO – TRATTO C – LOTTO TRATTO AD OVEST FRAZIONE MOZZANO”

UBICAZIONE: Mozzano – Ascoli Piceno

COMMITTENTE: Amministrazione comunale

PROVE PENETROMETRICHE

DATA

Dicembre 2021

Il Geologo

Dott. Francesco ROSMARINI

(n. 809 Ordine dei Geologi Regione Marche – Sez A)



Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm² angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg Peso massa passiva: 4,2 Kg

legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q_d = resistenza alla penetrazione dinamica

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC_m = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N_{spt equiv} = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello - Japanese National Railway)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Shultze-Menzenbach)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975, Mitchell e Gerdner)

γ = peso unità di volume

V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)

Ko = modulo di reazione (Navfac)

v = modulo di Poisson

C_u = coesione non drenata (Benassi - Vannelli - 1983, Schmertmann - 1975)



Geodrill s.a.s.

Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

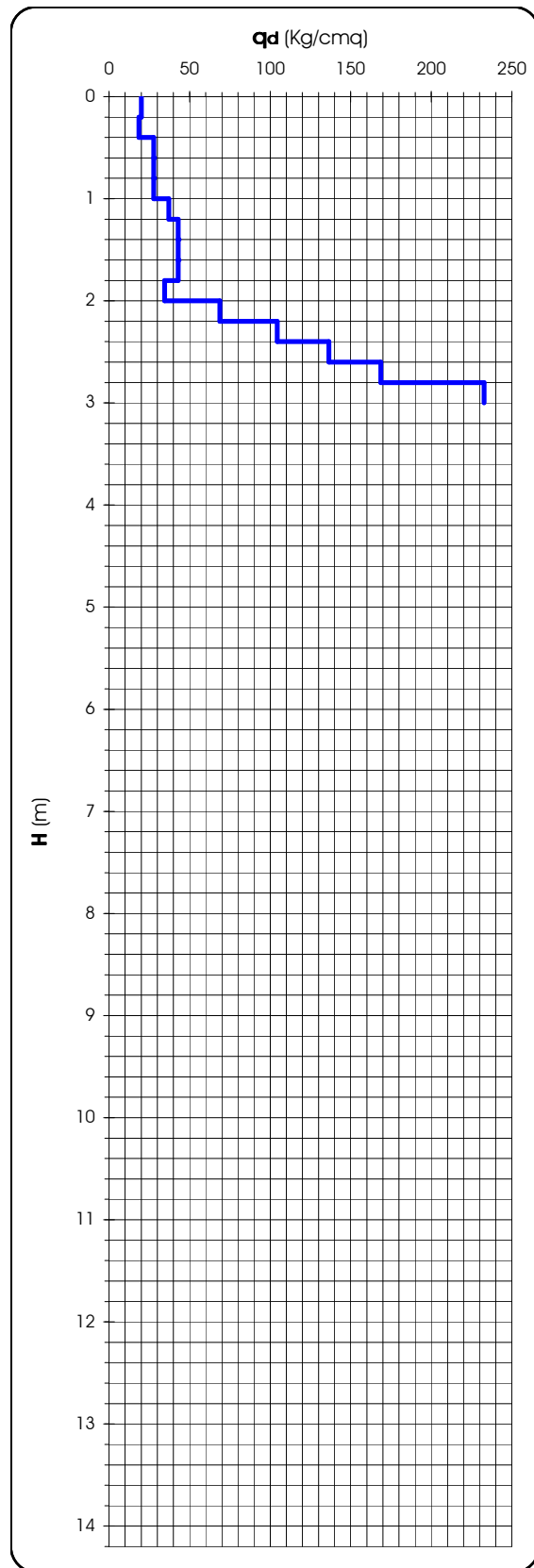
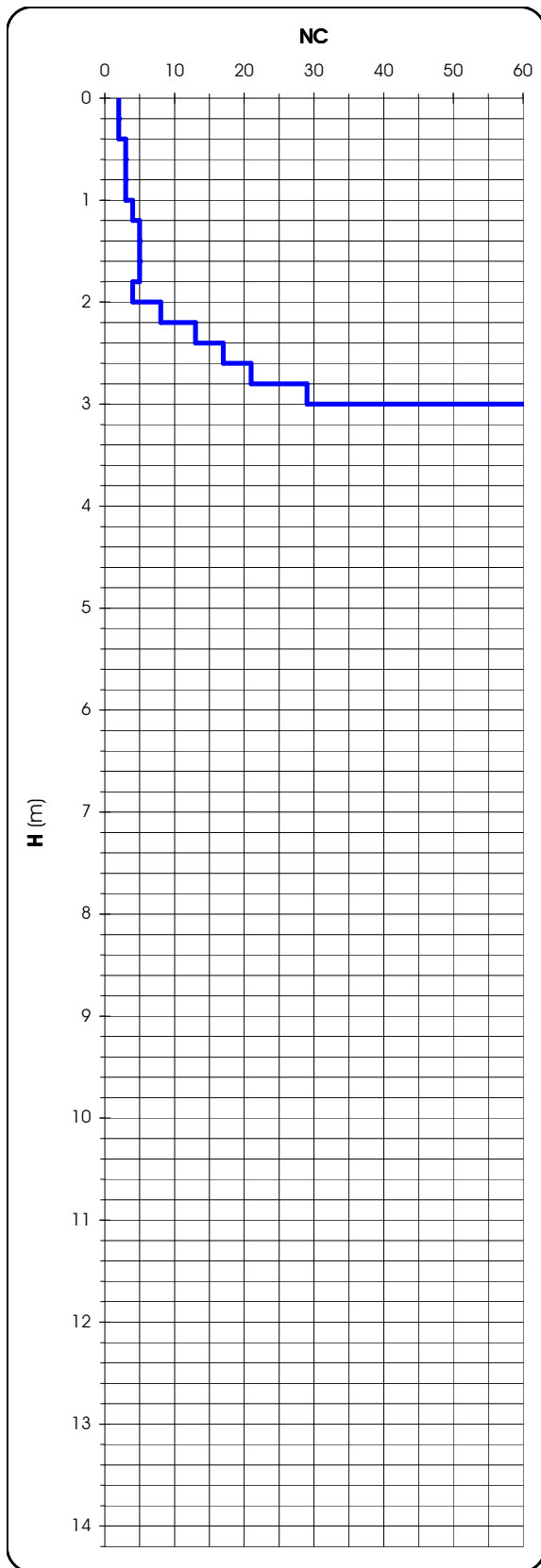
CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.1 del 09/12/21

PROF.: 3,20 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q _d (Kg/cm ²)
0,2	2	20,07
0,4	2	18,53
0,6	3	27,79
0,8	3	27,79
1,0	3	27,79
1,2	4	37,05
1,4	5	43,01
1,6	5	43,01
1,8	5	43,01
2,0	4	34,41
2,2	8	68,81
2,4	13	104,37
2,6	17	136,48
2,8	21	168,59
3,0	29	232,82
3,2	rifiuto	
3,4		
3,6		
3,8		
4,0		
4,2		
4,4		
4,6		
4,8		
5,0		
5,2		
5,4		
5,6		
5,8		
6,0		
6,2		
6,4		
6,6		
6,8		
7,0		
7,2		
7,4		
7,6		
7,8		
8,0		
8,2		
8,4		
8,6		
8,8		
9,0		
9,2		
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		





Geodrill s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.1 del 09/12/21

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm² angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg Peso massa passiva: 4,2 Kg

legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q_d = resistenza alla penetrazione dinamica

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC_m = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N_{spt equiv} = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello - Japanese National Railway)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Shultze-Menzenbach)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975, Mitchell e Gerdner)

γ = peso unità di volume

V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)

Ko = modulo di reazione (Navfac)

v = modulo di Poisson

C_u = coesione non drenata (Benassi - Vannelli - 1983, Schmertmann - 1975)



Geodrill s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

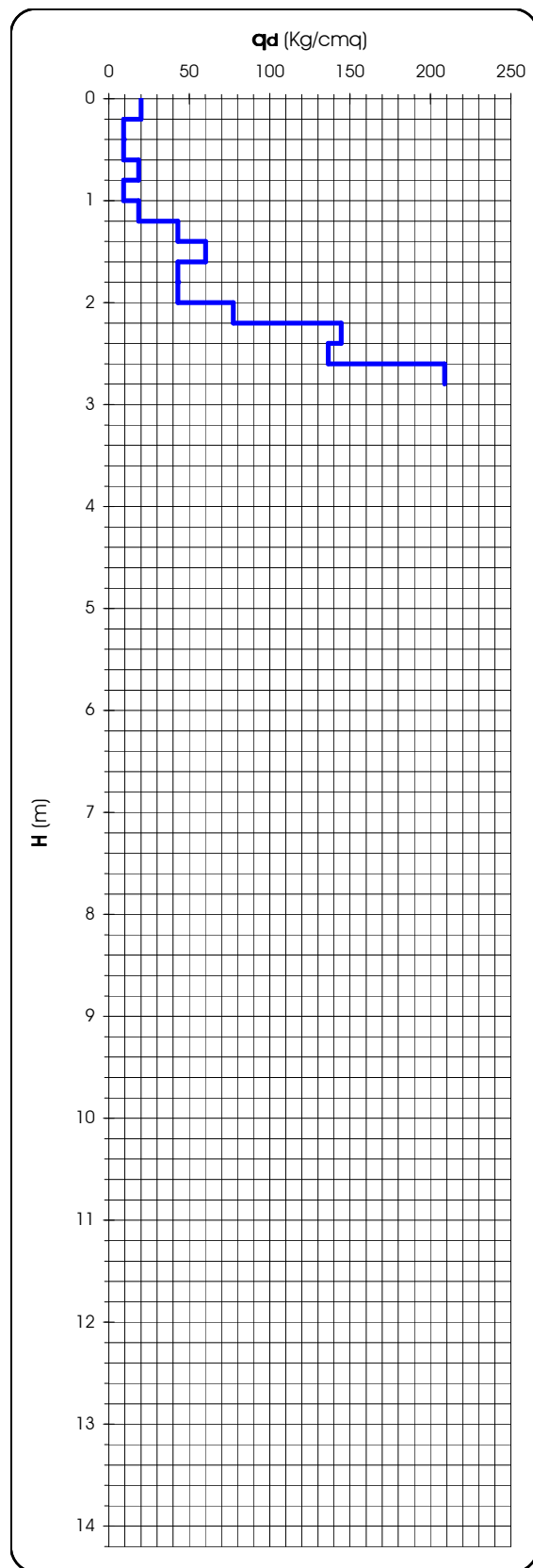
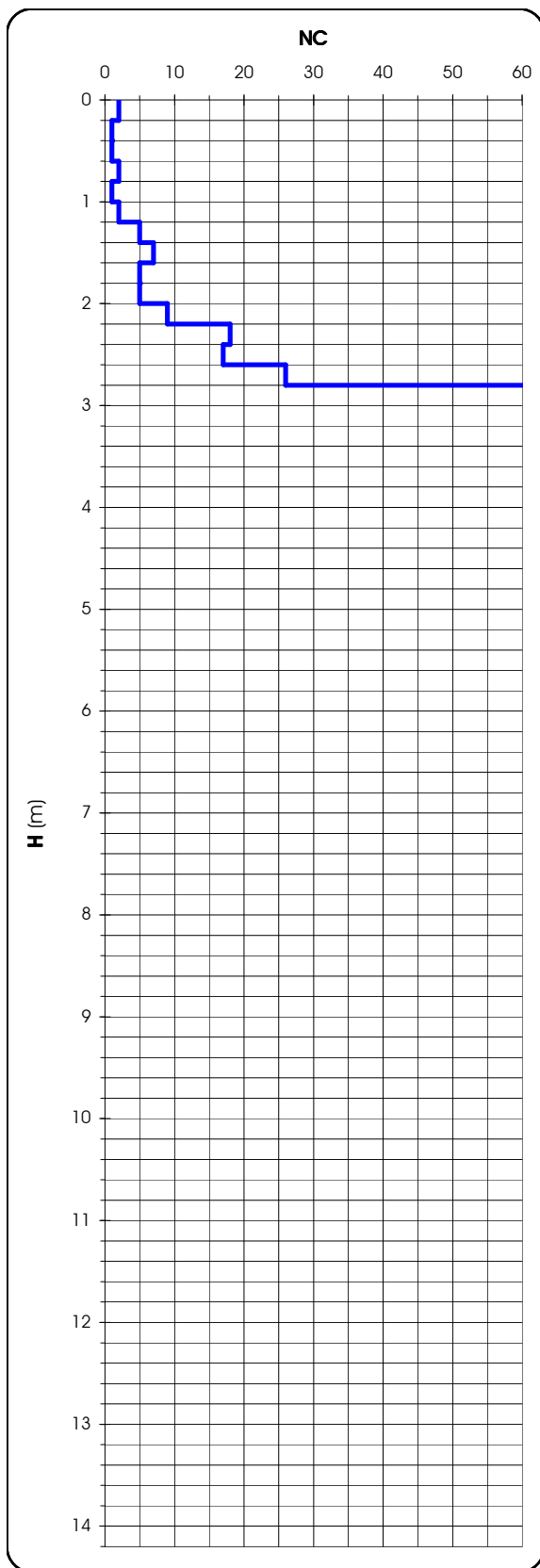
CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.2 del 09/12/21

PROF.: 3,00 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q _d (Kg/cm ²)
0,2	2	20,07
0,4	1	9,26
0,6	1	9,26
0,8	2	18,53
1,0	1	9,26
1,2	2	18,53
1,4	5	43,01
1,6	7	60,21
1,8	5	43,01
2,0	5	43,01
2,2	9	77,41
2,4	18	144,51
2,6	17	136,48
2,8	26	208,73
3,0	rifiuto	
3,2		
3,4		
3,6		
3,8		
4,0		
4,2		
4,4		
4,6		
4,8		
5,0		
5,2		
5,4		
5,6		
5,8		
6,0		
6,2		
6,4		
6,6		
6,8		
7,0		
7,2		
7,4		
7,6		
7,8		
8,0		
8,2		
8,4		
8,6		
8,8		
9,0		
9,2		
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		





Geodrill s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.2 del 09/12/21

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm² angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg Peso massa passiva: 4,2 Kg

legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q_d = resistenza alla penetrazione dinamica

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC_m = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N_{spt equiv} = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello - Japanese National Railway)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Shultze-Menzenbach)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975, Mitchell e Gerdner)

γ = peso unità di volume

V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)

Ko = modulo di reazione (Navfac)

ν = modulo di Poisson

C_u = coesione non drenata (Benassi - Vannelli - 1983, Schmertmann - 1975)



Geodrill s.a.s.

Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

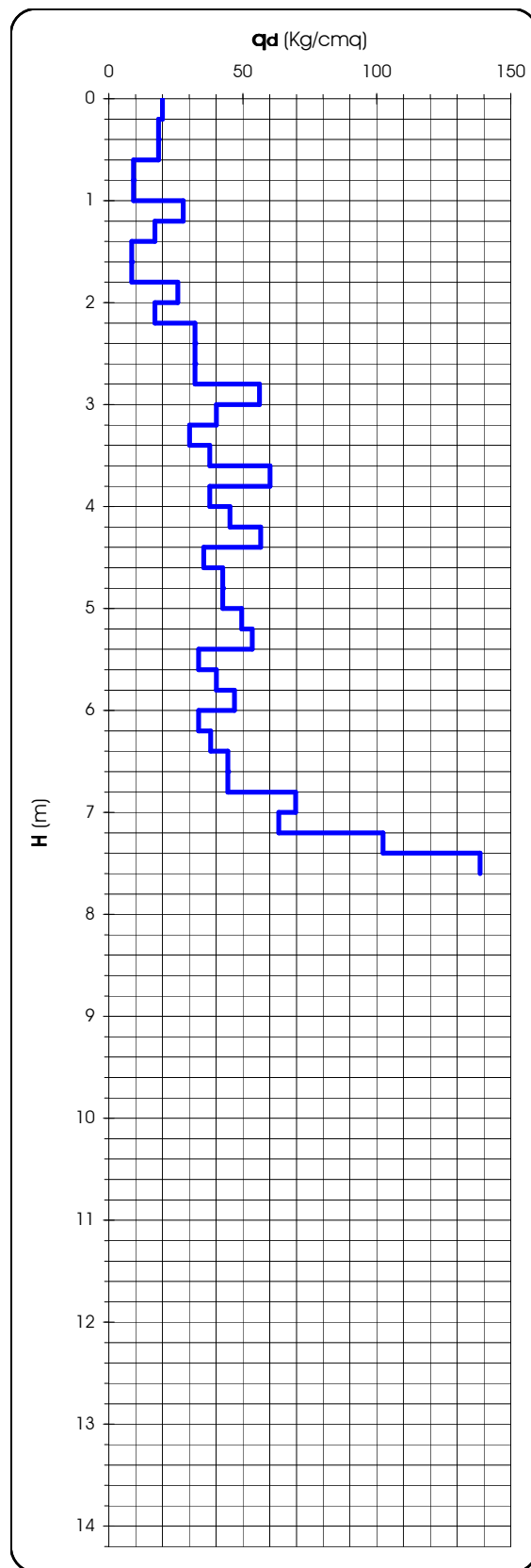
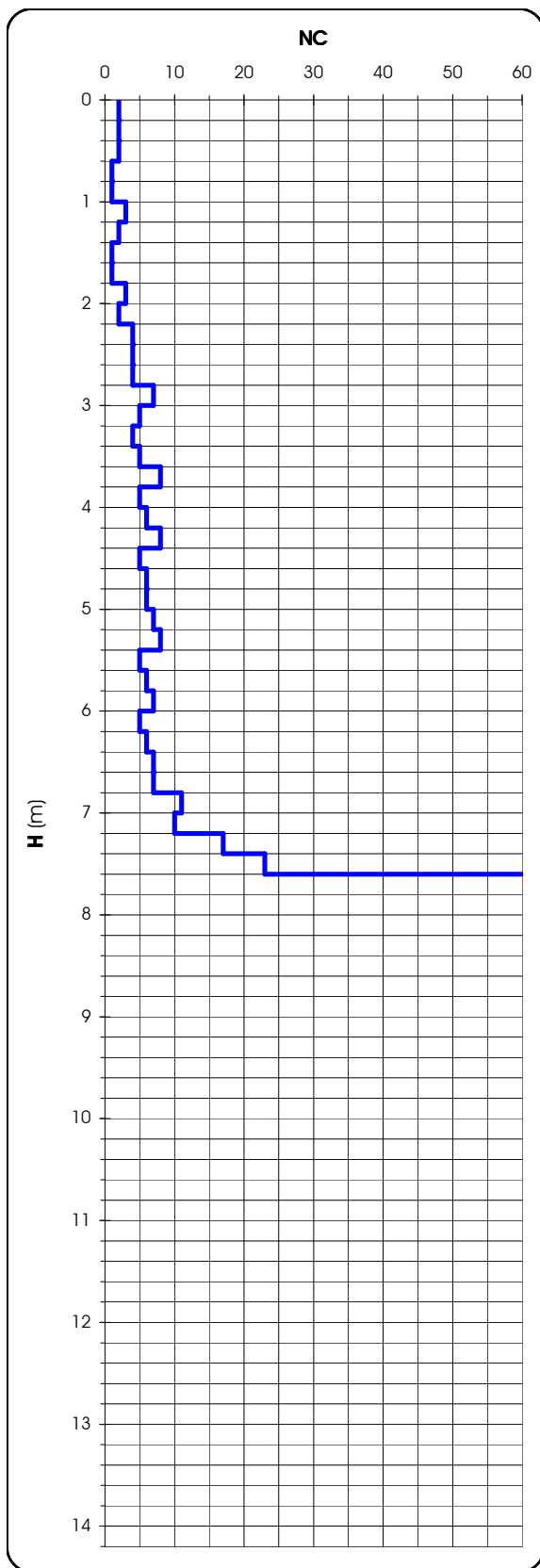
CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.3 del 09/12/21

PROF.: 7,80 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q _d (Kg/cm ²)
0,2	2	20,07
0,4	2	18,53
0,6	2	18,53
0,8	1	9,26
1,0	1	9,26
1,2	3	27,79
1,4	2	17,20
1,6	1	8,60
1,8	1	8,60
2,0	3	25,80
2,2	2	17,20
2,4	4	32,11
2,6	4	32,11
2,8	4	32,11
3,0	7	56,20
3,2	5	40,14
3,4	4	30,11
3,6	5	37,63
3,8	8	60,21
4,0	5	37,63
4,2	6	45,16
4,4	8	56,67
4,6	5	35,42
4,8	6	42,50
5,0	6	42,50
5,2	7	49,59
5,4	8	53,53
5,6	5	33,45
5,8	6	40,14
6,0	7	46,84
6,2	5	33,45
6,4	6	38,03
6,6	7	44,37
6,8	7	44,37
7,0	11	69,73
7,2	10	63,39
7,4	17	102,37
7,6	23	138,50
7,8	rifiuto	
8,0		
8,2		
8,4		
8,6		
8,8		
9,0		
9,2		
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		





Geodrill s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

SERVIZI GEOLOGICI

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 12 dicembre 2021

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Ascoli Piceno

CANTIERE: Ciclovía del Tronto

PROVA N.3 del 09/12/21

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





STUDIO
TECNICO
GEOLOGICO

Studio Tecnico Geologico
Dott. Geol. **ROSMARINI FRANCESCO**
Viale Indipendenza 42, 63100 Ascoli Piceno
Cell 329 2077121 – E-mail geo.rosmarini@gmail.com

COMUNE DI ASCOLI PICENO

Provincia di ASCOLI PICENO

PROGETTO: “INTERVENTI PER LO SVILUPPO E LA MESSA IN SICUREZZA DI ITINERARI E PERCORSI CICLABILI E CICLOPEDONALI E PER L’INCENTIVAZIONE DI TRASPORTI URBANI PULITI” - “REALIZZAZIONE DELLA CICLOVIA DELLA VALLATA DEL TRONTO – TRATTO C – LOTTO TRATTO AD OVEST FRAZIONE MOZZANO”

UBICAZIONE: Mozzano – Ascoli Piceno

COMMITTENTE: Amministrazione comunale

INDAGINI SISMICHE

DATA

Dicembre 2021

Il Geologo

Dott. Francesco ROSMARINI

(n. 809 Ordine dei Geologi Regione Marche – Sez A)

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: *D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)*).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica *analisi di amplificazione sismica locale* introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso *parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.*

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

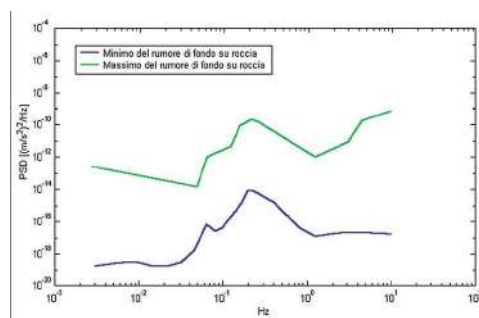


Fig. 1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Cerreto d'Esse il 20-27 dicembre 2021
 Comm.: Amm.ne Com.le di Ascoli Piceno
 Cant.:Ciclovia del Tronto – Ascoli Piceno (AP)
 Indagine HVSR del: 15/12/2021

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

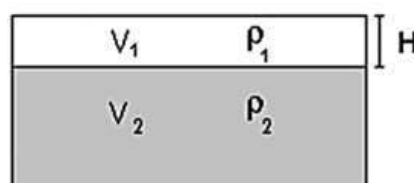


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esse il 20-27 dicembre 2021
 Comm.: Amm.ne Com.le di Ascoli Piceno
 Cant.: Ciclovía del Tronto – Ascoli Piceno (AP)
 Indagine HVSR del: 15/12/2021

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ lisciamiento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_P e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_P e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

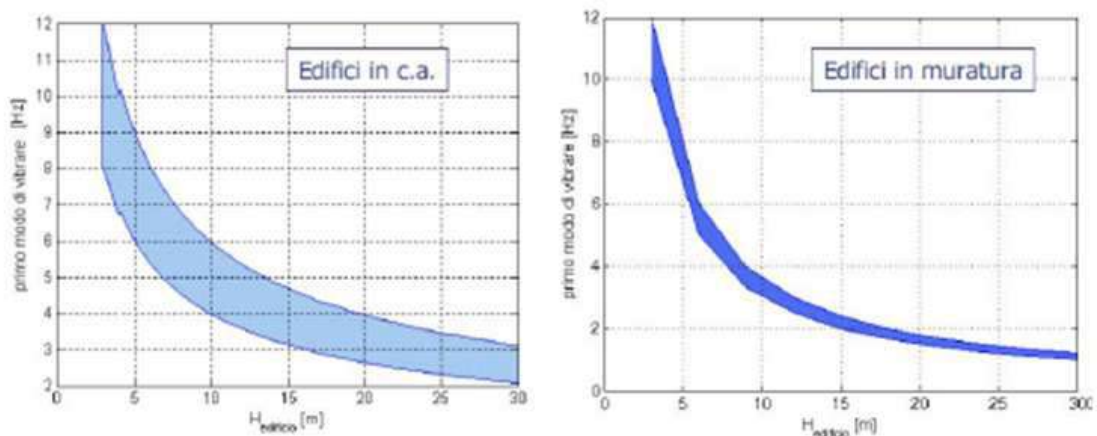


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$



Cerreto d'Esi il 20 dicembre 2021
 Comm.: Amm.ne Com.le di Ascoli Piceno
 Cant.: Ciclovía del Tronto – Ascoli Piceno (AP)
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 15/12/2021

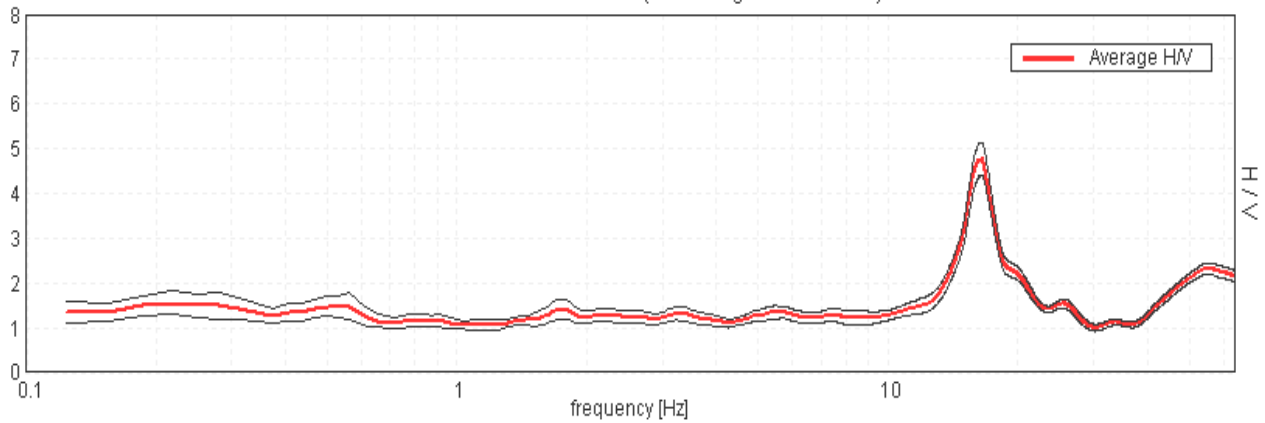
Comm.: Amm.ne Com.le di Ascoli Piceno-Cant.: Ciclovía del Tronto–Ascoli Piceno (AP)-HV1

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
--------------	--------	--------------	---------	-----------------------	---------	---------------------	-----

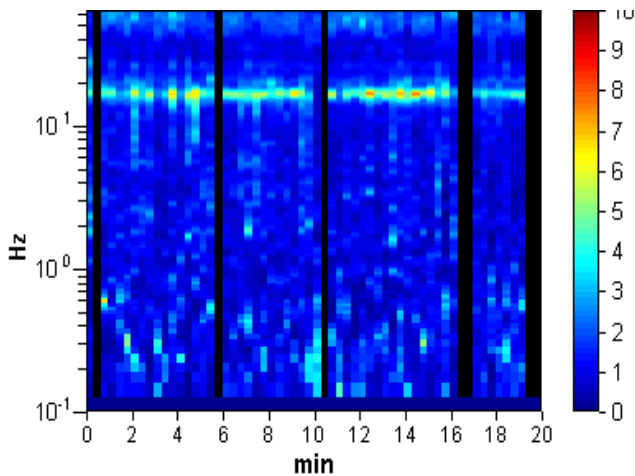
Strumento: TEP-0040/01-09
 Inizio registrazione: 15/12/21 10:11:19 Fine registrazione: 15/12/21 10:31:19
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

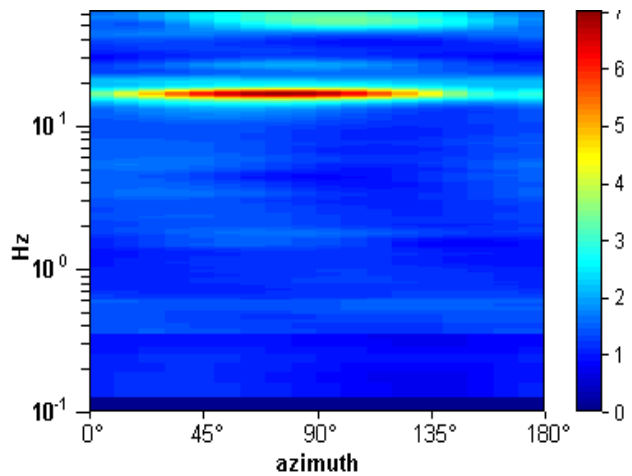
Max. H/V at 16.44 ± 0.07 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V

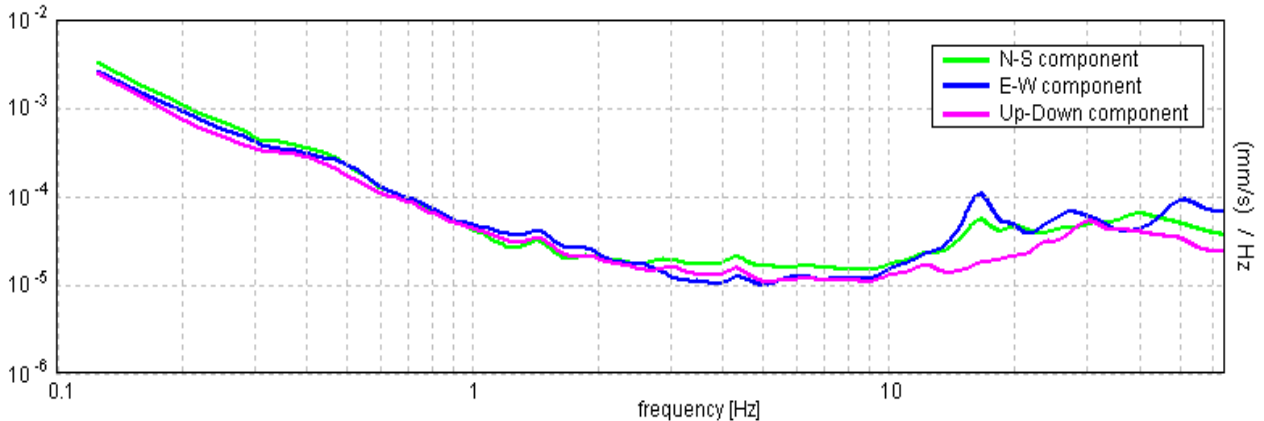


DIREZIONALITA' H/V



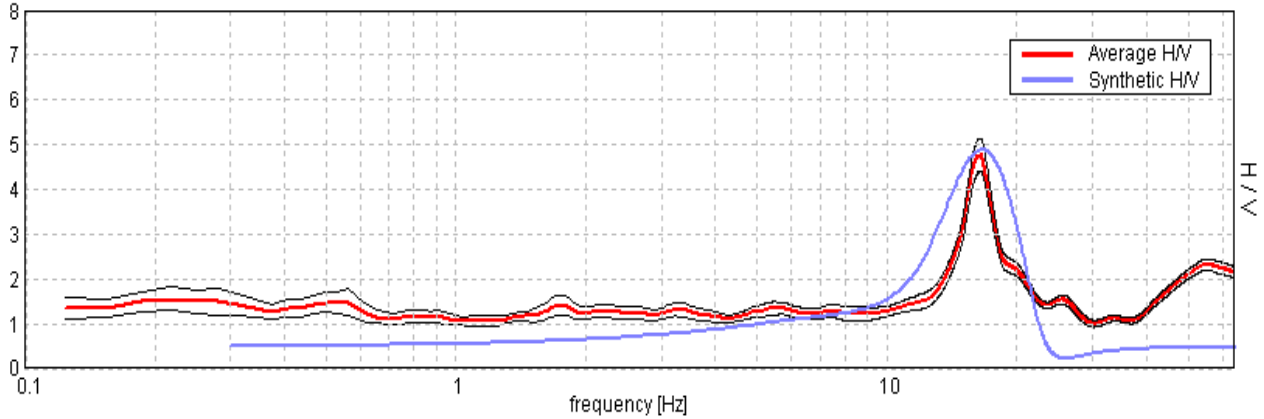
* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 16.44 ± 0.07 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.80	4.80	290	0.40
28.80	24.00	700	0.35
inf.	inf.	880	0.32

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, è calcolata con la seguente espressione.

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

con

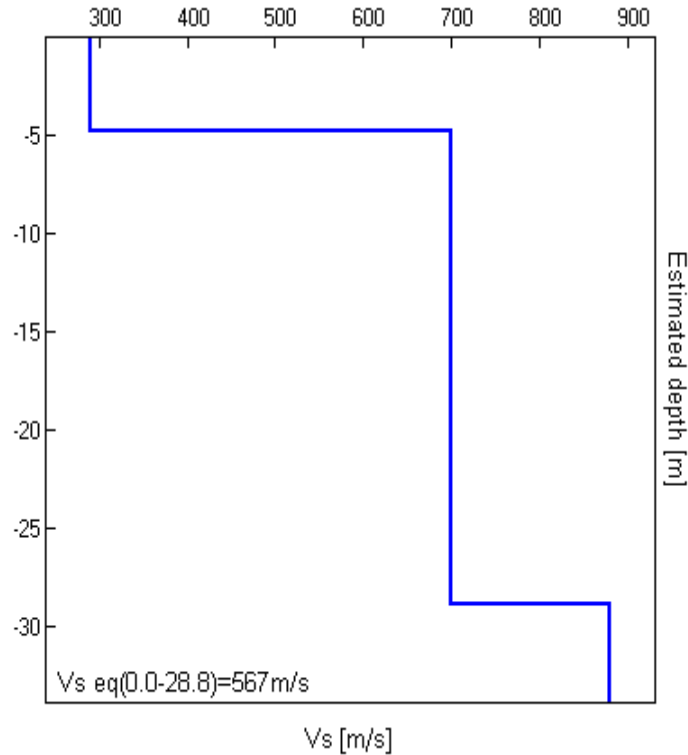
h_i spessore dell'i-esimo strato;

V_{s,i} velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Vs eq (0.0-28.8)=567 m/s



Categoria	Descrizione
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.4,80 riconducibile ai terreni di copertura.

sismostrato 2: da m. 4,80 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 880.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $14,44 \pm 0,07$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 , nel range $13,68 \text{ Hz} \leq f \leq 20,64 \text{ Hz}$, con picco a 16,44 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 16.44 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	16.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	17423.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 790	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.188 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.77 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00407 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06691 < 0.82188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3714 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

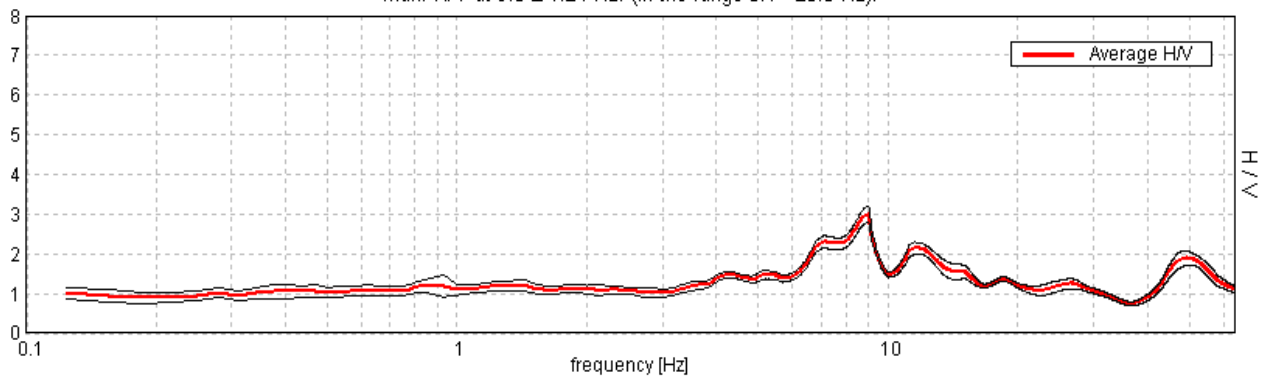
Comm.: Amm.ne Com.le di Ascoli Piceno-Cant.: Ciclovía del Tronto–Ascoli Piceno (AP)-HV2

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
--------------	--------	--------------	---------	-----------------------	---------	---------------------	-----

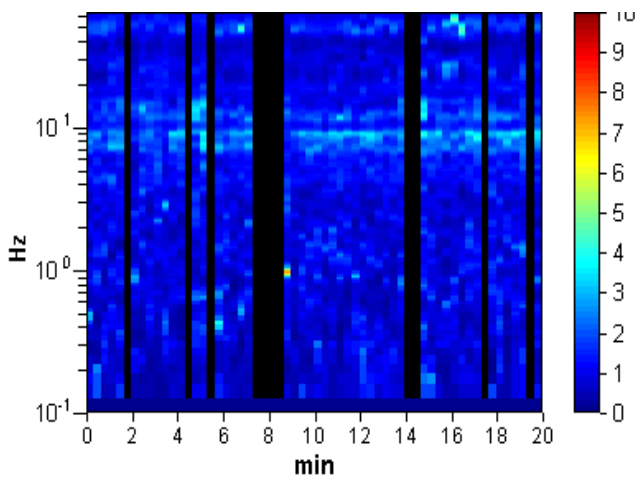
Strumento: TEP-0040/01-09
 Inizio registrazione: 15/12/21 11:24:20 Fine registrazione: 15/12/21 11:44:20
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

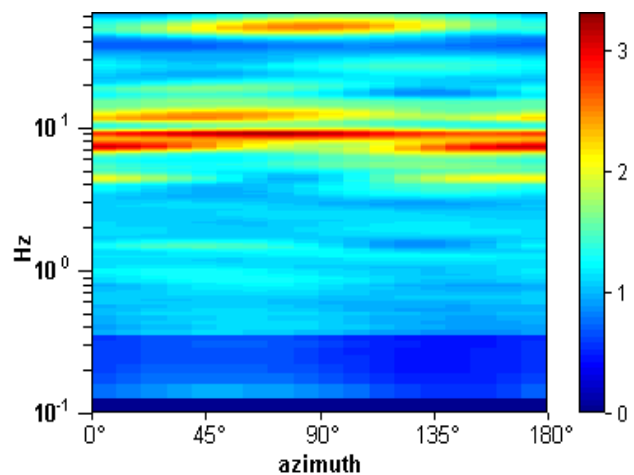
Max. H/V at 9.0 ± 1.24 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



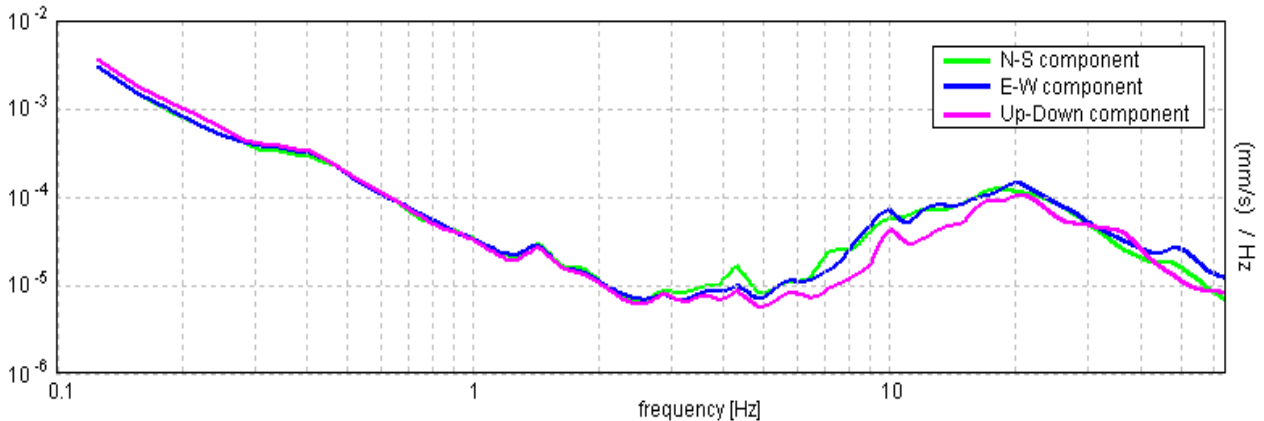
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

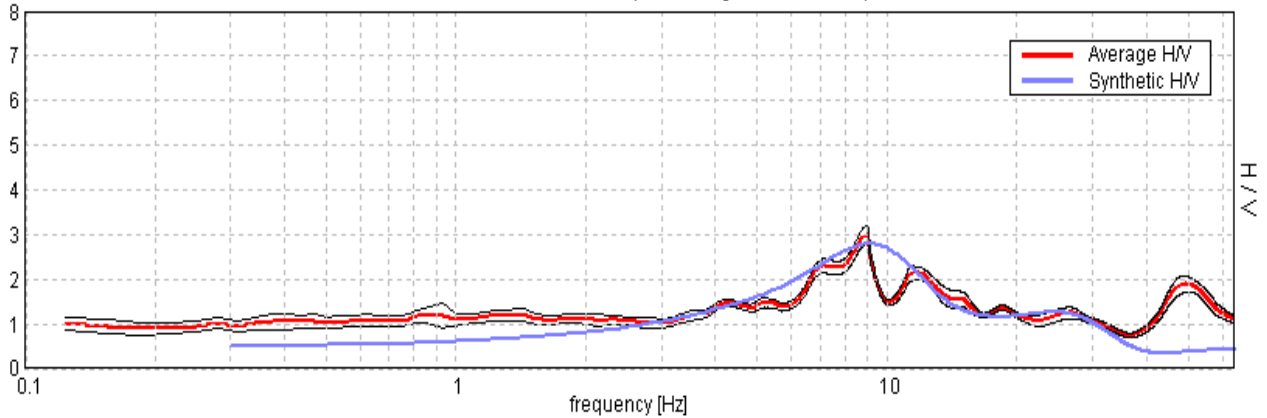


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 9.0 ± 1.24 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	100	0.42
4.00	3.00	190	0.40
8.20	4.20	280	0.40
20.20	12.00	370	0.38
35.20	15.00	400	0.37
inf.	inf.	420	0.37

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , è calcolata con la seguente espressione.

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

con

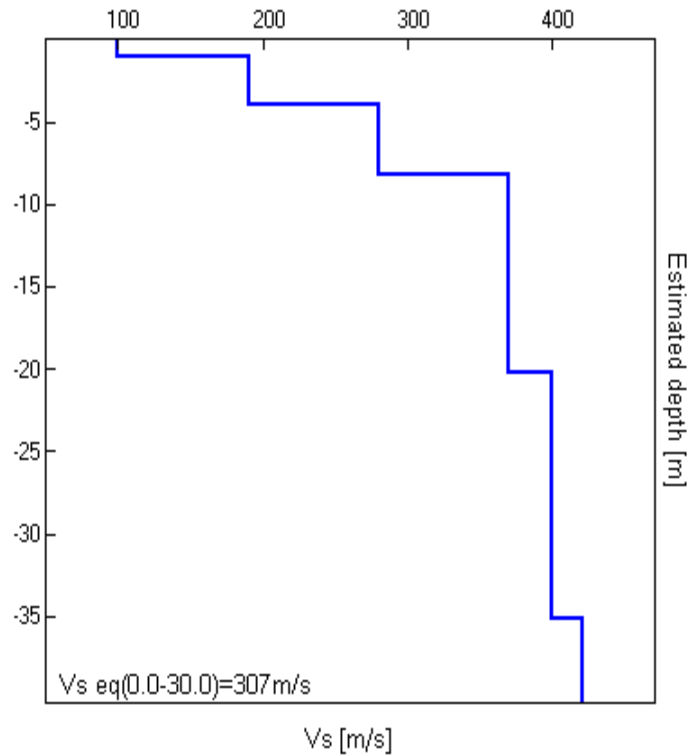
h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

$$V_s \text{ eq (0.0-30.0)} = 307 \text{ m/s}$$



Categoria	Descrizione
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.8,20 riconducibile ai terreni di copertura.

sismostrato 2: da m. 8,20 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 420.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $9,00 \pm 1,24$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 , nel range $6,70 \text{ Hz} \leq f \leq 9,42 \text{ Hz}$, con picco a 9,00 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 9.0 ± 1.24 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$9.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$8820.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 433	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.156 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.00 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13821 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.24387 < 0.45$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2042 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE



HVSR1a



HVSR1a



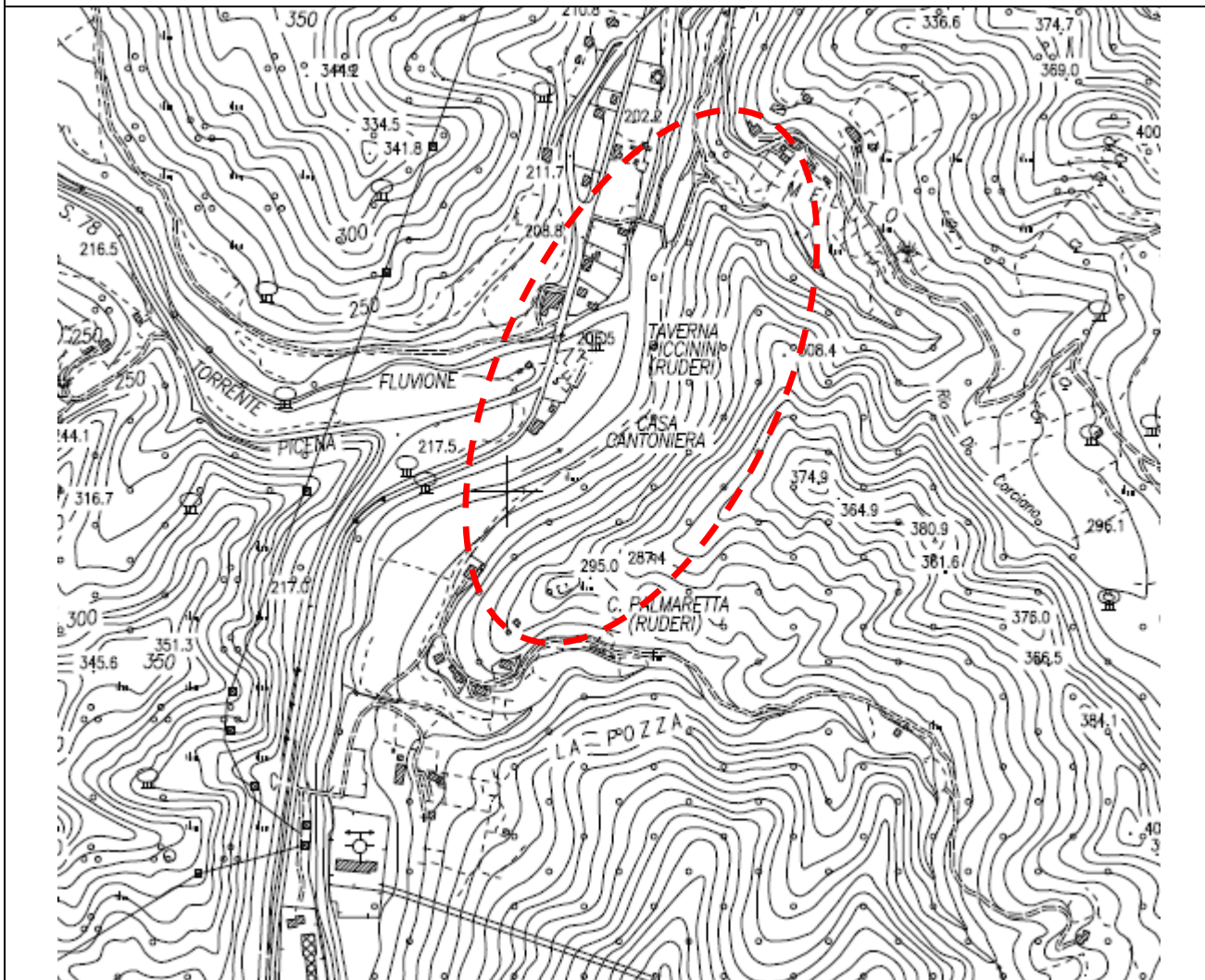
HVSR2a



HVSR2b



COMUNE DI ASCOLI PICENO



INDAGINE DI TOMOGRAFIA SISMICA INERENTE
 LAVORI DI REALIZZAZIONE DI UNA CICLOVIA

Relazione geofisica

Commitente :Amm.ne com.le Ascoli Piceno

Data: 27 dicembre 2021

GEODRILL S.a.s.
di Bassani Valeriano & C
 via Dante 9 D 60043 CERRETO D'ESI (AN)
 Tel e fax 0732.678888
 CΓ e P.IVA 02334920424
 C.C.I.A.A. AN Rea n 179313



Cerreto d'Esili 27 dicembre 2021
Comm.: Amm.ne Com.le Ascoli Piceno
Cant.: Ciclovía del Tronto - Ascoli Piceno
Indagine tomografia sismica del 15/12/2021

1- Premessa

La presente relazione descrive i risultati ottenuti da un'indagine geofisica mediante tomografia sismica a rifrazione eseguita presso il comune Ascoli Piceno e commissionata dall'Amministrazione Comunale. Scopo dell'indagine è quello di determinare la geometria del locale assetto geologico di un sentiero che dovrà ospitare una pista ciclabile detta "Ciclovía del Tronto".

2- Cenni sulla Tomografia

La tomografia sismica a rifrazione si basa sullo studio delle onde rifratte per ricostruire la distribuzione delle velocità delle onde sismiche. Rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale i risultati ottenuti eliminano i problemi interpretativi dovuti alle inversioni di velocità.

Tale tecnica permette di determinare l'andamento della distribuzione di una proprietà fisica, nel nostro caso la velocità, e rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale richiede un maggior numero di energizzazioni per garantire una maggiore copertura, quindi per questo motivo è ideale in quelle situazioni complesse.

Nella procedura di inversione inizialmente si genera un modello semplificato, del quale poi si calcolano i tempi di arrivo delle onde sismiche, tali tempi vengono poi confrontati con le misure effettivamente registrate. Infine attraverso un processo iterativo questi dati sono elaborati finché non si raggiunge un risultato affidabile.

Nello specifico l'elaborazione tomografica e la restituzione del modello geofisico è effettuata con software ZondST2D che esegue i calcoli con il metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime – tomography processing – Shuster 1993-Watanbe 1999). Tale metodo rappresenta l'evoluzione del metodo G.R.M. (Generalized Reciprocal Method, Palmer 1980), che a differenza di quest'ultimo è in grado di restituire rifrattori profondi caratterizzati da superfici articolate.

L'implementazione con il metodo Delta-t-V (Gebrande e Miller, 1985) e WET permette inoltre la restituzione di modelli sismostratigrafici caratterizzati da marcati salti di velocità (anche inversioni) tra i singoli sismostrati.

3- Acquisizione ed elaborazione

La prospezione tomografica si è sviluppata lungo un profilo della lunghezza determinata, spaziatura intergeofonica di m. 4,0 e 6 punti scoppio in linea. Per ogni punto scoppio sono state effettuate 3 energizzazioni con massa battente da Kg.10 per la produzione di onde compressionali (P). La strumentazione utilizzata è costituita da: un acquirente a 24 canali della Dolang geophysical (modello JEA 247E500 Telemetry System 24 bitwaterproof, IP67) 24 geofoni verticali.

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* con software ZondST2D che esegue i calcoli con il metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime – tomography processing – Shuster 1993-Watanabe 1999). Tale metodo rappresenta l'evoluzione del metodo G.R.M. (Generalized Reciprocal Method, Palmer 1980), che a differenza di quest'ultimo è in grado di restituire rifrattori profondi caratterizzati da superfici articolate.

L'implementazione con il metodo Delta-t-V (Gebrande e Miller, 1985) e WET permette inoltre la restituzione di modelli sismostratigrafici caratterizzati da marcati salti di velocità (anche inversioni) tra i singoli sismostrati.

4- Possibilità e limiti del metodo sismico a rifrazione

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

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

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spaziatati lungo un determinato allineamento (antenna sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo.

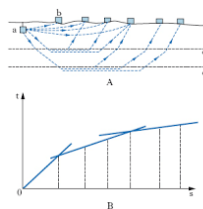


Fig. 1 – Schema acquisizione metodologia a RIFRAZIONE



Cerreto d'Esse li 27 dicembre 2021
Comm.: Amm.ne Com.le Ascoli Piceno
Cant.: Ciclovía del Tronto - Ascoli Piceno
Indagine tomografia sismica del 15/12/2021

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) o trasversali (V_s) dei mezzi attraversati e il loro spessore. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile; analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il *Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980)*, consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esse li 27 dicembre 2021
Comm.: Amm.ne Com.le Ascoli Piceno
Cant.: Ciclovía del Tronto - Ascoli Piceno
Indagine tomografia sismica del 15/12/2021

morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

2- Sistema di acquisizione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

Sismografo

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico Dolang geophysical (modello W2Z che sfrutta la trasmissione dati in modalità wireless, IP67)

Sistema energizzante

Il sistema di energizzazione per le onde P è stato realizzato con una sorgente energizzante costituita da una massa battente (mazza) di 10 kg.

Trigger

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Apparecchiatura di ricezione

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz.

3- Elaborazione dati

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG-Y.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, la successiva elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi attraverso il software ZONDST2D, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione;
2. inserimento dei dati e interpretazione con medesimo programma

UBICAZIONE

La relazione illustra i risultati dell'indagine sismica tomografia a rifrazione eseguita presso un'area nel territorio comunale di Ascoli Piceno in corrispondenza del tracciato della vecchia Strada Salaria, per ricostruire il modello stratigrafico a supporto del progetto di realizzazione di una nuova ciclovía.

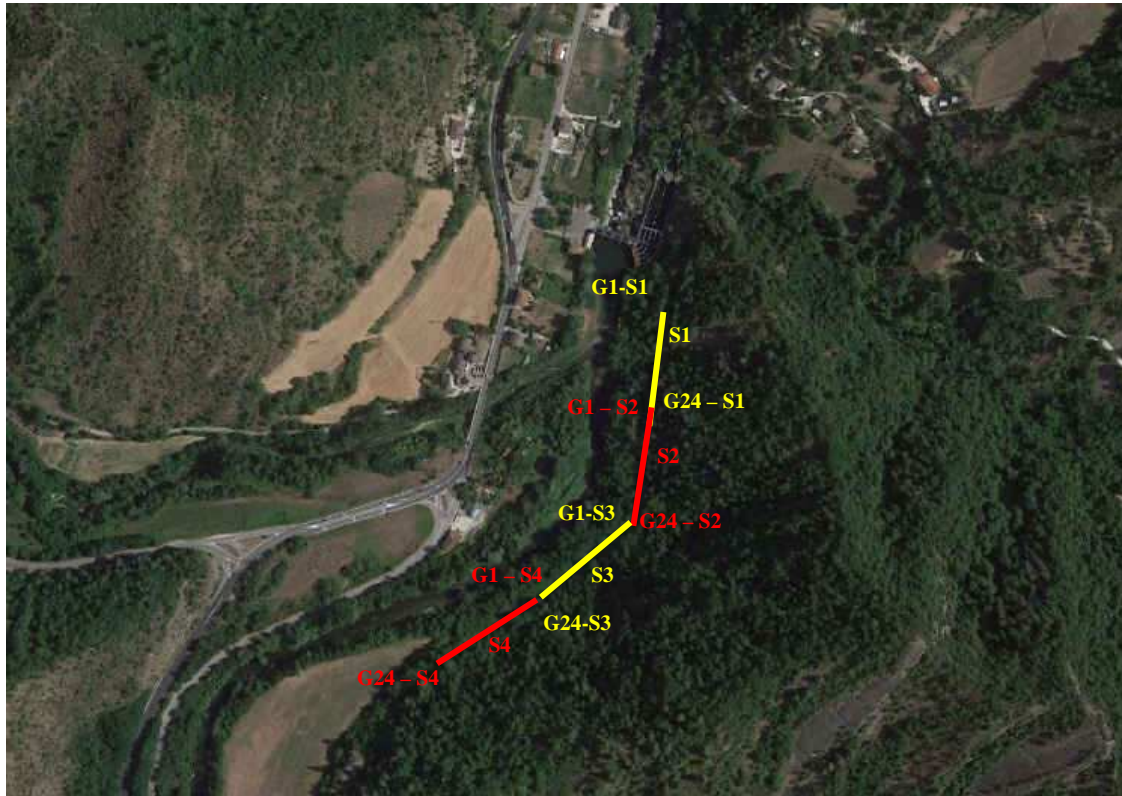


Fig.2 – Ubicazione stendimento

MODALITA' DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE

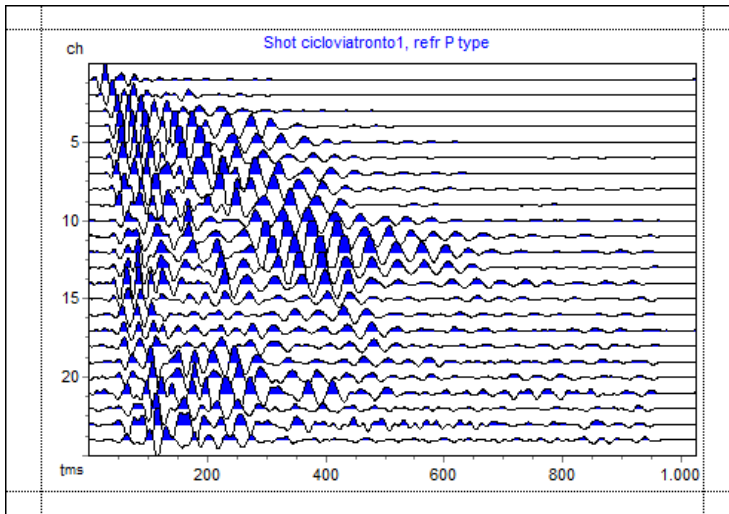
La strumentazione utilizzata è costituita da: un acquisitore a 24 canali della Dolang geophysical (modello JEA 247E500 Telemetry System 24 bitwaterproof, IP67) 24 geofoni verticali a frequenza di 4,5 Hz, una mazza battente per la generazione dell'impulso sismico da 10 Kg.

E' stato realizzato uno stendimento lineare di 92,0 m di lunghezza con un orientamento che segue il sentiero quindi con una angolo che varia da 60° a 180° N, con i 24 geofoni equidistanziati di 4,0 m. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate energizzazioni disposte a distanze variabili, S1 a -4m da G1, S2 a metà distanza intergeofonica tra G4 e G5, S3 a metà distanza intergeofonica tra G9 e G10, S4 a metà distanza intergeofonica tra G15 e G16, S5 a metà distanza intergeofonica tra G20 e G21, S6 a + 4m da G24, per un totale di 6 punti shot. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati 3-4 impulsi sismici. I dati sono stati elaborati con il software Zond ST2D Geophysical . Lo stesso stendimento è stato utilizzando per ricostruire sia il profilo in tomografia sismica a rifrazione, sia il profilo masw atto a stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo.

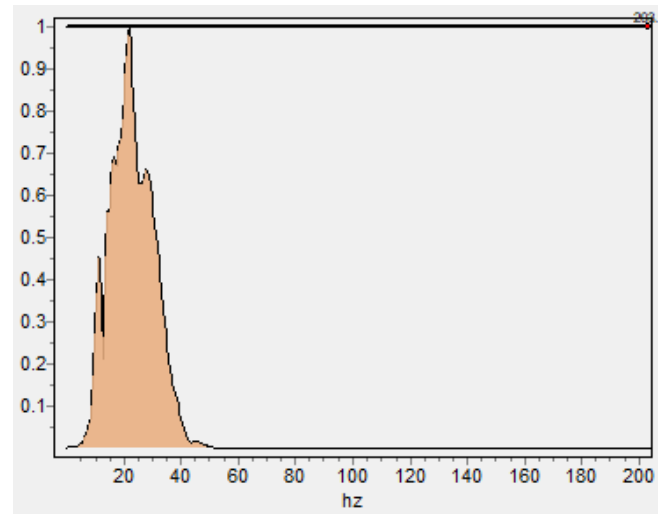
<i>SAMPLING FREQUENCY</i>	2000 Hz
<i>SAMPLING DURATION</i>	1000 ms
<i>SAMPLES</i>	2000

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

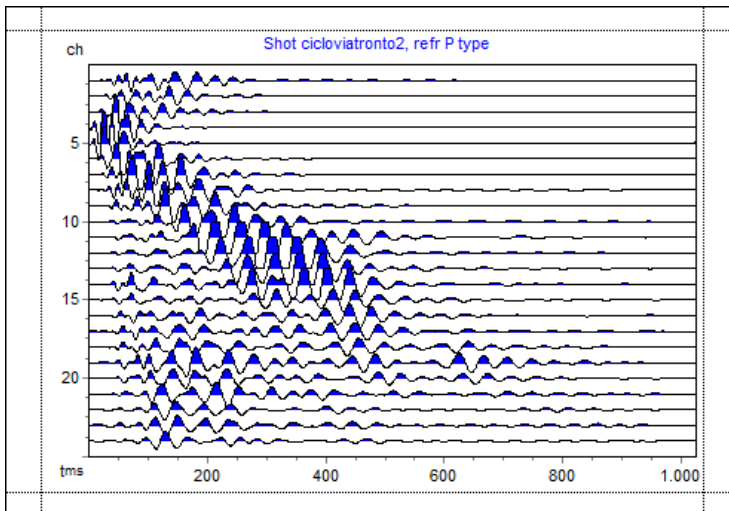
SISMOGRAMMI TOMOGRAFIA 1



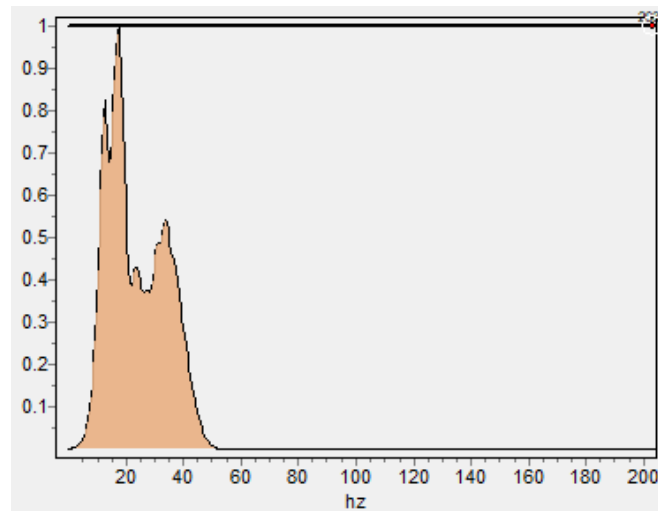
Shot n°1



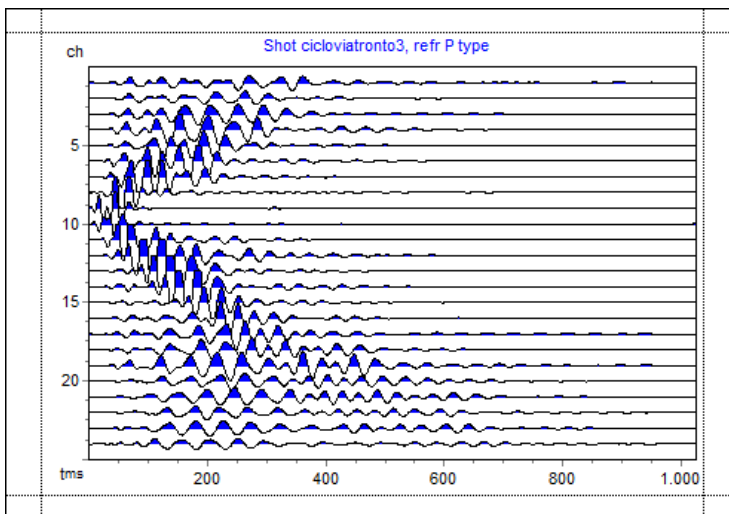
Spettro in frequenza Shot n°1



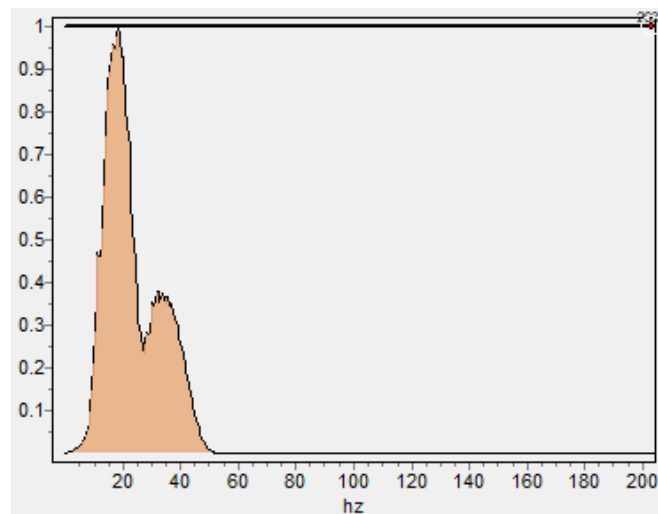
Shot n°2



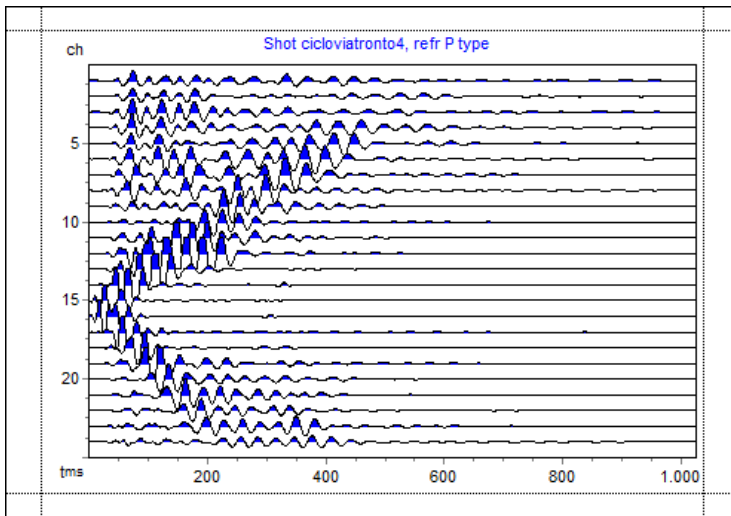
Spettro in frequenza Shot n°2



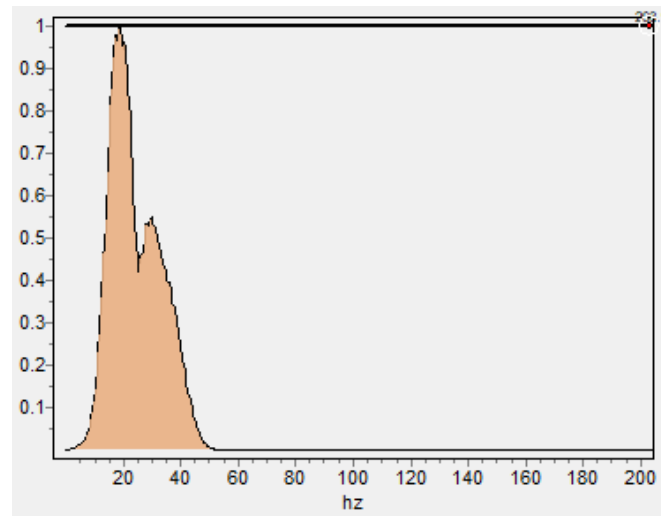
Shot n°3



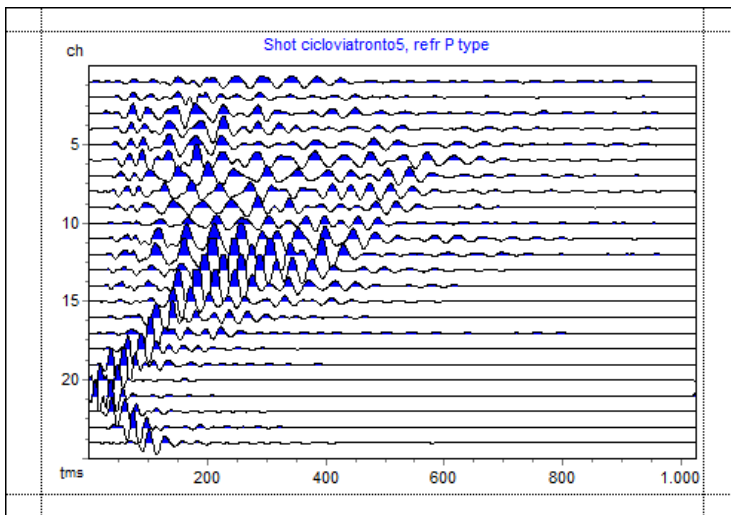
Spettro in frequenza Shot n°3



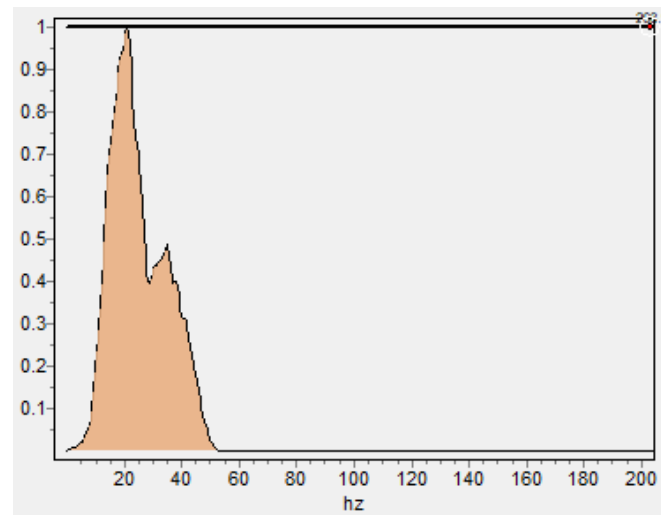
Shot n°4



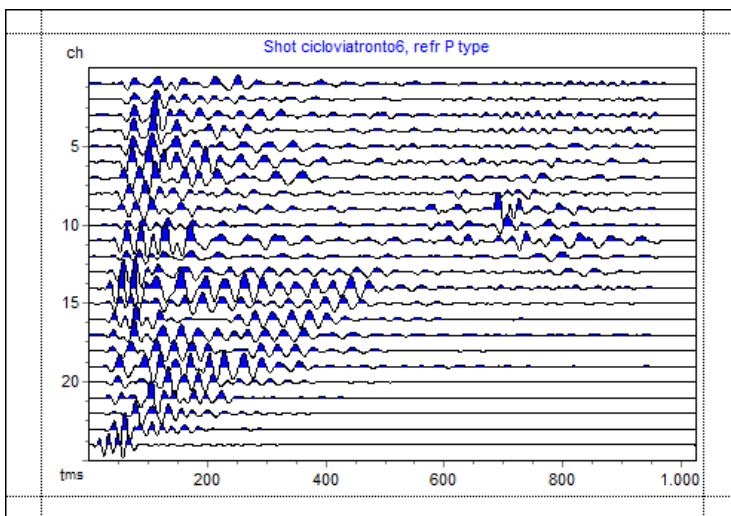
Spettro in frequenza Shot n°4



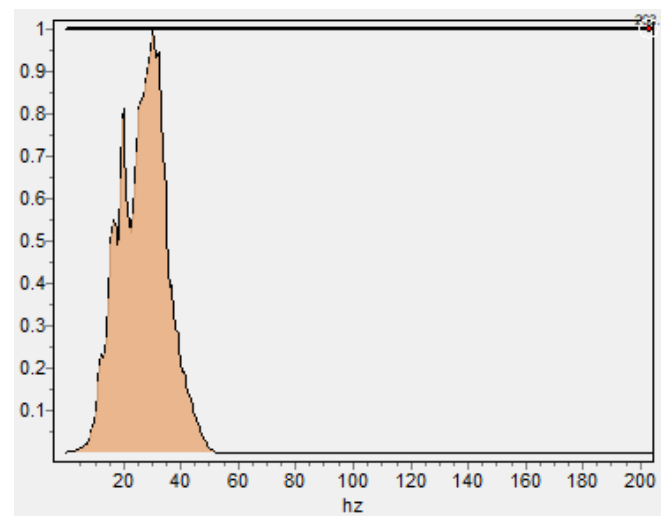
Shot n°5



Spettro in frequenza Shot n°5



Shot n°6



Spettro in frequenza Shot n°6

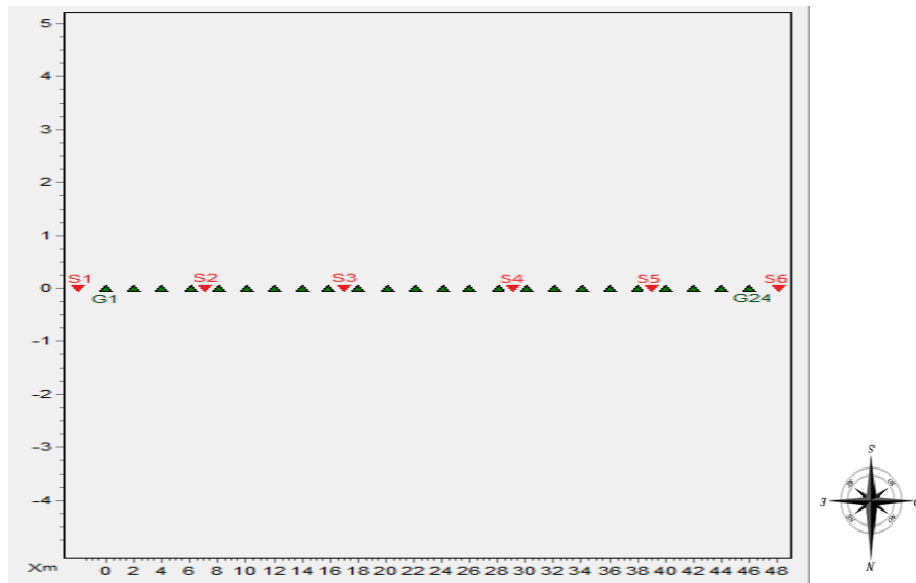


Fig. 3 – Geometria

DROMOCRONE ORIGINALI

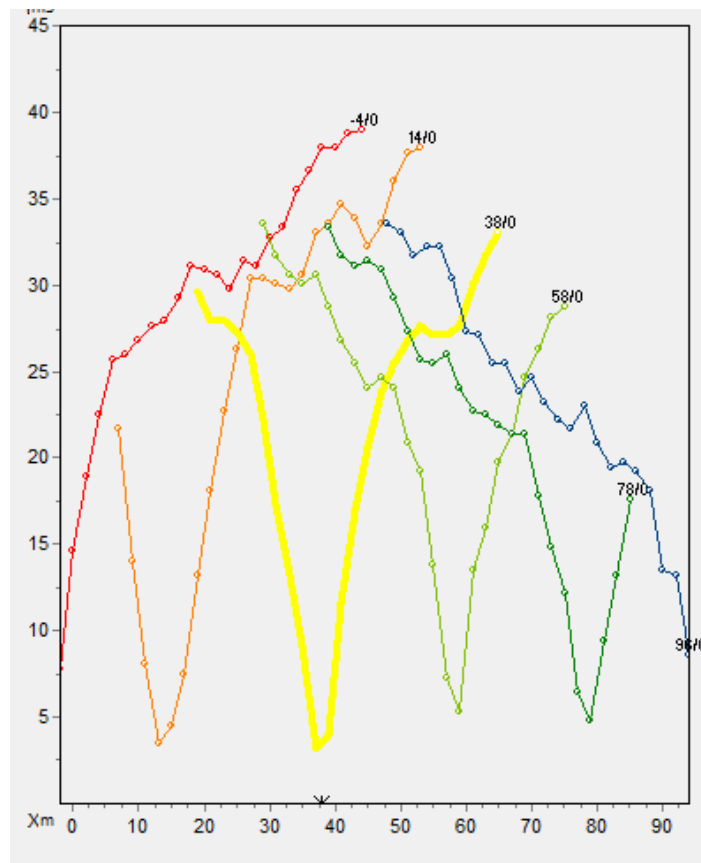
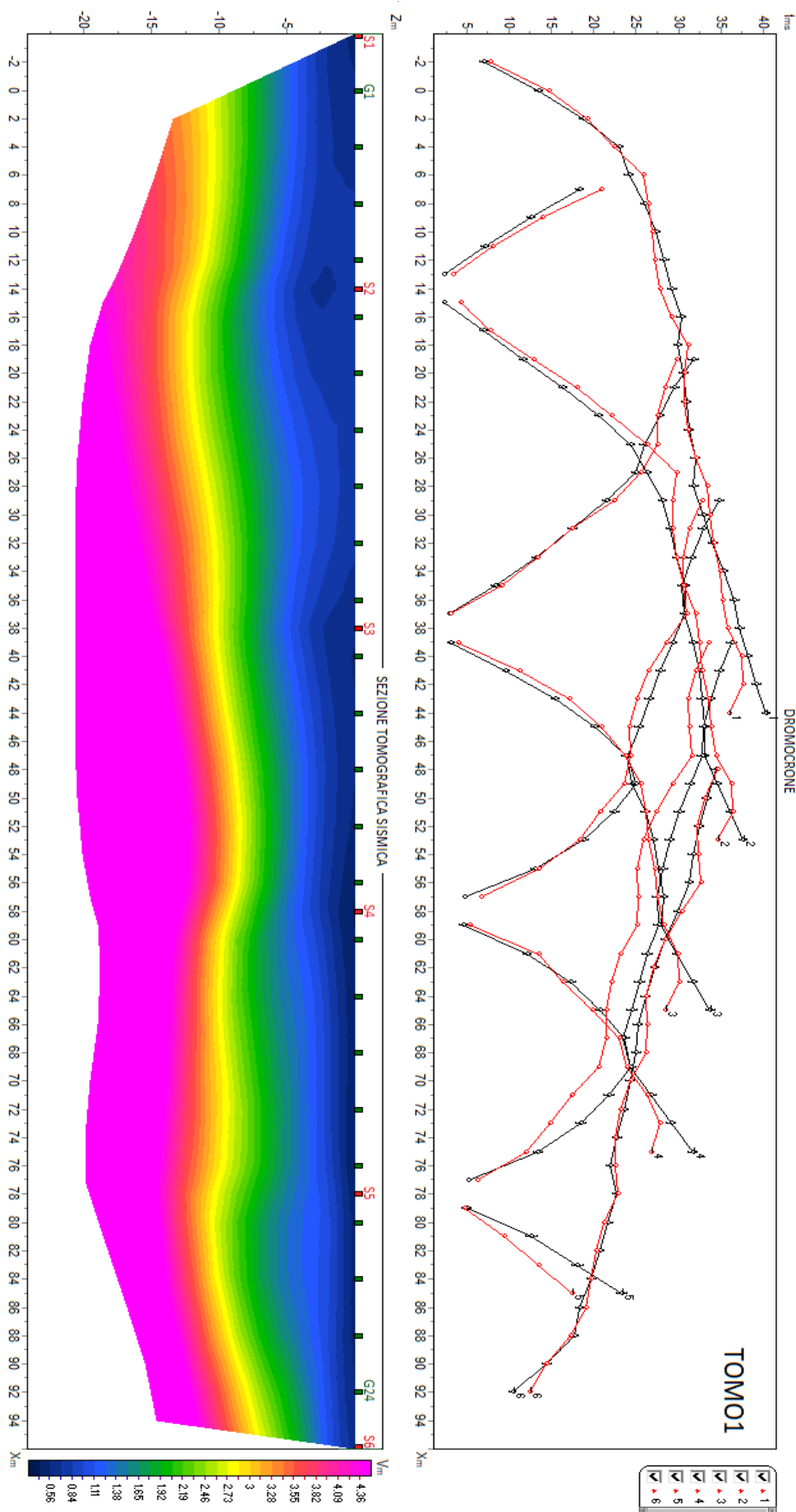
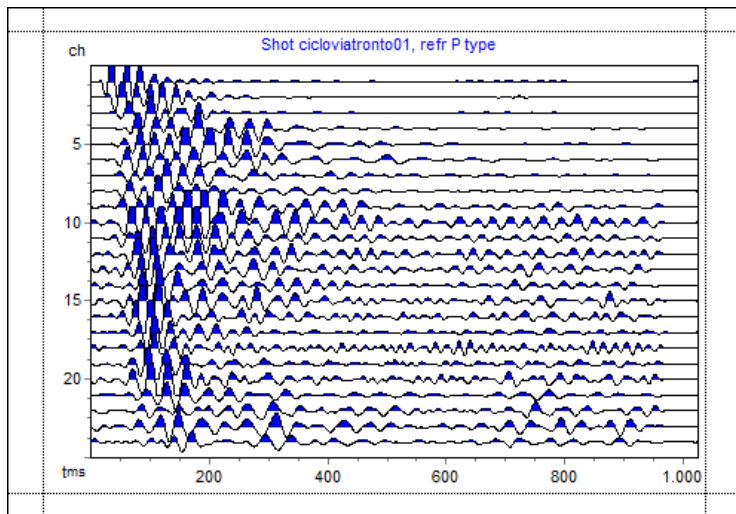


Fig. 4 - Dromocrone

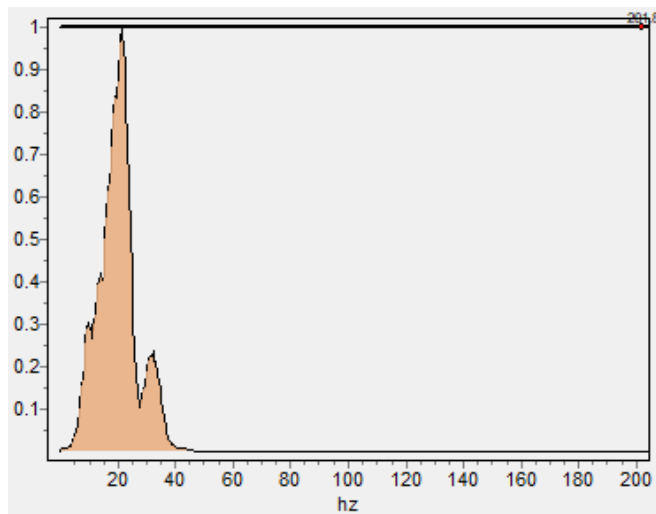
SEZIONE VERTICALE TOMOGRAFIA SISMICA 1



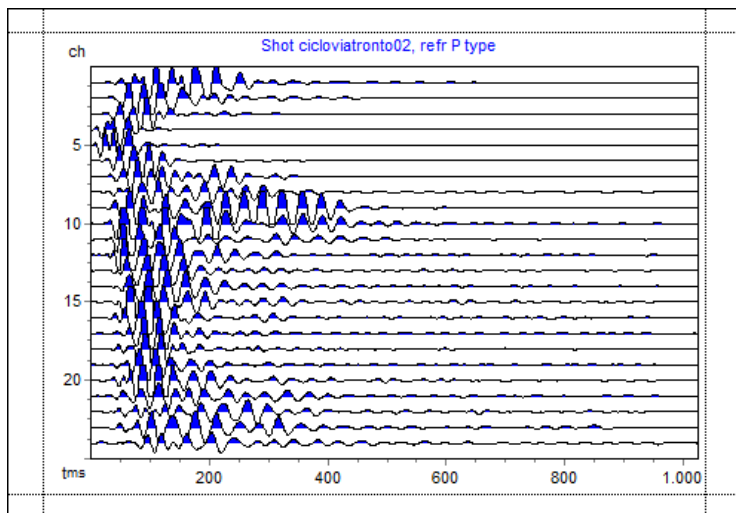
SISMOGRAMMI TOMOGRAFIA 2



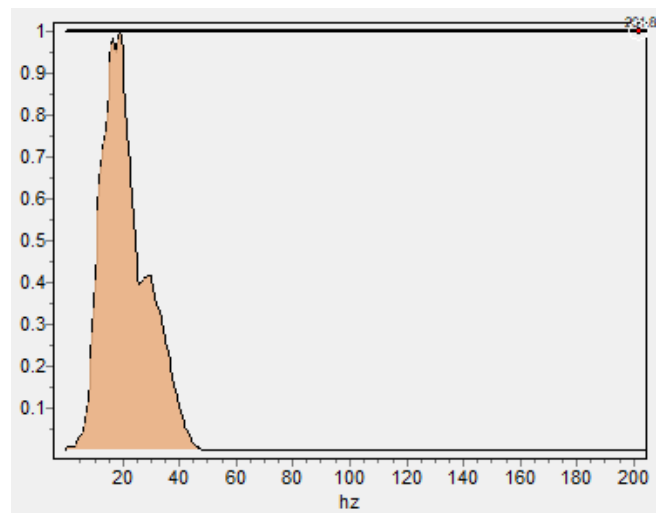
Shot n°1



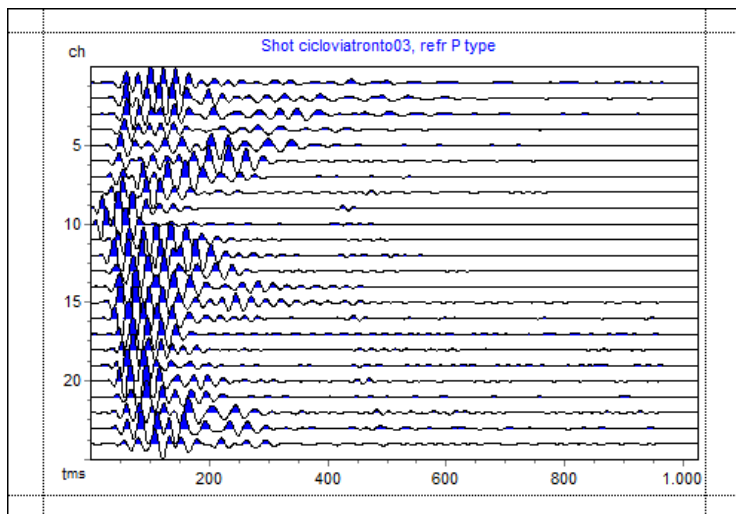
Spettro in frequenza Shot n°1



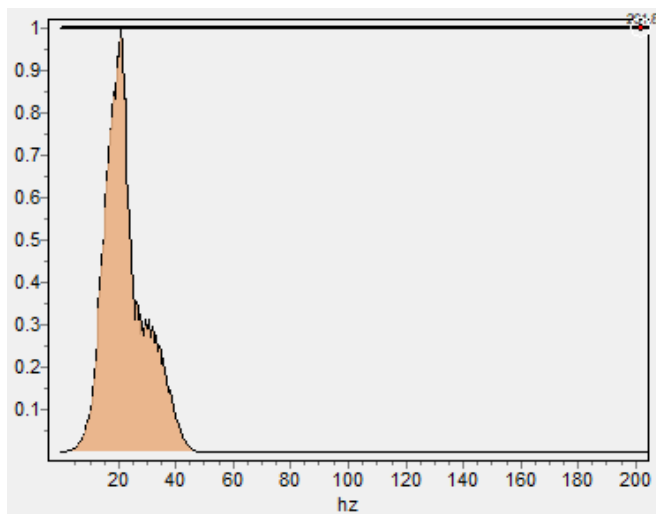
Shot n°2



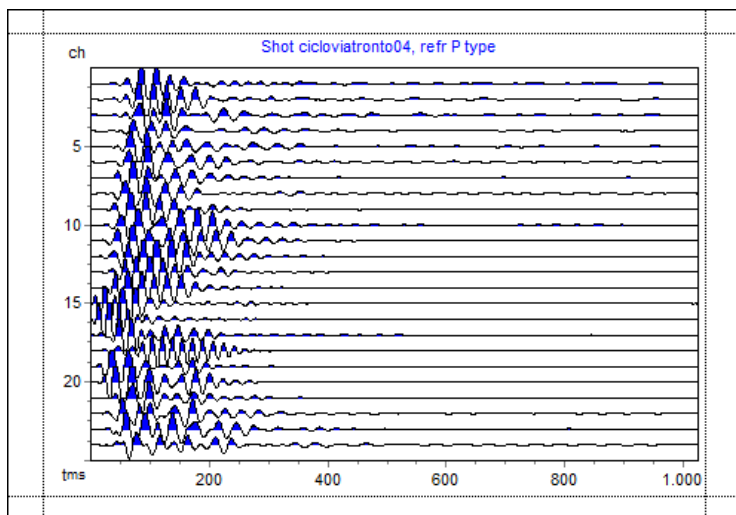
Spettro in frequenza Shot n°2



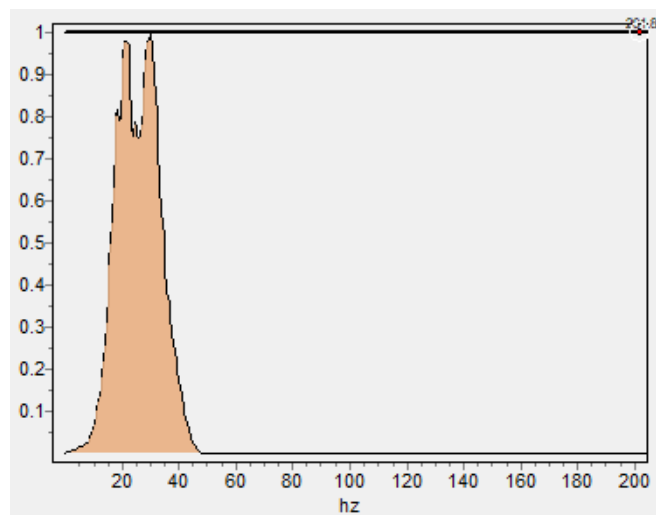
Shot n°3



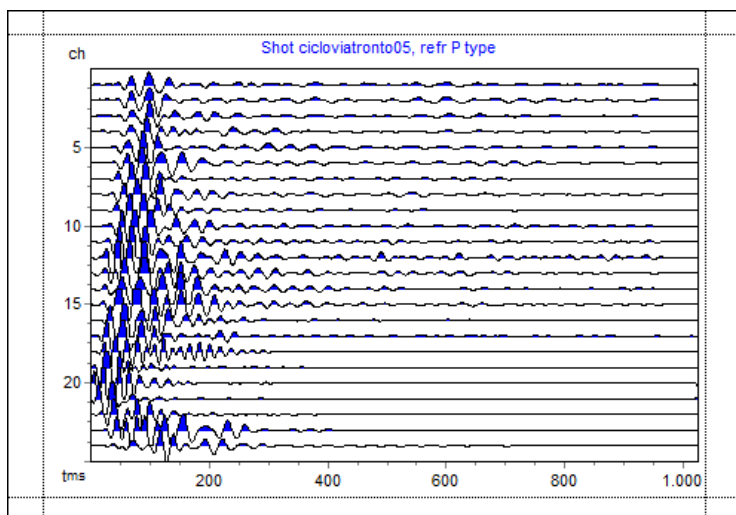
Spettro in frequenza Shot n°3



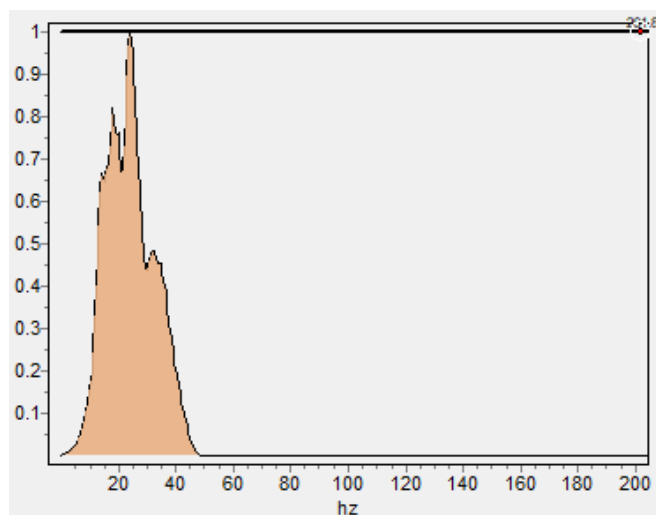
Shot n°4



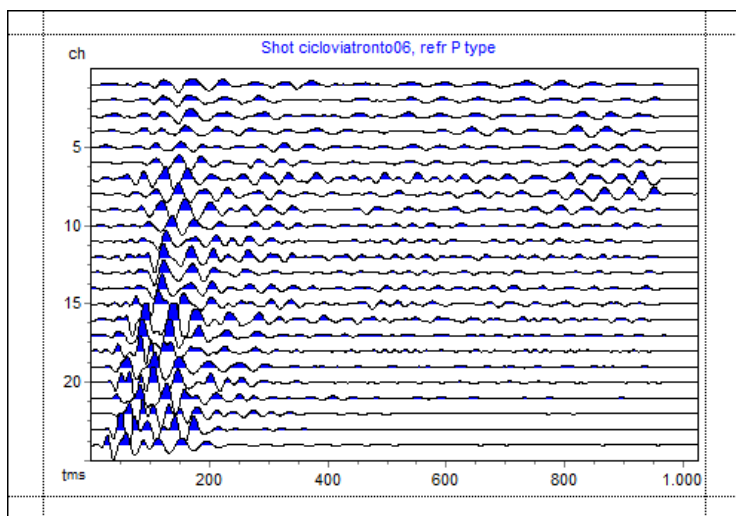
Spettro in frequenza Shot n°4



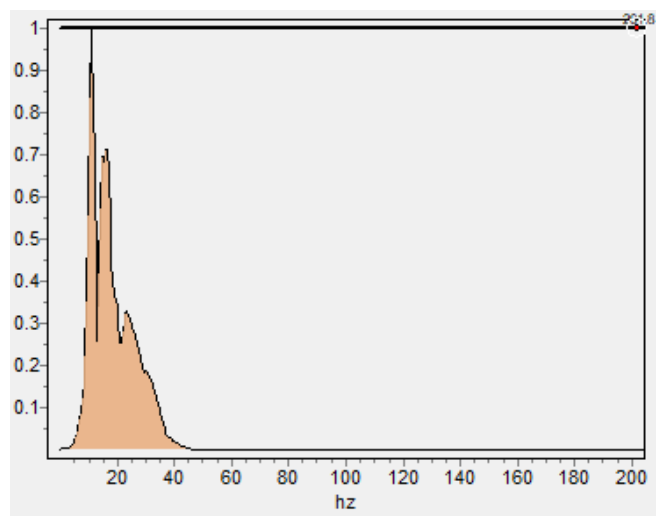
Shot n°5



Spettro in frequenza Shot n°5



Shot n°6



Spettro in frequenza Shot n°6

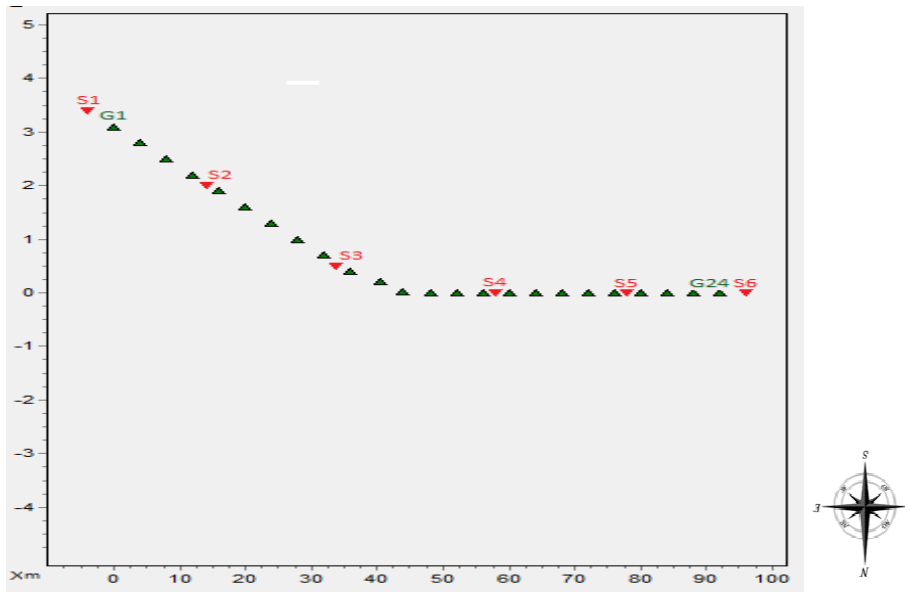


Fig. 5 – Geometria

DROMOCRONE ORIGINALI

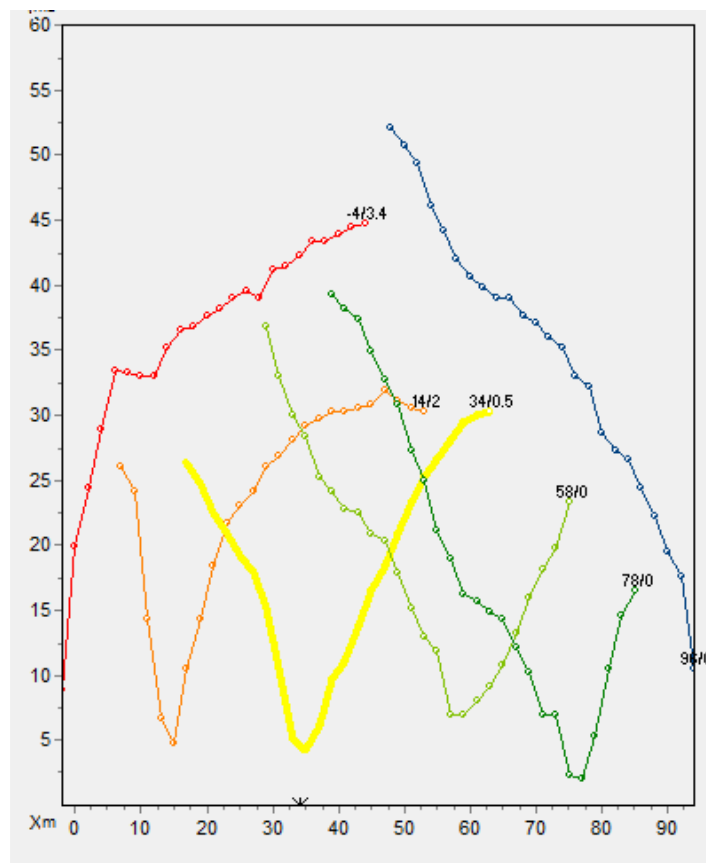
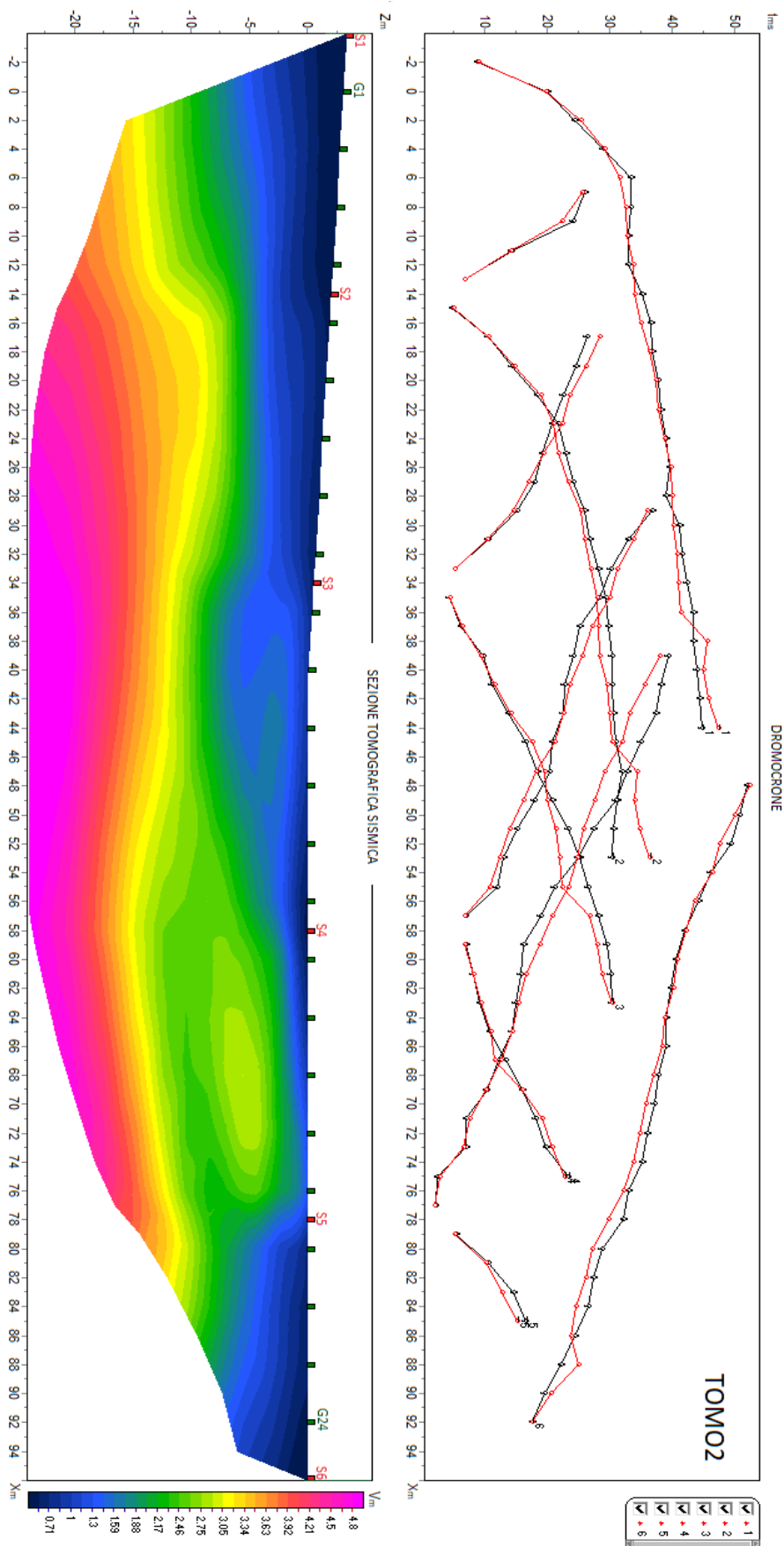
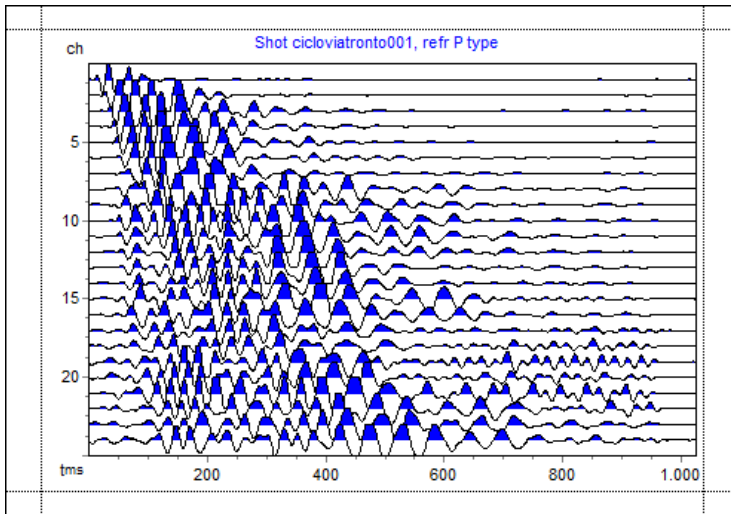


Fig. 6 - Dromocrone

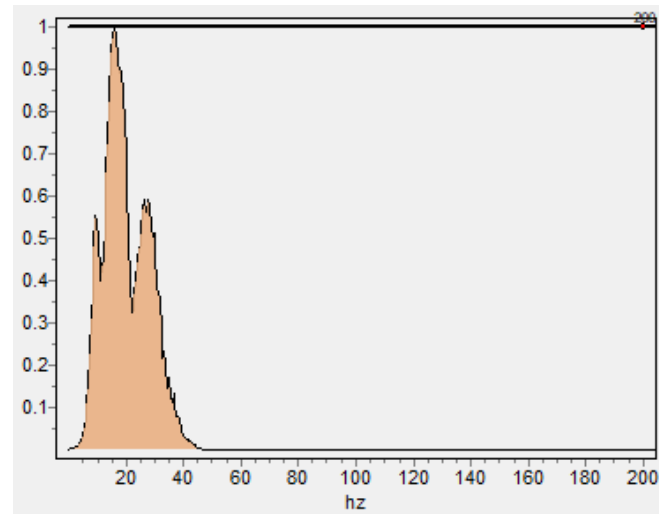
SEZIONE VERTICALE TOMOGRAFIA SISMICA 2



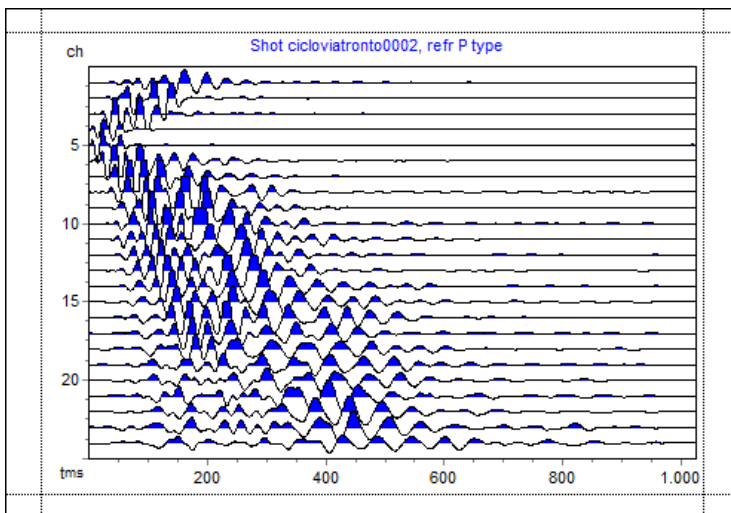
SISMOGRAMMI TOMOGRAFIA 3



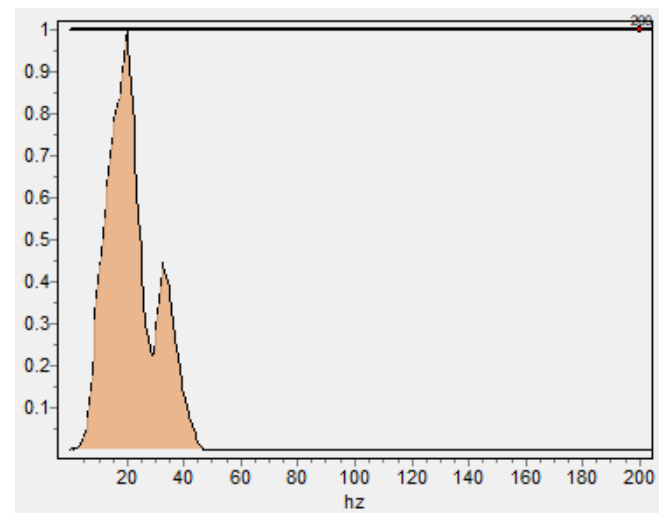
Shot n°1



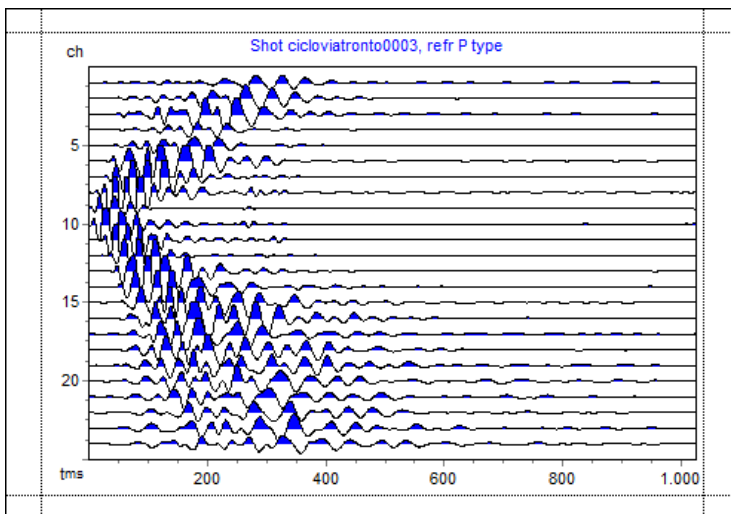
Spettro in frequenza Shot n°1



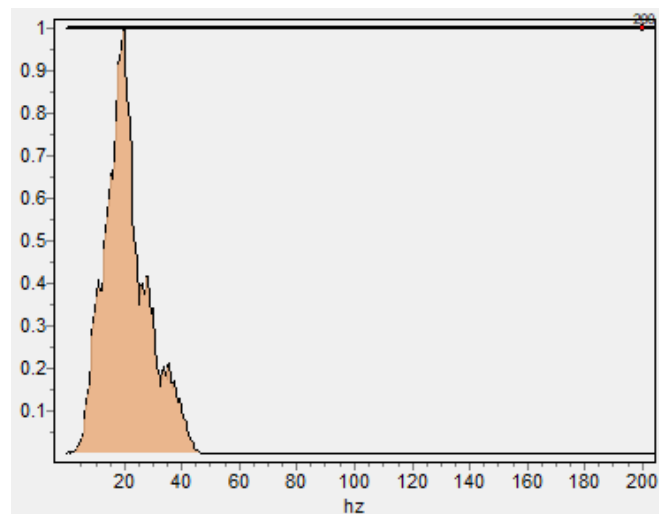
Shot n°2



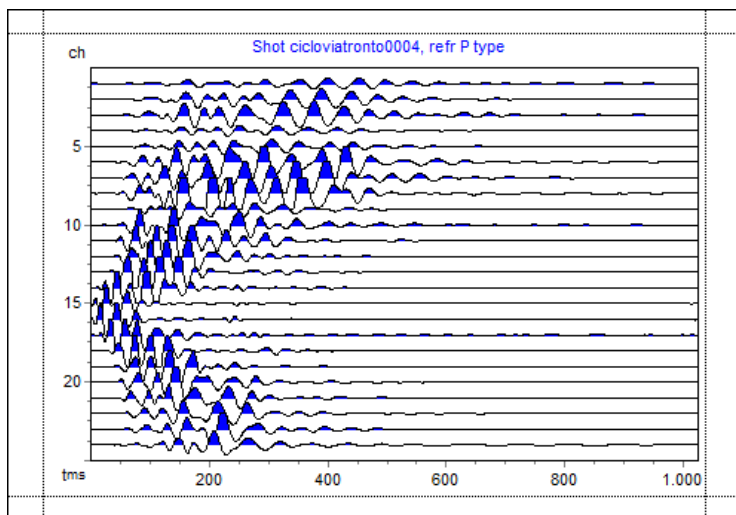
Spettro in frequenza Shot n°2



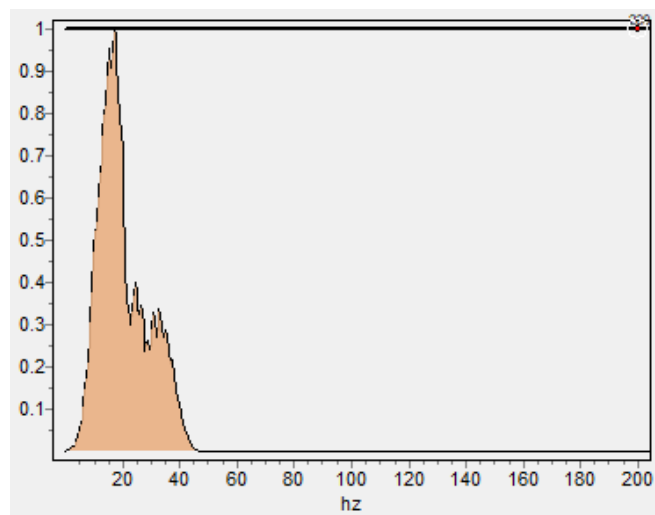
Shot n°3



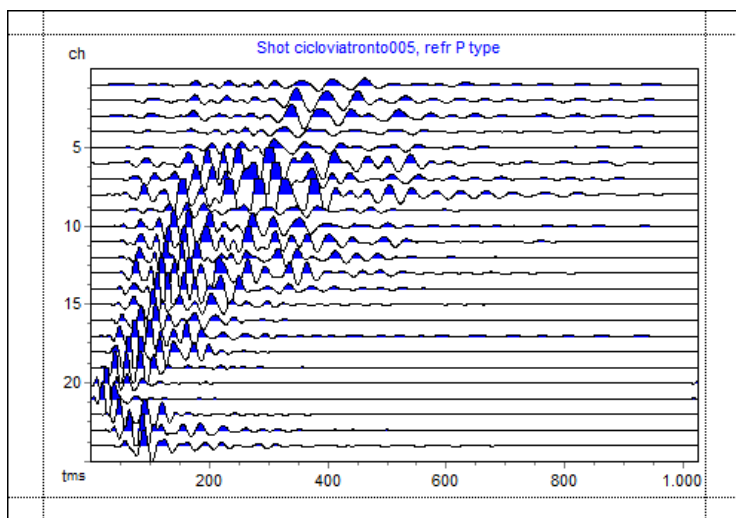
Spettro in frequenza Shot n°3



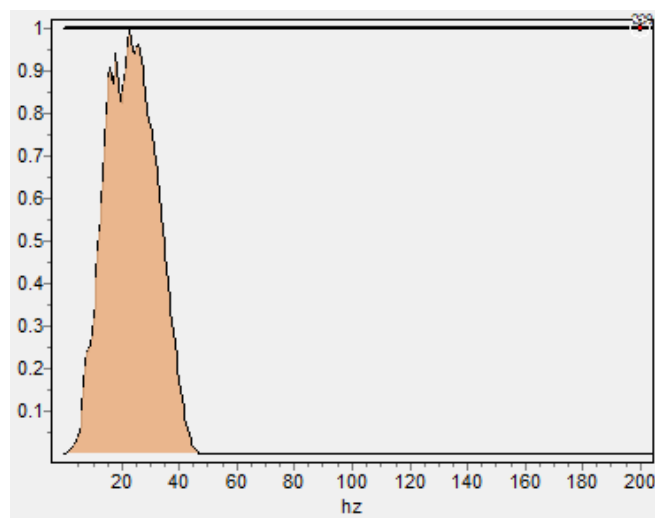
Shot n°4



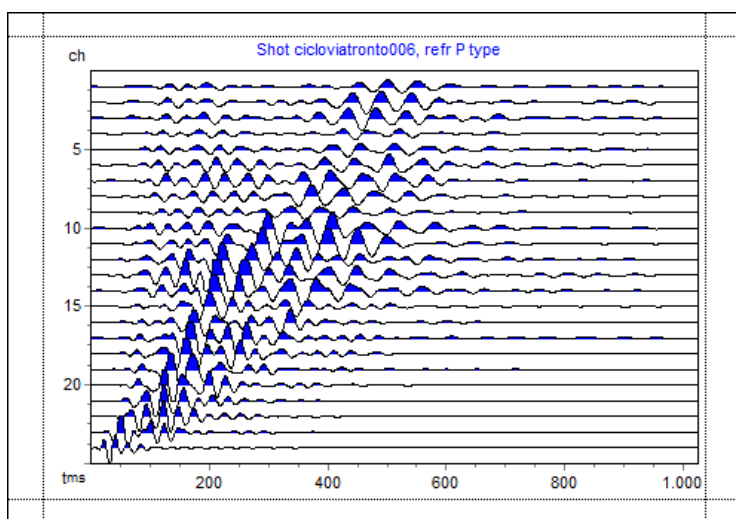
Spettro in frequenza Shot n°4



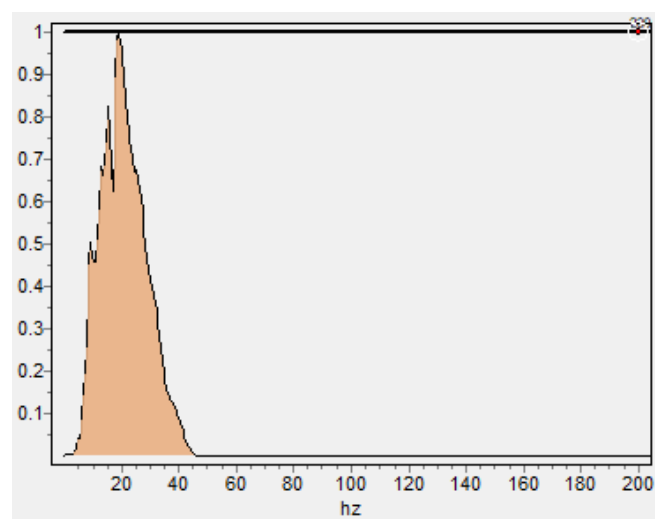
Shot n°5



Spettro in frequenza Shot n°5



Shot n°6



Spettro in frequenza Shot n°6

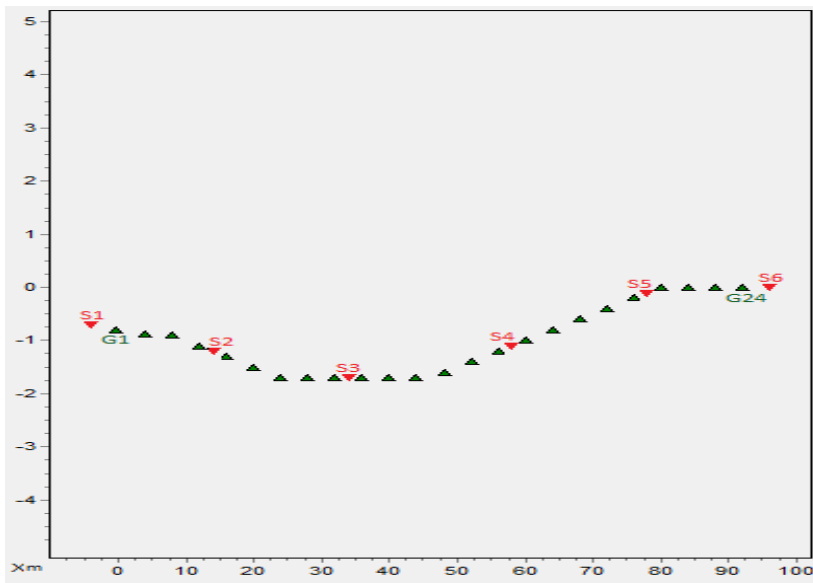


Fig. 7 – Geometria

DROMOCRONE ORIGINALI

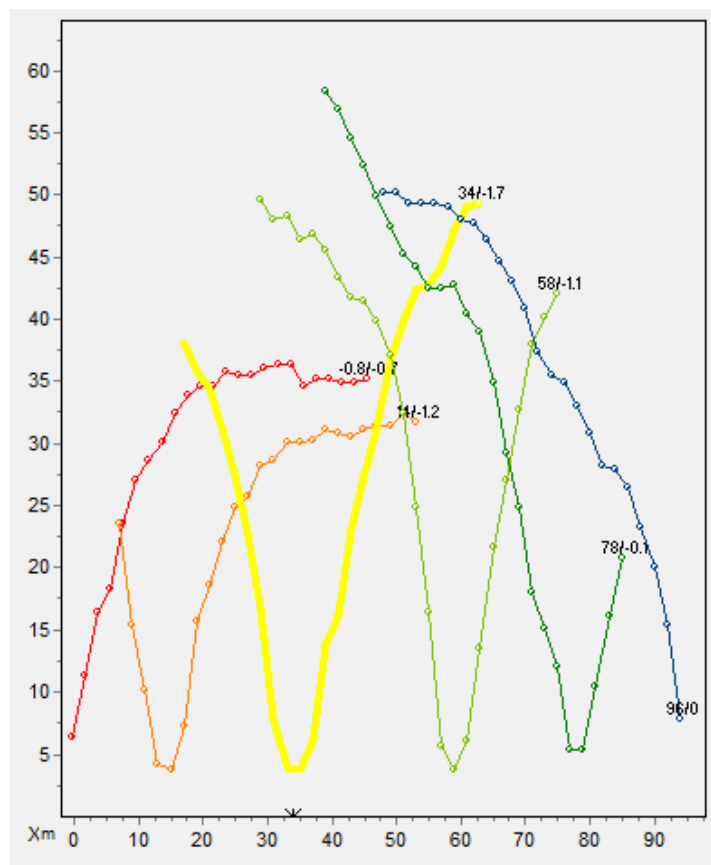
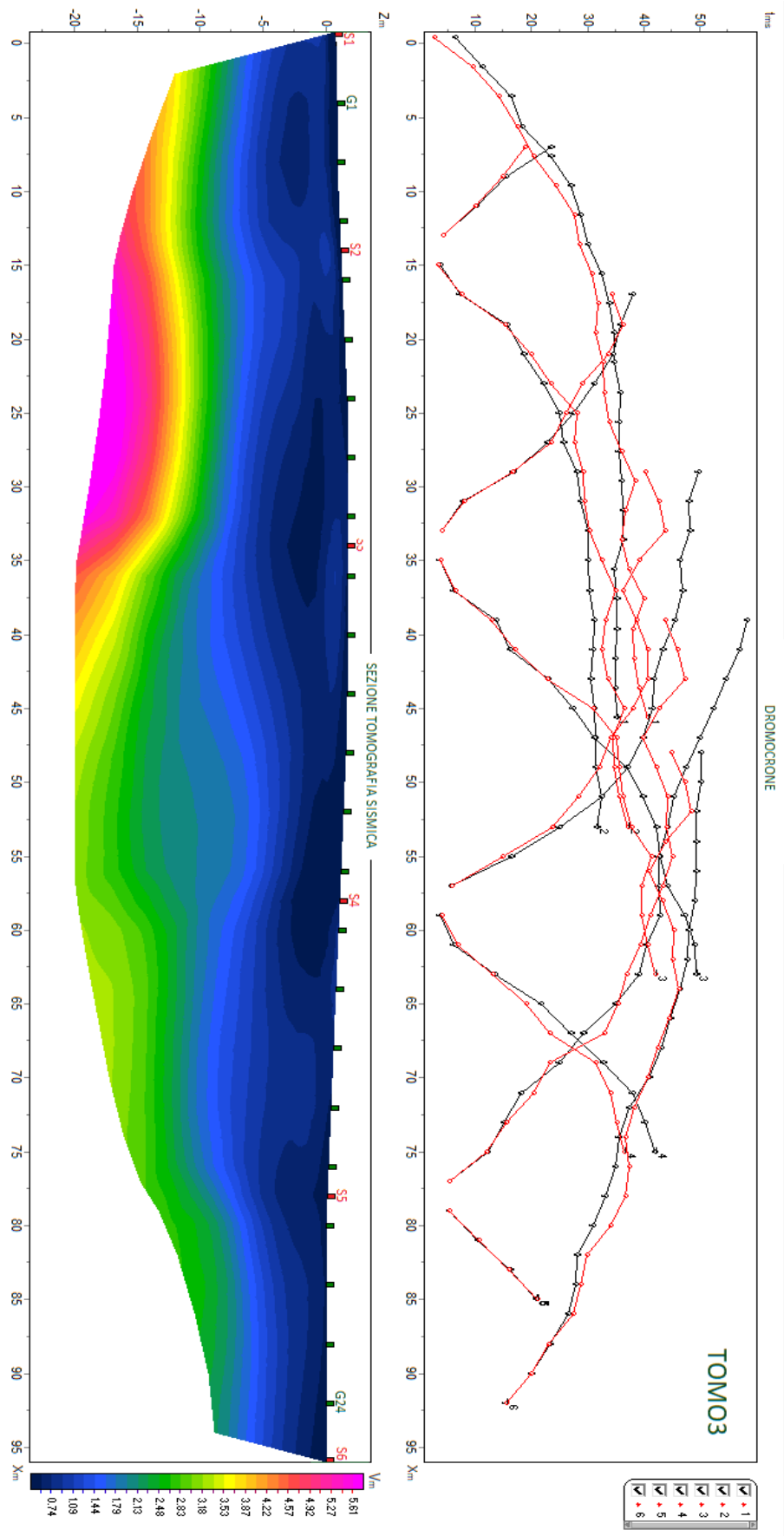
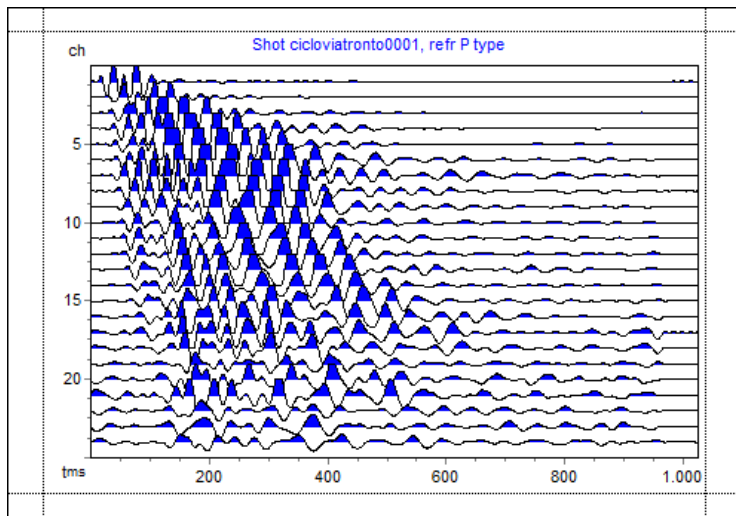


Fig. 8 - Dromocrone

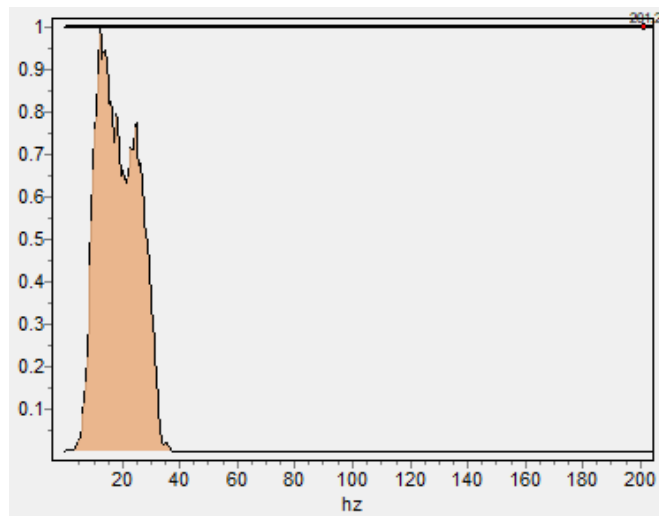
SEZIONE VERTICALE TOMOGRAFIA SISMICA 3



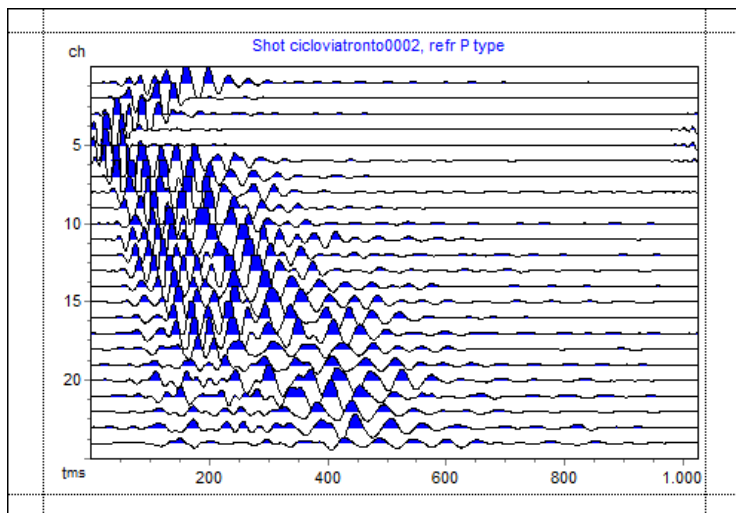
SISMOGRAMMI TOMOGRAFIA 4



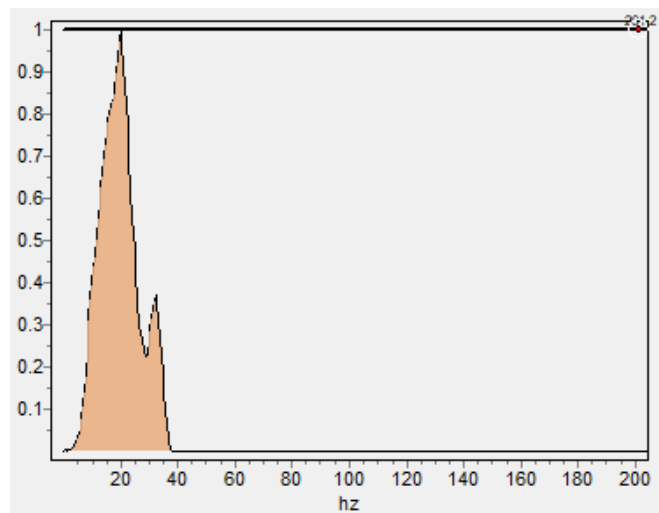
Shot n°1



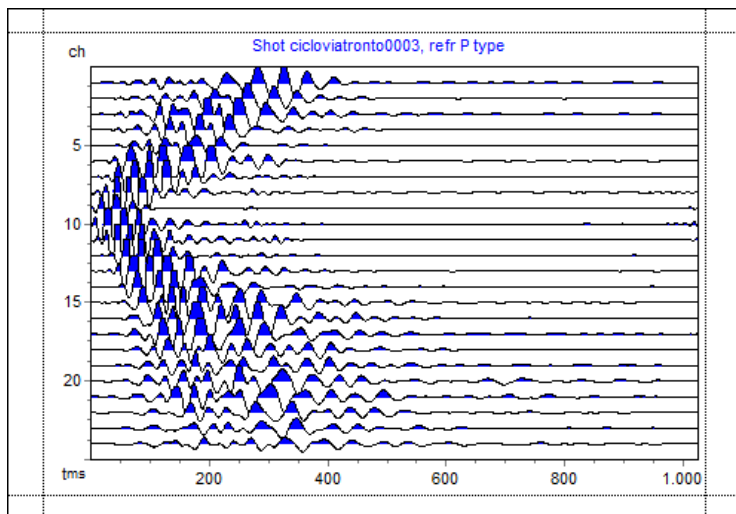
Spettro in frequenza Shot n°1



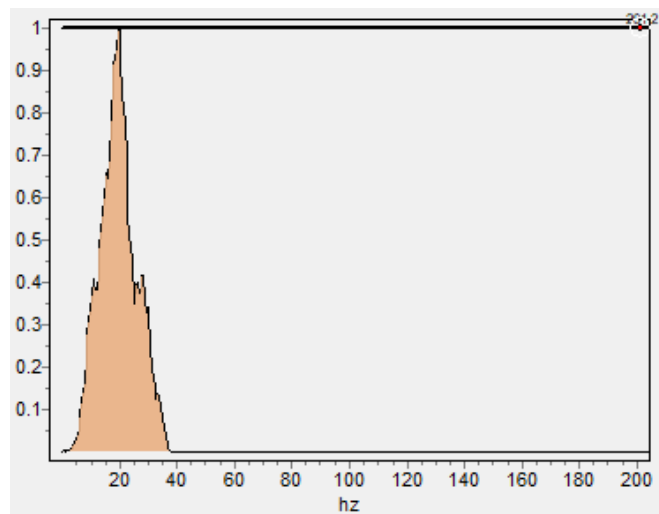
Shot n°2



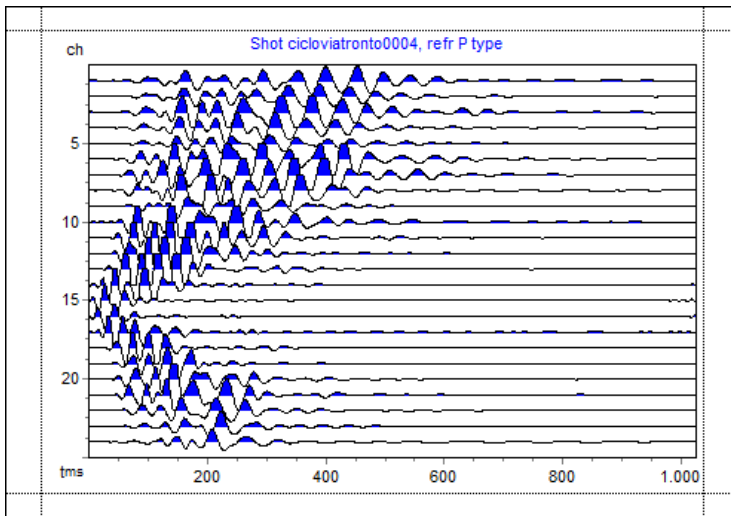
Spettro in frequenza Shot n°2



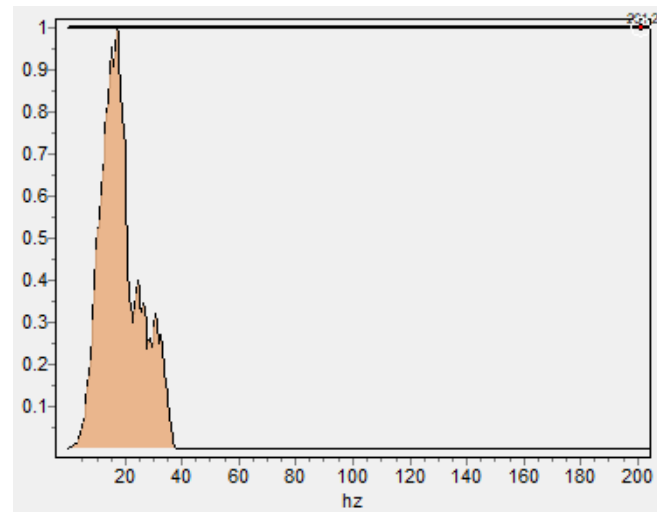
Shot n°3



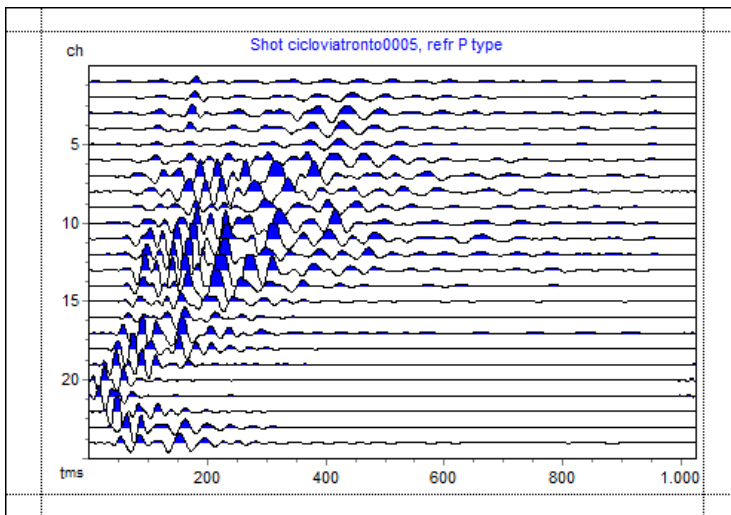
Spettro in frequenza Shot n°3



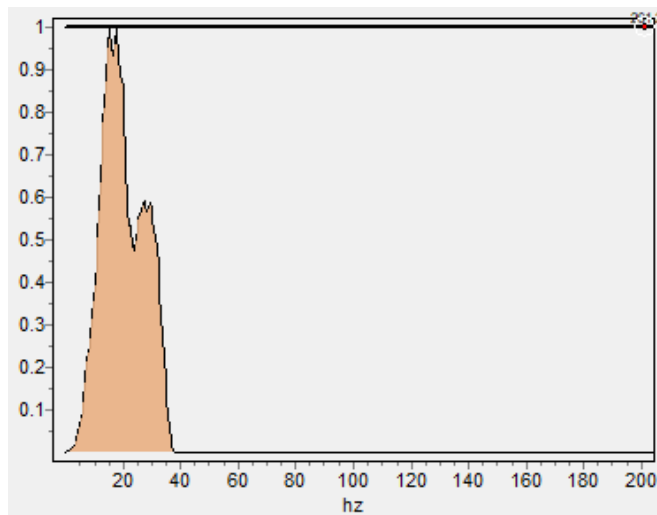
Shot n°4



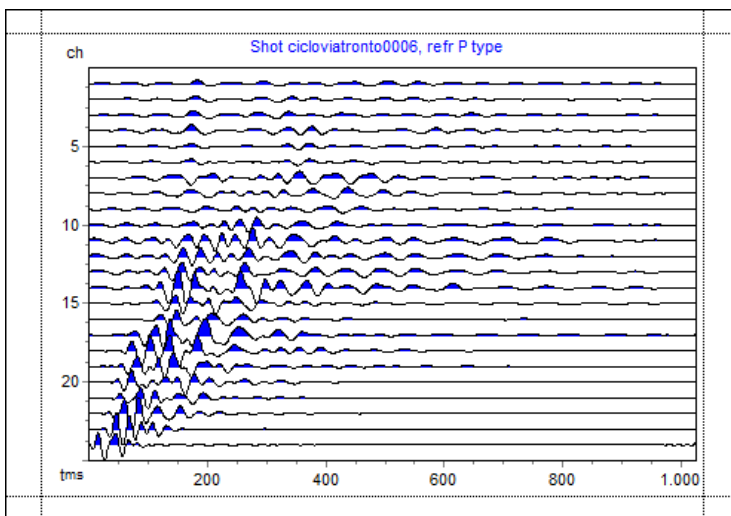
Spettro in frequenza Shot n°4



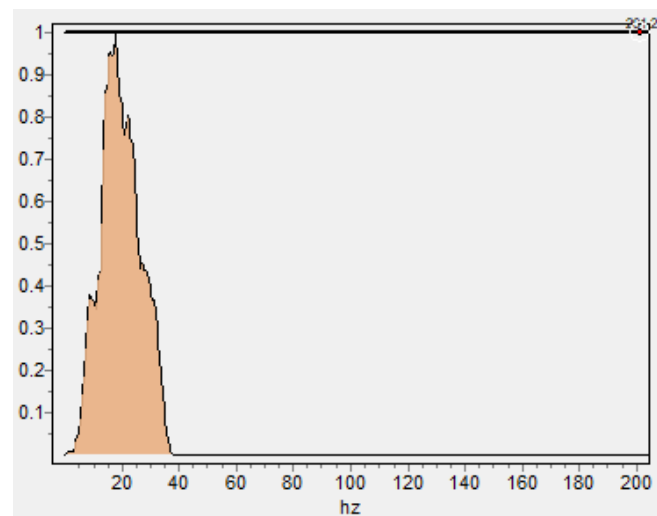
Shot n°5



Spettro in frequenza Shot n°5



Shot n°6



Spettro in frequenza Shot n°6

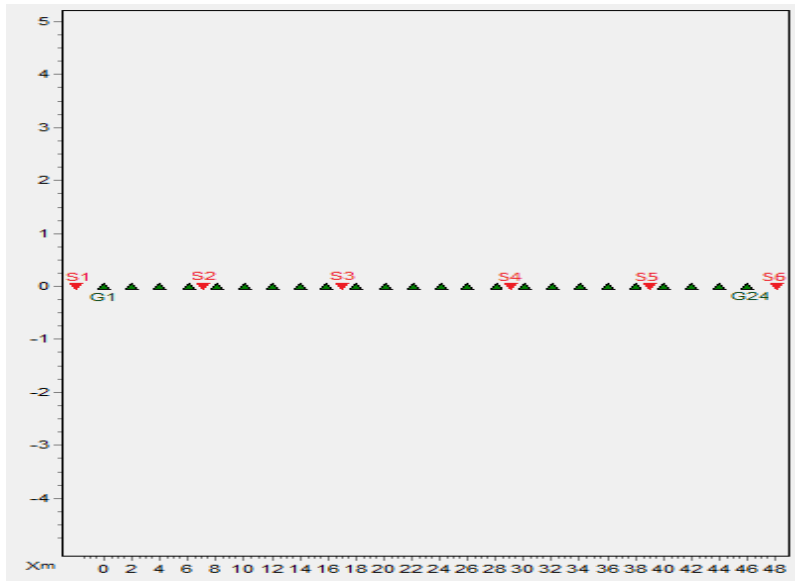


Fig. 9 – Geometria

DROMOCRONE ORIGINALI

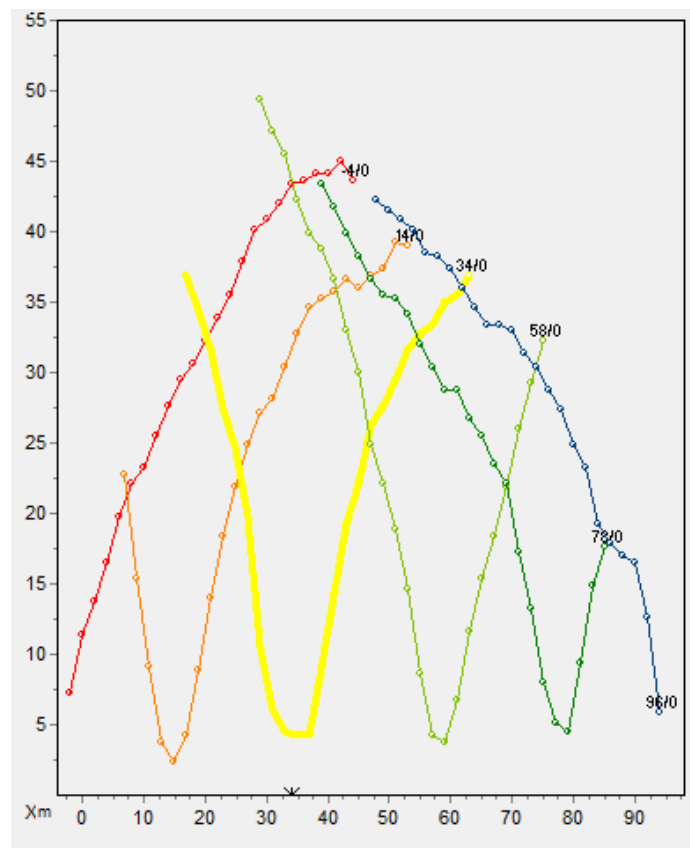
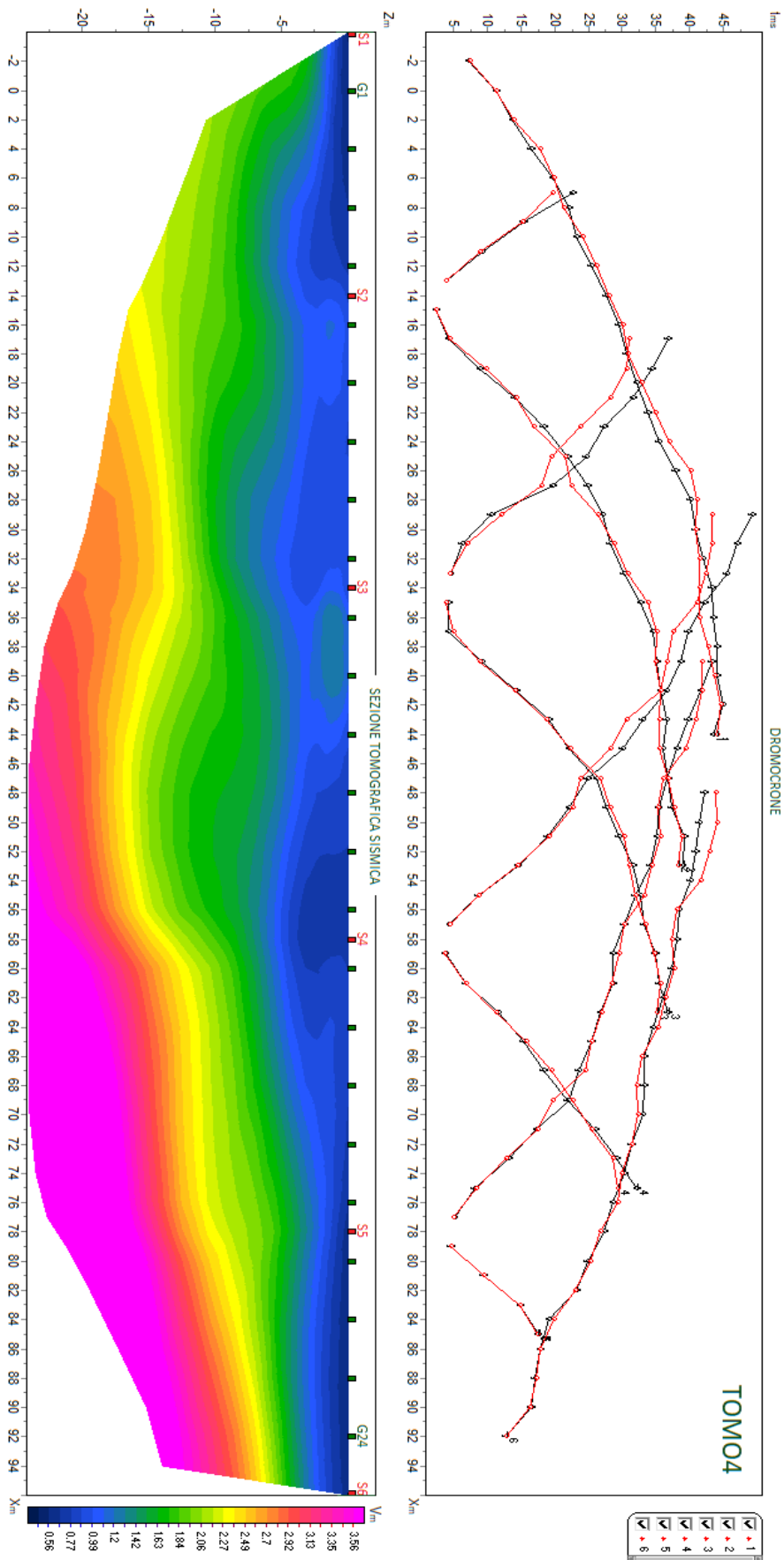


Fig. 10 - Dromocrone

SEZIONE VERTICALE TOMOGRAFIA SISMICA 4



* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esili 27 dicembre 2021
Comm.: Amm.ne Com.le Ascoli Piceno
Cant.: Ciclovía del Tronto - Ascoli Piceno
Indagine tomografia sismica del 15/12/2021

ELABORAZIONE DATI

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG-Y.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, la successiva elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi attraverso il software ZONDST2D, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione;
2. inserimento dei dati e interpretazione con medesimo programma

4- Interpretazione

La sezione sismostratigrafica ottenuta con onde P, mostra una distribuzione delle velocità piuttosto omogenea in tutta la sezione investigata con andamento sub orizzontale dei sismostrati, con delle differenze nella sezione 2 e nella sezione 3. Nella parte superficiale delle sezioni, che è quella colorata di tonalità blu, il materiale ha distribuzione uniforme mantenuta con la profondità, con velocità che aumentano mediamente fino a 5 metri dal piano campagna, tranne appunto nella sezione 2 dove nell'intervallo tra i geofoni G16 al G20, questo strato si assottiglia fino a circa un metro, mentre al contrario nella sezione 3, nella parte centrale dello sedimento, supera addirittura i 10 metri dal piano campagna, per poi ritornare nella sezione 4 ad avere un andamento medio tra i 4 e i 5 metri. Al di sotto di questo primo strato di colore blu, si intercetta il substrato geologico alterato di colore essenzialmente verde nella rappresentazione, per poi passare alla parte più integra con colore giallo e rosso.

- **Sismostrato1 $V_{p1} = 400-1000$ m/s**

Il sismostrato superficiale (tonalità blu nei grafici), contraddistinto da bassi valori di velocità compressionali, corrisponde a materiale limoso e comunque caotico, lo spessore medio è di circa 4-5 metri nella sezione 1, da 6 metri a 1 metro nella sezione 2 (geofoni 16-20), di 8-10 metri nella sezione 3 e di uno spessore più ridotto nella sezione 4 da 1 a 4 metri dal piano campagna. Nella sezione 1 e 4 l'andamento è abbastanza costante, mentre è più irregolare nelle sezioni 2 e 3.

- **Sismostrato2 Vp2 = 1000-2500 m/s**

Questo sismostrato è caratterizzato da buoni valori di velocità delle onde compressionali (varie tonalità di verde del grafico), che si intercettano intorno a 6 nella sezione 1, ad una profondità più variabile nella sezione 2 ovvero tra 1 metro a 6 metri dal piano campagna, profondità che aumenta nella sezione 3 tra i 9 e i 10 metri per poi risalire nella sezione 4 ad una profondità media di circa 3 metri dal piano campagna. Questo sismostrato, dello spessore medio variabile, è composto da materiale fine più addensato rispetto al sismostrato1, dalle velocità misurate delle onde P fa supporre si tratti del substrato alterato/fratturato con andamento non sempre suborizzontale.

- **Sismostrato3 Vp3 = 2500-3500 m/s**

Il terzo rifrattore ha velocità più alte, individua un corpo di materiale associabile al substrato geologico, per velocità riconducibile ad un'arenaria molto compatta. Si identifica con il colore giallo e rosso nel grafico, si intercetta ad una profondità che varia nelle varie sezioni, infatti lo si intercetta a -10/-11m dal piano campagna nella sezione1, intorno a -13/-14m nella sezione 2, lo si intercetta solo parzialmente nella sezione 3 a -15m nella prima metà dello stendimento per poi approfondirsi nella seconda metà ad oltre i -18/-20m e poi risalire nella sezione 4 dove lo intercettiamo intorno ai -8/-9m dal piano campagna in corrispondenza dei geofoni dal G19 al G24, per intercettarlo invece ad una profondità maggiore -18/-20m dal piano campagna in corrispondenza del tratto dei geofoni da G1 a G16. Questo tratto di formazione risulta moderatamente fratturato nella porzione sommitale.

5- Conclusioni

Dall'elaborazione ed interpretazione dei dati acquisiti con indagine di tomografia sismica, si formulano le seguenti considerazioni conclusive.

Il modello sismostratigrafico dell'area è costituito da tre sismostrati principali: uno superficiale dello spessore da circa 1 metri a 10 metri, un orizzonte sottostante con spessore medio di circa 5m e il terzo sismostrato correlato al materiale sismicamente più veloce della sezione investigata (colori giallo e rosso).

Dalla distribuzione delle linee di isovelocità, non si rilevano anomalie generate da inversioni di velocità.