

Studio di Geologia e Geotecnica

Dr. Geol. Anacleto Pesaresi

Via Della Giudecca, 3 – 62032 Camerino (MC) –
tel. 338 – 5989920 –

Comune di Camerino Provincia di Macerata

INDAGINE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA RELATIVA AL PROGETTO “REALIZZAZIONE DI UNA STRADA DI COLLEGAMENTO CON ZONA PARCHEGGIO” Tra Via Sant’Agostino ed il Complesso G. D’Avack

Committente: *I.D.S.C. Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero*
Diocesi di Camerino e San Severino Marche

Camerino li 06/07/2020

Il geologo

Dr. Anacleto Pesaresi



R E L A Z I O N E

PREMESSA E METODOLOGIA D'INDAGINE

Su richiesta del Progettista e dell'Ufficio Tecnico comunale, per conto dell' Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di Camerino-San Severino Marche, sono state eseguite indagini geologiche, geotecniche e sismiche relative al Progetto per la realizzazione di una "Strada di collegamento con zona Parcheggio" tra Via Sant'Agostino e l'Edificio D'Avack, Comune di Camerino (MC).

Le indagini eseguite secondo le nuove NTC 2018 e leggi precedenti: Legge n. 64 del 2/2/1974 e successivi D.M. (D.M. 11.03.88 e norme tecniche di applicazione), ed in conformità del D.M. 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare n°617 02/02/09 Istruzioni per l'Applicazione della Normativa Tecnica , hanno permesso la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito interessato dalle opere .

Le indagini geologiche, geotecniche e sismiche sono state estese alla porzione di sottosuolo ritenuta significativa ai fini dei risultati dell'indagine stessa.

In considerazione della buona conoscenza della zona, le caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geotecniche e sismiche, dei terreni interessati, sono state desunte da n.3 sondaggi geognostici, da prove penetrometriche e prove sismiche reperite in prossimità dell'area interessata.

Come base topografica è stata utilizzata la carta geologica CARG della Regione Marche, la carta CTR sez. 325050 in scala 1:5.000, la Carta Tecnica di Camerino 1:2.000 e le planimetrie e sezioni di progetto fornite dal Progettista Ing. Sauro Liberati.

MODELLO GEOLOGICO

Nel rilevamento geologico (Carta geologica Fig.1) si riscontrano le seguenti unità litologiche:

Associazione pelitico-arenacea (Substrato), argille siltose grigie sottilmente stratificate con intercalazioni di sottili strati arenacei ; la porzione superficiale del substrato si presenta alterata con una colorazione grigio-avana. Le giaciture degli strati sono suborizzontali e/o debolmente inclinate a reggipoggio.

Associazione arenaceo-pelitica: arenarie in strati medi con argille siltose stratificate, in orizzonti e livelli arenacei;

Coltre detritica superficiale (eluvio-colluviale): litologicamente molto eterogenea, costituita prevalentemente da litotipi limoso-sabbiosi con frammenti e pezzame arenaceo a luoghi abbondanti.

Tali terreni sono ricoperti da "terreni di riporto antichi e recenti" con spessori variabili da 2 m a 3 m (vedi stratigrafie sondaggi allegate).

TOPOGRAFIA E GEOMORFOLOGIA

La strada in progetto, che collegherà il complesso "G.D'Avack" con Via Sant'Agostino, verrà realizzata nel versante Nord del Colle di Camerino, ad una quota di circa 600 m s.l.m. (Figg.1-2).

L'area risulta debolmente acclive (pendenze dal 5% al 10%) a monte e mediamente acclive a valle (pendenze del 15%).

Dal punto di vista geomorfologico, nelle aree circostanti il versante è interessato da processi morfogenetici legati alla gravità ed all'azione delle acque; si riscontrano frane attive ed antiche frane inattive "paleofrane" che interessano la Coltre detritica e la porzione alterata del Substrato (Fig.1).

Nell'area interessata dalla strada in progetto non si riscontrano processi morfogenetici in atto né fenomeni franosi, ed in considerazione che la zona è da molto tempo urbanizzata è da considerare come naturalmente stabile e se ne omette la verifica analitica.

IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

La zona interessata non è percorsa da vie preferenziali di scorrimento delle acque correnti superficiali. Per quanto riguarda la circolazione idrica profonda, le caratteristiche

litologiche e tessiturali dei terreni riscontrati, da considerare impermeabili o a bassa permeabilità, non favoriscono la presenza di una falda acquifera.

Nei sondaggi effettuati non si riscontrano falde acquifere ma soltanto zone a maggiore umidità e lievi percolazioni alla profondità di - 3,7m nel S.2 (vedi stratigrafie sondaggi allegate)

MODELLO GEOTECNICO

Le **caratteristiche geotecniche dei terreni interessati** sono state desunte da analisi di laboratorio effettuate su campioni di terreno simili e dalla bibliografia tecnica esistente. Dalle sezioni geologico-stratigrafiche (Figg. 5-6-7) e dalle stratigrafie dei sondaggi allegate, si riscontrano, escludendo il terreno vegetale, la presenza di 4 principali tipi di terreno (procedendo dall'alto verso il basso) :

- Terreni di Riporto (antichi e recenti): si tratta di terreni estremamente eterogenei in prevalenza limosi con inclusi e frammenti arenacei, sfridi di costruzione e laterizi:

$$\gamma = 1,85 - 1,90 \text{ T/m}^3 \text{ (peso di volume)}$$

$$C = 0,2 - 0,3 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (coesione)} ; \varphi = 20^\circ - 22^\circ \text{ (angolo di attrito)}$$

- Coltre detritica (limi sabbiosi): terreni normalmente consolidati costituiti prevalentemente da limi e sabbie con calcinelli e frammenti arenacei

$$\gamma = 1,9 - 1,95 \text{ T/m}^3 \text{ (peso di volume)}$$

$$C = 0,5 - 0,8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (coesione)} ; \varphi = 22^\circ - 25^\circ \text{ (angolo di attrito)}$$

- SUBSTRATO ALTERATO (Ass. pelitico-arenacea) terreni coerenti a medio grado di plasticità: $\gamma = 1,95 - 2,05 \text{ T/m}^3 \text{ (peso di volume)}$; $C = 1,0 - 2,0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (coesione)}$; $\varphi = 22^\circ \text{ (angolo di attrito)}$

- SUBSTRATO INTEGRO (Ass. pelitico-arenacea) argille siltose grigie sovraconsolidate con intercalazioni di sottili strati arenacei:

$$\gamma = 2,1 - 2,2 \text{ T/m}^3 \text{ (peso di volume)} ; C_u = 5,0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (coesione non drenata)} ; E = 150 - 200 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (modulo edometrico)}.$$

INDICAZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

Il nuovo tracciato stradale (riportato in Fig.4), rispetto al precedente (Fig.3) , è traslato verso monte di circa 5 m, ciò consente di limitare gli sbancamenti ed i riporti. Il nuovo tracciato viene suddiviso in due tratti:

1° tratto) Procedendo dal "piazzale D'Avack" verso la Via Sant'Agostino si riscontra che il nuovo tracciato stradale consente di limitare al massimo sbancamenti e riporti, ciò si evidenzia dalla Sezione longitudinale (Fig.5) e Sezioni trasversali n. 6 e n. 8 (Fig.6), gli sbancamenti sono dell'ordine di 0,5 m ed i riporti dell'ordine di 0,6 m. In questo tratto dalla progressiva 0,0 m "piazzale D'Avack" sino a circa la Sez.10 progressiva 85 m non si riscontrano particolari problematiche geologiche e geotecniche per la realizzazione del tracciato stradale in progetto, si consiglia comunque, di realizzare uno splateamento, della zona interessata dal tracciato, asportando il terreno superficiale, prevedendo la messa in posto di una "massicciata di pietrisco calcareo" alla base con funzione di drenaggio.

2° tratto) Procedendo dalla progressiva 85 m sino alla congiunzione con Via Sant'Agostino progressiva circa 115 m, in questo tratto non sono previsti sbancamenti ed i Riporti da realizzare presentano un'altezza di 1,2 m – 1,5 m; si consiglia, oltre allo splateamento come nel 1° tratto, di realizzare il rilevato stradale con l'utilizzo di "Terra Armata" tipo terramesh verde (Ditta Maccaferri vedi caratteristiche tecniche di seguito allegate e Fig. 8 Ubicazione e Schema di realizzazione della Terra armata).

La messa in posto di Terra armata, posta al di sopra di una "massicciata" consente di utilizzare il terreno di risulta degli sbancamenti (terreno prevalentemente limoso) frammisto a pietrisco e ghiaietto eterometrico, adeguatamente compattato.

Per quanto riguarda la **Capacità portante del terreno**, la base della terra armata può essere considerata come una platea superficiale intestata nel terreno di riporto (vedi esempio di calcolo Tab.A allegata) si ottiene un carico limite pari a:

$$Q_{ult.} = 1,8 \text{ Kg/cm}^2.$$

Coefficiente di sottofondo statico Secondo il modello elastico di Winkler, dalla bibliografia tecnica esistente, il coefficiente di sottofondo risulta pari a: **$K_s = 2 \text{ Kg/cm}^3$**

Per quanto riguarda la realizzazione della “Zona Parcheggio” nel progetto si prevede la realizzazione di una scarpata a monte della “strada di collegamento” con altezze variabili da 3 m a 1 m ; per la stabilità delle scarpate, in modo da riutilizzare i terreni di risulta degli sbancamenti, si consiglia di prevedere la messa in posto di “ Terre Armate” grado di inclinazione $i = 65^{\circ}$ - 70° [Tipo TerraMesh verde vedi tabelle allegate] ricoperte da “geostuoie”;

- primo tratto si potrà raggiungere una altezza massima di circa 3 m (n. 5 file da 60 cm);
- tratto intermedio altezze variabili da 2,5 m a 2,0 m (n.4 – n.3 file da 60 cm);
- tratto finale verso Via Sant’Agostino altezze 1,0-1,5 m (n.2 file da 60 cm)

TERRAMESH® VERDE GALMAC & RIVESTIMENTO POLIMERICO

Il Terramesh® Verde è un sistema per terra rinforzata a paramento rinverdibile realizzato mediante elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale, tipo 8x10, tessuta con filo d'acciaio, protetto con Galmac (lega eutettica Zn-Al 5%) e un ulteriore rivestimento polimerico ad elevate prestazioni, sono prodotti in accordo con il regolamento 305/2011 (ex. Direttiva Europea 89/106/CEE). Sono conformi alle "Linee Guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione", approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con parere nr. 69 (2013), con UNI EN 10223-3:2013 e sono provvisti di marcatura CE in conformità con ETA-13/0295.

Il sistema di produzione e gestione aziendale è certificato in conformità alle norme ISO 9001 e ISO 14001 (relativa al sistema di gestione ambientale).

Gli elementi sono forniti già predisposti a misura senza richiedere ulteriori tagli in cantiere. I bordi della rete sono costituiti da filo uguale alle barrette di rinforzo. Il paramento esterno è dotato di un ulteriore pannello di rinforzo in rete elettrosaldata collegato, in fase di produzione, con un ritentore di fini (costituito da un tessuto in poliestere a maglia in catena con inserzione di trama, per gli elementi di Terramesh® Verde tipo terra, e da una geostuoia tridimensionale in polipropilene per il Terramesh® Verde tipo acqua). Il paramento è provvisto anche di un ritentore di fini, 2 staffe triangolari e 4 tiranti in acciaio ad estremità uncinati, che debbono essere utilizzati in cantiere per ottenere l'inclinazione richiesta del paramento esterno. Il tirante dovrà essere collocato al telo di base in corrispondenza di una barretta inserita nel telo stesso, avendo cura comunque di collegarsi sempre e solo alle doppie torsioni e non alla barretta. Dimensioni, tolleranze e misure sono mostrate in Tabella 1.

Rete metallica

La rete metallica a doppia torsione in maglia esagonale ha resistenza nominale a trazione come indicato in Tabella 2, è in conformità alla UNI EN 10223-3:2013 e a quanto prescritto dalle Linee Guida sopra menzionate.

La capacità di carico medio a punzonamento della rete (Tabella 2) è conforme ai test eseguiti in accordo a UNI 11437.

La rete soggetta a prova di trazione secondo le procedure indicate, non deve mostrare rotture del rivestimento polimerico nelle torsioni, per un carico pari al 50% della resistenza a trazione della rete secondo norma UNI EN 10223-3:2013.

Filo

Il filo utilizzato nella produzione del Terramesh® Verde è rivestito con Galmac classe A, (lega eutettica di Zinco - Alluminio 5%). Successivamente è applicato un rivestimento polimerico con spessore nominale di 0.50 mm, per consentire una maggiore protezione anche per l'utilizzo in ambienti aggressivi, o per opere idrauliche di qualsiasi genere.

Tutti i test sul filo devono essere fatti prima della fabbricazione della maglia.

1. **Resistenza a trazione:** i fili utilizzati per la produzione della maglia e del filo di legatura, dovranno avere una resistenza a trazione di 350-550 N/mm², in conformità a quanto previsto dalla UNI-EN 10223-3:2013. Le tolleranze sul filo (Tab. 3) sono in accordo alla UNI-EN 10218 (Classe T1).
2. **Allungamento:** L'allungamento non deve essere inferiore all' 8%, (UNI-EN 10223-3:2013).
3. **Rivestimento Galmac:** le quantità minime di Galmac riportate in Tabella 3 soddisfano le disposizioni delle UNI-EN 10244-2 (Tab. 2 - Classe A).
4. **Aderenza del rivestimento:** l'aderenza del rivestimento Galmac dovrà essere in accordo a UNI EN 10244.
5. **Resistenza del rivestimento Galmac alla prova di invecchiamento accelerato** in ambiente contenente anidride solforosa (28 cicli) secondo UNI EN ISO 6988 (ruggine rossa inferiore o uguale al 5%).

Rivestimento Polimerico

Le caratteristiche tecniche e la resistenza all'invecchiamento del rivestimento polimerico sono conformi alla UNI EN 10245-1.

Colore: Grigio tipo RAL 7037

Resistenza a raggi U.V.: dopo esposizione di 4000 ore a raggi U.V. (ISO 4892), le prestazioni meccaniche del polimero di base non variano in misura maggiore al 25%

Resistenza chimica: resistenza agli agenti chimici in concentrazioni che sono normalmente rappresentative dei terreni e dei corsi d'acqua di uso civile.

Resistenza del filo alla prova di invecchiamento accelerato in nebbia salina: secondo EN ISO 9227, fino a 6000 ore (ruggine rossa inferiore o uguale al 5%).

Certificazione di accompagnamento materiali:

Prima della messa in opera e per ogni partita ricevuta in cantiere l'appaltatore dovrà consegnare alla D.L. la Dichiarazione di Prestazione (DOP) rilasciata in originale, nella quale vengono specificati il tipo e nome commerciale del prodotto, la Ditta produttrice, la Ditta a cui viene consegnato il prodotto, la località del cantiere e le quantità fornite.

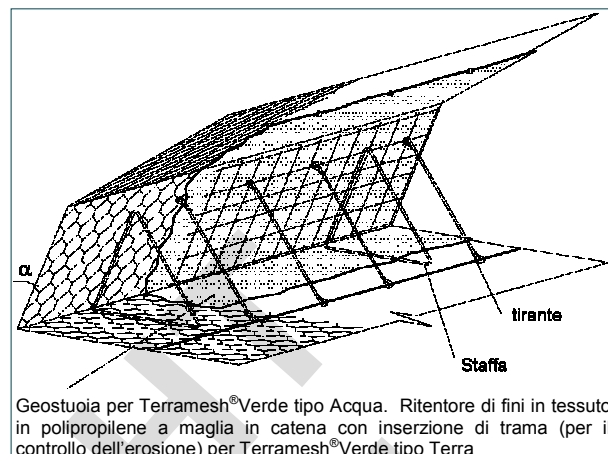


Figura 1

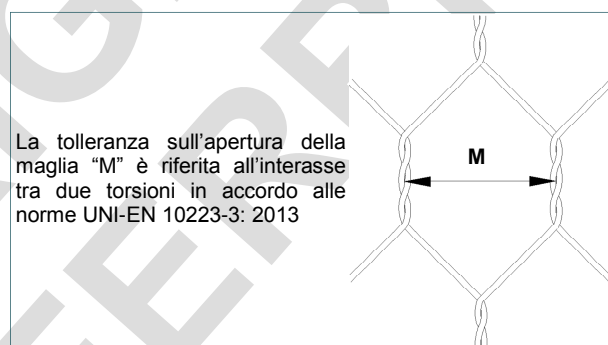
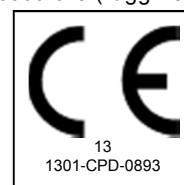


Figura 2

ETA n. 13/0295



1. Tabella delle misure per il Terramesh® Verde

L=Lunghezza (m)		W=Larghezza (m)	H=Altezza (m) / (inclinazione °)
Terramesh Verde	Terramesh Verde Light		
3.0	3.0	3	0.76 / (70°)
4.0	4.0		0.73 / (65°)
5.0	5.0		0.70 / (60°)
6.0	6.0		0.58 / (45°)
7.0	-		
8.0	-		

Tutte le dimensioni sono nominali (Tolleranze di $\pm 5\%$).

Operazioni di legatura

Le operazioni di legatura possono essere effettuate utilizzando gli strumenti mostrati nella Fig.5. I punti metallici in acciaio, aventi le seguenti caratteristiche, possono essere utilizzati invece del filo di legatura (Figure. 3, 4):

- diametro 3.00 mm,
- carico di rottura: 170 kg/mm²

Lo spazio fra i punti non deve eccedere i 200 mm (Fig.3)

Richiesta d'offerta

Quando si richiede un'offerta, specificare:

- dimensioni (lunghezza x larghezza x altezza, Tab. 1)
- tipo di maglia
- tipo di rivestimento

ESEMPIO: N. 100 Terramesh® Verde 4x3x0.70m - 60°- tipo di maglia 8x10- Wire 2.2/3.2 mm- rivestimento Galmac e polimerico.

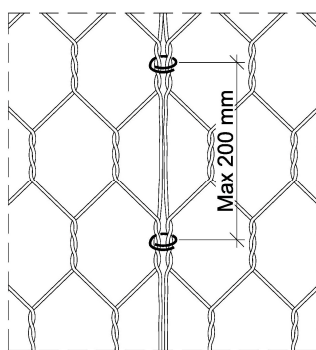


Figura 3 - Punti metallici

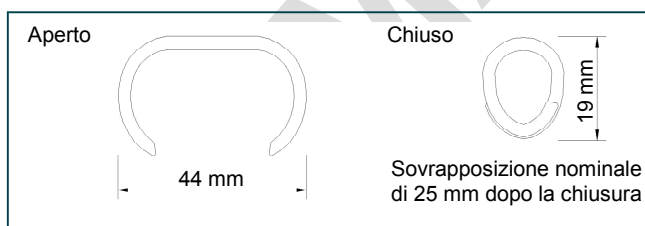


Figura 4

2. Combinazioni standard di Maglia-Filo

Tipo	M (mm)	Tolleranza (mm)	Diametro Filo (mm)	Resistenza nominale a rottura (kN/m)	Carico medio a punzonam. (kN)
8x10 Light	80	-0/+10	2.20/3.20	35	40
8x10	80	-0/+10	2.70/3.70	50	67

3. Tipologie standard dei diametri di filo

		Filo della Maglia	Filo Bordatura	Filo di Legatura
Diametro interno filo	ø mm	2.20 2.70	2.70 3.40	2.20
Tolleranza Filo	($\pm$) ø mm	0.06	0.06 (2.70) 0.07 (3.40)	0.06
Q.tà minima rivestim.	gr/m ²	230 (2.20) 245 (2.70)	245 (2.70) 265 (3.40)	230



B Pistola Spenax



C Strumento manuale

Figura 5

Officine Maccaferri Italia S.r.l.

Via Kennedy, 10 - 40069 Zola Predosa (BO) - Italy

Tel. (+39) 051-6436000 - Fax (+39) 051-6436201

E-mail: info@it.maccaferri.com - Web site: www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato da Bureau Veritas
e con accreditamento Accredia e Ukas.

AZIONE SISMICA NTC 2018

(D.M. 17/03/ 2018 - D.M. 14/01/08, Circ. n°617 del 2009)

Per l'allegato A Pericolosità sismica di base nel sito interessato **Latitudine N 43.1384 e Longitudine E 13.0692** risulta un valore di **accelerazione orizzontale massima " $ag = 0,200 \text{ m/s}^2$ "** su substrato roccioso.

Per l'allegato B Parametri dell'azione sismica (Tabella 1) si riporta per 9 valori del periodo di ritorno T_R (30-50-72-101-140-201-475-975-2475) anni – compresi tra **ID 22749 e ID 23415** i valori dei parametri:

ag accelerazione orizzontale massima, espressa in g/10; **Fo** valore max del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, adimensionale; **Tc** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale, in secondi).

RISPOSTA SISMICA LOCALE (Tab. 3.2.II) NTC 2018

Le misure reperite delle velocità delle onde sismiche orizzontali prova MASW ed HVSR (reperite ed allegate), effettuate in zona adiacente (Parcheggio Università a monte) riscontrano rispettivamente una

V_s equ. (0-30) = 0,403 m/s ; V_s equ. (0-30) = 0,370 m/s

NTC 2018 - Categoria del suolo B :

"Rocce tenere e Depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s 30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (Tab. 3.2.IV)

Pendii (versanti) con inclinazione media $i < 15^\circ$ Categoria **T1** .

VALUTAZIONE AZIONE SISMICA NTC 2018

Amplificazione stratigrafica Categoria **B** (tabella 3.2. V- Espressioni di **SS** e **CC**)

COEFFICIENTE **Ss**
 $1,00 \leq 1,40 - 0,4 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$

COEFFICIENTE **Cc**
 $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$

Amplificazione topografica **T1** per la zona in esame **St = 1,0** ;

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale :

$S_s = 1,0$ $T_B = 0,05 \text{ s}$ $T_c = 0,15 \text{ s}$ $T_D = 1,0 \text{ s}$;

Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali :

Categoria suolo **B** parametri $T_E \text{ (s)} = 5,0$, $T_F \text{ (s)} = 10,0$.

Camerino, li 06 luglio 2020

Il geologo



Fig. 1 - CARTA GEOLOGICA -

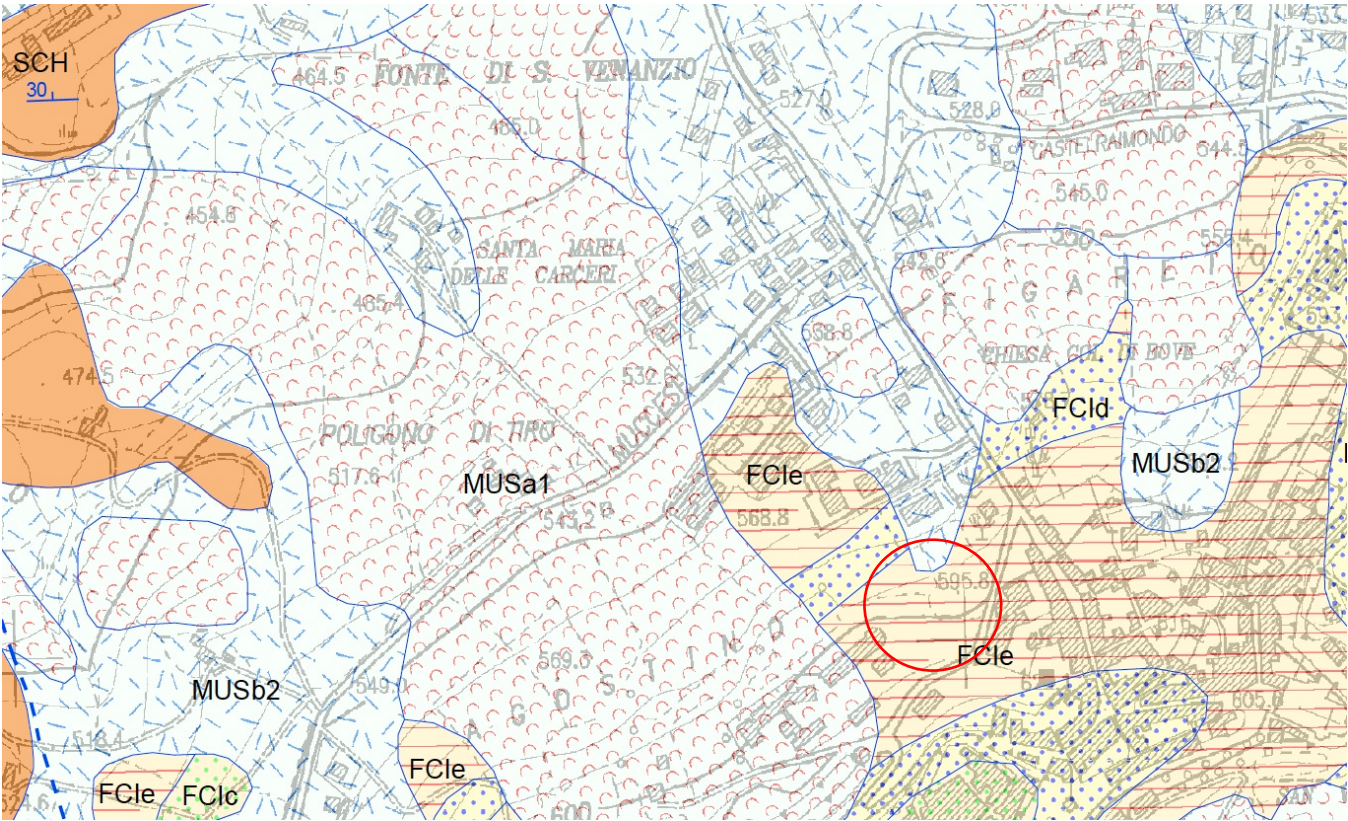
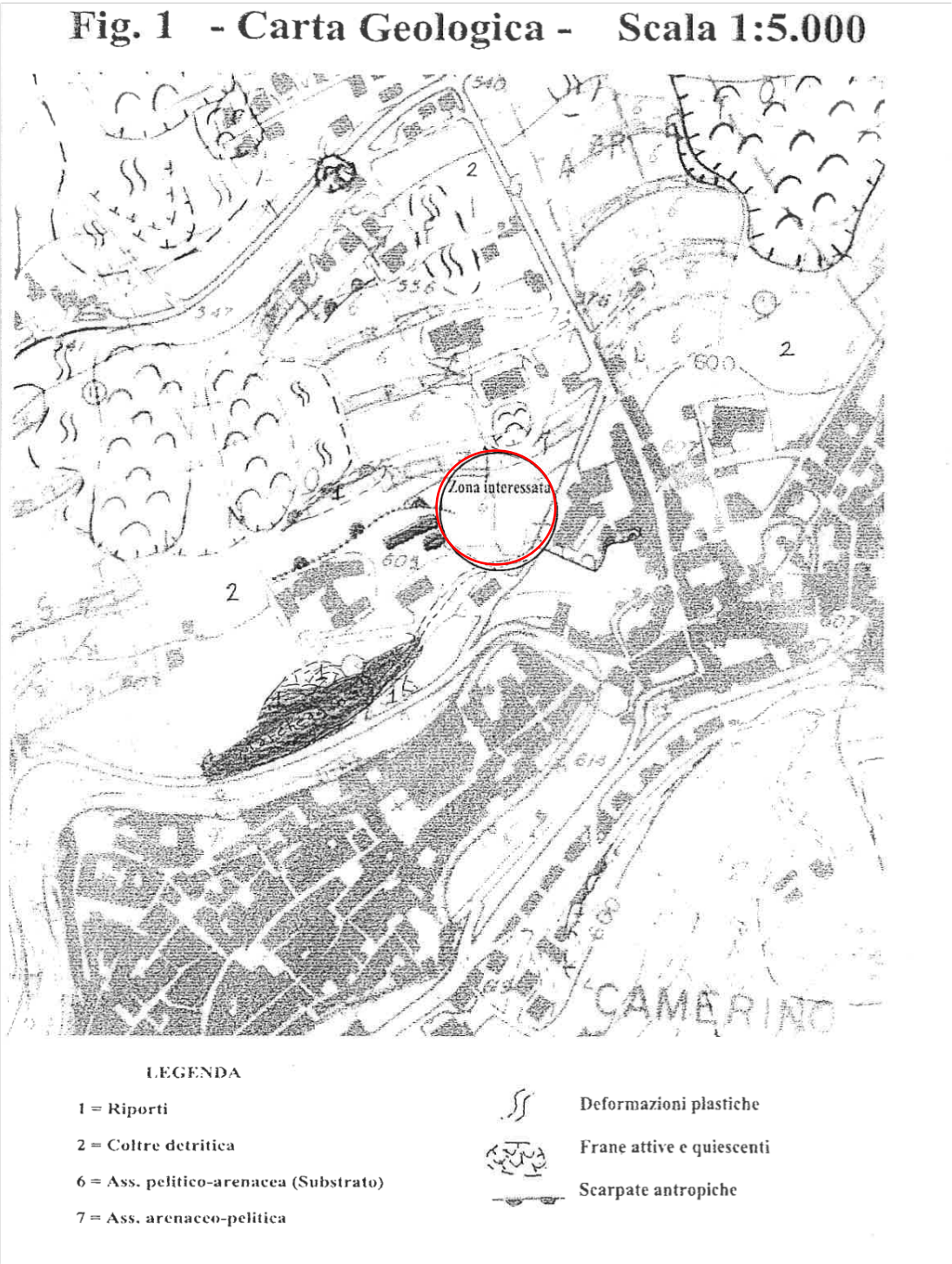
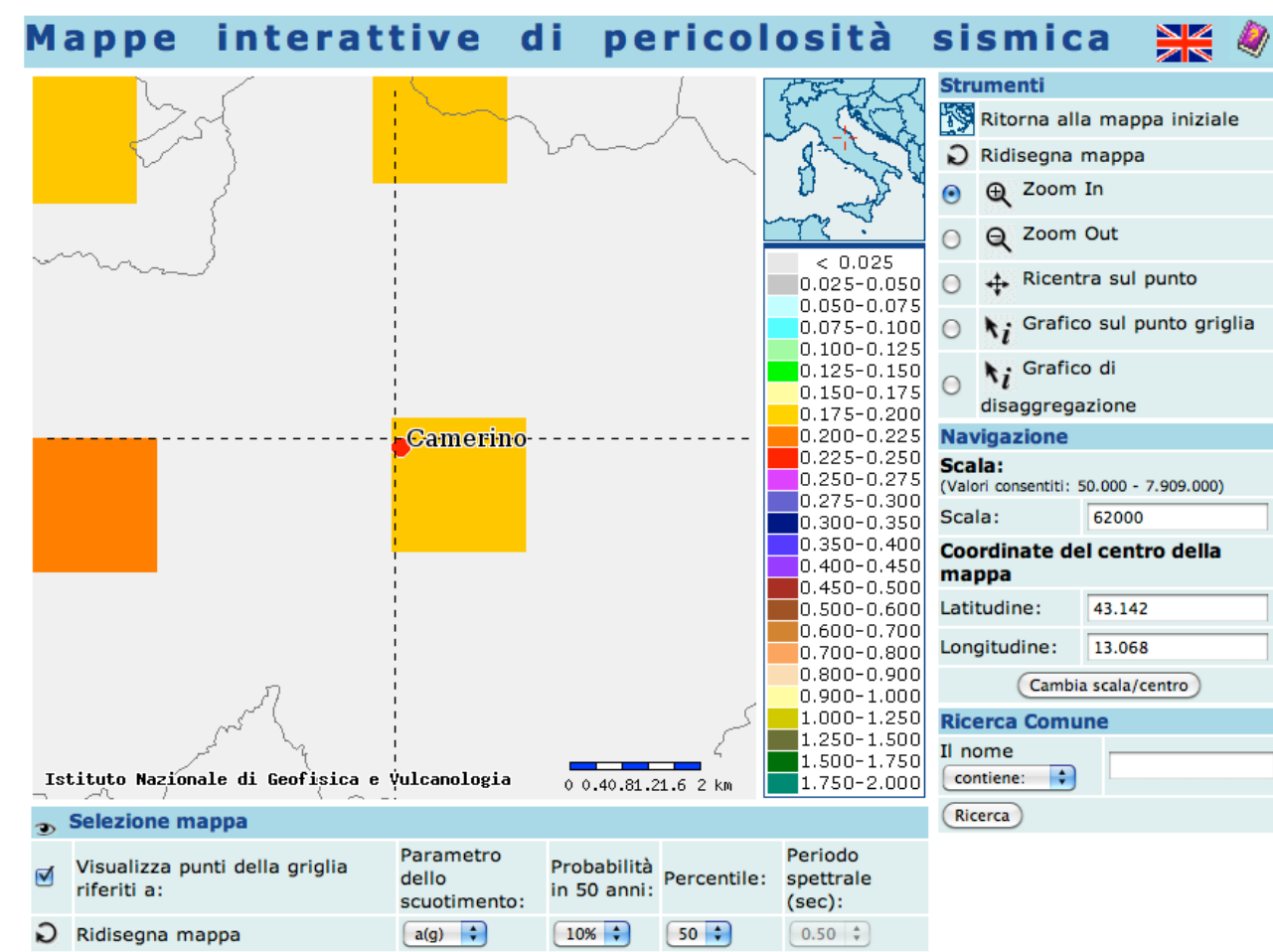
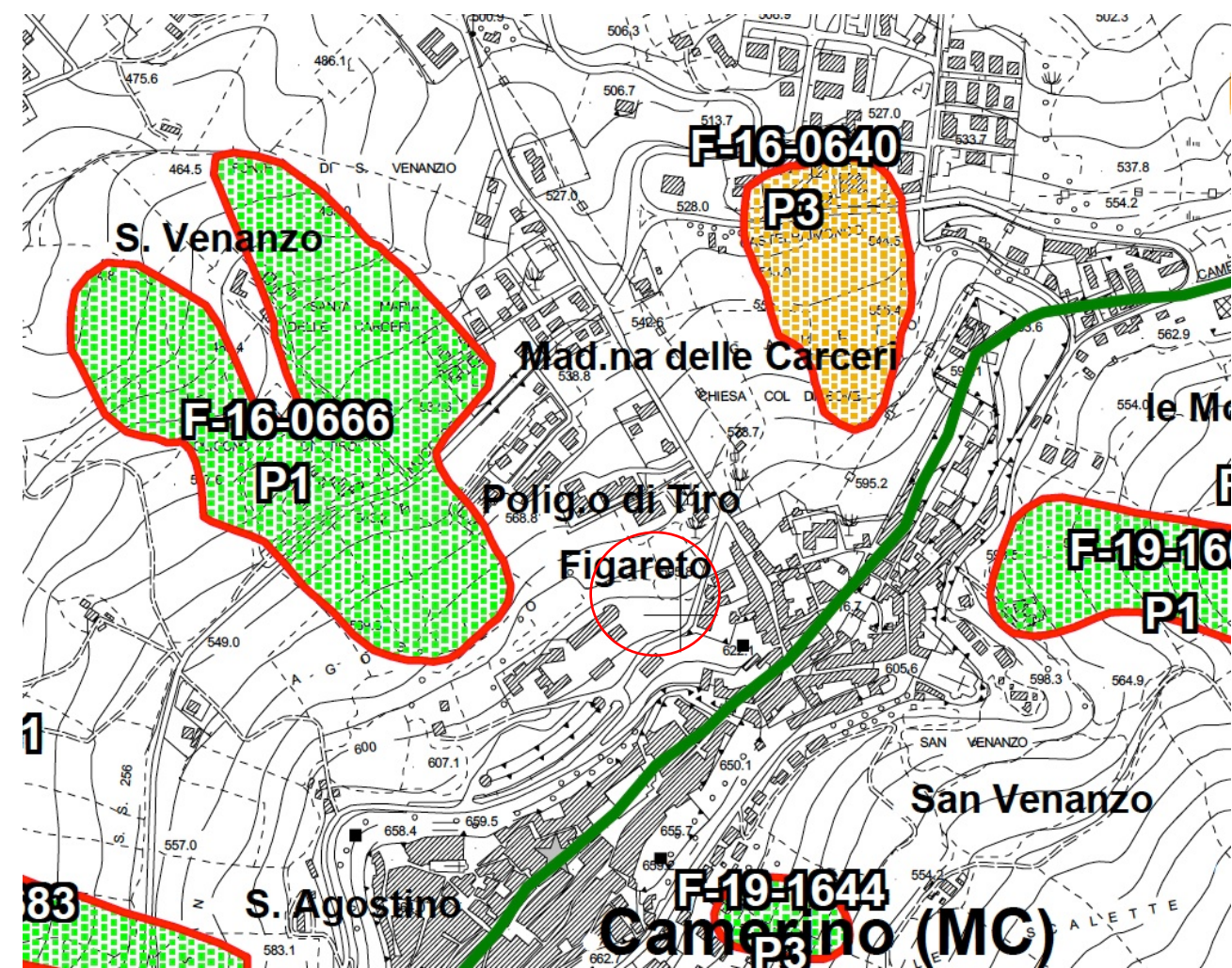


Fig. 1.1 - Carta pericolosità sismica INGV -



Accelerazione orizzontale massima “ $a_g = 0,200$ ” su substrato roccioso

Fig. 1.2 Verifica PAI -



Ubicazione zona

Fig. 2 Carta Tecnica Ubicazione Strada e zona Parcheggio

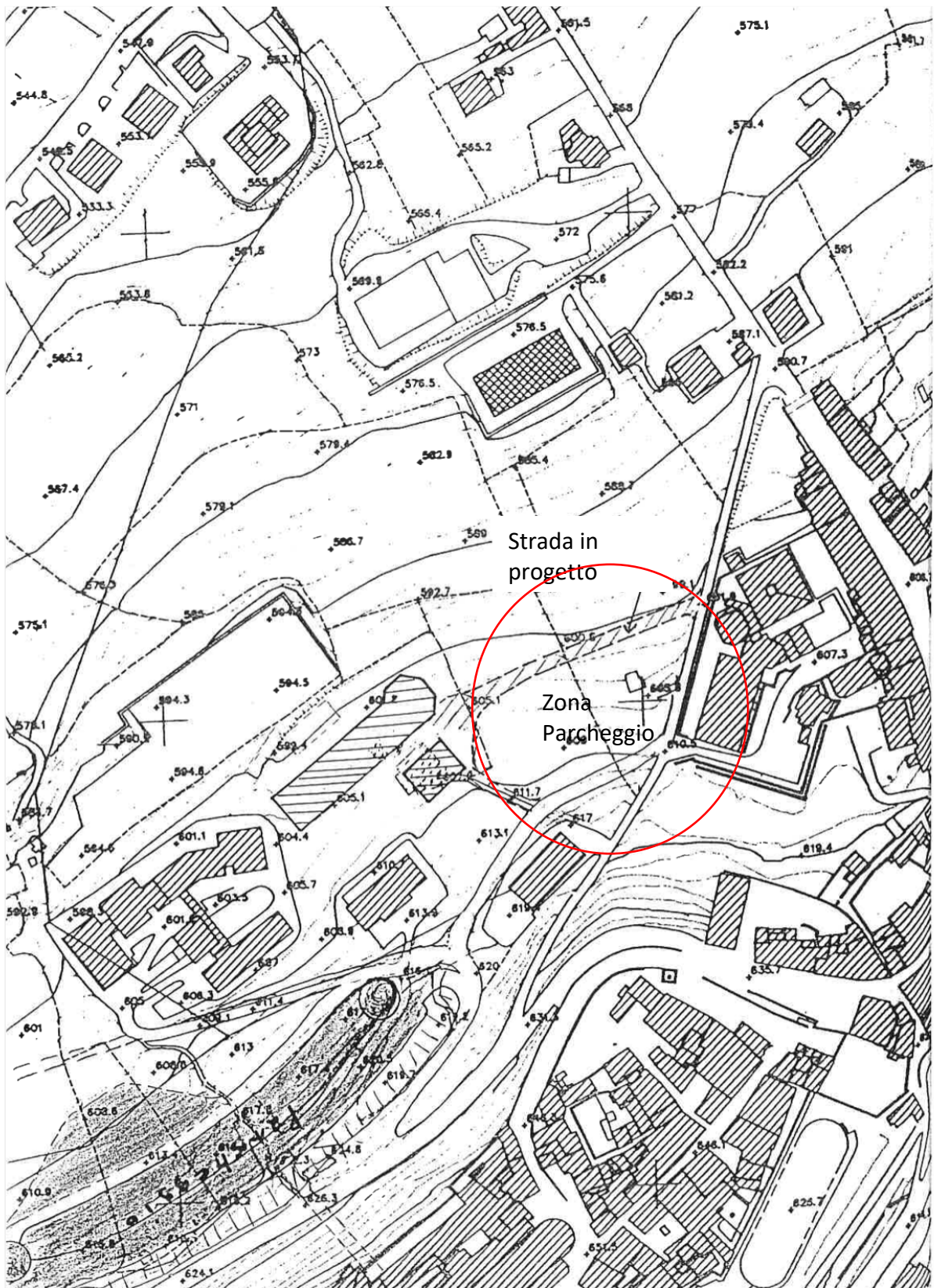


Fig. 3a - PLANIMETRIA GENERALE -

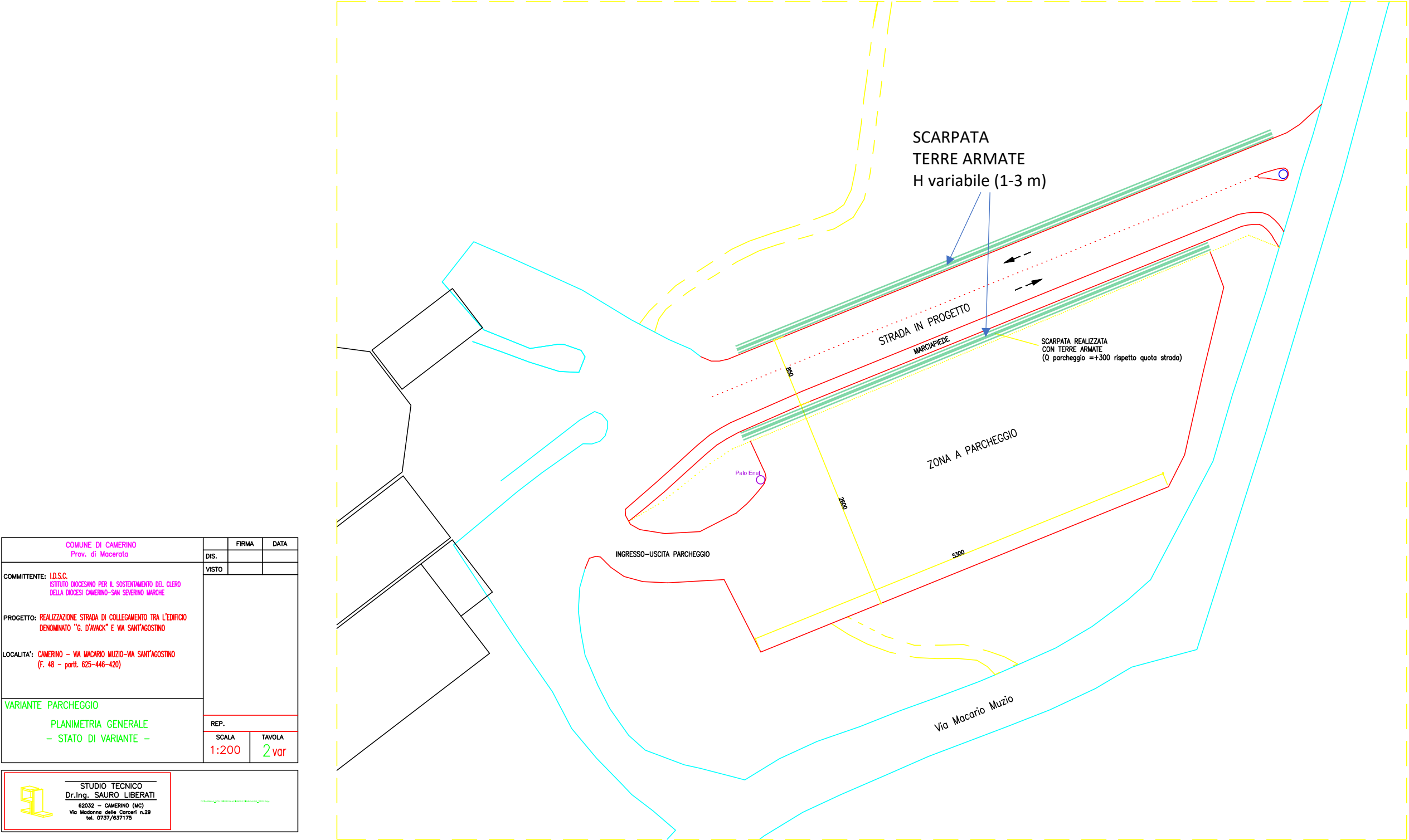


Fig. 3 - PLANIMETRIA UBICAZIONE SONDAGGI - Scala 1:500

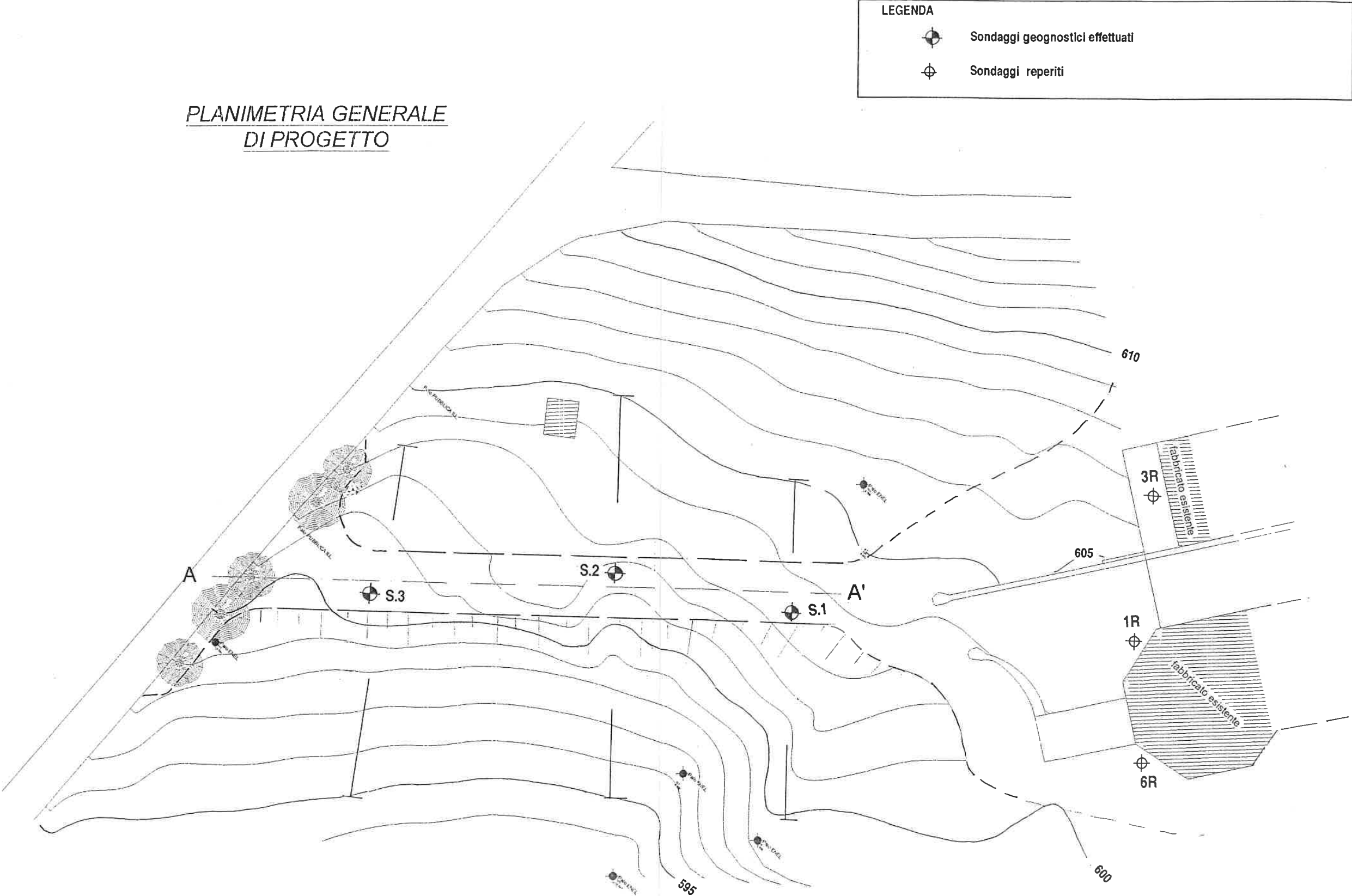


Fig. 4 - PLANIMETRIA - STATO ATTUALE - Scala 1: 500

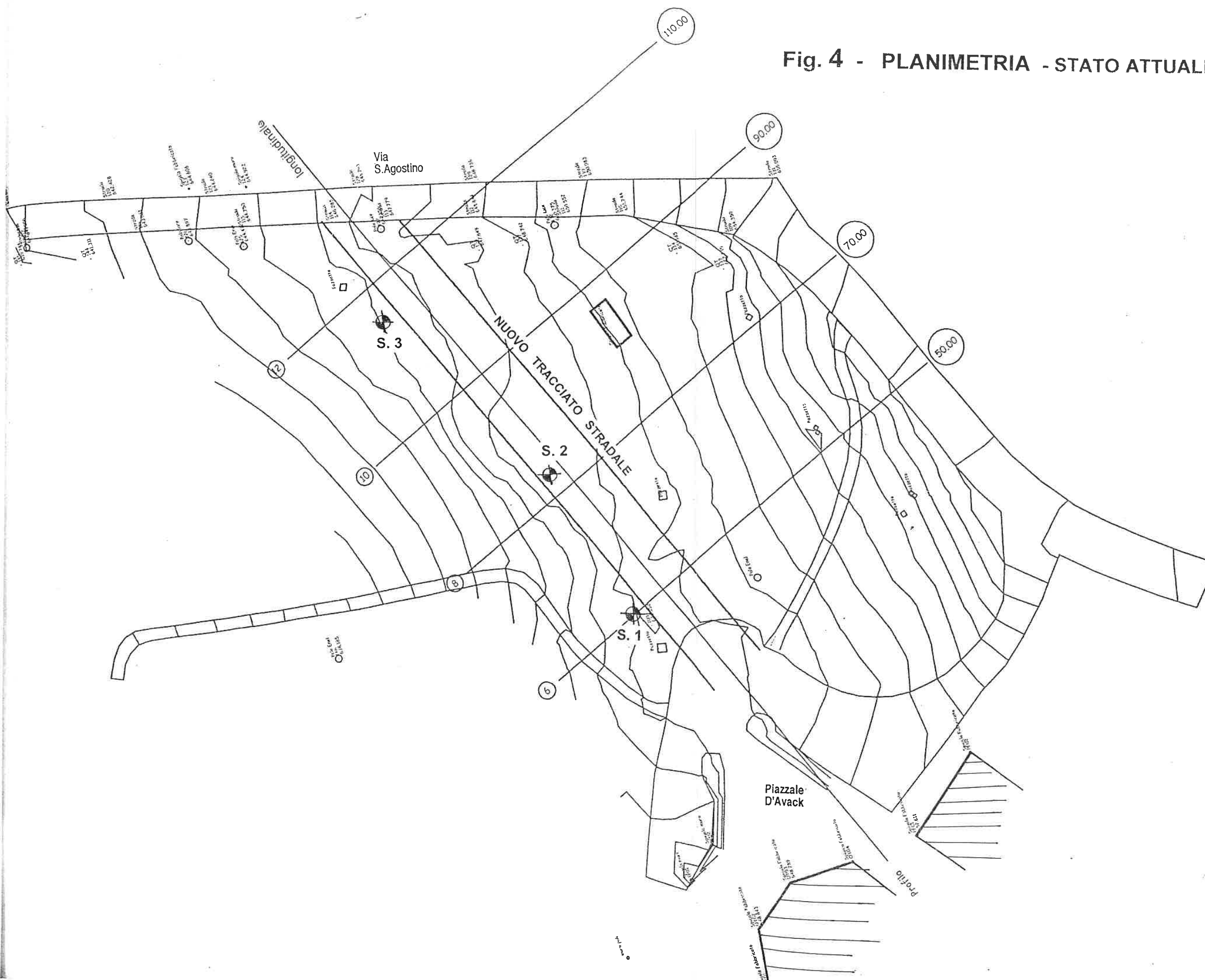


Fig. 5 - SEZIONE LONGITUDINALE -
Con stratigrafie sondaggi geognostici in scala 1:100

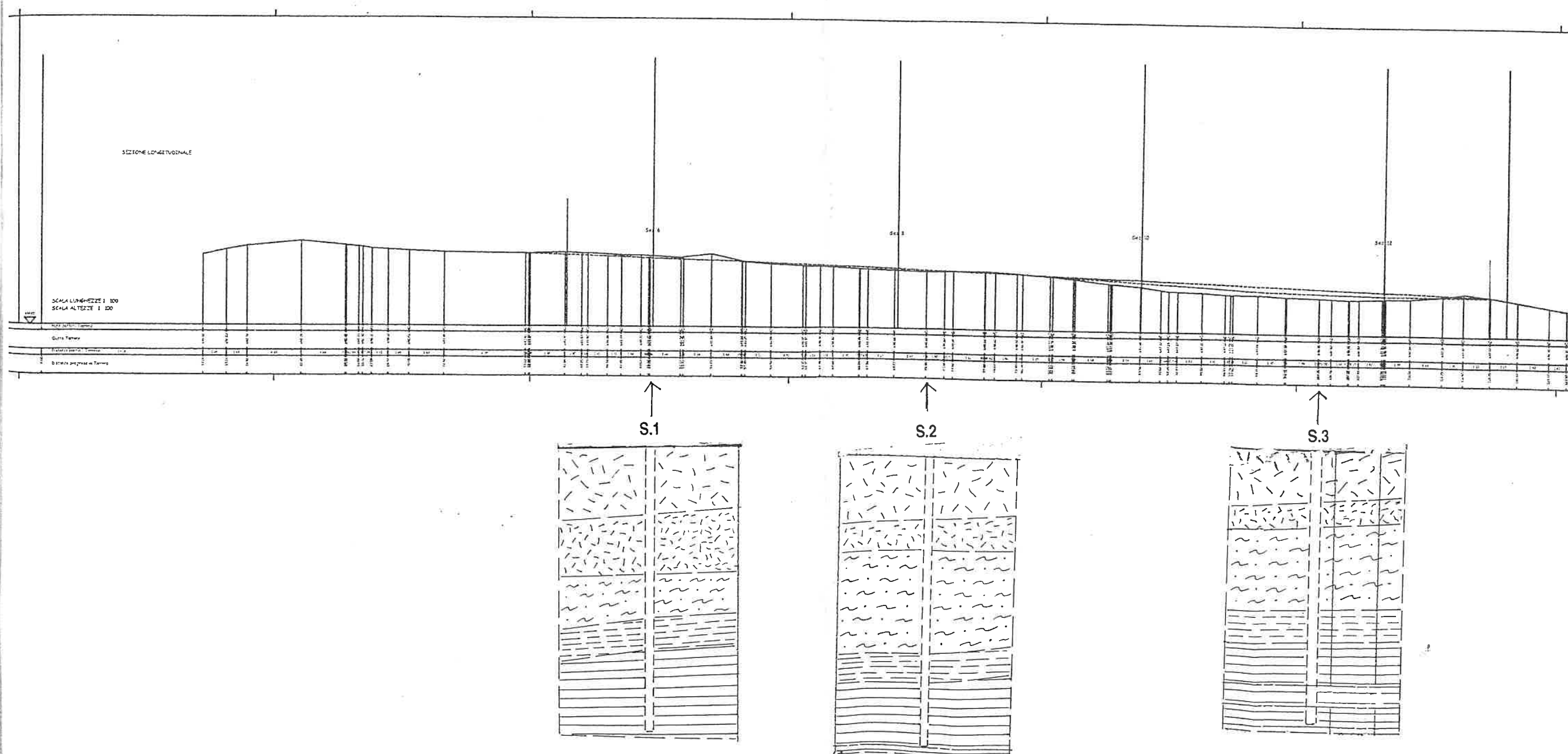
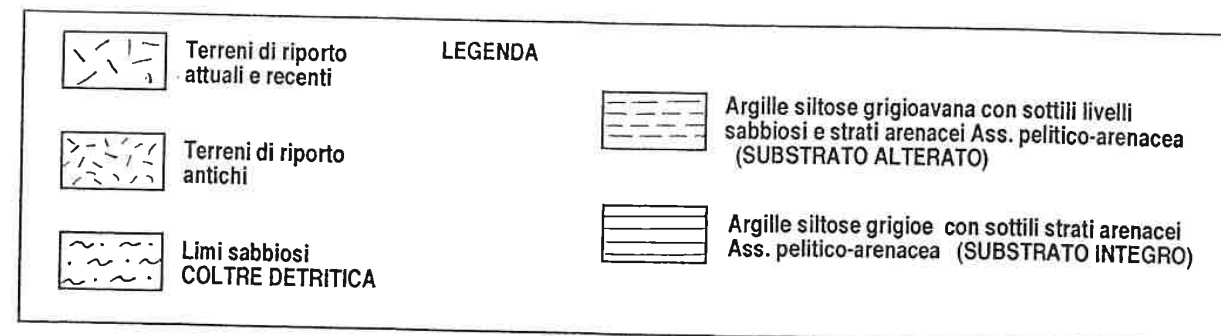
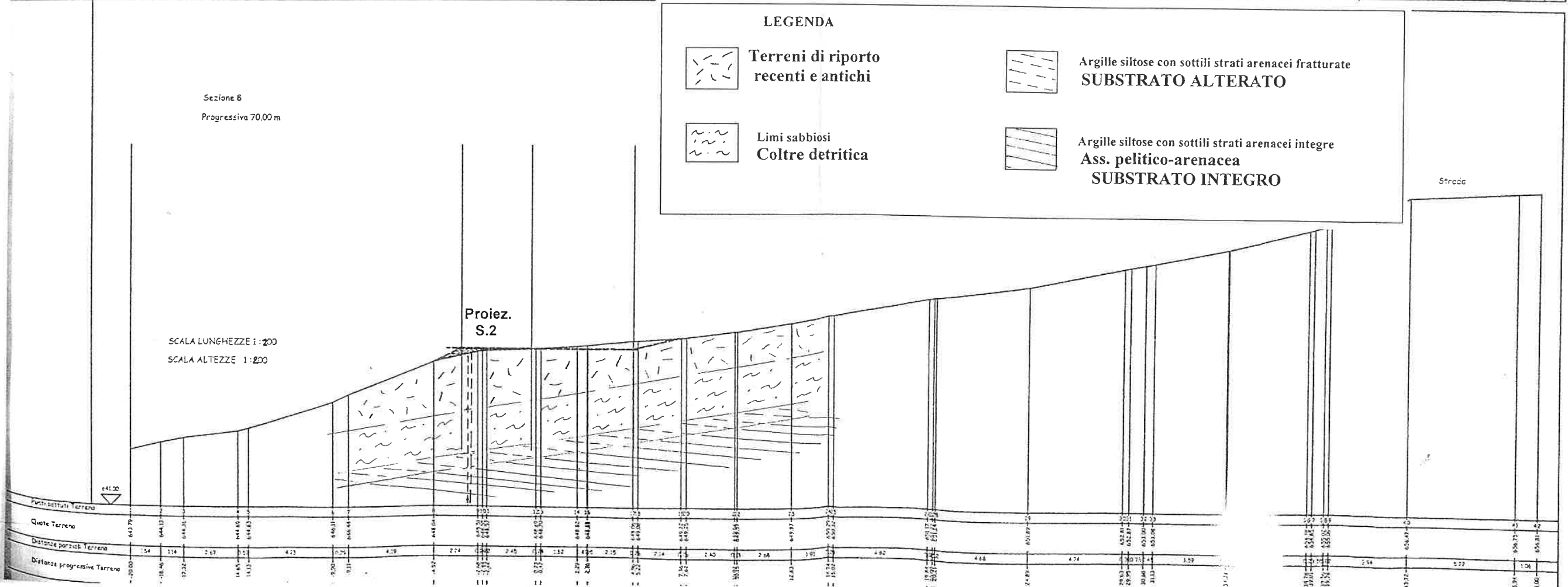
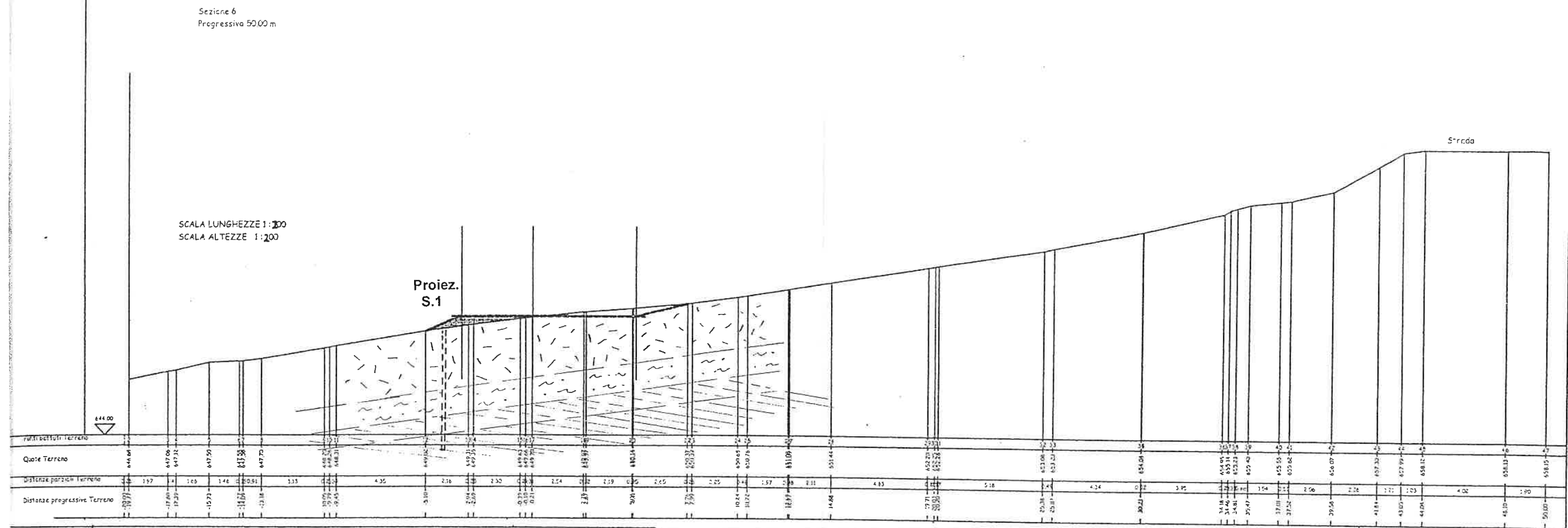


Fig. 6 - SEZIONI TRASVERSALI n. 6 e 8 - Scala 1: 200

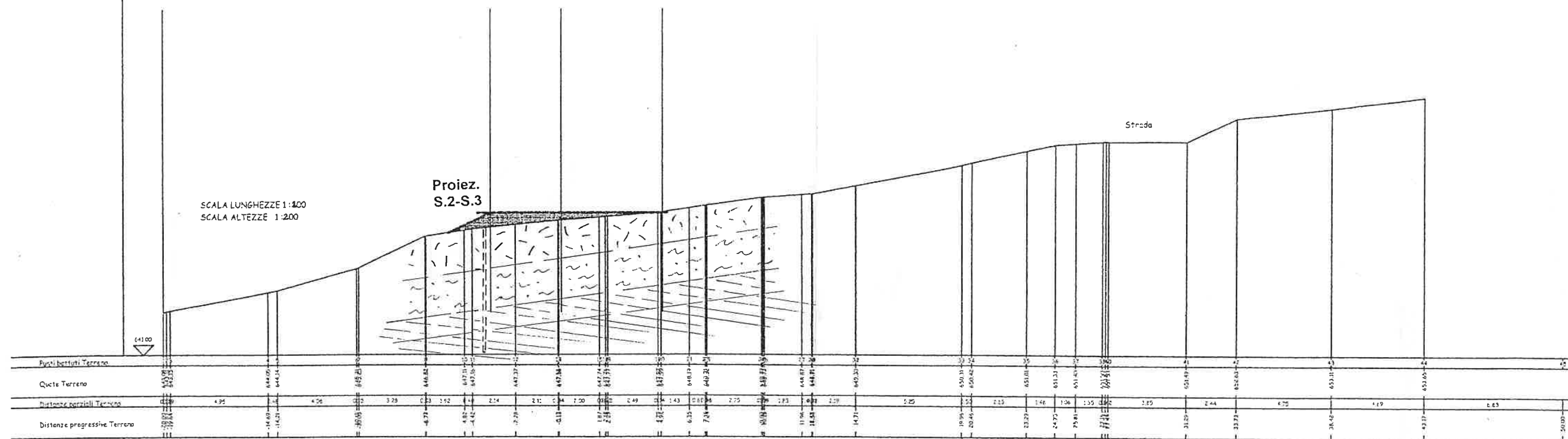


LEGENDA

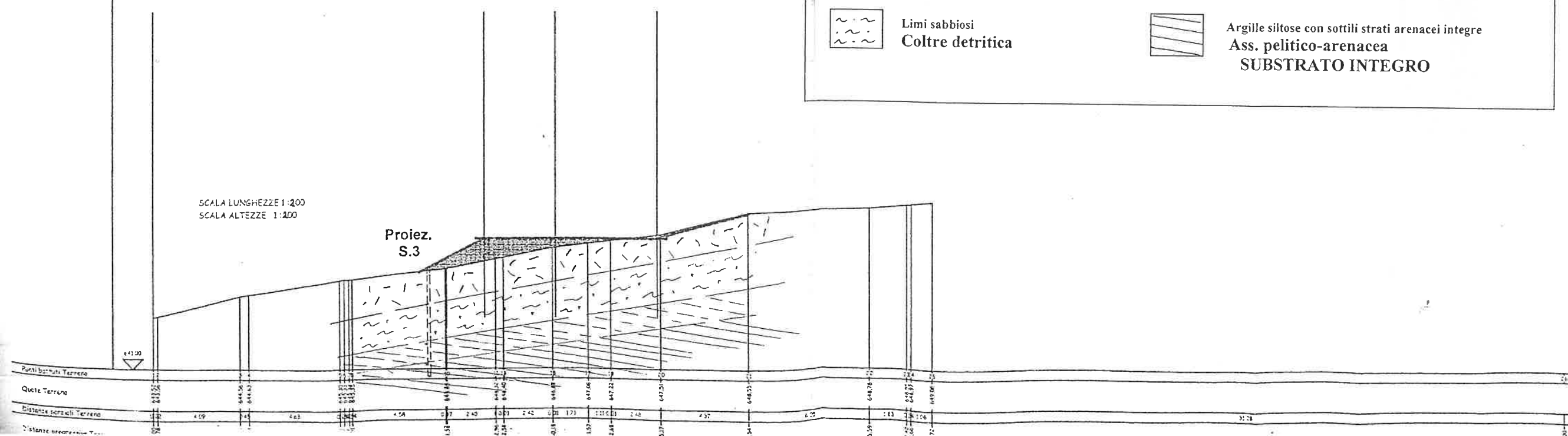
	Terreni di riporto recenti e antichi		Argille siltose con sottili strati arenacei fratturate SUBSTRATO ALTERATO
	Limi sabbiosi Coltre detritica		Argille siltose con sottili strati arenacei integre Ass. pelitico-arenacea SUBSTRATO INTEGRO

Fig. 7 - SEZIONI TRASVERSALI n. 10 e 12 - Scala 1: 200

Sezione 10
Progressiva 90.00 m



Sezione 12
Progressiva 110.00 m



LEGENDA



Terreni di riporto
recenti e antichi



Limi sabbiosi
Coltre detritica

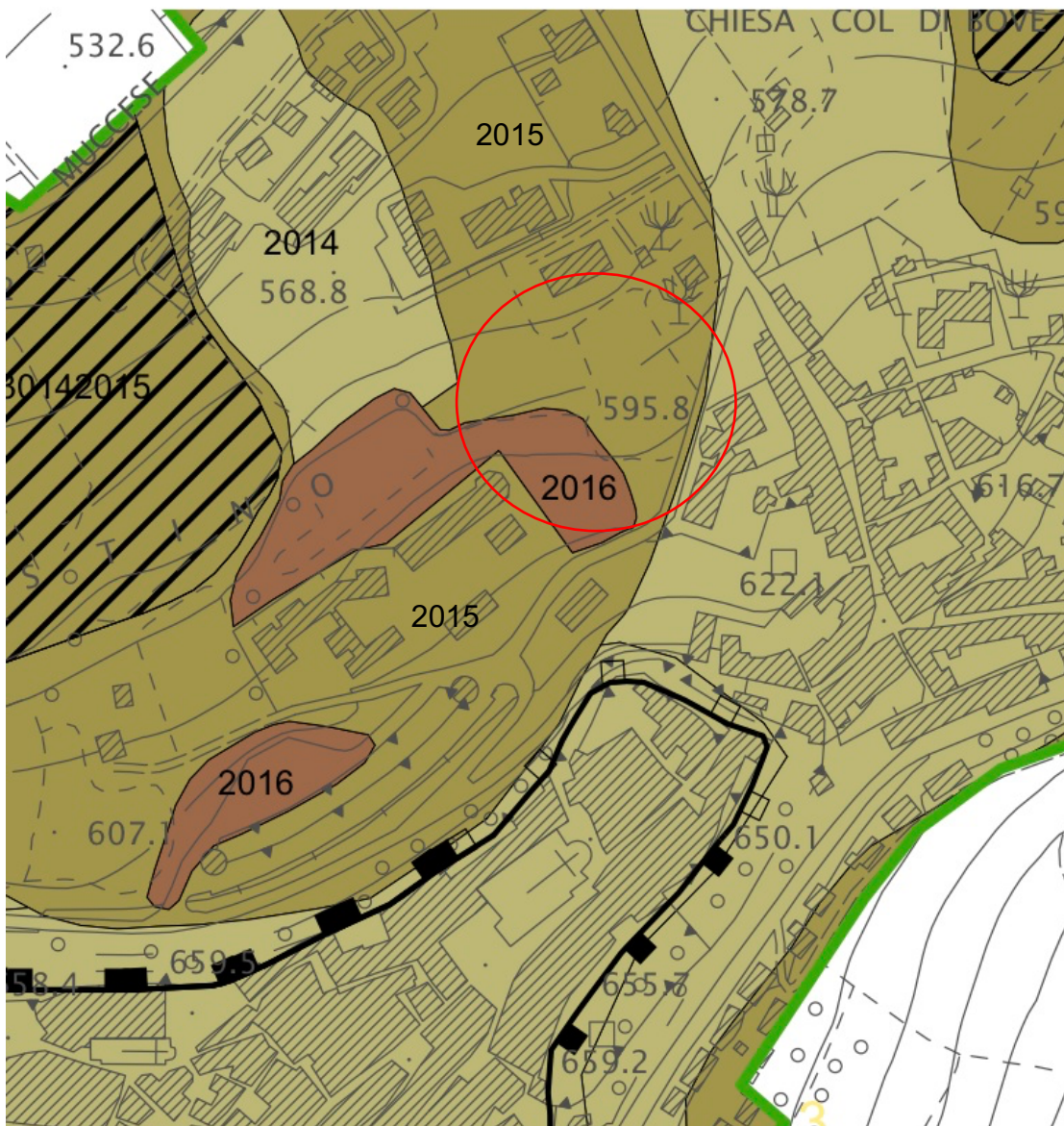


Argille siltose con sottili strati arenacei fratturate
SUBSTRATO ALTERATO



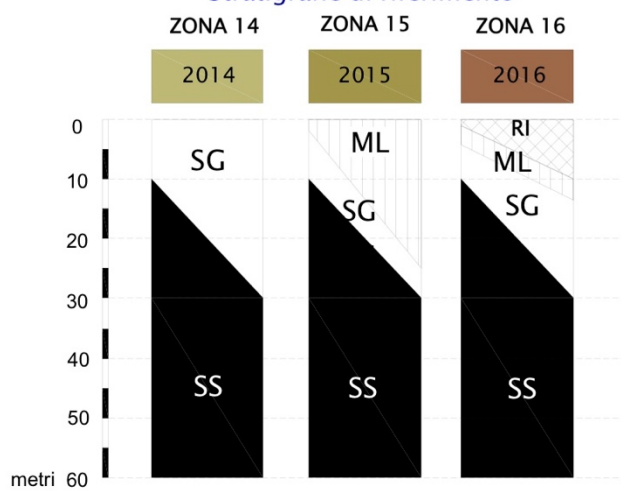
Argille siltose con sottili strati arenacei integre
Ass. pelitico-arenacea
SUBSTRATO INTEGRO

Fig. 8 - MZS 3° liv. Carta delle MOPS –



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Stratigrafie di riferimento



MOPS riscontrate nell'area interessata

Studio di Geologia e Geotecnica

Dr. Geol. Anacleto Pesaresi

Via della Gludecca, 3
62032 - CAMERINO - (MC)
tel. 0737- 632951

Sondaggio n. 1

Comune di : CAMERINO
Località : Complesso D'Avack
Cantiere: Strada di accesso
Committente : I.D.S.C.

PERFORAZIONE:
Rotazione a secco d= 20 cm

DATA:
01/07/03

STRATIGRAFIA	QUOTE		TIPO LITOLOGICO	Rp (kg/cm²)	OSSERVAZIONI
	p.c.	parz.			
1			Limi argillosi con pezzame di substrato e sfondi di costruzione RIPORTO ATTUALE		
2	1,7	1,7	Limi argillosi marroni con pezzame arenaceo e di laterizi RIPORTO ANTICO	2,0	umido
3	3,1	1,4	Limi sabbiosi avana giallastri con frammenti e pezzame arenaceo COLTRE DETRITICA	2,5	molto umido
4	4,2	1,1	Argille siltose grigio avana fratturate con sottili livelli sabbiosi e arenacei (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO ALTERATO	2,0 5,0 6,0	bagnato leggermente umido
5	5,0	0,8	Argille siltose grigio con sottili strati arenacei sottilmente stratificate (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO INTEGRATO	> 6	asciutto
6					
7					
8					
9					
10					

Rp = resistenza alla punta (Pocket penetrometer)

Studio di Geologia e Geotecnica

Dr. Geol. Anacleto Pesaresi

Via della Giudicea, 3
62032 - CAMERINO - (MC)
tel. 0737- 632951

Sondaggio n. 2

Comune di : CAMERINO
Località : Complesso D'Avack
Cantiere: Strada di accesso
Conmittente : I.D.S.C.

PERFORAZIONE:
Rotazione a secco d= 20 cm

DATA:
01/07/03

STRATIGRAFIA	QUOTE		TIPO LITOLOGICO	Rp (Kg/cm²)	OSSERVAZIONI
	p.c.	parz.			
1			Limi argillosi con pezzame di substrato e sfiridi di costruzione RIPORTO ATTUALE		
2	1,5	1,5	Limi argillosi marroni con pezzame arenaceo e di laterizi RIPORTO ANTICO	2,0	leggermente umido
3	2,7	1,2		3,0	molto umido
4	3,7		Limi sabbiosi avana giallastri con frammenti, blocchi e pezzame arenaceo COLTRE DETRITICA	2,0	-3,7 m lieve percol. acqua
5	4,8	2,1		2,5	molto umido
6	5,5	0,7	Argille siltose grigio avana fratturate con sottili livelli sabbiosi e arenacei (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO ALTERATO	5,0 6,0	leggermente umido
7			Argille siltose grigie con sottili strati arenacei sottilmente stratificate (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO INTEGRO	> 6	asciutto
8					
9					
10					

Rp = resistenza alla punta (Pocket penetrometer)

Studio di Geologia e Geotecnica

Dr. Geol. Anacleto Pesaresi

Via della Gludecca, 3
62032 - CAMERINO - (MC)
tel. 0737-632951

Sondaggio n. 3

Comune di : CAMERINO
Località : Complesso D'Avack
Cantiere: Strada di accesso
Committente : I.D.S.C.
PERFORAZIONE:
Rotazione a secco d= 20 cm

DATA:
01/07/03

STRATIGRAFIA	QUOTE		TIPO LITOLOGICO	Rp (kg/cm²)	OSSERVAZIONI
	p.c.	parz.			
1			Limi argillosi con pezzame di substrato e sfondi di costruzione RIPORTO ATTUALE		
	1,1	1,1	Limi argillosi marroni con pezzame arenaceo e di laterizi RIPORTO ANTICO	2,0	leggermente umido
2	1,7	0,6		2,5	molto umido
3			Limi sabbiosi avana giallastri con frammenti e pezzame arenaceo COLTRE DETRITICA	3,0	
4	3,7	2,0	Argille siltose grigio avana fratturate con sottili livelli sabbiosi e arenacei (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO ALTERATO	2,0	bagnato
	4,5	0,8		5,0	leggermente umido
5			Argille siltose grigie con sottili strati arenacei sottilmente stratificate (Ass. pelitico-arenacea) SUBSTRATO INTEGRATO	6,0	
6				> 6	asciutto
7					
8					
9					
10					

Rp = resistenza alla punta (Pocket penetrometer)

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.

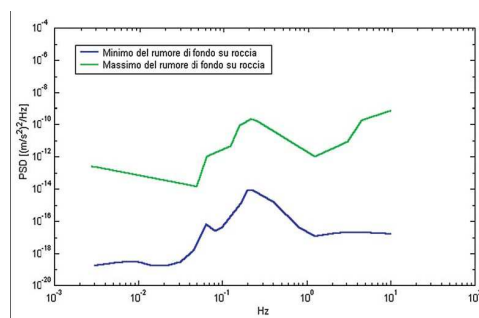


Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

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.

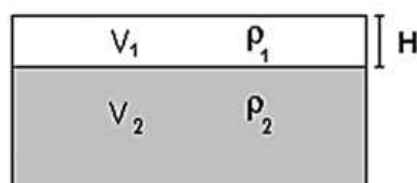


Fig. 2: **Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V**

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:

$$(f_r) = V_{s1}/4H \quad (f_r) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

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,
 - ⇒ liscio 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:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

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

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].

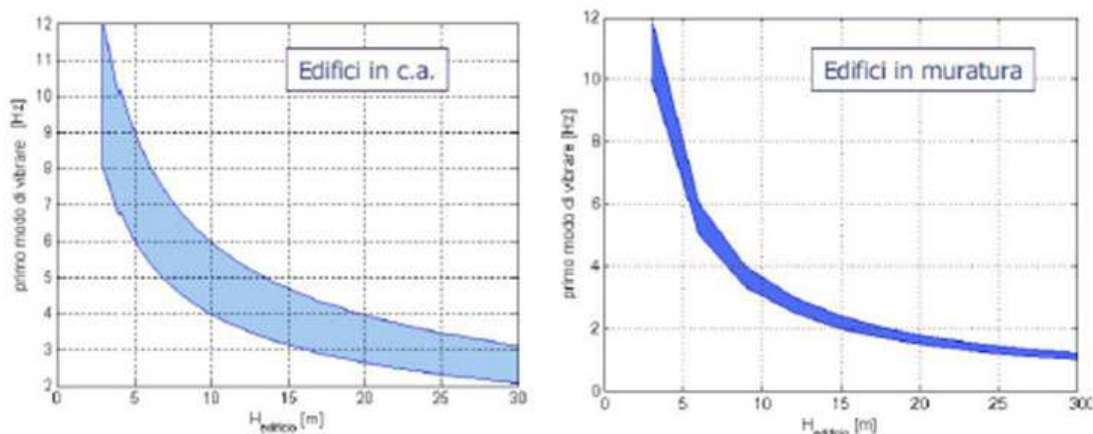


Fig 3:

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

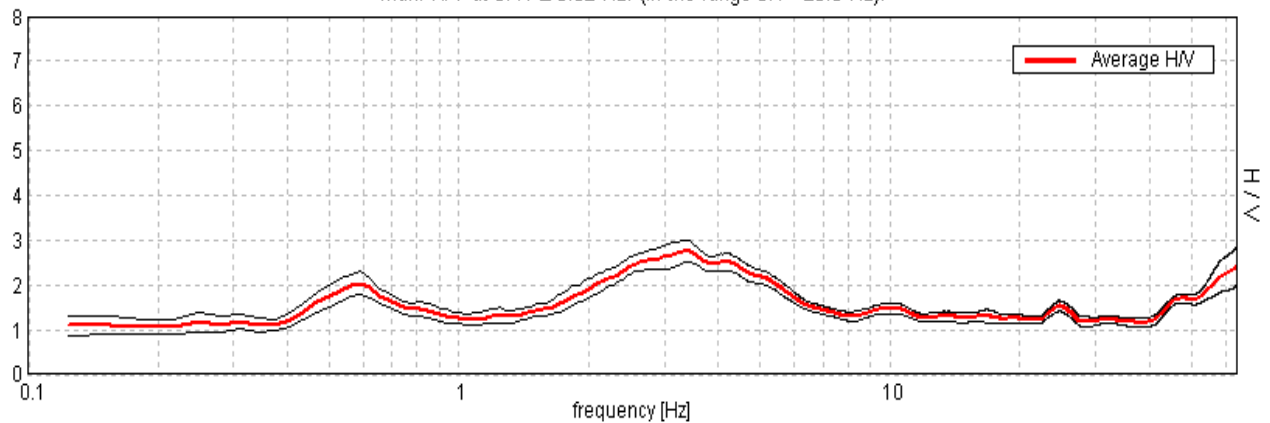
Comm: Condominio Via Ridolfini - Cant.: Via Ridolfini - Camerino (MC)

Cielo	<i>Sereno</i>	Vento	<i>Assente</i>	Precipitazioni	<i>Assenti</i>	Orientamento	0°N
--------------	---------------	--------------	----------------	-----------------------	----------------	---------------------	------------

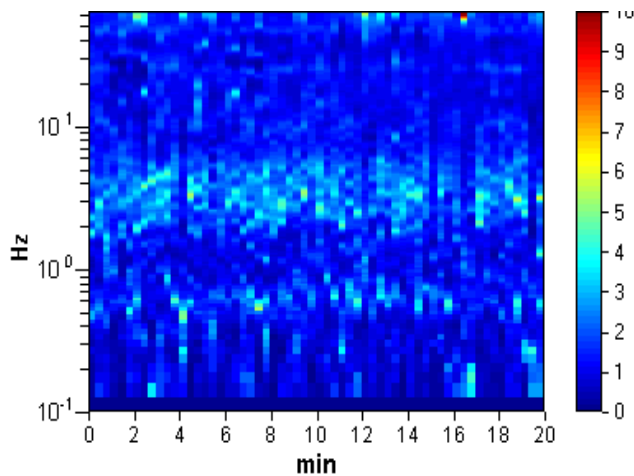
Instrument: TEP-0040/01-09
Start recording: 06/04/20 11:08:53 End recording: 06/04/20 11:28:53
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

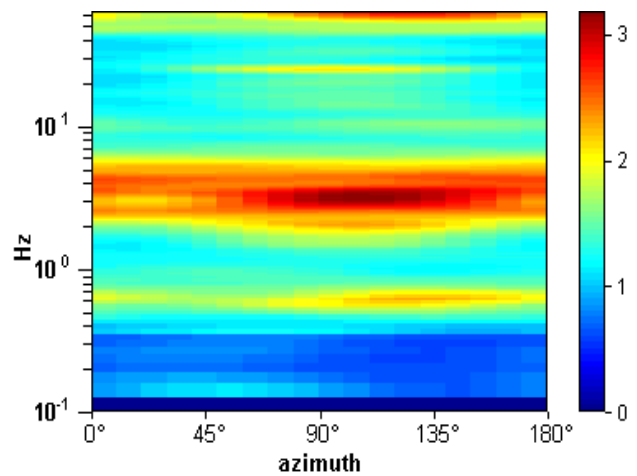
Max. H/V at 3.41 ± 0.52 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



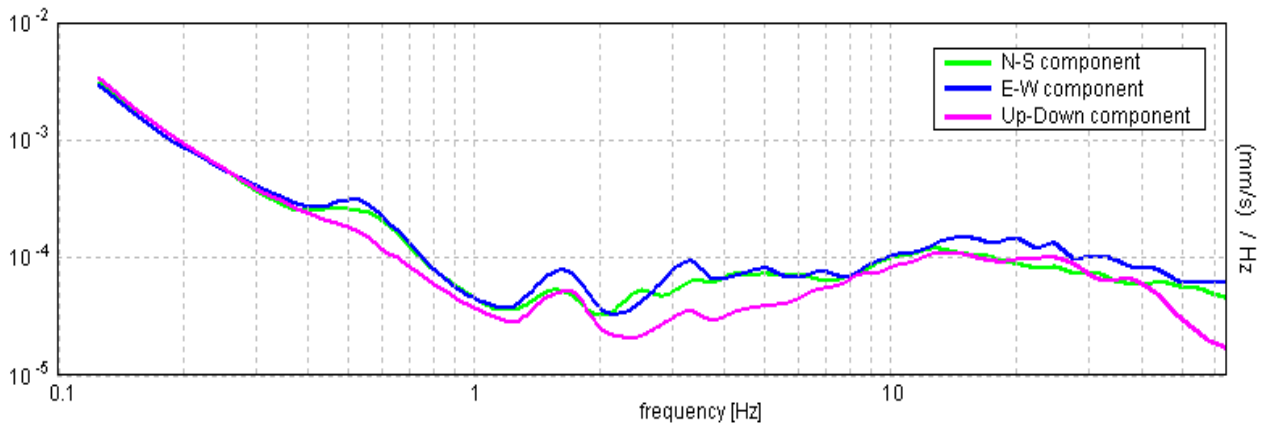
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

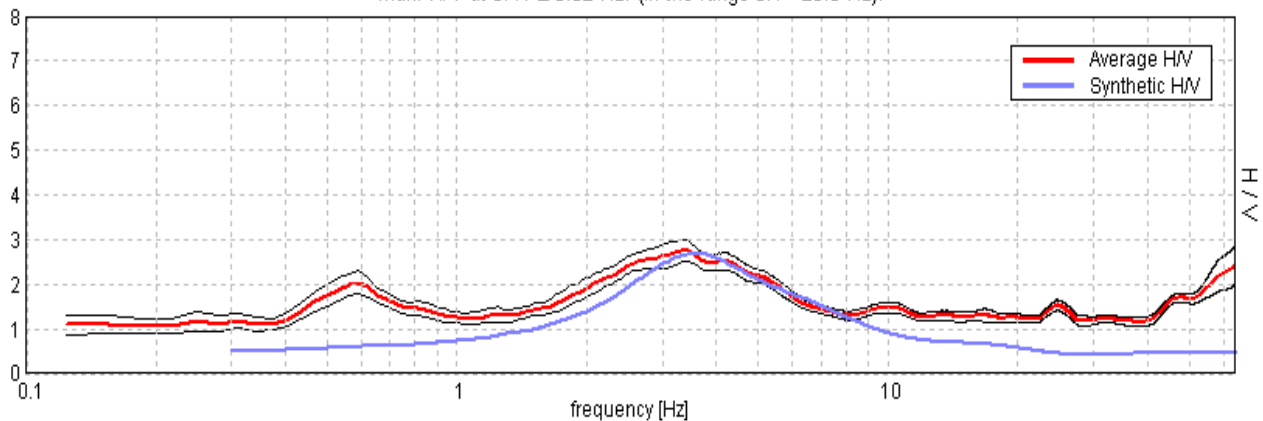


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 3.41 ± 0.52 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	190	0.40
10.00	7.00	290	0.40
23.00	13.00	440	0.38
48.00	25.00	600	0.35
inf.	inf.	780	0.35

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

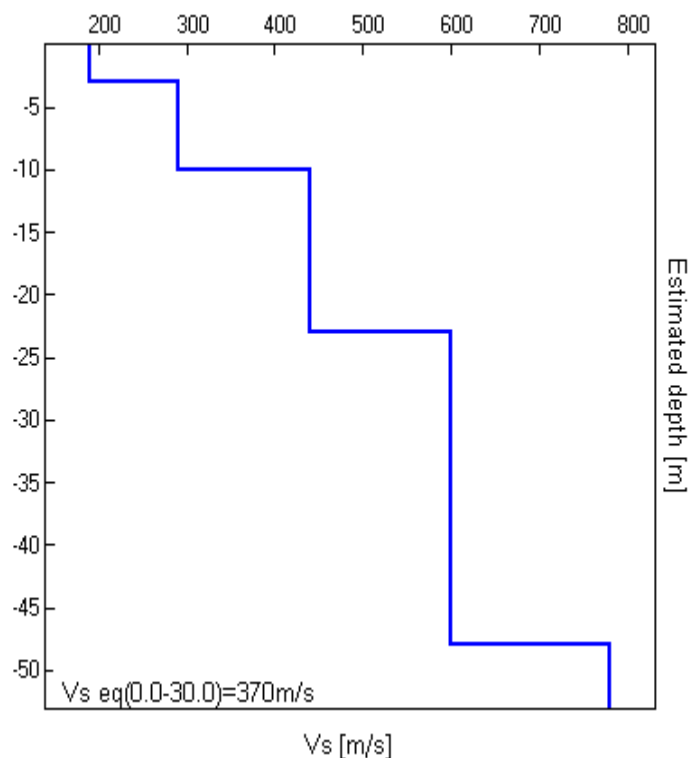
h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ 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 eq (0.0-30.0)=370m/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.10,00 riconducibile ai terreni di copertura e alla parte maggiormente alterata della formazione.

sismostrato 2: da m.10,00 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 780.

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 una frequenza massima di picco pari a $Hz\ 3,41 \pm 0,52$.

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 $0,58\ Hz \leq f \leq 0,60\ Hz$ e $2,08\ Hz \leq f \leq 5,45\ Hz$ con picchi rispettivamente a 0,59 Hz e a 3,41 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.

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 3.41 ± 0.52 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.41 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4087.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 164 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.76 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15276 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.52034 < 0.17031$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2412 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE



Introduzione e riferimenti normativi

Scopo dell'indagine MASW, eseguita mediante sismografo 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

CENNI SULLA METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali in corrispondenza dei geofoni posti lungo uno stendimento. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, mentre le onde a bassa frequenza raggiungono gli strati più profondi. Il metodo utilizzato nell'indagine è *attivo* e consente di ottenere una curva di dispersione sperimentale nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz fornendo informazioni sulla parte più superficiale del suolo. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni. La metodologia MASW non è influenzata dai fenomeni di inversione di velocità o presenza di falde acquifere superficiali consentendo di individuare il profilo di velocità V_s anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura A.1 e A2, può essere suddiviso in tre fasi: 1) Acquisizione (Figura A.1); 2) Processing (Figura A.2); 3) Inversione (Figura A.3).

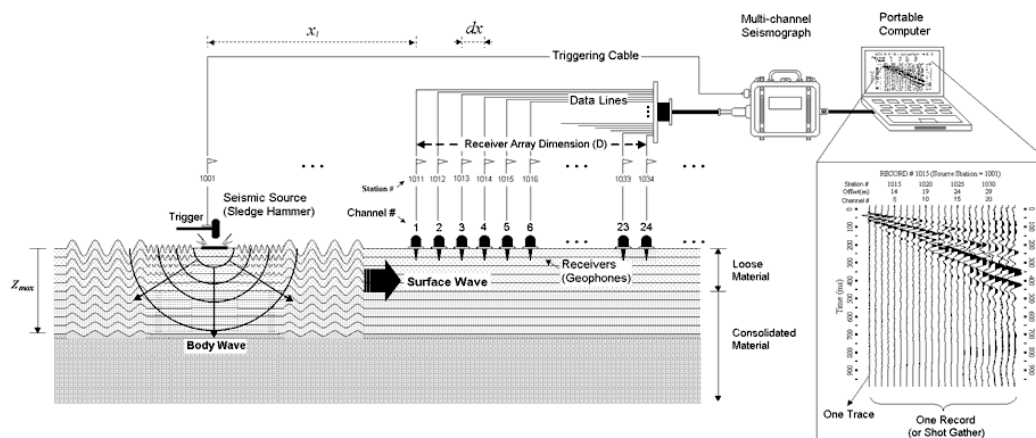


Fig. 1 – Schema acquisizione M.A.S.W.

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. La metodologia di *processing* più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda).

I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura A.2). Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto iterativamente variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica).

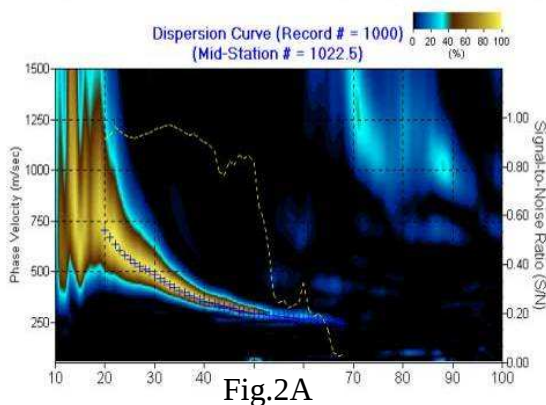


Fig.2A

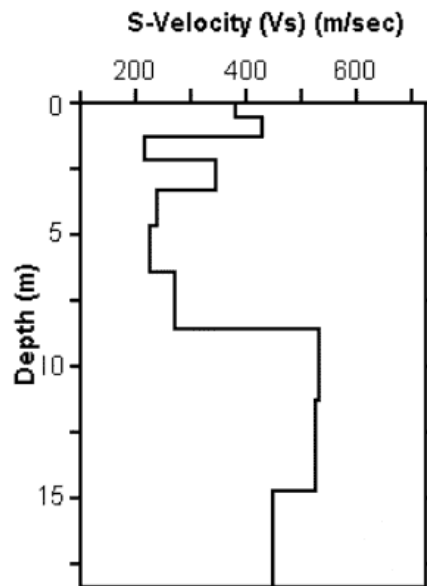


Fig.2B

Fig.2 – A- Esempio curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di Fase
B - Esempio del profilo di velocità

UBICAZIONE

La relazione illustra i risultati dell'indagine sismica MASW eseguita presso un'area nel territorio comunale di Camerino (MC), presso via Ridolfini, riguardante una proprietà denominata Condominio via Ridolfini, destinata alla ristrutturazione di fabbricati in seguito alla crisi sismica iniziata il 24 agosto 2016.

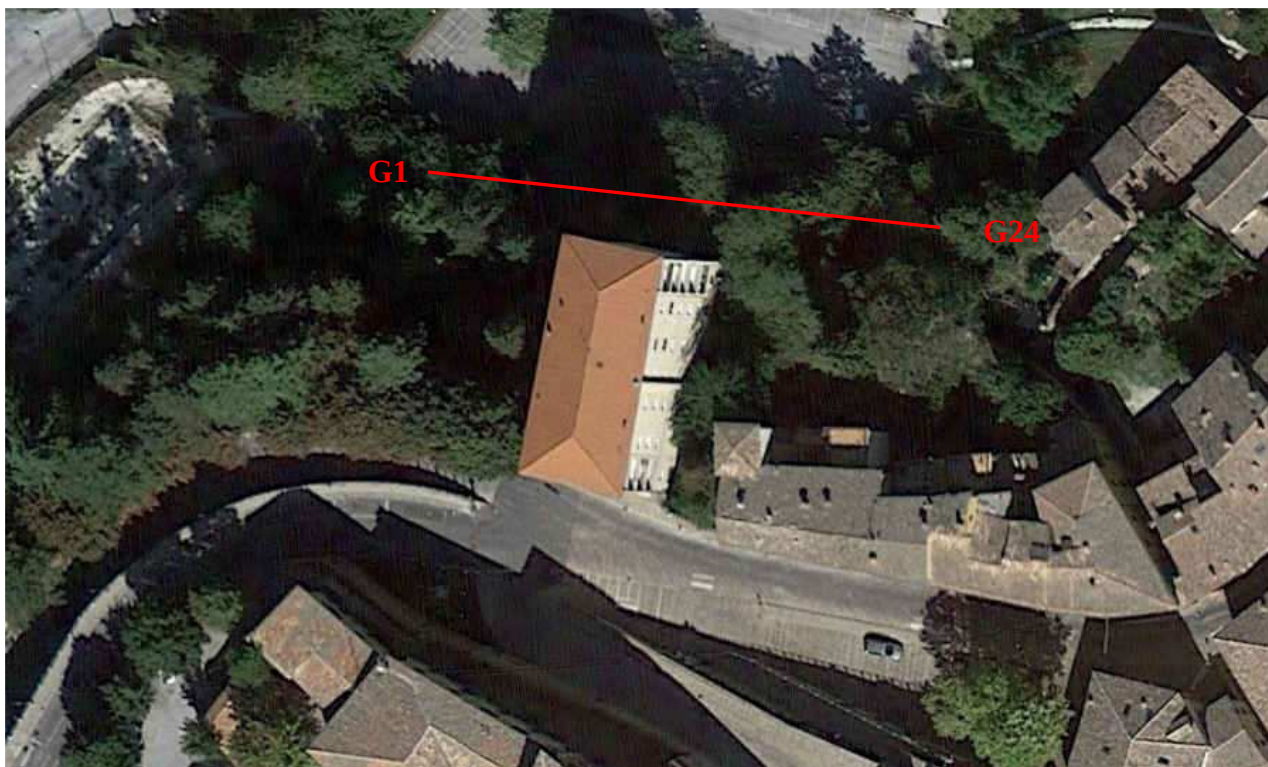


Fig.3 – Ubicazione stendimento

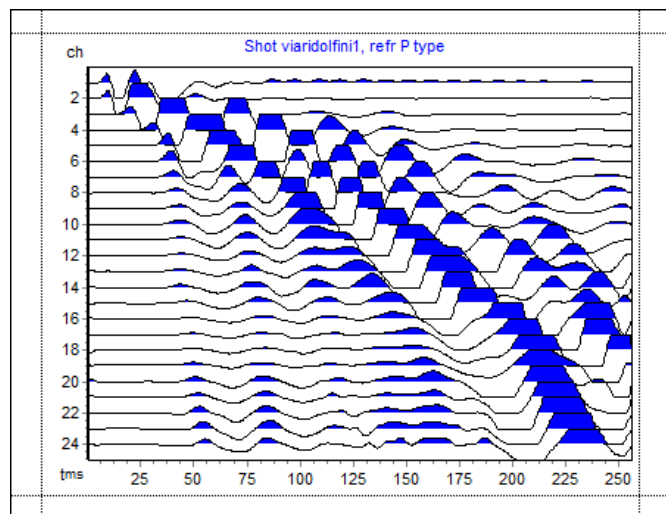
MODALITA' DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE

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.

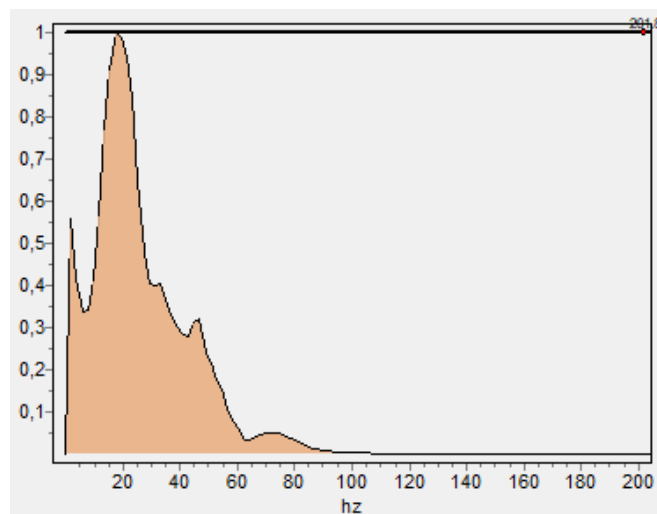
L'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è stata effettuata realizzando uno stendimento lineare di 46,0 m di lunghezza con orientamento 96° N, con i 24 geofoni equidistanziati di 2,0 m. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate energizzazioni disposte a distanze variabili, S1 a metà distanza intergeofonica tra G1 e G2, S2 a metà distanza intergeofonica tra G2 e G3, S3 a metà distanza intergeofonica tra G3 e G4, S4 a metà distanza intergeofonica tra G21 e G22, S5 a metà distanza intergeofonica tra G22 e G23, S6 a metà distanza intergeofonica tra G23 e G24 per un totale di 6 punti shot. (Fig.4) Per ogni punto di energizzazione sono stati generati 3-4 impulsi sismici. I dati sono stati elaborati con il software Zond ST2D Geophysical. La curva di dispersione ottenuta è riportata in figura.

<i>SAMPLING FREQUENCY</i>	2000 Hz
<i>SAMPLING DURATION</i>	256 ms
<i>SAMPLES</i>	512

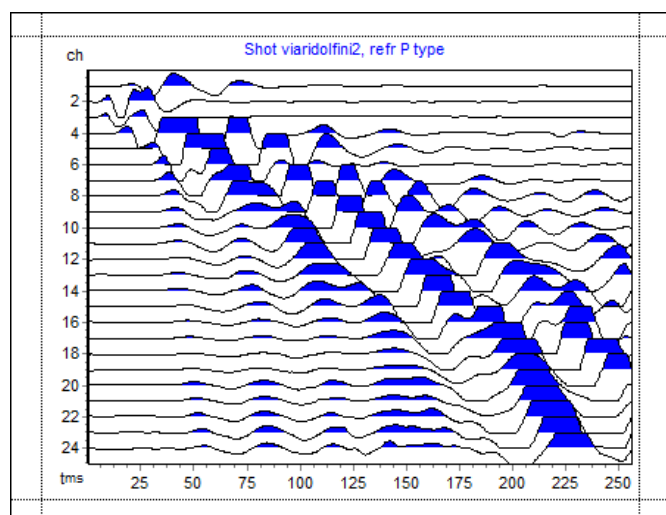
SISMOGRAMMI



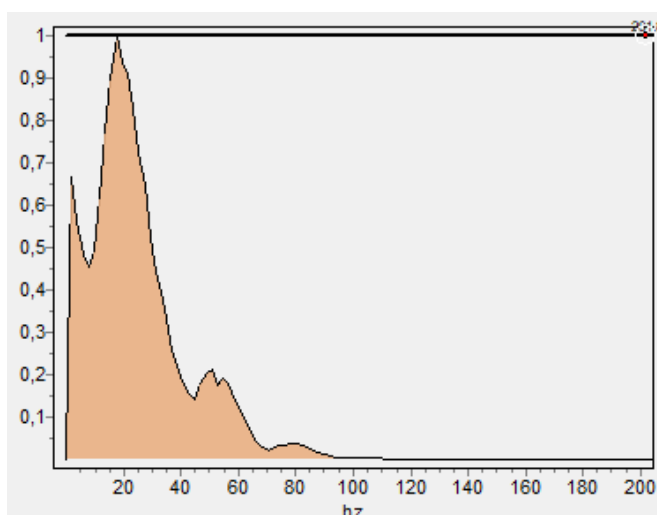
Shot n°1



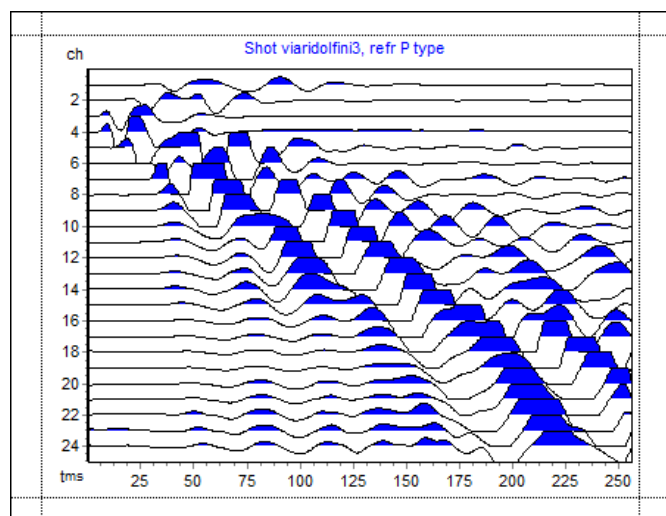
Spettro in frequenza Shot n°1



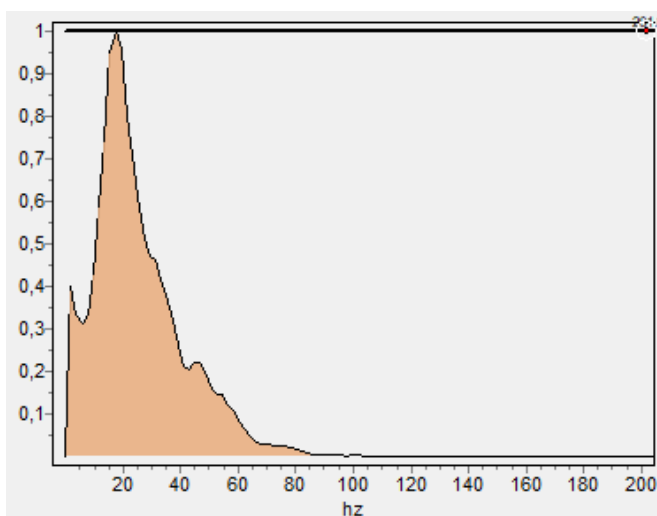
Shot n°2



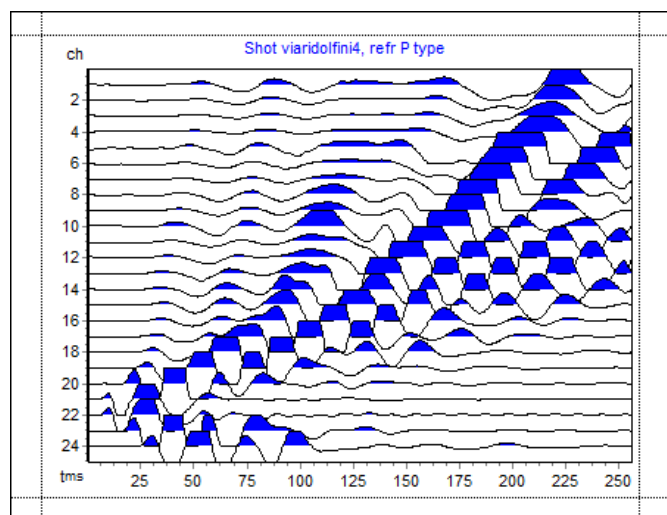
Spettro in frequenza Shot n°2



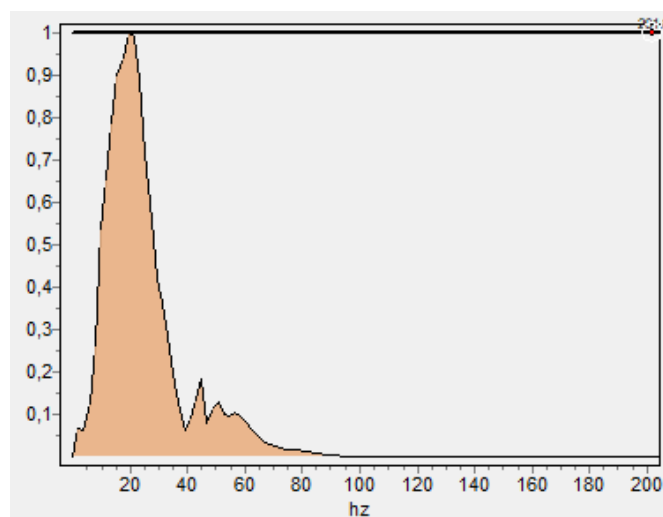
Shot n°3



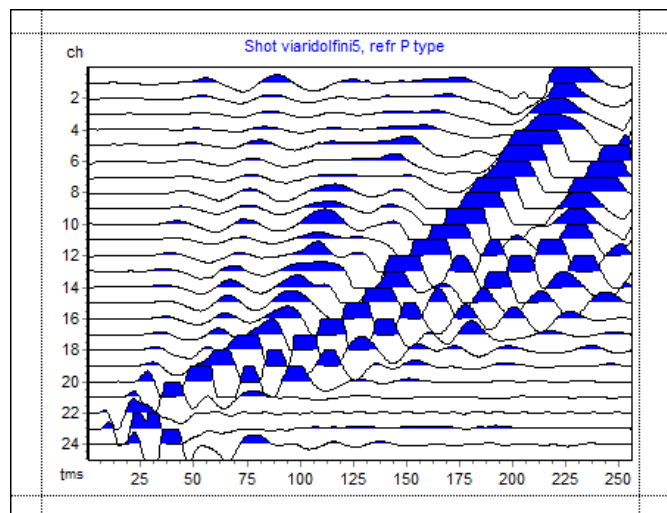
Spettro in frequenza Shot n°3



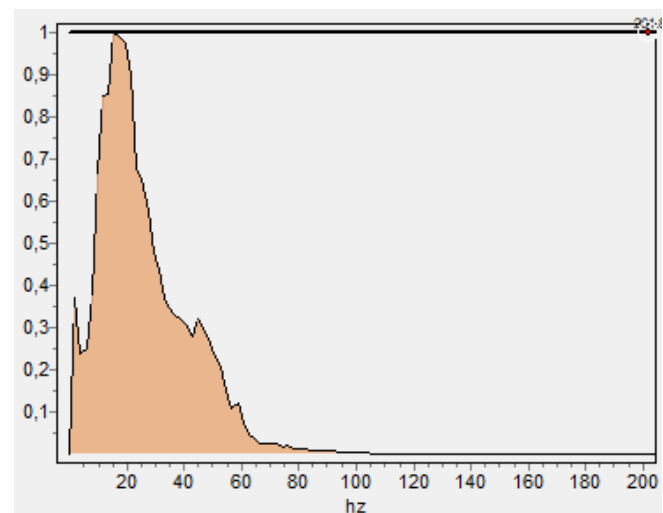
Shot n°4



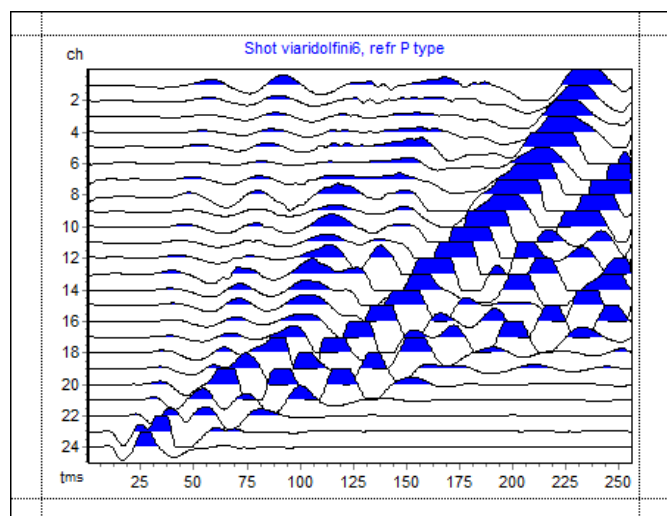
Spettro in frequenza Shot n°4



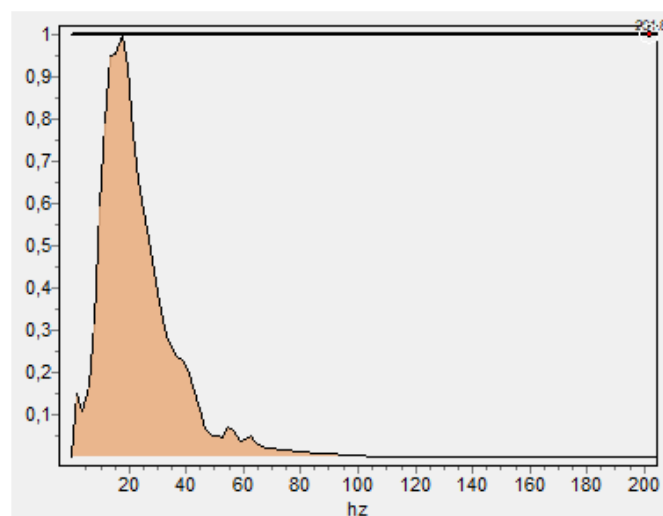
Shot n°5



Spettro in frequenza Shot n°5



Shot n°6



Spettro in frequenza Shot n°6

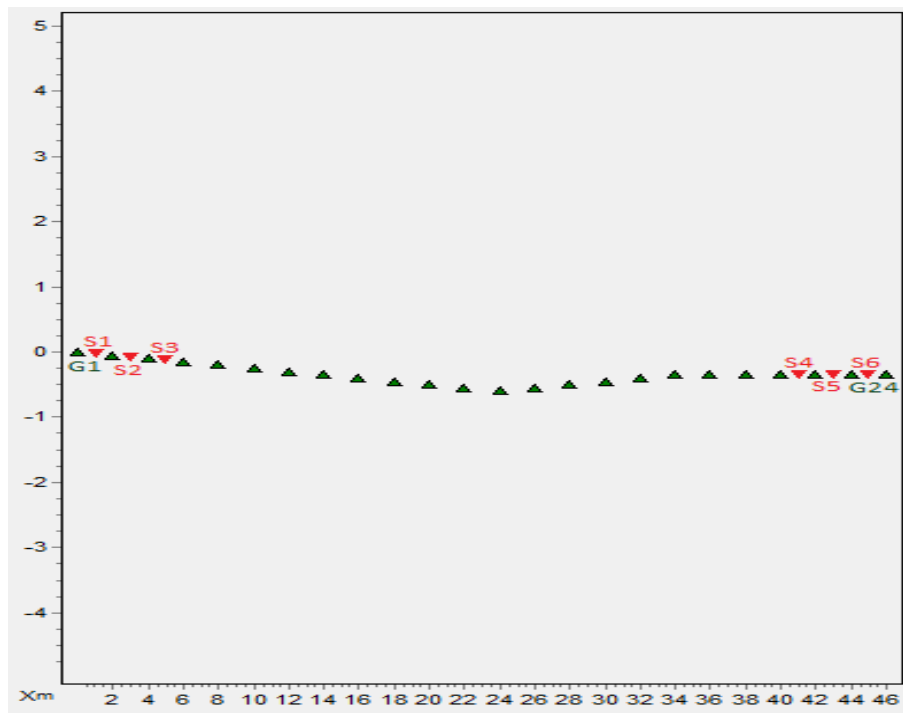


Fig. 4 – Geometria

DISPERSIONE

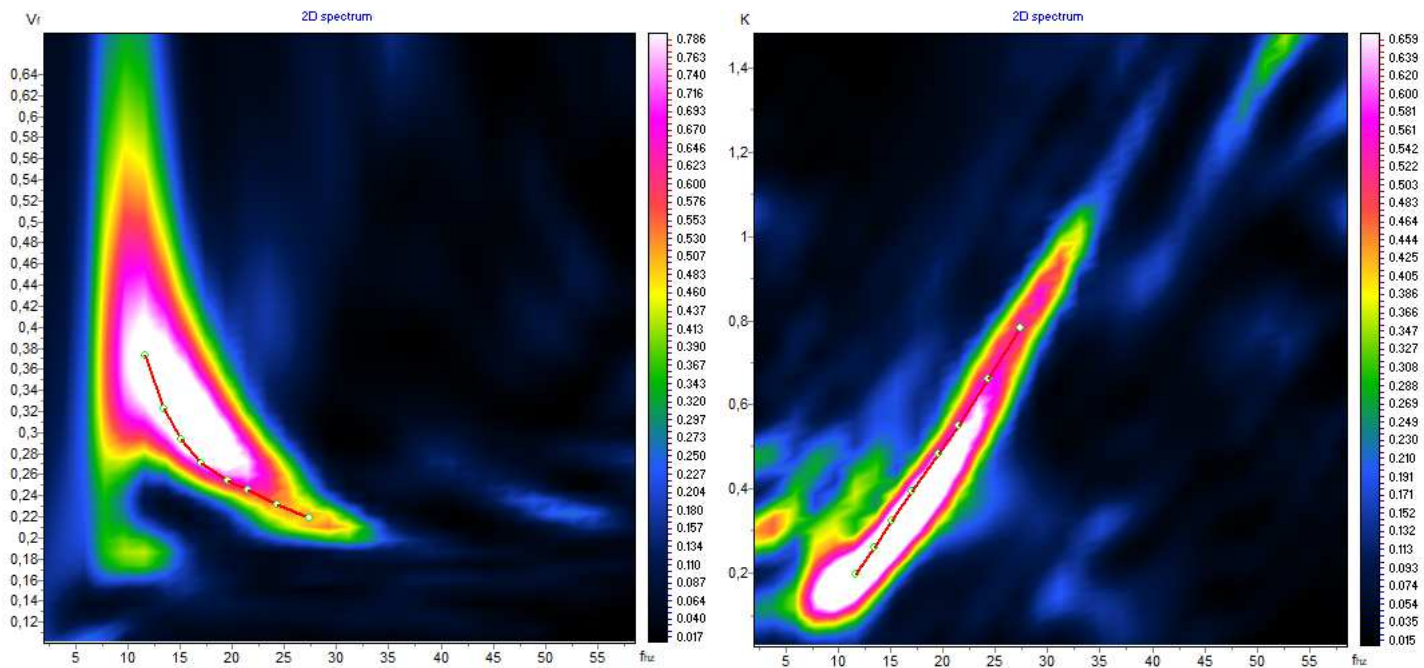


Fig. 5.a (dominio frequenze f-v)

Fig. 5.b (dominio tempo f-k)

VELOCITA' DI FASE SPERIMENTALE - VELOCITA' DI FASE APPARENTE NUMERICA – PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

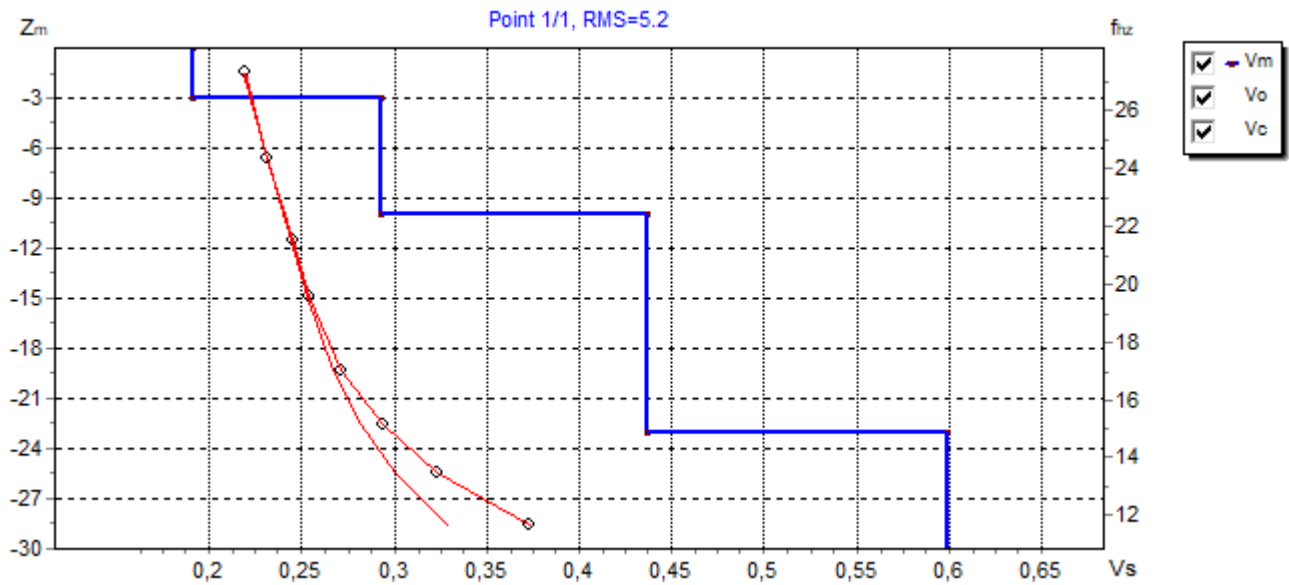


Fig.6

PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

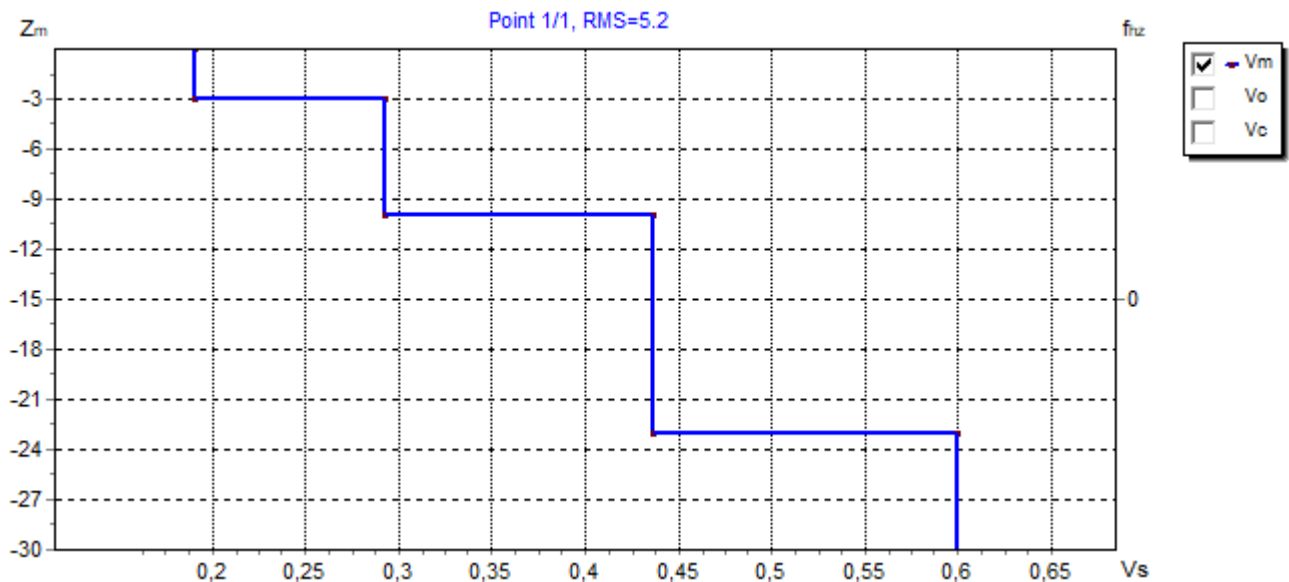


Fig.7

TABELLA DEL PROFILO DI VELOCITA'

N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	190	0.40	1.9	0	3
2	290	0.39	1.9	3	7
3	440	0.38	2	10	13
4	600	0.35	2.2	23	7

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

$$V_{S,eq} = 403 \text{ m/s}$$

DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$

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.

Nel caso in esame considerando l'intervallo di profondità di **30,0** m riferito al piano campagna, si ottiene, sostituendo:

$$V_{S,eq} = 403 \text{ m/sec}$$

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.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

