

PROVINCIA DI PARMA
COMUNE DI LESIGNANO DE' BAGNI
LOC. IL PIANTONE

progetto: CAMBIO DESTINAZIONE D'USO
DI AREA
- VARIANTE P.S.C. -
committente: AZIENDA AGRICOLA
PIANTONE DI PICH ADRIANO E C. - S.N.C.

RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA

Novembre 2018

Il Geologo:

Dott. MATTEO BALDI



dott. geol. MATTEO BALDI

GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE · IDROGEOLOGIA

Ordine dei Geologi Regione Emilia-Romagna n° 926

Via Roma, 57/bis – 43013 Langhirano (PR) · Tel. e fax 0521/857659 · e-mail: bb.studio@libero.it
P.IVA: 02069030340 · cod. fisc.: BLD MTT 71E03 G337A

1. PREMESSE

Su incarico della ditta Az. Agr. Piantone di PICH ADRIANO E C. - S.N.C. con sede in LESIGNANO DE' BAGNI (PR) - Via Piantone 8 (P.Iva 00489040352), in accordo con il Legale rappresentante Sig. Giroladini Giuliano ed il tecnico Geom. Germano Delfante, è stato eseguito lo studio geologico-sismico dei terreni sui quali sorgono degli immobili produttivi a destinazione agricola ora parzialmente demoliti, siti in località Piantone (Comune di Lesignano de' Bagni).

Lo studio è stato eseguito secondo quanto previsto dalla Legge 2 febbraio 1974 n. 64 e ss.mm.ii, dal decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, dall'Ordinanza P.C.M. 3274/2003 e ss.mm.ii e dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

La presente Relazione si rende necessaria vista la Richiesta della proprietà di un cambio di destinazione d'uso da destinazione produttiva a destinazione residenziale.

Il PTCP prevede che le trasformazioni di uso degli immobili debbano sottostare ai dettami delle NTA - TITOLO IV LIMITAZIONI DELLE ATTIVITÀ DI TRASFORMAZIONE E DI USO DERIVANTI DALL'INSTABILITÀ O DALLA PERMEABILITÀ DEL TERRENO ed in particolare per l'area in questione dell'art. 22 bis "Aree a pericolosità geomorfologica moderata".

L'area in studio non ricade in zone soggette a Vincolo Idrogeologico (secondo quanto disposto dal R.D. n°3267 del 30/12/1923, dalla Delibera della Giunta Regionale n°1117 del 11/07/2000 nonché dal successivo Atto di Giunta della Comunità Montana Appennino Parma Est n°44 del 14/04/2003) anche se risulta inglobata nelle *Aree potenzialmente calanchive*.

La ricerca bibliografica e le verifiche di campagna hanno consentito di redigere i seguenti elaborati:

- Tav. 1 - Inquadramento geografico (scala 1: 25.000);
- Tav. 2 - Inquadramento catastale (scala 1: 1.000);
- Tav. 3 - Carta geolitologica (scala 1: 5.000);

- Tav. 4 – Carta del Dissesto P.T.C.P. (scala 1:10.000);
- Allegato – Indagine geofisica;

Quale base cartografica è stato utilizzato uno stralcio dell'Elemento n° 199163 “Langhirano”.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE

L'area di intervento è situata nel Comune di Lesignano de' Bagni, in località C. Cantone (v. Tav. 1), ed è censita al N.C.T. al Foglio n° 11, mappali 364 e 190 del Comune di Lesignano de' Bagni (v. Tav. 2).

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1 Quadro geologico e morfologico

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino settentrionale, la cui successione di depositi plio-quadernari presenta nel complesso un carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

La zona in questione ricade nella fascia di alta pianura e si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Tale zona si caratterizza per la presenza di depositi alluvionali, riferibili alla deposizione operata nel tempo dal T. Parma e dal T. Masdone, che hanno dato origine ad una ampia conoide che si apre a ventaglio verso la bassa pianura, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque abbondanti nelle aree di interconoide.

I depositi affioranti risultano costituiti da alternanze di litofacies argillose, limose e ghiaiose a stratificazione lenticolare, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che le hanno originate: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per trascinamento avvenuta in zone distali dall'alveo attivo.

I depositi continentali appoggiano in discordanza su sedimenti di origine marina a prevalente componente argillosa e sabbiosa, affioranti nella prima fascia collinare.

La potenza dei depositi continentali, la cui tendenza è ad approfondirsi spostandosi dal margine collinare verso la bassa pianura, è influenzata in modo sensibile dalle strutture tettoniche presenti nel sottosuolo.

Con riferimento alla nuova “*Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG*”, elaborata secondo i concetti di stratigrafia sequenziale (metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili, per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali), i depositi affioranti nell'areale di studio (cfr. Tav. 3) sono stati attribuiti alle *Argille Azzurre*. *Tali depositi sono costituiti da peliti marnose, grigio-azzurre massive a frattura concoide, in genere a stratificazione poco evidente, con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore. Frequenti microfossili (foraminiferi planctonici) e macrofossili (lamellibranchi, gasteropodi, pteropodi, eccezionalmente resti di mammiferi sia marini che terrestri). Abbondanti anche resti di frammenti vegetali lignitizzati e livelli ad intensa bioturbazione. Depositi distali di piattaforma e di bacino. Contatto netto su FCO e SVN quando presente. Spessore massimo 800 m. (Pliocene inf. - medio).* Immediatamente a monte dell'areale in studio le Argille Azzurre risultano in contatto con il Sintema del T. Stirone – litofacies pelitica.

Nella zona in studio la successione Successione neogenico – quaternaria presente risulta mascherata dalla presenza di Deposito di Versante s.l. (*Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento*

sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso ecc..).

Immediatamente a valle dell'area in questione i depositi superficiali sono costituiti da alluvioni AES8 - *Subsistema di Ravenna in qualità di ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m. (Pleistocene sup. - Olocene).*

Dal punto di vista morfologico la zona è caratterizzata dalla presenza della parte basale del versante che presenta modesta pendenza con giacitura digradante verso S-SE.

In particolare l'area in esame, posta alla quota comprese tra 200 e 225 m s.l.m., si colloca in prossimità del versante sinistro del T. Masdone che scorre in direzione E-NE.

3.3 Caratteri idrogeologici

Le caratteristiche idrogeologiche sotterranee sono strettamente connesse alla granulometria dei terreni e, di conseguenza, ai depositi di natura argilloso-limosa può essere attribuita una permeabilità bassa ($k = 10^{-7} \div 10^{-8}$ cm/s), mentre i depositi detritici presentano una permeabilità variabile, in relazione ai rapporti percentuali tra frazione litoide e matrice fine.

Il substrato pelitico-marnoso, invece, può risultare caratterizzato da una permeabilità di tipo secondario, indotta dalle fessurazioni presenti nell'ammasso roccioso.

3.4 Caratteri strutturali e sismici

Il settore di catena appenninica, entro cui ricade l'area di intervento, è caratterizzato da un campo deformativo compressionale attivo, conseguenza dell'interazione tra le placche africana e euroasiatica.

Sotto il profilo sismico, i recenti studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano suddividendolo in 36 zone (Fig.1), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

In particolare il territorio di Lesignano de' Bagni ricade in una zona sismogenetica (zona 913 della zonazione ZS9) caratterizzata da terremoti di bassa-media magnitudo, la cui origine è riconducibile alla presenza di un sistema di sovrascorrimenti con meccanismi tipo thrust e discontinuità trasversali. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, viene rilasciato a profondità comprese tra 12 e 20 km (profondità efficace).

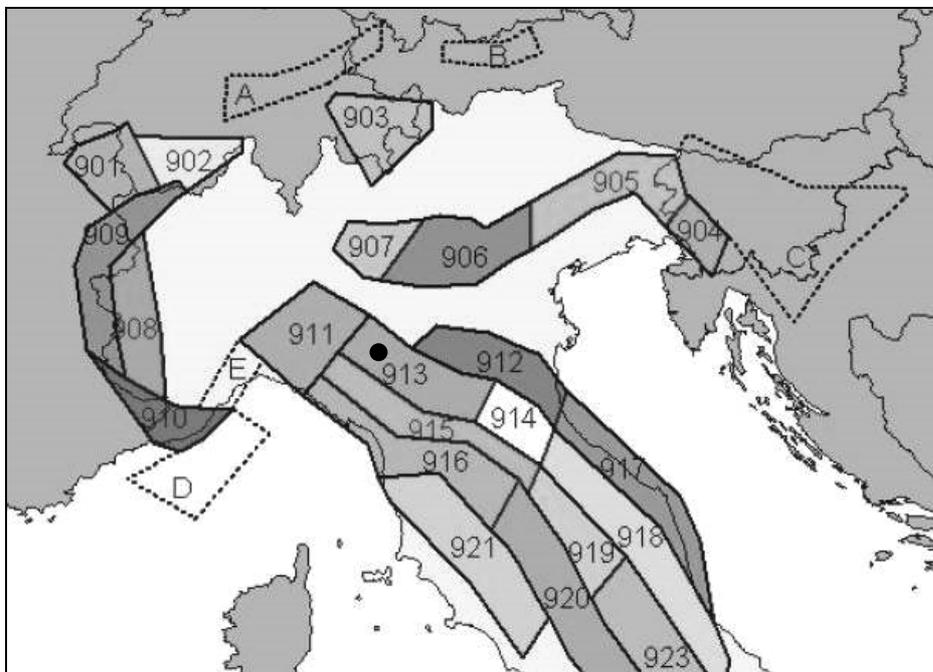


Fig. 1 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Il punto indica approssimativamente la zona in studio.

A seguito dell'emanazione dell'Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e ss.mm.ii., il Comune di Lesignano de' Bagni è stato classificato sismico in **ZONA 3**, in quanto ricadente in aree ad elevato rischio sismico, di cui alla precedente Ordinanza DPC n° 2788.

La medesima ordinanza individua i valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) di ciascuna zona in cui è stato suddiviso il territorio italiano, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Infatti sulla base della *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*, presentata nell'aprile 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il territorio in questione si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) di $0.150 \div 0.175 g$.

Precedentemente all'emanazione della citata Ordinanza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Lesignano de' Bagni risultava non classificato.

3.5 Indagini sismiche eseguite

Per la caratterizzazione sismica dell'area in oggetto, sono state eseguite le seguenti indagini:

n° 1 MASW;

n° 1 misura di microtremori a stazione singola (HVSR);

n° 1 sismica a rifrazione con elaborazione tomografica.

Per la descrizione dettagliata delle tecniche di indagine si rimanda al relativo allegato.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Fig. 2.

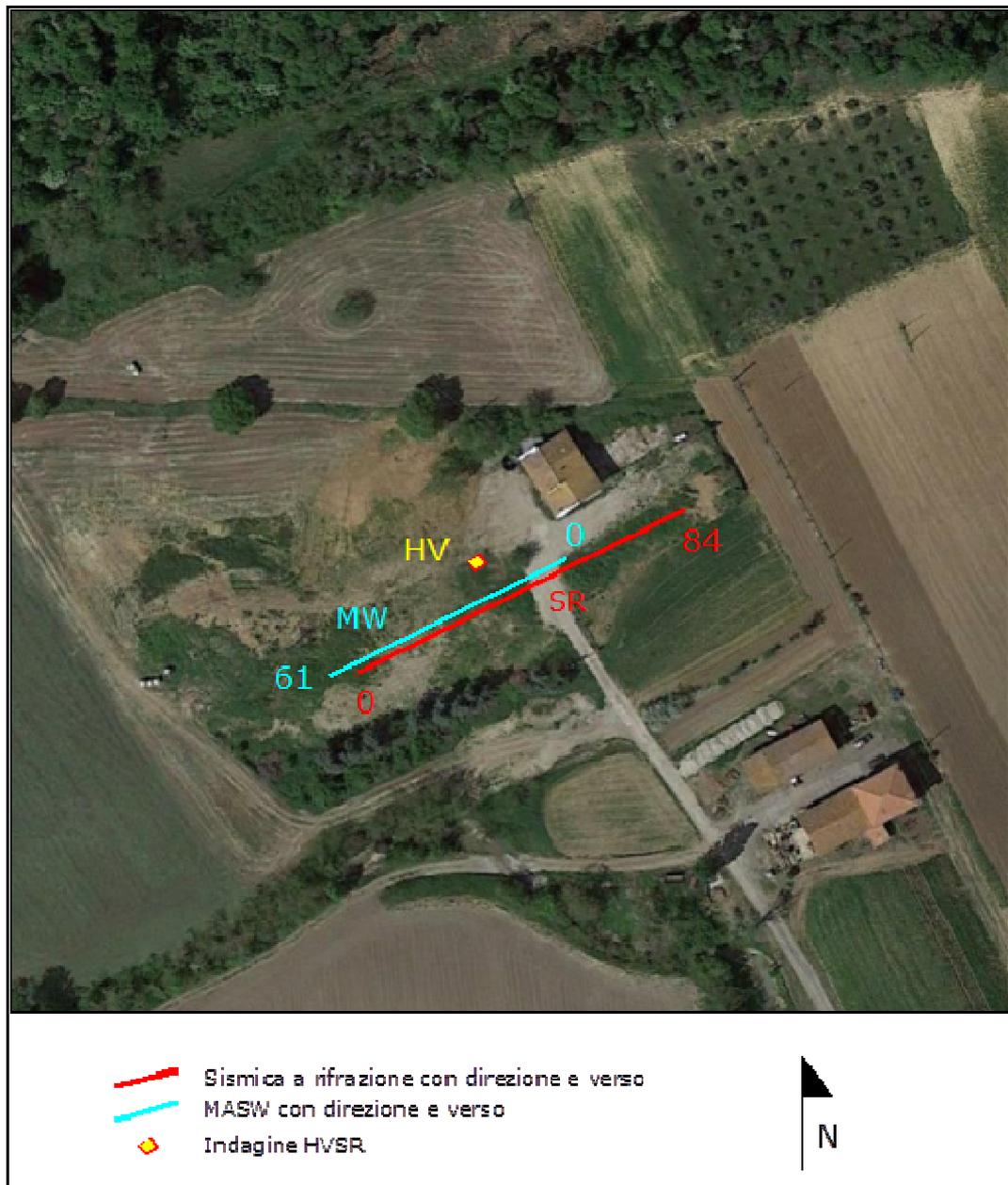


Fig. 2 – Ubicazione delle indagini eseguite

MASW

Per l'area in esame la prospezione sismica con tecnica MASW ha restituito il profilo di velocità delle onde di taglio riportato in fig. 3, cui corrispondono i valori di Vs riportati nella seguente tabella:

Risultati Elaborazione MASW				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	0.95	0.95	107
Strato2	0.95	2.73	1.78	146
Strato3	2.73	5.10	2.37	210
Strato4	5.10	14.50	9.40	400
Strato5	14.50	≥30.00	≥15.50	500

Tab. 1 – Valori di Vs rilevati attraverso la prospezione sismica MASW

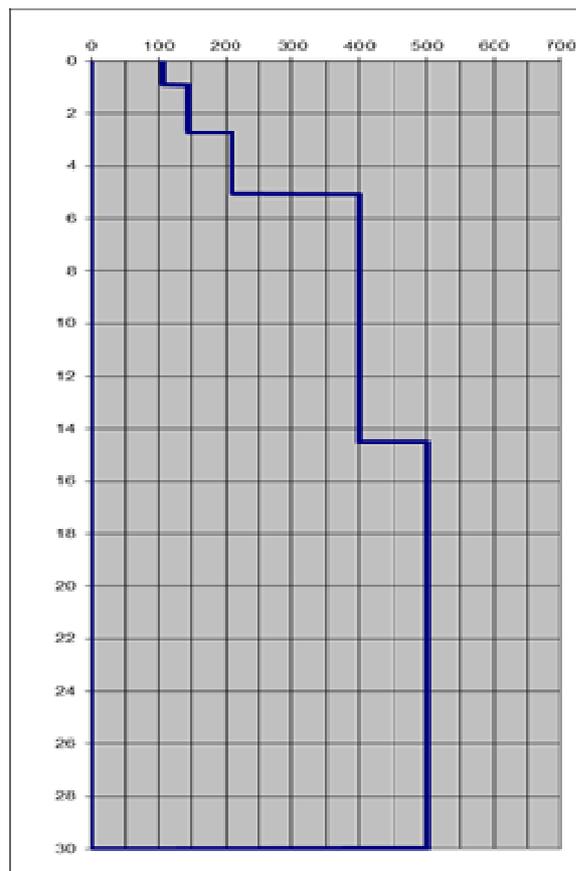


Fig. 3 – Profilo di velocità delle onde di taglio.

Misura microtremori a stazione singola

La presenza di contrasti di impedenza nel sottosuolo, dovuti a variazioni delle caratteristiche di rigidità dei terreni, governa la riflessione e la trasmissione delle onde alle interfacce, determinando interferenze tra onde riflesse e onde incidenti. In particolari condizioni i due tipi di onda possono sommarsi, raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza).

La misura effettuata nell'area in studio ha evidenziato la presenza di un modesto picco del rapporto H/V alla frequenza di 0.53 Hz (Fig. 4).

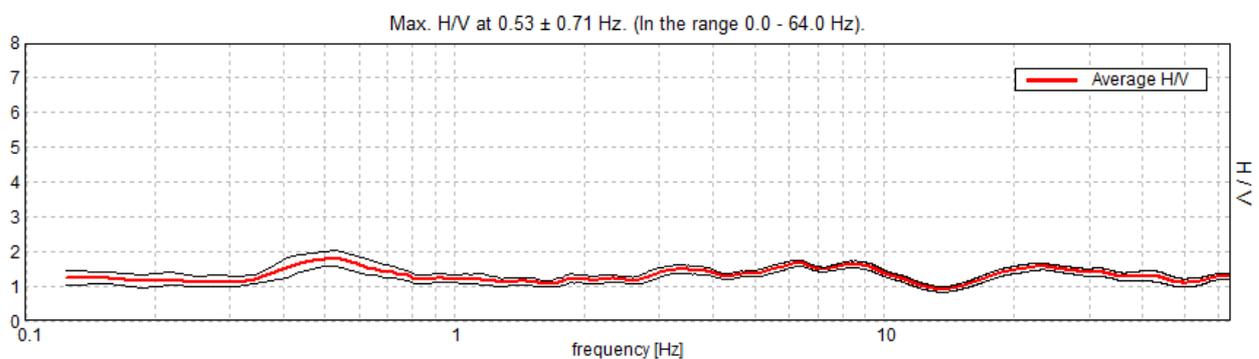


Fig. 4 – Rapporto spettrale H/V ottenuto dall'indagine a stazione singola HVSR

Tomografia sismica

L'elaborazione tomografica è riferita allo stendimento sismico a rifrazione della lunghezza di m 84, effettuato lungo la direzione di massima estensione del lotto (lungo le isoipse).

Tale elaborazione ha permesso di riconoscere due orizzonti sismostratigrafici.

Il primo è definibile come coltre sismica più superficiale (areato) cui corrisponde una velocità sismica media delle onde P pari a 200/1.000 m/s e presenta spessori variabili tra 5/6 m circa [restituzione tomografica con colore dal blu scuro fino al verde].

L'orizzonte sismico intermedio è caratterizzato probabilmente da materiali a medio/discreto grado di addensamento, sufficientemente continuo in senso laterale, caratterizzati da velocità sismiche corrispondenti a circa 1000/2000 m/s. La profondità probabile della base oscilla tra 15/16 m con velocità che tendono ad aumentare progressivamente in modo continuo con la profondità [restituzione tomografica con colore azzurrino-verde fino al rosso]

L'analisi congiunta dei dati della tomografia sismica, della MASW e dell'HVSR permette di individuare un ulteriore orizzonte sismostratigrafico poco evidente al bordo inferiore della tomografia alla profondità di circa 15 m da p.c. e non individuabile con l'isolinea dei 2000 m/sec (V_p), ma più chiaramente individuabile nella MASW alla profondità di 14.50 m dove le V_s passano da 400 a 500 m/sec.

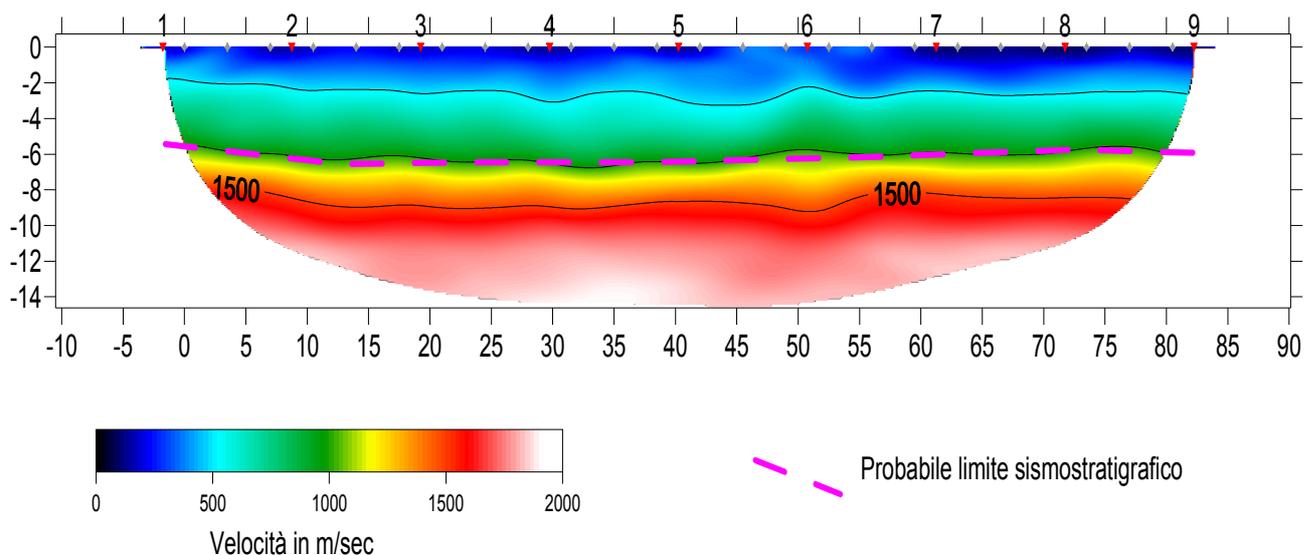


Fig. 5 – Elaborazione tomografica

3.6 Pericolosità sismica

Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per cui è stata progettata.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni NTC2018", la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali (Fig. 7), definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'area oggetto di intervento è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

Longitudine = 10,328861° Latitudine = 44,648417°

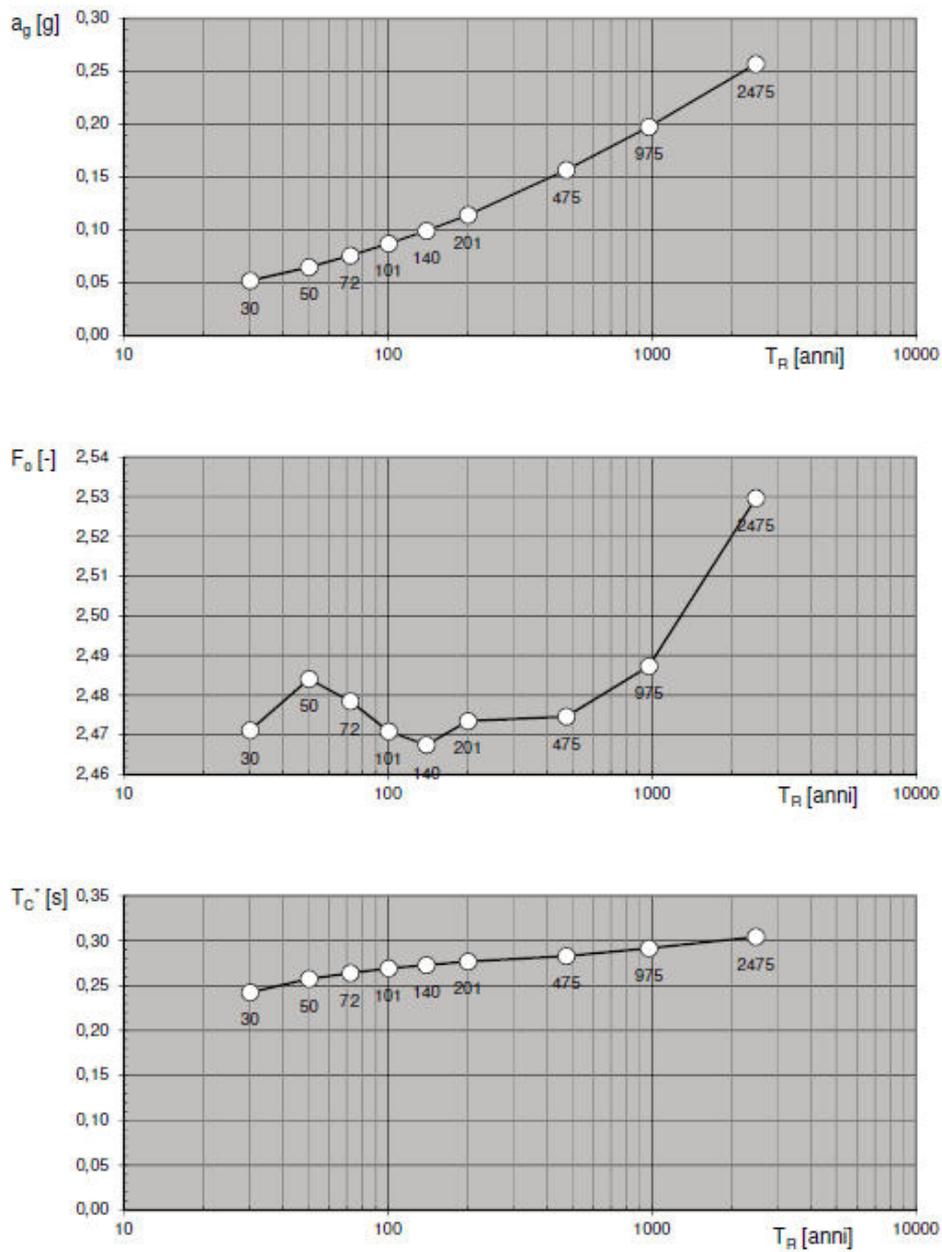
I parametri delle forme spettrali sono riportati in Tab. 2 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver. 1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,052	2,471	0,243
50	0,065	2,484	0,258
72	0,076	2,478	0,264
101	0,087	2,471	0,269
140	0,099	2,467	0,273
201	0,114	2,473	0,277
475	0,157	2,475	0,283
975	0,198	2,487	0,292
2475	0,257	2,530	0,304

Tab. 2 – Parametri della forma spettrale del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R).

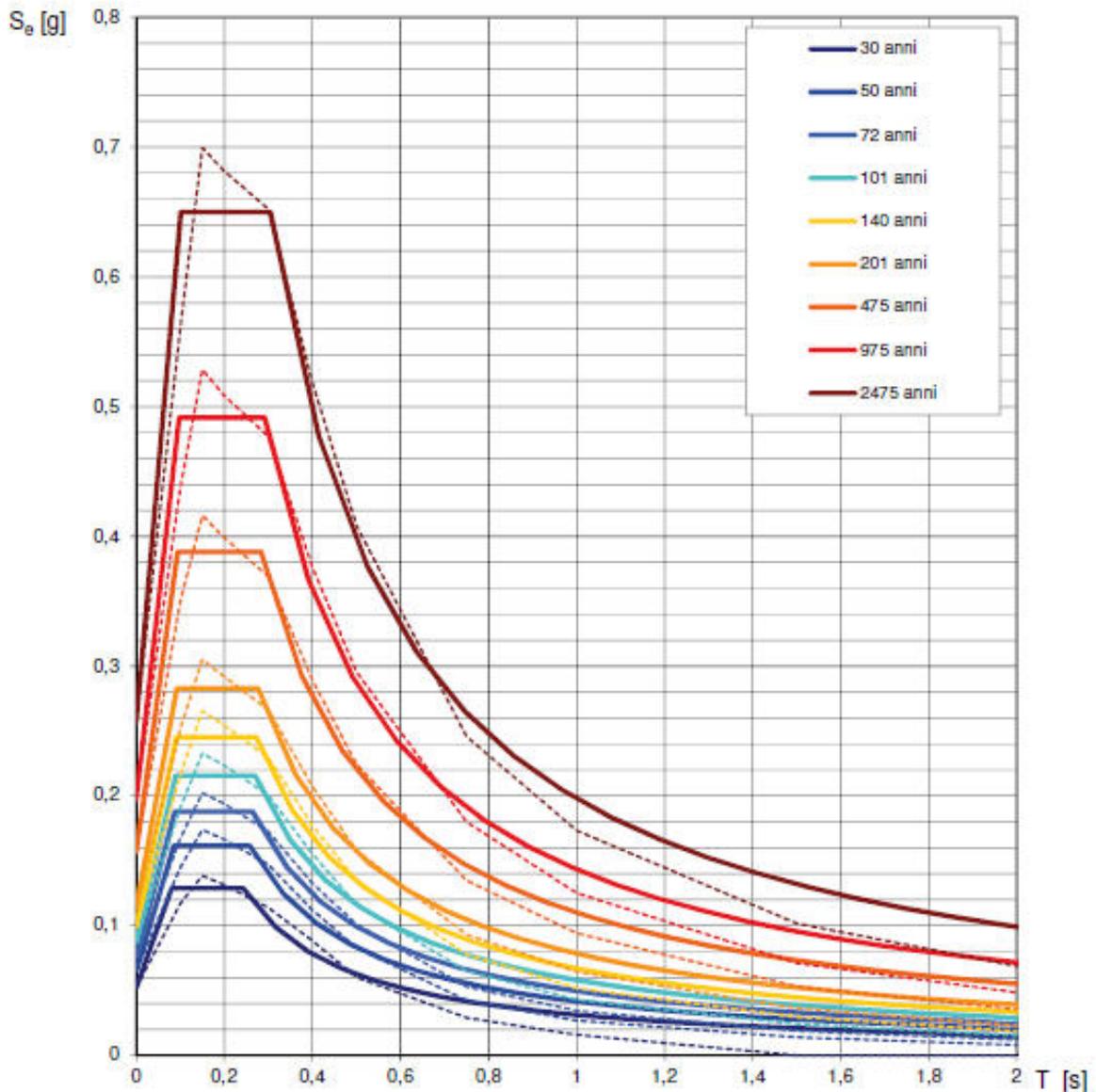
Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_R



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Fig. 6 – Variabilità dei parametri a_g – F_0 e T_c in funzione dei periodi di ritorno (elaborazione effettuata mediante "Spettri NTC ver.1.0.3").

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Fig. 7 – Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_R su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”).

Categoria del sottosuolo di fondazione

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali.

Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove. Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione (accelerogrammi) su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata con riferimento alle 5 categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC2018), in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

in cui: h_i = spessore in metri 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.

Per depositi con profondità H del substrato rigido superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per l'area in esame la prospezione sismica MASW ha restituito un valore di V_{s30} a piano campagna pari a 345 m/s, cui corrisponde un sottosuolo di categoria C ai sensi delle NTC2018.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tab. 3 - Categorie del sottosuolo di fondazione (da NTC 2018 tabella 3.2.II)

Amplificazione topografica

La morfologia della zona di indagine caratterizzata, nella quasi totalità, da una acclività inferiore a 15°, permette di attribuire l'areale alla categoria topografica T1 (Tab. 4), per la quale possono essere esclusi fenomeni di amplificazione di tipo topografico (Tab. 5).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 – *Categorie topografiche (da NTC 2018 tabella 3.2.III)*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 5 – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (da NTC 2018 tabella 3.2.V)*

3.7 Microzonazione sismica – livello 2

Carta degli effetti attesi del PSC

La Carta degli Effetti Attesi del Comune di Lesignano de' Bagni (Quadro Conoscitivo - Tav. 4), classifica la gran parte dell'area in esame come “DEPOSITO DI VERSANTE CON ACCLIVITA' INFERIORE DI 15° (con spessore maggiore di 5 metri) - N.T.A. P.T.C.P. art.22 e art. 22bis”, ricomprensente i depositi di frana quiescente, detrito di falda e quello eluvio-colluviale con Vs30 inferiore a 800 m/s. In tali aree sono attesi effetti sismici di 2° Livello riconducibili a fenomeni di amplificazione stratigrafica ad esclusione di una

modesta porzione del comparto situata nell'angolo sud-ovest in corrispondenza della scarpata che conduce alla sponda sinistra del T. Masdone.

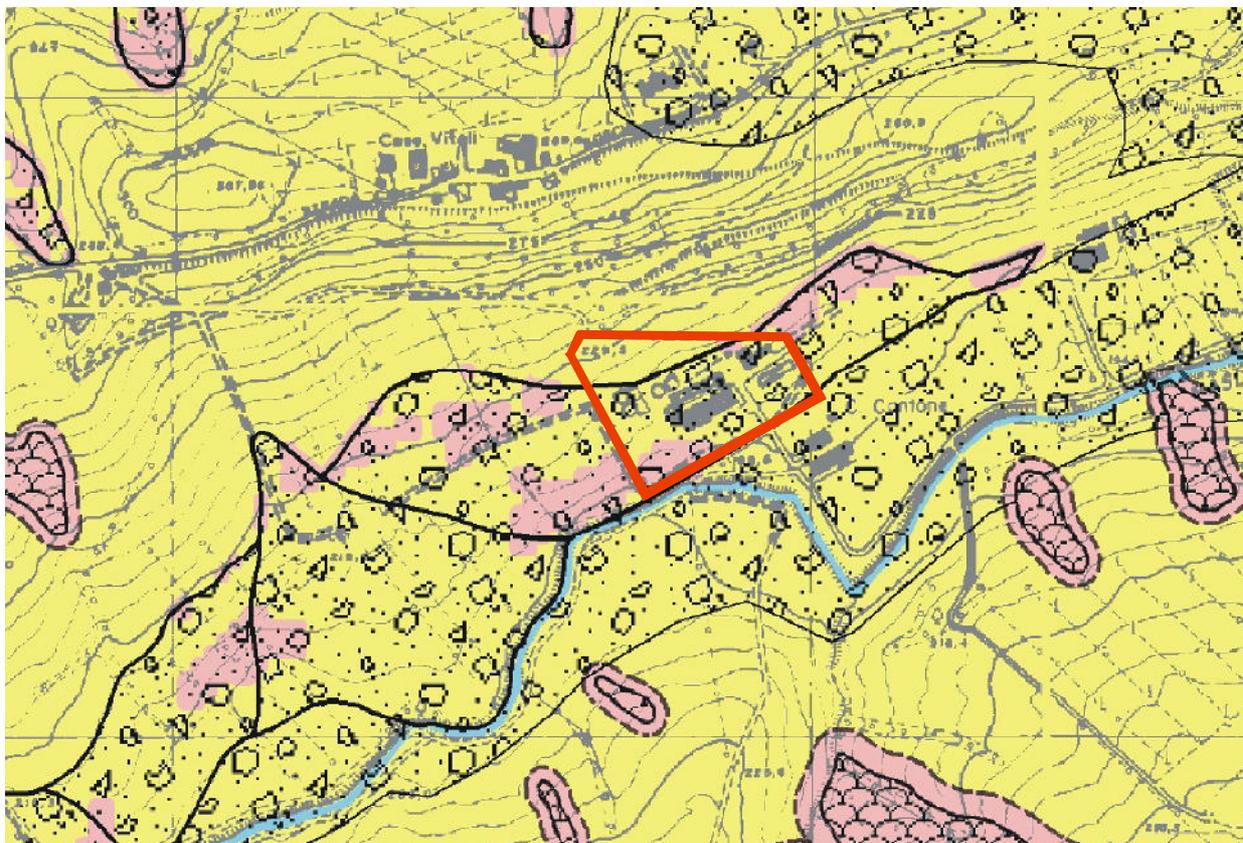


Fig. 8 – Stralcio della Tav. 4 - Carta degli Effetti Attesi del Comune di Lesignano de' Bagni (Quadro Conoscitivo). Il perimetro rosso identifica l'area oggetto di studio.

Fattori di amplificazione sismica

Attraverso la microzonazione sismica di Livello 2 è stata effettuata la stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner (SI/SI0) per prefissati intervalli di periodi ($0.1s < T_0 < 0.5s$ e $0.5s < T_0 < 1.0s$), dove PGA0 e SI0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (DGR 2193/2015).

Più in particolare per le aree in oggetto è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata "Appennino", relativa alla presenza di un substrato non rigido con $V_s < 800$ m/s.

Pertanto i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento sono stati ottenuti impiegando la seguente tabella:

In caso di substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s, si devono usare le seguenti tabelle

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione SII ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione SI2 ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

Tab. 6 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e Intensità di Housner (SI/SI_0), nel caso di profilo stratigrafico tipo APPENNINO con substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Le indagini svolte hanno permesso di accertare la presenza di un substrato non rigido situato alla profondità di 14.50 m da p.c., caratterizzato da una velocità delle onde di taglio pari a 500 m/s.

Il parametro necessario per la stima dell'amplificazione stratigrafica è rappresentato dalla velocità equivalente delle onde di taglio nei depositi di copertura (V_{sH}):

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

dove: N = numero di strati del profilo sismico entro la copertura

H = spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato

h_i = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato)

V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato)

Per l'area in esame il valore della velocità equivalente delle onde di taglio alla profondità di 14.50 metri è pari a 262 m/s.

Utilizzando la tabella precedente dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati nella Tab. 7:

F.A. P.G.A.	2.1
F.A. Is (0.1s < T₀ < 0.5s)	2.3
F.A. Is (0.5s < T₀ < 1.0s)	1.6

Tab. 7 – valori dei Fattori di Amplificazione sismica

Essendo l'area in oggetto nella quasi totalità caratterizzata da una acclività inferiore a 15°, non sono stati considerati fattori di amplificazione per motivi topografici.

Liquefazione

Considerata la presenza di terreni in prevalenza coesivi a componente argillosa ed argilloso limosa dominante, il fenomeno di liquefazione può ritenersi un evento remoto e con un rischio estremamente basso.

5. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE

L'andamento litostratimetrico della zona può essere interpretato nel seguente modo:

1. coltre detritica superficiale (areato) costituita da costituita da depositi limoso argillosi che presentano spessori variabili tra 5/6 m circa e caratterizzati da bassa consistenza;
2. al di sotto e fino alla quota di -15/16 m da p.c. sono presenti sedimenti pelitico-marnosi che risultano caratterizzati da una media/discreta consistenza;
3. oltre i -15/16 m i depositi presenti tendono a presentare una consistenza via via maggiore con l'aumento della profondità e possono essere considerate in posto (substrato).

6 - CONCLUSIONI

Il sopralluogo effettuato unitamente all'indagine geofisica eseguita hanno consentito di caratterizzare i terreni di sottosuolo che risultano costituiti da una copertura detritica, di natura coesiva, sovrastante dei depositi riconducibili alle Argille Azzurre. A seguito delle indagini effettuate nonché delle considerazioni di cui sopra si evidenzia quanto segue:

- l'immobile oggetto di Richiesta di Variante al P.S.C. per cambio di destinazione d'uso risulta in luogo classificato come “*area a pericolosità geomorfologica moderata*” e pertanto, soggetta alle disposizioni di cui all'Art. 22bis delle N.T.A. del P.T.C.P.;
- la morfologia risulta caratterizzata da sedimenti che hanno subito una evoluzione legata in qualche modo a soliflusso piuttosto che a lenti movimenti legati alla gravità in un passato estremamente remoto;
- allo stato attuale la zona in esame risulta nel complesso aver raggiunto un equilibrio stabile sia per quanto riguarda il lotto in questione e sia per il versante a monte che non presenta evidenze di dissesti in atto;
- a conferma dell'affermazione in merito alla sostanziale stabilità dell'area si fa presente l'assenza di lesioni e fessurazioni nelle strutture dell'abitazione presente ed in quelle localizzate poco a valle dell'area di intervento;

La verifica della pericolosità sismica del lotto del fabbricato è stata condotta con la microzonazione di 2° livello, come peraltro previsto dalla *Carta degli Effetti Attesi del Comune di Lesignano de' Bagni (Quadro Conoscitivo - Tav. 4)*, dalla quale si evince la possibilità di amplificazione stratigrafica mentre si possono escludere fenomeni sia di amplificazione dovuti alla topografia che di liquefazione dei terreni presenti.

Vista la presenza di terreni estremamente sensibili alla presenza di acqua al loro interno che ne aumentano la plasticizzazione ed al contempo ne riducono drasticamente la resistenza al taglio si prescrive quanto segue, al fine di mantenere e se possibile incrementare il fattore di stabilità dei luoghi:

1. monitoraggio dello smaltimento delle acque di versante a seguito di precipitazioni intense;
2. mantenimento delle essenze autoctone presenti sulla porzione maggiormente acclive del versante in quanto la loro presenza è a favore della stabilità;
3. realizzazione di fossi di scolo superficiali delle acque meteoriche al fine di un allontanamento rapido che evita l'imbibizione dei terreni argillosi presenti; tale pratica è essenziale per evitare la possibile mobilitazione anche parziale dei terreni di versante nonché per limitare il fenomeno di creep tipico dei litotipi presenti;
4. verifica del corretto smaltimento della rete fognaria delle acque bianche e nere del fabbricato presente, anche se attualmente disabitato, per evitare dispersioni che possano compromettere la stabilità dei versanti.

Tali prescrizioni sono da considerarsi come opere di presidio e salvaguardia dello stato di equilibrio raggiunto dall'area in esame e sono inderogabili e condizione indispensabile per ridurre il rischio di dissesti idrogeologici.

Nel rispetto di quanto sopra esposto si dichiara che la zona oggetto di studio risulta idonea, sotto l'aspetto geologico, sismico e geomorfologico, al cambio di destinazione d'uso proposto.

Langhirano, 21 Novembre 2018

Il Geologo
(Dott. MATTEO BALDI)





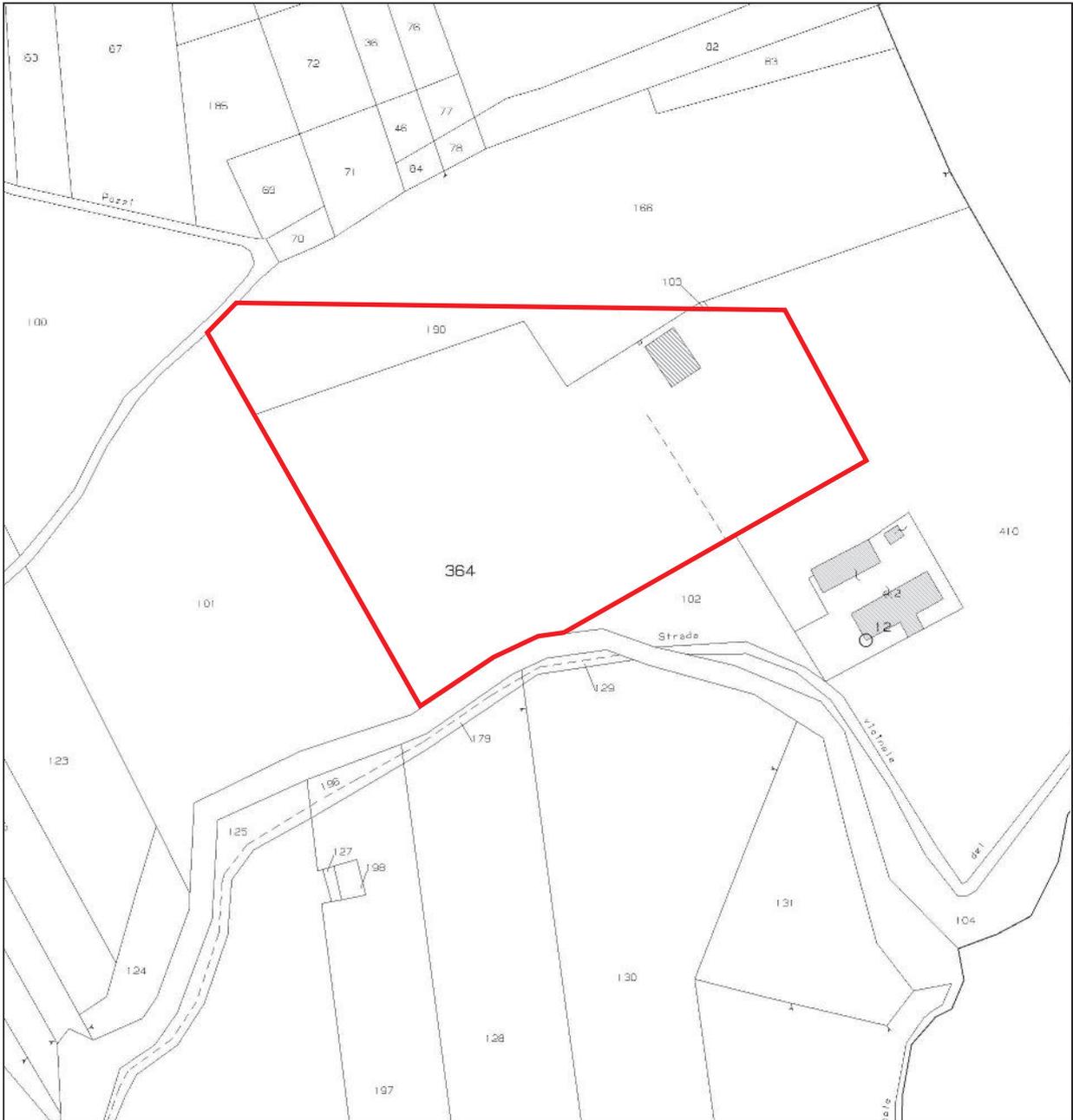
TAV. 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (scala 1:25.000)

STRALCIO TAVOLA C.T.R. 199SE "LANGHIRANO"

Legenda



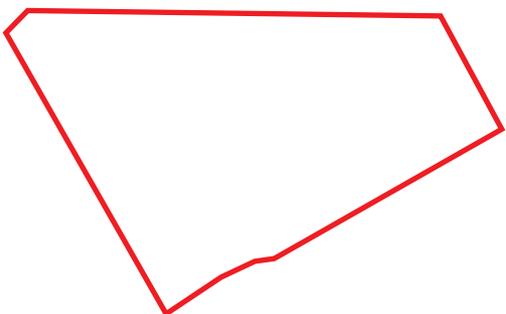
Area di intervento



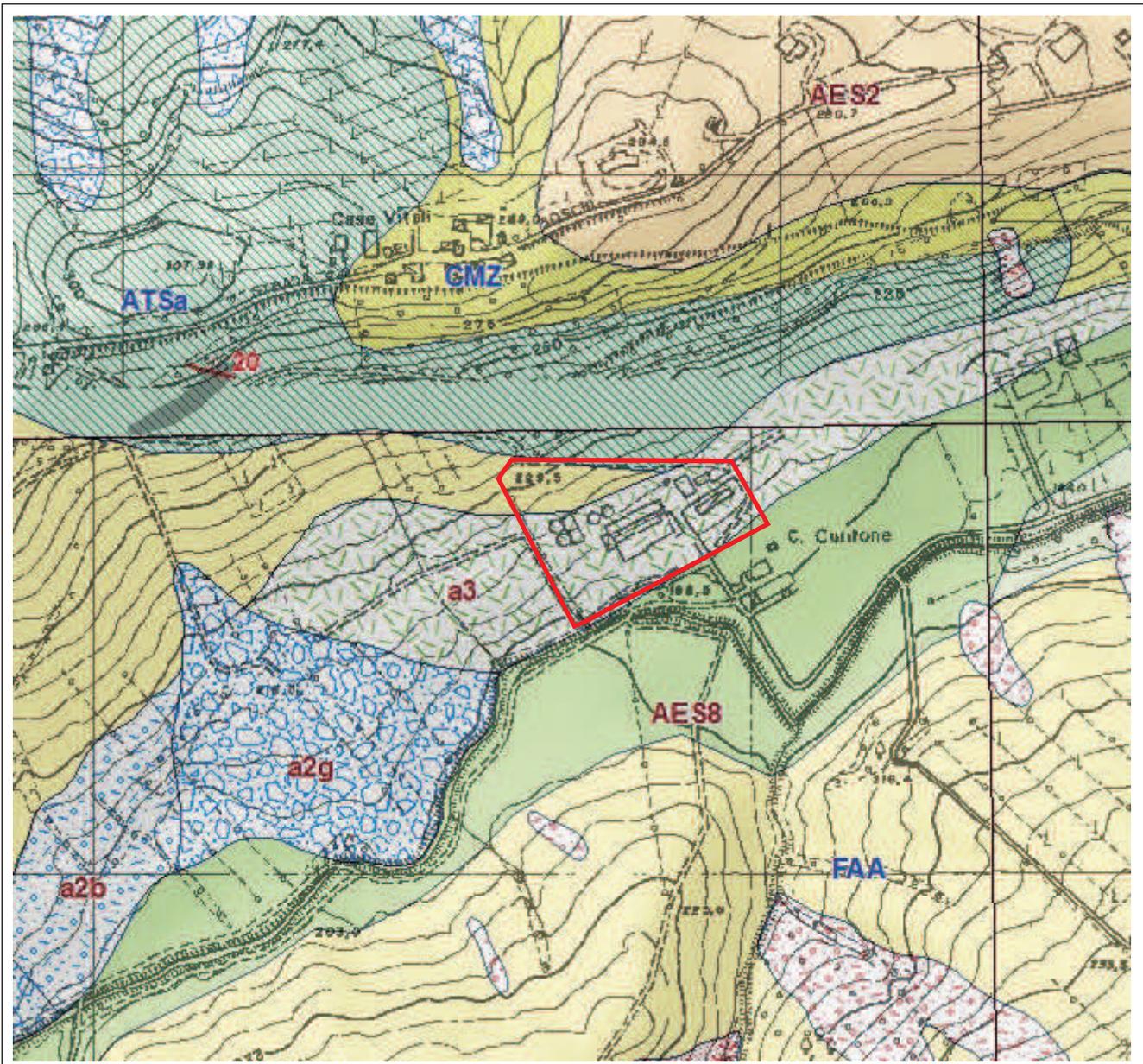
TAV. 2 - INQUADRAMENTO CATASTALE (scala 1:2000)

Stralcio del Foglio n° 11 del Comune di Lesignano de' Bagni

Legenda



Area in studio



TAV. 3 - CARTA GEOLOGICA - CARG (scala 1:5.000)

Legenda

Coperture quaternarie (10K)

AEI - Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore

AES - Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore

AES2 - Subsistema di Malatico

AES3 - Subsistema di Agazzano

AES7a - Unità di Niviano

AES8 - Subsistema di Ravenna

AES8a - Unità di Modena

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

a3 - Deposito di versante s.l.

a6 - Detrito di falda

Limiti di unità geologiche (10K)

contatto stratigrafico o litologico certo

limite di natura incerta

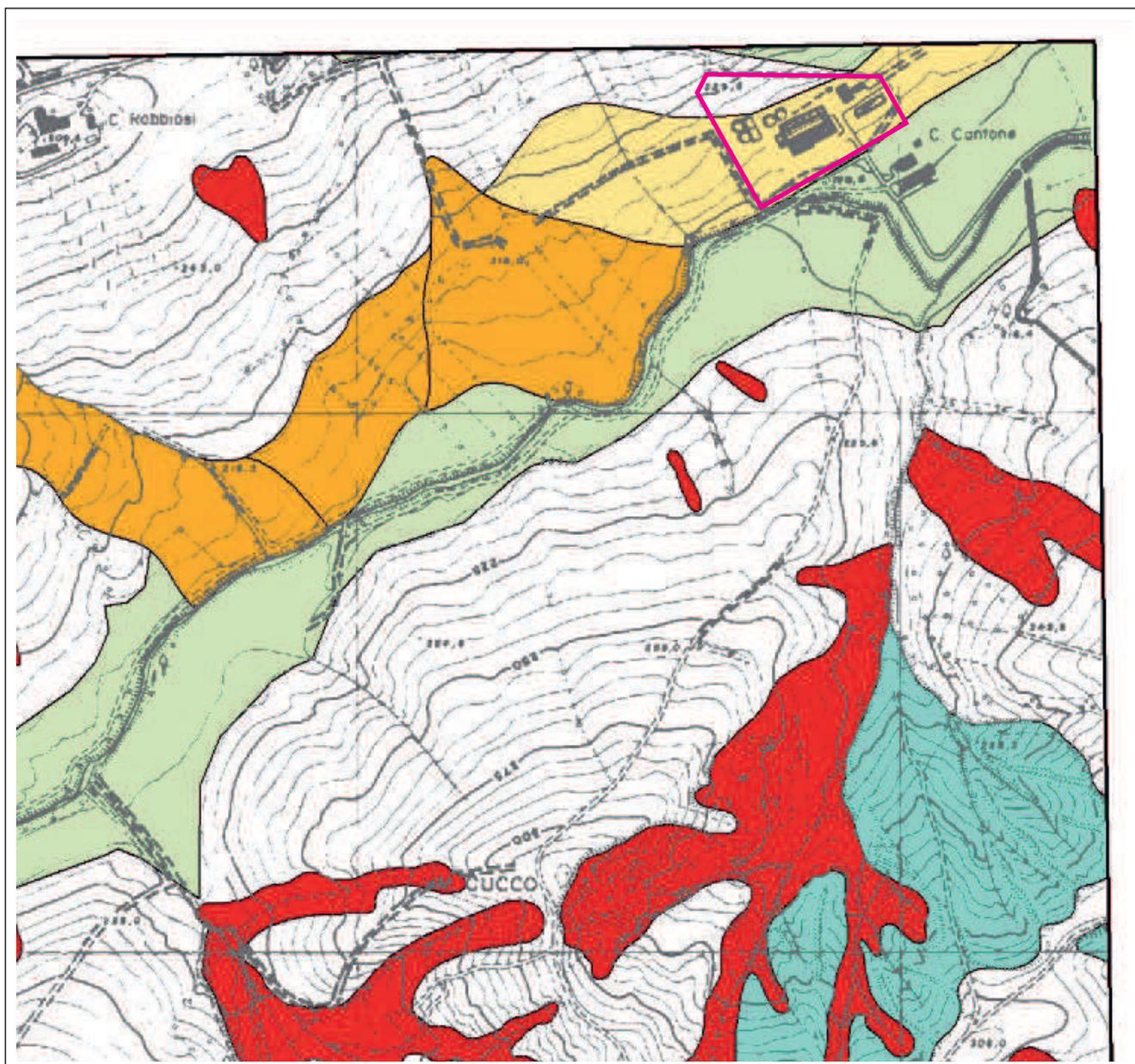
Unità geologiche (10K)

ATSa - Sistema del Torrente Stirone - litofacies pelitica

CMZ - Sistema di Costamezzana

FAA - Argille Azzurre

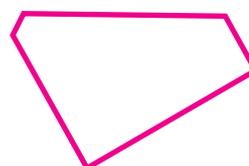
Area di intervento



TAV. 4 - CARTA DISSESTO P.T.C.P. Sez. 199160 (scala 1:10.000)

Legenda

Art.21 N.T.A.	AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MOLTO ELEVATA	
		Frane attive
		Aree soggette a decorticamento superficiale e/o soliflusso
		Aree calanchive e sub-calanchive
		Scarpate di degradazione in atto
		Aree Ee (PAI)
Art.22 N.T.A.	AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA ELEVATA	
		Frane quiescenti
		Parti di versante inglobati in corpi di frana quiescente
		Aree Eb (PAI)
Art.22 bis N.T.A.	AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MODERATA	
		Versanti interessati da scivolamenti planari o rotazionali in massa
		Frane relitte
		Deformazione gravitativa profonda di versante
		Detrito di versante
		Depositi di conoide alluvionale
		Depositi alluvionali



Area di intervento

PROVINCIA DI PARMA
COMUNE DI LESIGNANO DE' BAGNI
LOC. IL PIANTONE

progetto: CAMBIO DESTINAZIONE D'USO
DI AREA
- VARIANTE P.S.C. -
committente: AZIENDA AGRICOLA
PIANTONE DI PICH ADRIANO E C. - S.N.C.

ALLEGATO
INDAGINE GEOFISICA

dott. geol. MATTEO BALDI
GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE · IDROGEOLOGIA
Ordine dei Geologi Regione Emilia-Romagna n° 926

Via Roma, 57/bis – 43013 Langhirano (PR) · Tel. e fax 0521/857659 · e-mail: bb.studio@libero.it
P.IVA: 02069030340 · cod. fisc.: BLD MTT 71E03 G337A

COMMITTENTE:

Dott. Geol Matteo Baldi
via Roma
43013 Langhirano (PR)

COMMESSA:

Indagine geofisica
- Sismica a Rifrazione (V_p)
- Indagine Masw
- Indagine HVSR

LOCALITA':

Santa Maria del Piano
Comune di Lesignano de' Bagni (PR)

TITOLO:

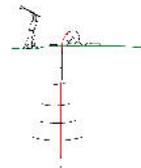
Relazione Tecnica

DATA:

Novembre 2018

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogeofisica.com
www.tecnogeofisica.com



INDAGINE GEOFISICA

Committente:

Dott. Geol Matteo Baldi
via Roma
43013 Langhirano (PR)

Intervento:

Sismica a Rifrazione (V_p)
Indagine MASW
Indagine HVSr

Località:

Santa Maria del Piano
Comune di Lesignano de' Bagni (PR)

INDICE

Premessa	3
Caratteristiche attrezzatura	4
La sismica a rifrazione	5
La tomografia sismica	6
Osservazioni sulla sezione di tomografia sismica restituita	6
Indagine MASW	7
Metodologia d'indagine MASW	8
Interpretazione dati acquisiti	10
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{S30})	12
Indagine sismica Microtremori	13
Allegati Intervento	15
Ubicazione Indagini	15
Scheda sismica a rifrazione	16
Scheda Indagine MASW	19
Scheda HVSr	20
Documentazione Fotografica	22

Premessa

Nel mese di novembre 2018, su commissione di:

Dott. Geol Matteo Baldi

via Roma

43013 Langhirano (PR)

Sono state eseguite indagini geofisiche in merito allo studio per il cambio di destinazione d'uso di un'area sita in località Santa Maria del Piano in comune di Lesignano de' Bagni (PR).

In particolare, si sono eseguite:

- uno stendimento di sismica a rifrazione (V_p)
- una indagine MASW
- una indagine HVSR

Le indagini sono state ubicate come indicato dalla committenza ed indicato nelle schede allegate a fine testo.



Fig.1 Ubicazione area di indagine

La sismica a rifrazione è indirizzata alla valutazione degli spessori e all'assetto geometrico delle coltri superficiali. L'indagine MASW è indirizzata in particolare al rilievo della distribuzione con la profondità delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_s) e la conseguente valutazione del parametro V_{seq} , mentre la misura HVSR serve per misurare la frequenza caratteristica del terreno in studio oltre a valutare indicativamente gli spessori delle coltri superficiali.

Caratteristiche delle indagini geofisiche eseguite:

Nome file	Tipologia indagine	Numero geofoni	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Numero energizzazioni	Note
SR	Sismica Rifrazione	24	3,5	84	9	Elaborazione Tomografica
MW	Indagine MASW	24	2,0	46	7	Energizzazione 15 m
HV	Indagine HVSR					

Caratteristiche attrezzatura

Sismica a rifrazione e MASW

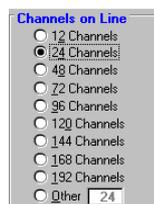
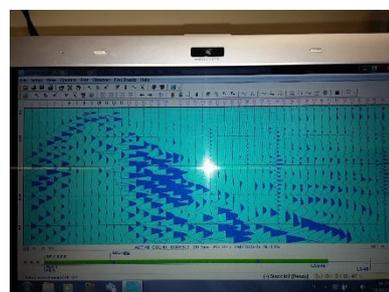
Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della Abem-Seistronix mod. **Ras 24** con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali),

sismografo (ch 1-24)



Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 48-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows7 32 bit,
-Display:	VGA colori LCD_TFT 15"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk
-Risoluzione acquisizione:	12/48 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷4000 ms
-Tempi campionamento:	da 12 µs a 4 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi
- Canali:	24/48 (max 240)



- due cavi con lunghezza ognuno da 115 m per collegare in serie i 24 geofoni.
- 24 geofoni da 14 Hz per la sismica a rifrazione
- 24 geofoni da 4,5 Hz per l'indagine Masw
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

Indagine HVSR

- TROMINO®

La sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è indirizzata alla valutazione degli spessori e all'assetto delle geometrie delle coltri superficiali e/o alla profondità del bedrock (se raggiungibile).

Le indagini sismiche (metodo a rifrazione) si basano sulla propagazione delle onde sismiche di tipo longitudinale (onde P) o trasversali (onde S) prodotte nel sottosuolo dal sistema di energizzazione (mazza battente od esploditore/fucile sismico). Le onde sismiche si propagano nel terreno, ogni qualvolta quest'ultimo venga sottoposto a sollecitazioni dinamiche sia di tipo naturale sia di tipo artificiale. La tecnica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate da una sorgente puntiforme superficiale (punto di energizzazione), sino all'arrivo in corrispondenza di una molteplicità di accelerometri allineati sulla superficie topografica (geofoni).

L'analisi della modalità di propagazione delle onde sismiche, ricavandone la velocità di propagazione all'interno del materiale attraversato, consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche del terreno e quindi valutare in prima approssimazione il grado di consistenza del sottosuolo esaminato.

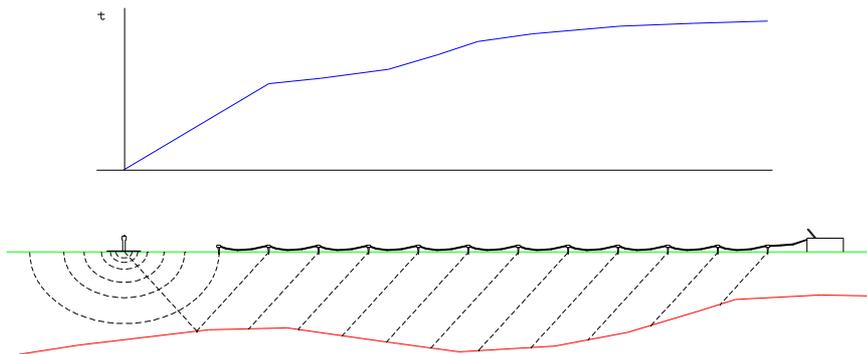


Fig. 2 Rappresentazione schematica della velocità (V_p) nel sottosuolo (sotto) e dromocrona delle onde (sopra)

Questo tipo di indagine indiretta, opportunamente tarata tramite confronto con indagini geognostiche dirette, consente di risalire, con discreta attendibilità:

1. alla composizione litologica dei terreni,
2. al loro grado di fratturazione (in alcuni casi particolari)
3. alla ricostruzione delle geometrie delle unità sismo-stratigrafiche sottostanti la coltre superficiale ed alla profondità della roccia di fondo (il cosiddetto "bedrock").

L'elaborazione dei dati sismici con un adeguato modello matematico bidimensionale, ottenuto anche tramite procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al sottosuolo in esame. Mediante le distanze tra il punto di scoppio e quello dei geofoni ed i relativi tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si ricostruiscono opportuni grafici "le dromocrone" (o curve tempi-distanze), dalle quali tramite opportuno programma di calcolo, si risale:

- alle velocità sismiche proprie dei singoli strati,
- al loro spessore,
- alla profondità della base del rifrattore,
- alla forma ed inclinazione delle relative superfici di separazione (rifrattore).

Per registrare le vibrazioni del terreno vengono utilizzati geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con asse verticale e frequenza caratteristica di 14 Hz, che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si propagano nel terreno in seguito alla fase di energizzazione. Questi ricevitori sono collegati al sismografo tramite degli appositi cavi multipolari.

L'impulso di battuta con la mazza (o mediante sparo del fucile sismico) viene trasmesso immediatamente al sismografo per consentire una registrazione sincronizzata al tempo 0. Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico, è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo. La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità. Il metodo sismico a rifrazione fornisce modelli sismostratigrafici che presentano una precisione accurata, tanto più le condizioni naturali si avvicinano alle seguenti:

- Modello semplice costituito da pochi rifrattori, caratterizzati da velocità costanti e ben differenziate nel passaggio da strato a strato;
- Velocità crescente con la profondità, strati lenti o inversioni di velocità costituiscono una limitazione alla tecnica di rifrazione anche se l'esistenza di formazioni intermedie a bassa velocità è spesso rilevata da disturbi o da

discontinuità nelle dromocrone ed affrontate dalle più recenti tecniche interpretative (GRM-Delaytime-ABC e/o interpretazione tomografica);

- Inclinazione degli strati o variazioni di pendenza non eccessive, anche se questi limiti possono essere anch'essi superati con moderne interpretazioni tomografiche.

Un altro fattore limitante è costituito da zone mascherate e/o cieche e cioè quando lo spessore di uno strato intermedio è ridotto oppure la sua velocità è di poco superiore a quella dello strato sovrastante.

La tomografia sismica

La tomografia sismica è indirizzata all'esplorazione di dettaglio del sottosuolo attraverso onde sismiche prodotte sia in superficie che in pozzi di sondaggio e consente la modellazione 2D e 3D del sottosuolo

E' una tecnica che meglio caratterizza ed individua delle "anomalie" nella mappatura delle velocità di propagazione delle onde sismiche, attraverso una risoluzione nettamente superiore agli altri metodi.

Pertanto, dà la possibilità di effettuare una ricostruzione del profilo con maggior dettaglio ed un elevato grado di qualità.

L'utilizzo di questa tecnica richiede un maggior numero di sorgenti di scoppio e di punti di ricezione delle onde sismiche, in modo tale da ottenere una distribuzione dei raggi sismici abbastanza omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del grado di raffinazione da raggiungere

Per contro le ipotetiche superfici di separazione dei vari orizzonti sismostratigrafici sono più difficilmente individuabili, poiché non è uno degli scopi prioritari di tale metodo interpretativo.

Il principio di elaborazione tomografica consiste nell'inviare un segnale sismico a diverse progressive lungo la linea d'indagine e di ricevere in modo simultaneo in più ricevitori la perturbazione elastica prodotta.

I raggi sismici devono così formare idealmente una fitta rete in modo tale che ogni punto del mezzo sia attraversato in ogni direzione da una moltitudine di raggi sismici.

Successivamente il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica del sottosuolo, utilizza una teorica suddivisione del sottosuolo in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che lo attraversano. La presentazione delle elaborazioni eseguite da come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Per la elaborazione tomografica delle stese sismiche eseguite è stata utilizzata la versione 2.43 del software RAYFRACT, che ha la possibilità di elaborare i dati con i metodi Delta-t-V (Gebrande e Miller, 1985), o WET *wevepath eikonal travelttime* (Schuster, 1993; Watanabe, 1999).

Procedura di elaborazione

- Trasferimento dei sismogrammi al programma di elaborazione dati (RAYFRACT).
- Impostazione delle caratteristiche geometriche della linea sismica (numero geofoni e quota, numero spari e quota, ecc.)
- Procedere con l'operazione di Picking dei primi arrivi
- Selezionare l'algoritmo per l'elaborazione tomografica (WET o Delta t-V)

A questo punto viene elaborato un primo modello monodimensionale su cui l'operatore può interagire, sulla scorta di questo modello l'elaborazione prosegue.

Successivamente si verifica la bontà del fit tra i dati sintetici e quelli misurati e tra le dromocrone sintetiche e quelle calcolate.

Quindi completato il processing di imaging della tomografia si ottiene un file di output che viene visualizzato tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, diversi colori cui corrispondono diverse velocità

Osservazioni sulla sezione di tomografia sismica restituita

Dalla restituzione/elaborazione in tomografia sismica (vedi scheda allegata pag.18) si individuano due orizzonti sismostratigrafici:

- 1) Il primo orizzonte che comprende la coltre sismica più superficiale (areato) e tende ad addensarsi progressivamente con la profondità, corrisponde a una velocità sismica (V_p) da 200 fino a 1000 m/s, con spessore variabile tra 5/6 m da p.c. circa, è omogeneo e continuo lateralmente [restituzione tomografica con colore dal blu scuro fino al verde].
- 2) Al di sotto si identifica un orizzonte caratterizzato da materiali a medio/discreto grado di addensamento, continuo in senso laterale, caratterizzato da velocità sismiche da 1000/1500 fino a 2000 m/s alla base, il cui spessore però non si riesce a identificare con la sismica a rifrazione [restituzione tomografica con colore azzurrino-verde fino al rosso].

La presenza della prima discontinuità sismostratigrafica a circa tra 5/6 m da p.c. è ben supportata dall'analisi congiunta dei dati della tomografia sismica con quelli della MASW e dell'HVSR. Queste due ultime indagini permettono di ipotizzare un ulteriore orizzonte sismostratigrafico alla profondità di circa 15/16 m da p.c., che però non è individuato dalla restituzione tomografica della sismica a rifrazione.

Indagine MASW

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa (par. 3.2.2 NTC18) richiede l'effetto della risposta sismica locale valutata mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. dell'NTC18.

All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 3.2.II) è invece convenzionalmente eseguita sulla base delle condizioni stratigrafiche e della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Metodologia d'indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto (V_{s30}). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (NTC-2018 e ad es. *Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre, diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica (>2,5-3) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".



Fig.3 Schema illustrativo prova Masw

La linea Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

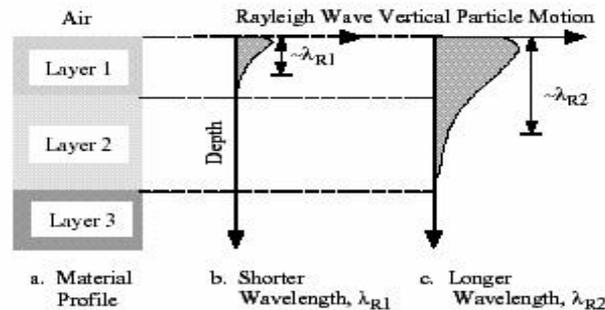
➤ Numero geofoni	24
➤ Distanza Intergeofonica	2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	46 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono "offset"	15 m
➤ Lunghezza complessiva	61 m

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di sismica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k ; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato).

Al contrario un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè:

$$z = \frac{\lambda}{1.5/2.0}$$

Dalle tecniche di analisi-interpretazione (analisi spettrale), mediante utilizzo del software (**SWAN**® vers. 2008) in seguito descritta più in dettaglio, dal grafico "Experimental Dispersion Curve" (nel dominio Frequenza-Velocità) è possibile ottenere la lunghezza d'onda delle onde di Rayleigh, caratteristiche dell'indagine eseguita.

Inoltre, si evidenzia che:

con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

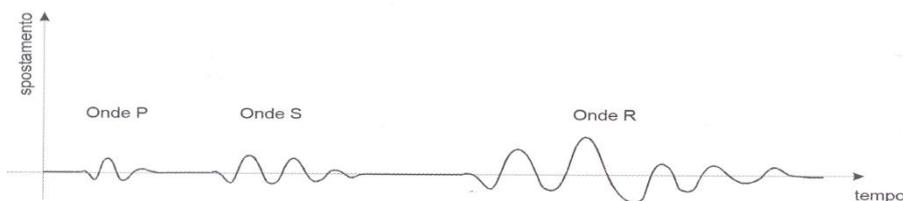


Fig. 4: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

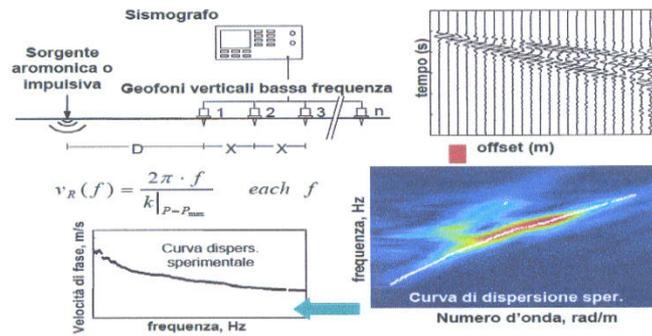
La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura successiva (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

tecniche attive - Metodi multistazione



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(fase)/f(frequenza)$, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili Vs / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW trae spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

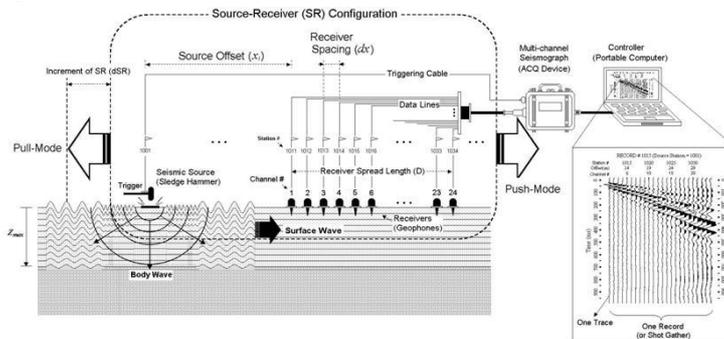
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale, di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN**® vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni

frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.

- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $*0,9$ le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti, ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un $Mach$ fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

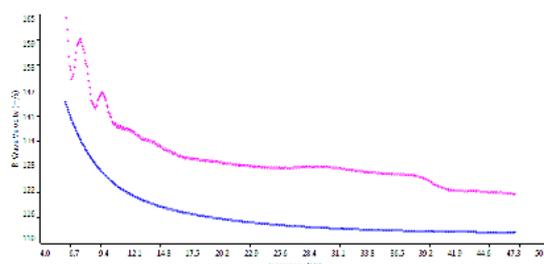
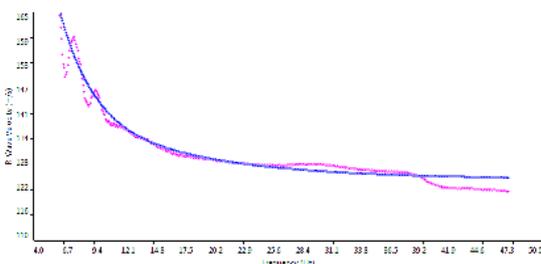


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.
Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.
Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0,45-0,48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{s30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da DM 17/01/2018) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e con la tomografia sismica e i dati dall'indagine HVSR eseguiti in sito.

I valori della velocità media delle onde di taglio V_s , ottenuti mediante specifica prova Masw, sono pertanto:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato: velocità media onde V_s 107 m/sec	spessore medio 0,95 m
2° strato: velocità media onde V_s 146 m/sec	spessore medio 1,78 m
3° strato: velocità media onde V_s 210 m/sec	spessore medio 2,37 m
4° strato: velocità media onde V_s 400 m/sec	spessore medio 9,40 m
5° strato: velocità media onde V_s 500 m/sec	spessore medio $\geq 15,50$ m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20/03/2003 e art. 3.2.2 DM 17/01/2018), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurate, consentendo di ottenere la V_{s30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

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

dove

h_i = spessore dello strato i -esimo
 V_{s_i} = velocità onde S nello strato i -esimo
 N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW

$V_{s30} = 345$ m/sec (da p.c. a -30 m)

Da cui si presume che, in base alla misura delle onde di taglio V_{s30} , il terreno corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*)

Il progettista dovrà verificare che vi sia effettivamente un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità dei terreni come da NTC18

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC2018, "Per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle V_s è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Indagine sismica Microtremori

Per la misura della frequenza caratteristica del sito, e a maggior dettaglio, per determinazione dello spessore della coltre superficiale, è stata eseguita una stazione per l'acquisizione dei microtremori sismici (misura HVSR)

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "TROMINO"®, certificato e coperto da brevetto internazionale.

Tale strumentazione appositamente progettata, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura delle vibrazioni su strutture (norma Din4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo idoneo al rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit.

Queste caratteristiche strumentali consentono un'elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Praticamente si tratta di installare solidalmente al suolo il Tromino® e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l'area in esame s'ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore massimo ipotizzabile non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo $T=2$ sec.

Pertanto, per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

Inoltre, è indispensabile anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minima di 15 minuti.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo 'Grilla' (ver. 6.3), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR (meglio nota come tecnica di Nakamura) secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2004).

I passi principali sono:

- ◆ uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- ◆ analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico)
- ◆ eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sotto finestre di 20 sec) le sotto finestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).
- ◆ calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:
 - eliminazione segnale di eventuali offset
 - calcolo spettri di Fourier
 - Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva
 - Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O - verticale
- ◆ Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- ◆ Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- ◆ Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni d'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale", presentato nella scheda "**misura microtremori (HVSR)**", che mette in evidenza (se presenti) picchi di amplificazione del segnale ($HVSR \gg 1$) dovuti alla presenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza sismica fra gli strati che inneschino amplificazioni del segnale sismico.

Il valore finale del HVSR in funzione della frequenza espresso nel grafico è indicato da una linea rossa che indica la media RMS delle componenti orizzontali rispetto alle verticali, mentre l'intervallo di confidenza (95%) relativo all'ampiezza HVSR è dato dalle linee nere sottili.

Il grafico "Spettro delle singole componenti" esprime invece l'andamento delle singole componenti registrate dal Tromino, componente N-S, componente E-O e componente Up-Down alle varie frequenze.

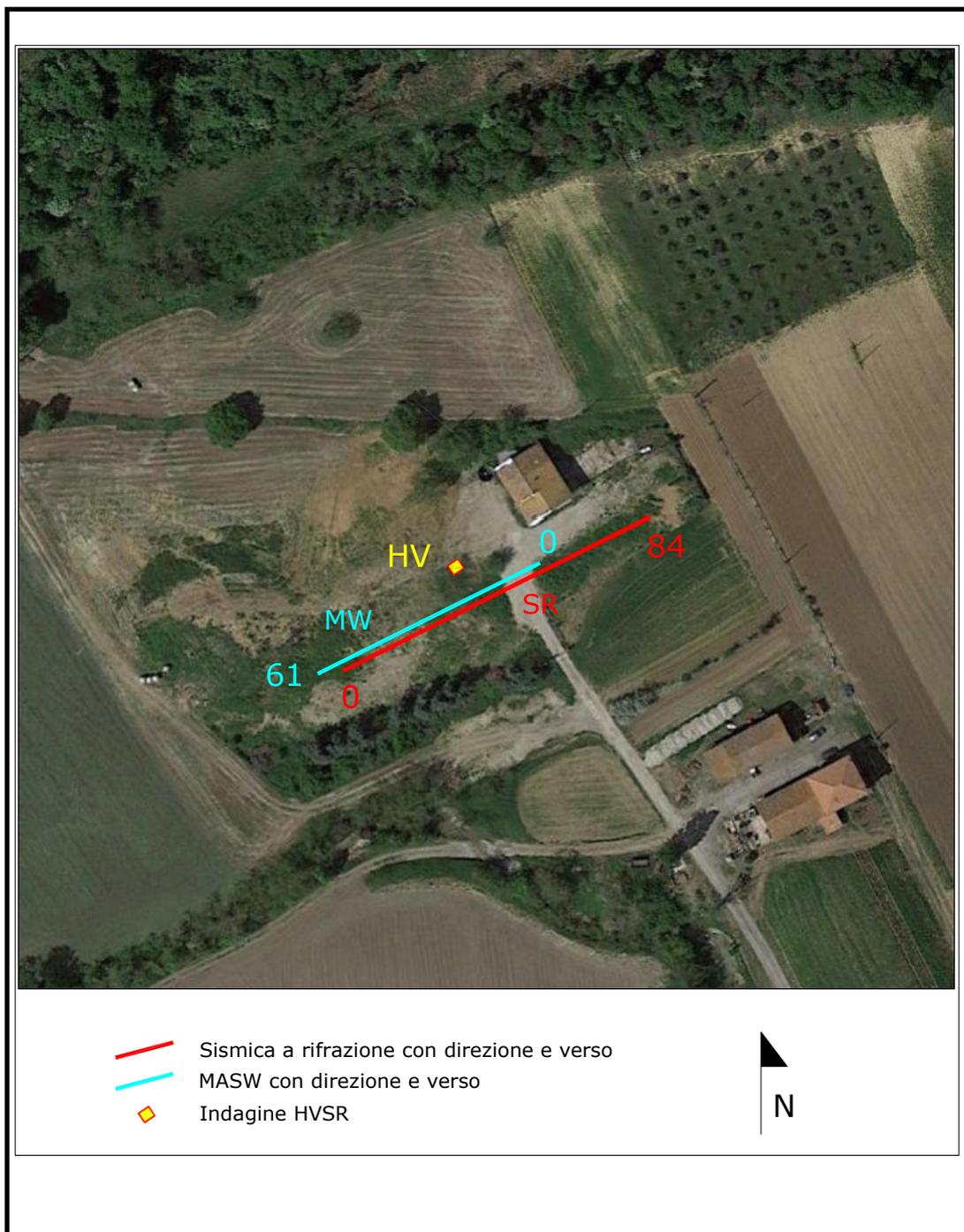
Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rientra nei criteri di validazione della tabella SESAME (3 valori su 3 sono soddisfatti), con presenza di un picco “non chiaramente evidente” (1 valori su 6 sono soddisfatti).

Dal grafico HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO, si segnala un picco principale con frequenza (f), pari a **$0,53\pm 0,71$ Hz**.
I dati di tutta l’acquisizione in sismica passiva HVSR sono visibili nella allegata scheda.

TECNOGEOFISICA s.n.c.

Allegati Intervento

Ubicazione Indagini

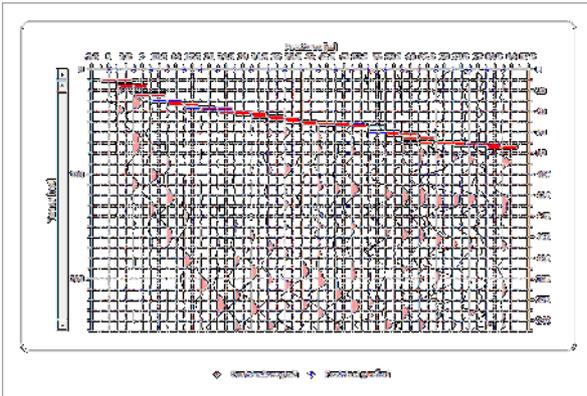


Caratteristiche indagini eseguite

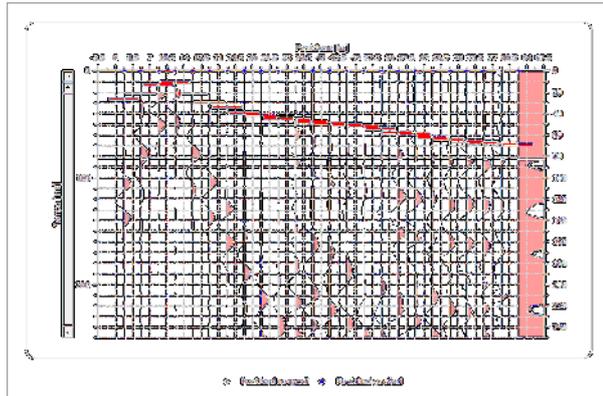
Nome file	Tipologia indagine	Numero geofoni	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Numero energizzazioni	Note
SR	Sismica Rifrazione	24	3,5	84	9	Elaborazione Tomografica
MW	Indagine MASW	24	2,0	46	7	Energizzazione 15 m
HV	Misura HVSR					

Scheda sismica a rifrazione

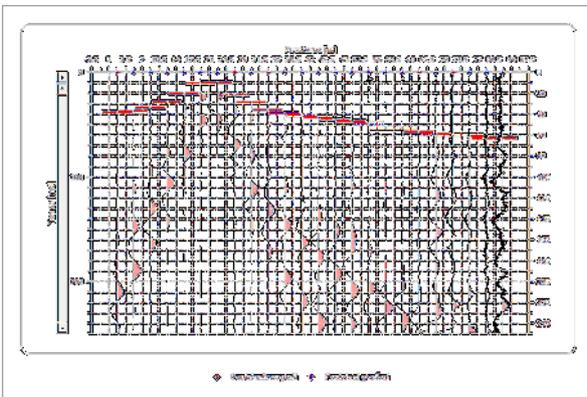
Linea sismica SR– Shot 1



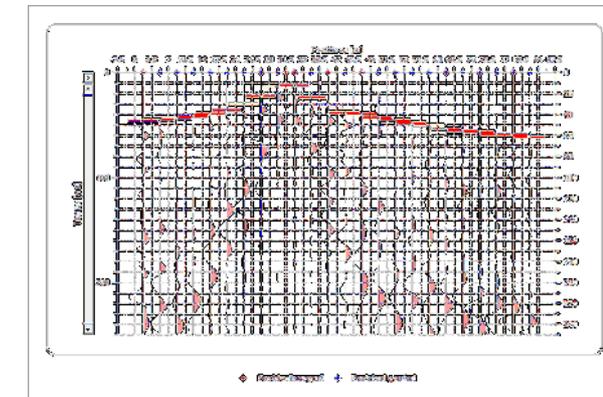
Linea sismica SR– Shot 2



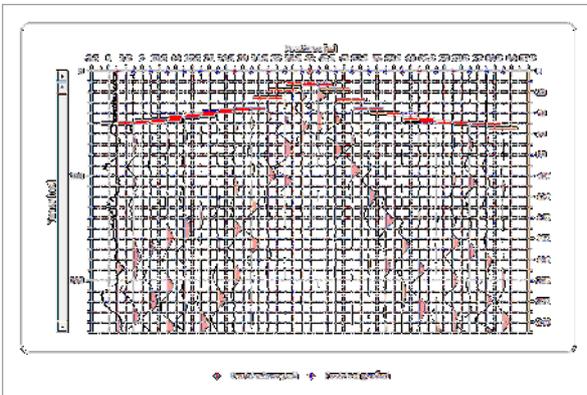
Linea sismica SR – Shot 3



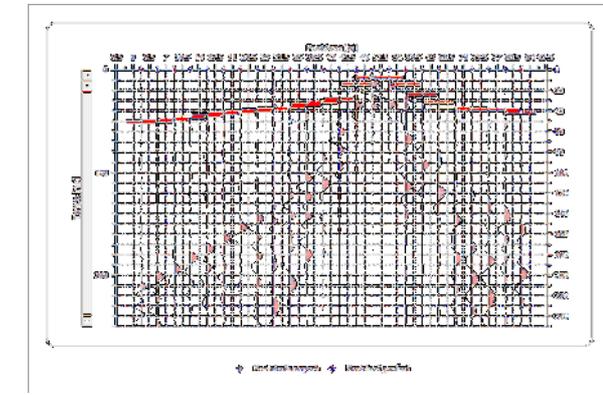
Linea sismica SR – Shot 4



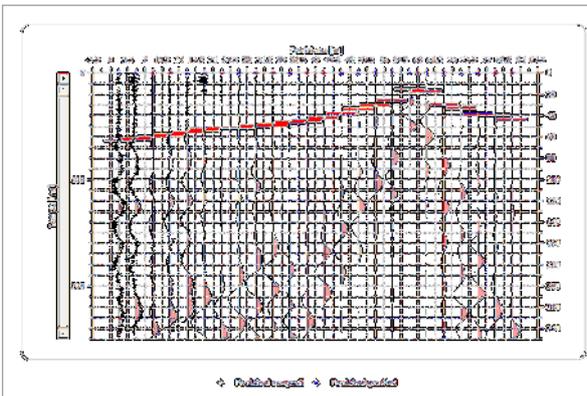
Linea sismica SR – Shot 5



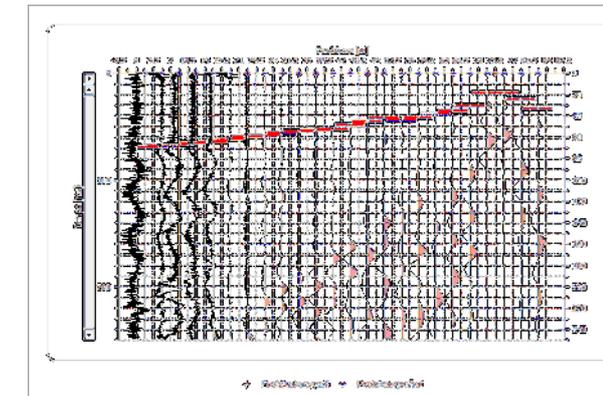
Linea sismica SR – Shot 6



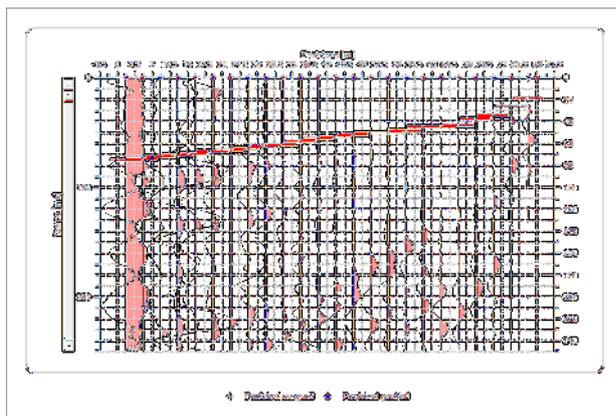
Linea sismica SR – Shot 7



Linea sismica SR – Shot 8



Linea sismica SR – Shot 9



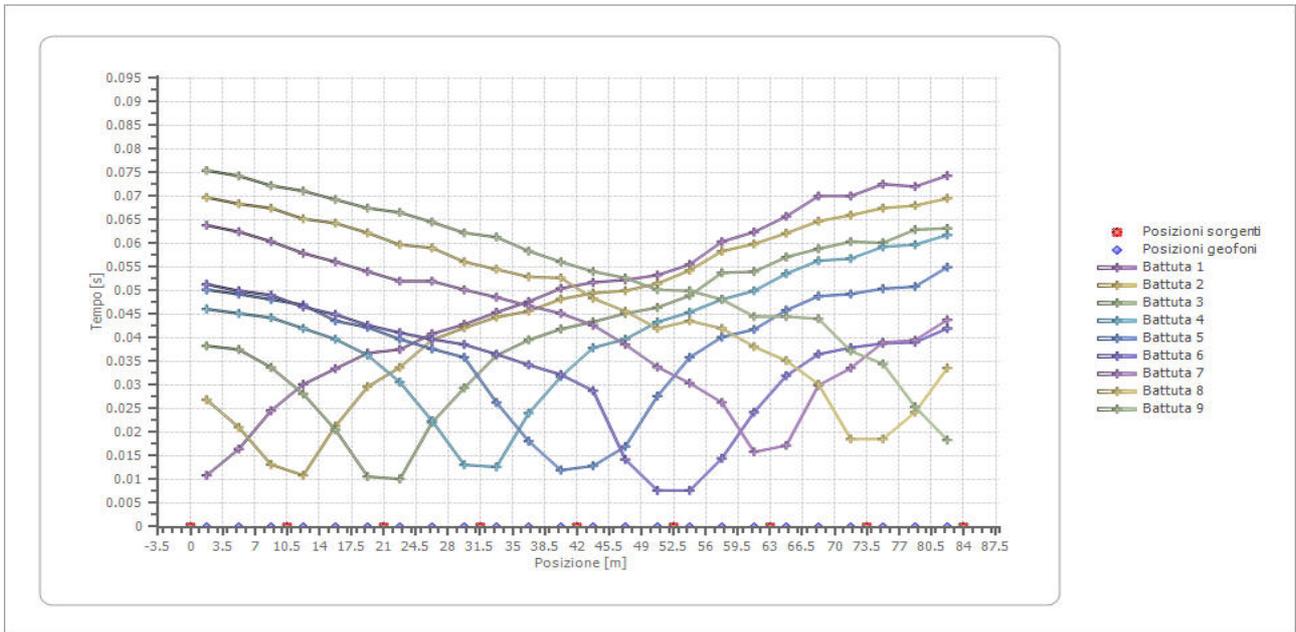
Tempi di arrivo linea SR in msec

Geofono	x	Y	T1	T2	T3	T4	T5	T5	T7	T8	T9
Num	Prog in m	Quota rel m	Time in ms								
1	1.75	0	10.88	26.87	38.27	46.07	50.16	51.3	63.8	69.7	75.39
2	5.25	0	16.45	21.03	37.52	45.16	49.25	49.93	62.43	68.34	74.25
3	8.75	0	24.56	13.17	33.72	44.25	48.11	49.02	60.39	67.43	72.2
4	12.25	0	30.14	10.88	28.12	41.98	46.98	46.52	57.89	65.16	71.07
5	15.75	0	33.45	21.28	20.52	39.7	43.57	44.93	56.07	64.25	69.25
6	19.25	0	36.75	29.64	10.63	36.3	42.2	42.66	54.02	62.2	67.43
7	22.75	0	37.52	33.72	10.1	30.61	39.7	41.07	51.98	59.7	66.52
8	26.25	0	40.81	39.54	22.04	22.43	37.66	39.7	51.98	59.02	64.48
9	29.75	0	42.84	42.09	29.38	13.11	35.84	38.57	50.16	56.07	62.2
10	33.25	0	45.38	44.36	36.25	12.66	26.3	36.52	48.57	54.48	61.3
11	36.75	0	47.65	45.63	39.54	24.02	18.11	34.25	46.75	52.89	58.34
12	40.25	0	50.45	48.18	41.83	31.75	11.98	32.2	45.16	52.66	56.07
13	43.75	0	51.72	49.45	43.36	37.89	12.89	28.8	42.66	48.34	54.02
14	47.25	0	52.24	49.95	45.13	39.7	16.98	14.25	38.57	45.61	52.66
15	50.75	0	53.25	51.47	46.4	43.34	27.66	7.66	33.8	41.98	50.16
16	54.25	0	55.52	54.27	48.93	45.39	35.84	7.66	30.39	43.57	49.93
17	57.75	0	60.34	58.33	53.75	48.11	40.16	14.48	26.3	41.98	48.11
18	61.25	0	62.38	59.84	54	49.93	41.75	24.25	15.84	38.11	44.48
19	64.75	0	65.68	62.13	57.06	53.57	45.84	31.98	17.2	35.16	44.48
20	68.25	0	70	64.66	58.83	56.3	48.8	36.52	29.93	30.16	44.02
21	71.75	0	70	65.94	60.34	56.75	49.25	37.89	33.57	18.57	37.2
22	75.25	0	72.51	67.44	60.09	59.25	50.39	38.8	39.02	18.57	34.48
23	78.75	0	72.01	67.97	62.88	59.7	50.84	39.02	39.48	24.25	25.39
24	82.25	0	74.3	69.48	63.15	61.75	54.93	41.98	43.8	33.57	18.34

Punti di energizzazione

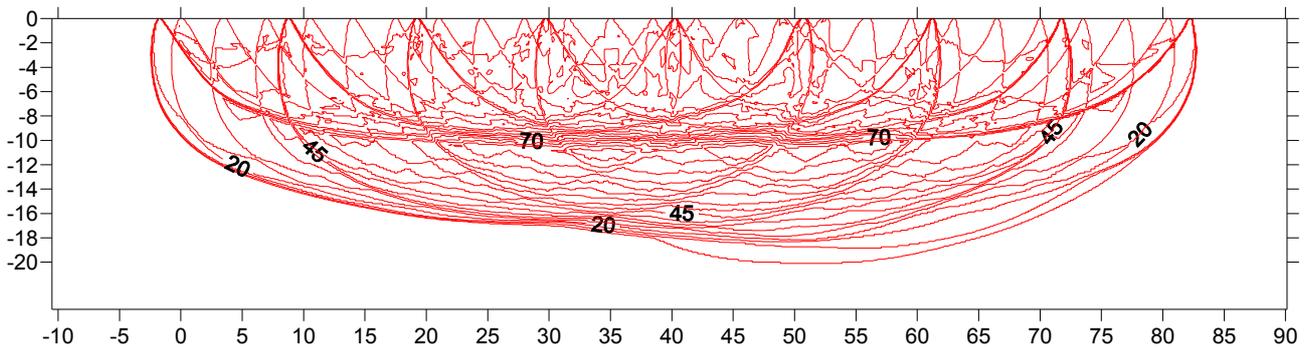
	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Shot 6	Shot 7	Shot 8	Shot 9
Progressiva (m)	0	10.5	21	31.5	42	52.5	63	73.5	84
Quota relativa (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Schema dromocrone linea SR

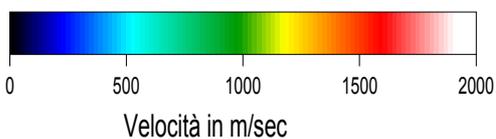
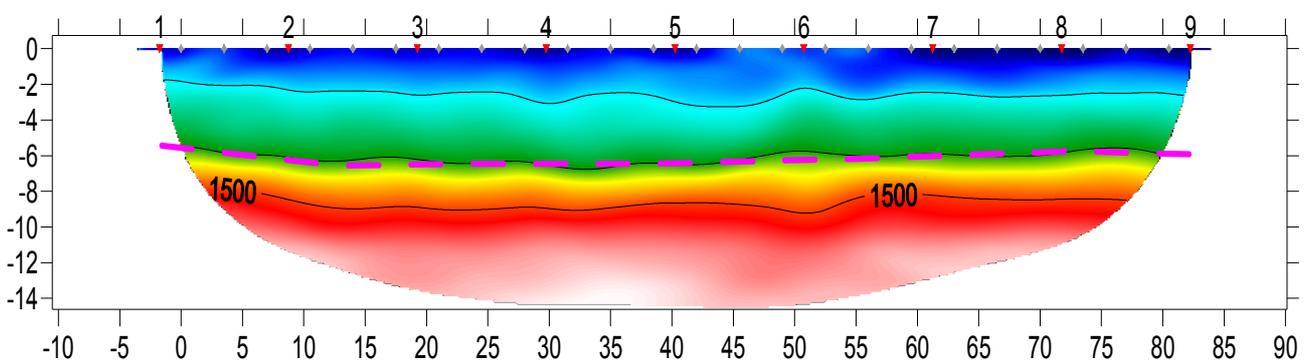


ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Ricopertura raggi sismici tomografica linea SR

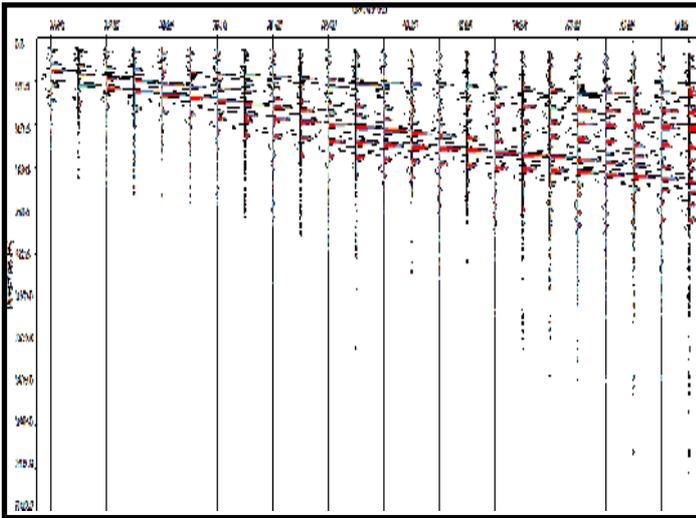


Elaborazione tomografica linea SR

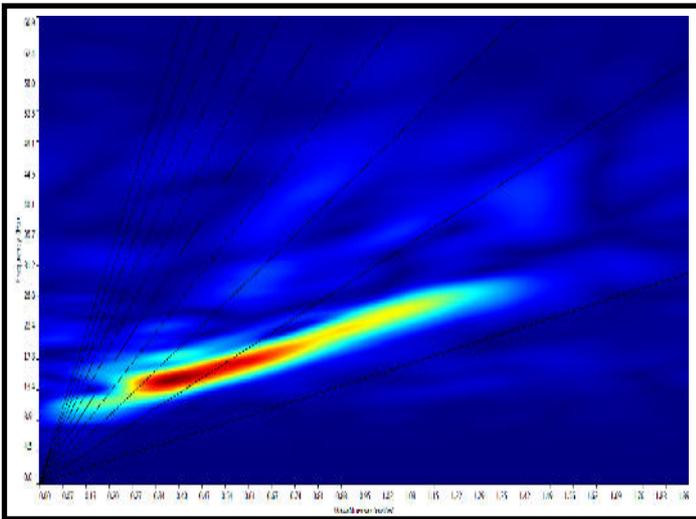


Probabile limite sismostratigrafico

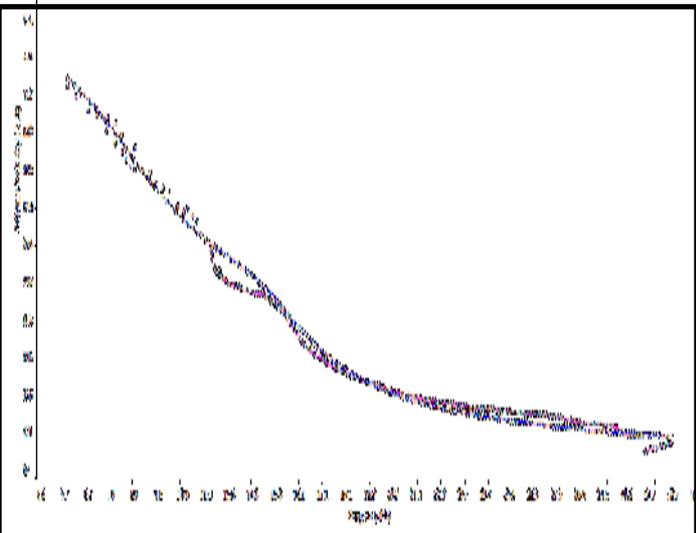
Scheda Indagine MASW



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

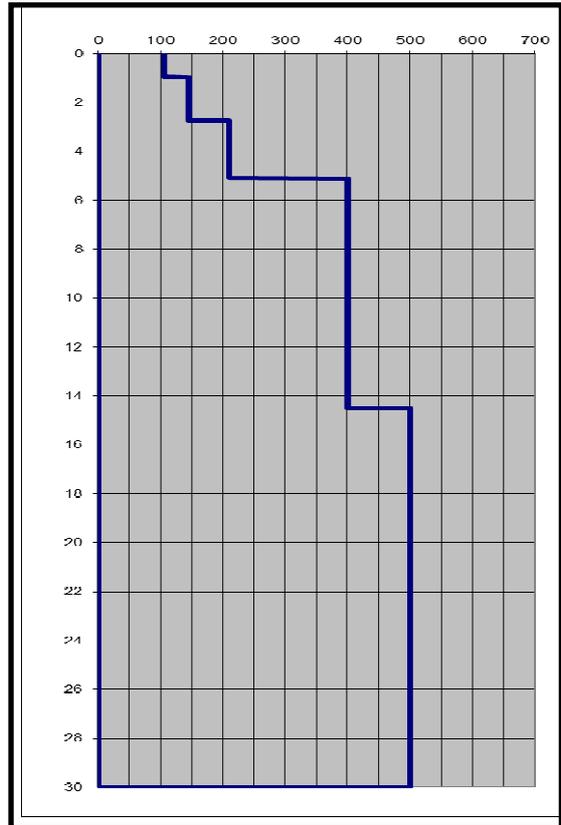


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MASW				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	0.95	0.95	107
Strato2	0.95	2.73	1.78	146
Strato3	2.73	5.10	2.37	210
Strato4	5.10	14.50	9.40	400
Strato5	14.50	≥30.00	≥15.50	500

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

Dove:

- h_i** = spessore dello strato i-esimo
- V_{S_i}** = velocità onde S nello stato i-esimo
- N** = numero strati considerati

V_{S30} da pc a – 30 m = 345 m/sec

Scheda HVSR

Strumento: TRZ-0099/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 20/11/18 12:52:15 Fine registrazione: 20/11/18 13:12:15

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

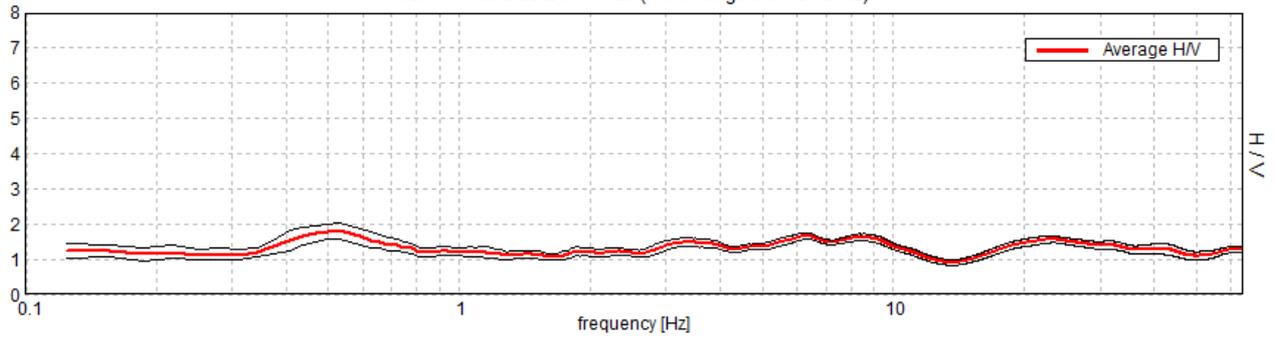
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

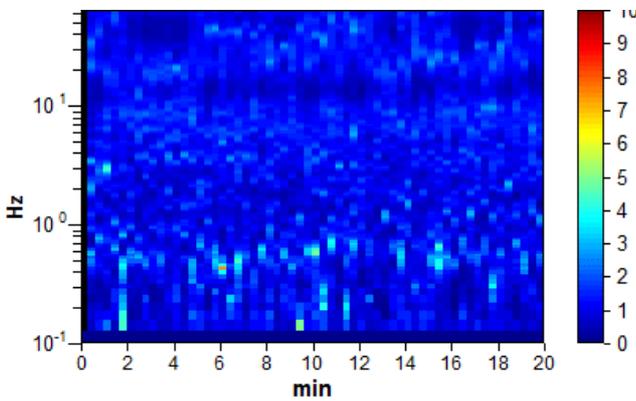
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

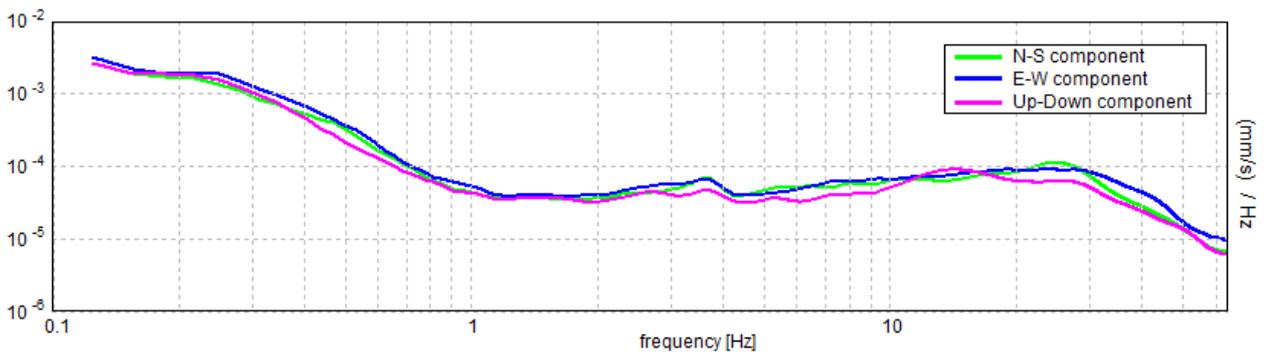
Max. H/V at 0.53 ± 0.71 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 0.53 ± 0.71 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.53 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$626.9 > 200$	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 26	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.81 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.34143 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.71263 < 0.07969$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2272 < 2.0$	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

- ✓ i primi 3 criteri della voce 1) definiscono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco
- ✓ i secondi 6 criteri della voce 2) dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti.

Documentazione Fotografica



Piazzamento sismica a rifrazione SR



Piazzamento indagine MASW



Piazzamento indagine HVSR