Committente:

Comune di Spinetoli
Piazza Leopardi, 31 - 63078 Spinetoli (AP)
Tel. 0736/890298
PEC: protocollo@pec.comune.spinetoli.ap.it
C.F. e P.IVA 00362890444
Sindaco:
Ing. Alessandro LUCIANI
Responsabile del Procedimento:
Ing. Maurilio TAMBURRI

LAVORI DI ADEGUAMENTO STRUTTURALE DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA SITA IN VIA CINAGLIA DI PAGLIARE DEL TRONTO (AP)

SCUOLA DELL'INFANZIA
Via Cinaglia di Pagliare del Tronto, cap 63078 Spinetoli (AP)

Livello Progettuale:

PROGETTO ESECUTIVO

Descrizione:

RELAZIONE GEOLOGICA

Soggetto incaricato:

SIDOTI ENGINEERING S.R.L. UNIPERSONALE
ARCHITETTURA >> INGEGNERIA

Sede legale: Via Borgo Garibaldi 33 - 00041 Albano Laziale (RM)
Tel e fax 06.9323891 - cellulare 393.9868781
Filiale Marche: Via Roma 12 - 63081 Castorano (AP)
Tel e fax 0736.87547
C.F. e P.IVA 12502151009
PEC: sidotiengineering@legalmail.it
Email: sidotiengineering@gmail.com

Progettista, Responsabile delle integrazioni delle varie prestazioni specialistiche, Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:
Arch. Vincenzo SIDOTI (Responsabile)

Progettista opere strutturali:
Ing. Simone SENZACQUA

Gruppo di lavoro:
Arch. Jlenia ALLEVI
Ing. Sara ERCOLANI
Ing. Federico COMINI
Ing. Fabio DI PASQUALE

Timbri e Firme:

Progettista, Responsabile delle integrazioni delle varie prestazioni specialistiche, Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:
Arch. Vincenzo SIDOTI

Geologo: **Fabrizio Marini**

Dott. F. Marini

Progettista opere strutturali:
Ing. Simone SENZACQUA

Progettista opere edili - edilizia scolastica:
Arch. Jlenia ALLEVI

NOME FILE	AMB. SOFT.	SCALA
R.02.doc	-	-

REV	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Verificato	Approvato
00	19/10/2017	Prima emissione	F. Marini	S. Senzacqua	V. Sidoti

Codice Commessa:	Livello progett.:	Elaborato:
40.17	**PE**	**R.02**

Indice

PREMESSA.....3

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GEOMORFOLOGICO 5

ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....7

STUDIO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 9

Indagini geotecniche 10

CLASSIFICAZIONE E COMPORTAMENTO SISMICO DEI TERRENI 12

INDAGINI SISMICHE 17

CONCLUSIONI.....21

In Allegato

Allegato 1 Ubicazione area - Scala 1:2000

Allegato 2 Ubicazione area su CTR - Scala 1:5000

Allegato 3 Carta Geologico su Base CTR - Scala :5000

Allegato 4 Ubicazioni indagini e prove - Scala 1:1000

Allegato 5 Report Prove Penetrometriche

Allegato 6 Relazione sismica e indagini geofisiche

PREMESSA

La presente relazione, redatta dal sottoscritto dal sottoscritto Dott. Geol. Fabrizio Marini, iscritto all'Albo dei Geologi del Lazio al N° 1741, è finalizzata alla definizione delle caratteristiche fisiche meccaniche e simiche dei terreni di fondazione per la verifica di vulnerabilità sismica sull'immobile, adibito a scuola dell'infanzia, situato nel Comune di Spinetoli, frazione Pagliare del Tronto, in via Fratelli Cinaglia.

Lo studio delle caratteristiche geologico-geotecniche e geomorfologiche dei terreni affioranti nell'area in oggetto è stato condotto mediante un rilevamento geologico-tecnico dell'area persistente il sito da edificare, integrato da dati ricavati dalla bibliografia specifica.

In particolare il lavoro è stato svolto per fasi successive come di seguito sintetizzato:

- Rilevamento geologico-geomorfologico; volto a definire l'assetto morfo-strutturale dell'area suddetta ed all'identificazione dei fenomeni geomorfologici e di dissesto in essa presenti;
- Rilevamento geologico-tecnico di dettaglio dell'area circostante il sito interessato dalle opere in progetto. Tale studio ha avuto come finalità il riconoscimento dei principali litotipi in affioramento e la valutazione della stabilità globale dell'area d'intervento;
- Pianificazione ed esecuzione delle seguenti indagini geotecniche e geofisiche:
- Indagini in sito per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione (n. 3 Prove penetrometriche dinamiche),
- Indagini geofisiche, per la definizione delle caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione ed in particolare, per la definizione della Vs30, della stratigrafia superficiale e della frequenza di sito:
    - n. 1 simiche attiva tipo MASW

- n. 1 Antenna sismiche tipo ESAC
- n. 1 sismica passiva tipo HVSR;

- Elaborazione grafica;

Il lavoro è stato eseguito in ottemperanza alla normativa vigente in materia di Edilizia urbana e nello specifico :

- *Legge 2 febbraio 1974, n. 64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";*
- *Circolare Regionale n. 14 del 28/08/1990 Indirizzi e criteri per l'effettuazione di indagini geologiche in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici al PPAR (art. 9 – Sottosistema geologico-geomorfologico)*
- *Circolare Regionale n. 15 del 28/08/1990 Relazione tecnico-illustrativa Circolare ex L. 33/84 artt. 10/11*
- *O.P.C.M. 3274 del 20/03/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche perle costruzioni in zona sismica*
- *P.T.C.P (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) – Variante 2006*
- *Norme tecniche di attuazione - Art. 9, comma 3, lettera c - "Cartografia relativa al sottosistema geologico, geomorfologico ed idrogeologico"*
- *P.A.I. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche approvato con Deliberazione di Consiglio regionale n. 116 del 21/01/2004 pubblicata sul supplemento n. 5 al BUR n. 15 del 13/02/2004*
- *Decreto Ministeriale 14.01.2008 -Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni*
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.*

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GEOMORFOLOGICO

L'area in studio risulta ubicata in prossimità della frazione Pagliare del Tronto nel comune di Spinetoli nel settore meridionale del territorio comunale, in un'area mediamente urbanizzata da infrastrutture viarie e edifici a diverse destinazioni (Residenziali, Civili, Pubblico ricettive ecc.)

Tale area risulta inserita nella tavola 327100 della carta Tecnica Regionale a scala 1:10000 ed è censita nel foglio 10 del comune di Spinetoli.

L'area collinare risulta costituita prevalentemente da terreni sabbioso-arenacei pliopleistocenici, ben stratificati con intercalazioni di ghiaie che in generale si rilevano in discordanza su termini terrigeni posti a costituire una struttura monoclinalica con vergenza verso Nord-Est. La fascia collinare è caratterizzata da un paesaggio dolce, modellato su una estesa struttura monoclinale, costituita da termini terrigeni, immergente di pochi gradi verso NE e localmente interrotta da motivi plicativi minori.

I versanti collinari che degradano verso nord e verso sud, in direzione della piana alluvionale del Tronto, sono caratterizzate da pendenze variabili e soggette ad erosione a luoghi diffusa e a luoghi concentrata.

L'area si pone in corrispondenza di un terrazzo alluvionale del IV ordine del fiume Tronto generata dalle forme erosivo-sedimentarie ad opera dallo stesso fiume. Vista l'elevata antropizzazione non si rilevano particolari forme e processi geomorfologici, in quanto mascherate da riporti e rimodellamenti antropici.

Vista la morfologia dell'area si escludono forme e processi di natura gavitativa.

La cartografia del Piano Stralcio di Bacino della Regione Marche, non evidenzia area in dissesto, per contro l'area risulta a rischio esondazione con classificazione E2, cioè un'area che potrebbe essere esondata da una piena del fiume Tronto, e suoi affluenti, con un tempo di ritorno di 200 anni. Dall'analisi di studi pregressi finalizzati alla

definizione del rischio esondazione si deduce che "l'attuale piano di campagna del sito in oggetto (quota minima 39 m slm) offre garanzia rispetto ad una eventuale esondazione.

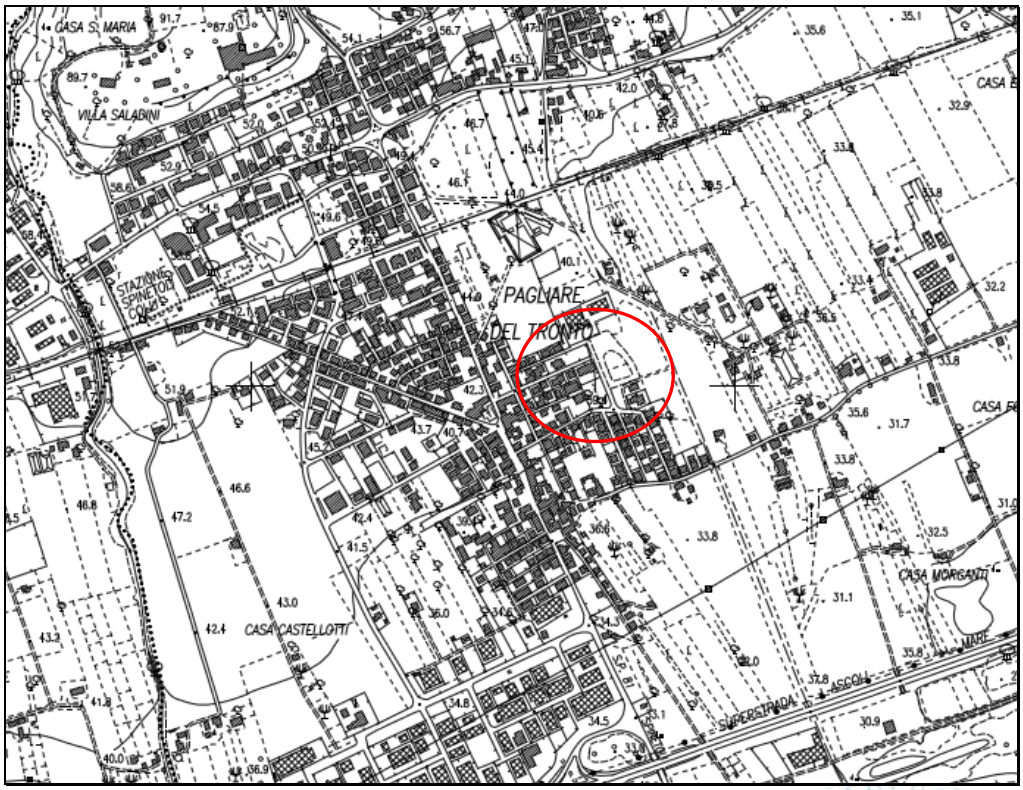


Figura 1: Stralcio Crta tecnica Regionale Scala 1:10000 Foglio 327100

ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Dall'analisi di diversi dati bibliografici a disposizione, opportunamente confrontato con osservazioni condotte in sito, è stato possibile ricostruire l'asseto geologico stratigrafico preliminare su cui è stata basata la pianificazione delle indagini geognostiche e geofisiche per la caratterizzazione delle proprietà geomeccaniche e sismiche locali.

Nello specifico nell'ambito geologico dell'area di interesse si rileva un complesso terrazzato di sabbie, ghiaie e conglomerati di origine fluviale, poste a copertura del substrato locale dato dalla Formazione delle argille e argille marnose grigie azzurre, sedimentatesi nell'intervallo temporale che va dal Pliocene medio al Pleistocene inferiore, affioranti su entrambi i versanti della valle del Tronto e posti a costituire l'intero sistema collinare. Di fatto la valle del Tronto viene inquadrata come una depressione naturale con direzione WSW-ESE, sui cui versanti affiorano a traversopoggio le formazioni sopra descritte; i loro strati assumono, nello spazio, una disposizione giaciturale immergente in direzione NE con debole inclinazione dell'ordine dei 7°-10°.

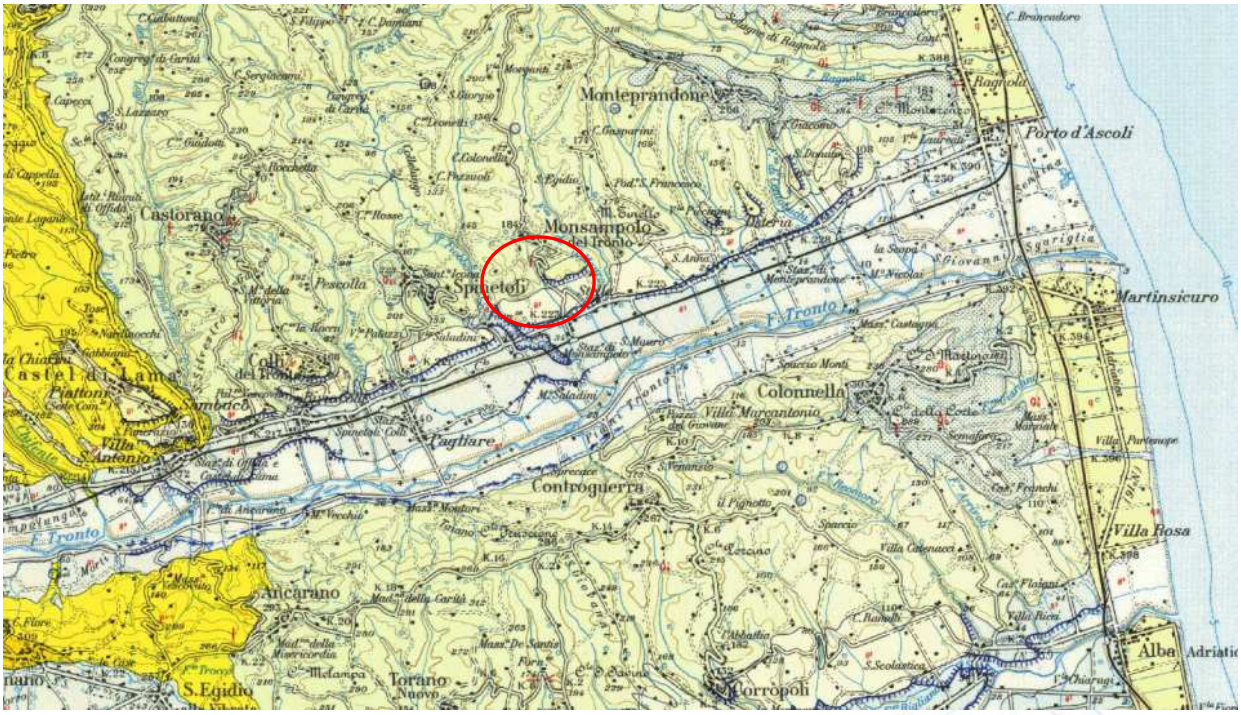


Figura 2 Stralcio della Carta Geologica d'Italia Scala 1:10000

Le argille pleistioceniche sono dotate nel complesso di buoni parametri geotecnici in quanto hanno subito un discreto stato di sovraconsolidazione dovuto al peso dei sedimenti sovrastanti erosi durante la fase tettonica di emersione della linea costiera. La giacitura del substrato è di tipo appenninico con la stratificazione avente una lieve pendenza verso nord - est.

I depositi superficiali, di origine alluvionale e in parte di intercalazione con i detriti di versante sono dotati di una giacitura suborizzontale tale da garantire una buona continuità orizzontale.

Per quanto riguarda la circolazione idrica profonda, come evidenziato dalle indagini geognostiche eseguite, si rileva un strato a media permeabilità confinato nei depositi alluvionali ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi tamponati alla base dall'acquiclude locale argilloso. L'assetto appena descritto determina la presenza di una falda superficiale fluttuante e direttamente influenzata dagli apporti zenitali posta mediamente sui 7.0 m dal piano campagna.

La circolazione idrica superficiale risulta fortemente influenzata dall’assetto antropico dato dalle intense opere di regimentazione ed urbanizzazioni locali che comunque drenano e convogliano le acque di superficie verso i recettori principali, dati per la zona, dal Fosso Fangano, affluente in sinistra idrografica del Fiume Tronto.

STUDIO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

A seguito delle osservazioni condotte nel corso delle indagini preliminari e dalla elaborazione dei dati bibliografici a disposizione, è stato possibile definire l'assetto geomorfologico locale ed il modello geologico tecnico di riferimento.

Dal rilevamento geologico-geotecnico di dettaglio e dalle indagini condotte nell'ambito del sito di interesse emerge che i terreni interessati dall'opera in oggetto possono essere ricondotti al complesso delle alluvioni terrazzate recenti, che come meglio si può vedere dalla carta geologica allegata è rappresentato con una buona continuità sia laterale che verticale in tutto l'areale indagato.

In corrispondenza del sito in oggetto si possono distinguere le seguenti 3 unità litotecniche:

- Unità dei Terreni di copertura costituiti da limi sabbiosi e limo argilloso intercalato a lenti e livelli di ghiaie e/o riporti antropici di copertura e livellamento. La loro origine è data dai processi di alterazione dei depositi sottostanti e di versante;
- Unità delle alluvioni terrazzate attuali e recenti derivate dalla deposizione ad opera del fiume Tronto, in parte intercalato con depositi detritici , eluvio colluviali alla periferia della valle. Tale unità risulta costituita da una sequenza di oltre 50 m di sabbie limose e limi sabbiosi in alternanza a strati letti e lenti di ghiaie più o meno classate.
- Unità litotecnica di base data da argille grigie sovraconsolidate stratificate con buone caratteristiche geotecniche.

Nel corso del rilevamento è stata rinvenuta la presenza di una falda freatica superficiale posta a profondità di circa 7.0 m dal piano campagna nell'ambito dei termini sabbiosi

ghiaioso sabbiosi di superfici tamponati alla base dai depositi a bassa pereabilità marnosi ed argillosi..

L'assetto litostratigrafico così rilevato è stato confermato, oltre che da indagini dirette, quali prove penetrometriche e sondaggi litostratigrafiche, anche ad opera di indagini indirette quali MASW Re.Mi ed ESAC. Che hanno contribuito ad affinare le informazioni necessarie per la ricostruzione del modello geologico profondo.

Indagini geotecniche

Per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione, di fatto rappresentai dalla unità marnoso-arenacea, sono state pianificate diverse indagini in sito ed in particolare 3 prove penetrometriche pesanti, opportunamente pianificate ed eseguite con penetrometro Pagani Tipo 73-200, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche proprie dei terreni di fondazione

Le indagini hanno interessato il volume significativo delle strutture fino ad una profondità di 12-15 m dal piano campagna.

Le sesse sono state opportunamente confrontati con i risultati della campagna di indagini geofisiche finalizzate alla ricostruzione stratigrafica bidimensionale oltre che alla definizione delle caratteristiche sismiche del sito di interesse.

Dalla elaborazione delle indagini così eseguite, riportate integralmente in Allegato, è stato possibile assegnare i parametri di riferimento ai terreni interessati dalle opere di fondazione così come sintetizzate nella seguente tabella.

I parametri di seguito riportati sono risultati essere pressoché uniformi lungo tutte le verticali di indagini. La stessa uniformità è stata riscontrata anche dalle elaborazioni delle indagini indirette (Sismica Attiva e Passiva).

Prof. (m)	Unità	γ (g/cm^3)	Φ °	c (kg/cm^2	Densità (%)
0-4.5	Terreni di copertura	1,6	24		26
4.5-5.4	Sabbie limosa	1.8	25		32 43
5.4 -7.2	Limo sabbioso	1,7	23		23
7.2-8.10	Sabbia limosa	1.7	23		26
8.10-12.6	Sabbia ghiaiosa	1.8	23		46
12.6 ----	Ghiaia sabbiosa	2.1	27		58

Tabella 1: Parametri Fisici e meccanici

Figura 3 DPSH 1

CLASSIFICAZIONE E COMPORTAMENTO SISMICO DEI TERRENI

L'area Umbro-marchigiana è stata interessata, sia nel passato che recentemente, da una diffusa e frequente attività sismica. La distribuzione e le caratteristiche di questa sismicità sono ben conosciute sulla base delle ricerche condotte all'inizio del secolo dal Baratta (1901) e dai dati del catalogo dei terremoti, elaborato dal Progetto Finalizzato Geodinamica. Questi dati sono stati rivisti in base agli studi di sismicità storica condotti dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata e dalla Regione Umbria.

La massima intensità sismica, rilevata nell'area Umbro-marchigiana, è pari al X grado della scala Mercalli con una magnitudo di circa 7.

L'attività sismica è concentrata prevalentemente nella crosta terrestre, a profondità inferiori a 15 Km.

Il 95% degli eventi sismici, con magnitudo maggiore di 3, avvenuti tra il 1983 e il 1990, si sono verificati al di sopra di questa profondità, all'interno di uno strato definibile sismogenetico.

I terremoti non avvengono con la stessa frequenza ed intensità su tutta l'area, ma sono concentrati in alcune fasce ben definite dal punto di vista geologico e fisiografico

Nell'area del pre-appennino umbro l'attività sismica interessa l'alta Val Tiberina, caratterizzata da una sismicità intensa e particolarmente elevata tra il 1000 e il 1500; meno sismica è l'area dei Monti Martani dove i terremoti sono stati piuttosto frequenti ma con intensità modeste.

Nell'area della catena appenninica si individuano che da Gubbio e Cagli raggiungono le zone di Norcia e Cascia.

Ci troviamo in zone dove i terremoti, oltre ad essere frequenti, hanno raggiunto, in tempi storici, intensità superiori al X grado della scala Mercalli.

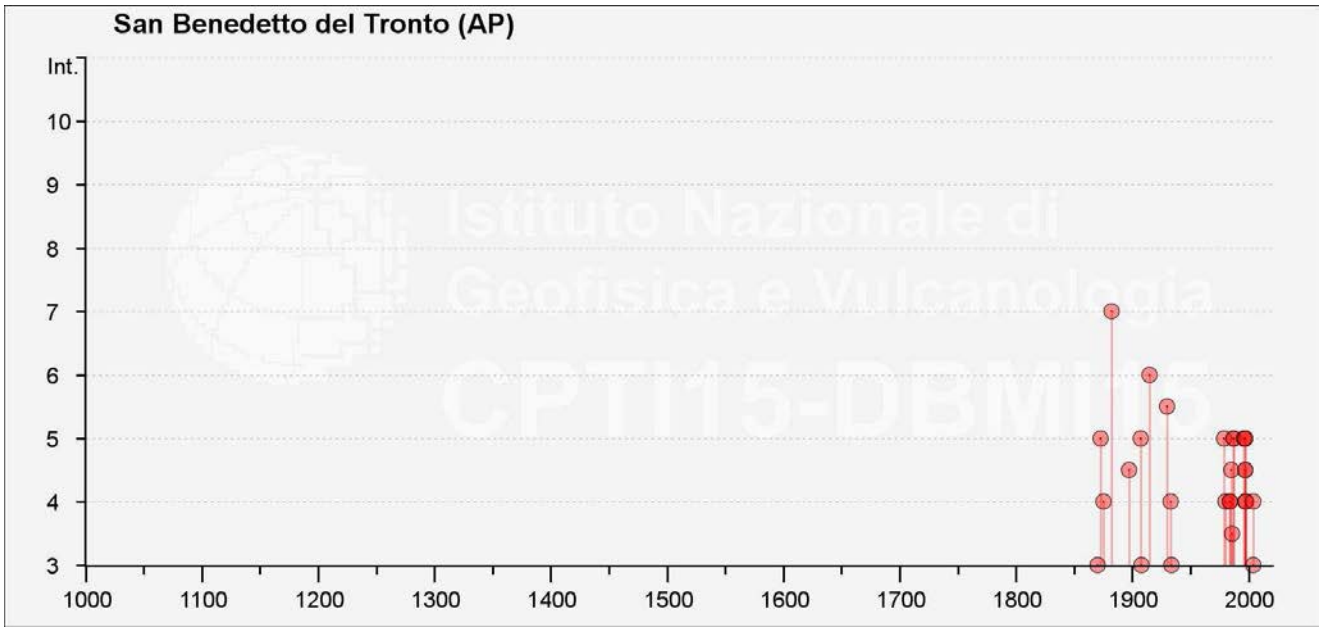
Nell'area pede-appenninica, invece si individua la presenza di una fascia, ad attività sismica piuttosto blanda, compresa tra Offida ed Ascoli Piceno.

I sismologi tutti sono concordi nel far risalire le cause della genesi dei terremoti della regione, all'evoluzione tettonica che la stessa sta subendo a partire dal Miocene superiore.

Segue Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of Spinetoli
PlaceID IT_52773
Coordinates (lat, lon) 42.888, 13.773
Municipality (ISTAT 2015) Spinetoli
Province Ascoli Piceno
Region Marche
No. of reported earthquakes 17

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5.67
5-6	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5.25
4	1971 04 02 01 43 54.00	Valnerina	68	6	4.5
6	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5.48
3-4	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	912	8	5.86
5	1985 05 01 16 57 35.00	Ascolano	51	5	4.09
4	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
6	1987 07 03 10 21 57.64	Costa Marchigiana	359	7	5.06
NF	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5.77
3	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4.19
3-4	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4.2
3-4	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3.96
3	2003 03 29 17 42 13.74	Adriatico centrale	68		5.43
4	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4.09
NF	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4.14
3	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4.06



In base all'Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274, approvata con D.G.R. n. 1046 del 29/07/03, il territorio comunale e stato classificato sismicamente come appartenente alla “zona 2”, zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 GENNAIO 2008 (Nuove Norme Tecniche per le costruzioni), la stima della pericolosita sismica viene definita in base alle caratteristiche del sito in oggetto e non piu tramite un criterio dipendente dalla zona sismica.

L'azione sismica di progetto, sulla base della quale valutare gli stati limite, viene definita a partire dalla pericolosità di base del sito.

Modello sismico del sito

L’azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base" del sito di costruzione, in quanto rappresenta l’elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell’azione sismica.

La pericolosità sismica è intesa come accelerazione massima orizzontale a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido (Vs30>800 m/s), con superficie topografica orizzontale (di categoria di *sottosuolo A*; NTC, ξ 3.2.2), ma è definita anche in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, come definite nelle NTC nel periodo di riferimento VR. In alternativa è consentito l'uso di accelerogrammi, purché congruenti con la pericolosità sismica del sito.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** 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.

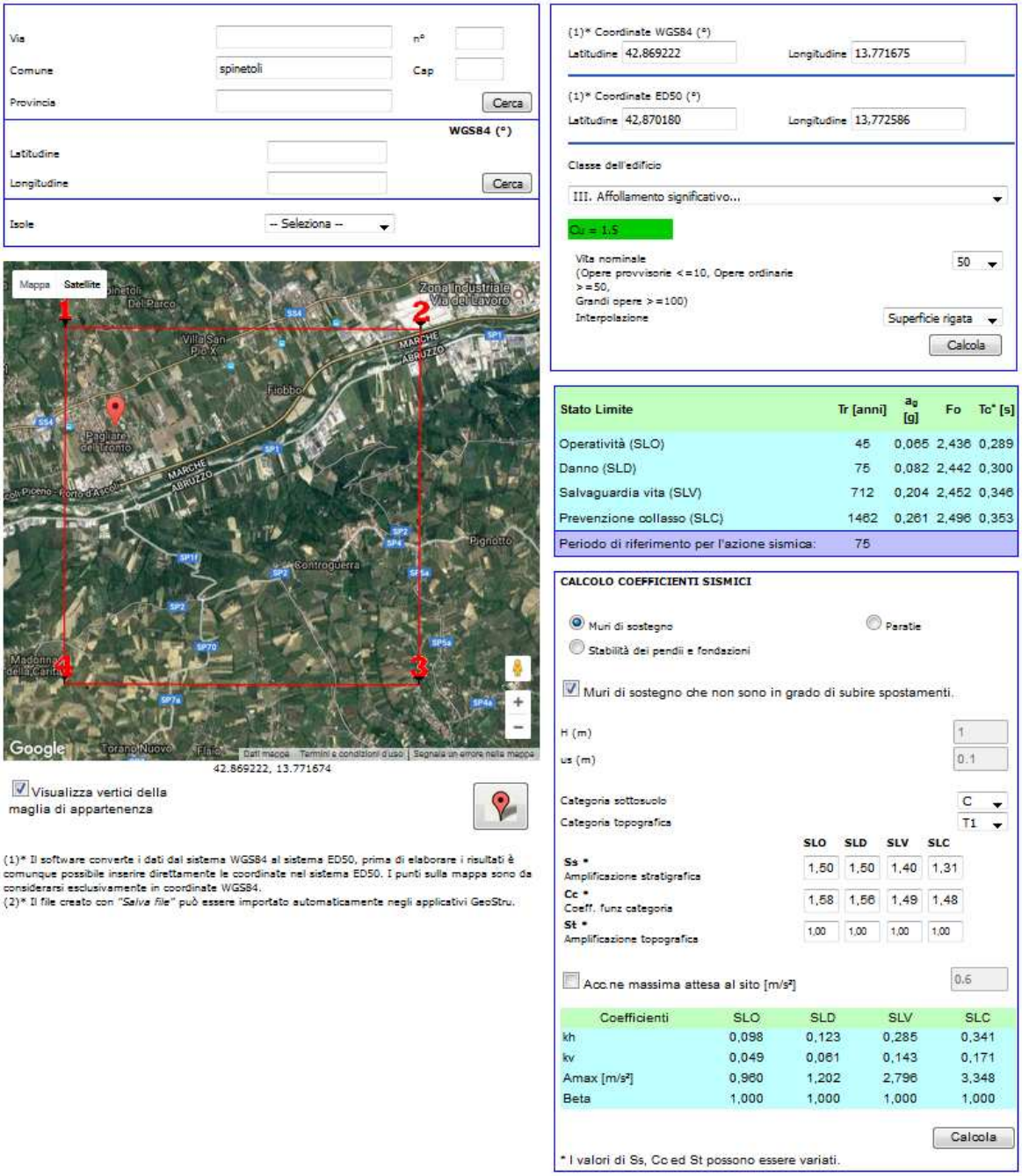


Figura 4 Ubicazione sito d'interesse

INDAGINI SISMICHE

Al fine di definire le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione, sono state eseguita due indagini geofisiche tipo MASW condotta in prossimità dell'area di sedime del'edificio in oggetto, su una stesa di 48 m, spaziatura intergeofonica di 2.0 m e distanza di battuta pari a 4/6 m. (Per maggiori dettagli si rimanda Relazione Geofisiche). Nell'ambito dell'area di indagine visti gli spazi a disposizione è stato possibile eseguire una indagine passiva tipo ESAC, al fine di potere investigare e caratterizzare profondità più elevate. Sono state eseguite inoltre 2 misure HVSR per la definizione della frequenza di sito.

Per la geometria delle stese, l'elaborazione e le curve sperimentali si rimanda alla allegata relazione Geofisica.

Figura 5: Esecuzione antenna sismica Tipo ESAC

Dall'elaborazione delle indagini, così come riportata in allegato, si evince che le velocità medie delle onde s, nei primi 30 m di sottosuolo, risultano pari a **335 m/sec**.

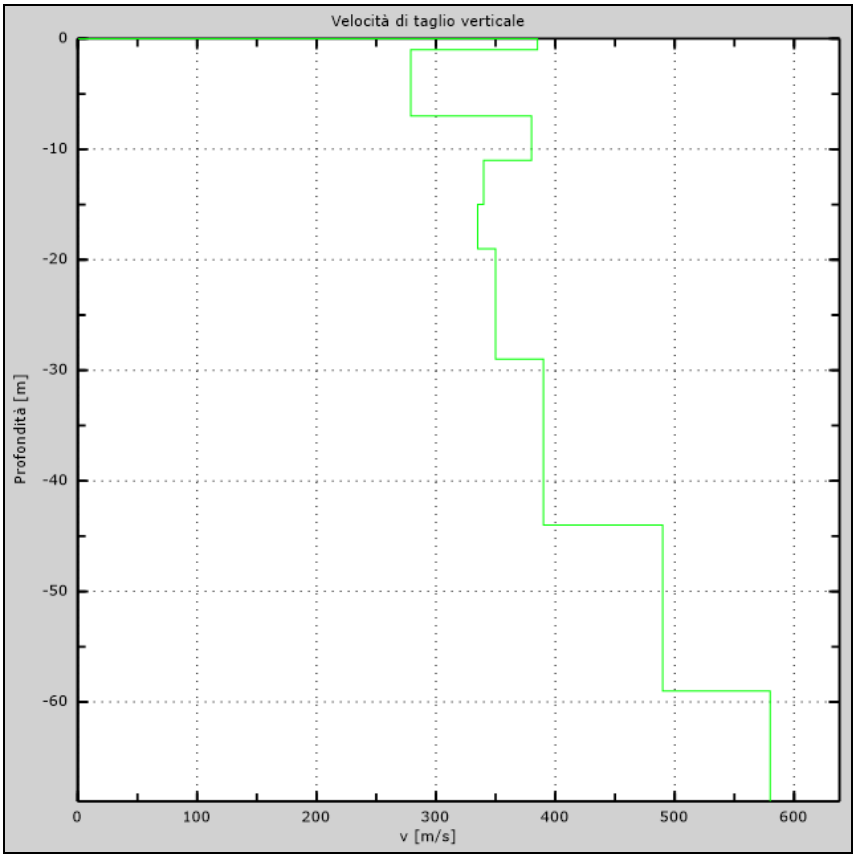


Figura 6: Colonna sismostratigrafica

Visto l'assetto litologico e le caratteristiche stratigrafiche a tali terreni si può assegnare una **classe di suolo** di fondazione di **tipo C**:*"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s .*

L'assetto sismostratigrafico risulta ben rappresentato anche dalle misure di frequenza di sito che nella loro elaborazione non hanno dato un valore della frequenza di risonanza di sito.

L'elaborazione delle indagini sismiche passiva tipo HVSR hanno dato un valore della frequenza di risonanza di sito pari a 0.51 Hz, valore che va opportunamente confrontato con quello di risonanza della struttura al fine di evitare effetti di doppia risonanza che possono portare al collasso della stessa.

Va sottolineato inoltre, visto l'assetto morfologico che conferiscono una configurazione subpianeggiante, che si può identificare l'area come appartenente alla categoria topografica T1, per cui non sono da adottare fattori correttivi per eventuali amplificazioni topografiche.

PARAMETRI SISMICI

latitudine: 41,492277 [°]

longitudine: 13,843495 [°]

Classe d'uso *III*:
Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Superficie rigata

Siti di riferimento

Sito 1	*ID: 24091*	*Lat: 42,8847*	*Lon: 13,7630*	*Distanza: 1788,152*
Sito 2	*ID: 24092*	*Lat: 42,8845*	*Lon: 13,8313*	*Distanza: 5040,853*
Sito 3	*ID: 24314*	*Lat: 42,8345*	*Lon: 13,8309*	*Distanza: 6194,955*
Sito 4	*ID: 24313*	*Lat: 42,8347*	*Lon: 13,7628*	*Distanza: 4028,917*

Le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento ED50

Parametri sismici di riferimento

Categoria sottosuolo: **C**

Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **50 anni**

Coefficiente cu: **1,5**

Zona sismica: **2** (O.P.C.M. n. 3274/2003 e n. 3519/2006);

Operatività (SLO):		**Danno (SLD):**	
Probabilità di superamento:	*81 %*	*Probabilità di superamento:*	*63 %*
Tr:	*45[anni]*	*Tr:*	*75[anni]*
ag:	*0,065 g*	*ag:*	*0,082 g*
Fo:	*2,436*	*Fo:*	*2,442*
Tc:*	*0,442 [s]*	*Tc*:*	*0,300 [s]*

Salvaguardia della vita (SLV): *Probabilità di superamento: 10 %* *Tr: 712[anni]* *ag: 0,204 g* *Fo: 2,452* *Tc*: 0,346 [s]*	**Prevenzione dal collasso (SLC):** *Probabilità di superamento: 5 %* *Tr: 1462[anni]* *ag: 0,261 g* *Fo: 2,496* *Tc*: 0,353 [s]*

Coefficienti Sismici

SLO: Ss: 1,500 Cc: 1,580 St: 1,000 Kh: 0,098 Kv: 0,049 Amax: 0,960 Beta: 1,000	SLD: Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,123 Kv: 0,061 Amax: 1,202 Beta: 1,000
SLV: Ss: 1,400 Cc: 1,490 St: 1,000 Kh: 0,285 Kv: 0,143 Amax: 2,796 Beta: 1,000	SLC: Ss: 1,310 Cc: 1,480 St: 1,000 Kh: 0,341 Kv: 0,171 Amax: 3,348 Beta: 1,000

CONCLUSIONI

Lo studio geologico eseguito sui terreni situati nell'area del settore alluvionale pedecollinare del comune di Spinetoli (AP) interessati dalla verifica di vulnerabilità sismica sull'immobile, adibito a scuola dell'infanzia, situato nel Comune di Spinetoli, frazione Pagliare del Tronto, in via Fratelli Cinaglia ha evidenziato quanto segue:

- I terreni interessati dalla verifica in oggetto sono rappresentati principalmente dall'unità delle alluvioni terrazzate antiche e recenti costituite da *sabbie e sabbiosa limosa con intrestrati ghiaiosi e spessori prossimi ai 50 m, posta copertura dei depositi delle argille grigie argillose e argilloso limose pleistocenich.*
- Le caratteristiche fisico–meccaniche assegnate ai terreni interessati dalle fondazioni, ricavate da apposite indagini opportunamente pianificate ed eseguite in corrispondenza del sito di interesse, confrontate con i dati provenienti sia dalla bibliografia specifica che da lavori eseguiti nell'ambito del rilevo sono riportate nelle seguente tabella:

Prof. (m)	Unità	γ (g/cm^3)	Φ °	c (kg/cm^2	Densità (%)
0-4.5	Terreni di copertura	1,6	24		26
4.5-5.4	Sabbie limosa	1.8	25		32 43
5.4 -7.2	Limo sabbioso	1,7	23		23
7.2-8.10	Sabbia limosa	1.7	23		26
8.10-12.6	Sabbia ghiaiosa	1.8	23		46
12.6 ----	Ghiaia sabbiosa	2.1	27		58

- Tali terreni risultano caratterizzati da una Vs30 di 335 m/s che, viste le condizioni stratigrafiche, possono essere ascritti ad una tipologia di suolo di fondazione di tipo C così come riportato nelle Tab. 3.2 II delle NTC del 14 Gennaio 2008. Si precisa inoltre che l'assetto morfologico conferisce un assetto topografico tipo T1 a cui si associa un coefficiente correttivo ST parti a 1.0;
- In relazione al sito non sono stati osservati dissesti né scoscendimenti in atto o potenziali, ritenendo stabile il substrato; visto inoltre il progetto non si ritengono introdotte modificazioni sostanziali dell'equilibrio geomorfologico ed idrogeologico dell'area. In tale contesto vanno comunque previste la manutenzione delle opere di raccolta e regimazione delle acque piovane in modo da assicurare uno smaltimento ordinato verso valle anche durante le precipitazioni piovose più intense.

Qualora, durante la realizzazione dei lavori, si dovessero manifestare sostanziali difformità rispetto a quanto esposto, si dovrà tempestivamente trasmettere al sottoscritto al fine di poter predisporre eventuali aggiustamenti operativi.

Si rimane a completa disposizione per eventuali chiarimenti a quanto esposto e per ulteriori chiarimenti anche in corso d'opera.

Il Geologo

Dott. Fabrizio Marini

RAPPORTO DI PROVA

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Cantiere: Scuola Materna Via Fratelli Cinaglia Località: Sppinetoli (AP)	Geologo Incaricato: Sidoti Enginering SRL

Caratteristiche Tecniche-Strumentali: TG 73-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.7 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm²
Lunghezza delle aste	1.5 m
Peso aste per metro	7.0 Kg/m
Avanzamento punta	0.30 m
Coeff. Correlazione	1.8
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Dott. Geol. Fabrizio Marini

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Descrizione

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$Nspt = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;
M' = peso aste;
H = altezza di caduta;
A = area base punta conica;
δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (δ/ N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

UBICAZIONE PROVE

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... SCPT TG 73-200 PAGANI no
Prova eseguita in data 27/07/2017
Profondità prova 12.60 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.30	8	0.853	55.65	65.26	2.78	3.26
0.60	8	0.847	51.23	60.49	2.56	3.02
0.90	6	0.842	38.18	45.36	1.91	2.27
1.20	6	0.836	37.94	45.36	1.90	2.27
1.50	6	0.831	35.14	42.27	1.76	2.11
1.80	6	0.826	34.93	42.27	1.75	2.11
2.10	5	0.822	28.94	35.23	1.45	1.76
2.40	7	0.817	40.30	49.32	2.01	2.47
2.70	4	0.813	21.44	26.38	1.07	1.32
3.00	5	0.809	26.67	32.98	1.33	1.65
3.30	3	0.805	15.92	19.79	0.80	0.99
3.60	5	0.801	24.83	31.00	1.24	1.55
3.90	5	0.797	24.71	31.00	1.24	1.55
4.20	7	0.794	34.45	43.40	1.72	2.17
4.50	8	0.790	36.98	46.79	1.85	2.34
4.80	10	0.787	46.04	58.49	2.30	2.92
5.10	11	0.784	50.44	64.34	2.52	3.22
5.40	11	0.781	50.25	64.34	2.51	3.22
5.70	7	0.778	30.16	38.75	1.51	1.94
6.00	7	0.775	30.05	38.75	1.50	1.94
6.30	7	0.773	29.95	38.75	1.50	1.94
6.60	8	0.770	32.38	42.03	1.62	2.10
6.90	9	0.768	36.32	47.29	1.82	2.36
7.20	9	0.766	36.21	47.29	1.81	2.36
7.50	10	0.763	38.17	50.00	1.91	2.50
7.80	10	0.761	38.06	50.00	1.90	2.50
8.10	11	0.759	41.76	55.00	2.09	2.75
8.40	22	0.657	72.30	110.00	3.61	5.50
8.70	33	0.605	95.27	157.39	4.76	7.87
9.00	28	0.653	87.27	133.54	4.36	6.68
9.30	37	0.602	106.18	176.46	5.31	8.82
9.60	40	0.550	100.29	182.36	5.01	9.12
9.90	30	0.648	88.66	136.77	4.43	6.84
10.20	30	0.647	88.43	136.77	4.42	6.84
10.50	28	0.645	78.85	122.26	3.94	6.11
10.80	38	0.593	98.45	165.92	4.92	8.30
11.10	48	0.542	113.56	209.58	5.68	10.48
11.40	62	0.540	146.26	270.71	7.31	13.54
11.70	67	0.539	151.21	280.68	7.56	14.03
12.00	69	0.537	155.29	289.06	7.76	14.45
12.30	68	0.536	152.60	284.87	7.63	14.24
12.60	68	0.534	146.24	273.77	7.31	13.69

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	Gibbs & Holtz 1957	26.16
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	Gibbs & Holtz 1957	32.83
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	Gibbs & Holtz 1957	23.86
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	Gibbs & Holtz 1957	26.63
[6] - sabbia ghiaiosa	37.18	10.80	37.18	Gibbs & Holtz 1957	46.72
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	Gibbs & Holtz 1957	58.74

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	De Mello	24.96
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	De Mello	25.89
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	De Mello	23.83
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	De Mello	23.99
[6] - sabbia ghiaiosa	37.18	10.80	37.18	De Mello	26.82
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	De Mello	27.48

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[6] - sabbia ghiaiosa	37.18	10.80	37.18	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	Meyerhof ed altri	1.60
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	Meyerhof ed altri	1.81
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	Meyerhof ed altri	1.70
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	Meyerhof ed altri	1.80
[6] - sabbia	37.18	10.80	37.18	Meyerhof ed altri	2.19

ghiaiosa					
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	Meyerhof ed altri	2.48

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
[6] - sabbia ghiaiosa	37.18	10.80	37.18	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - limo sabbioso	6.58	4.50	6.58	(A.G.I.)	0.34
[3] - sabbia limosa	12.48	5.40	12.48	(A.G.I.)	0.33
[4] - limo sabbioso	9.16	7.20	9.16	(A.G.I.)	0.34
[5] - sabbia limosa	12.09	8.10	12.09	(A.G.I.)	0.33
[6] - sabbia ghiaiosa	37.18	10.80	37.18	(A.G.I.)	0.28
[7] - Ghiaia sabbiosa	74.49	12.60	74.49	(A.G.I.)	0.2

Dott. Geol. Fabrizio Marini

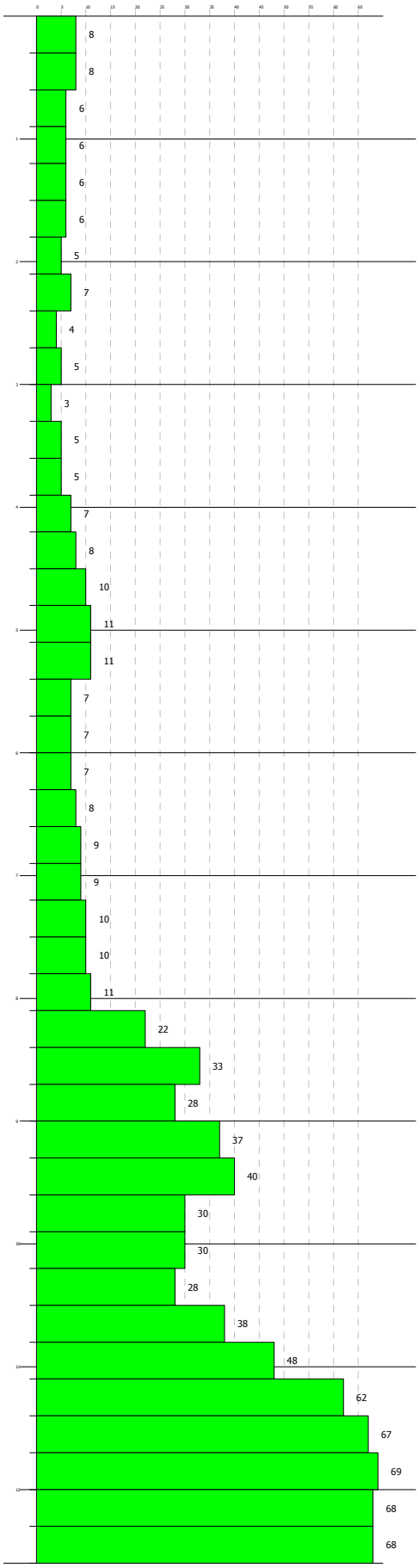
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... SCPT TG 73-200 PAGANI no

Committente: Sidodi Enginering Srl
Cantiere: Scuola Materna Via Fratelli Cinaglia
Località: Spinetoli (AP)

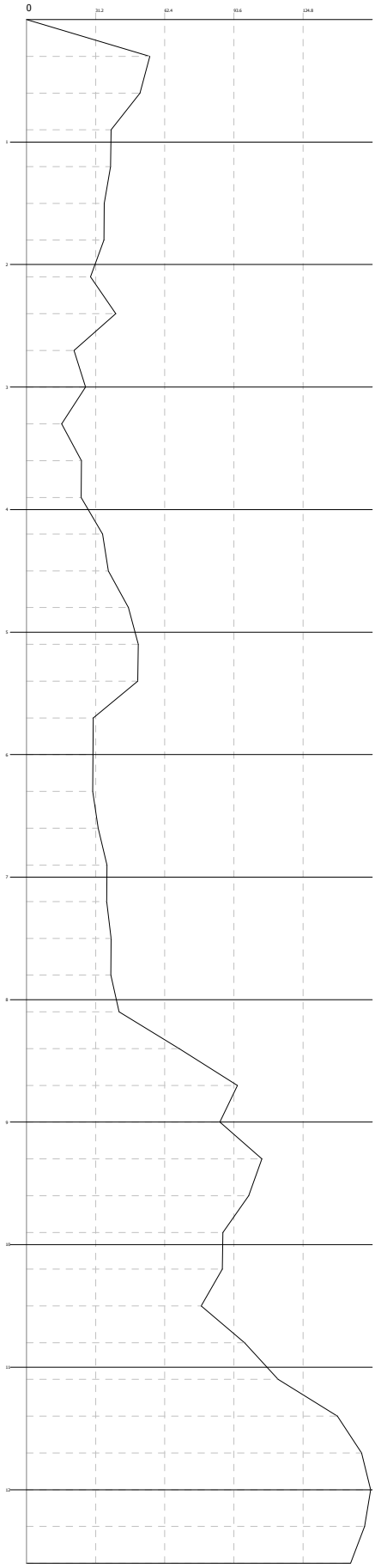
Data: 27/07/2017

Scala 1:53

Numero di colpi penetrazione punta



Rpd (Kg/cm²)



Interpretazione Stratigrafica

1	60 cm	Limo Argilloso
2	390 cm	limo sabbioso
3	90 cm	sabbia limosa
4	180 cm	limo sabbioso
5	90 cm	sabbia limosa
6	270 cm	sabbia ghiaiosa
7	180 cm	Ghiaia sabbiosa

ALLEGATO 6

RELAZIONE SISMICA E INDAGINI GEOFISICHE

INDICE

PREMESSA 3

PROSPEZIONE SISMICA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 4

CENNI SULLA TEORIA DEL METODO MASW 5

CENNI SULLA TEORIA DELLE TECNICHE HVSR ED ESAC 7

RISULTATI DELLE ANALISI MASW ED ESAC 10

RISULTATI INDAGINI HVSR 21

CONCLUSIONI 24

REPORT FOTOGRAFICO 25

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI MASW-ESAC-HVSR 26

PREMESSA

Su incarico e per conto del Comune di Spinetoli (AP), sono state eseguite una prospezione sismica masw-esac, una misura di frequenza fondamentale del terreno a supporto della relazione geologica e geotecnica relativa al “Adeguamento strutturale della scuola dell’infanzia sita in Via Cinaglia di Pagliare del Tronto”.

Lo scopo dell’indagine è stata la caratterizzazione sismica dei terreni, mediante la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

Ai sensi di quanto riportato nei paragrafi 3.2.2 e 7.11.3 delle NTC 2008 s.m.i., C 3.2.2 e C 7.11.3 della Circolare applicativa, il profilo sismico di Vs del sottosuolo si rende necessario, assieme alle proprietà geotecniche e meccaniche del terreno, per la definizione dell’azione sismica mediante un approccio semplificato, che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II) mediante il calcolo del valore della Vs30 riferita ai primi trenta metri di profondità secondo la seguente formula:

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

oppure mediante un’analisi di risposta sismica locale per le categorie speciali di sottosuolo Tab. 3.2.III NTC 2008.

PROSPEZIONE SISMICA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

In base alle caratteristiche del sito oggetto dell'indagine e delle unità geotecniche dei terreni del sottosuolo, sono state eseguite tre prospezioni sismiche: metodo attivo Masw, metodo passivo Esac, una misura di frequenza fondamentale del terreno con metodo passivo HVSR Nakamura.

Come riportato nell'allegato cartografico, le prospezioni sismiche sono state eseguite: la Masw su una linea sismica costituta da 24 geofoni con spaziatura di 2.0 m e una lunghezza totale pari a 46 m; l'Esac su una geometria 2D a forma di + con un segmento di lunghezza pari a 80.0 m, geofoni da n°1 a n°6, e l'altro di lunghezza pari a 65.0 m, geofoni da n°7 a n°12. L'ubicazione è stata effettuata considerando il contesto geologico-tecnico e geomorfologico dell'area in cui si realizzerà il progetto in oggetto, oltre che le condizioni logistiche. Sulla linea sismica Masw sono stati effettuati shots esterni all'array, sia sul lato dx che sul lato sx, con offset pari a 4 m con lo scopo di verificare l'attendibilità della curva sperimentale e quindi l'applicabilità del metodo di indagine.

La strumentazione utilizzata consiste in:

- Sismografo MAE A6000S 24 bit, matr. M044025
- N. 24 geofoni Geospace GS11D 4,5 Hz
- Piastra di battuta
- Sensore 3D 4,5 Hz Geospace

Figura 1 Configurazione array

CENNI SULLA TEORIA DEL METODO MASW

Il metodo Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero la velocità fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiale è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del terreno, invece onde a bassa frequenza (lunghezza d'onda lunga) si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del terreno. Il metodo Masw è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un'array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30-50 m, in funzione della rigidezza del terreno e della caratteristica della sorgente.

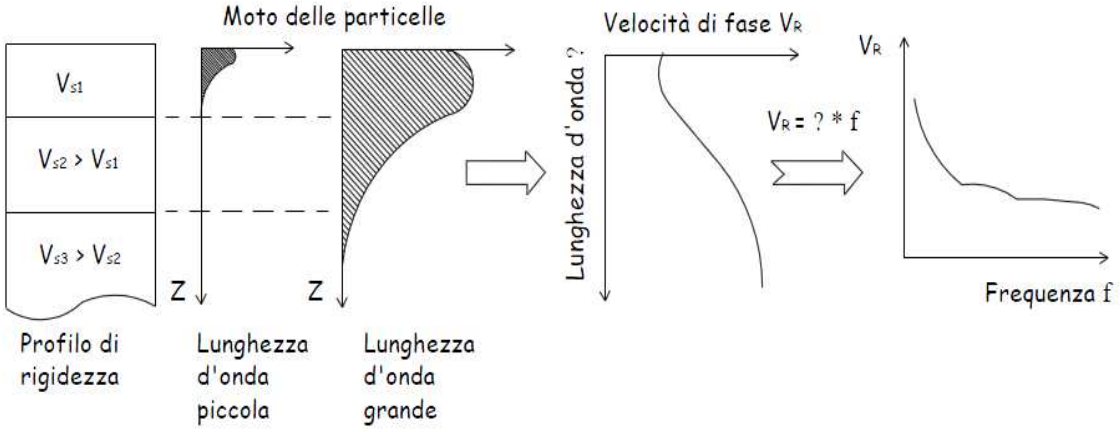


Figura 2 Proprietà dispersive delle onde di superficie in un mezzo stratificato (da Lai et al., 2001, modificata)

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- Acquisizione delle tracce sismiche nel dominio x-t, energizzando alternativamente ai due estremi dell'array per l'indagine Masw;
- Fase di processing caratterizzato dal passaggio dal dominio x-t al dominio f-k, mediante una doppia trasformata di Fourier, e dal calcolo della curva di dispersione sperimentale, per la Masw;
- Picking della curva sperimentale;
- Fase di inversione
    - Calcolo della curva apparente numerica mediante il metodo Roma (2001)
    - Calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998)
    - Individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticale Vsv, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità onde di taglio verticale Vsv e di compressione Vp (o in alternativa il coefficiente di poisson μ), la densità di massa γ degli strati che costituiscono il modello del terreno, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità Vs trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita mediante il software MASW (Roma, 2007).

CENNI SULLA TEORIA DELLE TECNICHE HVSR ED ESAC

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore.
Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi.
Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.
Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a stazione singola e quella ad antenna sismica (*array*). La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni dello spazio, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (*array*) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.
La prova a stazione singola, nota anche come prova Nakamura (1989) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.
Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.
Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.
La determinazione della curva HVSR in sito prevede i seguenti steps:

1) Misura delle tre componenti x, y, x del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata di almeno 20 min.
2) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale
3) Definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR
4) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto
5) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier
6) Somma delle due componenti orizzontali x e y
7) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari
8) Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR

Infine, i risultati ottenuti vengono verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME. Il significato dei criteri di ammissibilità dei risultati è riportato di seguito.

<u>Condizioni di Reliability della curva HVSR:</u>
1) In corrispondenza della frequenza del picco di interesse, vi siano almeno 10 cicli significativi in ogni finestra temporale individuata nel segnale registrato
2) È necessario utilizzare un grande numero di finestre temporali e di cicli, almeno 200 cicli
3) Il livello di scattering, cioè di dispersione delle curve HVSR ottenute nelle diverse finestre temporali deve essere moderato, altrimenti potrebbe essere un sintomo di un rumore ambientale fortemente non-stazionario, che influenza la forma della curva HVSR in maniera non ripetibile.
Le condizioni 1) e 2) confermano che la durata del segnale registrato sia sufficientemente estesa, la condizione 3) assicura che la curva HVSR misurata sia di buona qualità e poco dispersa.

<u>Condizioni di Clearity del picco massimo:</u>
- Condizioni sull'Ampiezza:
4) Esiste una frequenza f-, compresa tra $f^0/4$ e f^0, tale che $A^0 / A_{H/V}$ (f-) > 2
5) Esiste un'altra frequenza f+, compresa tra f^0 e 4. f^0, tale che $A^0 / A_{H/V}$ (f+) > 2
6) Deve essere $A^0 > 2$
Le condizioni 4) e 5) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione 4), sia a destra (condizione 5) del picco. La condizione 6) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidezza tra gli strati.
- Condizioni sulla Stabilità della curva HVSR:
7) Il picco dovrebbe comparire alla stessa frequenza (entro il ± 5%) nelle curve H/V corrispondenti alla media + e- lo standard deviation.

8) Lo scarto quadratico medio σf deve essere inferiore ad un valore limite (f) dipendente dalla frequenza come riportato nella tabella dei criteri Sesame.

9) Deve essere σA (f^0) inferiore ad un valore limite θ(f) dipendente dalla frequenza come riportato in tabella dei criteri Sesame.

Le condizioni 7), 8) e 9) confermano che la curva HVSR misurata sia stabile, cioè di buona qualità e poco dispersa.

L'elaborazione è eseguita mediante il software Geopsy ver. 2.9.0. (Università di Grenoble, Francia).

Tra le configurazioni ad antenna sismica (*array*), nel presente lavoro è stata utilizzato il metodo d'indagine Esac (Aki 1959) che si basa sul principio secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità di distanza *r* da un sensore centrale, ha una forma nota (funzione di Bessel di ordine 0). La forma di questa funzione di Bessel ad una data frequenza ed una data distanza *r* è controllata dal valore della velocità di fase. Si tratta di un metodo robusto che rischia di fornire risultati errati in presenza di una sorgente dominante e quando la misura è effettuata con stendimenti lineari. Nelle indagini eseguite sono state utilizzate delle configurazioni geometriche 2D e spaziature variabili tra i sensori. Il risultato del metodo Esac è una curva di dispersione effettiva che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali "pesate" in base al loro specifico contenuto energetico del sito, il vantaggio, soprattutto in presenza di inversioni di velocità o di forti contrasti di impedenza sismica, è di non dover identificare i vari modi di vibrazione.

Le elaborazioni sono state effettuate con il software Esac (Albarello 2010).

RISULTATI DELLE ANALISI MASW ED ESAC

Redatto da MASW - (c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

1a - Dati sperimentali Masw

File……

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:….. ..... 2.0 m
Numero di campioni temporali..... 15360
Passo temporale di acquisizione .....0.26 ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 4095.5ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

1b - PARAMETRI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE ESAC

PARAMETRI ACQUISIZIONE	
f campionameto	250 Hz
durata	1800 s
n°stazioni	12
coordinate X	-46.5 -26.5 -11.5 3.5 18.5 33.5 0 0 0 0 0 0
coordinate Y	0 0 0 0 0 0 -18.2 -8.2 1.8 16.8 31.8 46.8
file tracce	esac.txt
PARAMETRI ELABORAZIONE	
intervallo VR	min 50 m/s – max 3000 m/s
durata totale analizzata	1800 s
durata finestre	20 s
n°finestre	90
n°campioni per finestra	5000
sovrapposizione	0 s
lisciamento	0.1
soglia pulitura	2.0
n°iterazioni	2

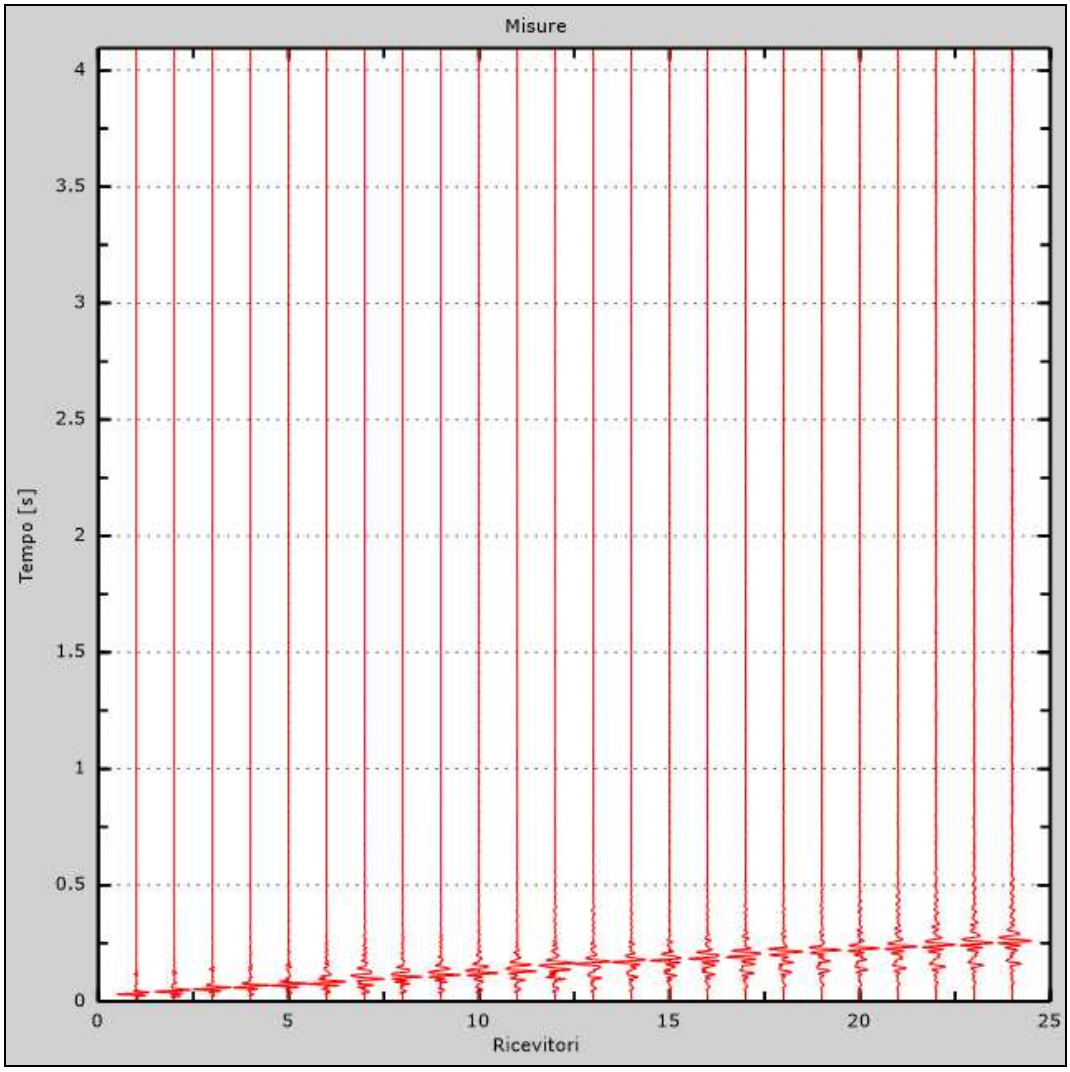


Figura 3 Tracce sperimentali masw

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale.....2Hz

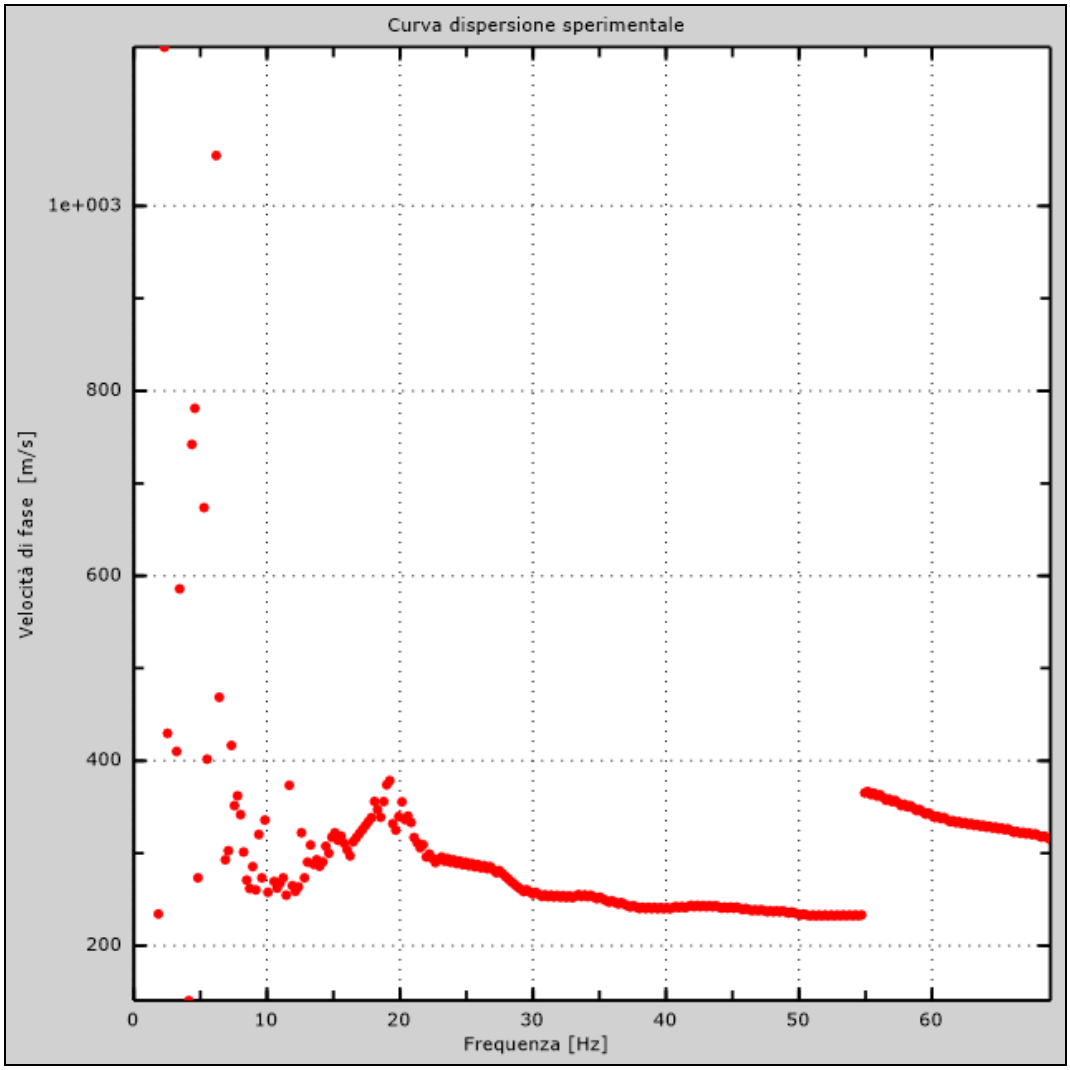


Figura 4 Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.8501	452	418.779	471.165
2.89285	448	424.52	468.026
2.93624	449	434.121	506.92
2.98028	444	424.88	461.811
3.02499	441	426.945	482.672
3.07036	434	375.388	447.59
3.11642	435	375.947	448.278
3.16316	432	417.338	456.183
3.21061	441	427.976	467.162
3.25877	444	421.491	457.679
3.30765	447	434.237	496.976
3.35727	453	430.39	467.79
3.40763	457	432.667	471.376
3.45874	459	445.241	499.842
3.51062	457	442.465	490.167
3.56328	455	432	469.514
3.61673	451	426.853	464.37
3.67098	452	431.952	465.94
3.72605	449	437.097	469.618
3.78194	446	433.195	460.282
3.83867	444	423.634	453.748
3.89625	441	431.737	458.519

3.95469	440	431.5	461.262
4.01401	439	430.895	471.192
4.07422	436	424.733	448.438
4.13533	431	413.246	441.927
4.19736	429	336.123	438.558
4.26032	424	400.506	435.541
4.32423	421	406.705	436.57
4.38909	414	376.95	423.936
4.45493	411	399.89	428.696
4.52175	409	386.323	419.905
4.58958	406	395.37	429.083
4.65842	400	386.846	412.936
4.7283	397	372.542	406.825
4.79922	396	373.015	404.437
4.87121	386	376.923	401.339
4.94428	383	375.201	421.26
5.01844	381	367.489	390.011
5.09372	372	362.801	383.21
5.17013	370	362.079	383.19
5.24768	364	357.167	399.989
5.32639	361	350.367	369.45
5.40629	359	348.935	367.993
5.48738	356	342.553	363.625
5.56969	351	341.964	360.987
5.65324	351	341.849	360.599
5.73804	349	336.552	356.668

5.82411	346	338.192	356.159
5.91147	346	335.473	353.517
6.00014	348	339.735	357.555
6.09015	349	342.714	385.58
6.1815	351	343.75	363.626
6.27422	353	345.35	365.128
6.36833	354	326.063	361.096
6.46386	354	338.503	362.222
6.56082	353	345.329	379.001
6.65923	353	336.261	361.452
6.75912	351	338.032	360.468
6.8605	345	335.028	355.735
6.96341	345	336.97	359.693
7.06786	341	332.464	352.096
7.17388	340	331.955	352.546
7.28149	336	327.172	347.993
7.39071	332	323.325	345.954
7.50157	326	315.702	335.511
7.6141	323	315.889	347.657
7.72831	318	310.587	331.844
7.84423	311	304.734	326.71
7.96189	309	302.121	317.64
8.08132	307	300.609	314.436
8.20254	308	302.862	320.071
8.32558	307	301.861	315.676
8.45046	308	303.272	316.741

8.57722	309	304.906	318.918
8.70588	311	307.257	324.343
8.83647	313	308.322	318.104
8.96902	315	311.485	326.526
9.10355	317	313.641	329.54
9.2401	319	315.182	325.52
9.37871	322	302.869	325.495
9.51939	323	316.383	327.379
9.66218	324	297.586	327.947
9.80711	325	318.688	330.622
9.95422	325	317.616	331.597
10.1035	325	306.398	330.939
10.2551	322	314.946	349.63
10.4089	315	296.795	326.073
10.565	306	292.252	313.652
10.7235	305	289.887	310.763
10.8844	302	296.978	313.061
11.0476	303	298.631	386.294
11.2134	305	297.213	310.443
11.3816	306	271.833	310.732
11.5523	305	297.849	311.065
11.7256	306	299.78	314.233
13.2088	312	307.035	327.951
13.4069	312	303.44	317.891
13.608	307	288.931	312.598
13.8121	299	293.233	335.959

14.0193	297	286.252	303.218
14.2296	299	285.683	304.146
14.443	301	296.264	307.902
14.6597	304	297.582	308.605
14.8796	303	299.14	308.365
15.1028	306	302.069	311.003
15.3293	309	304.944	313.935
15.5592	312	305.655	315.894
15.7926	315	302.62	318.76
17.8714	330.665	306.578	354.752
19.539	358.193	323.783	392.603
22.4819	296.255	272.168	320.342
26.7001	279.05	251.522	306.578
33.7631	251.522	223.994	279.05
42.1994	237.758	213.671	261.845
53.7679	228.5	205.048	251.952
57.7918	357.486	334.034	380.938
67.5892	318.4	294.948	341.852

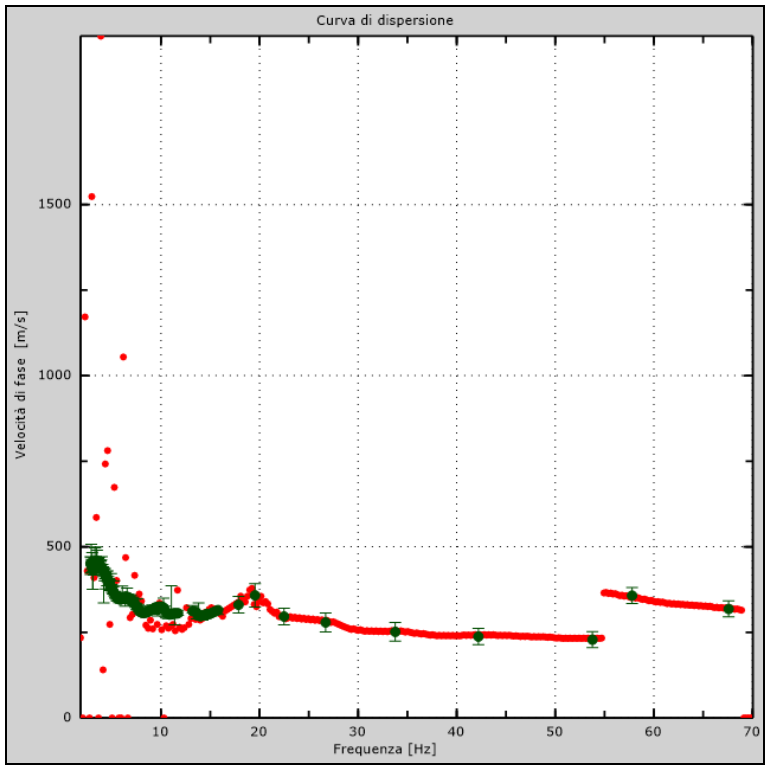


Figura 5 Curva di dispersione f-v

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 8
Spaziatura ricevitori [m]..... 2.0 m
Numero ricevitori..... 24
Numero modi 5

Strato 1

h [m]..... 1.0
z [m]..... -1.0
Densità [kg/m^3] 2000
Vs [m/s] 385
Falda non presente nello strato

Strato 2

h [m]..... 6.0
z [m]..... -7.0
Densità [kg/m^3] 2000
Vs [m/s] 279
Falda non presente nello strato

Strato 3

h [m]..... 4.0
z [m]..... -11.0
Densità [kg/m^3] 2000
Vs [m/s] 380
Falda presente nello strato

Strato 4

h [m]..... 4.0
z [m]..... -15.0
Densità [kg/m^3].. 2100
Vs [m/s]..... 340
Falda presente nello strato

Strato 5

h [m]..... 4.0
z [m]..... - 19.0
Densità [kg/m^3] 2100
Vs [m/s] 335
Falda presente nello strato

Strato 6

h [m]..... 10.0
z [m]..... - 29.0
Densità [kg/m^3] 2100
Vs [m/s]..... 350
Falda presente nello strato

Strato 7

h [m]..... 15.0
z [m]..... - 44.0

Densità [kg/m^3] 2200
Vs [m/s]..... 390
Falda presente nello strato

Strato 8

h [m]..... 15.0
z [m]..... - 59.0
Densità [kg/m^3] 2200
Vs [m/s]..... 490
Falda presente nello strato

Strato 9

h [m]..... 0
z [m]..... -oo
Densità [kg/m^3] 2400
Vs [m/s]..... 580
Falda presente nello strato

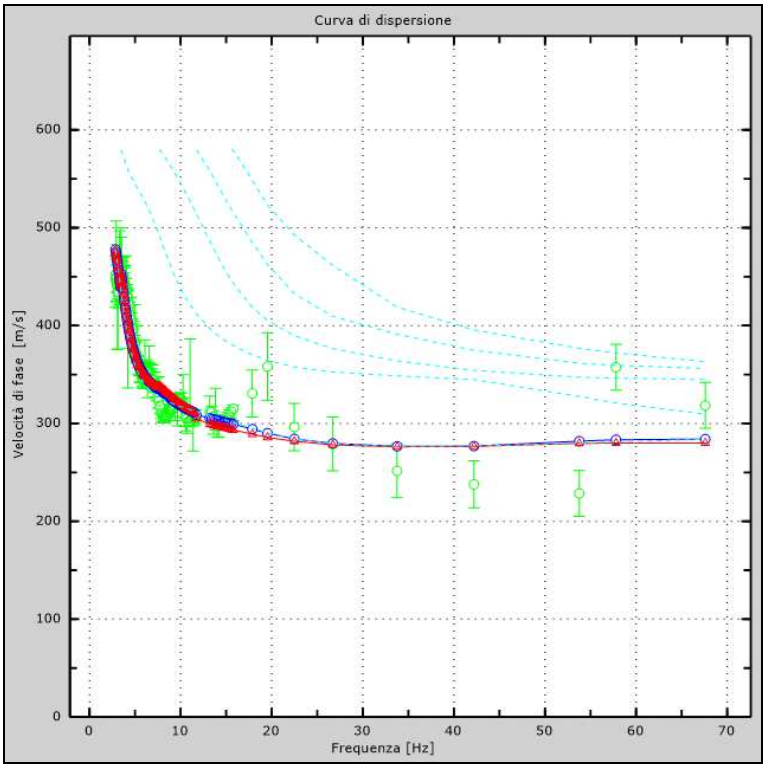


Figura 6 Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

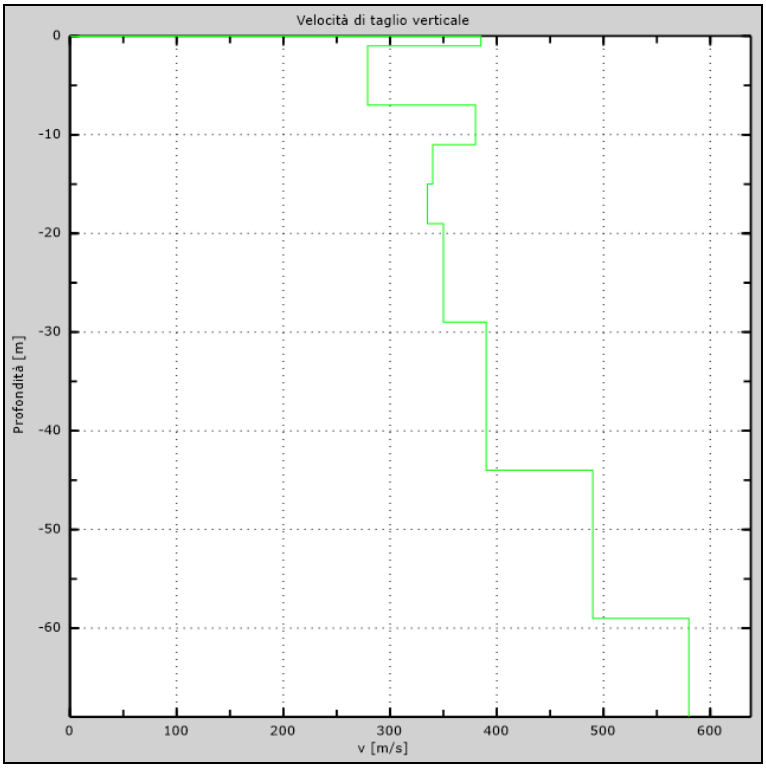


Figura 7 Profilo Vs numerico

RISULTATI INDAGINI HVSR

PARAMETRI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE HVSR

PARAMETRI ACQUISIZIONE	
Strumentazione	Sismografo MAE A6000S – sensore 3D 4,5 Hz Geospace
f campionameto	250 Hz
durata	1200 s
PARAMETRI ELABORAZIONE	
durata totale analizzata	1200 s
durata finestre	40 s
n° finestre	30
overlap	25 %
smoothing type	Konno & Omhachi
smoothing constant	40
intervallo f	0.3 Hz – 20.00 Hz

Figura 8 Sismografo Mae A6000S, sensore 3D 4,5 Hz Geospace

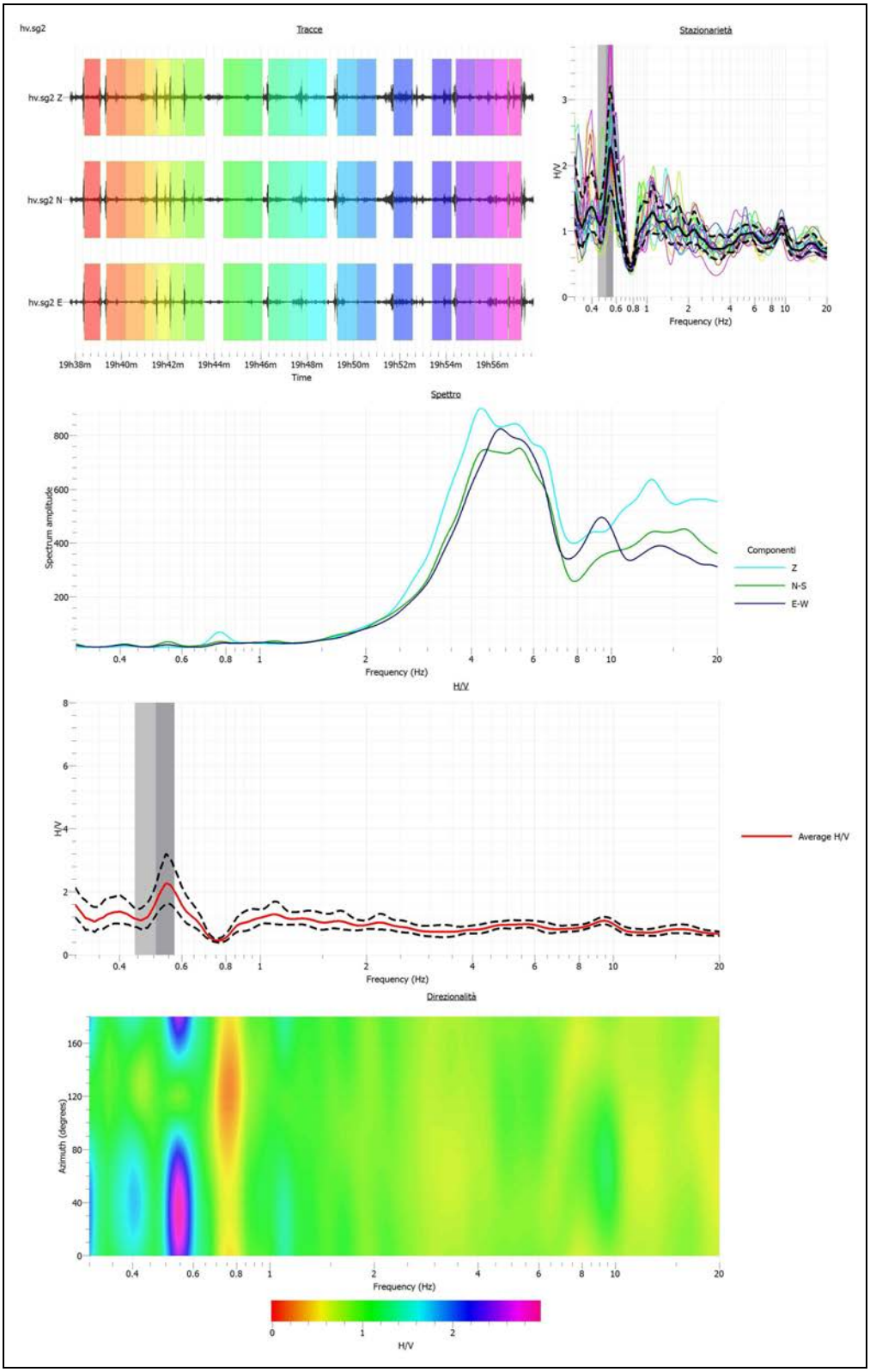


Figura 9 HVSR

Comune Spinetoli - hv

CRITERI PROGETTO SESAME

Criteri per una curva HVSR affidabile [R] *[devono essere soddisfatti tutti]*					
i R	$f_0 > 10 / L_w$	0.51	>	0.40	ok
ii R	$n_c(f_0) > 200$	254	>	200	ok
iii R	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5Hz$	eccede 0	su	580 punti	ok
Criteri per un picco HVSR chiaro [C] *[almeno 5 su 6 devono essere soddisfatti]*					
i C	esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.000	Hz		no
ii C	esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.689	Hz		ok
iii C	$A_0 > 2$	1.69	>	2	no
iv C	$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.090	<	0.05	no
v C	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06570	<	0.07608	ok
vi C	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.410	<	2	ok

L_w	larghezza della finestra [s]	**25**
n_w	numero di finiestre utilizzate per l'analisi [num]	**20**
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di clicli significativi [num]	**254**
f_0	frequenza di picco H/V [Hz]	**0.51**
f	frequenza	
σ_f	deviazione standard della frequenza di picco di H/V [Hz]	**± 0.06**
$\varepsilon(f_0)$	valore soglia per condizioni di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ - vedi tabella sotto	**0.08**
A_0	ampiezza del picco H/V alla frequenza f_0	**1.69**
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f	
f^-	frequenza fra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	
f^+	frequenza fra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	
$\sigma_A(f_0)$	deviazione standard di A_0	**± 1.4**
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$	
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della curva log $A_{H/V}(f)$	
$\theta(f_0)$	valore soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ - vedi tabella sotto	**2.00**

Freq.range [Hz]	**< 0.2**	**0.2 – 0.5**	**0.5 – 1.0**	**1.0 – 2.0**	**> 2.0**
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3	2.5	2	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.4	0.3	0.25	0.2

[specifiche da Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations - measurements, processing and interpretations. SESAME European research project, deliverable D23.12, 2005.]

Figura 10 Criteri Sesame F0

CONCLUSIONI

Così come riportato in premessa, a seguito delle presenti indagini è stato possibile definire le velocità delle onde Vs del sottosuolo, riferiti al modello geologico tecnico di riferimento.

E' stata calcolata una Vs30 pari a 335 m/s; dall'analisi HVSR risulta una frequenza di 0.51 Hz nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, che soddisfa i crietri sesame di affidabilità ma non tutti quelli relativi alla chiarezza.

Si rimane a completa disposizione per ulteriori chiarimenti in merito a quanto esposto.

Belmonte Castello, lì 02 Novembre 2017

Dott. Geol. Fabrizio Marini

A.P. n.1741

REPORT FOTOGRAFICO

Figura 11 ESAC

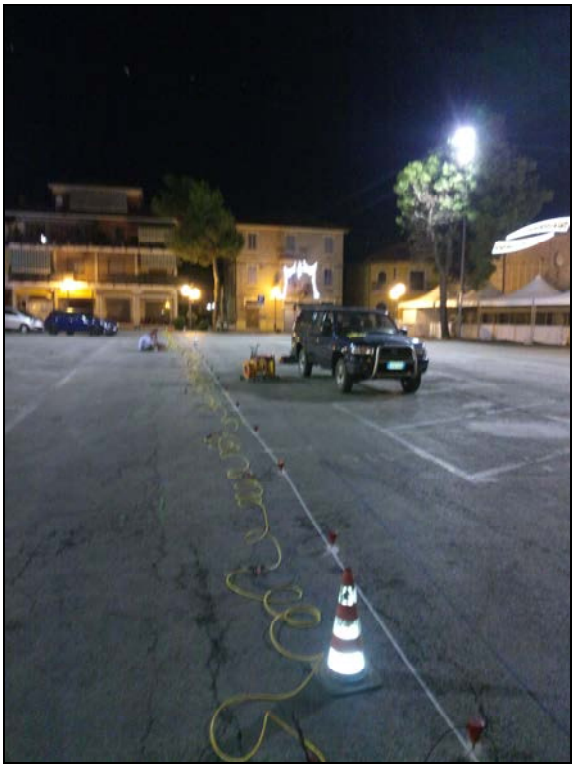
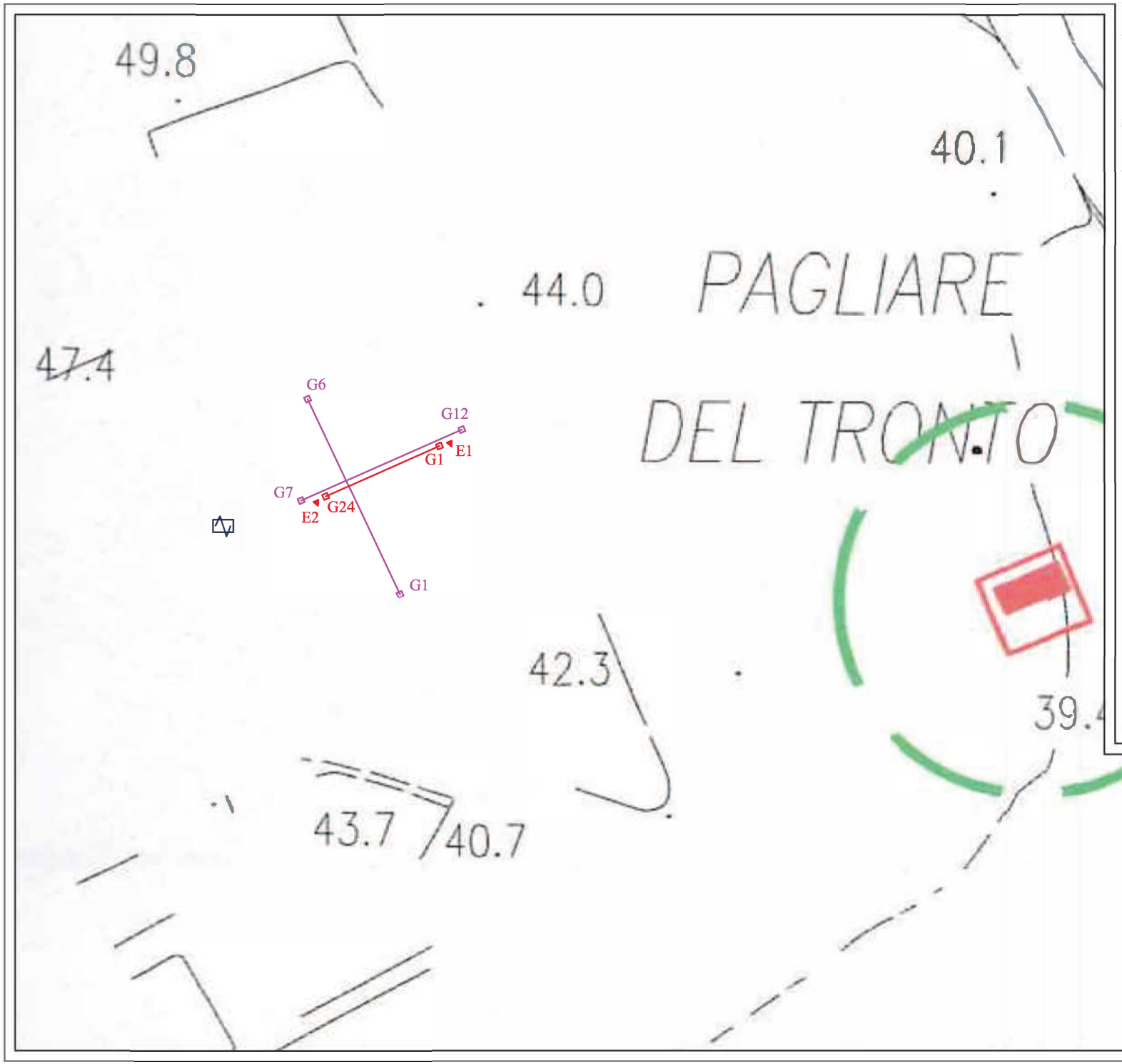


Figura 12 MASW

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI MASW-ESAC-HVSR

(Scala 1:2000)



PROVINCIA DI ASCOLI PICENO
COMUNE DI SPINETOLI

LAVORO:
Adeguamento strutturale della scuola dell'infanzia sita in Via Cinaglia di Pagliare del Tronto

COMMITTENTE: Comune di Spientoli (AP)

DATA: 02-11-2017

STRALCIO CATASTALE IN SCALA 1:2000

LEGENDA

- linea sismica masw
- linea sismica esac
- G1 posizione geofono
- E1 tiro esterno sx
- E2 tiro esterno dx
- HVSR