

Committente:



Comune di Sant'Elpidio a Mare  
Piazza Matteotti, 8  
63811 - Sant'Elpidio a Mare (FM)  
P.IVA: 00357160449  
CF: 81001350446  
PEC: protocollo@pec.santelpidioamare.it

Il Responsabile Unico del Procedimento:  
Ing. Raffaele TROBBIANI

SERVIZI SIA CONSISTENTI NELLA PROGETTAZIONE  
DEFINITIVA ESECUTIVA E COORDINAMENTO DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE CON RISERVA DI  
AFFIDAMENTO ANCHE DEI SERVIZI DI DIREZIONE LAVORI  
E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI  
ESECUZIONE RELATIVI ALL'INTERVENTO DI  
"ADEGUAMENTO SISMICO DEL PALAZZETTO DELLO  
SPORT AD USO SCOLASTICO - A. BACCI.

Livello progettuale:

PROGETTO DEFINITIVO

Palestra di Sant'Elpidio a mare:



Descrizione elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Progettista:



INVESTITALIA PROGETTI S.R.L.

Sede legale: via Milano 10 - 65122 Pescara (PE)  
Unità locale: via Calatafini 116 - 63074 San Benedetto del T. (AP)  
Tel. e fax: 06.81160010  
REA CCIAA di PE 411416 e C.F. e P.IVA 02283740682  
A.U. e D.T. Arch. Vincenzo Sidoti  
Email: investitalia.progetti@gmail.com  
PEC: investitalia.progetti@pec.it

Responsabile delle Integrazioni Specialistiche,  
Progettista, Coordinatore della Sicurezza in fase di  
Progettazione:  
Arch. Vincenzo SIDOTI

Progettista strutture:  
Ing. Simone SENZACQUA

Dipartimento Geologia e Geotecnica, Direttore Tecnico:  
Geol. Pierluigi ANASPARRI

Progettista Opere Impiantistiche:  
Ing. Silvia DI PASQUALE - Esperto CAM

Timbri e firme:

Responsabile delle Integrazioni Specialistiche,  
Progettista, Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione:  
Arch. Vincenzo SIDOTI

Progettista Strutture:  
Ing. Simone SENZACQUA

NOME FILE			AMBIENTE SOFTWARE		SCALA
R05.doc			Word		-
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	15/06/21	Prima emissione	S.Senzacqua	V.Sidoti	V.Sidoti
Codice commessa:		Parte d'opera:	Disciplina:		Elaborato:
23.21		DEF	GEN		R05

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Riferimenti normativi .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ubicazione topografica .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Analisi del pai vigente .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Mezzi e metodi di indagine.....</b>	<b>4</b>
	5.1 Ricostruzione del modello geologico e geotecnico .....	4
	5.2 Ricostruzione del modello sismico .....	5
<b>6</b>	<b>Modello geologico.....</b>	<b>6</b>
	6.1 Caratteristiche geologiche-geomorfologiche.....	6
	6.2 Caratteristiche stratigrafiche .....	7
	6.3 Caratteristiche idrogeologiche .....	7
<b>7</b>	<b>Modellazione sismica del sito.....</b>	<b>8</b>
	7.1 Sismicità storica dell'area.....	8
	7.2 Determinazione della pericolosità sismica di base .....	9
<b>8</b>	<b>Modello geotecnico.....</b>	<b>12</b>
	8.1 Verifica a liquefazione dei terreni.....	13
<b>9</b>	<b>Interazione terreno-struttura.....</b>	<b>14</b>



# 1 PREMESSA

Il sottoscritto **dott. geol. Pier Luigi Anasparri**, in qualità di **Direttore Tecnico (Settore geologia) della Investitalia Progetti s.r.l.**, ha redatto una **“Relazione geologica con modellazione geotecnica e sismica”**, per la **“Verifica della vulnerabilità sismica del Palazzetto dello sport ad uso scolastico – A.Bacci”** siti in Via Carlo Alberto Dalla Chiesa, nel territorio comunale di Sant’Elpidio a Mare (FM).

A tal fine, oltre al rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, è stata pianificata una campagna di indagini, mediante l’esecuzione di **n°2 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH**, **n°1 prova geofisica** attraverso uno stendimento sismico multicanale **“MASW”** ed **n°1 misura dei microtremori con tecnica HV**.

Inoltre sono stati acquisiti i **risultati di sondaggi geognostici effettuati in passato per la realizzazione del plesso scolastico A.Bacci**.

Sono stati infine **consultati gli elaborati della Microzonazione sismica di I° livello del Comune di Sant’Elpidio a Mare** ed in particolare la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

I dati tecnici sono stati elaborati secondo le **“Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” contenute nel D.M. Del 14/01/2008, nell’aggiornamento con Decreto 17 gennaio 2018 e nella Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., attraverso la modellazione geologica e geotecnica**.

**Fanno parte della presente relazione i seguenti allegati:**

<i>All.1 – Carta corografica</i>	<i>scala 1:25.000</i>
<i>All.2 – Planimetria generale</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>All.3 – Carta geologica</i>	<i>scala 1:25.000</i>
<i>All.4 – Stralcio PAI Vigente</i>	<i>scala 1:10.000</i>
<i>All.5 – Planimetria attuale con ubicazione indagini</i>	<i>scala 1:500</i>
<i>All.6 – Report sulle indagini effettuate</i>	
<i>All.7 – Sezione geologica – Modello geotecnico</i>	<i>scala 1:200</i>



## **2 RIFERIMENTI NORMATIVI**

### **D.M. del 11/03/1988 e relative istruzioni**

*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione*

**Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti - DECRETO 17 gennaio 2018** *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).*

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare n. 7 del 21/01/2019**

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Allegato al Voto n. 36 del 27/07/2007** *Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;*

### **Piano 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*

**Microzonazione sismica di I° livello del Comune di Sant'Elpidio a Mare** *ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n°24 registrata il 15/05/17 al n°1065*



### 3 UBICAZIONE TOPOGRAFICA

L'edificio in oggetto è situato immediatamente a Sud-Est del centro storico di Sant'Elpidio a Mare, ad una quota di circa 182,0 metri sul livello del mare.

Cartograficamente l'area è compresa nella tavoletta I.G.M. "SANT'ELPIDIO A MARE" in scala 1:25.000, IV° quadrante Sud-Est del Foglio 125 della Carta d'Italia (*Vedi All.1 – Carta corografica*) mentre nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 il sito è individuato nella sezione 304130 (*Vedi All.2 – Planimetria generale*).

Le coordinate (S.R. WGS84), sono le seguenti:

	WGS84
LATITUDINE	43,228301
LONGITUDINE	13,689815

### 4 ANALISI DEL PAI VIGENTE

Nel Piano 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, sono state individuate le aree a rischio idrogeologico.

Da un esame dello stralcio planimetrico allegato, si evidenzia che l'area in oggetto non ricade all'interno di aree a rischio alluvione o frane (*vedi All.4 – Trasposizione PAI Vigente*).

### 5 MEZZI E METODI DI INDAGINE

La caratterizzazione geologica, sismica e geotecnica dell'area di intervento, è stata effettuata attraverso le attività delle indagini di seguito descritte (*Vedi All.5 – Planimetria con ubicazione indagini*).

#### 5.1 Ricostruzione del modello geologico e geotecnico

Il modello geologico-geotecnico dell'area è stato ricostruito mediante l'individuazione della natura dei litotipi, del loro assetto strutturale e stratigrafico, attraverso il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio e con l'esecuzione di n°2 prove penetrometriche superpesanti tipo DPSH (Dynamic Probyng Super Heavy), spinte sino alla profondità massima di m 12,0 dal p.c. (*Vedi All.6 – Report delle indagini effettuate*).

Tali prove sono state effettuate utilizzando un penetrometro PAGANI modello TG 63-100; la prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi N necessari.



L'elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica della prova effettuata, consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo del terreno; l'utilizzo dei dati, sarà finalizzato alla parametrizzazione geotecnica delle unità litotecniche intercettate, ricavate da correlazioni che fanno riferimento a vari autori.

Inoltre come detto, **sono stati acquisiti i risultati di alcuni sondaggi geognostici effettuati per la progettazione e realizzazione del plesso scolastico "Scuola Media A.Bacci".**

## **5.2 Ricostruzione del modello sismico**

Il modello sismico dell'area oggetto di studio è stato ricostruito con l'esecuzione dell'**indagine geofisica, tramite n. 1 stendimenti sismici multicanale tipo MASW** (*Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves*) con elaborazione dei dati effettuata ai sensi del Decreto Ministeriale del 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e della Circolare n. 7 del 21/01/2019 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'indagine geofisica ha permesso di **determinare la categoria di suolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{seq}$ .**

**Inoltre, è stata effettuata n. 1 prova di sismica passiva, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali H/V che ha permesso misurare la frequenza di risonanza di sito (Vedi All.6 – Report delle indagini effettuate).**



## 6 MODELLO GEOLOGICO

### 6.1 Caratteristiche geologiche-geomorfologiche

L'abitato di Sant'Elpidio a Mare sorge sulla sommità di un crinale collinare che rappresenta la linea spartiacque tra il Fiume Tenna a Sud e il fiume Chienti a Nord.

L'area dove è stato realizzato il Palazzetto dello sport, è situata immediatamente a Sud del paese e sotto cresta, alla sommità di una modesta vallecchia che si apre verso Sud Est, verso la valle alluvionale del Fiume Tenna.

Il versante presenta una morfologia piuttosto articolata, con pendenze che tendono a diminuire nella parte valle; dalle evidenze geomorfologiche, l'area non risulta interessata da forme o processi morfogenetici in corso o avvenuti in passato, e pertanto può ritenersi dotata di condizioni di naturale stabilità.

Tuttavia, lungo il versante, non sono improbabili fenomeni di soliflusso che coinvolgono i depositi colluviali superficiali, determinando movimenti lenti che si esplicano con caratteristiche ondulazioni. Tali fenomeni, imputabili all'azione della gravità e delle acque di infiltrazione, rimangono comunque esterni all'area di sedime del palazzetto e non hanno comportato la perimetrazione nel Piano dell'Assetto Idrogeologico della Regione Marche (P.A.I.),

Dal punto di vista geologico-strutturale l'area è ubicata nella porzione centro-meridionale del Bacino Marchigiano esterno, caratterizzato dalla presenza di depositi marini di età pleistocenica.

Nella zona sono rinvenibili depositi arenaceo-pelitici e pelitico-arenacei rappresentati da sabbie giallastre in strati sottili, debolmente cementati, con intercalazioni di strati argilloso-siltosi grigio-avana; tale formazione, presenta una giacitura degli strati verso Nord-Est con pendenza compresa tra i 5 e 10°.

Lungo i versanti, sono riscontrabili depositi della copertura di natura colluviale, costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi, derivanti dai processi di alterazione del substrato; tali depositi, di spessore molto variabile, in corrispondenza dell'area di sedime del Palazzetto, presentano uno spessore di circa 20 metri, che tende ad aumentare verso Sud e verso Est.

**Dal rilevamento di superficie, le condizioni di equilibrio d'insieme, dal punto di vista geologico - geomorfologico, sono discrete (vedi All.3 – Carta geologica).**



## **6.2 Caratteristiche stratigrafiche**

I dati tecnici ricavati dai dati bibliografici, dalle prove e dalle indagini effettuate e reperite (***Vedi All.5 – Planimetria con ubicazione indagini***), hanno consentito di ricostruire la **seguente successione stratigrafica a partire dal piano campagna:**

**I° STRATO** - da m 0,00 a m 0,40 in media dal p.c.:

*Terreno vegetale*

**II° STRATO** - da m 0,40 a m 6,60 in media dal p.c.:

*Limi debolmente argillosi*

**III° STRATO** - da m 6,60 a m 20,0 in media dal p.c.:

*Limi argilloso-sabbiosi, con intercalazioni di livelli francamente sabbiosi*

**IV° STRATO** - da m 20,0 in poi in media dal p.c.:

*Formazione di base delle argille grigio-azzurre*

## **6.3 Caratteristiche idrogeologiche**

**L'area dell'immobile in oggetto, appartiene al bacino idrografico del Fiume Tenna, in cui confluiscano i numerosi fossi che hanno origine immediatamente a valle della linea spartiacque.**

L'area in oggetto è interessata principalmente dalle acque di diretta precipitazione meteorica che vengono in parte assorbite dai terreni superficiali e smaltite dalla rete fognaria delle acque bianche, ed in parte defluiscono in direzione Sud-Est seguendo le linee di massima pendenza verso la piana.

All'interno della coltre colluviale, la presenza di intercalazioni francamente sabbiose può instaurare localmente la saturazione degli strati più profondi; ma tale assetto idrogeologico non permette la formazione ed il mantenimento di una falda acquifera vera e propria

**Nel dettaglio, non vi sono linee preferenziali di scorrimento delle acque superficiali che intersecano l'edificio indagato.**

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, **durante l'esecuzione delle prove penetrometriche DPSH il livello della falda freatica non è stato intercettato.**





## 7 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

Il territorio comunale di Sant’Elpidio A Mare (FM) in base all’**Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274**, approvata con **L.R. n. 438 del 29/03/2005**, è stato classificato sismicamente come appartenente alla “**zona 2**”.

### 7.1 Sismicità storica dell’area

Di seguito si riporta la sismicità storica del **Comune di Sant’Elpidio a Mare** per eventi sismici con Magnitudo  $\geq 3,00$  riportati nel “**Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 DBMI15**”, consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	MMDF	Io Mw
5-6	1741	04	24	09	20		Fabrianese	135	9 6.17
5	1997	09	26	09	40	0	Appennino umbro-marchigiano	669	8-9 5.97
3-5	1936	10	30	07	13		Senigallia	268	8 5.83
5	1979	09	19	21	35	37	Valnerina	694	8-9 5.83
5	2017	01	15	10	14	9	Aquilano	230	5.70
6	1943	10	03	08	28	20	Asoolano	170	8 5.67
5	1997	09	26	00	39	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8 5.66
4-5	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786	5.62
3	1924	01	02	08	55	13	Senigallia	76	7-8 5.48
6	1972	11	26	16	03		Marche meridionali	73	5 5.48
4-5	1997	10	06	23	24	3	Appennino umbro-marchigiano	437	5.47
4	1939	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	667	6-7 5.36
4	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409	5.36
4-5	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490	5.22
6	1997	09	03	10	21	9	Costa Marchigiana	359	7 5.06
5	1943	01	16				Monti Sibillini	22	6-7 5.04

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>



Si osserva come il comune di Sant’Elpidio A Mare (AQ) in base all'Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274 rientra nella **zona 918** della zonazione sismogenetica ZS9, secondo la mappa di pericolosità sismica (INGV - C. Meletti e G. Valensise, 2004).

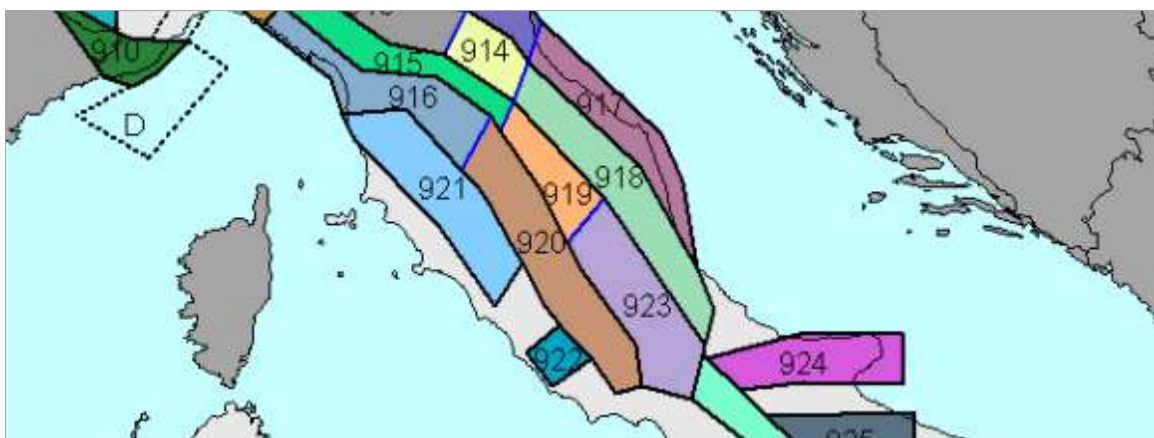


Figura 1 – Stralcio della Carta della Zonazione Sismogenetica ZS9 (da Meletti e Valensise, 2004, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.)

## 7.2 Determinazione della pericolosità sismica di base

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, le azioni sismiche di progetto vengono definite a partire dalla **pericolosità sismica di base** del sito in oggetto.

Per la stima della pericolosità sismica di base devono essere noti:

- Le coordinate geografiche del sito;
- I nodi del reticolo di riferimento;
- La classe d'uso e la vita Nominale dell'opera;

### Coordinate geografiche del sito

Le coordinate geografiche della zona comprendente l'area in oggetto sono le seguenti:

	WGS84	ED50
<b>LATITUDINE</b>	43,228301	43,229251
<b>LONGITUDINE</b>	13,689815	13,690734

### Nodi del reticolo di riferimento

Sito 1	ID: 22535	Lat: 43,2349	Lon: 13,6273	Distanza: 5176,412
Sito 2	ID: 22536	Lat: 43,2348	Lon: 13,6959	Distanza: 744,196
Sito 3	ID: 22758	Lat: 43,1848	Lon: 13,6958	Distanza: 4960,525
Sito 4	ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza: 7131,891

Comune di Sant’Elpidio a Mare



### Classe d'uso e vita nominale

Poiché trattasi di un edificio pubblico è stato possibile assegnare una **classe d'uso III e vita nominale pari a 50 anni** (par. 2.4 delle N.T.C.).

### Pericolosità sismica di base

Si riportano nella seguente tabella i **valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) attesi al sito in oggetto relativi ad ogni stato limite di progetto:**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc*[s]
Operatività (SLO)	45	0.060	2.462	0.286
Danno (SLD)	75	0.077	2.512	0.290
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.213	2.493	0.318
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.278	2.491	0.326

### Categoria di sottosuolo di riferimento

Sulla base dei risultati delle prove sismiche MASW effettuate, è stato possibile ricavare le seguenti velocità equivalenti (*vedi All.6 – Report sulle indagini effettuate*):

Masw	Vs <sub>eq</sub>	Categoria di sottosuolo
1	307,24 m/s	C

**Pertanto, può essere assegnata all'area in oggetto, la categoria di sottosuolo “C”, come indicato nella tabella 3.2.II allegata alle N.T.C. di seguito riportata:**

Categoria	Descrizione
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	<b><i>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.</i></b>



D	<i>Depositi 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>

### **Categoria topografica**

Per l'assegnazione della categoria topografica si fa riferimento alla tabella 3.2.III (categorie topografiche) allegata alle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018, di seguito riportata:

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></b>
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 $i > 30^\circ$

In riferimento alla tabella e data la morfologia della zona, ai fini della classificazione sismica, **per il sito si può adottare una categoria topografica T1.**

Inoltre, al fine di determinare la frequenza caratteristica del sito è stata eseguita **una indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);** dall'osservazione della curva H/V della **misura effettuata si osserva una frequenza del picco a 3,85 Hz.**



## 8 MODELLO GEOTECNICO

Sulla base dei dati presenti in bibliografia e dell'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche DPSH, è stato possibile assegnare ai termini stratigrafici precedentemente descritti (*Vedi All.7 – Sezione geologica – Modello geotecnico*), le seguenti caratteristiche meccaniche e ricostruire il modello geotecnico del sito:

### UNITA' LITOTECNICA "A"

**I° STRATO - da m 0,40 a m 6,60 in media dal p.c.:**

*Limi debolmente argillosi*

$\gamma = \text{peso di volume} = 1,9 \text{ t/mc}$

$\phi = \text{angolo di attrito} = 22^\circ$

$c' = \text{coesione drenata} = 0,01 \text{ kg/cmq}$

$c_u = \text{coesione non drenata} = 0,3 \text{ kg/cmq}$

$N_{spt} = 5$

### UNITA' LITOTECNICA "B"

**II° STRATO - da m 6,60 m 20,0 in media dal p.c.:**

*Limi argilloso-sabbiosi, con intercalazioni di livelli francamente sabbiosi*

$\gamma = \text{peso di volume} = 2,1 \text{ t/mc}$

$\phi = \text{angolo di attrito} = 24^\circ$

$c' = \text{coesione drenata} = 0,02 \text{ kg/cmq}$

$c_u = \text{coesione non drenata} = 0,6 \text{ kg/cmq}$

$N_{spt} = 10$

### UNITA' LITOTECNICA "C"

**III° STRATO - da m 20,0 in poi in media dal p.c.:**

*Formazione di base delle argille grigio-azzurre*

$\gamma = \text{peso di volume} = 2,3 \text{ t/mc}$

$\phi = \text{angolo di attrito} = 23^\circ$

$c' = \text{coesione drenata} = 0,4 \text{ kg/cmq}$

$c_u = \text{coesione non drenata} = 2,0 \text{ kg/cmq}$



## 8.1 Verifica a liquefazione dei terreni

Sulla base di quanto riportato nelle NTC 2018 cap. 7.11.3.4.2 **la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:**

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g,
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c. per p.c. sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali,
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1n} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100KPa e  $q_{c1n}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100KPa,
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

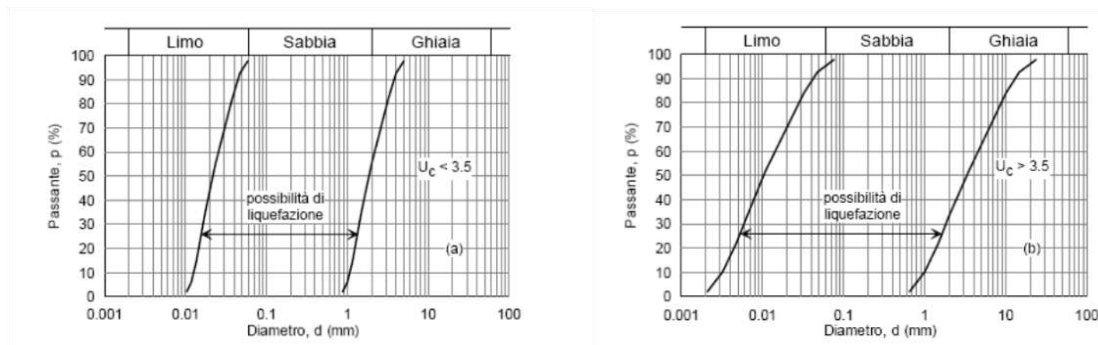


Figura 3 - Distribuzione granulometrica con terreni con  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

**Non essendo stata rilevata la falda freatica nei primi 15 metri di terreno, è possibile omettere la verifica a liquefazione per l'edificio in oggetto.**

**Inoltre la natura fortemente coesive dei terreni investigati, non permette il verificarsi dei fenomeni di liquefazione.**



## 9 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Il palazzetto dello Sport a servizio del plesso scolastico A. Bacci, è ubicato in via Carlo Alberto Dalla Chiesa nel territorio comunale di Sant’Elpidio A Mare (FM) a Sud-Est del centro storico, ad una quota di circa 182,0 metri sul livello del mare.

Il palazzetto presenta una forma rettangolare in pianta, occupando una superficie di oltre 1100 mq; esso si sviluppa su due livelli.

Il primo livello è seminterrato, mentre il secondo è rialzato; a partire dal piano seminterrato, l’altezza massima del palazzetto è di 14,0 metri,

La struttura portante del fabbricato è un telaio in calcestruzzo armato.

Dai dati reperiti sulle strutture di fondazione, **si evince che per la realizzazione della palestra sono state adottate fondazione profonde su pali.**

Come detto, per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico sono state effettuate **n.2 prove penetrometriche DPSH, n.1 prova MASW e n.1 prove HVSR.**

Dal punto di vista sismico è stato possibile assegnare all'area in oggetto, **la categoria di suolo C ed una categoria topografica T1.**

IL DIRETTORE TECNICO  
dott.geol. Pier Luigi Anasparri

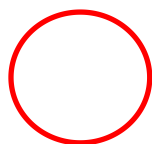
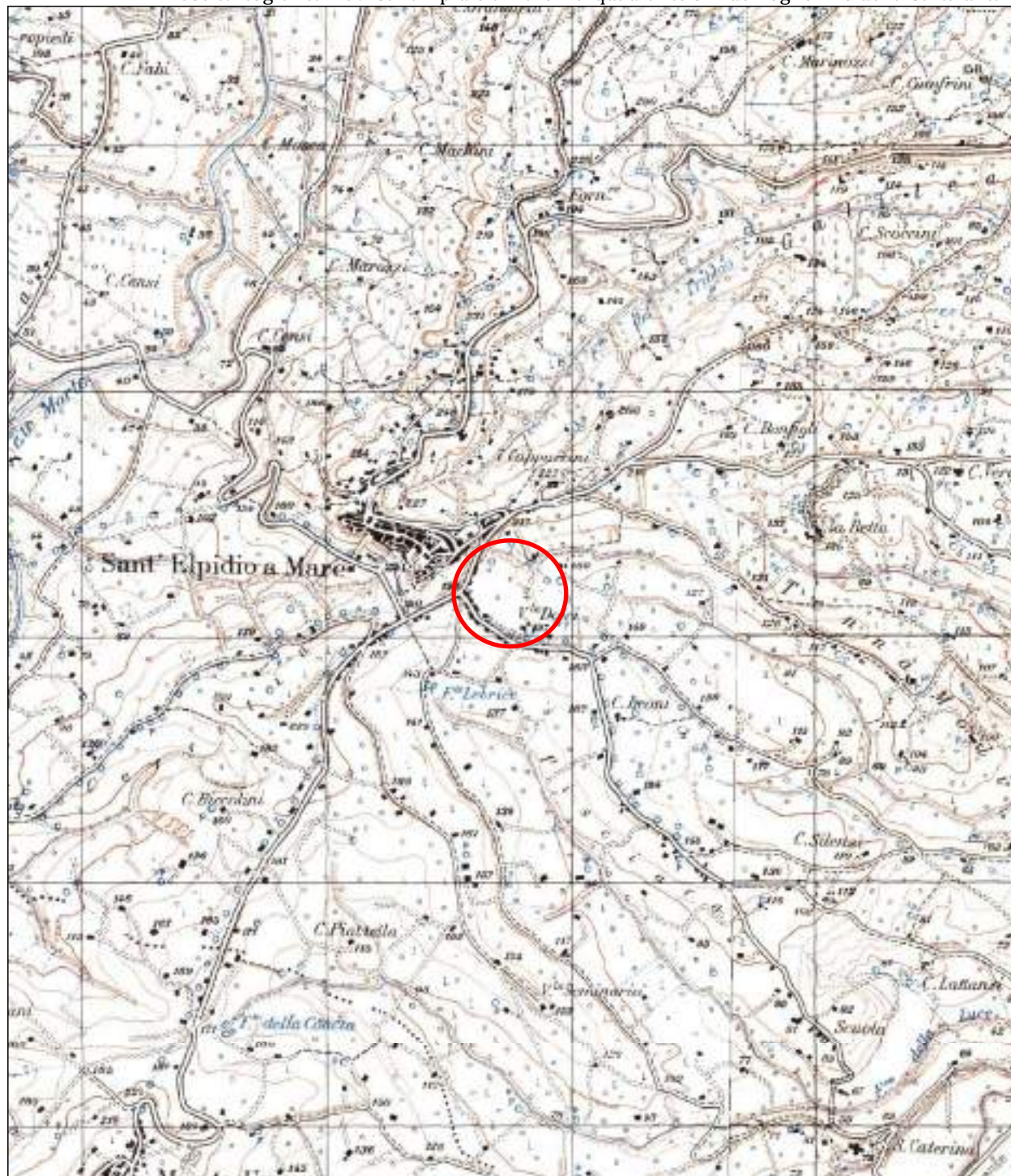




# CARTA COROGRAFICA 1:25.000



Base cartografica: Tav."Sant'Elpidio a Mare" IV°quadrante S.E. del foglio 125 della Carta d'Italia



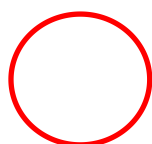
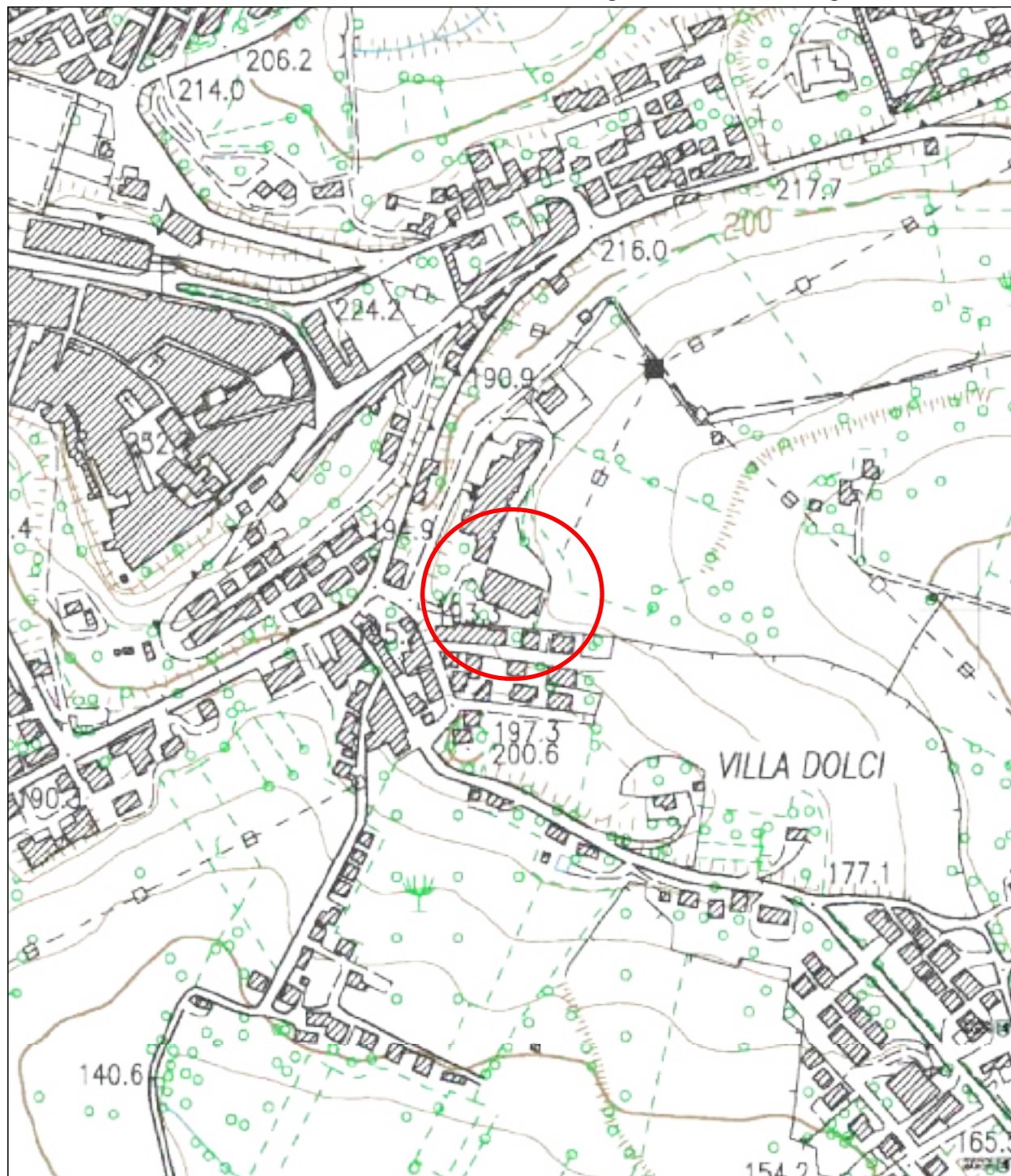
Area in oggetto





# PLANIMETRIA GENERALE 1:5.000

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale - sez 304130



Area in oggetto



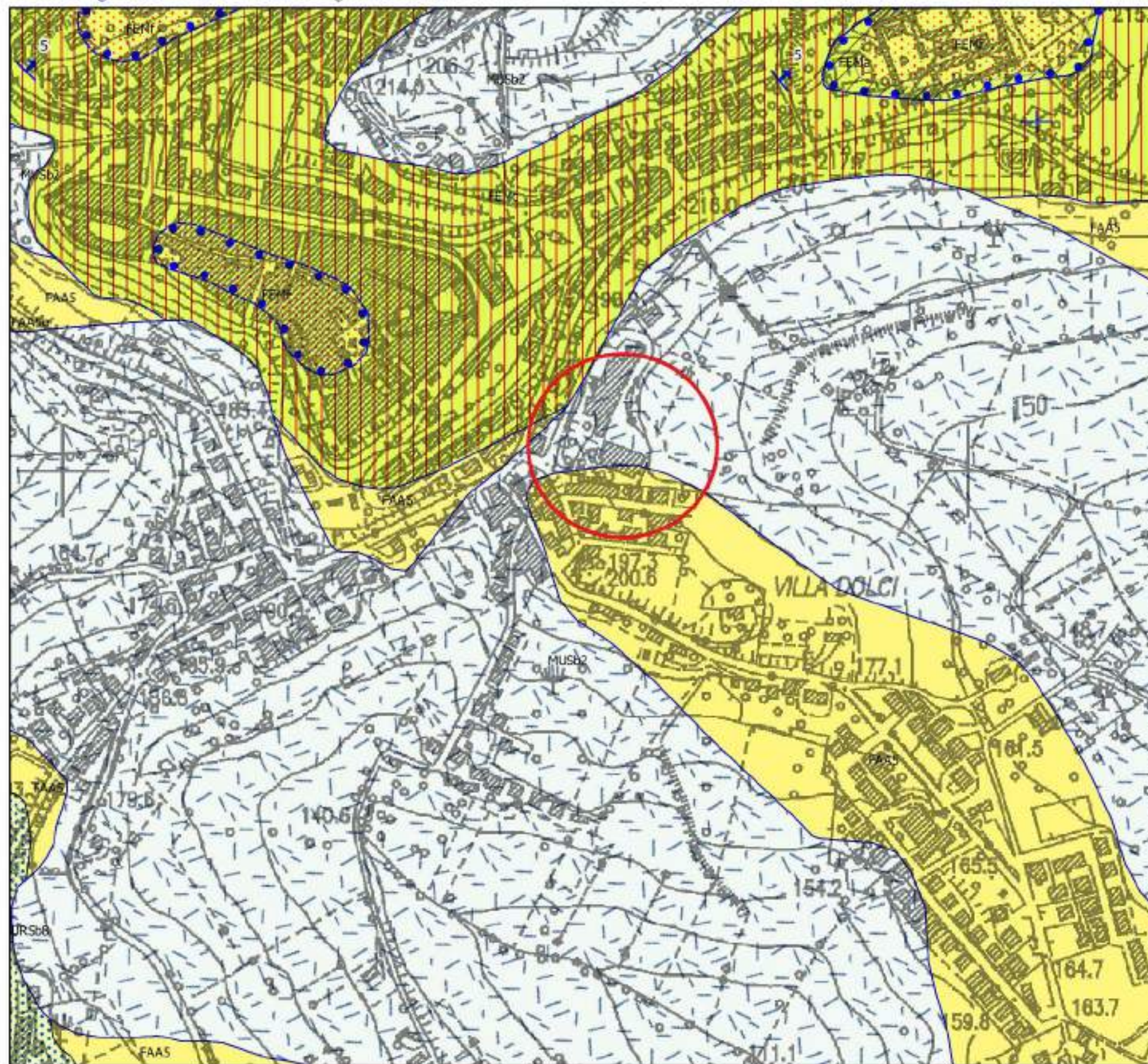


# CARTA GEOLOGICA

Scala 1:5.000

ALLEGATO 3

Base cartografica: CTR Carta Tecnica Regionale - Sezione 304130



## Legenda

- MUSb2 - Depositi eluvio-colluviali
- URSB8 - Sintema di Urbisaglia  
Depositi di glacis antichi
- FAA5 - Formazione delle Argille Azzurre  
Membro di Offida
- FAA5e - Formazione delle Argille Azzurre  
Membro di Offida  
Litofacies pelitico-arenacea
- FEMa - Formazione di Fermo  
Litofacies conglomeratica
- FEMc - Formazione di Fermo  
Litofacies arenacea
- FEMf - Formazione di Fermo  
Litofacies pelitica

- Contatto stratigrafico inconforme incerto
- Contatto stratigrafico o litologico certo

- Stratificazione dritta
- Stratificazione orizzontale dritta



Area in oggetto





STRALCIO PAI VIGENTE DELL'AUTORITA'  
DI BACINO DELLA REGIONE MARCHE  
1:10.000

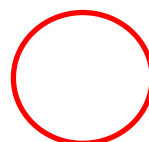
ALLEGATO 4



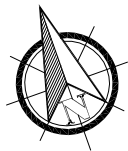
Legenda

Aree in frana

-  R1
-  R2
-  R4



Area in oggetto



# PIANO INDAGINI

Scala 1 : 1.000

ALLEGATO 5



DPSHn



Prova penetrometrica dinamica DPSH



Traccia stendimento sismico  
multicanale e suo numero

H/Vn



Registrazione microtremore con  
stazione sismica singola e suo  
numero



Traccia sezione geologica  
Modello geotecnico

## REPORT SULLE INDAGINI EFFETTUATE

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: Amm.ne comunale Sant'Elpidio a mare Descrizione: Palazzetto dello sport ad uso scolastico - A. Bacci Località: Via Carlo Alberto Dalla Chiesa - Sant'Elpidio a mare (FM)	Codice commessa: Palazzetto dello sport - Sant'Elpidio a mare
---	---

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-100 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

**L'OPERATORE:**  
Carlo Aquilone

**IL TECNICO ELABORATORE:**  
geol. F. Ciabattoni

**IL DIRETTORE TECNICO:**  
geol. P. Anasparri



**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) 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 a);
- avanzamento (penetrazione) d;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M ≤ 10	8
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M ≥ 60	25

### IL penetrometro utilizzato per le indagini effettuate è:

DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA) – con massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

### 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:

$$NSPT = \beta_c \cdot N$$

Dove:

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

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.
- d passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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



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

## Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{v0}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
$C_s$	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
$C_d$	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
$C_r$	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

## Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato.

#### ***Distribuzione normale R.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

#### ***Distribuzione normale R.N.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})/\sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

### Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento  $d = 1$  m.

## Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

### Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda

$$N_{spt\text{corretto}} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosifessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $s > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### ***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

#### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

#### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

#### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $t$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

#### ***Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )***

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### ***Modulo di reazione ( $K_0$ )***

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### ***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )***

- Robertson (1983) -  $Q_c$

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### ***Coesione non drenata***

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$ (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann
- De Beer

### ***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )***

- Robertson (1983) -  $Q_c$

### ***Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )***

- Stroud e Butler (1975) per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenzov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -  $M_o$  (Eed) ( $Kg/cm^2$ ) valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

### ***Modulo Di Young ( $E_Y$ )***

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$ .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

### ***Peso di volume saturo***

- Meyerhof ed altri.

**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI  
Prova eseguita in data 15/02/2021  
Profondità prova 12,00 mt  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	3	0,851	26,82	31,52	1,34	1,58
0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	4	0,843	32,53	38,57	1,63	1,93
1,00	6	0,840	48,59	57,86	2,43	2,89
1,20	6	0,836	48,39	57,86	2,42	2,89
1,40	6	0,833	48,19	57,86	2,41	2,89
1,60	5	0,830	36,96	44,55	1,85	2,23
1,80	4	0,826	29,45	35,64	1,47	1,78
2,00	4	0,823	29,34	35,64	1,47	1,78
2,20	5	0,820	36,54	44,55	1,83	2,23
2,40	4	0,817	29,13	35,64	1,46	1,78
2,60	4	0,814	26,97	33,13	1,35	1,66
2,80	4	0,811	26,88	33,13	1,34	1,66
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	6	0,806	40,05	49,69	2,00	2,48
3,40	5	0,803	33,27	41,41	1,66	2,07
3,60	5	0,801	30,98	38,68	1,55	1,93
3,80	6	0,798	37,06	46,41	1,85	2,32
4,00	5	0,796	30,79	38,68	1,54	1,93
4,20	5	0,794	30,70	38,68	1,53	1,93
4,40	4	0,791	24,49	30,94	1,22	1,55
4,60	4	0,789	22,91	29,03	1,15	1,45
4,80	4	0,787	22,85	29,03	1,14	1,45
5,00	3	0,785	17,09	21,77	0,85	1,09
5,20	4	0,783	22,73	29,03	1,14	1,45
5,40	3	0,781	17,00	21,77	0,85	1,09
5,60	5	0,779	26,62	34,17	1,33	1,71
5,80	6	0,777	31,87	41,00	1,59	2,05
6,00	6	0,775	31,80	41,00	1,59	2,05
6,20	8	0,774	42,30	54,67	2,12	2,73
6,40	8	0,772	42,21	54,67	2,11	2,73
6,60	9	0,770	44,77	58,12	2,24	2,91
6,80	9	0,769	44,68	58,12	2,23	2,91
7,00	9	0,767	44,59	58,12	2,23	2,91
7,20	10	0,766	49,44	64,58	2,47	3,23
7,40	9	0,764	44,41	58,12	2,22	2,91

7,60	10	0,763	46,68	61,21	2,33	3,06
7,80	10	0,761	46,60	61,21	2,33	3,06
8,00	11	0,760	51,16	67,33	2,56	3,37
8,20	10	0,759	46,43	61,21	2,32	3,06
8,40	10	0,757	46,35	61,21	2,32	3,06
8,60	11	0,756	48,37	63,99	2,42	3,20
8,80	11	0,755	48,29	63,99	2,41	3,20
9,00	11	0,753	48,22	63,99	2,41	3,20
9,20	10	0,752	43,76	58,17	2,19	2,91
9,40	12	0,751	52,43	69,81	2,62	3,49
9,60	12	0,750	49,88	66,51	2,49	3,33
9,80	12	0,749	49,80	66,51	2,49	3,33
10,00	11	0,748	45,58	60,97	2,28	3,05
10,20	11	0,747	45,52	60,97	2,28	3,05
10,40	11	0,746	45,45	60,97	2,27	3,05
10,60	10	0,744	39,40	52,92	1,97	2,65
10,80	13	0,693	47,71	68,80	2,39	3,44
11,00	11	0,742	43,22	58,22	2,16	2,91
11,20	12	0,741	47,08	63,51	2,35	3,18
11,40	11	0,740	43,10	58,22	2,15	2,91
11,60	11	0,739	41,18	55,70	2,06	2,79
11,80	12	0,738	44,86	60,77	2,24	3,04
12,00	13	0,687	45,24	65,83	2,26	3,29

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
6	4,5	37,32	Incoerente - coesivo	0	1,84	1,89	0,55	1,48	6,67	Limo debolmente argilloso
12	10,6	61,28	Incoerente - coesivo	0	2,08	2,29	1,73	1,52	16,11	Limo argilloso variamente sabbioso

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

##### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0,00-6,00	U.S.D.M.S.M.	0,27
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	U.S.D.M.S.M.	0,63

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
-------------	------	------------------	--------------	--------------------------



Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	Robertson (1983)	13,34
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	Robertson (1983)	32,22

#### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	Buisman-Sanglerat	83,38
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	Buisman-Sanglerat	161,10

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	Apollonia	66,70
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	Apollonia	161,10

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	Meyerhof	1,84
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	Meyerhof	2,08

#### Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	Meyerhof	1,89
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	Meyerhof	2,29

**TERRENI INCOERENT I**

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,67	0.00-6,00	6,67	Meyerhof (1956)	21,91
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	16,11	6,00-12,00	16,11	Meyerhof (1956)	24,6

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI  
 Prova eseguita in data 15/02/2021  
 Profondità prova 12,00 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	9	0,855	80,82	94,57	4,04	4,73
0,40	8	0,851	71,51	84,06	3,58	4,20
0,60	3	0,847	24,50	28,93	1,23	1,45
0,80	1	0,843	8,13	9,64	0,41	0,48
1,00	2	0,840	16,20	19,29	0,81	0,96
1,20	1	0,836	8,06	9,64	0,40	0,48
1,40	3	0,833	24,10	28,93	1,20	1,45
1,60	3	0,830	22,18	26,73	1,11	1,34
1,80	3	0,826	22,09	26,73	1,10	1,34
2,00	6	0,823	44,01	53,47	2,20	2,67
2,20	7	0,820	51,16	62,38	2,56	3,12
2,40	7	0,817	50,97	62,38	2,55	3,12
2,60	6	0,814	40,46	49,69	2,02	2,48
2,80	4	0,811	26,88	33,13	1,34	1,66
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	4	0,806	26,70	33,13	1,34	1,66
3,40	4	0,803	26,61	33,13	1,33	1,66
3,60	3	0,801	18,59	23,21	0,93	1,16
3,80	3	0,798	18,53	23,21	0,93	1,16
4,00	2	0,796	12,32	15,47	0,62	0,77
4,20	2	0,794	12,28	15,47	0,61	0,77
4,40	2	0,791	12,24	15,47	0,61	0,77
4,60	3	0,789	17,18	21,77	0,86	1,09
4,80	4	0,787	22,85	29,03	1,14	1,45
5,00	4	0,785	22,79	29,03	1,14	1,45

5,20	5	0,783	28,41	36,28	1,42	1,81
5,40	4	0,781	22,67	29,03	1,13	1,45
5,60	4	0,779	21,30	27,34	1,06	1,37
5,80	5	0,777	26,56	34,17	1,33	1,71
6,00	6	0,775	31,80	41,00	1,59	2,05
6,20	7	0,774	37,01	47,84	1,85	2,39
6,40	6	0,772	31,66	41,00	1,58	2,05
6,60	6	0,770	29,85	38,75	1,49	1,94
6,80	8	0,769	39,72	51,66	1,99	2,58
7,00	8	0,767	39,63	51,66	1,98	2,58
7,20	10	0,766	49,44	64,58	2,47	3,23
7,40	8	0,764	39,48	51,66	1,97	2,58
7,60	9	0,763	42,02	55,09	2,10	2,75
7,80	9	0,761	41,94	55,09	2,10	2,75
8,00	13	0,710	56,49	79,57	2,82	3,98
8,20	8	0,759	37,14	48,97	1,86	2,45
8,40	10	0,757	46,35	61,21	2,32	3,06
8,60	10	0,756	43,98	58,17	2,20	2,91
8,80	9	0,755	39,51	52,36	1,98	2,62
9,00	10	0,753	43,83	58,17	2,19	2,91
9,20	10	0,752	43,76	58,17	2,19	2,91
9,40	11	0,751	48,06	63,99	2,40	3,20
9,60	11	0,750	45,72	60,97	2,29	3,05
9,80	10	0,749	41,50	55,42	2,08	2,77
10,00	11	0,748	45,58	60,97	2,28	3,05
10,20	10	0,747	41,38	55,42	2,07	2,77
10,40	9	0,746	37,19	49,88	1,86	2,49
10,60	10	0,744	39,40	52,92	1,97	2,65
10,80	11	0,743	43,28	58,22	2,16	2,91
11,00	12	0,742	47,14	63,51	2,36	3,18
11,20	11	0,741	43,16	58,22	2,16	2,91
11,40	11	0,740	43,10	58,22	2,15	2,91
11,60	12	0,739	44,92	60,77	2,25	3,04
11,80	11	0,738	41,12	55,70	2,06	2,79
12,00	12	0,737	44,80	60,77	2,24	3,04

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
6,6	4,27	35,06	Incoerente - coesivo	0	1,83	1,89	0,6	1,49	6,36	Limo debolmente argilloso
12	10,15	57,83	Incoerente - coesivo	0	2,07	2,28	1,77	1,52	15,47	Limo argilloso variamente sabbioso

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	U.S.D.M.S.M.	0,26
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	U.S.D.M.S.M.	0,61

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	Robertson (1983)	12,72
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	Robertson (1983)	30,94

#### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	Buisman-Sanglerat	79,50
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	Buisman-Sanglerat	154,70

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	Apollonia	63,60
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	Apollonia	154,70

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	Meyerhof	1,83
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	Meyerhof	2,07

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	Meyerhof	1,89
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	Meyerhof	2,28

**TERRENI INCOERENTI**

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limo debolmente argilloso	6,36	0.00-6,60	6,36	Meyerhof (1956)	21,82
Strato (2) Limo argilloso variamente sabbioso	15,47	6,60-12,00	15,47	Meyerhof (1956)	24,42

## Documentazione fotografica



*Foto1: postazione prova DPSH1 (per l'ubicazione in pianta vedi allegato)*

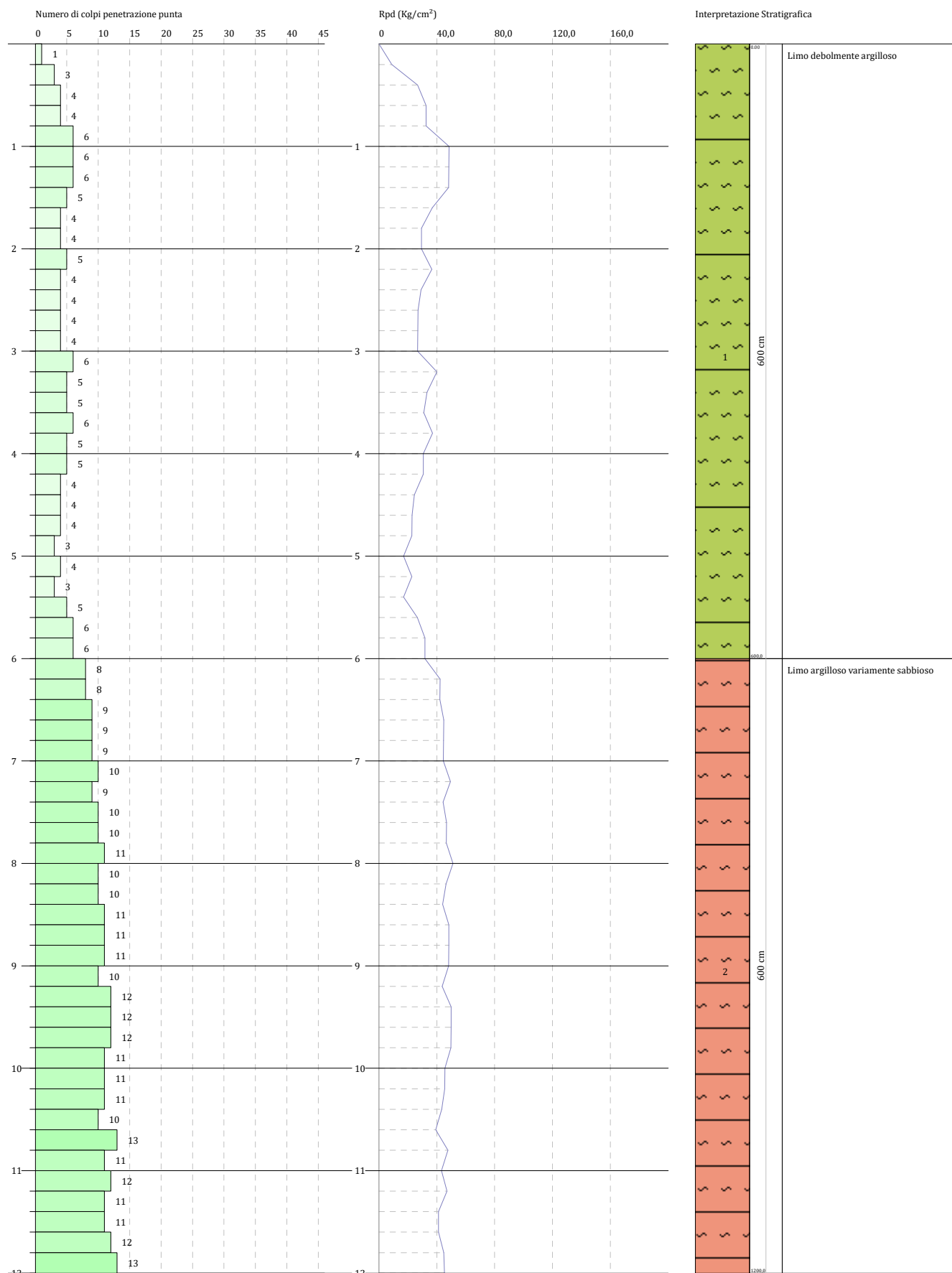


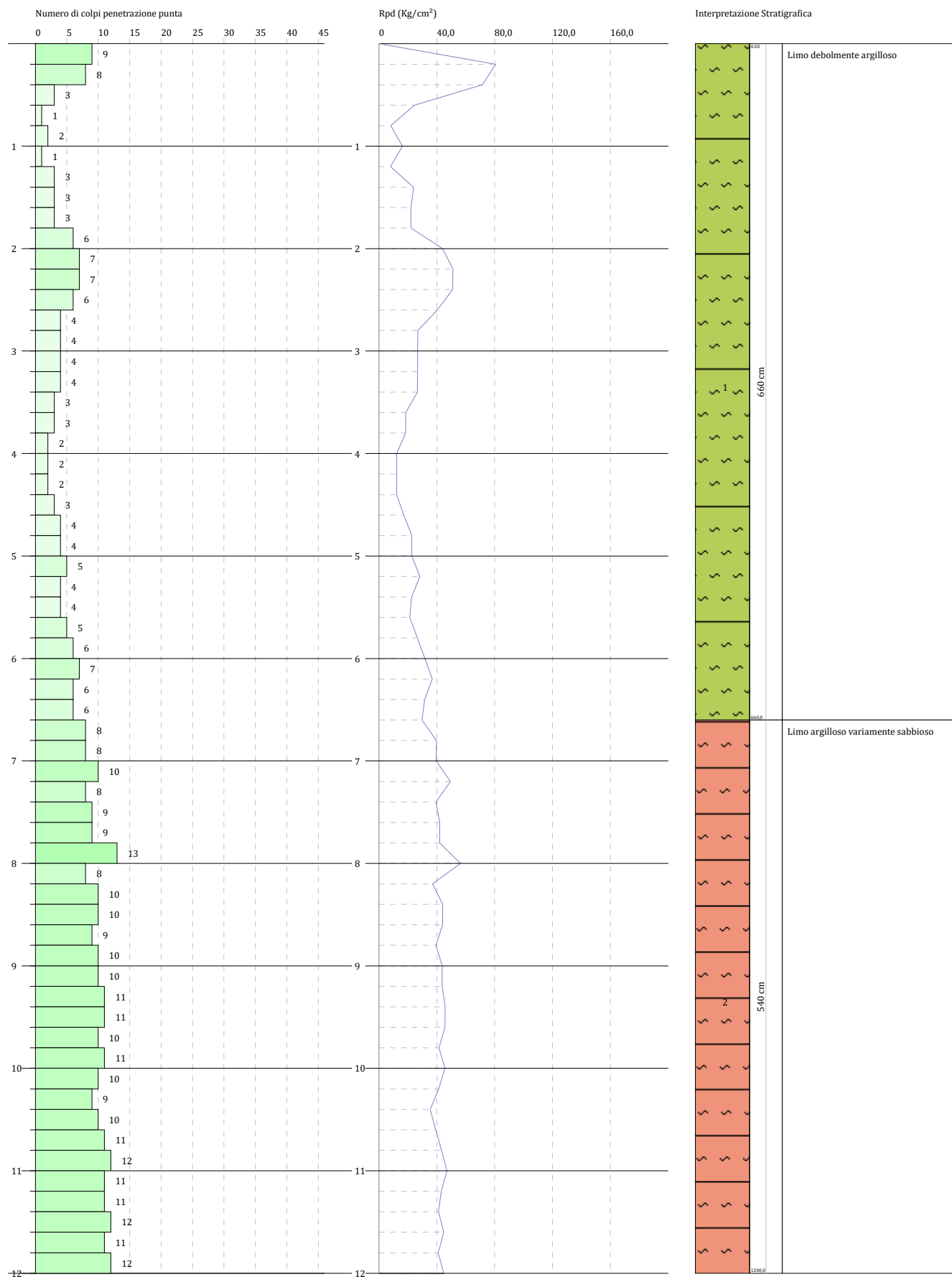
*Foto2: postazione prova DPSH2 (per l'ubicazione in pianta vedi allegato)*

Committente: Amm.ne comunale Sant'Elpidio a mare  
Descrizione: Palazzetto dello sport ad uso scolastico - A. Bacci  
Località: Via Carlo Alberto Dalla Chiesa - Sant'Elpidio a mare

Data: 15/02/2021

Scala 1:53







**INDICE**

<b>1</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Metodo .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Strumentazione utilizzata .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Modalità esecutive.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Risultati .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....</b>	<b>11</b>



# 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto "**adeguamento sismico della palazzetto dello sport ad uso scolastico - A. Bacci**", sito in Via Carlo Alberto Dalla Chiesa nel territorio comunale di Sant'Elpidio a mare (FM), è stata realizzata n. 1 indagine sismica tipo MASW ubicata come mostrato nell'allegato 5 alla Relazione Geologica.

L'indagine si è resa necessaria al fine della classificazione sismica dei terreni ai sensi del *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"* (NTC 2018) e della *Circolare n. 7 del 21/01/2019* del C.S.LL.PP., per la quale si richiede la definizione del parametro  $V_{s,eq}$  e relativa possibilità di classificazione del suolo secondo la Tab. 3.2II.

Infatti secondo il D.M. 17/01/2018,

*.....ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta 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,  $V_s$ . 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:*

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

2

Categoria	Descrizione
A	<b><i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i></b> 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	<b><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i></b> , 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	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i></b> 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	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i></b> , 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	<b><i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i></b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1: D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II

Comune di Sant'Elpidio a mare



## **2 METODO**

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 suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie (tramite energizzazione con mazza battente) e misurate da uno stendimento lineare (array) di sensori (geofoni). Il metodo consente di ottenere, normalmente, una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 2- 100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, le profondità di investigazione sono funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente e dell'array.

---

3

Schematicamente il processo di analisi è il seguente:

1. trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  – numero d'onda  $K$ ;
2. l'individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consente di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{\text{fase}}$  (m/sec) – frequenza (lentezza (s/m) – frequenza (Hz)
3. calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo;
4. modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale di velocità delle onde S.



### **3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

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



*Figura 1: strumentazione utilizzata*

- *sistema di energizzazione:* la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c.
- *sistema di ricezione:* costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali prodotte da una specifica sorgente; collegati al sismografo tramite una coppia di cavi sismici (ciascuno con 12 takeouts)
- *sistema di acquisizione dati:* Sismografo marca M.A.E. modello "Sysmatrack" a 24 canali con le seguenti specifiche caratteristiche:
  - Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
  - Range dinamico: 144 dB (teorico)
  - Distorsione massima: +/-0.0010%
  - Banda passante: 2Hz-30KHz
  - Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
  - Diafonia: -120dB a 20 Hz
  - Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
  - Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura



- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
  - Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
  - Livelli di amplificazione: 0 ÷ 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali
  - Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
  - Tempo pre-trigger: 1÷500ms
  - Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua
  - Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
  - Interfacce disponibili: USB (richiede un PC di controllo)
  - Modalità di acquisizione: con trigger esterno su tutti i canali e a tempo su max 12 canali
  - Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione.
  - Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
  - Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni/anomalie
  - Archiviazione dati: nelle memorie di massa del PC di controllo
  - Trigger: positivo, negativo (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
  - Formato dei dati: SEG-2 standard
- *sistema di trigger*: consiste in un circuito piezoelettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

L'elaborazione dei dati acquisiti nell'indagine MASW, è stata realizzata mediante software "Geopsy" (di *Marc Wathelet, Università di Grenoble, Francia*) software sviluppato nell'ambito dello studio *SESAME*, (anno 2005) e con software commerciale "EasyMasw" (Geostru).



## 4 MODALITÀ ESECUTIVE



Figura 2: modalità esecutive

Considerate le condizioni del sito e le finalità della prova, l'acquisizione è stata eseguita secondo la seguente configurazione spazio-temporale:

- ✓ lunghezza stendimento: 46 m
- ✓ direzione stendimento: N90°
- ✓ n. geofoni: 24
- ✓ distanza intergeofonica: 2,0 m
- ✓ durata acquisizione: 2.048 ms
- ✓ periodi di campionamento: 1 ms



5 RISULTATI

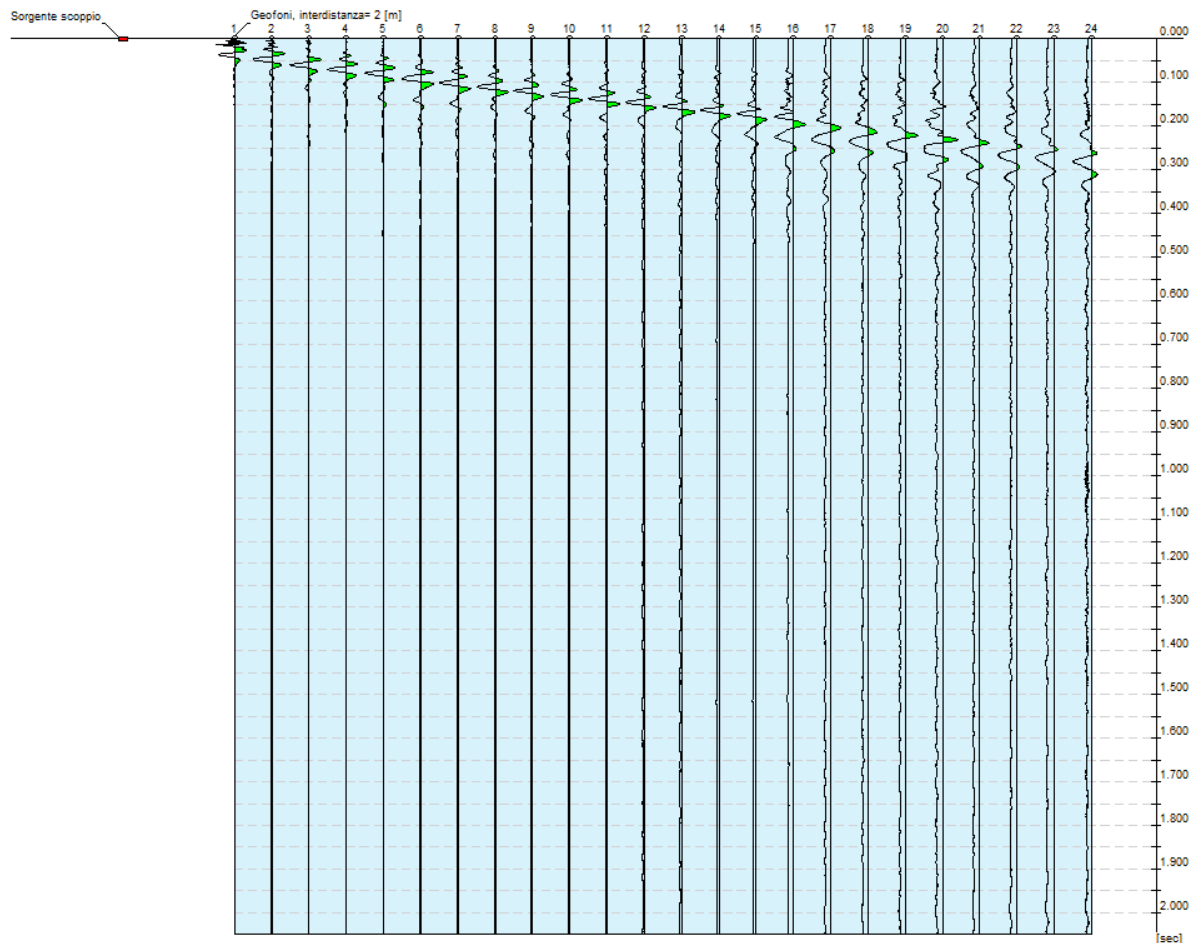
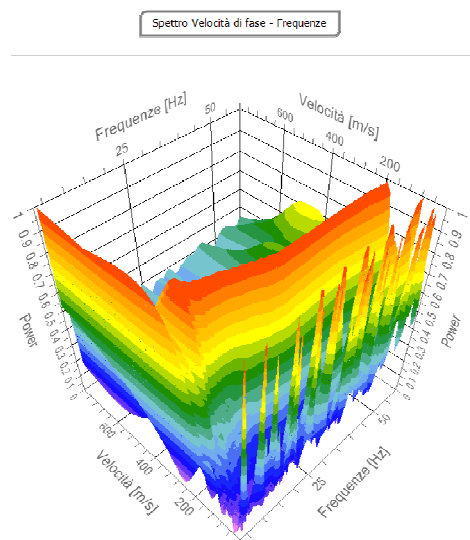


Figura 3: sorgente-segnale elaborato: -4 m

7

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Comune di Sant'Elpidio a mare



**Curva di dispersione**

n.	Frequenza[Hz]	Velocità[m/sec]	Modo
1	7.9	286.9	0
2	10.8	273.9	0
3	15.7	251.0	0
4	21.0	226.5	0
5	26.4	203.6	0
6	33.9	198.7	0
7	40.4	198.7	0
8	49.8	195.4	0

**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità vol. [kg/mc]	Coeff Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.55	4.55	1800.0	0.30	392.2	<b>209.6</b>
2	20.30	15.74	1900.0	0.30	601.2	<b>321.4</b>
3	oo	oo	2100.0	0.30	674.1	<b>360.3</b>

Percentuale di errore 0.007 %  
Fattore di disadattamento della soluzione 0.009





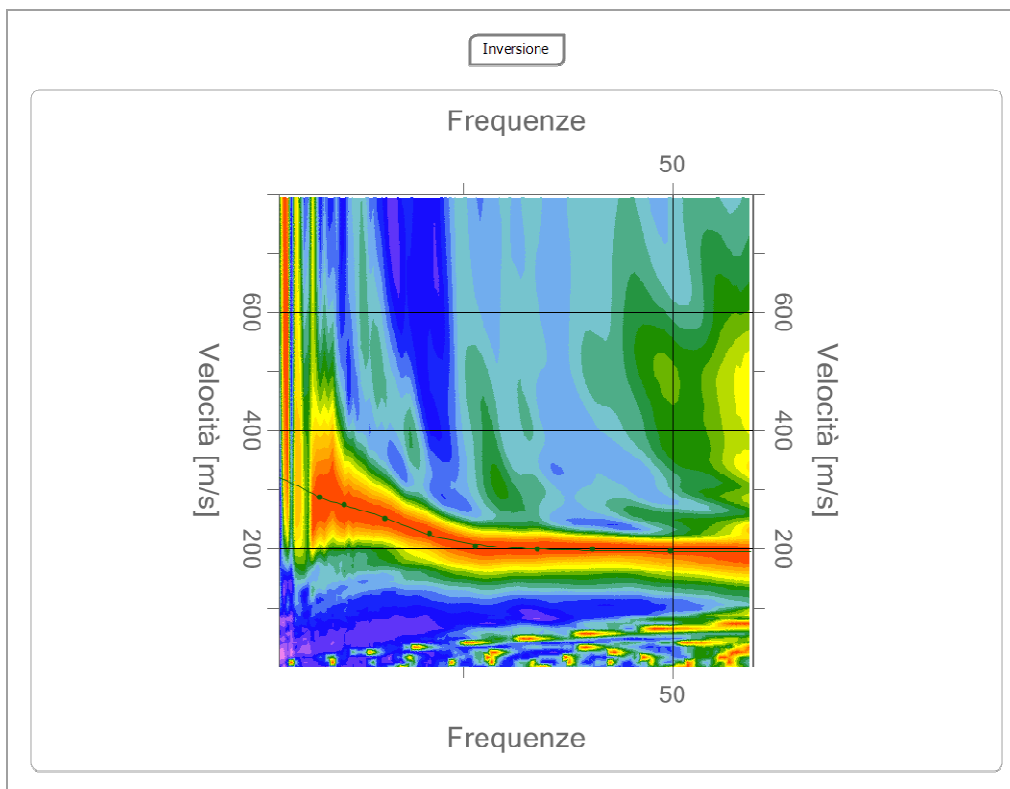


Figura 4: inversione della curva di dispersione

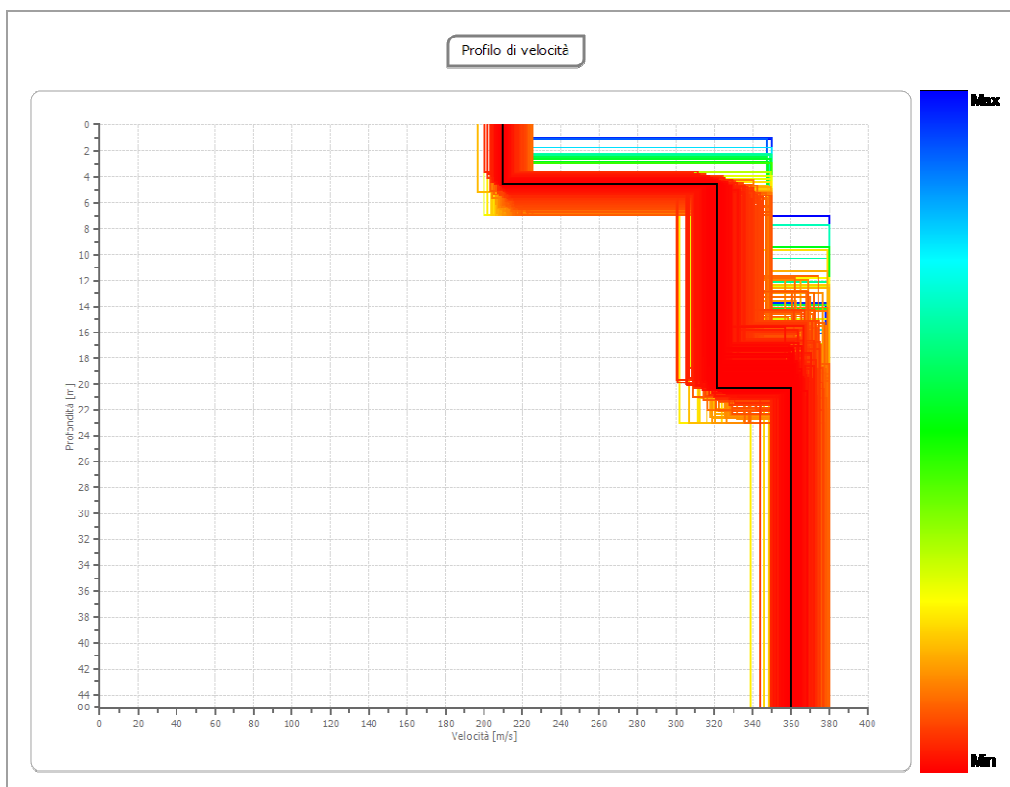


Figura 5: profilo di velocità onde di taglio  
Comune di Sant'Elpidio a mare



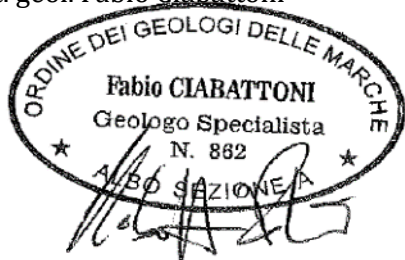
**Risultati**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	<b>0.00</b>
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	<b>307.24</b>
<b>Categoria del suolo</b>	<b>C</b>

**Suolo 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 TECNICO ELABORATORE

dott. geol. Fabio Ciabattoni



IL DIRETTORE TECNICO

dott.geol. Pier Luigi Anasparri



## **6 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Foto 1: stendimento sismico - Masw*

1	Premessa .....	2
2	Strumentazione utilizzata .....	3
3	Modalità esecutive .....	4
4	Risultati.....	5
	Verifiche criteri SESAME (2005).....	7
5	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	8



## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di "**adeguamento sismico della palazzetto dello sport ad uso scolastico - A. Bacci**", sito in Via Carlo Alberto Dalla Chiesa nel territorio comunale di Sant'Elpidio a mare (FM), è stata realizzata n. 1 indagine sismica passiva tipo HVSR, ubicata come mostrato nell'allegato 5 alla Relazione Geologica.

L'indagine, che si affianca alle tecniche sismiche attive (MASW), è finalizzata alla caratterizzazione sismica del sito in oggetto.

Il metodo HVSR permette, in primo luogo, di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. L'evidenza empirica infatti, supportata da simulazioni numeriche, indica che il massimo del rapporto spettrale H/V avviene, generalmente, a livello o vicino alla frequenza di risonanza fondamentale del sito, a condizione che vi sia un contrasto d'impedenza sufficientemente forte in profondità (si veda ad esempio Bonilla et al, 1997; Bour et al, 1998; Bard, 1999; Woolery e Street, 2002; Haghshenas et al., 2008).

Il metodo dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), tecnica originariamente proposta da Nogoshi e Igarashi (1971) ed in seguito diffusa da Nakamura (1989), consiste nella stima del rapporto fra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale dei microtremori sismici ambientali registrati da una singola stazione.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.



## **2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sensore sismico 3D da superficie, marca M.A.E. mod. S3S, composto dalle seguenti parti:

- Geofoni con frequenza naturale:  $4,5 \pm 0,75$  Hz
- componente verticale n.1; componenti orizzontali n.2; sfasamento delle componenti orizzontali:  $90^\circ$
- Messa in piano per mezzo di piedini con ghiera di regolazione e bolla di livello
- Contenitore: alluminio; Dimensioni: diametro 140 mm, altezza 80 mm



*Fig.1: sensore sismico 3D da superficie*

### 3 MODALITÀ ESECUTIVE

Sono state eseguite n. 2 registrazioni del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione, ognuna di esse caratterizzata da i seguenti parametri:

- |   |                             |                                |
|---|-----------------------------|--------------------------------|
| ✓ | Numero tracce:              | 3                              |
| ✓ | Durata registrazione:       | 1.200 sec                      |
| ✓ | Frequenza di campionamento: | 250 Hz                         |
| ✓ | Direzioni tracce:           | Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale |

Una volta acquisiti i segnali in sito, si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.

Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

I segnali sismici registrati sono stati processati mediante software GEOPSY (di Marc Wathelet, Università di Grenoble, Francia) e software EasyHVS (Geostru).

Il risultato finale del processo di elaborazione è la determinazione della frequenza propria del sito e la valutazione del "picco" inteso come rapporto H/V.



## 4 RISULTATI

### Dati riepilogativi:

N. tot. finestre selezionate / incluse nel calcolo: 42 / 39

Dimensione temporale finestre: 20,000 s

### Grafici tracce con finestre selezionate:

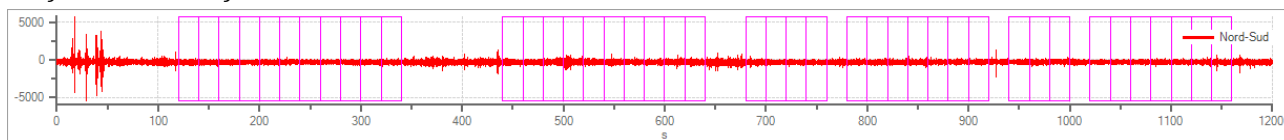


Figura 2: Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

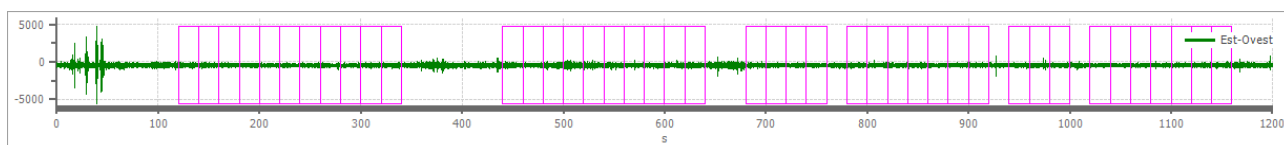


Figura 3: Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

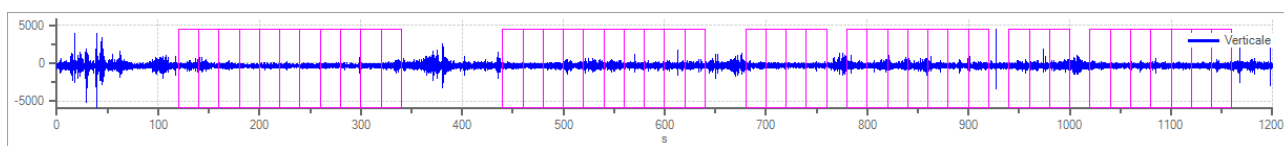


Figura 4: Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

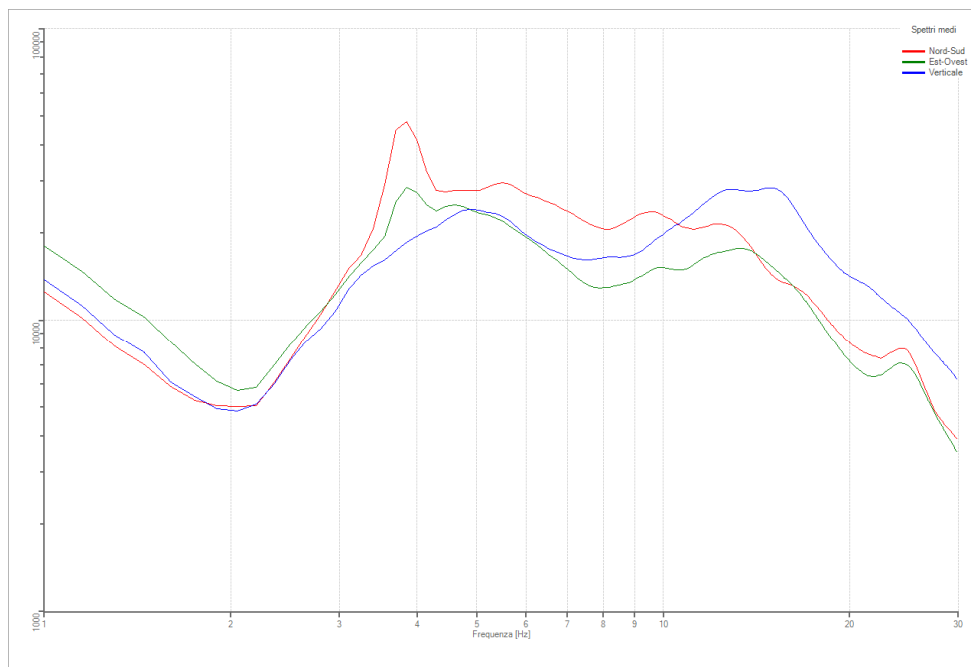


Figura 5: Spettri medi nelle tre direzioni

Comune di Sant'Elpidio a mare





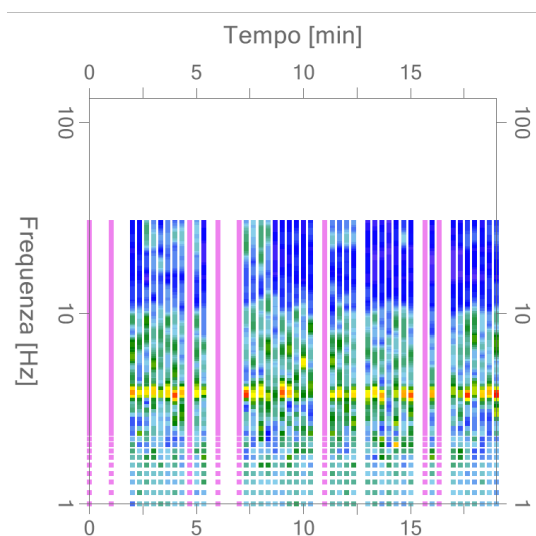


Figura 6: Mappa della stazionarietà degli spettri

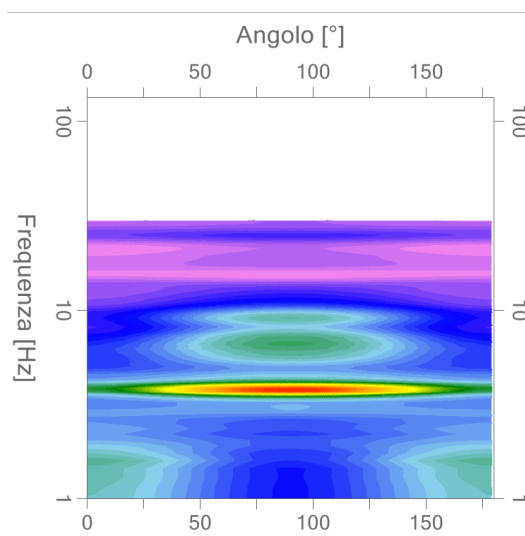


Figura 7: Mappa della direzionalità degli spettri

#### Rapporto spettrale H/V

Frequenza massima:	30	Hz
Frequenza minima:	1	Hz
Passo frequenze:	0,15	Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale	
Percentuale di lisciamento:	10,00	%
Tipo di somma direzionale:	Media quadratica	

6

#### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V ( $f_0$ ):	$3,85 \pm 0.19$ Hz
Valore max rapporto H/V ( $A_0$ ):	2,13
Altri picchi significativi ( $f_1 - A_1$ ):	nessuno

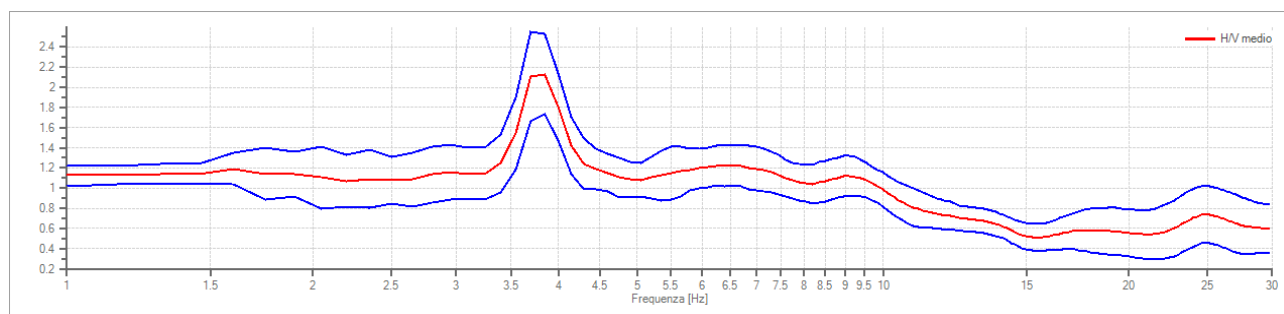


Figura 8: Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



**Verifiche criteri SESAME (2005)****Criteri per una curva H/V affidabile**

Criterio	ESITO
$f_0 > 10 / L_w$	OK
$n_c(f_0) > 200$	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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK

**Criteri per un picco H/V chiaro**

Criterio	ESITO
Esiste $f$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	No
Esiste $f$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	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
$\sigma_f$	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
$\sigma_{\log A_{H/V}}(f)$	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 $\sigma_f$ 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 $\sigma_{\log A_{H/V}}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

IL TECNICO ELABORATORE

dott. geol. Fabio Ciabattoni



IL DIRETTORE TECNICO

dott.geol. Pier Luigi Anasparri



Comune di Sant'Elpidio a mare

