



Analisi Sistemi Integrati Terra Acqua Ambiente

Dott. Geol. Alberto Antinori

analisi sistemi@gmail.com

Via Mombaroccese 22, 61036 Colli al Metauro - tel. e fax 0721 898273 – cell.368 7492585
cod.fisc. NTN LRT 59T18 H721X - p.iva 01175050416 - iscriz. ORG: 271 sezione A

Comune di Fano

(Provincia di Pesaro e Urbino)

*Piano Attuativo in variante non
sostanziale al PRG del comune di Fano,
ai sensi dell'art. 15C.5 della Legge
34/922.*

Relazione Geologica

COMMITTENTI: VISTAMARE SRL

DATA: Settembre 2020

il geologo



INDICE

PREMESSA.....	pag. 2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	pag. 2
1. UBICAZIONE E DESCRIZIONE DELL' AREA.....	pag. 3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	pag. 4
3. GEOMORFOLOGIA.....	pag. 5
4. IDROGEOLOGIA.....	pag. 7
5. ZONAZIONE SISMICA.....	pag. 8
6. INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO.....	pag. 9
7. MODELLAZIONE SISMICA.....	pag. 11
7.1 Categoria di suolo.....	pag. 12
7.2 Categoria topografica.....	pag. 13
7.3 Alterazione locale (liquefazione).....	pag. 13
8. CONCLUSIONI.....	pag. 14

INSERTI

- Corografia
- Ubicazione prove in sito
- Report prove penetrometriche SCPT
- Report registrazione sismica MASW
- Report registrazione sismica HVSR

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 1
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020



PREMESSA

Su incarico della società VISTAMARE Srl è stato eseguito lo studio geologico per il progetto la “*Piano Attuativo in variante non sostanziale al PRG del comune di Fano, ai sensi dell’art. 15C.5 della Legge 34/922*”.

Lo studio è stato svolto con le seguenti modalità:

1. Individuazione dell’assetto geologico-geomorfologico generale della zona d’indagine e delle aree circostanti.
2. Programmazione delle indagini geognostiche effettuata, conformemente alle indicazioni AGI 1977 “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, sulla base dell’assetto geologico del sito e del volume significativo in relazione alle opere da progettare e alle litologie coinvolte.
3. Esecuzione delle indagini geognostiche.
4. Analisi dei dati ottenuti e definizione del modello geologico-geotecnico del sito.
5. Stesura della relazione geologica e geotecnica con le risultanze delle indagini e le indicazioni progettuali.

NORMATIVA

Le norme nazionali e regionali di riferimento sono:

- **Circolare del Ministro dei LL.PP. n. 218/24/3 del 09/01/1996**
Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica;
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274** (e successive modifiche e integrazioni)
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica;
- **Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - “Nuove norme tecniche per le costruzioni 2018.**

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 2
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020



1. UBICAZIONE E DESCRIZIONE DELL'AREA

Il nuovo fabbricato residenziale sarà realizzato in via Ruggeri, su area pianeggiante contigua alla spiaggia, da cui dista circa 40 m, alla quota di circa 3 m s.l.m.



Stralcio Tavoleta IGM in scala 1:25000 (scala modificata).



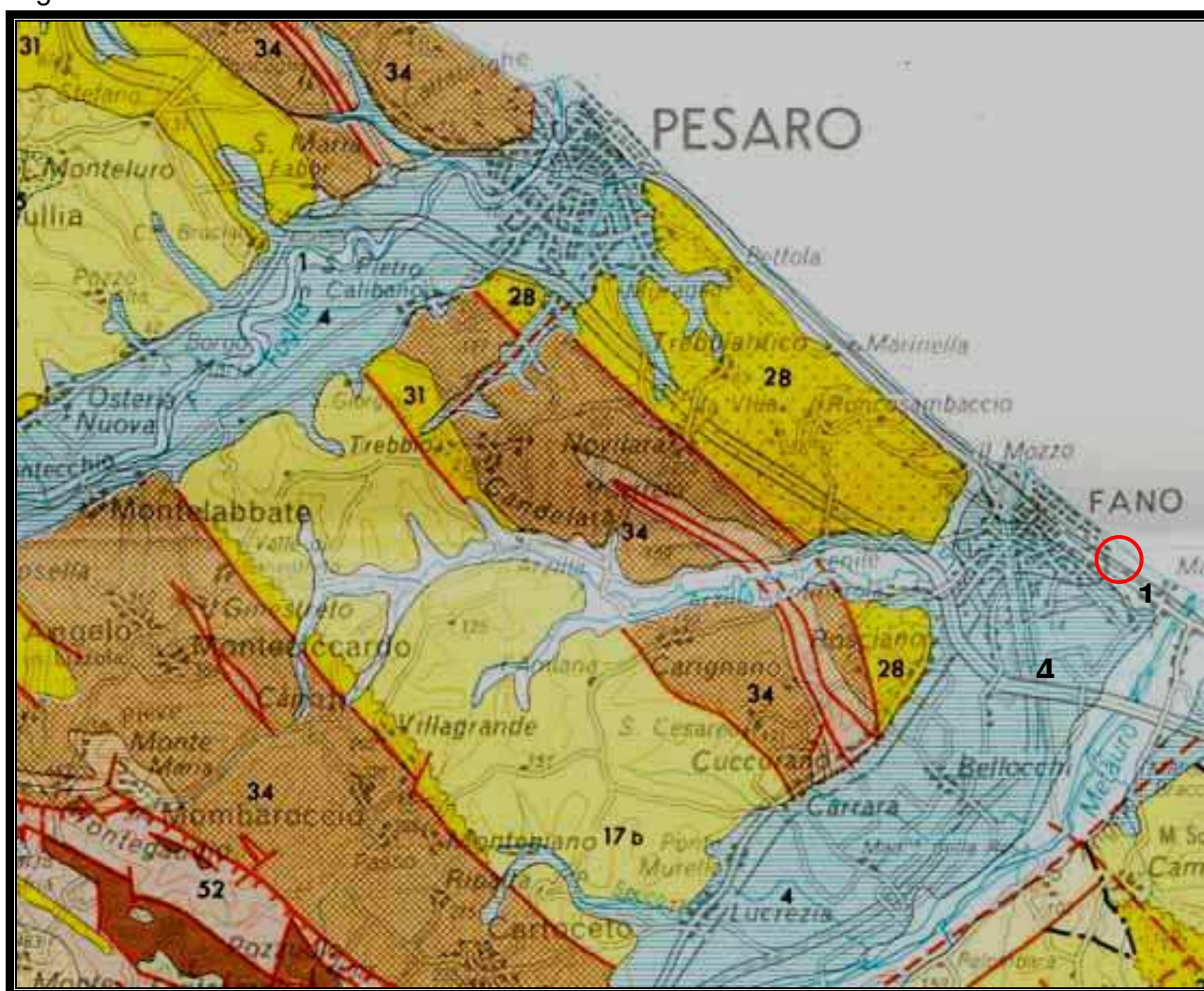
Area di nuova edificazione

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 3
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'unità fondamentale che riguarda direttamente l'area di studio è il Bacino Marchigiano Esterno o Avanfossa Marchigiana, confinata tra la catena appenninica a ovest e il Mare Adriatico a est, bacino questo caratterizzato essenzialmente da sedimenti plio-pleistocenici e, subordinatamente, da quelli miocenici che vanno a costituire l'ossatura dei rilievi collinari.

La zona d'indagine insiste su depositi litoranei, i quali si appoggiano a un substrato costituito di argille molto compatte e sabbie, il tutto appartenente alla Formazione delle Argille Azzurre del Pliocene.



Schema geologico di area vasta (la posizione delle zone d'indagine è indicata dal cerchio rosso).

Legenda

1 – Depositi litoranei (Olocene)

4 – Depositi alluvionali terrazzati del Metauro (Pleistocene)

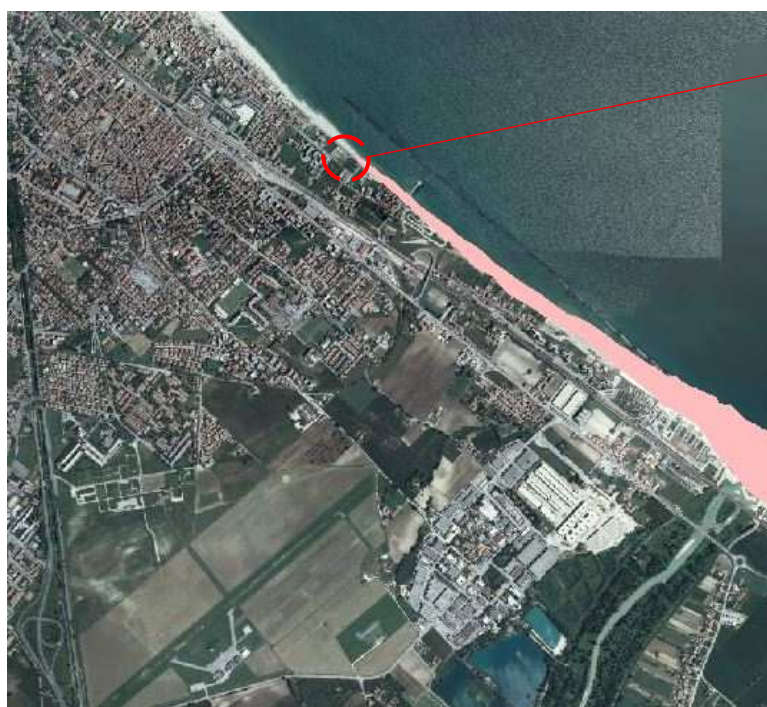
28 – Sabbie e argille marnose (Pliocene)

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 4
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020

3. GEOMORFOLOGIA

Il nuovo fabbricato ricade nella fascia soggetta a erosione della costa.

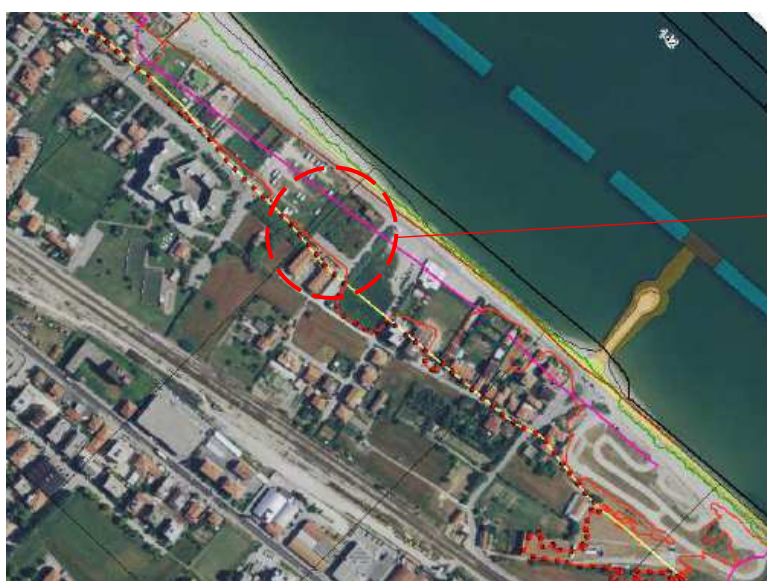
L'area d'intervento e più in generale il tratto di costa adiacente, rientra tra le aree a rischio inondazione marina nella Direttiva "Alluvioni" della Regione Marche, dove sono individuate le aree interessate da onde significative, suddivise in base ai tempi di ritorno di dieci anni (Tr10) e cento anni (Tr100). I valori dell'altezza d'onda di riferimento, definiti nel suddetto documento, sono rispettivamente di 1,79 m (Tr10) e 2,45 m (Tr100).



Ex marmifera Tecchi

Zona soggetta a erosione della costa

Erosione costiera



Area di nuova edificazione

Area a rischio inondazione marina



In relazione a tale problematica, sicuramente la più importante sotto l'aspetto geomorfologico, l'area d'intervento è posta a quote variabili da 2,95 e 3,5 m s.l.m, come risulta dal rilievo allegato al progetto, pertanto superiore anche all'altezza d'onda con Tr100. Sotto tale aspetto, occorre inoltre evidenziare che, al fine di mitigare gli effetti delle alluvioni marine, lungo il tratto di costa della zona Sassonia, sono stati effettuati diversi interventi di potenziamento delle opere di difesa. In particolare, tutta la zona Sassonia è stata interessata da lavori di risagomatura e rifiorimento dei segmenti di scogliera sommersa e sono stati realizzati cinque nuovi pennelli, ad opera del Genio Civile OO.MM. di Ancona. Recentemente poi le scogliere sommerse sono state sopraelevate e sono state realizzate due nuove scogliere emerse.

Nel Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), non sono segnalate altre condizioni di dissesto idrogeologico.



LEGENDA

Aree a rischio frana
(Codice F-xx-yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

Aree a rischio esondazione
(Codice E-xx-yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

Aree oggetto di studio

Stralcio tavola PAI RI_07c

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 6
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020



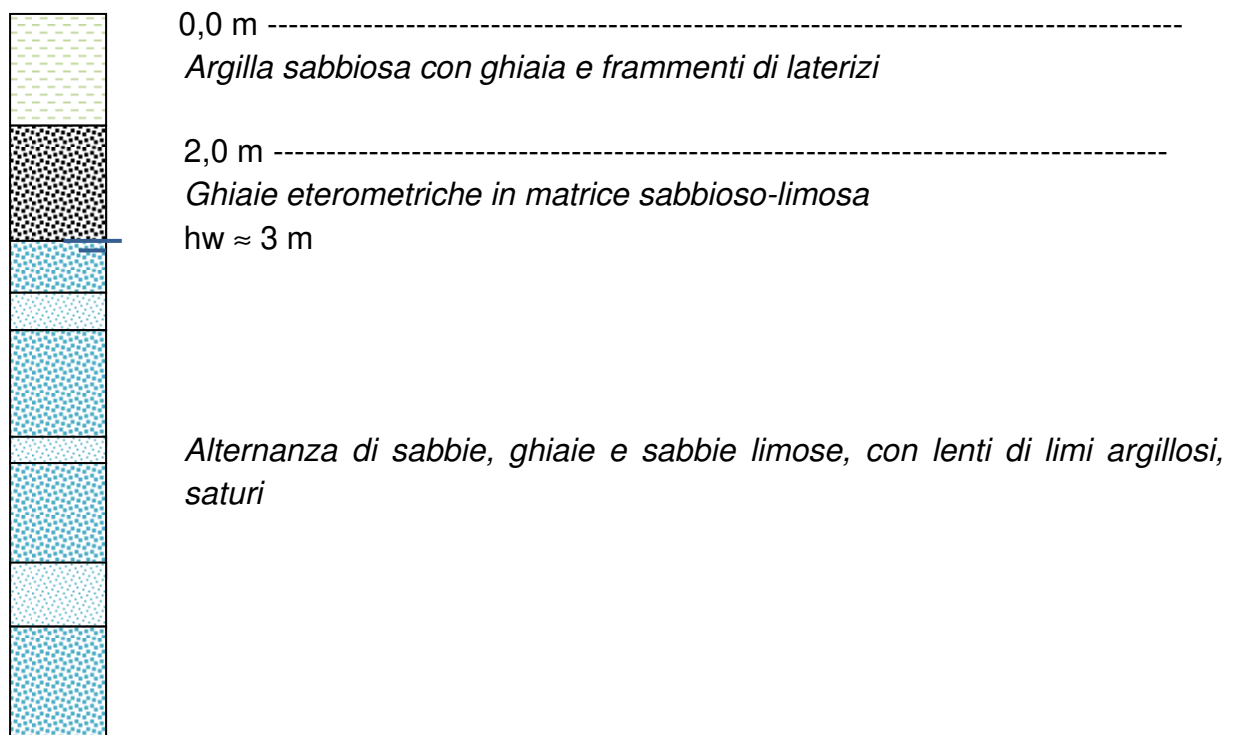
4. IDROGEOLOGIA

Essendo tutta la zona costituita prevalentemente di sedimenti sabbioso-ghiaiosi, quindi a porosità efficace e permeabilità elevati, nel terreno è presente una cospicua falda idrica, la cui superficie ha una soggiacenza, misurata all'interno dell'area d'intervento, di circa 3 m (valore misurato nell'angolo sud-est del comparto).

Data la vicinanza alla linea di costa, si tratta di una falda idrica freatica a doppia componente, acqua dolce/acqua marina, in cui la profondità della zona di mescolamento (mixing zone) non è definita.

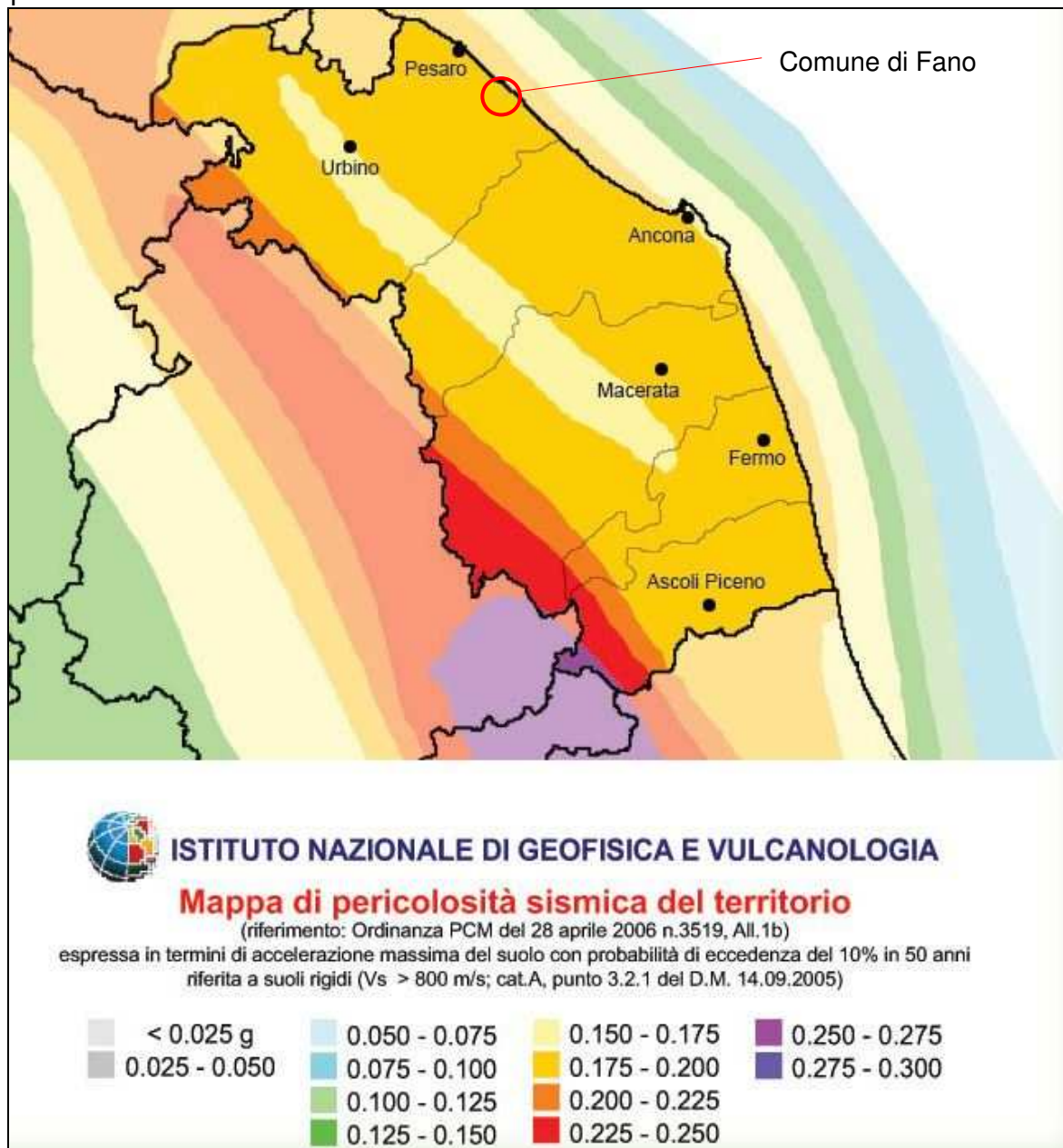
Il modello idrogeologico si può quindi così schematizzare:

Stratigrafia di massima



5. ZONAZIONE SISMICA

In base alla zonazione sismogenetica ZS9, il territorio comunale di Fano ricade nella zona 917, contraddistinta da un regime tettonico debolmente compressivo, le cui strutture sismogenetiche sono allineate lungo la costa o verso mare a una profondità efficace compresa tra 5 e 8 Km.



Pericolosità sismica nella Regione Marche

Con l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b, la quale ha definito la pericolosità sismica del territorio nazionale, di cui alla sottostante mappa che rappresenta la pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), al territorio comunale è attribuita un'accelerazione (a_g) orizzontale massima convenzionale sul suolo di tipo A, compresa tra 0,175 e 0,200 g.

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 8
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020



6. INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

La definizione del modello geologico-geotecnico da attribuire all'area di sedime del fabbricato, è stata basata su dati bibliografici¹ e su dati puntuali, acquisiti mediante l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SCPT, effettuata dalla ditta GEODE di Rimini, impiegando una sonda penetrometrica semovente PAGANI TG 63-200.

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

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.

Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono:

- *peso massa battente M*
- *altezza libera caduta H*
- *punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura a)*
- *avanzamento (penetrazione) d*

Le caratteristiche dello strumento impiegato sono riportate nell'allegato rapporto di prova.

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, a oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per le caratteristiche geotecniche dei terreni a comportamento attritivo, come sono quelli in esame, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi *N_{spt}* ottenuto con la suddetta prova.

La conversione del numero di colpi di una prova dinamica in *N_{spt}* equivalenti, si ottiene mediante la seguente formula:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

dove:

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

in cui *Q* è l'energia specifica per colpo e *Q_{spt}* è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue formula:

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

in cui

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

¹ *Indagine geologica per la realizzazione di due scarichi a mare nel tratto di costa compreso tra il porto di Fano e Baia Metauro. - ASET SPA (anno 2015)*

DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 9
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020



Altro dato importante che si ottiene è la resistenza dinamica alla punta R_{pd} , calcolata mediante la formula Olandesi:

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

R_{pd} = 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.

I risultati delle prove sono sintetizzati nelle seguente tabelle (per maggiori dettagli consultare l'allegato rapporto di prova):

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo Saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.9	12.37	1.81	1.93	30.71	--	52.87
[2] - argilla sabbiosa	2.4	5.43	1.78	1.88	28.63	0.34	24.91
[3] - ghiaia e sabbia	3.9	26.77	2.10	2.50	35.03	--	82.45

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo Saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.6	7.67	1.65	1.90	29.3	--	43.22
[2] - argilla e limo	2.1	2.98	1.63	1.86	27.89	0.19	13.67
[3] - sabbia ghiaiosa	3.0	14.90	2.06	---	31.47	1.01	68.36
[4] - ghiaia e sabbia	5.4	31.84	2.15	2.50	36.55	--	92.86

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo Saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.9	8.11	1.90	1.91	29.43	0.55	37.21
[2] - argilla sabbiosa	1.8	3.32	1.66	1.86	28	0.21	15.23
[3] - sabbia ghiaiosa	3.3	20.47	2.00	2.40	33.14	--	69.51
[4] - ghiaia e sabbia	3.6	57.50	2.27	2.50	44.25	--	145.57

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo Saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.6	12.20	1.80	1.93	30.66	--	52.52
[2] - argilla sabbiosa	2.1	2.90	1.63	1.86	27.87	0.18	13.31
[3] - sabbia ghiaiosa	3.3	22.70	2.04	2.45	33.81	--	74.09
[4] - ghiaia e sabbia	3.6	57.50	2.27	2.50	44.25	--	145.57



7 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO

In base ai dati litostratigrafici e geomeccanici acquisiti, al terreno di fondazione può essere attribuito il seguente modello:

Modello litostratigrafico-geotecnico

Litologia	Intervallo stratigrafico (m)	γ (t/m³)	ϕ (°)	E_{ed} (kg/cm²)	K (kg/cm³)
A – Massicciata e riporto antropico	da p.c. \approx 0,9				
B – Argille sabbioso-limose	da 0,9 \approx 2,0	1,9	28	15	
C – Sabbie e ghiaie con lenti di limi sabbiosi e argille sabbiose	> 2,0	1,9	31 - 44	60 - 140	10

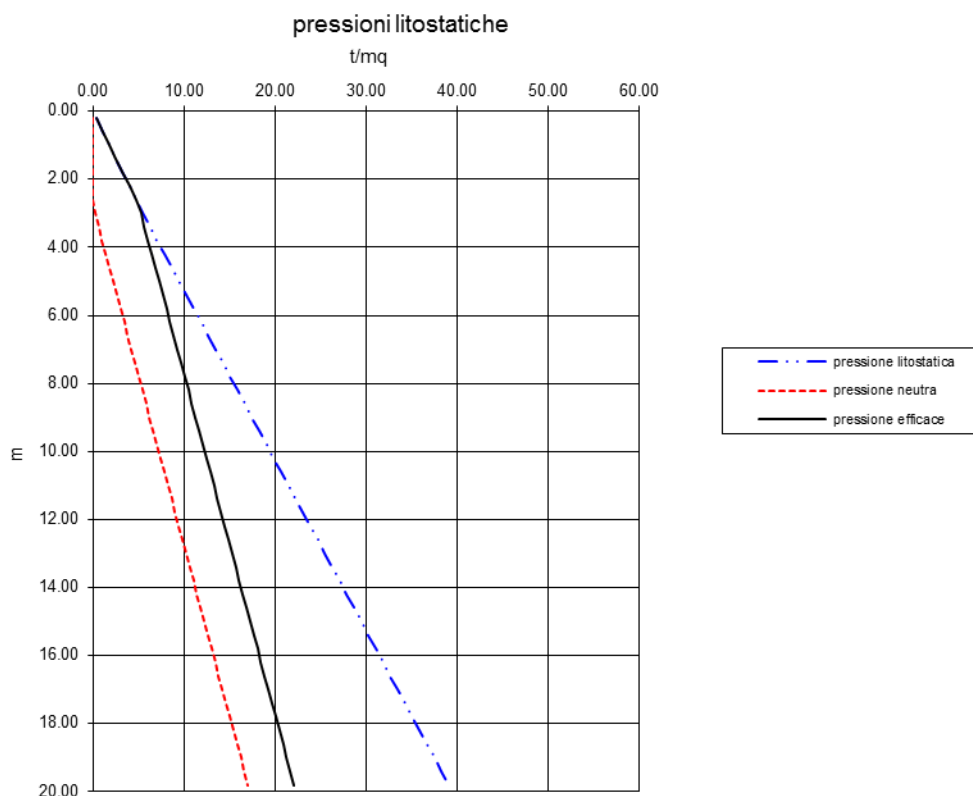
Con:

γ = peso di volume ϕ = angolo di resistenza al taglio E_{ed} = modulo edometrico

K = coefficiente di sottofondo

Gli strati B e C sono caratterizzati da litologie aventi eteropia di facies (passaggi laterali tra le varie litologie ghiaiose, sabbio e limo-argillose).

Distribuzione delle tensioni nel sottosuolo





8. MODELLAZIONE SISMICA

8.1 Categoria di suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, per la definizione dell'effetto della risposta sismica locale, considerato che le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni dell'area di studio, sono riconducibili alle categorie definite nella tabella Tab.3.2.III delle NTC2018, si fa riferimento all'approccio semplificato, basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

La categoria di suolo è stata quindi definita sulla base delle misurazioni dirette delle velocità delle onde sismiche di taglio con una prova sismiche MASW (per maggiori dettagli consultare l'allegato rapporto di prova).

Profondità (m)	Spessore (m)	V_s (m/sec)
6,3	6,3	209
12,5	6,2	241
13,6	1,1	405
30,0	16,4	533

Tabella dei valori di V_s da prova sismica MASW

applicando la formula indicata dalla norma si ottiene il seguente valore:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad V_{s30} = 307 \text{ m/sec}$$

CATEGORIA SUOLO TIPO C

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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>
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>



8.2 Categoria topografica

La categoria topografica risulta essere **T1**:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

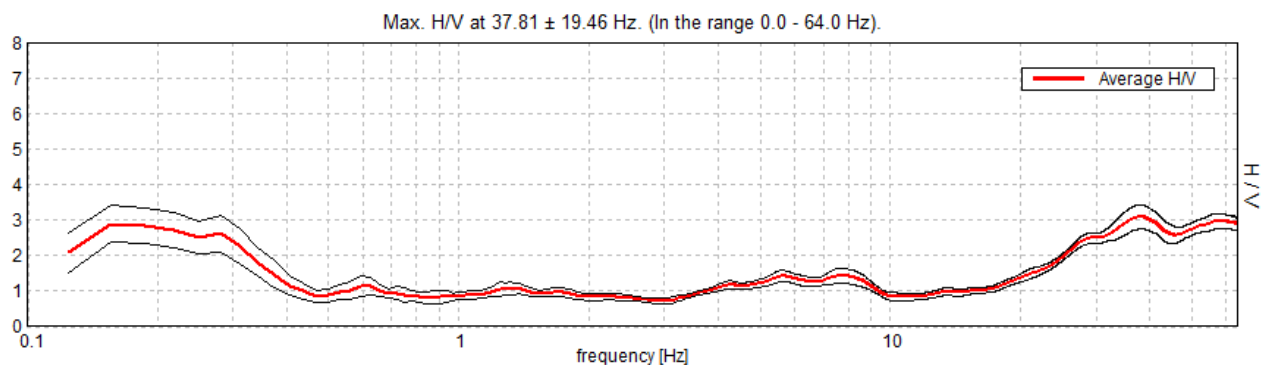
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq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

8.3 Alterazione locale (liquefazione del terreno)

Da precedenti studi eseguiti in zona², risulta che gli strati sabbiosi superficiali saturi, possono essere soggetti, in caso di forte terremoto, a fenomeni di liquefazione (perdita di resistenza al taglio sotto sollecitazioni cicliche) in quanto di deposizione recente (olocene), aventi un elevato grado di uniformità granulometrica e con una falda idrica con soggiacenza limitata.

La registrazione H/V è stata effettuata mediante geofono triassiale a 24 canali, della durata di 20' (frequenza di campionamento 128Hz).

L'andamento della curva H/V è sub-orizzontale nel tratto significativo compreso tra 0,7 Hz e 20 Hz, con lievi picchi a frequenze comprese tra 5 Hz e 8 Hz di ampiezza limitata, ascrivibili a passaggi litologici all'interno dei depositi alluvionali (profondità stimata di 8 – 15 m), aventi qui uno spessore complessivo di 35 – 40 metri.



Lo studio si rende disponibile a eseguire, in fase esecutiva, un sopralluogo di verifica sull'applicabilità in tutta l'area del modello geologico indicato e fornire, se necessarie, indicazioni e suggerimenti alla Direzione Lavori.

² Indagine geologica per la realizzazione di due scarichi a mare nel tratto di costa compreso tra il porto di Fano e Baia Metauro. - ASET SPA (anno 2015)




9. CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, si esprime, sotto l'aspetto geologico e geomorfologico, parere favorevole alla variante, con l'indicazione di definire il piano d'imposta del fabbricato e delle pertinenze, a una quota superiore all'altezza d'onda delle alluvioni marine, con Tr100 (2,45 m s.l.m.), indicata nella Direttiva "Alluvioni" della Regione Marche.

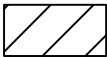


DITTA: VISTAMARE SRL		Pagina 14
OGGETTO: Variante non sostanziale al PRG	Rif. Lavoro : 1492	Settembre 2020

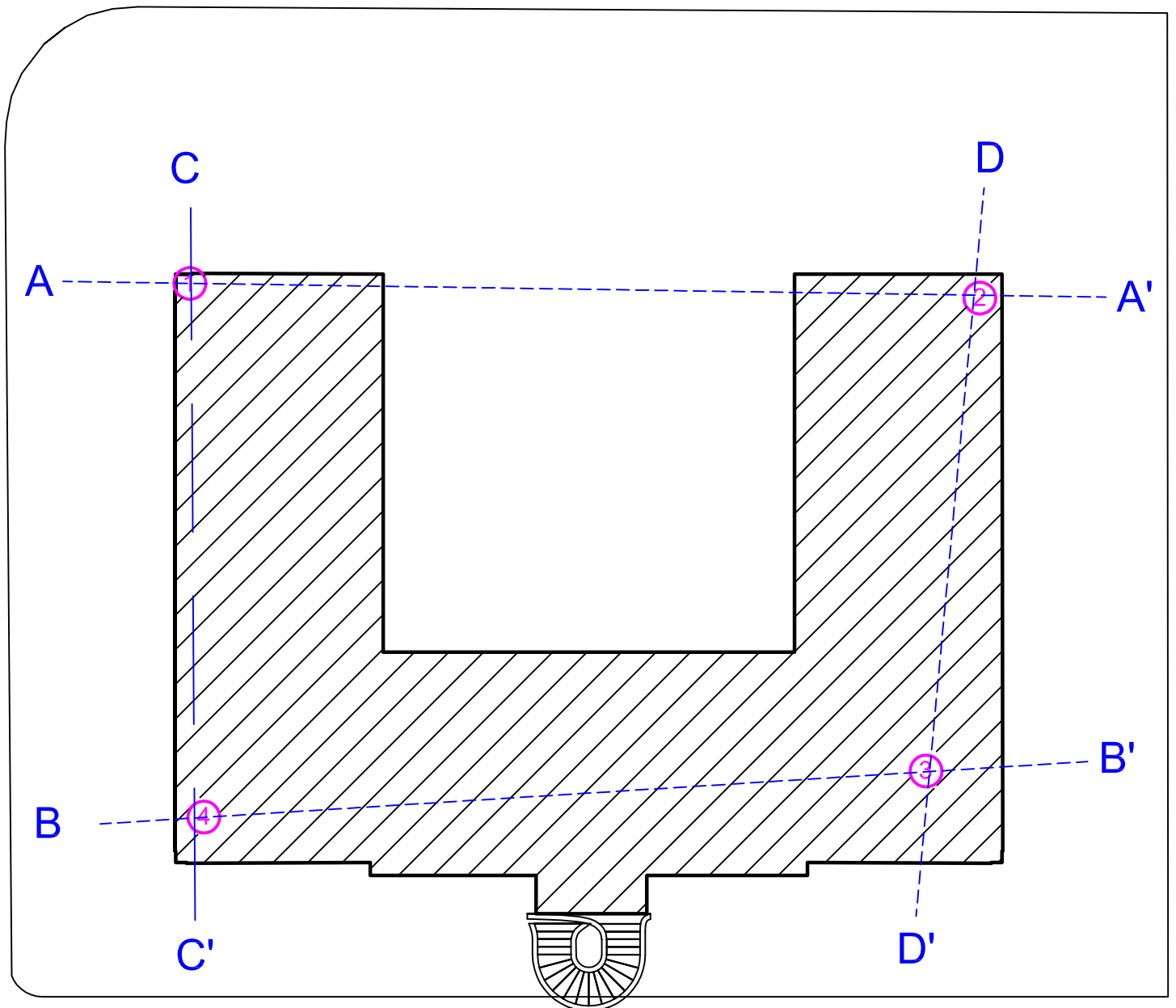
COROGRAFIA

 Area oggetto d'intervento



UBICAZIONE PROVE E TRACCIA SEZIONI GEOLOGICHE

-  Nuovo fabbricato residenziale
-  Prova penetrometrica DPSH
-  Traccia sezione geologica



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: VISTAMARE S.r.l.
Cantiere: PIANO ATTUATIVO IN VARIANTE AL PRG
Località: FANO

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SCPT PAGANI 73/200

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	1.01 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1.5 m
Peso aste a metro	5.1 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1.15
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

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

Correlazione con N_{spt}

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 N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} 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 R_{pd}

Formula Olandesi

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

R_{pd} = 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.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200
 Prova eseguita in data 09/10/2018
 Profondità prova 3.90 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	20	0.803	135.18	168.40	6.76	8.42
0.60	10	0.847	67.00	79.10	3.35	3.96
0.90	14	0.792	87.66	110.74	4.38	5.54
1.20	7	0.836	46.31	55.37	2.32	2.77
1.50	5	0.831	32.88	39.55	1.64	1.98
1.80	5	0.826	32.68	39.55	1.63	1.98
2.10	8	0.822	49.03	59.67	2.45	2.98
2.40	4	0.817	24.38	29.83	1.22	1.49
2.70	20	0.763	113.79	149.17	5.69	7.46
3.00	36	0.659	176.86	268.51	8.84	13.43
3.30	19	0.755	106.95	141.71	5.35	7.09
3.60	33	0.651	151.55	232.84	7.58	11.64
3.90	47	0.597	198.04	331.62	9.90	16.58

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.9	12.37	1.81	1.93	30.71	--	52.87
[2] - argilla sabbiosa	2.4	5.43	1.78	1.88	28.63	0.34	24.91
[3] - ghiaia e sabbia	3.9	26.77	2.10	2.50	35.03	--	82.45

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200
 Prova eseguita in data 09/10/2018
 Profondità prova 5.40 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	7	0.853	50.26	58.94	2.51	2.95
0.60	11	0.847	73.70	87.01	3.69	4.35
0.90	7	0.842	46.60	55.37	2.33	2.77
1.20	8	0.836	52.92	63.28	2.65	3.16
1.50	5	0.831	32.88	39.55	1.64	1.98
1.80	2	0.826	13.07	15.82	0.65	0.79
2.10	1	0.822	6.13	7.46	0.31	0.37
2.40	12	0.817	73.14	89.50	3.66	4.48
2.70	16	0.763	91.03	119.34	4.55	5.97
3.00	18	0.759	101.86	134.25	5.09	6.71

3.30	35	0.655	170.91	261.05	8.55	13.05
3.60	32	0.651	146.96	225.78	7.35	11.29
3.90	25	0.697	122.98	176.39	6.15	8.82
4.20	30	0.694	146.83	211.67	7.34	10.58
4.50	25	0.690	121.77	176.39	6.09	8.82
4.80	26	0.687	126.05	183.45	6.30	9.17
5.10	34	0.634	144.30	227.60	7.21	11.38
5.40	49	0.581	190.59	328.01	9.53	16.40

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm²)	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - riporto	0.6	7.67	1.65	1.90	29.3	--	43.22
[2] - argilla e limo	2.1	2.98	1.63	1.86	27.89	0.19	13.67
[3] - sabbia ghiaiosa	3.0	14.90	2.06	---	31.47	1.01	68.36
[4] - ghiaia e sabbia	5.4	31.84	2.15	2.50	36.55	--	92.86

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200
 Prova eseguita in data 09/10/2018
 Profondità prova 3.60 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.

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	11	0.853	78.98	92.62	3.95	4.63
0.60	8	0.847	53.60	63.28	2.68	3.16
0.90	7	0.842	46.60	55.37	2.33	2.77
1.20	3	0.836	19.85	23.73	0.99	1.19
1.50	3	0.831	19.73	23.73	0.99	1.19
1.80	4	0.826	26.15	31.64	1.31	1.58
2.10	16	0.772	92.09	119.34	4.60	5.97
2.40	20	0.767	114.44	149.17	5.72	7.46
2.70	18	0.763	102.41	134.25	5.12	6.71
3.00	21	0.709	111.00	156.63	5.55	7.83
3.30	24	0.705	126.14	179.01	6.31	8.95
3.60	50	0.601	211.98	352.78	10.60	17.64

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm²)	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - riporto	0.9	8.11	1.90	1.91	29.43	0.55	37.21
[2] - argilla sabbiosa	1.8	3.32	1.66	1.86	28	0.21	15.23
[3] - sabbia ghiaiosa	3.3	20.47	2.00	2.40	33.14	--	69.51
[4] - ghiaia e sabbia	3.6	57.50	2.27	2.50	44.25	--	145.57

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200
 Prova eseguita in data 09/10/2018
 Profondità prova 3.60 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	29	0.753	183.80	244.19	9.19	12.21
0.60	12	0.847	80.40	94.92	4.02	4.75
0.90	5	0.842	33.28	39.55	1.66	1.98
1.20	4	0.836	26.46	31.64	1.32	1.58
1.50	2	0.831	13.15	15.82	0.66	0.79
1.80	4	0.826	26.15	31.64	1.31	1.58
2.10	2	0.822	12.26	14.92	0.61	0.75
2.40	16	0.767	91.55	119.34	4.58	5.97
2.70	27	0.713	143.55	201.38	7.18	10.07
3.00	25	0.709	132.14	186.46	6.61	9.32
3.30	25	0.705	131.40	186.46	6.57	9.32
3.60	50	0.601	211.98	352.78	10.60	17.64

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4

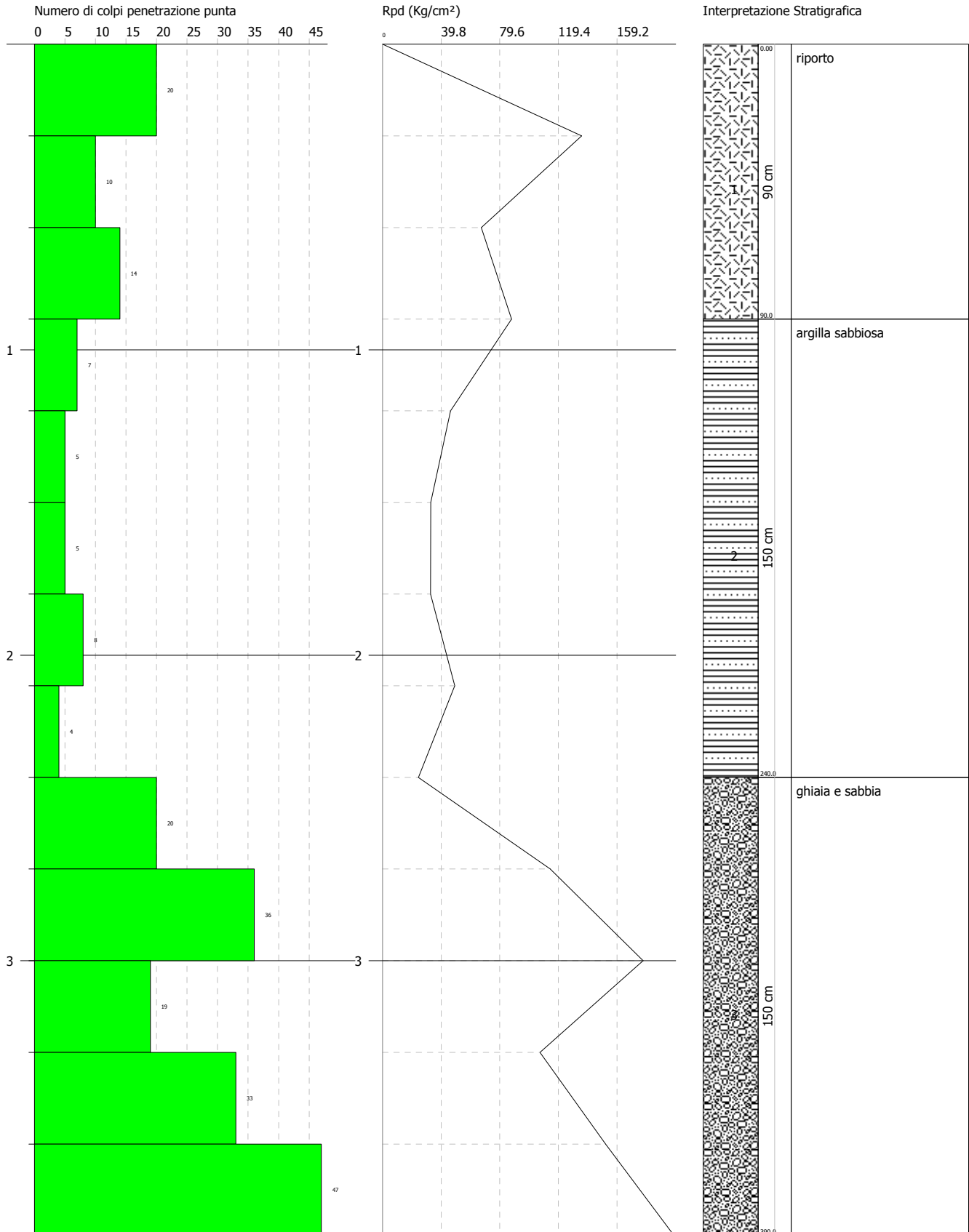
Strato	Prof. (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - riporto	0.6	12.20	1.80	1.93	30.66	--	52.52
[2] - argilla sabbiosa	2.1	2.90	1.63	1.86	27.87	0.18	13.31
[3] - sabbia ghiaiosa	3.3	22.70	2.04	2.45	33.81	--	74.09
[4] - ghiaia e sabbia	3.6	57.50	2.27	2.50	44.25	--	145.57

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
 Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200

Committente: VISTA MARE S.r.l.
 Cantiere: FABBRICATO RESIDENZIALE
 Località: FANO

Data: 09/10/2018

Scala 1:18

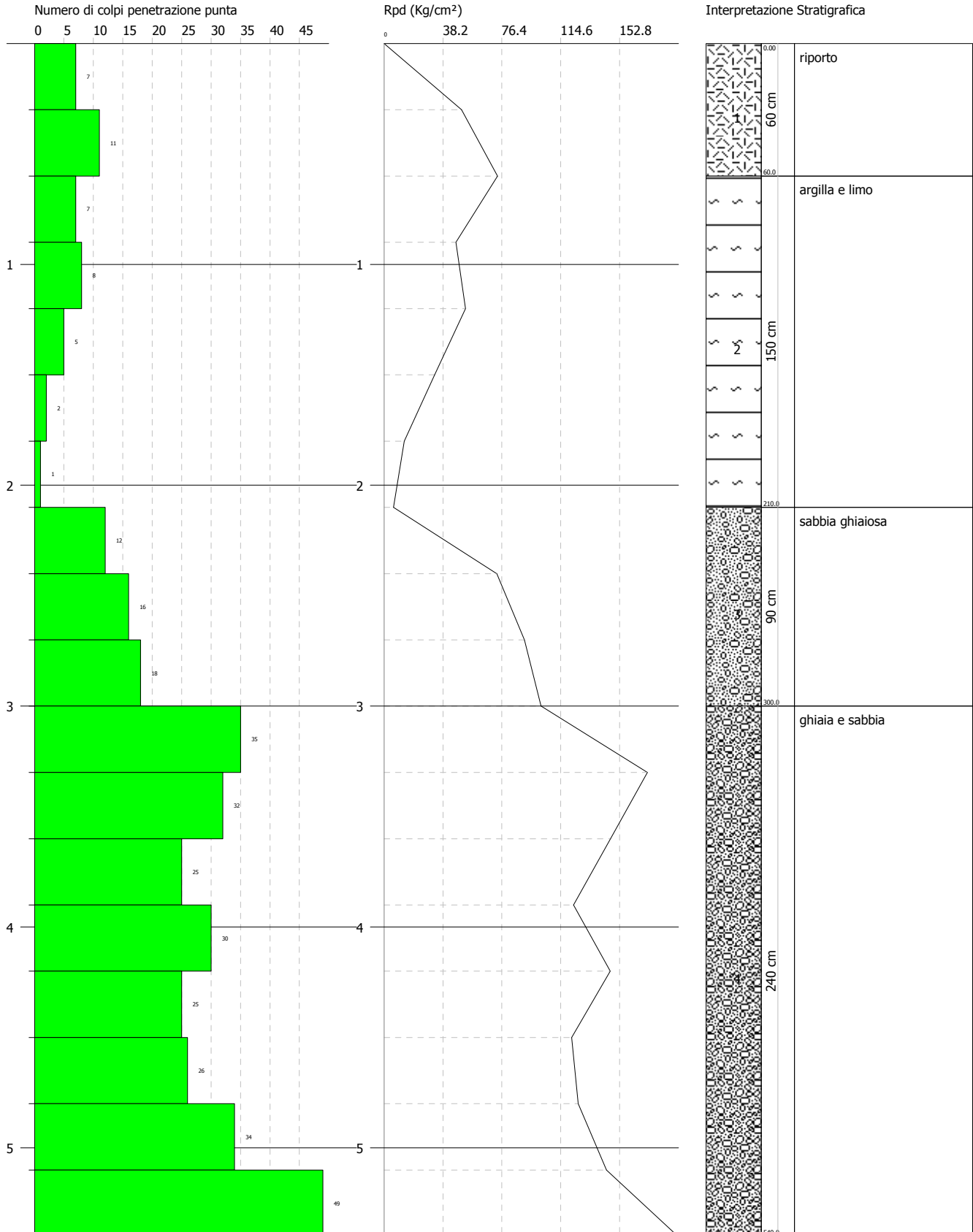


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
 Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200

Committente: VISTA MARE S.r.l.
 Cantiere: FABBRICATO RESIDENZIALE
 Località: FANO

Data: 09/10/2018

Scala 1:25

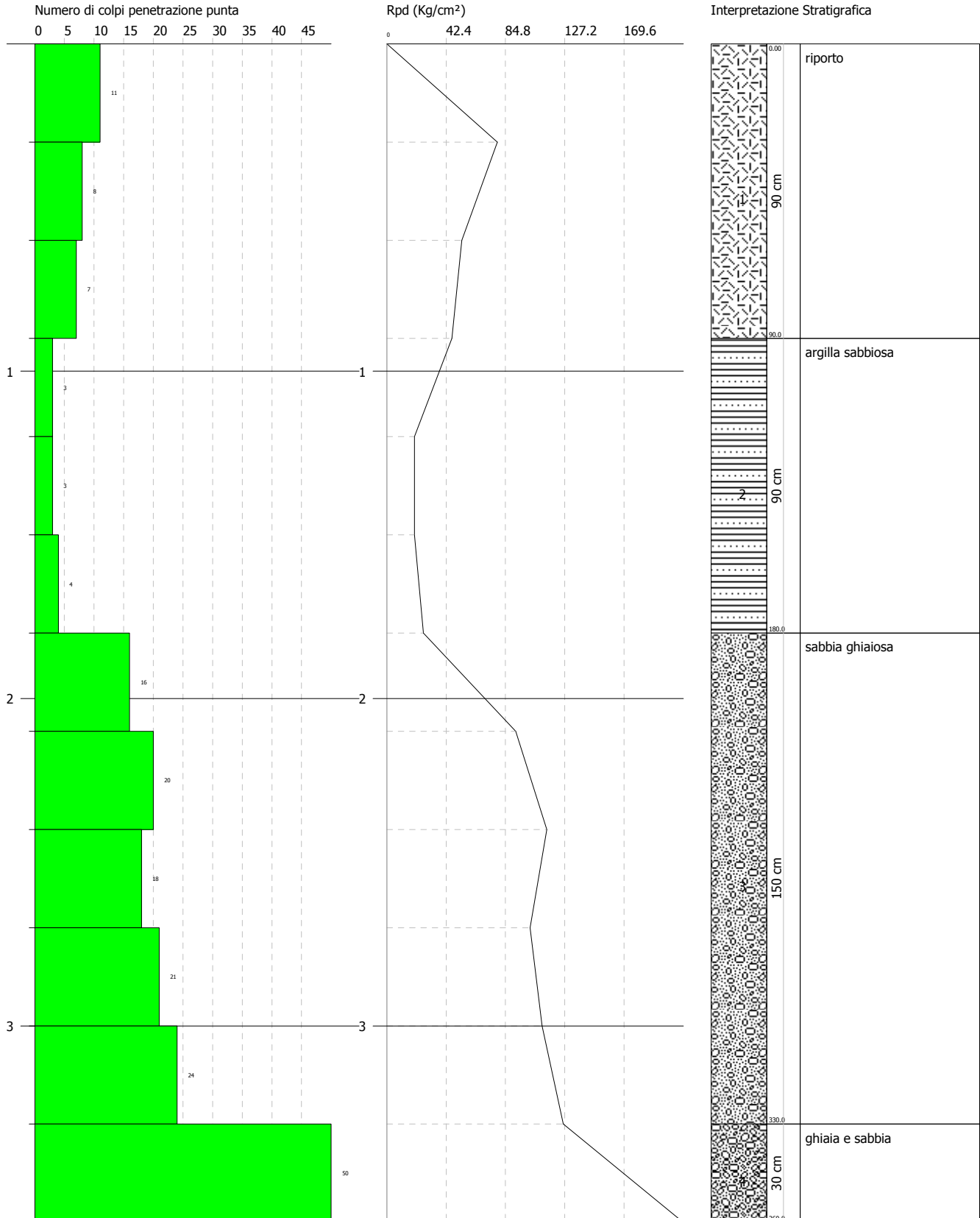


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
 Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200

Committente: VISTA MARE S.r.l.
 Cantiere: FABBRICATO RESIDENZIALE
 Località: FANO

Data: 09/10/2018

Scala 1:17

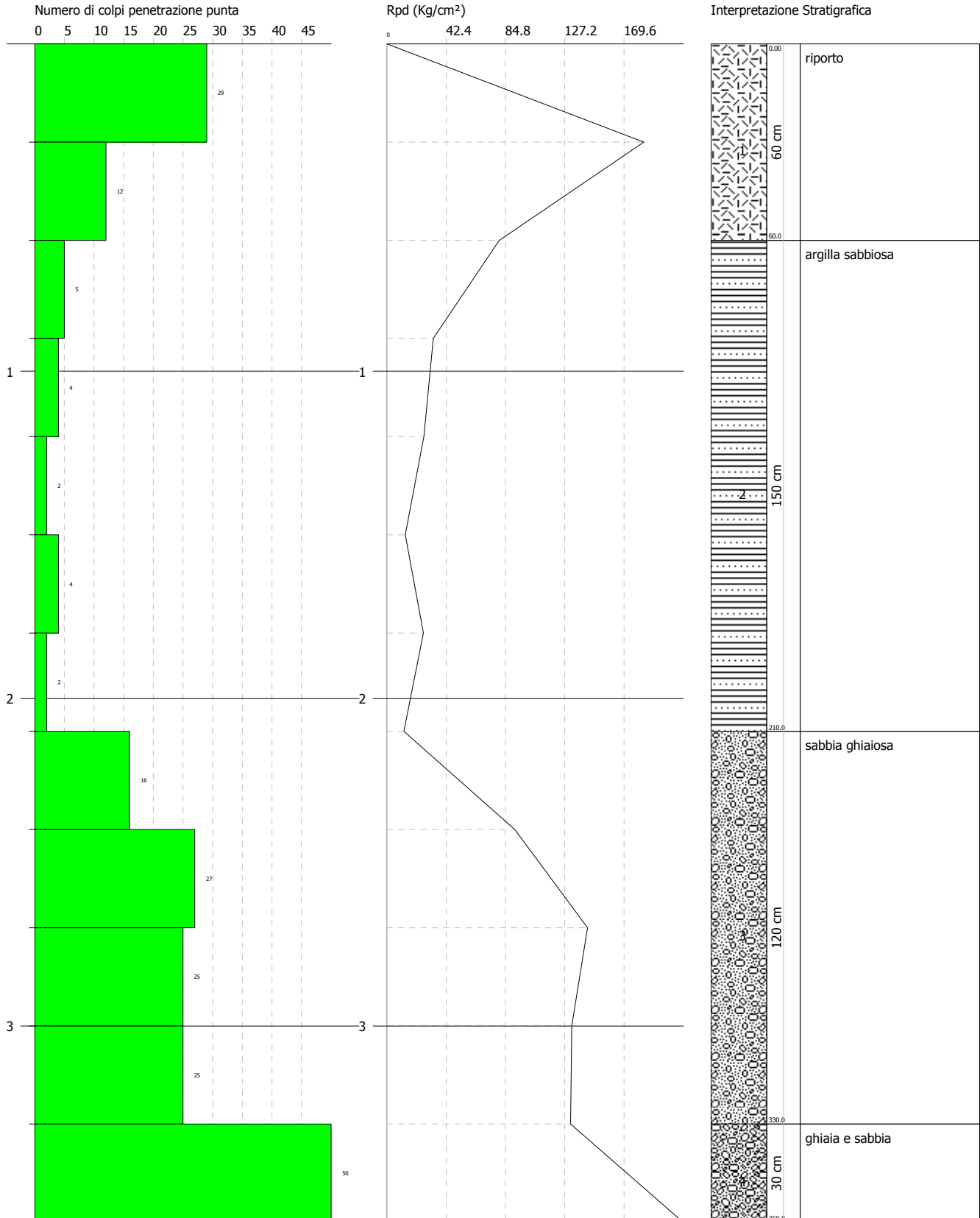


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
 Strumento utilizzato... SCPT PAGANI 73/200

Committente: VISTA MARE S.r.l.
 Cantiere: FABBRICATO RESIDENZIALE
 Località: FANO

Data: 09/10/2018

Scala 1:17





GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

MOD. 85
 REV. 00
 DATA 08/03/10
 PAG. 1 DI 11

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

Dott. Alberto ANTINORI



INDAGINE SISMICA MASW
 (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Committente: **VISTA MARE S.r.l.**

Ubicazione: **FANO, Via Ruggero Ruggeri (PU)**

Rif.: G18-181C	Esec: 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 13	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85

REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 2 DI 11

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 – CENNI SUL METODO MASW	3
2.1 - PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE.....	3
2.2 – TECNICA MASW.....	4
3 – STRUMENTAZIONE E MODALITA' DI ACQUISIZIONE	7
4 – ELABORAZIONE DATI	7
4.1 – DATI SPERIMENTALI.....	8
4.3 – CURVA DI DISPERSIONE.....	9
4.4 – PROFILO IN SITO.....	10
4.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30.....	11

Indice delle figure

Figura 1 – Foto aerea da Google Maps.....	3
Figura 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh c4	
Figura 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh.....	4
Figura 4 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.	6
Figura 5 – Curva di dispersione delle velocità di fase i.....	6
Figura 6 – Curva dispersione sperimentale e Picking.....	9
Figura 7– Velocità numeriche (rosso) – punti sperimentali (nero),	10
Figura 8 – Profilo Vs numerico	11



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85

REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 3 DI 11

1 - PREMESSA

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un' indagine geofisica consistente in un rilievo con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di caratterizzare il profilo sismico del sottosuolo.

Scopo dell'indagine è quello di definire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z) al fine di determinare il parametro V_{seq} in accordo con le NTC 2018.

La campagna di indagine è stata eseguita, su incarico del Dott. Alberto ANTINORI, il giorno 09 Ottobre 2018, in Via Ruggero Ruggeri in FANO (PU).

Figura 1 – Foto aerea da Google Maps.



2 – CENNI SUL METODO MASW

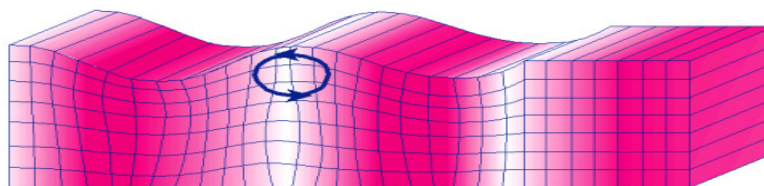
2.1 - PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE

Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2). In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. Le onde superficiali

Rif.: G18-181C	Esec: 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 13	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

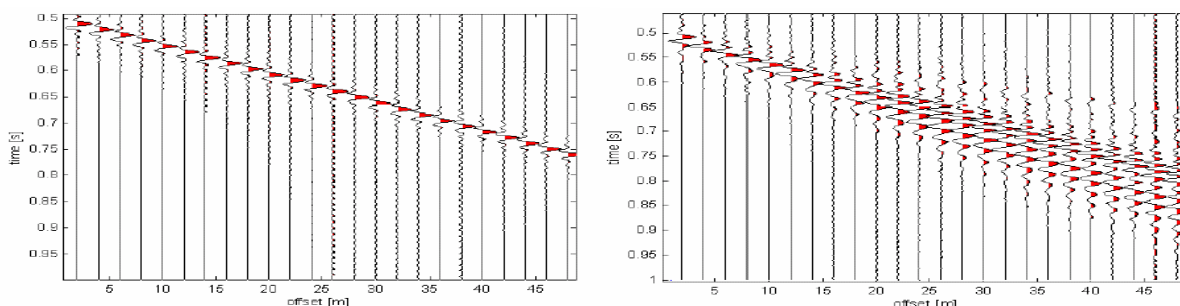
Figura 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.



→ Direzione di propagazione

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 3). Ciò consente, analizzando la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che dipende dall'inverso della lunghezza d'onda), di determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.

Figura 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.



2.2 – TECNICA MASW

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali (a 4.5Hz) e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti tecniche: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time Analysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves); su quest'ultima si basa il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale; successivamente le tracce vengono analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di 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. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85
 REV. 00
 DATA
 08/03/10
 PAG. 5 DI 11

dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, mentre le onde a bassa frequenza raggiungono gli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo -REMI- (Zywicki, D.J., 1999); è qui impiegata la tecnica attiva così definita in quanto le onde superficiali sono generate artificialmente in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente o con fucile sismico). Tale metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo.

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, la propagazione delle onde superficiali presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione. Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipende dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente (armoniche superiori).

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche con il metodo SWM è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con i singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali può essere suddiviso nelle tre fasi di:

- 1) Acquisizione
- 2) Processing
- 3) Inversione

1) Acquisizione. Successive acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 4), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente), ai due estremi di uno stendimento rettilineo di geofoni.

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85

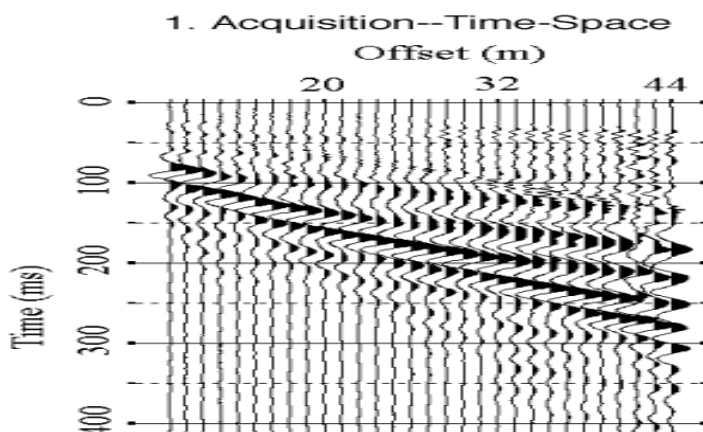
REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 6 DI 11

Figura 4 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

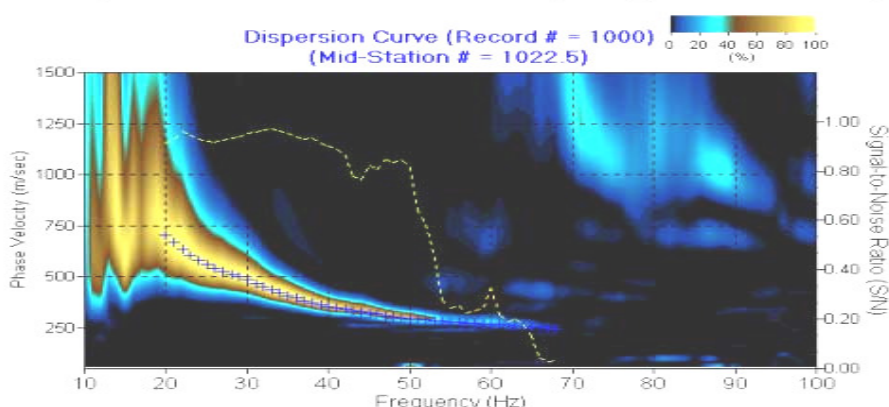


2 Processing. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 5);

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito; nel caso in esame il software si avvale del “metodo Roma” per ottenere la curva di dispersione apparente numerica (*Roma V. 2001 Automated Inversion of Rayleigh Geometrical Dispersion Relation for Geotechnical Soil Identification*, 3rd WCSC (World Conference on Structural Control), Como, April 2002). La metodologia più diffusa è l’analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d’onda).

Figura 5 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase Velocity



3. Inversione. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

La fase di inversione –deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l’eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85
 REV. 00
 DATA
 08/03/10
 PAG. 7 DI 11

base di metodi semplificati ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

Lo scopo è quello di 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 relativa tra le due curve

3 – STRUMENTAZIONE E MODALITA' DI ACQUISIZIONE

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments a 16 bit (registratore DOREMI), 24 geofoni a frequenza di 4.5 Hz e da un personal computer. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello metallico. L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo una stendimento lineare di 48 m di lunghezza con 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 2 m. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate diverse energizzazioni da una estremità del profilo ad una distanza di 2 m dal primo geofono.

I dati sono stati elaborati tramite il software MASW (V. Roma, 2007) e con Geopsy. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fittine" con i valori sperimentali.

4 – ELABORAZIONE DATI

La prima fase dell'elaborazione consiste nell'ottenere le curve di dispersione di ogni acquisizione eseguita. Il confronto delle curve consente di scartare eventuali rilievi anomali (disturbati ad esempio dal rumore di fondo), quindi di scegliere un rilievo che risulti ripetibile e che garantisca quindi una buona rappresentatività (Fig.6).

Individuata una curva di dispersione affidabile occorre definire il range di frequenze utili entro cui è possibile assegnare i punti significativi su cui ricostruire il modello attendibile di Vs (piking) (fig.7). Alte frequenze sono relative ai primissimi strati del sottosuolo; alle basse frequenze (cioè per profondità relativamente alte) la curva di dispersione assume contorni poco definiti tendendo rapidamente all'asintoto verticale.

Si riportano in figura 6 le curve di dispersione di alcune acquisizioni. Si rilevano differenze fra le serie di rilievi che hanno indotto a ritenere preferibile eseguire l'analisi sull'ottava traccia rilevata che permette un piking fino a frequenze relativamente basse.

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85
 REV. 00
 DATA
 08/03/10
 PAG. 8 DI 11

Gli allineamenti sovrapposti sono corrispondenti ai modi superiori di vibrare del suolo (armoniche superiori) e non sono stati sfruttati ai fini dell'analisi condotta che si è dunque limitata al primo modo di vibrare.

4.1 – DATI SPERIMENTALI

Nome del file della traccia: 2018-10-09_15-20-39_01000_00200_023_Acquis.drm

Numero di ricevitori.....23

Numero di campioni temporali2000

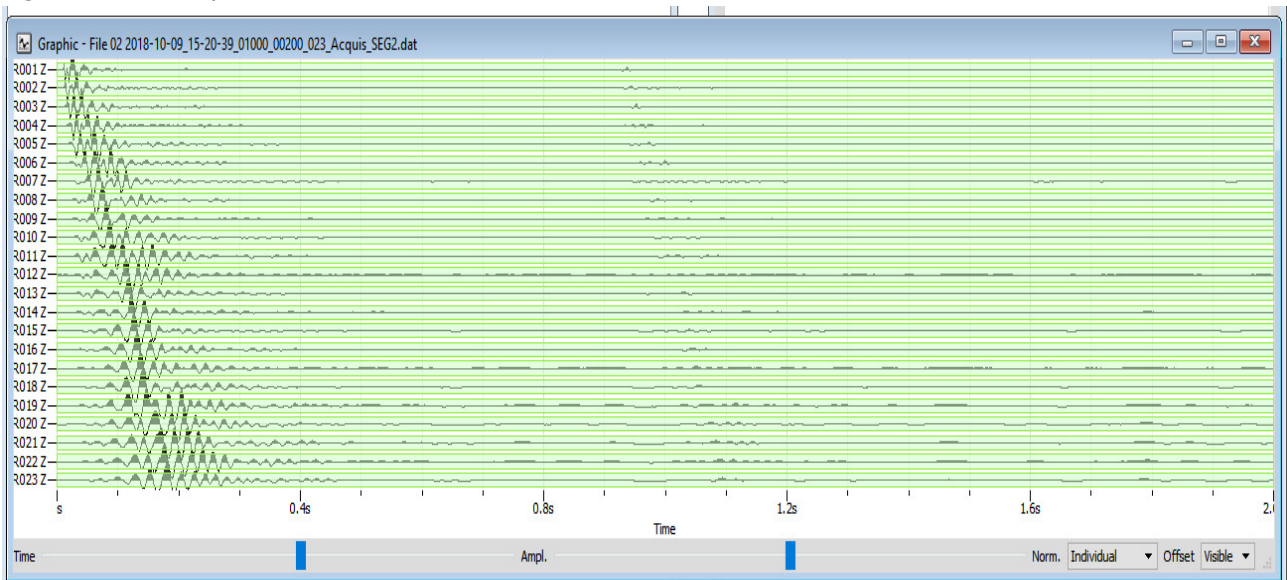
Passo temporale di acquisizione 1 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi23

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999 ms

Figura 6 Tracce sperimentali



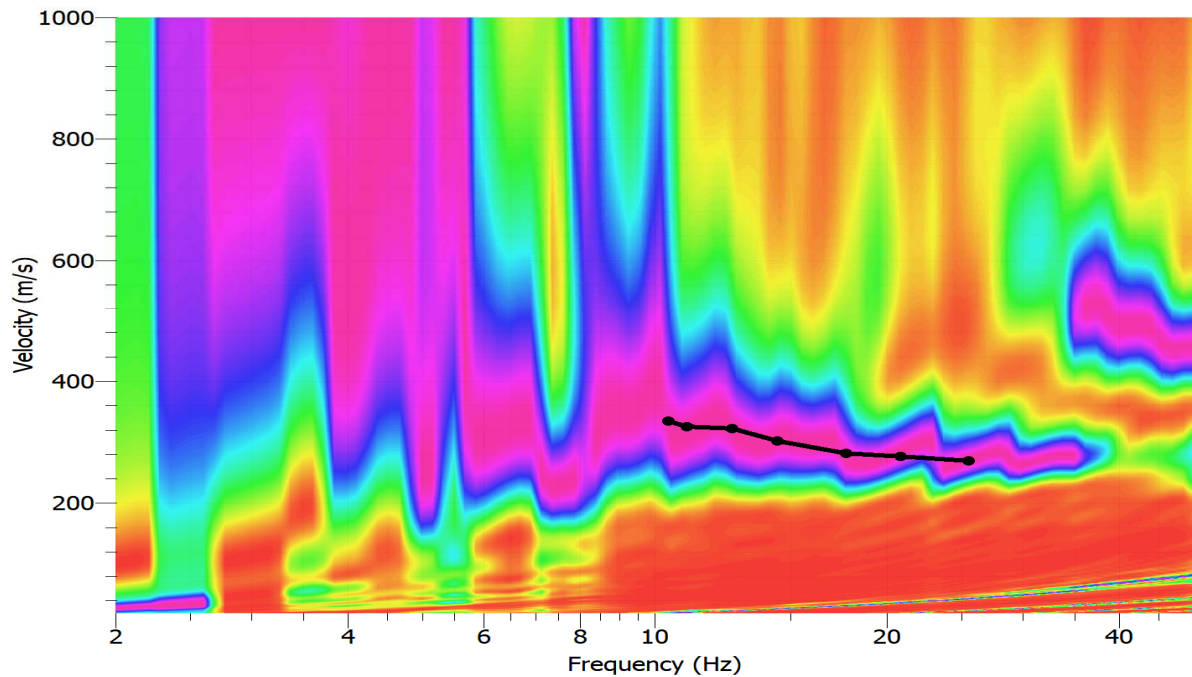
Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

4.2 – RISULTATI DELLE ANALISI

Frequenza finale = 70 Hz; Frequenza iniziale = 2Hz

Figura 6 – Curva dispersione sperimentale e Picking

Shot at (-4, 0, 0), time=2018-04-09 00:00:00



4.3 – CURVA DI DISPERSIONE

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
10.4	335
11.0	326
12.6	312
14.4	302
17.7	282
20.8	277
25.5	270



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85

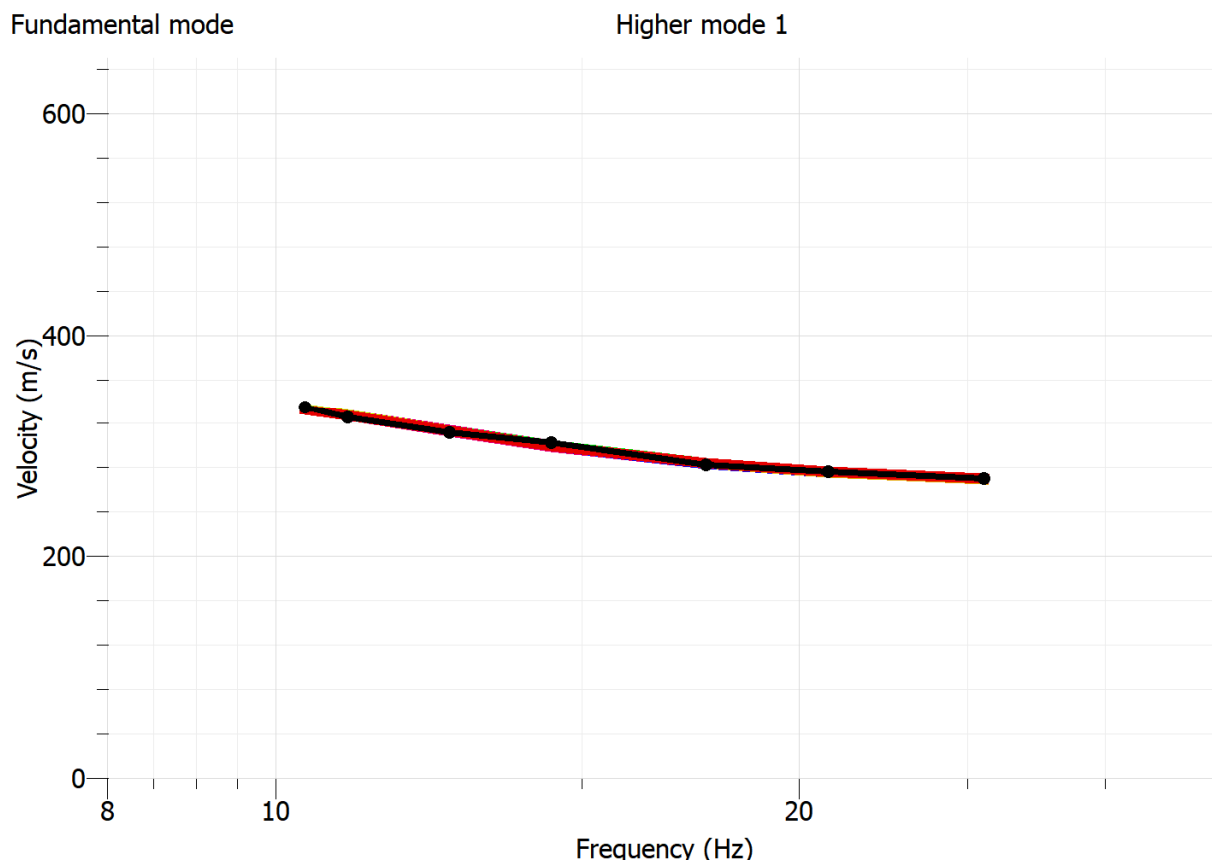
REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 10 DI 11

Figura 7– Velocità numeriche (rosso) – punti sperimentali (nero),



4.4 – PROFILO IN SITO

Tabella di riepilogo delle Velocità di taglio del modello elaborato

Spessore (m)			Prof (m)			Vs (m/s)		
Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min
1.3	1.2	0.8	1.3	1.2	0.8	180	174	133
1.3	0.2	0.1	2.6	1.4	0.8	295	234	219
9.1	8.9	8.5	11.7	10.3	9.4	298	298	298
-	-	0.00	-	-	-	400.4	400.3	396.4

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



GEODE
LABORATORIO GEOTECNICO
RIMINI

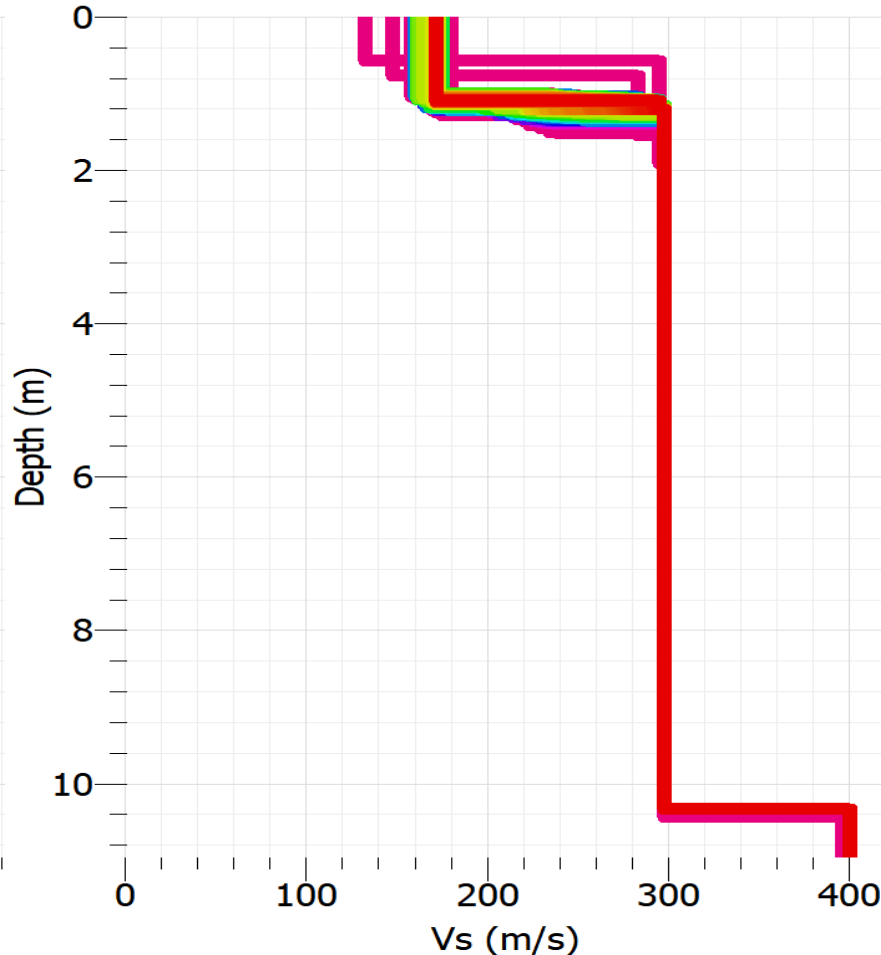
Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218

MOD. 85
 REV. 00
 DATA
 08/03/10
 PAG. 11 DI 11

Figura 8 – Profilo Vs numerico



4.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle V_{seq} , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione delle onde di taglio calcolata in riferimento all’espressione riportata nelle NTC.2018 (“*Norme tecniche per le costruzioni*”):

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i / V_{si})$$

Dove: h_i spessore dell’i-esimo strato; V_{si} Velocità onde di taglio strato i-esimo, H Profondità del substrato (Substrato con $V_s > 800$ m/s e $H_{max} = 30$ metri)

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale: piano campagna)

Vs30 = 346 m/s

compatibile con la **categoria di sottosuolo tipo C**

Rif.: G18-181 C	Esec 09.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

VISTAMARE SRL

Instrument: TZ3-0057/02-17

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 03/10/18 10:40:29 End recording: 03/10/18 11:00:29

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 50% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

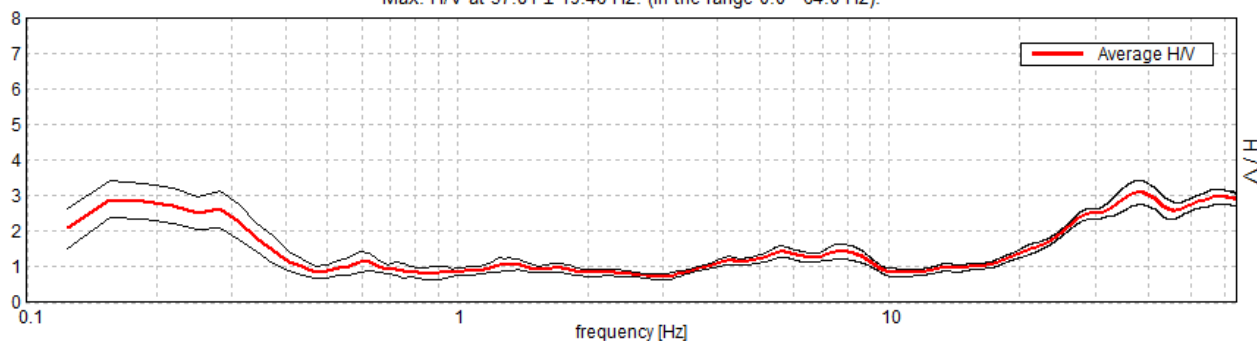
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

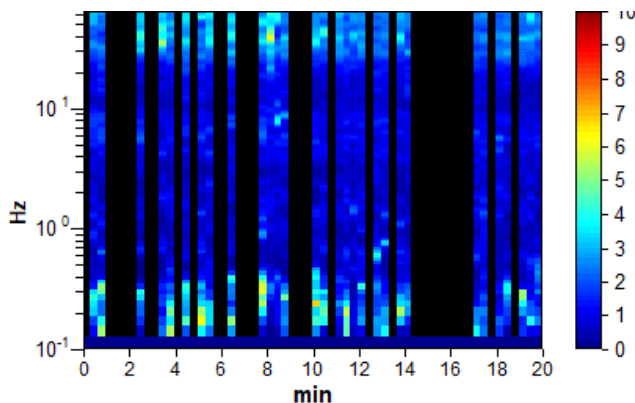
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

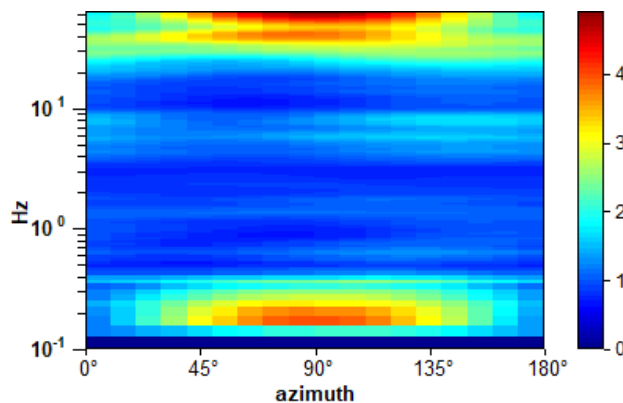
Max. H/V at 37.81 ± 19.46 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



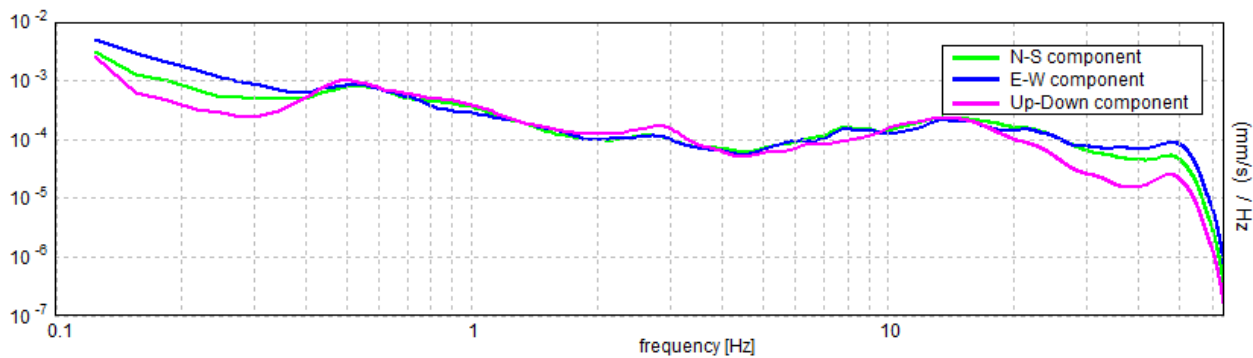
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 37.81 ± 19.46 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	37.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	22687.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1444 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.813 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.08 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.51468 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	19.46137 < 1.89063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3376 < 1.58	OK	

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

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

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