

**Committente**  
**PROVINCIA DI PESARO E URBINO**  
**PESARO**

**PROGETTO DI VARIANTE DELLA S.P. 424  
IN CORRISPONDENZA DEL CENTRO ABITATO  
DI SAN LORENZO IN CAMPO.  
Progetto definitivo - II Stralcio Funzionale**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

## Sommario

<b>1</b>	<b><i>PREMESSE</i></b> .....	<b>2</b>
1.1	Normativa e Raccomandazioni Di Riferimento .....	3
<b>2</b>	<b><i>UBICAZIONE</i></b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><i>P.A.I.</i></b> .....	<b>5</b>
3.1	Classificazione Sismica .....	6
<b>4</b>	<b><i>NOTE DI MORFOLOGIA e GEOLOGIA</i></b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b><i>NOTE DI IDROGRAFIA</i></b> .....	<b>12</b>
<b>6</b>	<b><i>CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA</i></b> .....	<b>13</b>
6.1	Campagna geognostica .....	13
6.1	Prove di Laboratorio .....	17
6.1	Stratigrafia .....	20
6.2	Deformabilità.....	23
6.3	Modulo di compressione edometrica .....	24
6.4	Caratterizzazione geomeccanica dei terreni.....	25
6.5	Indagine Sismica.....	28
<b>7</b>	<b><i>VALUTAZIONI IDROLOGICHE</i></b> .....	<b>29</b>
<b>8</b>	<b><i>CONCLUSIONI</i></b> .....	<b>30</b>

Committente:  
**PROVINCIA DI PESARO E URBINO**  
**PESARO**

**PROGETTO DI VARIANTE DELLA S.P. 424  
IN CORRISPONDENZA DEL CENTRO ABITATO  
DI SAN LORENZO IN CAMPO.**

**Progetto definitivo - II Stralcio Funzionale**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**1 PREMESSE**

Nell'ambito del progetto definitivo riguardante il II Stralcio Funzionale del tratto di variante della S.P. 424, che si svilupperà in prossimità del centro abitato di San Lorenzo in Campo, viene redatta la seguente relazione geologica.

Il lavoro si avvale:

- dei dati stratigrafici emersi dalle indagini geognostiche eseguite nel 2001 da questo stesso Studio e ricadenti lungo il tratto in esame, consistenti in sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo e penetrometrie dinamiche SCPT.
- di una indagine sismica di superficie Masw.

Tutti i dati sopra menzionati, verranno utilizzati in questo studio al fine di definire, per l'area d'intervento:

- l'inquadramento geologico;
- la ricostruzione stratigrafica dei terreni superficiali;
- le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti;
- a categoria del suolo di fondazione.

### **1.1   NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO**

D.M. 17.01.2018

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni.»

UNI ENV 1997 – 1 03.97 EUROCODICE 7

«Progettazione geotecnica.»

A.G.I. 1977

«Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.»

D.C.R. n.116, 21.01.04

«Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)».



## 2 UBICAZIONE

L'area in oggetto ricade nel Foglio 109 "Quadrante 109 I" della carta I.G.M. scala 1: 25.000, mentre in riferimento alla Carta Tecnica Regionale redatta in scala 1: 10.000 è ubicata al Foglio 268, Sezione 268070 (vedi cartografie allegate).

Come riportato nella sottostante Figura 1 tratta dal portale Google Earth, ci troviamo nel Comune di San Lorenzo in Campo ed in particolare a Sud Est dell'abitato del capoluogo. La variante in oggetto riguarda il tratto compreso tra Molino Gazzetti e l'innesto con l'attuale S.S. n. 424 della Val Cesano.



Figura 1

### 3 P.A.I

Dall'analisi dello stralcio del piano di assetto idrogeologico approvato dalla Regione Marche con delibera del Consiglio Regionale n. 116 in data 21.01.04 (aggiornamento 2016), la zona d'intervento non ricade all'interno di aree sottoposte a vincolo idrogeologico (Figura 2).

L'area di esondazione PAI più vicina al tratto stradale (definita dal codice E-07-0010) è in corrispondenza del nuovo sottopasso dove il corso d'acqua forma un meandro; comunque il limite di esondazione risulta ad una distanza di almeno 60 metri dalla sede stradale.

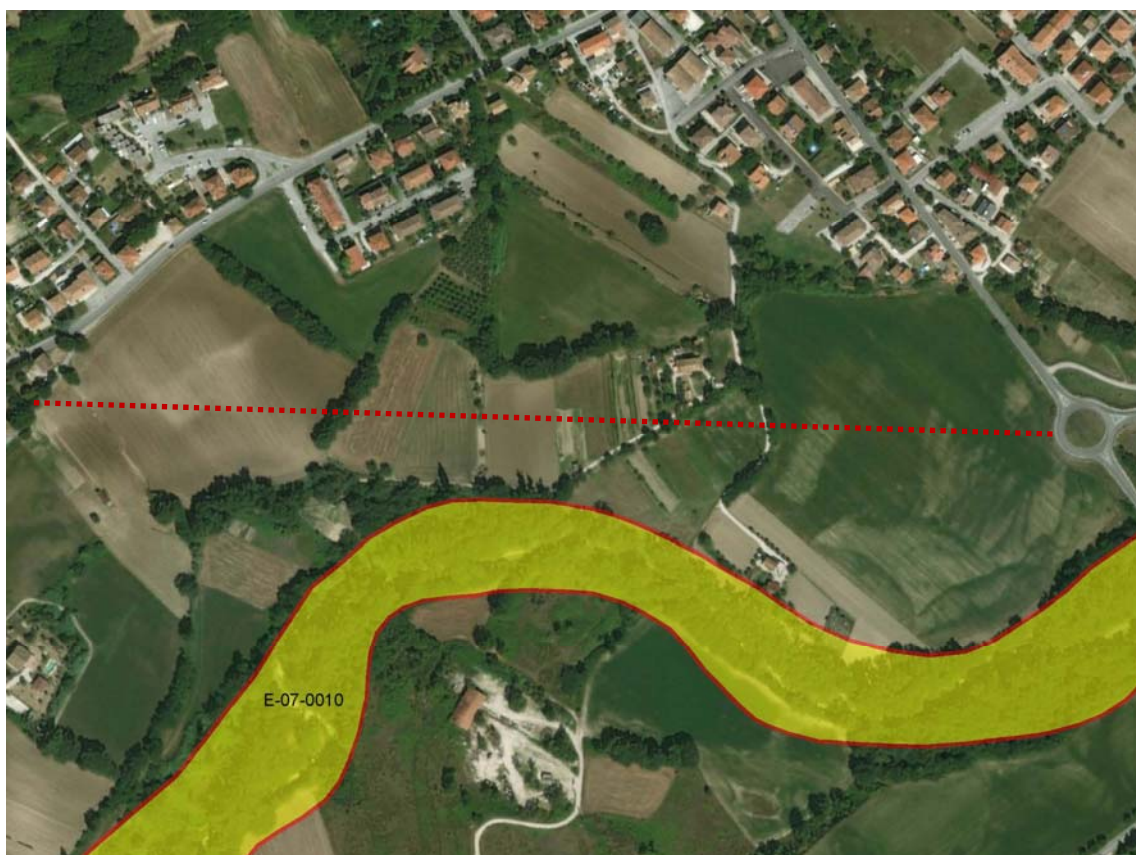


Figura 2: cartografia P.A.I. con tracciato indicativo dell'asse stradale in esame

### 3.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

#### 3.1.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO - ZONIZZAZIONE SISMICA NAZIONALE E REGIONALE

In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274, è stato redatto a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) un documento denominato *“Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici”*, che rappresenta il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale (Figura 3).

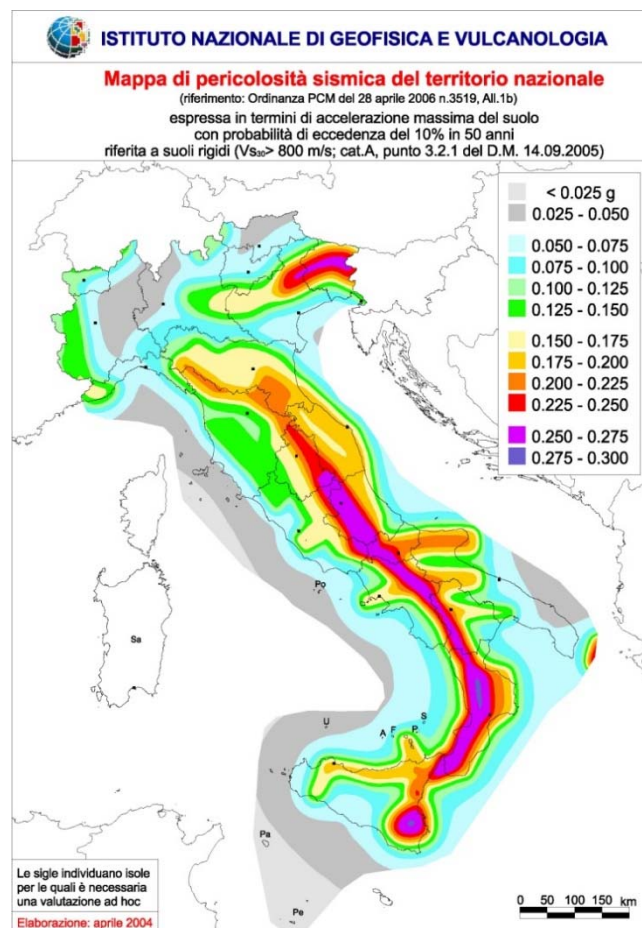


Figura 3 - Distribuzione geografica dei valori medi di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (da Gruppo di Lavoro MPS, 2004)

All'interno della ricerca è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9 che divide tutto il territorio italiano in 36 zone.

Tale zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici (cenozoici e quaternari) coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale; essa, pur basandosi ampiamente sull'impianto generale e sul background informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone & Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio (con i fondamentali contributi del Database of Individual Seismogenic Sources - DISS-, che, combinando dati geologici, storici e strumentali, censisce le sorgenti in grado di produrre terremoti di magnitudo 5.5 e superiore) e del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (all'epoca della redazione della mappa CPTI2, ora arrivato alla versione CPTI15).

Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata, ha permesso di costruire la Carta delle Zone Sismogenetiche del territorio nazionale (Figura 4).

Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Sulla base delle zone sismogenetiche e delle loro caratteristiche è stata sviluppata la già citata Carta della pericolosità sismica; per ogni comune italiano è stato stimato il rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.



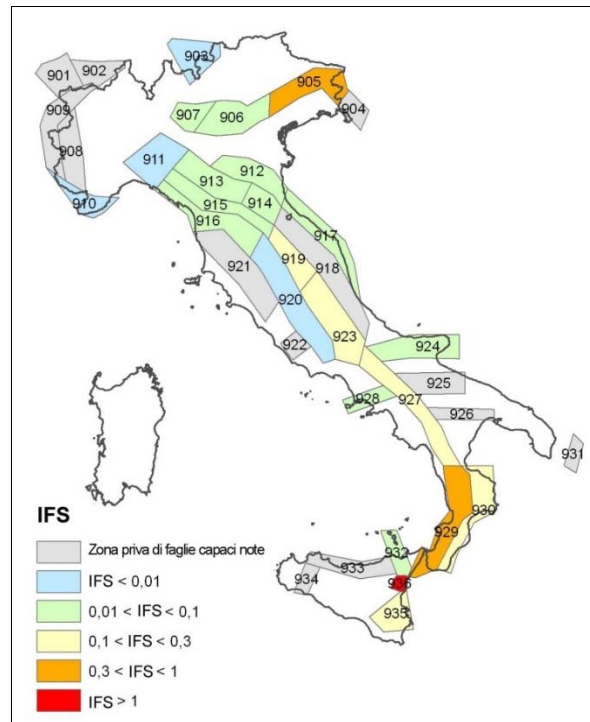


Figura 4 - Zonizzazione sismogenetica ZS9  
(IFS = Indice di Fagliazione Superficiale); (INGV, 2004)

Il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone (o categorie) contraddistinte da differenti valori di PGA (Tabella 1).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	<0.05

Tabella 1 - Valori di PGA per le varie zone

Di seguito si riporta la zonizzazione relativa al territorio regionale, da cui si può notare che al Comune di San Lorenzo in Campo è attualmente attribuito un valore di PGA compreso tra 0.175 g e 0.2 g, che lo pone all'interno della Zona 2 definita a sismicità media (Figura 5 e Figura 6); si ricorda che tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock sismico, cioè a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi, alla cui interfaccia superiore si presume l'input sismico arrivi non alterato.

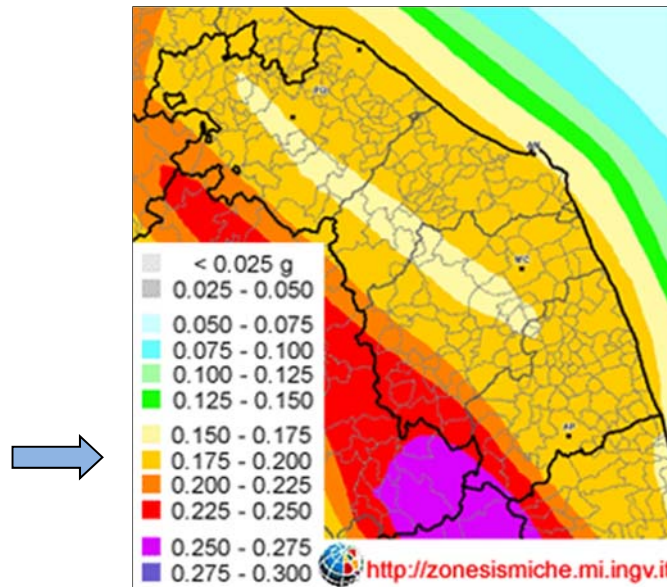


Figura 5 - Carta di pericolosità sismica del territorio regionale espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA

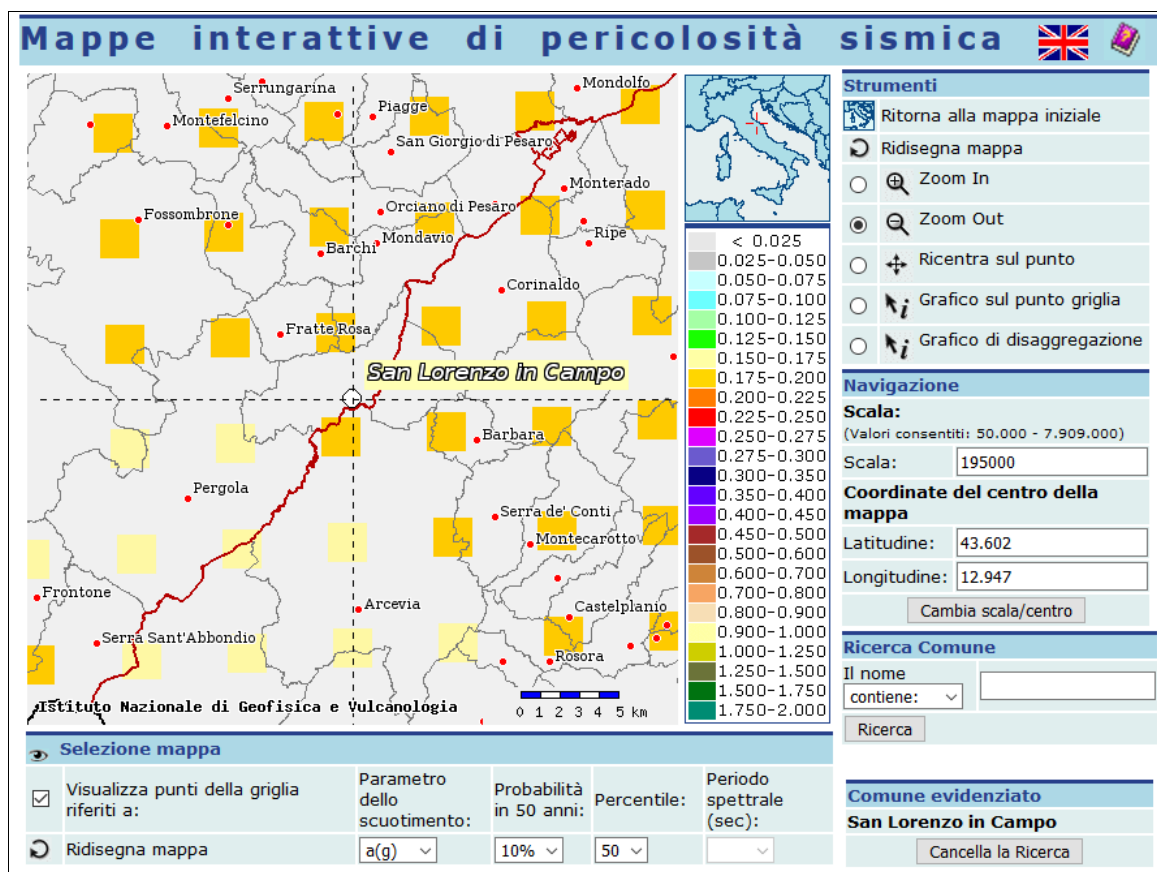


Figura 6 - Particolare della Mappa relativa ai valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, all.1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{S30} > 800$  m/s; Cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2003).

#### **4 NOTE DI MORFOLOGIA E GEOLOGIA**

La strada si svilupperà nella piana alluvionale di pertinenza del fiume Cesano, rispetto al quale ci troviamo in sinistra idrografica.

Il nuovo tracciato stradale partendo dalla rotatoria in prossimità del ponte sul Cesano fino all'innesto con la strada statale esistente, può essere diviso in tre tratti con differenti caratteristiche morfologiche.

Il primo tratto, che ricade in un paleoalveo, dopo una lunghezza di circa 300 metri arriva alla piccola scarpata del terrazzo fluviale alla quota di circa 160 metri s.l.m.m.

Segue il secondo tratto della lunghezza di circa 100 metri, sale di quota sulla scarpata del terrazzo fluviale fino a circa 170 metri.

Il tratto finale della lunghezza di 400-450 metri sale dalla quota di circa 170 metri s.l.m.m. fino alla quota di 180 metri in corrispondenza dell'innesto con il tracciato stradale esistente.

L'intero tratto, viste le modeste pendenze, si svilupperà in terreni dove attualmente non sono presenti problemi di instabilità, come confermato dalla cartografia PAI allegata.

Dal punto di vista geolitologico come già accennato, ci troviamo nei depositi continentali di genesi alluvionale di pertinenza del Fiume Cesano costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con intercalazioni argilloso-limose e limoso sabbiose.

Il pacco alluvionale presenta spessori variabili da 7.0 a 14.0 metri e ricopre la formazione di origine marina costituita da argille marnose grigio-azzurre con intercalazioni sabbiose (Pliocene).

In base alla Carta Geologica Regionale Scala 1:10.000 sezione 280160-291140 l'area ricade all'interno dei depositi alluvionali terrazzati dell'Olocene e del Pleistocene superiore (Figura 7).

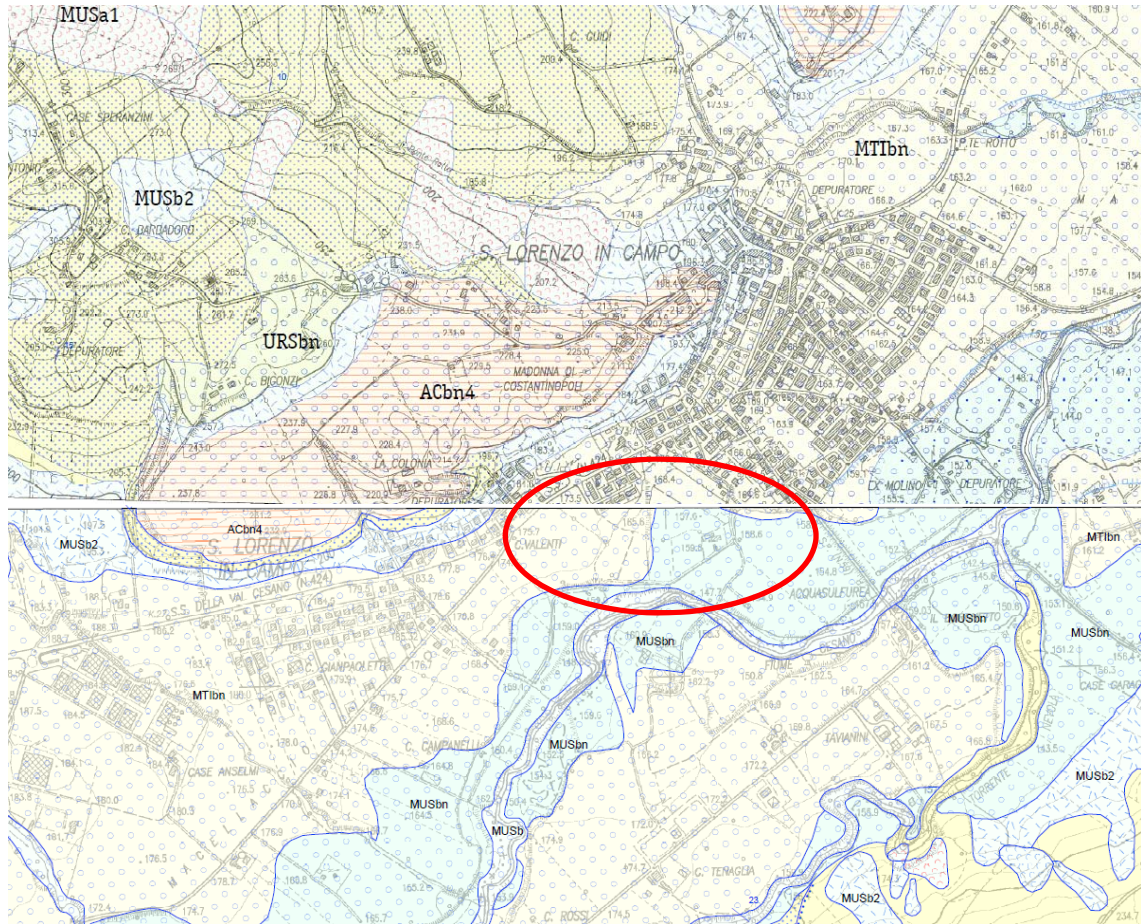
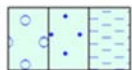


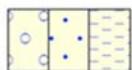
Figura 7

**SINTEMA DEL MUSONE**  
(OLOCENE)



**MUSbn** Depositi alluvionali terrazzati  
(ghiaia, sabbia, limo)

**SINTEMA DI MATELICA**  
(PLEISTOCENE SUPERIORE)



**MTIbn** Depositi alluvionali terrazzati  
(ghiaia, sabbia, limo)



## **5 NOTE DI IDROGRAFIA**

Il tratto di strada oggetto di variante si svilupperà in sinistra idrografica del Fiume Cesano che caratterizza l'idrografia della piana alluvionale.

Il fiume presenta un andamento meandriforme ed il suo alveo risulta incassato rispetto alla piana alluvionale.

La parte centrale del tracciato oggetto di variante si avvicina ad un meandro del corso d'acqua, che risulta comunque ad una distanza di almeno 60 metri dalla nuova sede stradale.

Come si evince dallo stralcio del Piano di Assetto Idrogeologico proposto dalla Regione Marche e riportato in allegato, il tracciato non ricade all'interno di zone attualmente sottoposte a vincoli idrogeologici.

Il nuovo tracciato stradale non intercetta dei veri e propri fossi ma solamente quella fitta rete di piccoli fossi e/o scoline, presenti nei campi coltivati, che scendono verso il fiume Cesano con direzione Est, Sud-Est.

Ulteriori piccoli fossi sono stati rilevati in adiacenza alle strade vicinali.

In corrispondenza delle sezioni 20-22 il nuovo tracciato intercetterà il Vallato Gazzetti che corre circa parallelo a via Leopardi.

## **6 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA**

### **6.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA**

Al fine di ricostruire la stratigrafia e determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dalla variante, si prendono in esame le stratigrafie desunte dai sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continue e dalle penetrometrie precedentemente realizzate dallo scrivente.

Lungo il tracciato stradale in esame sono stati eseguiti n.3 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo (S.8, S.9, S.10) e n.3 penetrometrie dinamiche (SCPT1, SCPT2, SCPT3), la cui ubicazione è riportata nella Planimetria Ubicazione Indagini allegata (Tav.1).

Nel corso dei sondaggi meccanici sono state eseguite prove in foro quali SPT in corrispondenza degli strati ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi. Inoltre, in fase di avanzamento sono stati prelevati campioni di terreno a varie profondità, successivamente sottoposti ad analisi di laboratorio geomeccanico.

#### **6.1.1 DESCRIZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI**

##### **PROVA PENETROMETRICA SCPT.1**

dal p.c.a.	a	1.0 m	terreno agrario e/o di alterazione
da 1.0 m	a	4.2 m	limo sabbioso, limo argilloso a medio-bassa consistenza con ghiaia ( $5 \leq N_{SCPT} \leq 9$ );
da 4.2 m	a	5.0 m	terreno a media consistenza attribuibile a limo sabbioso, limo argilloso con ghiaia ( $12 \leq N_{SCPT} \leq 22$ );
da 5.0 m	a	8.6 m	terreno addensato, attribuibile a ghiaie in matrice limoso-sabbiosa ( $16 \leq N_{SCPT} \leq 64$ ), talora con livelli meno addensati ( $N_{SCPT} = 7-8$ );

##### **PROVA PENETROMETRICA SCPT.2**

dal p.c.a.	a	1.2 m	terreno agrario e/o di alterazione
da 1.2 m	a	2.0 m	limo sabbioso, limo argilloso a media-buona consistenza con ghiaia ( $14 \leq N_{SCPT} \leq 22$ );

da 2.0 m	a	5.8 m	limo sabbioso, limo argilloso a medio-bassa consistenza con ghiaia ( $5 \leq N_{SCPT} \leq 11$ ) e livelli argillosi plastici, plastico-molli ( $N_{SCPT} = 1-2$ );
da 5.8 m	a	8.4 m	terreno mediamente addensato, attribuibile a ghiaia, limo sabbioso, argilla limosa e sabbia argillosa ( $15 \leq N_{SCPT} \leq 26$ );
da 8.4 m	a	11.0m	terreno mediamente addensato, attribuibile ad argille sabbiose e sabbie ( $20 \leq N_{SCPT} \leq 28$ );
da 11.0 m	a	11.2m	terreno mediamente addensato, attribuibile ad argille marnose ( $N_{SCPT} = 32$ );

### **PROVA PENETROMETRICA SCPT.3**

dal p.c.a.	a	1.2 m	terreno agrario e/o di alterazione
da 1.2 m	a	3.0 m	limo sabbioso, limo argilloso plastico, plastico-molle a bassa consistenza ( $2 \leq N_{SCPT} \leq 4$ );
da 3.0 m	a	4.4 m	terreno mediamente addensato, attribuibile a ghiaia, limo sabbioso, argilla limosa e sabbia argillosa ( $12 \leq N_{SCPT} \leq 20$ );
da 4.4 m	a	6.6 m	terreno a bassa e media consistenza attribuibile a limo sabbioso, limo argilloso ( $3 \leq N_{SCPT} \leq 9$ );
da 6.6 m	a	10.0 m	terreno mediamente addensato, attribuibile a ghiaia, limo sabbioso, argilla limosa e sabbia argillosa ( $12 \leq N_{SCPT} \leq 25$ );
da 10.0 m	a	13.2m	terreno mediamente addensato, attribuibile ad argille sabbiose e sabbie ( $20 \leq N_{SCPT} \leq 24$ );

### **SONDAGGIO S.8**

dal p.c.a.	a	0.5 m	terreno agrario;
da 0.5 m	a	1.2 m	argilla di colore nocciola a media consistenza;
da 1.2 m	a	4.3 m	ghiaia fine-medio grossolana sub-arrotondata ed a spigolo vivi, mediante addensata, in matrice limoso-sabbiosa di colore nocciola chiaro con ciottoli;

da 4.3 m	a	5.1 m	ghiaia fine e medio grossolana sub-arrotondata ed a spigolo vivi, mediante addensata, in matrice limosa, limoso-sabbiosa di colore nocciola;
da 5.1 m	a	6.5 m	ghiaia fine e medio grossolana sub-arrotondata ed a spigolo vivi, mediante addensata, in matrice limoso-sabbiosa di colore nocciola, con livelli/strati argillosi grigi a bassa consistenza con ghiaietto;
da 6.5 m	a	7.8 m	ghiaia fine e medio grossolana sub-arrotondata ed a spigolo vivi in matrice limosa, limoso-sabbiosa di colore nocciola;
da 7.8 m	a	8.0 m	argilla di colore grigio a bassa consistenza con ghiaietto;
da 8.0 m	a	8.1 m	argilla sabbiosa di colore nocciola;
da 8.1 m	a	9.0 m	argilla di colore grigio, plastico-molle, con ghiaietto;
da 9.0 m	a	12.0 m	ghiaia fine e medio grossolana addensata, in matrice limosa, di colore nocciola chiaro-bianco rosato, sub-arrotondata.

**SONDAGGIO S.9**

dal p.c.a.	a	0.5 m	argilla di colore nocciola colore (terreno agrario);
da 0.5 m	a	3.6 m	ghiaia fine-medio grossolana sub-arrotondata, mediamente addensata in matrice sabbioso-limosa;
da 3.6 m	a	5.1 m	ghiaia fine-medio grossolana sub-arrotondata in matrice limosa di colore nocciola chiaro-rosato;
da 5.1 m	a	5.9 m	argilla di colore grigio, plastico-molle a bassa consistenza;
da 5.9 m	a	6.0 m	argilla di colore grigio a media consistenza con inglobata ghiaia medio-grossolana sub-arrotondata;
da 6.0 m	a	6.2 m	ghiaia medio grossolana-fine, sub-arrotondata, con argilla;

da 6.2 m	a	7.4 m	argilla marnosa di colore grigio-azzurro, consistente-compatta con inclusi ghiaiosi sub-arrotondati;
da 7.4 m	a	11.0 m	argilla marnosa compatta di colore grigio (Formazione).

**SONDAGGIO S.10**

dal p.c.a.	a	0.4 m	terreno agrario;
da 0.4 m	a	2.3 m	limo sabbioso di colore nocciola a media consistenza;
da 2.3 m	a	3.45 m	ghiaia medio grossolana sub-arrotondata in matrice limosa debolmente sabbiosa;
da 3.45 m	a	5.2 m	limo argilloso, limo sabbioso di colore nocciola, a media consistenza, con alternati livelli sabbiosi;
da 5.2 m	a	7.75 m	ghiaia medio grossolana-fine, sub-arrotondata, in matrice limosa debolmente sabbiosa;
da 7.75 m	a	8.5 m	sabbia medio-fine, di colore grigio-scuro, con resti carboniosi;
da 8.5 m	a	13.8 m	argilla, argilla marnosa di colore grigio, a buona consistenza, con ghiaietto;
da 13.8 m	a	15.0 m	argilla marnosa compatta di colore grigio-azzurro (Formazione).

Nel corso delle prove penetrometriche SCPT la falda acquifera è stata individuata a profondità variabili da 5.0 ÷ 8.0 metri dal piano campagna attuale; non si escludono risalite delle quote piezometriche in corrispondenza di prolungati ed intensi periodi piovosi.

Per una visione generale del tratto investigato è stata ricostruita la sezione litostratigrafica in scala 1:200 / 1:2000 (Tav.2), correlando le indagini puntuali a nostra disposizione.

## **6.1 PROVE DI LABORATORIO**

In corrispondenza dei sondaggi meccanici S.8-S.9-S.10 sono stati prelevati campioni di terreno indisturbati e disturbati, ed eseguite le seguenti prove:

- Caratteristiche volumetriche;
- Granulometrie;
- E.L.L.;
- Taglio C.D.

### **SONDAGGIO S.8 Campione R1 (2.0-2.5 metri)**

#### **Composizione granulometrica:**

ghiaia:	49.58 %
sabbia	28.27 %
limo:	13.31 %
argilla:	8.84 %

#### **Descrizione AGI:**

ghiaia con sabbia debolmente limoso-argillosa

### **SONDAGGIO S.8 Campione R2 (4.5-5.0 metri)**

#### **Composizione granulometrica:**

ghiaia:	36.41 %
sabbia	25.69 %
limo:	22.57 %
argilla:	15.15 %

#### **Descrizione AGI:**

ghiaia con sabbia, limosa-argillosa

### **SONDAGGIO S.9 Campione R1 (2.0-2.5 metri)**

#### **Composizione granulometrica:**

ghiaia:	39.28 %
sabbia	27.70 %
limo:	18.01 %
argilla:	15.01 %

#### **Descrizione AGI:**

ghiaia con sabbia, limoso argillosa

**SONDAGGIO S.9** Campione R2 (3.6-4.0 metri)**Composizione granulometrica:**

ghiaia: 41.63 %  
sabbia 30.11 %  
limo: 17.36 %  
argilla: 10.90 %

**Descrizione AGI:**

ghiaia con sabbia, limosa debolmente argillosa

**SONDAGGIO S.9** Campione C2 (10.5-11.0 metri)**Composizione granulometrica:**

ghiaia: 00.00 %  
sabbia 7.13 %  
limo: 52.59 %  
argilla: 40.27 %

**Descrizione AGI:**

limo con argilla debolmente sabbioso

**Caratteristiche volumetriche:**

peso di volume umido: 2.02 gr/cmc  
peso di volume secco: 1.73 g/cmc

**Espansione laterale libera E.L.L. :**

coesione non drenata  $C_u = 2.68 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Prova di Taglio C.D. :**

coesione  $C' = 0.31 \text{ Kg/cm}^2$ .  
angolo d'attrito efficace  $\phi' = 19,8$

**SONDAGGIO S.10** Campione R1 ( 3.0-3.5 metri)**Composizione granulometrica:**

ghiaia: 43.95 %  
sabbia 28.33 %  
limo: 16.15 %  
argilla: 11.57 %

**Descrizione AGI:**

ghiaia con sabbia, limosa debolmente argillosa

**SONDAGGIO S.10** Campione R2 (6.0-6.5 metri)**Composizione granulometrica:**

ghiaia: 46.02 %  
sabbia 24.25 %  
limo: 16.28 %  
argilla: 13.44 %

**Descrizione AGI:**

ghiaia sabbiosa, limosa debolmente argillosa

**SONDAGGIO S.10** Campione C1 (12.0-12.7 metri)**Composizione granulometrica:**

ghiaia: 00.00 %  
sabbia 7.26 %  
limo: 58.52 %  
argilla: 34.23 %

**Descrizione AGI:**

limo con argilla debolmente sabbioso

**Caratteristiche volumetriche:**

peso di volume umido: 2.0 gr/cmc  
peso di volume secco: 1.69 g/cmc

**Espansione laterale libera E.L.L. :**

coesione non drenata  $C_u = 1.81 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Prova di Taglio C.D. :**

coesione  $C' = 0.22 \text{ Kg/cm}^2$ .  
angolo d'attrito efficace  $\phi' = 21.1$



## 6.1 STRATIGRAFIA

Dalle risultanze di campagna e dalla sezione litostratigrafica restituita in scala 1: 200 / 1:2000 (Tav.2) , il pacco alluvionale ha spessori variabili da 6.0 a circa 14.0 metri.

All'interno delle alluvioni sono presenti vari litotipi quali ghiaie, sabbie, limi sabbiosi, argille limose e sabbie argillose e le prove SCPT hanno permesso di rilevare complessivamente delle medie e talora buone consistenze, salvo livelli/strati a bassa consistenza nei primi 6 metri di profondità con valori di  $N_{SCPT} = 1/2/3$ .

Le prove SPT in foro, sono riportati nelle singole colonne stratigrafiche.

Per la determinazione delle caratteristiche geomeccaniche dello strato costituito prevalentemente da ghiaie con matrice limoso-sabbiosa, ghiaie con sabbie si fa riferimento alle prove in foro SPT (Standard Penetration Test).

Si prendono in considerazione n.8 prove SPT eseguite nelle verticali indagate S8, S9 e S10 che hanno fornito nel dettaglio, alle varie profondità, i valori di  $N^1$  rappresentati nel grafico sottostante con l'indicatore di colore rosso (Figura 8).

L'indicatore di colore blu, sempre riportato nel Figura 8, indica i valori "normalizzati" in funzione della modalità di esecuzione della prova, pressione del terreno sovrastante, dispositivo di battitura e caratteristiche geomeccaniche del terreno (presenza d'acqua, granulometria ecc.).

---

<sup>1</sup> (N = numero colpi d'infissione per l'avanzamento di 30 cm della punta SPT)

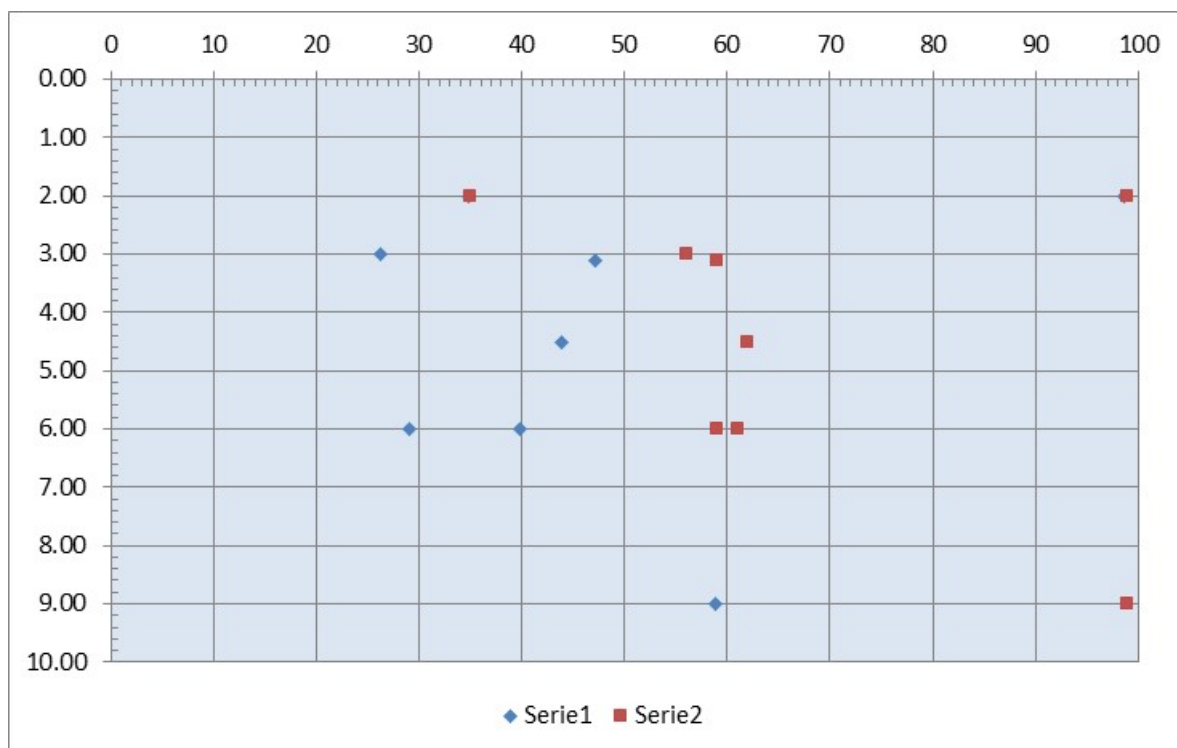


Figura 8

Di seguito si riporta l'elaborazione dei dati per la determinazione dei parametri caratteristici del terreno Tabella 2.

	N spt[n.]
Valore considerato	valore medio
Minimo	26
Massimo	99
<b>Valore caratteristico</b>	<b>47</b>

Tabella 2

I valori così ottenuti permettono di definire lo stato di addensamento del materiale, per mezzo del parametro Densità Relativa, utilizzando la Tabella 3 sotto riportata.

$N_{SPT}$	Densità relativa	
	Terzaghi – Peck (1948)	Gibbs – Holtz (1957)
0 ÷ 4	Sciolto	0 ÷ 15 %
4 ÷ 10	Poco addensato	15 ÷ 35 %
10 ÷ 30	Moderatamente addensato	35 ÷ 65 %
30 ÷ 50	Addensato	65 ÷ 85 %
> 50	Molto addensato	85 ÷ 100 %

Tabella 3

Classifica orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti (Raccomandazioni A.G.I. 1977)

Dall'analisi del campo di variabilità della resistenza dinamica dei terreni investigati risulta che le ghiaie, con matrice limoso-sabbiosa risultano “addensate” e con densità relativa compresa in un range  $65 \div 85 \%$ . I parametri Densità Relativa  $D_r$  e Angolo d'attrito  $\phi'$  possono essere ricavati anche dalle Figura 9 e Figura 10 correlando tali parametri con il numero di SPT in funzione della tensione verticale efficace. La Figura 11 permette di ottenere il Modulo di Compressione dalle prove SPT.

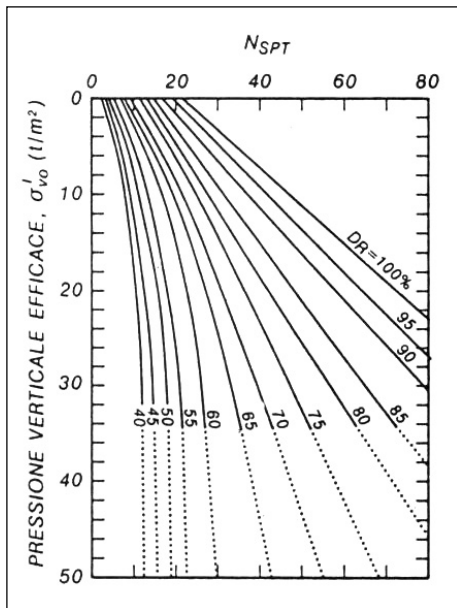


Figura 9

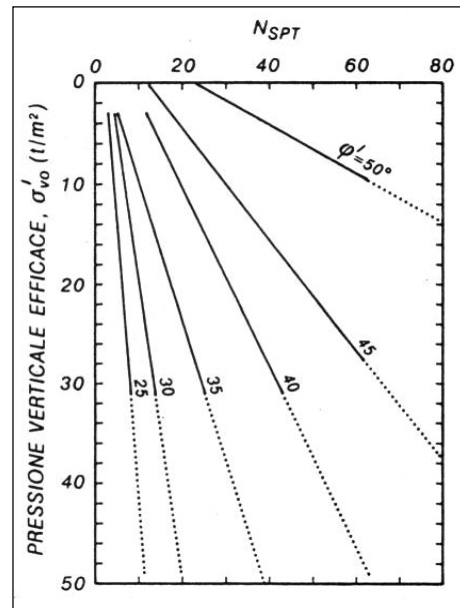


Figura 10

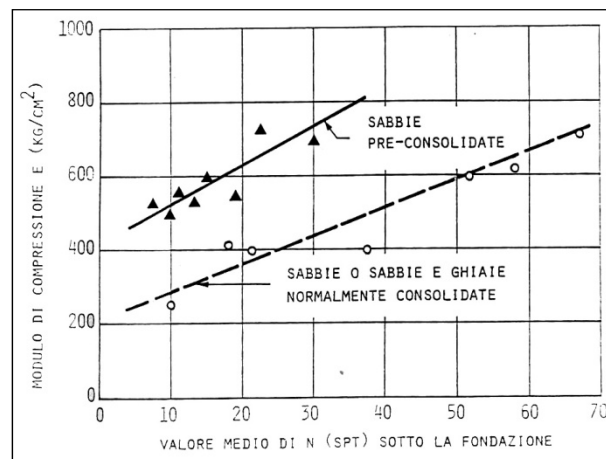


Figura 11

Figura 9 relazione tra  $N_{SPT}$  e densità relative ( $D_r$ ) delle sabbie (Gibbs e Holtz, 1957).

Figura 10 relazione tra angolo di attrito ( $\phi'$ ) delle sabbie e valori di  $N_{SPT}$ , tenendo conto dell'influenza del peso del terreno sovrastante (De Mello 1971).

Figura 11: relazione tra  $N_{SPT}$  e Modulo di compressibilità edometrica.

Ai terreni esaminati si possono attribuire mediamente i seguenti parametri geomeccanici

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20	21	20
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	35	45	38
Densità relativa	Dr	%	65	85	70

## 6.2 DEFOMABILITÀ

Per la determinazione del modulo elastico o Modulo di Young ( $E'$ ) nel litotipo B costituito da ghiaia medio-fine e sub-arrotondata addensata, si fa riferimento alle correlazioni empiriche delle prove SPT.

Il calcolo è stato eseguito secondo le correlazioni proposte dai seguenti autori: *Jamiolkowski et. al. (1988)*, *Denver (1982)* e *Bowles (rif. "Fondazioni" – Mc Graw-Hill, 1991)* adottando le seguenti formule.

$$(1) \text{ Jamiolkowski et. al. (1988) } E'_{25} = (10.5 - 3.5 \times D_r) \times N_{SPT} \quad (Kg/cmq)$$

dove:

$D_r$  è uguale alla densità relative e  $N_{SPT}$  numero di colpi SPT.

$$(2) \text{ Denver (1982) } E' = C_1 \times S_1 \times N_{SPT} + S_2 \quad (MPa)$$

dove:

$S_1$  e  $S_2$  sono costanti che assumono valori in funzione della granulometria e della litologia. Nei terreni ghiaioso-sabbiosi si possono assumere i valori riportati nella Tabella 4 (D'Apollonia et. al. 1970).

$S_1$	0.756
$S_2$	18.75

Tabella 4

$$(3) \text{ Bowles (1991) } E' = C_1 \times (N'_{55} + C_2) \quad (KPa)$$

dove:

$C_1$  e  $C_2$  sono coefficienti variabili in funzione del tipo di terreno come indicato nella Tabella 5:

Ghiaia e sabbia	C <sub>1</sub>	600
	C <sub>2</sub>	6
Sabbia e limo	C <sub>1</sub>	300
	C <sub>2</sub>	6

Tabella 5

N<sub>55</sub> si ricava dal numero di colpi standard N<sub>70</sub> dalla seguente relazione:

$$N_{55} = (70/55) \times N_{70}$$

con:

$$N_{70} = C_N \times N_{SPT} \times n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4$$

di cui C<sub>N</sub> è il coefficiente che tiene conto del sovraccarico ed i valori η sono fattori correttivi che dipendono rispettivamente dal maglio dalla lunghezza della fune dal tipo di sonda e dal diametro del foro.

Nel caso in esame si adotta η<sub>1</sub> = 0.857 ed η<sub>2</sub>=η<sub>3</sub>=η<sub>4</sub>=1.

In base alle correlazioni sopra adottate sono stati ricavati i valori del modulo di Young riportati in Tabella 6.

AUTORE	MPa
Jamiolkowski et. al. (1988)	37.0
Denver (1982)	53.9
Bowles (rif. "Fondazioni" – Mc Graw-Hill, 1991)	39.5

Tabella 6

Al litotipo in esame, considerando i valori minimi e massimi di cui sopra, si può attribuire il seguente parametro di deformabilità:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Modulo di Young	E'	MPa	37	54	45

### 6.3 MODULO DI COMPRESSIONE EDMETRICA

Per la determinazione del modulo di compressione Edometrica (E<sub>ed</sub>) nel litotipo B costituito da ghiaia medio-fine e sub-arrotondata da moderatamente addensata ad addensata e stata adottata la seguente relazione:

$$Bowles \quad E_{ed} = E' \frac{(1-\nu')}{(1+\nu') \times (1-2\nu')} \quad (MPa)$$

dove:

$\nu'$  = coefficiente di Poisson il cui valore viene posto pari a 0.3 ed  $E'$  modulo di Young calcolato come nel paragrafo precedente.

Al litotipo in esame si può attribuire il seguente modulo di compressione:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Modulo Edometrico	$E_{ed}$	MPa	50	72	55

#### 6.4 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI

Vista la diversità stratigrafica si riporta la caratterizzazione geomeccaniche per i tre singoli sondaggi

##### SONDAGGIO S.8

Litotipo 1: da 0.0 m a ÷ 1.2 m

Terreno agrario e d'alterazione:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	16	167	16
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	17	18	17

Litotipo 2: da 1.20 m a ÷ 7.80 m

Ghiaia fine-medio-grossolana addensata in matrice limosa e ciottoli, limoso-sabbiosa con livelli/strati argillosi a bassa consistenza:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20	21	20
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	35	45	38

Litotipo 3: da 7.80m a ÷ 9.0 m

Argilla, argilla con ghiaietto, argilla sabbiosa a bassa consistenza :

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19	20	19
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	21	23	21
Coesione	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	25	30	25

Litotipo 4: da 9.0 m a ÷ 12.0 m.

Ghiaia fine-medio-grossolana addensata in matrice limosa -:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	35	45	38

## SONDAGGIO S.9

Litotipo 1: da 0.0 m a ÷ 0.5 m

Terreno agrario:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	16	167	16
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	17	18	17

Litotipo 2: da 0.5 m a ÷ 5.10 m

Ghiaia fine-medio-grossolana mediamente addensata in matrice limosa e sabbioso-limosa-sabbiosa :

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	35	45	38

Litotipo 3: da 5.10m a ÷ 6.0 m

Argilla a bassa consistenza, con elementi ghiaiosi:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19	20	19
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	20	23	20
Coesione	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	25	30	25

Litotipo 4: da 6.0 m a ÷ 11.0 m.

Argilla marnosa consistente-compatta:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	24	25	24
Coesione non drenata	$C_u$	kN/m <sup>2</sup>	2000	300	200
Coesione	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	30	40	30

**SONDAGGIO S.10**Litotipo 1: da 0.0 m a ÷ 0.40 m

Terreno agrario:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	16	167	16
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	17	18	17

Litotipo 2: da 0.4 m a ÷ 2.30 m

Limo sabbioso a media consistenza:

Parametro	Simbolo		u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$		kN/m <sup>3</sup>	18	19	18
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$		gradi	26	27	26

Litotipo 3: da 2.3 m a ÷ 3.45 m

Ghiaia medio-grossolana addensata in matrice limosa debolmente sabbiosa:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	35	45	38

Litotipo 3: da 3.45 m a ÷ 5.20 m

Limo argilloso, limo sabbioso a media consistenza con livelli sabbiosi:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19	20	19
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	24	26	25
Coesione	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	15	25	15

Litotipo 4: da 5.20 m a ÷ 7.75 m

Ghiaia medio-grossolana-fine addensata in matrice limosa debolmente sabbiosa:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	35	45	38

Litotipo 5: da 7.75 m a ÷ 8.50 m

Sabbia medio fine:

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20	20	20
Angolo di resistenza al taglio	$\phi$	gradi	30	32	30

Litotipo 6: da 8.5 m a ÷ 15.0 m.

Argilla marnosa consistente-compatta:



Parametro	Simbolo	u.m.	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Caratteristico
Peso di Unità di Volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi$	gradi	24	25	24
Coesione non drenata	Cu	kN/m <sup>2</sup>	2000	300	200
Coesione	c'	kN/m <sup>2</sup>	30	40	30

## 6.5 INDAGINE SISMICA

### 6.5.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per individuare la categoria del suolo di fondazione viene eseguito un profilo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in corrispondenza dell'area prevista per la realizzazione del ponticello scatolare di via Leopardi.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali in corrispondenza dei geofoni posti lungo lo stendimento.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi della vigente normativa, la velocità media ponderata di propagazione delle onde di taglio nei primi 30.0 m di profondità è calcolata con la seguente espressione:

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

nella quale il valore  $V_{s30}$  è referito al piano campagna attuale e da cui si ottiene un valore pari a  $V_{s30} = 337 \text{ m/sec}$ .

Tale valore identifica i terreni presenti nella **CATEGORIA C**, definiti dalla presente normativa come “*Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille a media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec*”.

Categoria topografica T1.

L'elaborato numerico della prova sismica, riferito al piano campagna, viene riportata in allegato.

## **7 VALUTAZIONI IDROLOGICHE**

Il tracciato stradale attraversando la piana alluvionale, con gli sbanchi/riporti di progetto, taglia le direttrici di scarico della rete dei fossi minori e/o scoline dei campi agrari che defluiscono in direzione Sud e Sud Est fino a raggiungere il fiume Metauro.

Quindi dovranno essere previste opere drenanti o canalizzazioni per intercettare e smaltire il deflusso delle acque provenienti da monte, in particolar modo nel tratto più basso, tra le sezioni di progetto 1-15/16 dove si hanno riporti massimi di circa 3,0 metri.

## **8 CONCLUSIONI**

Come già riportato il tracciato si sviluppa interamente nei terreni di origine alluvionale prevalentemente incoerenti (ghiaie e sabbie) talora con livelli coerenti a bassa consistenza. I sondaggi geognostici hanno evidenziato una diversità, sia negli spessori del pacco alluvionale, sia nel susseguirsi dei vari litotipi.

La caratterizzazione geomeccanica si è basata su due sondaggi meccanici eseguiti all'estremità del percorso stradale ed uno al centro.

Il progetto esecutivo, con sbancamenti e riporti seppur non elevati, dovrà quindi tener conto delle stratigrafie di cui sopra e dei risultati delle penetrometrie dinamiche SCPT. Per le fondazioni del manufatto in corrispondenza delle sezioni 25-26 (via Leopardi) la stratigrafia di riferimento è quella emersa dal sondaggio S.9 e dalla prova dinamica SCPT.2; vista la diversità stratigrafica tra i due punti investigati si prevede una verifica puntuale in fase esecutiva.

In caso di fondazioni profonde, poiché i depositi alluvionali sono sede di falde acquifere, dovranno essere utilizzate camicie di rivestimento o fanghi bentonitici per garantire la stabilità del foro.

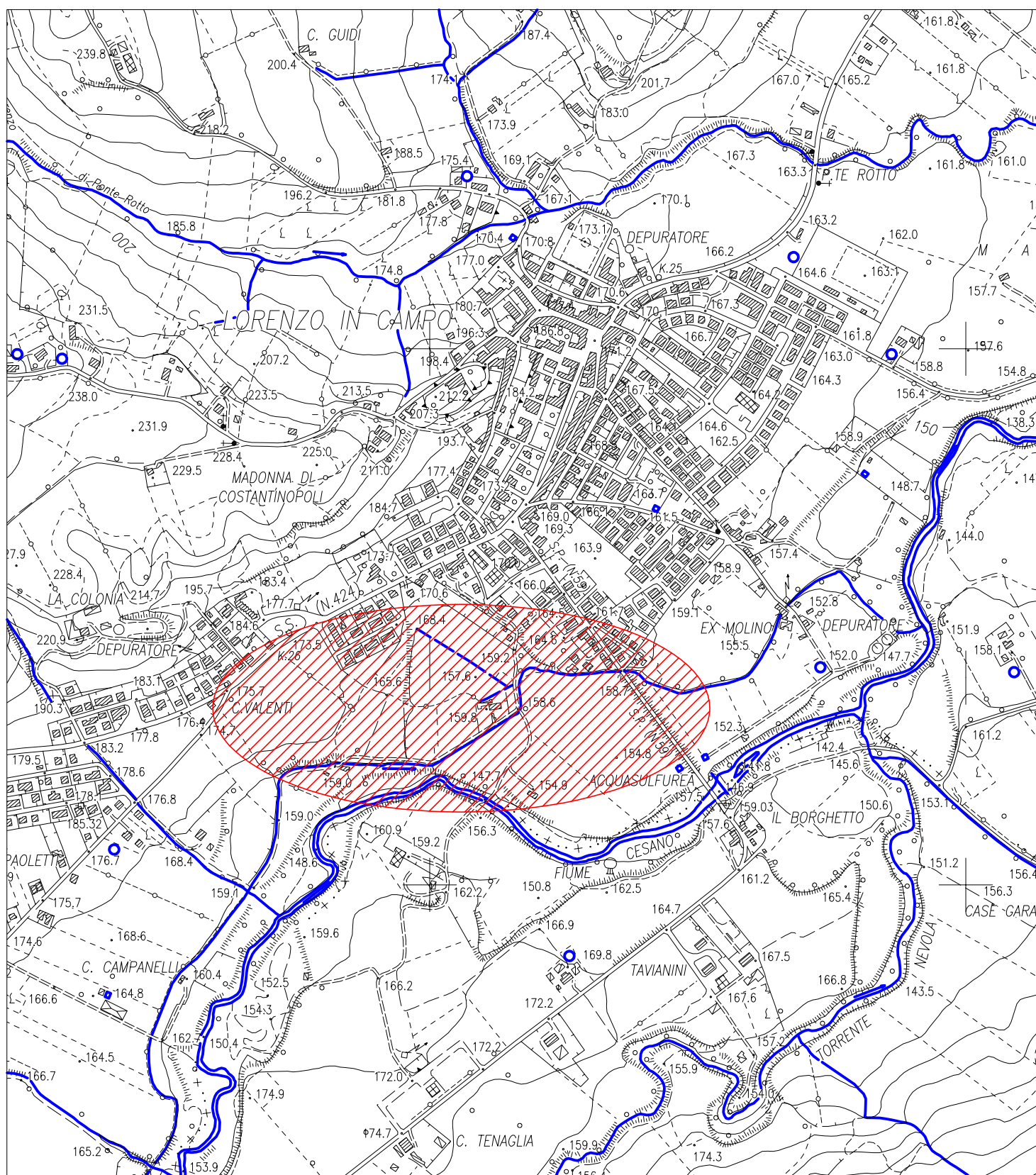
Lo stendimento sismico Masw ubicato in prossimità del manufatto ha fornito come **coefficiente di fondazione** una categoria **C**.

## **ALLEGATO 1**

- RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO scala 1: 10.000
- CARTA GEOLOGICA scala 1: 10.000
- CARTOGRAFIA PAI scala 1: 5.000

# Rilievo aerofotogrammetrico Scala 1:10.000

Foglio 280 - Sezione 280160-291040

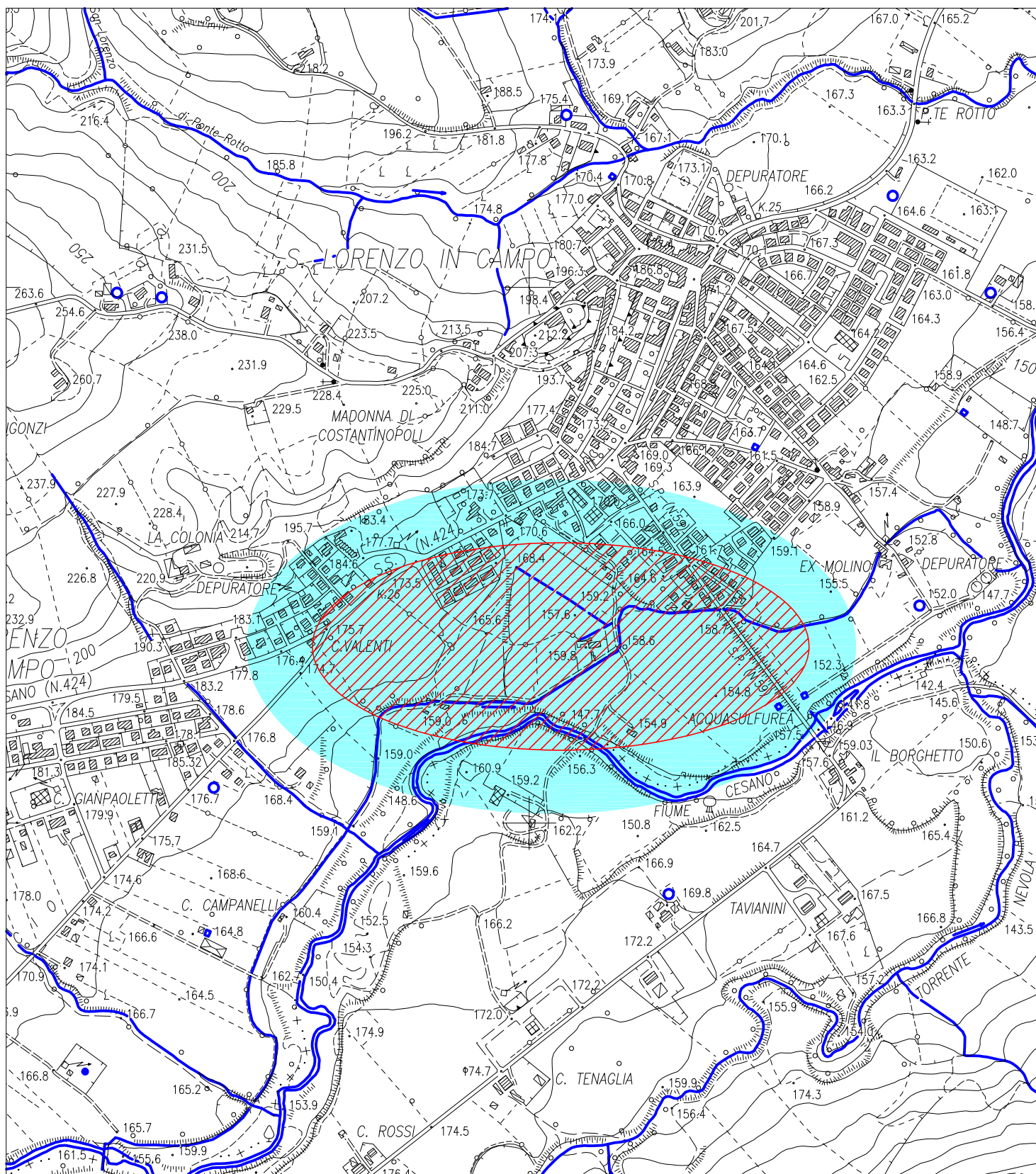


Area in esame



Idrografia superficiale

# Carta Geologica Scala 1:10.000



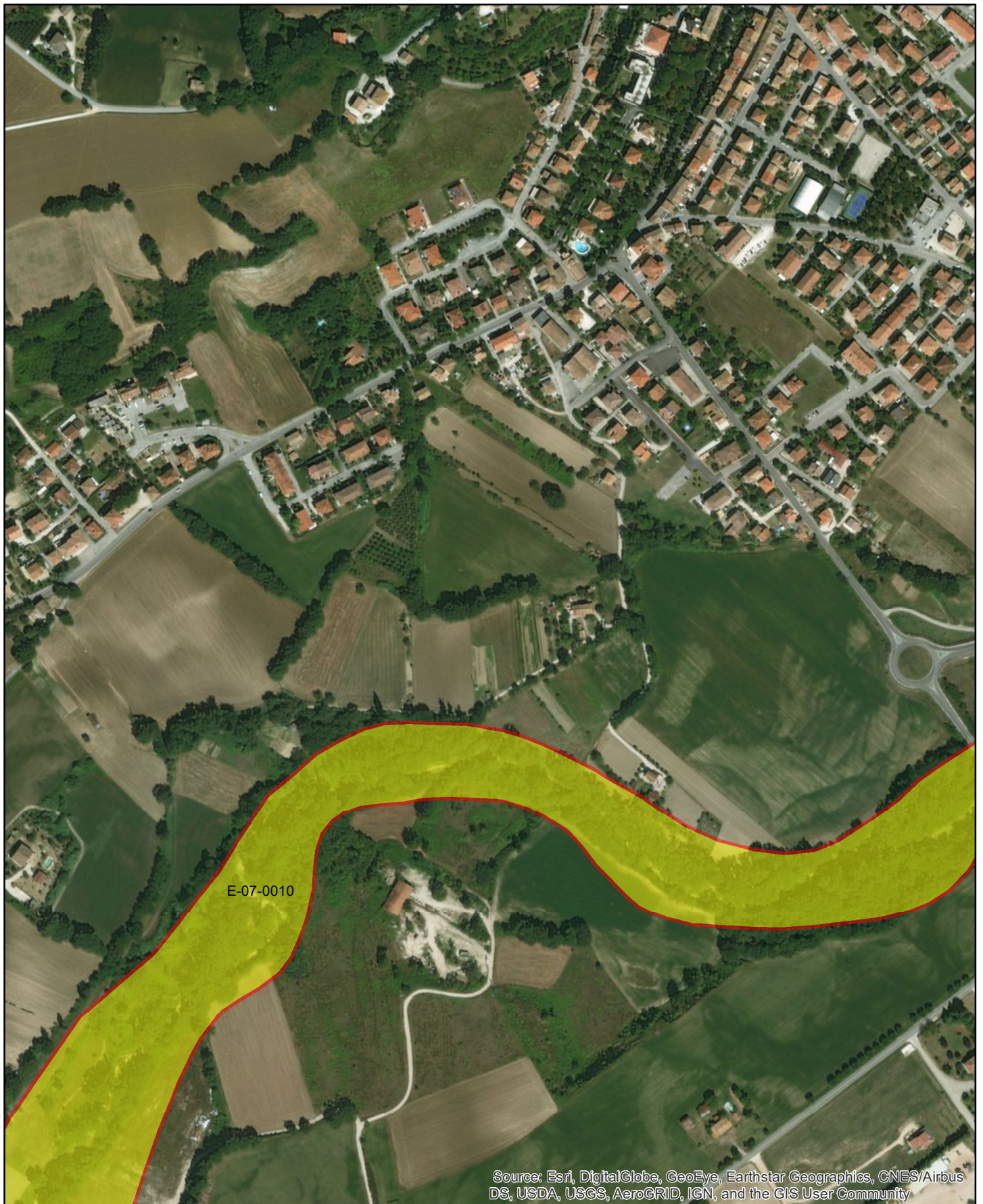
Area in esame



Depositi alluvionali terrazzati







# Carta del Rischio Idrogeologico PAI - Scala 1:5.000



## Legenda

### Rischio


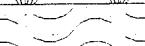
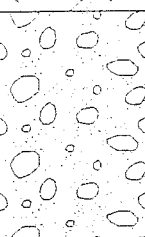
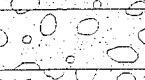


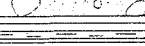
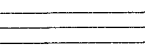
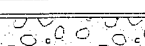
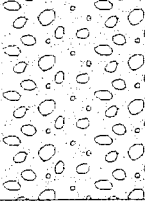
 R1	 R4
 R2	 R3

## **ALLEGATO 2**

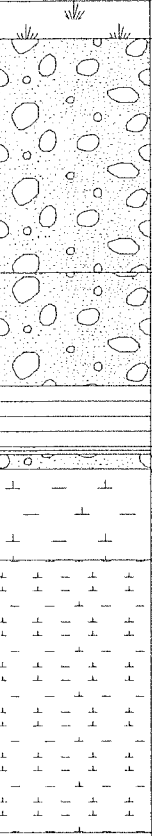
- COLONNE STRATIGRAFICHE
- PROVE LABORATORIO GEOMECCANICO
- FOTO CASSE CAMPIONE
- TABULATI PROVA SISMICA MASW



Località: S. Lorenzo in Campo (PU) S.S 424	Studio Associato di Geologia
Committente: Provincia di Pesaro-Urbino	dott. Sergio Caturani & dott. Vincenzo Mariani
Sondaggio: S8	Via Pio La Torre, 15/b Montecchio (Pesaro)
Tipo di sondaggio: Carotaggio continuo 101 mm.	tel. e fax 0721.497593
Quota:	p.iva:01367010418
Data ultimazione:	

Scala 1:100	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Pocket kg/cmq	S.P.T. 10 20 30 40	Tubo aperto
	0.50		terreno agrario				
1	1.20		argilla di colore nocciola a media consistenza		3.0 3.2 3.0		
2			ghiaia fine-medio-grossolana sub-arrotondata e a spigoli vivi, mediamente addensata, in matrice limoso-sabbiosa di colore nocciola chiaro con ciottoli			2 2.45 3.1 3.55	R
3							
4	4.30		ghiaia fine e medio-grossolana, sub-arrotondata e a spigoli vivi, mediamente addensata, in matrice limosa, limoso-sabbiosa di colore nocciola			4.5 4.95	
5	5.10		ghiaia fine e medio-grossolana, sub-arrotondata e a spigoli vivi in matrice limosa, limoso-sabbiosa di colore nocciola, con livelli/strati argillosi grigi con ghiaietto a bassa consistenza				
6	6.50		ghiaia fine e medio-grossolana, sub-arrotondata e a spigoli vivi in matrice limosa, limoso-sabbiosa di colore nocciola				
7	7.80		argilla di colore grigio con ghiaietto, a bassa consistenza		0.8/1.0		
8	8.00		argilla sabbiosa di colore nocciola		0.8		
9	8.10		argilla di colore grigio, plastico-molle con ghiaietto			9	R
10	9.00		ghiaia fina e medio-grossolana, addensata in matrice limosa, di colore nocciola chiaro - bianco rosato, sub-arrotondata			9.45	
11							
12	12.00						12.00
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Località: S. Lorenzo in Campo (PU) S.S 424	Studio Associato di Geologia dott. Sergio Caturani & dott. Vincenzo Mariani Via Pio La Torre, 15/b Montecchio (Pesaro) tel. e fax 0721.497593 p.iva:01367010418
Committente: Provincia di Pesaro-Urbino	
Sondaggio: S9	
Tipo di sondaggio: Carotaggio continuo 101 mm.	
Quota:	
Data ultimazione:	

Scala 1:100	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Pocket kg/cmq	S.P.T. 10 20 30 40	Tubo aperto
1	0.50		argilla nocciola di colore scuro (terreno agrario)				
2			ghiaia fine e medio-grossolana, sub-arrotondata, mediamente ad-densata in matrice sabbioso-limosa			2	
3						2.45	
4	3.60		ghiaia fine-medio-grossolana sub-arrotondata in matrice limosa di colore nocciola chiaro-rosato				
5	5.10		argilla di colore grigio, plasatico-molle, a bassa consistenza				
6	5.90		argilla di colore grigio a media consistenza con inglobata ghiaia me-dio-grossolana sub-arrotondata		4.0	6.1	
7	6.00		ghiaia medio-grossolano-fine, sub-arrotondata con argilla		4.0	6.55	
8	6.20		argilla marnosa di colore grigio-azzurro, consistente-compatta con inclusi ghiaiosi sub-arrotondati		6.0		
9	7.40		argilla marnosa di colore grigio compatta (formazione)		7.0		
10					6.0		
11	11.00			10.50 C1 11.00	8.0/9.0 9.0/10.0		
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

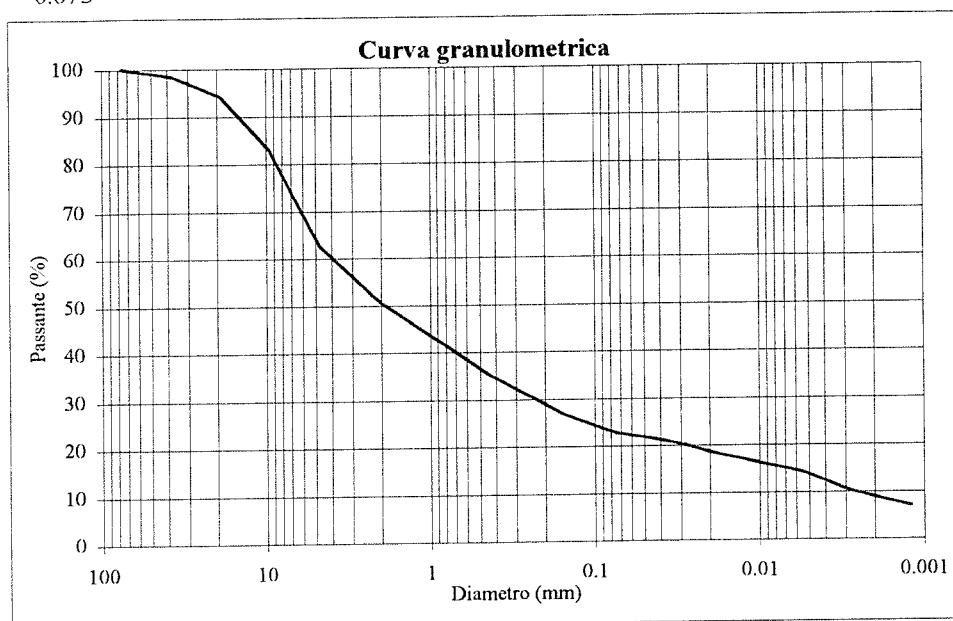


Campione: S8C1

Profondità: 2,0 - 2,5 m

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
75	100	0.0393	21.2
37.5	98.4	0.0282	20.1
19	94.2	0.0203	18.6
9.5	82.9	0.0107	16.6
4.75	62.6	0.0055	14.2
2	50.4	0.0040	12.3
0.850	42.0	0.0029	10.4
0.425	34.9	0.0020	9.0
0.250	30.7	0.0012	7.0
0.150	26.6		
0.075	22.8		



Ghiaia 49.6%

Sabbia 28.3%

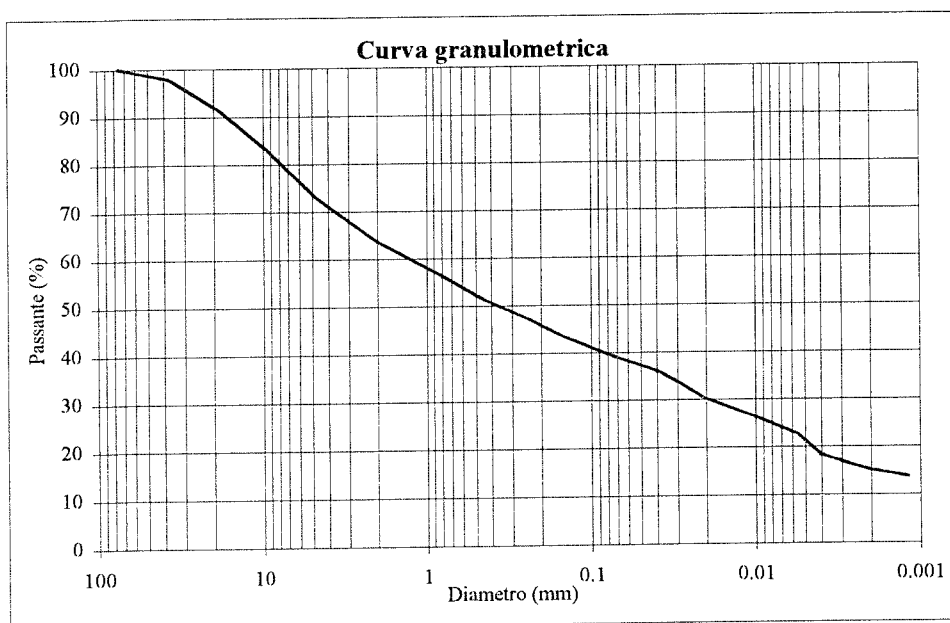
Limo 13.3%

Argilla 8.8%

Ghiaia con sabbia limosa  
eolmente argillosa

**Campione: S8C2****Profondità: 4,5 - 5,0 m****ANALISI GRANULOMETRICA**

<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>
75	100	0.0395	36.0
37.5	97.8	0.0284	33.3
19	91.8	0.0205	30.2
9.5	83.2	0.0108	26.8
4.75	72.9	0.0056	22.7
2	63.6	0.0040	18.4
0.850	56.8	0.0029	16.6
0.425	50.9	0.0020	15.2
0.250	47.4	0.0012	13.7
0.150	43.6		
0.075	39.3		



Ghiaia 36.4%

Sabbia 25.7%

Limo 22.7%

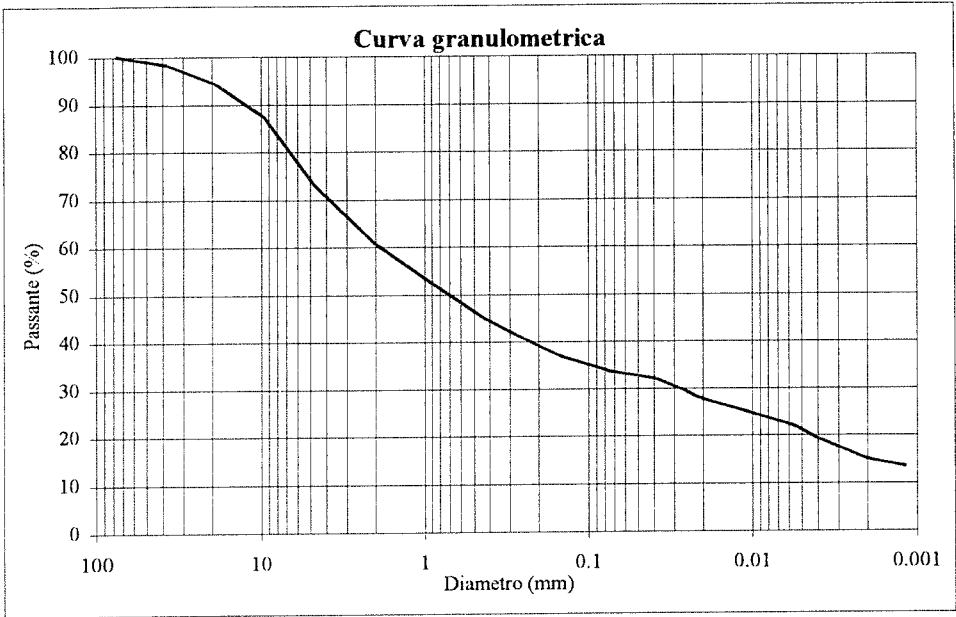
Argilla 15.2%

Ghiaia con sabbia  
limosa argillosa

Campione: S9C1	Profondità: 2,0 - 2,5 m
----------------	-------------------------

ANALISI GRANULOMETRICA

Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
75	100	0.0392	32.1
37.5	98.3	0.0282	30.1
19	94.4	0.0203	27.8
9.5	87.3	0.0107	25.0
4.75	73.2	0.0055	21.9
2	60.7	0.0040	19.2
0.850	51.8	0.0028	17.1
0.425	44.8	0.0020	15.1
0.250	40.7	0.0012	13.4
0.150	37.1		
0.075	33.7		

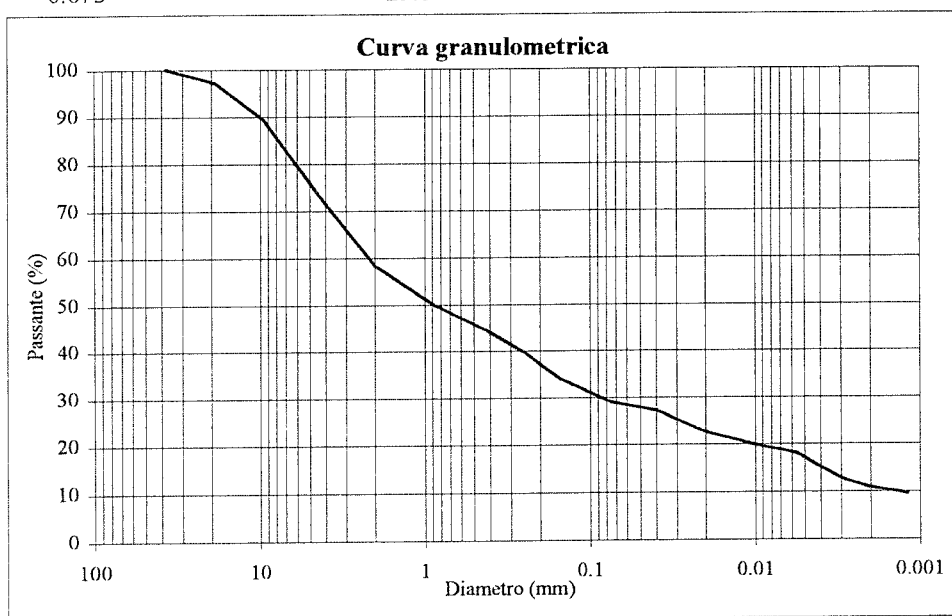


- Ghiaia 39.3%
- Sabbia 27.7%
- Limo 18.0%
- Argilla 15.0%

Ghiaia con sabbia  
limosa argillosa

**Campione: S9C2****Profondità: 3,6 - 4,0 m****ANALISI GRANULOMETRICA**

<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>
37.5	100	0.0392	27.2
19	97.1	0.0283	24.9
9.5	89.3	0.0204	22.8
4.75	74.8	0.0108	20.2
2	58.4	0.0055	18.0
0.850	49.7	0.0040	15.1
0.425	44.7	0.0029	12.6
0.250	39.8	0.0021	11.0
0.150	33.9	0.0012	9.7
0.075	29.0		



Ghiaia 41.6%

Sabbia 30.1%

Limo 17.4%

Argilla 10.9%

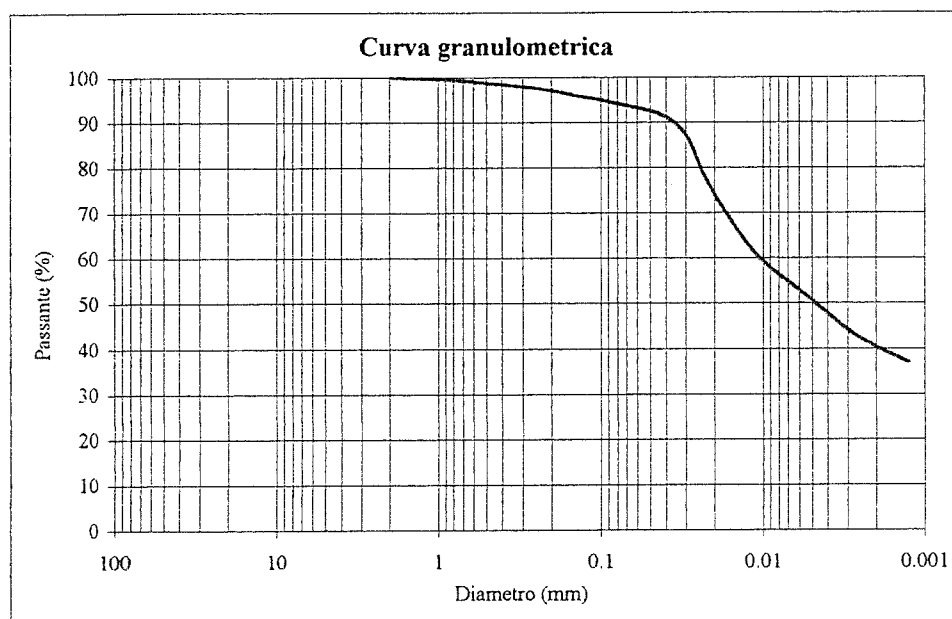
Ghiaia con sabbia limosa  
argillosa

**Campione: S9C1****Profondità: 10.5 - 11.0 m**

Descrizione: Limo argilloso grigio scuro

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
2	100	0.0416	91.51
0.850	99.52	0.0299	86.93
0.425	98.61	0.0218	76.48
0.250	97.60	0.0117	61.85
0.150	96.16	0.0060	52.93
0.075	93.97	0.0043	48.66
		0.0031	44.36
		0.0022	41.06
		0.0013	37.00



Ghiaia	0.00%
Sabbia	7.13%
Limo	52.59%
Argilla	40.27%

Limo con argilla  
debolmente sabbioso



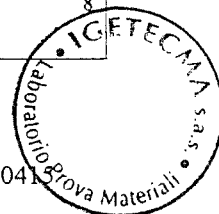
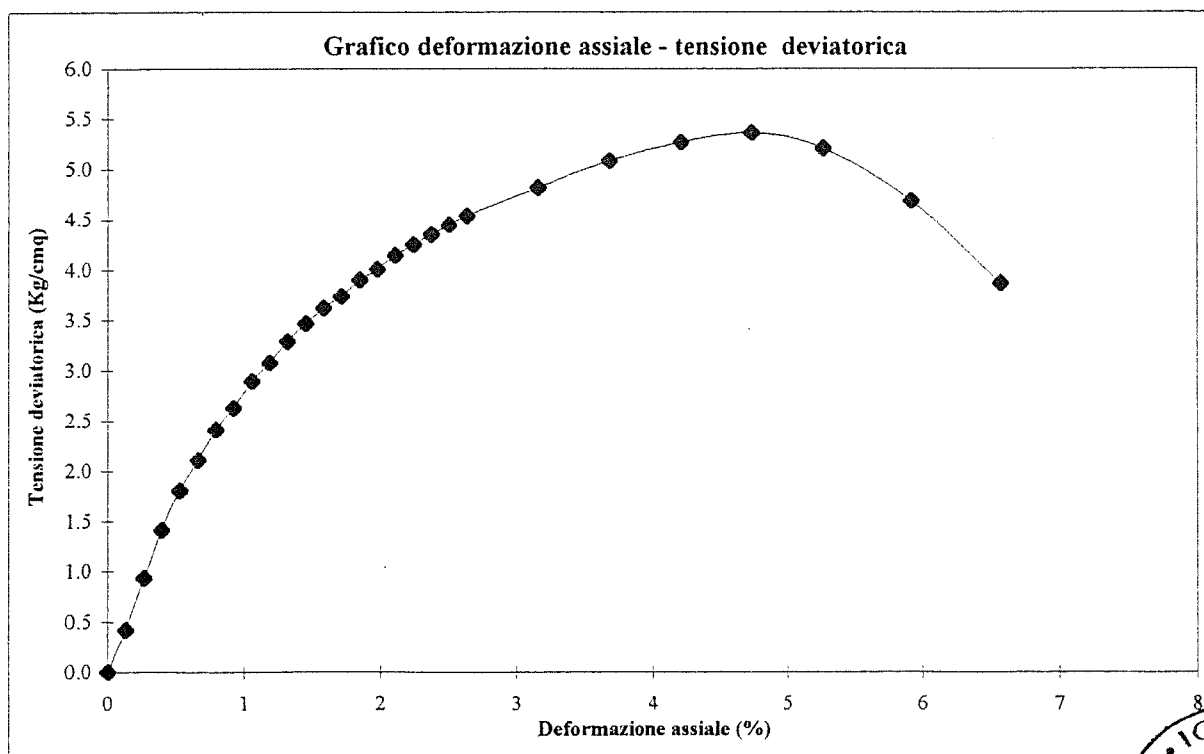
Campione: S9C1

Profondità: 10.5 - 11.0 m

**PROVA DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA**

Peso volume naturale (gr/cmc)	2.02
Peso volume secco (gr/cmc)	1.74
Contenuto d'acqua (%)	16.48
Vel. def. (mm/min)	1.27
Sigma a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.366
Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.68
Modulo elastico tangente iniziale (kg/cm <sup>2</sup> )	454.3

$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0.13	0.421	1.71	3.732	5.25	5.211
0.26	0.932	1.84	3.898	5.91	4.689
0.39	1.411	1.97	4.003	6.57	3.867
0.53	1.800	2.10	4.139		
0.66	2.100	2.23	4.247		
0.79	2.404	2.36	4.348		
0.92	2.622	2.50	4.443		
1.05	2.888	2.63	4.531		
1.18	3.072	3.15	4.812		
1.31	3.285	3.68	5.082		
1.44	3.465	4.20	5.267		
1.58	3.617	4.73	5.366		



**Campione: S9C1****Profondità: 10.5 - 11.0 m****PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA DRENATA**

	<b>Provino 1</b>	<b>Provino 2</b>	<b>Provino 3</b>
Peso di volume naturale iniziale (gr/cmc)	2.02	2.02	2.02
Peso di volume naturale finale (gr/cmc)	2.06	2.10	2.15
Peso di volume secco iniziale (gr/cmc)	1.73	1.73	1.73
Peso di volume secco finale (gr/cmc)	1.76	1.80	1.85
Contenuto d'acqua iniziale (%)	16.72	16.56	16.40
Contenuto d'acqua finale (%)	16.85	16.43	16.01
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.004	0.004	0.004
Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5	2.5	3.5
Tau a rottura (kg/cm <sup>2</sup> )	0.862	1.179	1.582

<b>Provino 1</b>		<b>Provino 2</b>		<b>Provino 3</b>	
Scorrimento (mm)	Tau (Kg/cm <sup>2</sup> )	Scorrimento (mm)	Tau (Kg/cm <sup>2</sup> )	Scorrimento (mm)	Tau (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.03	0.030	0.04	0.083	0.05	0.156
0.06	0.081	0.09	0.212	0.13	0.421
0.13	0.186	0.17	0.359	0.21	0.630
0.20	0.255	0.28	0.492	0.36	0.845
0.29	0.353	0.40	0.615	0.50	1.009
0.43	0.464	0.56	0.739	0.68	1.154
0.58	0.548	0.73	0.829	0.89	1.245
0.69	0.612	0.89	0.908	1.09	1.343
0.79	0.656	1.04	0.955	1.29	1.387
0.89	0.696	1.19	0.995	1.49	1.418
0.96	0.718	1.34	1.029	1.73	1.456
1.04	0.741	1.49	1.058	1.94	1.486
1.12	0.767	1.63	1.085	2.15	1.510
1.23	0.798	1.81	1.115	2.40	1.534
1.37	0.829	2.01	1.142	2.65	1.552
1.48	0.845	2.16	1.160	2.85	1.567
1.59	0.856	2.37	1.174	3.15	1.577
1.69	0.862	2.53	1.179	3.37	1.582
1.79	0.851	2.69	1.174	3.59	1.579
1.92	0.825	2.86	1.157	3.81	1.566
2.00	0.789	3.00	1.132	4.02	1.546

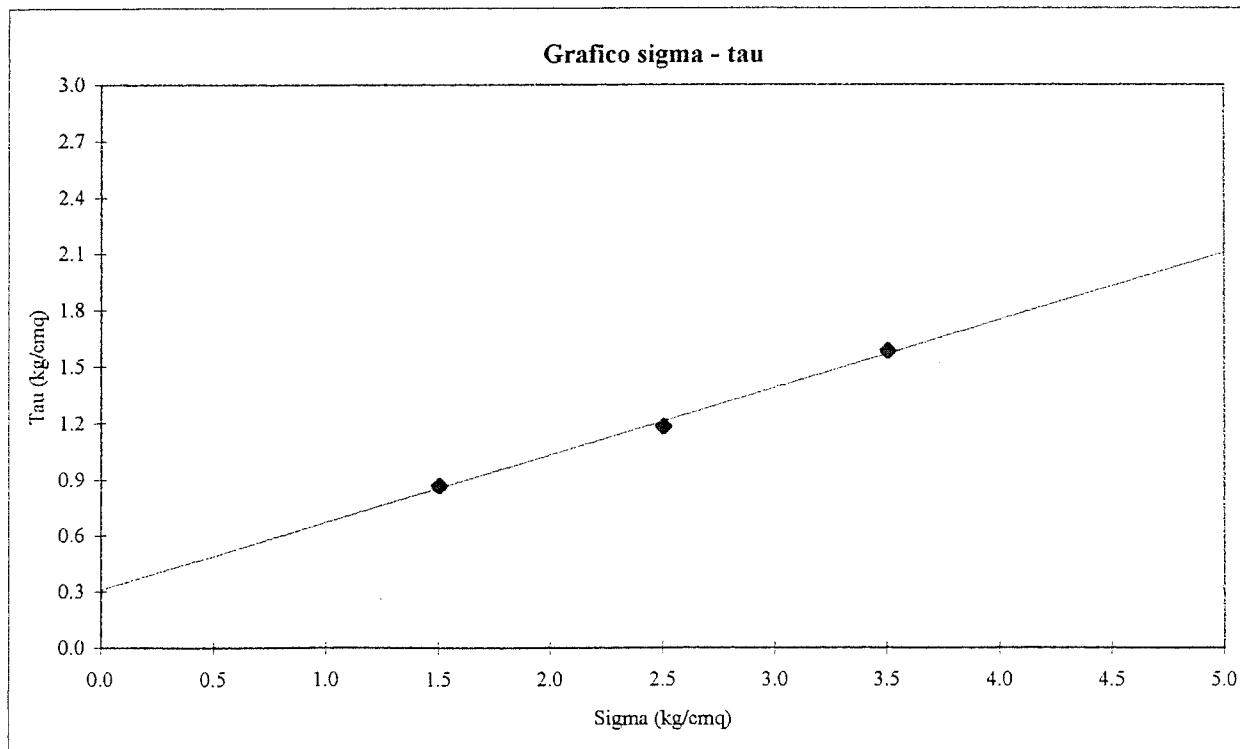
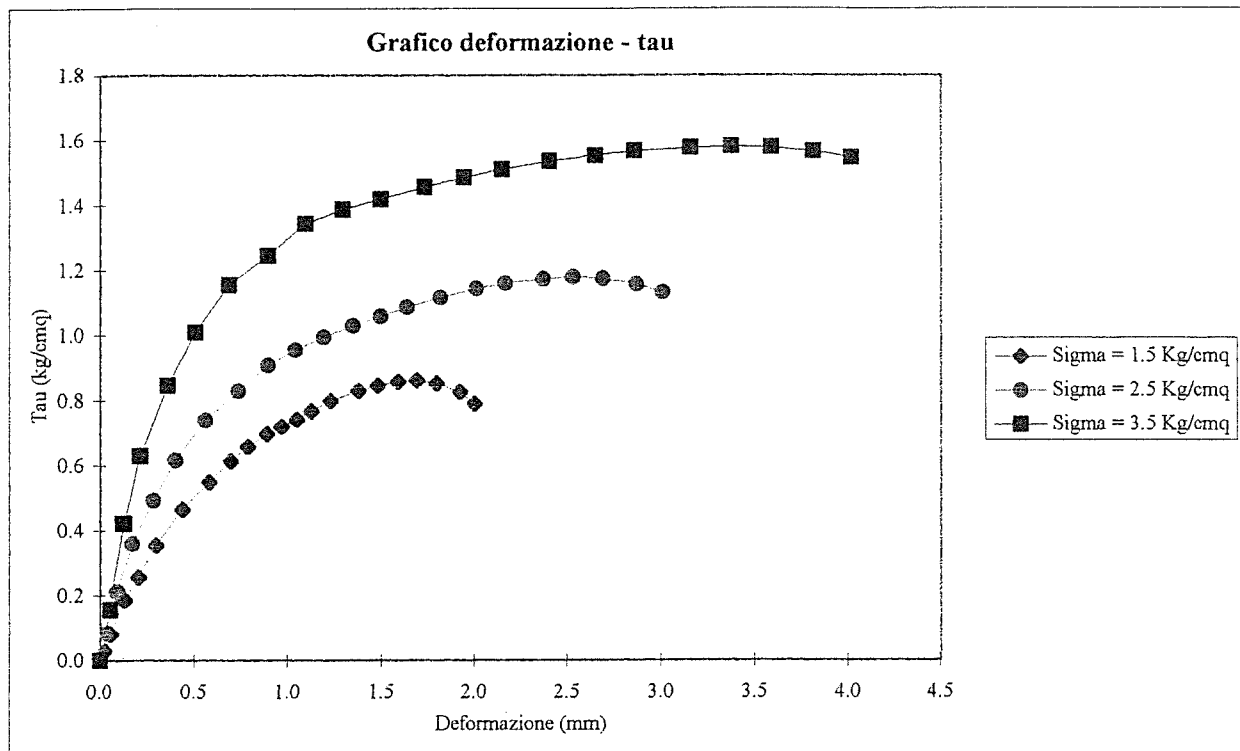
$$C = 0.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varphi = 19.8^\circ$$



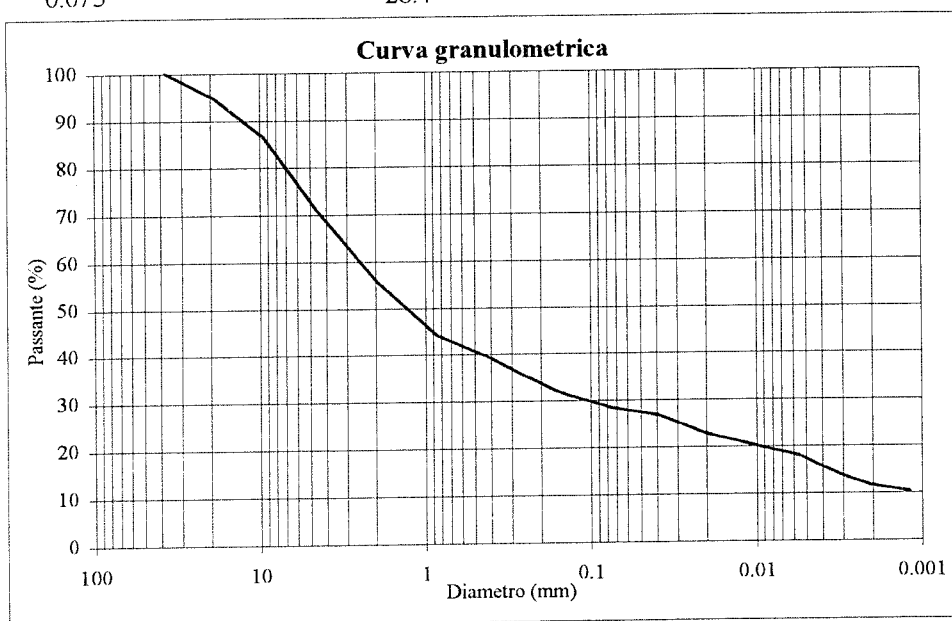
Campione: S9C1

Profondità: 10.5 - 11.0 m



**Campione: S10C1****Profondità: 3,0 - 3,5 m****ANALISI GRANULOMETRICA**

<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>
37.5	100	0.0393	26.8
19	94.7	0.0283	24.9
9.5	86.5	0.0204	22.8
4.75	71.8	0.0108	20.4
2	56.1	0.0055	18.0
0.850	44.1	0.0040	15.5
0.425	39.7	0.0029	13.4
0.250	35.3	0.0021	11.7
0.150	31.6	0.0012	10.3
0.075	28.4		



Ghiaia 43.9%

Sabbia 28.3%

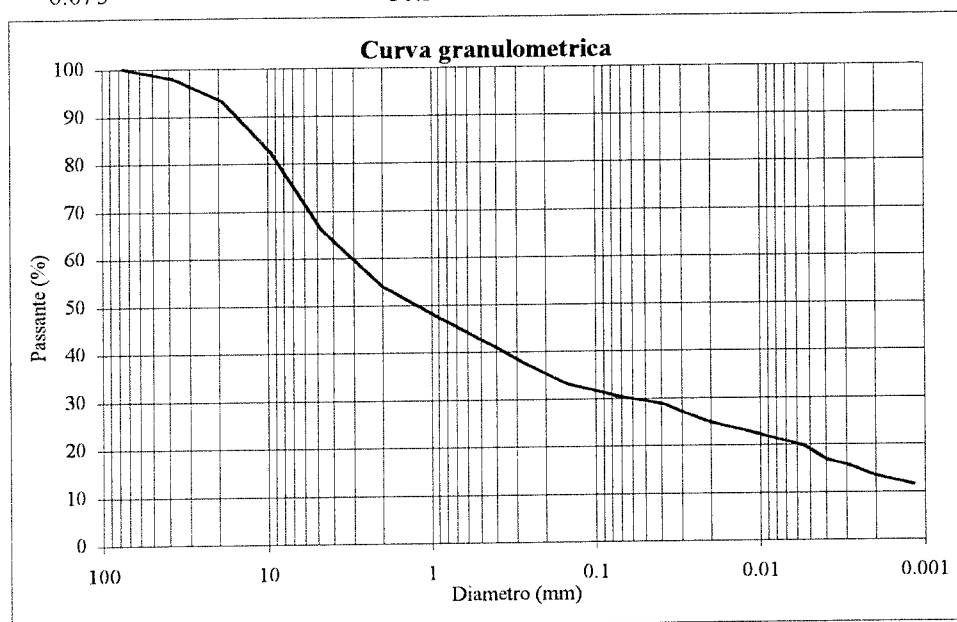
Limo 16.2%

Argilla 11.6%

Ghiaia con sabbia limosa  
argillosa

**Campione: S10C2****Profondità: 6,0 - 6,5 m****ANALISI GRANULOMETRICA**

<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Passante (%)</b>
75	100	0.0390	28.7
37.5	97.8	0.0281	26.7
19	93.3	0.0202	24.9
9.5	82.4	0.0106	22.4
4.75	66.2	0.0054	19.7
2	54.0	0.0039	16.8
0.850	46.9	0.0028	15.5
0.425	41.4	0.0020	13.5
0.250	36.9	0.0012	11.6
0.150	33.2		
0.075	30.5		



Ghiaia 46.0%

Sabbia 24.3%

Limo 16.3%

Argilla 13.4%

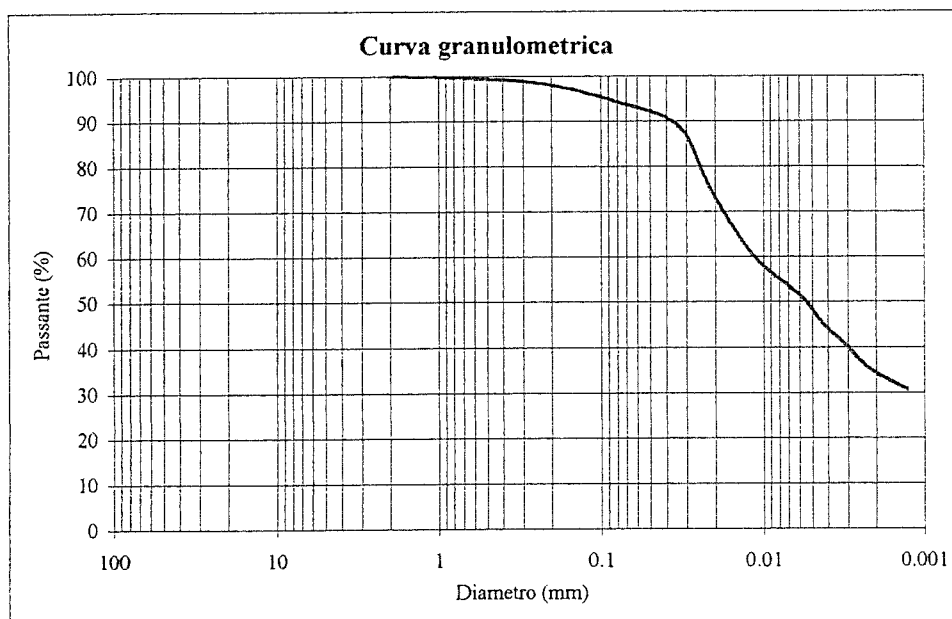
Ghiaia con sabbia  
limosa argillosa

**Campione: S10C1****Profondità: 12.0 - 12.7 m**

Descrizione: Limo argilloso grigio scuro

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
2	100	0.0415	91.12
0.850	99.78	0.0298	86.53
0.425	99.35	0.0218	75.53
0.250	98.57	0.0117	60.36
0.150	97.01	0.0060	51.47
0.075	94.06	0.0043	45.15
		0.0031	40.29
		0.0022	35.19
		0.0013	30.69



Ghiaia 0.00%

Sabbia 7.26%

Limo 58.52%

Argilla 34.23%

Limo con argilla  
debolmente sabbioso

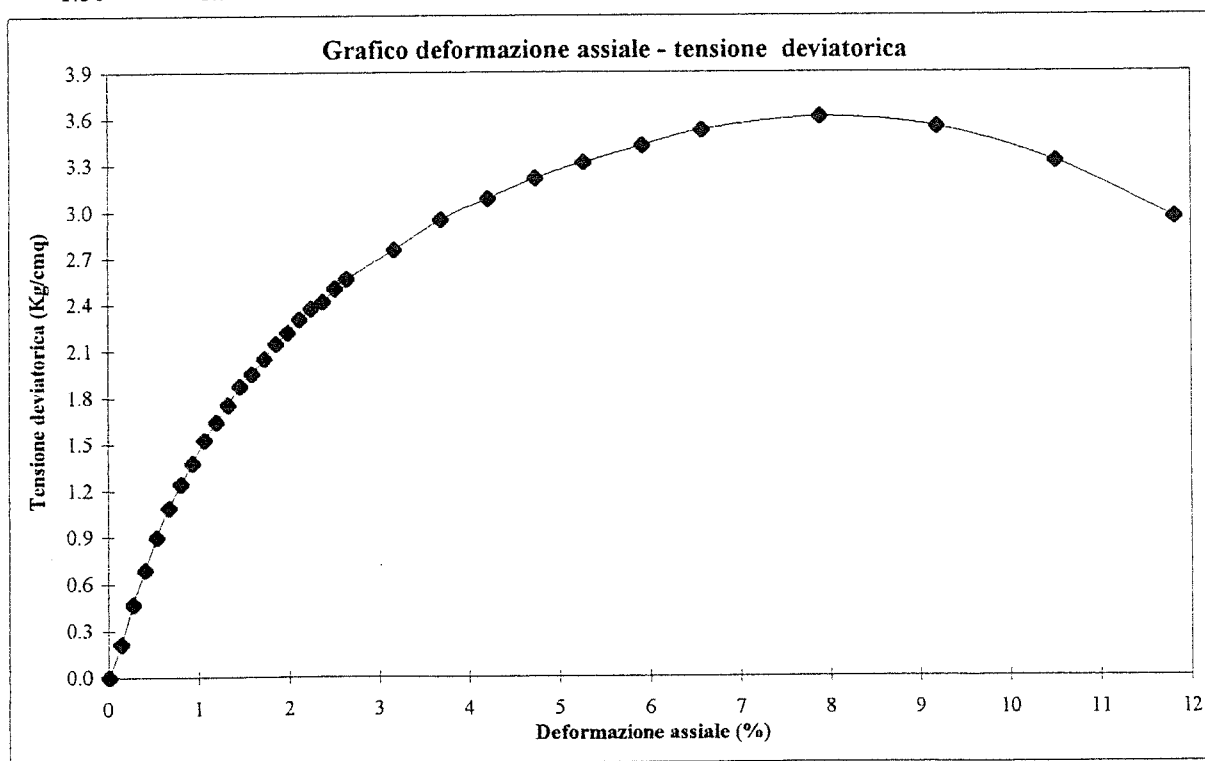
Campione: S10C1

Profondità: 12.0 - 12.7 m

**PROVA DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA**

Peso volume naturale (gr/cmc)	2.00
Peso volume secco (gr/cmc)	1.69
Contenuto d'acqua (%)	18.23
Vel. def. (mm/min)	1.27
Sigma a rottura (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.611
Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.81
Modulo elastico tangente iniziale (kg/cm <sup>2</sup> )	212.8

$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0.13	0.212	1.71	2.051	5.25	3.317
0.26	0.467	1.84	2.146	5.91	3.426
0.39	0.689	1.97	2.217	6.57	3.526
0.53	0.899	2.10	2.303	7.88	3.611
0.66	1.085	2.23	2.374	9.19	3.545
0.79	1.240	2.36	2.417	10.51	3.321
0.92	1.376	2.50	2.505	11.82	2.956
1.05	1.525	2.63	2.564		
1.18	1.639	3.15	2.752		
1.31	1.751	3.68	2.947		
1.44	1.869	4.20	3.082		
1.58	1.950	4.73	3.213		



**Campione: S10C1****Profondità: 12.0 - 12.7 m****PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA DRENATA**

	<b>Provino 1</b>	<b>Provino 2</b>	<b>Provino 3</b>
Peso di volume naturale iniziale (gr/cmc)	2.01	2.00	1.99
Peso di volume naturale finale (gr/cmc)	2.06	2.09	2.14
Peso di volume secco iniziale (gr/cmc)	1.70	1.69	1.68
Peso di volume secco finale (gr/cmc)	1.74	1.77	1.82
Contenuto d'acqua iniziale (%)	18.37	18.53	18.69
Contenuto d'acqua finale (%)	18.40	18.01	17.61
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.004	0.004	0.004
Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5	2.5	3.5
Tau a rottura (kg/cm <sup>2</sup> )	0.800	1.173	1.574

<b>Provino 1</b>		<b>Provino 2</b>		<b>Provino 3</b>	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
0.05	0.034	0.07	0.085	0.07	0.140
0.10	0.088	0.15	0.220	0.17	0.367
0.21	0.186	0.28	0.362	0.29	0.552
0.31	0.270	0.45	0.507	0.49	0.774
0.46	0.362	0.64	0.627	0.70	0.922
0.68	0.467	0.91	0.744	0.96	1.048
0.91	0.543	1.20	0.833	1.25	1.152
1.09	0.600	1.46	0.906	1.53	1.236
1.24	0.633	1.69	0.958	1.80	1.314
1.39	0.666	1.93	0.995	2.08	1.356
1.51	0.685	2.17	1.025	2.39	1.392
1.64	0.704	2.40	1.059	2.68	1.446
1.77	0.724	2.62	1.085	2.95	1.478
1.93	0.748	2.90	1.114	3.30	1.502
2.16	0.773	3.22	1.138	3.64	1.534
2.32	0.786	3.47	1.155	3.92	1.554
2.49	0.795	3.78	1.167	4.32	1.568
2.65	0.800	4.04	1.173	4.62	1.574
2.82	0.794	4.29	1.168	4.91	1.573
2.99	0.775	4.55	1.156	5.21	1.572
3.14	0.733	4.80	1.133	5.49	1.567

$$C = 0.22 \text{ kg/cm}^2$$

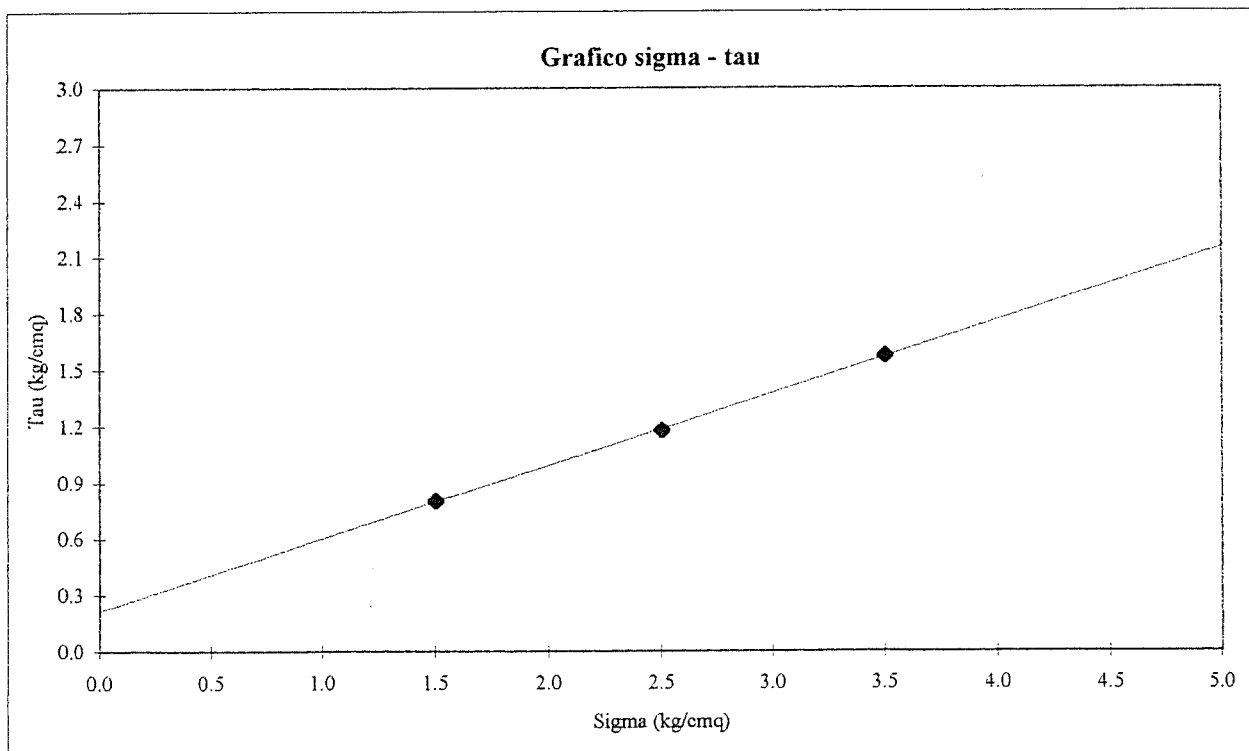
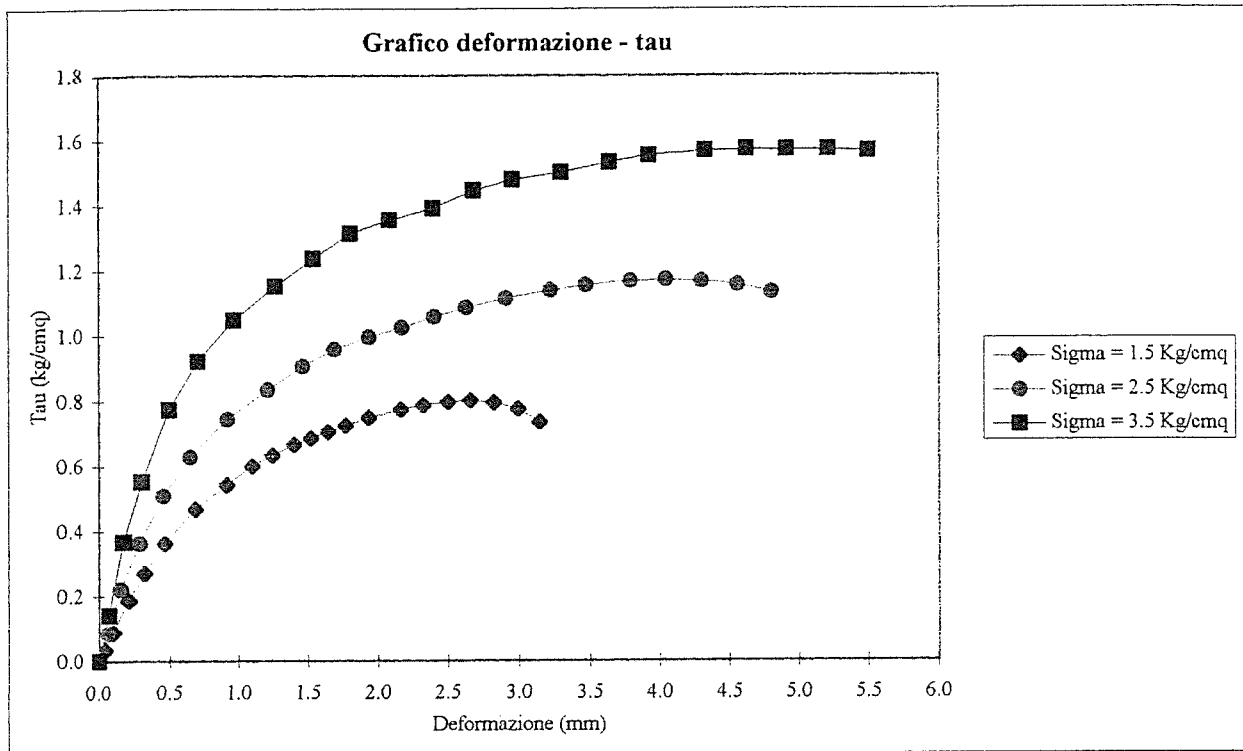
$$\phi = 21.1^\circ$$





Campione: S10C1

Profondità: 12.0 - 12.7 m



**TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 217/2001**

LOCALITA': S. Lorenzo in Campo (PU)

CAMPIONE	S1R1	S2R1	S2R2	S2R3	S4R1	S4R2
Profondità metri	6.0 - 6.5	6.0 - 6.5	9.0 - 9.5	13.0 - 13.5	3.5 - 4.0	6.0 - 6.5
<b>Analisi granulometrica</b>						
Ghiaia (%)	37.52	40.49	43.44	50.13	48.27	26.36
Sabbia (%)	26.79	30.44	25.91	31.82	26.96	38.82
Limo (%)	20.10	17.34	17.87	10.17	14.12	21.17
Argilla (%)	15.59	11.73	12.78	7.87	10.65	13.65

CAMPIONE	S4R3	S5R1	S5R2	S6R1	S7R1	S8R1
Profondità metri	9.0 - 9.5	6.0 - 6.5	9.0 - 9.6	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5	2.0 - 2.5
<b>Analisi granulometrica</b>						
Ghiaia (%)	45.84	51.35	37.23	26.29	38.55	49.58
Sabbia (%)	26.94	22.76	26.78	37.05	31.02	28.27
Limo (%)	18.06	14.75	21.37	21.77	18.64	13.31
Argilla (%)	9.16	11.14	14.63	14.89	11.79	8.84

CAMPIONE	S8R2	S9R1	S9R2	S10R1	S10R2
Profondità metri	4.5 - 5.0	2.0 - 2.5	3.6 - 4.0	3.0 - 3.5	6.0 - 6.5
Ghiaia (%)	36.41	39.28	41.63	43.95	46.02
Sabbia (%)	25.69	27.70	30.11	28.33	24.25
Limo (%)	22.75	18.01	17.36	16.15	16.28
Argilla (%)	15.15	15.01	10.90	11.57	13.44



## SONDAGGIO 8





## SONDAGGIO 9





## SONDAGGIO 10





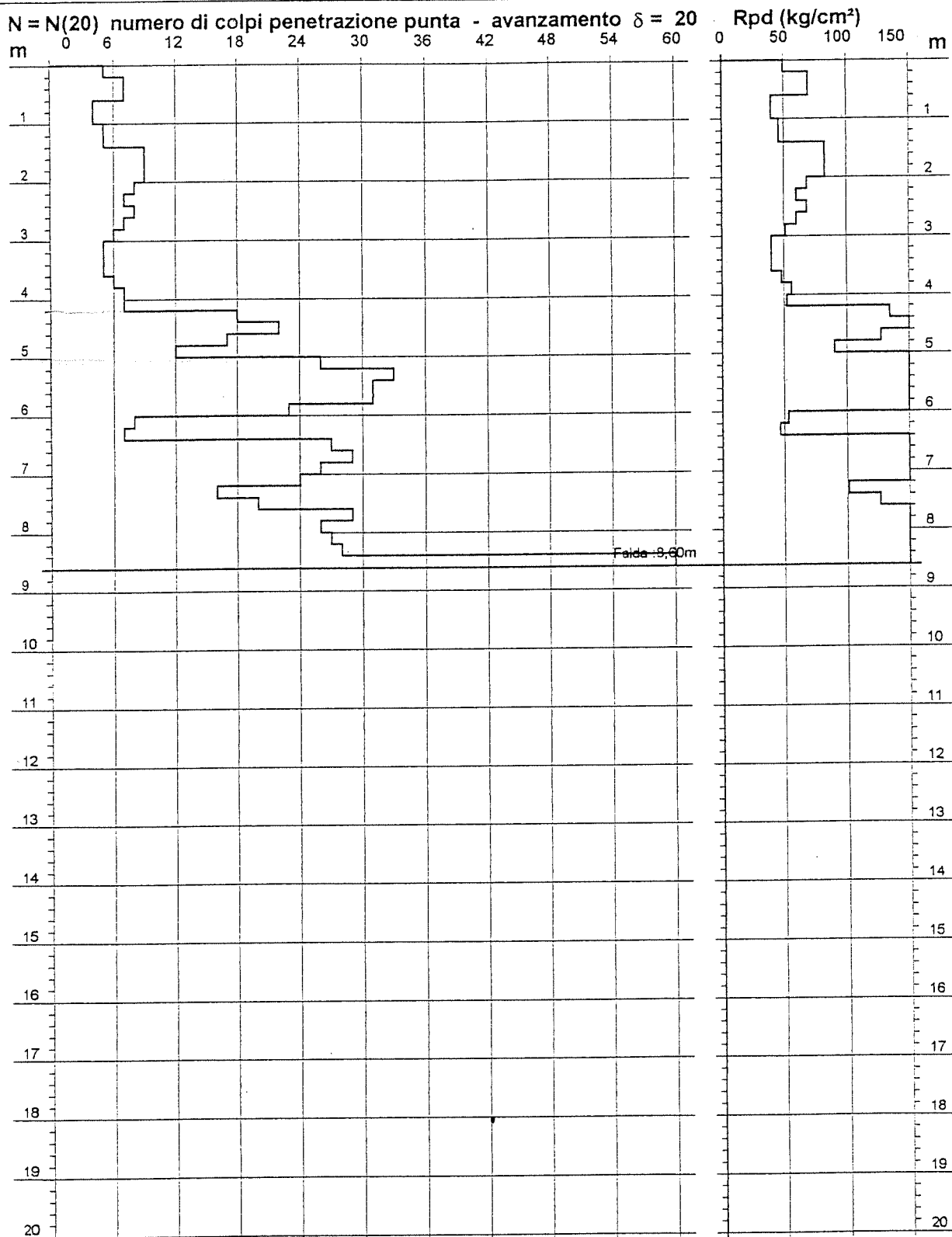
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 100

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 8,60 m da quota inizio  
- pagina : 1



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 8,60 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	5	49,7	2	4,40 - 4,60	22	164,7	6
0,20 - 0,40	7	69,6	2	4,60 - 4,80	17	127,3	6
0,40 - 0,60	7	69,6	2	4,80 - 5,00	12	89,8	6
0,60 - 0,80	4	39,8	2	5,00 - 5,20	26	183,3	7
0,80 - 1,00	4	39,8	2	5,20 - 5,40	33	232,6	7
1,00 - 1,20	5	46,0	3	5,40 - 5,60	31	218,5	7
1,20 - 1,40	5	46,0	3	5,60 - 5,80	31	218,5	7
1,40 - 1,60	9	82,7	3	5,80 - 6,00	23	162,1	7
1,60 - 1,80	9	82,7	3	6,00 - 6,20	8	53,3	8
1,80 - 2,00	9	82,7	3	6,20 - 6,40	7	46,6	8
2,00 - 2,20	8	68,3	4	6,40 - 6,60	27	179,9	8
2,20 - 2,40	7	59,8	4	6,60 - 6,80	29	193,2	8
2,40 - 2,60	8	68,3	4	6,80 - 7,00	26	173,2	8
2,60 - 2,80	7	59,8	4	7,00 - 7,20	24	151,5	9
2,80 - 3,00	6	51,3	4	7,20 - 7,40	16	101,0	9
3,00 - 3,20	5	39,9	5	7,40 - 7,60	20	126,3	9
3,20 - 3,40	5	39,9	5	7,60 - 7,80	29	183,1	9
3,40 - 3,60	5	39,9	5	7,80 - 8,00	26	164,2	9
3,60 - 3,80	6	47,9	5	8,00 - 8,20	27	162,0	10
3,80 - 4,00	7	55,9	5	8,20 - 8,40	28	168,0	10
4,00 - 4,20	7	52,4	6	8,40 - 8,60	64	384,0	10
4,20 - 4,40	18	134,7	6				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta$  = 20 cm ]

- A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO



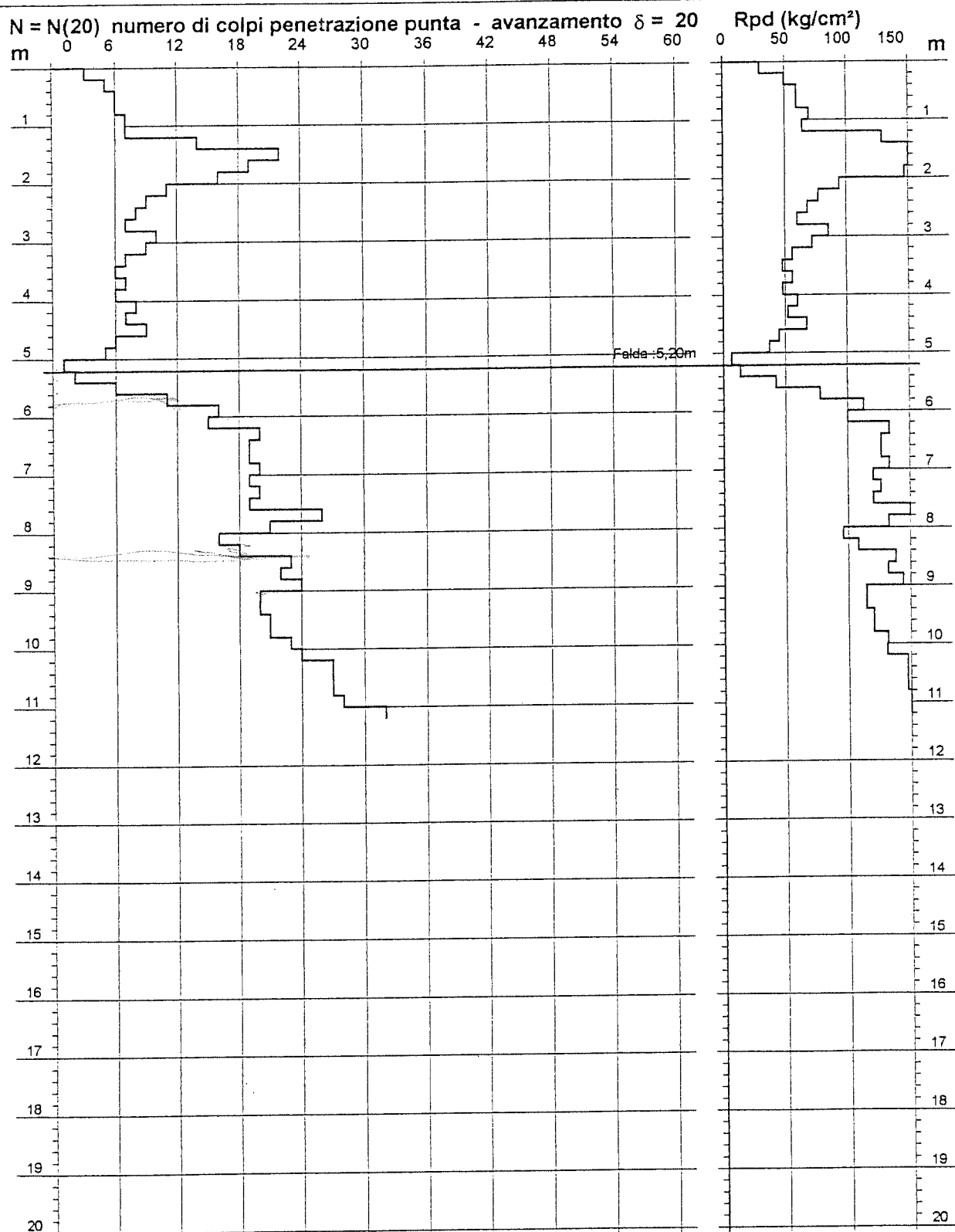
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 100

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 5,20 m da quota inizio  
- pagina : 1



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 5,20 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	3	29,8	2	5,60 - 5,80	11	77,5	7
0,20 - 0,40	5	49,7	2	5,80 - 6,00	16	112,8	7
0,40 - 0,60	6	59,7	2	6,00 - 6,20	15	99,9	8
0,60 - 0,80	6	59,7	2	6,20 - 6,40	20	133,2	8
0,80 - 1,00	7	69,6	2	6,40 - 6,60	19	126,6	8
1,00 - 1,20	7	64,3	3	6,60 - 6,80	19	126,6	8
1,20 - 1,40	14	128,7	3	6,80 - 7,00	20	133,2	8
1,40 - 1,60	22	202,2	3	7,00 - 7,20	19	120,0	9
1,60 - 1,80	19	174,6	3	7,20 - 7,40	20	126,3	9
1,80 - 2,00	16	147,1	3	7,40 - 7,60	19	120,0	9
2,00 - 2,20	11	94,0	4	7,60 - 7,80	26	164,2	9
2,20 - 2,40	9	76,9	4	7,80 - 8,00	21	132,6	9
2,40 - 2,60	8	68,3	4	8,00 - 8,20	16	96,0	10
2,60 - 2,80	7	59,8	4	8,20 - 8,40	18	108,0	10
2,80 - 3,00	10	85,4	4	8,40 - 8,60	23	138,0	10
3,00 - 3,20	9	71,8	5	8,60 - 8,80	22	132,0	10
3,20 - 3,40	7	55,9	5	8,80 - 9,00	24	144,0	10
3,40 - 3,60	6	47,9	5	9,00 - 9,20	20	114,3	11
3,60 - 3,80	7	55,9	5	9,20 - 9,40	20	114,3	11
3,80 - 4,00	6	47,9	5	9,40 - 9,60	21	120,1	11
4,00 - 4,20	8	59,9	6	9,60 - 9,80	21	120,1	11
4,20 - 4,40	7	52,4	6	9,80 - 10,00	23	131,5	11
4,40 - 4,60	9	67,4	6	10,00 - 10,20	24	131,0	12
4,60 - 4,80	6	44,9	6	10,20 - 10,40	27	147,4	12
4,80 - 5,00	5	37,4	6	10,40 - 10,60	27	147,4	12
5,00 - 5,20	1	7,0	7	10,60 - 10,80	27	147,4	12
5,20 - 5,40	2	14,1	7	10,80 - 11,00	28	152,8	12
5,40 - 5,60	6	42,3	7	11,00 - 11,20	32	167,1	13

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m - A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO

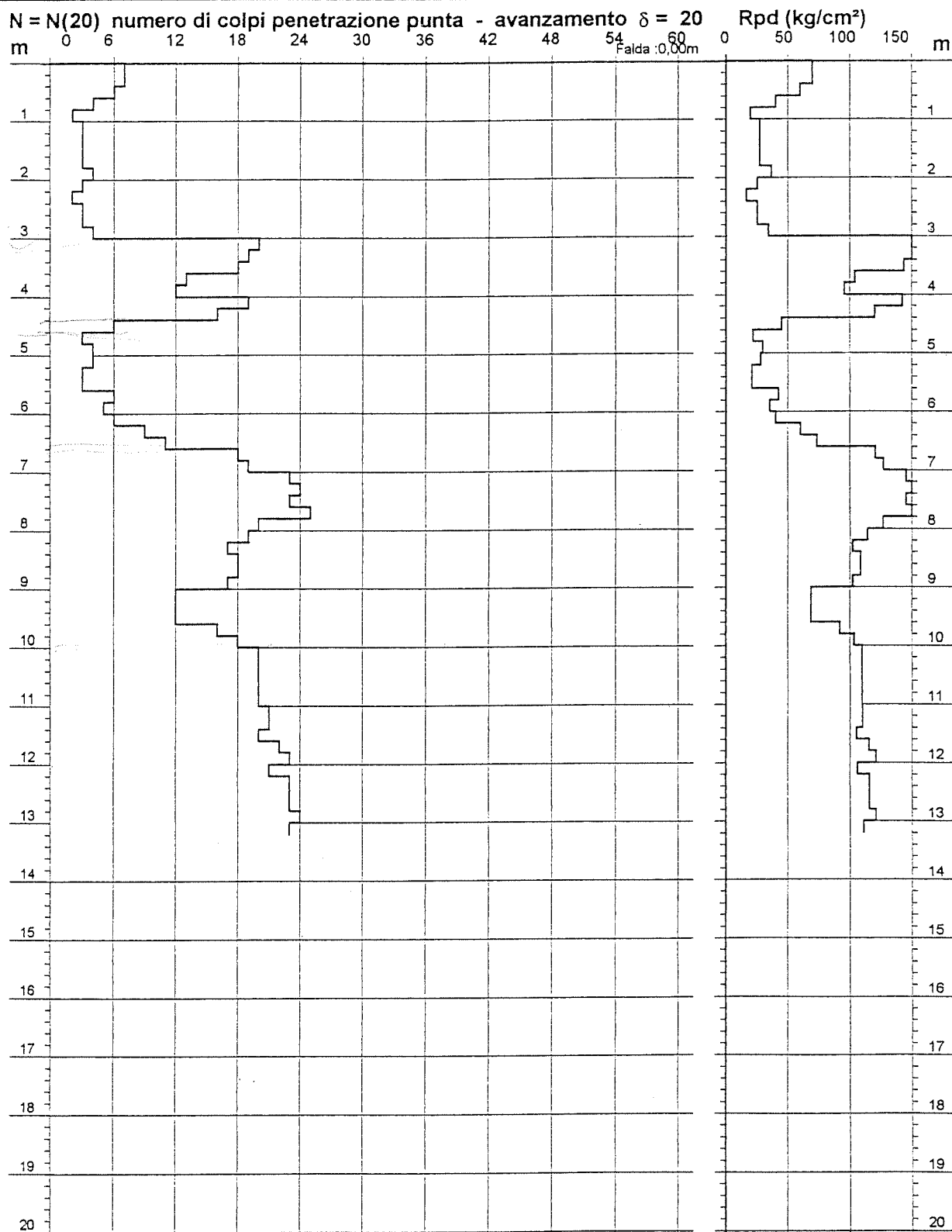
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 3**

Scala 1: 100

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- pagina : 1



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : S.G. s.r.l. - Studio Associato  
- lavoro :  
- località : San Lorenzo in Campo (PS)  
- note :

- data : 11/07/2001  
- quota inizio : 0  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	asta
0,00 - 0,20	7	69,6	2	6,60 - 6,80	18	119,9	8
0,20 - 0,40	7	69,6	2	6,80 - 7,00	19	126,6	8
0,40 - 0,60	6	59,7	2	7,00 - 7,20	23	145,2	9
0,60 - 0,80	4	39,8	2	7,20 - 7,40	24	151,5	9
0,80 - 1,00	2	19,9	2	7,40 - 7,60	23	145,2	9
1,00 - 1,20	3	27,6	3	7,60 - 7,80	25	157,8	9
1,20 - 1,40	3	27,6	3	7,80 - 8,00	20	126,3	9
1,40 - 1,60	3	27,6	3	8,00 - 8,20	19	114,0	10
1,60 - 1,80	3	27,6	3	8,20 - 8,40	17	102,0	10
1,80 - 2,00	4	36,8	3	8,40 - 8,60	18	108,0	10
2,00 - 2,20	3	25,6	4	8,60 - 8,80	18	108,0	10
2,20 - 2,40	2	17,1	4	8,80 - 9,00	17	102,0	10
2,40 - 2,60	3	25,6	4	9,00 - 9,20	12	68,6	11
2,60 - 2,80	3	25,6	4	9,20 - 9,40	12	68,6	11
2,80 - 3,00	4	34,2	4	9,40 - 9,60	12	68,6	11
3,00 - 3,20	20	159,6	5	9,60 - 9,80	16	91,5	11
3,20 - 3,40	19	151,6	5	9,80 - 10,00	18	102,9	11
3,40 - 3,60	18	143,6	5	10,00 - 10,20	20	109,2	12
3,60 - 3,80	13	103,7	5	10,20 - 10,40	20	109,2	12
3,80 - 4,00	12	95,8	5	10,40 - 10,60	20	109,2	12
4,00 - 4,20	19	142,2	6	10,60 - 10,80	20	109,2	12
4,20 - 4,40	16	119,8	6	10,80 - 11,00	20	109,2	12
4,40 - 4,60	6	44,9	6	11,00 - 11,20	21	109,7	13
4,60 - 4,80	3	22,5	6	11,20 - 11,40	21	109,7	13
4,80 - 5,00	4	29,9	6	11,40 - 11,60	20	104,5	13
5,00 - 5,20	4	28,2	7	11,60 - 11,80	22	114,9	13
5,20 - 5,40	3	21,1	7	11,80 - 12,00	23	120,1	13
5,40 - 5,60	3	21,1	7	12,00 - 12,20	21	105,1	14
5,60 - 5,80	6	42,3	7	12,20 - 12,40	23	115,2	14
5,80 - 6,00	5	35,2	7	12,40 - 12,60	23	115,2	14
6,00 - 6,20	6	40,0	8	12,60 - 12,80	23	115,2	14
6,20 - 6,40	9	60,0	8	12,80 - 13,00	24	120,2	14
6,40 - 6,60	11	73,3	8	13,00 - 13,20	23	110,6	15

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m - A (area punta)= 20,00 cm² - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [ $\delta$  = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO



**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. 1 DI 14

## **S.G. ASSOCIATI**



### **INDAGINE SISMICA MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Ubicazione:

Via Leopardi  
**SAN LORENZO IN CAMPO (PU)**

<b>Rif.: G18-204</b>	<b>Esec: 08.11.2018</b>	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. 2 DI 14

## INDICE

<b>1 - PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2 – CENNI SUL METODO MASW.....</b>	<b>3</b>
2.1 - PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE.....	3
2.2 – TECNICA MASW.....	4
<b>3 – STRUMENTAZIONE E MODALITA' DI ACQUISIZIONE .....</b>	<b>7</b>
<b>4 – ELABORAZIONE DATI.....</b>	<b>7</b>
4.1 – DATI SPERIMENTALI.....	8
4.2 – RISULTATI DELLE ANALISI .....	9
4.3 – CURVA DI DISPERSIONE.....	10
4.4 – PROFILO IN SITO.....	10
4.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30.....	14

## **Indice delle figure**

Figura 1 – Foto aerea da Google Maps.....	3
Figura 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh .....	4
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 in funzione della frequenza.....	6
Figura 6 – Confronto fra le Curve di dispersione sperimentali relative a diverse acquisizioni.....	8
Figura 7 – Tracce sperimentali .....	9
Figura 8 – Curva dispersione sperimentale.....	9
Figura 9 – Curva di dispersione.....	10
Figura 10 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano).. ..	12
Figura 11 – Profilo Vs numerico .....	13





**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 14

### **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. Vincenzo MARIANI, Studio S.G. ASSOCIATI, il giorno 08 Novembre 2018, in Via Leopardi a SAN LORENZO IN CAMPO (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 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

<b>Rif.: G18-204</b>	<b>Esec: 08.11.2018</b>	<b>Cod. doc.: 01/14</b>	<b>N. pag.: 14</b>	<b>Allegati:</b>	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

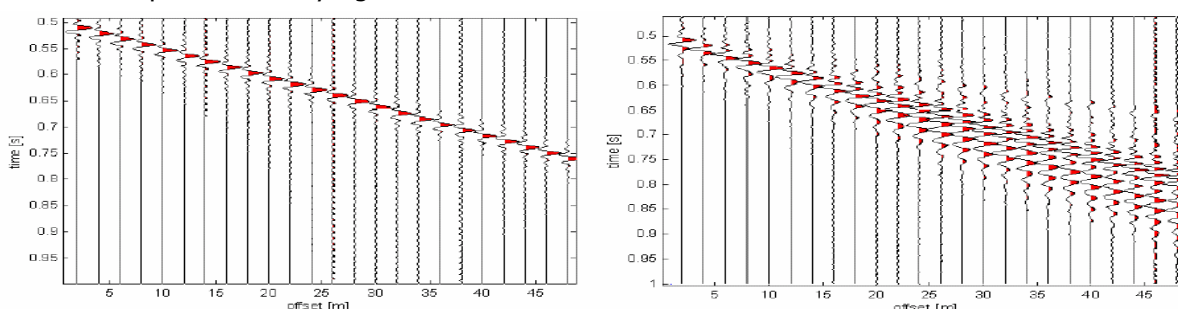
funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e 0.92 Vs. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

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.



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 rigidità 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 dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile

Rif.: G18-177	Esec: 04.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato



 <b>GEODE</b> <b>LABORATORIO GEOTECNICO</b> <b>RIMINI</b>	<b>Indagine geofisica</b>		<b>MOD. 85</b>
	SISTEMA QUALITA' Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218		REV. 00 DATA 08/03/10 PAG. 5 DI 14

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.

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	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**

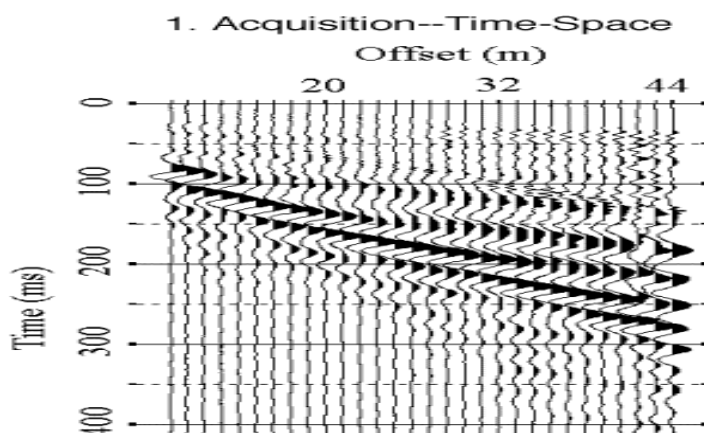
REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 6 DI 14

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

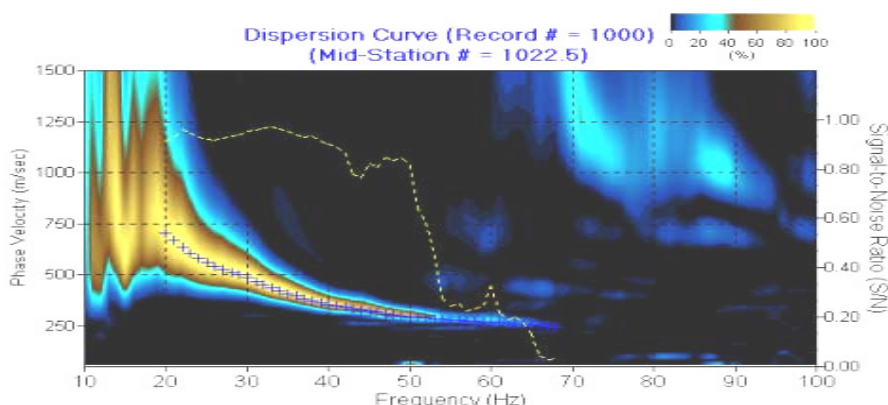


2 Processing. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 5);

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 base di metodi semplificati ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la

Rif.: G18-177	Esec: 04.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

 <b>GEODE</b> <b>LABORATORIO GEOTECNICO</b> <b>RIMINI</b>	<b>Indagine geofisica</b>		<b>MOD. 85</b>
	SISTEMA QUALITA' Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218		REV. 00 DATA 08/03/10 PAG. 7 DI 14

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  $V_s$  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 stato utilizzato una mazza di 8 kg battente su un piattello metallico. L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo uno 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). 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 "fittino" 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  $V_s$  (picking) (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 picking fino a frequenze relativamente basse.

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.

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	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

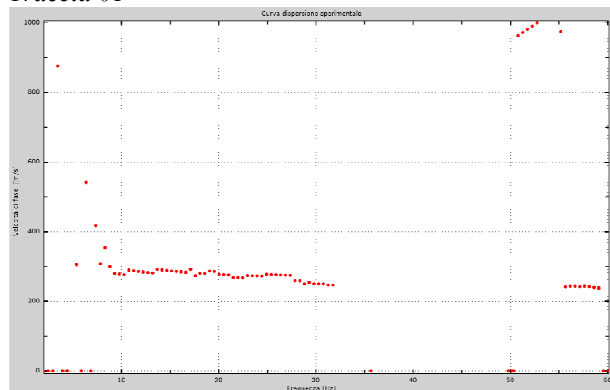
DATA

08/03/10

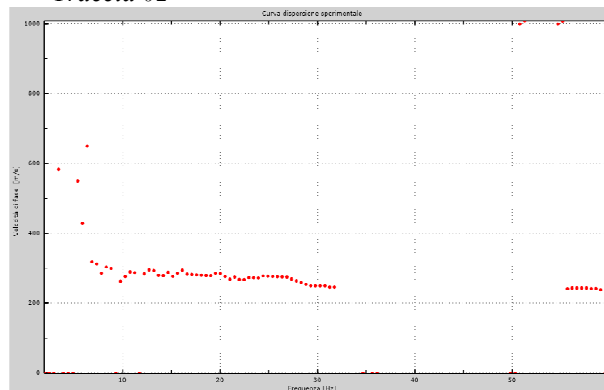
PAG. 8 DI 14

Figura 6 – Confronto fra le Curve di dispersione sperimentali relative a diverse acquisizioni (Curve di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh, rappresentazione generata dal Software "MASW 2007")

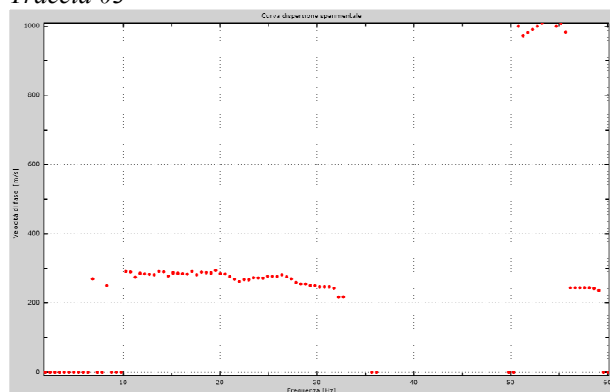
*Traccia 01*



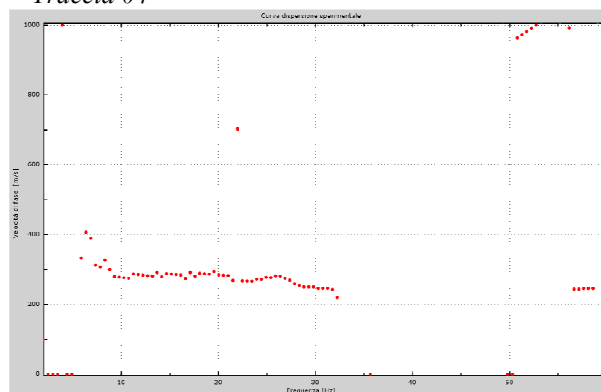
*Traccia 02*



*Traccia 03*



*Traccia 04*



#### 4.1 – DATI SPERIMENTALI

Nome del file della traccia: 2018-11-08\_10-43-42\_01000\_00200\_023\_Acquis.drm

Numero di ricevitori.....24

Numero di campioni temporali .....2000

Passo temporale di acquisizione ..... 1 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi .....24

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

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

Rif.: G18-177	Esec: 04.10.2018	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**

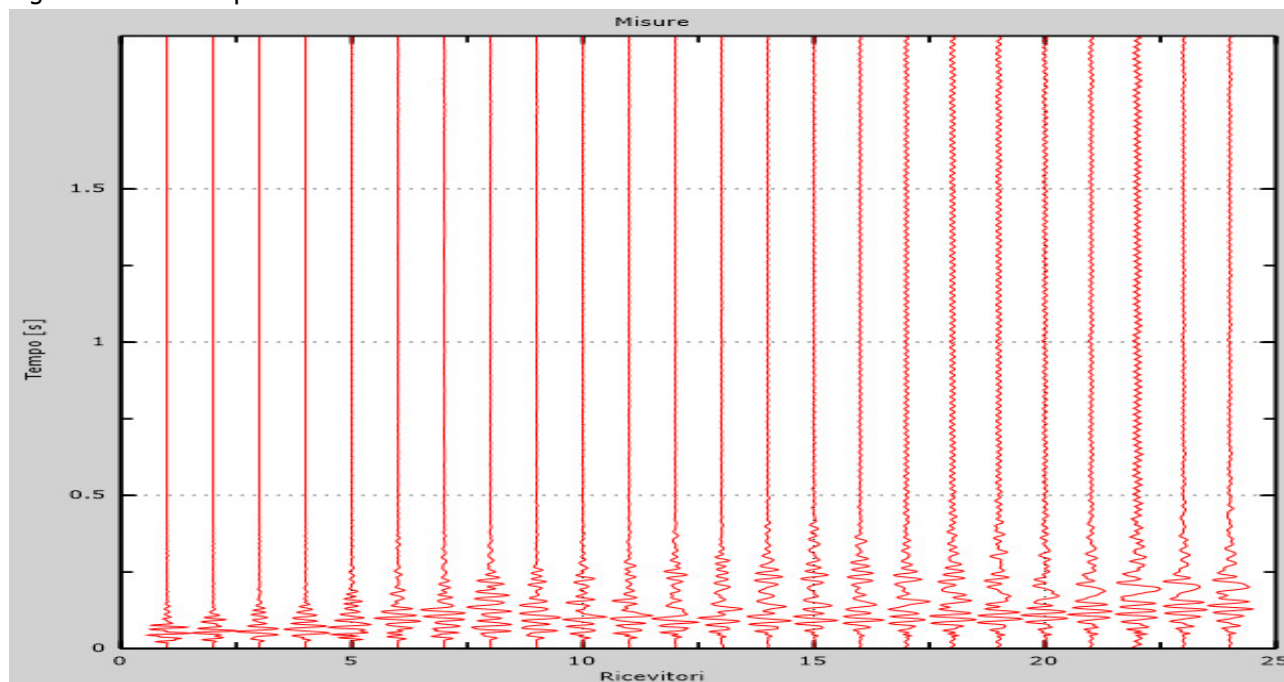
REV. 00

DATA

08/03/10

PAG. 9 DI 14

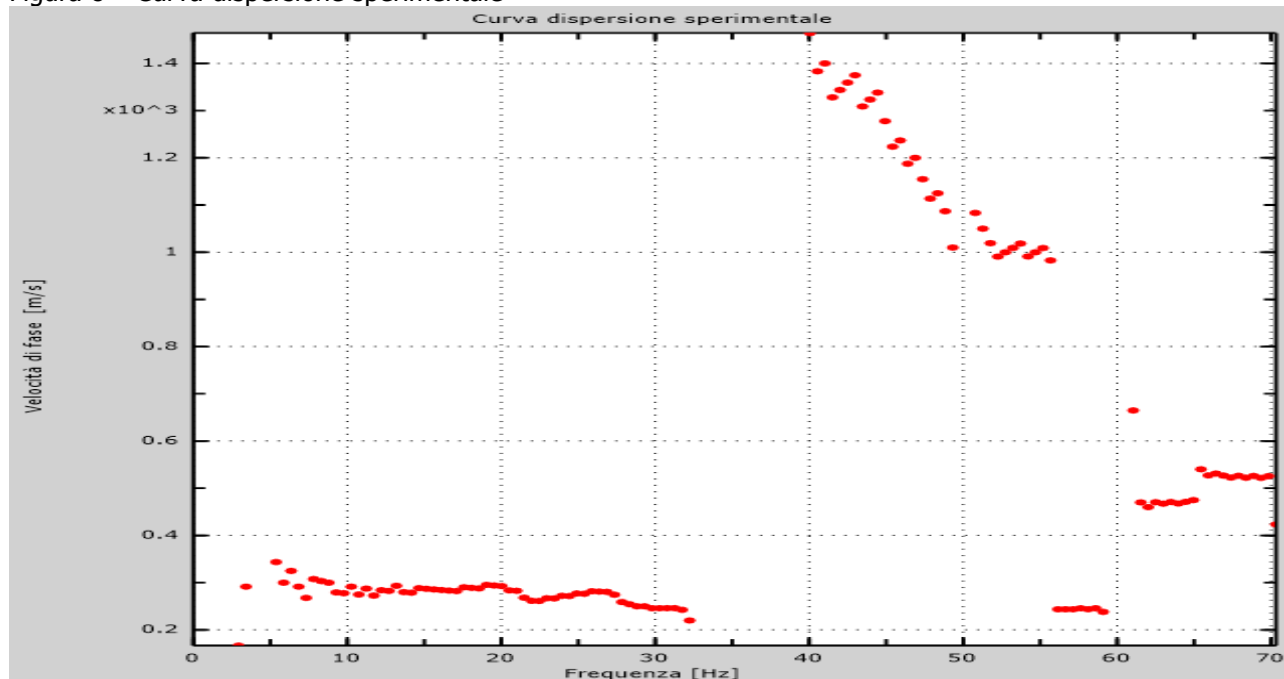
Figura 7 – Tracce sperimentali



## 4.2 – RISULTATI DELLE ANALISI

Frequenza finale = 70 Hz; Frequenza iniziale = 2Hz

Figura 8 – Curva dispersione sperimentale



Rif.: G18-177	Esec: 04.10.2018	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

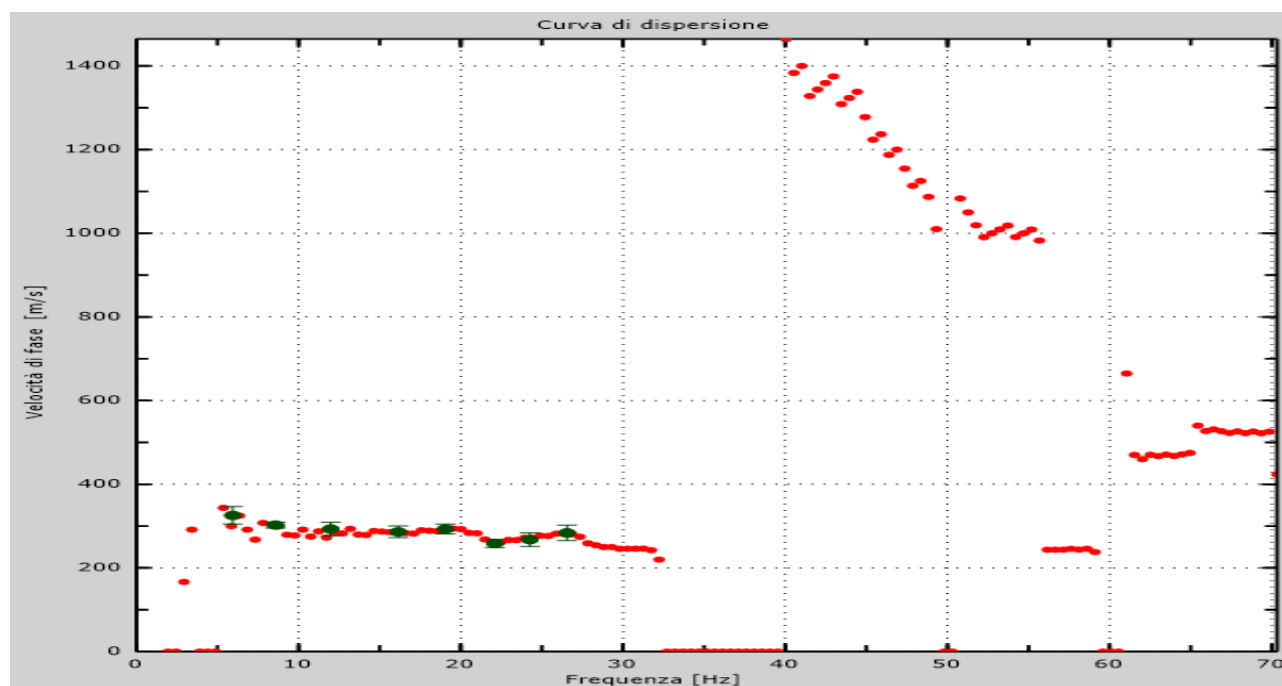
PAG. 10 DI 14

#### 4.3 – CURVA DI DISPERSIONE

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
5.94657	325.609	304.747	346.471
8.58227	302.429	295.475	309.383
11.9809	293.157	276.931	309.383
16.1425	286.203	272.295	300.111
19.0557	293.157	281.567	304.747
22.1075	258.387	249.115	267.659
24.2577	267.659	251.433	283.885

Figura 9 – Curva di dispersione



#### 4.4 – PROFILO IN SITO

Numero di strati (escluso semispazio) .....4  
 Spaziatura ricevitori [m] .....2 m  
 Numero ricevitori .....24  
 Numero modi .....1  
 Numero iterazioni .....15  
 Massimo errore [%] .....5.000000e-002

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	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 14

### **Strato 1**

h [m] ..... 1  
z [m] ..... -1  
Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1650  
Poisson ..... 0.2  
Vs [m/s] ..... 260  
Vp [m/s] ..... 424.58  
Vs min [m/s] ..... 157.71  
Vs max [m/s] ..... 390.000000  
Falda non presente nello strato  
Strato alluvionale  
Vs fin.[m/s] ..... 260.000

### **Strato 2**

h [m] ..... 5  
z [m] ..... -6  
Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1900  
Poisson ..... 0.2  
Vs [m/s] ..... 280  
Vp [m/s] ..... 457.24  
Vs min [m/s] ..... 157.71  
Vs max [m/s] ..... 420.000000  
Falda non presente nello strato  
Strato alluvionale  
Vs fin.[m/s] ..... 280.000

### **Strato 3**

h [m] ..... 3  
z [m] ..... -9  
Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2000  
Poisson ..... 0.2  
Vs [m/s] ..... 325.73  
Vp [m/s] ..... 531.91  
Vs min [m/s] ..... 162.87  
Vs max [m/s] ..... 651.46  
Falda non presente nello strato  
Strato non alluvionale  
Vs fin.[m/s] ..... 325.730

### **Strato 4**

h [m] ..... 0  
z [m] ..... -00

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	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. 12 DI 14

Densità [kg/m<sup>3</sup>].....2100

Poisson .....0.2

Vs [m/s].....361.79

Vp [m/s] .....590.80

Vs min [m/s] .....180.89

Vs max [m/s].....723.58

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....361.790

Tabella di riepilogo delle Velocità di taglio del modello elaborato

Modello 1			
Strato	Spessore(m)	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	1	1	260
2	5	6	280
3	3	8	326
4	oo	oo	362

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	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**

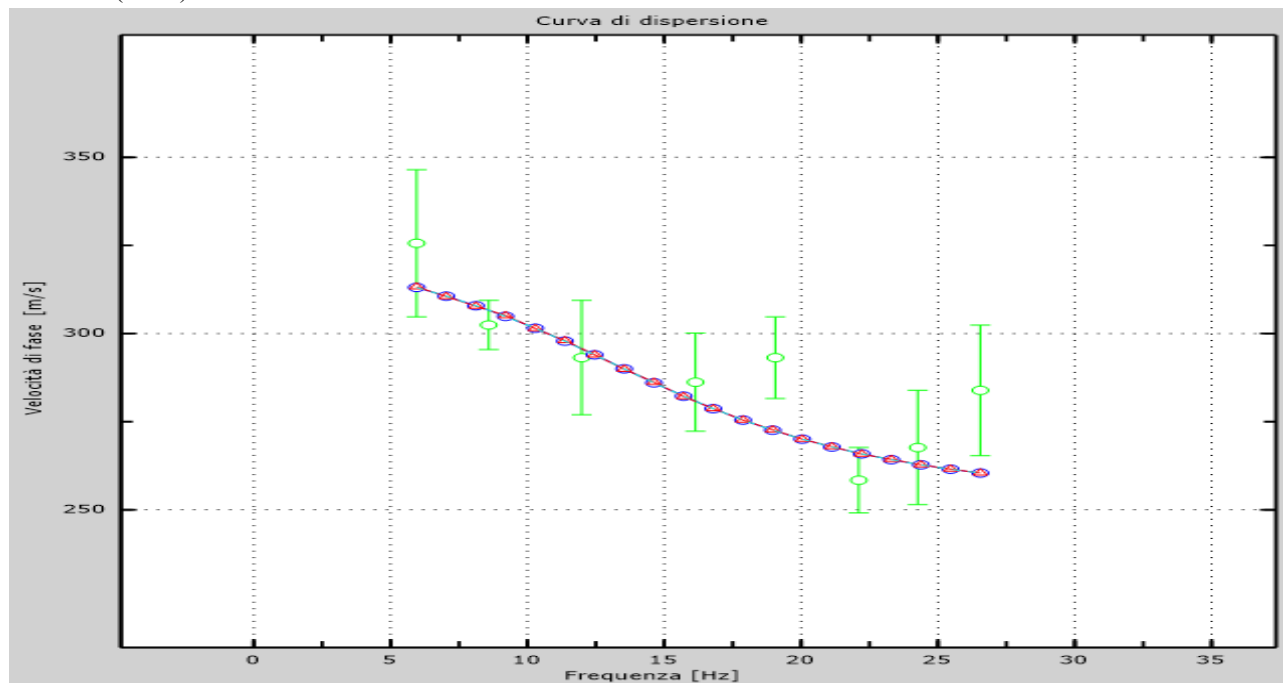
REV. 00

DATA

08/03/10

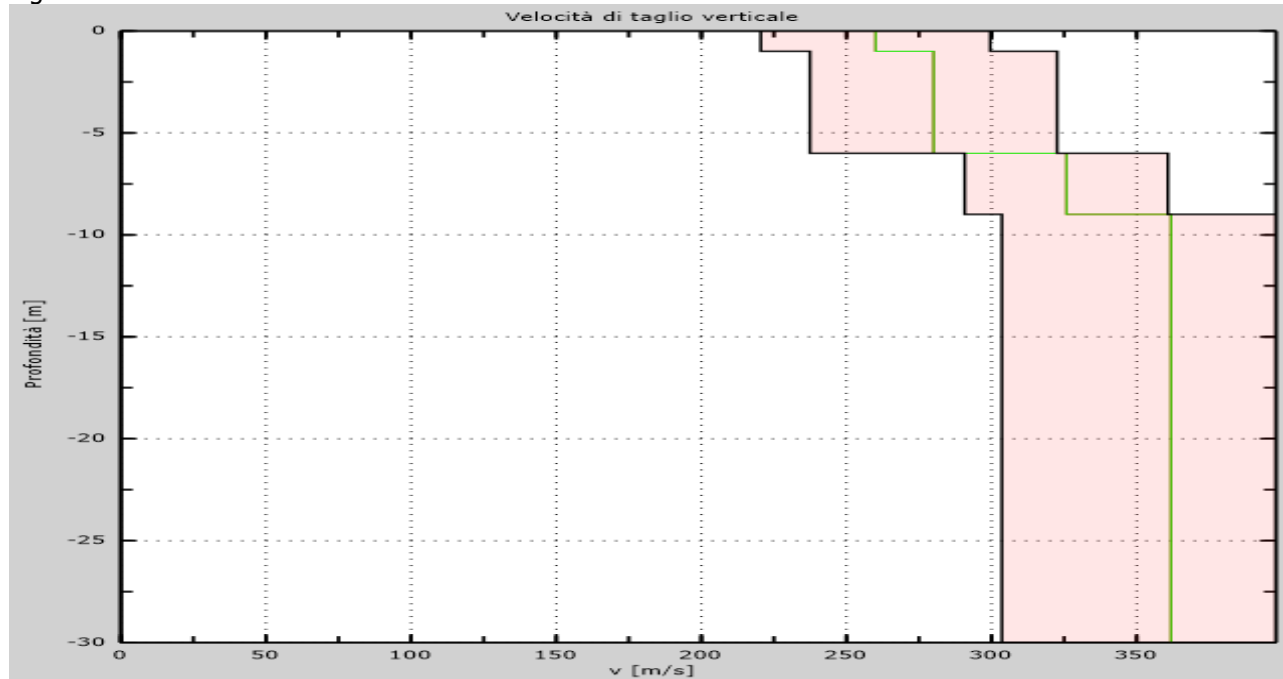
PAG. 13 DI 14

Figura 10 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



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

Figura 11 – Profilo Vs numerico



Rif.: G18-177	Esec: 04.10.2018	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

 <b>GEODE</b> <b>LABORATORIO GEOTECNICO</b> <b>RIMINI</b>	<b>Indagine geofisica</b>	<b>MOD. 85</b> REV. 00 DATA 08/03/10 PAG. 14 DI 14
	SISTEMA QUALITA' Azienda certificata ISO 9001:2000. Cert. SGS n. IT05/1218	

#### 4.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vseq, 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 = 337 m/s**

<b>Rif.: G18-177</b>	<b>Esec: 04.10.2018</b>	Cod. doc.: 01/14	N. pag.: 14	Allegati:	
00	19/05/14		S. Ronci	M. Mularoni	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato