

REGIONE MARCHE  
PROVINCIA DI PESARO-URBINO



COMUNE  
Di FANO

COPIA PER  
COMUNE

PROPRIETA'

Allegato n. 20 a nota pg. 71687/20

BENINI LUCIANO

**PIANO ATTUATIVO DI RECUPERO CON APPLICAZIONE  
DELLA L.R. 22/2009 (PIANO CASA)  
PER LA COSTRUZIONE DI UNA UNITA' ABITATIVA IN ADERENZA  
SITA IN FANO (PU) - VIA BELGATTO N° 78**

# RELAZIONE GEOLOGICA

D.M. 14/01/2008 - CIRC. LL.PP. N° 617/09

Elaborato

UNICO - RELAZIONE

## PROVINCIA DI PESARO E URBINO

Servizio 4.1 Urbanistica (F.10) Tar-VIA-VAS-Aree Protette  
PARERE ai sensi Art. 63 DPR N. 380/01

N° 2833/10 data 15 NOV 2010



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER  
LA GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Geol. Angelo Renzoni  
Geol. Michele Glaschera  
Geol. Walter Borghi

Via Gozzi 10/A 61032 FANO (PU)  
Tel. Fax 0721 861494 862875  
e-mail geocon@fastwebnet.it  
P.IVA 02229960410

Commessa 1067/10

Data AGOSTO 2010

Doc. 01/Rel./All.



# BENINI LUCIANO

**PIANO ATTUATIVO DI RECUPERO CON APPLICAZIONE  
DELLA L.R. 22/2009 (PIANO CASA)  
PER LA COSTRUZIONE DI UNA UNITA' ABITATIVA IN ADERENZA  
SITA IN FANO (PU) – VIA BELGATTO N° 78**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

### **SOMMARIO**

1	SCOPO E MODALITA' DELL'INDAGINE	Pag. 2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	Pag. 3
3	GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA	Pag. 4
4	INDAGINI GEOLOGICHE DI CAMPO	Pag. 5
5	MODELLAZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO	Pag. 12
6	PERICOLOSITA' GEOLOGICA	Pag. 14
	a – Pericolosità Idrogeologica	Pag. 14
	b – Pericolosità sismica a azioni sismiche	Pag. 14
	c – Liquefazione	Pag. 17
7	CONSIDERAZIONI FINALI	Pag. 18

### **ALLEGATI**

ALLEGATO 1	STRALCIO CARTA GEOLOGICA
ALLEGATO 2	STRALCIO CARTOGRAFICO PAI
ALLEGATO 3	AEROFOTOGRAMMETRIA
ALLEGATO 4	CARTA PLANOALTIMETRICA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE E TRACCIA DELLO SCHEMA LITOSTRATIGRAFICO
ALLEGATO 5	CERTIFICATI E GRAFICI DELLE PROVE PENETROMETRICHE
ALLEGATO 6	SCHEMA LITOSTRATIGRAFICO INTERPRETATIVO
ALLEGATO 7	INDAGINE SISMICA MASW
ALLEGATO 8	STRALCI PROGETTUALI



## 1 - SCOPO E MODALITA' DELL'INDAGINE

Per conto del Sig. **BENINI LUCIANO** è stata redatta la presente Relazione Geologica al fine di fornire il supporto geologico al progetto di "... Costruzione di una unità abitativa in aderenza ....." ad un edificio sito in Comune di Fano, via Belgatto n° 78.

L'intervento da eseguire consiste nella costruzione di un manufatto in aderenza ad un edificio di civile abitazione esistente: Esso avrà dimensioni massime in pianta di m 12.71 X 8.00 e sarà composto da un piano interrato e due fuori terra. Si prevede altresì la realizzazione di un porticato su due lati.

Per la localizzazione dell'area si rimanda agli allegati n° 1, 2, 3 e 4 in calce alla presente Relazione.

Gli stralci di progetto, così come forniti dal tecnico progettista, sono riportati nell'allegato 8 in calce alla presente relazione.

Lo studio è stato condotto mediante analisi bibliografiche, rilievi geologici di superficie e indagini dirette consistenti in due prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite con penetrometro Pagani TG 73 (200 KN) e di una prova sismica MASW. Il tutto come dettagliatamente descritto in seguito.

Con riferimento al progetto previsto lo scopo è stato quello di definire:

- Le caratteristiche geologiche, geostrutturali e geomorfologiche dell'area;
- Le caratteristiche idrogeologiche e idrologiche dell'area;
- lo schema litostratigrafico del sottosuolo e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni;
- le condizioni di pericolosità idrogeologica e sismica.

Vengono altresì eseguite alcune valutazioni di orientamento in merito alla categoria di sottosuolo ed al coeff. di amplificazione topografica previsti nel calcolo delle azioni sismiche di progetto di cui alle nuove norme tecniche per le costruzioni in zona sismica (NTC/2008).

Per la localizzazione e l'inquadramento dell'intervento si rimanda alle planimetrie riportate in allegato e più specificatamente:

- Allegato 1 Stralcio carta geologica
- Allegato 2 Stralcio cartografico PAI
- Allegato 3 Aerofotogrammetria
- Allegato 4 Carta planoaltimetrica con ubicazione delle indagini geologiche e traccia schema litostratigrafico interpretativo



## 2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa specifica di settore è riferibile a:

- ♣ Decreto Ministeriale del 14 Febbraio 2008 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" , G.U. n. 29 – Supplemento Ordinario n. 30;
- ♣ Circolare 2 Febbraio 2009 n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.

Pertanto, preso atto della tipologia dell'intervento e del quadro normativo vigente, per le finalità dello studio geologico si è quindi fatto specifico riferimento al D.M. 14/01/2008.

Si è altresì tenuto conto delle Norme di Attuazione P.A.I. relative al Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale delle Marche approvato con delibera di Consiglio Regionale n° 116 del 21/01/2004.



### **3 - GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA**

L'area in oggetto è ubicata nel comune di Fano, 1 Km circa, in linea d'aria, a nord-ovest del suo centro storico, in via Belgatto, nei pressi della chiesa del Carmine, a quote topografiche di circa 25 metri s.l.m..

I terreni in cui essa si trova appartengono geologicamente alle sabbie e arenarie variamente cementate, alternate ad argille marnoso-siltose, del Pliocene inferiore.

Morfologicamente l'area di studio insiste su un piccolo pianoro, in parte ricavato anche antropicamente, che digrada ad est sud-est verso il torrente Arzilla.

La morfologia del sito, e più in generale quella della zona, non presenta segni di fenomeni gravitativi in atto o potenziali. Ciò risulta anche dalla consultazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e dalle indagini fatte a corredo degli strumenti urbanistici del PRG.

Essendo l'area di studio posizionata sulla parte medio alta di un versante collinare, le acque di precipitazione meteorica attraverso linee di deflusso naturale impostatesi nelle depressioni morfologiche presenti, confluiscono verso il sottostante torrente Arzilla.

La conformazione idrografica e la distanza da corsi d'acqua di un certo livello fanno escludere il rischio di possibili esondazioni, come risulta anche dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e dalle indagini fatte a corredo degli strumenti urbanistici del PRG.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea, data la natura poco permeabile dei terreni (sabbie e arenarie variamente cementate alternate ad argille marnoso-siltose), l'area non è sede di acquiferi di un certo interesse.

Tuttavia, nei pressi dell'edificio esistente, è presente un vecchio pozzo idrico con livello statico dell'acqua a - 18 metri dal p.c. attuale. Tale pozzo ha una portata piuttosto modesta e nei periodi più siccitosi si presenta sterile.

Dal punto di vista tettonico, facendo riferimento al F° 110 della Carta Geologica d'Italia, si rileva che non esistono faglie del substrato in corrispondenza del sito in oggetto.



## 4 - INDAGINI GEOLOGICHE DI CAMPO

### PROVE PENETROMETRICHE

Per le finalità dello studio si è fatto ricorso all'uso di due prove penetrometriche statiche tipo CPT con penetrometro Pagani TG 73 (200 KN) a punta meccanica **Begeman**. Le prove sono state eseguite dalla ditta GEOEMMEDUE di Rimini in data 14/06/2010 e sono state spinte fino alla profondità di rifiuto all'avanzamento di 5.40-6.00 m p.c..

Le prove sono state ubicate con la sigla CPT1/CPT2 sulla planimetria in allegato 4; i grafici con i valori di resistenza specifica sono esposti nell'allegato n° 5.

L'andamento della resistenza statica all'avanzamento della punta è sinteticamente riprodotto nelle figure 1-2 sottostanti.

Le caratteristiche del penetrometro utilizzato per la prova penetrometrica dinamica, così come fornite dalla ditta esecutrice, sono di seguito esposte:

#### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: CPT TG 73-200 PAGANI

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

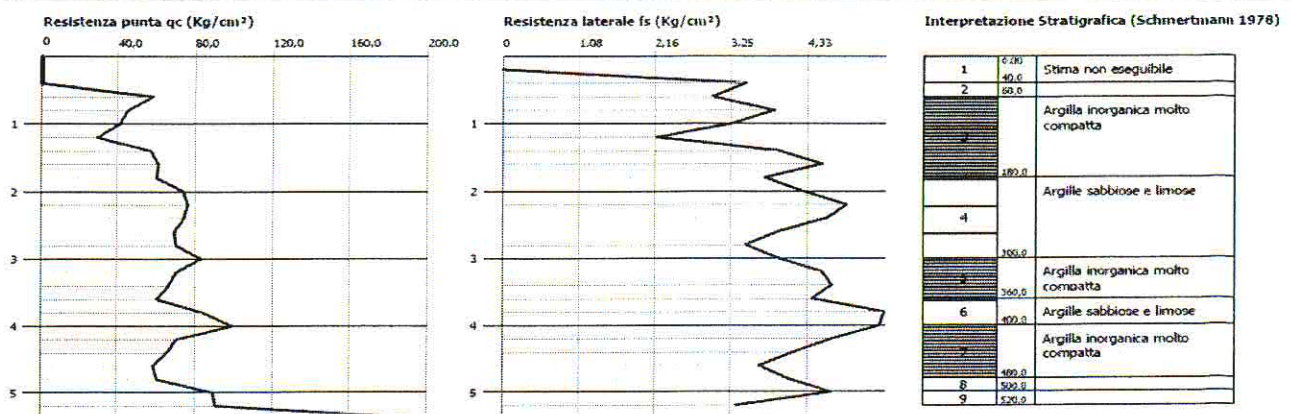
Fig. 1 – Prova CPT1

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1 (RIF. 10254.B)  
Strumento utilizzato... PAGANI TG 73 (200 kN)  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Sig. LUCIANO BENINI  
Cantiere : VIA BELGATTO 78  
Località : FANO (PU)

Data :14/06/2010

Scala 1:





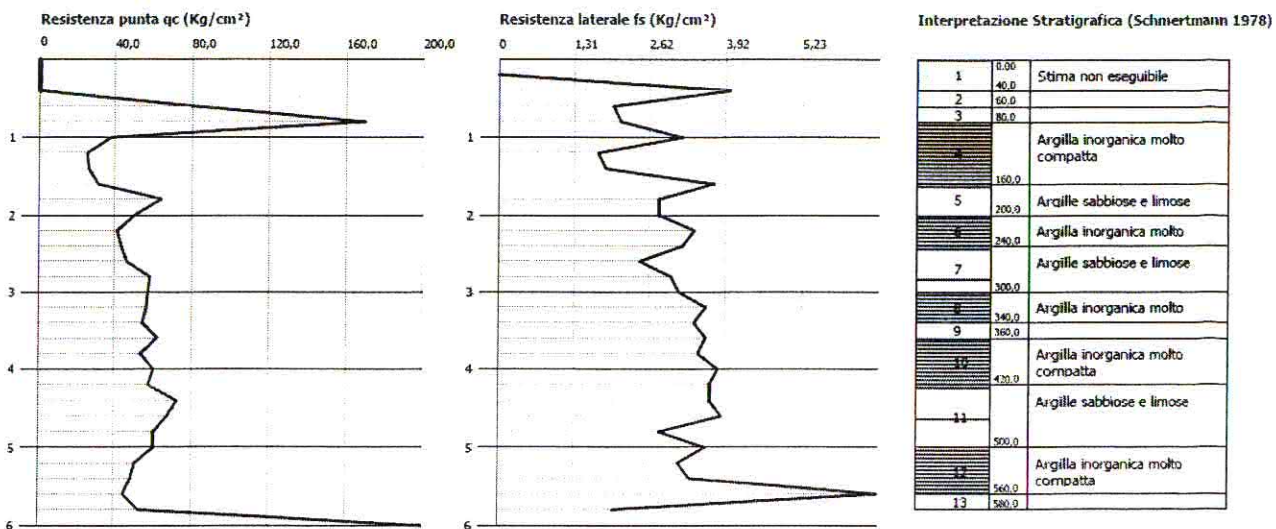
**Fig. 2 – Prova CPT2**

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2 (RIF. 10254.B)  
Strumento utilizzato... PAGANI TG 73 (200 kN)  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Sig. LUCIANO BENINI  
Cantiere : VIA BELGATTO 78  
Località : FANO (PU)

Data :14/06/2010

Scala 1:



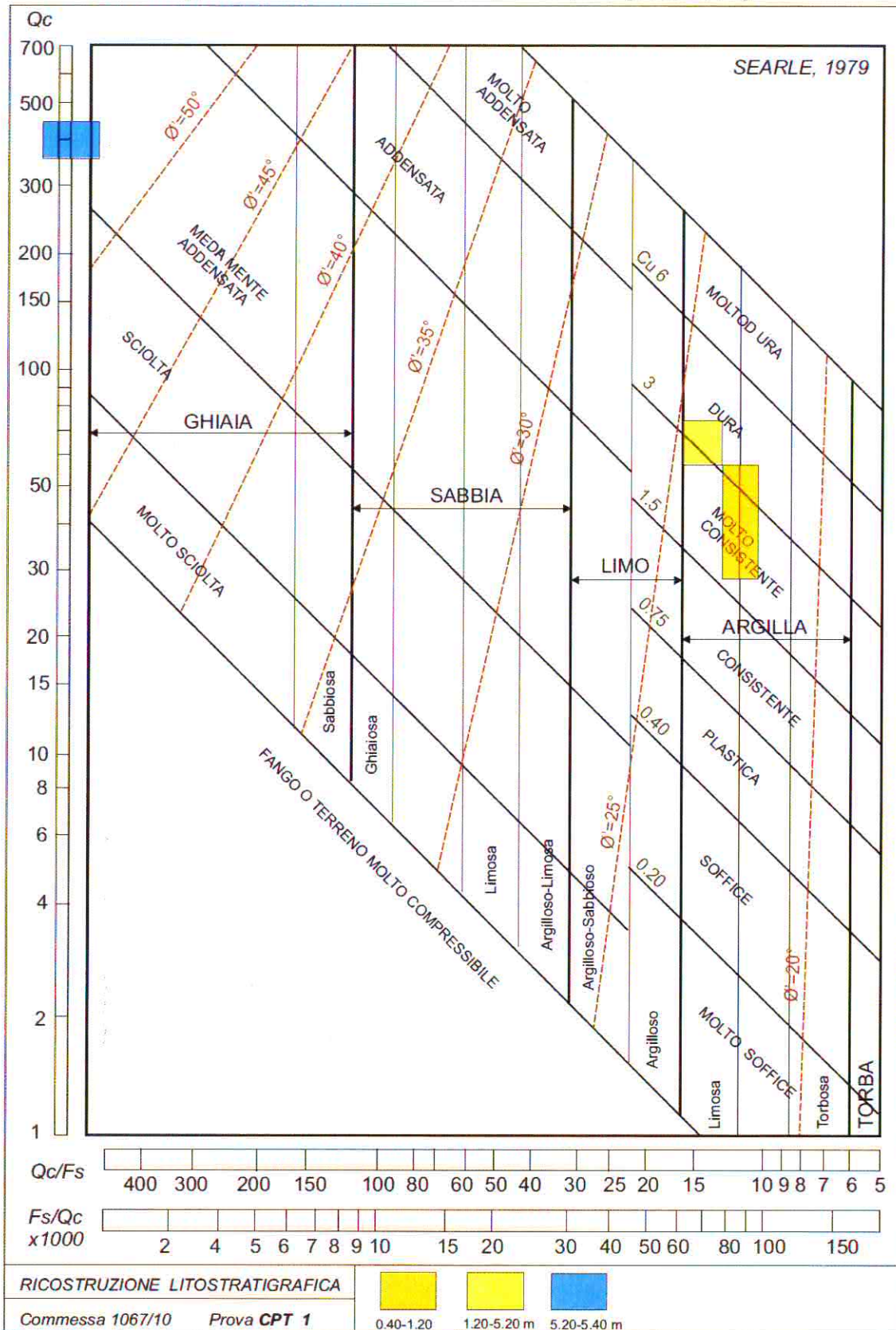
Dagli esiti delle prove, fino alle profondità investigate, si possono fare le seguenti considerazioni:

- l'area è caratterizzata da terreni del deposito marino pliocenico granulometricamente ascrivibili alla componente argilloso-marnoso-siltosa;
- lo strato più superficiale, posto al di sotto dello strato agrario e/o vegetale (0.40 cm) è caratterizzato da terreni coesivi, argillosi e limoso-argillosi, essiccati (molto consistenti) fino a profondità dell'ordine di 1.20 m p.c. circa (CPT1) e 1.60 m p.c. circa (CPT2);
- al di sotto, fino alla profondità di rifiuto riscontrata a - 5.40/6.00 m p.c., si rinvencono terreni argillosi e/o argilloso limosi da molto consistenti a duri con valori della resistenza statica alla punta mediamente dell'ordine di 40/70 Kg/cm<sup>2</sup>, riferibili alla porzione di tetto, alterata, del substrato geologico.

Nelle seguenti figure 3, 4 e 5 sono riportati il grafico di l'interpretazione della prova con riferimento alla correlazione di Searle (79) e una tabella con le principali correlazioni per l'interpretazione delle prove penetrometriche (fig. 5).



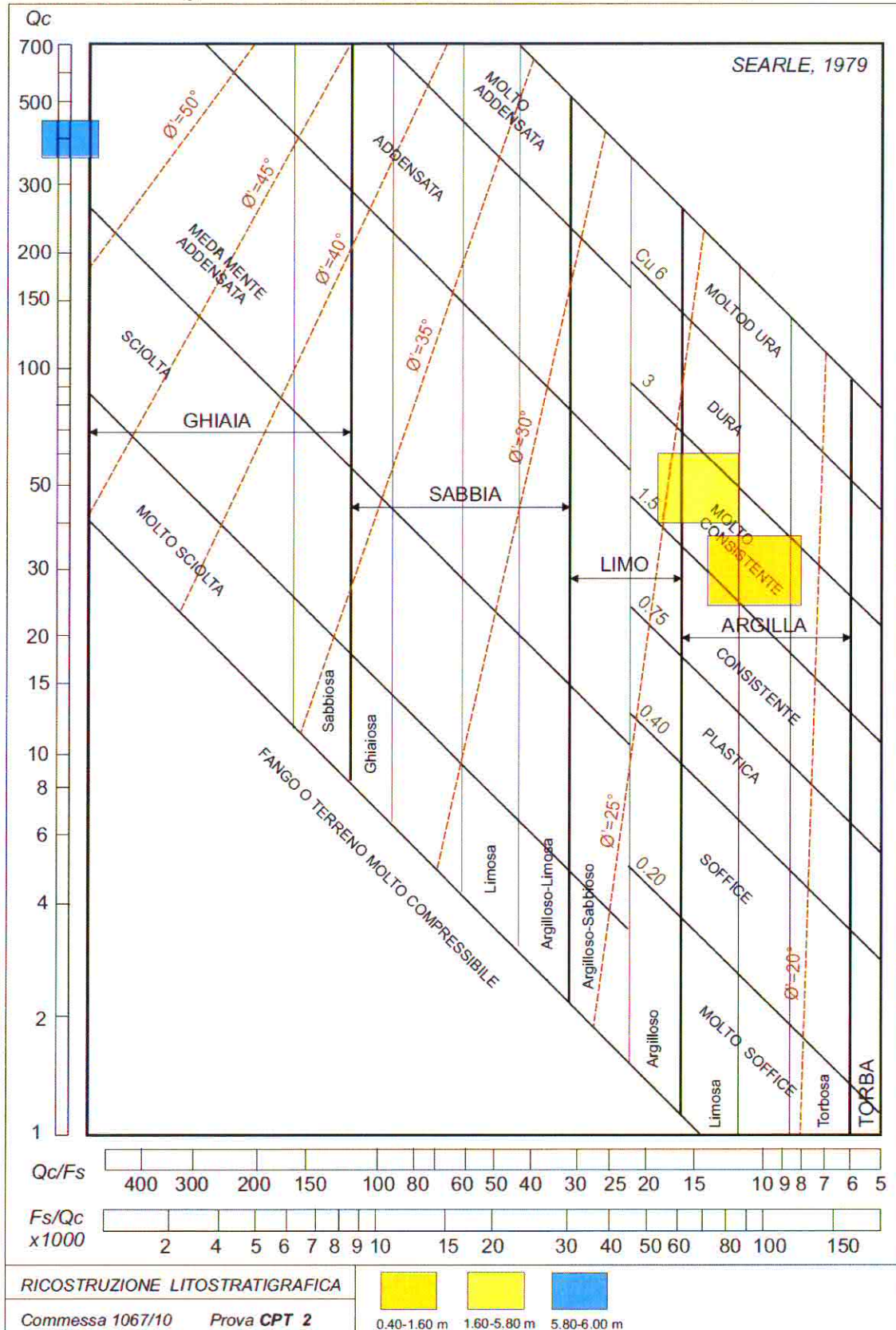
**Fig. 3 – Interpretazione della prova CPT1 (Searle, 79)**







**Fig. 4 – Interpretazione della prova CPT2 (Searle, 79)**





**Fig. 5 - Principali correlazioni per l'interpretazione delle prove penetrometriche**

Terreno	Parametro	Autore	Correlazione	
Coesivo	Coesione non drenata (Cu)	Racc. AGI 1977 Ricceri et Al. 1974 Marstrand et Al. 1974/79	$Cu = Qc/A$	A = 20 per Argille normal-consolidate A = 30 per Argille sovra-consolidate A = 20-30 per Argille intermedie
Coesivo	Coesione non drenata (Cu)	Stroud 1974	$Cu = F \times Nspt$	F = 3.5-6.5 KPa (valore medio 4.4)
Coesivo	Coesione non drenata (Cu)	Searle 1979	Grafico	
Coesivo	Modulo Edometrico (Eed)	Mitchell-Gardner 1975	$Eed = B \times Qc$	B = 1-2.5 per Argille CL con $Qc > 2$ MPa B = 2-5 per Argille CL con $Qc = 0.7-2$ MPa B = 3-8 per Argille CL con $Qc < 0.7$ MPa B = 2-6 per Argille e limi CH con $Qc < 2$ MPa B = 1-3 per Limi ML con $Qc < 2$ MPa B = 3-6 per Limi ML con $Qc > 2$ MPa
Coesivo	Modulo Edometrico (Eed)	Mayne et Al. 1980	$Eed = 8.25 \times (Qc - Pvo)$	
Coesivo Incoerente	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Searle 1979	Grafico	
Coesivo Incoerente	Rapporto $Qc / Nspt$	Robertson et Al. 1983	$Qc/Nspt$	$Qc/Nspt = 1-2$ per Argille e Argille Limose $Qc/Nspt = 2-3$ per Limi argillosi, Limi sabbiosi $Qc/Nspt = 3-4$ per Sabbie limose $Qc/Nspt = 4-5$ per Sabbie fini e medio fini $Qc/Nspt = 5-8$ per Sabbie medie e grossolane
Incoerente	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Peck-Hanson-Thorburn, 74	( $\Phi'$ )	$\Phi' < 25^\circ$ per $Nspt < 4$ (sabbia molto sciolta) $\Phi' = 25-30^\circ$ per $Nspt 4-10$ (sabbia sciolta) $\Phi' = 30-36^\circ$ per $Nspt 10-30$ (sabbia media) $\Phi' = 36-41^\circ$ per $Nspt 30-50$ (sabbia densa) $\Phi' > 41^\circ$ per $Nspt > 50$ (sabbia molto densa)
Incoerente	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Schmertmann 1977	$\Phi' = 28+0.14 Dr$ $\Phi' = 34+0.10 Dr$ $\Phi' = 38+0.08 Dr$	Per sabbie fini uniformi Per sabbie medie e grossolane Per sabbie e ghiaie, ghiaietto
Incoerente	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Schmertmann 1975	$\Phi' = \arctg [ Nspt / (12.2 + 20.3 \times (P'vo / Pa)) ]^{0.34}$ dove Pa = 100 KPa con P'vo espresso in KPa Pa = 1 Kg/cm2 con P'vo espresso in Kg/cm2	
	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Japan Road Association 1990	$\Phi' = (15 \times Nspt)^{0.5} + 15$	
	Angolo attrito efficace ( $\Phi'$ )	Peck 1953	$\Phi' = 0.3 \times Nspt + 20$	
Incoerente	Modulo Deformazione (Edef)	Trofimenkov 1974 Mitchell-Gardner 1975	$Edef = B \times Qc$ $Edef = B \times Qc$	B = 3.5 per sabbie B = 1.5-3.0 per sabbie
Incoerente	Densità Relativa (Dr)	Terzaghi-Peck 1948 Gibbs-Holtz 1957	Dr %	$Nspt = 0-4$ Dr = 0-15% Sabbia molto sciolta $Nspt = 4-10$ Dr = 15-35% Sabbia sciolta $Nspt = 10-30$ Dr = 35-65% Sabbia media $Nspt = 30-50$ Dr = 65-85% Sabbia densa $Nspt > 50$ Dr = 85-100% Sabbia molto densa
Incoerente	Densità Relativa (Dr)	Jamiolkowski et al. 1985	$Dr = -98 + 66 \log [ Qc / (P'vo)^{0.5} ]$ Qc e P'vo in t/m2	

Qc = resistenza statica alla punta (prova penetrometrica statico)  
Nspt = numero colpi / 30 cm della prova SPT  
P'vo = pressione litostatica efficace  
Pvo = pressione litostatica totale  
Pa = pressione atmosferica

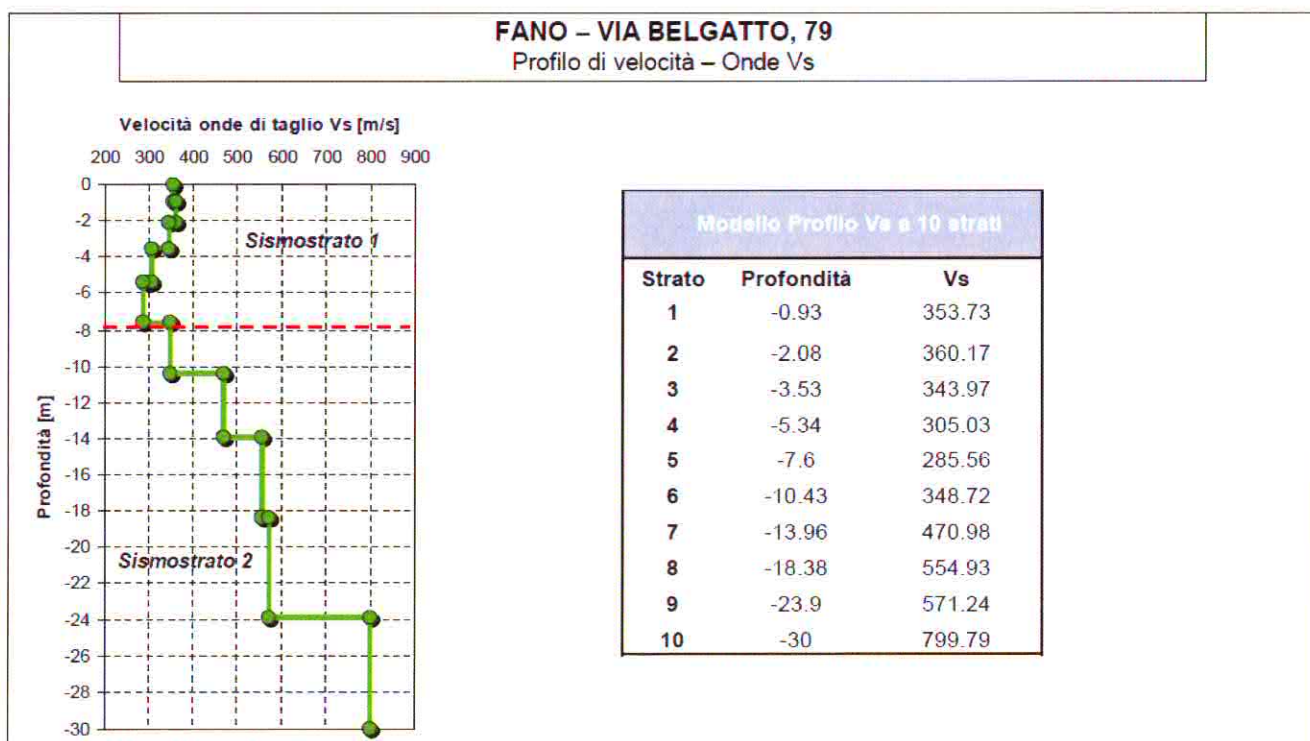


## PROVA SISMICA M.A.S.W.

Per le finalità previste dalla nuova normativa sismica (NTC/2008) e fornire indicazioni relative alla risposta sismica locale oltre alla classificazione del sottosuolo si fa riferimento ad una prova sismica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) eseguita in un'area limitrofa, 150 metri a nord-ovest, di proprietà della sorella del Committente e ubicata come da planimetria allegata. La metodologia di prova consente di ricavare la velocità delle onde di Taglio Vs mediante la misura della velocità di propagazione delle onde superficiali di *Rayleigh* in corrispondenza di geofoni posti sulla superficie del terreno lungo uno stendimento. Il metodo utilizzato è quello *attivo* ovvero con misura delle onde generate in un punto della superficie del suolo. E' stato utilizzato uno stendimento lineare di 46 metri utilizzando 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanti 2.00 metri.

La prova è stata eseguita il 23/07/2010; nella figura che segue si riporta il profilo di velocità delle Vs fino a 30 m di profondità; l'elaborato completo è riprodotto nell'allegato 7.

**Fig. 6 - Prova MASW ( Profilo della velocità delle onde sismiche di taglio Vs)**



L'andamento delle onde sismiche di taglio Vs in profondità, associato alle diverse litologie riscontrate nel lotto, consente le seguenti considerazioni:

- nell'ambito di un profilo di Vs generalmente crescente con la profondità e quindi associabile a terreni con rigidità crescente e, di conseguenza, a caratteristiche migliori, si osservano inversioni di velocità e contrasti di impedenza particolarmente evidenti nella fascia più superficiale fino a 8 m p.c. circa (inversione di velocità) e a



24 m p.c. circa; tali contrasti sono associabili a possibili fenomeni amplificativi delle onde sismiche;

- il valore  $V_{s30}$  della velocità equivalente delle onde di taglio fino a 30 m di profondità è risultato pari a 463 m/sec; il valore è tale da associare il terreno alla categoria di suolo "B" per le applicazioni previste dalle NTC/2008 (di cui si dirà in seguito).



## 5 - MODELLAZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO

Per le finalità dello studio, sulla base dei risultati delle prove CPT, usufruendo delle principali correlazioni disponibili in letteratura (fig. 5) con particolare riguardo a quelle proposte da Searle 79 (fig. 3 e 4), il sottosuolo dell'area di sedime dell'intervento previsto può essere schematizzato mediante l'assunzione del seguente modello geologico come riportato nella due tabelle seguenti.

**Tab. 1 - PROVA CPT 1**

ricostruzione del modello geologico e  
stima delle proprietà fisico-meccaniche

Unità	Prof. m p.c.	litologia	Qc Kg/cm <sup>2</sup>	NSPT N	Resistenza al taglio			Deformabilità	
					Sforzi efficaci C' Kg/cm <sup>2</sup>	Sforzi Totali Cu t/m <sup>2</sup>	Modulo Edom/Deform E t/m <sup>2</sup>	Peso Volume Yn t/m <sup>3</sup>	
1	0.00 0.40	Terreno vegetale							1.80
2	0.40	Argilla e Argilla limosa molto consistente	29			20	9.0	500	1.90
	1.20		58		22	750		1.95	
3	1.20	Argilla limosa dura	57			22	15.0	750	1.95
	5.20		75		24	20.0	1000	2.00	
	5.20 5.40		400						
Correlazioni		(1)				(1)	(2)	(3)	

Correlazioni : (1) Searle 79; (2) AGI, Ricceri et Al, Marsland et Al. ; (3) Mitchell-Gardner 1975.

**Tab. 2 - PROVA CPT 2**

ricostruzione del modello geologico e  
stima delle proprietà fisico-meccaniche

Unità	Prof. m p.c.	litologia	Qc Kg/cm <sup>2</sup>	NSPT N	Resistenza al taglio			Deformabilità	
					Sforzi efficaci C' Kg/cm <sup>2</sup>	Sforzi Totali Cu t/m <sup>2</sup>	Modulo Edom/Deform E t/m <sup>2</sup>	Peso Volume Yn t/m <sup>3</sup>	
1	0.00 0.40	Terreno vegetale							1.80
2	0.40	Argilla e Argilla limosa molto consistente	25			20	8.0	400	1.90
	1.60		38		22	600		1.95	
3	1.60	Argilla limosa e limo, molto consistente e duro	40			22	15.0	600	1.95
	5.80		60		25	20.0	900	2.00	
	5.80 6.00		390						
Correlazioni		(1)				(1)	(2)	(3)	

Correlazioni : (1) Searle 79; (2) AGI, Ricceri et Al, Marsland et Al. ; (3) Mitchell-Gardner 1975.



## LEGENDA TABELLA

$Q_c/R_p$	=	Resistenza statica alla punta del penetrometro
$N_{SPT}$	=	Numero di colpi della prova SPT
$\gamma_n$	=	Peso dell'unità di volume
$E_{ed}$	=	Modulo edometrico (terreni coesivi) e/o deformazione (terreni incoerenti)
$C'$	=	Coesione efficace
$\phi'$	=	Angolo di resistenza al taglio efficace
$C_u$	=	Resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi

## LEGENDA UNITA' LITOLOGICHE

Unità Litologica	Descrizione
1	COPERTURA VEGETALE
2	COPERTURA ESSICCATA
3	SUBSTRATO ALTERATO

Lo schema litostratigrafico interpretativo del sottosuolo dedotto dalle indagini eseguite è riprodotto nell'allegato 6.



## 6 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA

### a - Pericolosità Idrogeologica

A riguardo della pericolosità idrogeologica connessa ai rischi da frana e da esondazione si fa rilevare che l'area di studio è caratterizzata da condizioni geomorfologiche tali da non risultarne esposta: essa infatti insiste su un piccolo pianoro, in parte ricavato anche antropicamente, posizionato sulla parte medio alta di un versante collinare.

In merito a possibili esondazioni si precisa che il corso d'acqua più vicino è il torrente Arzilla che scorre ad una distanza minima di oltre 200 metri e a quote più basse di almeno 15 metri.

Pertanto la conformazione idrografica e la distanza da corsi d'acqua di un certo livello fanno escludere il rischio di possibili esondazioni, come risulta anche dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e dalle indagini fatte a corredo degli strumenti urbanistici del PRG.

L'area di sedime dell'edificio da realizzare non è quindi attualmente interessata da fenomeni di dissesto idrogeologico.

Ciò è confermato anche dalla cartografia del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI) riportata in allegato 2 e dagli studi condotti a corredo del PRG.

### b - Pericolosità sismica e azioni sismiche

L'area è caratterizzata da condizioni morfostratigrafiche locali per effetto delle quali è ragionevole attendersi fenomeni di amplificazione delle onde sismiche ( $F_a > 1.0$ ); il sito ricade infatti nella parte medio-alta di un versante collinare; presenta quindi un certo grado di esposizione ai fenomeni di amplificazione dinamica delle onde sismiche.

#### Azioni Sismiche di cui al D.M. 14/01/2008

Per le applicazioni previste dalla nuova normativa sismica riferibile al D.M. 14/01/2008 risulta quanto segue:

#### Zona Sismica

il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone (fig. 7) ciascuna delle quali contrassegnata da un diverso valore di accelerazione sismica massima orizzontale ( $a_g$ ) riferita a suolo rigido con valori di velocità delle onde di taglio  $V_{s30} \geq 800$  m/sec.



Fig. 7

Zona Sismica	$a_g$
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

l'area di studio ricade in Zona Sismica 2 con valori convenzionali  $a_g = 0.25$

### Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la norma definisce sette categorie di sottosuolo (fig. 8) in base ai valori di velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro una profondità di 30 metri.

Fig. 8

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/sec eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione di spessore massimo di 3.0 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30}$ compresi fra 360-800 m/sec ovvero: $N_{spt30} > 50$ per terreni a grana grossa $Cu_{30} > 250$ KPa nei terreni a grana fine
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30}$ compresi fra 180-360 m/sec ovvero: $N_{spt30}$ compreso fra 15-50 per terreni a grana grossa $Cu_{30}$ compreso fra 70-250 KPa nei terreni a grana fine
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori $> 30$ m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di $V_{s30} < 180$ m/sec ovvero: $N_{spt30} < 15$ per terreni a grana grossa $Cu_{30} < 70$ KPa nei terreni a grana fine
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m posti sul substrato di riferimento con valori di $V_{s30} > 800$ m/sec ovvero: $N_{spt30} < 15$ per terreni a grana grossa





	Cu <sub>30</sub> <70 KPa nei terreni a grana fine
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs <sub>30</sub> inferiori a 100 m/sec, che includono uno strato di almeno 8 m di terreno a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche ovvero:  Cu <sub>30</sub> compreso fra 10-20 KPa nei terreni a grana fine
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti
Le categorie S1 e S2 sono categorie aggiuntive rispetto a quelle principali A/B/C/D/E; per tali categorie è necessario predisporre specifiche analisi per la determinazione delle azioni sismiche.	

Il calcolo della velocità equivalente Vs<sub>30</sub> deriva dalla applicazione della seguente relazione:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1..N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove

- hi spessore dello strato i-esimo
- Vi velocità dell'onda di taglio i-esima
- N numero di strati

Dalla applicazione del metodo previsto dalla Norma NTC/2008 risulta che il valore Vs<sub>30</sub> è fortemente influenzato dagli strati meno rigidi presenti nei 30 m di sottosuolo; il calcolo di N<sub>spt30</sub> e di Cu<sub>30</sub> deriva dalla applicazione della formula suesposta avendo cura di sostituire Vi con i valori N<sub>spt</sub> o Cu.

Nel caso specifico, per la definizione indicativa della categoria di sottosuolo ci si è riferiti:

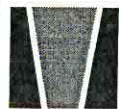
- al valore Vs<sub>30</sub> direttamente calcolato con le prove sismiche MASW;
- alla profondità di 30 m a partire dal p.c. attuale.

IL valore equivalente della velocità delle onde di taglio Vs<sub>30</sub> ricavato dalle prove simiche MASW sull'area di fondovalle è risultato:

**Vs<sub>30</sub> = 463 m/sec**

Si può pertanto preliminarmente stimare che l'area rientri nella seguente categoria di sottosuolo:

Categoria di sottosuolo	Vs <sub>30</sub> (NTC/2008)
<b>B</b>	<b>360-800 m/sec</b>



### Coefficiente di amplificazione topografica

Il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  assume i valori di seguito riportati in funzione della morfologia e dell'ubicazione dell'intervento (fig. 9):

Fig. 9

Categoria topografica	Caratteristiche topografiche	Ubicazione opera	$S_T$
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	-	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Trattandosi di un intervento che ricade in area sub-pianeggiante il coefficiente di amplificazione topografica sarà  $S_T = 1.00$ .

### c - Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione sismica durante i terremoti interessa in genere i terreni finemente sabbiosi e/o sabbioso limosi, sostanzialmente sciolti, a granulometria uniforme e saturi; in tali terreni le sollecitazioni indotte dal sisma possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione di confinamento, annullare la resistenza al taglio efficace e determinare, di conseguenza, una condizione di stato fluido.

La probabilità che un terreno raggiunga tale condizione dipende pertanto da diversi fattori fra i quali: il grado di addensamento, la granulometria, la profondità della falda, la magnitudo dell'evento sismico.

Dalle osservazioni in zone colpite da liquefazione si deduce che generalmente il fenomeno interessa aree caratterizzate da terremoti con magnitudo superiore o uguale a 5.0, con falda prossima al p.c. e spessori di terreno fino a circa 15 m di profondità.

Nel caso specifico, trattandosi di terreni coesivi si può affermare che gli stessi non risultano fra quelli suscettibili al fenomeno della liquefazione.



## 7 - CONSIDERAZIONI FINALI

I risultati dello studio hanno evidenziato che il sito non presenta problematiche tali da condizionare negativamente la fattibilità geologica dell'intervento: si tratta infatti di opere che saranno realizzate su un piccolo pianoro, in parte ricavato anche antropicamente, posizionato sulla parte medio alta di un versante collinare, all'interno di un'area che non risulta interessata da condizioni di pericolosità idrogeologica.

Anche in un intorno significativo non sono stati rilevati fenomeni di dissesto in atto o potenziale che possano coinvolgere direttamente o indirettamente la zona oggetto di indagine, come risulta anche dalla consultazione della documentazione di cui agli studi condotti per il Piano Regolatore e degli elaborati del PAI.

L'intervento da eseguire consiste nella costruzione di un manufatto in aderenza ad uno esistente e avrà dimensioni massime in pianta di m 12.71 X 8.00 e sarà composto da un piano interrato e due fuori terra.

Si prevede altresì la realizzazione di un porticato su due lati.

Riguardo alla profondità delle fondazioni si ricorda che in ogni caso i piani di posa dovranno comunque risultare a profondità tali da non risentire delle variazioni stagionali e/o cicliche del contenuto d'acqua (al fine di evitare che i fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni, particolarmente evidenti in corrispondenza di litotipi più marcatamente argillosi superficiali, possano creare pregiudizio alla stabilità delle opere, dei fabbricati e manufatti in genere). A tal riguardo si fa presente che mediamente la fascia dei terreni superficiali (così detta zona attiva) particolarmente vulnerabile è di almeno m 1.50.

Per i calcoli della capacità portante dei terreni, per i cedimenti e per le azioni sismiche si dovrà fare riferimento ai parametri da noi stimati e riportati nei capitoli 4, 5 e 6.

Dal punto di vista della pericolosità sismica l'area è caratterizzata da condizioni morfostratigrafiche locali per effetto delle quali è ragionevole attendersi fenomeni di amplificazione delle onde sismiche; per le applicazioni previste dalla vigente normativa sismica di cui al D.M. 14/01/2008 le indagini sismiche eseguite hanno consentito di definire un profilo di  $V_{s30}$  a partire dal p.c. attuale pari a **463 m/sec**, tale da associare il sottosuolo alla **categoria "B"** quindi "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori > 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e valori di  $V_{s30}$  compresi fra 360-800 m/sec ovvero:  $N_{spt30} > 50$  per terreni a grana grossa -  $Cu_{30} > 250$  KPa nei terreni a grana fine".

Si raccomanda inoltre:

- di porre la dovuta e necessaria attenzione alle acque meteoriche superficiali di apporto diretto e indiretto al fine di evitare l'infiltrazione nel sottosuolo e nei terreni di fondazione in corrispondenza dell'area di sedime dei fabbricati e delle relative opere; dovranno quindi essere realizzate opere permanenti di regimazione



idrogeologica delle acque meteoriche che consentano, sin dall'avvio della fase esecutiva e quindi della cantierizzazione dell'area, l'allontanamento delle acque al di fuori dell'area di pertinenza di tutte le opere in progetto;

- di mantenere inderogabilmente in efficienza la rete di scolo e drenaggio delle acque meteoriche;
- di verificare, prima dell'avvio della fase esecutiva, l'esatta geometria degli sbancamenti rispetto alle reali condizioni al contorno; ciò al fine di prevedere ed eseguire, laddove necessario, quelle opere provvisorie di sostegno a salvaguardia della stabilità dell'area e delle opere, fabbricati e manufatti limitrofi; in ogni caso, per le opere e/o manufatti ricadenti all'interno del cuneo di spinta del terreno a tergo delle pareti di sbanco e comunque ubicati entro 5.00 metri dal perimetro di sbanco si raccomanda di prevedere opere provvisorie preventive allo sbanco stesso al fine di garantire adeguate condizioni di sicurezza.

In ordine alle modalità esecutive degli sbancamenti, in assenza di manufatti in adiacenza o limitrofi, si raccomanda di adottare le normali precauzioni connesse alla esecuzione di sbancamenti avendo cura:

- di evitare sovraccarichi a ridosso del perimetro di sbanco;
- di evitare fronti di sbanco verticali;
- di prevedere adeguate opere di regimazione delle acque meteoriche al fine di evitare il deflusso idrico dall'esterno in direzione dello sbanco; contestualmente si suggerisce di proteggere con teli impermeabili le pareti di sbanco.

In fase esecutiva si resta a disposizione per fornire assistenza per quanto di competenza in ordine agli interventi previsti al fine di:

- verificare, anche attraverso osservazioni e misure in corso d'opera, la validità delle ipotesi assunte;
- adeguare, eventualmente, le opere alle situazioni effettivamente riscontrate;
- valutare soluzioni d'intervento opportune per garantire adeguate condizioni di sicurezza e stabilità.

Fano, agosto 2010



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 20 di 28

# ALLEGATI



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 21 di 28

# ALLEGATO 1

## STRALCIO CARTA GEOLOGICA



**GEOCON**

STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Geol. Angelo RENZONI  
Geol. Michele GLIASCHERA  
Geol. Walter BORGHI

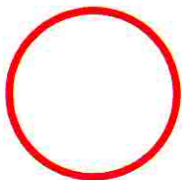
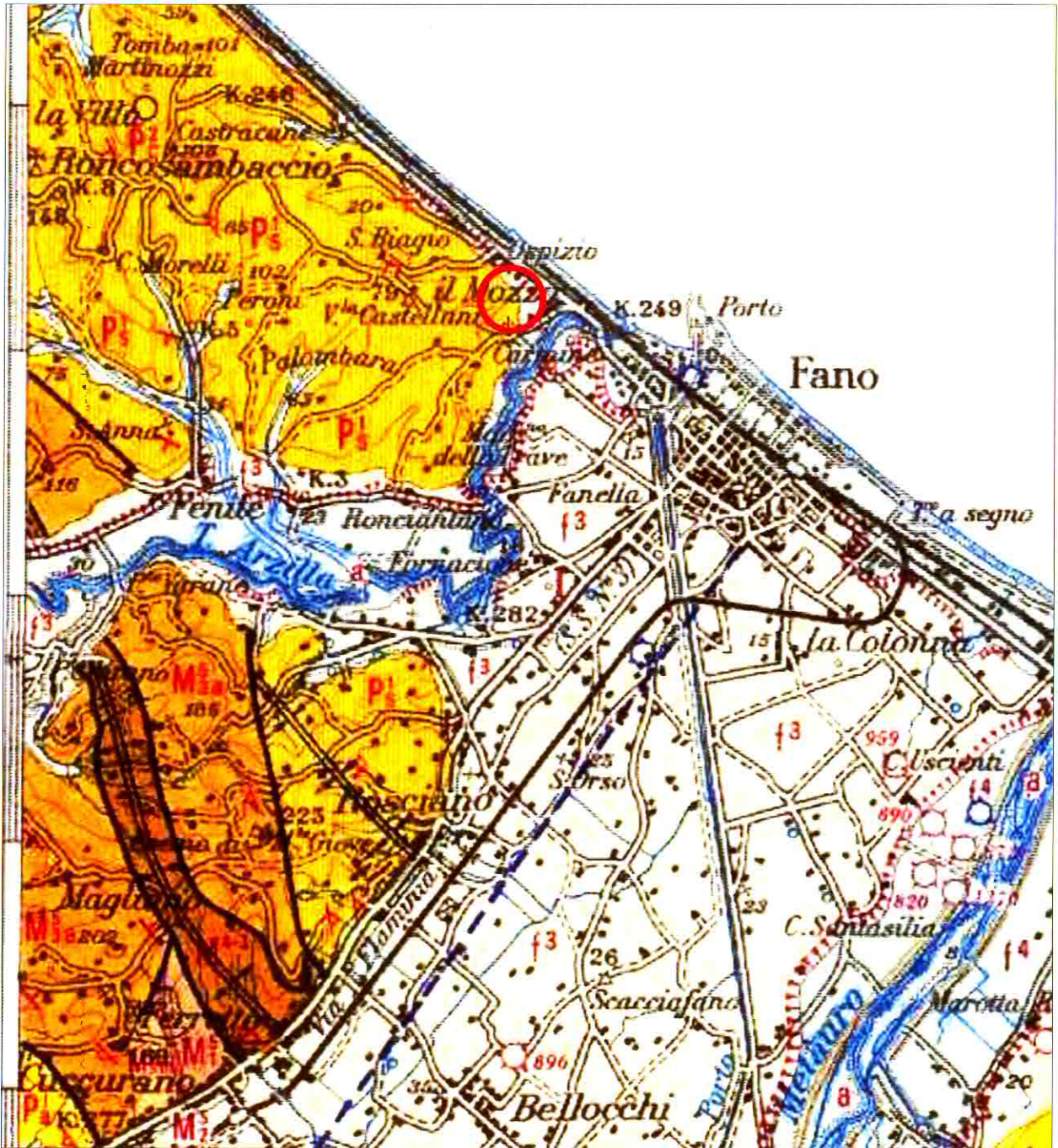
Via Gozzi n. 10/A 61032 Fano (PU)  
Tel. 0721 861494/862875  
e-mail geocon@fastwebnet.it

PIANO ATTUATIVO DI RECUPERO CON  
APPLICAZIONE DELLA  
LR 22/2009 (PIANO CASA) PER LA  
COSTRUZIONE DI UNA UNITÀ  
ABITATIVA IN ADERENZA, SITA IN FANO PU



**STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA**

FOGLIO 110  
SENIGALLIA



AREA DI INTERVENTO



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

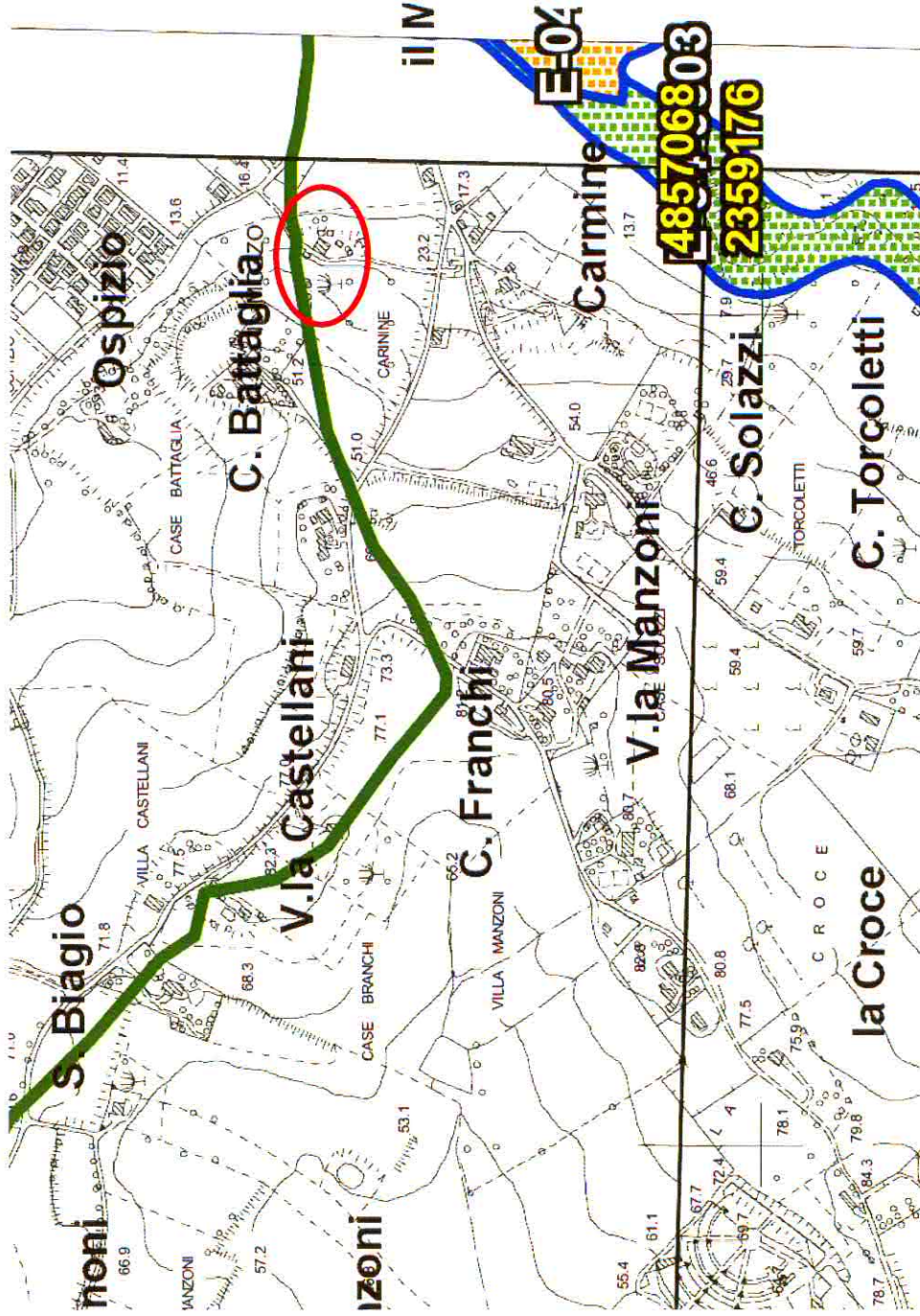
Pag. 22 di 28

## ALLEGATO 2

# STRALCIO CARTOGRAFICO PAI

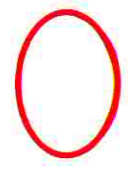


# Piano Assetto Idrogeologico (PAI) CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO



## 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 a rischio valanga (codice V-xx-yyyy)
- Rischio molto elevato (R4)
- Limite di bacino idrografico



Ubicazione area in oggetto

ESTRATTO CARTOGRAFICO PAI TAV. RI 06



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 23 di 28

## ALLEGATO 3

# AEROFOTOGRAMMETRIA

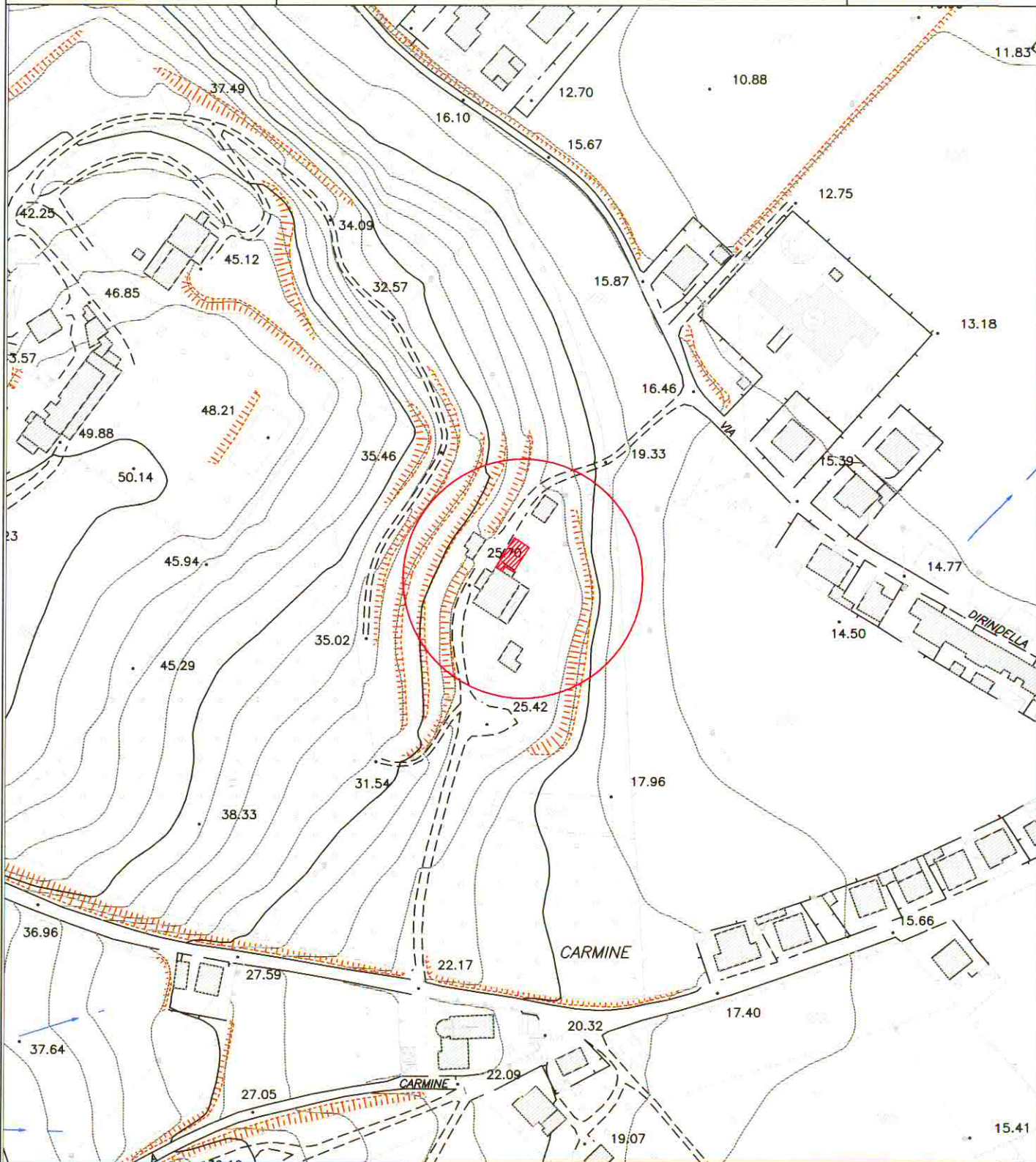


**AEROFOTOGRAMMETRIA**

**SCALA 1:2.000**

Commessa:1067/2010

Data: AGOSTO 2010



**AREA DI INTERVENTO**  
(con area di ampliamento)



**SCARPATE**



**RETICOLO IDROGRAFICO**



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 24 di 28

# ALLEGATO 4

## CARTA PLANOALTIMETRICA CON UBICAZIONE INDAGINI GEOLOGICHE



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 25 di 28

# ALLEGATO 5

## CERTIFICATI E GRAFICI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

# PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Sig. LUCIANO BENINI  
Cantiere: VIA BELGATTO 78  
Località: FANO (PU)  
Rif.: 10254.B

## Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 73 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

Elaborato da: M. Grassi	Controllato da: M. Grassi
Approvato da: M. Grassi	Data: 17.06.10



**GEOCON**

STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

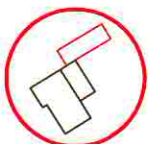
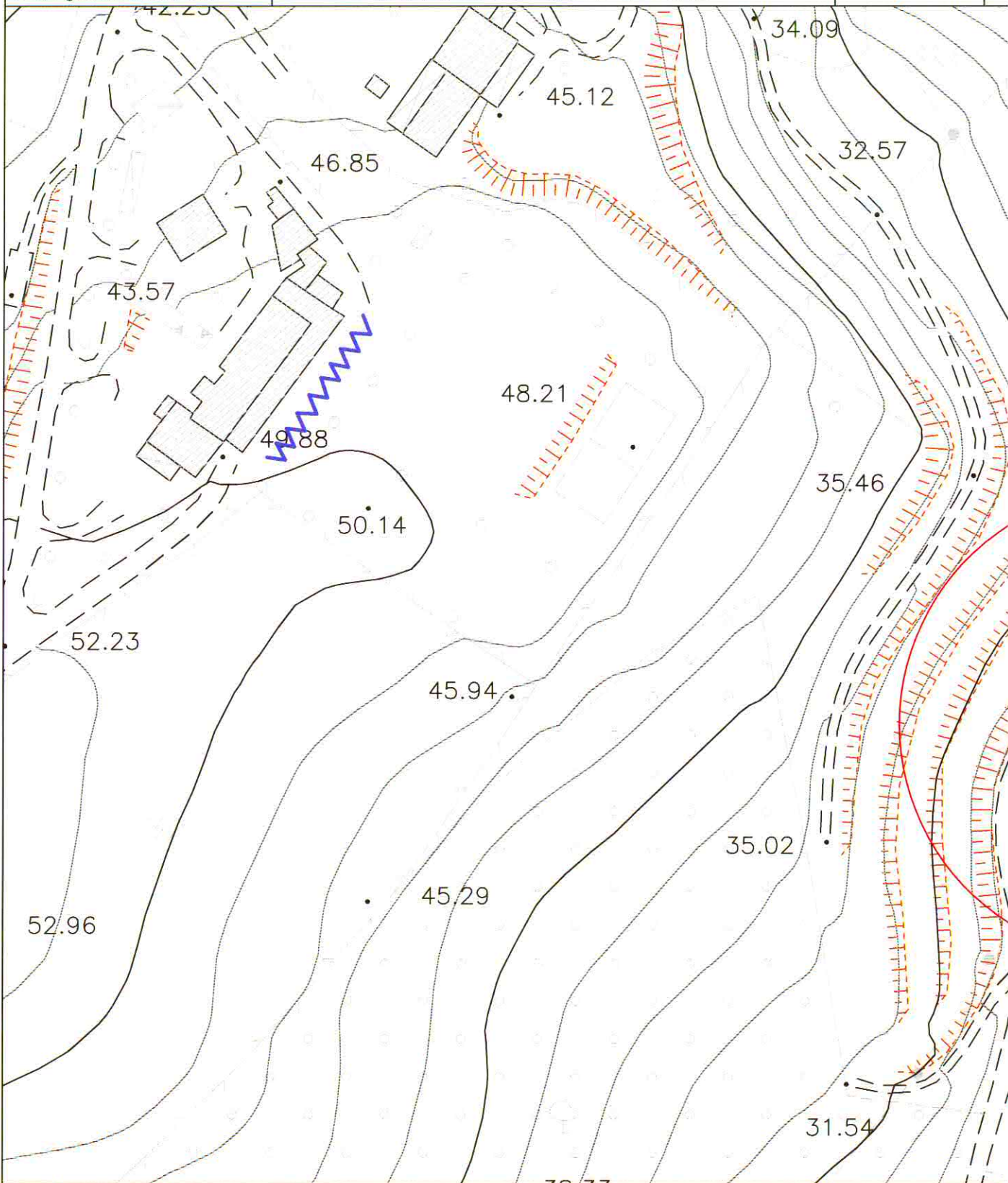
Geol. Angelo RENZONI  
Geol. Michele GLIASCHERA  
Geol. Walter BORGHI

Via Gozzi n. 10/A 61032 Fano (PU)  
Tel. 0721 861494/862875  
e-mail geocon@fastwebnet.it

PIANO ATTUATIVO DI RECUPERO CON  
APPLICAZIONE DELLA  
LR 22/2009 (PIANO CASA) PER LA  
COSTRUZIONE DI UNA UNITÀ  
ABITATIVA IN ADERENZA, SITA IN FANO PU



**CARTA PLANOALTIMETRICA CON UBICAZIONE DELLE  
INDAGINI GEOLOGICHE E TRACCIA DELLO SCHEMA  
LITOSTRATIGRAFICO INTERPRETATIVO**



AREA DI INTERVENTO  
(con area di ampliamento)



Prova penetrometrica statica  
(27/07/2010)

**PROVA ... Nr.1 (RIF. 10254.B)**

Strumento utilizzato...  
Prova eseguita in data

PAGANI TG 73 (200 kN)  
14/06/2010

Profondità prova

5,40 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,40	0,0	0,0	0,0	3,4667	0,0	
0,60	58,0	110,0	58,138	3,0	19,38	5,16
0,80	45,0	90,0	45,138	3,8667	11,67	8,57
1,00	41,0	99,0	41,138	3,2667	12,59	7,94
1,20	29,0	78,0	29,276	2,2	13,31	7,51
1,40	57,0	90,0	57,276	3,9333	14,56	6,87
1,60	61,0	120,0	61,276	4,5333	13,52	7,4
1,80	60,0	128,0	60,276	3,7333	16,15	6,19
2,00	74,0	130,0	74,276	4,2667	17,41	5,74
2,20	76,0	140,0	76,414	4,8667	15,7	6,37
2,40	74,0	147,0	74,414	4,6	16,18	6,18
2,60	69,0	138,0	69,414	3,9333	17,65	5,67
2,80	70,0	129,0	70,414	3,4667	20,31	4,92
3,00	83,0	135,0	83,414	3,9333	21,21	4,72
3,20	70,0	129,0	70,552	4,5333	15,56	6,43
3,40	66,0	134,0	66,552	4,6667	14,26	7,01
3,60	60,0	130,0	60,552	4,4	13,76	7,27
3,80	84,0	150,0	84,552	5,4	15,66	6,39
4,00	99,0	180,0	99,552	5,3333	18,67	5,36
4,20	70,0	150,0	70,69	4,6667	15,15	6,6
4,40	65,0	135,0	65,69	4,1333	15,89	6,29
4,60	58,0	120,0	58,69	3,6667	16,01	6,25
4,80	60,0	115,0	60,69	4,0667	14,92	6,7
5,00	89,0	150,0	89,69	4,6667	19,22	5,2
5,20	90,0	160,0	90,828	3,3333	27,25	3,67
5,40	400,0	450,0	400,828	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,40	0,0	1,7334	0,0		Stima non eseguibile
0,60	58,138	3,0	2,15	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
1,80	49,0633	3,5889	2,12	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,00	74,7243	4,1778	2,19	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
3,60	65,8853	4,5333	2,17	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
4,00	92,052	5,3667	2,23	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
4,80	63,94	4,1334	2,17	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
5,00	89,69	4,6667	2,22	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
5,20	90,828	3,3333	2,23	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,06
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,57
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,91
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,43
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Lunne, Robertson and Powell 1977	4,81
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,32
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Lunne, Robertson and Powell 1977	4,67
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Lunne, Robertson and Powell 1977	4,73

#### Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Metodo generale del modulo Edometrico	116,27
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Metodo generale del modulo Edometrico	98,13
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Metodo generale del modulo Edometrico	149,45
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Metodo generale del modulo Edometrico	131,77
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Metodo generale del modulo Edometrico	184,1
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Metodo generale del modulo Edometrico	127,88

Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Metodo generale del modulo Edometrico	179,38
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Metodo generale del modulo Edometrico	181,65

#### Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Cancelli 1980	2179,37
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Cancelli 1980	1833,49
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Cancelli 1980	2786,08
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Cancelli 1980	2447,25
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Cancelli 1980	3424,39
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Cancelli 1980	2365,26
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Cancelli 1980	3326,8
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Cancelli 1980	3367,8

#### Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	335,15
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Imai & Tomauchi	302,14
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Imai & Tomauchi	390,7
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Imai & Tomauchi	361,77
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Imai & Tomauchi	443,79
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Imai & Tomauchi	355,21
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Imai & Tomauchi	436,8
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Imai & Tomauchi	440,18

#### Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	P.W.Mayne 1991	9
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	P.W.Mayne 1991	9
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	P.W.Mayne 1991	9
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	P.W.Mayne 1991	9
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	P.W.Mayne 1991	9

#### Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,15
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Meyerhof	2,12
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Meyerhof	2,19
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Meyerhof	2,17
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Meyerhof	2,23
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Meyerhof	2,17
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Meyerhof	2,22
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Meyerhof	2,23

**Fattori di compressibilità C Crm**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	0,1	0,01
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	0,1	0,01
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	0,1	0,01
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	0,1	0,01
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	0,1	0,01

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,23
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Meyerhof	2,2
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Meyerhof	2,27
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Meyerhof	2,25
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Meyerhof	2,31
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Meyerhof	2,25
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Meyerhof	2,3
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Meyerhof	2,31

**TERRENI INCOERENTI**
**Densità relativa**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	100,0
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	69,64
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	67,91
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	63,15
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	62,88

**Angolo di resistenza al taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Meyerhof 1951	43,1
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Meyerhof 1951	45,0
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Meyerhof 1951	45,0
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Meyerhof 1951	45,0
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Meyerhof 1951	45,0

**Modulo di Young**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Robertson & Campanella 1983	116,28
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Robertson & Campanella 1983	149,45
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Robertson & Campanella 1983	184,1
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Robertson & Campanella 1983	179,38
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Robertson & Campanella 1983	181,66

**Modulo Edometrico**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Robertson & Campanella da Schmertmann	81,0
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Robertson & Campanella da Schmertmann	72,72
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Robertson & Campanella da Schmertmann	71,4
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Robertson & Campanella da Schmertmann	67,38
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Robertson & Campanella da Schmertmann	67,35

**Modulo di deformazione a taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	335,15
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Imai & Tomauchi	390,7
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Imai & Tomauchi	443,79
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Imai & Tomauchi	436,8
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Imai & Tomauchi	440,18

**Grado di sovraconsolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Stress-History	>9
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Stress-History	4,05
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Stress-History	2,91
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Stress-History	2,14
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Stress-History	2,07

**Modulo di reazione Ko**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Kulhawy-Mayne (1990)	0,87
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Kulhawy-Mayne (1990)	0,70
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Kulhawy-Mayne (1990)	0,57
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Kulhawy-Mayne (1990)	0,56

**Fattori di compressibilità C Crm**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	0,10223	0,01329
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	0,09771	0,0127
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	0,09516	0,01237
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	0,09542	0,0124
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	0,09529	0,01239

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Meyerhof	1,8
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Meyerhof	1,8
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Meyerhof	1,8
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Meyerhof	1,8
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Meyerhof	1,8

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,1
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Meyerhof	2,1
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Meyerhof	2,1
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Meyerhof	2,1
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Meyerhof	2,1

**Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,25**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione

**Permeabilità**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,40	0,0	1,7334	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	*
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Piacentini-Righi 1988	3,70E-08

**Coefficiente di consolidazione**

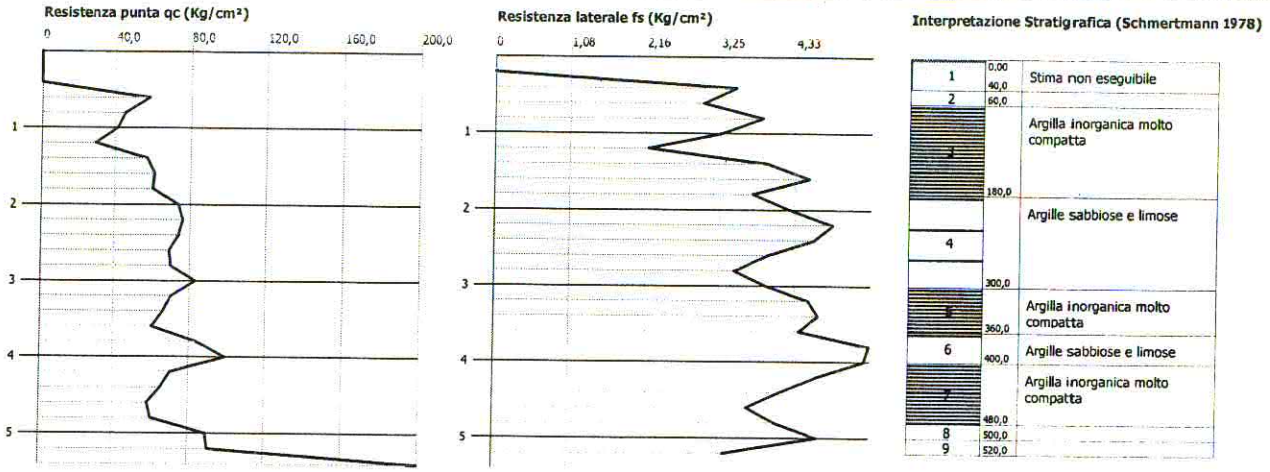
	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	0,40	0,0	1,7334	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	--
Strato 2	0,60	58,138	3,0	0,02	0,02	Piacentini-Righi 1988	1,74414E-06
Strato 3	1,80	49,0633	3,5889	0,17	0,17	Piacentini-Righi 1988	1,471899E-06
Strato 4	3,00	74,7243	4,1778	0,43	0,43	Piacentini-Righi 1988	2,241729E-06
Strato 5	3,60	65,8853	4,5333	0,63	0,63	Piacentini-Righi 1988	1,976559E-06
Strato 6	4,00	92,052	5,3667	0,74	0,74	Piacentini-Righi 1988	2,76156E-06
Strato 7	4,80	63,94	4,1334	0,87	0,87	Piacentini-Righi 1988	1,9182E-06
Strato 8	5,00	89,69	4,6667	0,98	0,98	Piacentini-Righi 1988	2,6907E-06
Strato 9	5,20	90,828	3,3333	1,02	1,02	Piacentini-Righi 1988	1,009161E-02

**Probe CPT - Cone Penetration Nr.1 (RIF. 10254.B)**  
**Strumento utilizzato... PAGANI TG 73 (200 kN)**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : Sig. LUCIANO BENINI  
 Cantiere : VIA BELGATTO 78  
 Località : FANO (PU)

Data : 14/06/2010

Scala 1:100



Profondità

**PROVA ... Nr.2 (RIF. 10254.B)**

Strumento utilizzato...  
Prova eseguita in data

PAGANI TG 73 (200 kN)  
14/06/2010

Profondità prova

6,00 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,40	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	
0,60	80,0	140,0	80,138	2,0	40,07	2,5
0,80	170,0	200,0	170,138	2,1333	79,75	1,25
1,00	38,0	70,0	38,138	3,2	11,92	8,39
1,20	25,0	73,0	25,276	1,7333	14,58	6,86
1,40	26,0	52,0	26,276	1,8667	14,08	7,1
1,60	31,0	59,0	31,276	3,7333	8,38	11,94
1,80	64,0	120,0	64,276	2,8	22,96	4,36
2,00	50,0	92,0	50,276	2,8	17,96	5,57
2,20	41,0	83,0	41,414	3,4	12,18	8,21
2,40	43,0	94,0	43,414	3,2	13,57	7,37
2,60	46,0	94,0	46,414	2,4667	18,82	5,31
2,80	58,0	95,0	58,414	3,0	19,47	5,14
3,00	57,0	102,0	57,414	3,1333	18,32	5,46
3,20	56,0	103,0	56,552	3,6	15,71	6,37
3,40	54,0	108,0	54,552	3,4	16,04	6,23
3,60	62,0	113,0	62,552	3,6	17,38	5,76
3,80	53,0	107,0	53,552	3,4667	15,45	6,47
4,00	60,0	112,0	60,552	3,8	15,93	6,28
4,20	57,0	114,0	57,69	3,6667	15,73	6,36
4,40	72,0	127,0	72,69	3,6667	19,82	5,04
4,60	67,0	122,0	67,69	3,8667	17,51	5,71
4,80	60,0	118,0	60,69	2,8	21,68	4,61
5,00	60,0	102,0	60,69	3,6	16,86	5,93
5,20	50,0	104,0	50,828	3,1333	16,22	6,16
5,40	48,0	95,0	48,828	3,3333	14,65	6,83
5,60	44,0	94,0	44,828	6,5333	6,86	14,57
5,80	52,0	150,0	52,828	2,0	26,41	3,79
6,00	390,0	420,0	390,828	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,40	0,0	2,0	0,0		Stima non eseguibile
0,60	80,138	2,0	2,21	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
0,80	170,138	2,1333	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
1,60	30,2415	2,6333	2,04	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,00	57,276	2,8	2,15	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,40	42,414	3,3	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,00	54,0807	2,8667	2,14	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
3,40	55,552	3,5	2,14	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,60	62,552	3,6	2,16	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
4,20	57,2647	3,6445	2,15	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
5,00	65,44	3,4834	2,17	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
5,60	48,1613	4,3333	2,12	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
5,80	52,828	2,0	2,13	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Lunne, Robertson and Powell 1977	4,22
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Lunne, Robertson and Powell 1977	1,58
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,0
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,21
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,82
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,89
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,26
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,98
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Lunne, Robertson and Powell 1977	3,4
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,48
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Lunne, Robertson and Powell 1977	2,72

#### Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Metodo generale del modulo Edometrico	160,27
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Metodo generale del modulo Edometrico	60,48
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Metodo generale del modulo Edometrico	114,55
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Metodo generale del modulo	84,83

Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Edometrico Metodo generale del modulo Edometrico	108,16
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Metodo generale del modulo Edometrico	111,1
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Metodo generale del modulo Edometrico	125,1
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Metodo generale del modulo Edometrico	114,53
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Metodo generale del modulo Edometrico	130,88
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Metodo generale del modulo Edometrico	96,32
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Metodo generale del modulo Edometrico	105,65

#### Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Cancelli 1980	3004,35
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Cancelli 1980	1127,84
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Cancelli 1980	2136,96
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Cancelli 1980	1576,45
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Cancelli 1980	2009,97
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Cancelli 1980	2061,13
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Cancelli 1980	2321,21
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Cancelli 1980	2119,71
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Cancelli 1980	2420,61
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Cancelli 1980	1767,02
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Cancelli 1980	1938,84

#### Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	407,76
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Imai & Tomauchi	224,81
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Imai & Tomauchi	332,11
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Imai & Tomauchi	276,42
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Imai & Tomauchi	320,66

Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Imai & Tomauchi	325,96
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Imai & Tomauchi	350,48
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Imai & Tomauchi	332,07
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Imai & Tomauchi	360,28
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Imai & Tomauchi	298,74
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Imai & Tomauchi	316,1

#### Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	P.W.Mayne 1991	9
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	P.W.Mayne 1991	9
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	P.W.Mayne 1991	9
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	P.W.Mayne 1991	9
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	P.W.Mayne 1991	9
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	P.W.Mayne 1991	9
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	P.W.Mayne 1991	9
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	P.W.Mayne 1991	9

#### Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,21
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Meyerhof	2,04
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Meyerhof	2,15
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Meyerhof	2,1
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Meyerhof	2,14
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Meyerhof	2,14
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Meyerhof	2,16
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Meyerhof	2,15
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Meyerhof	2,17
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Meyerhof	2,12
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Meyerhof	2,13

### Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	0,1	0,01
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	0,1	0,01
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	0,1	0,01
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	0,1	0,01
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	0,1	0,01
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	0,1	0,01
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	0,1	0,01

### Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,29
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Meyerhof	2,12
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Meyerhof	2,23
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Meyerhof	2,18
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Meyerhof	2,22
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Meyerhof	2,22
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Meyerhof	2,24
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Meyerhof	2,23
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Meyerhof	2,25
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Meyerhof	2,2
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Meyerhof	2,21

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	100,0
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	100,0
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	67,62
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	58,8
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	58,61
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	55,49
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	46,07

**Angolo di resistenza al taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Meyerhof 1951	45,0
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Meyerhof 1951	45,0
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Meyerhof 1951	42,72
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Meyerhof 1951	41,28
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Meyerhof 1951	45,0
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Meyerhof 1951	45,0
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Meyerhof 1951	40,72

**Modulo di Young**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Robertson & Campanella 1983	160,28
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Robertson & Campanella 1983	340,28
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Robertson & Campanella 1983	114,55
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Robertson & Campanella 1983	108,16
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Robertson & Campanella 1983	125,1
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Robertson & Campanella 1983	130,88
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Robertson & Campanella 1983	105,66

**Modulo Edometrico**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Robertson & Campanella da Schmertmann	81,66
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Robertson & Campanella da Schmertmann	84,86
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Robertson & Campanella da Schmertmann	71,17
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Robertson & Campanella da Schmertmann	60,91
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Robertson & Campanella da Schmertmann	60,9
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Robertson & Campanella da Schmertmann	58,48
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Robertson & Campanella da Schmertmann	49,68

**Modulo di deformazione a taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Imai & Tomauchi	407,76
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Imai & Tomauchi	645,92
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Imai & Tomauchi	332,11
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Imai & Tomauchi	320,66
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Imai & Tomauchi	350,48
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Imai & Tomauchi	360,28
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Imai & Tomauchi	316,1

**Grado di sovraconsolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Stress-History	>9
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Stress-History	>9
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Stress-History	4,59
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Stress-History	2,61
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Stress-History	2,23
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Stress-History	1,71
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Stress-History	1,09

**Modulo di reazione Ko**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Kulhawy-Mayne (1990)	0,94
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Kulhawy-Mayne (1990)	0,65
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Kulhawy-Mayne (1990)	0,59
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Kulhawy-Mayne (1990)	0,50
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Kulhawy-Mayne (1990)	0,37

**Fattori di compressibilità C Crm**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	0,09673	0,01258
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	0,0994	0,01292
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	0,10255	0,01333
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	0,10382	0,0135
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	0,10076	0,0131
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	0,09991	0,01299
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	0,10436	0,01357

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	1,8
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Meyerhof	1,9
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Meyerhof	1,8
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Meyerhof	1,8
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Meyerhof	1,8
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Meyerhof	1,8
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Meyerhof	1,8

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Meyerhof	2,1
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Meyerhof	2,2
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Meyerhof	2,1
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Meyerhof	2,1
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Meyerhof	2,1
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Meyerhof	2,1
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Meyerhof	2,1

**Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,25**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Robertson e Wride 1997	31,932

**Permeabilità**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,40	0,0	2,0	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	*
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Piacentini-Righi 1988	3,69E-05
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Piacentini-Righi 1988	7,43E-03
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Piacentini-Righi 1988	3,69E-11
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Piacentini-	1,00E-11

						Righi 1988	
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Piacentini-Righi 1988	7,26E-08

#### Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	0,40	0,0	2,0	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	--
Strato 2	0,60	80,138	2,0	0,02	0,02	Piacentini-Righi 1988	8,875545
Strato 3	0,80	170,138	2,1333	0,06	0,06	Piacentini-Righi 1988	--
Strato 4	1,60	30,2415	2,6333	0,17	0,17	Piacentini-Righi 1988	9,07245E-07
Strato 5	2,00	57,276	2,8	0,29	0,29	Piacentini-Righi 1988	6,333646E-06
Strato 6	2,40	42,414	3,3	0,38	0,38	Piacentini-Righi 1988	1,27242E-06
Strato 7	3,00	54,0807	2,8667	0,48	0,48	Piacentini-Righi 1988	1,622421E-06
Strato 8	3,40	55,552	3,5	0,59	0,59	Piacentini-Righi 1988	1,66656E-06
Strato 9	3,60	62,552	3,6	0,65	0,65	Piacentini-Righi 1988	1,87656E-06
Strato 10	4,20	57,2647	3,6445	0,74	0,74	Piacentini-Righi 1988	1,717941E-06
Strato 11	5,00	65,44	3,4834	0,89	0,89	Piacentini-Righi 1988	1,9632E-06
Strato 12	5,60	48,1613	4,3333	1,04	1,04	Piacentini-Righi 1988	1,444839E-06
Strato 13	5,80	52,828	2,0	1,13	1,13	Piacentini-Righi 1988	1,150503E-02





**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 26 di 28

# ALLEGATO 6 SCHEMA LITOSTRATIGRAFICO INTERPRETATIVO



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Geol. Angelo RENZONI  
Geol. Michele GLIASCHERA  
Geol. Walter BORGHI

Via Gozzi n. 10/A 61032 Fano (PU)  
Tel. 0721 861494/862875  
e-mail geocon@fastwebnet.it

PIANO ATTUATIVO DI RECUPERO CON  
APPLICAZIONE DELLA  
LR 22/2009 (PIANO CASA) PER LA  
COSTRUZIONE DI UNA UNITÀ  
ABITATIVA IN ADERENZA, SITA IN FANO PU

ALLEGATO

6

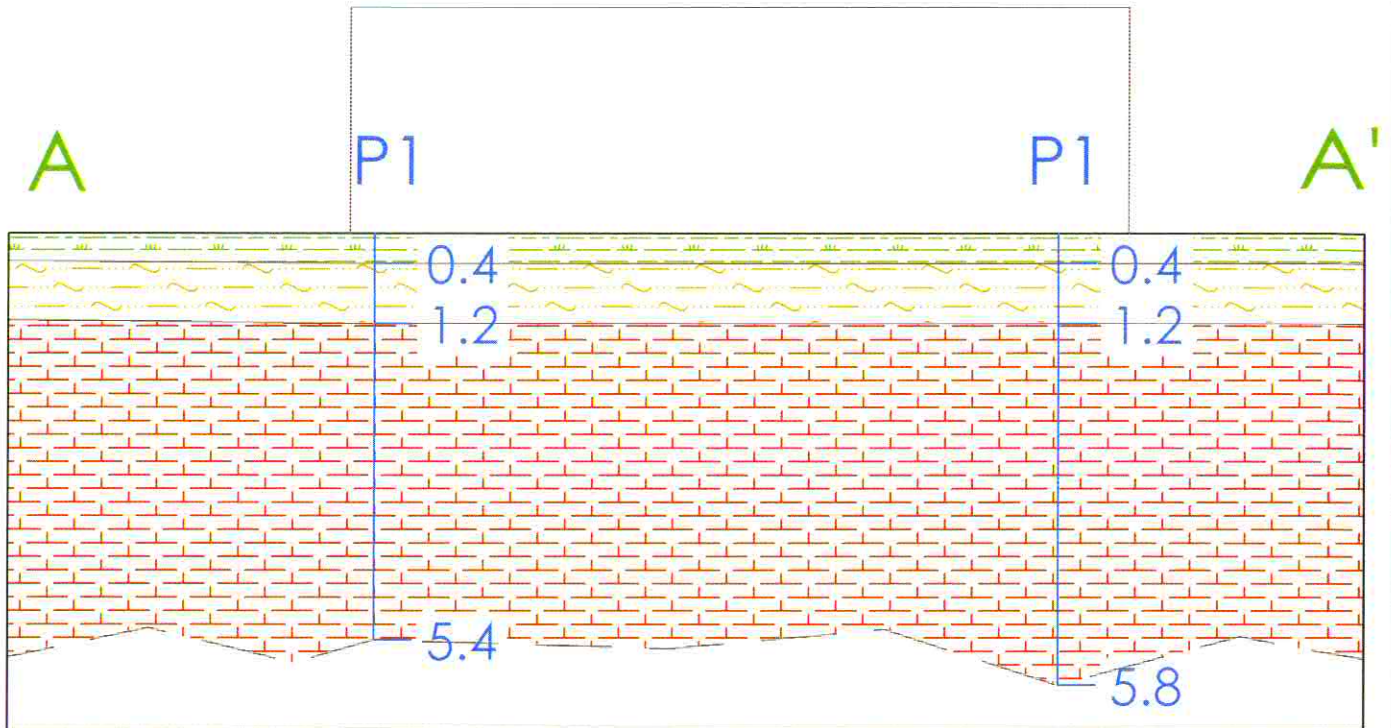
**SCHEMA LITOSTRATIGRAFICO**

**SCALA 1:100**

Commessa: 1067/2010

Data: AGOSTO 2010

Edificio



Terreno vegetale



Argilla e Argilla limosa molto consistente



Argilla limosa e limo molto consistente e duro

P1

Prova penetrometrica statica CPT (27/07/2010)



**GEOCON**  
STUDIO ASSOCIATO PER LA  
GEOLOGIA E LA SICUREZZA

Commessa 1067/10  
**BENINI LUCIANO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
D.M. 14/01/2008 E CIRC. LL.PP. N° 617/09

Pag. 27 di 28

# ALLEGATO 7 INDAGINE SISMICA MASW

**COMUNE DI FANO**  
**Provincia di Pesaro-Urbino**



**INDAGINE SISMICA MASW**  
**AMPLIAMENTO FABBRICATO RESIDENZIALE**  
**IN VIA BELGATTO, 79 NEL COMUNE DI FANO**

**RELAZIONE GEOFISICA**

*Committente: Benini Maria Pia*

*Data : 23/07/2010*

*File/Rif. : 134\_BENINI\_FANO\_10*

*Allegato : unico*

 **GEOS geofisica s.p.a.**  
del Dr. Geol. G. Napoleone e D. Gattini  
Largo Grammercato, 3 - 60035 JESI (AN)  
Tel. e Fax 0731.200260  
Partita IVA 01329540429



## Sommario

1	INTRODUZIONE .....	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	2
3	CENNI SULLA METODOLOGIA MASW.....	3
4	STRUMENTAZIONE MODALITA' DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE .....	7
5	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE.....	8

In allegato:

Figure 1+5



## 1 INTRODUZIONE

La relazione illustra i risultati dell'indagine sismica MASW eseguita per l'ampliamento di un fabbricato residenziale sito in via Belgatto n.79 nel comune di Fano.

Obiettivo dell'indagine è la definizione della categoria sismica dei terreni per il calcolo dell'azione sismica di progetto in ottemperanza alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M.14 gennaio 2008 integrato con la circ. 02/02/09 N° 617 C.S. LL.PP.

A tal scopo è stato realizzato un profilo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione del parametro  $V_{s30}$ . I risultati dell'indagine (illustrati nelle Figure 1-2-3-4-5), vengono di seguito illustrati e commentati.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

La nuova normativa sismica italiana D.M. 14 gennaio 2008 "Testo Unico sulle Costruzioni" integrato con la circ. 02/02/09 N° 617 C.S. LL.PP definiscono l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. Nel territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche contraddistinte dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori convenzionali di  $a_g$  assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido (vedi **tabella 2.1**), per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali. In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie. In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione  $S$  e i periodi  $T$  che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale. La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

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

dove  $V_{si}$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato  $i$ -esimo. Si osservi che: anche se non specificato le onde di taglio da considerare sono quelle verticali, assumendo che il moto sismico si propaghi in un piano verticale dal basso verso l'alto



all'interno di un semispazio stratificato mentre la Vs30 rappresenta una velocità "equivalente" nei primi 30 m di profondità

**Tabella 2.1:** Classificazione del tipo di suolo secondo la normativa sismica D.M. 14/01/2008 – Circ. 02/02/2009, n. 617, C.S.LL.PP.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs <sub>30</sub> (m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs <sub>30</sub> compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero resistenza penetrometrica N SPT > 50, o coesione non drenata c <sub>u</sub> >250 kPa).	360÷800
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180m/s e 360m/s (15 < N SPT < 50, 70 < c <sub>u</sub> <250 kPa).	180÷360
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180m/s. (N SPT < 15, c <sub>u</sub> <70 kPa).	<180
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s)	-
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10<Cu30<20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	-

La classificazione sismica dei suoli contenuta nella nuova normativa sismica italiana rispetta i criteri adottati nell'Eurocodice 8.

### 3 CENNI SULLA METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) 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 uno stendimento. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propaga-



zione delle onde. 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 al fatto che 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* (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Il metodo utilizzato nell'indagine è quello *attivo*, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni. Il metodo *passivo* misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni nei primi 30 – 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

La metodologia MASW non è influenzata dai fenomeni di inversione di velocità (strati soffici compresi tra strati più rigidi) o presenza di falde acquifere superficiali consentendo di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase ( $V_R$ ).

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati con proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali avviene con diversa modalità. La propagazione delle onde presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase).

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente 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 (come si vedrà più avanti) 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 corrispon-



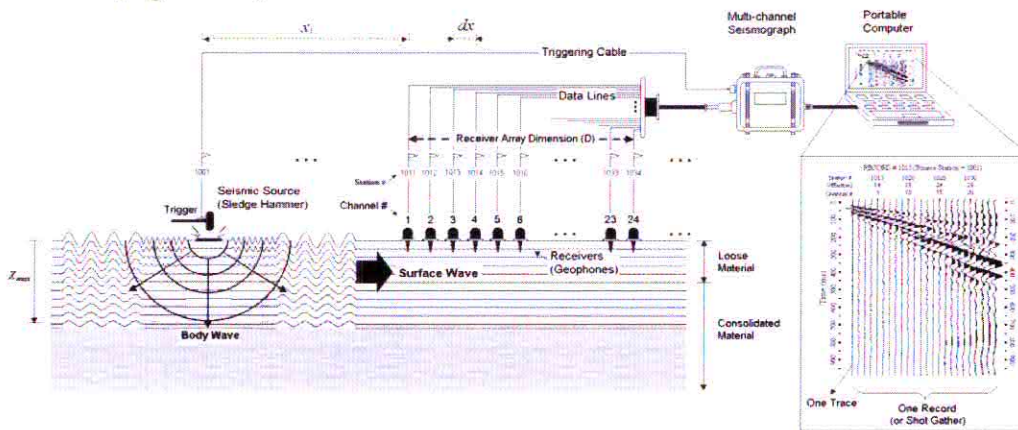


de un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col 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 singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura A.1 e A2, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione (Figura A.1);
- 2) Processing (Figura A.2);
- 3) Inversione (Figura A.3).



**Figura A. 1- Schema di acquisizione dati MASW**

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 2.0, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di *processing* per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda).

I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh  $V_R$ , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori ( $V_R, f$ ) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura A.2). 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 stratigrafia, il problema diretto viene risolto iterativamente variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica).

Figura A. 2 Esempio curva di dispersione della velocità  $V_s$  in funzione della frequenza e della velocità di fase

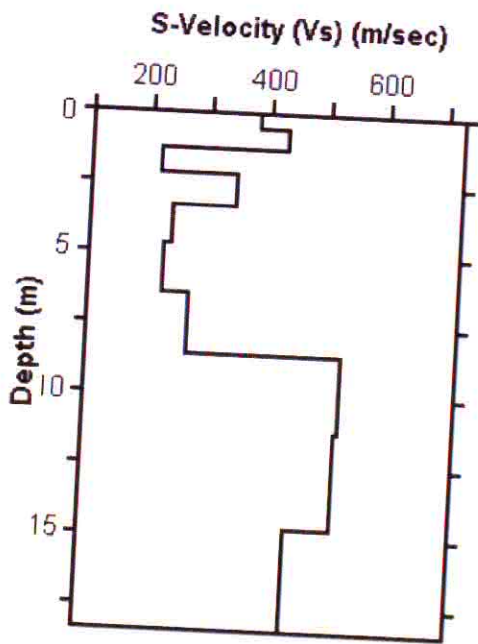
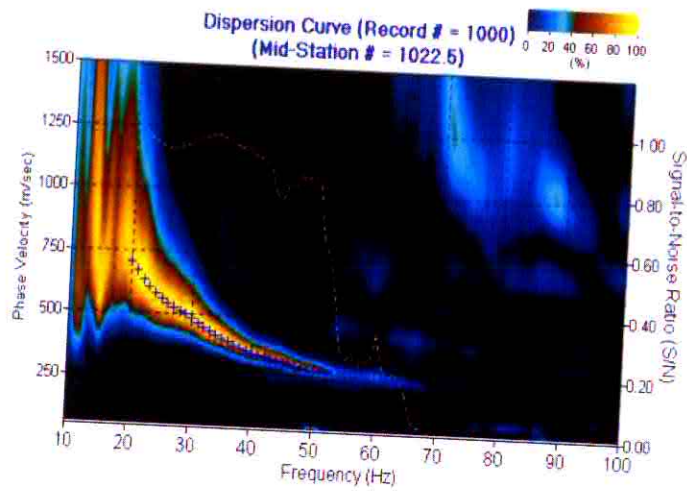


Figura A. 3 Esempio modello di propagazione delle velocità delle onde  $V_s$

#### 4 STRUMENTAZIONE MODALITA' DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE

La strumentazione utilizzata è costituita da: un acquisitore a 24 canali della Seismic Source (DAQLink III System – 24 bit Acquisition System) 24 geofoni a frequenza di 4,5 Hz, una mazza battente per la generazione dell'impulso sismico da 8 Kg.

L'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è stata effettuata realizzando uno stendimento lineare di 46 m di lunghezza con 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 2 m. L'ubicazione è riportata in Figura 1.

Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate energizzazioni disposte a varie distanze dal geofono più vicino. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati 3 impulsi sismici.

I dati sono stati elaborati con il software Surfseis V. 2.05 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo. La curva di dispersione ottenuta è riportata in figura 2.

L'analisi del profilo di velocità  $V_s$  (fig.3-4), convenzionalmente riferita al centro dello stendimento, mostra una successione di terreni caratterizzati da aumento progressivo delle velocità con la profondità e suddivisibili in 2 sismostrati.

**Sismostrato 1:** è correlabile a depositi di alterazione molto consistenti fino alla profondità di circa 7,5 m.

**Sismostrato 2:** è correlabile ai litotipi del substrato geologico, alterato al tetto, con velocità delle onde S in aumento progressivo con la profondità fino a raggiungere quasi gli 800 m/s.



## 5 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.14 gennaio 2008 integrato con la circ. 02/02/09 N° 617 C.S. LL.PP (Norme Tecniche per le Costruzioni), la velocità media di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  nei primi 30 m di profondità, è calcolata con la seguente espressione.

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

nella quale il valore  $V_{S_{30}}$  è riferito al piano di posa della fondazione. Nel caso in esame considerando per semplicità l'intervallo di profondità di 30 m riferito al piano campagna, si ottiene, sostituendo:

$$V_{S_{30}} = 463 \text{ m/sec}$$

valore che identifica la categoria di appartenenza dei terreni in: **Categoria B**, corrispondente a "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti,.....".(cfr. tabella 2.1).

Jesi, 23.07.2010

GEOS Geofisica s.n.c.

 **GEOS geofisica s.n.c.**  
del Dr. Geol. G. Napoleone e D. Gattini  
Largo Grammercato, 3 - 60035 JESI (AN)  
Tel. e Fax 0731.200260  
Partita IVA 01329540429



**FANO – VIA BELGATTO, 79**  
Ubicazione indagine MASW



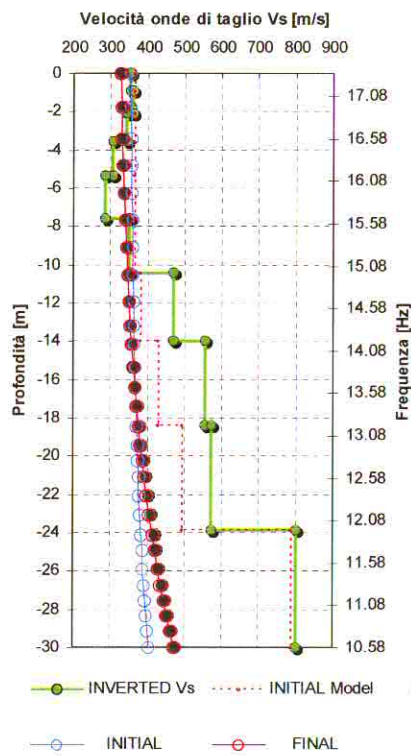
Stendimento MASW



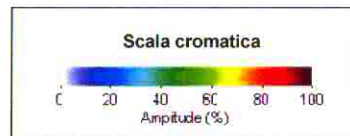
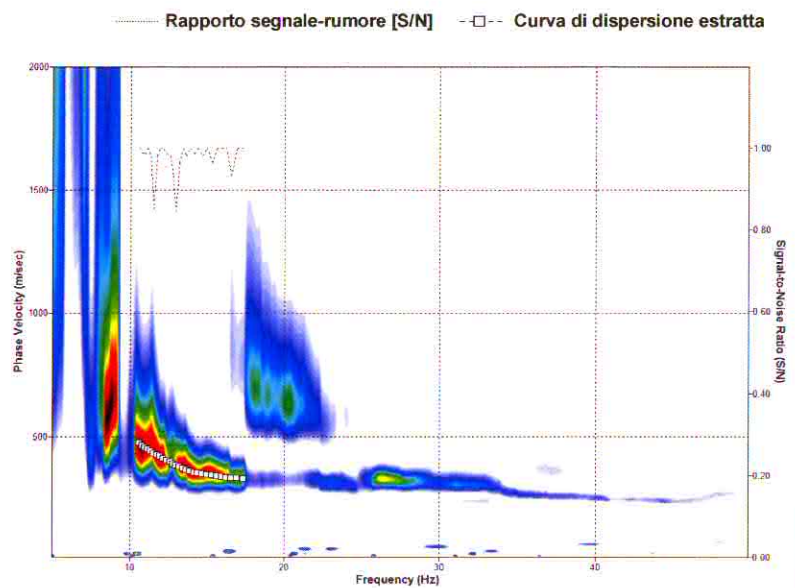
Committente:	Benini Maria Pia	
Progetto:	Indagine sismica MASW	
Sito:	Fano (PU)	
Data:	Luglio 2010	Figura:
Relazione:	134/10	1

**FANO – VIA BELGATTO, 79**  
Curva di dispersione e modello di velocità Onde Vs

**Modello delle velocità**

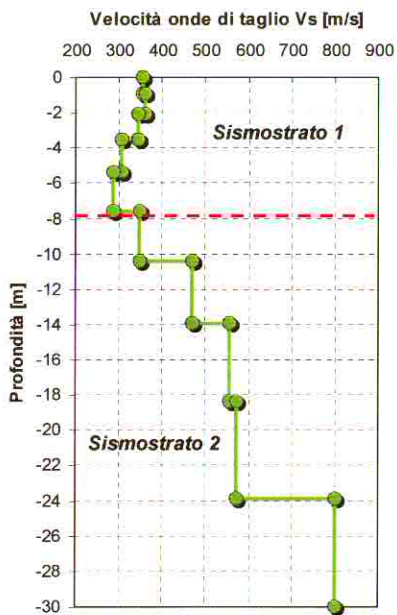


**Curva di dispersione**



<b>GEOS</b> geofisica	
Committente:	Benini Maria Pia
Progetto:	Indagine sismica MASW
Sito:	Fano (PU)
Data:	Luglio 2010
Relazione:	134/10
	Figura 2

**FANO – VIA BELGATTO, 79**  
 Profilo di velocità – Onde Vs

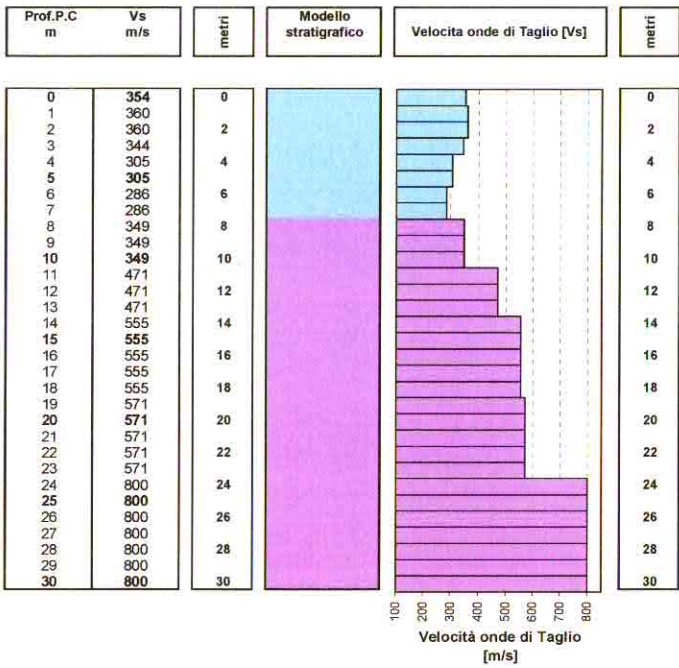


Modello Profilo Vs a 10 strati		
Strato	Profondità	Vs
1	-0.93	353.73
2	-2.08	360.17
3	-3.53	343.97
4	-5.34	305.03
5	-7.6	285.56
6	-10.43	348.72
7	-13.96	470.98
8	-18.38	554.93
9	-23.9	571.24
10	-30	799.79

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs <sub>30</sub> CALCOLATO
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 comprese tra 360 e 800 m/s	<b>463 m/sec</b> (media pesata sugli spessori fino a 30 m)

		
Committente:	Benini Maria Pia	
Progetto:	Indagine sismica MASW	
Sito:	Fano (PU)	
Data:	Luglio 2010	Figura:
Relazione:	134/10	3

**FANO – VIA BELGATTO, 79**  
 Profilo di velocità delle onde di taglio e modello stratigrafico



Prof. P.C. m	ONDE DI TAGLIO m/s	ONDE DI TAGLIO Km/s
-0.93	353.73	0.35
-2.08	360.17	0.36
-3.53	343.97	0.34
-5.34	305.03	0.31
-7.60	285.56	0.29
-10.43	348.72	0.35
-13.96	470.98	0.47
-18.38	554.93	0.55
-23.90	571.24	0.57
-30.00	799.79	0.80

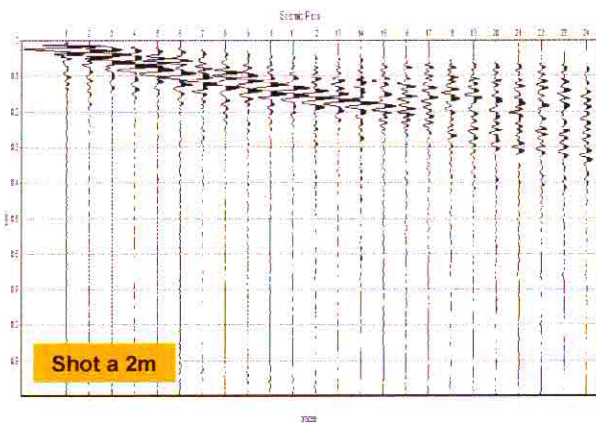
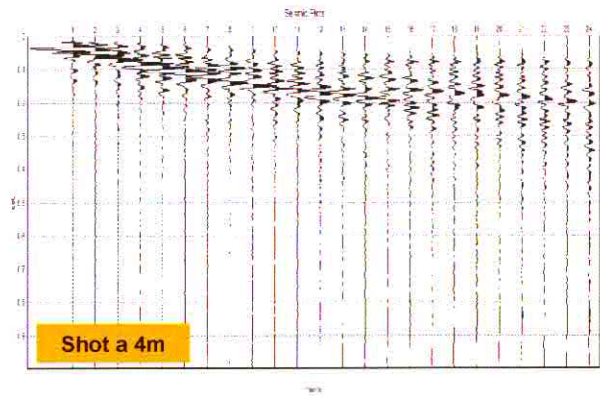
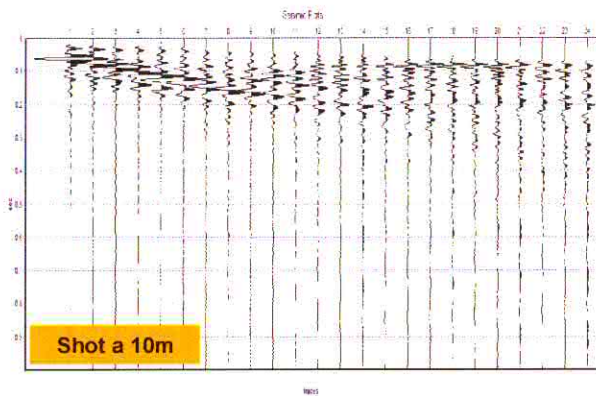
Valori in ingresso  
 modello profilo Vs a 10 strati

Vs 30 Calcolato  
 463 m/s

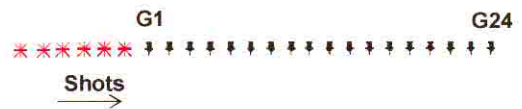
<b>GEOS</b> <small>S.p.A. geofisica</small>		
Committente	Benini Maria Pia	
Progetto	Indagine sismica MASW	
Sito	Fano (PU)	
Data	Luglio 2010	Figura:
Relazione	134/10	<b>4</b>



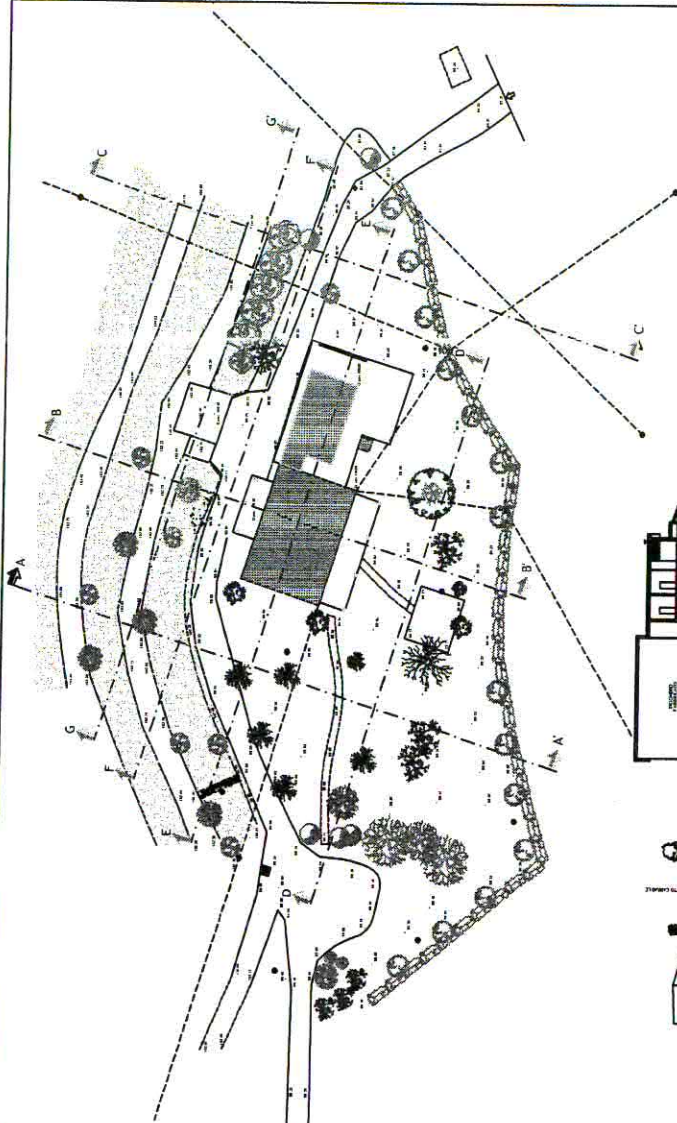
**FANO – VIA BELGATTO, 79**  
Sismogrammi



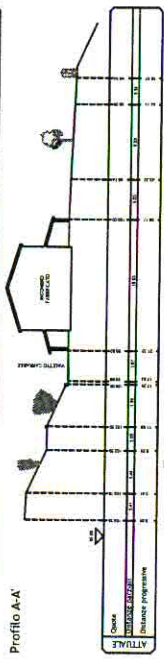
**Schema di acquisizione**



 <b>GEOS</b> <small>geofisica</small>	
Committente:	Benini Maria Pia
Progetto:	Indagine sismica MASW
Sito:	Fano (PU)
Data:	Luglio 2010
Relazione:	134/10
Figura:	5



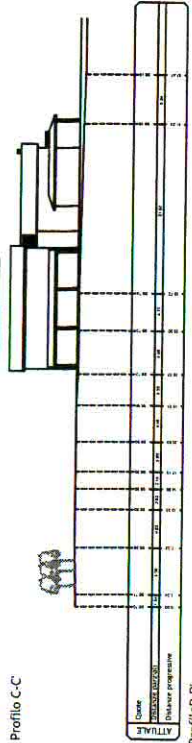
Profilo A-A'



Profilo B-B'



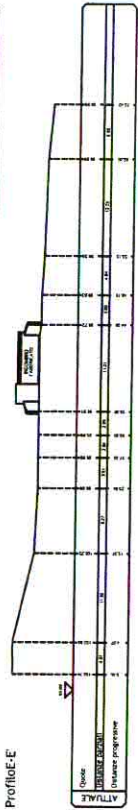
Profilo C-C'



Profilo D-D'



Profilo E-E'



Profilo F-F'



Profilo G-G'