



PROGETTAZIONE
DIAGNOSI STRUTTURALE

degli Ingegneri
Andrea Canucoli e Roberto Ordonselli
Piazza Pio Franchi dei Cavalieri, 7
61036 Colli al Metauro (PU)
Tel. 0721 728296
e-mail info@studioingeniumassociato.it

Provincia:



Pesaro e Urbino

Comune:



Acqualagna

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELLA SCUOLA ELEMENTARE "E. MATTEI"

Committente:

COMUNE DI ACQUALAGNA
PIAZZA MATTEI, 9
61041 (PU) ACQUALAGNA

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA

Progettista:

Ing. Andrea Canucoli

Spazio riservato al Comune

Tav. n.:

GEO

Data:

Ottobre 2018

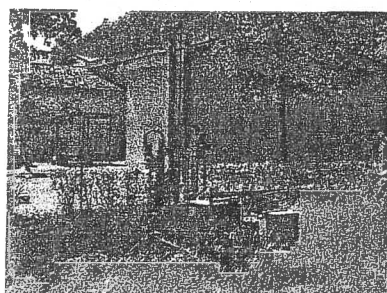
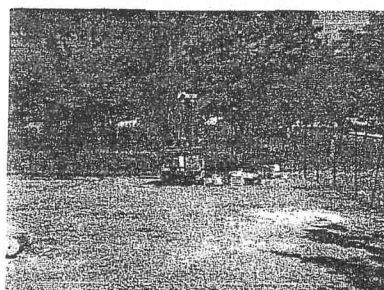
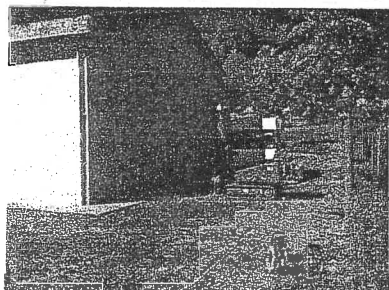
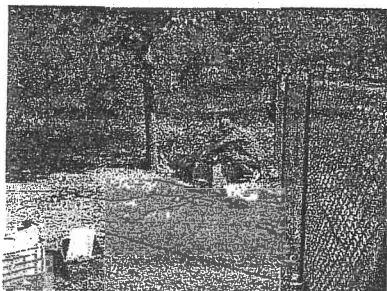
Scala:

-

REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI PESARO E URBINO
COMUNE DI ACQUALAGNA

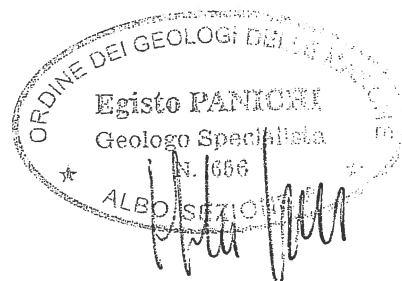
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELL'ASILO NIDO COMUNALE

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA



LEGGE SISMICA D.P.R. 380/01
DENUNCIA REGISTRATA AL N°
00506/14

PROVINCIA DI PESARO-URBINO
UFFICIO SISMICO



Committente: COMUNE DI ACQUALAGNA

Novembre 2012

Geologo Egisto Panichi Via Flaminia 111 61044 Cantiano (PU)
Corso XX settembre 52 61043 Cagli (PU)

INDICE

PREMESSA	2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
UBICAZIONE	3
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO.....	3
PERICOLOSITA' GEOLOGICHE.....	4
PERICOLOSITA' GEOLOGICHE.....	5
Idrogeologia	6
Idrografia.....	6
SISMICITA' STORICA.....	6
PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE – CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE	8
PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI	10
INDAGINI GEOGNOSTICHE E SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI	12
CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI.....	13
Sintesi parametri geotecnici	15
INDICAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO	16
Tipologia fondale.....	16
Resistenza di progetto fondazioni superficiali.....	16
Calcolo dei cedimenti - SLE	17
CONCLUSIONI	18

ALLEGATI GRAFICI

COROGRAFIA	SCALA 1:25.000
CARTA TECNICA NUMERICA (REGIONE MARCHE)	SCALA 1:10.000
CARTA GEOLOGICA	SCALA 1:25.000
STRALCIO CARTOGRAFIA PAI	SCALA 1:10.000
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI	SCALA 1:500
ELABORATI E GRAFICI CPT	N° 1
ELABORATI E GRAFICI DPSH	N° 2
SEZIONE GEOLOGICO TECNICA	

RELAZIONE GEOFISICA

PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Comune di Aqualagna, è stato condotto uno studio geologico e geotecnico a corredo del progetto di ampliamento dell'asilo nido comunale Sabin. L'intervento in oggetto è costituito da uno monopiano con dimensioni in pianta 10.9 m x 26 m, uniformato a grande semplicità strutturale.

Lo studio, svolto in conformità alle NTC 2008 ha avuto il seguente svolgimento:

1. rilievi di superficie diretti a definire un quadro della caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'area;
2. reperimento di dati bibliografici e di indagini relative a studi geologici nella stessa area ed in zone limitrofe
3. predisposizione e realizzazione di una campagna geognostica articolata in n°3 prove penetrometriche (n°1 statica e n°2 dinamiche superpesanti) e indagine geofisica mediante tecnica MASW
4. elaborazione dei dati e redazione della relazione geologica finale

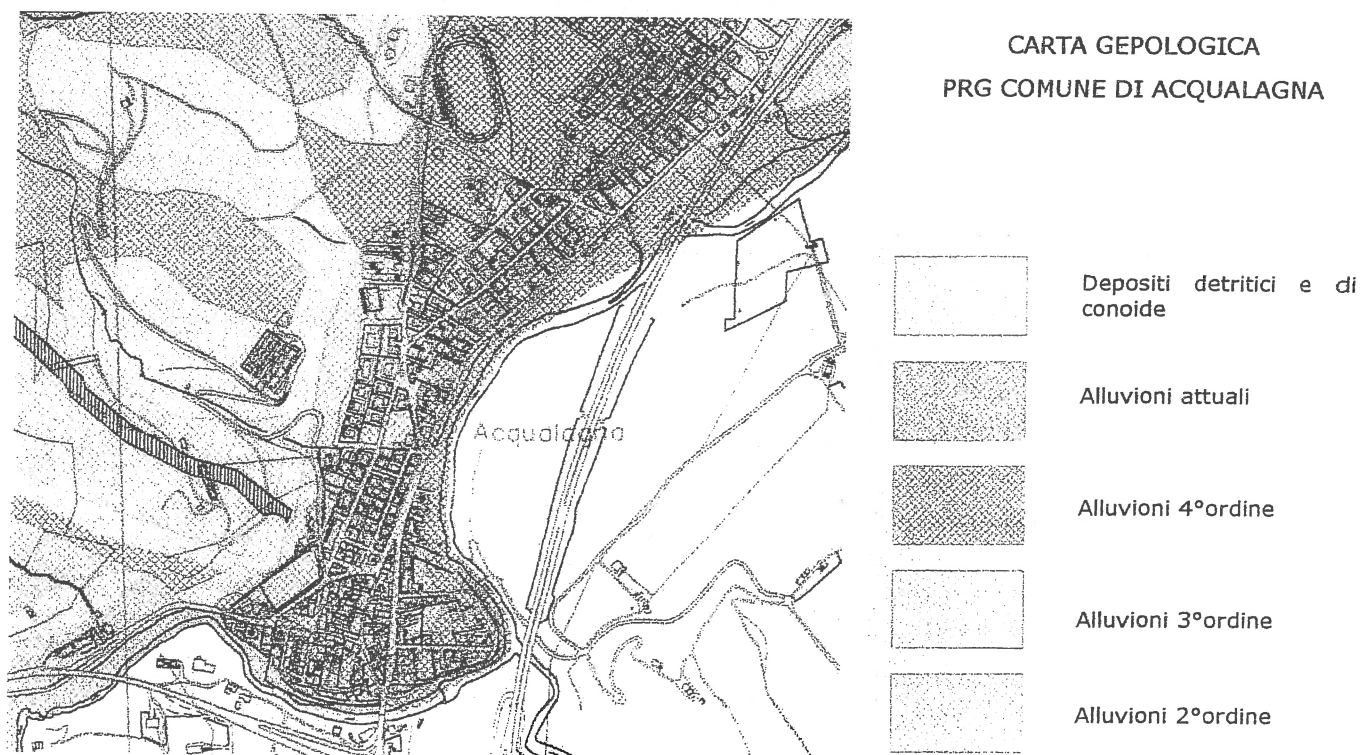
NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- > Decreto Ministeriale 14.01.2008 Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
- > Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009 - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
- > Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- > Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- > Eurocodice 7.1 (1997) Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- > Eurocodice 7.2 (2002) Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- > Eurocodice 7.3 (2002) Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

dissesti. Per quanto riguarda il rischio idraulico, il margine di valle dell'area d'intervento è posto a circa 350 metri di distanza dal Candigliano e ad una quota superiore di oltre 20 metri all'attuale alveo dell'asta fluviale. La concomitanza di questi fattori costituisce un elemento che porta ad escludere a priori l'eventualità di scenari di rischio derivanti da esondazioni del corso d'acqua in oggetto; questo è evidenziato anche dalla consultazione della cartografia tematica, quale la carta geomorfologica del PRG del Comune di Acqualagna, del progetto CARG e dai ancora più recenti elaborati redatti dall'autorità di bacino della Regione Marche, nell'ambito del P.A.I. (V. allegati grafici) che escludono per l'area il potenziale coinvolgimento in scenari di *rischio idrogeologico*

Per quanto riguarda la geologia le indagini introspettive del sottosuolo condotte nell'area, hanno permesso di verificare la presenza di depositi detritico-alluvionali di circa 6.5 metri di spessore massimo che poggiano su litofacies marnose riferibili alla Formazione della Scaglia Cinerea; i depositi detritico-alluvionali sono costituiti superficialmente da terreni limoso sabbiosi con subordinata ghiaia e più in profondità da limi argillosi completamente privi di frazione grossolana.

Per quello che riguarda infine l'inquadramento strutturale, il sito in esame è compreso all'interno del fianco interno dell'anticlinale Paganuccio – Pietralata.



PERICOLOSITA' GEOLOGICHE

Come anticipato al paragrafo precedente la zona di realizzazione dell'ampliamento è caratterizzata da buone condizioni di stabilità e, in relazione alla collocazione topografico - morfologica, non ricade all'interno di aree esondabili. L'analisi della cartografia tematica elaborata a corredo del PRG del Comune di Acqualagna (Carta Geologica, Carta Geomorfologica e Carta delle Pericolosità Geologiche) porta a conclusioni convergenti con quelle espresse sopra, evidenziando la totale assenza di forme e di processi gravitativi ed escludendo ovviamente anche potenziali coinvolgimenti dell'area in scenari di *rischio idraulico* (vedi stralcio cartografico alla pagina seguente). Per quello che riguarda il primo aspetto un ruolo fondamentale è giocato dalla configurazione morfologica del sito che contribuisce in maniera determinante a garantire la stabilità dell'area. Per quanto riguarda infine il Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche, nelle cartografie del piano non è evidenziata la presenza di nessuna situazione di *rischio idrogeologico* in generale per la zona di realizzazione della struttura.



Stralcio dalla Tavola 18 c del PAI Regione Marche

Idrogeologia

Le indagini geognostiche condotte nell'area non hanno evidenziato la presenza di acqua nei terreni.

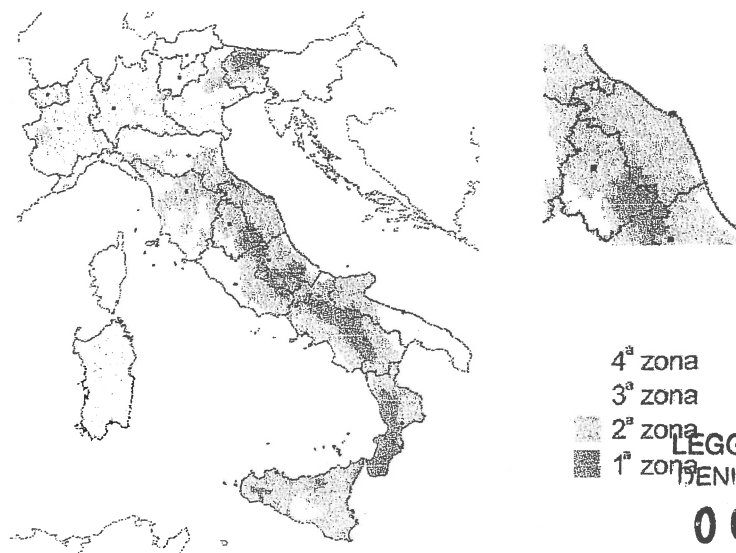
Per quello che concerne lo schema idrogeologico generale i terreni di copertura sono caratterizzati da permeabilità medio bassa derivante dalla composizione granulometrica. La formazione geologica di base, in prevalente litofacies marnosa, può essere considerata da poco permeabile a impermeabile e può costituire il battente di base per eventuali falde. In tali contesti geologico stratigrafici di norma i livelli idrici sono localizzati al passaggio con il substrato impermeabile che si comporta da acquiclude a carattere locale. Sulla base del periodo di indagine (agosto 2012), preceduto da un lungo periodo siccitoso, è possibile ipotizzare modesti acquiferi alla base della sequenza detritico alluvionale in contesti di maggiore piovosità.

Idrografia

L'area d'indagine non interferisce direttamente con nessun elemento idrografico. Il principale corso d'acqua è costituito dal Fiume Candigliano che scorre ad una distanza di oltre 350 metri a est dell'area di realizzazione dell'ampliamento. La circolazione idrica superficiale è nella sostanza regolamentata secondo le vie preferenziali delle reti di collettamento urbano.

SISMICITA' STORICA

Il territorio del Comune di Acqualagna è stato classificato di seconda categoria (S = 9) ai sensi del decreto del 10.02.1983, pubblicato sulla G.U. n. 80 del 23.03.1983 e confermato dalla Nuova Classificazione Sismica del territorio nazionale effettuata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale (marzo 2003). Il territorio in esame, come risulta dalla consultazione della bibliografia del GNDT ed in particolare Stucchi et al. (2007) *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*, è stato interessato negli ultimi secoli da vari terremoti che hanno raggiunto l'intensità massima pari a 8 gradi della Scala Mercalli nell'anno 1781.



4^a zona
3^a zona
2^a zona
1^a zona

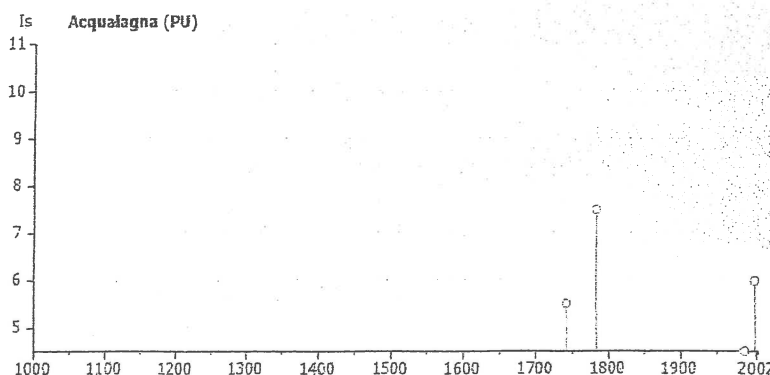
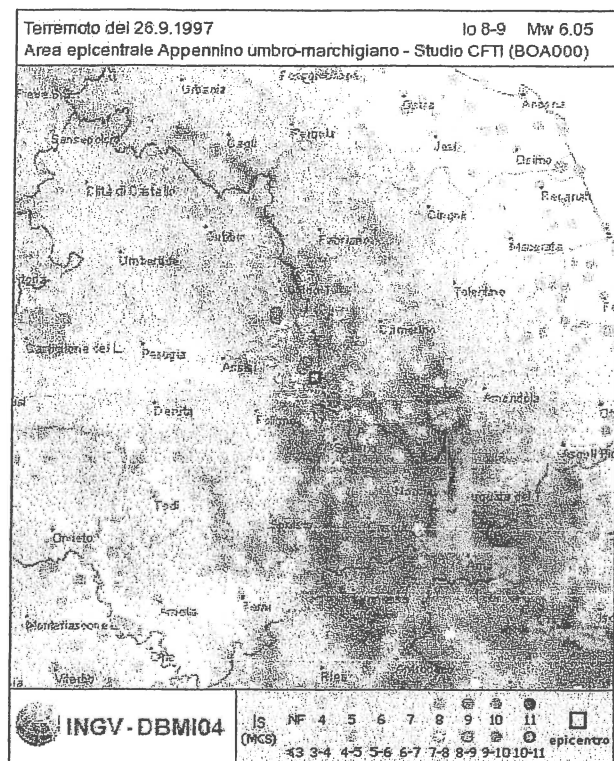
LEGGE SISMICA D.P.R. 380/01
DENUNCIA REGISTRATA AL N°

00506/14

PROVINCIA DI PESARO-URBINO
UFFICIO SISMICO

Storia sismica di Acqualagna (PU)
[43.619, 12.673]

Effetti		In occasione del terremoto:			
Is	Anno Me Gi Or Mi Se	AE	Io	Mw	
7-8	<u>1781 06 03</u>	CAGLIESE	9-10	6.23	
6	<u>1997 09 26 09 40 25</u>	Appennino umbro-marchigiano	8-9	6.05	
5-6	<u>1741 04 24 09 20</u>	FABRIANESE	9	6.08	
4-5	<u>1984 04 29 05 02 59</u>	GUBBIO/VALFABBRICA	7	5.68	
4	<u>1875 03 17 23 51</u>	Romagna sud-orient.	8	5.74	
4	<u>1909 01 13 45</u>	BASSA PADANA	6-7	5.53	
4	<u>1979 09 19 21 35 37</u>	Valnerina	8-9	5.90	
4	<u>1987 07 05 13 12 36</u>	VALMARECCHIA	6	4.65	
3-4	<u>1897 12 18 07 24 20</u>	Appennino umbro-marchigiano	7	5.18	
3	<u>1916 08 16 07 06 14</u>	Alto Adriatico	8	5.92	
2	<u>1993 06 05 19 16 17</u>	GUALDO TADINO	6	4.92	
NF	<u>1898 08 25</u>	VISSO	7	5.09	
NF	<u>1907 01 23 25</u>	ADRIATICO CENTRALE	5-6	4.84	
NF	<u>1972 11 26 16 03</u>	MONTEFORTINO	7-8	5.34	



Dati e immagini tratte da:

Stucchi et al. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04.

Quaderni di Geofisica, INGV, *accettato*.

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE – CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE

Il territorio italiano è classificato in 4 zone, e definito da un reticolo sismico mediante coordinate geografiche di latitudine e longitudine ($\lambda-\phi$), per periodi discreti di ritorno (TR) di 35-50-72-101-140-201-475-975-2475 anni; in tali nodi della maglia (di circa 5 Km di lato), viene definito il valore dell'accelerazione orizzontale massima (ag), per un suolo rigido (categoria A), il fattore di accelerazione massima del suolo ($F0$), ed il periodo caratteristico (Tc^*) dello spettro (zona a velocità di risposta lineare). La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita nelle NTC 08), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR, come definiti nelle NTC 08. In considerazione del fatto che le caratteristiche del moto sismico al substrato rigido (durata, ampiezza e contenuto in frequenze) vengono modificate nel passaggio tra quest'ultimo ed i terreni di copertura, con conseguente amplificazione sismica locale, occorre quantificare l'entità di tale fenomeno; i fattori moltiplicativi della accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (per sito di riferimento rigido e orizzontale) viene calcolato nell'ambito della normativa sismica nazionale attraverso l'introduzione dei parametri S_s (amplificazione stratigrafica) e S_t (amplificazione topografica); i valori dell'accelerazione sono forniti

per il territorio nazionale nella **Tabella 1 - Valori di a_g , F_0 e T^*c per 10751 punti del reticolo di riferimento** contenuta nelle Norme tecniche per le costruzioni del gennaio 2008. La valutazione di S_s è stata effettuata attraverso indagini geofisiche del tipo MASW ed il successivo calcolo della V_{s30} (per le specifiche circa la metodologia d'indagine vedi relazione geofisica allegata). La V_{s30} è definita come la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano delle fondazioni e viene calcolata con la seguente espressione, nella quale h_i è lo spessore dello strato i -esimo e V_i la velocità delle onde S in esso misurata:

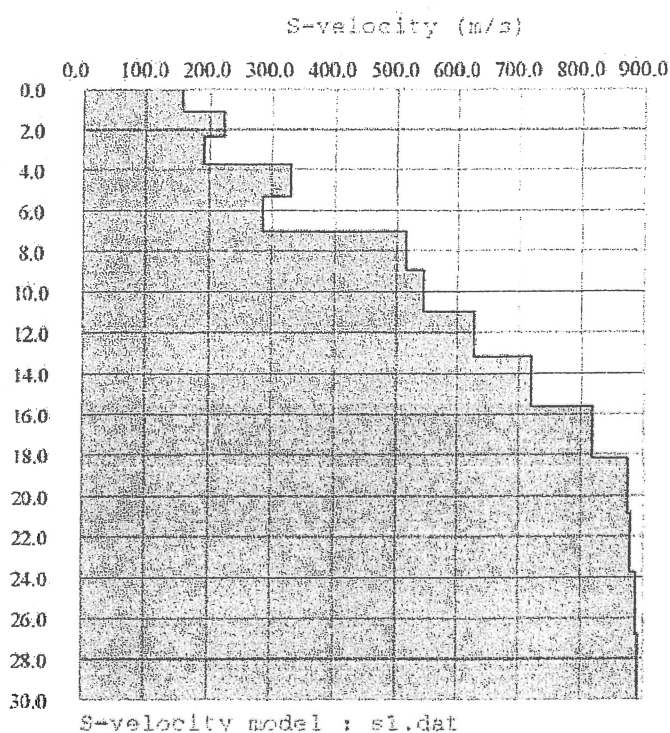
$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

Come anticipato, nel presente studio la classificazione del suolo di fondazione, ai sensi della normativa citata, è stata effettuata sulla base di una prova di tipo MASW, eseguita come indicato in allegato. Il valore di V_{s30} risultante dalla prova è di **490 m/sec** che permette di classificare il suolo di fondazione nella **categoria B** prevista dalla nuova normativa sismica [*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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)]*

Il coefficiente di amplificazione topografica è T_1 poiché il fabbricato ricade su un ripiano collocato alla base di un pendio ad inclinazione inferiore ai 15°

Profondità (mt)	h_i (mt)	V_i (m/s)	h_i/V_i	V_{s30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1.07	158	0.0068	V _{s30} = 490 m/s
1,07 ÷ 2,31	1.24	225	0.0055	
2,31 ÷ 3,71	1.40	192	0.0073	
3,71 ÷ 5,27	1.57	332	0.0047	
5,27 ÷ 7,01	1.73	286	0.0061	
7,01 ÷ 8,90	1.90	516	0.0037	
8,90 ÷ 10,96	2.06	544	0.0038	
10,96 ÷ 13,19	2.23	628	0.0035	
13,19 ÷ 15,58	2.39	721	0.0033	
15,58 ÷ 18,13	2.55	817	0.0031	
18,13 ÷ 20,85	2.72	875	0.0031	
20,85 ÷ 23,74	2.88	880	0.0033	
23,74 ÷ 26,79	3.05	888	0.0034	
26,79 ÷ 30,00	3.21	891	0.0036	

$$\sum h_i/V_i = 0.0612$$



Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs riportato a lato si evince la presenza di un' evidente incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile alla profondità di circa 7,0 m dal p.c. corrispondente al passaggio quaternario/substrato geologico. Dopo tale quota, la Vs tende a crescere costantemente con la profondità fino alla profondità di circa 18 metri per poi mantenersi pressoché costante.

PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI

Sito in esame.

latitudine: 43,62395
 longitudine: 12,67337
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20745	Lat: 43,6320	Lon: 12,6612	Distanza: 1325,680
Sito 2	ID: 20746	Lat: 43,6324	Lon: 12,7303	Distanza: 4674,631
Sito 3	ID: 20968	Lat: 43,5824	Lon: 12,7308	Distanza: 6535,524
Sito 4	ID: 20967	Lat: 43,5820	Lon: 12,6619	Distanza: 4759,808

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75anni
 Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81%
 Tr: 45 [anni]
 ag: 0,068 g
 Fo: 2,444
 Tc*: 0,283 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 75 [anni]
 ag: 0,084 g
 Fo: 2,458
 Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10%
 Tr: 712 [anni]
 ag: 0,201 g
 Fo: 2,468
 Tc*: 0,330 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5%
 Tr: 1462 [anni]
 ag: 0,258 g
 Fo: 2,502
 Tc*: 0,336 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
 Cc: 1,410
 St: 1,000
 Kh: 0,020
 Kv: 0,010
 Amax: 0,969
 Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
 Cc: 1,400
 St: 1,000
 Kh: 0,029
 Kv: 0,015
 Amax: 1,195
 Beta: 0,240

SLV:

Ss: 1,170
 Cc: 1,370
 St: 1,000
 Kh: 0,076
 Kv: 0,038
 Amax: 2,654
 Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,100
 Cc: 1,370
 St: 1,000
 Kh: 0,090
 Kv: 0,045
 Amax: 3,162
 Beta: 0,280

INDAGINI GEOGNOSTICHE E SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI

Il programma di indagini introspettive del sottosuolo, formulato sulla base delle esigenze progettuali è consistito nell'esecuzione di n° 1 stendimento per sismica con tecnica MASW e di n° 3 prove penetrometriche (una statica CPT e due dinamiche superpesanti DPSH) con attrezzatura Pagani. Le indagini, di cui si riporta l'ubicazione in allegato, hanno consentito di definire in dettaglio la successione degli orizzonti stratigrafici locali permettendo di ricostruire la geometria e gli spessori dei depositi quaternari che sovrastano il substrato geologico marino della Formazione geologica della Scaglia Cinerea.

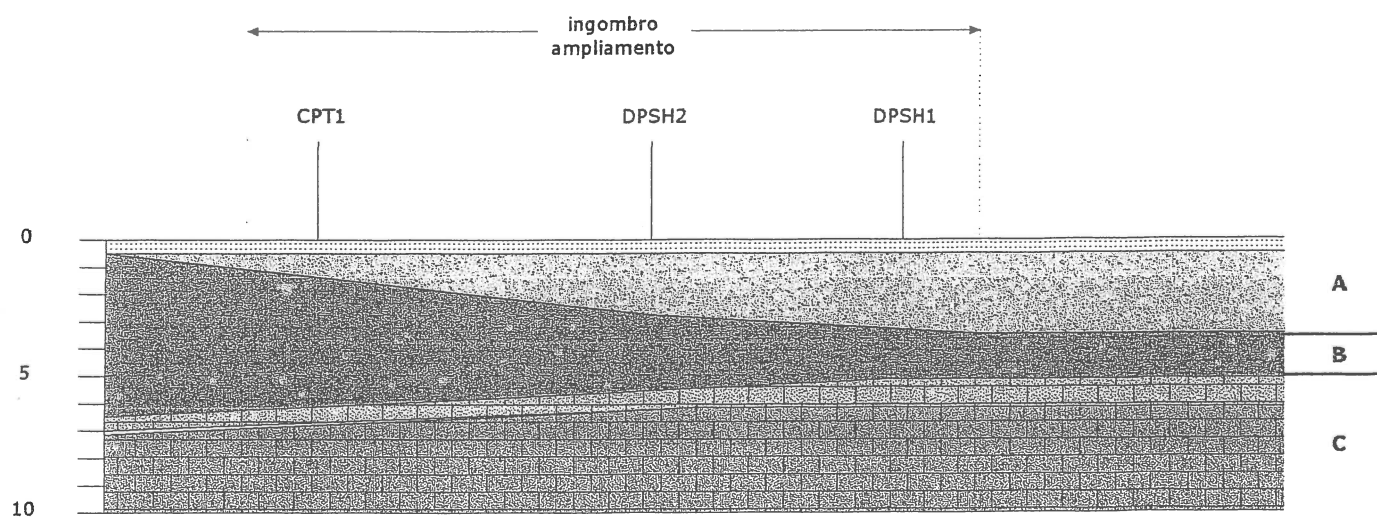
In generale sono presenti nell'area coperture detritico-alluvionali di spessore massimo metrico ed il substrato marnoso calcareo è stato individuato in corrispondenza dell'ampliamento ad una profondità massima di circa 6.5 metri.

L'indagine ha permesso di ricostruire la successione stratigrafica riportata di seguito

ORIZZONTE A : limo sabbioso con subordinata ghiaia

ORIZZONTE B : limo argilloso debolmente sabbioso

ORIZZONTE C : marne e marne calcaree del substrato geologico alterate (C1)
marne e marne calcaree grigie del substrato geologico (C2)



L'indagine sismica MASW, realizzata nella parte mediana del fabbricato in progetto ha messo in luce un evidente aumento dei valori di Vs a partire da circa 7 metri dal piano campagna, corrispondente al passaggio copertura detritico alluvionale/substrato geologico. Tale valore, mediato su tutta la linea (lunghezza 34.5 metri), presenta un'ottima convergenza con quanto emerso dalle prove penetrometriche statiche e dinamiche.

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

I principali parametri fisico meccanici che caratterizzano i terreni esaminati, sono stati assegnati sulla base dell'elaborazione delle prove statiche e dinamiche, della bibliografia geotecnica e del confronto con i risultati di analisi di laboratorio riguardanti campioni ad analoga composizione litologica.

I valori caratteristici sono stati assegnati sulla base dell'approccio *bayesiano* (Cherubini e Orr 1999) adottando la relazione $x_k = x_m \cdot (1 - CV / 2)$ con:

$$x_m = (a + 4b + c) / 6$$

$$CV = (c - a) / (a + 4b + c)$$

a = valore minimo stimato

b = valore più probabile

c = valore massimo stimato

Lo schema che segue visualizza i parametri geotecnici attribuiti ai vari litotipi precedentemente descritti. I parametri di progetto sono stati assegnati introducendo i coefficienti parziali della tabella 6.2.II delle NTC 08, riportata di seguito

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_r	1,0	1,0

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	0.8	11.17	Limo argilloso	1.85		1.40	51.25
2	3.4	17.06	Limo sabbioso	1.85	36.15	—	78.27
3	5.2	10.10	Limo argilloso	1.90		1.26	46.34
4	6.0	43.55	Marna alterata	2.00		5.44	199.81
5	6.4	68.49	Marna	2.20		8.56	314.23

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO PROVA DPSH 1 (A2M2R2)

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	0.8	11.17	Limo argilloso	1.85		1.0	51.25
2	3.4	17.06	Limo sabbioso	1.85	30		78.27
3	5.2	10.10	Limo argilloso	1.90		0.9	46.34
4	6.0	43.55	Marna alterata	2.00		3.9	199.81
5	6.4	68.49	Marna	2.20		6.0	314.23

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	2.8	15.63	Limo sabbioso	1.85	35.68	—	71.71
2	5.2	7.44	Limo argilloso	1.85		0.93	34.14
3	6.2	22.93	Marna alterata	2.00		2.87	105.20
4	6.4	89.34	Marna	2.20		11.17	409.89

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO PROVA DPSH 2 (A2M2R2)

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	2.8	15.63	Limo sabbioso	1.85	30	—	71.71
2	5.2	7.44	Limo argilloso	1.85		0.66	34.14
3	6.2	22.93	Marna alterata	2.00		2.05	105.20
4	6.4	89.34	Marna	2.20		8.00	409.89

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA CPT 1

Prof.	Tipo	interpretazione
0.00 - 0.40	nd	ARGILLA ORGANICA
0.40 - 0.60	CI	ARGILLE SABBIOSE E LIMOSE
0.60 - 1.00	I	SABBIE
1.00 - 1.20	CI	LIMO
1.20 - 3.60	C	ARGILLA INORGANICA
3.60 - 3.80	CI	ARGILLA LIMOSO-SABBIOSA
3.80 - 5.80	C	ARGILLA INORGANICA
5.80 - 6.20	CI	LIMO
6.20 - 6.40	CI	ARGILLE SABBIOSE
6.40 - 6.60	C	MARNE ALTERATE
6.60 - 7.00	C	MARNE

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI prova CPT

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo; I: Incoerente; CI: Coesivo-Incoerente
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
 OCR: Grado di sovraconsolidazione (Kg/cm²)
 Puv: Peso unità di volume (t/m³)
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)

LEGGE SISMICA D.P.R. 380/01
DENUNCIA REGISTRATA AL N°

00506/14

PROVINCIA DI PESARO-URBINO
UFFICIO SISMICO

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Mo	OCR	Puv	PuvS	Dr	φ
1	0.40	nd							
2	0.60	CI	2.45	98.0	>9	2.12	2.2	100.0	15.0
3	1.00	I	--	81.46	>9	1.8	2.1	83.26	42.5
4	1.20	CI	2.34	94.0	7.83	2.12	2.2	73.3	38.79
5	3.60	C	1.35	54.84	9.0	2.02	2.1	--	--
6	3.80	CI	1.37	56.0	0.98	2.03	2.11	36.06	24.02
7	5.80	C	1.99	81.2	9.0	2.09	2.17	--	--
8	6.20	CI	7.84	316.0	3.22	2.32	2.4	77.92	30.21
9	6.40	CI	6.34	256.0	2.46	2.28	2.36	71.08	28.28
10	6.60	C	--	94.18	3.97	1.8	2.1	85.3	32.01
11	7.00	C	--	94.18	3.97	1.8	2.1	85.3	32.01

Sintesi parametri geotecnici

orizzonti	caratteristici	progetto
A	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 25^\circ$ $C = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 20.5^\circ$ $C = 0.065 \text{ Kg/cm}^2$
B	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 22^\circ$ $C = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 15^\circ$ $C = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$
C1	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 25^\circ$ $C = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 20.5^\circ$ $C = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$
C2	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 25^\circ$ $C = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$	$\gamma = 1.85 \text{ kg/cm}^3$ $\phi = 22.5^\circ$ $C = 0.8 \text{ Kg/cm}^2$

INDICAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

Tipologia fondale

Come accennato in premessa l'intervento in progetto è caratterizzato da un unico piano uniformato a grande semplicità strutturale e con dimensioni in pianta 10.90 m x 26 m. In relazione alla stratigrafia rilevata con ispessimento del livello limoso argilloso (B) caratterizzato da maggiore compressibilità rispetto a quello limoso sabbioso sovrastante (A), si propongono i seguenti elementi di valutazione

a – sulla base dei prevedibili bassi carichi indotti dalla struttura è possibile l'utilizzo di una fondazione superficiale. Nel caso di adozione di una trave rovescia dovrà essere valutato accuratamente il valore del cedimento differenziale. Questo problema può essere ovviato utilizzando una platea

b – sulla base della scarsa profondità delle marne del substrato può essere valutato l'utilizzo di fondazioni profonde (ad esempio pali trivellati)

Resistenza di progetto fondazioni superficiali

La valutazione della capacità portante è stata effettuata secondo l'approccio 1 / combinazione 2 (GEO) contenuta nel DM 14/01/2008 A2-M2-R2 utilizzando la formula di Terzaghi per terreni puramente granulari

AZIONI = $G \times 1.0 + Q \times 1.3$ [tab. 6.2.1 (A2)]

PARAMETRI [tab. 6.2.II (M2)]

RESISTENZE = $gR = 1.8$ [tab. 6.4.1 (R2 capacità portante)]

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_r	1,0	1,0

La relazione utilizzata per il calcolo dei carichi ammissibili da trasferire ai terreni fondali è quella generale di Terzaghi. In questo caso la relazione assume la seguente forma:

$$R = q_d = cN_c + \gamma DN_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

dove:

N_{cr} , N_{qr} , N_{γ} = fattori di capacità portante funzione dell'angolo di attrito interno dei terreni;

c = coesione

γ = peso di unità di volume

D = profondità piano fondale

B = larghezza della fondazione

L = lunghezza della fondazione

Risolvendo si ottiene un valore $R = 2.34 \text{ Kg/cm}^2$, da cui deriva

$$G \times 1.0 + Q \times 1.3 \leq R / 1.8$$

$$G \times 1.0 + Q \times 1.3 \leq 1.30 \text{ Kg/cm}^2$$

Calcolo dei cedimenti - SLE

La valutazione dell'entità dei cedimenti è stata effettuata applicando il valore della resistenza di progetto pari a 1.30 kg/cm^2 . Data la natura litologica dei terreni presi in esame, costituiti prevalentemente da limi argillosi e limi sabbiosi, in accordo alla teoria della elasticità, si è proceduto alla determinazione dei cedimenti secondari, di consolidazione, suddividendo la colonna stratigrafica in strati omogenei e adottando la seguente relazione:

$$\sum S_c = H_0 \Delta p / E_{ed}$$

in cui:

H_0 = spessore iniziale dello strato considerato

Δp = incremento di pressione alla profondità considerata

E_{ed} = modulo edometrico.

Lato valle

Strato	Z (m)	Tensione (Kg/cm ²)	Dp (Kg/cm ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2	0.37	0.457	Edometrico	1.566	0.0	1.566
2	4.2	0.777	0.171	Edometrico	0.682	0.0	0.682
3	5.7	1.062	0.118	Edometrico	0.059	0.0	0.059

Cedimento totale Wt=2.307 cm

Lato monte

Strato	Z (m)	Tensione (Kg/cm ²)	Dp (Kg/cm ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	1	0.185	1.107	Edometrico	0.633	0.0	0.633
2	3.9	0.722	0.187	Edometrico	2.019	0.0	2.019
3	7.1	1.321	0.09	Edometrico	0.045	0.0	0.045

Cedimento totale Wt=2.696 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

CONCLUSIONI

Gli studi e le indagini svolte hanno consentito di verificare nell'ambito dell'area esaminata la compatibilità del progetto con le caratteristiche geologico – geomorfologiche e le proprietà geotecniche dei terreni. In particolare dallo studio è emerso quanto segue:

- nell'ambito dell'area esaminata non sono stati rilevati movimenti gravitativi in atto o forme di dissesto potenziale;
- l'area di studio, in relazione alla collocazione topografica, è posta al di fuori di zone di esondazione;
- L'analisi sintetizzata ai punti precedenti trova conferma nella cartografia tematica (*Carta geologica, Carta geomorfologica e Carta delle pericolosità geologiche*) elaborata a corredo del PRG del Comune di Acqualagna e nella cartografia del PAI che esclude il potenziale coinvolgimento dell'area in scenari di rischio idrogeologico in generale.
- Per quello che concerne l'idrografia, l'area d'intervento non interferisce con nessun elemento del reticolo superficiale
- Analogamente, per quello che riguarda l'idrogeologia, le indagini geognostiche non hanno evidenziato la presenza di acque nei terreni
- Le indagini eseguite, hanno permesso di ricostruire una successione stratigrafica locale caratterizzata da una copertura detritico alluvionale con spessori massimi di circa 6.5 metri
- l'intervento in progetto è caratterizzato da un unico piano uniformato a grande semplicità strutturale e con dimensioni in pianta 10.90 m x 26 m. In relazione alla stratigrafia rilevata con ispessimento del livello limoso argilloso (B) caratterizzato da maggiore compressibilità rispetto a quello limoso sabbioso sovrastante (A), si propongono i seguenti elementi di valutazione:
 - sulla base dei prevedibili bassi carichi indotti dalla struttura è possibile l'utilizzo di una fondazione superficiale. Nel caso di adozione di una trave rovescia dovrà essere valutato accuratamente il valore del cedimento differenziale. Questo problema può essere ovviato utilizzando una platea
 - in considerazione della scarsa profondità delle marne del substrato può essere valutato l'utilizzo di fondazioni profonde (ad esempio pali trivellati)
- La classificazione del suolo di fondazione, ai sensi della normativa citata, è stata effettuata sulla base di una prova di tipo MASW, eseguita come indicato in allegato. Il valore di V_{s30} risultante dalla prova è di **490 m/sec** che permette di classificare il suolo di fondazione nella **categoria B** prevista dalla nuova normativa sismica [*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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)]. Il coefficiente di amplificazione topografica è T1 poiché il fabbricato ricade su un ripiano collocato alla base di un pendio ad inclinazione inferiore ai 15°

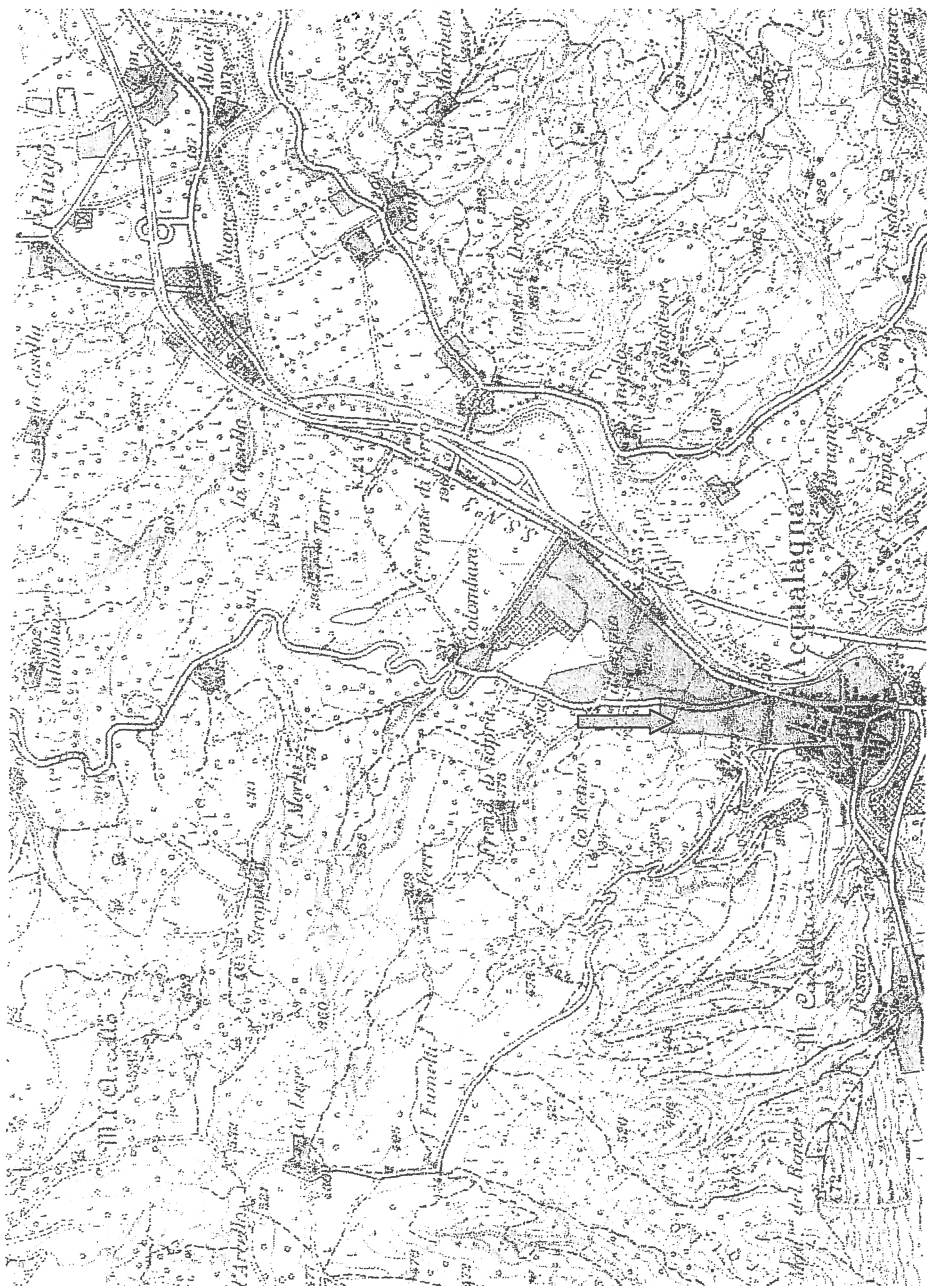
- Si consiglia infine di regimare adeguatamente tutte le acque, al fine di evitare l'infiltrazione nei terreni, che nel tempo potrebbe causare un decadimento generalizzato delle caratteristiche geotecniche.

Cantiano, novembre 2012

geologo Egisto Panichi



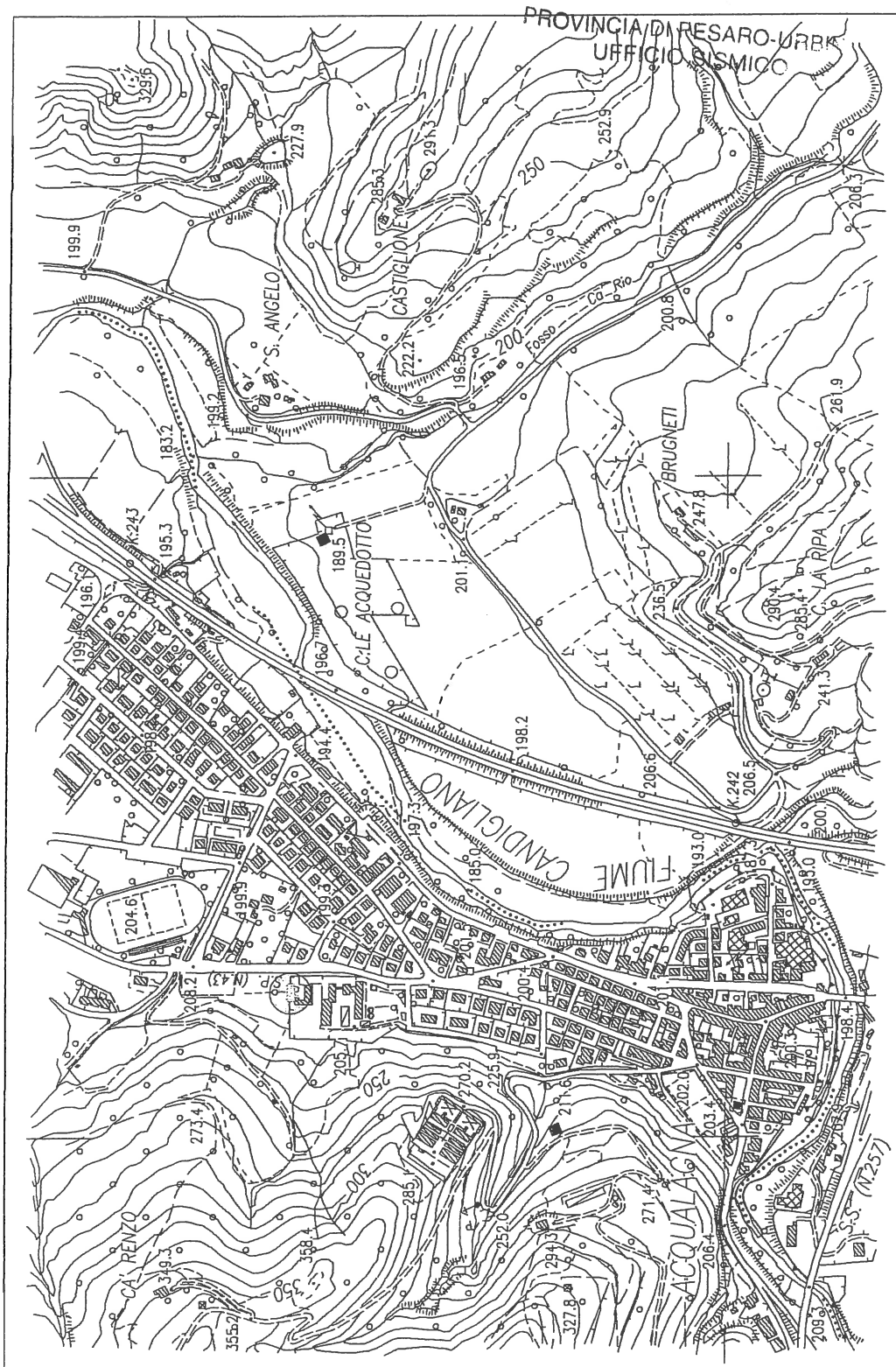
COROGRAFIA
CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE
scala 1:25.000



LEGGE SISMICA D.P.R. 380/01
DENUNCIA REGISTRATA AL N°

00506/14

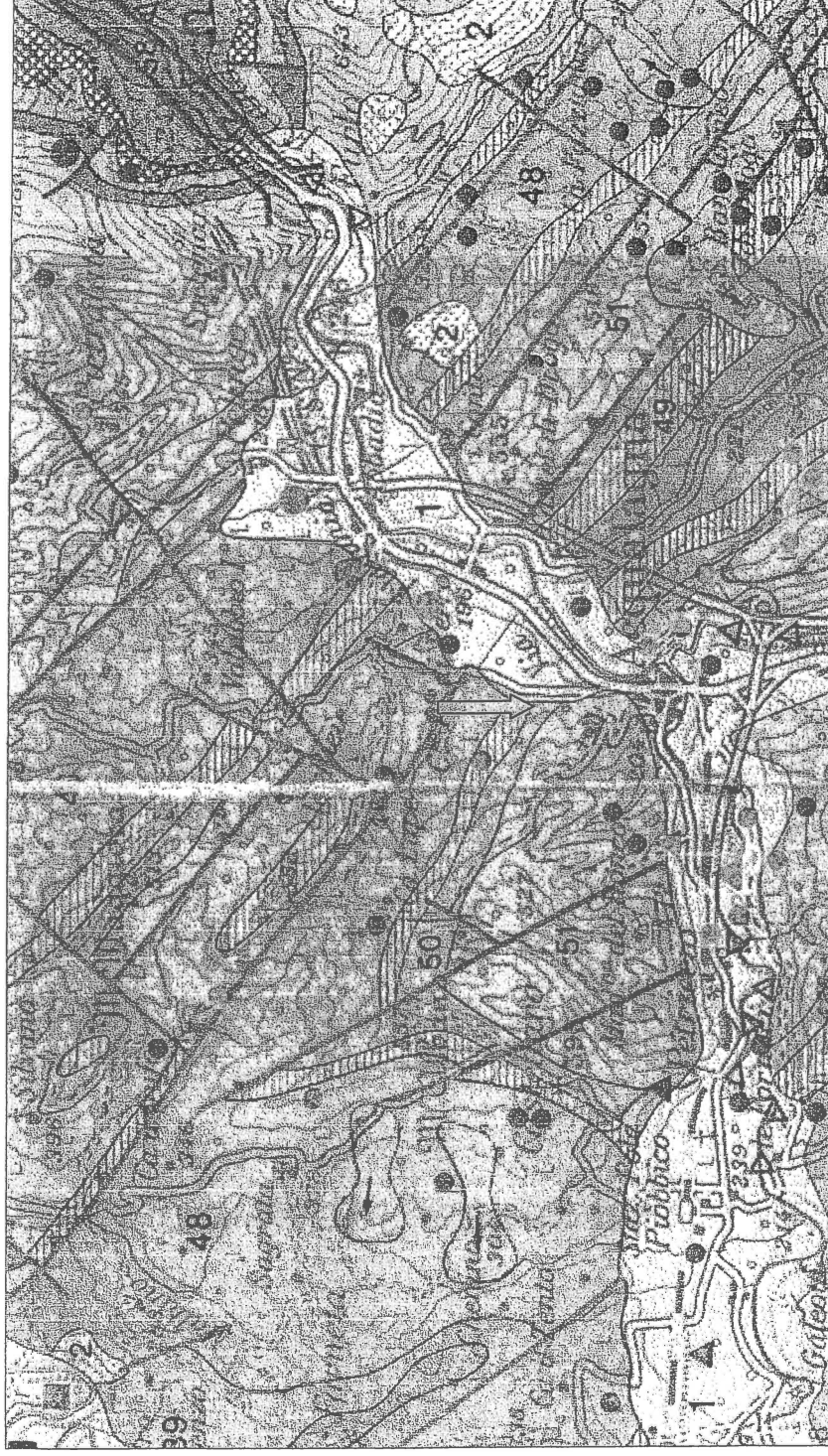
CARTA TECNICA REGIONALE
Scala 1:10.000
stralcio dalla sezione 280130 - Acqualagna



CARTOGRAFIA PAI
AUTORITÀ DI BACINO REGIONE MARCHE - TAVOLA 18 C
scala 1:10.000



CARTA GEOLOGICA
SCALA 1:50.000



Tratta da "Ambiente fisico delle Marche"

LEGENDA:

- 1 – ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI
- 2 – DEPOSITI DETRITICI DI VERSANTE
- 48 – FORMAZIONE DELLO SCHLIER

- 49 – FORMAZIONE DEL BISCIARO
- 50 – FORMAZIONE DELLA SCAGLIA CINEREA
- 51 – COMPLESSO DELLE SCAGLIE (Variegata – Rossa – Bianca)

scala 1:500



cantiere: Pergola (PU) - Montesecco

quota inizio: piano campagna

data: agosto 2012

prof. falda: assente

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH 1

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Caduta

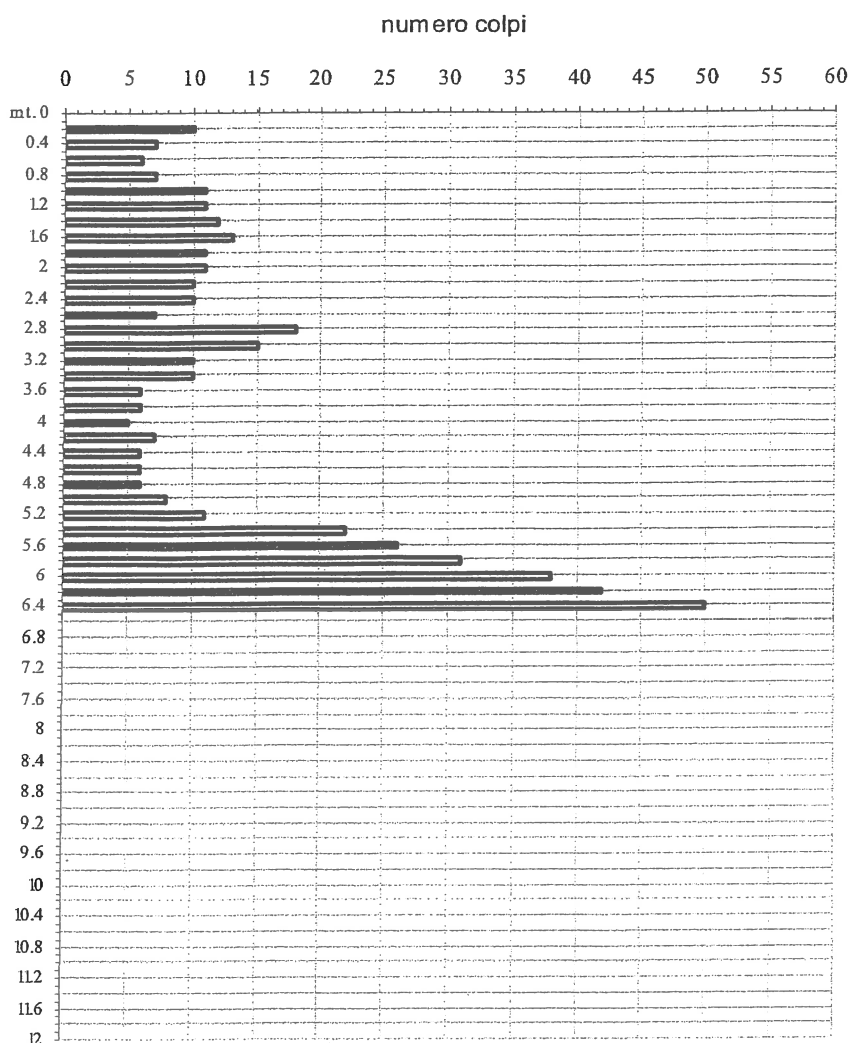
Sezione

Peso maglio:63.50 Kg.

maglio:75cm.

punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.

Prof. m	P1 n.colpi	Rd
0.0		
0.2	10	95.13
0.4	7	66.59
0.6	6	52.80
0.8	7	61.60
1	11	96.81
1.2	11	96.81
1.4	12	105.61
1.6	13	106.44
1.8	11	90.06
2	11	90.06
2.2	10	81.87
2.4	10	81.87
2.6	7	53.58
2.8	18	137.77
3	15	114.81
3.2	10	76.54
3.4	10	76.54
3.6	6	43.11
3.8	6	43.11
4	5	35.93
4.2	7	50.30
4.4	6	43.11
4.6	6	40.63
4.8	6	40.63
5	8	54.17
5.2	11	74.49
5.4	22	148.97
5.6	26	166.47
5.8	31	198.48
6	38	243.30
6.2	42	268.91
6.4	50	320.13



cantiere: Pergola (PU) - Montesecco

quota inizio: piano campagna

data: agosto 2012

prof. falda: assente

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH 2

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Caduta

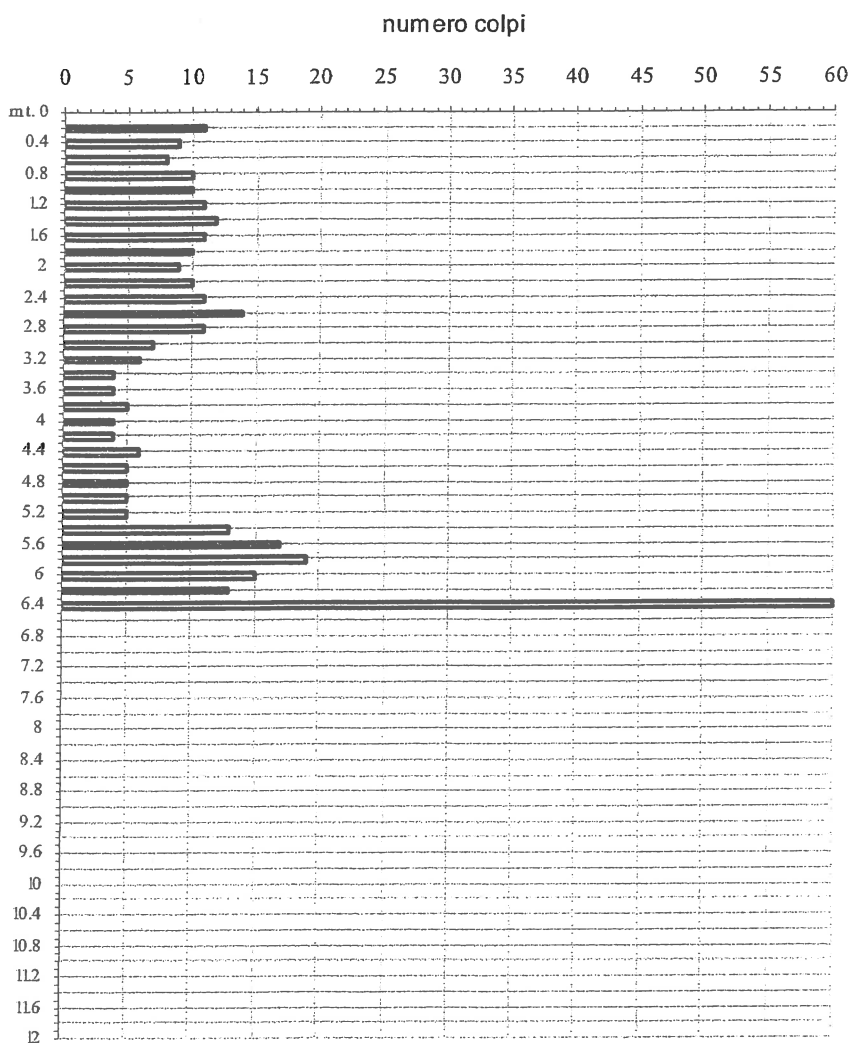
Sezione

Peso maglio:63.50 Kg.

maglio:75cm.

punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.

Prof.	P1	
m	n.colpi	Rd
0.0		
0.2	11	104.65
0.4	9	85.62
0.6	8	70.41
0.8	10	88.01
1	10	88.01
1.2	11	96.81
1.4	12	105.61
1.6	11	90.06
1.8	10	81.87
2	9	73.69
2.2	10	81.87
2.4	11	90.06
2.6	14	107.15
2.8	11	84.19
3	7	53.58
3.2	6	45.92
3.4	4	30.62
3.6	4	28.74
3.8	5	35.93
4	4	28.74
4.2	4	28.74
4.4	6	43.11
4.6	5	33.86
4.8	5	33.86
5	5	33.86
5.2	5	33.86
5.4	13	88.03
5.6	17	108.84
5.8	19	121.65
6	15	96.04
6.2	13	83.23
6.4	60	384.15





PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Geol. Egisto Panichi
Cantiere: Asilo nido
Località: Acqualagna (PU)

LEGGE SISMICA D.P.R. 380
DENUNCIA REGISTRATA AL

00506/14

PROVINCIA DI PESARO-UR
UFFICIO SISMICO

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... Nr.1

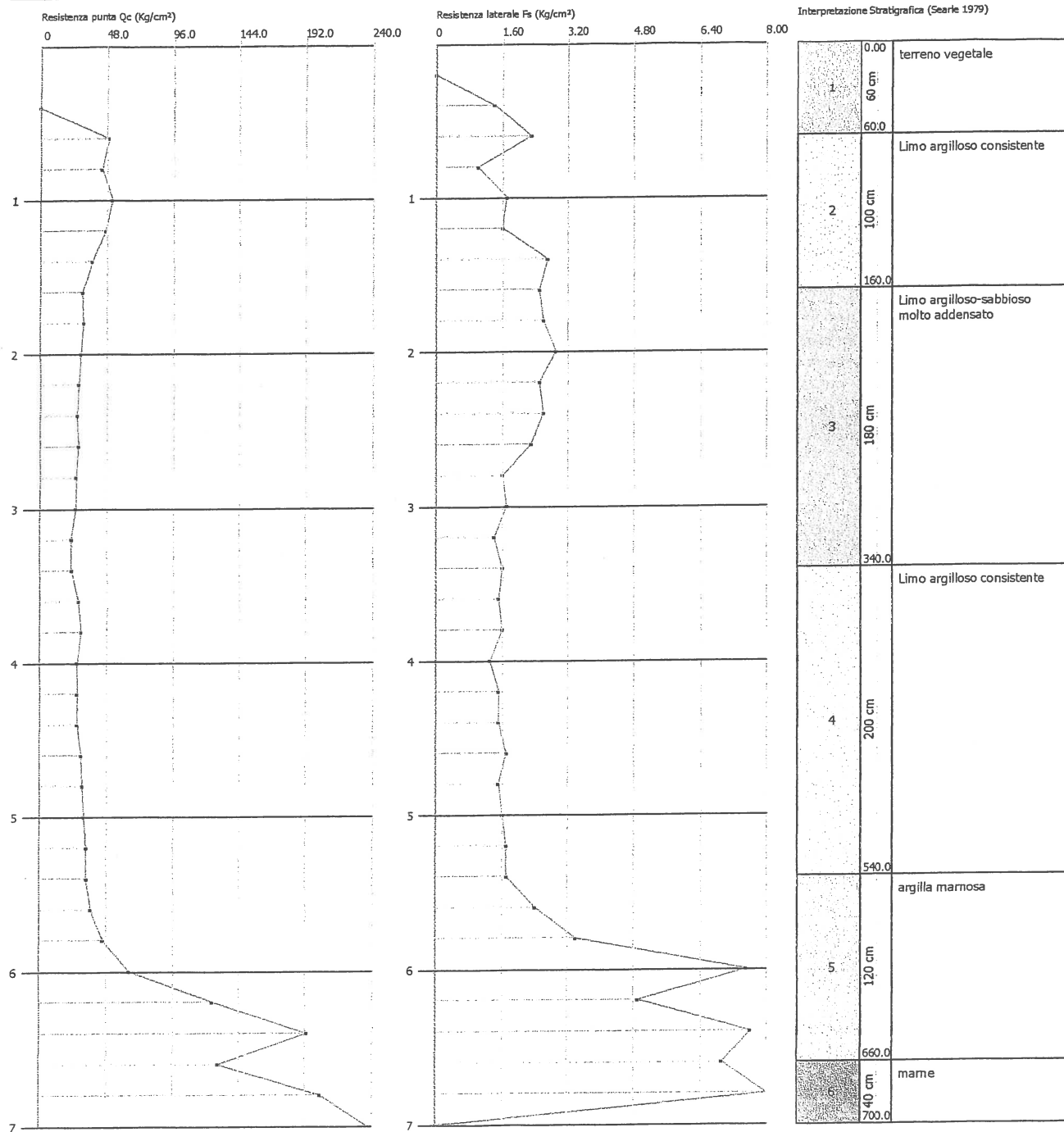
Committente: Geol. Egisto Panichi
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 29/10/2012
 Profondità prova: 7.00 mt
 Località: Acqualagna (PU)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	1.4	0.0	
0.60	49.00	70.0	49.1	2.3	21.3	4.7
0.80	44.00	79.0	44.1	1.0	44.1	2.3
1.00	52.00	67.0	52.1	1.7	30.6	3.3
1.20	47.00	73.0	47.3	1.6	29.6	3.4
1.40	37.00	61.0	37.3	2.7	13.8	7.2
1.60	30.00	70.0	30.3	2.5	12.1	8.3
1.80	31.00	68.0	31.3	2.6	12.0	8.3
2.00	29.00	68.0	29.3	2.9	10.1	9.9
2.20	27.00	70.0	27.4	2.5	11.0	9.1
2.40	26.00	63.0	26.4	2.6	10.2	9.8
2.60	27.00	66.0	27.4	2.3	11.9	8.4
2.80	25.00	60.0	25.4	1.6	15.9	6.3
3.00	25.00	49.0	25.4	1.7	14.9	6.7
3.20	22.00	47.0	22.6	1.4	16.1	6.2
3.40	22.00	43.0	22.6	1.6	14.1	7.1
3.60	27.00	51.0	27.6	1.5	18.4	5.4
3.80	29.00	52.0	29.6	1.6	18.5	5.4
4.00	26.00	50.0	26.6	1.3	20.5	4.9
4.20	26.00	46.0	26.7	1.5	17.8	5.6
4.40	26.00	48.0	26.7	1.5	17.8	5.6
4.60	29.00	51.0	29.7	1.7	17.5	5.7
4.80	30.00	55.0	30.7	1.5	20.5	4.9
5.00	31.00	53.0	31.7	1.6	19.8	5.0
5.20	33.00	57.0	33.8	1.7	19.9	5.0
5.40	33.00	58.0	33.8	1.7	19.9	5.0
5.60	36.00	62.0	36.8	2.4	15.3	6.5
5.80	45.00	81.0	45.8	3.4	13.5	7.4
6.00	64.00	115.0	64.8	7.5	8.6	11.6
6.20	124.00	237.0	125.0	4.9	25.5	3.9
6.40	192.00	266.0	193.0	7.6	25.4	3.9
6.60	128.00	242.0	129.0	6.9	18.7	5.3
6.80	202.00	305.0	203.0	8.3	24.5	4.1
7.00	235.00	360.0	236.0	0.0		0.0

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Geol. Egleto Panichi
Cantiere: Asilo nido
Località: Acquafredda (PU)

Data: 29/10/2012
Pag. 1 Scala 1:40



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	1.60	42.2	1.9	0.1	0.1	Baligh ed altri 1980 Nk=21	2.0
Strato 3	3.40	26.4	2.1	0.4	0.4	Baligh ed altri 1980 Nk=21	1.24
Strato 4	5.40	29.7	1.6	0.8	0.8	Baligh ed altri 1980 Nk=21	1.37
Strato 5	6.60	99.1	5.5	1.2	1.2	Baligh ed altri 1980 Nk=21	4.66
Strato 6	7.00	219.5	4.2	1.3	1.3	Baligh ed altri 1980 Nk=21	10.39

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	1.60	42.2	1.9	0.1	0.1	Metodo generale del modulo Edometrico	84.4
Strato 3	3.40	26.4	2.1	0.4	0.4	Metodo generale del modulo Edometrico	52.8
Strato 4	5.40	29.7	1.6	0.8	0.8	Metodo generale del modulo Edometrico	59.4
Strato 5	6.60	99.1	5.5	1.2	1.2	Metodo generale del modulo Edometrico	198.2
Strato 6	7.00	219.5	4.2	1.3	1.3	Metodo generale del modulo Edometrico	439.0

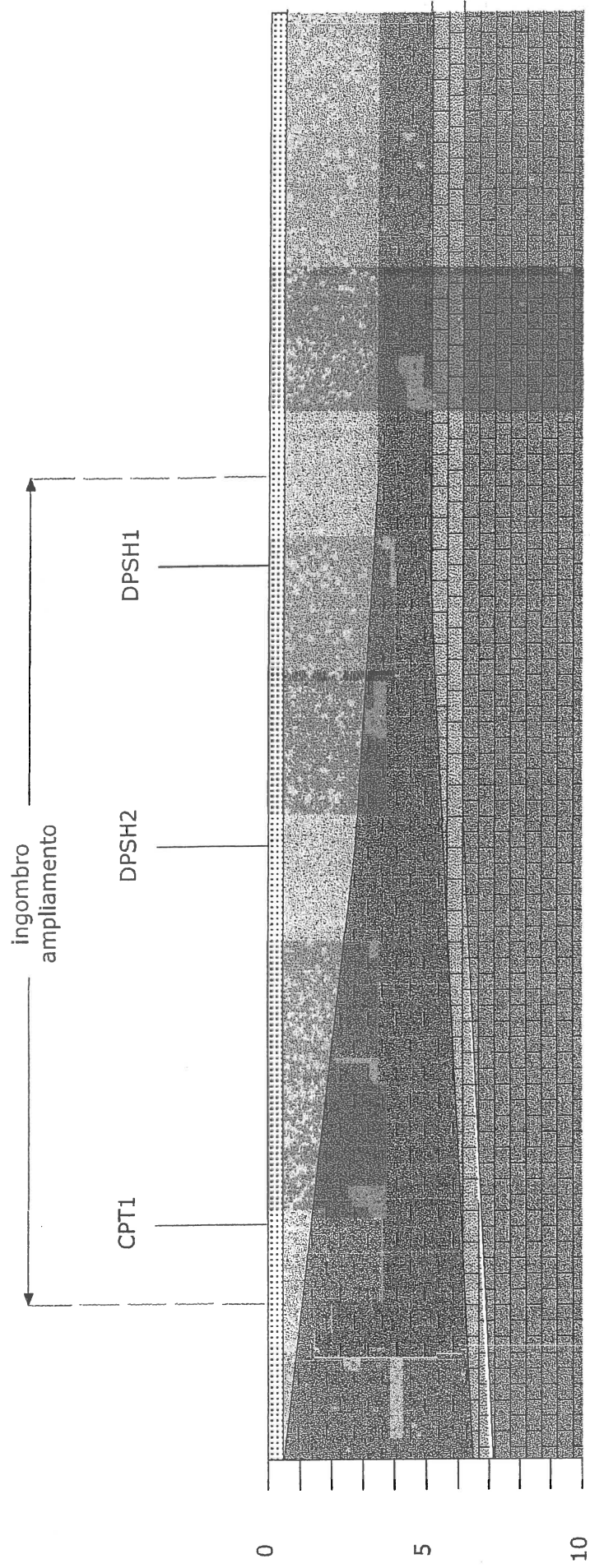
Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1.60	42.2	1.9	0.1	0.1	Stress-History	6.68
Strato 3	3.40	26.4	2.1	0.4	0.4	Stress-History	1.39
Strato 4	5.40	29.7	1.6	0.8	0.8	Stress-History	0.82
Strato 5	6.60	99.1	5.5	1.2	1.2	Stress-History	1.96
Strato 6	7.00	219.5	4.2	1.3	1.3	Stress-History	3.8

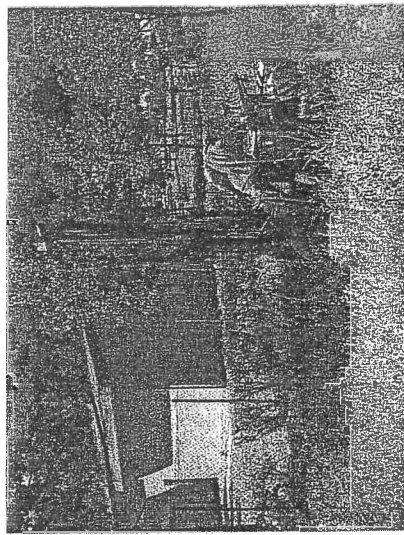
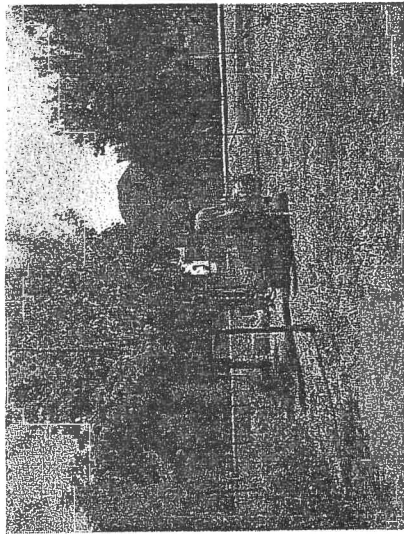
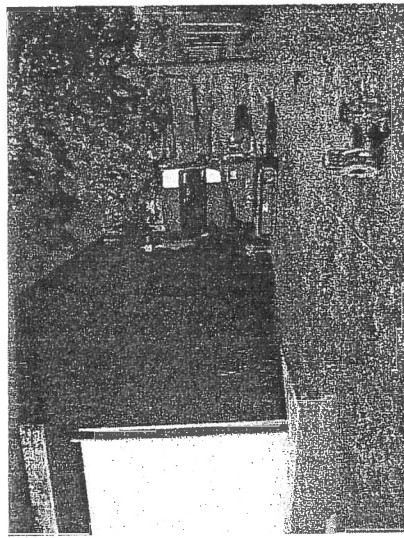
Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	1.60	42.2	1.9	0.1	0.1	Meyerhof	2.1
Strato 3	3.40	26.4	2.1	0.4	0.4	Meyerhof	2.0
Strato 4	5.40	29.7	1.6	0.8	0.8	Meyerhof	2.0
Strato 5	6.60	99.1	5.5	1.2	1.2	Meyerhof	2.2
Strato 6	7.00	219.5	4.2	1.3	1.3	Meyerhof	2.4

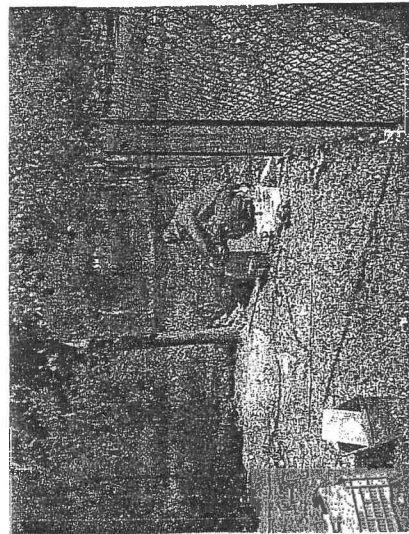
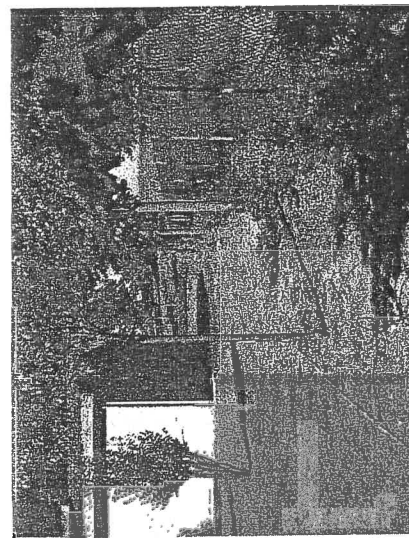
SEZIONE GEOLOGICA TECNICA
Scala 1:200



PROVE PENETROMETRICHE



INDAGINE GEOFISICA MASW





**REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI PESARO-URBINO
COMUNE DI ACQUALAGNA**

COMMITTENTE: GEOL. EGISTO PANICHI

**INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI
AMPLIAMENTO DI UN ASILO NIDO SITO NEL COMUNE DI
ACQUALAGNA (PU).**



Sassoferrato, 12 NOVEMBRE 2012

**INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI AMPLIAMENTO DI UN
ASILO NIDO SITO NEL COMUNE DI ACQUALAGNA (PU).**

INDICE

1	PREMESSA	<i>pag. 1</i>
----------	-----------------	----------------------

2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

2.1	Analisi multicanale delle onde superficiali	<i>pag. 1</i>
2.2	Descrizione generale della procedura MASW	<i>pag. 3</i>
2.3	Strumentazione e metodologia di indagine	<i>pag. 3</i>

3 RISULTATI E CONCLUSIONI

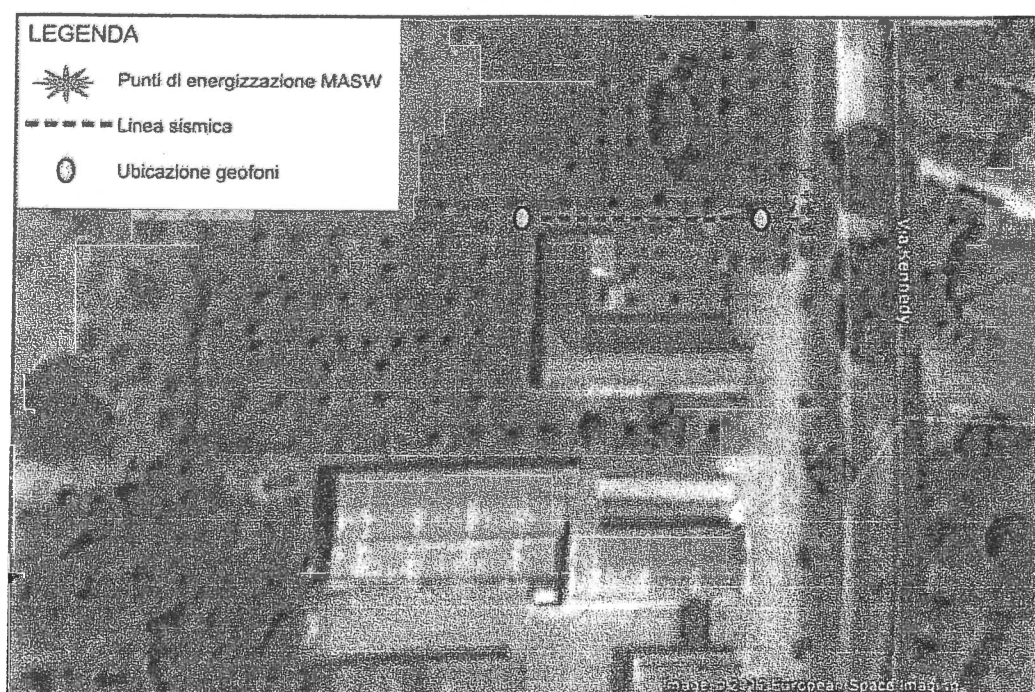
3.2	Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)	<i>pag. 5</i>
------------	---	----------------------



1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Geol. Egisto Panichi è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto di ampliamento di un asilo nido sito nel Comune di Acqualagna (PU). L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{s30} necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008".

Ubicazione stendimento sismico



2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza

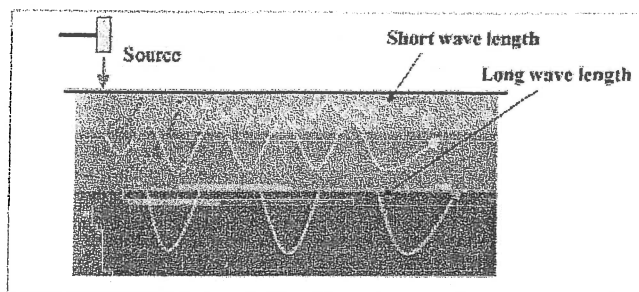


d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrispondendo la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo, ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. 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. Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel 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 maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un 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. 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, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

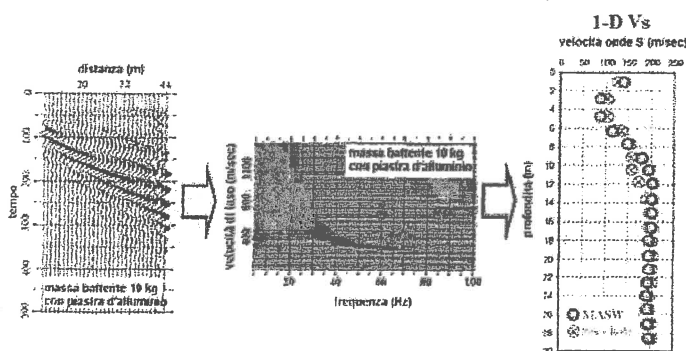


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

2.2 Descrizione generale della procedura MASW

La procedura MASW comprende tre passi successivi:

- 1 acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- 2 estrazione della curva di dispersione caratteristica del sito (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- 3 inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di V_s con la profondità.



2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

Le prospezioni sismiche con metodologia MASW sono state eseguite utilizzando un Sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato di memoria indipendente per ogni canale in grado di memorizzazione oltre 30.000 campioni. Gli intervalli di campionamento sono programmabili da 5 a 0.05 millisecondi, corrispondenti a frequenze di campionamento da 200 a 20000 Hz. La durata del campionamento è selezionabile fra 0.1 e 60 secondi. Elevata dinamica (96dB al convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: >100k Ω . La trasmissione digitale

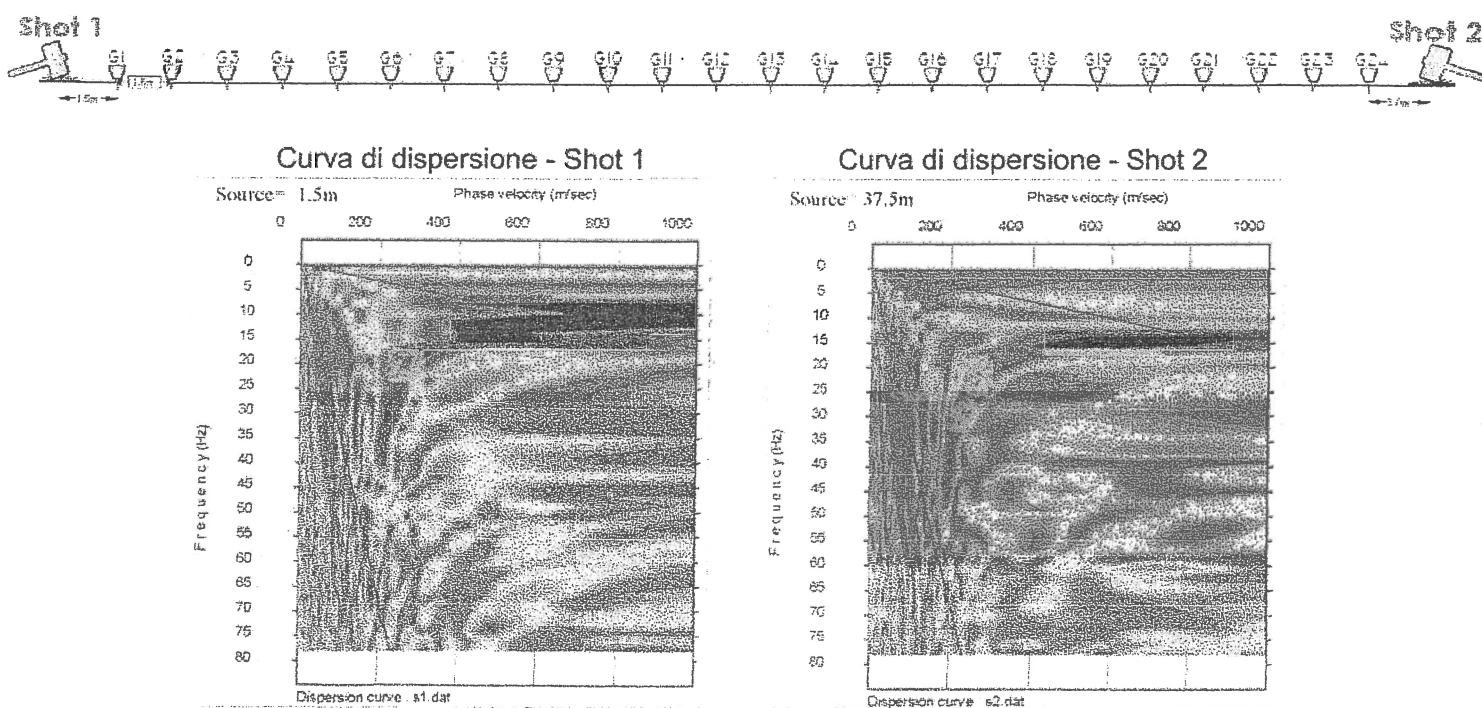


dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori.

Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1 secondo. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 24 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati ad una distanza geofonica di 1,5 mt.

I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15° - 20° sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. Per valutare la validità di monodimensionalità (strati piano paralleli) e la stabilità della curva di dispersione caratteristica del sito, durante la fase di acquisizione si sono eseguiti due shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento.

Per ciascun punto di scoppio si sono eseguite più energizzazioni con le tracce che sono state poi sommate al fine di evidenziare il segnale sismico (stack) rispetto ai rumori ambientali presenti. La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.



Le curve di dispersione così ottenute, riportate nella precedente figura, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 1, posto ad una distanza di 1.5 mt dal geofono G.1, meglio definita nell'intervallo delle basse frequenze e



caratterizzata dal miglior rapporto segnale/rumore e dal minore errore sul fitting con la curva di dispersione sperimentale apparente.

La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante una massa del peso di 8 Kg. battente su una piastra metallica circolare. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della stessa mazza di energizzazione. La morfologia dell'area di indagine è pianeggiante (vedi immagine).

3 RISULTATI E CONCLUSIONI

3.1 Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di classificare i terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.D.L. 14/01/2008".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidezza tra gli strati del suolo. Tale prova fornisce un profilo di velocità Vs monodimensionale. La velocità di propagazione delle onde di taglio dipende dalle proprietà elastiche dei mezzi attraversati e il parametro geofisico Vs30 è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo dei primi 30 metri. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}}$$

dove γ rappresenta la densità del corpo e μ il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.

Con Vs30 si definisce la velocità media di propagazione nei primi 30 metri di profondità delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

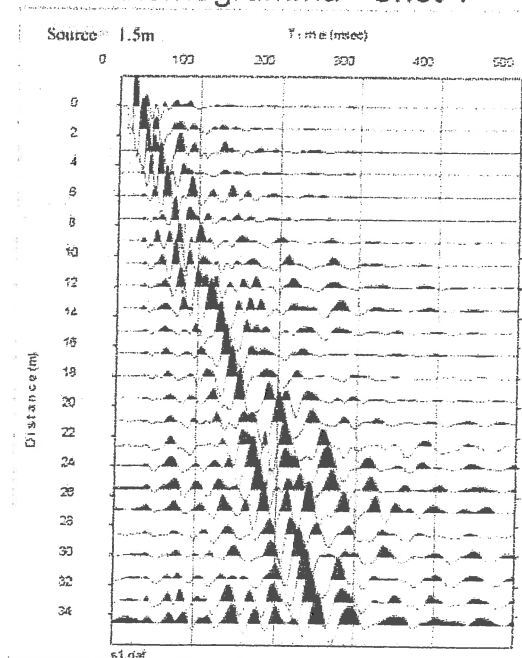
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$



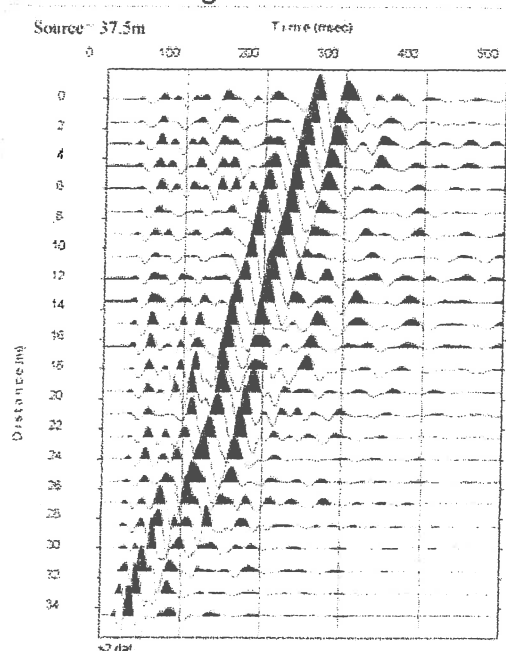
Dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:

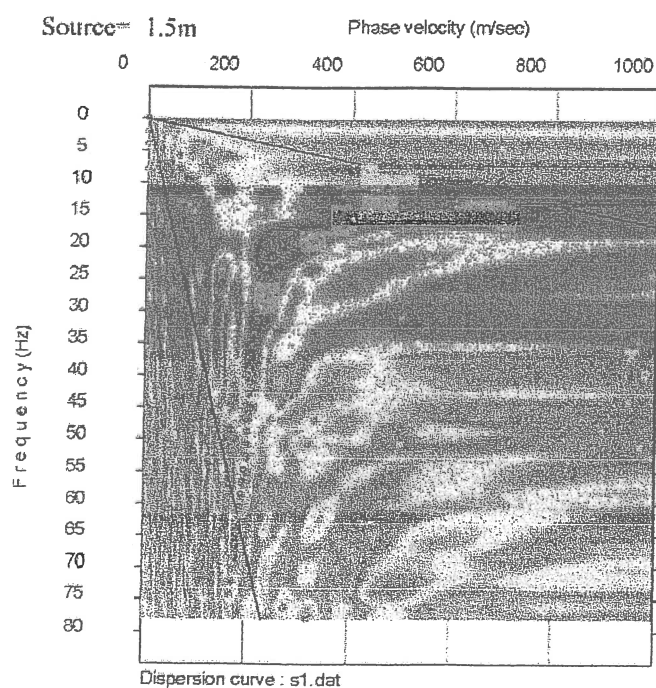
Sismogramma - Shot 1



Sismogramma - Shot 2

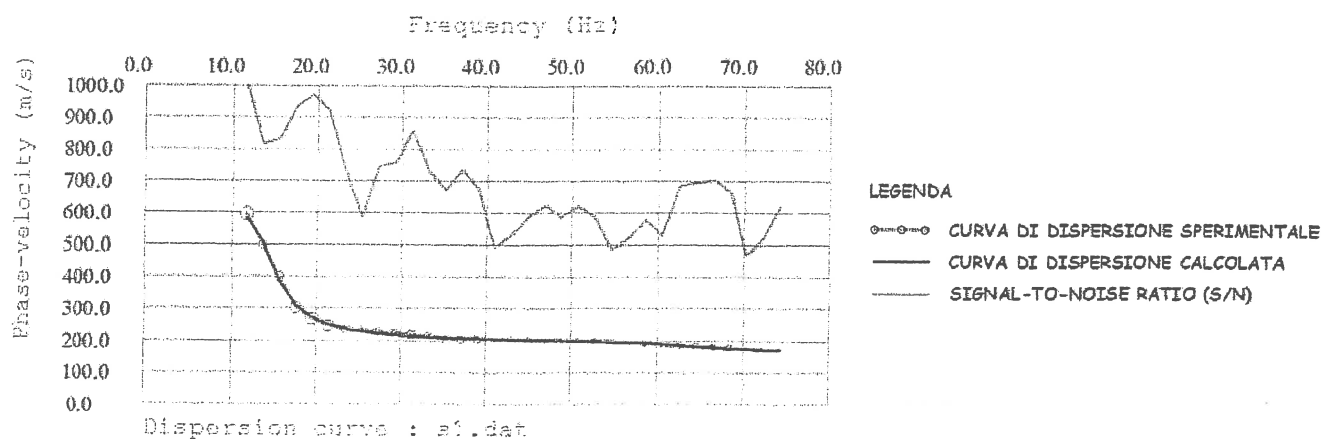


Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 1





Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 1



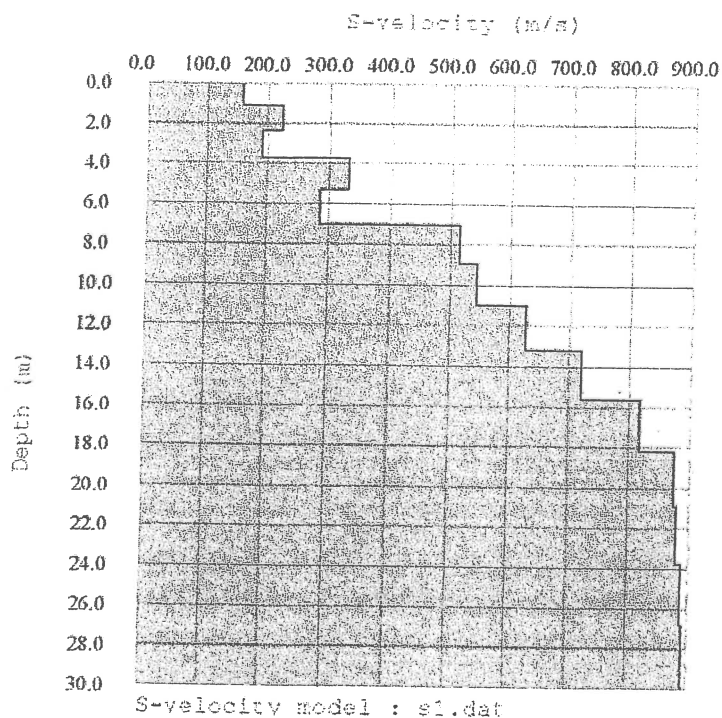
Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore Vs30 necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1.07	158	0.0068	Vs30 = 490 m/s
1,07 ÷ 2,31	1.24	225	0.0055	
2,31 ÷ 3,71	1.40	192	0.0073	
3,71 ÷ 5,27	1.57	332	0.0047	
5,27 ÷ 7,01	1.73	286	0.0061	
7,01 ÷ 8,90	1.90	516	0.0037	
8,90 ÷ 10,96	2.06	544	0.0038	
10,96 ÷ 13,19	2.23	628	0.0035	
13,19 ÷ 15,58	2.39	721	0.0033	
15,58 ÷ 18,13	2.55	817	0.0031	
18,13 ÷ 20,85	2.72	875	0.0031	
20,85 ÷ 23,74	2.88	880	0.0033	
23,74 ÷ 26,79	3.05	888	0.0034	
26,79 ÷ 30,00	3.21	891	0.0036	

$$\Sigma H_i/V_i = 0,0612$$



Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 1



Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sopra riportato si evince la presenza di un' evidente incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile alla profondità di circa 7,0 dal p.c.. Dopo tale quota, la Vs tende a crescere costantemente con la profondità fino alla profondità di circa 18 metri per poi mantenersi pressoché costante.

Sassoferrato, 12 novembre 2012

Servizi Sismici s.n.c.
SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02565830420
M. Roma N° 162227

Giuseppe Salimini