



COMUNE DI FOSSOMBRONE  
Provincia di Pesaro-Urbino

RELAZIONE GEOLOGICA  
PER LA COSTRUZIONE DI  
N°88 LOCULI E N°40 OSSARI  
NEL CIMITERO DEL CAPOLUOGO  
3° INTERVENTO

Committente:  
Amministrazione Comunale di Fossombrone

Studio di Geologia  
Dr. Geol. Valeriano Bassani

Via De Gasperi n°27  
60043 Carreto d'Esè(AN)  
Tel. 3383578595

Data: Ottobre 2018

Dr. Geol. Valeriano Bassani  
Geologo Specialista  
Cell. 338/3578595

pag. 1

COMUNE DI FOSSOMBRONE  
(PU)

RELAZIONE GEOLOGICA PER  
LA COSTRUZIONE DI  
N°88 LOCULI E N°40 OSSARI  
NEL CIMITERO DEL CAPOLUOGO  
3° INTERVENTO

COMMITTENTE: Amm.ne Comunale di Fossombrone

## Indice

- 1) Introduzione
- 2) Ubicazione
- 3) Caratteristiche geologiche e geomorfologiche
- 4) Idrografia e Idrogeologia
- 5) Pericolosità geologica
- 6) Vincoli
- 7) Indagini in situ
- 8) Litostratigrafia
- 9) Parametri Geotecnici e Parametri Caratteristici
- 10) Invarianza idraulica
- 11) Sismica
- 12) Terre e Rocce da scavo
- 13) Conclusioni

## Allegati:

- Corografia
- Ubicazione indagini e Traccia sez. Litostratigrafica
- Sezione litostratigrafica
- Certificato prova penetrometrica
- Certificato indagine geofisica
- Asseverazione Invarianza Idraulica

## 1.0 INTRODUZIONE

La presente relazione descrive i risultati di un'indagine geologica, commissionata dall'Amministrazione Comunale di Fossombrone, inerente il progetto costruzione di n°88 loculi e n°40 ossari nel cimitero del capoluogo. Tal elaborato, nel rispetto della normativa vigente, ha lo scopo di individuare il modello geologico nei suoi elementi morfologici, litostratigrafici e idrogeologici, integrato con studi sulle pericolosità geologica e sismica caratteristiche del sito. Al fine di ottenere gli elementi necessari allo scopo si è eseguito un rilievo di superficie esteso nelle vicinanze, che ha permesso di individuare le unità litologiche affioranti e i principali aspetti idrogeologici e morfologici.

In seguito si sono eseguite indagini in situ specifiche (2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti e un'indagine geofisica) al fine di caratterizzare al meglio i litotipi presenti.

In particolare si è fatto riferimento alle norme di seguito riportate:

- “Raccomandazioni programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche A.G.I. 1977.”
- D.M. LL PP n°47 - 11/03/1988 (G.U. 01/06/1988, S. O. n°127) “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni, .....prescrizioni per la progettazione,.....” e relativa circolare applicativa (Circ. LL.PP. 24/09/1988 n°30483)
- D.G.R. 1046 del 29/07/2003 “Indirizzi generali per la prima applicazione sismica dell’ordinanza n.3274/2003”
- Delibera del Consiglio Regionale Marche n.116 -21/01/2004 (Adozione del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale PAI)
- D.M.Infrastrutture e Trasporti - 17 gennaio 2008 (G.U. 20/2/2008 S.O. n°42) “Norme tecniche per le costruzioni.”
- Circolare 2 febbraio 2009, n°617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26/02/2009 S.O. n°27) “Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui al D.M. - 14 gennaio 2008 (G.U. 04/02/2008, S.O. n° 29)
- L.R. 22 del 23 novembre 2011 – “Criteri, modalità e indicazioni .....verifica della compatibilità idraulica.....e per l’invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali” e relativa DGR 53 del 27/01/2014.
- Dlgs.n.152/2006, dpr. n.120/2017 (Terre e Rocce da scavo)

## 2.0 UBICAZIONE

L’area d’indagine si trova in direzione SE rispetto al centro abitato di Fossombrone a una distanza di circa Km.1,3 e ad una quota di m. 145 circa s.l.m. La cartografia di riferimento è la Carta Aerofotogrammetrica della Regione Marche scala 1:10.000 sezione 280100 – “Fossombrone”.

## 3.0 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

La geologia del territorio è ubicata nella parte settentrionale dell’Appennino Umbro Marchigiano Settentrionale caratterizzato dal sistema catena avanfossa originatasi dall’Oligocene come conseguenza della prima fase compressiva ascrivibile al Paleocene inferiore. Nel Miocene, il bacino Umbro-Marchigiano risente ulteriormente degli sforzi compressivi

attivi nelle aree più occidentali che hanno come conseguenza la formazione di bacini interni minori, i quali, in relazione alle varie fasi tettoniche, sono interessati da sequenze sedimentarie più o meno significative e diversificate. Nel sito oggetto di studio il substrato è rappresentato dalla Formazione della Scaglia Rossa (SAA). Le strutture principali hanno orientamento NW-SE e sono tagliate in senso ortogonale dalle principali aste fluviali all'interno delle quali, in direzione NE, scorrono con andamento meandriforme i principali corsi d'acqua. L'area si trova in destra idrografica della valle alluvionale del Fiume Metauro come risulta dallo stralcio della carta geologica sotto riportata. Litologicamente il sito ricade in un'area in cui si rinvenivano sedimenti alluvionali sedimentatisi in ambiente continentale. Tali depositi, originatisi a causa delle variazioni climatiche risalenti all'Era Quaternaria e al sollevamento regionale, sono caratterizzati da piani morfologici risultanti dall'alternanza di fasi deposizionali ed erosive dell'azione fluviale. In particolare nell'area oggetto di studio il terrazzo alluvionale presenta una modesta estensione ed è raccordato a N da gradoni e scarpate alle alluvioni attuali e recenti, mentre a S esso si raccorda alla Formazione della Scaglia Rossa.

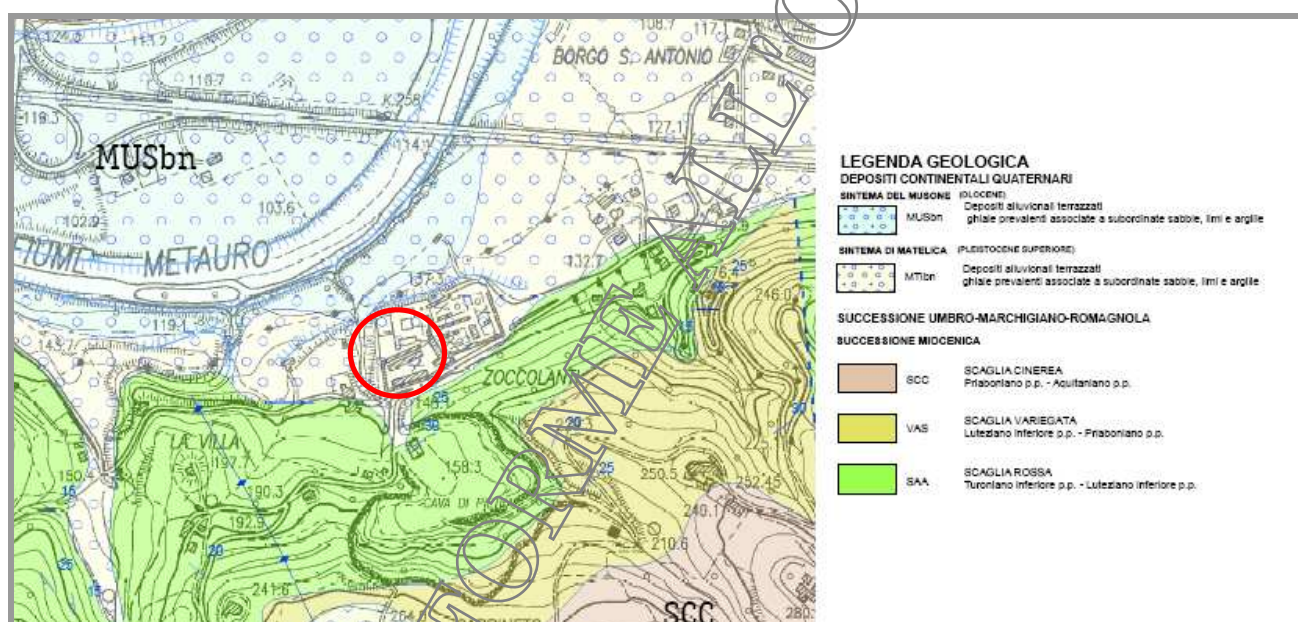


Fig. 1 - Stralcio carta geologica – Scala 1:10000      ○ Area oggetto di indagine

#### 4.0 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Nell'immediato intorno l'idrografia superficiale è rappresentata da un piccolo fosso senza nome a carattere stagionale che scorre a circa 30 metri di distanza a W e a quota di circa 120 metri s.l.m. La principale asta fluviale presente in zona è rappresentata dal Fiume Metauro che scorre in direzione NW con andamento meandriforme a circa m.100 di distanza in direzione N, e ad una quota di circa m 100 s.l.m. Nell'ambito dell'area studiata i litotipi prevalentemente sabbioso limosi con ciottoli sparsi sono caratterizzati da una discreta permeabilità. Lungo le verticali eseguite non si rinviene alcun livello idrico. Il substrato costituito dalla Formazione della Scaglia Rossa (SAA) presenta una buona permeabilità.

#### 5.0 PERICOLOSITA' GEOLOGICA

La pericolosità è definita nel rapporto UNESCO del 1984, come “*probabilità di occorrenza di un fenomeno potenzialmente pericoloso in un determinato intervallo di tempo e in una certa area*”, includendo in essa il concetto di spazialità e temporalità del fenomeno naturale e marginalmente il concetto di intensità o magnitudo, cioè la dimensione del potere distruttivo del fenomeno.

### 5.1 Pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica, legata alle caratteristiche fisiche del corso d'acqua e alle caratteristiche ideologiche, non rappresenta una reale e/o potenziale problematica per il sito in esame, poiché la pericolosità intesa come probabilità di esondazione di una certa entità da parte dei corsi d'acqua presenti risulta *storicamente* nulla.

### 5.2 Pericolosità da frana

La pericolosità connessa ai fenomeni franosi costituisce una valutazione della pericolosità finalizzata alla zonazione del territorio in aree suscettibili d'innesco. In particolare, dai sopralluoghi effettuati non si sono evidenziate morfologie franose importanti e nelle attuali condizioni l'area è da ritenersi stabile.

## 6.0 VINCOLI

- Piano Assetto Idrogeologico (PAI)

L'area in oggetto ricade all'interno del bacino di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Marche, ricompresa nella tavola 280100 del Piano Stralcio Idrogeologico dei bacini Regionali, approvato dal Consiglio Regionale con delibera n.116/2004 ed aggiornato con Decreto del Segretario n.27/SABN del 03/11/2009. Dalla trasposizione delle perimetrazioni del P.A.I. si evince che l'area non ricade all'interno delle zone classificate a rischio idrogeologico da frana e/o esondazione.

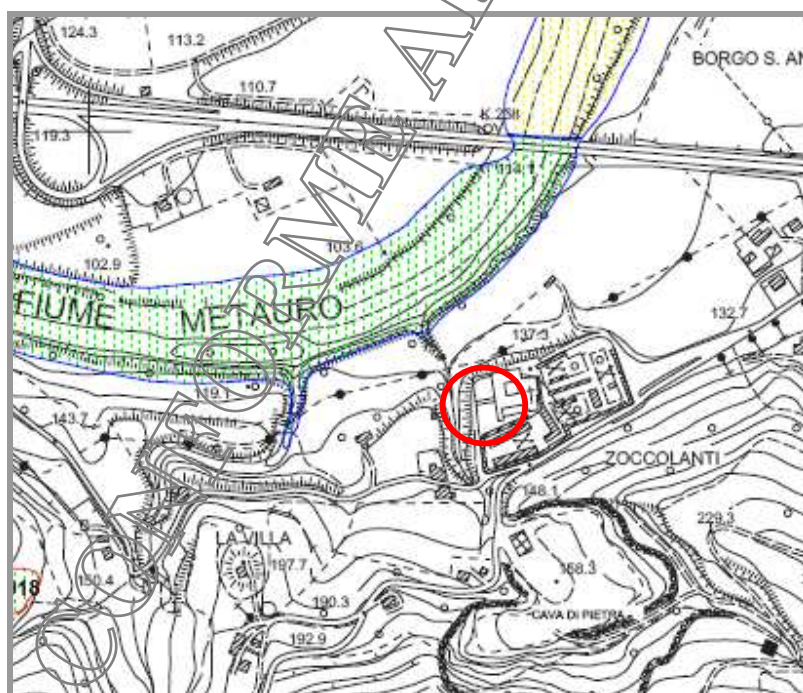


Fig.2



AREA OGGETTO DI INDAGINE (non in scala)

## 7.0 INDAGINI IN SITU

Per caratterizzare il modello geologico-sismico del sito è stata organizzata una campagna d'indagini composta da due prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH e un'indagine geofisica mediante tomografo digitale HVSr. I risultati sono riportati in allegato alla presente relazione.



### 7.1- Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche DPSH sono state eseguite allo scopo di parametrizzare dal punto di vista geotecnico i litotipi presenti, e realizzate con penetrometro semovente cingolato Pagani con massa battente di Kg 63,5 ed avanzamento standard di cm.20 e sono state spinte fino al rifiuto strumentale. Le profondità investigate rispetto all'attuale piano campagna, sono comprese tra m. 2,60 (P1) in cui si è intercettato il substrato geologico e m. 9,20 (P2).

### 7.2- Prospezione geofisica

La prospezione geofisica è stata realizzata mediante acquisizione sismica passiva denominata HVSr, con l'utilizzo di un tromografo digitale che permette la parametrizzazione sismica dei terreni mediante l'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito, correlabili ai cambi litologici-stratigrafici.



## 8.0 LITOSTRATIGRAFIA

La ricostruzione litostratigrafica è stata ottenuta mediante le prove penetrometriche eseguite, dall'indagine geofisica HVSr e da osservazioni negli affioramenti vicini. In particolare sotto sono riportate foto di affioramenti della Scaglia Rossa al lato sud della strada che costeggia il cimitero (Aff.n°1) e direttamente sulla stessa sede stradale immediatamente a ridosso del muro di cinta (lato sud) del cimitero (Aff.n°2). Inoltre, su cortese disponibilità del progettista è riportata anche una foto, scattata in occasione di precedenti lavori all'interno del cimitero, dei terreni ivi presenti. Il tutto ha portato all'individuazione di una coltre alluvionale costituita da prevalentemente da sabbia limosa con clasti sparsi avente spessore variabile tra m.2,6 e m.12,0 (stimato da prova sismica), soprastante il bedrock di origine sedimentaria marina denominato "Formazione della Scaglia Rossa (SAA)".



Di seguito si riporta lo schema riassuntivo dei dati.

<i>Prof. dal P.C. m. DPSH 1 / <b>DPSH 2</b></i>	<i>Litologia</i>	
0 – 0,2 / <b>0- 0,6</b>	Terreno di riporto	
0,2 – 1,8/ <b>0,6- 9,2</b>	Sabbia limosa con clasti sparsi	<i>Alluvioni</i>
1,8 – 2,4	Detrito di versante grossolano	<i>Substrato alterato</i>
2,4 – 2,6	Roccia	<i>Substrato geologico</i>

## 9.0 PARAMETRI GEOTECNICI E PARAMETRI CARATTERISTICI

L'Eurocodice 7 (EC7) ha introdotto il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico è inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione e deve essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, sia che si tratti SLU o di SLE. Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza. L'EC7 ha inoltre indicato nella statistica l'unica metodologia oggettiva utilizzabile per la determinazione dei valori caratteristici, fermo restando che la stima cautelativa, salvo particolari circostanze (es.: attrito negativo lungo il fusto dei pali, densità del terreno nelle verifiche della stabilità dei pendii, cedimenti differenziali) comporta generalmente valori più bassi del valore medio dei dati a disposizione. Tuttavia, nella quotidiana esperienza, il campione di dati geotecnici di cui si dispone è generalmente piuttosto limitato se consideriamo un gran volume di terreno e questo determina l'insorgere di un certo grado di incertezza. Di conseguenza, partendo dalla considerazione che una stima cautelativa del valore medio è una selezione del valore medio del limitato insieme dei valori del parametro geotecnico, con un livello di confidenza del 95%, per il calcolo del valore caratteristico si utilizza la "t" di Student a n-1 gradi di libertà ipotizzando che la media del campione coincida con la media della popolazione.

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) \quad \text{Eq.1}$$

dove:  $x_k$  = Valore caratteristico desiderato,  $\bar{x}$  = Valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;  $t$  = Valore della distribuzione di Student a n-1 gradi di libertà con probabilità  $u=95\%$ ;  $s$  = Deviazione standard della popolazione;  $n$  = Numero di dati.

Nel caso in cui la rottura sia "locale" ovvero interessi modesti volumi relativamente piccoli di terreno, lo stato limite potrebbe essere governato da una fluttuazione statistica meno resistente e non dalla media di tutte le fluttuazioni il valore caratteristico consiste nel 5° percentile della distribuzione del campione. La correlazione da applicare è la seguente

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \cdot s \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot s \quad \text{Eq.2}$$



dove:  $x_k$  = Valore caratteristico desiderato,  $\bar{x}$  = Valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;  $z$  = Distribuzione normale standardizzata;  $s$  = Deviazione standard della popolazione.

A seguito di queste considerazioni si nota come la scelta del valore caratteristico sia influenzata dall'ampiezza della zona di terreno nel modello geotecnico, ma se si tiene conto anche della capacità o meno di una fondazione sufficientemente rigida di trasferire i carichi dalle zone deboli a quelli forti del terreno con un meccanismo di compensazione strutturale simile al descritto meccanismo di compensazione spaziale (volume ampio di terreno) si può utilizzare l'eq.1 anche se non siamo in presenza di un grande volume di terreno. In particolare per progetti di modesto rilievo, si dispone spesso di uno scarso numero di dati geotecnici, pertanto si potrebbero porre delle obiezioni all'applicazione dei metodi statistici, ma se ci troviamo in condizione di compensazione (strutturale o spaziale) disponendo di un dataset limitato di dati possiamo comunque ricorrere alla statistica classica utilizzando il metodo statistico della varianza nota:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{Eq.3}$$

dove:  $x_k$  = Valore caratteristico desiderato,  $\bar{x}$  = Valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;  $z$  = distribuzione normale standardizzata;  $\sigma$  = Deviazione standard della popolazione;  $n$  = Numero di dati.

Dall'applicazione dell'eq.3 si riporta lo schema dei valori geotecnici medi dei terreni e i corrispettivi valori caratteristici medi ed inferiori, ricavati dall'elaborazione della prova penetrometrica.

<u>VALORI MEDI</u>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Dr %	$\varphi^\circ$	E Kg/cm <sup>2</sup>	<u>VALORI CARATTERISTICI</u>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Dr %	$\varphi^\circ$	E Kg/cm <sup>2</sup>
Sabbia limosa con clasti	1,83	35,4	31,3	63,9	Sabbia limosa con clasti	1,81	30,4	29,8	51,1

Legenda:  $\gamma$  = peso di volume - Dr = densità relativa -  $\varphi$  = angolo d'attrito interno - E = modulo elastico

Nel rispetto della Normativa si fa presente che “...appare giustificato il riferimento a **valori medi** quando, nello stato limite considerato, è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai **valori minimi** dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità”.

## 10.0 INVARIANZA IDRAULICA

La L.R. 22 del 23 novembre 2011 e relativa DGR 53 del 27/01/2014 stabiliscono che “per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa”. La finalità della suddetta norma è di richiedere a chi propone una trasformazione di uso del suolo di accollarsi, attraverso opportune azioni compensative, gli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi di mantenere le condizioni di sicurezza nel tempo. In linea generale, le misure da applicare sono diversificate in funzione della consistenza

della trasformazione, rispettando i parametri descritti nella tabella successiva e nella quale è posta in evidenza, nel caso specifico la classe d'intervento in cui ricade il presente lavoro.

Classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici ai fini dell'invarianza idraulica

Classe d'intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha

Come si evince ci troviamo nella classe d'intervento definita come "trascurabile impermeabilizzazione potenziale", secondo cui l'intervento interessa una superficie di estensione inferiore a 0,1 h. Il progetto infatti prevede la realizzazione di nuovi loculi interrati. Tale intervento insisterà su un'area ove allo stato attuale è presente del terreno di riporto costituito da limi compattati che hanno una bassa permeabilità, pertanto ad esso possiamo attribuire un coefficiente di permeabilità pari a 0,7. La superficie interessata è pari a  $m^2$  124, così come indicato dal progettista, che moltiplicata per il coefficiente precedentemente fornito determina una nuova superficie impermeabilizzata pari a  $m^2$  86,8 pertanto ***l'intervento non è soggetto alle disposizioni di cui al Titolo III della DGR 53/2014***.

## 10.0 SISMICA

### 10.1 Classificazione Sismica

La normativa sismica fa proprie le norme della Delibera di Giunta della Regione Marche n.1046/CMF del 29/07/2003 avente oggetto "Indirizzi generali per la prima applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003 - individuazione e formazione dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche". In tale contesto il Comune di Fossombrone (PU) è stato riclassificato sismico come appartenente alla **Zona Sismica 2**.

### 10.2 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini dell'azione sismica di progetto è possibile fare riferimento a una metodologia semplificata basata sulla categoria di sottosuolo di riferimento (Tab.3.2.II del D.M. 17/01/2018) e sulla categoria topografica (Tab. 3.2.III del D.M. 17/01/2018).

#### - 10.2-1 Categoria di sottosuolo

Per la determinazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita un'indagine sismica passiva utilizzando la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. (La descrizione dettagliata della metodologia è riportata in allegato). L'elaborazione dell'indagine geofisica evidenzia la presenza di n.3 sismostrati a differente velocità, come nella documentazione allegata, dalla quale si ricavano spessori e relative velocità delle onde di taglio. *La classificazione del sottosuolo si effettua in base a condizioni stratigrafiche ed ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio definita Eq.4, dove  $H$  è la profondità del substrato, (omissis) caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s;  $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;  $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;  $N$  numero di strati.*

Per i depositi con  $H > 30$  m, la Velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$

*Nella tabella seguente è schematizzata la sezione sismostratigrafica risultante dalla misurazione, in base alla quale si è calcolato il valore di  $V_{s30}$  sia partendo dalla quota dell'attuale Piano Campagna.*

Strato	Profondità (m)	Spessore $h_i$ - (m)	Unità sismostratigrafica	Velocità onda S $V_{S,i}$ - (m/s)	Tempi parziali
$H_1$	0,00	11,50	sismostrato n.1	290	0,0396
$H_2$	26,50	15,00	sismostrato n.2	600	0,0250
$H_3$	30,00	3,50	sismostrato n.3	650	0,0053
	$h_{totale}$	<b>30,00</b>		$\Sigma h_i/V_i$	<b>0,0699</b>

Alla luce di quanto sopra si procede alla valutazione della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  definita dalla media armonica ponderata di cui all'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 a partire dalla quota dell'attuale piano campagna:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{Eq.4}$$

$V_{S,eq} = 428 \text{ m/s}$   
(misurata dal P.C.)

Sulla base dei risultati e in accordo con l'approccio semplificato previsto dal NTC 2008, la categoria di sottosuolo di riferimento è la **categoria "B"** la cui descrizione prevede " *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

#### - 10.2-2 Categoria Topografica

Dall'analisi delle isoipse risulta che il sito ricade su un pianoro insistente sulle alluvioni terrazzate del Fiume Metauro. Detto pianoro a sua volta è delimitato sia a N che a S rispettivamente da scarpate e dagli ultimi lembi delle pendici del rilievo posto immediatamente a ridosso, pertanto considerando il contesto generale nel quale esso si trova la cui pendenza media è di circa 12°, pertanto, in accordo con la tabella 3.2.III del D.M. 17-01-2018, l'area è appartenente alla **Categoria topografica di tipo "T1"** la cui descrizione prevede " *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .*

#### 10.3 Individuazione della Pericolosità sismica del sito

In base alle N.T.C. l'azione sismica di riferimento è definita per ogni sito in base alle coordinate. L'individuazione della pericolosità è quindi ricavata dall'interpolazione delle coordinate geografiche dei nodi del reticolo (progetto S1-INGV) posti intorno al sito. Le N.T.C. introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano e per ciascun nodo sono forniti 4 parametri per ogni condizione di stato limite considerato.

Tali parametri sono:

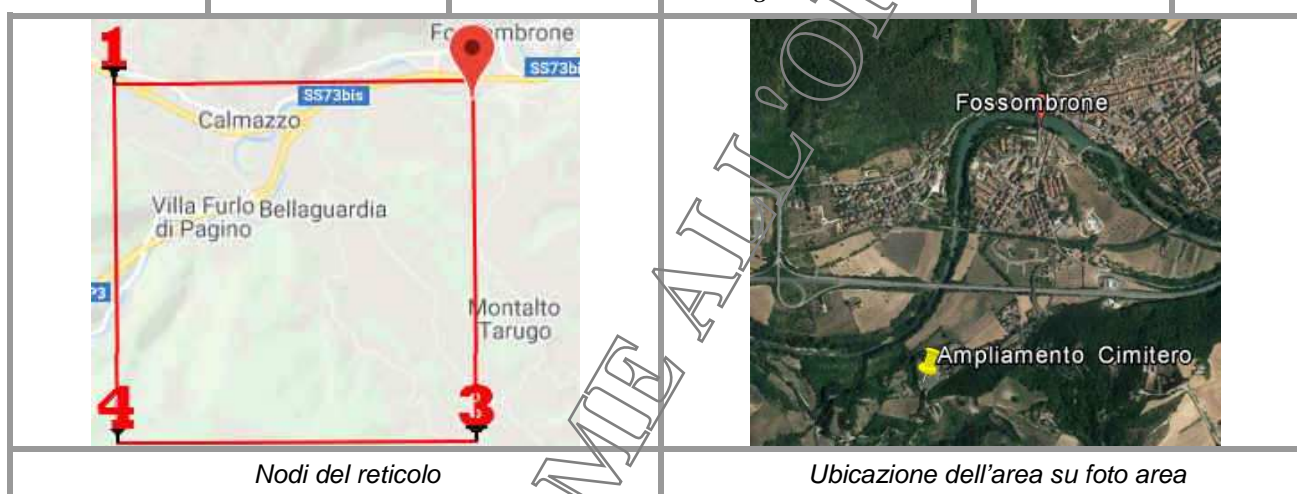
- $T_r$  – periodo di ritorno del terremoto considerato
- $a_g$  – accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10)
- $F_o$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*c$  – periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Alla luce di quanto esposto la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione rispetto ai nodi del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera.

*Nodi del reticolo o Siti di riferimento*

Sito 1	ID: 20524	Lat: 43,6824	Lon: 12,7297	Distanza: 5540,9
Sito 2	ID: 20525	Lat: 43,6829	Lon: 12,7988	Distanza: 305,3
Sito 3	ID: 20747	Lat: 43,6329	Lon: 12,7993	Distanza: 5255,5
Sito 4	ID: 20746	Lat: 43,6324	Lon: 12,7303	Distanza: 7632,3

<b>Latitudine ED50:</b>	<b>43.680131</b>	<b>Longitudine ED50:</b>	<b>12.798491</b>
-------------------------	------------------	--------------------------	------------------



<b>Sito in esame</b>	Latitudine	43.680131	<b>Stati limite</b>	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
	Longitudine	12.798491					
<b>Opera</b>	Classe	2	<b>Probabilità Superamento [%]</b> <b>Tr [anni]</b> <b>ag [g]</b> <b>Fo</b> <b>Tc* [s]</b>	81	63	10	5
	Vita nominale	50					
<b>Parametri sismici</b>	Categoria sottosuolo	B					
	Categoria topografica	T1					
<b>Periodo</b>	Periodo di riferimento	50 anni					
	Coefficiente cu	1					

Coefficienti Sismici	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,200	1,200	1,200	1,180
Cc	1,430	1,410	1,370	1,370
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,013	0,017	0,051	0,076
Kv	0,007	0,008	0,026	0,038
Amax	0,641	0,812	2,084	2,657
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

### 11 – INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA (Costante di WINKLER)

L'uso della costante di Winkler è tra i metodi più diffusi per lo studio dell'interazione tra fondazione e terreno e richiede un'attenta valutazione del valore del modulo di reazione K da utilizzare secondo i casi. Poiché K, oltre che dalle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, è influenzato anche dalla dimensione, dalla forma dell'impronta e dalla profondità d'impasto della fondazione, il valore del modulo di reazione da utilizzare nelle verifiche può essere ricavato mediante le seguenti espressioni proposte da Terzaghi:

- influenza della forma  $K_{rett.} = K_{unit.} \cdot [1 + 0,5 (B/L)] / 1,5$  in cui  $K_{unit.}$  è il modulo di reazione di una fondazione quadrata di lato  $B = m/1,00$ ;

- influenza della dimensione  $K_B = 2,35 \cdot K_b \cdot [(B+0,3)/2B]^2$  (per terreni granulari)  
 $K_B = K_b/B$  in cui  $K_b = K_{rett.}$  prima ricavato (per terreni coesivi)  
 per una fondazione di larghezza pari a B (metri) e lunghezza L (metri)

- influenza della profondità  $K_{prof.} = K_{sup} \cdot [1 + 2 D/B]$  per  $D \leq B/2$

Terreni granulari  $\left\{ \begin{array}{l} K_{prof.} \approx 2 K_{sup} \text{ per } D > B/2 \text{ in cui } K_{sup} \text{ è il modulo della stessa fondazione con} \\ \text{profondità di posa nulla e uguale a } K_B \text{ prima ricavato.} \\ \text{per una fondazione di larghezza pari a B (metri) posta ad una profondità } D \text{ (metri)} \end{array} \right.$

Per completezza si riporta una tabella di riferimento di valori indicativi della costante di Winkler  $K (Kg/cm^3)$  limitata a solo terreni incoerenti.

Terreno	Valore minimo	Valore MASSIMO
Sabbia/sciolta	0,48	1,60
Sabbia mediamente compatta	0,96	8,00
Sabbia compatta	6,40	12,80
Sabbia argillosa mediamente compatta	2,40	4,80
Sabbia limosa mediamente compatta	2,40	4,80



## 12.0 TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il materiale naturale e lapideo di risulta della escavazione delle sottofondazioni, dovrà essere sottoposto a campionamento, seguendo i dettami dal nuovo DPR 120/2017 Terre e rocce da scavo. Entrato in vigore lo scorso 22 agosto prescrive che la non contaminazione debba essere verificata con il campionamento e l'analisi del terreno scavato, in base l'art.24 e ai sensi dell'allegato 4 del DPR, la verifica quindi va sempre effettuata, non si fanno differenze tra piccoli (sotto i 6 mila metri cubi totali) o grandi cantieri (sopra i 6 mila metri cubi e sottoposti a VIA e AIA). In conclusione si rimanda la verifica con il campionamento e l'analisi del terreno scavato, in fase di cantiere per stabilire qualitativamente la natura del materiale movimentato, che verrà qualificato o come sottoprodotto e quindi riutilizzato anche in sito o in uno con analoga destinazione d'uso, oppure come rifiuto e conferito in un centro di smaltimento (Art.24 e ai sensi dell'allegato 4 del DPR n120/2017). La relazione ambientale esplicativa con i risultati dei report delle analisi chimiche delle attività sopra descritte e prescritte dal DPR 120/2017 andrà allegata al Progetto esecutivo ed andrà eseguita almeno 15gg prima dell'inizio dello sbancamento per le opere di fondazione

## 13. CONCLUSIONI

- a) Il sito ricade alle pendici settentrionali del Monte Raggio a quota di m.140 circa s.l.m. Esso presenta una morfologia sub-pianeggiante in parte di origine antropica ed in parte di origine alluvionale delimitato ad ovest da una scarpata incisa da un piccolo fosso senza nome avente un'altezza massima di m.10, mentre a Nord e a Sud esso è delimitato rispettivamente dal versante del Monte Raggio e dalla valle alluvionale del Fiume Metauro;
- b) Idrogeologicamente non sono da segnalare la presenza di un livello di acqua;
- c) La pericolosità geologica, intesa da un punto di vista idraulico e della franosità dei luoghi, nelle attuali condizioni è da considerarsi assente;
- d) L'area non rientra nelle perimetrazioni del rischio idrogeologico del PAI;
- e) L'assetto litostratigrafico, determinato mediante indagini in situ, mostra un modello con una copertura alluvionale con spessore compreso da m.0, vedi affioramento immediatamente a ridosso del muro di cinta del cimitero al lato nord, a m.15,0, stimato dall'indagine sismica soprastante la formazione di base denominata Formazione della Scaglia Rossa;
- f) L'intervento impermeabilizzerà una superficie pari a m<sup>2</sup>86,8 pertanto ai sensi della L.R. 22 del 23 novembre 2011 e relativa DGR 53 del 23/01/2014, l'intervento non è soggetto alle disposizioni di cui al Titolo III della DGR 53/2014;
- g) Sismicamente l'area è inquadrata nella zona sismica 2 con assegnata un'accelerazione orizzontale massima di a(g) = 0,25. La classificazione della categoria topografica prevede per l'area una tipologia "T1" mentre la categoria di sottosuolo è di tipo "B" secondo quanto previsto dal D.M. del 17-01-2018;
- h) La gestione delle terre e rocce da scavo dovrà conformarsi alle prescrizioni sopra riportate;
- i) Adottare una struttura di fondazione dotata di una sufficiente rigidità, al fine di limitare e contrastare eventuali fenomeni di cedimento differenziale;

Dr. Geol. Valeriano Bassani  
Geologo Specialista  
Cell. 338/3578595

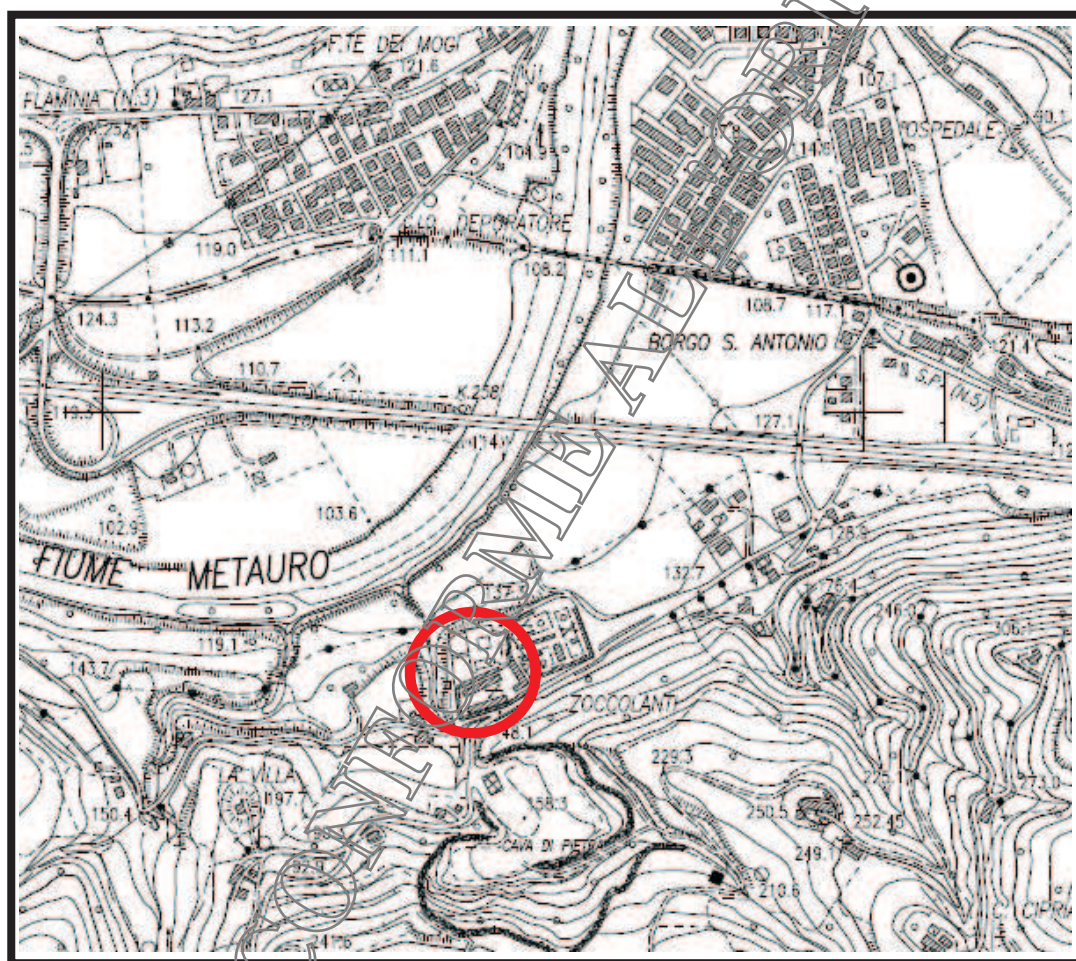
pag. 14

- j) La scelta della tipologia della fondazione, secondo quanto disposto dalle NTC 2018, sarà determinata dal progettista geotecnico nel rispetto dei parametri meccanici dei terreni riportati e dell'assetto litostratigrafico descritto, tenendo presente che la tipologia e geometria della fondazione scelta dovrà garantire un terreno di posa meccanicamente e sismicamente omogeneo.

Cerreto d'Esi Ottobre/2018

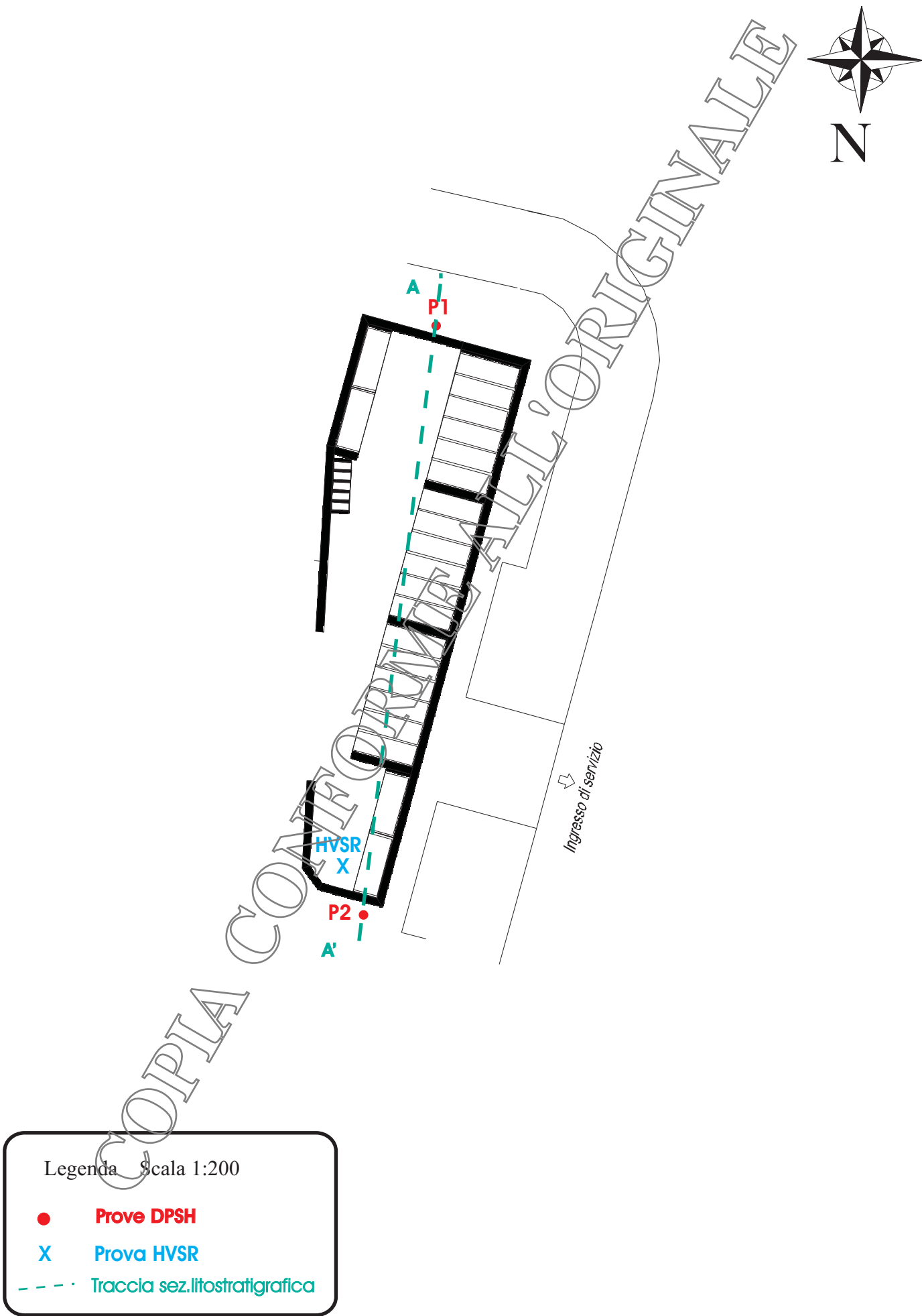
Il Geologo  
Ordine dei Geologi delle Marche n.624  
Dr. Valeriano Bassani

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE

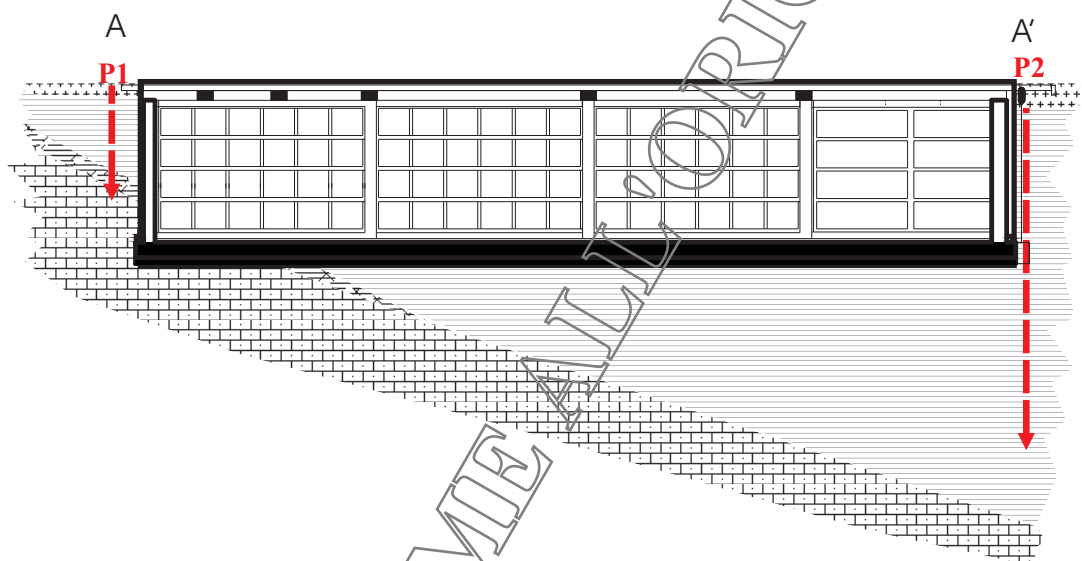


Area oggetto d'indagine

Tav. 2 - Traccia di sezione litostratigrafica ed ubicazione indagini



Tav. 3 - Sezione Litostratigrafica A/A'



Legenda Scala 1:200

Terreno vegetale e/o riporto



Sabbia limosa con clasti



Detrito di versante grossolano



Roccia







**Geodrill** s.a.s.

Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.

**SERVIZI GEOLOGICI**

Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340

60043 Cerreto d'Esi (AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 15 ottobre 2018

COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Fossombrone

CANTIERE: Civico Cimitero - Fossombrone

## PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

### caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm<sup>2</sup> angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg

Peso massa passiva: 4,2 Kg

### legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q<sub>d</sub> = resistenza alla penetrazione dinamica

### legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC<sub>m</sub> = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N<sub>spt equiv</sub> = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello - Japanese National Railway)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Shultze-Menzenbach)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975, Mitchell e Gerdner)

γ = peso unità di volume

V<sub>s</sub> = velocità delle onde di taglio (Ivisan, 1996)

K<sub>o</sub> = modulo di reazione (Navfac)

ν = modulo di Poisson

C<sub>u</sub> = coesione non drenata (Benassi - Vannelli - 1983, Schmertmann - 1975)



**Geodrill** s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

**SERVIZI GEOLOGICI**

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 15 ottobre 2018

COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Fossombrone

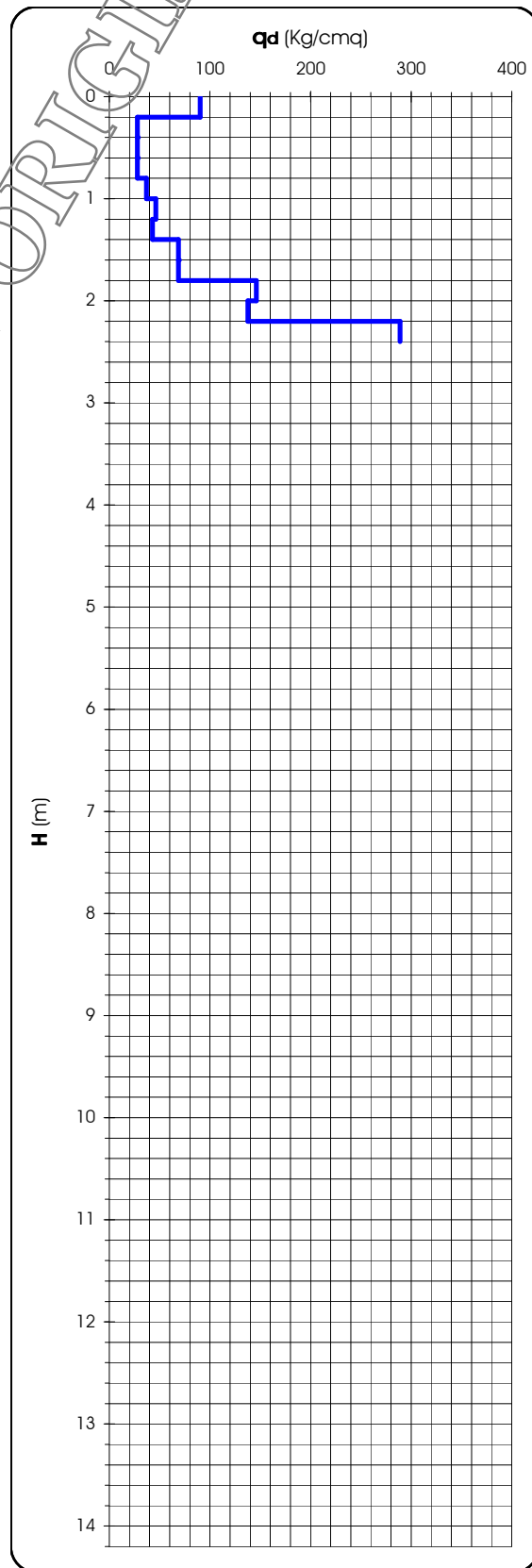
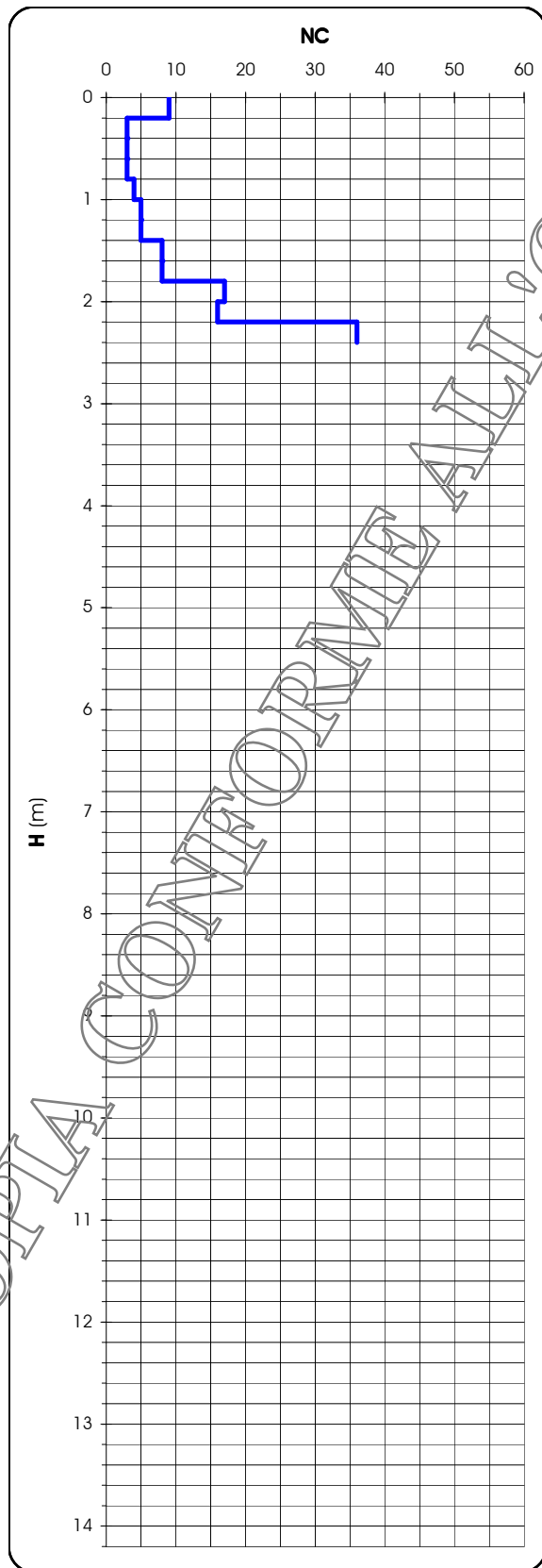
CANTIERE: Civico Cimitero - Fossombrone

PROVA N.1 del 10/10/18

PROF.: 2,60 m

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA**

H (m)	NC	q <sub>d</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,2	9	90,30
0,4	3	27,79
0,6	3	27,79
0,8	3	27,79
1,0	4	37,05
1,2	5	46,31
1,4	5	43,01
1,6	8	68,81
1,8	8	68,81
2,0	17	146,22
2,2	16	137,62
2,4	36	289,01
2,6	rifiuto	
2,8		
3,0		
3,2		
3,4		
3,6		
3,8		
4,0		
4,2		
4,4		
4,6		
4,8		
5,0		
5,2		
5,4		
5,6		
5,8		
6,0		
6,2		
6,4		
6,6		
6,8		
7,0		
7,2		
7,4		
7,6		
7,8		
8,0		
8,2		
8,4		
8,6		
8,8		
9,0		
9,2		
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		



[illegible]



**Geodrill** s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

**SERVIZI GEOLOGICI**

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 15 ottobre 2018

COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Fossombrone

CANTIERE: Civico Cimitero - Fossombrone

PROVA N.1 del 10/10/18

#### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





**Geodrill** s.a.s.

Dr.Geo.Valeriano Bassani & C.

**SERVIZI GEOLOGICI**

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 15 ottobre 2018

COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Fossombrone

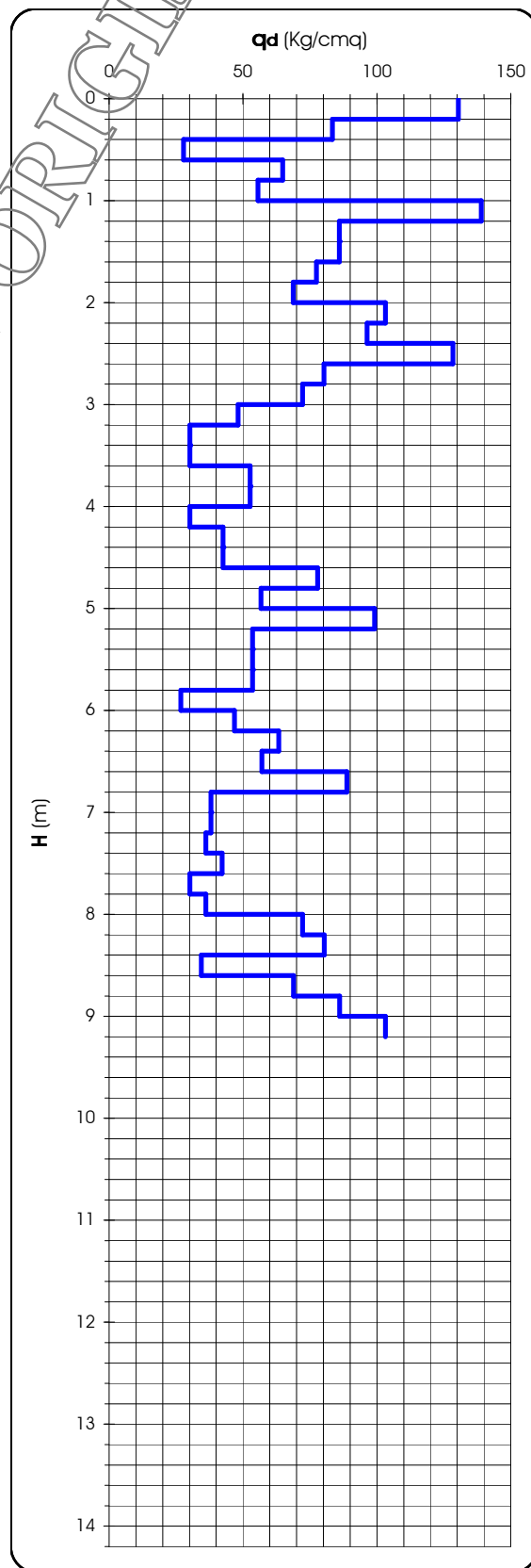
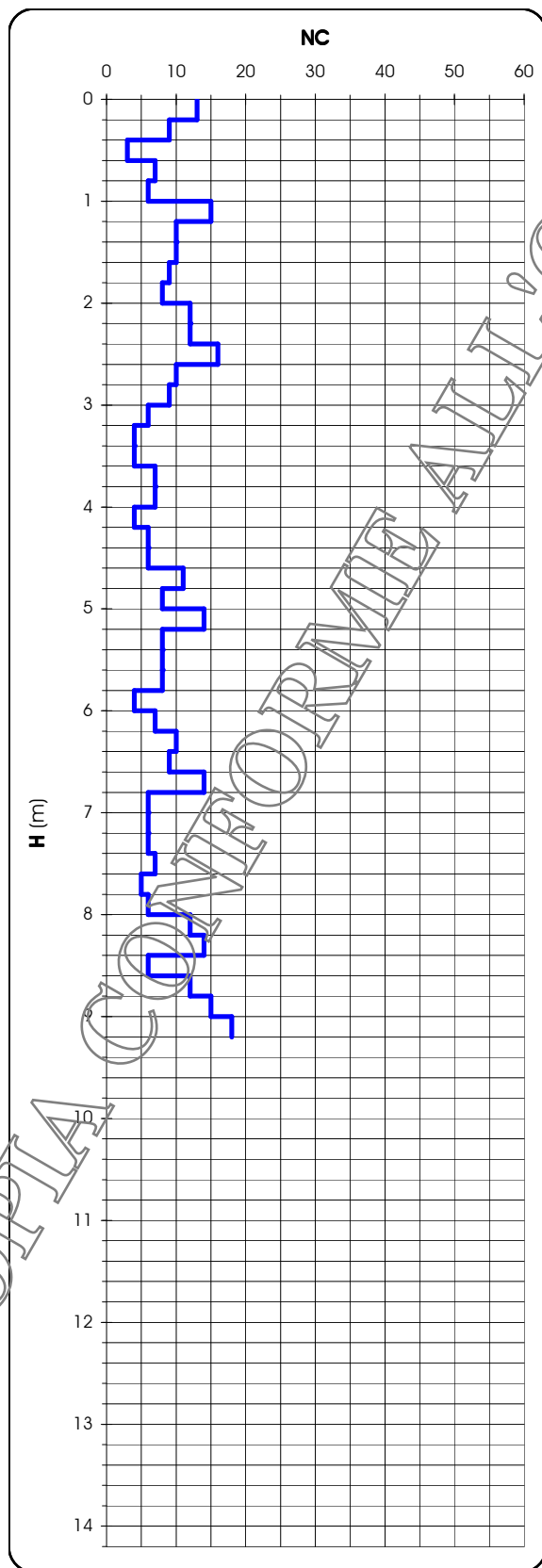
CANTIERE: Civico Cimitero - Fossombrone

PROVA N.2 del 10/10/18

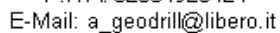
PROF.: 9,20 m

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA**

H (m)	NC	q <sub>d</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,2	13	130,44
0,4	9	83,36
0,6	3	27,79
0,8	7	64,84
1,0	6	55,58
1,2	15	138,94
1,4	10	86,01
1,6	10	86,01
1,8	9	77,41
2,0	8	68,81
2,2	12	103,22
2,4	12	96,34
2,6	16	128,45
2,8	10	80,28
3,0	9	72,25
3,2	6	48,17
3,4	4	30,11
3,6	4	30,11
3,8	7	52,69
4,0	7	52,69
4,2	4	30,11
4,4	6	42,50
4,6	6	42,50
4,8	11	77,93
5,0	8	56,67
5,2	14	99,18
5,4	8	53,53
5,6	8	53,53
5,8	8	53,53
6,0	4	26,76
6,2	7	46,84
6,4	10	63,39
6,6	9	57,05
6,8	14	88,74
7,0	6	38,03
7,2	6	38,03
7,4	6	36,13
7,6	7	42,15
7,8	5	30,11
8,0	6	36,13
8,2	12	72,26
8,4	14	80,29
8,6	6	34,41
8,8	12	68,82
9,0	15	86,03
9,2	18	103,24
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		





[illegible]



**Geodrill** s.a.s.

Dr.Geol.Valeriano Bassani & C.

**SERVIZI GEOLOGICI**

Via Dante 9/D - Tel.0732/677340

60043 Cerreto d'Esi(AN)

P.IVA: 02334920424

E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 15 ottobre 2018

COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Fossombrone

CANTIERE: Civico Cimitero - Fossombrone

PROVA N.2 del 10/10/18

#### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## **Introduzione e riferimenti normativi**

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro  $V_{seq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di  $a_g$  (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

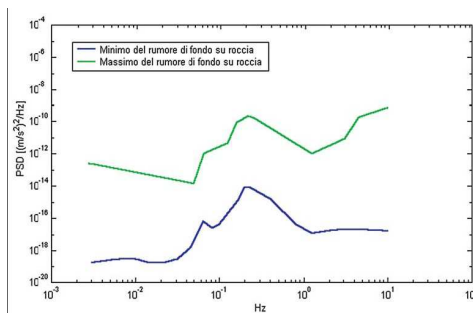
L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

### **Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)**

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.



**Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra**

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

### Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

### Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

### Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

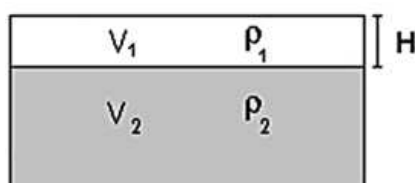


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione  $V$

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $l$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_{s1}/4H \quad (f_r) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

### **Procedura di analisi dati**

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
  - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s
  - ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
  - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
  - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[ \frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $v$  la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le



curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le  $V_p$  e la densità  $\rho$  dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di  $V_p$  e  $\rho$  che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

### La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200-300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

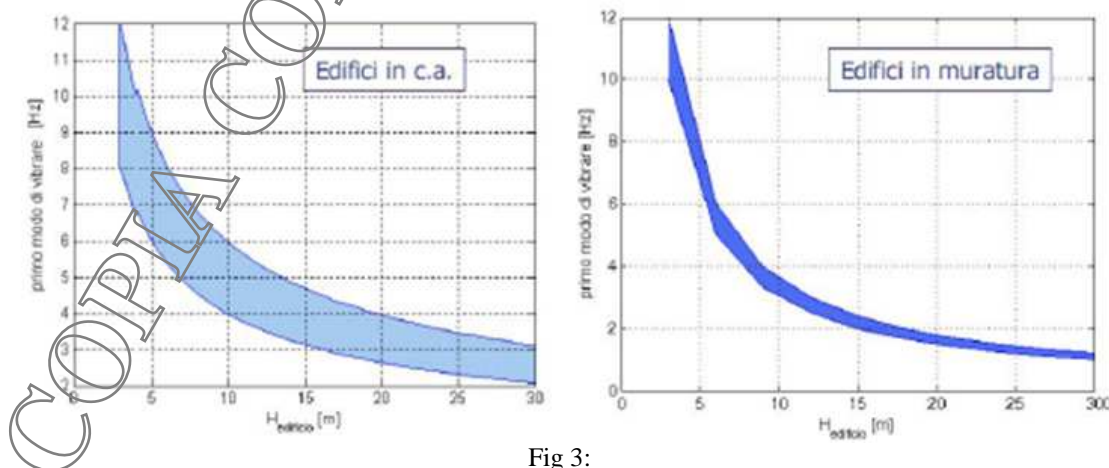


Fig 3:

**Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica**  $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$

**Comm: Amm.ne Com.le di Fossombrone - Cant.: Civico Cimitero – Capoluogo**

<b>Cielo</b>	Sereno	<b>Vento</b>	Assente	<b>Precipitazioni</b>	Assenti	<b>Orientamento</b>	0°N
--------------	--------	--------------	---------	-----------------------	---------	---------------------	-----

Strumento: TEP-0040/01-09

Inizio registrazione: 10/10/18 08:28:35 Fine registrazione: 10/10/18 08:48:35

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

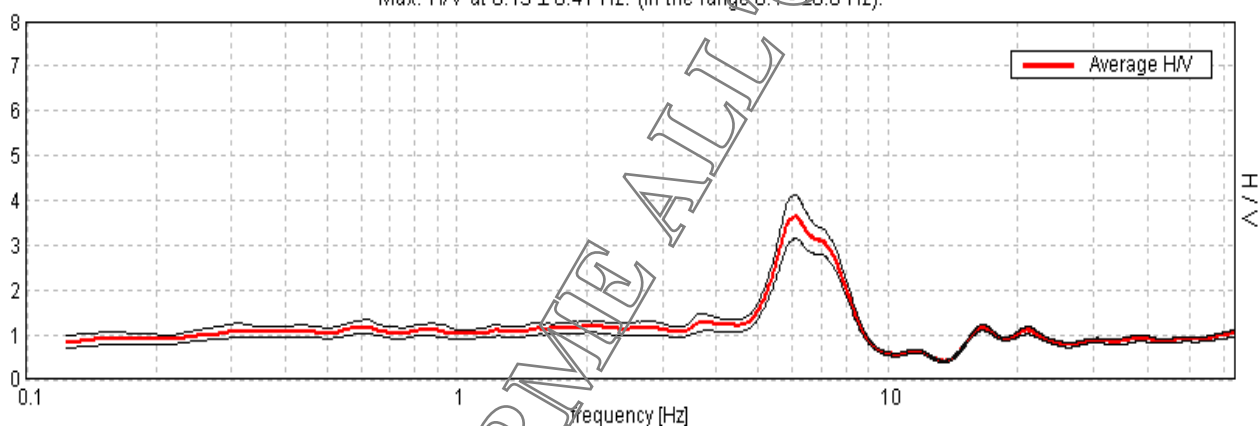
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

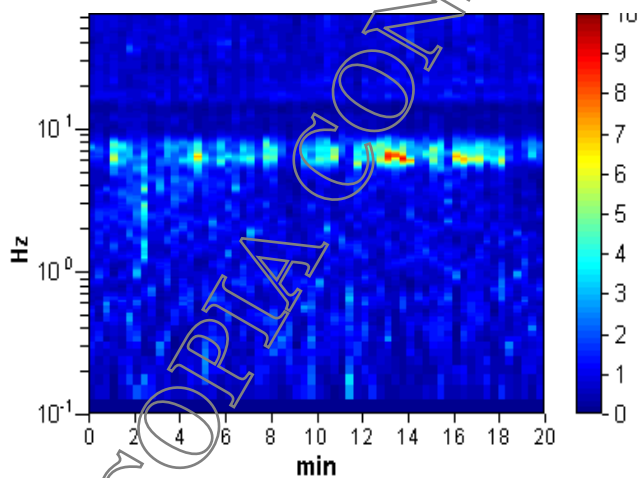
Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

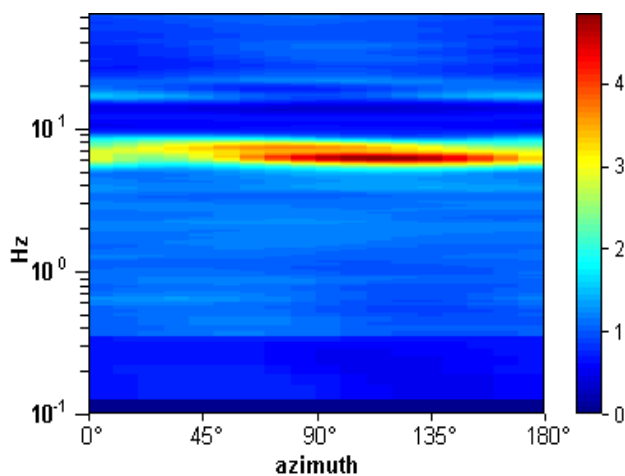
Max. H/V at  $6.13 \pm 0.41$  Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



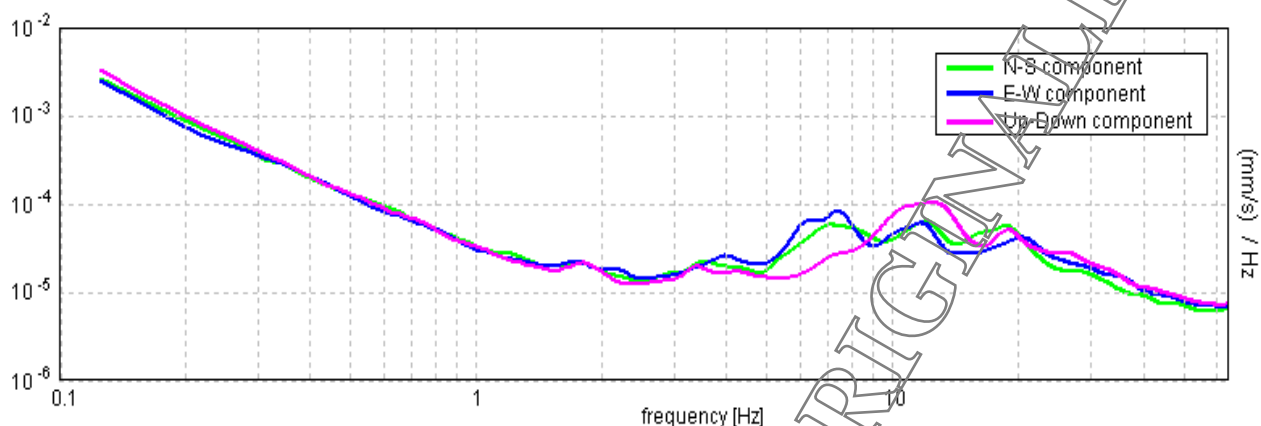
**SERIE TEMPORALE H/V**



**DIREZIONALITA' H/V**

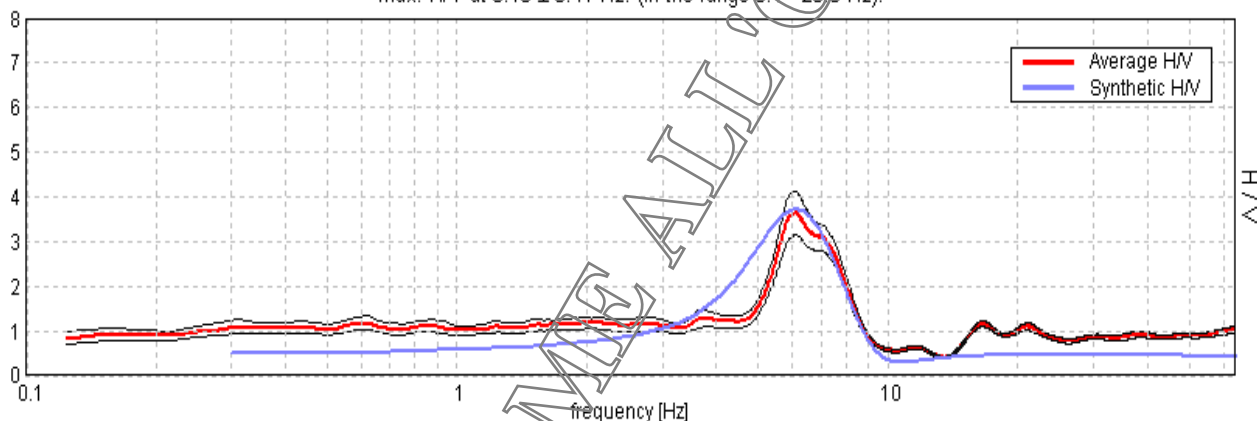


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $6.13 \pm 0.41$  Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



**Profondità alla base  
dello strato [m]**

11.50  
26.50  
inf.

**Spessore [m]**

11.50  
15.00  
inf.

**Vs [m/s]**

290  
600  
650

**Rapporto di Poisson**

0.40  
0.37  
0.35

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , è calcolata con la seguente espressione.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

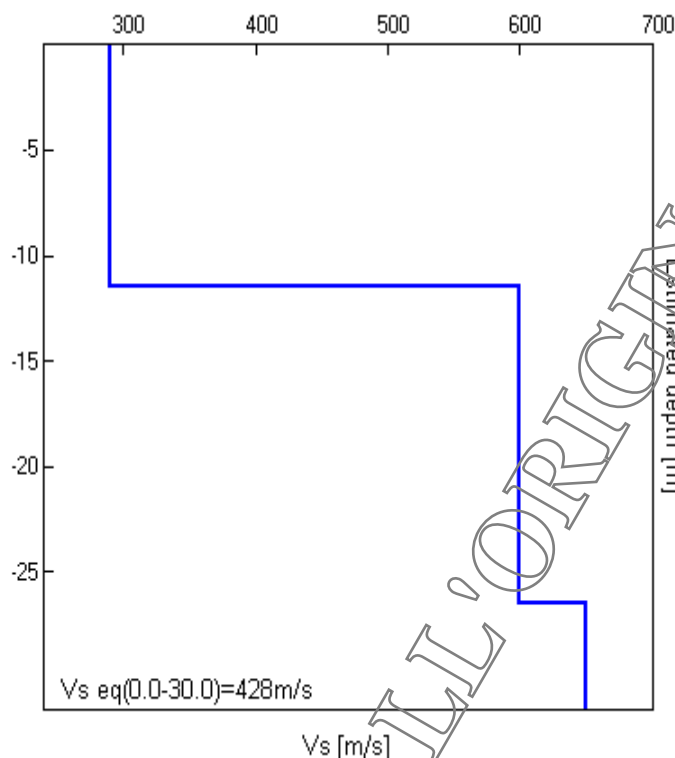
$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

$V_s$  eq (0.0-30.0)=428m/s



Categoria	Descrizione
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>

**NOTA:** la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di  $V_{eq}$  calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

#### Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

**sismostrato 1:** ha uno spessore complessivo di m.11,50 probabilmente riconducibile ai terreni di copertura.

**sismostrato 2:** da m.11,50 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità della  $V_s$  stimata a m/s 650.

#### Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata una frequenza massima di picco pari a  $Hz\ 6,13 \pm 0,41$ .

**L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz** (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore  $\geq 2$  nel range  $5,27\ Hz \leq f \leq 8,05\ Hz$  con picco a 6,13 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $6.13 \pm 0.41$  Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.13 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$7350.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 295	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.156 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.188 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.63 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06716  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.41137 < 0.30625$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4819 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



REGIONE MARCHE – L.R. 22 DEL 23/11/2011, ART. 10  
**COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI**

DGR N. 53 DEL 27/01/2014

**ASSEVERAZIONE SULLA  
COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI**  
(Verifica di Compatibilità Idraulica e/o Invarianza Idraulica)

Il sottoscritto BASSANI VALERIANO nato a FABRIANO il 19-05-1969 residente a CERRETO D'ESI in via A. DE GASPERI n.27 in qualità di libero professionista in possesso di laurea in GEOLOGIA incaricato, nel rispetto delle vigenti disposizioni che disciplinano l'esercizio di attività professionale, dall'Amministrazione Comunale di Fossombrone, C.so Garibaldi n°8 – Fossombrone (PU), P.IVA: 00223590415 e richiedente la realizzazione di n°88 loculi e n°40 ossari nel cimitero del capoluogo in data 08 ottobre 2018

☒ di redigere la Verifica di Compatibilità Idraulica del seguente strumento di pianificazione del territorio, in grado di modificare il regime idraulico:

realizzazione di n°88 loculi e n°40 ossari nel cimitero del capoluogo - Fossombrone (PU)

☐ di definire le misure compensative rivolte al perseguimento dell'invarianza idraulica, per la seguente trasformazione/intervento che può provocare una variazione di permeabilità superficiale:

realizzazione di n°88 loculi e n°40 ossari nel cimitero del capoluogo - Fossombrone (PU)

**DICHIARA**

- ☒ di aver redatto la Verifica di Compatibilità Idraulica prevista dalla L.R. n. 22/2011 conformemente ai criteri e alle indicazioni tecniche stabilite dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge
- ☒ che la Verifica di Compatibilità Idraulica ha almeno i contenuti minimi stabiliti dalla Giunta Regionale
- ☒ di aver ricercato, raccolto e consultato le mappe catastali, le segnalazioni/informazioni relativi a eventi di esondazione/allagamento avvenuti in passato e dati su criticità legate a fenomeni di esondazione/allagamento in strumenti di programmazione o in altri studi conosciuti e disponibili
- ☒ che l'area interessata dallo strumento di pianificazione non ricade nelle aree mappate nel Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI - ovvero da analoghi strumenti di pianificazione di settore redatti dalle Autorità di Bacino/Autorità di distretto).

☒ di aver sviluppato i seguenti livelli/fasi della Verifica di Compatibilità Idraulica

- ☒ Preliminare;
- ☐ Semplificata;
- ☐ Completa.

☒ di avere adeguatamente motivato, a seguito della Verifica Preliminare, l'esclusione dai successivi livelli di analisi della Verifica di Compatibilità Idraulica.

- ☐ di avere adeguatamente motivato l'utilizzo della sola Verifica Semplificata, senza necessità della Verifica Completa.
- ☐ in caso di sviluppo delle analisi con la Verifica Completa, di aver individuato la pericolosità idraulica che contraddistingue l'area interessata dallo strumento di pianificazione secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale.

☒ che lo strumento di pianificazione/trasformazione/intervento ricade nella seguente classe (rif. Tab. 1, Titolo III, dei criteri stabiliti dalla Giunta Regionale) – barrare quella maggiore:

- ☒ trascurabile impermeabilizzazione potenziale;
- ☐ modesta impermeabilizzazione potenziale;





- ☐ significativa impermeabilizzazione potenziale;
- ☐ marcata impermeabilizzazione potenziale.
  
- ☐ di aver definito le misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica, conformemente ai criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge
- ☐ che la valutazione delle misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica ha almeno i contenuti minimi stabiliti dalla Giunta Regionale
- ☐ che le misure volte al perseguimento dell'invarianza idraulica sono quelle migliori conseguibili in funzione delle condizioni esistenti, ma inferiori a quelli previsti per la classe di appartenenza (rif. Tab. 1, Titolo III), ricorrendo le condizioni di cui al Titolo IV, Paragrafo 4.1

#### **ASSEVERA**

- ☒ la compatibilità tra lo strumento di pianificazione e le pericolosità idrauliche presenti, secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge
- ☐ che per ottenere tale compatibilità sono previsti interventi per la mitigazione della pericolosità e del rischio, dei quali è stata indicata l'efficacia.
- ☐ la compatibilità tra la trasformazione/intervento previsto e il perseguimento dell'invarianza idraulica, attraverso l'individuazione di adeguate misure compensative, secondo i criteri stabiliti dalla Giunta Regionale ai sensi dell'art. 10, comma 4 della stessa legge

Cerreto d'Esi, Ottobre -2018

Il dichiarante

Dr.Geol. Valeriano Bassani  
O.R.G. Marche n°624

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE