

# COMUNE DI COLMURANO

(Provincia di Macerata)

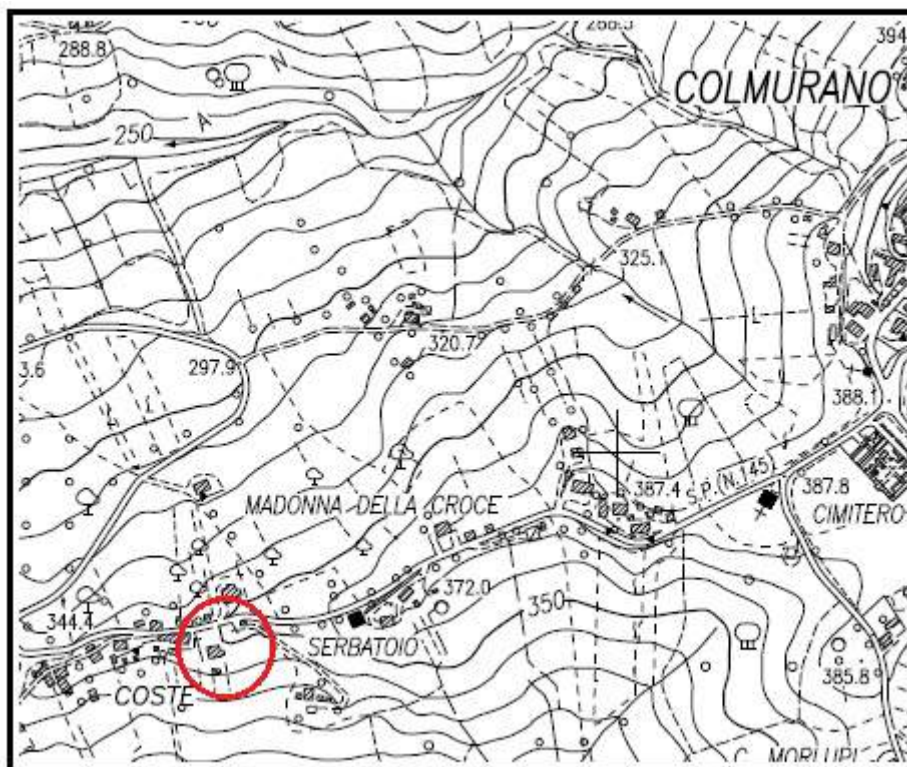
INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA E  
RICOSTRUZIONE CONSEGUENZA DEGLI EVENTI  
SISMICI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016, IN  
RIFERIMENTO ALL'EDIFICIO RESIDENZIALE  
PLURIFAMILIARE IN CONTRADA COSTE N°10

- SISMA CENTRO ITALIA 2016 -

INDAGINE GEOLOGICA D.M. 17.01.2018

Maggio 2019

Committente: **FERRETTI ADRIANA**



dr. geol. Paolo Giacomelli, Via De Gasperi, 19 - 62017 PORTO RECANATI (MC)  
tel.3494753342 c.f. GCMPPLA64L04E783S - p. I.V.A. 01259920435

## I N D I C E

1. PREMESSA E METODOLOGIA D'INDAGINE	pag. 3
2. UBICAZIONE	pag. 4
3. VITA NOMINALE CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	pag. 5
4. CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE E GEOMORFOLOGICHE	pag. 6
5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	pag. 7
6. CIRCOLAZIONE IDRICA IN PROFONDITA'	pag. 7
7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E STRATIGRAFICA	pag. 8
8. PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI	pag. 9
9. VALUTAZIONI SULL'AZIONE SISMICA	pag. 12
10. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	pag. 17
11. CONCLUSIONI	pag. 21

## ELABORATI NEL TESTO

## Figure e Allegati

- corografia, scala 1:25.000 - Quadrante 124 II (Tav.1)
- corografia, scala 1:10.000 – Sezione 314010 “Urbisaglia” (Tav.2)
- stralcio P.A.I., scala 1:10.000 (Tav.3)
- stralcio Carta Geologica Regionale, scala 1:10.000 – Sez. 314010 “Urbisaglia” (Tav.4)
- planimetria ubicazione indagini, scala 1:250 (Tav.5)
- stratigrafia sondaggi geognostici (Tav.6)
- stratigrafia sondaggi geognostici (Tav.7)
- stratigrafia sondaggi geognostici (Tav.8)
- sezione geologica interpretativa A-B (Tav.9)
- documentazione fotografica indagini (Tav.10)
- report prova sismica attiva MASW e passiva HVSR

# RELAZIONE

## 1. PREMESSA E METODOLOGIA D'INDAGINE

Nella presente relazione vengono esposti i risultati di un'indagine geologica eseguita per il progetto di ristrutturazione edilizia e ricostruzione in conseguenza degli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016, dell'edificio residenziale plurifamiliare di proprietà della Sig.ra Ferretti Adriana, sito in contrada Coste n°10, nel Comune di Colmurano (MC).

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza a quanto previsto da:

- O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche ed integrazioni;
- Decreto Ministeriale 17.01.2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018);
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare n.7 del 21 gennaio 2019;
- Consiglio Superiore dei lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- 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;
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche (P.A.I.);
- Ordinanze del Commissario Straordinario del Governo ai fini della Ricostruzione nei Territori interessati dagli Eventi Sismici a far data dal 24 agosto 2016.

La presente relazione in base al D.M. 17.01.2018 è finalizzata alla costruzione del

*modello geologico*, propedeutico alla redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

E' stato adottato il seguente programma d'indagine:

- sopralluoghi preliminari dell'area interessata dall'edificio danneggiato dal sisma e della zona di nuovo intervento;
- reperimento di precedenti studi geologici e dati di letteratura specifici riguardanti la zona d'intervento;
- esecuzione di tre sondaggio geognostici;
- esecuzione di una prova sismica attiva MASW;
- esecuzione di una prova sismica passiva HVSR;
- esecuzione di un rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area d'intervento e di un suo intorno significativo;
- caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni;
- stesura della relazione tecnica esplicativa corredata da elaborati cartografici ed allegati.

## **2. UBICAZIONE**

L'area in studio ricade nel quadrante 124 II della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000 ed in dettaglio nella Sezione n.314010 "Urbisaglia" della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Il sito in oggetto è in Contrada Coste n°10, a circa 1 km a sud-ovest dal centro storico, lungo la strada provinciale "Coste e corta di Colmurano".

Le coordinate geografiche del sito, espresse nel sistema di riferimento WGS84, sono: Latitudine: 43,158724, Longitudine: 13,346061.

### 3. VITA NOMINALE CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di ( $V_N$ ) anni
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

In presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in 4 classi d'uso, a ciascuna delle quali viene associato un coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSI D'USO	I	II	III	IV
	Persone occasionali	Normali affollamenti	Affollamenti significativi	Funzioni pubbliche
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$ , che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  delle classi d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U$$

L'opera di progetto rientra nella tipologia di costruzione n.2 relativa alle opere ordinarie, alla quale corrisponde una vita nominale  $V_N \geq 50$ . Per quanto riguarda la classe d'uso essa rientra nella seconda classe, alla quale corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 1,0.

Pertanto all'opera in oggetto può essere attribuito un periodo di riferimento

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

#### 4. CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE E GEOMORFOLOGICHE

L'area in esame è a sud-ovest dal centro storico di Colmurano”, a circa un chilometro distanza e alla quota di circa 350 metri s.l.m. Dal punto di vista geomorfologico, il sito in oggetto è fra il bordo di un crinale (direzione circa Est-Ovest) e la porzione superiore di un versante esposto a Sud. Il crinale funge da spartiacque fra due fossi senza nome entrambi affluenti del Torrente Entogge. Il versante in questione ha pendenze che variano dal circa il 20%, a quasi fino al 30%.

Dal rilevamento geologico-geomorfologico effettuato per il presente lavoro è risultato che l'area d'intervento è stabile. Il sottostante versante allo stato attuale non mostra segni di dissesto, ma si evidenzia che Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche, individua su di esso alcune are di versante in dissesto (ADV), entrambe a ragguardevoli distanze dal sito in cui ricade il fabbricato da demolire e ricostruire (distanze >i 120-150 m). Le area cartografate dal vigente PAI risultano due:

- la F-19-1026 con grado di pericolosità P1 e grado di rischio R1;
- la F-19-1009 con grado di pericolosità P3 e grado di rischio R2.

Tali fenomeni sono cartografati quasi identici nell'aggiornamento 2016 del PAI.

Per quanto riguarda la cartografia geologica ufficiale, oltre al PAI; si segnala che:

- la Carta Geomorfologica del PRG (Geoll. R. Pucciarelli, M. Mentoni), sul versante a valle dell'area d'intervento, ma esternamente ad essa, individua un' "area interessata da deformazioni plastiche o soliflussi";
- la Carta degli Scenari di Pericolosità Idro-geomorfologica del PRG (Tav. G03) non individua area a pericolosità che interessino direttamente il sito d'intervento, nelle vicinanze cartografa gli elementi di pericolosità derivati dal PAI e dalla Carta geomorfologica del PRG;
- la Carta Geologica ufficiale della regione Marche in scala 1:10.000 (sez.314010- progetto CARG ed. 2010), riporta una frana in evoluzione (MUSa1) che coincide all'incirca con l'area di versante in dissesto F-19-1026 cartografata dal PAI, e quindi non interessa il sito d'intervento;

- la Carta Geomorfologica ufficiale della regione Marche in scala 1:10.000 (sez.314010), riporta forme di versante dovute alla gravità, circa sulle stesse zone interessate dal PAI, ma con grado di attività e tipologia differente (soliflussi e corpo di frana da scorrimento);
- La cartografia online del progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi del sito Isprambiente) riporta dei perimetri identici a quelli individuati dal PAI della Regione Marche.

Si ricorda infine che dal rilevamento geomorfologico di campagna è emerso che allo stato attuale, all'interno del sito d'intervento, non sono stati individuati fenomeni morfogenetici in atto e/o potenziali che possano comprometterne la naturale stabilità; né si rileva la presenza di fenomeni d'instabilità nelle vicinanze, che possano evolvere in maniera tale da interessare l'area di progetto.

## **5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE**

Geologicamente il territorio indagato è inquadrato nel Bacino Marchigiano Esterno ed è caratterizzato dalla presenza della Formazione della Laga, membro post-evaporitico liotofacies pelitico-arenacea (LAG3e); essa costituisce il locale substrato, ascrivibile al periodo Messiniano p.p. Dal punto di vista paleogeografico ci troviamo sul bordo nord-orientale del bacino della "Laga". Il substrato è spesso ricoperto da depositi continentali di origine eluvio-colluviale olocenici.

## **6. CIRCOLAZIONE IDRICA IN PROFONDITA'**

Nella zona non si osservano emergenze idriche o vie preferenziali d'acqua. I terreni colluviali limoso-argillosi sono a permeabilità variabile, tendenzialmente bassa, il substrato rilevato nei sondaggi è da considerare impermeabile in quanto pelitico-marnoso. Si possono avere

condizioni di permeabilità variabile, anche buona, in presenza di significativi livelli sabbioso-arenacei. Nei sondaggi eseguiti non è stata rilevata la presenza d'acqua, si esclude comunque la possibilità dell'instaurarsi di una falda idrica con profondità media stagionale inferiore ai 15 m dal piano campagna.

## 7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E STRATIGRAFICA

Per la caratterizzazione litologica e stratigrafica sono stati eseguiti tre sondaggi geognostici.

I terreni rinvenuti possono essere schematizzati nel modo seguente:

- a) *Terreni di riporto;*
- b) *Depositi eluvio-colluviali;*
- c) *Substrato (Formazione della Laga, litofacies, pelitico-arenacea).*

a) *Terreni di riporto:* si tratta della massicciata, costituita da ghiaie con frammenti di laterizi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone/avana. Il litotipo è stato rinvenuto con lo spessori variabili, da un minimo di 0.15 m in S1 fino a 2.00 m. in S3.

b) *Depositi eluvio-colluviali:* si tratta di limi argilloso-sabbiosi di colore marrone. Il litotipo è stato rinvenuto nel sondaggio S1 fra 0.15 m e 2.,50 m da p.c.

c) *Substrato (Formazione della Laga, litofacies pelitico-arenacea):* è costituito da marne argillose di colore grigio, stratificate e compatte, si rileva la presenza di sottili livelli sabbiosi. I primi metri risultano in parte alterati, può essere definito substrato o formazione poco alterata, si caratterizza per una fatturazione più penetrativa e la colorazione giallo ocra dei livelli sabbiosi. Il substrato si rileva dalle seguenti profondità dal p.c.: 2.50 in S1, 2.00 m in S2 e 2.00 m in S3; può essere ritenuto integro dalle seguenti profondità dal p.c.: 4.00 m in S1, 5.00 m in S2 e 4.00 m in S3.



## 8. PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI

I parametri geotecnici dei terreni presenti nel sottosuolo sono stati dedotti dalle numerose indagini svolte in aree limitrofe, dalle esperienze acquisite in terreni litologicamente simili, nonché dai dati derivanti dalla bibliografia tecnica esistente e dalle prove penetrometriche effettuate dal sottoscritto nel territorio di Colmurano e su terreni del tutto analoghi.

Unità Geotecniche	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$C_u$ Kg/cm <sup>2</sup>	$c'$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi'$ gradi	$E_{ed}$ Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Terreno di riporto</b> (litotipo "a")	1.70/1.90				
<b>Depositi eluvio colluviali</b> (litotipo "b") Limi argilloso-sabbiosi	1.90/1.95	0.60/0.80	0.05/0.10	22/24	40/60
<b>Substrato</b> (litotipo "c") Argille marnose e marne argillose	2.05/2.10	2.50/4.00	0.15/0.20	25/26	150/250

Dai parametri geotecnici *nominali, disaggregati* si dovranno calcolare i *valori medi*.

Per la definizione dei *parametri caratteristici* (FK) dei terreni, l'Eurocodice 7 può essere utilizzato, a discrezione del progettista geotecnico, un approccio di tipo semiprobabilistico o di primo livello, applicando i coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma_M$  (CP) a quelli medi in funzione dello stato limite considerato.

I valori caratteristici di  $c'$  e  $\mathbf{F}$  sono determinati con le seguenti relazioni:

$$\mathbf{F}_k = \mathbf{F}_m (1 + X \cdot V \mathbf{F})$$

$$c'k = c'm (1 + X \cdot Vc)$$

in cui

$f'k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

$c'k$  = valore caratteristico della coesione;

$f'm$  = valore medio dell'angolo di attrito;

$c'm$  = valore medio della coesione;

$Vf$  = coefficiente di variazione di  $f'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $f'$ ;

$Vc$  = coefficiente di variazione di  $c'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $c'$ ;

$X$  = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

La deviazione standard si esplicita nella seguente forma a 3 variabili:

$$O_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N t_i^2}{N} - \left(\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}\right)^2}$$

in cui

$N$  = numero dei valori del parametro geotecnico

$t$  = valore del parametro geotecnico

-

$\bar{t}$  = valore medio del parametro geotecnico.

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri di resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore "X" uguale a - 1,645. Pertanto i valori caratteristici delle due precedenti relazioni diventano:

$$f'k = f'm (1 - 1,645 Vf^\circ)$$

$$c'k = c'm (1 - 1,645 Vc^\circ)$$

$Vf^\circ$ ,  $Vc^\circ$  = coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio o deviazione standard e la media dei valori

Ai valori caratteristici ( $f_k$ ) trovati si applicano dei coefficienti di sicurezza parziali  $g_M$  (CP) in funzione dello stato limite considerato.

I valori dei parametri geotecnici di progetto ( $f_d$ ) di  $c'$  e  $f'$  da adottare nel calcolo si ottengono, quindi, dividendo i valori caratteristici ( $f_k$ ) per un coefficiente riduttivo parziale  $M_2$ ,

secondo quanto indicato al punto 6.2.4.1.2 e nella Tabella 6.2.II delle NTC 2018 di seguito riportata.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	$\gamma_r$	1,0	1,0

## 9. VALUTAZIONI SULL'AZIONE SISMICA

### CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In base al D.M. 17.01.2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi (§ 7.11.3.). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella seguente Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

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

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche per i terreni a grana fina.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della *velocità equivalente* di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

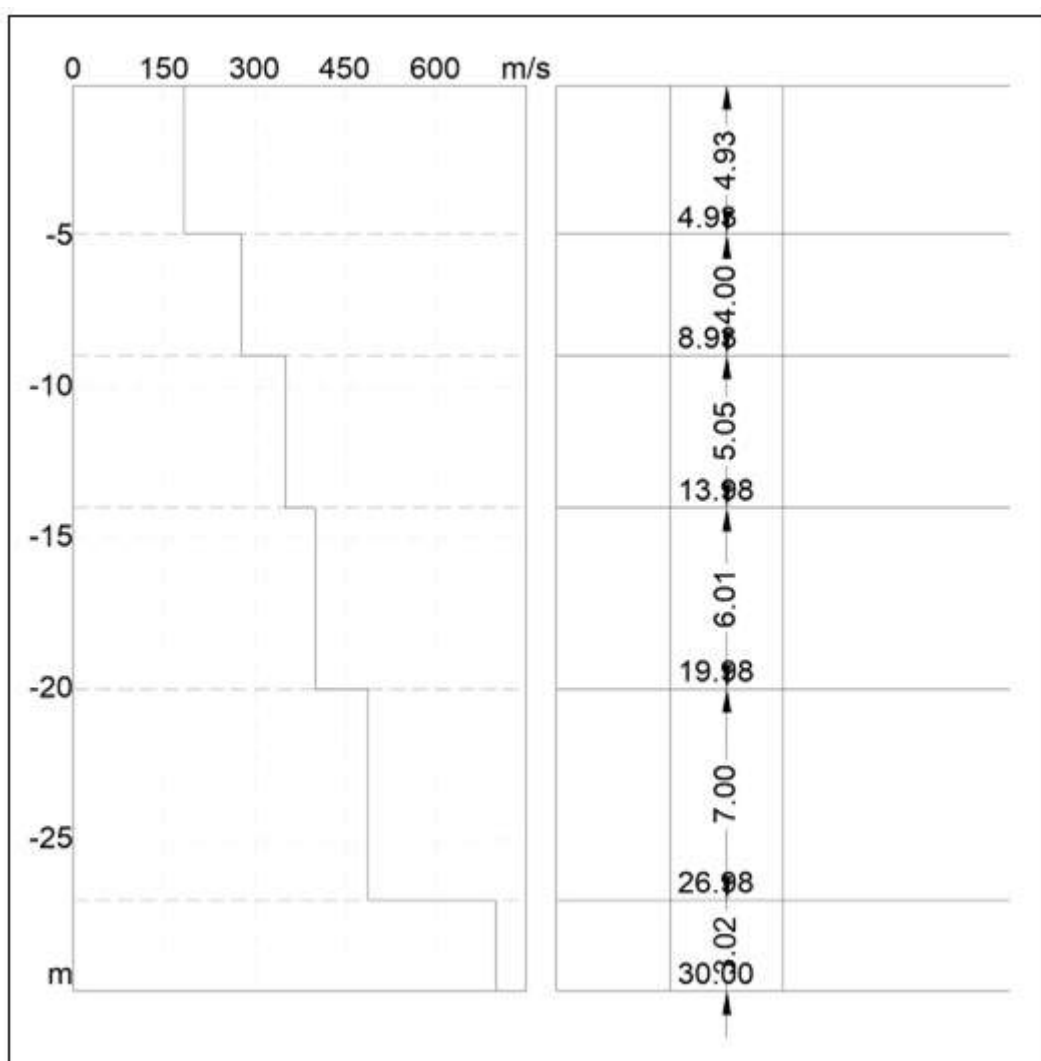
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per la presente indagine geologico-tecnica sono state eseguite una prova sismica attiva MASW ed una prova sismica passiva HVSAR.

Dall'interpretazione di tali prove sismiche è stato costruito il profilo delle velocità delle onde di taglio e il diagramma del rapporto H/V, di cui di seguito si riportano le figure:

### ***PROVA MASW***

#### ***PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO***



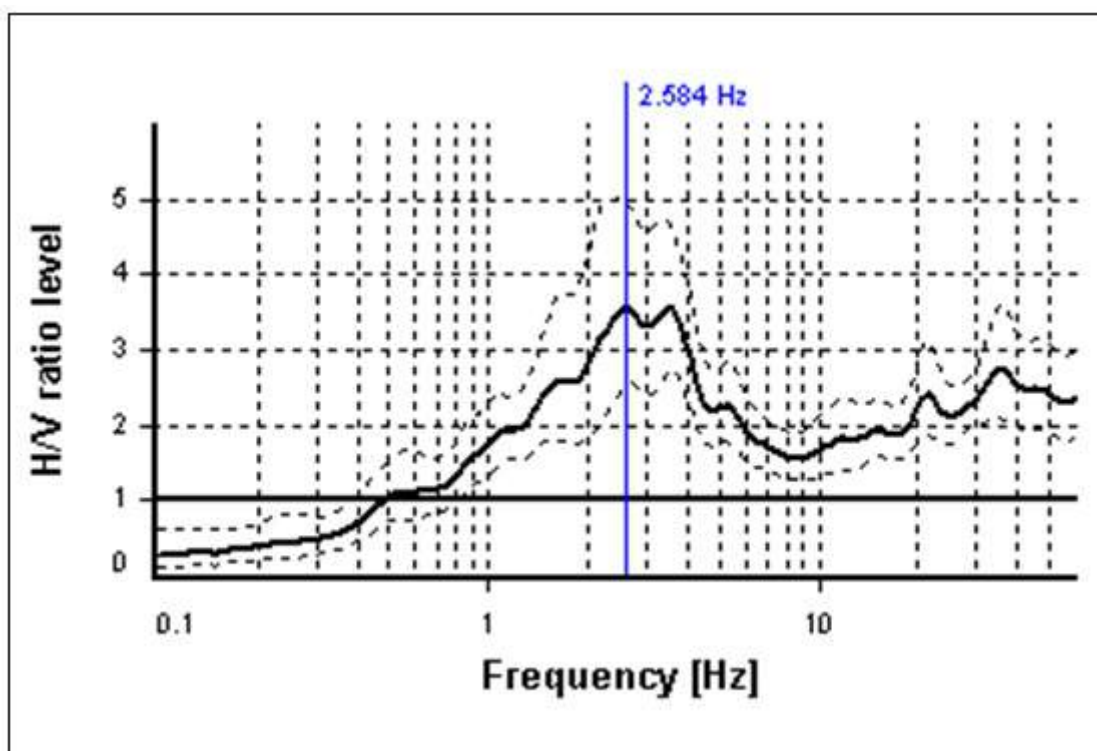
dr. geol. Paolo Giacomelli

Via De Gasperi, 19 - 62017 PORTO RECANATI (MC) tel.3494753342

c.f. GCMPLA64L04E783S - p. I.V.A. 01259920435

**PROVA MASW****TABELLA DEL PROFILO DI VELOCITA'**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.93	4.93	2000.0	0.3	No	343.7	183.7
2	8.93	4.00	2100.0	0.4	No	579.7	278.5
3	13.98	5.05	2150.0	0.4	No	728.6	350.0
4	19.98	6.01	2200.0	0.4	No	832.5	399.9
5	26.98	7.00	2250.0	0.4	No	1015.9	488.0
6	∞	∞	2300.0	0.4	No	1454.0	698.5

**PROVA HVSR****DIAGRAMMA H/V SPERIMENTALE**

dr. geol. Paolo Giacomelli

Via De Gasperi, 19 - 62017 PORTO RECANATI (MC) tel.3494753342

c.f. GCMP64L04E783S - p. I.V.A. 01259920435

Il substrato sismico ( $V_s \geq 800 \text{ m/sec}$ ) risulta ad una profondità superiori a 30 metri. La  $V_{s,eq}$  calcolata in base al profilo  $V_s$  ottenuto nella prova MASW è pari a circa 335,95 m/sec.

Nel grafico H/V è stato registrato un picco di risonanza intorno ai 2.584 Hz ( all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico), con fattore di ampiezza pari a circa 3,559 H/V.

Per quanto riguarda il modello sismo-stratigrafico si evidenzia che i terreni riscontrati nei sondaggi sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da una  $V_{s,eq}$  compresa tra 180 m/sec e 360 m/sec, pertanto si ritiene applicabile l'approccio semplificato e il caso in esame rientrerebbe nella tabella 3.2.II (NTC 2018), come **sottosuolo di categoria C**.

L'area d'intervento non è stata analizzata con gli studi di micro zonazione di livello III, pertanto non risulta direttamente applicabili i contenuti dell'art.5 dell'Ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 (Modifiche all'ordinanza n.24 del 12 maggio 2017), che impone il confronto tra lo spettro di risposta elastico normalizzato della MOPS in cui ricade l'edificio e lo spettro elastico dell'approccio semplificato delle NTC 2018 normalizzato.



## CONDIZIONE TOPOGRAFICA

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Le NTC prevedono le seguenti condizioni e coefficienti di amplificazione topografica:

Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – <i>Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica <math>S_T</math></i>		
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Tenuto conto che il sito in oggetto è localizzato sul bordo di un crinale identificabile morfologicamente come una “cresta di larghezza molto minore rispetto alla base”, che l’angolo di pendio medio del versante si avvicina ai  $15^\circ$  e localmente supera i  $15^\circ$ , in via cautelativa si può ritenere che l’intervento ricada in una categoria topografica assimilabile in parte alla T2 e in parte alla T3, ma comunque con il medesimo coefficiente di amplificazione  $S_T=1,2$ .

## 10. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

L’Ordinanza P.C.M. n.3274 del 23.03.2003 riclassifica l’intero territorio nazionale come nella tabella seguente, in cui ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

zona sismica	Accelerazione rizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	zona sismica orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Il territorio di Colmurano nell'ambito di tale Ordinanza ricade nella zona sismica 2.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, aggiornato dal D.M. 17 febbraio 2018, con riferimento all'allegato b dell'Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 ss.mm.ii., la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio *sito dipendente* e non più tramite un criterio *zona dipendente* (D.M. 19.03.1982 e Ordinanza P.C.M. n.3274).

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Dalle coordinate geografiche decimali del sito in oggetto si determinano i quattro nodi della griglia di riferimento dalle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero. Sulla base della maglia interessata, che circonda il punto in esame, si determinano i valori di riferimento del punto stesso come media pesata dei valori nei vertici (nodi) della maglia, moltiplicati per le distanze dal punto.

In tal modo si ottengono i tre valori  $a_g$  (g),  $F_0$  e  $T_c^*$  per gli stati limite dinamici:

*Stati limite di esercizio dinamici (SLE)*

- Stato limite di Operatività (SLO);
- Stato limite di Danno (SLD).

*Stati limite di ultimi (SLU)*

- Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV);
- Stato limite di prevenzione del Collasso (SLC).

con:

$a_g$  (g) = accelerazione orizzontale massima al sito in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria topografica T1);

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione

orizzontale;




$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Coordinate geografiche ED50 del sito in oggetto:


Lat.: 43,159589

Long.: 13,346924

Di seguito si riportano i valori dei parametri indipendenti  $a_g$  (g),  $F_0$  e  $T_c^*$  specifici per il sito di progetto e i coefficienti sismici considerando la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1, derivati dal sito [www.geostru.eu](http://www.geostru.eu)



Stati limite				
	Classe Edificio			
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...				
	Vita Nominale	50		
	Interpolazione	Media ponderata		
<b>CU = 1</b>				
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.057	2.485	0.276
Danno (SLD)	50	0.071	2.463	0.291
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.175	2.457	0.337
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.227	2.494	0.342
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Coefficienti sismici


 Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni


Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)

 1  0.1


---

 Cat. Sottosuolo: C

 Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,44	1,36
CC Coeff. funz categoria	1,61	1,58	1,50	1,50
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [ $m/s^2$ ]

 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.021	0.026	0.073	0.104
kv	0.010	0.013	0.036	0.052
Amax [ $m/s^2$ ]	1.006	1.261	2.972	3.632
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

## 11. CONCLUSIONI

L'edificio in oggetto è ubicato in un'area stabile dal punto di vista geomorfologico. L'assetto lito-stratigrafico del sito è caratterizzato dalla presenza di terreni di riporto (spessore max circa 2,00 m) e depositi eluvio-colluviali di esiguo spessore (età: *Olocene*), che ricoprono il substrato di origine marina costituito dalla Formazione della Laga, membro post-evaporitico litofacies pelitico-arenacea (età: *Messiniano*). Il substrato si rileva parzialmente alterato a profondità comprese tra 2.00 m e 2.50 m dal p.c., risulta integro da profondità comprese tra 4.00 m e 5.00 m dal p.c.

I terreni sono a permeabilità variabile, tendenzialmente bassa, il substrato rilevato nei sondaggi in generale è da considerare impermeabile in quanto pelitico-marnoso, possono fare eccezione i livelli sabbiosi, qualora di consistenza più significativa di quelli osservati nei sondaggi. Non è stata rilevata la presenza di falda idrica.

Dal punto di vista litologico i depositi eluvio-colluviali sono composti da terreni limoso-argillosi. Il substrato è costituito da marne argillose stratificate e compatte.

L'area di sedime del fabbricato dovrà essere protetta mediante sistemi d'impermeabilizzazione e regimazione delle acque meteoriche e di risulta, in modo tale da evitare infiltrazioni idriche

In ottemperanza con le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17/02/18) nonché con l'O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche ed integrazioni, si può affermare quanto di seguito riportato.

### ACQUA SUL SUOLO E NEL SOTTOSUOLO

Date le caratteristiche morfologiche del sito in oggetto non si riscontrano interferenze con dinamiche legate alle acque superficiali, in merito alla circolazione idrica sotterranea, si escludono interazioni negative tra le opere previste ed il regime idrico profondo.

## CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

### Amplificazione stratigrafica

Il substrato sismico ( $V_s \geq 800 \text{ m/sec}$ ) si trova ad una profondità inferiore a 30 metri. La  $V_{s,eq}$  calcolata in base al profilo  $V_s$  ottenuto nella prova MASW è pari a circa 336 m/sec.

Dal modello sismo-stratigrafico si evince che i terreni del sito posti al di sopra del substrato sismico sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da una  $V_{s,eq}$  compresa tra 180 m/sec e 360 m/sec, pertanto il caso in esame rientrerebbe nella tabella 3.2.II (NTC 2018), come sottosuolo di categoria **C**.

L'area d'intervento non risulta studiata con gli studi di microzonazione sismica di livello III, pertanto non si applica direttamente l'Ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 (Modifiche all'ordinanza n.24 del 12 maggio 2017).

### Amplificazione topografica

Come già espresso nel paragrafo dedicato alla condizione topografica: tenuto conto che il sito in oggetto è localizzato sul bordo di un crinale identificabile morfologicamente come una "cresta di larghezza molto minore rispetto alla base", che l'angolo di pendio medio del versante si avvicina ai  $15^\circ$  e localmente supera i  $15^\circ$ , in via cautelativa si può ritenere che l'intervento ricada in una categoria topografica assimilabile in parte alla T2 e in parte alla T3, ma comunque con il medesimo coefficiente di amplificazione **St=1,2**.

## REQUISITI DEL SITO DI COSTRUZIONE E DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### Stabilità de sito

L'area indagata non presenta dissesti, il substrato litologico è rinvenibile a pochi metri di profondità.

### Liquefazione

E' l'insieme dei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche causate dall'aumento di pressione interstiziale in terreni saturi prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

*Nel caso specifico si ritiene che, date le litologie presenti, non sussista il pericolo di liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma.*

Tuttavia in base alle NTC 2018 si ricorda che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna *in assenza di manufatti* (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata\*  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

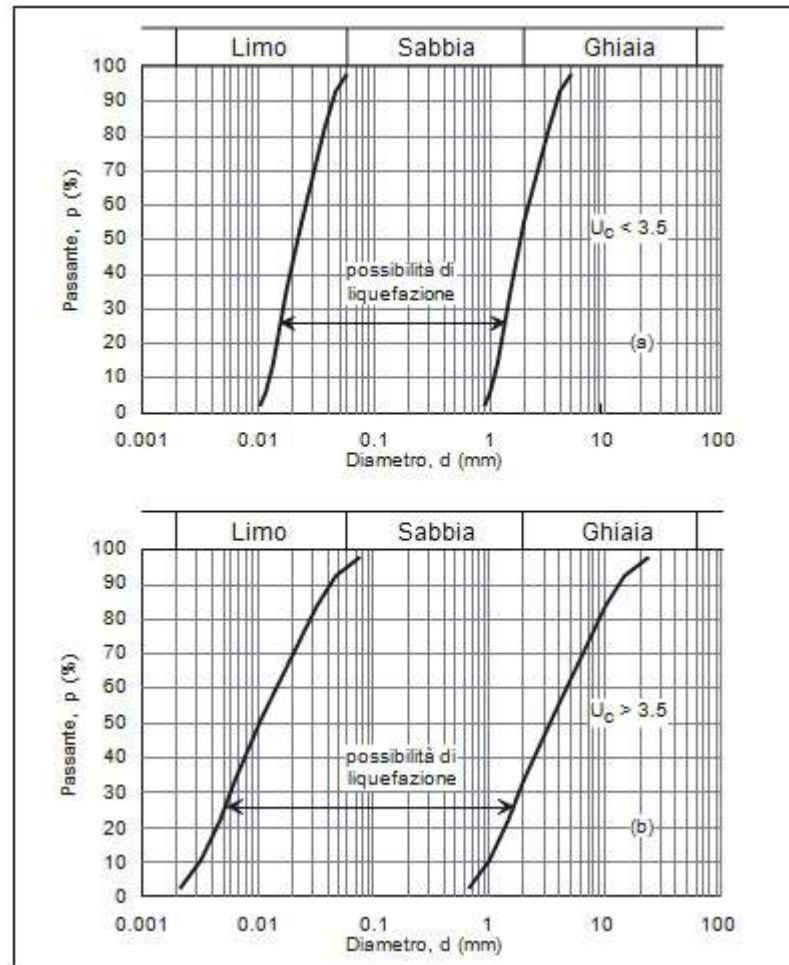


Figura 7.11.1 delle NTC 2018 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

( $U_c$  rapporto  $D_{60}/D_{10}$ , dove  $D_{60}$  e  $D_{10}$  sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità dei manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

- Addensamento eccessivo in caso di sisma.

Nei depositi superficiali, specie quelli debolmente addensati e poco consistenti, l'applicazione di una sollecitazione di taglio ha come effetto quello di diminuire il volume del materiale fino al raggiungimento di un valore critico dell'indice dei vuoti, in corrispondenza del quale il fenomeno si interrompe.



Lo studio svolto ha evidenziato che i terreni riscontrati nel sottosuolo non presentano grado di addensamento e consistenza tali da poter ipotizzare il rischio di fenomeni di *eccessivo addensamento in caso di sisma*.

- Rottura di faglia in superficie.

Allo stato attuale delle conoscenze si esclude che l'area in oggetto ed un suo intorno significativo siano interessati, in superficie, da dislocazioni tettoniche attive.

## **INCREMENTO PER AMPLIFICAZIONE SISMICA**

In base al paragrafo 7.1 - Allegato 1 dell'Ordinanza 28 ed all'Ordinanza 62 del Commissario Straordinario per la Ricostruzione, al fine di considerare il maggiore onere degli interventi compiuti su edifici posti in siti dove è maggiore l'azione sismica di progetto, definita dalle norme tecniche a partire dalla "pericolosità sismica di base" ( $a_g$ ) del sito in cui ricade l'edificio e dal parametro ( $S$ ), che tiene conto della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ) e delle condizioni topografiche ( $S_t$ ), i costi parametrici sono incrementati con il seguente criterio:

$a_g \cdot S \leq 0,25g$  nessun incremento

$0,25g < a_g \cdot S < 0,35g$  incremento del 5% per gli interventi di miglioramento sismico ed del 2% per i casi di ricostruzione totale

$0,35g < a_g \cdot S < 0,45g$  incremento del 10% per gli interventi di miglioramento sismico ed del 4% per i casi di ricostruzione totale

$0,45g < a_g \cdot S$  incremento del 15% per gli interventi di miglioramento sismico ed del 6% per i casi di ricostruzione totale

dove  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale ed  $S_s$

\*  $S_T$ . Pertanto il prodotto  $a_g * S_s$  è l'accelerazione massima attesa al sito  $a_{max}$ .

Nel caso in oggetto, per quanto riguarda l'approccio semplificato, considerando la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T2/T3, si ha:

$$a_{max} = a_g * S_s * S_T = 0,175 * 1,44 * 1,2 = \mathbf{0,324g}$$

Nel caso di *Analisi di Risposta Sismica Locale o di adozione dello spettro elastico della microzona di interesse ottenuto dagli studi di MS3*,  $a_g * S_s$  è il valore dello spettro elastico (SLV) per  $T=0$ .

Porto Recanati, maggio 2019

il geologo  
Paolo Giacomelli

Tavola 1 COROGRAFIA Stralcio IGM 124 II, scala 1:25.000

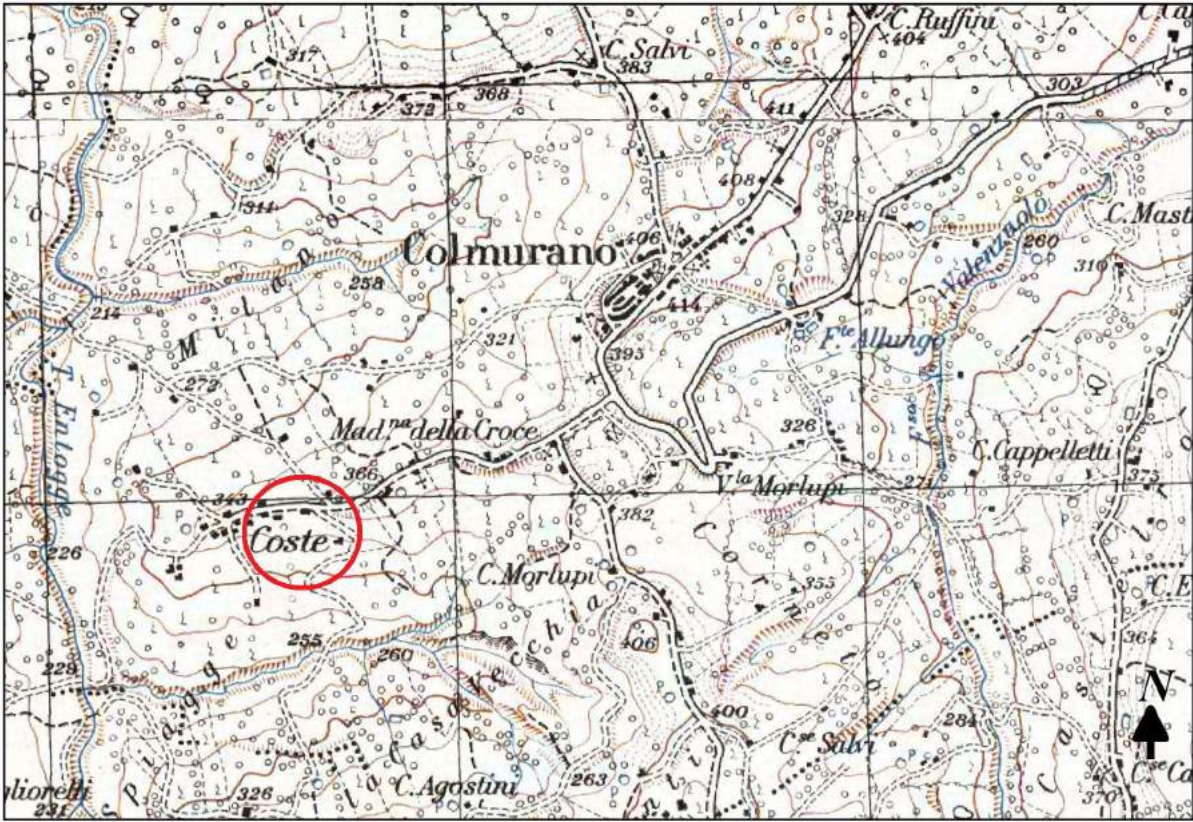
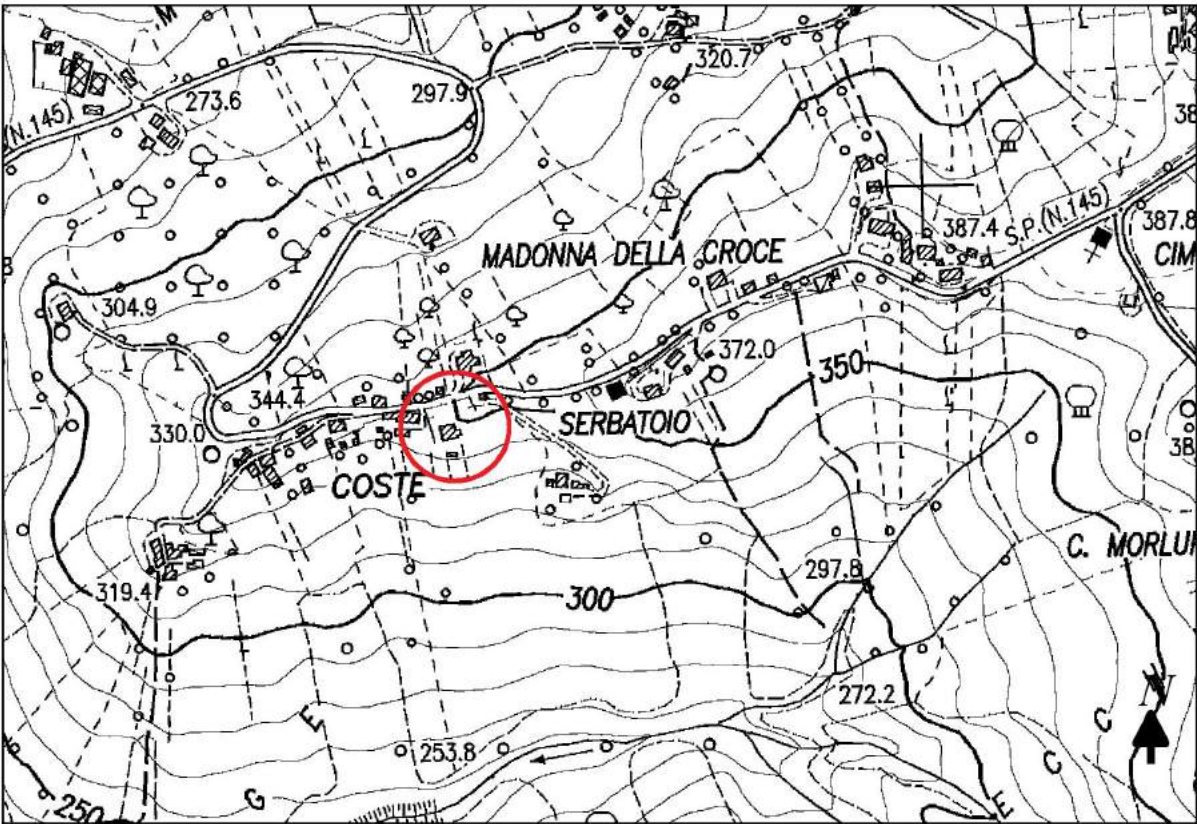
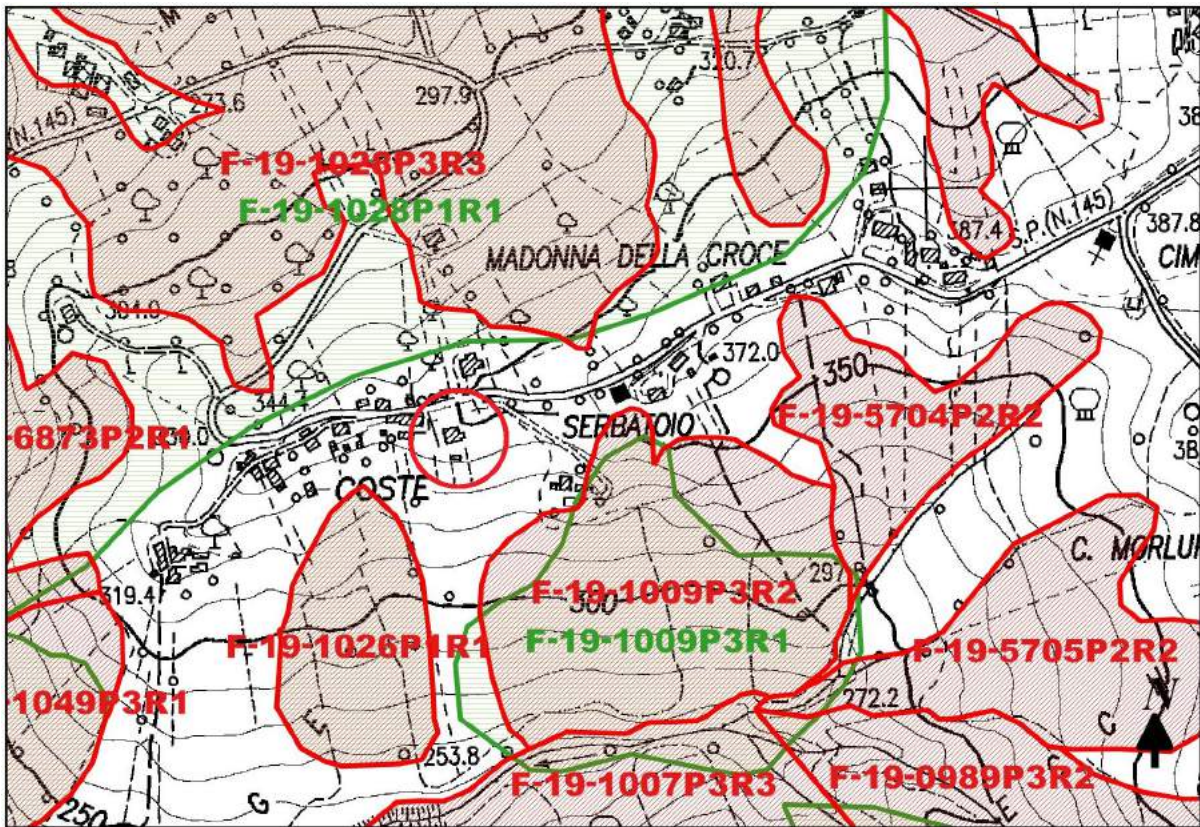


Tavola 2 COROGRAFIA Stralcio Sez. 314010, scala 1:10.000



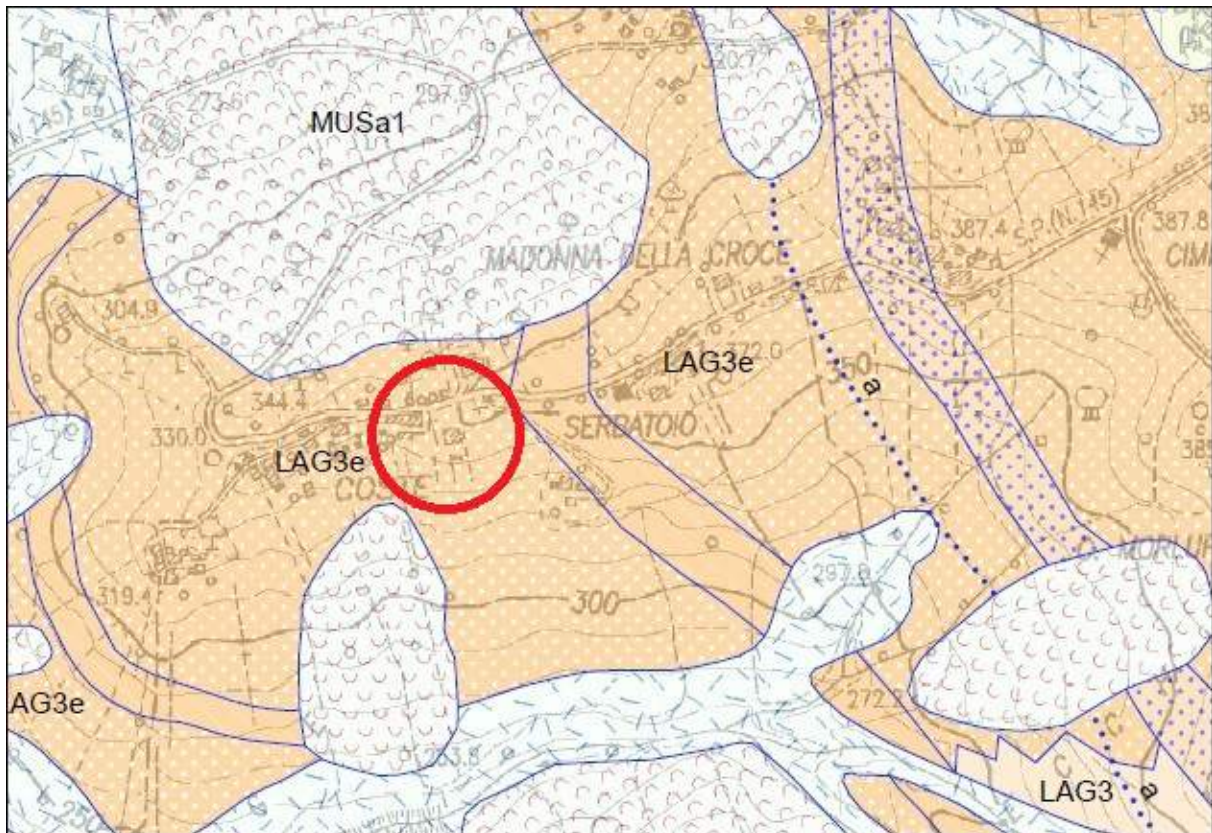
**Tavola 3 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO, scala 1:10.000**



**In verde le perimetrazioni del PAI vigente al 27/07/2016**

**In rosso le perimetrazioni del PAI in aggiornamento - anno 2016**

**Tavola 4 CARTA GEOLOGICA REGIONALE, scala 1:10.000**



**LEGENDA GEOLOGICA**

**DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI  
VERSANTE MARCHIGIANO**

**SINTEMA DEL MUSONE  
(OLOCENE)**

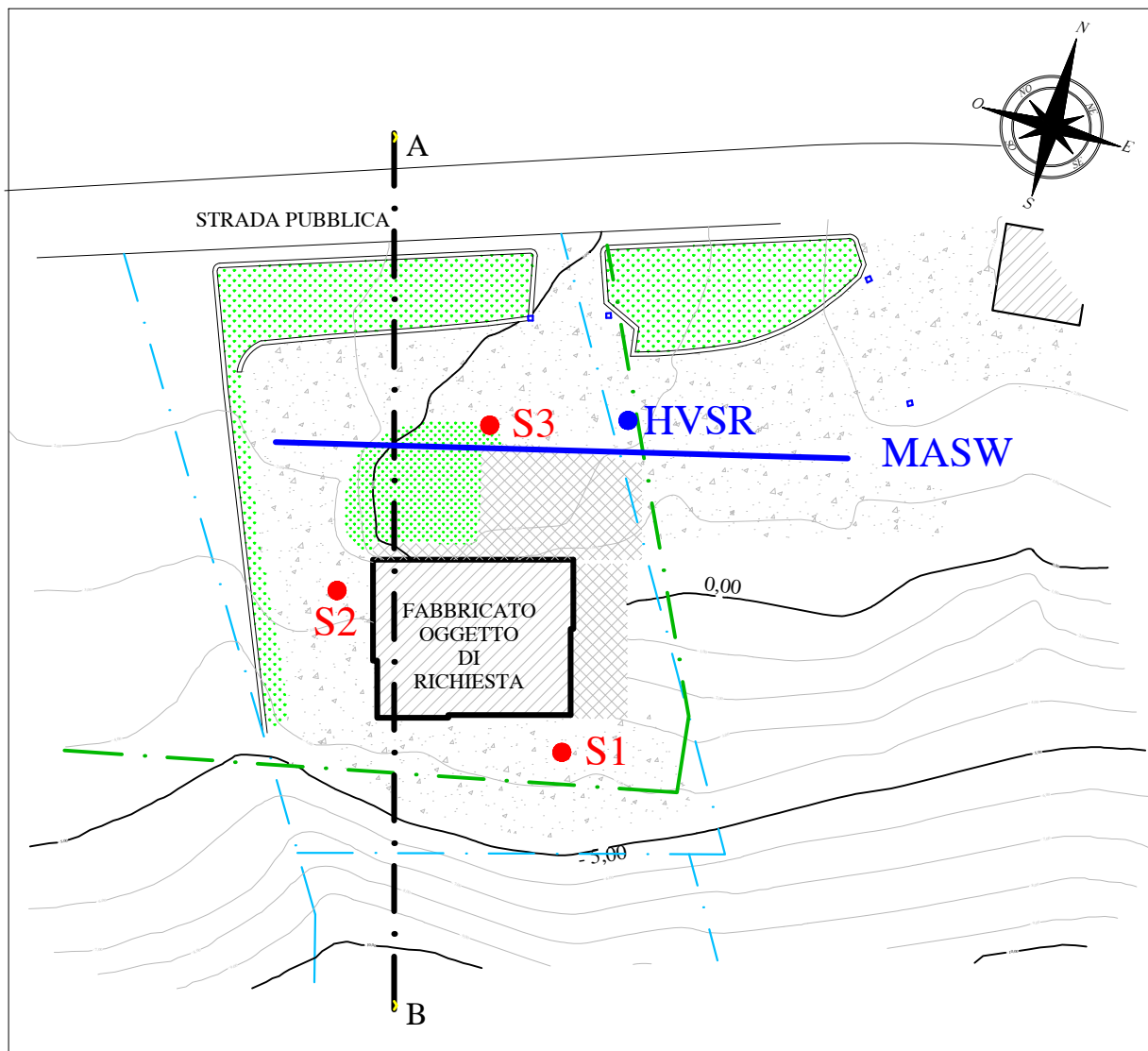
	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali

**SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA**

**SUCCESSIONE MIOCENICA**

	LAG3	FORMAZIONE DELLA LAGA Membro post-evaporitico Messiniano p.p.
	LAG3d	FORMAZIONE DELLA LAGA Membro post-evaporitico litofacies arenaceo-pelitica Messiniano p.p.
	LAG3e	FORMAZIONE DELLA LAGA Membro post-evaporitico litofacies pelitico-arenacea Messiniano p.p.

Tavola 5 PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI, Scala 1:500



● Sondaggi

● Prove sismiche MASW e HVSR

— · — Traccia sezione geologica interpretativa

Tavola 6 STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI

Committente: Ferretti Adriana - Località: Contrada Coste Colmurano (MC)	Data: 10/10/2018
Ditta: EN.CA. - Metodo di perforazione: rotazione a distruzione di nucleo	Sondaggio S1

Stratigrafia	Quote (metri)		Descrizione litologica	Vane test-Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Pocket pen. - qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Campione ■ ind. □ rim.	SPT	Falda	Note
	p.c.	parz.							
1		1.50	Ghiaie e inerti della massicciata, limi e pezzi di laterizio TERRENI DI RIPORTO						
2		2.50	Limi argilloso-sabbiosi, di colore marrone DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI						
3		4.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e molto fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE POCO ALTERATA						
4		7.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e poco fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE INALTERATA						
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									



Tavola 7 STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI

Committente: Ferretti Adriana - Località: Contrada Coste Colmurano (MC)	Data: 10/10/2018
Ditta: EN.CA. - Metodo di perforazione: rotazione a distruzione di nucleo	Sondaggio S2

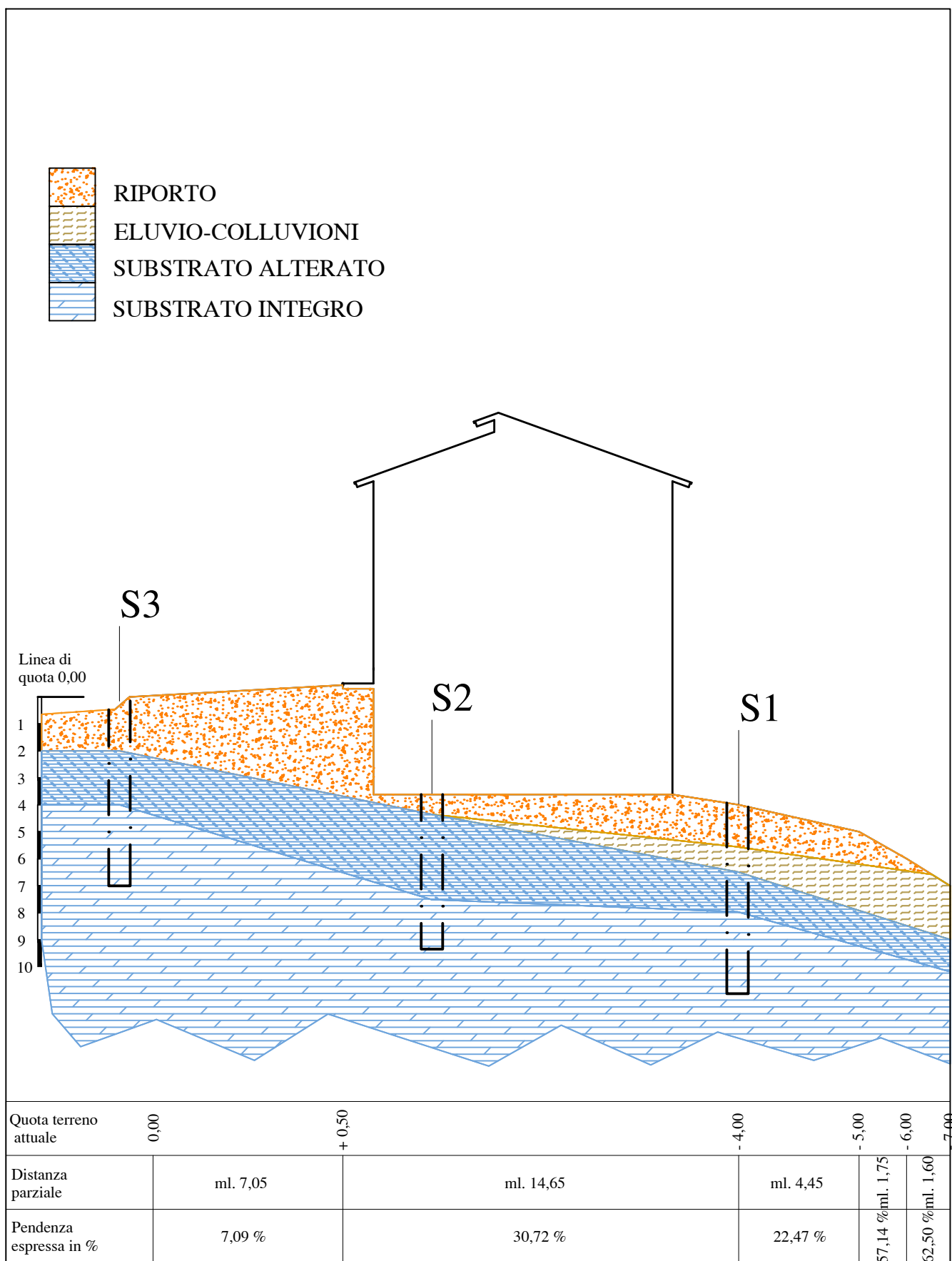
Stratigrafia	Quote (metri)		Descrizione litologica	Vane test-Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Pocket pen. - qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Campione ■ ind. □ rim.	SPT	Falda	Note
	p.c.	parz.							
1		2.00	Ghiaie e inerti della massicciata, limi e pezzi di laterizio TERRENI DI RIPORTO						
2		2.00							
3		3.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e molto fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE POCO ALTERATA						
4		5.00							
5		5.00							
6		2.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e poco fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE INALTERATA						
7		7.00							
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Tavola 8 STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI

Committente: Ferretti Adriana - Località: Contrada Coste Colmurano (MC)	Data: 10/10/2018
Ditta: EN.CA. - Metodo di perforazione: rotazione a distruzione di nucleo	Sondaggio S3

Stratigrafia	Quote (metri)		Descrizione litologica	Vane test-Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Pocket pen. - qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Campione ■ ind. □ rim.	SPT	Falda	Note
	p.c.	parz.							
1		2.00	Ghiaie e inerti della massicciata, limi e pezzi di laterizio TERRENI DI RIPORTO						
2		2.00							
3		2.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e molto fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE POCO ALTERATA						
4		4.00							
5									
6		3.00	Argille grigio-azzurre, sovraconsolidate, stratificate e poco fratturate, presenza di livelli sabbiosi giallo ocra FORMAZIONE INALTERATA						
7		7.00							
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Tavola 9 SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA, Scala 1:200



## Tavola 10 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI



Postazione Sondaggio S1



Postazione Sondaggio S2



Postazione Sondaggio S3



Terreni di riporto in S3



Formazione alterata in S1



Formazione alterata integra in S2

**COMUNE DI COLMURANO**  
**PROVINCIA di MACERATA**

**TERRAQUA s.a.s.**  
**di Paolo Giacomelli & c.**  
**P.IVA: 01938250436**

**Via: Piave,64**  
**62100 Macerata**  
**Tel: 3494753342**  
**Email: terraqua@pec.it**

**Indagine geofisica per intervento di riparazione danni e  
miglioramento sismico edificio in c.da Coste .....**

**Data: gennaio 2019**

**Il committente**  
**Edo Lambertucci**

**IL Tecnico**



**Indagine geofisica tramite tecnica MASW**

## Indice

Indagine MASW.....	3
Dati generali.....	4
Tracce.....	6
Analisi spettrale.....	7
Curva di dispersione.....	8
Inversione.....	9
Risultati.....	11
Indagine HVSR.....	12

# Indagine MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

## Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

## Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

## Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

## Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.



### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### **Metodologia di indagine MASW**

L'indagine MASW è stata eseguita per mezzo della seguente strumentazione:

- Sismografo PASI GEA24;
- 24 geofoni verticali – frequenza naturale 4.5 Hz
- Mazza 5 kg
- Software di elaborazione EasyMASW-Geostru 2018

Sono stati impostati punti di battuta ad entrambe gli estremi dello stendimento con offset di 3.0 e 5.0 metri. Per ogni punto di battuta si sono effettuate più energizzazioni, sommandole poi assieme (stacking, minimo 3) al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore.

Unitamente all'acquisizione di tipo MASW si è provveduto ad effettuare una registrazione di microtremori tramite apposita terna triassiale SARA Geobox – frequenza propria 4.5 Gz (tempo di registrazione 20 minuti – frequenza di campionamento 300 Hz).

I dati acquisiti sono stati analizzati ed elaborati mediante il software EasyMASW distribuito dalla Geostru.

Basandoci sui dati pregressi e di nuova acquisizione riguardanti il sito studiato (di natura geologica, stratigrafica e sismica) si è provveduto ad effettuare una modellazione diretta dei dati al fine di ottenere un modello sismostratigrafico del sottosuolo il più plausibile possibile, compatibilmente con i dati di nuova acquisizione.

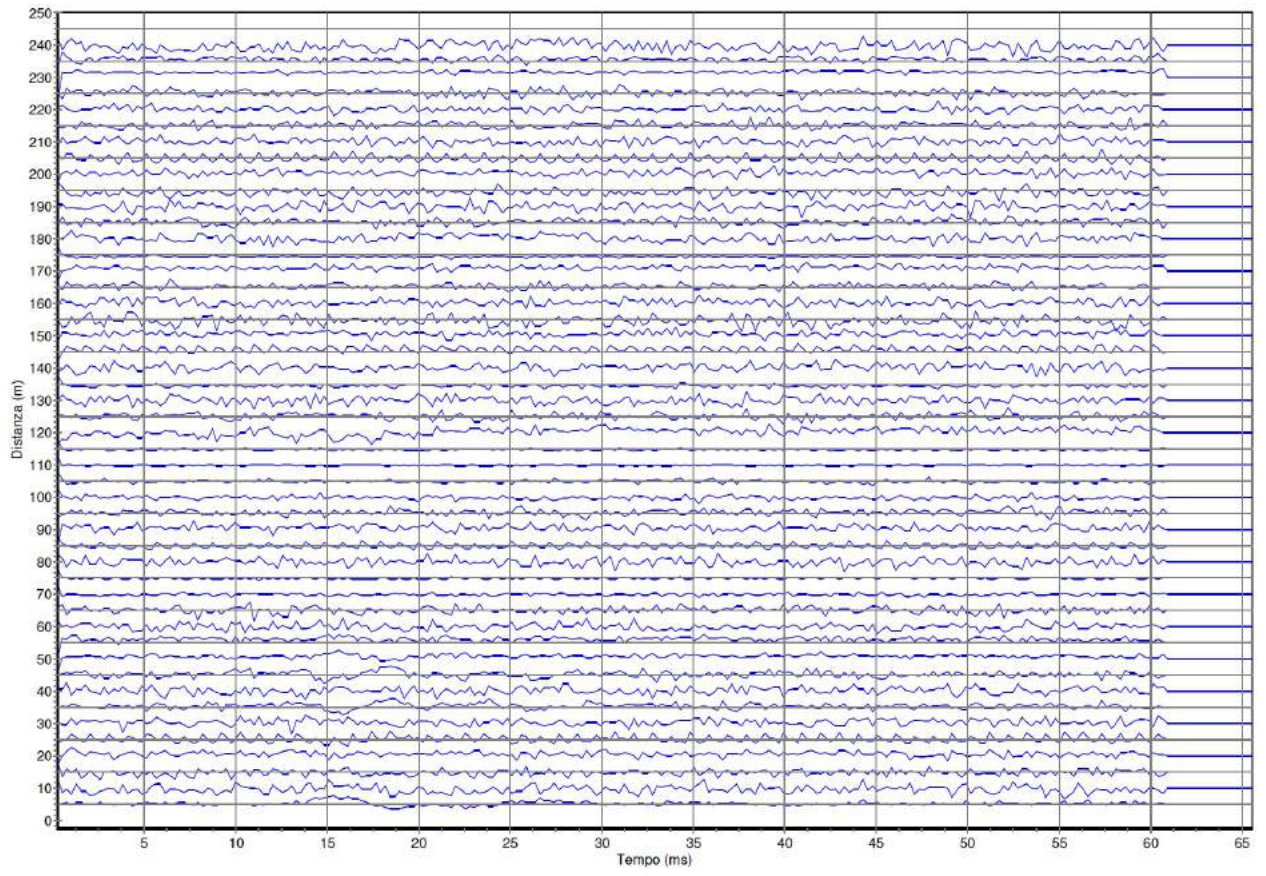
La curva H/V sintetica del modello sismostratigrafico ottenuto, per una validazione dello stesso, è stata confrontata con la curva H/V registrata mediante l'indagine di microtremori HVSR.

### **Dati generali**

<b>Committente</b>	Sig. Lambertucci Edo
<b>Cantiere</b>	Comune di Colmurano
<b>Località</b>	Coste
<b>Operatore</b>	Dott. Geol. Paolo Giacomelli
<b>Responsabile</b>	Sig. Paolo Giacomelli
<b>Data</b>	12/01/2018 16:00
<b>Latitudine</b>	42.9996
<b>Longitudine</b>	13.6336

### Tracce

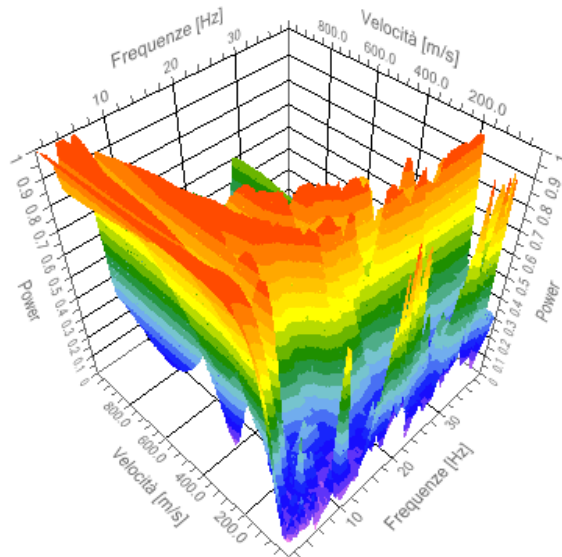
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2000.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	3.0
<b>Lunghezza Stendimento [m]</b>	36.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0.50



## Analisi spettrale

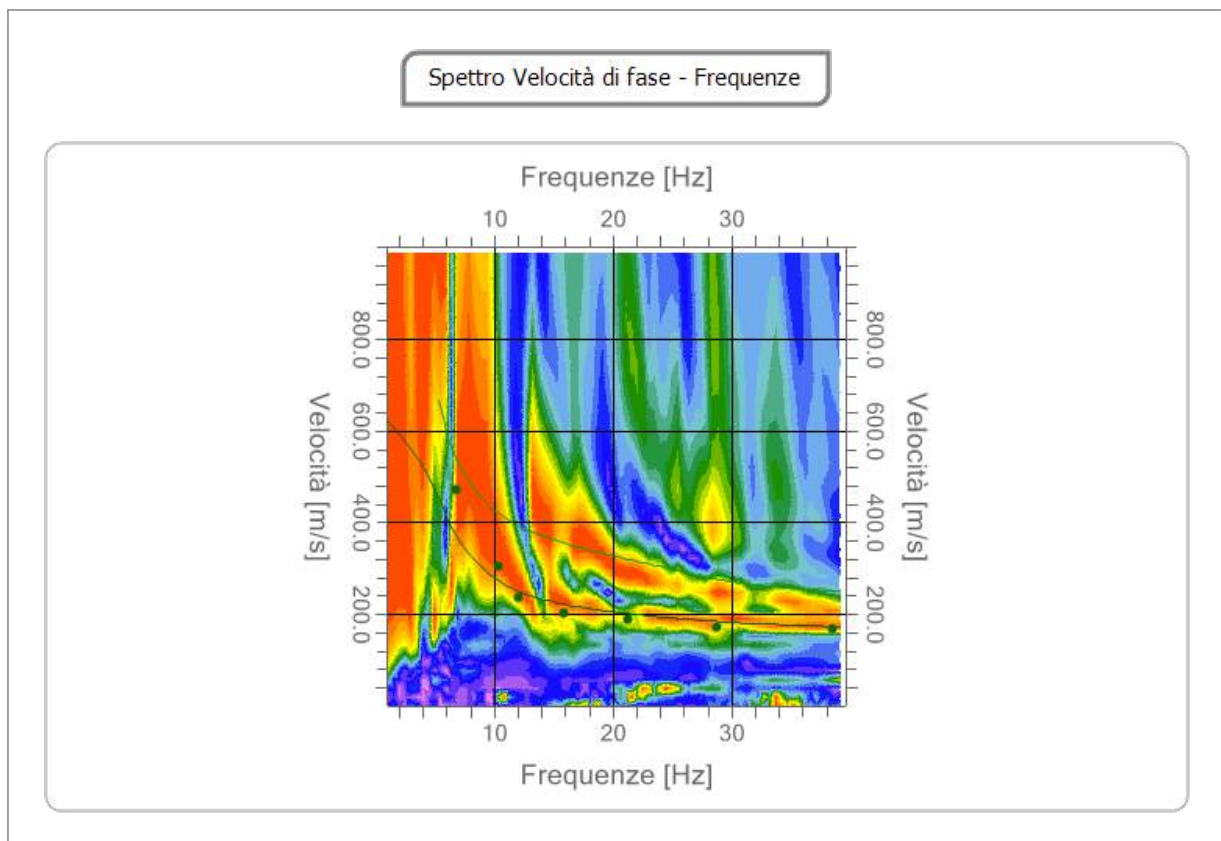
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	40
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1000
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.8	472.9	0
2	10.3	305.4	0
3	12.1	235.9	0
4	15.9	203.3	0
5	21.3	189.0	0
6	28.7	170.9	0
7	38.5	168.3	0



### Inversione

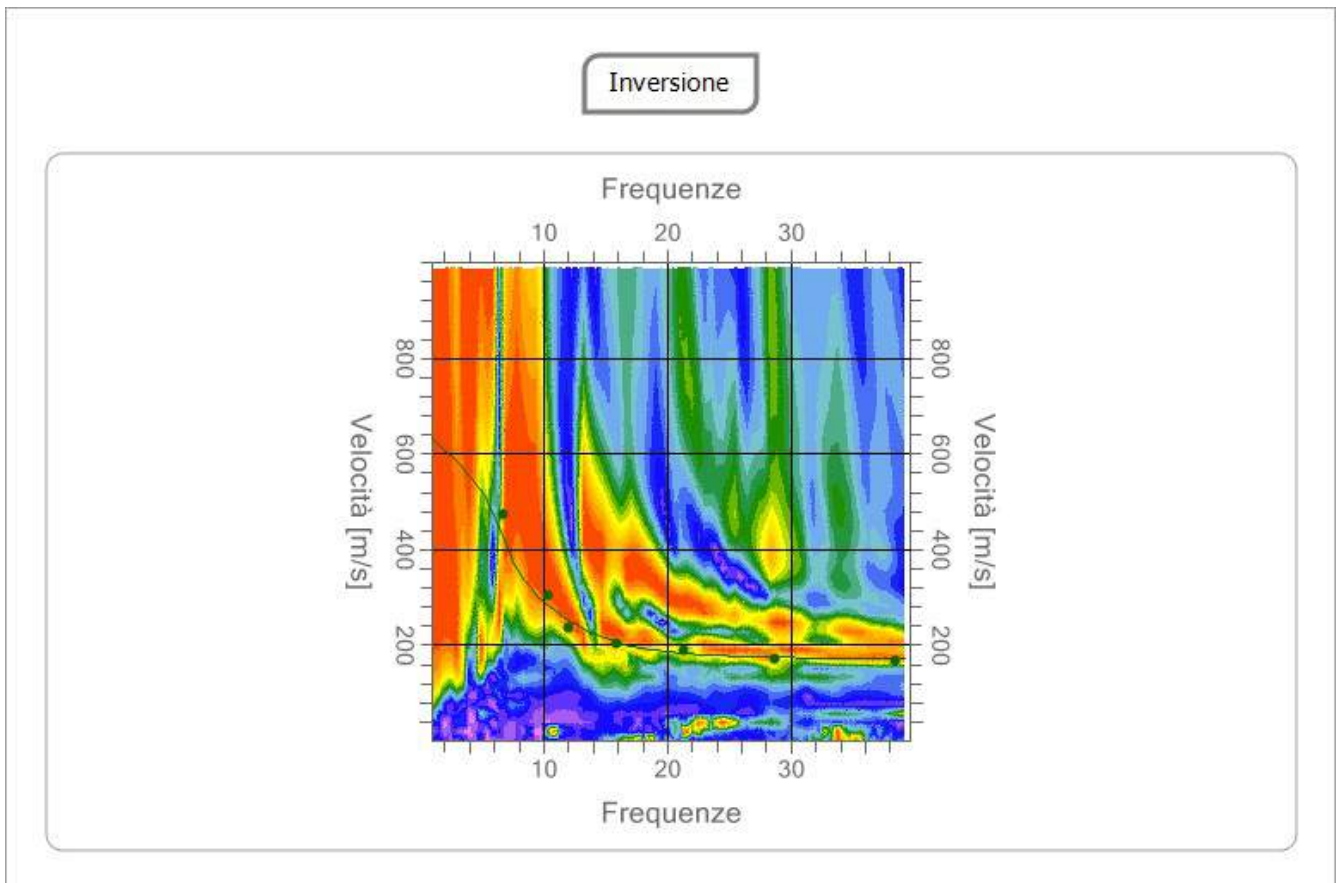
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.93	4.93	2000.0	0.3	No	343.7	183.7
2	8.93	4.00	2100.0	0.4	No	579.7	278.5
3	13.98	5.05	2150.0	0.4	No	728.6	350.0
4	19.98	6.01	2200.0	0.4	No	832.5	399.9
5	26.98	7.00	2250.0	0.4	No	1015.9	488.0
6	∞	∞	2300.0	0.4	No	1454.0	698.5

Percentuale di errore

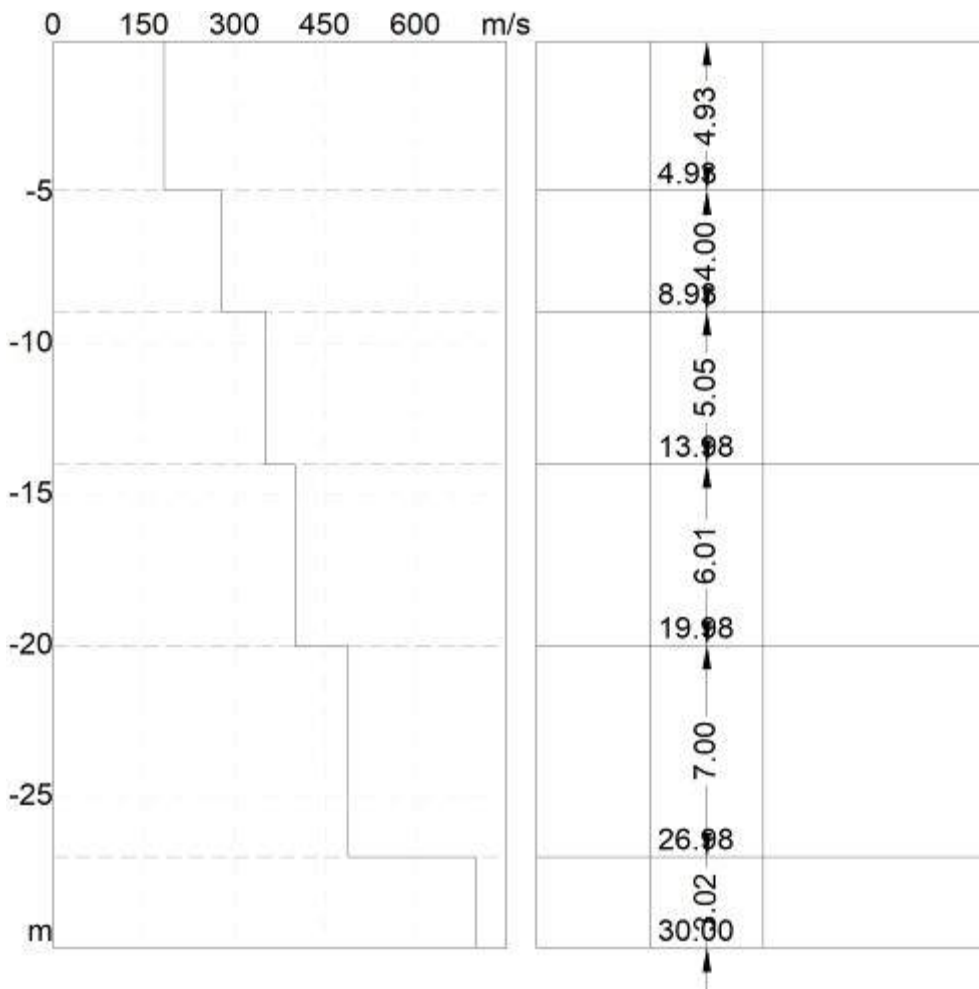
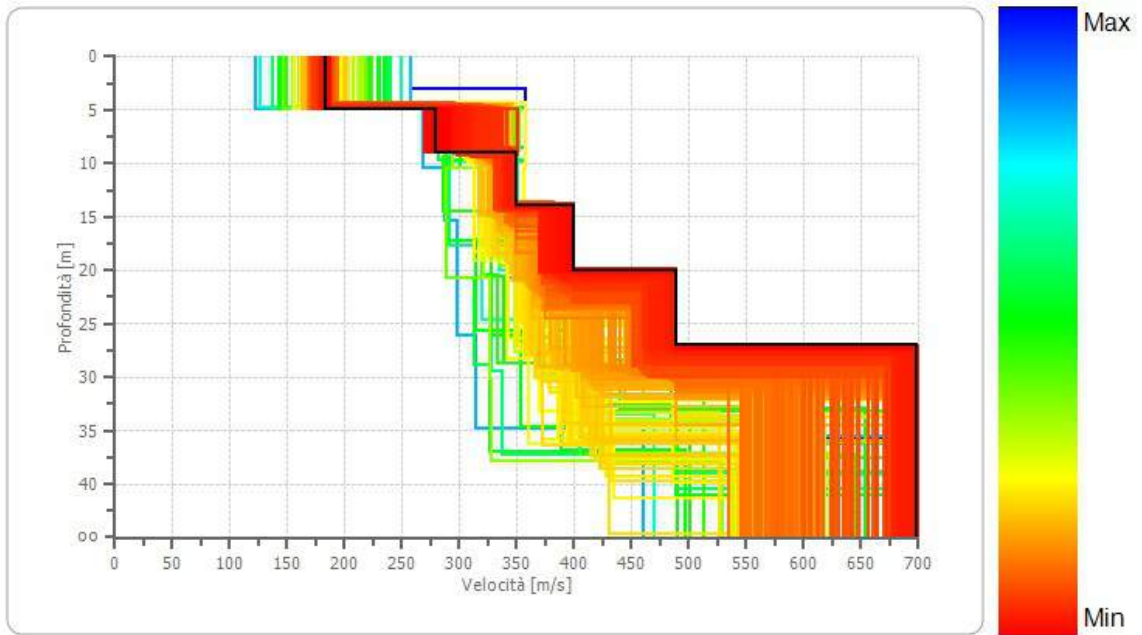
0.625 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.056



Profilo di velocità



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	335.95
<b>Categoria del suolo</b>	<b>C</b>

**Suolo di tipo C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



# Terraqua sas

Terraqua Sas – viale Piave 64 – 62100 Macerata

email: [terraqua@pec.it](mailto:terraqua@pec.it)

Tel 349.4753342

Indagine sismica: gennaio 2019

## Indagine HVSR

La presente indagine ha lo scopo di eseguire una misura sismica passiva HVSR (horizontal to vertical spectral ratio) per la valutazione della frequenza caratteristica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico.

Tale indagine geofisica si basa sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto H/V. La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una prospezione geofisica non invasiva, molto rapida e applicabile ovunque senza la necessità di perforazione né di energizzazioni esterne; essa si basa, difatti, sulla misura del "rumore sismico ambientale", chiamato anche microtremore (poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro), ovunque presente sulla superficie terrestre.

Tale indagine permette di ricavare:

- **frequenza caratteristica di risonanza del sito**, rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, quando la misura viene effettuata all'interno dello stesso. Tale misura risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- **velocità media delle onde di taglio  $V_{s_{eq}}$  o  $V_{s_{30}}$** , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. Tuttavia è necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato, utilizzare il dato HVSR per elaborazione congiunta con indagini sismiche attive o essere in possesso di specifiche tarature stratigrafiche (conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V). E' possibile calcolare la velocità equivalente ( $V_{s_{eq}}$ ) e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 17/01/18;

### Caratteristiche della strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tomografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (SARA GEOBOX 3CH 24 bit – SS45PACK, Sara electronic instruments s.r.l) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri), da 4,5 Hz, orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di **campionamento di 300 Hz**, per un tempo di **20 minuti**. La misura è stata eseguita su una stazione curando un adeguato orientamento e accoppiamento della stazione con la superficie.

### Analisi dei dati per stazioni singole H/V

L'analisi e l'elaborazione del rumore sismico registrato è stata eseguita mediante il software GeoExplorer HVSR 2.2.1, prodotto e sviluppato dalla Sara Electronic Instruments s.r.l..

Dalla registrazione del rumore ambientale in campagna si ricava la curva H/V secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005):

- larghezza finestre d'analisi di 20s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale e  $b=10\%$ ;
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

L'elaborazione ha permesso di ottenere la cura H/V caratteristica del sito in esame per la determinazione delle frequenze di sito secondo le linee guida del Progetto Sesame (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations, 2005).

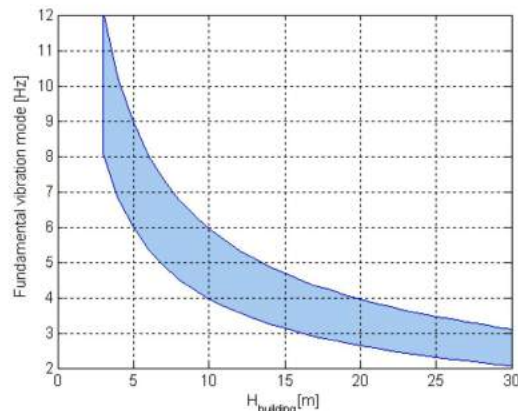
Nel caso specifico si sono attente le seguenti frequenze caratteristiche di risonanza del sito:

**$2,795 \pm 0,633$  Hz** (in un range 0.2 – 60,0 Hz) con ampiezza del picco H/V = 3,559

Sarà cura del progettista, al fine di evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma, progettare una struttura con frequenze fondamentali di oscillazione lontane (per un fattore di almeno 1.4) da quelle tipiche del terreno nel sito specifico di edificazione.

E' da tenere presente che le frequenze dei modi di vibrare delle strutture dipendono principalmente dalla loro altezza. Nel seguente grafico è schematizzata, per edifici standard in c.a., la relazione esistente tra l'altezza della struttura e il primo modo vibrazionale.

Nel grafico a lato si osserva che le frequenze superiori ai 10-12 Hz non interagiscono con i fabbricati civili e, pertanto, possono essere considerate dal punto di vista ingegneristico non significative, mentre, frequenze fondamentali di risonanza del terreno inferiori a 10-12 Hz, interagiscono con quelle dei fabbricati in modo inversamente proporzionale all'altezza, negli edifici multi-piano le frequenze fondamentali risultano progressivamente più basse.



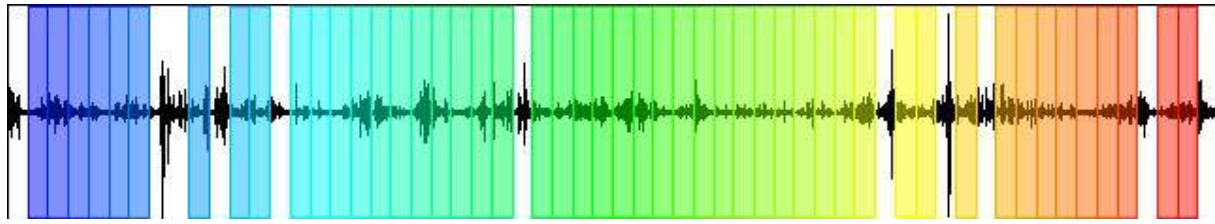
Relazione tipica tra la frequenza di primo modo flessionale di vibrare ed altezza di una struttura (da S. Castellaro 2008)

## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz  
 Recording start time: 2019/01/12 16:13:23  
 Recording length: 20 min  
 Windows count: 49  
 Average windows length: 20  
 Signal coverage: 81.67%

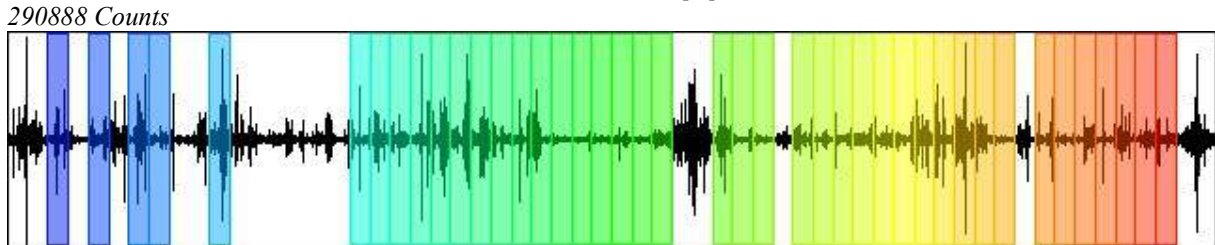
CHANNEL #1 [V]

15792 Counts



-17033 Counts

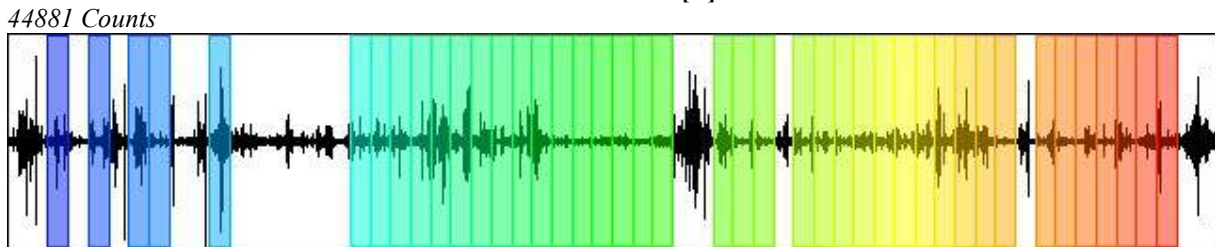
CHANNEL #2 [N]



29088 Counts

-62743 Counts

CHANNEL #3 [E]



44881 Counts

-50068 Counts

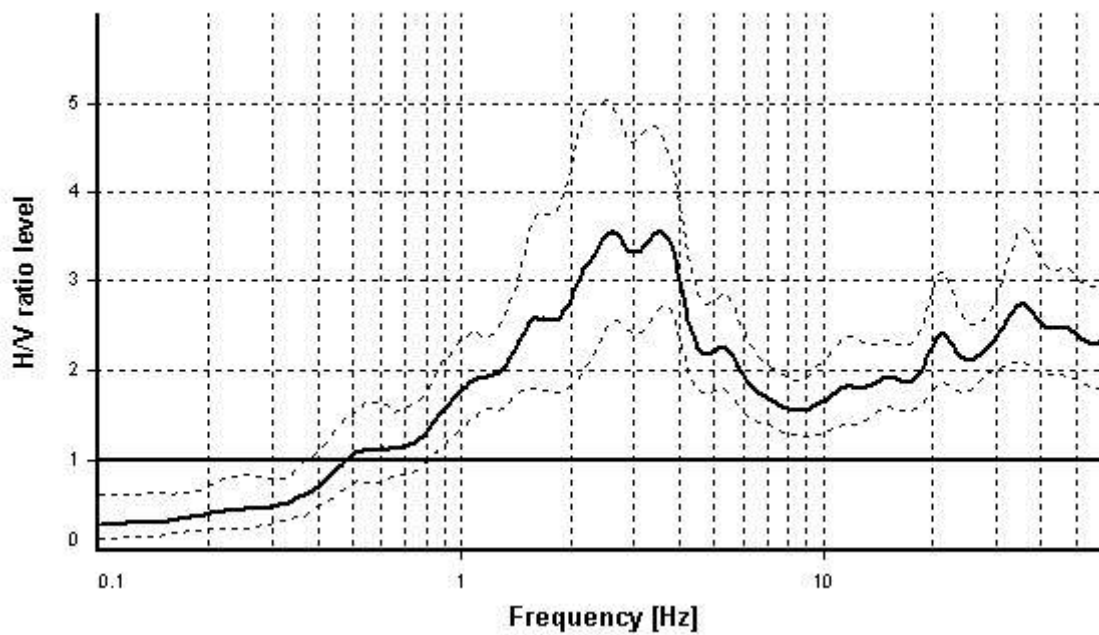
### HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 10%)

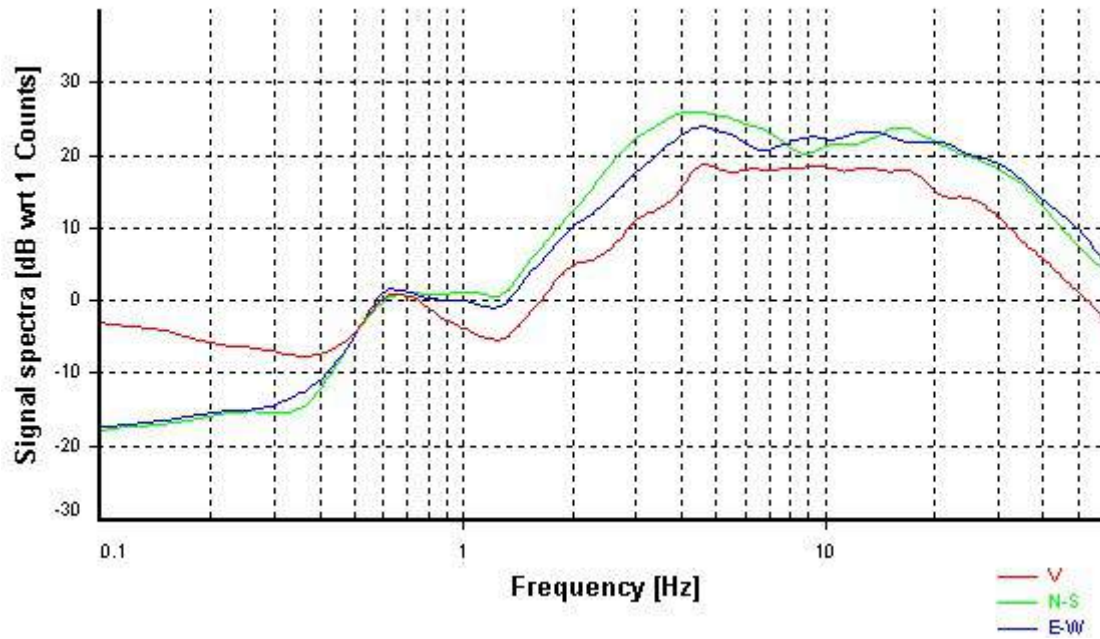
Smoothing: Proportional triangular (Bandwidth coefficient = 15)

Instrumental correction: Disabled

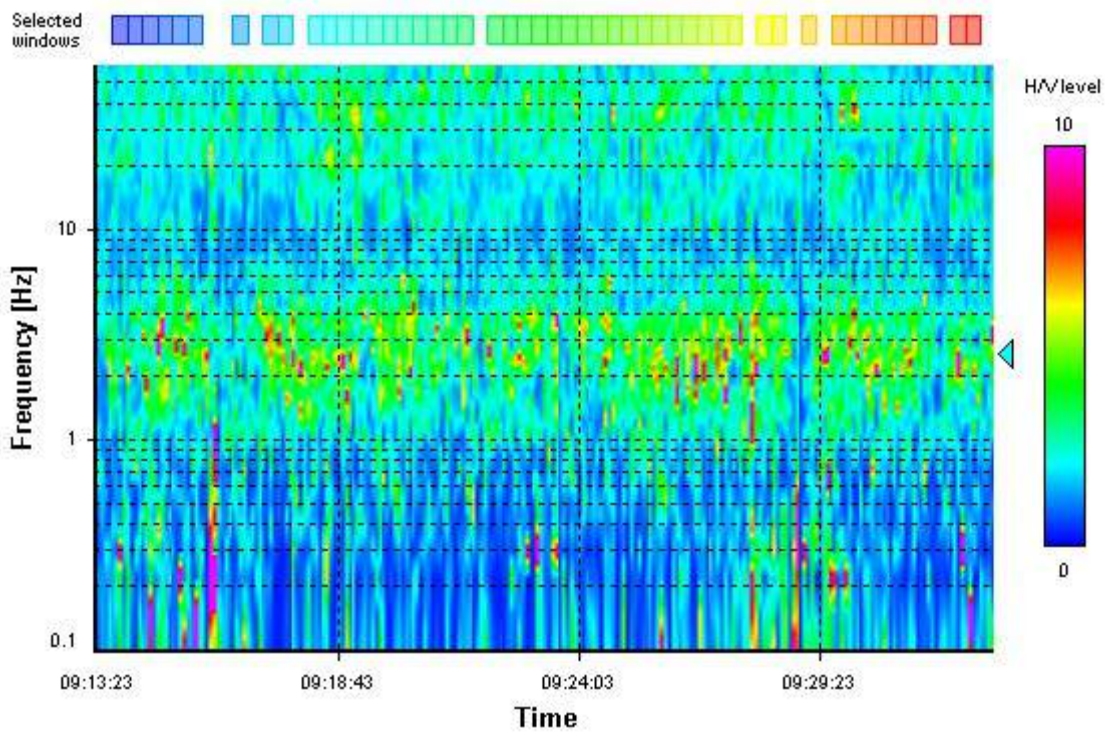
### HVSR average



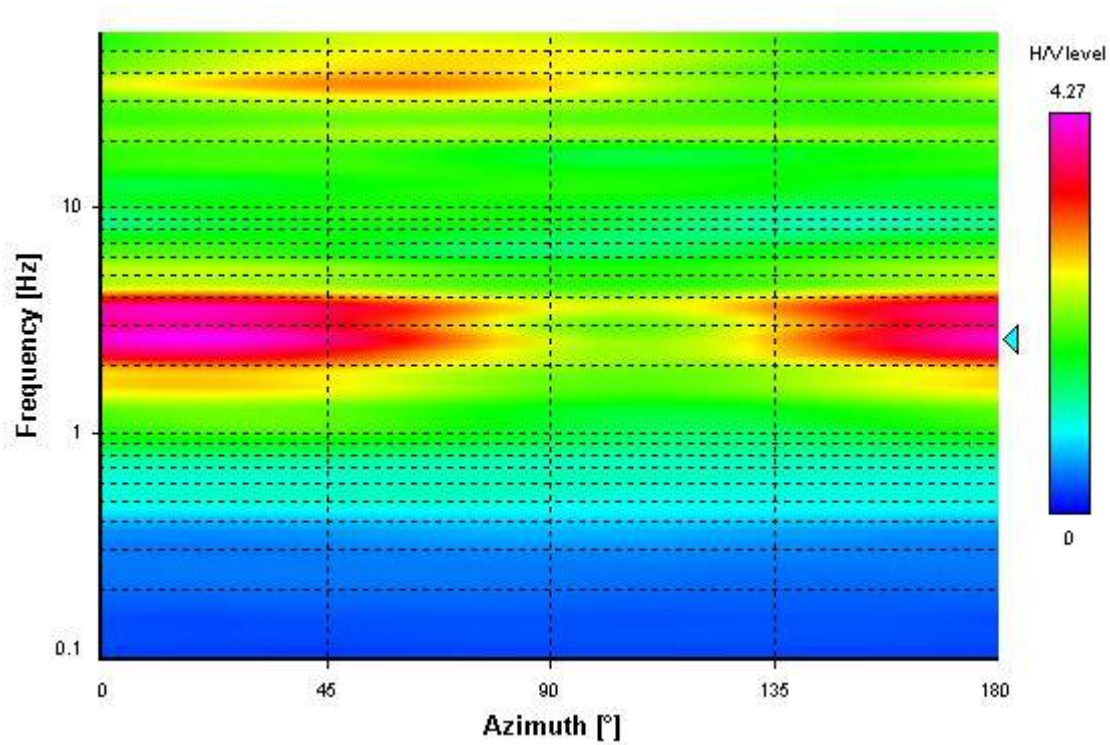
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (5 seconds windows)



## HVSR directional analysis



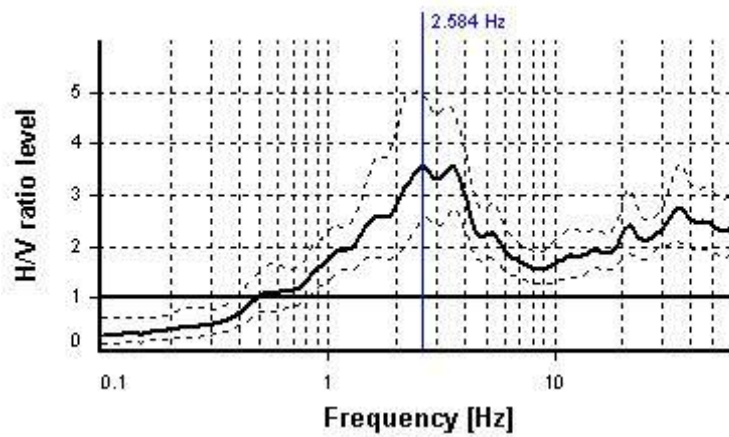
## SESAME CRITERIA

Selected  $f_0$  frequency

2.584 Hz

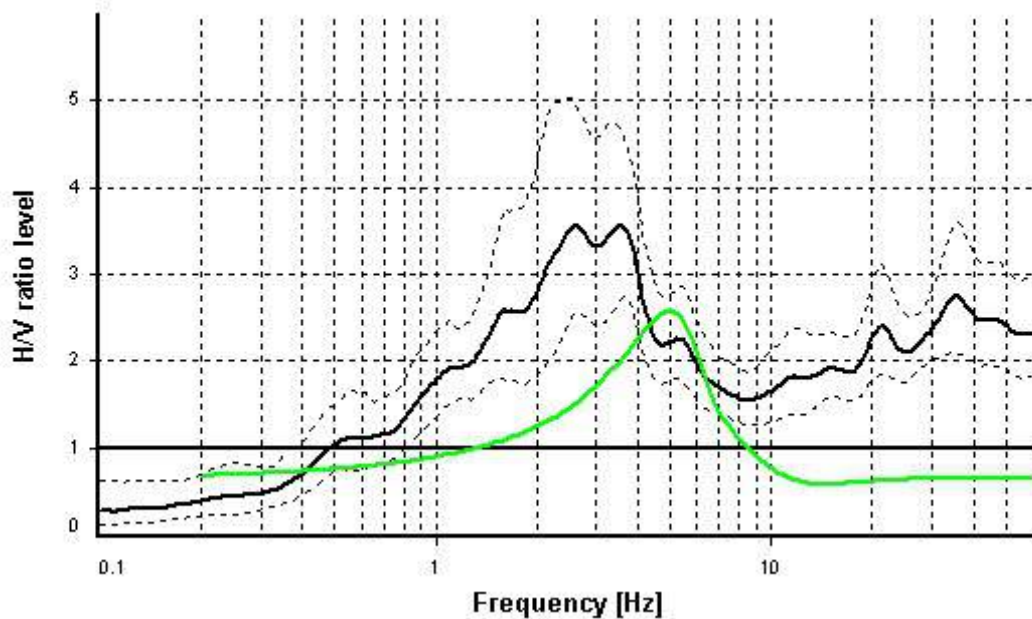
$A_0$  amplitude = 3.559

Average  $f_0$  =  $2.795 \pm 0.633$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	49 valid windows (length > 3.87 s) out of 49	OK
$n_c(f_0) > 200$	2532.39 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 65	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.98671 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	6.62414 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.56 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	40.82% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.63264 $\geq$ 0.1292	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.3993 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

### Synthetic HVSR modelling



EXPERIMENTAL HVSR

SYNTHETIC HVSR (da modello sismostratigrafico ottenuto dall'analisi MASW)

Il tecnico

Paolo Giacomelli