



Comune di Castelraimondo  
Provincia di Macerata

**ATC 11 BORGO DI LANCIANO - SUBAMBITO A**  
VARIANTE PARZIALE AL P.R.G. VIGENTE  
VARIANTE PARZIALE AL PIANO ATTUATIVO VIGENTE



**VARIANTE**

DATA SETTEMBRE 2018	SERIE <b>GEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA</b>	ID
AGG. n. data	ALLEGATO <b>Relazione geologica, geotecnica, geomorfologica, idrogeologica e sismica</b>	<b>VG01</b>

**PROPRIETA'**

DELTAFIN 21 Srl,  
via Bela Bartok n.12 - 44124 Ferrara

**PROGETTISTI**

**ARCHISAL Studio Salmoni Architetti Associati**  
viale della Vittoria, n.11 - 60123 Ancona - T/F 071 202208  
arch. Vittorio Salmoni  
arch. Raffaella Coppari

*Coordinamento e progettazione urbanistica*



**STUDIO BIZZARRO & PARTNERS Architettura del benessere**  
viale della Lirica, n.43 - 48124 Ravenna - T/F 0544 407775  
arch. Sergio Bizarro  
Consulenza Progetto Impianti: Ing. Renato Zanatta (WIP Architetti)

*Progettazione architettonica*



**ARCHISTUDIO**  
via Salvo d'Acquisto, n. 52 - 62022 Castelraimondo MC  
arch. Enrico Frezzi  
arch. Andrea Pierigè

*Progettazione strutturale*



**STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO**  
viale G. Mazzini, n.23 - 62027 San Severino Marche - T 0733 645150, F 0733 978858  
geol. Marcello Maccari

*Indagini geologiche e geotecniche*



**PAISA' S.r.l. Architettura del paesaggio Stignani Associati**  
via Alberoni, n.4 - 48100 Ravenna T 0544 217311

*Progettazione paesaggistica*



**SYNTA STUDIO**  
Località Rio snc - 62032 Camerino  
Dott.Nat. Luigi Paradisi  
Dott.ssa Nat. Paola Galli

*Consulenze botaniche e naturalistiche*



FILE	PROTOCOLLO	APPROVAZIONI
------	------------	--------------

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>UBICAZIONE E RIFERIMENTI TOPOGRAFICI</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO IN PROGETTO</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI</b> .....	<b>6</b>
5.1	Rilevamento geologico-geomorfologico .....	6
5.2	Indagini geognostiche.....	6
5.3	Indagine geotecnica .....	7
5.4	Indagine geofisica.....	7
5.4.1	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	8
5.4.2	Frequenza fondamentale del sito .....	10
<b>6</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO</b> .....	<b>11</b>
6.1	Inquadramento geostrutturale dell'area.....	11
6.2	Litostratigrafia .....	13
6.3	Geomorfologia e stabilità dell'area .....	14
6.4	Idrografia e idrogeologia.....	15
6.4.1	Idrografia .....	15
6.4.2	Idrogeologia e piezometria .....	16
6.4.3	Permeabilità.....	16
<b>7</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO</b> .....	<b>17</b>
7.1	Principali caratteristiche geotecniche .....	17
7.2	Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici .....	18
<b>8</b>	<b>MODELLO SISMICO</b> .....	<b>19</b>
8.1	Caratterizzazione sismica dell'area .....	19
8.2	Attività sismica storica .....	21
8.3	Classificazione sismica comunale e pericolosità sismica di base.....	24
8.4	Risposta sismica e stabilità del sito .....	27
8.5	Categoria del suolo di fondazione .....	28
8.6	Condizioni topografiche .....	30
8.7	Zona sismica .....	30
8.8	Suscettibilità alla liquefazione .....	33
8.9	Frequenza fondamentale del sito .....	35
8.10	Microzonazione sismica .....	36
<b>9</b>	<b>RAPPORTI CON IL PAI</b> .....	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>CARTOGRAFIE DERIVATE</b> .....	<b>39</b>
10.1	Carta della pericolosità sismica locale .....	39
10.2	Carta della pericolosità geologica .....	40
10.2.1	Pericolosità massima.....	41
10.2.2	Pericolosità bassa .....	41
<b>11</b>	<b>OPERE DI FONDAZIONE E SBANCAMENTI</b> .....	<b>41</b>
11.1	Verifiche delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni.....	42
<b>12</b>	<b>TERRE E ROCCE DA SCAVO</b> .....	<b>42</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>43</b>

Allegati nel testo:

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1) <i>Corografia IGM</i>                    | <i>scala 1:25.000</i> |
| 2) <i>CTR Carta Tecnica Regionale</i>       | <i>scala 1:10.000</i> |
| 3) <i>Carta geologica di inquadramento</i>  | <i>scala 1:10.000</i> |
| 4) <i>Stralcio cartografia PAI</i>          | <i>scala 1:10.000</i> |
| 5) <i>Planimetria area di intervento</i>    | <i>scala 1:1.000</i>  |
| 6) <i>Foto aerea di dettaglio</i>           | <i>scala 1:5.00</i>   |
| 7) <i>Planimetria delle indagini</i>        | <i>scala 1:500</i>    |
| 8) <i>Sezione litostratigrafica</i>         | <i>scala 1:200</i>    |
| 9) <i>Stratigrafie sondaggi geognostici</i> |                       |
| 10) <i>Prova penetrometrica</i>             |                       |
| 11) <i>Indagini reperite</i>                |                       |
| 12) <i>Indagine geofisica (MASW e HVSR)</i> |                       |

## 1 PREMESSA

La presente indagine rientra nel novero degli elaborati tecnici che formano il progetto riguardante l'ampliamento del polo turistico ricettivo di Borgo Lanciano attraverso il raddoppio della superficie della SPA e l'incremento della capacità ricettiva con ulteriori 5 suites, che consentirà alla struttura esistente di raggiungere una maggiore attrattività ed un migliore posizionamento rispetto a strutture di livello simile.

A tal proposito, su incarico ricevuto dalla dott. Vittorina Nori Zuffellato, che agisce in nome e per conto della società Deltafin 21 Srl, è stato eseguito il presente studio per definire le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del sito oggetto di intervento e di un suo intorno significativo, al fine di predisporre, di concerto con i progettisti, un appropriato dimensionamento delle strutture sia in fondazione sia in elevazione.

Lo studio descrive, in ottemperanza alle normative vigenti per le edificazioni in zona sismica e secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, il quadro geologico generale della zona in cui ricade l'immobile in oggetto, illustrandone i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche di eventuali superfici di discontinuità, la successione litostratigrafica locale con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità, gli aspetti geomorfologici, nonché i processi morfologici ed i dissesti in atto e potenziali e la loro tendenza evolutiva; inoltre fornisce la descrizione della circolazione idrica superficiale e sotterranea e la definizione dei parametri fisico meccanici dei litotipi reperiti.

Per quanto riguarda il piano delle indagini specifiche sul terreno, viene definito

ed attuato sulla base delle caratteristiche geologiche generali della zona ed in funzione dei dati che è necessario acquisire per ottenere un'adeguata conoscenza delle caratteristiche geologiche locali, utili alla caratterizzazione ed alla modellazione geotecnica del sottosuolo. Queste informazioni consentiranno al progettista di verificare le interazioni tra terreno, strutture di fondazione ed in elevazione, permettendogli di stabilire l'effettiva incidenza sul locale contesto geologico e quindi programmare soluzioni progettuali tali da garantire fattibilità e sicurezza dell'intervento in oggetto.

Per ciò che concerne le verifiche agli stati limite dei terreni di fondazione, esse saranno oggetto di apposita relazione geotecnica la quale costituisce ulteriore elaborato strettamente correlato alla presente relazione.

Lo studio è articolato nelle seguenti fasi:

- reperimento dati esistenti;
- definizione del piano delle indagini da attuare sul terreno;
- rilievo in situ delle principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area di edificazione e di un suo intorno significativo;
- elaborazione del modello geologico e geomorfologico del sito in studio necessario alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio;
- ricostruzione della successione stratigrafica attraverso l'esecuzione di due sondaggi geognostici, il rilievo degli affioramenti esistenti e l'interpretazione di dati stratigrafici e geotecnici reperiti, forniti dai progettisti, riguardanti indagini eseguite nella stessa area per precedenti interventi edificatori;
- individuazione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni

ricavate dall'elaborazione dei dati in possesso dello scrivente relativamente a prove in situ e di laboratorio eseguite su campioni di terreno comparabili prelevati nelle aree limitrofe;

- definizione dell'azione sismica di progetto attraverso l'esecuzione di un'apposita indagine costituita da prospezioni di sismica passiva (HVSR) ed attiva (MASW).

Riguardo la programmazione delle indagini sul terreno, la tipologia e la loro disposizione planimetrica è stato fatto riferimento agli elaborati progettuali forniti dai tecnici dello studio Bizzarro & Partners srl.

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Lo studio è stato eseguito nel rispetto della normativa vigente in materia ed in particolare:

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974: *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- D.P.R. n° 380 del 6 giugno 2001: *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.*
- OPCM 3274 del 20/03/03: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica: Allegato 1 - classificazione sismica del territorio italiano.*
- Decreto Legislativo 152 del 3 aprile 2006 e s.m.i. - *Norme in materia ambientale.*
- Decreto 14 gennaio 2008: *Nuove norme tecniche per le costruzioni.*
- Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP.: *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*

- D.M. 17 gennaio 2018 *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*. (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Nota del C.S.LL.PP. n° 3187 del 21 marzo 2018: *Prima applicazione del DM 17.01.2018, riportante l'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", alle procedure autorizzative e di qualificazione del servizio tecnico centrale.*
- L.R. Marche n° 13 del 25 maggio 1999: *Disciplina regionale della difesa del suolo.*
- DGR Marche n° 116 del 21 gennaio 2004: *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI).*
- Regione Marche, L.R. 22 del 23/11/2011 - *Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle Leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile".*

Per quanto riguarda le relazioni specialistiche, di cui al capitolo C 10.1 punto 5.1 della Circolare n° 617/2009 sopra menzionata, nel presente elaborato sono ricomprese, nel rispetto di quanto dettato dall'Aggiornamento delle NTC 2018, le seguenti:

- relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1 delle NTC e § C 6.2.1 della Circolare );
- relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (§ 3.2 delle NTC e § C 3.2 della Circolare);
- relazione geotecnica sui risultati delle indagini e definizione dei valori

caratteristici dei parametri fisico-meccanici dei terreni (§ 6.2.2 delle NTC e § C 6.2.2 della Circolare ).

### 3 UBICAZIONE E RIFERIMENTI TOPOGRAFICI

L'intervento in oggetto interessa una porzione dell'area pianeggiante, posta ad una quota media di 340 metri slm, compresa all'interno della lottizzazione di località Piani di Lanciano, denominata *ATC 11 - Subambito A*. Topograficamente la zona ricade nel foglio 124 "Macerata", tavoletta IV S.O. "Castelraimondo", mentre catastalmente riguarda porzioni delle particelle n° 134 e 139 distinte al foglio 22.

Le coordinate geografiche (ED 50) baricentriche per l'identificazione sulla carta dell'area di intervento sono le seguenti:

latitudine Nord:	42,191342
longitudine Est:	13,039895

A tali coordinate si farà riferimento per la caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 della normativa e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento.

### 4 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO IN PROGETTO

L'immobile da realizzare consiste in un fabbricato con struttura portante in cemento armato, posto a nord e leggermente ruotato verso est rispetto al fabbricato che ospita la SPA, di cui rappresenta un ampliamento, con il quale si collegherà attraverso una reception e sala attesa. Esso è composto da un piano seminterrato, il cui ingombro è di circa 39 x 21 metri, adibito a centro benessere, locali tecnici e magazzino, a cui si sovrappone un piano terra, di minori dimensioni (31x14 metri), in cui trovano posto 5 suite.

L'intervento prevede un consistente sbancamento che condurrà il piano di calpestio della parte seminterrata circa alla stessa quota della piscina esistente.

## 5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

Sulla base delle caratteristiche dell'intervento in progetto, definibile a scarsa incidenza sul terreno, nonostante le dimensioni in pianta, e del rilievo delle condizioni geologiche e geomorfologiche della zona, acquisite con i necessari sopralluoghi effettuati, è stato stabilito il programma delle indagini idonee a definire le caratteristiche stratigrafiche, fisico meccaniche generali e sismiche relativamente al volume significativo di terreno interessato, utili a fornire dati adeguati per la progettazione.

Riguardo le indagini geognostiche e sismiche, esse hanno avuto inizio il 4 settembre 2018 e si sono concluse nello stesso giorno realizzando:

- n° 2 sondaggi geognostici
- n° 1 prova penetrometrica
- n° 1 stazione sismica (MASW)
- n° 1 stazione di rilievo di microtremori (HVSr)

Nei paragrafi che seguono vengono illustrate le principali caratteristiche dei lavori eseguiti; per le risultanze si rimanda ai rispettivi e successivi capitoli.

### 5.1 Rilevamento geologico-geomorfologico

Attraverso vari sopralluoghi sono state acquisite informazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche generali della zona di intervento nonché di un'adeguata area al contorno.

Tale passaggio, che rappresenta la prima e obbligata operazione da porre in essere, ha consentito di identificare: tipologia dei terreni affioranti, forme del paesaggio e dei depositi ad essi correlati, processi superficiali generati dai vari agenti naturali ed antropici, dinamica evolutiva dell'area. Ha altresì consentito di stabilire e posizionare quelle specifiche indagini geognostiche, geotecniche e geofisica necessarie a caratterizzare l'area di intervento.

### 5.2 Indagini geognostiche

Al fine di determinare la successione litostratigrafica dell'area di sedime

dell'edificio in progetto è stato ritenuto sufficiente, in relazione alle caratteristiche geologico-geomorfologiche locali, eseguire due sondaggi con apparecchiatura tipo trivelsonda utilizzando, in relazione ai terreni presenti, l'apparecchiatura appropriata (carotiere da 300mm) e perforazione continua a secco con estrazione delle carote ogni 50 cm di avanzamento. Durante le fasi lavorative non sono stati riscontrati fenomeni di franamento delle pareti del foro, non essendo altresì necessario impiegare tubazioni metalliche di rivestimento provvisoria del perforo.

### **5.3 Indagine geotecnica**

Per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei litotipi investigati è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica nonché reperite delle prove penetrometriche dinamiche realizzate dal geol. Giovanni Boldrini nell'ambito della progettazione dei fabbricati limitrofi.

### **5.4 Indagine geofisica**

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità del bedrock geofisico, non sempre coincidente con quello stratigrafico, stimando altresì la velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino al raggiungimento del substrato sismico ( $V_{S,eq}$ ); qualora questo risultasse a profondità superiori a 30 metri la velocità delle onde di taglio sarà definita dal parametro  $V_{S30}$ . Ciò è necessario per la definizione del suolo di fondazione sulla base del D.M. 17 gennaio 2018, il quale fornisce i criteri progettuali generali in materia antisismica.

Per valutare gli effetti dell'azione sismica è stata eseguita una prova geofisica attiva, cioè con perturbazione sismica generata artificialmente, definita MASW nonché una passiva la quale, attraverso la registrazione del *rumore sismico ambientale*, detto anche *microtremore*, consente di misurare la frequenza fondamentale del terreno.

#### **5.4.1 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**

Il metodo si basa sulla misura e sull'analisi delle onde che si propagano sulla superficie terrestre (onde di Rayleigh). Queste, generate in modo artificiale nel terreno (semispazio stratificato) attraverso l'uso di un energizzatore ad impatto verticale (perpendicolare al terreno), vengono registrate da un sismografo attraverso un dispositivo lineare di sensori sismici (geofoni) posti sul terreno.

Si tratta di una tecnica d'indagine geofisica non invasiva (non necessita di perforazioni o scavi) che permette di definire, con opportune elaborazioni, il profilo verticale di velocità (V) delle onde di taglio (onde S) e quindi caratterizzare il terreno secondo le NTC 2018.

Quando si energizza il sito di indagine in un punto della sua superficie libera, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh e onde rifratte; se la sorgente è parallela si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH e onde di Love.

Nel metodo MASW si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV, poiché intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente su quello delle altre onde. Il primo è che le onde Rayleigh trasportano circa i 2/3 dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, poiché si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

Come già detto le onde di Rayleigh viaggiano in prossimità della superficie terrestre in una fascia profonda circa 1÷2 volte la lunghezza d'onda. Poiché sono dispersive, nel senso che componenti del segnale a lunghezza d'onda differente si propagano a diversa velocità in funzione delle caratteristiche del mezzo attraversato: componenti ad alta frequenza (breve lunghezza d'onda), più lente, permettono d'investigare gli strati più superficiali mentre quelle a bassa frequenza

(lunghezza d'onda maggiore), generalmente con velocità di propagazione maggiore, forniscono informazioni sugli strati più profondi.

Questo metodo ha il vantaggio di superare i problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici, nonché gli inconvenienti legati alla presenza della falda.

L'attrezzatura di prova consiste in:

- sismografo digitale a 12-24 canali;
- 12-24 geofoni verticali (o accelerometri) a frequenza propria uguale o inferiore a 4.5 Hz disposti ad interasse costante, normalmente compreso tra 0,5 e 3m;
- sorgente dell'impulso costituita da mazza battente (5-10 Kg) con piastra di ripartizione appoggiata al suolo, oppure energizzatori impulsivi oleopneumatici e/o a gravità, fucili sismici, ecc.. da scegliere in funzione della scala delle indagini.

Laddove possibile la prova può essere eseguita lungo due stendimenti ortogonali tra loro, spostando altresì la sorgente dell'impulso ai due estremi dello stendimento con almeno 3 misure per ogni lato.

Gli obiettivi dell'acquisizione sono quelli di fornire dati relativi alla propagazione di onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di descrivere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di

campionamento deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia della frequenza più alta da registrare).

Le informazioni sulla velocità delle onde di taglio  $V_s$  del sito fornite sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità.

#### **5.4.2 Frequenza fondamentale del sito**

La misura della frequenza fondamentale del sito viene eseguita mediante metodologia sismica passiva (HVSR) che prevede la registrazione del *rumore sismico ambientale*, sempre presente nel sottosuolo e detto anche *microtremore* in quanto riguarda oscillazioni molto piccole, inferiori di molti ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti.

La composizione del *rumore sismico ambientale* è data da una combinazione di onde di volume e onde superficiali, provenienti da sorgenti sia vicine che lontane (generati da fenomeni naturali, come vento ed onde marine, e dalle attività antropiche), ed i metodi che si basano sull'acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non viene generato ad hoc, tramite esplosioni e/o colpi sul terreno, come invece nel caso della sismica tradizionale attiva.

Il campo d'onda di cui è costituito il *microtremore* dipende sia dalle proprietà della singola sorgente, sia dalla posizione relativa fra la sorgente e il ricevitore e, infine, dalle caratteristiche del sottosuolo attraversato; se le sorgenti sono indipendenti e distribuite in modo statisticamente uniforme attorno al punto di misura, allora la parte persistente del campo d'onda sarà quella associata alle sole caratteristiche comuni a tutti i treni d'onda registrati, ovvero alle caratteristiche strutturali del terreno.

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è sostanzialmente un sismografo di dimensioni molto contenute, comprendente tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), progettato specificamente per le acquisizioni di *microtremori* all'interno

di un range di frequenze compreso tra 0.1 e 400 Hz

Il metodo di indagine utilizzato (tecnica dei rapporti spettrali o HVSR) è quello dell'acquisizione in stazione singola del segnale sismico ambientale e del calcolo dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (rapporto H/V). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Questa tecnica di acquisizione non necessita di nessun tipo di perforazione, stendimenti di cavi e di energizzazione esterne ed è utilizzabile ovunque consentendo di monitorare le situazioni più disparate e garantendo allo stesso tempo la massima efficienza di esecuzione della campagna di misura.

## **6 MODELLO GEOLOGICO**

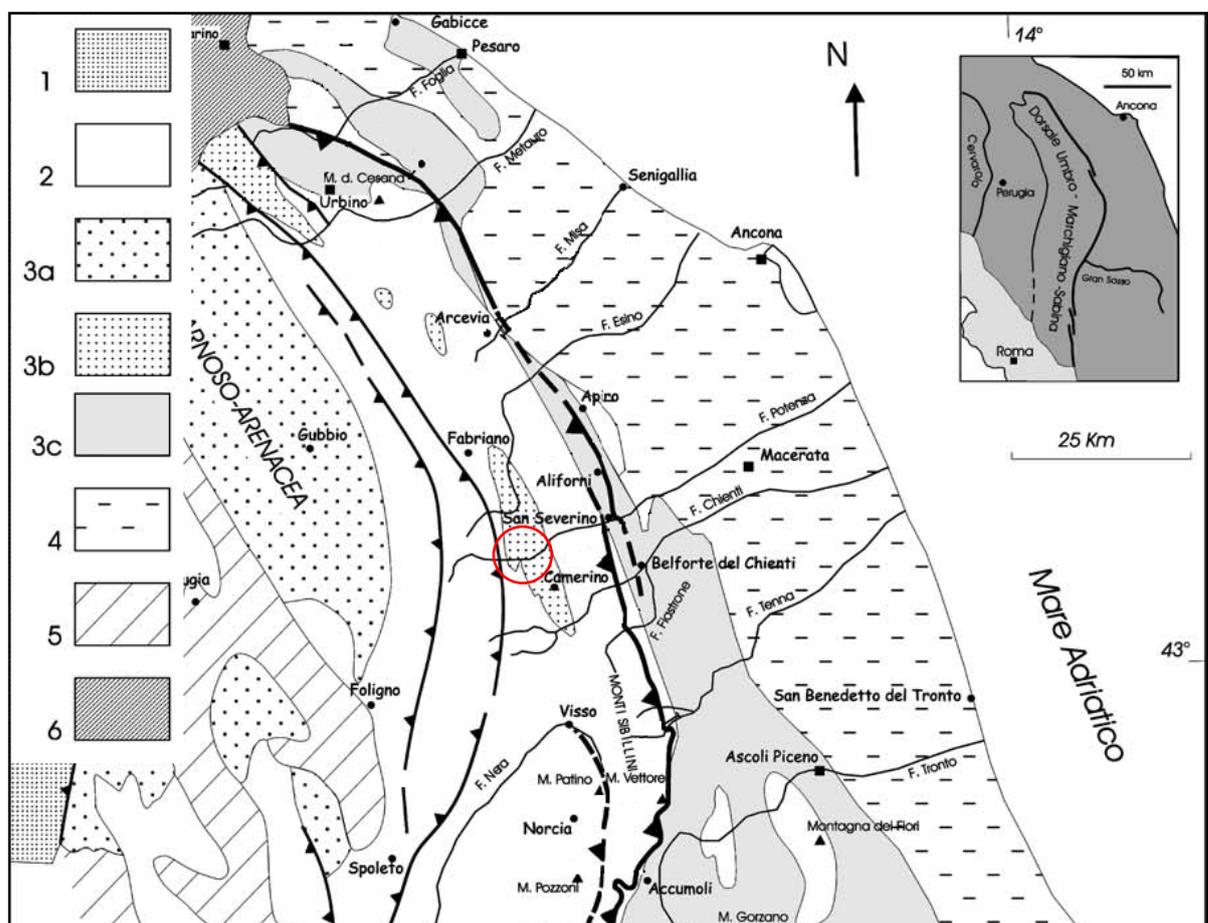
A partire dai caratteri geologico strutturali regionali, utili per comprendere la distribuzione dei terreni in affioramento e nel sottosuolo così come le loro caratteristiche intrinseche, vengono analizzati tutti gli aspetti utili alla caratterizzazione di una zona significativamente ampia, in relazione al tipo di opera in progetto ed al contesto geologico in cui questa si colloca, ricostruendone i caratteri litologico-strutturali, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e, più in generale, di pericolosità geologica.

### **6.1 Inquadramento geostrutturale dell'area**

La conformazione geologica della zona in studio è data da un substrato costituito da depositi marini emipelagici e torbiditici silico-clastici, di età miocenica, rappresentati dalla Formazione delle Arenarie di Camerino composta da alternanze di strati pelitici (argille ed argille siltose) ed arenacei organizzati in rapporti di continuità, sia laterale che verticale, abbastanza variabili e cartografati raggruppati in associazioni distinte, come si può osservare nella carta geologica allegata,

secondo la prevalenza del litotipo (Ass.arenacea, arenaceo-pelitica ecc.).

In particolare si distinguono pacchi di strati appartenenti all'Associazione arenaceo-pelitica, rappresentata da litotipi prevalentemente arenacei con in subordinate intercalazioni di strati di argille siltose, alternati a pacchi di strati dell'Associazione pelitico-arenacea in cui alle prevalenti litologie argilloso siltose si intercalano strati di arenarie. Tali depositi risultano sovraconsolidati (argille) e da mediamente a ben cementati (arenarie).



**Figura 1:** Schema geologico dell'area Marchigiana (da DEIANA *et alii*, 2002 - modificato). 1) Unità del Monte Falterona-Trasimeno. 2) Successione bacinale calcarea, calcareo-marnosa e marnosa o successione di piattaforma carbonatica/scarpata (Trias superiore-Miocene *p.p.*); 3) Depositi torbiditici silicoclastici miocenici del Preappennino (3a: Burdigaliano *p.p.*- Tortoniano *p.p.*), intrappenninici (3b: Serravalliano *p.p.*-Messiniano *p.p.*) e del Pedappennino (3c: Messiniano); 4) Successione plio-pleistocenica periadriatica; 5) Depositi plio-quadernari marini o continentali post-orogenici e vulcaniti della provincia laziale; 6) Colata della Val Marecchia. Il sovrascorrimento del fronte montuoso umbro-marchigiano è rappresentato con triangoli e linea con tratto spesso, mentre triangoli e linee con tratto sottile rappresentano sovrascorrimenti minori. Il cerchio rosso indica l'area in studio.

L'assetto giaciturale degli strati, come si può vedere negli affioramenti

all'intorno dell'area in esame, risulta con direzione da N-S a N10-20E ed immersione ad est con 15-20° di pendenza.

Il substrato è luoghi ricoperto da una coltre detritica quaternaria il cui spessore varia in relazione alla morfologia. Questa è formata prevalentemente da depositi eluvio-colluviali ed in subordine da depositi di frana sia antichi che recenti, nonché dai depositi alluvionali appartenenti al III e IV ordine dei terrazzi del fiume Potenza e del Torrente Rio. I primi due tipi di deposito sono generalmente costituiti da litologie fini (limi sabbiosi e limi argillosi) con elementi clastici arenacei sparsi e caratterizzano la porzione medio bassa dei versanti collinari in sinistra idrografica del fiume Potenza. I depositi alluvionali, invece, sono costituiti per la maggior parte da ghiaie a prevalente litologia calcarea ed a granulometria medio-fine, immerse in matrice sabbioso-limosa, al cui interno si intercalano livelli e lenti limoso-sabbiose e sabbiose di differente spessore e continuità laterale.

Relativamente all'area oggetto del presente intervento, questa è caratterizzata dai depositi alluvionali terrazzati del III ordine, di spessore consistente (compreso tra 10 e 20 metri), situati ad una quota media di circa 25 metri dal talweg attuale del fiume Potenza, poggiati in discordanza angolare sul substrato sovraconsolidato e parzialmente ricoperti da un sottile strato di depositi eluvio-colluviali e terreno vegetale.

Da un punto di vista tettonico nella zona non si riconoscono tracce importanti di faglie antiche né, tanto meno, evidenze di attività tettonica recente che possano indicare riattivazioni di strutture tettoniche sepolte.

## **6.2 Litostratigrafia**

La locale sequenza litostratigrafica viene ricostruita nel dettaglio sulla base dei dati ricavati da due sondaggi geognostici ad uopo eseguiti. In particolare, al di sotto di un variabile spessore di terreno naturale riportato, contenente elementi lapidei naturali sparsi e proveniente dagli scavi eseguiti per la realizzazione delle strutture

ed infrastrutture esistenti, sono stati distinti i seguenti tipi litologici:

**Depositi alluvionali:** sono formati da ghiaie, alla granulometria del ciottolo medio (prevalente) e medio grossolano, in matrice sabbiosa e limosa, talora abbondante, con la caratteristica stratificazione determinata dalla tipologia dell'ambiente di sedimentazione. Si presentano sciolti e molto addensati, con elementi clastici di natura prevalentemente calcarea e calcareo-marnosa, in subordinatamente selcifera, da arrotondati a ben arrotondati e caratterizzati da un buon indice di appiattimento. All'interno di questo deposito si rinviene un livello di limi sabbioso argillosi, di 5 metri di spessore, di colore prevalentemente grigio, umidi ed a consistenza plastica. Lo spessore totale del deposito è superiore a 20 metri.

### **6.3 Geomorfologia e stabilità dell'area**

L'aspetto morfologico locale, caratterizzato da forme abbastanza dolci, è guidato dal complesso degli elementi strutturali e litologici del substrato e dall'azione di erosione e deposito del fiume Potenza e dei fossi Rio e Cimarolo, che determinano un paesaggio in cui non si hanno evidenze di forme particolari.

Le principali forme naturali sono rappresentate dalla piana alluvionale del III ordine del fiume Potenza, bordata a sud e ad est da scarpate fluviali prevalentemente inattive, che si raccorda a nord con versanti collinari i quali, formati da alternanze di pacchi di strati dell'Associazione arenaceo-pelitica e dell'Associazione pelitico-arenacea, sono articolati da scarpate strutturali smussate di varie altezze.

I processi morfologici attivi più importanti rilevati nella zona sono rappresentati da frane, recenti attive ed antiche quiescenti, e soliflussi che interessano i depositi di copertura presenti lungo i versanti suddetti. Tuttavia tali dissesti non interessano l'area in parola, essendo la stessa ricadente nella piana alluvionale, ne un suo immediato intorno significativo.

Agli elementi morfologici anzi descritti si accompagnano numerose forme minori rappresentate prevalentemente da scarpate di varie altezze e dimensioni e ripiani di genesi antropica in quanto la zona, abitata fin da tempi remoti, risulta interessata da un'intensa attività agricola e da una recente attività edilizia che hanno prodotto il rimaneggiamento della morfologia naturale, modificando e/o cancellando gli elementi e le forme minori.

In definitiva, riguardo le condizioni di stabilità, l'indagine eseguita non ha evidenziato processi morfologici destabilizzanti attualmente attivi, né sono state rilevate testimonianze di recenti attività che possano indicare l'area a pericolosità geologica e/o geomorfologica.

#### **6.4 Idrografia e idrogeologia**

In stretto rapporto con i depositi sopra descritti, le caratteristiche idrografiche ed idrogeologiche salienti della zona dipendono dalla presenza di un substrato poco permeabile, ricoperto lungo l'asse della vallata da spessori talora notevoli di depositi quaternari, e dalle caratteristiche della morfologia sepolta.

Nei paragrafi che seguono vengono illustrate le caratteristiche idrografiche dell'area in studio, le emergenze idriche naturali, nonché il ruolo idrogeologico dei vari litotipi riconosciuti.

##### **6.4.1 Idrografia**

L'elemento principale del reticolo idrografico è rappresentato dal fiume Potenza che rispetta il tipico regime torrentizio con piene accentuate durante i periodi invernali e primaverili e scarse portate nel resto dell'anno.

Il reticolo secondario si sviluppa perpendicolarmente all'asta fluviale principale, mostrando caratteri di estrema stagionalità con i fossi attivi solamente nei periodi invernali e di inizio primavera e, nel resto dell'anno, in occasione di piogge particolarmente intense. Per ciò che concerne l'area in studio, esso è poco o nulla

sviluppato in relazione alla presenza dei depositi alluvionali che permettono il rapido drenaggio in profondità delle acque di pioggia.

Riguardo l'influenza del reticolo idrografico sull'area di intervento, la distanza e il dislivello con l'alveo del fiume Potenza nonché il dislivello con l'alveo del Rio Cimarolo e l'assenza di linee di scorrimento minori fanno sì che la stessa non possa essere interessata da fenomeni di esondazione.

La regimazione delle acque di scolo è assolta da opere di canalizzazione antropica definitive (canalette ed attraversamenti stradali) realizzate per la lottizzazione.

#### **6.4.2 Idrogeologia e piezometria**

Il quadro idrogeologico generale della zona non rivela la presenza di emergenze idriche, mentre è stata riscontrata l'esistenza di un pozzo in disuso, che andrà smantellato definitivamente a seguito della realizzazione dell'opera in progetto, dove è stato possibile misurare la profondità della falda che, nel caso particolare, è risultata essere a 17,7 metri dal p.c..

#### **6.4.3 Permeabilità**

Rappresenta la proprietà dei terreni a lasciarsi attraversare dall'acqua e quindi esprime la capacità di drenare le acque di pioggia e di far defluire quelle sotterranee. Riguardo tale caratteristica i litotipi riconosciuti possono essere così descritti:

- **Depositi alluvionali:** si possono classificare nel complesso come "*terreni ad elevata permeabilità*" ( $\sim 10^{-2}$  m/sec) in quanto costituiti da materiali prevalentemente ghiaiosi ed in subordine da sabbie. La presenza di lenti e livelli di materiali fini (commistioni di limi, argille e sabbie), di vario spessore ed estensione areale, così come l'abbondanza di matrice a granulometria fine possono far diminuire localmente e drasticamente la permeabilità sia in

senso laterale che verticale dando talora luogo all'esistenza di piccole falde sospese ma molto limitate nel tempo.

## 7 MODELLO GEOTECNICO

Dalle indagini geognostiche eseguite e da quelle reperite per studi relativi alla costruzione dei fabbricati limitrofi, è stato possibile effettuare la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo che viene riportata nelle relative sezioni allegate.

Al di sotto dello strato di terreno riportato, reperibile sino alla profondità massima di 4,6 metri, si rinvengono i depositi alluvionali ghiaiosi a litologia calcarea ed a granulometria grossolana con intercalato un livello limoso sabbioso posto a profondità compresa tra 9,5 e 14,5 metri dal p.c..

### 7.1 *Principali caratteristiche geotecniche*

Ai fini della redazione della relazione geotecnica vengono appresso riportati i **parametri fisico-meccanici** medi ricavati dalle indagini geotecniche speditive eseguite durante l'esecuzione dei sondaggi e delle prove penetrometriche, da dati provenienti da indagini realizzate dal sottoscritto nelle zone limitrofe per altri lavori, nonché da indagini relative alle costruzioni limitrofe messe a disposizione dal progettista. Questi dati sono stati rielaborati, confrontati ed integrati con dati provenienti dalla bibliografia.

Di seguito si riassumono i principali parametri delle tipologie di terreno reperito:

- **Depositi alluvionali grossolani:** composti prevalentemente da ghiaie in matrice sabbiosa e limosa talora abbondante, da mediamente a fortemente addensate:

$\gamma$	= peso di volume	= 1,9 – 2,2	g/cm <sup>3</sup>
$\phi$	= angolo d'attrito	= 31° - 37°	
Dr	= grado di addensamento	= 60 - >85 %	
E'	= modulo elastico	= 400 - 560	kg/cm <sup>2</sup>
K <sub>0</sub>	= modulo di reazione	= 7,9 - >10	
$\nu$	= modulo di Poisson	= 0,30	

- **Depositi alluvionali fini:** si tratta in prevalenza di limi sabbiosi ed argillosi a consistenza plastica che costituiscono un livello di 5 metri di spessore contenuto all'interno dei depositi alluvionali grossolani:

$\gamma$	= peso di volume	= 1,8 - 1,9	g/cm <sup>3</sup>
$\phi$	= angolo d'attrito	= 21°	
Dr	= grado di addensamento	= 35%	
Cu	= coesione non drenata	= 1 - 1,5	Kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>ed</sub>	= modulo edometrico	= 40 - 60	Kg/cm <sup>2</sup>
$\nu$	= modulo di Poisson	= 0,4	

## 7.2 Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici

Riguardo ai depositi alluvionali grossolani, che costituiranno il terreno di appoggio per le strutture di fondazione, viene eseguita l'elaborazione dei parametri geotecnici nei modi espressi nelle tabelle allegate secondo il concetto dei valori caratteristici e riportati in termini statistici, considerando una distribuzione normale per  $\phi$  e una distribuzione log-normale per  $c$ ,  $cu$  ed  $E$  come 5° percentile dei valori geotecnici individuati: (**Tabella 1 e 2** - *Proprietà indice e caratteristiche meccaniche dei depositi alluvionali grossolani – Valori caratteristici e di progetto*)

Appresso si riassumono i principali valori geotecnici elaborati, precisati in caratteristici (**Xk**) e di progetto (**Xd**).

### Litotipo 1: Depositi alluvionali ghiaiosi

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $Cu$ ) (fondazioni superficiali, con B grande)

	G	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	K <sub>o</sub>	$\phi$	E' (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Xk</b>		2,08	9,1	34,3	414,67
<b>Xd</b>		2,08	9,1	28,62	296,19

Per **PICCOLI** volumi di rottura e distribuzione normale ( $\phi$ ) e distribuzione log-normale ( $Cu$ ) (piccoli plinti, pali, in situazioni di rottura locale)

	G	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	K <sub>o</sub>	$\phi$	E' (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Xk</b>		2,08	9,1	33,12	351,36
<b>Xd</b>		2,08	9,1	27,56	250,97

## 8 MODELLO SISMICO

La **sismicità** (frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti) è una caratteristica fisica del territorio della quale bisogna tener conto e con la quale ci si deve confrontare. Conoscendo frequenza ed energia (magnitudo) dei terremoti che hanno caratterizzato una data area ed attribuendo un valore di probabilità al verificarsi di un nuovo evento sismico di una certa magnitudo, in un certo intervallo di tempo, possiamo distinguere e definire vari gradi di **pericolosità sismica** di un territorio. Pertanto un territorio rispetto ad un altro avrà una pericolosità sismica tanto più elevata quanto più probabile sarà, a parità di intervallo di tempo considerato, il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo.

Nell'ambito della realizzazione di opere che incidano a qualsiasi livello sul terreno, risulta fondamentale conoscere approfonditamente le caratteristiche del territorio, a partire da quelle geologico-strutturali e sismiche che comprendono sia la conoscenza delle faglie capaci di generare terremoti, sia la distribuzione storica ed areale degli eventi sismici passati. Non di minore importanza sono poi le informazioni di dettaglio relative alle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e geotecniche del sito di intervento; queste sono oltremodo utili a stabilire l'eventualità che si possano sviluppare deleteri effetti locali nella propagazione delle onde sismiche tali da produrre amplificazioni, anche notevoli, del moto del suolo, liquefazioni dei terreni e fenomeni di instabilità.

### 8.1 *Caratterizzazione sismica dell'area*

Le attuali conoscenze circa l'individuazione delle sorgenti sismiche capaci di generare terremoti potenzialmente distruttivi hanno prodotto la realizzazione, da parte dell'INGV, del "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2.1", dove sono censite tutte le sorgenti sismiche ad ora conosciute relativamente all'intera penisola italiana (nella seguente fig. 2 si allega lo stralcio cartografico riguardante l'area umbro-marchigiana) aventi  $M_w$  superiore a 5,5.

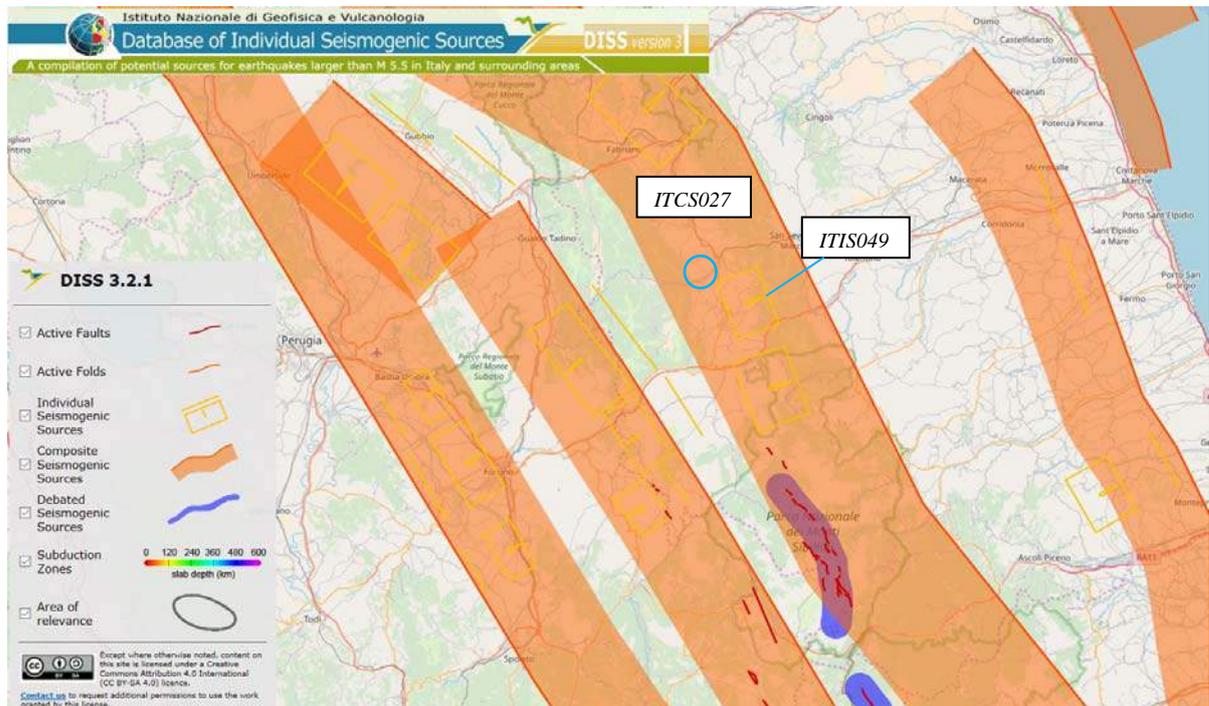


Figura 2: Mappa delle aree sismogenetiche nell'area marchigiana – Database DISS 3.2.1 dell'INGV. Le linee rosse indicano le faglie attive; i rettangoli gialli con la relativa linea parallela gialla rappresentano le singole sorgenti sismogenetiche e la proiezione in superficie della faglia associata; le linee e le relative fasce arancioni descrivono strutture comprendenti un numero imprecisato di sorgenti individuali non meglio definite. Le sigle *ITIS* = *Sorgente sismogenetica individuale* e *ITCS* = *Sorgente sismogenetica composta*. Il cerchio celeste indica la zona in studio (DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1)

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS027		
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga		
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	17-May-2012		
Related sources	<a href="#">ITIS058</a> <a href="#">ITIS047</a> <a href="#">ITIS048</a> <a href="#">ITIS049</a> <a href="#">ITIS055</a> <a href="#">ITIS135</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 3: scheda contenente le caratteristiche delle sorgenti sismogenetiche che interessano direttamente l'area in studio.

Concettualmente comprende le strutture primarie, quelle cioè che si prendono carico della maggior parte della deformazione tettonica causando i terremoti principali e il relativo scuotimento.

In riferimento al suddetto DISS 3.2.1, si osserva che l'area interessata ricade dentro la zona sismogenetica *Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga* (ITCS027),

che, caratterizzata nella figura 3 e vista come la parte orientale di tutto il sistema estensionale SW-immersa dell'Appennino centrale, risulta composta da un numero imprecisato di sorgenti sismiche individuali, distribuite lungo un allineamento ben definito. L'area risulta anche in prossimità della sorgente sismica puntuale denominata *Camerino* (ITIS049).

Questa fascia, corrispondente alla più esterna tra le zone sismogenetiche dell'Appennino umbro-marchigiano, è stata interessata in tempi storici da vari terremoti distruttivi. Ovviamente anche i terremoti che si verificano sia in ambiente appenninico interno sia costiero fanno risentire anche qui, seppur con minore intensità rispetto all'epicentro, i loro effetti.

## **8.2 Attività sismica storica**

Conoscere la storia sismica del proprio territorio non rappresenta un puro argomento culturale, ma un presupposto imprescindibile, necessario a fissare il concetto che i terremoti non sono solo parte della storia (spesso dimenticata) ma che essi si ripeteranno, con tempi di ritorno più o meno lunghi, nel futuro. Gli eventi recenti hanno messo in evidenza come gran parte dei danni subiti dagli edifici derivi non soltanto dal mancato impiego di accorgimenti costruttivi dettati dalle norme di buona pratica edile e/o dalla trascurata applicazione delle prescrizioni di legge in materia, ma anche da una insufficiente o disinteressata conoscenza delle caratteristiche del terreno in cui essi sono fondati e del contesto geologico-geomorfologico in cui si inseriscono. Questo modo di operare, invero, è il frutto di un impoverimento culturale prima e materiale poi, che ci fa dimenticare che le catastrofi naturali possono ripetersi. Nel caso particolare la conoscenza storica dei terremoti (ubicazione, cadenza temporale, potenza, area investita, ecc.) rappresenta il punto di partenza per un'analisi di pericolosità sismica finalizzata ad una valutazione del rischio sismico cui un territorio è soggetto; ciò contribuisce altresì ad essere preparati ad affrontare questi eventi ed a comprendere che la

sicurezza non è un obbligo ma un sicuro investimento per il futuro.

La sismicità che interessa attualmente l'Appennino centrale, e quindi anche la zona in oggetto, è prevalentemente legata a processi di estensione crostale che, con un movimento orientato NE-SW, si esplica mediante deformazioni lungo faglie disposte a direzione NW-SE. Il tasso di spostamento, misurato grazie ad una fitta rete Gps realizzata dall'INGV, è di qualche millimetro all'anno (1–3 mm), ma ad oggi non si conosce ancora quanta di questa deformazione viene rilasciata con spostamenti asismici e quanta con forti terremoti. Questi ultimi hanno recentemente interessato vaste porzioni dell'appennino [Valnerina 1979, Irpinia-Basilicata 1980, Umbria-Marche 1997, Aquilano 2009, Emilia 2012] con sequenze che spesso hanno perdurato per parecchi mesi. Attualmente è ancora in corso lo sciame sismico che, iniziato il 24 agosto 2016 con la distruzione di Amatrice, sta interessando una vasta zona compresa tra Abruzzo-Lazio-Umbria-Marche con eventi che hanno raggiunto la magnitudo di 6.5 (30 ottobre 2016), coinvolgendo pesantemente anche il territorio comunale di Castelraimondo.

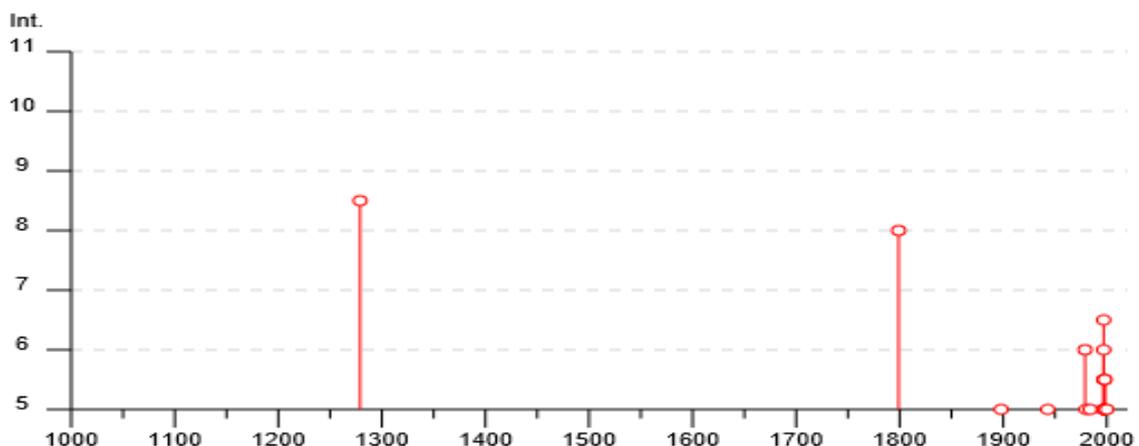


Figura 4: sequenza storica dei terremoti occorsi e risentiti nella zona di Castelraimondo aventi  $I_s > 5$  (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>)

Le conoscenze storiche locali collegate ad eventi sismici iniziano solo a partire dal 1279 (figura 4 – Tabella 1). Queste riferiscono che la zona non è stata sede di

epicentri sismici, ma che i terremoti di una certa rilevanza che hanno interessato il territorio negli ultimi 740 anni circa, sono il frutto di eventi collegati ad importanti terremoti aventi per lo più epicentro nell'Appennino centrale e quindi esterni all'area in oggetto.

Oltre alla documentazione storica anche i dati geologici di superficie indicano come ad oggi non sia realistico ipotizzare per la zona in studio strutture sismogenetiche capaci di produrre terremoti distruttivi con associati fenomeni di fagliazione superficiale.

La seguente tabella 1 riassume gli eventi più importanti che hanno interessato il territorio comunale con l'esclusione delle cosiddette "repliche", ovvero scosse registrate entro 90 giorni e ad una distanza di 30 km dall'epicentro di un evento individuato come principale all'interno di una sequenza. Tra questi vale la pena ricordare quelli distruttivi del 1279 e 1799 con epicentro nel camerinese.

Terremoti al di sopra della soglia di danno accaduti o risentiti nella zona di Castelraimondo (1279-2014)										
Numero totale degli eventi: 10										
Effetti	Terremoti									
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	Area epicentrale	nMDP	Io	Mw
8-9	1279	04	30	18	00		Camerino	17	9	6.20
8	1799	07	28	22	05		Appennino marchigiano	71	9	6.18
5	1898	11	27	01			San Ginesio	25	5-6	4.39
5	1943	10	03	08	28	29	Ascolano	170	8	5.67
6	1979	09	19	21	35	37	Valnerina	694	8-9	5.83
6	1980	02	28	21	04	40	Valnerina	146	6	4.97
5	1984	04	29	05	02	60	Gubbio/Valfabbrica	709	7	5.62
6	1997	09	26	09	40	27	Appennino umbro-march.	869	8-9	5.97
5	1998	03	26	16	26	17	Appennino umbro-march.	408	6	5.26
5	2000	09	02	05	17	02	Appennino umbro-march.	115	5	4.40

Tabella 1: terremoti al di sopra della soglia di danno risentiti nella zona di Castelraimondo (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15- modificato*)

Is=intensità localmente risentita; nMDP=numero di osservazioni; Io=Intensità epicentrale; Mw=magnitudo momento

Recentemente, la crisi sismica del 1997 registrata nell'appennino umbro-marchigiano ha provocato numerosi e diffusi danneggiamenti, anche se con livelli non elevati, per lo più al patrimonio edilizio vetusto. Riguardo, invece, la sequenza sismica che ha prodotto gli eventi dei giorni 24 agosto 2016 (Mw massima di 6.01), 26 ottobre (Mw massima di 5.9) e 30 ottobre (Mw massima di 6.5), si rileva un livello di danneggiamento diffuso con danni riferibili a fenomeni di intensità **Is** valutabile superiore a 8. Questi danneggiamenti hanno interessato anche edifici recenti, specialmente laddove le particolari condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche hanno dato luogo a fenomeni di amplificazione sismica. A tal proposito si evidenzia che la scossa avvenuta il 30 ottobre nella zona a Sud-Est di Norcia (magnitudo 6,5), rappresenta l'evento più violento avvenuto in Italia a partire dal 1980, ossia dal terremoto che colpì l'Irpinia.

### 8.3 Classificazione sismica comunale e pericolosità sismica di base

Il comune di Castelraimondo è classificato sismico fin dal 1983 a seguito del DM 10 febbraio 1983 che, emanato ai sensi della legge sismica 64/74, lo includeva nella seconda categoria di sismicità (grado di sismicità S=9) su una base di 3 gradi istituiti a livello

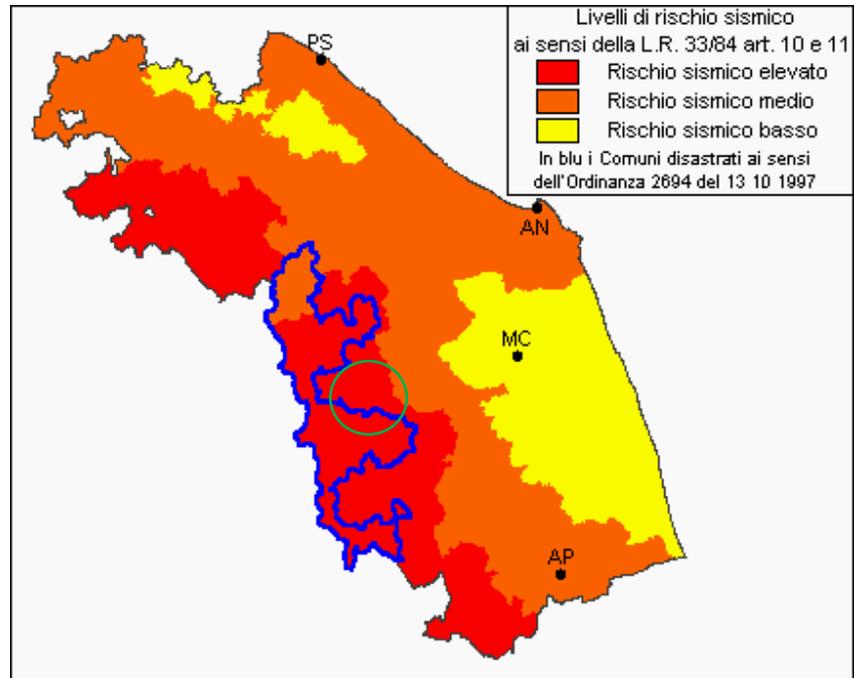


Figura 5: Il cerchio verde comprende il territorio comunale di Castelraimondo

nazionale (alta S=12, media S=9 e bassa sismicità S=6). In conseguenza di questa

classificazione la Regione Marche ha emanato la L.R 33/1984 “Norme per le costruzioni in zona sismica” a cui ha fatto seguito la Circolare 15/1990 che classificava i comuni della regione su tre livelli di rischio sismico, A (elevato) , B (medio), C (basso) come rappresentati in figura 5, facendo ricadere il comune di Castelraimondo nel livello di rischio elevato.

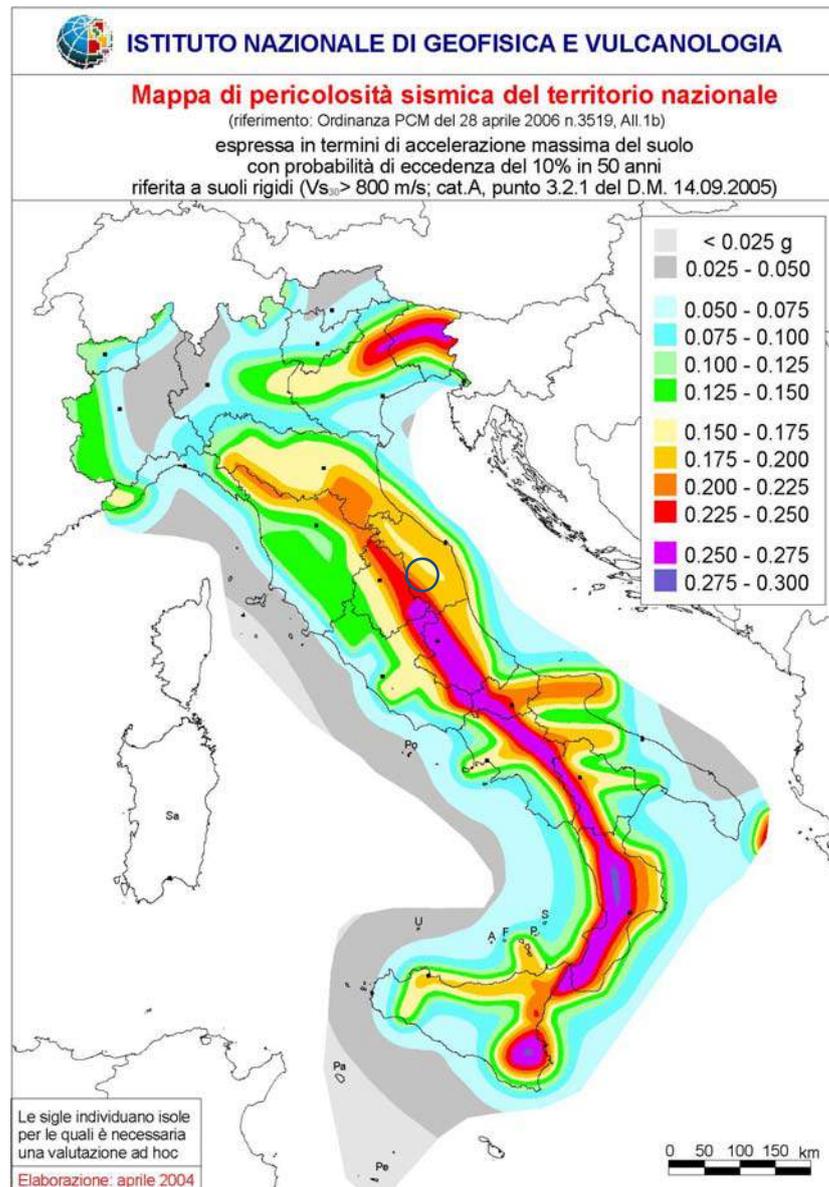


Figura 6: Il cerchio blu indica il territorio comunale Castelraimondo

Successivamente, l’aggiornamento della classificazione sismica nazionale, stabilita con Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Marche con

DGR 1046 del 29.07.2003 e aggiornata con DGR 136 del 17.02.2004, distingue il comune nella Zona 2, come riportato graficamente nella mappa di cui all'allegato B dell'Ordinanza 3519 del 28.04.2006 (fig. 6), assegnando poi con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 - allegato 7, un valore di base di accelerazione massima del suolo  $a_g$  pari a 0,191946.

Relativamente alle costruzioni, l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione dalle NTC 2018, viene definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Questa si può ritenere precisata quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti in condizioni di campo libero su suolo rigido ( $V_s > 800$  m/s), con superficie topografica orizzontale.

Le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri valutati in condizioni ideali di sito, come definiti nell'Allegato A alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima (espressa in g/10);

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale);

$T^*_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi).

I valori di questi parametri vengono forniti dall'Allegato B delle NTC08, per 10.751 punti che definiscono i nodi di un *reticolo di riferimento*, a maglia quadrata con lato di circa 10 km, in cui è suddiviso tutto il territorio nazionale.

Poiché la stima dei parametri spettrali deve essere effettuata direttamente per il sito in esame, qualora questo non ricada in uno dei suddetti nodi del *reticolo di riferimento*, i valori possono essere calcolati, attraverso l'espressione [3] dell'allegato A del D.M. 14/01/2008, come media pesata dei valori assunti da tali

parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

#### **8.4 Risposta sismica e stabilità del sito**

Come detto i valori dei parametri sopra elencati derivano da situazioni geologiche equivalenti ad un sito con assenza di effetti locali, ovvero con presenza di substrato sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti. Nella realtà il moto generato da un sisma in un determinato sito dipende anche dalle sue particolari condizioni locali cioè: conformazione morfologica (superficiale e sepolta), variabilità dell'assetto stratigrafico dei terreni e degli ammassi rocciosi e delle relative proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, caratteristiche idrogeologiche, presenza di cavità. Questi elementi, laddove assumono connotazioni particolari, possono modificare la propagazione di un segnale sismico, generando nell'area di nostro interesse amplificazioni o deamplificazioni del moto del suolo (*pericolosità sismica locale*) e/o ulteriori elementi di pericolo per la stabilità del sito come liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, compattazione dei terreni granulari non saturi, fenomeni di instabilità dei pendii, sia rapidi (crolli e colate) sia lenti (scivolamenti e deformazioni plastiche), e subsidenza.

Quindi per ciascun sito dovranno essere valutati gli effetti generati dalla propagazione dell'onda sismica tramite specifici studi di *risposta sismica locale*, nonché esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di instabilità o di grandi deformazioni (vedi Cap. 7.11.3 delle NTC 2018).

Tuttavia, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni non assumano particolari connotazioni di variabilità, in alternativa agli studi di *risposta sismica locale*, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II) e sulle condizioni topografiche (Tab. 3.2.III) verificando:

- la categoria di suolo di fondazione mediante la stima del parametro  $V_{s,eq}$ , e di conseguenza la valutazione dell'incremento sull'azione sismica (tabella 3.2.IV, Cap 3.2 D.M. 17/01/2018);
- la categoria topografica ed il relativo coefficiente di amplificazione (tabelle 3.2.III e 3.2.V, Cap 3.2 D.M. 17/01/2018).

### 8.5 Categoria del suolo di fondazione

La definizione della categoria di suolo di fondazione emerge dall'esecuzione di apposita indagine geofisica MASW, della quale si allega in calce il rispettivo rapporto a cui si rimanda per la descrizione delle operazioni. Di seguito se ne riportano i risultati.

La stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio  $V_s$  viene eseguita tramite la seguente formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (3.2.1 \text{ delle NTC2018})$$

dove:

$h_i$  = 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.

La profondità del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) è definita a partire dal piano di imposta per le fondazioni superficiali, mentre per fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera, mentre per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per le zone in cui la profondità del substrato sismico è inferiore a 30 metri, la velocità delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita ponendo nella precedente espressione  $H$  uguale alla profondità del substrato stesso, considerando quindi le proprietà degli

strati di terreno fino a tale profondità; diversamente, qualora la profondità del substrato sismico risultasse superiore a 30 metri allora la velocità delle onde di taglio verrebbe definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo nella precedente espressione  $H=30$  metri.

La situazione sismostratigrafica individuata fa rilevare, in linea generale, valori delle  $V_s$  crescenti senza comunque raggiungere, almeno fino alla profondità di 30mt, gli 800 m/s. Ora, applicando la formula 3.2.1 delle NTC ai dati di cui al profilo sismostratigrafico ottenuto dalla prova eseguita, si calcola la seguente velocità media con il metodo diretto delle onde sismiche nei primi 30 metri di terreno a partire dal piano campagna:

$$V_{seq} = 346 \text{ m/s (vedere indagine sismica allegata)}$$

In considerazione del fatto che la profondità di imposta della fondazione è posizionata a 4mt di profondità dall'attuale piano campagna, superando quindi lo spessore dei terreni di riporto, si calcola la seguente velocità media delle onde sismiche nei successivi 30 metri di terreno posti al di sotto del piano fondale:

$$V_{seq} = 460 \text{ m/s}$$

I terreni descritti nel capitolo 5 vengono pertanto classificati, come previsto dal *Testo Unico*, in base alle categorie di suolo di fondazione che vengono appresso riportate:

**A** - *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 3 m.

**B** - *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.

**C** - *Depositati 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.

**D** - *Depositati 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.

**E** - *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.

Per quanto sopra detto il terreno di fondazione rientra, ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto, nella Categoria:

<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i>
----------	---

## 8.6 Condizioni topografiche

L'area in studio è ubicata su una zona pianeggiante per cui, in base alla tabella 3.2.III del cap. 3.2 delle NTC, la zona è ascrivibile alla categoria **T1** applicando, in base alla tabella 3.2.V del cap. 3.2 delle NTC, un valore del *coefficiente di amplificazione topografica*  $S_T = 1,0$ .

## 8.7 Zona sismica

In relazione alle suddivisione del territorio nazionale in un reticolo a maglia quadrata di circa 10 km di lato, in cui ciascun nodo è contrassegnato da un diverso valore dei parametri spettrali ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$ ) si allega la tabella che segue, ricavata con il software GEOSTRU (Geostru-PS), utile per individuare i parametri sismici per un tempo di ritorno assegnato in funzione del periodo di riferimento ed in base alla corrispondente probabilità di superamento.

Il *Periodo di riferimento*  $V_R$  è calcolato in funzione della *Vita nominale*  $V_N$  dell'opera da realizzare e del *Coefficiente d'uso*  $C_U$  dipendente dalla sua classe d'uso. Nel caso specifico, trattandosi di ampliamenti di un fabbricato ad abitativo la vita nominale, definita come il numero di anni nel quale essa, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, viene definita pari a 50 anni. Per ciò che concerne la classe d'uso la struttura rientra nella seconda da cui deriva un coefficiente d'uso pari a 1.



Figura 7: reticolo sismico di riferimento e posizione della zona di indagine.

La tabella di seguito allegata è stata elaborata per i calcoli delle fondazioni.

## Parametri sismici per le fondazioni

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

### Sito in esame.

latitudine: 43,191342 [°]  
longitudine: 13,039895 [°]

Classe d'uso: **II** *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti*  
Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	22748	42,1839	13,0101	2550,0
Sito 2	22749	42,1842	13,0787	3241,6
Sito 3	22527	42,2342	13,0783	5691,0
Sito 4	22526	42,2339	13,097	5331,2

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**  
Categoria topografica: **T1**  
Periodo di riferimento: **50 anni**  
Coefficiente  $c_u$ : **1**

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	T <sub>c</sub> * [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,063	2,447	0,277
Danno (SLD)	63	50	0,079	2,448	0,288
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,186	2,515	0,328
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,236	2,562	0,337

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,000	0,015	0,008	0,744	0,200
SLD	1,200	1,410	1,000	0,019	0,009	0,930	0,200
SLV	1,200	1,370	1,000	0,054	0,027	2,187	0,240
SLC	1,160	1,370	1,000	0,077	0,038	2,689	0,280

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

## 8.8 Suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della liquefazione riguarda i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti, in presenza di falde acquifere, ed è una delle manifestazioni idrogeologiche più evidenti che possono essere causate da un terremoto. Esso è dato dall'annullamento temporaneo della resistenza al taglio del terreno, in particolare durante lo scuotimento sismico, che conduce ad un comportamento meccanico tipico dei fluidi. Alla base del fenomeno c'è un aumento repentino delle pressioni interstiziali all'interno di un volume di terreno sciolto, saturo in condizioni non drenate. Questo aumento di pressione dell'acqua circolante nei pori ha come conseguenza la riduzione, fino all'annullamento, della resistenza al taglio del deposito. Se si esprime la resistenza al taglio  $\tau$  con la relazione di Coulomb

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

dove:

$c$  = coesione del terreno

$\sigma_{v0}$  = pressione litostatica totale agente alla profondità di indagine

$u$  = pressione interstiziale dell'acqua

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

è evidente che la grandezza  $\tau$  si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

**a)**  $c = 0$

**b)**  $(\sigma_{v0} - u) = 0$

La condizione **a)** vieta che il fenomeno possa avvenire in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione **b)** si verifica quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata, ad una data profondità, dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ( $\sigma_{v0} = u$ ).

Questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli  $N$  del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno

incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di  $N$ .

In definitiva il fenomeno della liquefazione può manifestarsi preferibilmente in depositi sciolti (sabbie, sabbie limose), non coesivi, posti sotto falda ed in seguito ad eventi, quali quelli sismici, che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Infatti le azioni cicliche di un sisma hanno l'effetto di generare fenomeni di sovrappressione interstiziale in condizioni non drenate in quanto la rapidità dei processi di sollecitazione non consente la dissipazione delle pressioni che si accumulano nel fluido.

Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa di terreno resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità. I depositi potenzialmente liquefacibili, sottoposti allo scuotimento sismico, tendono ad addensarsi dando luogo a deformazioni permanenti significative e l'acqua, costretta a trovare una via di fuga, risale verso l'alto portando con sé del materiale che sottrae dal sottosuolo e deposita in superficie.

Come prescritto dalle N.T.C. 2018 (par. 7.11.3.4) il sito in cui è ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Qualora non lo fosse e gli effetti ipotizzati tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati profondi non soggetti a liquefazione.

Secondo quanto disposto dalla suddetta normativa, la verifica a 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  $0,1g$ ;
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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace

verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8 a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 8 b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

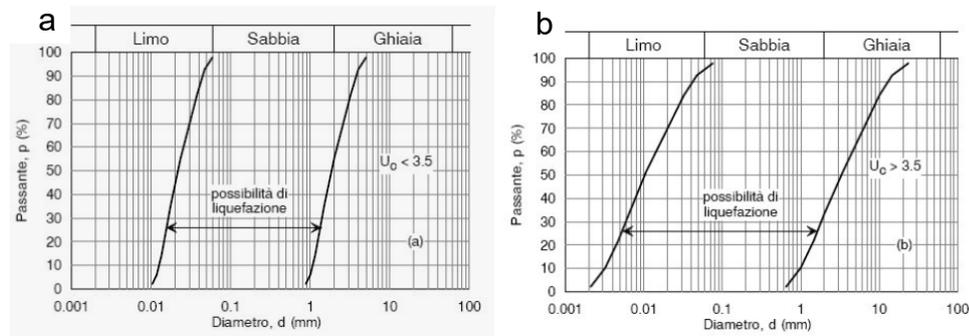


Figura 8: fusi granulometrici di riferimento.

Le caratteristiche litostratigrafiche della zona, rappresentate da depositi alluvionali prevalentemente grossolani, e la profondità della falda (17,7m) garantiscono sulla condizione di stabilità del sito in studio e, in base a quanto sopra detto, non è necessaria la verifica alla liquefazione.

### 8.9 Frequenza fondamentale del sito

Come già detto, conoscere la frequenza di risonanza di un sito è di sostanziale importanza poiché una delle cause di danneggiamento di manufatti in occasione di un terremoto è data dal fenomeno della doppia risonanza, cioè coincidenza di frequenze di risonanza tra struttura e sottosuolo.

Una struttura si ritiene salva dall'eventualità di doppia risonanza solo quando la frequenza propria differisce (mediamente entro un 30%) da quelle principali del terreno. Riguardo tale aspetto l'acquisizione dei microtremori ha messo in evidenza l'assenza di contrasti di impedenza sismica; i modesti picchi presenti, compresi tra 3 e 3,5 Hz, mostrano un basso rapporto H/V (~ 2) che li rende insignificanti.

I grafici di figura 9 evidenziano la relazione tra primo modo flessionale di

vibrare e le altezze di strutture in c.a. e muratura.

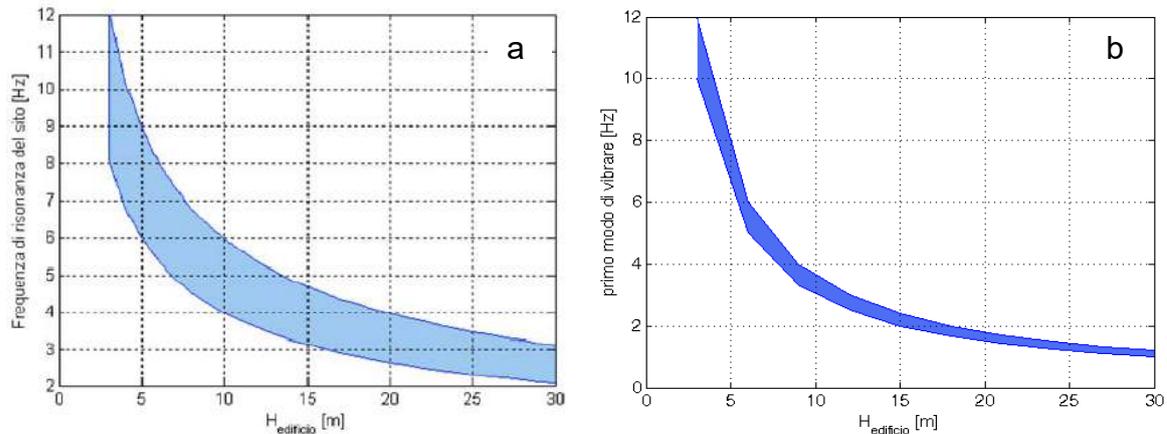


Figura 9: Relazione tra frequenze del primo modo flessionale di vibrare ed altezza di edifici: a) in cemento armato, b) in muratura

Nel contesto degli studi per la mitigazione degli effetti dei terremoti è ormai opinione concorde che le azioni sismiche di progetto per le costruzioni debbano essere inclusive degli effetti di sito e che pertanto è bene tenere nella debita considerazione anche questo ulteriore tipo di informazione.

### 8.10 Microzonazione sismica

La zona oggetto di intervento ricade al di fuori delle aree trattate nell'ambito del progetto di *Microzonazione sismica di livello 3*, mentre rientra nelle aree studiate nell'ambito delle indagini di *Microzonazione sismica di livello 1* con le quali il territorio è stato suddiviso in aree qualitativamente omogenee a partire dalla seguente distinzione:

- zone stabili prive di amplificazioni locali: aree con substrato sismico affiorante o sub-affiorante ed acclività inferiore a 15°.
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: aree caratterizzate dall'affioramento dei litotipi del substrato o da materiali con caratteristiche geotecniche e geomeccaniche buone e discrete, dove sono comunque ipotizzabili amplificazioni del moto sismico condizionate da:

- *assetto topografico*: aree con scarpate di altezza superiore a 10 metri;
- *assetto stratigrafico*: aree su depositi di versante e lungo le vallate con depositi a granulometria grossolana o medio-fine. In presenza di depositi medio-fini si attendono i massimi effetti di amplificazione locale.
- zone suscettibili di instabilità: aree caratterizzate da materiali con caratteristiche geotecniche scadenti o mediocri che possono condurre, a seguito di una scossa sismica, all'innescò di movimenti gravitativi, liquefazioni, cedimenti differenziali, deformazioni permanenti del suolo, oltre a fenomeni di amplificazione del moto.

A seguito di questa classificazione principale, il territorio edificato del comune di Castelraimondo è stato suddiviso in aree qualitativamente omogenee, realizzando la *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)* della quale si riporta di seguito uno stralcio (fig. 10).

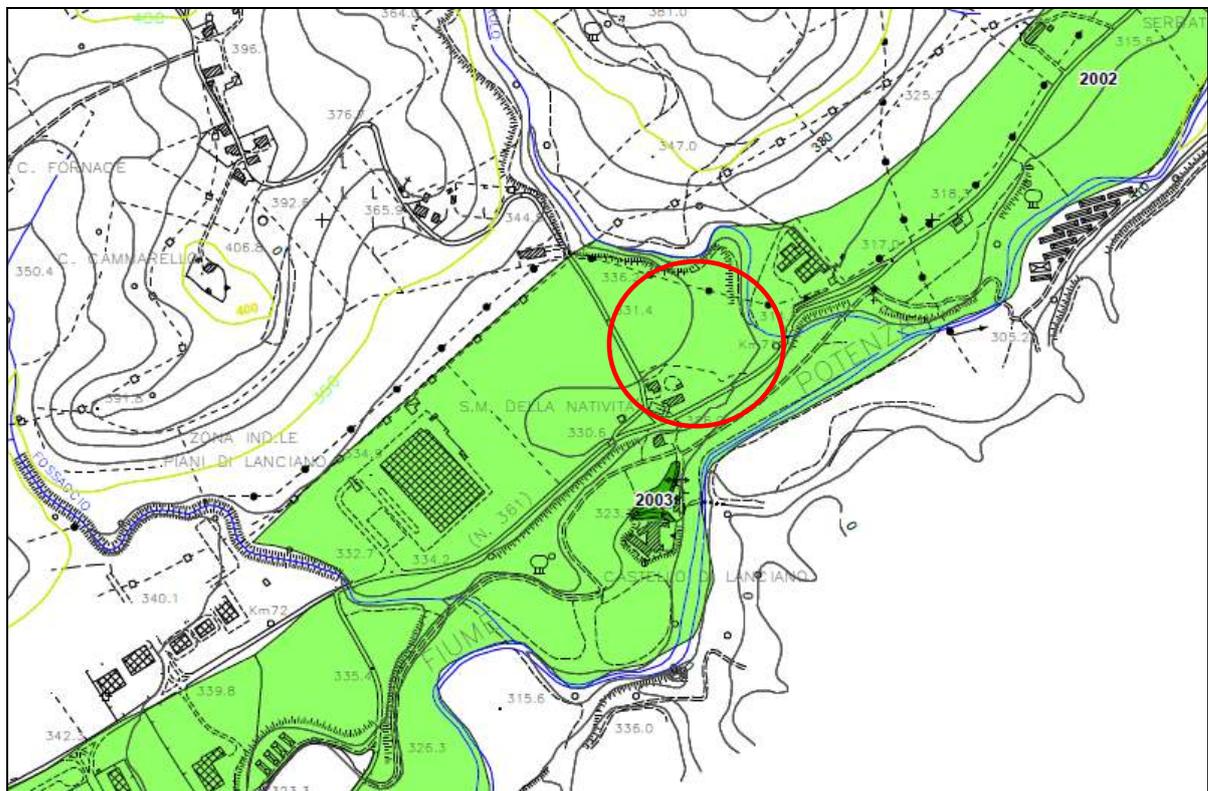
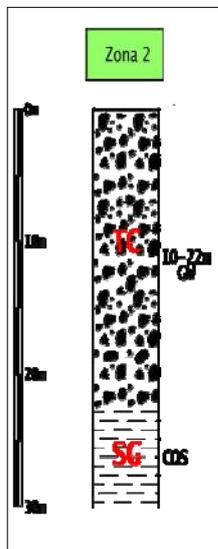


Figura 10: Stralcio della carta delle MOPS di livello 1. Il cerchio rosso indica l'area in studio.

Tale carta definisce, sulla base di dati geologici e geomorfologici integrati da valutazioni ed analisi dei dati litostratigrafici, geotecnici e geofisici, il territorio in unità che presentano medesime caratteristiche sotto il profilo dell'acclività, della stratigrafia (tipologia dei litotipi e spessori), delle proprietà geotecniche e geomeccaniche e quindi la potenziale suscettibilità a fenomenologie indotte dal sisma quali: amplificazione del moto del suolo, innesco di frane e altri dissesti, modificazioni permanenti del suolo, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali etc.

Relativamente all'area in studio, che ricade nella categoria delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, viene riconosciuta la seguente microzona (descrizione estratta dalla relazione di accompagnamento alle indagini di microzonazione sismica di livello 3):

MOPS 2002



La MOPS 2002 è caratteristica dell'area urbanizzata della pianura alluvionale del F. Potenza con copertura prevalentemente costituita da ghiaie medie e medio-fini in matrice sabbiosa. La sequenza alluvionale (GW) di spessore variabile da 10÷22 m poggia sul substrato argilloso e argilloso-marnoso (COS) con intercalazioni sabbioso-arenacee della litofacies pelitico-arenacea della Formazione di Camerino.

TC= terreni di copertura  
 SG = substrato geologico



GW-Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (MTIbn, MUSbn, MUSb)



COS-Substrato geologico coesivo sovraconsolidato stratificato (FCIe)

Per quanto riguarda il fattore di amplificazione sismica, all'area in oggetto, non essendo stata indagata con le indagini di microzonazione di livello 3, non è stato attribuito alcun valore.

## 9 RAPPORTI CON IL PAI

L'intera area in studio non è compresa nelle perimetrazioni di rischio e pericolosità rilevate dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico) per cui non vi sono, in rapporto a questi aspetti, interferenze e limitazioni per l'intervento in progetto. Si riporta in allegato uno stralcio aggiornato della relativa cartografia estratta dal sito dell'Autorità di Bacino delle Marche.

## 10 CARTOGRAFIE DERIVATE

Come richiesto dalla Circolare n° 14 del 28 agosto 1990 emanata dalla Regione Marche, sono state elaborate, sulla base della cartografia geologica, geomorfologica e delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, le seguenti cartografie derivate, necessarie a definire compiutamente le caratteristiche della zona in studio.

### 10.1 Carta della pericolosità sismica locale

Nell'area in studio ed in un suo intorno significativo non sono stati rilevati elementi tettonici certi ed importanti ne, tanto meno, sono state individuate sul terreno fratture dislocate che possano indicare la presenza di piani di faglia mascherati che abbiano subito riattivazioni recenti con effetti rilevabili in superficie e che quindi possano costituire elemento di amplificazione del moto del suolo. Per ciò che concerne il substrato può essere considerato come un unico litotipo.

Relativamente al riconoscimento delle zone a maggior pericolosità sismica è stato effettuato limitatamente ad un intorno significativo dell'area di trasformazione, tenendo conto delle locali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e litostratigrafiche, lette in chiave sismica sulla base della "*legenda tipo per la carta delle zone a maggiore pericolosità sismica locale*" riportata nella Circolare n° 14 del 28 agosto 1990, considerando altresì la classificazione di cui alla tabella 3.2.II delle NTC 2018. Ne è risultata una suddivisione in zone che,

caratterizzate da differenti scenari sismici, prefigurano altrettanto differenti effetti di un qualsiasi terremoto; in sostanza zone a pericolosità sismica diversa possono originare, a parità di tipologie costruttive e stato di conservazione delle costruzioni, un grado di danneggiamento assai differente.

Per ciò che riguarda l'area in oggetto sono state ritenute significative le tipologie di situazioni 3 e 4 dell'allegato 3 della suddetta circolare come appresso sintetizzate:

*Area di bordo e ciglio di scarpata:* possono dar luogo a fenomeni di amplificazione dello scuotimento per fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche, così come possono essere interessate da fenomeni di instabilità sempre legati all'azione sismica;

*Area di fondovalle con presenza di terreni incoerenti:* i possibili effetti di un terremoto sono rappresentati da cedimenti diffusi in concomitanza di stress dinamici e le opere possono essere sottoposte a sollecitazioni sismiche più forti di quelle previste.

## **10.2 Carta della pericolosità geologica**

È la sintesi degli studi condotti sul territorio e rappresenta l'identificazione, su base qualitativa, di aree omogenee su cui sono presenti o possono verificarsi fenomeni naturali o indotti differenziando, nei limiti del possibile, il grado di pericolosità in relazione alle locali caratteristiche geologiche, intese nella più ampia accezione.

Per quanto riguarda la classificazione del territorio, come si può notare dalla relativa cartografia allegata, è stata considerata una suddivisione in quattro diverse categorie di pericolosità geologica (massima, elevata, media e bassa) sulla base degli elementi riassunti nella relativa legenda cartografica. Più strettamente, per l'area in studio si riconoscono le seguenti categorie di pericolosità geologica:

### **10.2.1 Pericolosità massima**

Questa categoria riguarda quelle aree che mostrano particolari condizioni di instabilità geologica e geomorfologica o, ancorché stabili, presentano pendenze ritenute critiche per la tipologia di terreno in cui ricadono.

Per quanto riguarda la zona oggetto di variante vengono incluse sia le aree poste all'interno degli argini naturali del fosso Rio Cimarolo (alveo di magra e di piena ordinaria) nonché quelle di scarpata o prossime ad esse dove si possono riscontrare problematiche legate ad amplificazioni delle scosse sismiche e/o fenomeni di instabilità potenziale.

In queste aree non sono ammesse nuove costruzioni nonché vietata la realizzazione di opere che possano rappresentare impedimento al deflusso superficiale delle acque, i riporti, gli scavi ed i movimenti di terreno che alterino l'attuale profilo topografico del terreno. Sono escluse dal divieto le opere previste da progetti di sistemazione idraulica ed idrogeologica, di regimazione delle acque e di bonifica.

### **10.2.2 Pericolosità bassa**

Appartengono a questa classe tutte quelle aree caratterizzate dall'assenza di forme di degrado legate a fattori destabilizzanti del territorio (geologici, geomorfologici, idrogeologici, etc.); vi rientra la maggior parte della zona oggetto di variante. In questa area è consentito un utilizzo ai fini urbanistici senza impiegare provvedimenti particolari o restrizioni, al di fuori dell'adozione delle normali cautele e prescrizioni secondo le norme vigenti.

## **11 OPERE DI FONDAZIONE E SBANCAMENTI**

Per la realizzazione dell'opera in progetto si provvederà all'esecuzione di uno sbancamento con il quale creare il piano cantiere per la posa in opera delle strutture fondali, approfondito di almeno un metro rispetto alla quota del piano che contiene

la piscina della SPA e di 4 metri rispetto alla quota del piazzale che costituisce . Ciò permetterà di asportare l'intero spessore del terreno vegetale e dei riporti, come è possibile valutare dalle sezioni litostratigrafiche allegate, raggiungendo i depositi ghiaiosi grossolani dalle buone caratteristiche geotecniche.

Pertanto, in relazione alle caratteristiche dimensionali, strutturali e di utilizzo delle opere in progetto nonché stratigrafiche e geotecniche dei terreni interessati, si potrà optare per una tipologia diretta.

Nella realizzazione dello sbancamento, data la profondità da raggiungere e le caratteristiche del materiale oggetto di scavo, le pareti dell'intero cantiere non saranno mai verticali, per cui durante le lavorazioni le stesse dovranno mantenere un angolo di scarpa minore di 45°. Al ciglio superiore dello sbancamento, ai fini della sicurezza del cantiere, non dovranno mai essere accumulati terreni o altri materiali che potrebbero generare franamenti delle pareti di scavo.

L'apertura degli scavi sarà limitata al tempo strettamente necessario alla realizzazione delle murature dell'interrato.

### **11.1 Verifiche delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni**

Le verifiche delle condizioni di sicurezza allo stato ultimo (SLU) saranno oggetto della Relazione Geotecnica di II<sup>a</sup> parte redatta dal progettista che consentirà, attraverso la determinazione del carico limite utilizzando l'*Approccio 1* o l'*Approccio 2*, di verificare che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia sempre soddisfatta.

## **12 TERRE E ROCCE DA SCAVO**

La zona interessata dal cantiere in oggetto non rientra nella perimetrazione di aree e siti contaminati da sottoporre ad interventi di bonifica; essa è formata da terreni così come descritti nel paragrafo 6.2, messi in posto secondo processi deposizionali naturali. Il materiale di riporto superficiale è rappresentato da terreno naturale proveniente da sbancamenti e scavi realizzati nel lotto medesimo durante

la realizzazione delle strutture esistenti.

Relativamente alle forme di utilizzo pregresse l'area risulta da sempre impiegata per scopi agricoli e recentemente per espansioni edilizie legate alle attività turistico ricettive, per cui si può escludere ogni forma di contaminazione del terreno anche in virtù del fatto che la stessa area non è prossima a infrastrutture viarie di grande comunicazione né ad insediamenti che possano aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera.

Come descritto nel precedente capitolo 10, i lavori che riguarderanno le movimentazioni di terreno sono limitati allo scavo per la realizzazione dell'interrato. Il terreno scavato potrà essere riutilizzato tal quale, senza apportare alcun tipo di trasformazione o lavorazione, all'interno della stessa area di proprietà.

### **13 CONCLUSIONI**

La presente relazione, necessaria per un'ideale progettazione dell'intervento in parola, è il frutto di uno studio definito sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali, individuate con il rilevamento di campagna, nonché litostratigrafiche e geotecniche.

Riguardo le caratteristiche idrauliche, idrogeologiche e geomorfologiche non sono state rilevate evidenze tali da ritenere la zona esposta a processi, in atto e/o potenziali, che possano creare situazioni di pericolosità tali da necessitare prescrizioni particolari. L'intervento in oggetto non ha interazioni sia con il locale regime idrico superficiale sia con quello sotterraneo, del quale è stata riscontrata l'esistenza a profondità consistenti (oltre 17 metri), per cui non si evidenziano elementi tali da generare interferenze negative.

Per ciò che concerne le caratteristiche stratigrafiche, al di sotto di un esiguo spessore di terreno vegetale, riportato e naturale, si rinvennero i depositi alluvionali, dotati di buone caratteristiche geotecniche.

Riguardo la caratterizzazione sismica la relativa indagine ha definito, per i terreni di fondazione, un suolo di categoria **"B"**.

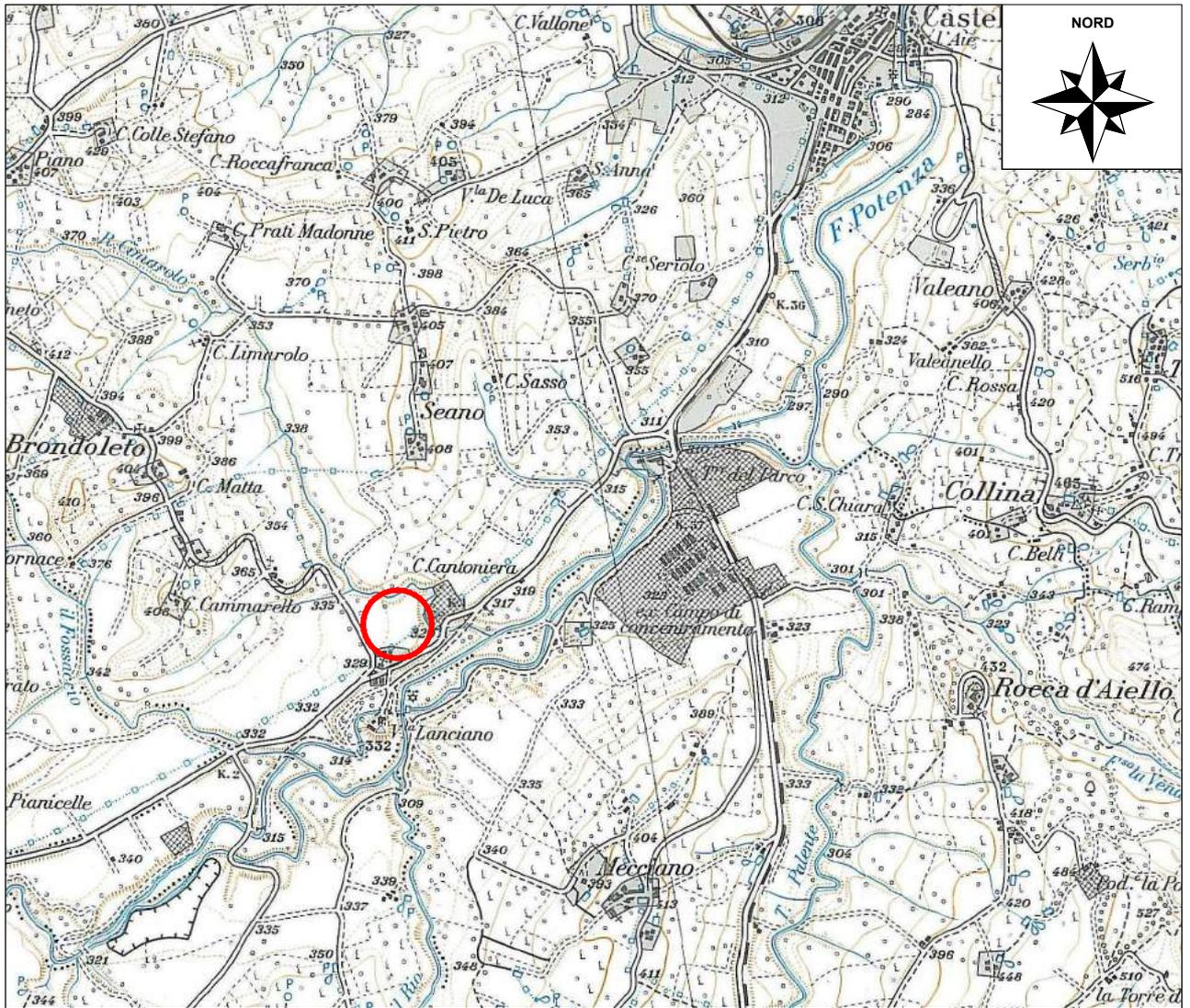
Nella realizzazione dell'intervento in progetto, al fine di una migliore esecuzione delle opere, sicurezza del cantiere e garanzia nel tempo della stabilità dei fabbricati, ci si dovrà attenere a quanto segue:

- realizzazione degli sbancamenti secondo quanto descritto nel capitolo 11;
- le murature controterra dell'interrato non saranno a diretto contatto con il terreno ma, onde preservarne nel tempo l'integrità, distaccate tramite la realizzazione di un cavedio di areazione o la posa in opera di un vespaio, formato da materiale arido di cava o altro materiale drenante;
- regimazione delle acque di meteoriche e di scolo con predisposizione di un razionale sistema di opere idrauliche che consenta la raccolta ed il successivo allontanamento dal sito di costruzione;
- impermeabilizzazione del perimetro esterno dei manufatti.

San Severino Marche 28 settembre 2018

Geol. Marcello Maccari





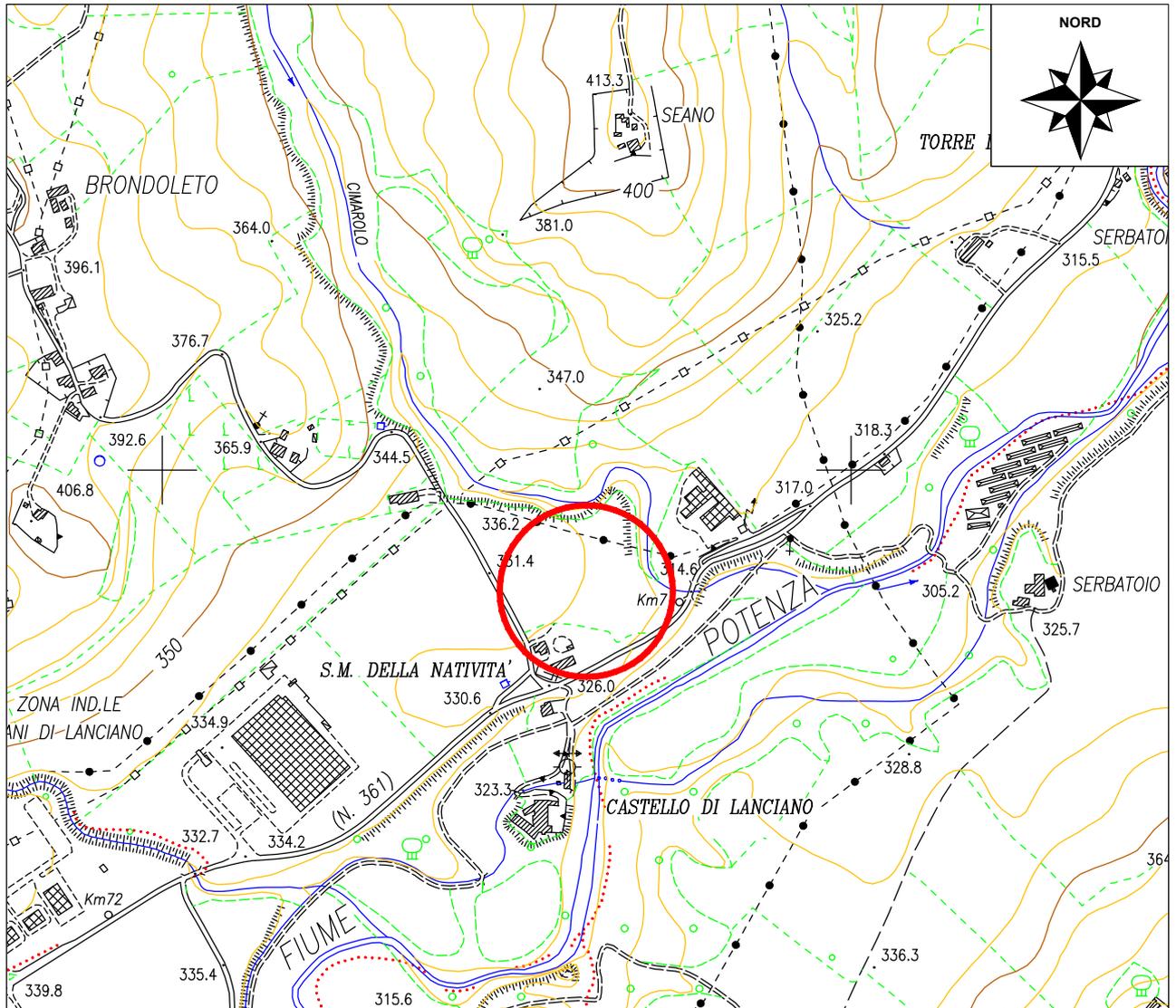
## COROGRAFIA

Foglio 124 IV SO

(scala 1:25.000)

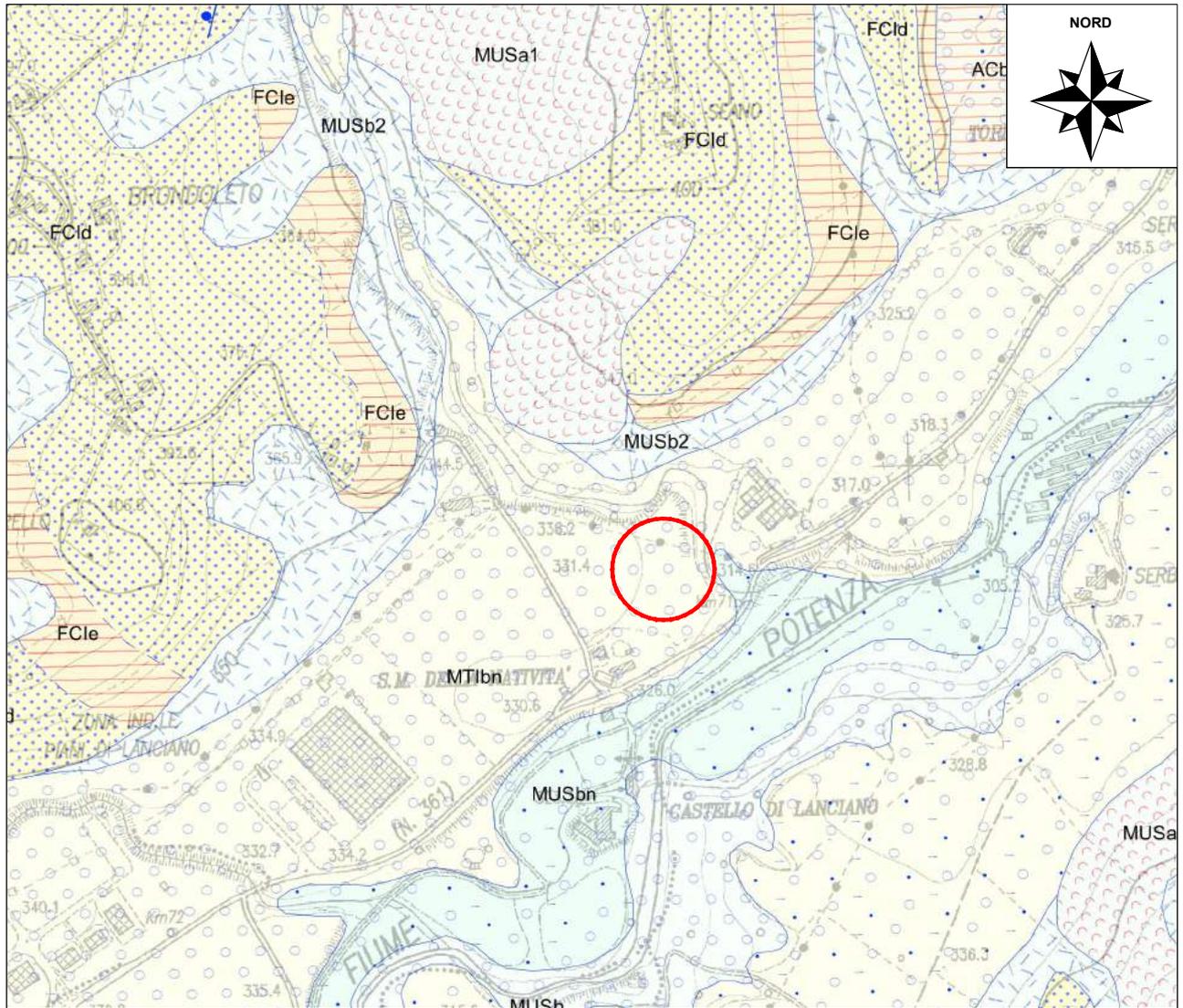


Zona dell'intervento



**CTR Carta Tecnica Regionale**  
Sezione n 313010  
scala 1:10.000

 Area in studio



Stralcio CARG

## Carta geologica

Sezione n 313010  
scala 1:10.000

 Area in studio

# Legenda carta geologica

## DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI VERSANTE MARCHIGIANO

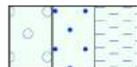
### SINTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)



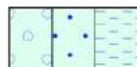
MUSa1 Frane in evoluzione



MUSb2 Depositi eluvio-colluviali

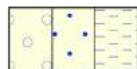


MUSb Depositi alluvionali attuali  
(ghiaia, sabbia, limo)



MUSbn Depositi alluvionali terrazzati  
(ghiaia, sabbia, limo)

### SINTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE)



MTIbn Depositi alluvionali terrazzati  
(ghiaia, sabbia, limo)

### SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO-COLONIA MONTANI (PLEISTOCENE MEDIO SOMMITALE)



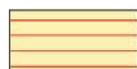
ACbn4 Depositi alluvionali terrazzati di Colonia Montani  
(ghiaia, sabbia, limo)

## SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

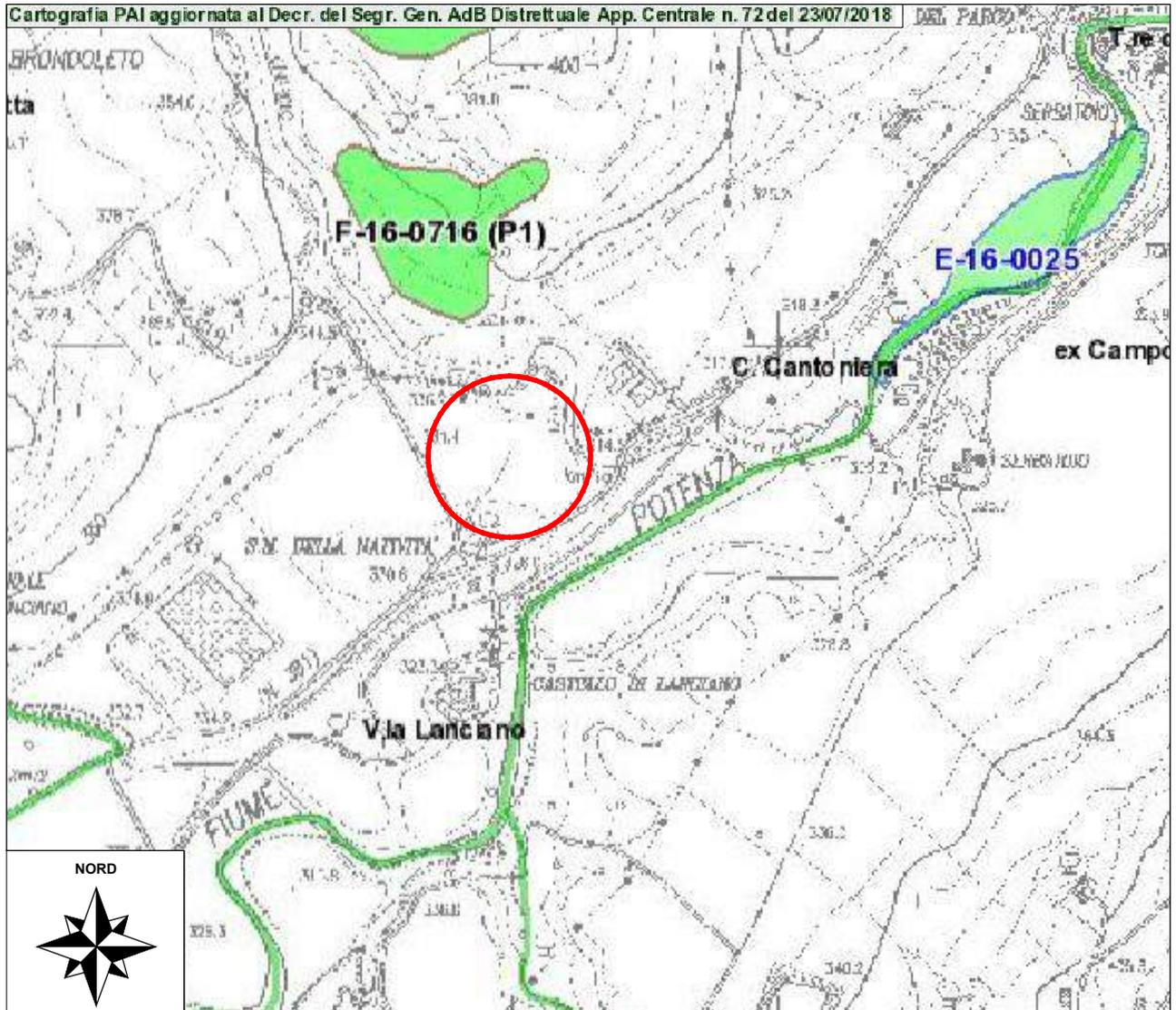
### SUCCESSIONE MIOCENICA



FCId FORMAZIONE DI CAMERINO  
litofacies arenaceo-pelitica  
Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.



FCle FORMAZIONE DI CAMERINO  
litofacies pelitico-arenacea  
Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.



Aggiornamento al 23/07/2018

**Stralcio Cartografia PAI**  
 Estratto dal sito dell'AdB delle Marche

**AREE A RISCHIO FRANA**  
 (Codice F - XX - XXXX)



Rischio moderato (R1)

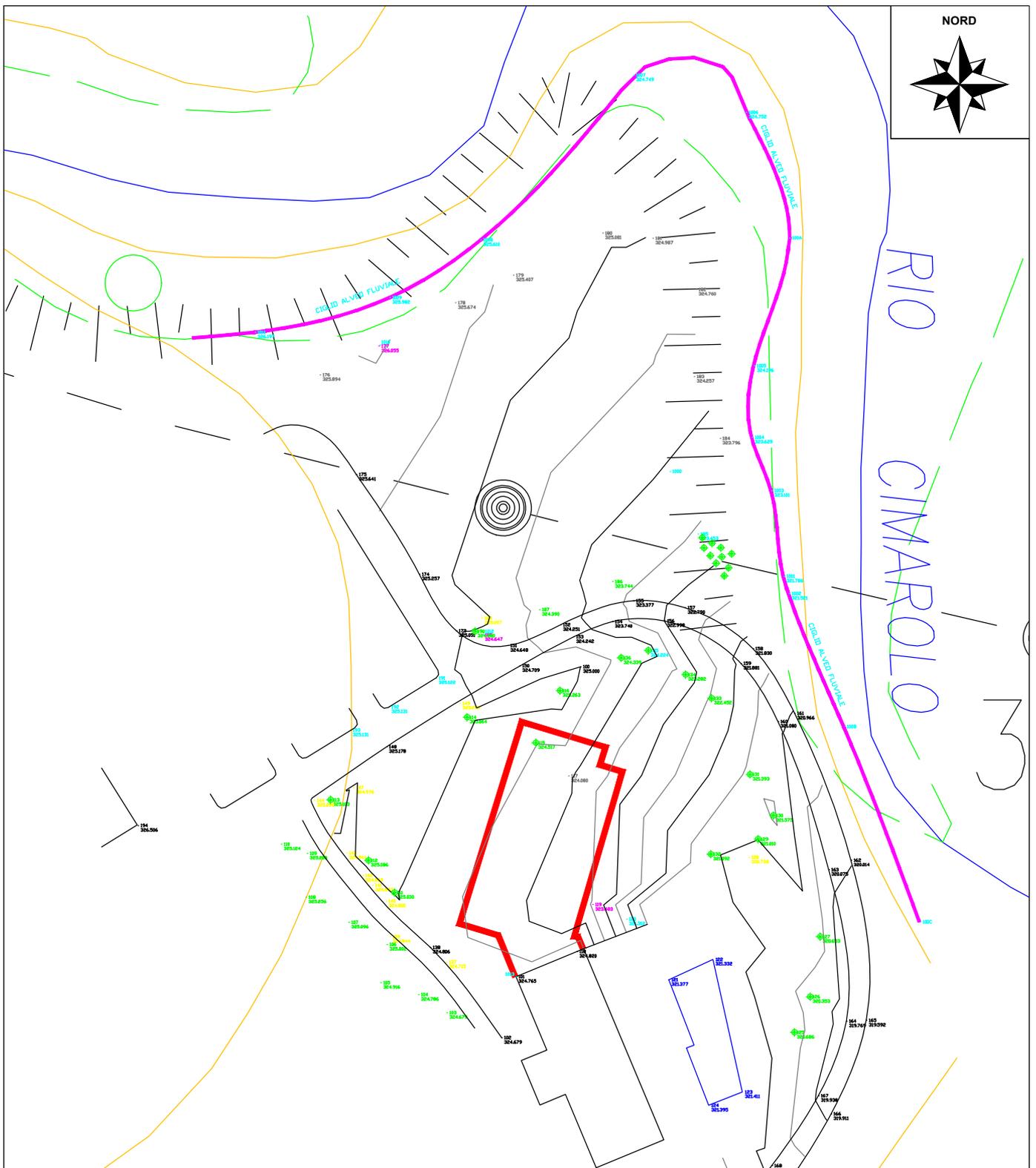
**AREE A RISCHIO ESONDAZIONE**  
 (Codice E - XX - XXXX)



Rischio moderato (R1)



Area in studio



## PLANIMETRIA AREA DI INTERVENTO

(scala 1:1.000)

-  Ampliamento in progetto
-  Bordo superiore della scarpata fluviale antica



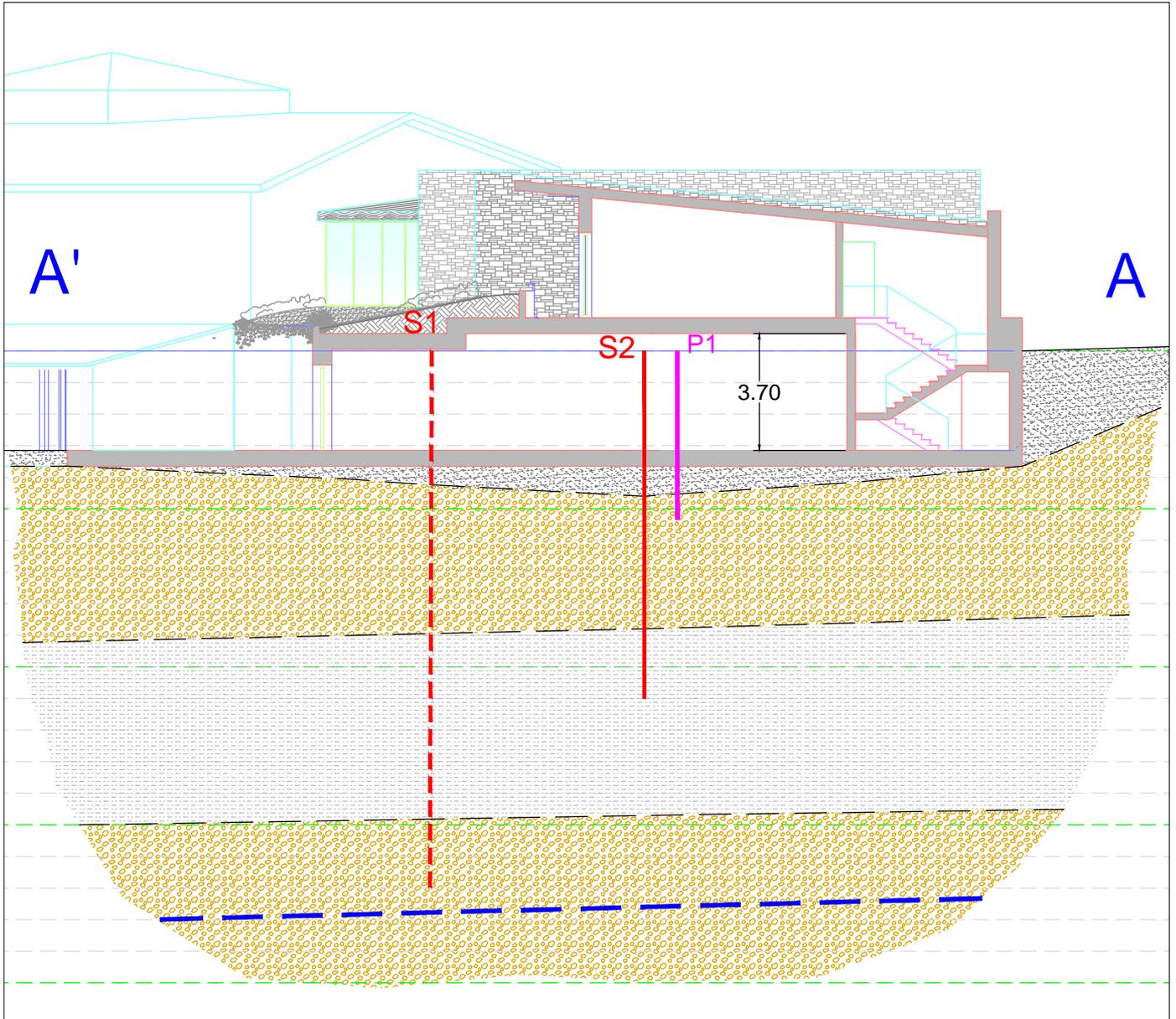
## FOTO AEREA DI DETTAGLIO

(scala 1:500)



Ampliamento in progetto





## SEZIONE LITOSTATIGRAFICA

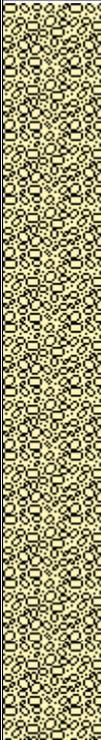
(scala 1:200)

### LEGENDA

- |   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|  | Terreno vegetale e riporto   |  | S2   Sondaggio geognostico<br>(in tratteggio la proiezione) |
|  | Depositi alluvionali fini<br>Limi sabbiosi e sabbie limose         |  | P1   Prova penetrometrica                                   |
|  | Depositi alluvionali grossolani<br>Ghiaie fini in matrice sabbiosa |  |   |
|  | Livello della falda  |  |   |

Committente Borgo Lanciano	Profondità raggiunta 17	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina 1
Indagine Ampliamento fabbricato	Località Lanciano	Comune Castelraimondo	Dati Catastali F. n°__ part. ____	Inizio/Fine Esecuzione 04/09/2018
Responsabile Geol. Marcello Maccari	Sondaggio n. 1	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vanne Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda
------------	-----------	-------------	-------	----------------------	--------	--------------------	-------------------	----------	---------------------	---------------------	----------------	-------

1		Terreno vegetale e riporto costituito da sabbie e clasti di ghiaia sparsi.	1.60	%C=100								
2		Ghiaie pulite grossolane in matrice sabbiosa. Aumenta la componente limosa della matrice intorno ai 5m dal p.c.	9.50	%C=100								
10		Limi argilloso-sabbiosi e sabbioso-argillosi grigi ossidati nella parte superficiale al passaggio con le ghiaie sovrastanti. Plastici e umidi al tatto	14.70	%C=100								
15		ghiaie in matrice sabbioso-limosa ossidata		%C=100								

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione:CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione:RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Responsabile

Committente Borgo Lanciano	Profondità raggiunta 17	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina 2
Indagine Ampliamento fabbricato	Località Lanciano	Comune Castelraimondo	Dati Catastali F. n°__ part. __	Inizio/Fine Esecuzione 04/09/2018
Responsabile Geol. Marcello Maccari	Sondaggio n. 1	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda
------------	-----------	-------------	-------	----------------------	--------	--------------------	------------------	----------	---------------------	---------------------	----------------	-------

17			17.00									
----	--	--	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

%C=100

17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31



Ubicazione sondaggio geognostico S1



Sondaggio geognostico S1 da 0m a 3m



Sondaggio geognostico S1 da 4m a 6m

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione:CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione:RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Responsabile

Committente Borgo Lanciano	Profondità raggiunta 17	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina 3
Indagine Ampliamento fabbricato	Località Lanciano	Comune Castelraimondo	Dati Catastali F. n°__ part. __	Inizio/Fine Esecuzione 04/09/2018
Responsabile Geol. Marcello Maccari	Sondaggio n. 1	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test	Verse Test	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda
						kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>					



Sondaggio geognostico S1 da 7m a 9m



Sondaggio geognostico S1 da 10m a 12m



Sondaggio geognostico S1 da 13m a 15m



Sondaggio geognostico S1 da 16m a 17m

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Responsabile

Committente Borgo Lanciano	Profondità raggiunta 11	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina 1
Indagine Ampliamento fabbricato	Località Lanciano	Comune Castelraimondo	Dati Catastali F. n°__ part. __	Inizio/Fine Esecuzione 04/09/2018
Responsabile Geol. Marcello Maccari	Sondaggio n. 2	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test	Varie Test	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda
						kg/cmq	kg/cmq					

1		Terreno vegetale e riporto costituito da limi sabbiosi nocciola poi grigi con clasti di ghiaia sparsi e materiale organico decomposto.										
2												
3												
4			4.60	%C=100								
5		Ghiaie in matrice sabbioso-limosa. Più calcaree intorno ai 7m dal p.c. Addensate										
6												
7												
8			8.80	%C=100								
9		Limi argilloso-sabbiosi e sabbioso-argillosi grigi ossidati nella parte superficiale al passaggio con le ghiaie sovrastanti. Plastici e umidi al tatto										
10												
11			11.00	%C=100								
12												
13												
14												
15												

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Responsabile

Committente Borgo Lanciano	Profondità raggiunta 11	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina 2
Indagine Ampliamento fabbricato	Località Lanciano	Comune Castelraimondo	Dati Catastali F. n°__ part. __	Inizio/Fine Esecuzione 04/09/2018
Responsabile Geol. Marcello Maccari	Sondaggio n. 2	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test	Vane Test	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda
						kg/cmq	kg/cmq					



Ubicazione sondaggio geognostico S2



Sondaggio geognostico S2 da 0m a 3m



Sondaggio geognostico S2 da 4m a 6m



Sondaggio geognostico S2 da 7m a 9m



Sondaggio geognostico S2 da 10m a 11m

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Responsabile



INDAGINI & GEOFISICHE  
&  
GEOGNOSTICHE

SEDE:

**SERVIZI SISMICI S.n.c.**

VIA PIANO DI FRASSINETA, 109  
60041 SASSOFERRATO (AN)  
P.I. - C.f.: 02495830420 - codice REA: AN-192227  
Tel/Fax: 0732-96839 - Cell: 338-9056200 - 3282652947  
MAIL/MSN: [SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT](mailto:SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT)

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Prove: DPSH 1

Committente: STUDIO SGA

Cantiere: HOTEL BORGIO LANCIANO

Località: PIANE DI LANCIANO

### CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE (Penetrometro Statico - Dinamico Pagani TG 63-200 Kn.)

Rif. Norme:	Din 4094
Peso massa battente:	63.5 Kg
Altezza di caduta libera:	0.75 m
Peso sistema di battuta:	0.63 Kg
Diametro punta conica:	51.0 mm
Area di base punta:	20.43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste:	1.0 m
Peso aste a metro:	6.31 kg
Profondità di giunzione 1° asta:	0.40 m
Avanzamento punta:	0.20
Numero colpi per punta:	n (20)
Rivestimento:	assente
Angolo di apertura punta:	90°
Rendimento medio strumento:	73%
Coefficiente di correlazione:	1.487-1°asta

Sassoferrato, 10/09/2018

**SERVIZI SISMICI S.n.c.**  
*di Donnini A. & Mantoni F.*  
Via Piano di Frassineta, 109  
60041 - SASSOFERRATO (AN)  
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420  
N. Rea: AN-192227

IL PRESENTE REPORT E' AD USO ESCLUSIVO DELLA PRATICA IN OGGETTO.  
LA PUBBLICAZIONE INTEGRALE O PARZIALE E' VIETATA SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA DITTA SERVIZI SISMICI S.n.c.  
OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE

PROVA DPSH 1

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 04/09/2018

Profondità prova 5,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

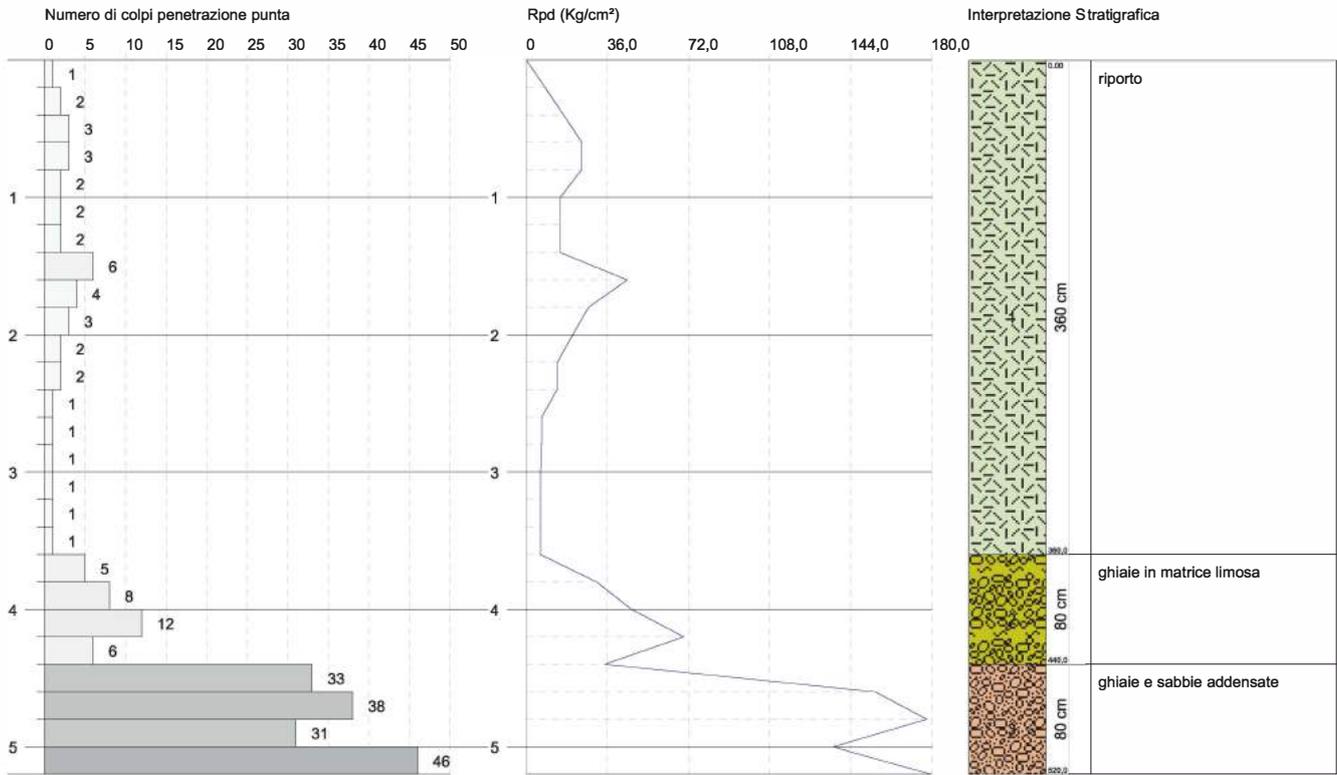
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	2	0,851	16,54	19,44	0,83	0,97
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	3	0,843	24,59	29,15	1,23	1,46
1,00	2	0,840	15,10	17,98	0,75	0,90
1,20	2	0,836	15,04	17,98	0,75	0,90
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	6	0,830	44,75	53,94	2,24	2,70
1,80	4	0,826	29,71	35,96	1,49	1,80
2,00	3	0,823	20,65	25,09	1,03	1,25
2,20	2	0,820	13,72	16,73	0,69	0,84
2,40	2	0,817	13,67	16,73	0,68	0,84
2,60	1	0,814	6,81	8,36	0,34	0,42
2,80	1	0,811	6,79	8,36	0,34	0,42
3,00	1	0,809	6,32	7,82	0,32	0,39
3,20	1	0,806	6,30	7,82	0,32	0,39
3,40	1	0,803	6,28	7,82	0,31	0,39
3,60	1	0,801	6,26	7,82	0,31	0,39
3,80	5	0,798	31,21	39,09	1,56	1,95
4,00	8	0,796	46,74	58,72	2,34	2,94
4,20	12	0,794	69,91	88,08	3,50	4,40
4,40	6	0,791	34,86	44,04	1,74	2,20
4,60	33	0,639	154,84	242,23	7,74	12,11
4,80	38	0,637	177,71	278,93	8,89	13,95
5,00	31	0,635	136,17	214,43	6,81	10,72
5,20	46	0,583	185,51	318,19	9,28	15,91

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 1**  
 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: STUDIO SGA  
 Località: PIANE DI LANCIANO

Data: 04/09/2018

Scala 1:55



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI DPSH 1

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) ghiaie in matrice limosa	11,8	3,60-4,40	11,8	Meyerhof (1957)	82,12
Strato (3) ghiaie e sabbie addensate	56,65	4,40-5,20	56,65		100,0

#### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) ghiaie in matrice limosa	11,8	3,60-4,40	11,8	Meyerhof (1965)	29,59
Strato (3) ghiaie e sabbie addensate	56,65	4,40-5,20	56,65		36,74

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) ghiaie in matrice limosa	11,8	3,60-4,40	11,8	Schmertmann (1978) Sabbie	94,4
Strato (3) ghiaie e sabbie addensate	56,65	4,40-5,20	56,65		453,2

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) ghiaie in matrice limosa	11,8	3,60-4,40	11,8	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaie e sabbie addensate	56,65	4,40-5,20	56,65		MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) ghiaie in matrice limosa	11,8	3,60-4,40	11,8	Meyerhof et al.	1,79
Strato (3) ghiaie e sabbie addensate	56,65	4,40-5,20	56,65		2,27

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

n° 2

- indagine :      Attrezzature ricettive in area R1  
- cantiere    :    DELTAFIN 21 s.r.l.  
- località    :    Piani di Lancianello - Castelraimondo (MC)  
- note :

- data :            23/05/2002  
- quota inizio :    p.c.  
- prof. falda :     Falda non rilevata  
- pagina :          1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,10	2	11,0	----	1	2,00 - 2,10	38	182,7	----	3
0,10 - 0,20	1	5,5	----	1	2,10 - 2,20	37	177,9	----	3
0,20 - 0,30	2	11,0	----	1	2,20 - 2,30	36	173,1	----	3
0,30 - 0,40	5	27,6	----	1	2,30 - 2,40	34	163,5	----	3
0,40 - 0,50	16	88,2	----	1	2,40 - 2,50	40	192,3	----	3
0,50 - 0,60	27	148,9	----	1	2,50 - 2,60	45	216,3	----	3
0,60 - 0,70	42	231,6	----	1	2,60 - 2,70	42	201,9	----	3
0,70 - 0,80	48	264,7	----	1	2,70 - 2,80	42	201,9	----	3
0,80 - 0,90	50	256,8	----	2	2,80 - 2,90	41	185,2	----	4
0,90 - 1,00	45	231,2	----	2	2,90 - 3,00	43	194,3	----	4
1,00 - 1,10	48	246,6	----	2	3,00 - 3,10	44	198,8	----	4
1,10 - 1,20	47	241,4	----	2	3,10 - 3,20	47	212,3	----	4
1,20 - 1,30	50	256,8	----	2	3,20 - 3,30	43	194,3	----	4
1,30 - 1,40	52	267,1	----	2	3,30 - 3,40	50	225,9	----	4
1,40 - 1,50	55	282,5	----	2	3,40 - 3,50	55	248,5	----	4
1,50 - 1,60	48	246,6	----	2	3,50 - 3,60	52	234,9	----	4
1,60 - 1,70	47	241,4	----	2	3,60 - 3,70	53	239,5	----	4
1,70 - 1,80	46	236,3	----	2	3,70 - 3,80	52	234,9	----	4
1,80 - 1,90	35	168,3	----	3	3,80 - 3,90	57	242,9	----	5
1,90 - 2,00	40	192,3	----	3					

**DOCUMENTAZIONE REPERITA**

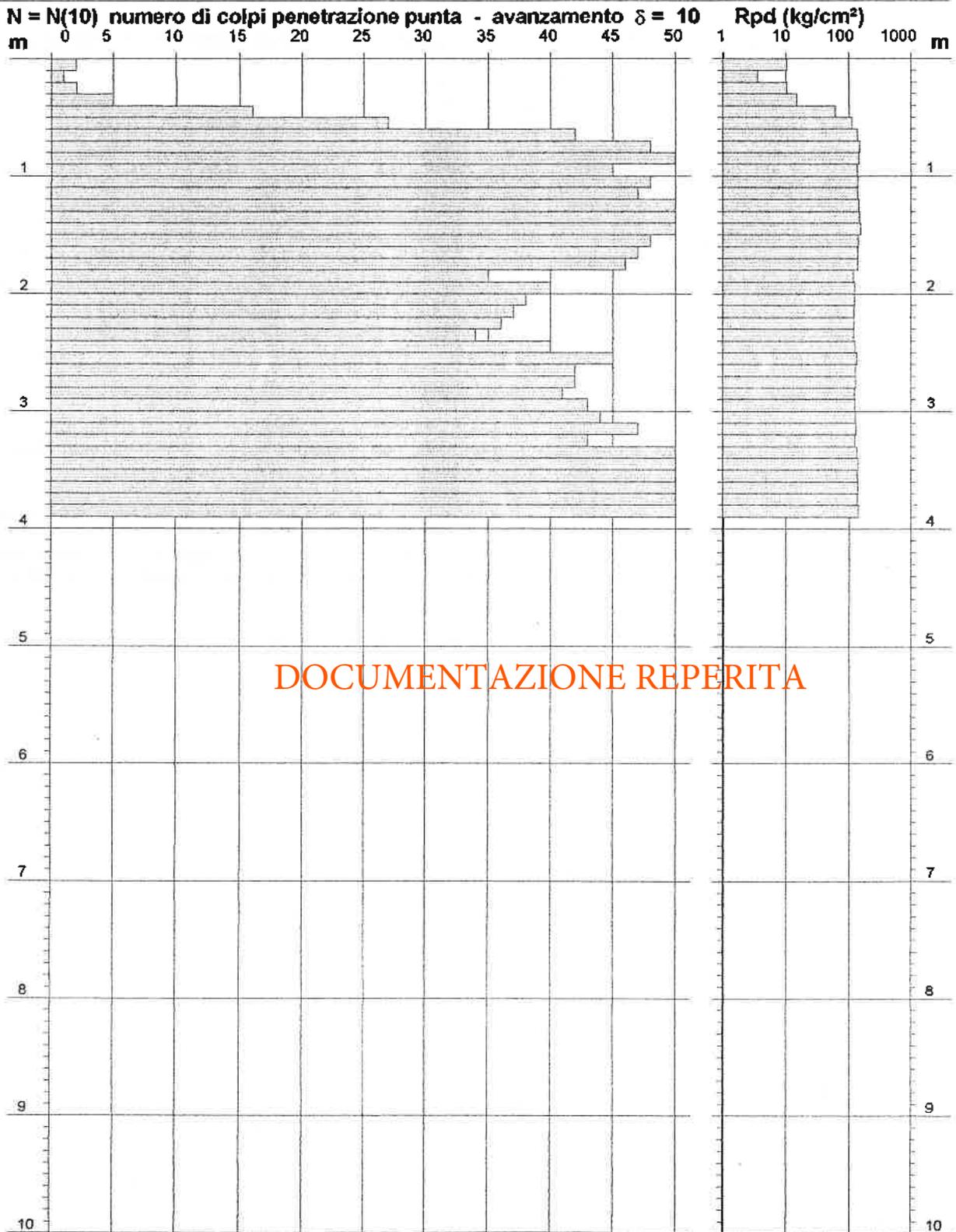
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 30-20 4x4  
 - M (massa battente)= 30,00 kg   - H (altezza caduta)= 0,20 m   - A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup>   - D(diam. punta)= 35,70 mm  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10$  cm ]   - Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO

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

n° 2

Scala 1: 50

- indagine : Attrezzature ricettive in area R1 - data : 23/05/2002  
 - cantiere : DELTAFIN 21 s.r.l. - quota inizio : p.c.  
 - località : Piani di Lancianello - Castelraimondo (MC) - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 30-20 4x4  
 - M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m - A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup> - D(diame. punta)= 35,70 mm  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [ $\delta = 10$  cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 ELABORAZIONE STATISTICA**

n° 2

- indagine : Attrezzature ricettive in area R1  
 - cantiere : DELTAFIN 21 s.r.l.  
 - località : Piani di Lancianello - Castelraimondo (MC)  
 - note :

- data : 23/05/2002  
 - quota inizio : p.c.  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,40	N	2,5	1	5	1,8	—	—	—	2	0,77	2
		Rpd	13,8	6	28	9,7	—	—	—			
2	0,40 3,90	N	44,2	16	57	30,1	8,3	35,9	52,5	11	0,77	34
		Rpd	214,9	88	283	151,5	39,8	175,1	254,7			

M: valore medio    min: valore minimo    Max: valore massimo    s: scarto quadratico medio  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm)    Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta = 0,77$ )    Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 10$  cm)

**Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI**

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.40	Limo Sabbioso Ghiaia	2	7.5	20.5	12	1.85	1.36	—	—	—	—
2	0.40 3.90		34	69.0	37.6	453	2.07	1.72	—	—	—	—

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa     $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace    E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato    W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti    Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata    Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**DOCUMENTAZIONE REPERITA**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

n° 3

- indagine :	Attrezzature ricettive in area R1	- data :	23/05/2002
- cantiere :	DELTAFIN 21 s.r.l.	- quota inizio :	p.c.
- località :	Piani di Lancianello - Castelraimondo (MC)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,10	1	5,5	----	1	0,80 - 0,90	14	71,9	----	2
0,10 - 0,20	2	11,0	----	1	0,90 - 1,00	15	77,1	----	2
0,20 - 0,30	3	16,5	----	1	1,00 - 1,10	15	77,1	----	2
0,30 - 0,40	4	22,1	----	1	1,10 - 1,20	16	82,2	----	2
0,40 - 0,50	6	33,1	----	1	1,20 - 1,30	21	107,9	----	2
0,50 - 0,60	6	33,1	----	1	1,30 - 1,40	32	164,4	----	2
0,60 - 0,70	13	71,7	----	1	1,40 - 1,50	33	169,5	----	2
0,70 - 0,80	17	93,8	----	1	1,50 - 1,60	60	308,2	----	2

DOCUMENTAZIONE REPERITA

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 30-20 4x4  
 - M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m - A (area punta)= 10,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35,70 mm  
 - Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta$  = 10 cm ] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO

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

n° 3

Scala 1: 50

- indagine : Attrezzature ricettive in area R1  
 - cantiere : DELTAFIN 21 s.r.l.  
 - località : Piani di Lancianello - Castelraimondo (MC)

- data : 23/05/2002  
 - quota inizio : p.c.  
 - prof. falda : Falda non rilevata



DOCUMENTAZIONE REPERITA

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 30-20 4x4
- M (massa battente)= 30,00 kg - H (altezza caduta)= 0,20 m - A (area punta)= 10,00 cm² - D(diam. punta)= 35,70 mm
- Numero Colpi Punta N = N(10) [ $\delta = 10$  cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO





**REGIONE MARCHE  
PROVINCIA DI MACERATA  
COMUNE DI CASTELRAIMONDO**

**COMMITTENTE: SGA DI ONORATI E MACCARI**

**INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DELLA SPA DEL RESORT BORGO LANCIANO**



Sassoferrato, 11 SETTEMBRE 2018

**SERVIZI SISMICI S.n.c.**  
di *Donnini A. & Mantoni F.*  
Via Piano di Frassineta, 109  
60041 - SASSOFERRATO (AN)  
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420  
M. Reg. AN-182227

*Giuseppe Scrimini*

## 1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dallo Studio SGA di Onorati e Maccari, per conto del Resort Borgo Lanciano è stata eseguita un'indagine geofisica in prossimità dell'ingombro dell'ampliamento della SPA in progetto. L'area in esame è ubicata a ridosso della struttura esistente sita in Loc. Piane di Lanciano nel comune di Castelraimondo (MC). L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore  $V_{s30}$  necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17/01/2018". Inoltre in prossimità dell'ampliamento in progetto sono state eseguite n°2 registrazioni del rumore sismico ambientale (microtremore) con un sismografo triassiale per determinare la frequenza di risonanza del terreno di sedime dello stesso.

Ubicazione delle indagini sismiche eseguite



## 2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

### 2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

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

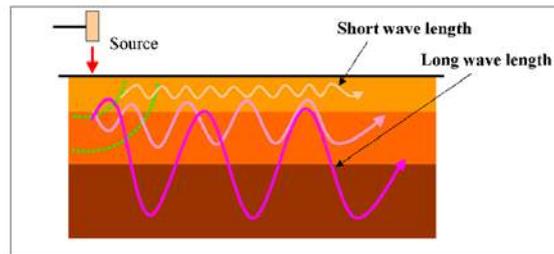


lunghezze d'onda corrispondende la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo, ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire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

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh  $V_r$  determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

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

Riportando le coppie di valori  $V_r$ -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco - elastico a strati piano paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

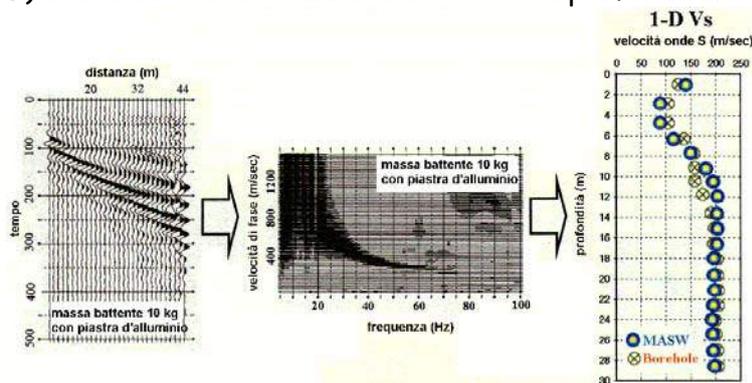


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione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

## 2.2 Descrizione generale della procedura MASW

La procedura MASW comprende tre passi successivi:

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



## 2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

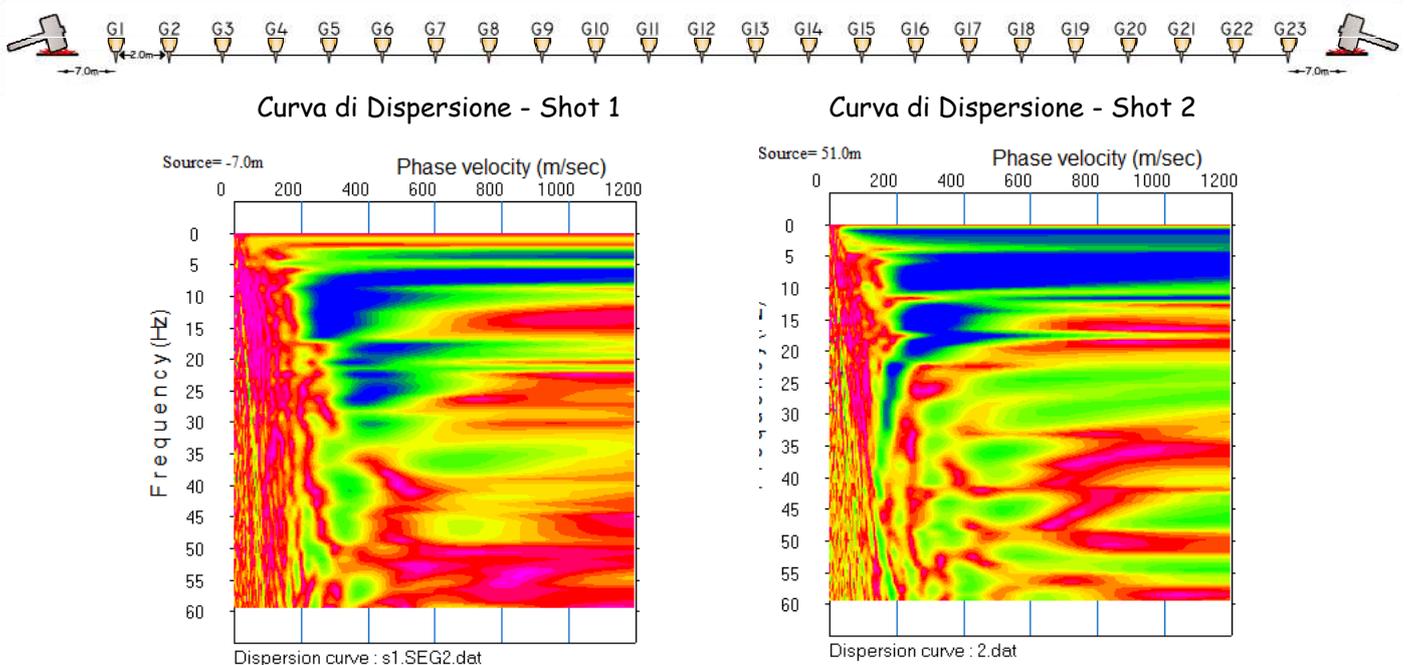
La prospezione sismica oggetto del presente lavoro è stata eseguita utilizzando un Sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato di memoria indipendente per ogni canale in grado di memorizzazione oltre 30.000 campioni. Gli intervalli di campionamento sono programmabili da 5 a 0.05 millisecondi, corrispondenti a frequenze di campionamento da 200 a 20000 Hz.

La durata del campionamento è selezionabile fra 0.1 e 60 secondi. Elevata dinamica (96dB al convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: >100kΩ. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori.

Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1 secondo. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 23 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 2 mt.

I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15°-20° sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. Per valutare la validità di monodimensionalità (strati piano paralleli) e la stabilità della curva di dispersione caratteristica del sito, durante la fase di acquisizione si sono eseguiti due shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento. Per ciascun punto di scoppio si sono eseguite più energizzazioni con le tracce che sono state poi sommate al fine di evidenziare il segnale sismico (stack) rispetto ai rumori ambientali presenti.

La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.



Le curve di dispersione così ottenute, riportate nella precedente figura, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di inversione



è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 1, posto ad una distanza di 7,0 mt dal geofono G.1, meglio definita nell'intervallo delle basse frequenze e caratterizzata dal miglior rapporto segnale/rumore e dal minore errore sul fitting con la curva di dispersione sperimentale apparente.

La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante un martello pesante del peso di 10 Kg lanciato verticalmente, con forza, su una piastra orizzontale metallica. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della stessa mazza di energizzazione. Lo stendimento sismico è stata eseguito su un'area verde pianeggiante.

#### **2.4 Classificazione dei terreni di fondazione ( $V_s$ equivalente)**

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di determinare i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio nei terreni costituenti il sottosuolo investigato, così come riportato nel paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.D.L. 17/01/2018".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità  $V_s$  anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del sottosuolo. Tale prova fornisce un profilo monodimensionale del valore della velocità di propagazione delle onde di taglio la quale dipende dalle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche (proprietà meccaniche) dei mezzi attraversati e il parametro geofisico  $V_s$  equivalente è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo all'interno ed oltre il volume significativo dell'opera in progetto. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà meccaniche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

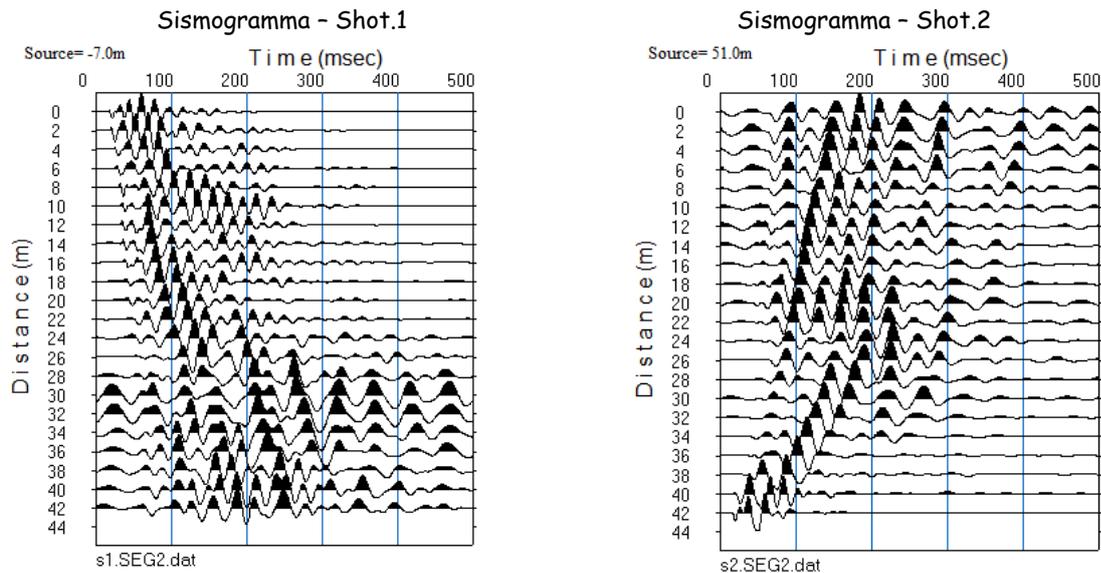
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}}$$

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

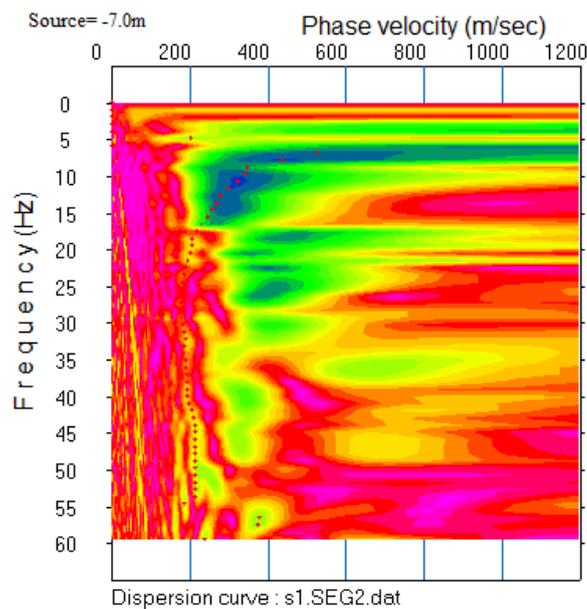
Con  $V_s$  equivalente si definisce la velocità media di propagazione delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

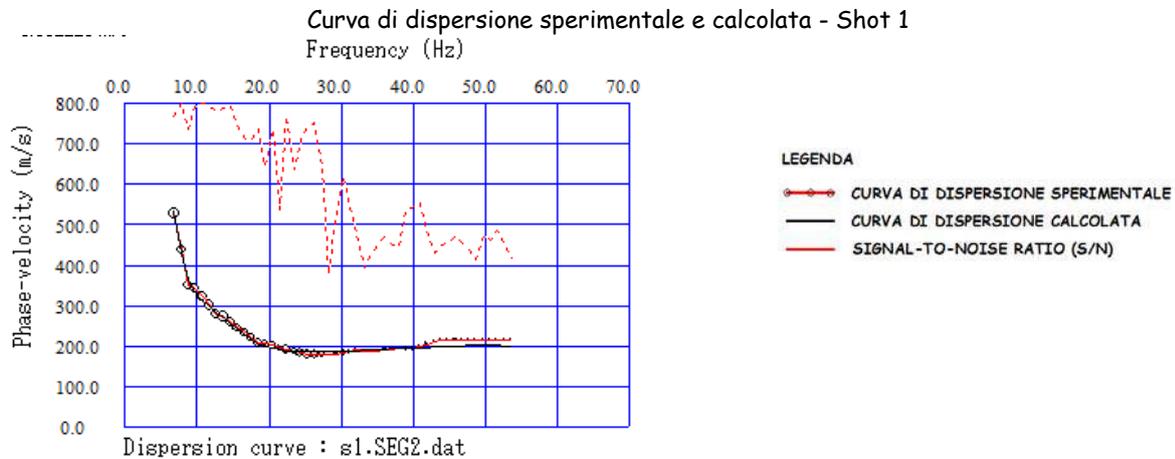
$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (metri) e la velocità delle onde di taglio (m/sec) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nella profondità  $H$ . Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:



Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 1





Per depositi di terreno con profondità  $H$  del substrato sismico ( $V_s \geq 800$  m/sec) superiore a 30 metri, 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.

Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore  $V_{s_{30}}$  necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di sottosuolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle NTC. 2018 sono riassunti nella tabella di seguito riportata:

Profondità (mt)	$h_i$ (mt)	$V_i$ (m/s)	$h_i/V_i$	$V_{s_{30}}$ (m/s)
0,00	÷ 1,07	1,07	155	$V_{s_{30}} = 346$
1,07	÷ 2,31	1,24	103	
2,31	÷ 3,71	1,40	198	
3,71	÷ 5,27	1,57	383	
5,27	÷ 7,01	1,73	267	
7,01	÷ 8,90	1,90	383	
8,90	÷ 10,96	2,06	420	
10,96	÷ 13,19	2,23	342	
13,19	÷ 15,58	2,39	293	
15,58	÷ 18,13	2,55	338	
18,13	÷ 20,85	2,72	545	
20,85	÷ 23,74	2,88	634	
23,74	÷ 26,79	3,05	699	
26,79	÷ 30,00	3,21	763	

$$\sum h_i/V_i = 0,0868$$

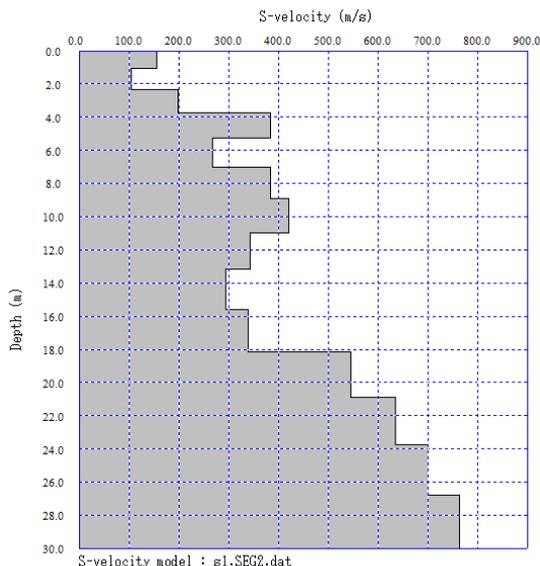
Sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità i terreni di sedime del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla categoria di sottosuolo C, come si evince dalla tabella 3.2.II delle NTC-2018 di seguito stralciata. Si rimanda comunque al tecnico incaricato per la scelta della metodologia da utilizzare per la valutazione degli effetti sismici di sito (approccio semplificato e/o RSL)

da eseguirsi anche sulla base delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche dei terreni costituenti la locale successione stratigrafica.

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.*

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 1



Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs di lato riportato si evince la presenza di terreni a bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 4 mt circa dal p.c., a partire dalla quale si assiste ad un graduale incremento del valore di Vs che tende, successivamente nel range di profondità 11-18 metri a mostrare un leggero decremento. Oltre quest'ultima quota il profilo delle onde di taglio tende a crescere costantemente con la profondità fino a raggiungere e superare i 700 m/sec.

### 3 REGISTRAZIONE DEI RAPPORTI SPETTRALI (HVSR)

La prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura", è una tecnica di sismica passiva che si basa sull'analisi del campo delle vibrazioni ambientali (microtremore sismico ambientale è un campo d'onde costituito prevalentemente da onde di superficie) finalizzata alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Dato che le vibrazioni ambientali sono costituite da onde che attraversano porzioni significative del sottosuolo, la struttura del segnale che si registra in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, essa permette di individuare situazioni sismostratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi



fenomeni, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

In particolare, la prova effettua una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario. I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Questo criterio ha carattere puramente empirico. Tuttavia va tenuto presente che massimi H/V di ampiezza inferiore a 2 indicano bassi contrasti di impedenza e, in questo caso, la frequenza corrispondente al massimo della curva H/V potrebbe fornire una indicazione meno precisa della frequenza di risonanza delle onde S. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata per una durata non inferiore ai 15-20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le

finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile stimare indicativamente il parametro normativo Vs30.

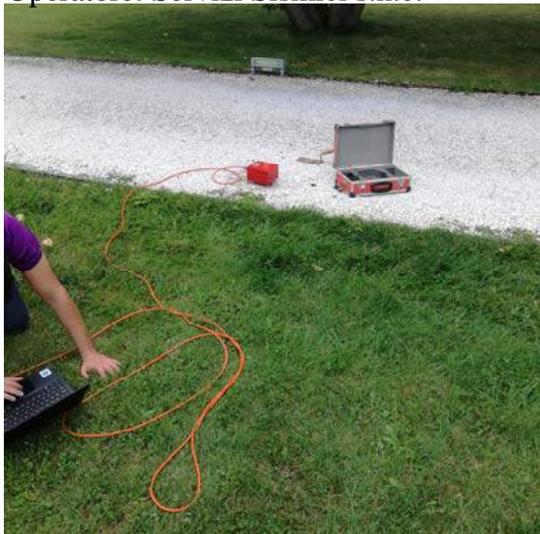
## Dati Generali

Committente: Studio SGA di Onorati e Maccari

Cantiere: Hotel Borgo Lanciano

Località: Piane di Lanciano

Operatore: Servizi Sismici s.n.c.



HVSR 1



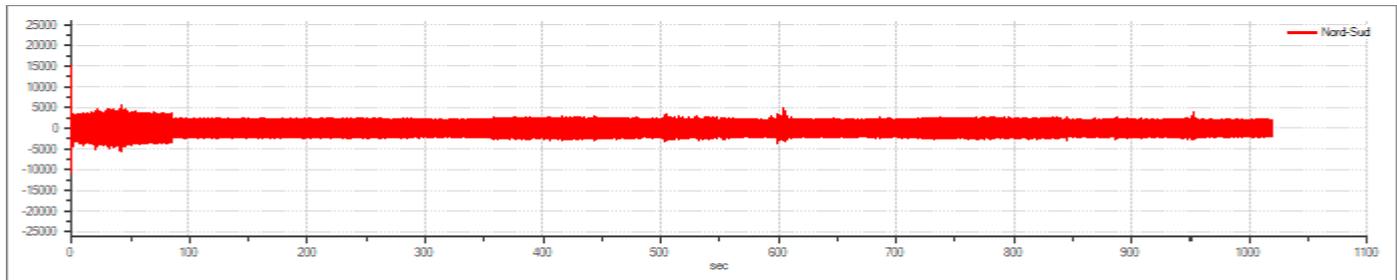
HVSR 2

## Tracce in input (registrazione 1)

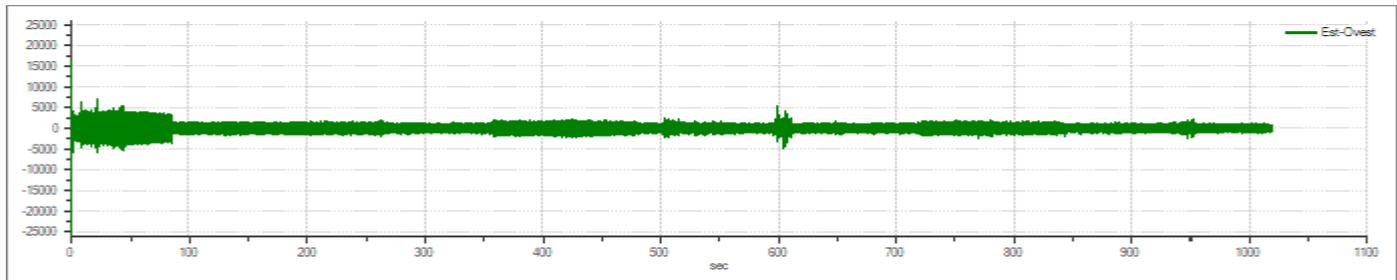
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1018 s
Frequenza di campionamento:	300,00 Hz
Numero campioni:	305539
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

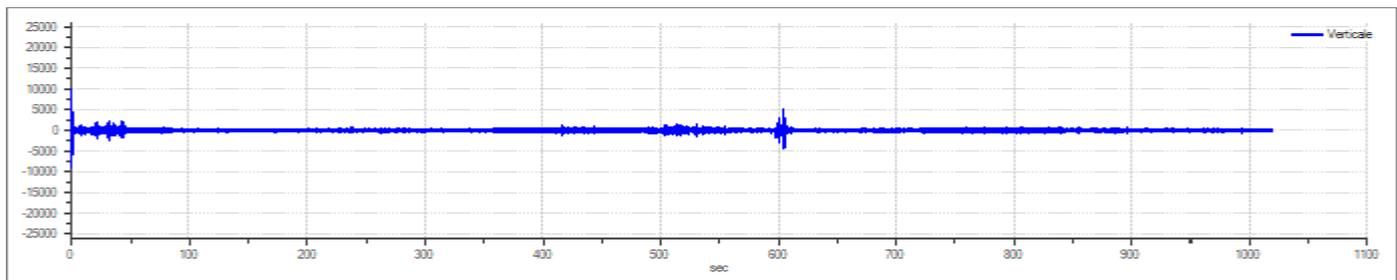
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale



## Finestre selezionate

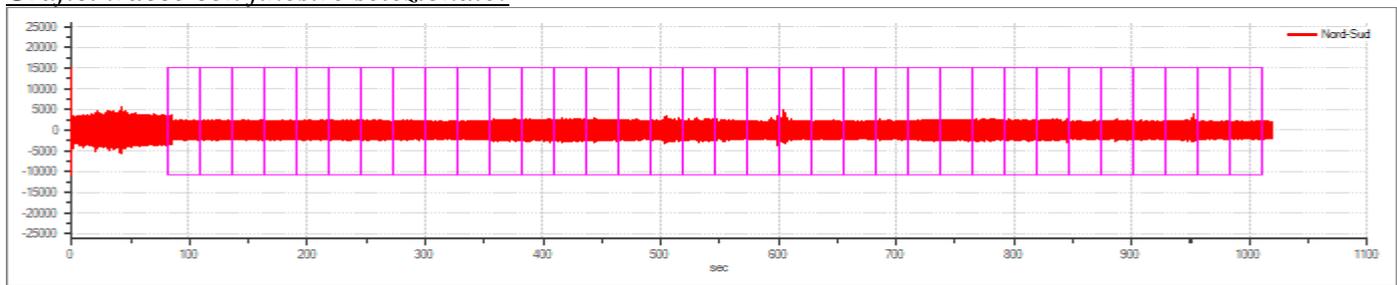
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 34  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 34  
 Dimensione temporale finestre: 27,307 s  
 Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %

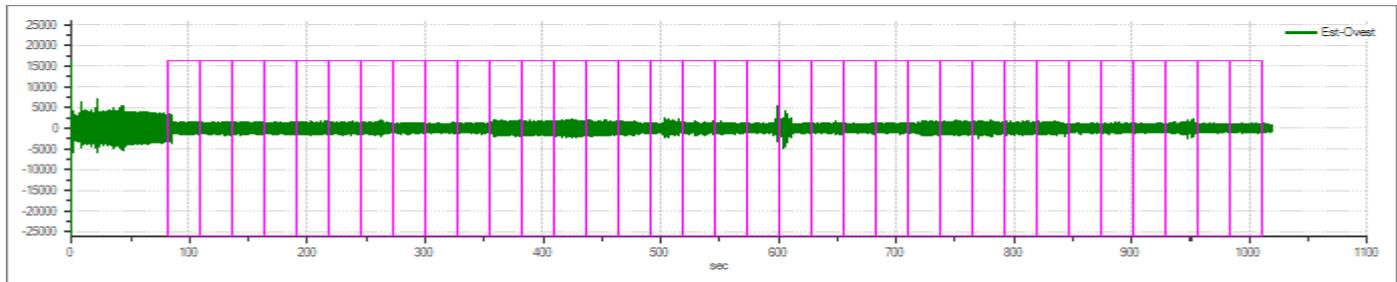
### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	81,92	109,227	Inclusa
2	109,227	136,533	Inclusa
3	136,533	163,84	Inclusa
4	163,84	191,147	Inclusa
5	191,147	218,453	Inclusa
6	218,453	245,76	Inclusa
7	245,76	273,067	Inclusa
8	273,067	300,373	Inclusa
9	300,373	327,68	Inclusa
10	327,68	354,987	Inclusa
11	354,987	382,293	Inclusa
12	382,293	409,6	Inclusa
13	409,6	436,907	Inclusa
14	436,907	464,213	Inclusa
15	464,213	491,52	Inclusa
16	491,52	518,827	Inclusa
17	518,827	546,133	Inclusa
18	546,133	573,44	Inclusa
19	573,44	600,747	Inclusa
20	600,747	628,053	Inclusa
21	628,053	655,36	Inclusa
22	655,36	682,667	Inclusa
23	682,667	709,973	Inclusa
24	709,973	737,28	Inclusa
25	737,28	764,587	Inclusa
26	764,587	791,893	Inclusa
27	791,893	819,2	Inclusa
28	819,2	846,507	Inclusa
29	846,507	873,813	Inclusa
30	873,813	901,12	Inclusa
31	901,12	928,427	Inclusa
32	928,427	955,733	Inclusa
33	955,733	983,04	Inclusa
34	983,04	1010,347	Inclusa

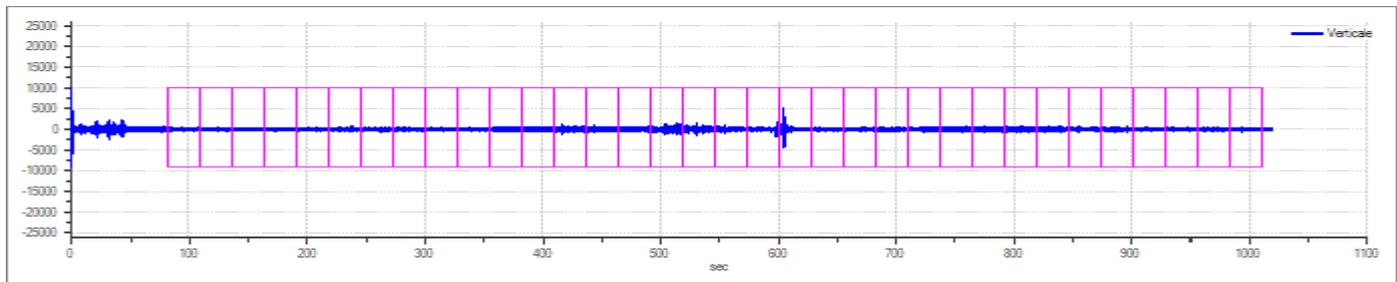
*Grafici tracce con finestre selezionate:*



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

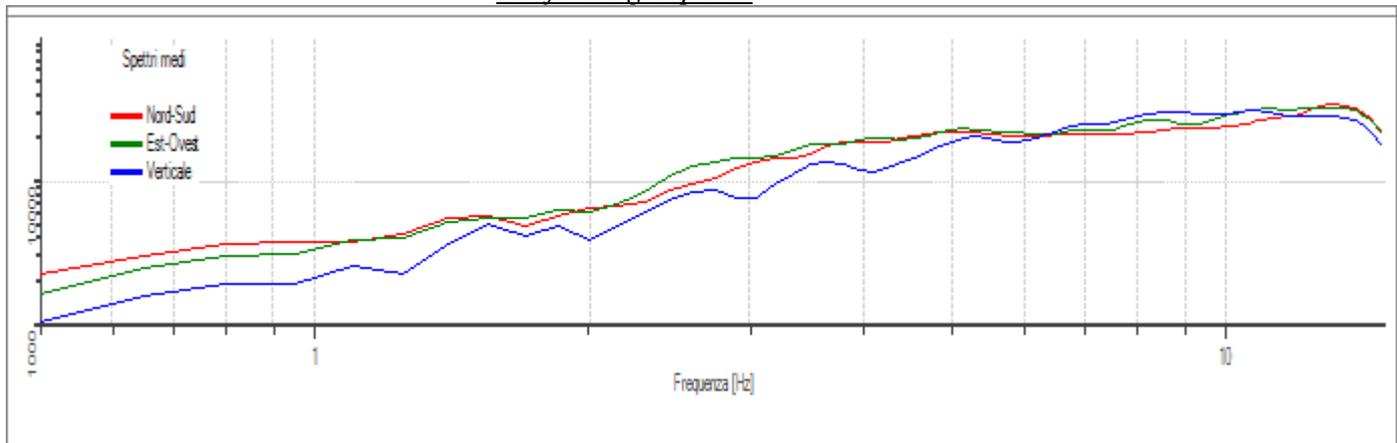


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

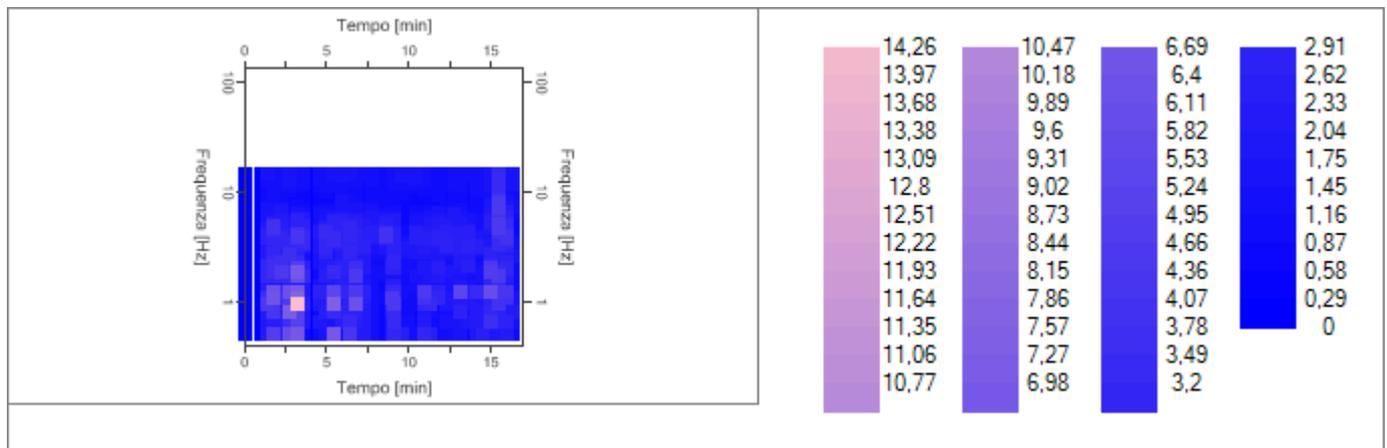


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

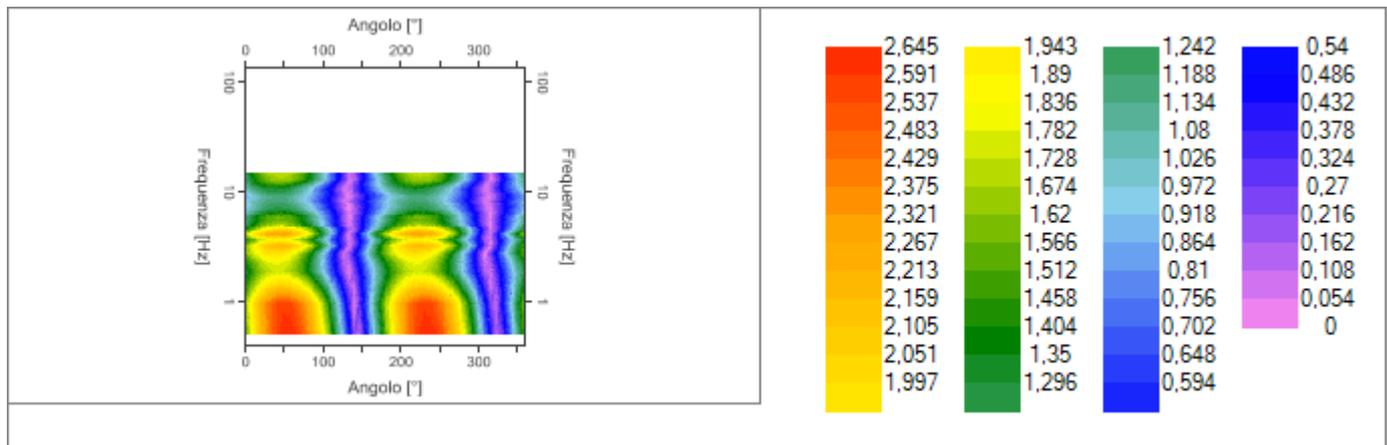
*Grafici degli spettri*



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

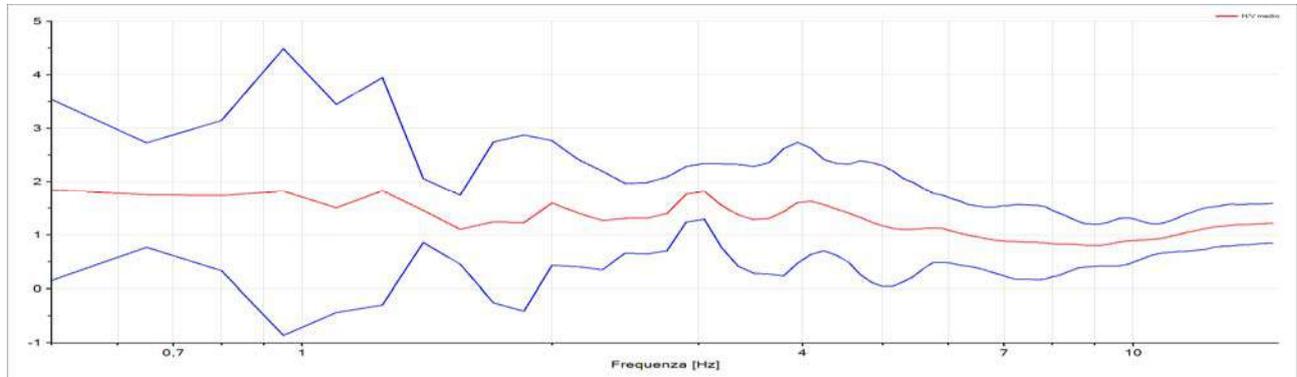
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15,00 Hz  
 Frequenza minima: 0,50 Hz  
 Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 3,0 Hz ±0,91 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ .	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$ .	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

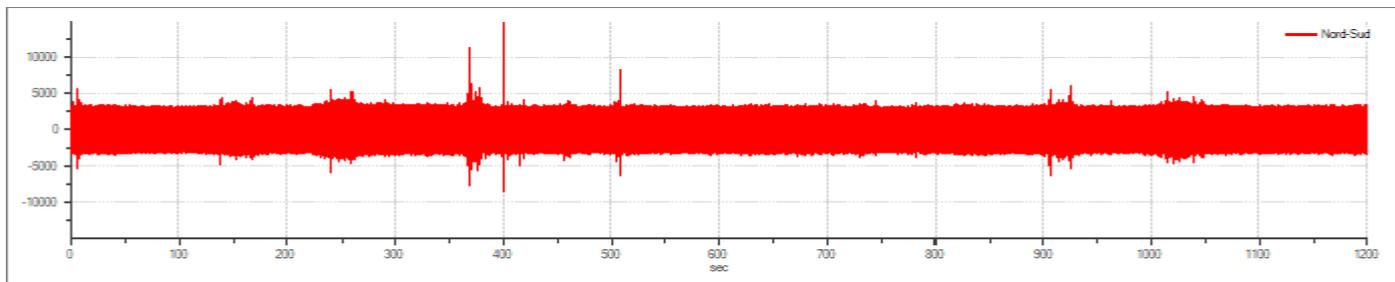


## Tracce in input (registrazione 2)

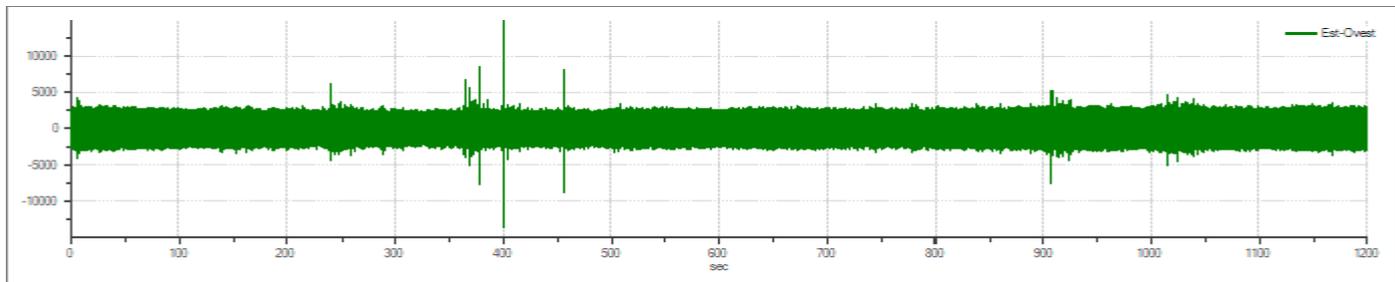
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300,00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

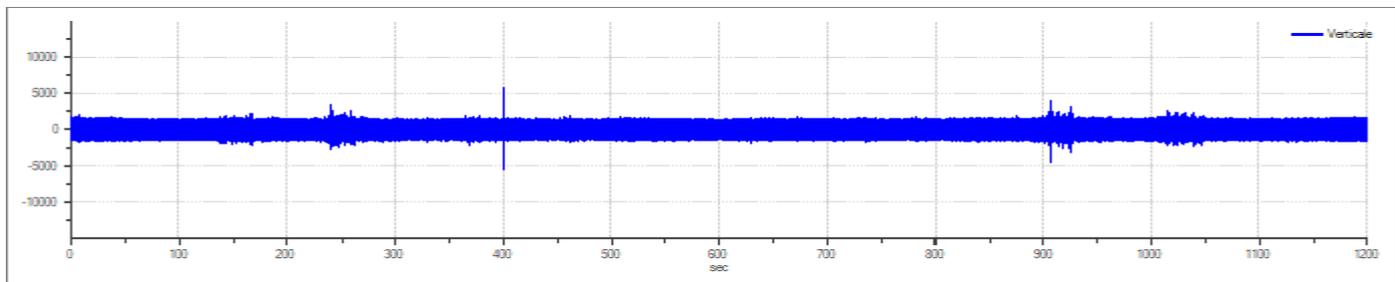
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale



## Finestre selezionate

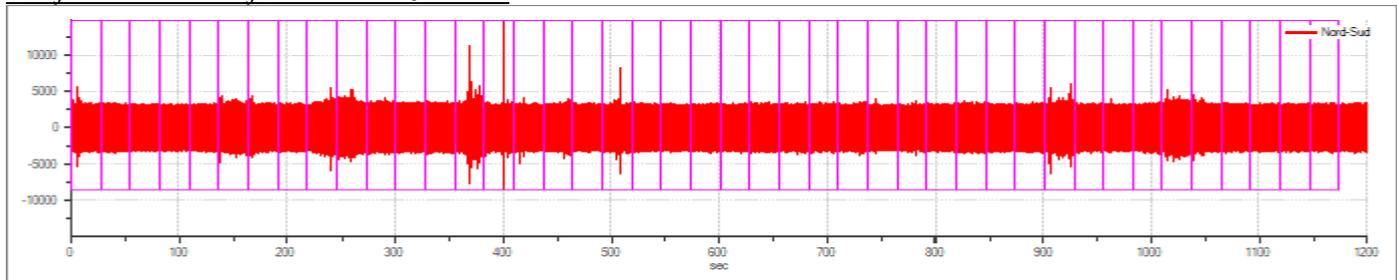
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 43  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 43  
 Dimensione temporale finestre: 27,307 s  
 Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %

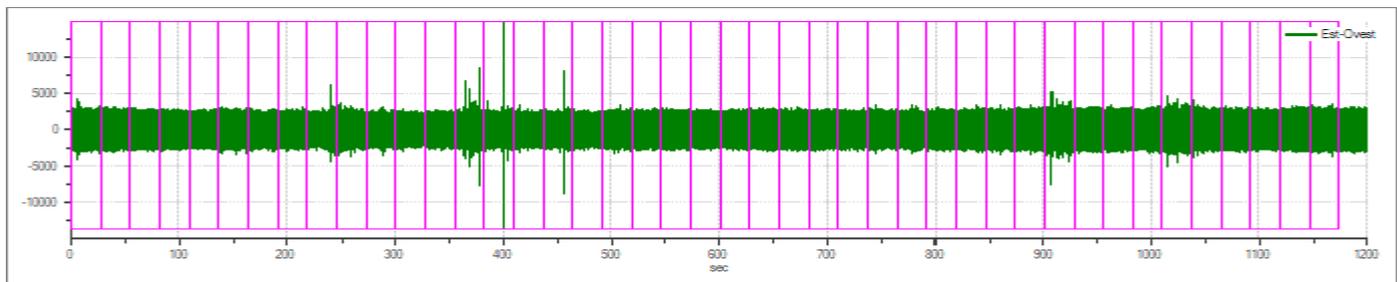
### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	27,307	Inclusa
2	27,307	54,613	Inclusa
3	54,613	81,92	Inclusa
4	81,92	109,227	Inclusa
5	109,227	136,533	Inclusa
6	136,533	163,84	Inclusa
7	163,84	191,147	Inclusa
8	191,147	218,453	Inclusa
9	218,453	245,76	Inclusa
10	245,76	273,067	Inclusa
11	273,067	300,373	Inclusa
12	300,373	327,68	Inclusa
13	327,68	354,987	Inclusa
14	354,987	382,293	Inclusa
15	382,293	409,6	Inclusa
16	409,6	436,907	Inclusa
17	436,907	464,213	Inclusa
18	464,213	491,52	Inclusa
19	491,52	518,827	Inclusa
20	518,827	546,133	Inclusa
21	546,133	573,44	Inclusa
22	573,44	600,747	Inclusa
23	600,747	628,053	Inclusa
24	628,053	655,36	Inclusa
25	655,36	682,667	Inclusa
26	682,667	709,973	Inclusa
27	709,973	737,28	Inclusa
28	737,28	764,587	Inclusa
29	764,587	791,893	Inclusa
30	791,893	819,2	Inclusa
31	819,2	846,507	Inclusa
32	846,507	873,813	Inclusa
33	873,813	901,12	Inclusa
34	901,12	928,427	Inclusa
35	928,427	955,733	Inclusa
36	955,733	983,04	Inclusa
37	983,04	1010,347	Inclusa
38	1010,347	1037,653	Inclusa
39	1037,653	1064,96	Inclusa
40	1064,96	1092,267	Inclusa
41	1092,267	1119,573	Inclusa
42	1119,573	1146,88	Inclusa
43	1146,88	1174,187	Inclusa

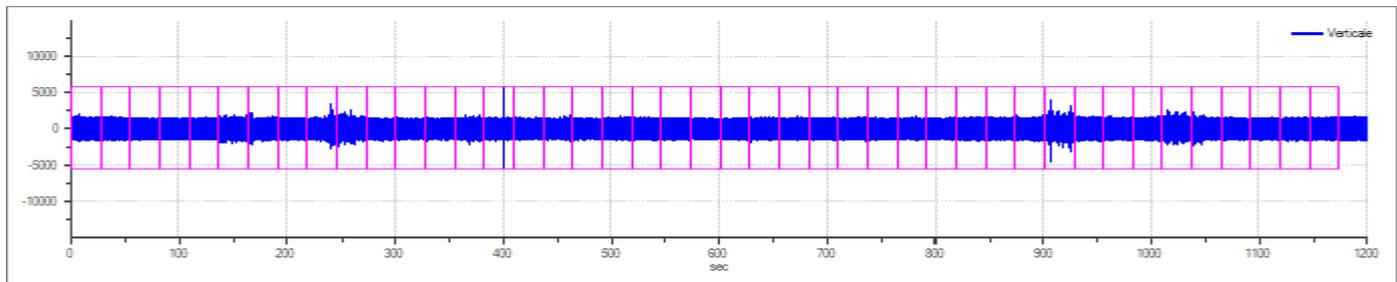
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

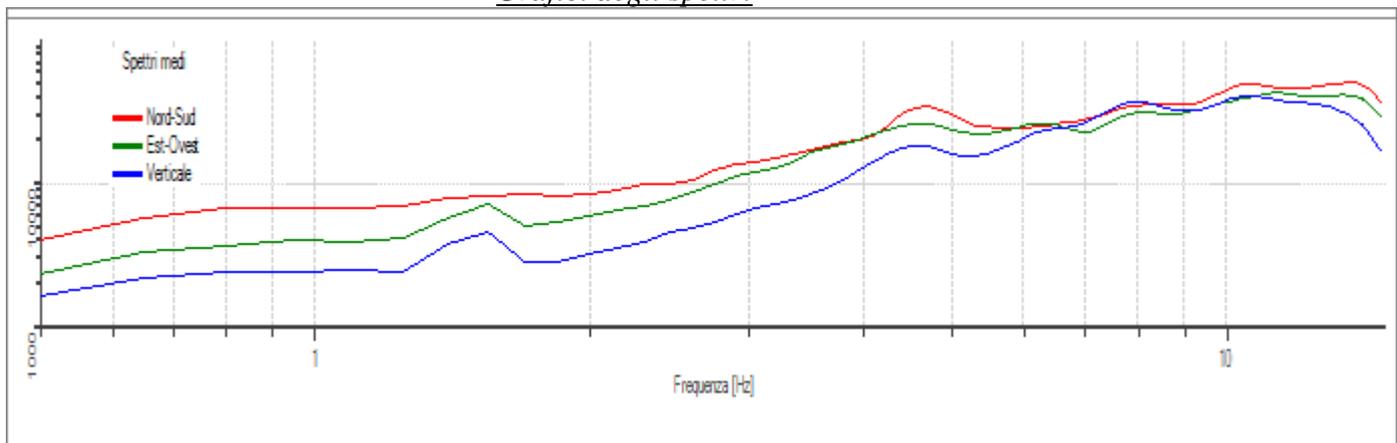


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

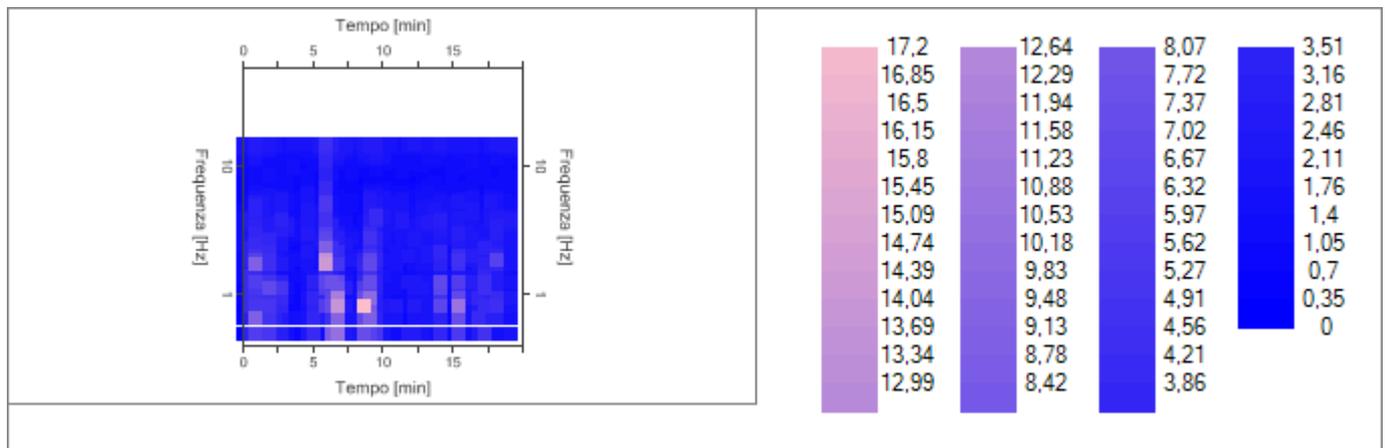


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

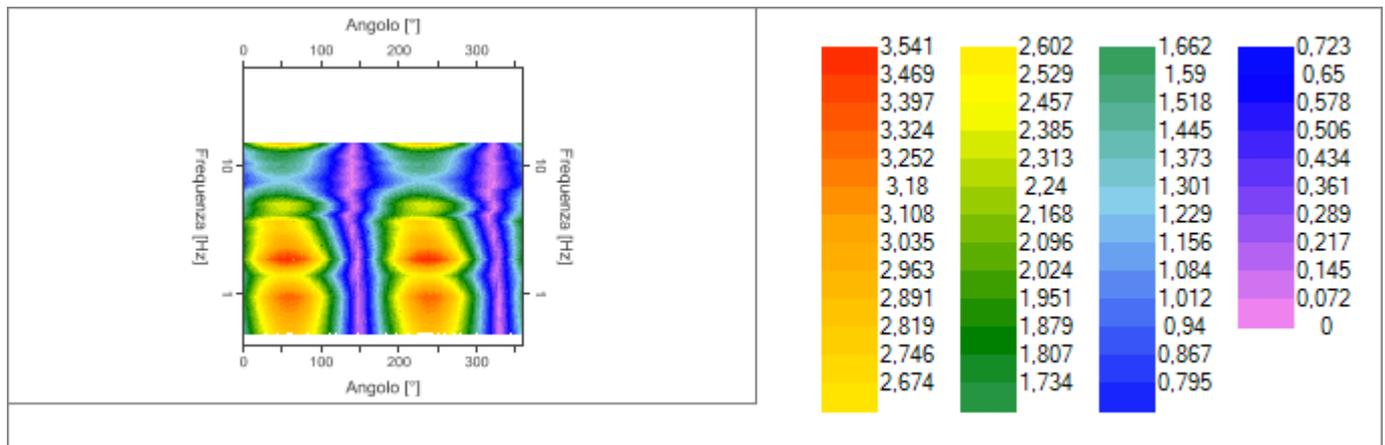
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

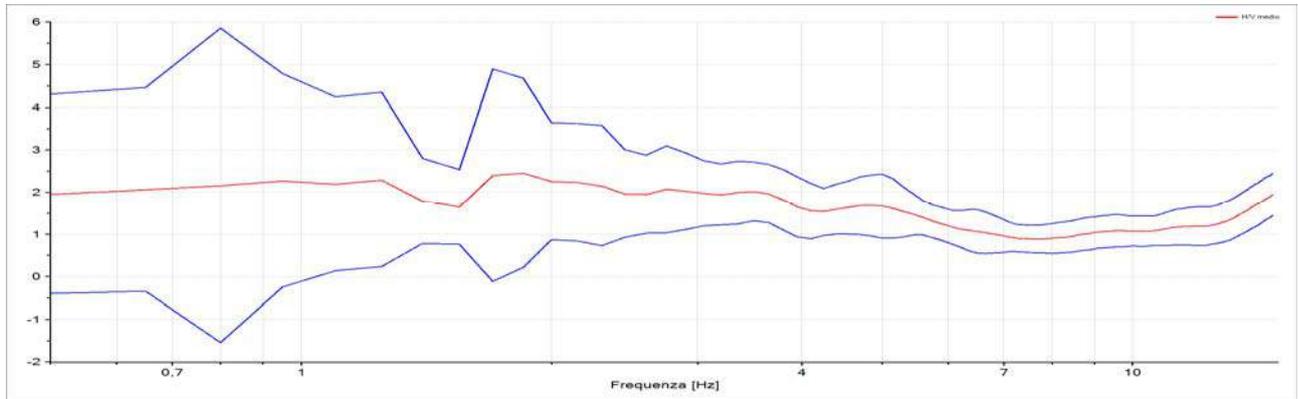
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15,00 Hz  
 Frequenza minima: 0,50 Hz  
 Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 3,5 Hz ±0,91 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



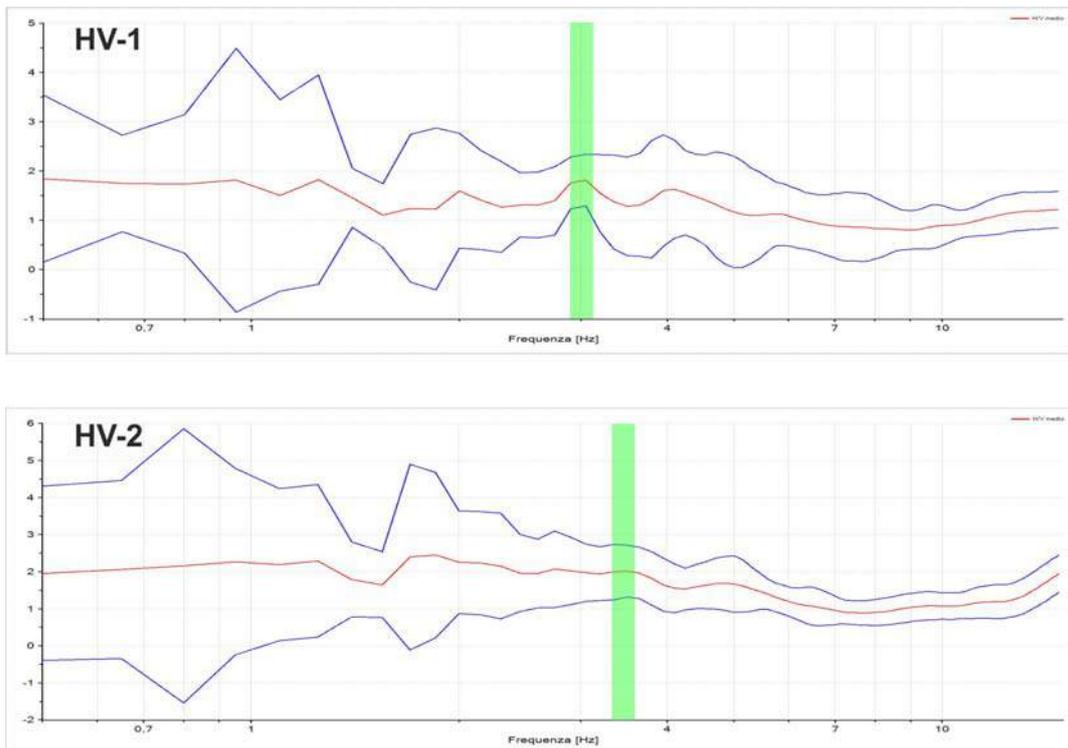
Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ .	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$ .	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

### 3.1 Conclusioni HVSR

Di seguito si riportano le curve dei rapporti spettrali H/V ottenute dalla due registrazione effettuate.



Sovrapposizione delle curve dei rapporti spettrali

Le curve dei rapporti spettrali H/V-1 e H/V-2 mettono in evidenza l'assenza di contrasti sismici significativi nel range delle frequenze ingegneristiche. Le stesse curve presentano due modesti picchi con rapporto HV minore di 2 (basso contrasto) localizzati nel range di frequenza 3-3,5 Hz. Al di sotto dei due Hz in entrambe le registrazioni è presente un artefatto imputabile ad un disturbo antropico, mentre nel range 7-9 Hz è visibile la presenza di una leggera inversione di velocità.

Sassoferrato, 11 settembre 2018

**SERVIZI SISMICI S.n.c.**  
 di *Donnini A. & Mantoni F.*  
 Via Piano di Frassineta, 109  
 60041 - SASSOFERRATO (AN)  
 Cod. Fisc. e P.IVA: 02295830420  
 N. Res. AN-182227

