

# COMUNE DI SANTARCANGELO DI R.

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA AMBITO AN.C.16 SUB COMPARTO "A" , DENOMINATO "EX CORDERIE " SITO IN SANTARCANGELO DI ROMAGNA, LOCALITA' CAPOLUOGO , VIA PIAVE, VIA DELLA RESISTENZA ( SCHEDA D'AMBITO N.6-6BIS DELLA VARIANTE SPECIFICA AL POC.1).

Proprietà:

ARCA S.p.a.  
Vinciana S.r.l.  
Baroni Roberto  
Immobiliare la corderia di  
Baroni Roberto & C. Snc

Firma

Progettisti e D.L. :

Arch. Claudio Lazzarini

Firma

Arch. Mauro Ioli

Firma

STUDIO DI ARCHITETTURA

**LAPIS**

Studio di architettura - urbanistica - tecnologia  
Dott. Arch. Mauro Ioli  
[E-mail : info@studioarchioli.it]  
[E-mail : mauro.ioli@archiworldpec.it]  
via Ugo Braschi n. 67 - 47822 Santarcangelo di R.  
telefono 0541/625166 (2 linee) - 0541/622612  
c.f. LIO MRA 55C06 I304B - Partita IVA 01268260401

Elaborato:

**R2**

Agosto 2020

Oggetto:

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA DELLE INDAGINI**

*sostituisce relazione geologica R2 del marzo 2019*



Consulenze ambientali  
Piazza Marini 25, 47822 Santarcangelo di R (RN)  
Tel. 0541/624073 - geologica2016@gmail.com

**Dott. Geol. Arianna Lazzarini**

*tecnico in Valutazione di Impatto Ambientale*

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</b>	<b>4</b>
3.1 GEOLOGIA TERRITORIALE.....	4
3.2 STRATIGRAFIA TERRITORIALE.....	6
3.3 STRATIGRAFIA LOCALE .....	7
3.4 CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	7
<b>4. IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
4.1 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE.....	11
4.2 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	11
4.3. PERMEABILITÀ DEI TERRENI .....	13
<b>5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>16</b>
<b>6 - CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>23</b>
6.1 -CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI .....	23
6.2 -PARAMETRI FISICO - MECCANICI DEI TERRENI .....	24
<b>7. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>26</b>
7.1 - SISMICITÀ STORICA.....	27
7.2 - CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	29
7.3 - CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	30
7.4 - AZIONE SISMICA .....	30
7.4.1 - PARAMETRI SIMICI .....	30
7.4.2 - AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA .....	31
7.4.3 - AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	31
7.4.3 - PARAMETRI SISMICI SU SITO DI RIFERIMENTO RIGIDO .....	32
7.4.4 - COEFFICIENTI SISMICI .....	33
<b>8 - CONCLUSIONI.....</b>	<b>35</b>
<b>9 - ALLEGATI .....</b>	<b>36</b>

## **1. PREMESSA**

Su incarico dei proprietari delle superfici interessate dagli interventi, è stato redatto il presente rapporto quale risultato di uno studio geologico finalizzato agli obiettivi della scheda d'ambito specifica del POC in variante e del PUA relativo al sub-ambito A, per l'ambito definito AN.C.16 ex corderie del PSC. L'area di indagine, indicata nell'allegata cartografia corografica, è localizzata in prossimità del centro abitato di Santarcangelo di Romagna, compresa tra Via Togliatti, Via Piave e Viale della Resistenza.

Lo studio è stato eseguito con l'obiettivo di valutare, in rapporto con gli strumenti di pianificazione esistenti, la compatibilità degli interventi previsti e tutti gli aspetti geologici, geomorfologici, idrologici e idrogeologici nonché sismici, del territorio interessato.

Le indagini geologiche sono state finalizzate alla ricostruzione del modello geologico e geotecnico del sito, accertando la natura litologica e le caratteristiche geomeccaniche del terreno costituente il sottosuolo nonché determinare i principali caratteri idrogeologici locali utili alla progettazione.

In particolare l'indagine, volta a formulare un quadro tecnico - operativo di supporto alle scelte progettuali, si è avvalsa di elementi diagnostici acquisiti tramite:

- un rilevamento geologico - geomorfologico di superficie;
- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati
- n.3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)
- N. 3 prove penetrometriche statiche (CPT)
- Indagine geofisica con metodo (HVRS) n. 3 misurazioni
- n. 1 prove di permeabilità in foro
- n.1 indagini di laboratorio sui campioni prelevati

A integrazione dello studio, sono stati anche consultati dati bibliografici esistenti per la zona, reperiti dal DB della Regione Emilia Romagna, quale raffronto e verifica dei dati geognostici acquisiti.

Lo studio, è stato effettuato in ottemperanza alla normativa tecnica vigente tenendo conto che gli interventi edificatori saranno realizzati su aree ricadenti in zona sismica, facendo riferimento alle seguenti normative, linee guida e raccomandazioni:

- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione – D.M. 11 Marzo 1988 - Circ. Min. LL.PP. n.30483, 24 settembre 1988;
- Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica – O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche;
- NTC 2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) e relativa circolare esplicativa del CC.LL.PP. luglio 2018.
- D.G.R. n° 2193 del 21/12/2015 aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";
- Eurocodici 7 e 8
- AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977);

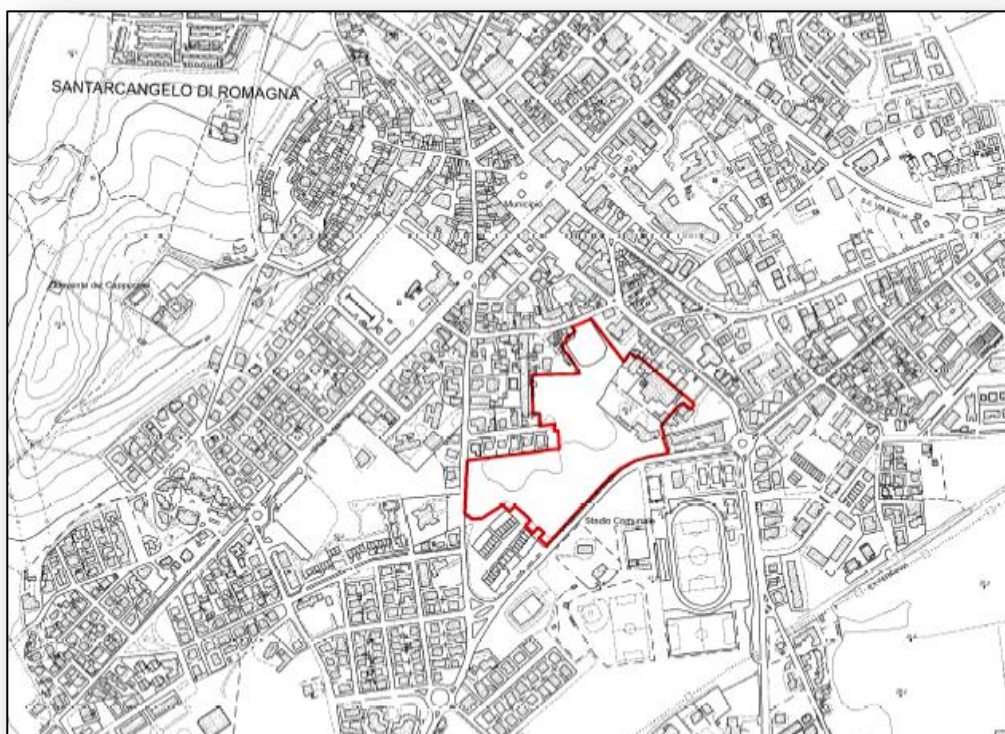
- AGI Associazione Geotecnica Italiana “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica (2005);
- Normative specifiche regionali, provinciali e comunali

## **2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO**

L'Area di indagine è compresa nella tavoletta 256SO alla scala 1:25000 della Carta Tecnica Regionale, nell'Elemento N. 256100 *Santarcangelo di Romagna* alla scala 1:10.000 e nelle Sezioni N. 256102 e N.256103 in scala 1: 5.000.

L'area si attesta nel fondovalle, su un terrazzo alluvionale posto alla sinistra orografica del Fiume Marecchia, immediatamente ad est del centro storico di Santarcangelo di Romagna, tra le Vie Togliatti, Piave e Viale della Resistenza. La quota topografica media dell'area è di circa 40 m s.l.m. con pendenze locali pressoché nulle, le quali tendono a scala un po' più ampia e con gradienti minimi, a degradare in direzione circa NE. Le coordinate geografiche medie espresse in WGS 84 sono latitudine 44.059481N e longitudine 12.447667E

Catastralmente i terreni sono ricompresi nel Comune di Santarcangelo di Romagna foglio 20 particelle 47, 48, 49, 55, 710, 794, 795, 912, 913, 921, 2620, 987, 988, 2090, 2086, 416, 428, 429, 431, 879, 926, 927, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 954.



*Fig. 1 – stralcio cartografia tecnica regionale con individuazione in rosso del perimetro dell'ambito AN.C.16 ex corderie*

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

#### **3.1 GEOLOGIA TERRITORIALE**

La struttura geologica territoriale, riflette i processi evolutivi della conoide alluvionale del Fiume Marecchia, con litologie e depositi costituiti essenzialmente da termini sedimentologici ascrivibili alle ghiaie, alle sabbie e alle argille e limi.

La geologia territoriale risulta quindi di facile interpretazione essendo l'ambito di indagine, e per un intorno significativo, caratterizzato da pianura alluvionale con depositi in evoluzione per quanto riguarda l'alveo attuale del Fiume Marecchia e depositi terrazzati più o meno antichi per le fasce laterali all'alveo stesso.

L'indagine geologica di dettaglio non ha rilevato singolarità degne di nota e si conferma quindi quanto cartografato a scala territoriale nelle mappe del progetto CARG e della regione Emilia-Romagna Servizio Geologico e dei Suoli. Le informazioni riguardanti l'assetto generale a livello locale sono state desunte dagli studi disponibili sempre nella banca dati regionale, in particolare per quanto attiene alla idrogeologia e alla idro-stratigrafia per la fascia di conoide compresa tra Ponte Verucchio e il mare.

Le informazioni assunte rappresentano un modello stratigrafico molto sviluppato in profondità con notevoli spessori di successioni alluvionali caratterizzate dal sovrapporsi di vari eventi deposizionali ed erosivi con velocità di trasporto e sedimentazione variabili. Con la profondità tendono ad aumentare il controllo tettonico e strutturale delle forme deposizionali sedimentarie di diretta derivazione appenninica.

#### ***DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI***

##### **DEPOSITI ALLUVIONALI IN EVOLUZIONE**

*Deposito costituito da materiale detritico generalmente non consolidato (ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi) di origine fluviale, attualmente soggetto a variazioni dovute alla dinamica fluviale. Può essere talora fissato da vegetazione. Costituiscono l'alveo attuale del Fiume Marecchia caratterizzato da barre vegetate centrali ai canali di divagazione del corso principale.*

#### ***SUCCESSIONE NEOGENICA QUATERNARIA DEL MARGINE PADANO***

##### **SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)**

*Sabbie e ghiaie con subordinati limi argillosi costituenti terrazzi intravallivi e conoidi, talora con indizi di pedogenesi, e i depositi attualmente in evoluzione nei fondovalle. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino -marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. Contatto inferiore erosivo e discordante sui vari terreni prequaternari.*

*Pleistocene superiore-Olocene*

### **AES8 - SUBSISTEMA DI RAVENNA**

*Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti.*

*Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7.*

*Pleistocene superiore-Olocene*

### **AES8a - Unità di Modena**

*Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive.*

*Olocene*



Fig. 2 – stralcio cartografia geologica regionale. La linea azzurra con barbette indica orlo di terrazzo e gradino morfologico. (RER Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli)

### 3.2 STRATIGRAFIA TERRITORIALE

Le informazioni generali ad ampia scala, sul modello stratigrafico territoriale sono state desunte da indagini bibliografiche relative agli studi specifici sul conoide del Fiume Marecchia (U. Buli “Geoidrologia della conoide del F. Marecchia” 1935; Zaghini M e Toni G. “ Idrogeologia e Geotecnica del conoide del F. Marecchia” 1988), a livello locale si è fatto riferimento ad indagini eseguite in sito nell’ambito di studi pregressi per la verifica compatibilità dell’area all’ art. 3.3 comma 3 lett. PTCP 2007 per variante PRG.

In generale la stratigrafia locale rispecchia, la storia geologica della bassa Valmarecchia nel passaggio tra le ultime propaggini collinari verso la costa adriatica, nell’ambito nel quale si imposta la piana intercollinare del Fiume Marecchia.

Il materasso alluvionale che ne costituisce il letto mantiene uno spessore variabile fra 5 e 10 m; all’altezza di S. Martino dei Mulini aumentando in direzione nord a costituire la già citata Conoide del Fiume Marecchia, arrivando a 230 m all’altezza di S. Giustina, costituendo un gigantesco serbatoio sotterraneo d’acqua dolce (Severi, 2001).

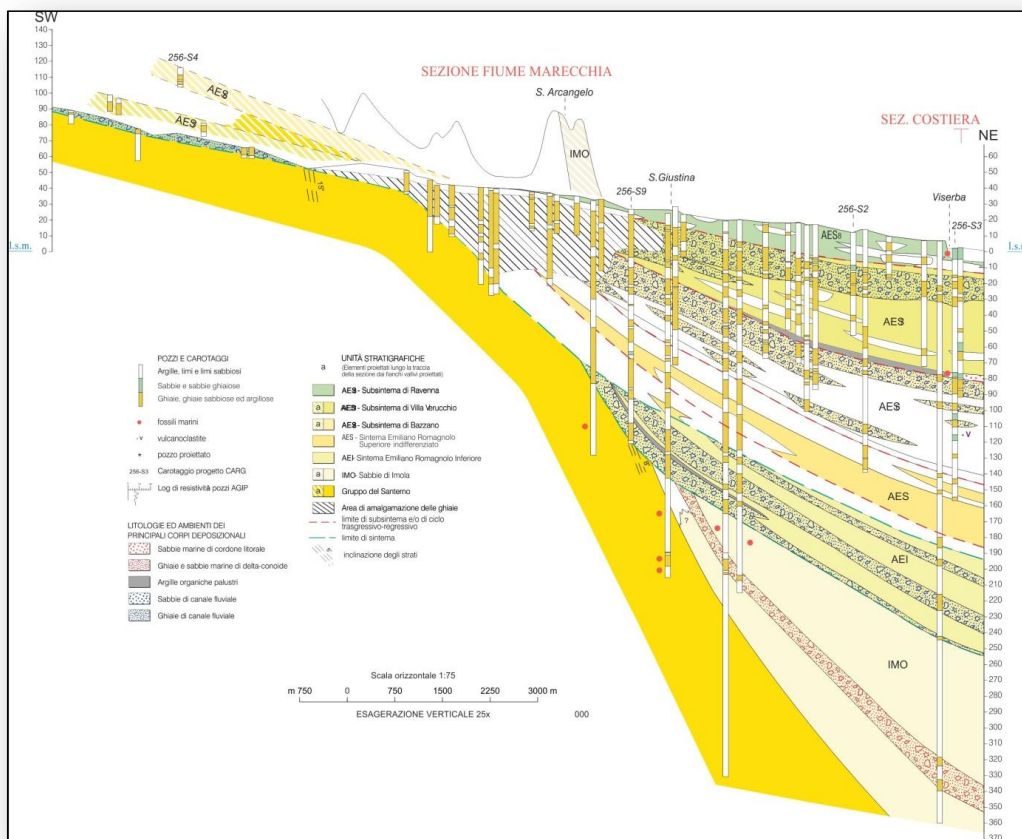


Fig. 3 – Sez. n. 60 – Cartografia geologica Emilia Romagna –Sezioni Geologiche. La sezione è stata tracciata con direzione NO-SE, circa parallelamente al corso del Fiume Marecchia

L’apice della conoide, che rappresenta il settore in cui preferenzialmente avviene il trasferimento delle acque dai corpi idrici superficiali a quelli del sottosuolo (Toni e Zaghini, 1998) è posto in corrispondenza della suddetta soglia di naturale ispessimento dell’acquifero (S. Martino dei Mulini, poco

a monte della Trasversale Marecchia) mentre l' apice morfologico è posto in corrispondenza della stretta di Ponte Verucchio.

### **3.3 STRATIGRAFIA LOCALE**

L'area oggetto del presente studio si inserisce in un'ampia pianura compresa tra il Fiume Marecchia e il Colle di Santarcangelo di Romagna. Questa è caratterizzata da depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale depositi pleisto – olocenici. La variabilità e la distribuzione areale dei vari livelli stratigrafici è attribuibile alla divagazione dell'alveo e dalla sua natura. La presenza dei paleosuoli a diverse profondità è quasi sicuramente attribuibile alla formazione di barre nella divagazione dei canali intrecciati. La descrizione stratigrafica del sottosuolo, in corrispondenza dell'area oggetto di indagine è definita compiutamente nelle stratigrafie dei sondaggi riportate in allegato ed è caratterizzante per i primi 15 m di sottosuolo. E' possibile riassumere la stratigrafia locale riconoscendo due zone distinte che si differenziano essenzialmente in base alla presenza più o meno subordinata di orizzonti prevalentemente argillosi rispetto a quelli prevalentemente ghiaiosi.

Per quanto riguarda la descrizione specifica dei caratteri litostratigrafici si rimanda ai capitoli successivi.

### **3.4 CARATTERI GEOMORFOLOGICI**

In un contesto più ampio, potendo immaginare una sezione ideale, trasversale al corso del Marecchia, si evidenziano delle pianure a quota diversa (Terrazzi), che salgono a scalinata procedendo verso la collina, che rappresentano antichi livelli di scorrimento del fiume. In letteratura vengono distinti cinque "ordini" di Terrazzi in base alla loro elevazione topografica; il più recente è quello immediatamente incombente sull'alveo attuale, quelli via via più antichi si trovano a quote crescenti, sospesi sui fianchi collinari della valle (Zaghini, 1997).

Localmente l'area, attestata alla quota media di circa 40 m . s.l.m. si sviluppa integralmente sulla pianura alluvionale che fiancheggia l'alveo del Fiume Marecchia, in sinistra idrografica nell'ambito delle alluvioni recenti. Tali forme, dotate di ampiezza trasversale molto variabile, si sviluppano con generalizzata continuità a fianco dell'alveo fluviale, uniformandosi alla pianura alluvionale circostante. Sono altresì individuabili alcuni gradini morfologici sia retaggio di orli di paleo-terrazzi, margini d'alveo e paleo-argini; le pratiche agricole e l'intensa urbanizzazione, hanno reso molto difficile una precisa mappatura dei caratteri morfologici citati.

Anche la cartografia regionale riporta limiti e contatti di tipo incerto tra le diverse successioni alluvionali, contatti che, oltre ad essere di tipo geologico e stratigrafico, sono a volte anche di tipo geomorfologico. Ad esempio le frequenti interdigitazioni di depositi ghiaioso-sabbiosi con depositi più limosi e argillosi a chiusura di barre fluviali o di depositi laterali all'alveo stesso.

Nella zona, nonostante manifesti nel complesso configurazione morfologica pianeggiante, si individuano gradienti seppur poco percettibili a vasta scala ma localmente articolati secondo geometrie legate sia alle divagazioni di paleo alveo che di origine antropica. Sono riconoscibili pertanto segni e forme morfologiche originarie quali paleo scarpate e rialzi morfologici che contraddistinguono diversi episodi di deposizione ed erosione. Le originarie configurazioni sono state in tempi più recenti riprese: in parte dagli interventi di urbanizzazione verso la zona del centro di Santarcangelo e nella prima periferia dove sorgono le aree industriali, e in parte più in periferia per lo sfruttamento dei suoli ai fini agricoli. La



morfologia originaria pertanto è caratterizzata sia da fondi intervallati da fossi di scolo che da superfici antropiche legate anche alla presenza della rete stradale sia locale che provinciale.

I caratteri geomorfologici locali offrono garanzie di notevole affidabilità statica, sia per favorevoli assetti morfologici della pianura privi di gradienti e per le buone proprietà geomeccaniche dei materiali. A scala locale, poiché l'area si estende in un ampio comparto produttivo, non si riscontrano segni morfologici degni di nota, l'originaria pianizia è stata leggermente riconfigurata per la realizzazione della pavimentazione.



*Foto 1 – foto aerea anno 2018 relativa all'intero ambito*



*Foto 2 – foto aerea anno 2018 relativa al sub-ambito A del PUA in oggetto*

#### **4. IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA**

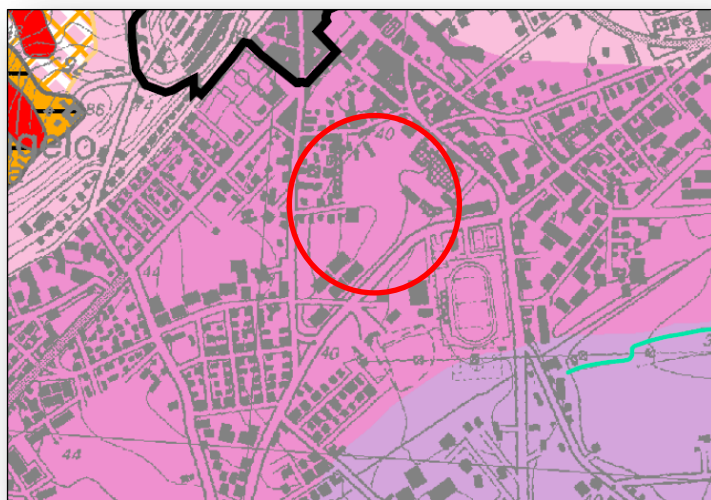
L'area di intervento, si imposta parzialmente su di una Fascia ad Alta Vulnerabilità Idrogeologica corrispondente alla fascia ARD (area di ricarica diretta della falda) individuata nel PTCP alla tavola D1 della Provincia di Rimini e normata dall'art. 3.4. Le stesse sono state ugualmente individuate anche nel PSC comunale alla tavola 2b, normate all'art. 14.3.

Questa è caratterizzata da territori costituiti da depositi alluvionali grossolani idrogeologicamente connessi con l'alveo, all'interno dei quali sono consentite la conservazione e il ripristino delle caratteristiche idromorfologiche ed idrogeologiche nonché il mantenimento e l'ampliamento degli spazi naturali.

Di seguito si riportano gli stralci delle tavole di cui sopra rispettivamente del PTCP e del PSC.

#### **AMBITI A VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA**

- Aree di ricarica idraulicamente connesse all'alveo - ARA (art. 3.3)
- Aree di ricarica diretta della falda - ARD (art. 3.4)
- Aree di ricarica indiretta della falda - ARI (art. 3.5)



*Fig. 4 – stralcio della tavola D del PTCP RN 2007 con individuazione dell'area di intervento*

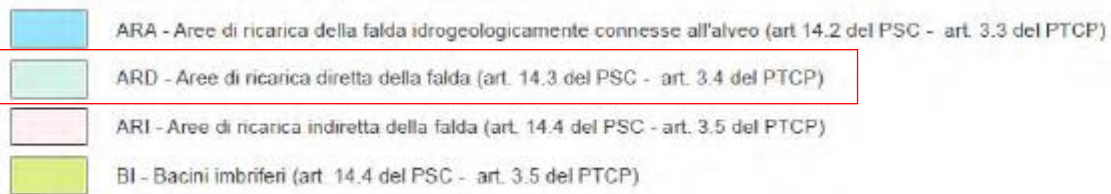
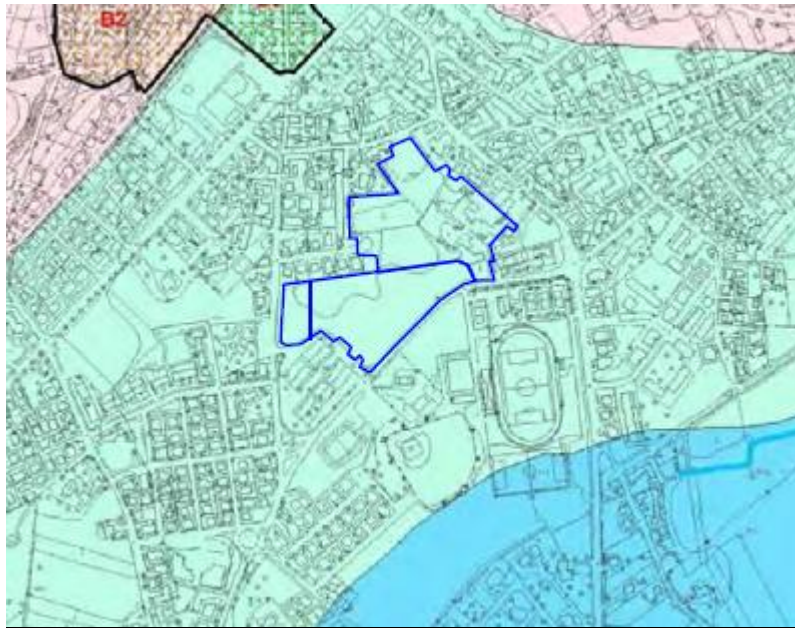


Fig. 5 – stralcio della tavola 2 del PSC con individuazione dell'area di intervento

#### **4.1 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

I caratteri idrografici ricalcano in generale le forme morfologiche già descritte. In un contesto più ampio dove i suoli hanno caratteristiche di originaria permeabilità l'idrologia si esprime tramite laminazione diffusa per la parte sottratta all'infiltrazione e all'evapotraspirazione. I collettori della zona sono rappresentati da sistemi di raccolta che a più piccola scala sono quasi sempre origine artificiale quali i fossi di scolo interpoderali o fossi di scolo legati alle reti stradali.

Gli scoli naturali, sono state nel tempo modificati, sia per il governo dei fondi agricoli e le pratiche colturali, sia per costituire un maggiore e più funzionale drenaggio delle acque di superficie anche nei territori urbanizzati.

Per tali motivi le direttrici di deflusso locali e i caratteri idrologici dell'area indagata si sviluppano sia artificialmente attraverso reti idriche autorizzate dove urbanizzate, che in maniera naturale e diffusa legate ai gradienti locali.

#### **4.2 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

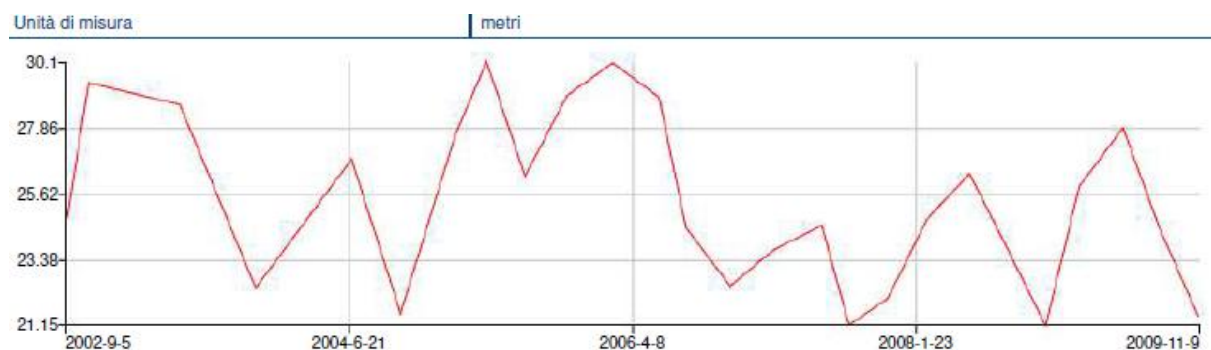
La caratterizzazione idrogeologica locale, oltre alle indagini direttamente eseguite, è stata desunta da dati, sezioni e stratigrafie disponibili nelle banche dati regionali e provinciali, dati su pozzi della rete piezometrica provinciale e sezioni geologiche del Servizio Geologico Regionale implementate con indagini e dati riferiti a studi pregressi e da quelli direttamente ricavati nel presente studio.

L'attività idrogeologica a scala regionale è strettamente legata alla genesi e alla conformazione della conoide del Fiume Marecchia che localmente è suddivisa in numerosi sottobacini uno dei quali presente a nord dell'area di interesse (Fosso Budriolo); ne deriva quindi la definizione di *conoide complessa*, cioè non regolata esclusivamente da un corpo idrico principale ma da numerose linee di deflusso e da altrettante sub-conoidi minori. L'attività idrogeologica è quindi strettamente legata alla stratigrafia locale e alle caratteristiche dei materiali che costituiscono l'orizzonte alluvionale. Nell'area di pianura l'acquifero è contenuto all'interno dei depositi continentali poggianti sul substrato costituito da orizzonti argilloso-siltosi di origine marina caratterizzati da una bassissima permeabilità. Una schematizzazione dell'assetto idrogeologico può essere così riassunto:

- nella parte terminale dell'area collinare, prima dello sbocco in pianura, la coltre alluvionale è di natura ghiaiosa con spessori variabili e poggianti su un substrato impermeabile, costituito da terreni quaternari o più antichi. I sedimenti alluvionali in questo tratto sono rappresentati da depositi di terrazzo di diverso ordine;
- scendendo verso valle, nella zona di alta pianura, l'acquifero è contenuto nel corpo alluvionale di conoide di spessore considerevole, con terreni permeabili sabbiosi e ghiaiosi;
- nella media e bassa pianura l'acquifero risulta nelle coltri alluvionali costituite da sabbie fini e silti, caratterizzate da strati permeabili che nel complesso possono raggiungere spessori considerevoli.

Nel complesso il sistema acquifero regionale può essere assimilato ad un monostrato nei settori di media ed alta pianura, in particolar modo dove predominano i depositi di conoide, mentre acquisisce caratteristiche di acquifero multistrato nella bassa pianura, al comparire dei primi strati impermeabili caratterizzati da una discreta estensione laterale. Pertanto sono identificabili all'interno dell'acquifero emiliano-romagnolo zone caratterizzate da depositi alluvionali di conoide, dove gli acquiferi risultano essere per lo più indifferenziati e dove avviene la ricarica degli stessi attraverso l'infiltrazione fluviale e da precipitazioni meteoriche. Procedendo verso valle le barriere di permeabilità verticale assumono una maggiore consistenza, anche in termini di continuità areale, confinando gli acquiferi in pressione nella medio-bassa pianura. All'acquifero profondo, schematizzabile come anzidetto da un sistema multistrato formato dai complessi acquiferi delle conoidi appenniniche e dai complessi della media e bassa pianura, si sovrappongono livelli idrici superficiali contenuti nei terreni dell'immediato sottosuolo.

In zona è presente uno dei pozzi ubicati in corrispondenza della Conoide del Marecchia amalgama (acquiferi:A0,A2) appartenenti alla rete di monitoraggio ARPA denominato RN33-01 impostato alla quota di 41.2 m s.l.m.m.. I dati relativi alle letture piezometriche hanno evidenziato un livello piezometrico (metri s.l.m.) minimo: 21.18 e massimo: 30.1 con relativa soggiacenza massima di 20.02 m e minima di 11, 1 dal p.c.



In base agli studi fatti a corredo del PSC , si evidenziano in zona, linee di deflusso con direzione SW – NE. Durante l'esecuzione dei sondaggi è stata registrata la presenza di falda idrica a profondità dal piano campagna, differenti:

SONDAGGIO	PROFONDITA' FALDA DAL P.C.
S1	-4.4 m
S2	-6.1 m
S3	-13.7 m

Si attesta che a livello locale, ed in particolare in corrispondenza dell'area di specifico interesse, la presenza di superfici impermeabilizzate ed a bassissimo se non nullo coefficiente di infiltrazione efficace, inibiscono l'infiltrazione in profondità delle acque meteoriche a favore dello scorrimento superficiale e dell'evapotraspirazione (e del ristagno superficiale).

#### **4.3. PERMEABILITÀ DEI TERRENI**

Con lo scopo di definire maggiormente le caratteristiche tecniche dei materiali che costituiscono i primi metri di sottosuolo dell'area in esame, nel corso delle attività geognostiche condotte in sito dal è stata eseguita eseguite 1 prova di permeabilità entro il fori di sondaggio.

La prova di permeabilità in foro nei terreni (prova Lefranc) permette di determinare la permeabilità di terreni al fondo di fori di sondaggio al di sopra o al di sotto del livello della falda eventualmente presente.

La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (Kh), quella verticale (Kv) o una media tra le due (Kh \* Kv). Si esegue misurando gli assorbimenti di acqua, facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato.

È una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione nei terreni non rocciosi, e per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

La prova di permeabilità è stata eseguita, secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" A.G.I. – Giugno 1977, su un tratto di foro di sondaggio di diametro 0,127 m. La prova è eseguita riempiendo d'acqua il foro e misurando, dopo saturazione del terreno, la velocità di abbassamento del livello in funzione del tempo (prova a carico variabile). Per la valutazione del coefficiente di permeabilità si utilizzano formule empiriche, valide per un terreno omogeneo, isotropo, quali:

$$k = \frac{A}{Cl(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

dove:

A = area di base del foro di sondaggio

CL = coefficiente di forma

t2-t1 = intervallo di tempo

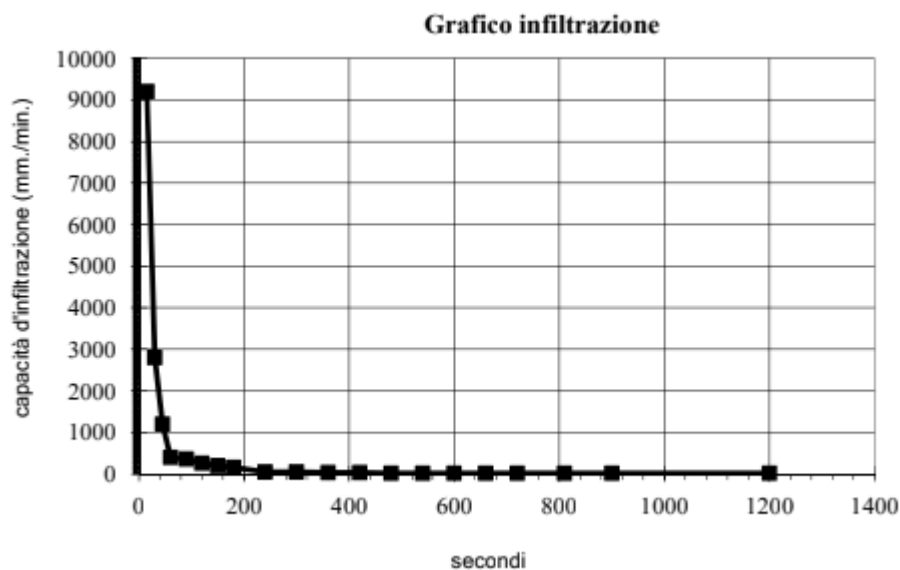
h2-h1 = variazione del livello di acqua nell'intervallo t2-t1

La permeabilità del terreno può essere misurata con prove in laboratorio e con prove in situ.

<b>Grado di permeabilità</b>	valore di k (m/s)
alto	superiore a $10^{-3}$
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di $10^{-9}$

Di seguito si riportano tabelle e grafici della prova effettuata:

<b>Prova di permeabilità Lefranc _ discesa</b>					
<b>Prova n. 1</b>			<b>Sondaggio S 2</b>		
<b>Profondità rivestimento: 3.7 mt da piano campagna</b>					
<b>tempo</b>	<b>livello acqua da p.c.</b>	<b>livello acqua</b>	<b>intervallo</b>	<b>infiltrazione</b>	<b>capacità</b>
sec	+300 mm p.c. mm	da bocca foro mm	tempo sec.	mm.	infiltrazione mm./min.
0	300	0			
15	-2000	2300	15	2300	<b>9200.0000</b>
30	-2700	3000	15	700	<b>2800.0000</b>
45	-3000	3300	15	300	<b>1200.0000</b>
60	-3100	3400	15	100	<b>400.0000</b>
90	-3280	3580	30	180	<b>360.0000</b>
120	-3410	3710	30	130	<b>260.0000</b>
150	-3510	3810	30	100	<b>200.0000</b>
180	-3590	3890	30	80	<b>160.0000</b>
240	-3640	3940	60	50	<b>50.0000</b>
300	-3690	3990	60	50	<b>50.0000</b>
360	-3720	4020	60	30	<b>30.0000</b>
420	-3750	4050	60	30	<b>30.0000</b>
480	-3770	4070	60	20	<b>20.0000</b>
540	-3790	4090	60	20	<b>20.0000</b>
600	-3810	4110	60	20	<b>20.0000</b>
660	-3830	4130	60	20	<b>20.0000</b>
720	-3850	4150	60	20	<b>20.0000</b>
810	-3880	4180	90	30	<b>20.0000</b>
900	-3910	4210	90	30	<b>20.0000</b>
1200	-4000	4300	300	90	<b>18.0000</b>



D = diametro del foro	0.127 m
Raggio	0.0635 m
Area	0.012668 m <sup>2</sup>
C=L	0.3
L = tratto di prova	0.3 m
h1 = altezza del livello dell'acqua a t1: 120 s	2.69 m
h2 = altezza del livello dell'acqua a t2: 1200 s	2.1 m
Livello Falda	6.1 m

E' stato determinato un valore di  $K = 1,33 \cdot 10^{-5}$  che afferisce al terreno un grado di permeabilità medio - basso.

I riscontri emersi dai sondaggi infatti attestano la presenza di superfici impermeabili già al piano campagna, con livelli di argille e argille limose con tenori di permeabilità da limitati a nulli.

Si attesta quindi una complessiva difficoltà nella infiltrazione efficace delle acque meteoriche nei primi strati del suolo e del sottosuolo e da questi in direzione della circolazione idrica di falda rilevata ad una profondità variabile tra -7 e -13 metri dal p.c..

In un caso, sondaggio n.3 ubicato nella proprietà Baroni in prossimità di via della Resistenza, è stata rilevata argilla e argilla limosa dal piano campagna fino alla profondità di -8 metri.

La litologia nei primi metri del sottosuolo, per l'estensione ora caratterizzata è molto eterogenea; ciò rileva la necessità di approfondire il tema della permeabilità assoluta e relativa anche per tutto il resto dell'ambito ove, a prescindere dalle norme citate del PTCP, in base alle quote topografiche del piano campagna, si rilevano e si riscontrano diffusi problemi di drenaggio superficiale delle acque meteoriche ed estesi ristagni idrici per prolungati periodi.



## **5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE**

La caratterizzazione dell'immediato sottosuolo è stata desunta dall'interpolazione di tutti i dati sia diretti che indiretti e i caratteri generali territoriali sono stati riportati nei capitoli precedenti.

Per la determinazione del modello geologico e litostratigrafico sono state eseguite:

- n. 2 prove penetrometriche statiche;
- n. 3 prove penetrometriche dinamiche, spinte a rifiuto, mediante penetrometro PAGANI TG63-100 tipo Emilia.
- n. 3 indagini sismica passiva di tipo HVRS



Fig. 6 – foto aerea con ubicazione delle indagini eseguite; S sondaggi a carotaggio, HV prove hvrs, Cpt prove penetrometriche statiche, Dpsh prove penetrometriche dinamiche.

## **Prove penetrometriche statiche**

La prova penetrometrica statica CPT è una tecnica di indagine geognostica che consiste nella misurazione, mediante cella di carico digitale, della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard (punta Begemann), infissa a velocità costante nel sottosuolo con una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è collegata la punta stessa.

Le caratteristiche tecniche della punta conica, la quale dispone di un manicotto per la misurazione della resistenza per attrito laterale, sono le seguenti:

- *Angolo al vertice 60°*
- *Diametro 35.7 mm*
- *Sezione 10 cm<sup>2</sup>*
- *Le dimensioni del manicotto sono:*
- *Diametro 36.7 mm*
- *lunghezza 133 mm*
- *Superficie laterale del manicotto 150 cm<sup>2</sup>*

Agendo separatamente sulla punta, sulla punta più il manicotto e sull'insieme di aste, è così possibile misurare ogni 20 cm di approfondimento i seguenti valori:

*la resistenza all'avanzamento della sola punta  $R_p$ ;*

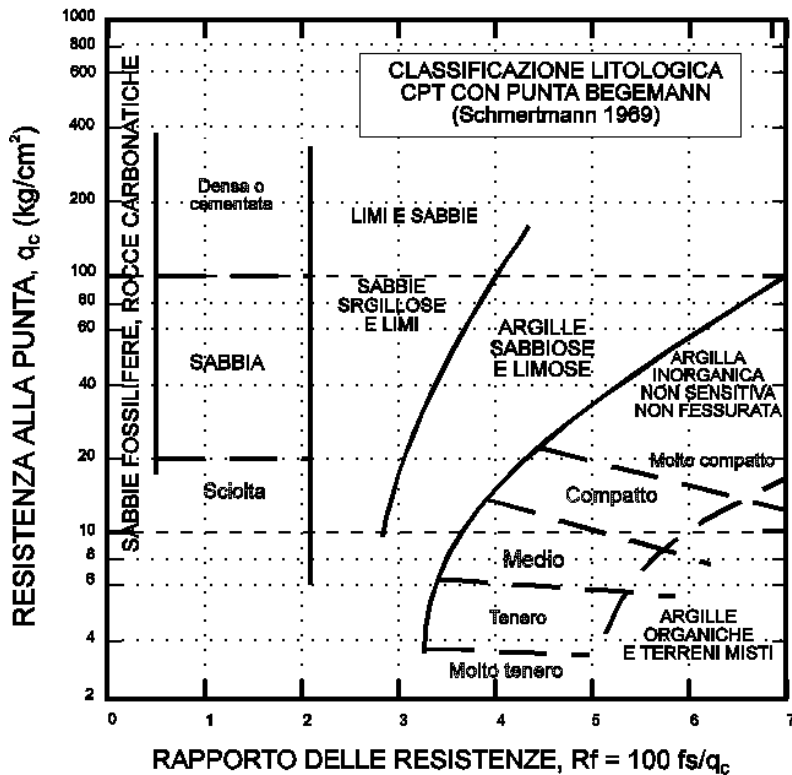
*la resistenza all'avanzamento della punta più la resistenza per attrito laterale sul manicotto  $R_p + R_l$ .*

Nei diagrammi e tabelle allegati sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati nelle letture di campagna).

-  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>) = resistenza statica alla punta (conica)

-  $R_l$  (kg/cm<sup>2</sup>) = resistenza all'attrito laterale locale (manicotto)

La resistenza alla punta  $R_p$  e la resistenza laterale  $R_l$  sono rilevate ad intervalli regolari di 20 centimetri. Oltre alla elaborazione dei dati di resistenza del sottosuolo vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento dei terreni attraversati: a) in base al rapporto  $R_p/R_l$  (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977); b) relativamente ai valori di  $R_p$  ed il rapporto  $FR = (R_l/R_p)\%$  (esperienze di Schmertmann - 1978), sono inoltre desumibili indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata  $C_u$ , angolo di attrito interno efficace', densità relativa  $D_r$ , ecc.).



### Prove penetrometriche dinamiche

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica in questione con tale dato. Il passaggio viene dato dalla seguente relazione:

$$N_{spt} = \beta t N$$

dove:  $\beta t = 1,53$  per il penetrometro utilizzato

Di seguito di riportano i diagrammi relativi alle prove eseguite in base al numero dei colpi misurati. Nei grafici è definito anche l'andamento della  $R_{pd}$  (Resistenza dinamica alla punta) calcolata con la nota **Formula degli Olandesi** in base alle caratteristiche del penetrometro.

$$R_d = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot e \cdot (M + P)}$$

dove:

$R_d$	= resistenza dinamica alla penetrazione	kg/cmq
$K$	= coeff. di riduzione per elasticità aste	adim.
$M$	= peso del maglio (63,5 kg)	kg
$H$	= altezza di caduta del maglio (75 cm)	cm

A	=sezione della punta conica (20 cm <sup>2</sup> )	cmq
P	=peso delle aste (6,31 kg/ml)	kg
e	=20/N =infissione unitaria	adim.
N	=numero colpi per infissione di 20 cm	adim.

Per la determinazione della coesione non drenata, Cu, si è adottata la formula:

$$C_u = \frac{R_d}{40}$$

L'elaborazione dei dati penetrometrici, che esprimono la resistenza opposta dai terreni all'avanzamento dinamico del sistema strumentale di infissione, accredita la possibilità di attribuire ai materiali investigati i seguenti parametri geotecnici nelle condizioni più sfavorevoli.

### **Le misure sismiche H.V.S.R. o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

sono indagini geofisiche passive a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza. Per le metodologie di indagine e per la descrizione dei mezzi di acquisizione si rimanda alla relazione geofisica in allegato. Come già precedente accennato, l'indagine sismica passiva (HVSr) è stata finalizzata ad ottenere:

- la diagrafia delle velocità sismiche delle onde di taglio per la determinazione della per fornire la categoria di suolo di fondazione secondo le NTC (2018);
- la caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza (tramite HVSr) per la progettazione geotecnica dell'opera in progetto.

Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

L'analisi dello spettro consente di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'intera area investigata a partire dal piano campagna attuale.

A partire dal modello sismico monodimensionale è possibile calcolare il valore delle Vs30 secondo la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

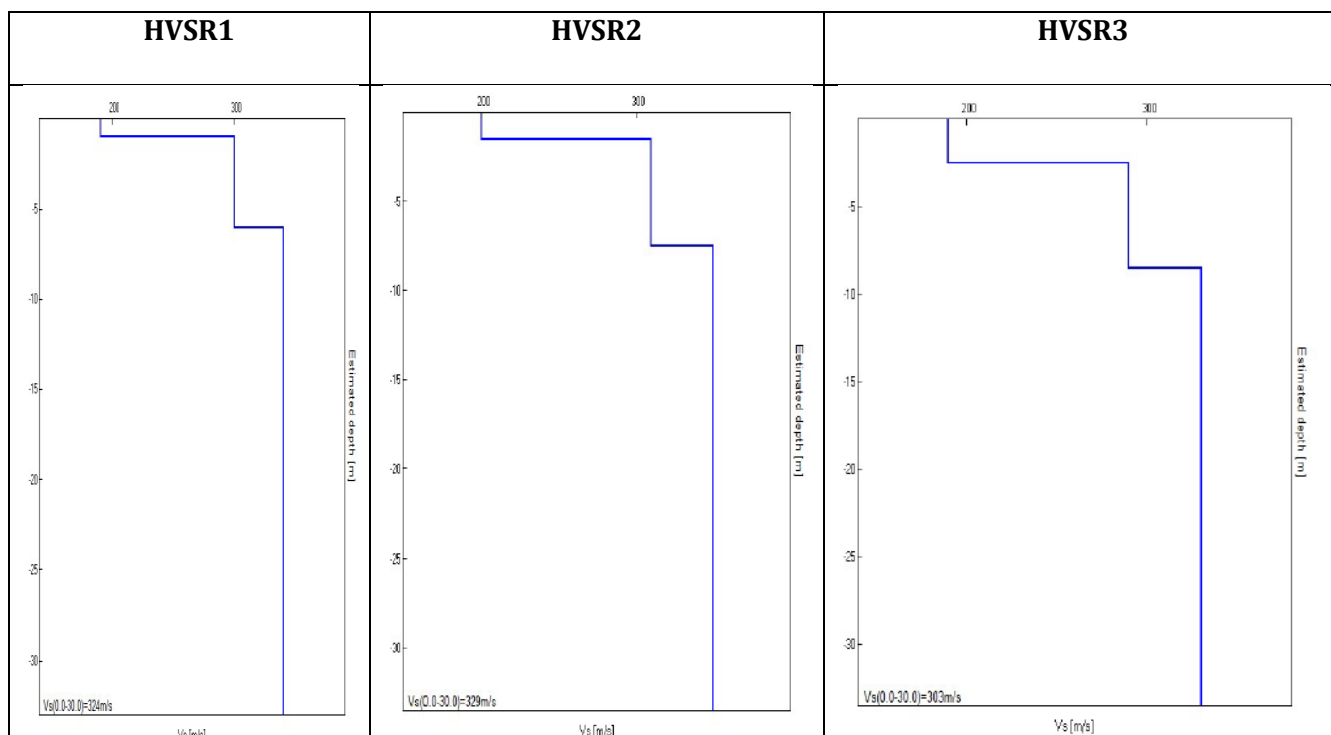
dove hi e VSi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio <10-6) dello strato i-esimo rispettivamente fino alla profondità di 30 m.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = p.c. attuale):

PROVA	Vs30	TIPO DI SUOLO
HVSR1	324 m/s	C
HVSR2	329 m/s	C
HVSR3	303 m/s	C

Vs30 med = 319 m/s (a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo C)

**SUOLO di tipo C** - Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o argille molto consistenti,



HVSR1	HVSR2	HVSR3
$f_0 = 25.75$ (Hz)	$f_0 = 21.63$ (Hz)	$f_0 = 15.75$ (Hz)
$A_0 = 2.94$	$A_0 = 2.46$	$A_0 = 2.4$

Alla frequenza di risonanza  $f_0$  (Hz) è riferito un valore del rapporto spettrale H/V,  $A_0 > 2$  è correlabile al rifrattore costituito da passaggio litologico, in altre parole al passaggio tra la coltre decompressa e i sottostanti livelli a granulometria più grossolana (bedrock - like)  
 In estrema sintesi, sebbene la relazione tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del relativo contrasto d'impedenza sismica sia di tipo non lineare, si può stimare, in prima

approssimazione, che il sito di progetto è suscettibile di amplificazione stratigrafica locale poiché caratterizzato da un contrasto di impedenza sismica ( $H/V > 2$ ).

In particolare l'elaborazione dei dati della prova HVSR evidenzia una curva H/V che non presenta picchi chiari, con valori in ampiezza che superano di poco la soglia di 2, evidenziando la presenza di una transizione di velocità delle onde di taglio sostanzialmente graduale.

Alle frequenze di risonanza  $f_0$  misurate in loco è riferito un valore del rapporto spettrale H/V  $A_0$  di poco superiore a 2.

In estrema sintesi, sebbene la relazione tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del relativo contrasto d'impedenza sismica sia di tipo non lineare si può stimare, in prima approssimazione, che il *sito di progetto è suscettibile di moderata amplificazione stratigrafica locale poiché caratterizzato da un ridotto contrasto di impedenza sismica ( $H/V > 2$ )*.

Si precisa che queste considerazioni andranno comunque adottate con estrema cautela, perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi nitidi, mentre le transizioni gradualmente, come quelle presenti nell'area di progetto, generano molto spesso amplificazioni in una banda larga di frequenze che, per quanto non superino talvolta i criteri SESAME, non stanno a dimostrare che non ci sono risonanze importanti ma unicamente che non ci sono picchi singoli ben definiti.

Si ricorda infatti che i criteri SESAME (2005), di carattere puramente empirico, considerano significativi solo i picchi con ampiezza  $H/V > 2$ , il che non significa che i massimi con picchi di  $H/V < 2$  non siano fisicamente significativi, ma unicamente che l'interpretazione delle curve va eseguita con estrema cautela ed utilizzando procedure di inversione molto raffinate.

Per quanto riguarda la **valutazione dei fenomeni di risonanza** dovuti alla coincidenza tra le frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo, ed alla conseguente possibile "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra la frequenza fondamentale del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle del fabbricato in progetto. Quando la frequenza propria della struttura è superiore a quella del sottosuolo (mediamente entro un 30%) si parla comunque di possibile vulnerabilità per due ragioni:

- 1) perché un edificio che inizia a danneggiarsi strutturalmente diminuisce le frequenze dei propri modi di vibrare, potendo entrare in risonanza con il sottosuolo nelle fasi finali del terremoto;
- 2) perché i modelli basati su onde di volume (onde S) suggeriscono a volte possibilità di amplificazione anche a frequenze maggiori di quelle rilevate con la tecnica dei microtremori. Questo accade in particolare per le registrazioni di microtremore effettuate su suoli artificiali rigidi (cfr. Castellaro e Mulargia, 2009a) o in condizioni di near-field (in vicinanza dell'epicentro).

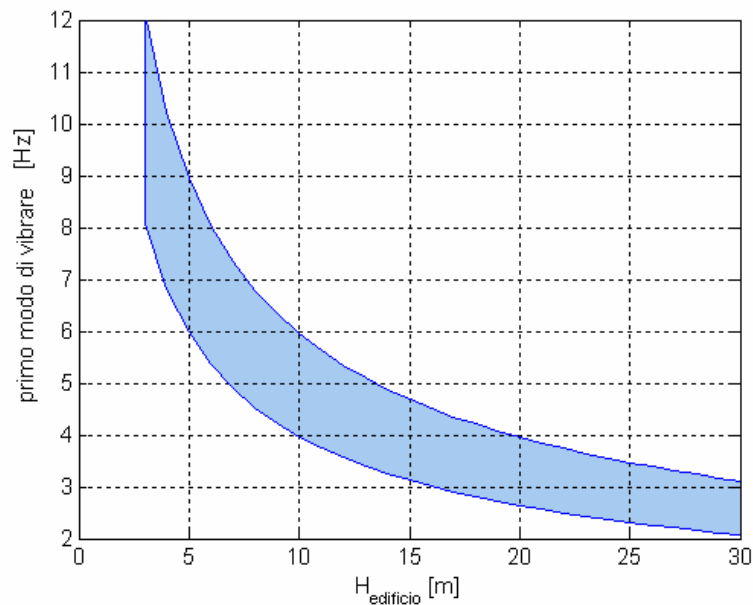
Una relazione tipica tra l'altezza di un edificio in muratura e la frequenza del suo primo modo di vibrare è data nella figura che segue (ridisegnata da Masi et al., 2008). La misura dei modi propri delle strutture è molto semplice anche in modo passivo ed appare pertanto in luogo di una sua stima a partire dai grafici che seguono.

Secondo la suddivisione in classi di periodo imposta dall'Atto di Indirizzo avremo pertanto 2 fasce di periodo di interesse ingegneristico:

$0,5 < T_0 = 1 \text{ s}$  ( $1 = f_0 < 2 \text{ Hz}$ ) questa fascia interessa strutture di grandi dimensioni ( $> 8-20$  piani);

$0,5 = T_0 = 0,1 \text{ s}$  ( $2 = f_0 = 10 \text{ Hz}$ ) questa fascia interessa strutture di dimensioni medio piccole ( $< 8$  piani, indicativamente);

La frequenza fondamentale per il sito di progetto è risultata essere  $f_0$  compresa tra      e quindi non coincidente con frequenze potenzialmente pericolosa per le strutture:



Per strutture in cemento armato senza particolari asimmetrie o irregolarità la frequenza fondamentale risulta orientativamente pari a  $f = 10/N$  (dove N è il numero dei piani).

## **6 - CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI**

### **6.1 - CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI**

I risultati dell'indagine geognostica vengono riportati nei diagrammi, nei logs stratigrafici e nei certificati di laboratorio in allegato. In particolare i valori strumentali delle indagini indirette dipendono, quindi, sia dai caratteri litologici che dalle caratteristiche di resistenza dei materiali che compongono l'immediato sottosuolo.

Dai dati, sia stratigrafici nonché in base le valutazioni ricavate da note correlazioni empiriche basate sulla resistenza statica dei terreni alla penetrazione, si accredita la possibilità di identificare i principali intervalli litotecnici, di seguito graficamente schematizzati e di assegnare a ciascuno di questi corrispettivi parametri geotecnici caratteristici, riassunti nella tabella riportata al paragrafo successivo.

**La Zona 1** - individuabile più a nord - ovest, è stata caratterizzata dal Sondaggio 2, le prove penetrometriche CPT2 - DPSH4 - DPSH5 - DPSH 3 e H/V 2. In questa zona le indagini hanno evidenziato la presenza di una copertura superficiale, compreso il suolo agrario e terreno formata da argille limose marroni con inclusi, dello spessore medio di 2,0 m. Da tale profondità si presenta uno spessore alluvionale caratterizzato principalmente da depositi prevalentemente ghiaiosi. Il suo spessore in questa zona è mediamente 10,0 m mentre i livelli argillosi sono nettamente subordinati e il primo è compreso da 12 - a 14 m dal p.c. (da . alla profondità di 14,0 m è stato intercettato il substrato formazionale prevalentemente argilloso . La presenza di fossili ed il colore azzurrognolo accreditano la possibilità di attribuirlo alla Formazione delle Argille Azzurre (FAA).

In questa zona è prevista la realizzazione di un edificio di tipo commerciale.

**La Zona 2** - individuabile più a ad est, è stata caratterizzata dai Sondaggi 1 e 3, dalle prove penetrometriche CPT1 - CPT2 e H/V 1 e 3. In questa zona le indagini hanno evidenziato la presenza di una copertura superficiale di circa 1,5. Da tale profondità sono presenti depositi alluvionali caratterizzati sia orizzonti argilloso - limosi che da orizzonti prevalentemente ghiaiosi, talvolta giustapposti ai precedenti. In entrambi i sondaggi l'orizzonte ghiaioso più competente è presente dalla profondità di 7/8 m dal p.c. In questa zona sono previste la realizzazione di edifici residenziali e della viabilità di servizio.

Di seguito si propone lo schema esemplificativo delle caratteristiche litologiche delle zone anzi elencate:



<b>ZONA 1</b>	
<b>PROFONDITÀ DAL PIANO CAMPAGNA</b>	<b>DESCRIZIONE LITOLOGICA</b>
da 0.0 (p.c.) a -2.0 m	Copertura agraria formata da argille limose marroni con laterizi nei primi decimetri superficiali
da -2.0 m a -14.00 m	Depositi alluvionali (AES8) Ghiaie e sabbie molto grossolane in matrice argilloso-limosa, orizzonte argilloso tra 12.4 e 14
da 14 m	Substrato Formazionale (FAA) Argille azzurre fossilifere

<b>ZONA 2</b>	
<b>PROFONDITÀ DAL PIANO CAMPAGNA</b>	<b>DESCRIZIONE LITOLOGICA</b>
da 0.0 (p.c.) a -1.5 m	Riporto con ghiaia grossolana e macerie, vecchio p.c. : argille marroni con ciottoli e frustoli vegetali
da -1.5 m a -8 m	Depositi alluvionali (AES8) Argille limose grigie con subordinati livelli ghiaiosi in matrice limosa mediamente consistente (s1 da -1.8 a -4,3)
da 8.0 m	Depositi alluvionali (AES8) Ghiaie e sabbie molto grossolane in matrice limosa

## **6.2 -PARAMETRI FISICO - MECCANICI DEI TERRENI**

I parametri fisico-meccanici accreditati per i terreni indagati, riferibili ai diversi orizzonti litostratigrafici, sono stati definiti sia in base ad indagini in situ, sia mediante correlazioni empiriche note in letteratura che dalle analisi di laboratorio. I valori sono stati poi trattati statisticamente per definire i parametri geotecnici medi riportati nella seguente tabella riassuntiva:

ZONA 1						
Strati	Profond. media dal p.c	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\varphi$ (°)	Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,0÷2,0 m	1,90	0,50	0,00	25	25 - 35
Strato 2	da 2,0÷14,0 m	1,95	0,00	0,00	35	90 - 100
Strato 3	Oltre 14, m	2.10	2,50	0,20	20	120 - 150

ZONA 2						
Strati	Profond. media dal p.c	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	C' Kg/cm <sup>2</sup>	$\varphi$ (°)	Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,0÷1,5 m	1,90	0,70	0,00	25	30 - 40
Strato 2	da 1,5÷8,0 m	2,00	1.70	0,20	24	90 - 100
Strato 3	Oltre 8,0 m	1.95	0.00	0,00	38	120 - 150

Per quanto riguarda il peso di volume dei terreni immersi in falda si faccia riferimento:

- Peso di volume immerso

$$\gamma' = \gamma - 1$$

Per quanto riguarda la coesione non drenata Cu si è fatto riferimento alla relazione di Lunne e Kelven

$$Cu = \frac{(Rp - \sigma v)}{K}$$

K= 11 argille n.c.; K = 12 argille s.c.

Per quanto riguarda la stima dell'angolo di resistenza al taglio  $\varphi$  è stata utilizzata la relazione di De Beer per cui:

$$\varphi = 5.9 + 4.76 * (Rp/\sigma v')$$

Per quanto riguarda la stima del Modulo edometrico Ed si è fatto riferimento per i materiali granulari alla relazione Lunne-Christoffersen (1983) mentre per materiali di tipo coesivo alla Formulazione empirica di Mitchell & Gardner (1975).

## DEFINIZIONE MODULO EDOMETRICO (Ed)

Formulazione empirica (Mitchell & Gardner 1975)

$$E_d = \alpha \cdot q_c$$

	$M = \frac{1}{m_v} = \frac{2,3 \cdot (1+e) \cdot \sigma'_v}{C_c} = \alpha \cdot q_c$	
Argille di bassa plasticità (CL)	$q_c < 0,7$ MPa	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2,0$ MPa	$2 < \alpha < 5$
Limi di bassa plasticità (ML)	$q_c > 2,0$ MPa	$1 < \alpha < 2,5$
	$q_c < 2,0$ MPa	$3 < \alpha < 6$
Argille e limi di elevata plasticità (CH, MH)	$q_c > 2,0$ MPa	$1 < \alpha < 3$
	$q_c < 2,0$ MPa	$2 < \alpha < 6$
Limi organici (OL)	$q_c < 1,2$ MPa	$2 < \alpha < 8$
	$q_c < 0,7$ MPa	
Torbe e argille organiche (Pt, OH)	$50 < w^* < 100$	$1,5 < \alpha < 4$
	$100 < w < 200$	$1 < \alpha < 1,5$
	$w > 200$	$0,4 < \alpha < 1$

\*w = contenuto in acqua (%)

Formulazione empirica (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose:  $E_d = \alpha \cdot q_c$

Dove  $\alpha = 1,5 \div 7$  aumentando al diminuire della granulometria e della Rp

## **7. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Per quanto riguarda i criteri da seguire per gli studi di pericolosità e di microzonazione sismica, la direttiva regionale, definisce due fasi di analisi, da completarsi con tre diversi livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente.

I primi due, inderogabili, definiscono prima gli scenari di pericolosità sismica consentendo l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali in caso di sisma (amplificazione dell'impulso sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di addensamento/liquefazione, cedimenti dei terreni, ecc) e in seguito permettono la valutazione della risposta sismica locale e la microzonazione sismica del territorio.

Per l'area di specifico interesse, uniformando e applicando le indicazioni contenute nel PTCP di Rimini, tavole SA10 e SA11, sono stati individuati scenari di pericolosità sismica di cui al punto 7 : "Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche" così come anche riportato nella carta delle zone suscettibili di effetti locali del PSC.

Per quanto riguarda la pianificazione comunale (PSC) la carta di microzonazione sismica redatta secondo i criteri della vecchia normativa (DAL 112/2007) , individua la superficie di interesse nell'ambito di Pianura 1 con un fattore di amplificazione in termini di  $PGA = 1,6$  (Vs30 compresa tra 350 e 400 m/s) (Fonte: carta di microzonazione sismica del PSC).

Il secondo livello di approfondimento realizzato per l'approvazione del PSC non ha evidenziato potenziali condizioni di instabilità nelle aree di POC di interesse, pertanto non sono stati predisposti ulteriori approfondimenti di terzo livello.



## Santarcangelo di Romagna

PlaceID IT\_42131  
 Coordinate (lat, lon) 44.063, 12.447  
 Comune (ISTAT 2015) Santarcangelo di Romagna  
 Provincia Rimini  
 Regione Emilia-Romagna  
 Numero di eventi riportati 38

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Do	Mi	Se	Area epicentrale	MMOP	Io	Mw	
6-7	1672	04	14	15	45		Emiliese	92	8	5.59	
5	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74	
NP	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10	
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
3	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26	
3	1911	03	20	15	47		Forlivese	25	6	5.09	
5	1911	03	26	13	51		Emiliese	9	5	5.04	
3	1914	10	27	09	22		Lucchese	660	7	5.63	
3-4	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08	
7	1916	05	17	12	50		Emiliese	132	8	5.82	
6	1916	06	16	01	27		Emiliese	17	6	4.82	
7	1916	08	16	07	06	1	Emiliese	257	8	5.82	
3	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99	
4	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96	
4-5	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38	
3	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53	
3-4	1924	01	02	08	55	1	Senigallia	76	7-8	5.48	
4	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83	
4	1953	12	14	07	11	0	Appennino forlivese	48	5-6	4.70	
4	1961	05	08	22	45	5	Forlivese	40	5	4.37	
NP	1969	08	09	09	20	5	Appennino toscano-romagnolo	33	5	4.20	
NP	1970	09	26	16	42	2	Cesenate	18	4-5	3.93	
4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81	
NP	1983	11	09	16	29	5	Parmaese	850	6-7	5.04	
NP	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43	
NP	1993	11	07	23	21	1	Cesenate	36	4-5	3.95	
NP	1993	11	09	13	46	2	Cesenate	28	4-5	3.93	
NP	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66	
4	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97	
NP	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36	
NP	2000	05	06	22	07	0	Vaentino	85	5	4.08	
NP	2000	05	08	12	29	5	Vaentino	126	5	4.67	
NP	2000	05	10	16	52	1	Vaentino	151	5-6	4.82	
3-4	2000	08	01	02	34	3	Montefalco	84	5-6	4.27	
NP	2001	11	26	00	56	5	Cusentino	211	5-6	4.63	
NP	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21	
NP	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18	
NP	2006	10	21	07	04	3	Anconetano	387	5	4.21	

da :[ingv.it/CPTI15-DBMI15](http://ingv.it/CPTI15-DBMI15)

## **7.2 - CLASSIFICAZIONE SISMICA**

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la zona sismica per il territorio di San Leo, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 1435 del 21.07.2003.

<b>Zona sismica 2</b>	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti
-----------------------	--

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima (ag)** su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

<i>Zona sismica</i>	<i>Descrizione</i>	<i>accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]</i>	<i>accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]</i>
<b>1</b>	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g
<b>2</b>	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g
<b>3</b>	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g
<b>4</b>	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g

### **7.3 - CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto le tipologie del suolo sono suddivise in base ai valori di VS (Tabella 3.2.II delle NTC 2018).

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

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

Così come previsto anche dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC D.M. del 17/01/2018), le quali impongono nuovi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione di nuove opere e di quelle già esistenti, l'azione sismica viene valutata mediante l'analisi di *risposta sismica locale*. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata in base alle categorie di sottosuolo e alla definizione di una pericolosità di base fondata su di un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Dalle analisi effettuate con indagine sismica passiva a stazione singola HVSR si può affermare che il sito è caratterizzato da una velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) di **368 mt./sec.**, calcolata alla profondità da 0 mt. a - 30,00 mt., e corrispondente ad un **terreno classificato del tipo C** (come da tabella 3.2.II da NTC 2018).

### **7.4 - AZIONE SISMICA**

#### **7.4.1 - PARAMETRI SIMICI**

Ai fini dell'applicazione delle norme tecniche per la costruzione in zone sismiche, oltre ad adottare il parametro  $ag$  si deve tener conto di un fattore  $S$  che scaturisce dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $ag$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale,

nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In mancanza di rigorose analisi di risposta sismica locale, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie del sottosuolo di fondazione, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A si valuta in funzione di coefficienti che tengono conto dell'amplificazione topografica e stratigrafica.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima al sito),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T^*C$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Facendo riferimento anche alla DGR 1661/2009, al fine della valutazione dei parametri sismici vengono considerati gli edifici commerciali in progetto entro la categoria B2.1.8 (Mercati coperti, esercizi e centri commerciali aventi superficie di vendita al dettaglio superiore a 1.500 mq, pertanto in classe III,  $V_n = 50$  anni e  $C_u = 1.5$ ).

Per quanto riguarda invece gli edifici residenziali si considerano in classe II,  $V_n = 50$  anni  $C_u = 1,0$

#### 7.4.2 - AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

La configurazione topografica in cui ricade il lotto è una situazione semplice, per cui si può adottare la classificazione di cui alla seguente Tabella:

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale di 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La superficie topografica in cui ricade l'opera di intervento è di categoria T1, per cui il coefficiente di amplificazione topografica **ST è pari a 1,0**.

#### 7.4.3 - AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per il caso in esame, il coefficiente stratigrafico assume la seguente espressione:

$$S_s = 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$$

Considerando i dati del sito in esame, avente latitudine 44.060661° N e longitudine 12.448713° E (ED50):



che sono relativi all'interpolazione sulla maglia elementare del reticolo di riferimento (Figura successiva) per lo stato limite della vita (SLV), avendo considerato i punti indicati nella Tabella 3.



*Interpolazioni sulla maglia elementare del reticolo di riferimento*

Sito di riferimento	(ID)	Latitudine	Longitudine	Distanza
1	19408	43,9290	12,3101	5071,849
2	19409	43,9297	12,3795	2351,630
3	19631	43,8797	12,3804	3545,431
4	19630	43,8790	12,3111	5725,951

*Tabella 3 - Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento*

Per dette condizioni :

per gli edifici commerciali: **SS = 1,380e CC = 1.55 (valori corrispondenti allo SLV).**

Per gli edifici residenziali: **SS = 1,420e CC = 1.57 (valori corrispondenti allo SLV).**

#### **7.4.3 - PARAMETRI SISMICI SU SITO DI RIFERIMENTO RIGIDO**

I parametri sismici relativi agli stati limite di Operatività (SLO), Danno (SLD), salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione dal Collasso (SLC) per una categoria sottosuolo (tipo C), topografica (T1) con periodo di riferimento variabile in base alla tipologia di edifici: 75 anni per i commerciali e 50 per i residenziali, classe d'uso III per commerciali e II per i residenziali, calcolati in funzione della presenza di fondazioni, sono sintetizzati nella Tabella 4.

### Edifici Commerciali

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento	81%	63%	10%	5%
$T_r$	45 anni	75 anni	712 anni	1462 anni
$a_g$	0.063g	0.080g	0,215 g	0.280g
$F_o$	2.454	2,510	2.500	2.484
$T_c^*$	0.280 s	0.283s	0.307 s	0.319s

### Edifici residenziali

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento	81%	63%	10%	5%
$T_r$	30 anni	50 anni	475 anni	975anni
$a_g$	0.052g	0.066g	0,184 g	0.241g
$F_o$	2.448	2,456	2.496	2.503
$T_c^*$	0.269 s	0.283s	0.298 s	0.314s

Tabella 4 - Parametri sismici per lo stato limite corrispondente

### 7.4.4 - COEFFICIENTI SISMICI

Dal valore nominale di  $a_g$  (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, si passa ai corrispondenti valori massimi, dipendenti anche dal coefficiente topografico ST (= 1,0) sintetizzati nella seguente tabella 5.

### Edifici Commerciali

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
$A_{Max}$	0.928	1.184	2,903	3,515

### Edifici residenziali

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
$A_{Max}$	0,765	0,976	2,567	3,171

Tabella 5 - Accelerazione massima.

Il valore dei coefficienti sismici orizzontali e verticali si determinano, rispettivamente, con le seguenti equazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{MAX}}{g}$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

dove  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, il cui valore è funzione della categoria di sottosuolo e del valore di  $a_g(g)$ . per categoria di suolo C risulta:

### **Edifici Commerciali**

<b>Stati limite</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
$\beta_s$	0.200	0.200	0.280	0.280
$K_h$	0,019	0.024	0.083	0.100
$K_v$	0,009	0.012	0.041	0.050

### **Edifici Residenziali**

<b>Stati limite</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
$\beta_s$	0.200	0.200	0.240	0.280
$K_h$	0,016	0.020	0.063	0.91
$K_v$	0,008	0.010	0.031	0.045

**Tabella 6. Coefficienti simici orizzontali e verticali**

## **8 - CONCLUSIONI**

I riscontri emersi dal rilievo di dettaglio in superficie e dagli elementi diagnostici acquisiti nell'ambito della campagna di indagini nonché dai dati reperiti in precedenti studi riferibili alla stessa zona in futura fabbricazione, sono a favore della fattibilità geologica del progetto in esame. Gli stessi elementi assunti sono stati inoltre necessari al fine della ricostruzione del modello geologico nonché litostratigrafico locale al quale ci si dovrà riferire per la determinazione del modello geotecnico.

Lo studio eseguito, ha inoltre fornito elementi favorevoli circa l'affidabilità geostatica dell'area in cui si dovrà realizzare l'intervento in progetto e in un suo significativo intorno e i lavori prospettati, non influiranno negativamente con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche ed ambientali delle aree indagate non provocheranno instabilità nei terreni interessati.

La successione stratigrafica superficiale, investigata attraverso le prove appositamente promosse sull'area, è costituita da un deposito chiaramente di natura alluvionale caratterizzato da variabilità laterale dovuta alla presenza di orizzonti ghiaiosi a profondità differenti. Sono state pertanto discriminate due aree all'interno dello stesso ambito, con caratteri litostratigrafici distinti.

Al momento dei rilievi (febbraio 2019) la falda si attesta ad una profondità variabili da 4,4 a 17,7 metri dal piano campagna .

L'area è soggetta ad un'attività sismica media, indotta sia da terremoti documentati con epicentro nell'ambito del territorio provinciale sia, di riflesso, dagli eventi più intensi provenienti dalle province limitrofe. Nell'area non sono presenti faglie superficiali, discontinuità o cavità tali da indurre un pericolo sismico aggiuntivo. Non sono inoltre prevedibili fenomeni di amplificazione locale dell'accelerazione sismica dovuti all'assetto topografico o ad effetti di bordo. La zona sismica di riferimento è la "zona 2". L'analisi sismica effettuata ha fornito valori di Vs30 (velocità media di propagazione entro i primi 30 metri di profondità delle onde di taglio) intorno a 320 m/sec consentendo di attribuire ai terreni di fondazione la categoria "C". Il rischio di liquefazione dei terreni è da ritenersi nullo.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte l'area risulta preliminarmente idonea alla destinazione edificatoria prevista nel rispetto delle prescrizioni di seguito riportate:

- *il piano di fondazione dovrà essere posto al di fuori del campo di variazione significative del contenuto d'acqua del terreno e a profondità tali da non risentire di fenomeni di erosione o scalzamento di acque superficiali;*
- *il terreno di fondazione non dovrà subire rimaneggiamenti e deterioramenti prima della costruzione delle opere.*

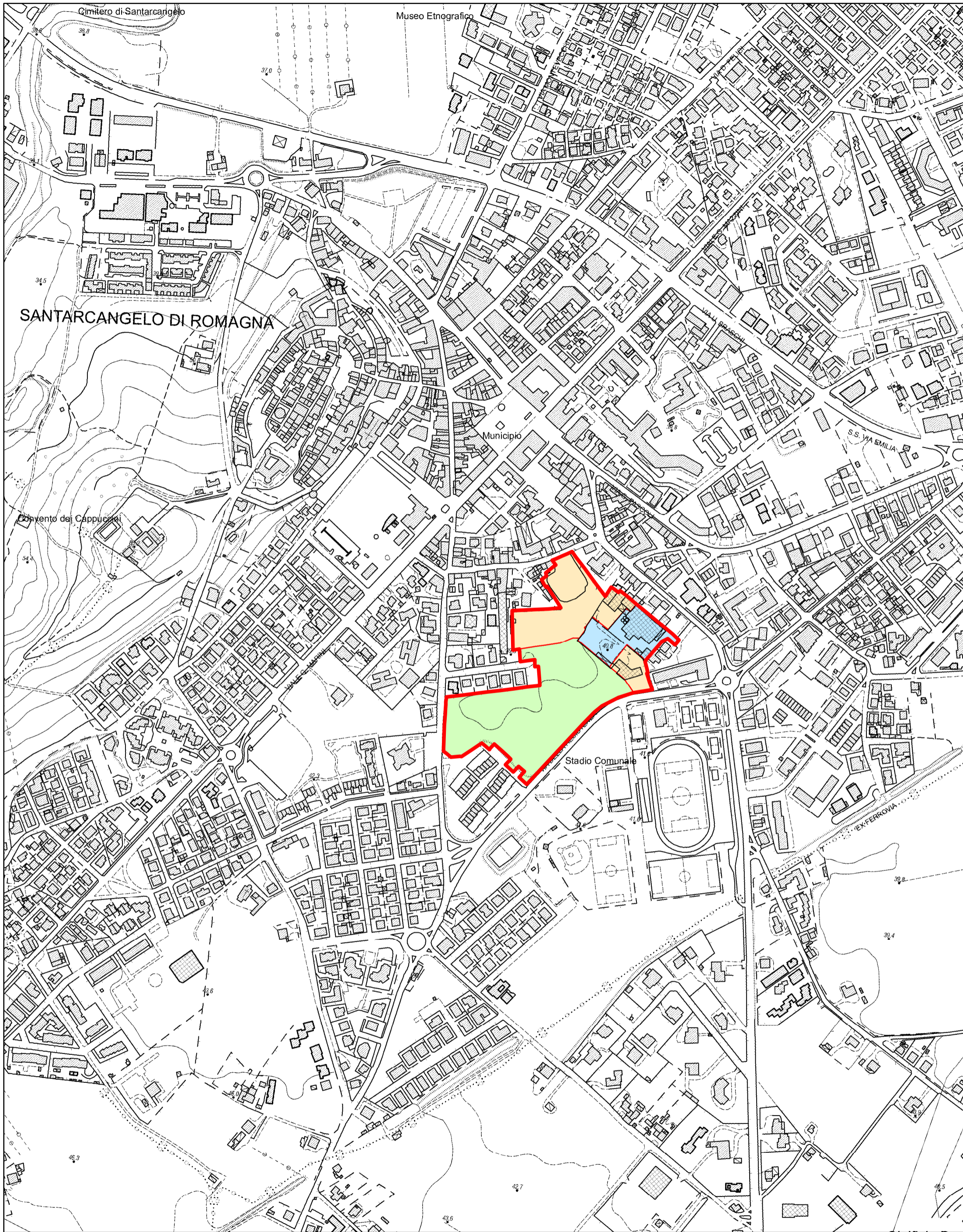
Al fine di acquisire ulteriori e definitivi riscontri geognostici è opportuna, durante gli scavi di fondazione, la presenza in cantiere del geologo.

Gli approfondimenti specifici per gli interventi vengono demandati alla fase esecutiva.

## **9 - ALLEGATI**

1. corografica scala 1:25000
2. corografia scala 1:5000
3. carta geologica regionale
4. ubicazione delle indagini
5. stratigrafie sondaggi e foto cassette
6. diagrammi prove penetrometriche (CPT e DPH)
7. rapporto indagini HVSR
8. parametri di laboratorio (analisi)
9. prova di permeabilità - rapporto
10. documentazione fotografica



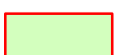




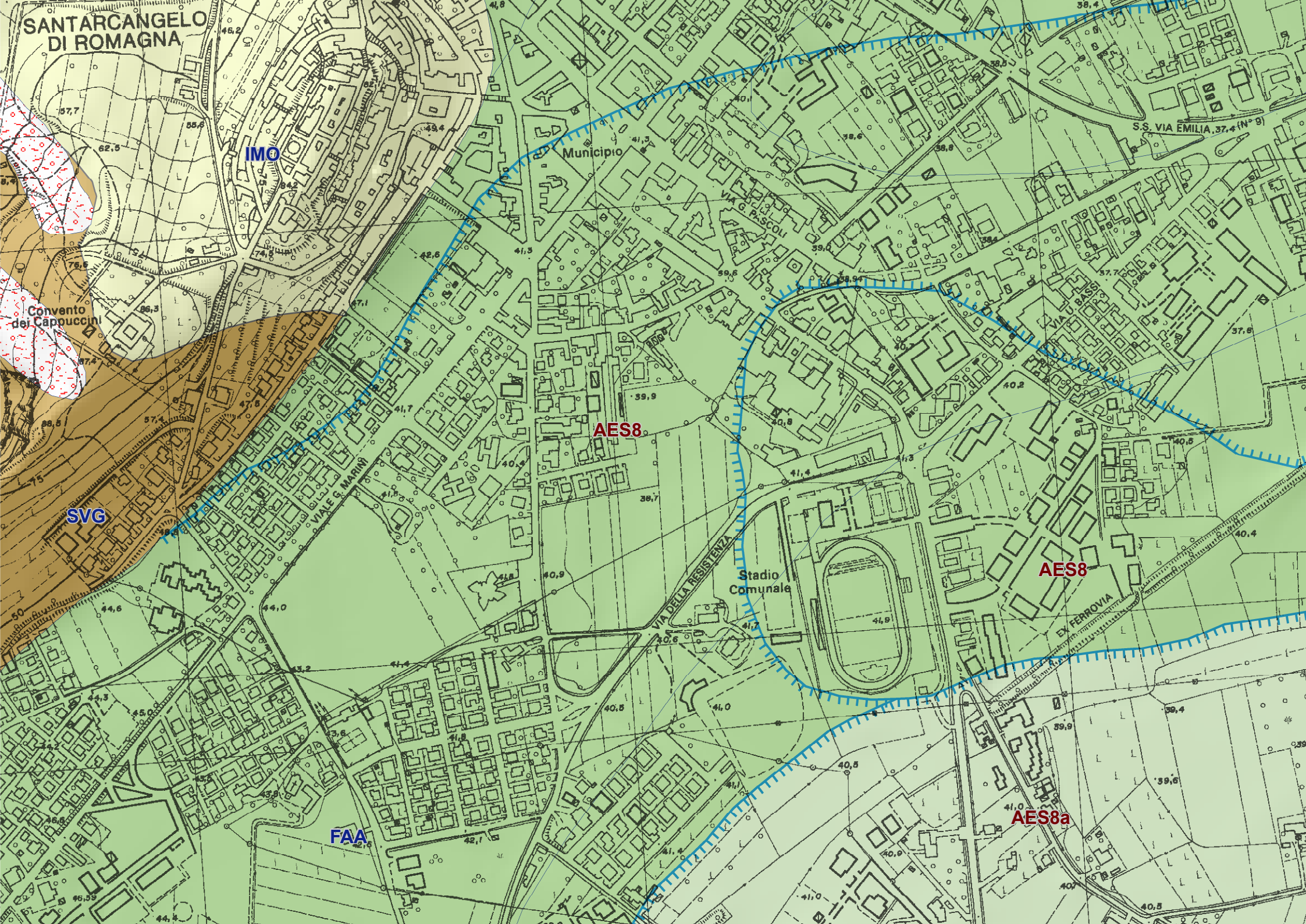
**2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

**Scala 1:5000**

 Ambito AN.C.16 ex corderie

-  Sub ambito A
-  Sub ambito B
-  Sub ambito C

# SANTARCANGELO DI ROMAGNA





# Legenda

Province



Comuni



Griglia 10.000



Linee geomorf./antrop. (10K)



*orlo di terrazzo fluviale*

Coperture quaternarie (10K)



*AES8 - Subsistema di Ravenna*



*AES8a - Unità di Modena*

Limiti di unità geologiche (10K)

— *limite di natura incerta*

Unità geologiche (10K)



*FAA - Argille Azzurre*

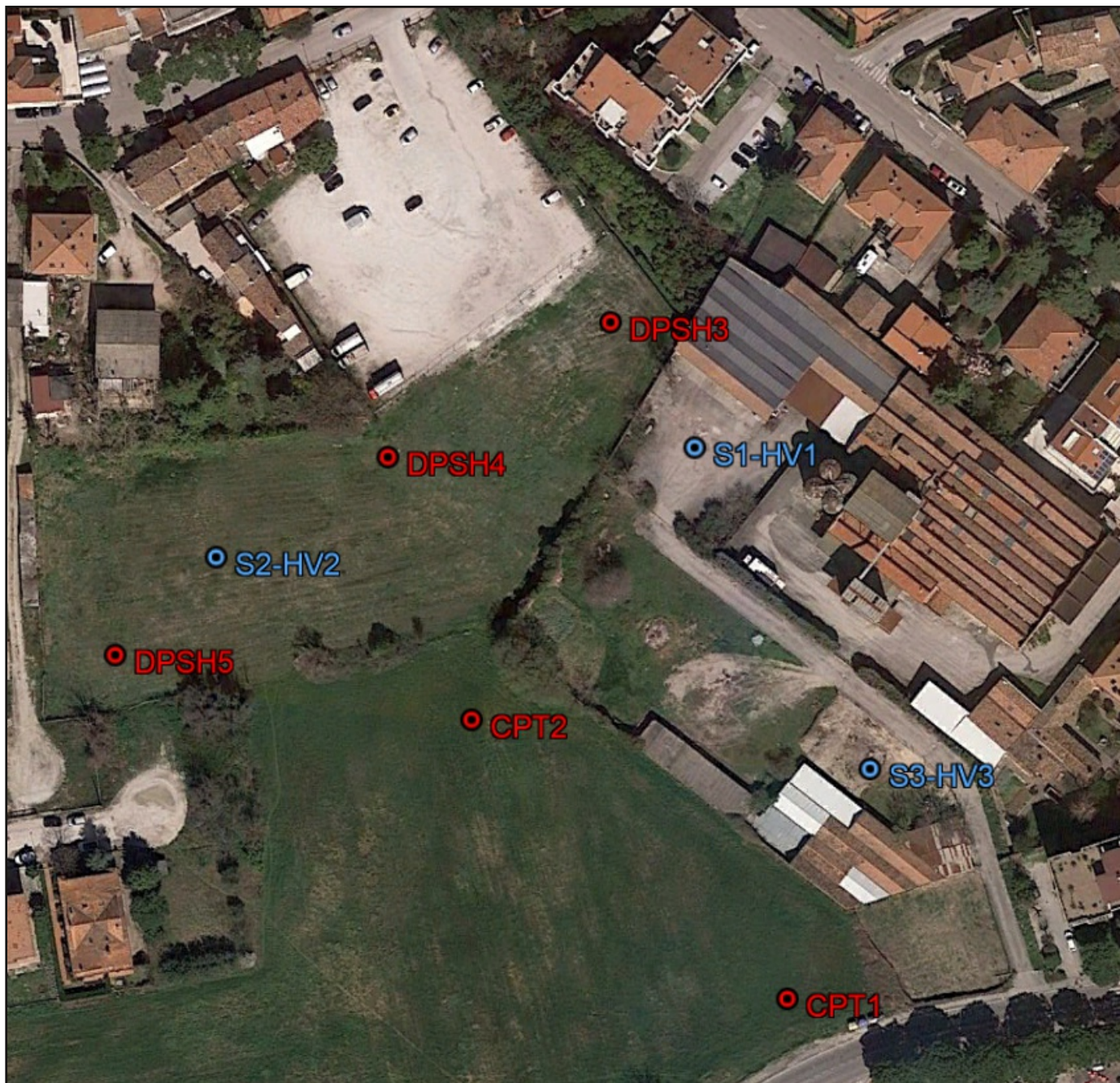


*IMO - Sabbie di Imola*



*SVG - Arenarie ed argille di Savignano*

## 4. Ubicazione delle indagini



### Legenda

*CPT: prove penetrometriche statiche*

*DPSH: prove penetrometriche dinamiche pesanti*

*S: sondaggi a carotaggio continuo*

*HV: prove HVSR*



Ambito AN.C.16 ex corderie  
**Sondaggio S1** - documentazione fotografica



**SONDAGGIO: 2**

DA METRI: 0.0 A METRI: 15.0

Responsabile: Mondaini E.

LUNGHEZZA (m): 15.0

Sonda tipo: IPC Drill 830 L

Operatore: Gabrielli M. e Macina D.

**LEGENDA:**

PROVE S.P.T.: PA Punta aperta - PC Punta chiusa  
 CAMPIONI: S Pareti sottili - O Osterberg - M Mazier  
 R Rimaneggiato - Rs Rimaneggiato da S.P.T.  
 PIEZOMETRI: A Aperto - C Casagrande - E Elettrico  
 PERFORAZIONE: CS Carotiere semplice - CD Carotiere doppio - EC Elica continua  
 STABILIZZAZIONE: RM Rivestimento metallico  
 FB Fanghi bentonitici

% CAROTAGGIO ——— R.Q.D. ———

COMMITTENTE: ARCA  
 CANTIERE:  
 LOCALITA': Santarcangelo di Romagna (RN)  
 DATA INIZIO: 4-2-2019 DATA FINE: 5-2-2019  
 QUOTA BOCCAFFORO (m s.l.m.):

S.P.T. Prof. Tipo Valori	CAMPIONI		STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE	Prof. (m)	Carot. (%) RQD (%) 20 40 60 80	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	FALDA Rinv Stab	Piezo- metri	Diam. (mm)	Metodo Perf.ne	Metodo Stab.ne			
	Prof.	Tipo													
	1.0-1.3	S	<p>Copertura agraria formata da argille limose marroni con laterizi (0.80mt)</p>	1.5											
			1												1.0 0.5
			2												1.5 0.7
			3												1.5 0.8
			4												
			5												
			6												
			7												
			8												
			9												
			10												
			11												
			12												
			13												
			14												
15															





Ambito AN.C.16 ex corderie  
**Sondaggio S3** - documentazione fotografica



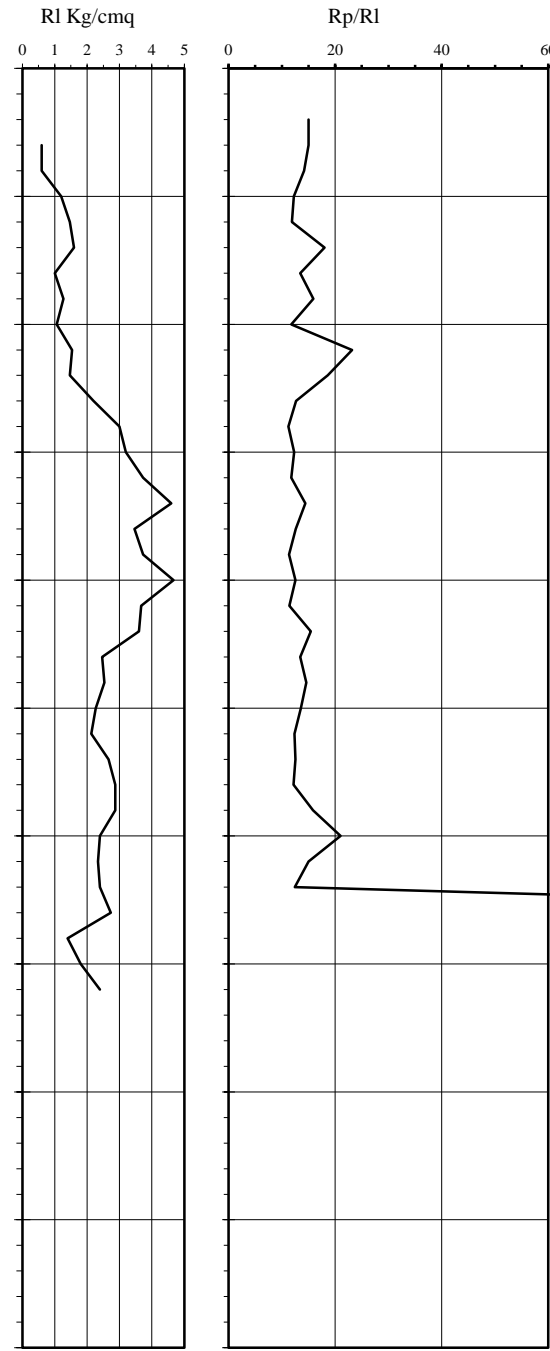
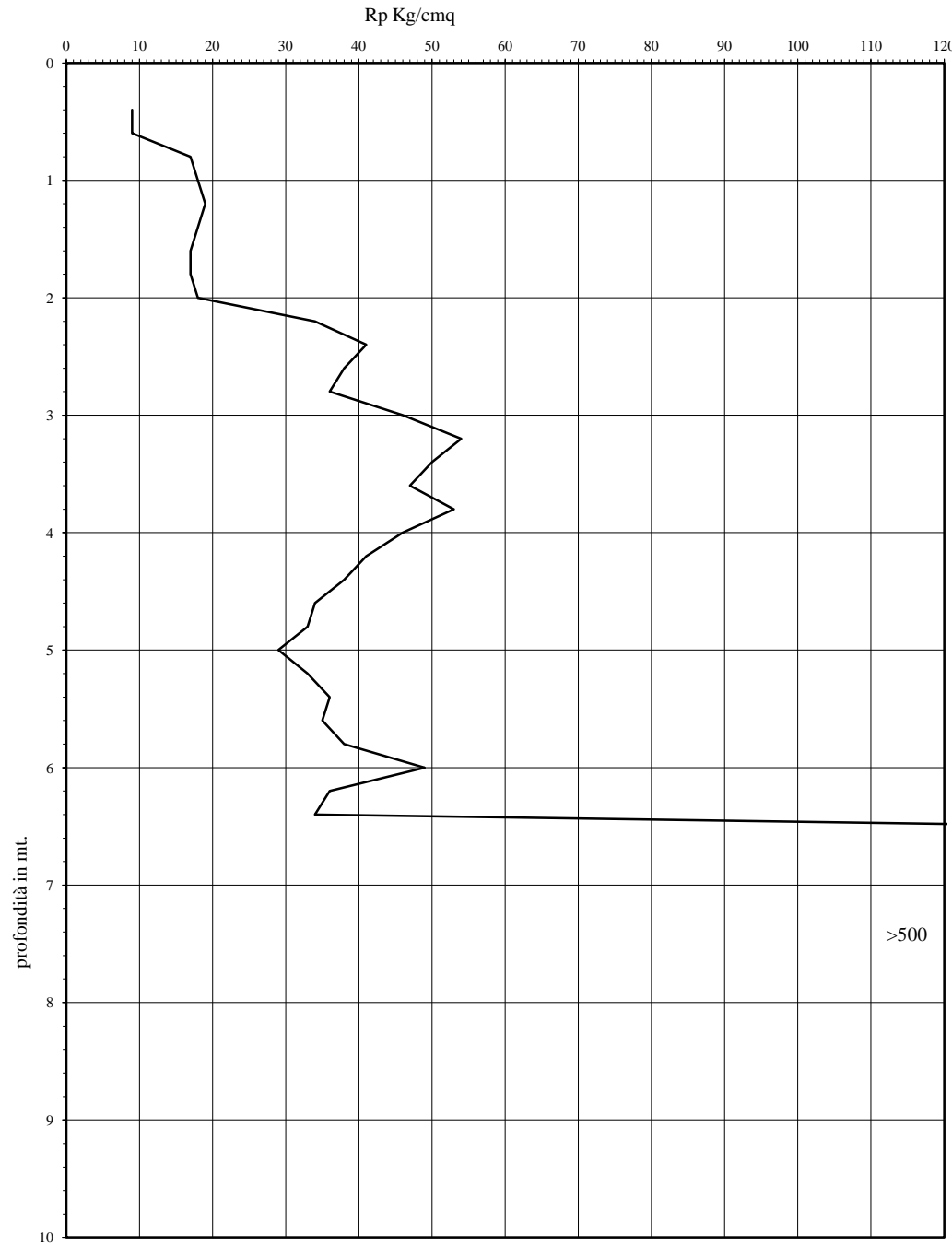


# Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 1  
 Cantiere: Santarcangelo (RN) - Via Della Resistenza  
 Data: Gennaio 2019

Quota inizio: piano campagna  
 Liv.falda: assente  
 Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



mt.	Rp	Rl	Rp/Rl	f °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt
0,2							
0,4	9		15,00	/	/	0,45	/
0,6	9	0,60	15,00	/	/	0,45	/
0,8	17	0,60	14,17	/	/	0,85	/
1	18	1,20	12,27	/	/	0,9	/
1,2	19	1,47	11,88	/	/	0,95	/
1,4	18	1,60	18,00	/	/	0,9	/
1,6	17	1,00	13,42	/	/	0,85	/
1,8	17	1,27	15,94	/	/	0,85	/
2	18	1,07	11,74	/	/	0,9	/
2,2	34	1,53	23,18	/	/	1,7	/
2,4	41	1,47	18,64	/	/	2,05	/
2,6	38	2,20	12,67	/	/	1,9	/
2,8	36	3,00	11,25	/	/	1,8	/
3	46	3,20	12,32	/	/	2,3	/
3,2	54	3,73	11,74	/	/	2,7	/
3,4	50	4,60	14,42	/	/	2,5	/
3,6	47	3,47	12,59	/	/	2,35	/
3,8	53	3,73	11,36	/	/	2,65	/
4	46	4,67	12,55	/	/	2,3	/
4,2	41	3,67	11,39	/	/	2,05	/
4,4	38	3,60	15,41	/	/	1,9	/
4,6	34	2,47	13,42	/	/	1,7	/
4,8	33	2,53	14,56	/	/	1,65	/
5	29	2,27	13,59	/	/	1,45	/
5,2	33	2,13	12,38	/	/	1,65	/
5,4	36	2,67	12,56	/	/	1,8	/
5,6	35	2,87	12,21	/	/	1,75	/
5,8	38	2,87	15,83	/	/	1,9	/
6	49	2,40	21,00	/	/	2,45	/
6,2	36	2,33	15,00	/	/	1,8	/
6,4	34	2,40	12,44	/	/	1,7	/
6,6	252	2,73	180,00	48	0,93	/	63
6,8	380	1,40	211,11	56	1,25	/	95
7	351	1,80	146,25	54	1,18	/	87,75
7,2	496	2,40					
7,4	500						

Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione

Verifica alla liquefazione  
 magnitudo di 6 g  
 accelerazione massima al suolo 0,25 g  
 (Seed et al. 1985)

coefficiente di sicurezza

Cu media Kg/cmq | 1,65 | 81,917 | Nspt media n. colpi

Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente, 200kN spinta  
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cmq

Legenda:

- argilla
- sabbia limoso argillosa
- sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;  
 AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta  
 AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;  
 SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa  
 SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

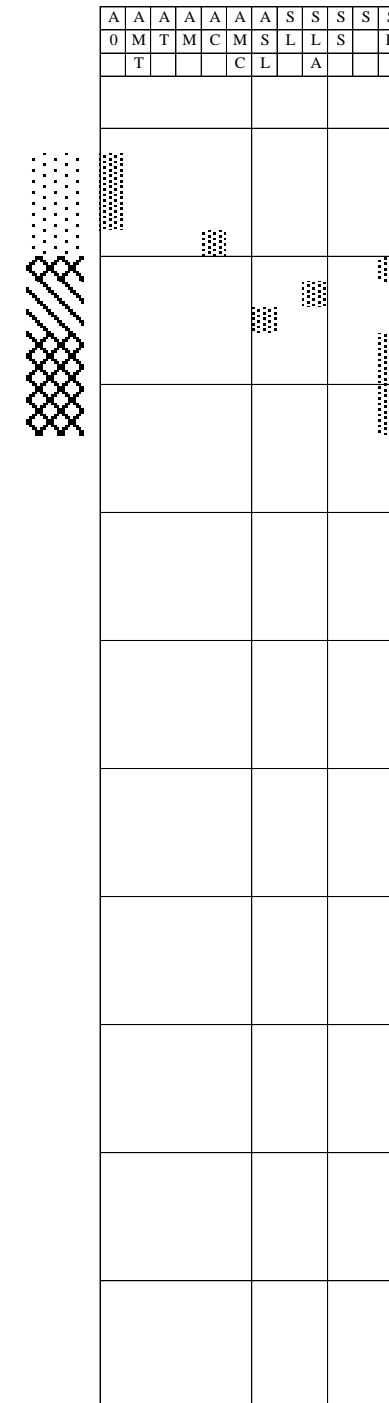
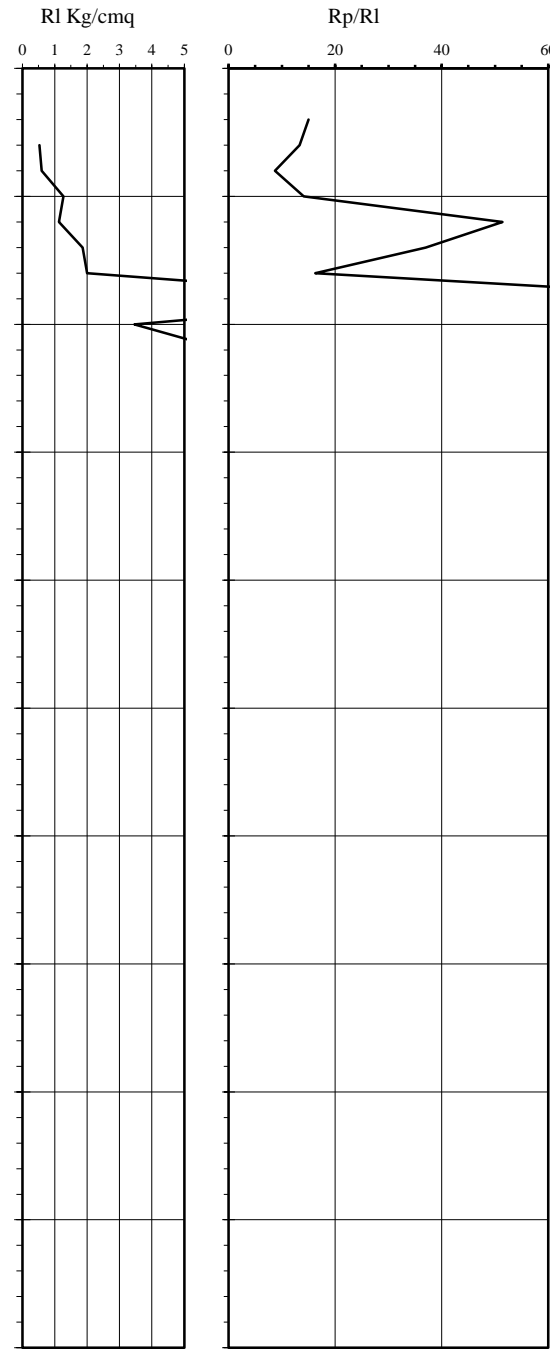
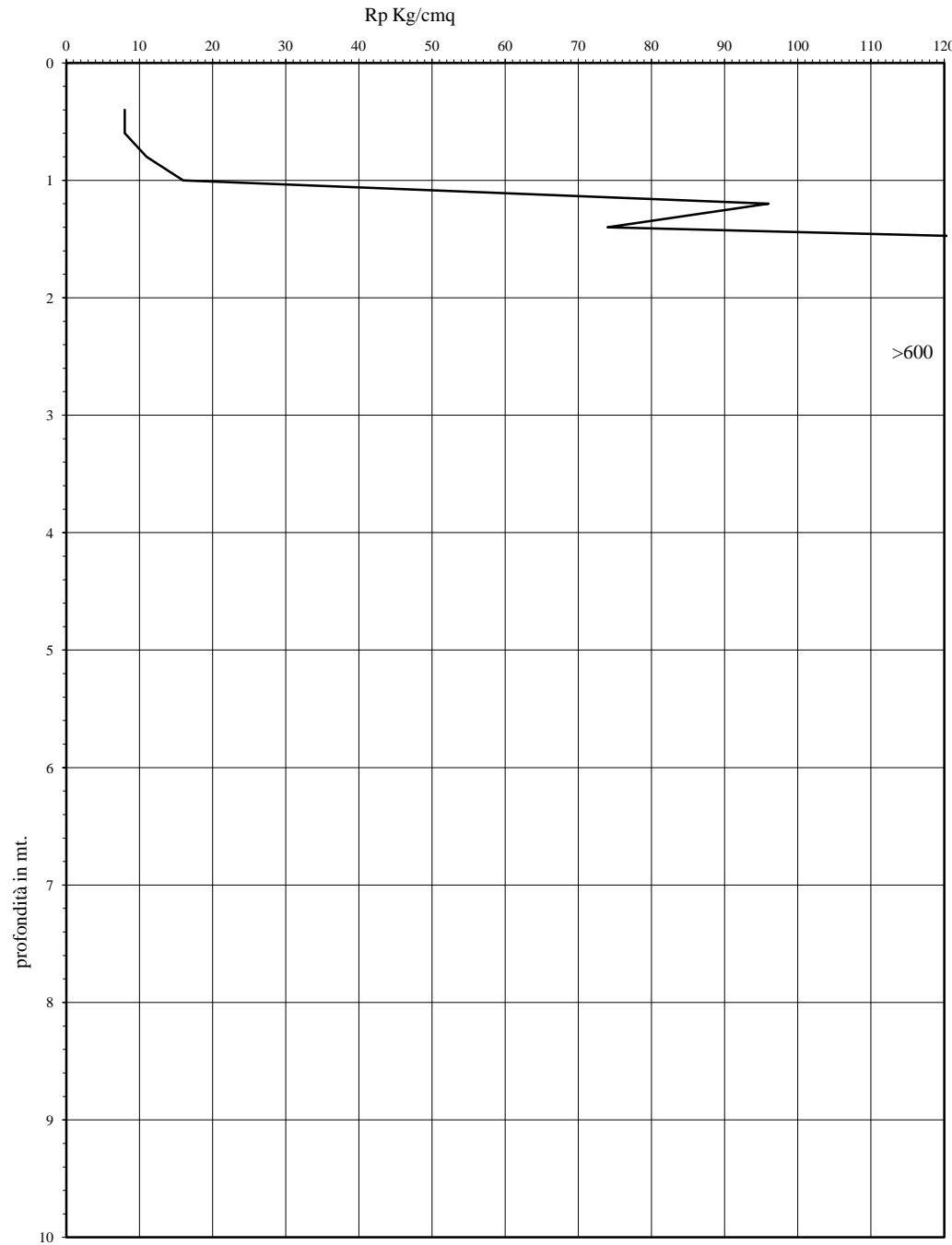
n.l. non liquefacibile

# Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 2  
 Cantiere: Santarcangelo (RN) - Via Della Resistenza  
 Data: Gennaio 2019

Quota inizio: piano campagna  
 Liv.falda: assente  
 Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



mt.	Rp	Rl	Rp/Rl	f °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt
0,2							
0,4	8		15,00	/	/	0,4	/
0,6	8	0,53	13,33	/	/	0,4	/
0,8	11	0,60	8,68	/	/	0,55	/
1	16	1,27	14,12	/	/	0,8	/
1,2	96	1,13	51,43	39	0,54	/	24
1,4	74	1,87	37,00	/	/	/	18,5
1,6	202	2,00	16,29	/	/	10,1	/
1,8	346	12,40	99,81	54	1,17	/	86,5
2	386	3,47	61,60	57	1,27	/	96,5
2,2	486	6,27	73,64	63	1,52	/	121,5
2,4	538	6,60					
2,6	600						

Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione

Verifica alla liquefazione magnitudo di 6 g accelerazione massima al suolo 0,25 g (Seed et al. 1985)

coefficiente di sicurezza

Cu media Kg/cmq 2,45 69,4 Nspt media n. colpi

Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente, 200kN spinta  
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cmq

Legenda:

- argilla
- ▨ sabbia limoso argillosa
- ▩ sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;  
 AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta  
 AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;  
 SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa  
 SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

n.l. non liquefacibile

---

cantiere: Santarcangelo (RN) - Via Della Resistenza  
quota inizio: piano campagna data: Gennaio 2019  
prof. falda: assente

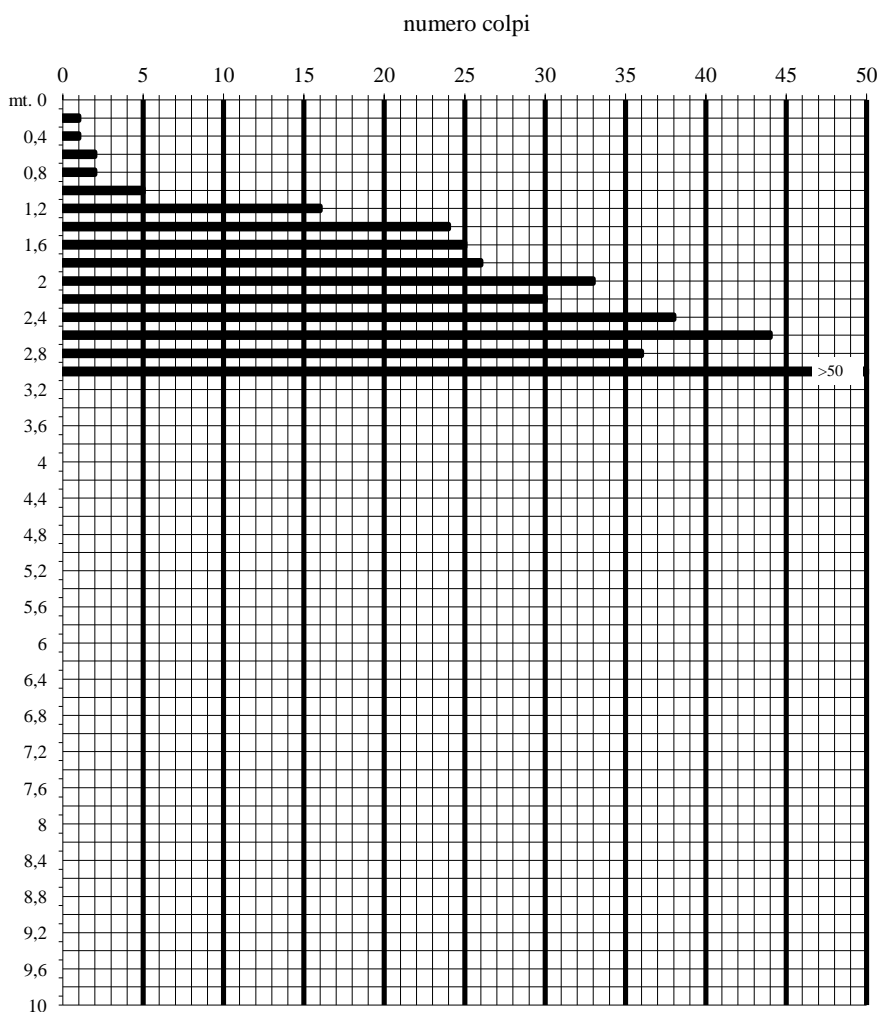
---

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE**

**DPSH 3**

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Peso maglio:63.50 Kg. Caduta maglio:75cm. Sezione punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.



---

cantiere: Santarcangelo (RN) - Via Della Resistenza  
quota inizio: piano campagna data: Gennaio 2019  
prof. falda: assente

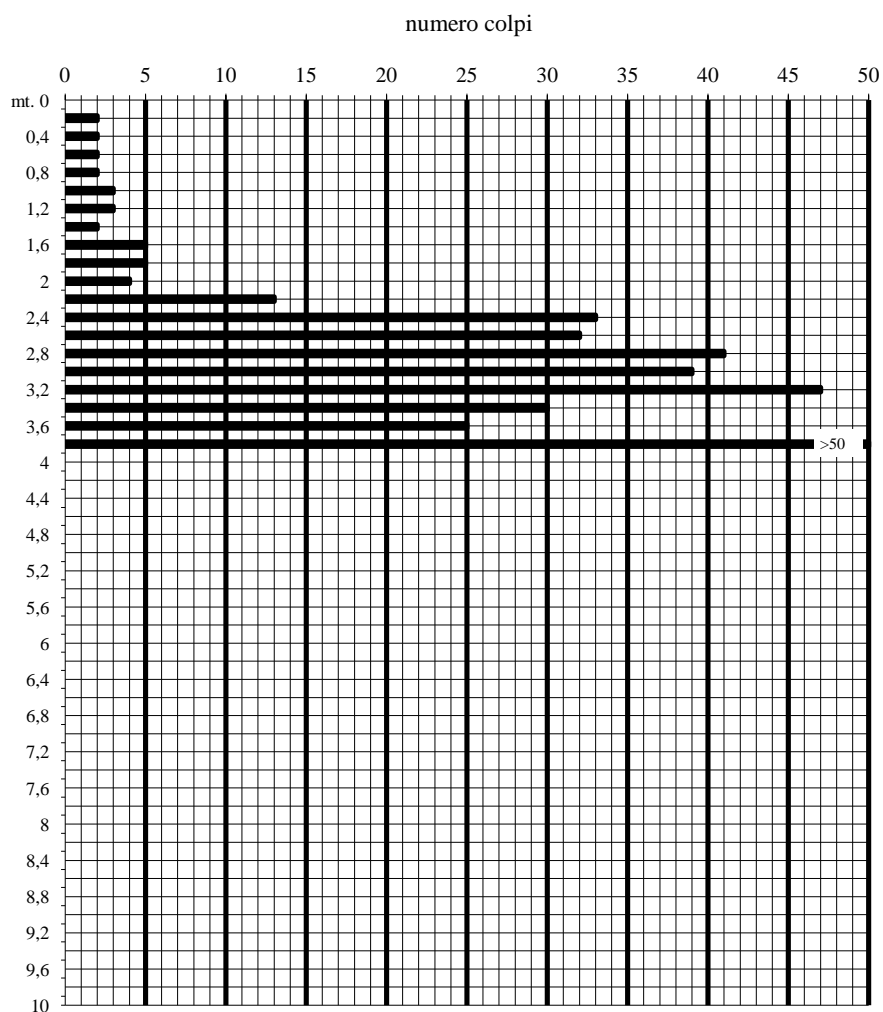
---

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH 4

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Peso maglio:63.50 Kg. Caduta maglio:75cm. Sezione punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.



cantiere: Santarcangelo (RN) - Via Della Resistenza

quota inizio: piano campagna

data: Gennaio 2019

prof. falda: assente

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH 5

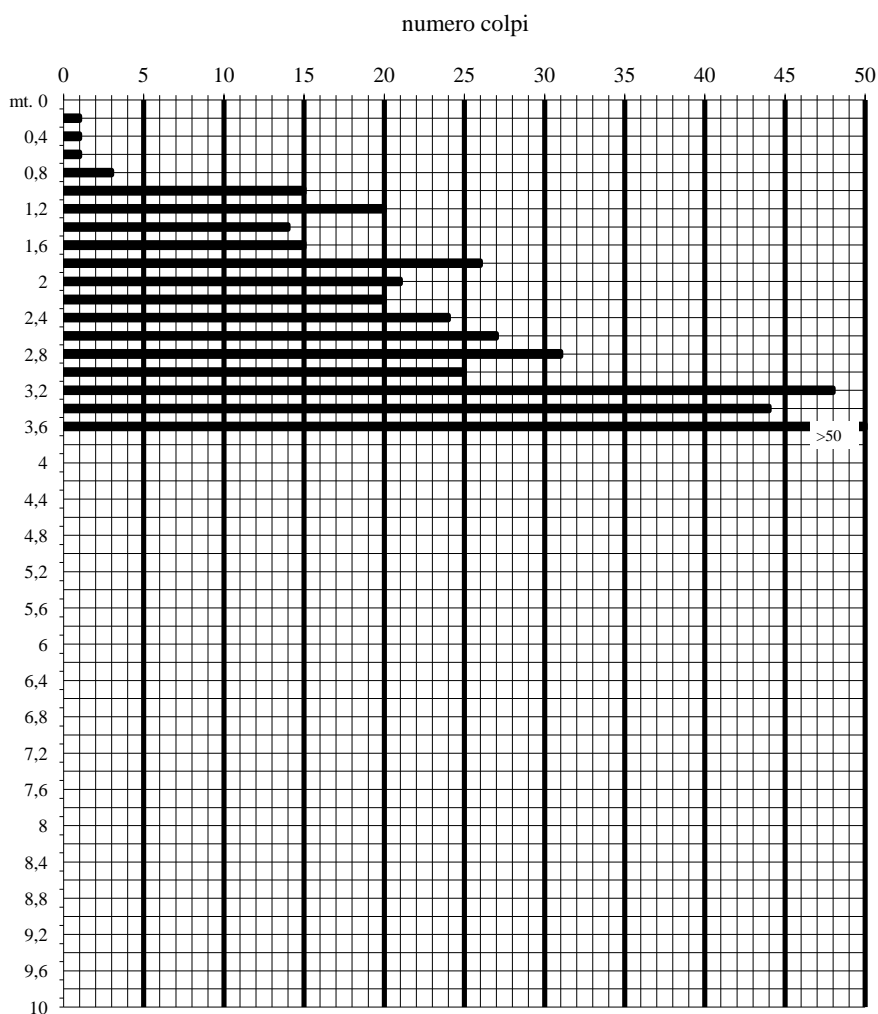
Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

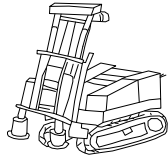
Peso maglio:63.50 Kg.

Caduta maglio:75cm.

Sezione punta:20cmq.

Peso aste:6.20Kg/ml.





**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Strada Acquasalata, 9 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Santarcangelo (RN) - Viale della Resistenza  
HVSR 1**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Gennaio 2019**

## Premessa

Il giorno 25/01/2019 a Santarcangelo (RN) - Via della Resistenza è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018);

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di  $V_s$  (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 del 17/01/2018), con la seguente formula:

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

con:

$h_i$  : spessore dell'i-esimo strato;

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

N : numero di strati;

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

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



## SANTARCANGELO – HVSR 1

Inizio registrazione: 25/01/19 10:02:40 Fine registrazione: 25/01/19 10:22:41

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS: 44.44.060448 – 12.447348

Durata registrazione: 0h20'00".

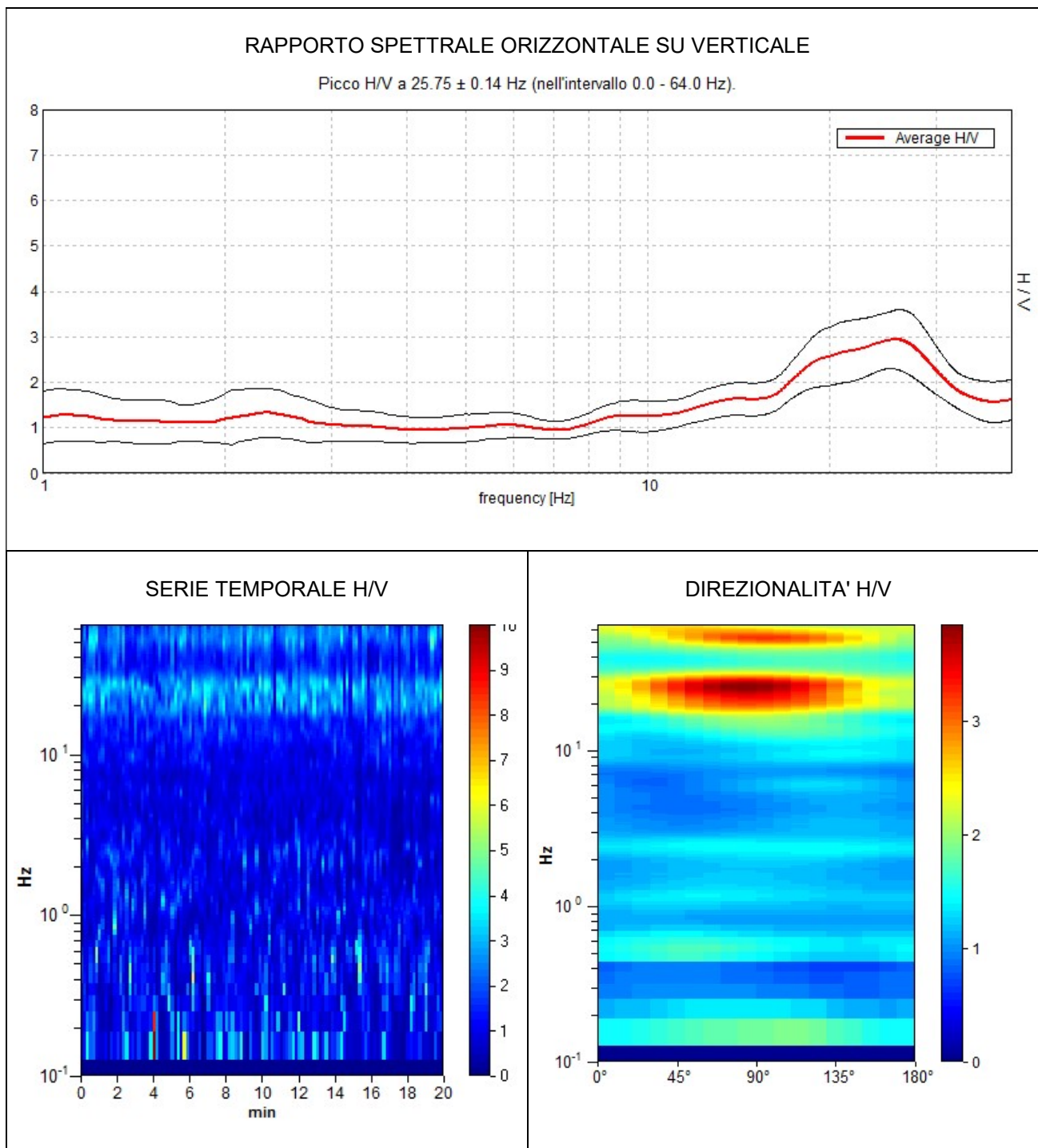
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

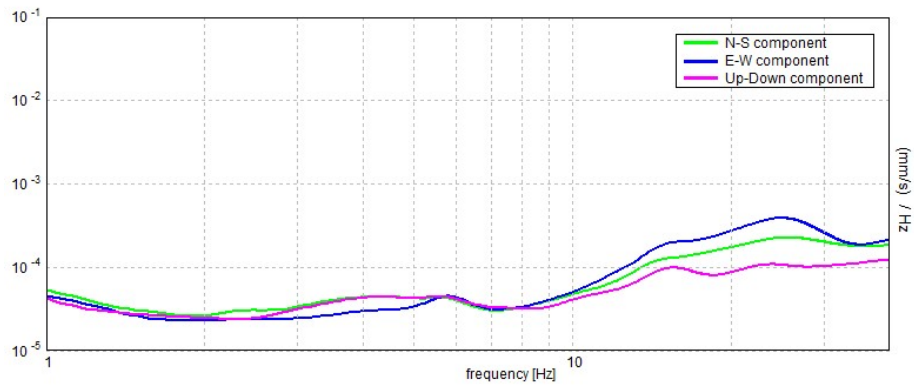
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

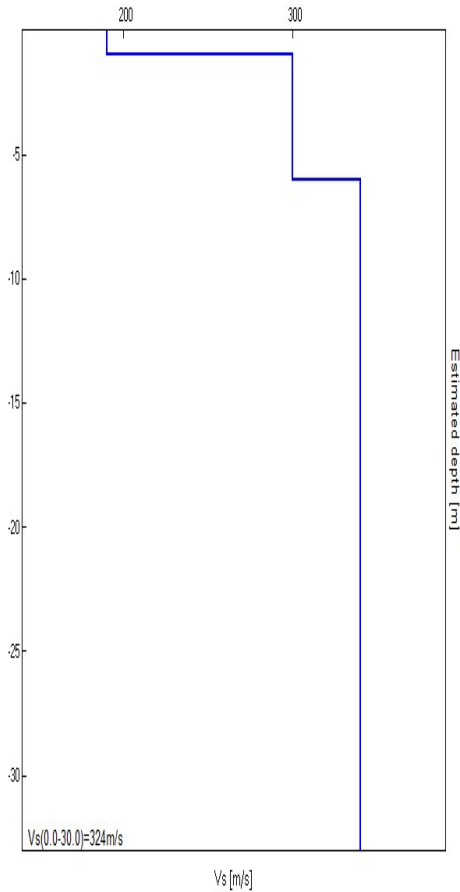
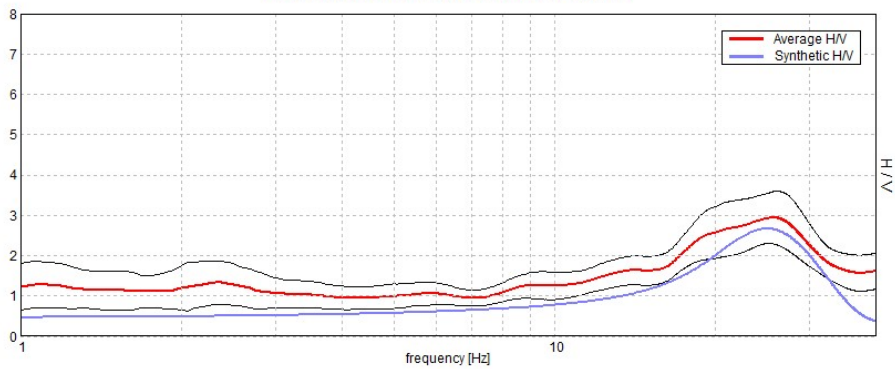


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Picco H/V a  $25.75 \pm 0.14$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	190
6.00	5.00	300
inf.	inf.	340

$V_s(0.0-30.0)=324\text{m/s}$

**Picco H/V a  $25.75 \pm 0.14$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$25.75 > 1.00$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$30900.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 619	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	12.125 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$2.94 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00273  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07021 < 1.2875$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3294 < 1.58$	<b>OK</b>	

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

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

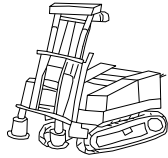
**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2018\_Tabella 3.2.II):

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

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	324	C
1,00-31,00mt.	333	C
2,00-32,00mt.	334	C
3,00-33,00mt.	336	C
4,00-34,00mt.	337	C



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Strada Acquasalata, 9 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Santarcangelo (RN) - Viale della Resistenza  
HVSR 2**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Gennaio 2019**

## Premessa

Il giorno 25/01/2019 a Santarcangelo (RN) - Via della Resistenza è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018);

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di  $V_s$  (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 del 17/01/2018), con la seguente formula:

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

con:

$h_i$  : spessore dell'i-esimo strato;

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

N : numero di strati;

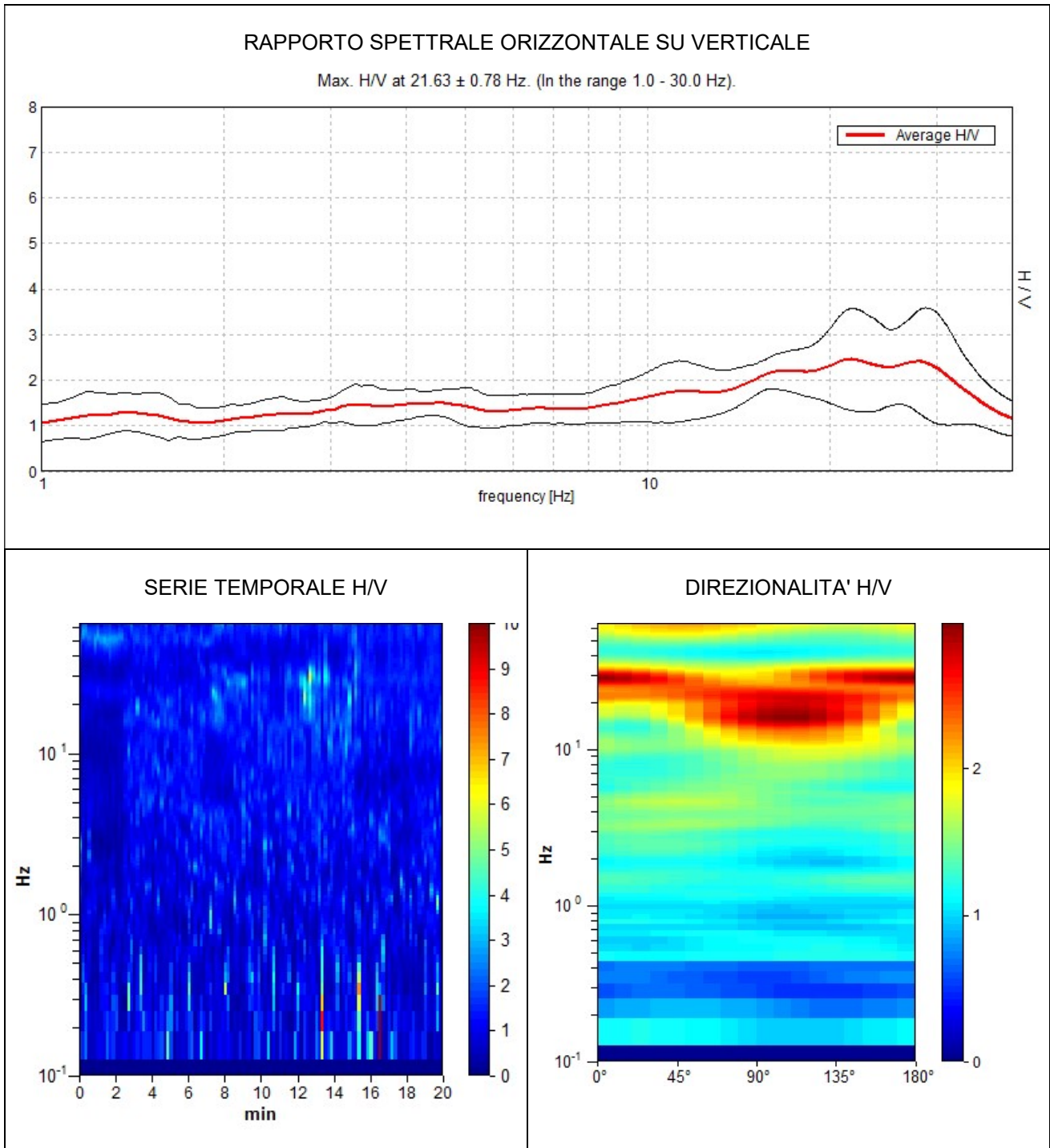
H : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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

## SANTARCANGELO – HVSr 2

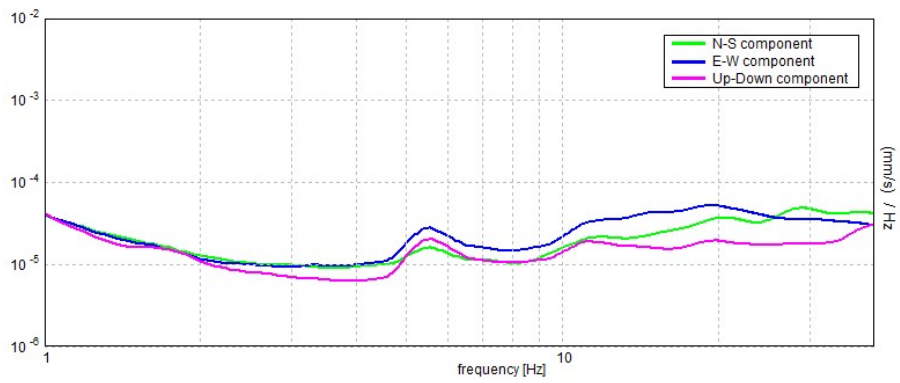
Inizio registrazione: 25/01/19 09:32:50 Fine registrazione: 25/01/19 09:52:51  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 44.44.060517 – 12.448634

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%



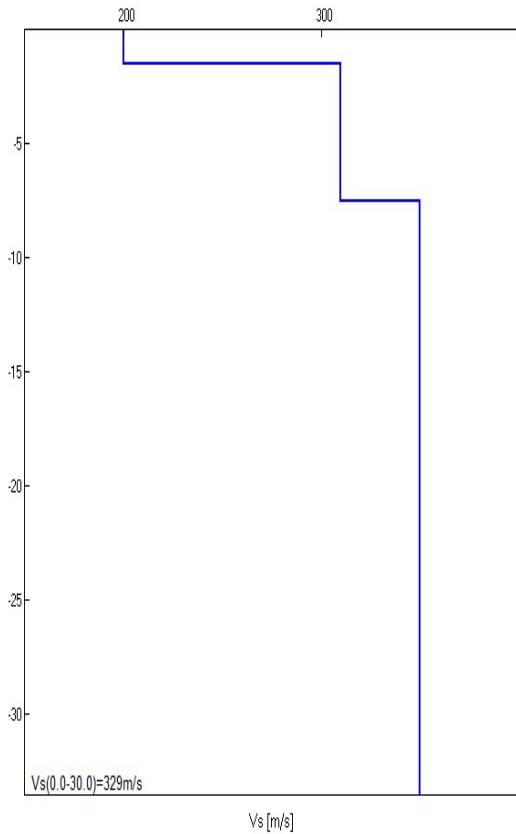
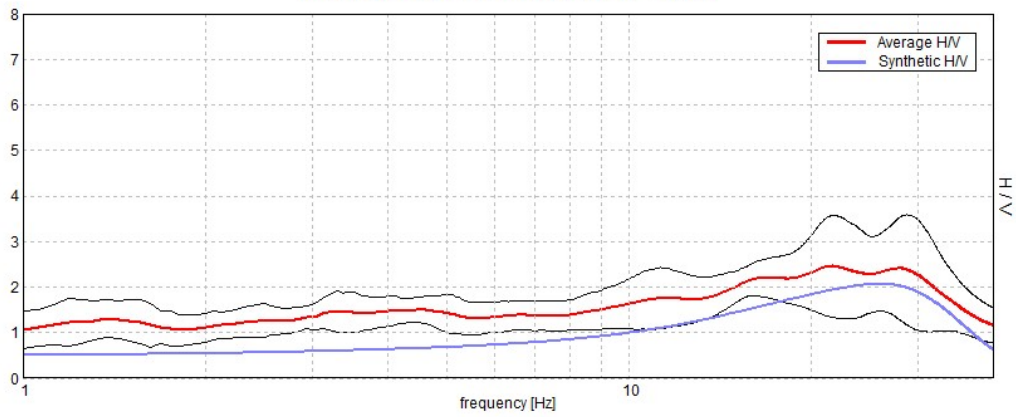


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Max. H/V at  $21.63 \pm 0.78$  Hz. (In the range 1.0 - 30.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	200
7.50	6.00	310
inf.	inf.	350

$V_s(0.0-30.0)=329\text{m/s}$

**Picco H/V a  $21.63 \pm 0.78$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 30.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$21.63 > 1.00$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$4108.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 520	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	38.688 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.46 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01681  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.36354 < 1.08125$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.5203 < 1.58$	<b>OK</b>	

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

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

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

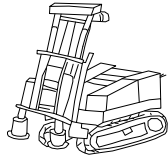
**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2018\_Tabella 3.2.II):

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

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	329	C
1,00-31,00mt.	337	C
2,00-32,00mt.	342	C
3,00-33,00mt.	343	C
4,00-34,00mt.	345	C



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Strada Acquasalata, 9 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Santarcangelo (RN) - Viale della Resistenza  
HVSR 3**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Gennaio 2019**

## Premessa

Il giorno 25/01/2019 a Santarcangelo (RN) - Via della Resistenza è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018);

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di  $V_s$  (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 del 17/01/2018), con la seguente formula:

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

con:

$h_i$  : spessore dell'i-esimo strato;

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

N : numero di strati;

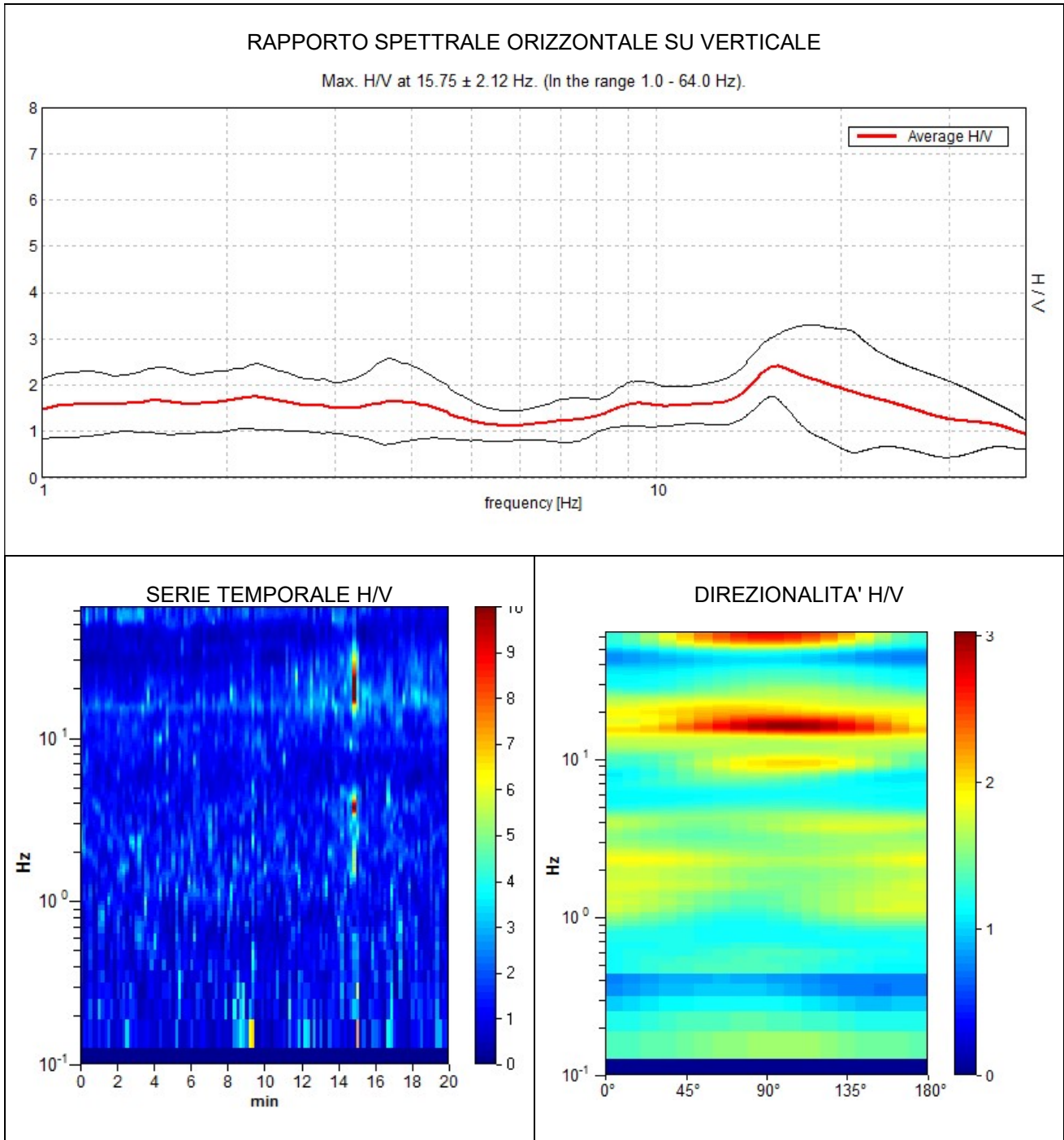
H : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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

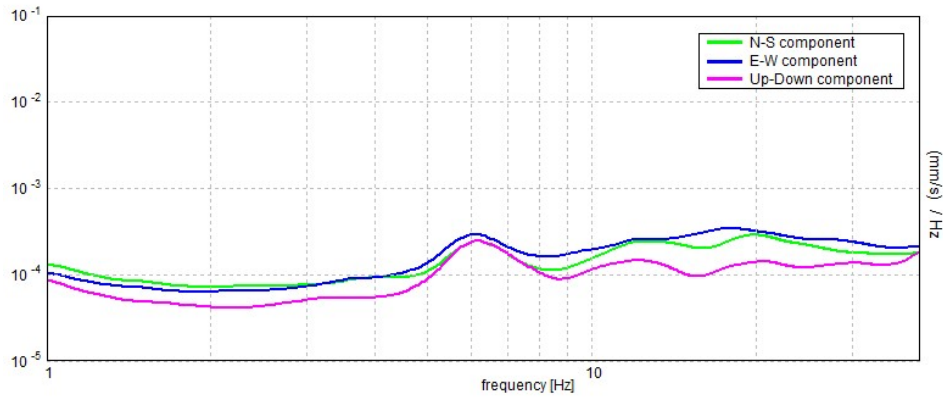
### SANTARCANGELO – HVSr 3

Inizio registrazione: 25/01/19 10:40:31 Fine registrazione: 25/01/19 11:00:32  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 44.060019 – 12.449086

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

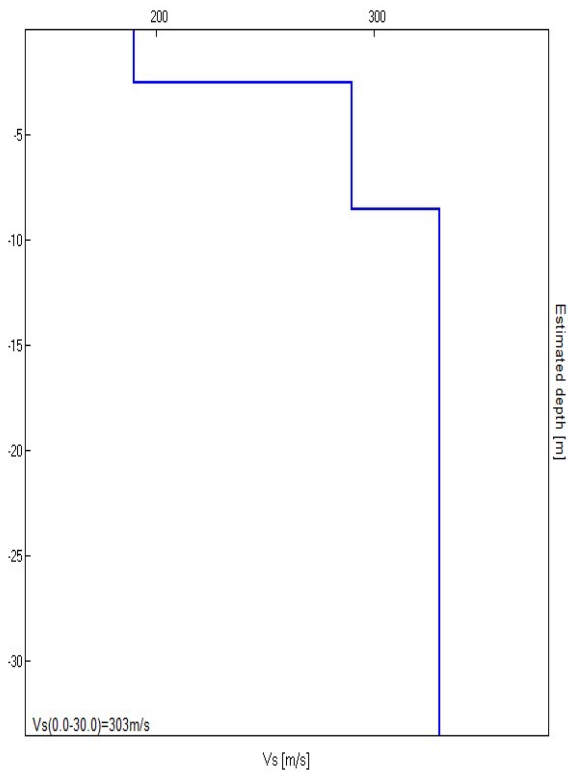
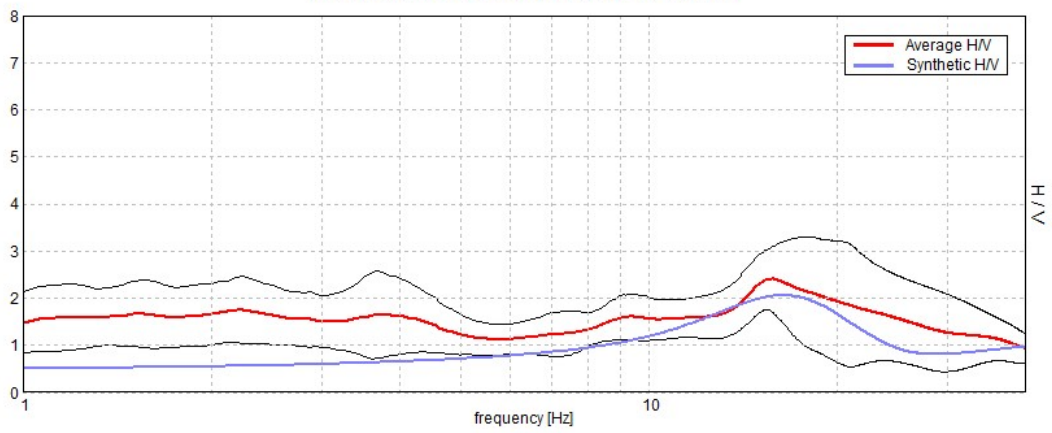


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Max. H/V at 15.75 ± 2.12 Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.50	2.50	190
8.50	6.00	290
inf.	inf.	330

Vs(0.0-30.0)=303m/s



**Picco H/V a  $15.75 \pm 2.12$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$15.75 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$18900.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 379	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.688 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.40 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04767  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.06577 < 0.7875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3494 < 1.58$	OK	

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

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

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

According to the Sesame, 2005 guidelines.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2018\_Tabella 3.2.II):

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

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	303	C
1,00-31,00mt.	310	C
2,00-32,00mt.	317	C
3,00-33,00mt.	322	C
4,00-34,00mt.	333	C



## LABORATORIO GEOTECNICO

del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROFONDITA' da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>

Data ricevimento campione	06.02.2019	Verbale accettazione	037/19
Data certificati	13.02.2019	Procedura operativa	

### SOMMARIO DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE				LIMITI DI ATTERBERG																		
Contenuto in acqua	Wn	<b>22,55</b>	%	Limite di liquidità	LL	<b>49,2</b>	%															
Peso di volume umido	$\gamma$	<b>2,07</b>	g/cmc	Limite di plasticità	LP	<b>21,4</b>	%															
Peso di volume secco	$\gamma_d$	<b>1,69</b>	g/cmc	Limite di ritiro	LR		%															
Peso specifico	G		g/cmc	Indice liquido	IL	<b>0,04</b>																
Indice dei vuoti	e			Indice plastico	IP	<b>27,8</b>																
Porosità	n		%	Indice di consistenza	IC	<b>0,96</b>																
Umidità di saturazione	Wsat		%	Indice di ritiro	IS																	
Grado di saturazione	Sr		%	Grado di attività	A																	
Tenore CaCO <sub>3</sub>			%	Sensibilità	St																	
GRANULOMETRIA				RESISTENZA A COMPRESSIONE																		
Ciottoli	C		%	Compressione semplice (ELL)	$\sigma_c$		KPa															
Ghiaia	G		%	Deformazione a rottura	ev		%															
Sabbia	S	<b>8,30</b>	%	PP-VT																		
Limo+argilla	L+A		%	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td></td> <td></td> <td>da</td> <td>a</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pocket penetrometer</td> <td>PP</td> <td><b>250</b></td> <td><b>300</b></td> <td>KPa</td> </tr> <tr> <td>Vane Test</td> <td>VT</td> <td><b>120</b></td> <td><b>150</b></td> <td>KPa</td> </tr> </table>						da	a		Pocket penetrometer	PP	<b>250</b>	<b>300</b>	KPa	Vane Test	VT	<b>120</b>	<b>150</b>	KPa
		da	a																			
Pocket penetrometer	PP	<b>250</b>	<b>300</b>	KPa																		
Vane Test	VT	<b>120</b>	<b>150</b>	KPa																		
Limo	L	<b>49,6</b>	%																			
Argilla	A	<b>42,0</b>	%																			
Coeff. di uniformità	U																					
Classificazione CNR-UNI 10006																						
PROVA DI TAGLIO DIRETTO																						
Test CD	Angolo di attrito	$\phi'$	<b>24,3</b>	°	Coesione efficace	$c'$	<b>26,0</b> KPa															
Test CU	Angolo di attrito	$\phi_{cu}$		°	Coesione non drenata	cu	KPa															
Test CR	Angolo di attrito	$\phi_r$		°	Coesione residua	cr	KPa															
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE																						
Test CD	Angolo di attrito	$\phi'$		°	Coesione efficace	$c'$	KPa															
Test CU	Angolo di attrito	$\phi_{cu}$		°	Coesione non drenata	ccu	KPa															
Test CR	Angolo di attrito	$\phi_{uu}$		°	Coesione non drenata	cuu	KPa															
PROVA EDMETRICA																						
Modulo edometrico	Ed		KPa	Gradino di carico	$\sigma$		KPa															
Coeff. di consolidazione	Cv		cmq/sec	Indice di rigonfiamento	Cs																	
Coeff. di compress. edom.	Mv		mq/KN																			
Coeff. di permeabilità	K		m/sec	Coeff. di cons. second.	Ca		%															

Note:

Lo Sperimentatore Dr. Marino Mularoni  
Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Marino Mularoni



**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROFONDITA' da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>

Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	07.02.2019	Procedura operativa	IST 06/01

**APERTURA E DESCRIZIONE CAMPIONI (ASTM 2488 - AGI 1977)**

Contenitore	fustella metallica	Diametro campione	84 mm
Classe di qualità (AGI 1977)	Q5	Lunghezza campione	49 cm

PP		VT		PROGRAMMA PROVE DI LABORATORIO		DESCRIZIONE LITOLOGICA
da	a	da	a			
	2,7		1,3	Volumetriche	10 cm	Limo argilloso verdastro con variegazioni e convoluzioni grigio-azzurre. Sparsi calcinelli sub-millimetrici grigiastri.
				Granulometria		
	2,8		1,3	Limiti di Atterberg	20 cm	
				Taglio Casagrande CD		
	3,0		1,5		30 cm	
	2,5		1,2		40 cm	
	2,7		1,3		50 cm	
					60 cm	
					70 cm	
					80 cm	
					90 cm	
					100 cm	

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

Certificato n. **037/19.1**

Data certificato **13.02.2019**

Lo Sperimentatore **Dr. Geol. Marino Mularoni** Il Direttore del Laboratorio **Dr. Geol. Marino Mularoni**



**LABORATORIO GEOTECNICO**del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 RiminiAzienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA' RIF.	<b>SANTARCANGELO G19-027</b>	da m	<b>4,70</b>
		a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	<b>037/19</b>
Data esecuzione prova	07.02.2019	Procedura operativa	

**PARAMETRI CALCOLATI***sulla base dei risultati di prova*

## DATI MISURATI

<i>Peso di volume naturale</i>	$\gamma$	<b>2,07</b>	Mg/m <sup>3</sup>
<i>Umidità allo stato naturale</i>	<b>W</b>	<b>22,55</b>	%
<i>Temperatura media delle prove</i>	<b>T</b>	19	°C
<i>Peso specifico dei granuli</i>	$\gamma_r$		Mg/m <sup>3</sup>

## ALTRI VALORI IMPIEGATI PER IL CALCOLO

<i>Peso specifico dell'acqua</i>	$\delta_w$	1,00	Mg/m <sup>3</sup>
----------------------------------	------------	------	-------------------

## PARAMETRI CALCOLATI

<i>peso di volume saturo</i>	$\gamma_w$		Mg/m <sup>3</sup>
<i>peso di volume secco</i>	$\gamma_d$	<b>1,69</b>	Mg/m <sup>3</sup>
<i>indice dei vuoti</i>	<b>e</b>		
<i>porosità</i>	<b>n</b>		%
<i>grado di saturazione</i>	<b>S<sub>r</sub></b>		%

Certificato n. **037/19.2**Data certificato **13.02.2019**Lo Sperimentatore **Dr. Geol. Marino Mularoni**  
Il Direttore del Laboratorio **Dr. Geol. Marino Mularoni**



**LABORATORIO GEOTECNICO**  
 del Dr. Geol. M. Mularoni  
 Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
 Cert. SGS n. IT05/1218  
 Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
 A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	07.02.2019	Procedura operativa	IST 06.03

**PESO DI VOLUME (UNI CEN ISO/TS 17892-2)**

<i>volume (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>peso umido (g)</i>
1082,00	2242,40

Peso di volume                      ρ            **2,07** Mg/m<sup>3</sup>

Certificato n.                      **037/19.2**  
 Data certificato                      13.02.2019

Lo Sperimentatore                      Il Direttore del Laboratorio  
 Dr. Geol. Marino Mularoni                      Dr. Geol. Marino Mularoni



**LABORATORIO GEOTECNICO**del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 RiminiAzienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>

Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	07.02.2019	Procedura operativa	IST 06.02

**UMIDITA' NATURALE (UNI CEN ISO/TS 17892-1)**

<i>peso umido (g)</i>	<i>peso secco (g)</i>
2242,40	1829,80

Umidità allo stato naturale **W 22,55 %**Certificato n. **037/19.2**Data certificato **13.02.2019**Lo Sperimentatore **Dr. Geol. Marino Mularoni** Il Direttore del Laboratorio **Dr. Geol. Marino Mularoni**



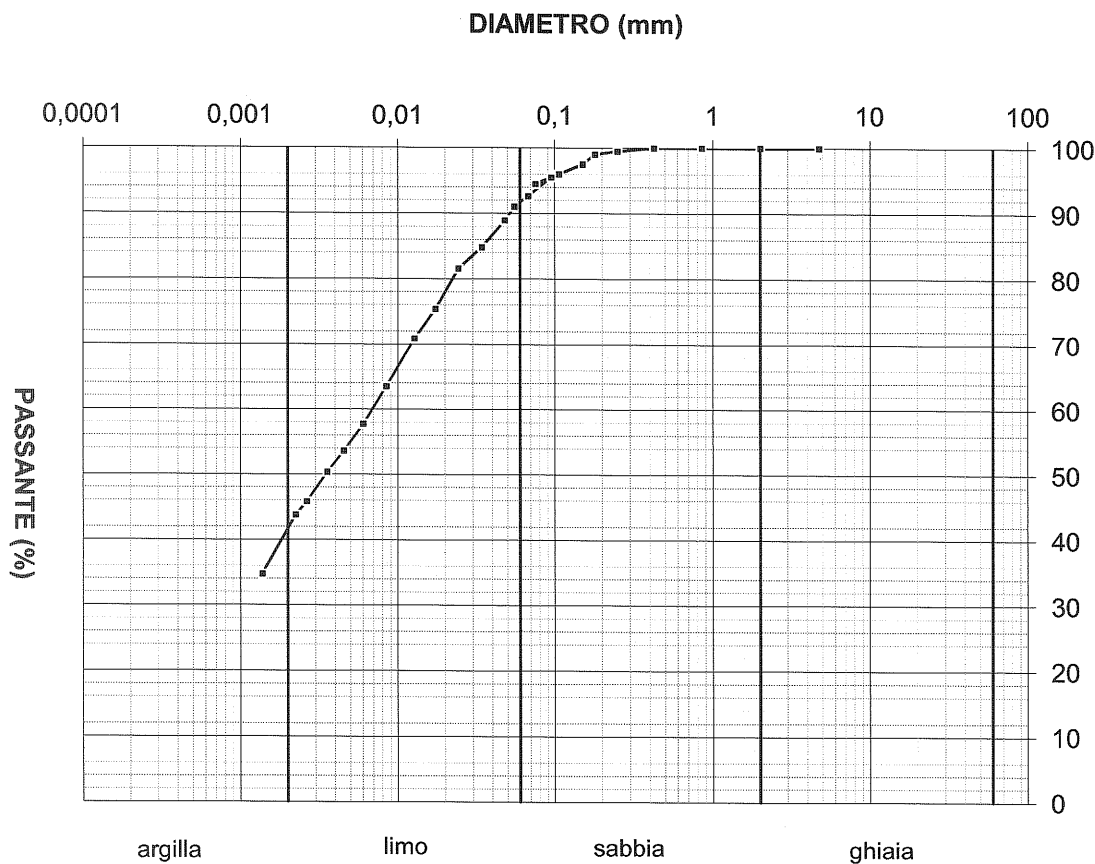
**LABORATORIO GEOTECNICO**  
 del Dr. Geol. M. Mularoni  
 Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
 Cert. SGS n. IT05/1218  
 Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
 A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROFONDITA' da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	08.02.2019	Procedura operativa	IST 06.06

**ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE (ASTM D 422-63)**



Descrizione AGI	<b>LIMO CON ARGILLA DEB. SABBIOSO</b>	d10 (mm)	0,0000	d15 (mm)	0,0000
		d60 (mm)	0,0069	d85 (mm)	0,0350

Classificazione UNI-CNR 10006

Coefficiente di uniformità  
 (d60/d10) **U =**

Certificato n. **037/19.3**

Lo Sperimentatore **Dr. Geol. Marino Mularoni** Direttore del Laboratorio **Dr. Geol. Marino Mularoni**

Data certificato **13.02.2019**





**LABORATORIO GEOTECNICO**del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 RiminiAzienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	1
CANTIERE		CAMPIONE	1
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROFONDITA' da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	08.02.2019	Procedura operativa	IST 06.06

**ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE (ASTM D 422-63)**

peso campione alla sedimentazione (g):	40,00	densimetro utilizzato:	ASTM 151 H
temperatura di prova (°C):	17,0	peso specifico:	2,71

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
0,25	0,095	28,00	95,52
0,5	0,067	27,30	92,64
0,75	0,055	26,90	91,00
1	0,048	26,40	88,95
2	0,034	25,40	84,84
4	0,024	24,60	81,55
8	0,017	23,10	75,39
15	0,013	22,00	70,87
35	0,008	20,20	63,48
70	0,006	18,80	57,73
125	0,005	17,80	53,62
205	0,004	17,00	50,34
380	0,003	15,90	45,82
530	0,002	15,40	43,77
1440	0,001	13,20	34,73
1440	0,001	13,20	34,73

\*correzioni applicate:

 $C_m = 0,5$  $C_d = 5$  $C_t = -0,2$ 

composizione granulometrica	
% ghiaia	<b>0,0</b>
% sabbia	<b>8,3</b>
% limo	<b>49,6</b>
% argilla	<b>42,0</b>

Certificato n. **037/19.3**Data certificato **13.02.2019**Lo Sperimentatore  
Dr. Geol. Marino MularoniIl Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 RiminiAzienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROFONDITA' da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	08.02.2019	Procedura operativa	IST 06.06

**ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)**

## SETACCIATURA

peso terreno setacciato (g): 40

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
4,75	0,00	40,00	100,00
2	0,00	40,00	100,00
0,85	0,00	40,00	100,00
0,425	0,00	40,00	100,00
0,25	0,20	39,80	99,50
0,18	0,40	39,60	99,00
0,15	1,00	39,00	97,50
0,106	1,60	38,40	96,00
0,075	2,20	37,80	94,50

Certificato n. 037/19.3

Data certificato 13.02.2019

Lo Sperimentatore  
Dr. Geol. Marino MularoniIl Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Marino Mularoni



**LABORATORIO GEOTECNICO**  
del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROF. da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>
Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	08.02.2019	Procedura operativa	IST 06.07

### LIMITI DI ATTERBERG (CNR-UNI 10014)

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
16	40,21	26,56	51,39	8,62	7,10	21,41
20	64,28	42,73	50,43	6,31	5,19	21,58
28	65,16	44,12	47,69	6,91	5,70	21,2
34	63,27	44,22	47,65			

limite di ritiro			
volume umido (cm <sup>3</sup> )	peso umido (g)	volume secco (cm <sup>3</sup> )	peso secco (g)

(Umidità naturale)	W	22,55 %
--------------------	---	---------

LIMITE DI LIQUIDITA'	WI	49,20 %
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp	21,40 %
LIMITE DI RITIRO	Wr	%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	27,80
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	0,04
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	0,96
INDICE DI RITIRO	Ir	
GRADO DI ATTIVITA'	A	

Certificato n. **037/19.4**

Data certificato **13.02.2019**

Lo Sperimentatore  
Dr. Marino Mularoni



Il Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Marino Mularoni



# LABORATORIO GEOTECNICO

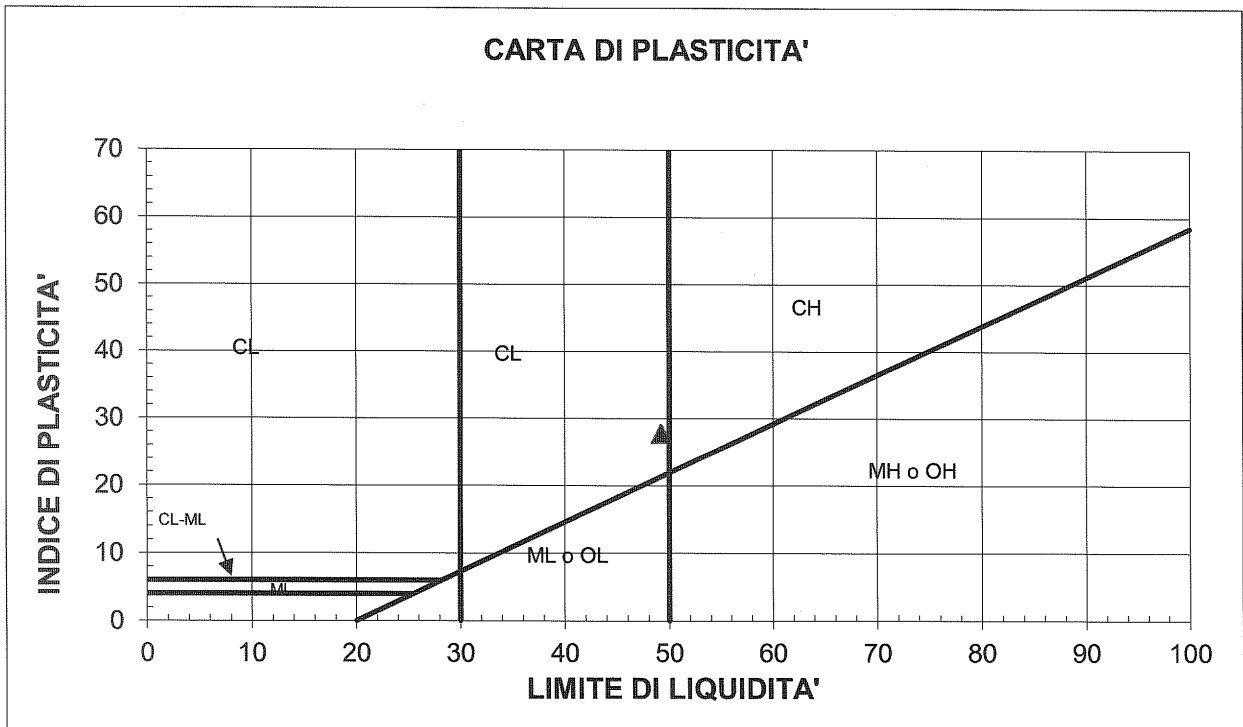
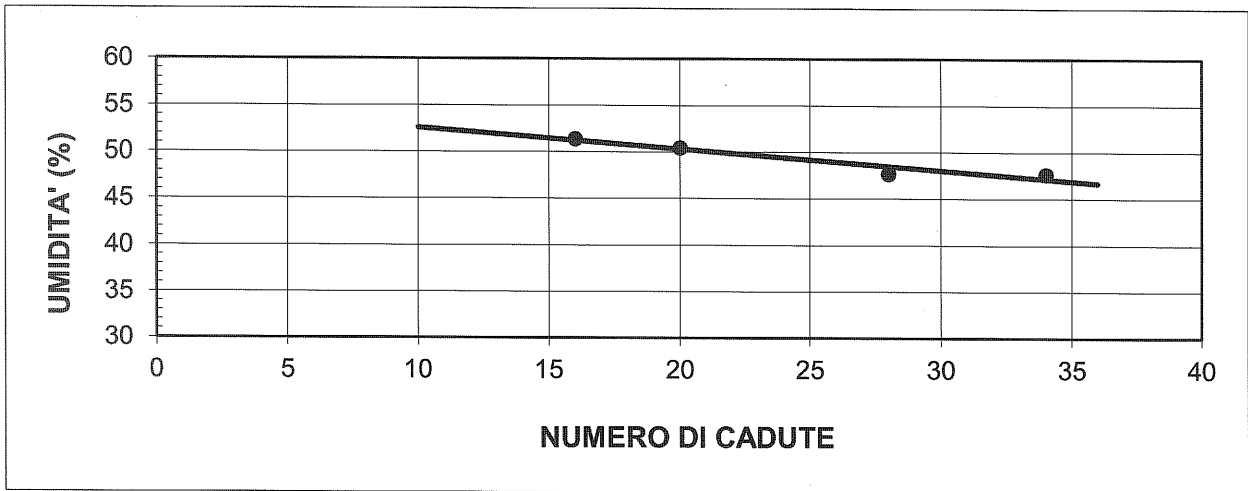
del Dr. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1218  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani  
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROF. da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m	<b>5,20</b>

Data ricevimento campione	06.02.2019	Numero accettazione	037/19
Data esecuzione prova	08.02.2019	Procedura operativa	IST 06.07



M = limi inorganici  
 C = argille inorganiche  
 O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità  
 H = alto limite di liquidità

Certificato n. **037/19.4**

Data certificato **13.02.2019**

Lo Sperimentatore  
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Marino Mularoni





Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **ARCA S.p.A.**

SONDAGGIO **1**

CANTIERE

CAMPIONE **1**

LOCALITA' **SANTARCANGELO**

PROF. Da m **4,70**

RIF. **G19-027**

a m. **5,20**

Data ricevimento Campione 06.02.2019

Numero di accettazione 037/19

Data esecuzione Prova 07.02.2019

Procedura operativa IST 06.11

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)**

I valori riportati sono quelli relativi alla regressione lineare dei valori massimi della tensione orizzontale ( $\sigma$  di quelli al raggiungimento del 15% di deformazione) La valutazione dei parametri di resistenza al taglio spetta comunque al Professionista.

PIANO  $\tau-\sigma$

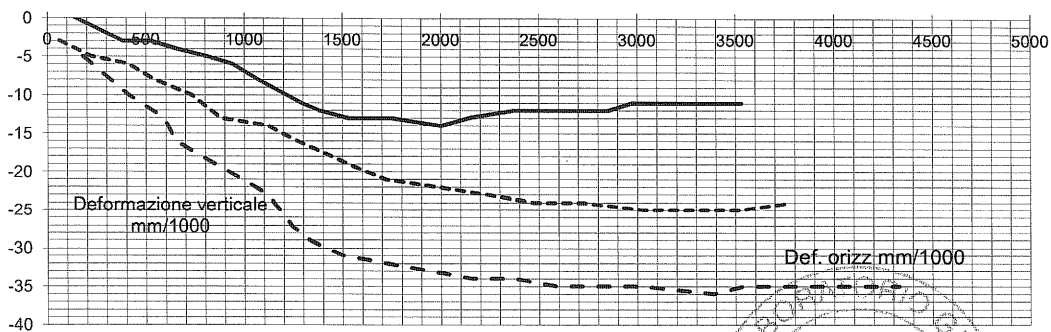
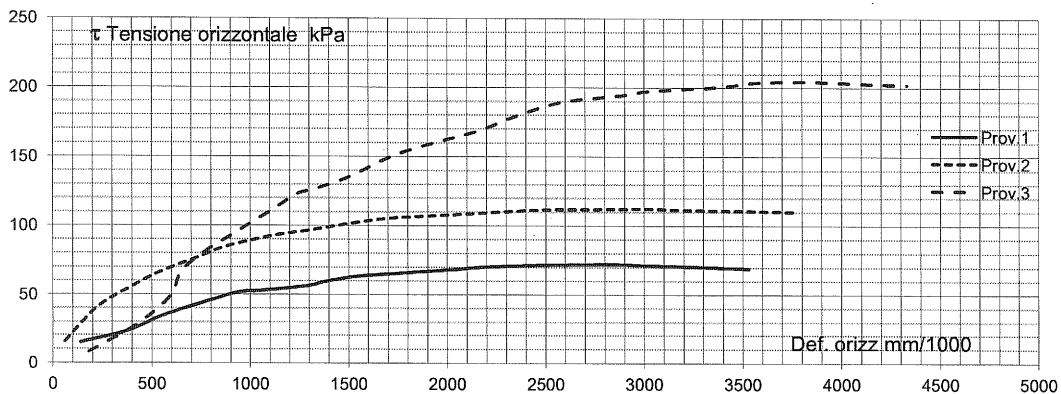
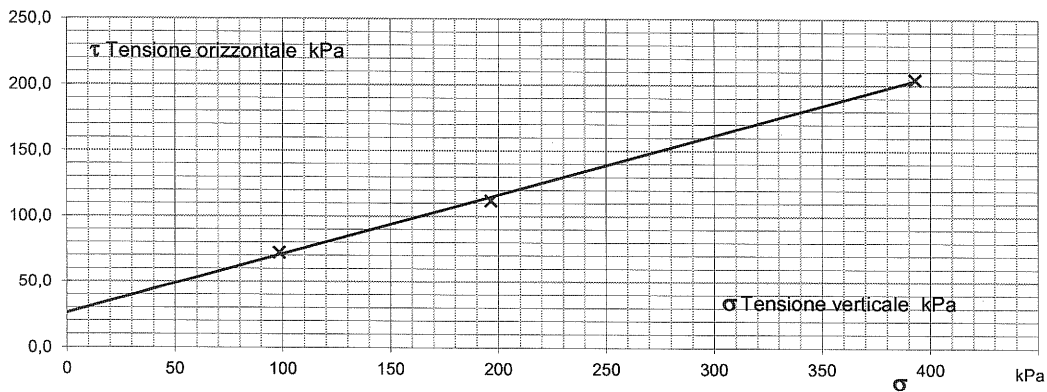
$C' =$  (kPa) **26,0**

Regressione Lineare

$\phi' =$  (°) **24,3**

Scelta valori manuale SI/NO: NO

Sforzo a rottura	72	112	204
Deformazione a rottura	4,750	5,050	6,3



Certificato n. 037/19.5

Data certif. 13.02.2019

Lo Sperimentatore **Dott. Stefano Rondani**  
IL Direttore **Dott. Marino Mularoni**





LABORATORIO GEOTECNICO  
del Dott. Geol. M. Mularoni  
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000  
Cert. SGS n. IT05/1219  
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani A.L.G.I. n° 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	<b>ARCA S.p.A.</b>	SONDAGGIO	<b>1</b>
CANTIERE		CAMPIONE	<b>1</b>
LOCALITA'	<b>SANTARCANGELO</b>	PROF. Da m	<b>4,70</b>
RIF.	<b>G19-027</b>	a m.	<b>5,20</b>
Data ricevimento Campione	06.02.2019	Numero di accettazione	037/19
Data esecuzione Prova	07.02.2019	Procedura operativa	IST 06.11

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)**

PROVINI ( Inizio Prova)	UM	Simbolo	Provino 1	Provino 2	Provino 3	Medie
Condizione provino	/		indisturbato	indisturbato	ricostituito	
Diametro iniziale	mm	$\phi_0$	60	60	60	
Altezza iniziale	mm	$h_0$	22	22	22	
Sezione iniziale	mm <sup>2</sup>	$A_0$	2827	2827	2827	
Volume iniziale	mm <sup>3</sup>	$V_0$	62203	62203	62203	
Peso di volume iniziale	gr/cm <sup>3</sup>	$\gamma_0$	2,04	2,10	2,09	
Contenuto d'acqua iniziale	%	$W_i$	22,5	22,0	23,0	
Peso di volume secco	gr/cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$	1,668	1,72	1,69	1,69
Peso specifico dei grani	gr/cm <sup>3</sup>	G	2,710	2,710	2,710	2,71
<b>Determinato / assunto</b>						
Indice dei Vuoti	/	e	0,62	0,57	0,60	0,60
Porosità	%	n	38,46	36,47	37,47	37,5
Umidità di saturazione	%	Wsat	23,06	21,18	22,11	22,1
Grado saturazione	%	Sr	97,52	104,02	104,22	101,9
<b>CONSOLOLIDAZIONE - PROVA</b>						
Pressione di cella	KPa	$\sigma_v$	98	196	393	
Velocità pressa	mm/min	vel	0,006	0,006	0,006	

**FASE DI ROTTURA**

Critero di rottura (1 =Raggiungimento del picco; 2 = Deform. magg. 15 %)				<b>1</b>		
Deformazione a rottura	mm		2,85	3,03	3,76	
Deformazione a rottura	%		4,8	5,1	6,3	
Tempo rottura effettivo	min		530	530	670	
Velocità media a rottura	mm/min		0,0054	0,0057	0,0056	
Tensione di rottura	KPa	$\tau$	72	112	204	

Note: Macchine Utilizzate:  
Taglio Casagrande Tecnocest: Prov.1 TG04; Provino 2 TG05; Provino 3 TG06

Certificato n. 037/19.5

Data certif. 13.02.2019

Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio











## Prova di permeabilità Lefranc \_ discesa

Prova n. 1

Sondaggio S 2

Profondità rivestimento: 3.7 mt da piano campagna

tempo	livello acqua da p.c. +300 mm p.c.	livello acqua da bocca foro	intervallo tempo	infiltrazione	capacità infiltrazione
sec	mm	mm	sec.	mm.	mm./min.
0	300	0			
15	-2000	2300	15	2300	<b>9200.0000</b>
30	-2700	3000	15	700	<b>2800.0000</b>
45	-3000	3300	15	300	<b>1200.0000</b>
60	-3100	3400	15	100	<b>400.0000</b>
90	-3280	3580	30	180	<b>360.0000</b>
120	-3410	3710	30	130	<b>260.0000</b>
150	-3510	3810	30	100	<b>200.0000</b>
180	-3590	3890	30	80	<b>160.0000</b>
240	-3640	3940	60	50	<b>50.0000</b>
300	-3690	3990	60	50	<b>50.0000</b>
360	-3720	4020	60	30	<b>30.0000</b>
420	-3750	4050	60	30	<b>30.0000</b>
480	-3770	4070	60	20	<b>20.0000</b>
540	-3790	4090	60	20	<b>20.0000</b>
600	-3810	4110	60	20	<b>20.0000</b>
660	-3830	4130	60	20	<b>20.0000</b>
720	-3850	4150	60	20	<b>20.0000</b>
810	-3880	4180	90	30	<b>20.0000</b>
900	-3910	4210	90	30	<b>20.0000</b>
1200	-4000	4300	300	90	<b>18.0000</b>

### 4.4.1. Prova a carico variabile

Si esegue in terreni aventi una permeabilità inferiore ai  $10^{-5}$  cm/s. Può essere eseguita abbassando o sollevando il livello statico della falda nel foro e misurando poi la velocità di risalita o di discesa. I tempi e gli spostamenti vengono rappresentati su un diagramma semilogaritmico (fig. 59).

Il valore della permeabilità è dato da:

$$k = \frac{A}{C(t_2 - t_1)} \cdot \frac{\ln h_1}{h_2}$$

dove:

$k$  = coefficiente di permeabilità in m/s

$A$  = area di base del foro di sondaggio in  $m^2$

$h_1$  e  $h_2$  = altezza dei livelli rispetto all'altezza della falda, o al fondo del foro negli istanti  $t_1$  e  $t_2$  (fig. 60)

$C$  = coefficiente dipendente dal diametro del sondaggio e dalla lunghezza del tratto indagato;

per  $L \gg D$   $C = L$

per  $L \leq D$   $C = 2\pi D + L$

Come stabiliscono le norme AGI, un controllo

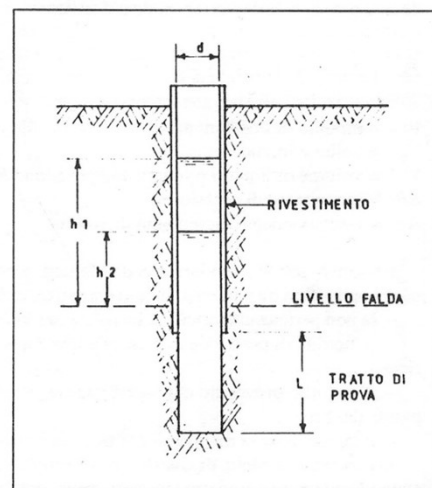
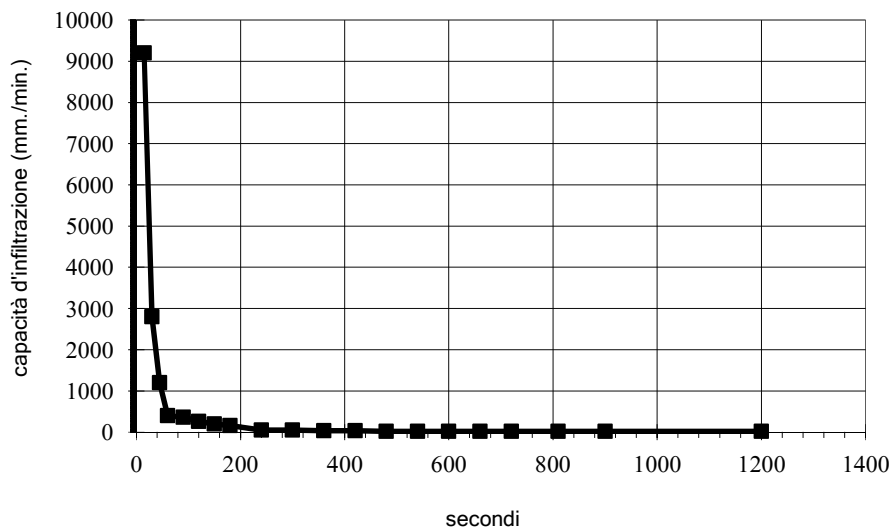


Figura 60. Prova di assorbimento a carico variabile.

Grafico infiltrazione



**K=**

**1.33E-05**  
m/sec

D = diametro del foro

0.127 m

Raggio

0.0635 m

Area

0.012668 m<sup>2</sup>

C=L

0.3

L = tratto di prova

0.3 m

h1 = altezza del livello dell'acqua a t1: 120 s

2.69 m

h2 = altezza del livello dell'acqua a t2: 1200 s

2.1 m

Livello Falda

6.1 m

## 10. Documentazione fotografica



Foto 1 - vista da Sud-Ovest, dal parcheggio esistente su via Piave. In primo piano l'area sulla quale sarà realizzato il parcheggio e la viabilità di collegamento tra via Piave e via della Resistenza. Presenza di ristagni e difficoltà di smaltimento delle acque meteoriche in superficie.



Foto 2 - vista da Est, da via della Resistenza. In primo piano il punto di innesto della viabilità di progetto e della rotonda su via della Resistenza.



Foto 3 - particolare della proprietà Bezi. Edifici esistenti e piazzale antistante.



Foto 4 - panoramica dell'area nella quale sorgerà il parcheggio su via Piave. Sulla sinistra il parcheggio esistente. L'area presenta evidenti problemi di drenaggio ed infiltrazione delle acque meteoriche (rilevati diffusi ristagni).



Foto 5 - panoramica da Nord-Est dell'area nella quale sorgerà l'edificio commerciale (supermercato) e il relativo parcheggio. Sulla destra il parcheggio esistente su via Piave.



Foto 6 - particolare degli edifici esistenti sulla proprietà Baroni, con vista da Nord.