

Dr. FRANCO BATTISTINI
GEOLOGO

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) - Via Morandi, 2 - Tel./Fax 0541.625259

E-mail: battistinifranco@gmail.com - C.F.: BTT FNC 58M151304H - P. IVA 02074200409

Spett. EDIL IMPIANTI 2 S.r.l.

RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA ALLE OPERE DI URBANIZZAZIONE
FUNZIONALI AL PIAZZALE AD USO PRODUTTIVO
PREVISTO DALL' A.U.C. DI R.U.E.,
PRESSO VIA MORIGI
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN -.

RELAZIONE



Spett. EDIL IMPIANTI 2 S.r.l.

**RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA ALLE OPERE DI URBANIZZAZIONE
FUNZIONALI AL PIAZZALE AD USO PRODUTTIVO
PREVISTO DALL' A.U.C. DI R.U.E.,
PRESSO VIA MORIGI
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN -.**

1.- PREMESSA

L'indagine e' stata condotta su incarico della Spett. Ditta EDIL IMPIANTI 2 S.r.l. al fine di accertare le condizioni geologiche dei terreni interessati dal progetto di realizzazione delle opere di urbanizzazione funzionali al piazzale ad uso produttivo, da realizzarsi presso Via Morigi, in Comune di Santarcangelo (latitudine: 44.070354; longitudine: 12.428540) e di conseguenza acquisire gli elementi necessari alla redazione del progetto.

Lo studio e' stato condotto sulla base dei risultati ottenuti dall' esecuzione di n° 3 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) effettuate a Luglio 2021. Le indagini geognostiche sono state spinte alla profondità massima di - 16.20 mt. dall'attuale p.c. per effetto della presenza di ghiaie a notevole grado di addensamento.

Dai risultati forniti, correlabili ai valori di N_{SPT} , si sono desunti i parametri geotecnici utilizzati per la caratterizzazione dei litotipi presenti.

I relativi grafici penetrometrici sono allegati a fine relazione.

Inoltre nell'ambito della realizzazione delle summenzionate prove C.P.T. sono stati prelevati n° 3 campioni (n° 1 per ciascuna verticale di sondaggio), rappresentativi delle litologie attraversate successivamente sottoposti a prove di laboratorio finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche.

Gli elaborati grafici relativi sono allegati a fine relazione.

E' stata infine effettuata n° 1 indagine sismica HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio), per la determinazione della velocità delle onde di taglio nei primi 30 mt. di profondità (V_{S30}) e delle frequenze caratteristiche del sito.

Le risultanze dell'indagine geofisica sono state comparate con quelle effettuate a Dicembre 2018 in area limitrofa dal Dr. Geol. Lorenzo del Maschio che si sono avvalse dell'esecuzione di n° 1 prova HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) e n° 1 indagine sismica in array

2D (ESAC) per la determinazione della velocità delle onde di taglio nei primi 30 mt. di profondità (V_{S30}) e delle frequenze caratteristiche del sito.

2.- INQUADRAMENTO GENERALE DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Santarcangelo di Romagna ha un'estensione di 45.08 Km².

Si sviluppa in gran parte a Nord del corso del Fiume Marecchia (frazioni di Montalbano, Ciola Corniale, Canonica, Sant'Agata, San Vito, Centro Storico, Santa Giustina e San Michele) ed in minima parte a Sud del predetto Fiume (frazioni di San Martino dei Molini e Sant'Ermete).

La morfologia dell'area è quella tipica delle aree prospicienti il Mare Adriatico e le pianure terrazzate.

Il territorio comunale è suddiviso da una sottile dorsale collinare Poggio Torriana – Colle Giove che separa i bacini idrografici dei due maggiori corsi d'acqua incidenti la zona: Fiume Marecchia e Torrente Uso.

2.1.- GEOLOGIA e GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è riportata nel Foglio n° 100 - FORLI' - della Carta Geologica d'Italia ricadendo nella Tavoletta II SE, Santarcangelo di Romagna.

La geologia del territorio comunale di Santarcangelo non è particolarmente complessa. Essa comprende infatti le ultime pendici collinari di età pliocenica e le alluvioni continentali terrazzate della pianura (Pleistocene - Olocene).

Sono rappresentati quindi gli ultimi episodi di storia geologica che hanno portato alla formazione della dorsale appenninica. Tali episodi si concretizzarono verso la fine del Miocene (5 Milioni d'anni fa circa) con dei sollevamenti che fecero emergere l'ossatura della catena; su entrambi i versanti, la linea di costa era allora abbastanza vicina al limite spartiacque. Essa corrispondeva alla "linea di cerniera" tra le aree in sollevamento ed aree subsidenti e costituiva il principale elemento di riferimento tettonico e morfologico. Basti pensare che nella Regione Emilia – Romagna l'area che presenta, sia per frequenza che intensità, il maggior grado di sismicità, è quella interessata dal "Sovrascorrimento pedeappenninico" che coincide appunto con tale zona di cerniera.

La linea e conseguentemente la morfologia della costa, era rotta e frastagliata da faglie trasversali (cosiddette antiappenniniche) ancora oggi sismicamente attive (faglie trascorrenti) su cui si sono impostate le aste di erosione fluviale (torrenti appenninici primitivi).

La linea di cerniera è poi migrata verso NE negli ultimi 7 – 8 M.A.; sono così emersi, aggiungendosi all'ossatura precedente, i sedimenti che formano le fasce collinari pedeappenniniche di età sostanzialmente pliocenica e quaternaria. Ciò è dipeso dalle sedimentazione abbondante apportata dai torrenti appenninici sul margine della fossa padana, ma soprattutto dai "basculamenti" indotti da moti verticali diventati, in questo periodo, predominanti, mentre quelli orizzontali si riducevano d'importanza.

Questa attività tettonica non si è ancora esaurita, almeno nella fase avanzata dell'orogene (Pianura Padana, Adriatico) come è dimostrato dalla frequente attività sismica della regione. I terreni affioranti nel territorio del Comune di Santarcangelo di Romagna si sono costituiti in posto (a differenza ad esempio di quelli affioranti nella vicina Val Marecchia che sono migrati in senso orizzontale) e pertanto si presentano in successione stratigrafica normale, con i sedimenti più antichi in basso ed i più recenti in alto.

Essi rappresentano il cosiddetto "neoautoctono".

Vengono individuate due "serie" di sedimenti: marini e continentali.

Nella serie marina e' rappresentato tutto il Pliocene pedeappenninico cioè tutti quei depositi sedimentari formatisi successivamente alla messa in posto dei complessi liguridi (argille caotiche con lembi "esotici") della colata gravitativa della Val Marecchia, avvenuta nel Pliocene inferiore.

I terreni più antichi sono presenti nelle frazioni collinari di Montalbano e Ciola Corniale (Pliocene medio - inferiore); litologicamente prevale la frazione sabbiosa (molasse, sabbie grossolane con intercalazione di argille sabbiose grigie) indice di depositi di mare costiero con strati orientati generalmente in direzione NNO - SSE ed immersioni molto elevate verso NE (anche superiori a 50°).

Il Pliocene superiore e' invece rappresentato da sabbie stratificate, talora cementate ed arenarie debolmente cementate; sabbie fini argillose e limi argillosi grigi.

Costituisce le ultime pendici collinari comprese tra il Fiume Marecchia ed il Fiume Uso.

Di questi litotipi prevale nettamente, per la parte su cui sorge il centro storico di Santarcangelo di Romagna, il primo (arenarie debolmente cementate, il cosiddetto "tufo") con alla base lenti di conglomerato, più o meno cementato, che marca le varie regressioni e trasgressioni marine, cui è stata soggetta la zona ed è pertanto da considerarsi legato ad un ciclo regressivo plio - pleistocenico.

I terreni alluvionali fanno parte delle alluvioni delle conoidi dei Fiumi Uso e Marecchia ascrivibili al Pliocene ed Olocene.

Di queste, la conoide di gran lunga più importante per estensione (200 Km² secondo U. Buli "Geoidrologia della conoide del Fiume Marecchia" 1935 - Bologna, e 123 Km² secondo il Consorzio di Bonifica Agro Riminese "Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale del conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile ed irriguo" 1977 - Rimini) che per gli acquiferi contenuti, e' quella del Fiume Marecchia.

Planimetricamente essa ha forma triangolare, vertici Ponte Verucchio, Bellaria e Miramare di Rimini.

Essa degrada dolcemente verso l' Adriatico con una pendenza variabile dall' 8 a meno dell' 1 per mille.

Per quanto riguarda l'alveo recente del Fiume Marecchia, a partire dagli anni '70 esso ha subito, al pari di altri fiume emiliano - romagnoli, una profonda trasformazione per effetto della canalizzazione che ha prodotto una drastica riduzione della sezione d'alveo ed una profonda incisione a valle di Ponte Verucchio (di oltre 10 metri) che ha portato in affioramento i terreni di deposito marino (peliti grigio - azzurre della successione pliocenica). La canalizzazione è stata prodotta dalle escavazioni compiute in alveo e sui terrazzi laterali del fiume, compiute negli anni '70 che hanno prodotto l'asportazione del sottile pavè ghiaioso (dello spessore di 5 - 7 metri circa) posti al tetto dei terreni di deposito

marino nella zona apicale del conoide. La canalizzazione riguarda circa 7 – 8 dei 19 Km. Della lunghezza d'alveo compresa tra Ponte Verucchio e la foce.

Complessivamente i depositi marini occupano una superficie pari a 9.955 Kmq. (circa il 22% della superficie comunale pari a 45.08 Kmq.) mentre i depositi continentali alluvionali della pianura, una superficie di 35.125 Kmq. Pari a circa il 78 % del territorio comunale.

Nella pianura le alluvioni si presentano nettamente terrazzate. Sono stati riconosciuti V ordini di terrazzi.

Il più esteso di tali terrazzi e' il III° che si immerge sotto i terreni alluvionali ghiaiosi ed argillosi non ferrettizzati a valle di Corpolo'. All' altezza di Vergiano poi tali terreni sono a loro volta ricoperti da strati alluvionali ancor più recenti, marcatamente argillosi e da terreno vegetale che si estende per tutta la restante pianura fino al mare.

La copertura alluvionale argillosa, contribuisce a rendere artesiane l' acqua contenuta in tali conglomerati.

I depositi alluvionali hanno uno spessore via via crescente man mano che dal vertice della conoide si procede verso il mare.

All' altezza del Comune di Poggio Berni lo spessore del materasso ghiaioso si aggira sui 4 mt.; più a valle, in corrispondenza di S. Martino dei Mulini aumenta fino a superare i 20 mt. di altezza: inizia allora una enorme lente permeabile estesa quasi come una fascia trasversale in seno alla conoide. Da questa lente si diramano, per successive biforcazioni, come digitazioni o suddivisioni, i vari strati ghiaiosi che, con diversa pendenza e continuità, si espandono sotto la bassa pianura.

Questo schema si deve al già ricordato U. Buli "Geoidrologia della conoide del Fiume Marecchia" 1935 - Bologna; le prospezioni sismiche compiute nell' ambito degli studi sul ravvenamento artificiale della conoide (Consorzio di Bonifica Agro Riminese "Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale del conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile ed irriguo" 1977 - Rimini) hanno sostanzialmente confermato tale schema.

La geologia della zona e' caratterizzata dalla presenza di depositi continentali pleistocenici, litologicamente costituiti da sabbie, ghiaie ed argille dei terrazzi.

3.- IDROGRAFIA

Nei fori di sondaggio delle prove penetrometriche, in sede di indagine geognostica (Marzo 2021), e' stata rinvenuta la presenza di un livello freatico alla profondità di – 7.10 ÷ 7.20 mt. dall'attuale p.c.

Tuttavia occorre considerare come tale dato possieda un certo margine di incertezza trattandosi di valutazioni non suffragabili direttamente visto anche il breve periodo di osservazione entro il foro di sondaggio, unico dato a disposizione per la presente indagine, in rapporto alla velocità di filtrazione, alle oscillazioni stagionali e ai cicli meteorologici pluriennnali.

Infatti, da piezometri a completamento di indagini geognostiche eseguite al contorno dell'area in esame, si sono registrati livelli freatici a quota di circa – 1.70 ÷ 2.20 mt. dal p.c.

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie l'area è posta a NW rispetto all'asse di deflusso del Torrente Uso.

Il reticolo idrografico superficiale risulta molto più diffuso nelle piane alluvionali del predetto corso d'acqua rispetto a quello del Fiume Marecchia, per via della minore infiltrabilità dei terreni di superficie (prevalentemente argilloso - limosi) mentre per la piana alluvionale del Marecchia (che presenta estesi affioramenti di terreni ghiaiosi e sabbiosi) è molto più localizzato.

I maggiori corsi d'acqua presenti nel conoide del fiume Uso sono il Rio Salto, affluente in sinistra dell'Uso, il Rio Campetti ed il Rio Roveto.

Per il corso d'acqua di maggior rilevanza (in prossimità dell'area d'interesse) - Torrente Uso - sono state cartografate (nell'ambito della Tav. 4 del P.S.C. vigente e riportata in stralcio -, anche le aree esondabili. Le aree esondabili dell' Uso (così come quelle del Fiume Marecchia), sono state riprese dal PAI e dal PTCP provinciale e sono riferite a tempi di ritorno di 200 anni.

4.- CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

La zona in esame è posta ad alcune centinaia di metri dell'asta fluviale del Fiume Uso.

L'idrologia della zona è costituita esclusivamente da fossi d'irrigazione e di scolo. I terreni coltivati vengono irrigati con acqua prelevata dai pozzi che pescano ad una profondità di circa 15 mt. dal p.c. Lo strato superficiale degradato è sede di una falda freatica prevalentemente stagionale, collegata in maniera diretta alla piovosità della zona. Come in precedenza ricordato, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche, è stata rilevata la presenza di un livello freatico alla profondità di $-7.10 \div 7.20$ mt. dall'attuale p.c.

Tuttavia occorre considerare come tale dato possieda un certo margine di incertezza trattandosi di valutazioni non suffragabili direttamente visto anche il breve periodo di osservazione entro il foro di sondaggio, unico dato a disposizione per la presente indagine, in rapporto alla velocità di filtrazione, alle oscillazioni stagionali e ai cicli meteorologici pluriennali.

Infatti, da piezometri a completamento di indagini geognostiche eseguite al contorno dell'area in esame, si sono registrati livelli freatici a quota di circa $-1.70 \div 2.20$ mt. dal p.c.

Le valutazioni idrologiche necessarie al dimensionamento delle opere di scolo possono essere effettuate mediante i dati pluviometrici desunti dall'Atlante Idroclimatico - ERMES Regione Emilia Romagna -, che, in relazione al periodo 1961 - 2008, fornisce i seguenti valori:

Comune	Superficie Kmq.	Temp. Media (°C) 1961- 1990	Temp. Media (°C) 1991- 2015	Differenza (°C)	Precipiaz. (mm) 1961 - 1990	Precipiaz. (mm) 1991 - 2015	Differenza (mm)
BOLOGNA	141	14.0	15.1	+1.1	760	777	+17
CESENA	250	13.3	14.8	+1.5	815	765	-50
FERRARA	405	13.4	15.4	+2.0	629	662	+32

FORLI'	228	13.9	15.0	+1.2	752	787	+35
MODENA	183	13.3	14.6	+1.3	656	743	+87
PARMA	261	13.4	14.6	+1.2	821	792	-28
PIACENZA	118	12.1	13.6	+1.5	831	782	-49
RAVENNA	658	13.2	14.1	+1.0	650	706	+56
REGGIO E.	230	13	14.5	+1.5	774	730	-44
RIMINI	135	12.9	13.9	+1.0	901	808	-93

Come si evince dalla tabella sopra riportata, aumento generalizzato delle temperature e concentrazione delle piogge sono le principali tendenze rilevabili nell'intervallo temporale considerato.

Le tendenze climatiche regionali mostrano un aumento generalizzato delle temperature: confrontando il trentennio 1961 – 1990 con il periodo 1991 – 2008, esse risultano cresciute mediamente di circa un grado (1.1°), con punte fino a due gradi a Ferrara e 1,5° a Reggio Emilia, Piacenza e Cesena.

Le precipitazioni espresse come totali annui medi territoriali mostrano invece variazioni modeste nella quantità totale, calata in media del 5% circa (da 890 a 850 mm.).

Le variazioni in questo caso sono soprattutto territoriali, dato che le precipitazioni appaiono diminuite sostanzialmente in montagna e leggermente aumentate nelle pianure centro-orientali. I cambiamenti riguardano anche la distribuzione nel tempo delle piogge con una tendenza alla diminuzione dell'ordine di 2 – 4 giorni di pioggia annuali in meno ogni decennio.

Dal sito <https://www.arpae.it/cartografia/> per la Stazione di Santarcangelo, si evince inoltre:

Stazione: **Santarcangelo di Romagna**

Codice: **ER2424**

Comune: **SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN)**

Dati climatici comunali

Comune: **SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RIMINI)**

Temperature 61-90: **12,9 °C**

Temperature 91-15: **13,9 °C**

Precipitazioni 61-90: **901 mm**

Precipitazioni 91-15: **808 mm**

Prec. medie - Totale annuo - Periodo 1961- 1990 (mm)

Classe: **800 - 900 mm**

Prec. medie - Totale annuo - Periodo 1991- 2015 (mm)

Classe: **700 - 800 mm**

Temperatura media annua - Periodo 1991- 2015 (°C)

Classe: 13 - 14 °C

ETP annua - Periodo 1991-2015

Classe: 950 - 1000 mm

Si è inoltre fatto riferimento alle massime altezze di pioggia registrate nelle stazioni pluviometriche Rimini Lido e S. Marino negli anni 1935 – 1970; sono state elaborate con il sistema statistico di probabilità climatica di Gumbel.

I valori ottenuti sono stati considerati in media per ottenere il valore più probabile per l'area in oggetto.

Questo risulta pari a:

- **79 mm.** per un tempo di ritorno di **25 anni.**
- **98 mm.** per un tempo di ritorno di **100 anni.**

Il coefficiente di deflusso per l'area in oggetto può essere assunto pari a 0.5.

*Tale valore risulta (per adottare un valore sufficientemente cautelativo) superiore a quello ottenuto dal calcolo teorico dell' evapotraspirazione eseguito con la formula di **Turc** e con la metodologia proposta da **Thornthwaite** in base alle quali l'evapotraspirazione risulta superiore al 50 % delle precipitazioni.*

Formula di Turc:

$$Er = P / \sqrt{0.9 + Pe2 / Le2}$$

Con:

***Er** = evapotraspirazione reale annuale in mm.;*

***P** = precipitazioni annuali pari a **815 mm.** (media dei dati pluviometrici registrati alla stazione pluviometrica di Cesena in media trentennale);*

L** = **300 + 25 t + 0.05 Te3;

***T** = temperatura media annuale pari a 13.3 gradi Celsius da cui **Er** = 542 mm. pari al 67 % delle precipitazioni.*

In pratica, considerando una evapotraspirazione pari al 50 % delle precipitazioni, in considerazione della natura litologica dei terreni il rimanente 50% si può ritenere completamente coinvolto nel fenomeno di ruscellamento superficiale.

Non va altresì dimenticato il quantitativo d'acqua derivante dalla mancata infiltrazione nella porzione di aree impermeabilizzate successivamente alla realizzazione di piazzali, parcheggi, ecc....

5.- INDAGINI ESEGUITE

Nella zona oggetto di indagine, sono state eseguite a Marzo 2021 n° 3 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) spinte alla profondità massima di – 16.20 mt. e n° 1 indagine sismica HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio).

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche delle prove penetrometriche statiche (C.P.T.).

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite con attrezzatura standard secondo le modalità di esecuzione indicate dalle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana del 1977.

Di seguito vengono riassunte brevemente le caratteristiche tecniche della prova statica.

La prova consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno.

La penetrazione della batteria deve avvenire ad una velocità costante pari a 2 cm./sec. (± 0.5 cm./sec.), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'infissione.

Deve essere posizionato in modo da garantire la verticalità iniziale della spinta delle aste cave (deviazione dalla verticale: 2%).

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta (20 Ton.), che agisce alternativamente sulla batteria di aste interne alla cui estremità è collegata la punta e su quella di aste cave esterne.

La prova è quindi generalmente "discontinua" e le misure di resistenza vengono di norma eseguite ed annotate ogni 20 cm. di penetrazione.

Il penetrometro utilizzato è fornito di punta telescopica con manicotto (detta anche punta Begemann).

Il dispositivo di misura è costituito da una cella di carico con display analogico.

Sopra la punta è posto un manicotto per la misura dell'attrito laterale. Le dimensioni della punta e del manicotto sono standardizzate e precisamente:

- diametro di base del cono: 37.5 cm.;

- angolo di apertura del cono: 60°.

Il manicotto ha una superficie laterale compresa tra 150 e 200 cmq.

Le aste cave hanno il diametro esterno di 36 mm.

Sulle aste cave può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito del terreno lungo la batteria e facilitare l'infissione a parità di spinta disponibile.

L'anello allargatore, quando usato, deve essere posto almeno ad 1.0 mt. sopra la punta.

Le aste interne, a sezione piena, devono avere un diametro di 0.5 ÷ 1.0 mm. minore di quello interno delle aste cave e devono scorrere senza attriti all'interno delle aste cave; Le estremità delle aste interne devono essere ortogonali all'asse dell'asta stessa.

Con la punta Begemann vengono rilevate ogni 20 cm.:

- la resistenza all'avanzamento della sola punta - **R_p** -;
- La resistenza alla punta più resistenza per attrito locale sul manicotto - **R_p + R_l** -;
- La resistenza totale all'avanzamento delle aste cave e della punta - **R_t** -.

La documentazione comprende in questo caso copia delle letture alla cella di carico delle tre grandezze sopra menzionate ed i grafici:

- **R_p / profondità;**
- **R_l / profondità;**
- **R_p÷R_l / profondità.**

Le prove non vengono di norma spinte oltre la profondità di 50 metri dal piano campagna. La prova deve essere sospesa e la batteria di aste estratta se la resistenza totale, od alla punta o al manicotto è tale da non consentire un ulteriore avanzamento. Nel caso specifico le **prove statiche (C.P.T.) hanno raggiunto la profondità massima di - 16.20 mt. dall'attuale p.c.** per effetto della presenza di ghiaie a notevole grado di addensamento.

- HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)

La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961).

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio.

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni d'indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

- Basi teoriche

Le basi teoriche dell' HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui I parametric variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (p_1 e p_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{PI} / (4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{SI} / (4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce una importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumori di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Si rileva inoltre come i microtromori siano solo in parte costituiti dalle onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolari da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità delle onde di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico.

Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

- Attrezzature e modalità

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcuno strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né accelerometri sismologici.

Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale > 20 sec. In quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse.

Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e dalla rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E ed W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza di edifici, vento, ecc.... in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta del sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- *Trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (<1-2 Hz);*
- *Amplificatori;*
- *Digitalizzatore;*
- *Frequenza di campionamento: > 50 Hz;*
- *Convertitore A/D (analogico/digitale) a 24 bit;*
- *Durata di registrazione: > 10 minuti;*
- *Collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.*

- Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200 – 400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. *FFT (incluso il tapering);*
2. *operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);*
3. *merging dei componenti orizzontali;*
4. *H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);*
5. *valutazione della deviazione standard.*

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sue deviazione standard.

Il risultato finale della prova presenta:

- 1) *i criteri di attendibilità della misura;*
- 2) *i criteri di validità del picco di f_0 ;*

- 3) i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- 4) l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alle frequenze del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- 5) l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure di HVSR offrono la possibilità di determinare:

- 1). Valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alla frequenza di risonanza;
- 2). Spessori della coltre di copertura.

- Frequenze

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali.

L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

- Spessori

L'assunzione di base è che, per un modello di suolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza f_r dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$T = \frac{4 * \sum_{I=1}^n h_i}{\sum_{I=1}^n V_{S_i} * h_i}$$

Dove h è lo spessore dello strato dei sedimenti e V_S dipende dalla velocità delle onde di taglio nel suo interno.

In base a tale relazione quindi, a partire da valori misurati di f_r e V_S , ricavati, è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_S come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-Von Seht e Wohleberg (1999). Poiché l'andamento del log in V_S in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidezza al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire da valori di V_S per la porzione più superficiale del terreno, è

possibile estrapolare l'andamento delle V_s a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

A questo scopo Ibs-Von Seht e Wohleberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0 (1 + Z)^a$$

dove V_0 è la velocità al tetto dello strato ed "a" un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione, ecc...).

Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \frac{V_0 (1-a)^{1/(1-a)}}{4 f_r} + 1 - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004) usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Lowe.

6.- STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Al fine di valutare l'esatta successione stratigrafica dei terreni in esame sono state eseguite **n° 3 prove penetrometriche statiche (C.P.T.)** ubicate come da planimetria allegata.

Le nozioni di carattere generale riportate in precedenza descrivono la grande variabilità litologica delle pianure alluvionali causate dai cambiamenti di corso dei fiumi, dalle loro periodiche esondazioni e dal conseguente sovrapporsi ed amalgamarsi di depositi granulometricamente molto vari.

La caratterizzazione litologica e la ricostruzione stratigrafica dei terreni presenti nel lotto in esame è basata sulle prove penetrometriche effettuate i cui elaborati grafici sono allegati a fine relazione.

Da tali dati risulta che i litotipi ricorrenti nel contesto areale indicato, presentano complessivamente caratteristiche simili: si tratta in netta prevalenza di litotipi con caratteristiche simili: si tratta in netta prevalenza di sabbie e sabbie limose passanti ad argille e limi a vario grado di consistenza.

Tutti i summenzionati litotipi si susseguono dal piano campagna fino alla massima profondità investigata (-16.20 mt.).

Pertanto la sequenza stratigrafica desunta dalle prove penetrometriche condotte, può essere così schematizzabile:

- dal p.c. a - 0.60 ÷ - 0.80 mt.: - Terreno vegetale limo-argilloso, alterato.

- da - 0.60 ÷ - 0.80 mt. a
- 11.80 ÷ 15.80 mt.
- Alternanza di limi argillosi ed argille limose, a vario grado di consistenza. Presenza di orizzonti limo – sabbiosi di limitato spessore.
- da - 11.80 ÷ 15.80 mt. alle profondità investigate
- Ghiaie eterometriche e sabbie con intercalazioni limose argillose e sabbiose, sparse.

Per una visione di dettaglio si rimanda ai grafici penetrometrici allegati a fine relazione.

Nei fori di sondaggio delle C.P.T. **e' stata rinvenuta la presenza di un livello freatico alla profondità di - 7.10 ÷ 7.20 mt. dall'attuale p.c.**

Tuttavia occorre considerare come tale dato possieda un certo margine di incertezza trattandosi di valutazioni non suffragabili direttamente visto anche il breve periodo di osservazione entro il foro di sondaggio, unico dato a disposizione per la presente indagine, in rapporto alla velocità di filtrazione, alle oscillazioni stagionali e ai cicli meteorologici pluriennali.

Infatti, da piezometri a completamento di indagini geognostiche eseguite al contorno dell'area in esame, si sono registrati livelli freatici a quota di circa - 1.70 ÷ 2.20 mt. dal p.c.

7.- GEOTECNICA

7.1.- Parametri geotecnici – Modello geotecnico

Le caratteristiche ed i parametri geotecnici dei diversi orizzonti litologici presenti nell'area in esame sono stati determinati in base ai risultati forniti dall'esecuzione delle prove penetrometriche statiche, dalle conoscenze dei terreni in esame, dalle conoscenze geotecniche su terreni analoghi e limitrofi, nonché da notizie bibliografiche sulla zona.

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici sono i seguenti:
- **Angolo di resistenza al taglio Φ** . Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di De Beer.

$$\Phi = 5.9 + 4.76 * (Rp/\sigma_v')$$

- **Coesione non drenata C_u** . Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di Lunne ed Eide (1976).

$$C_u = (Rp - \sigma_v) / K$$

- **Modulo Edometrico E_d** . Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di Sanglerat (1972).

$$E_d = \alpha * Rp$$

Ai livelli stratigrafici individuati sono stati attribuiti i parametri geotecnici medi.

Al fine di giungere però ad una stima ragionata e cautelativa dei parametri geotecnici, si sono determinati i loro valori caratteristici attraverso la determinazione statistica in modo che la probabilità che si verificano i valori più sfavorevoli sia inferiore al 5% (5° percentile). Una volta ricavati questi parametri caratteristici è possibile definire i parametri geotecnici più appropriati ai fini progettuali.

Pertanto, dall'elaborazione della prova penetrometrica eseguita nonché dalle conoscenze dei terreni in esame, sono stati desunti, trattandosi di alternanze granulometricamente eterogenee, i seguenti parametri geotecnici medi:

In base alla ricostruzione sommaria risultante delle prove eseguite è stato definito il seguente modello geotecnico:

Terreno vegetale limo-argilloso, alterato. Dal p.c. a -0.60 ÷ 0.80 mt.:

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico	$Xk\phi = 16^\circ$
Coesione drenata	$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 0.29 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Eed = 27.86 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo elastico	$Ei = 30.14 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.24$
Modulo di Winkler	$W = 1.1 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 5.12 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

Alternanza di limi - argillosi ed argille limose a vario grado di consistenza. Presenza di intercalazioni limo - sabbiose di limitato spessore. Da - 0.60 ÷ 0.80 mt. a -11.80 ÷ 15.80 mt.:

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico	$Xk\phi = 21.0^\circ$
Coesione drenata	
Valore caratteristico	$Xkc' = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 1.9 \div 2.0 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 0.9 \div 1.0 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 0.63 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Eed = 44.09 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo elastico	$Ei = 47.86 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.35$
Modulo di Winkler	$W = 3.1 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 6.09 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec.}$

Ghiaie eterometriche e sabbie con intercalazioni limose, argillose e sabbiose, sparse. Da - 11.80 ÷ 15.80 mt.:

Valore caratteristico	$Xk\phi = 35^\circ$
Coesione drenata	$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Modulo Elastico	$Mv = 37 \text{ Mpa}$
Permeabilità	$K = 4.09 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec.}$

7.2.- Verifica di portanza dei terreni di fondazione e cedimenti relativi.

Sulla base dei risultati forniti dall' esecuzione delle prove penetrometriche statiche (C.P.T.) correlabili ai valori di N_{SP1} , si è valutata l'entità del carico ammissibile sui terreni di fondazione.

La capacità portante dei terreni è stata verificata tramite le equazione di **Terzaghi**, tra le prime ad essere state proposte.

L' espressione proposta da **Terzaghi** e' la seguente:

$$qd = 5.70 cu + \gamma * D / F$$

con:

qd = capacità portante unitaria;

γ = peso di volume;

B = profondità di fondazione;

F = fattore di sicurezza ($F = 3$);

In considerazione del carattere "puntiforme" delle prove eseguite, il valore di carico ammissibile risulta compreso in un intervallo tra 0.5 e 0.9 Kg/cmq.

Conseguentemente, anche l'entità dei cedimenti appare estremamente variabile, sia in termini di cedimenti totali che differenziali.

7.3.- REALIZZAZIONE DEL PIAZZALE

7.3.1.- Premessa.

Per l'esecuzione del piazzale secondo la normativa **CNR - UNI 10006** (costruzione e manutenzione delle strade), si richiedono:

- la conoscenza delle caratteristiche geotecniche del sottofondo;
- la conoscenza delle caratteristiche geotecniche della sovrastruttura.

Sottofondo.

E' il terreno sul quale poggia la sovrastruttura.

Sovrastruttura.

E' costituita da:

a)- manto stradale. Insieme dello strato di usura e di collegamento;

b)- fondazione. Parte della sovrastruttura avente la principale funzione di distribuire i carichi sul sottofondo; può essere costituita da uno o più strati, dove il più profondo viene detto 1° strato di fondazione e può essere destinato a proteggere il sottofondo da una eventuale azione del gelo e ad intercettare la risalita dell'acqua; lo strato più superficiale viene detto ultimo strato di fondazione o di base.

La superficie che delimita superiormente il terreno di sottofondo costituisce il piano di posa della soprastruttura.

Per la preparazione del piano di posa verrà asportato lo strato di terreno più superficiale (**0.60 ÷ 0.80 mt.** sulla base delle indagini geognostiche svolte in questa fase), fermo restando che l'asportazione non potrà essere inferiore a 60 cm. dal p.c. iniziale; il fondo dello scavo sul quale andranno sistemati i materiali che andranno a costituire il corpo della struttura dovrà fornire un modulo di **Md** (modulo di deformazione, ottenuto a mezzo prova di piastra) **maggiore di 1000 Kg/cmq.**

Se non si raggiunge tale valore (come verificato specificatamente nel 100% dei casi), bisognerà procedere alla costipazione del terreno a mezzo di opportuni rulli.

Tali rulli possono essere di tre tipi:

- **rulli lisci;**
- **rulli a ruote gommate;**
- **rulli a piede di pecora.**

I rulli del primo tipo sono efficaci per materiali incoerenti e strati di piccolo spessore; quelli gommati sono efficaci per terre incoerenti ed anche, in subordine, per quelle coerenti; quelli a piede di pecora per le terre coerenti.

In alcuni casi si rende necessario bonificare il piano di posa scavando ulteriormente e sostituendo il materiale di scavo con materiali granulari appartenenti ai gruppi **A1 (A-1 o A-1-b)** o **A2**, fino al sottogruppo **A-2-5**.

Lo strato bonificante sarà isolato dalla base ed al tetto da teli di **Geotessile (TNT)** di adeguata grammatura.

Il compito principale dei teli è di mantenere isolato questo strato (tra l'altro avente anche effetto drenante) dai materiali di contatto (effetto anticontaminante); darà inoltre un contributo alla stabilità d'insieme dell'opera.

Il materiale di bonifica verrà sistemato a strati e compattato così che il peso di volume secco **risulti non inferiore al 90% del valore massimo della prova Proctor modificata eseguita in laboratorio; ovviamente bisognerà compattare anche il fondo dello scavo.**

Successivamente si procederà alla messa in posto dei materiali che costituiscono gli strati di fondazione; essi dovranno fornire un valore di **Md compreso tra 400 e 1000 Kg/cmq.**

*(consigliato: $\geq 800 \text{ Kg/cmq.}$);. Ad esclusione dell'ultimo strato di fondazione e dello strato stabilizzato che dovranno fornire rispettivamente valori di M_d pari a 500 e 800 Kg/cmq. Infine si vuol fare un accenno alla prova **CBR (California Bering Ratio)**.*

Si tratta di una prova di penetrazione eseguita in laboratorio oppure in situ che permette di determinare il rapporto tra la pressione trasmessa da un punzone standardizzato al terreno in esame, per produrre un determinato cedimento e quella che si dovrebbe applicare ad un terreno campione per ottenere un eguale cedimento.

Questa prova permette di valutare la portanza dei sottofondi anche nel caso che il sottofondo stesso possa divenire saturo; la misura della portanza del terreno in condizioni di saturazione è molto importante quando i sottofondi non possono essere sottratti all'azione dell'acqua, perché permette di conoscere la capacità portante del sottofondo nelle condizioni più sfavorevoli in cui può venire a trovarsi e di progettare di conseguenza la sovrastruttura.

Mediante questa prova si ottiene un indice di portanza (indice CBR) che inserito in opportuni diagrammi ci permette di determinare lo spessore della sovrastruttura.

7.3.2.- Determinazione degli spessori del sottofondo stradale.

*Le conoscenze delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni sono da **considerarsi indispensabili per la stabilità dell'area interessata direttamente od indirettamente dal manufatto in progetto.***

In considerazione della sequenza litologica riscontrata e confidando che i parametri geotecnici ricavati dalle prove di laboratorio, in virtù della mediocrità dei responsi, siano rappresentativi delle litologie presenti, le valutazioni di seguito riportate sono relative all'interpretazione dei suddetti dati.

Pertanto, stanti le premesse, occorre determinare lo spessore della sovrastruttura per il rilevato suddetto.

*Per ottenere ciò ci si è serviti del metodo empirico **dell'indice di gruppo (I_g)**, basato sulla classificazione delle terre eseguita tramite analisi granulometrica ed i limiti di consistenza.*

L'indice di gruppo è un parametro empirico caratteristico di una terra, variabile tra 0 e 20, che gode della proprietà di essere inversamente proporzionale alla qualità della terra come materiale da sottofondo o da strato di fondazione e di base.

*Il metodo consiste nell'uso di uno speciale diagramma (**fig. 1**), con cui si possono determinare gli spessori delle pavimentazioni bituminose, delle basi e delle fondazioni collocate tanto sui vari terreni in posto che sui rilevati confezionati con terre di vario tipo. Sulla verticale a sinistra sono riportati gli indici di gruppo, sull'orizzontale in alto i volumi giornalieri del traffico composto da veicoli pesanti, e sulla verticale a destra gli spessori della pavimentazione e dello strato di base. Come si vede, per traffici molto pesanti lo spessore complessivo massimo della fondazione e della sovrastruttura è di 60 centimetri.*

*Il calcolo è stato eseguito utilizzando i dati dei campioni superficiali a litologia prevalente. L'entità dell'indice di gruppo (**I_g**) è stata calcolata sulla base della seguente espressione:*

$$I_g = 0.2 * a + 0.005 * a * c - 0.01 * b * d$$

dove:

a = passante al setaccio # 200 meno 35 (min. 0; max. 40);

b = passante al setaccio # 200 meno 15 (min. 0; max. 40);

c = limite di liquidità meno 40 (min. 0; max. 20);

d = indice di plasticità meno 10 (min. 0; max. 20).

Nel caso specifico i risultati ottenuti sono i seguenti:

Campione n°	Indice di gruppo (I _g)
P 1	7.55
P 2	8.06
P 3	6.89

Secondo **Steele** lo spessore della pavimentazione (base e fondazione) è soltanto una funzione del traffico che la strada dovrà sopportare ed indica gli spessori minimi da adottare a seconda della classificazione:

Traffico leggero	< 50	Automezzi + autobus al giorno
Traffico medio	50 ÷ 300	Automezzi + autobus al giorno
Traffico pesante	> 300	Automezzi + autobus al giorno

In questo caso, considerando le dimensioni dell'area e le scarse caratteristiche geomeccaniche dei terreni sottostanti il piano d'imposta, verrà calcolato lo spessore della pavimentazione su di un valore di **traffico pesante**.

In base alle caratteristiche geotecniche dei terreni, si evidenzia la necessità di una fondazione che, secondo la formula proposta dallo stesso **Steele**, è di spessore pari a:

$$S = 11/4 * I_g - 1/16 * I_g^2 = \text{cm. } 17.11$$

dove:

S = spessore dello strato di fondazione;

I_g = indice di gruppo (valore mediato, posto uguale a 7.5).

Sulla base del **diagramma di progetto delle pavimentazioni**, riportato in **fig. 2** e considerando per lo spessore della sovrastruttura il traffico pesante, lo spessore totale (fondazione + sovrastruttura), ammonta a **58 cm**.

Trattandosi di terreni a scadenti caratteristiche geomeccaniche (Gruppo A 7-6), rinvenibili fino a notevole profondità, lo spessore risulta abbastanza elevato.

Considerando le caratteristiche modeste dell'attuale terreno, prima di ricevere l'opera infrastrutturale occorrerà pertanto eliminare la parte più superficiale procedendo a bonifica del terreno di fondazione stradale, le cui modalità vengono di seguito riportate:

- preparazione del piano di posa della sovrastruttura mediante decorticatura del terreno (ed asportazione della parte in rilevato, ove presente) per una profondità di almeno 60 ÷ 80 cm dall'attuale p.c. e successiva compattazione del fondo scavo a mezzo di rullo vibrante;
- messa in posto del telo (TNT) di geotessile al fine di evitare l'asportazione del materiale più fine e favorire il drenaggio;
- stesura di uno strato sabbioso di 0.10 mt., opportunamente costipato;
- messa in posto di uno strato di 0.40 mt. di materiale da rilevato (ex. 40/70) opportunamente costipato, appartenente ai gruppi A1, A3;
- stesura di 0.20 mt. di materiale stabilizzato (A-1a o A-1b); **al tetto dovrà fornire un modulo di deformazione pari ad almeno 800 Kg/cmq.;**
- messa in posto di uno strato di 0.10 mt. di Bynder;
- stesura di uno strato di 3.0 cm. di tappeto d'usura.

8.- INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DEL SITO.

Il panorama legislativo in materia sismica, è stato profondamente trasformato dalle ultime normative nazionali (Ordinanza PCM. n. 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza PCM. n. 3519/2006, le nuove Norme Tecniche per le costruzioni con D.M. del 14/01/2008 ed infine il recentissimo aggiornamento di cui al D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. del 20.02.2018 suppl. ord. n° 42).

In alternativa ai metodi analitici e valutativi, soprattutto in assenza o carenza di sufficienti informazioni o approfondimenti geotecnici e geofisici, per quanto concerne i fenomeni di amplificazione sismica si può far riferimento a scenari geologici predeterminati.

A tal proposito Provincia di Rimini e Regione Emilia Romagna per evidenziare gli effetti di sito in caso di eventi sismici, hanno sottoscritto un protocollo d'intesa finalizzato all'individuazione degli scenari "tipo".

Al fine di prevenire e ridurre il rischio sismico nell'ambito della formazione di strumenti urbanistici, si farà riferimento alla "Indagine Sismica Preliminare" di cui alla delibera del Consiglio Regionale n° 2407 del 02.02.1984.

In particolare si potrà far riferimento alla scheda riepilogativa che ha redatto la Provincia di Rimini allegata alla propria nota del 05.12.2005 prot. n° 64066, nella quale si riassumono le caratteristiche fisiche del territorio che possono dare origine ad effetti di sito ed instabilità dei terreni in caso di eventi sismici.

Il **Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni"** di cui al Decreto 14.09.2005, dell'OPCM e dell' EC8, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, definisce le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

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

Pertanto, con riferimento alla nota della Provincia di Rimini, l'area in oggetto per proprie caratteristiche fisiche e geomorfologiche, può essere classificata come:

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 e 360 m/s; – **categoria del suolo: C.**

Nelle definizioni precedenti $V_{S\ eq}$ è la velocità media di propagazione entro 30 mt. di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S\ eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S_i}}} \quad [m/s]$$

dove :

h_i = spessore (in metri) 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, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Inoltre, ai fini dell'applicazione delle norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A. I valori di a_g espressi come frazione

dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Tra i parametri geotecnici la cui conoscenza è fondamentale, vi è il modulo di taglio G_0 . Tale parametro rappresenta la rigidità iniziale del terreno, cioè nell'istante immediatamente precedente il terremoto ed è quindi una misura della rigidità del terreno nel suo stato naturale.

Tale parametro è legato alla velocità delle onde S dalla relazione:

$$G_0 = P V_s^2$$

dove P è la densità del terreno.

La misura di G_0 può essere diretta od indiretta e può essere effettuata con prove dinamiche in sito e in laboratorio (monotoniche e cicliche).

Le prove in sito forniscono in genere risultati più affidabili per via del disturbo dei campioni, particolarmente elevato soprattutto nei terreni sabbiosi.

La misura indiretta può essere ottenuta o attraverso la misura delle onde P (con prove sismiche a riflessione o a rifrazione) oppure utilizzando correlazioni empiriche, semplici o multiple, che legano G_0 (o V_s) ad alcuni parametri geometrici (profondità del deposito o geotecnici desunti da prove in sito (numero dei colpi della prova SPT, resistenza alla punta da prove CPT, pressione di confinamento) – o da prove di laboratorio (pressione di confinamento, indice dei vuoti, indice di plasticità, grado di consolidazione).

In questa sede, la velocità di V_{S30} è calcolata è stata calcolata partendo da **n° 1 prova HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)** eseguita sul lotto in esame i cui elaborati grafici sono allegati alla presente relazione.

Relativamente al profilo di V_s con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante la ricostruzione delle V_{s30} , emerge un valore di V_{S30} (modello medio) pari **279 m/sec.**

Tale valore appare comparabile con la velocità calcolata partendo da **n° 1 prova HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)** e **n° 1 indagine sismica in array 2D (ESAC)** eseguite su area limitrofa, che hanno fornito una V_{S30} pari a **244 m/sec.** ed i cui elaborati grafici sono allegati alla presente relazione.

9.- CONCLUSIONI

Il presente studio è stato condotto al fine di accertare le condizioni geologiche dei terreni interessati dal progetto di realizzazione delle opere di urbanizzazione funzionali piazzale ad uso produttivo previsto dall'A.U.C. di R.U.E., presso Via Morigi, in Comune di Santarcangelo.

- ❖ *Lo studio, che riveste carattere preliminare, e' stato condotto sulla base dei risultati ottenuti dall' esecuzione di **n° 3 prove penetrometriche statiche (C.P.T.)** effettuate a Marzo 2021. Le indagini geognostiche sono state **spinte alla profondità massima di – 16.20 mt. dall'attuale p.c.** per effetto della presenza di ghiaie a notevole grado di addensamento.*
- ❖ *Inoltre nell'ambito della realizzazione delle summenzionate prove **C.P.T.** sono stati prelevati **n° 3 campioni di terreno (n° 1 per ciascuna verticale di sondaggio)** rappresentativi delle litologie attraversate successivamente sottoposti a prove di laboratorio finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche.*
- ❖ *Il livello della falda superficiale, durante le perforazioni, è stato rilevato **alla profondità di – 7.10 ÷ 7.20 mt. dall'attuale p.c.***
- ❖ *Tuttavia occorre considerare come tale dato possieda un certo margine di incertezza trattandosi di valutazioni non suffragabili direttamente visto anche il breve periodo di osservazione entro il foro di sondaggio, unico dato a disposizione per la presente indagine, in rapporto alla velocità di filtrazione, alle oscillazioni stagionali e ai cicli meteorologici pluriennnali.*
- ❖ *Infatti, da piezometri a completamento di indagini geognostiche eseguite al contorno dell'area in esame, **si sono registrati livelli freatici a quota di circa – 1.70 ÷ 2.20 mt. dal p.c.***
- ❖ *Considerando le caratteristiche modeste dell'attuale terreno, prima di ricevere l'opera infrastrutturale occorrerà eliminare la parte più superficiale procedendo a bonifica del terreno di fondazione stradale, previa:*
- ❖ ***preparazione del piano di posa della sovrastruttura mediante decorticatura del terreno per una profondità di almeno 0.60 ÷ 0.80 mt.** sulla base delle indagini geognostiche svolte in questa fase e successiva compattazione del fondo scavo a mezzo di rullo vibrante;*
- ❖ *messa in posto del telo (TNT) di geotessile al fine di evitare l'asportazione del materiale più fine e favorire il drenaggio;*
- ❖ *stesura di uno strato sabbioso di 0.10 mt., opportunamente costipato;*
- ❖ *messa in posto di uno strato di 0.40 mt. di materiale da rilevato (ex. 40/70) opportunamente costipato, appartenente ai gruppi A1, A3;*
- ❖ *stesura di 0.20 mt. di materiale stabilizzato (A-1a o A-1b); **al tetto dovrà fornire un modulo di deformazione pari ad almeno 800 Kg/cmq.***
- ❖ *messa in posto di uno strato di 0.10 mt. di Bynder;*
- ❖ *stesura di uno strato di 3.0 cm. di tappeto d'usura.*
- ❖ *Si raccomanda infine di attuare una efficiente rete drenante che allontani rapidamente le acque meteoriche verso punti di minimo morfologico evitandone il ristagno e la conseguente infiltrazione verso le opere di fondazione.*

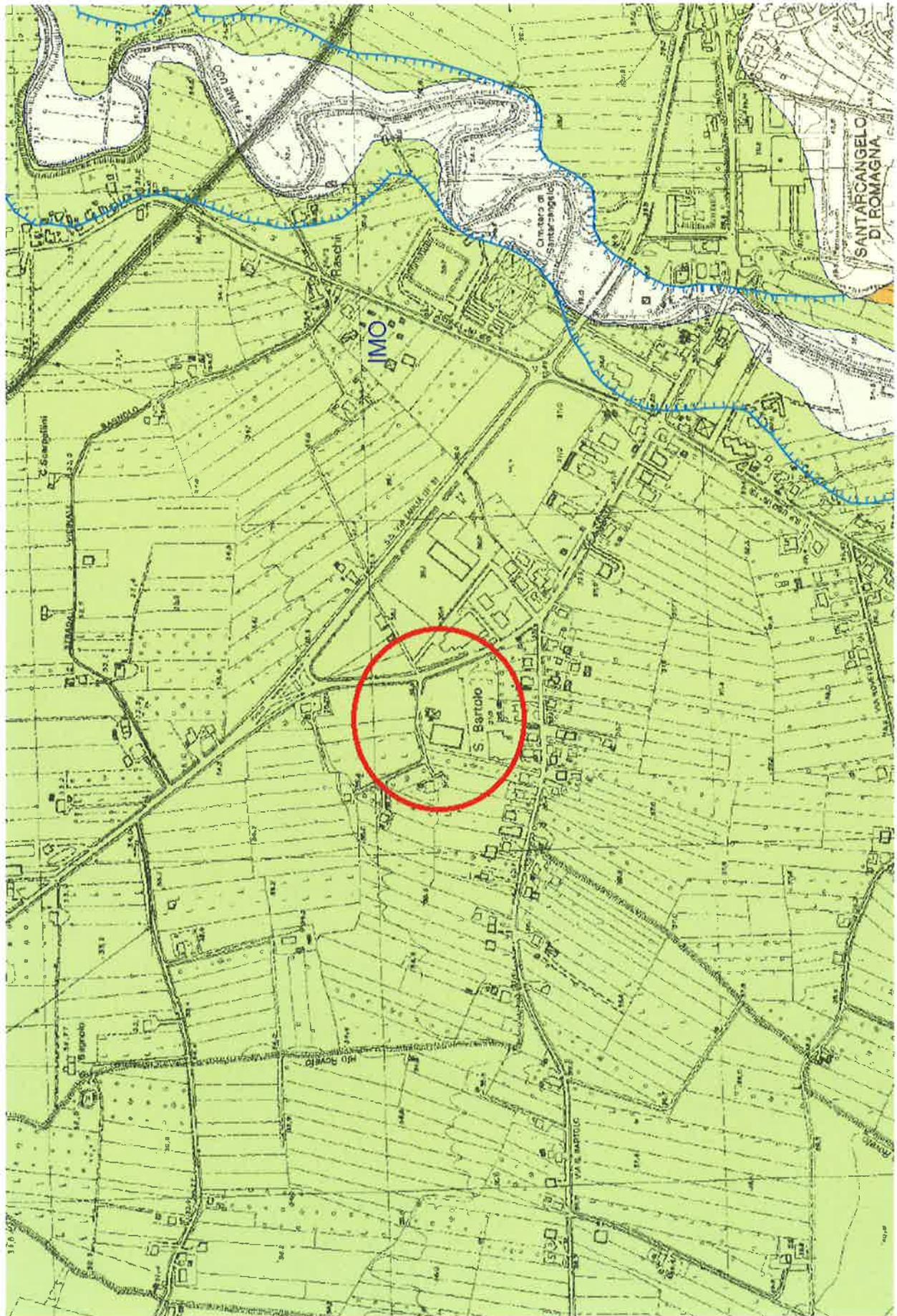
- ❖ *Ai fini del dimensionamento delle condotte per l'allontanamento delle acque meteoriche e di falda, considerando una evapotraspirazione pari al 50% delle precipitazioni, in considerazione della natura litologica dei terreni il rimanente 50 % si può ritenere completamente coinvolto nel fenomeno di ruscellamento superficiale.*
- ❖ *Non va altresì dimenticato il quantitativo d'acqua derivante dalla mancata infiltrazione nell'area oggetto d'intervento a seguito della realizzazione del piazzale.*
- ❖ *Le prove in situ svolte dovranno necessariamente essere integrate da prove su piastra sia per la preparazione del piano di posa che per la messa in posto del rilevato.*
- ❖ *Infine il grado di addensamento dei litotipi dovrà essere verificato tramite opportune prove di laboratorio CBR (California Bering Ratio) e Proctor.*

Santarcangelo di R., Settembre 2021.



**RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATA ALLE OPERE DI
URBANIZZAZIONE FUNZIONALI AL PIAZZALE AD USO PRODUTTIVO PREVISTO
DALL' A.U.C. DI R.U.E., PRESSO VIA MORIGI IN COMUNE DI SANTARCANGELO
- RN -.**

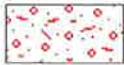
ALLEGATI



SEZIONE 256100 - SANTARCANGELO DI ROMAGNA

DESCRIZIONE DELLE UNITA' GEOLOGICHE PRESENTI IN CARTA
(solo quelle rappresentate in forma poligonale)

Depositi quaternari continentali



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



a3 - Deposito di versante s.l.



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



AES8 - Subsintema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena



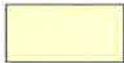
IMO - Sabbie di Imola



SVG - Arenarie ed argille di Savignano



SVGa - Arenarie ed argille di Savignano - litofacies sabbiosa della Grotta Rossa



FAA - Argille Azzurre

In Provincia di Forlì-Cesena

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsintema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvion Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri.

Pleistocene sup. - Olocene

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Lo spessore massimo dell'unità è generica

Olocene

IMO - Sabbie di Imola

Arenarie e sabbie da medie a finissime, generalmente poco cementate, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati fra loro, con livelli di ghiaia contenente abbondanti ciottoli silicei. Stratificazione incrociata ad alto e basso angolo, piano-parallela e con strutture tipo hummocky. Sono presenti rare intercalazioni, centimetriche e decimetriche, di peliti, talora fortemente bioturbate, con locali laminazioni ondulate tipo ripples da onda. Nella parte alta, sono localmente presenti intercalazioni conglomeratiche a matrice sabbiosa (IMOa) con ciottoli derivanti da unità liguridi e dalla successione epiligure. Limite inferiore discordante su SVG e SVGa. Limite superiore erosivo discordante con AEI (in aree limitrofe) e AES. Depositi di ambiente litorale. Potenza massima affiorante circa 60 metri, superiore ai 150 m nel sottosuolo.

Pleistocene medio (0,8-0,65 MA)

SVG - Arenarie ed argille di Savignano

Alternanza di strati sottili e molto sottili, raramente medi, di argille grigio chiare, beige all'alterazione, e arenarie fini e finissime, poco cementate, talora lenticolari, A/P da <<1 crescente verso l'alto e lateralmente. Depositi di piattaforma. Limite inferiore graduale su FAA per aumento della frazione pelitica. Potenza massima affiorante circa 200 metri.

Pleistocene inf.

In Provincia di Rimini

Depositi quaternari continentali

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

a3 - Deposito di versante s.l.

Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione (b1a).

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

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 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. 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 sup. - 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

IMO - Sabbie di Imola

Arenarie e sabbie da medie a finissime, generalmente poco cementate, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati fra loro, con livelli di ghiaia contenente abbondanti ciottoli silicei. Stratificazione incrociata ad alto e basso angolo, piano-parallela e con strutture tipo hummocky. Sono presenti rare intercalazioni, centimetriche e decimetriche, di peliti, talora fortemente bioturbate, con locali laminazioni ondulate tipo ripples da onda. Nella parte alta, sono localmente presenti intercalazioni conglomeratiche a matrice sabbiosa (IMOa) con ciottoli derivanti da unità liguridi e dalla successione epiligure. Depositi di ambiente litorale. Limite inferiore discordante su SVG e SVGa. Limite superiore erosivo discordante con AES. Potenza massima affiorante circa 60m, superiore ai 150m nel sottosuolo.

Pleistocene medio (0,8-0,65 MA)

SVG - Arenarie ed argille di Savignano

Alternanza di strati sottili e molto sottili, raramente medi, di argille grigie chiare, beige all'alterazione, e arenarie fini e finissime, poco cementate, talora lenticolari, A/P da <<1 crescente verso l'alto e lateralmente. Depositi di piattaforma. Limite inferiore graduale su FAA per aumento della frazione pelitica. Limite superiore graduale, parzialmente eteropico, con SVGa e discordante con IMO. Potenza massima affiorante circa 200m.

Pleistocene inf.

SVGa - Arenarie ed argille di Savignano - litofacies sabbiosa della Grotta Rossa

Arenarie medie e fini, mal cernite, in strati spessi e molto spessi frequentemente amalgamati, con tritume conchigliare associato a laminazione ondulata. Sono presenti intercalazioni metriche e decimetriche di peliti grigio-azzurre contenenti faune marino-marginali. Limite inferiore graduale rapido, parzialmente eteropico, con SVG. Limite superiore discordante con IMO. Potenza estremamente variabile, fino ad una massimo di circa 100 metri.

Pleistocene inf.

FAA - Argille Azzurre

Argille di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di arenarie giallastre in letti da sottili a spessi, e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili. Sono fossilifere ricche in foraminiferi e macrofossili, spesso bioturbate, a stratificazione poco marcata. Sono talora diffusi slumps con olistoliti di gesso derivati da unità evaporitiche. Limite inferiore netto, probabilmente discontinuo, su FAA2; paraconcordante su FCO. Limite superiore graduale, per aumento della frazione sabbiosa, con SVG. Depositi di scarpata e base scarpata. Potenza complessiva affiorante di circa 700 m.

Piacenziano - Gelasiano (biozone MNN16a-MNN18)



GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata

SOCIETÀ DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 76 - 47040 Misano Adriatico (RN)

elaborazione cartografica



Tecnologia per il territorio

Piazza Medici 25
47022 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/890273
www.geologia.it - info@geologia.it

Comune di Santarcangelo di Romagna
Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.
Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta dell'idrografia superficiale

Tipi:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

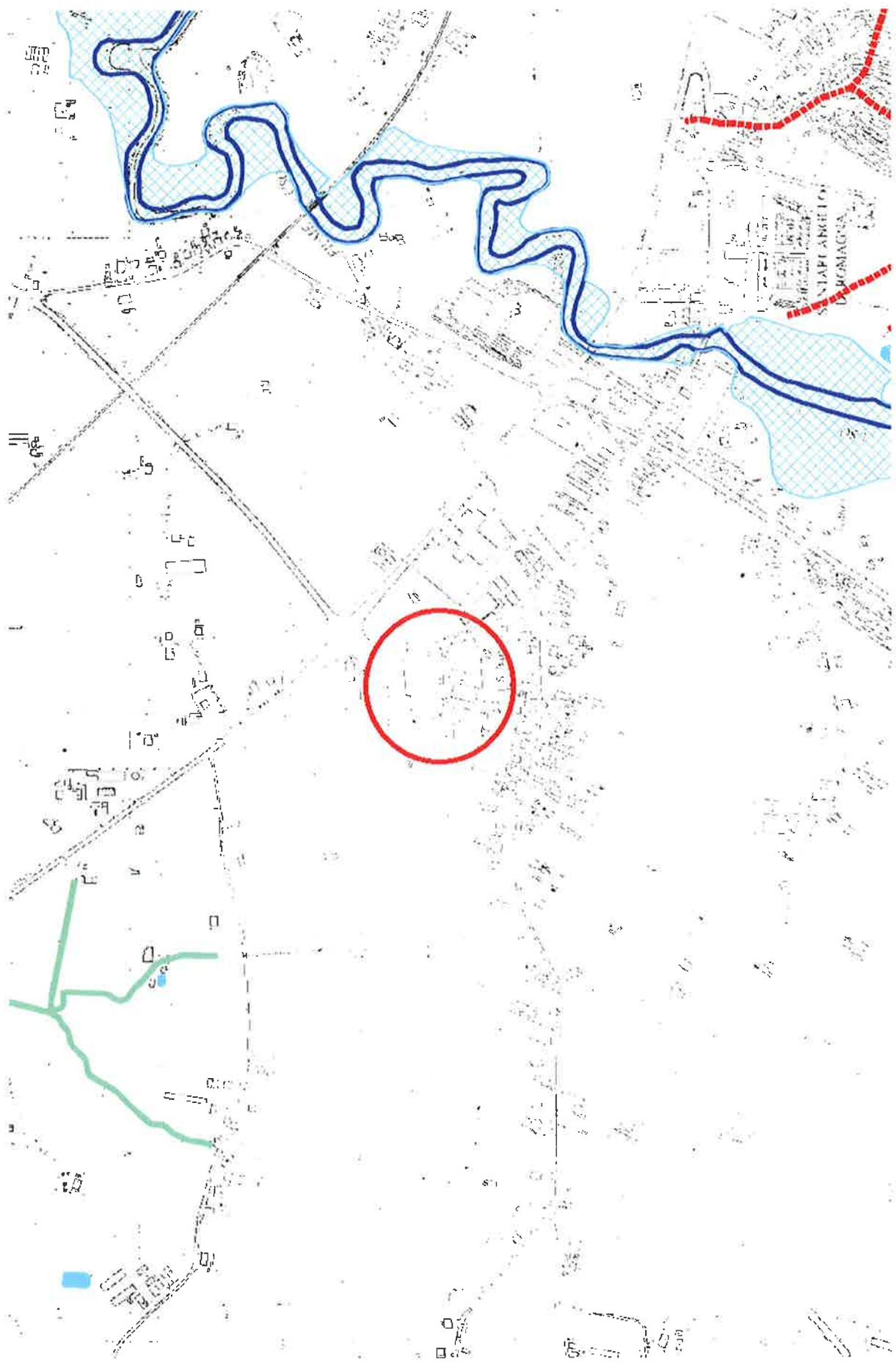
4

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



Legenda

 Alveo attuale, corsi d'acqua principali

 Corsi d'acqua secondari

 Area esondabili

 Laghi

 Invasi e bacini di ritenuta secondari

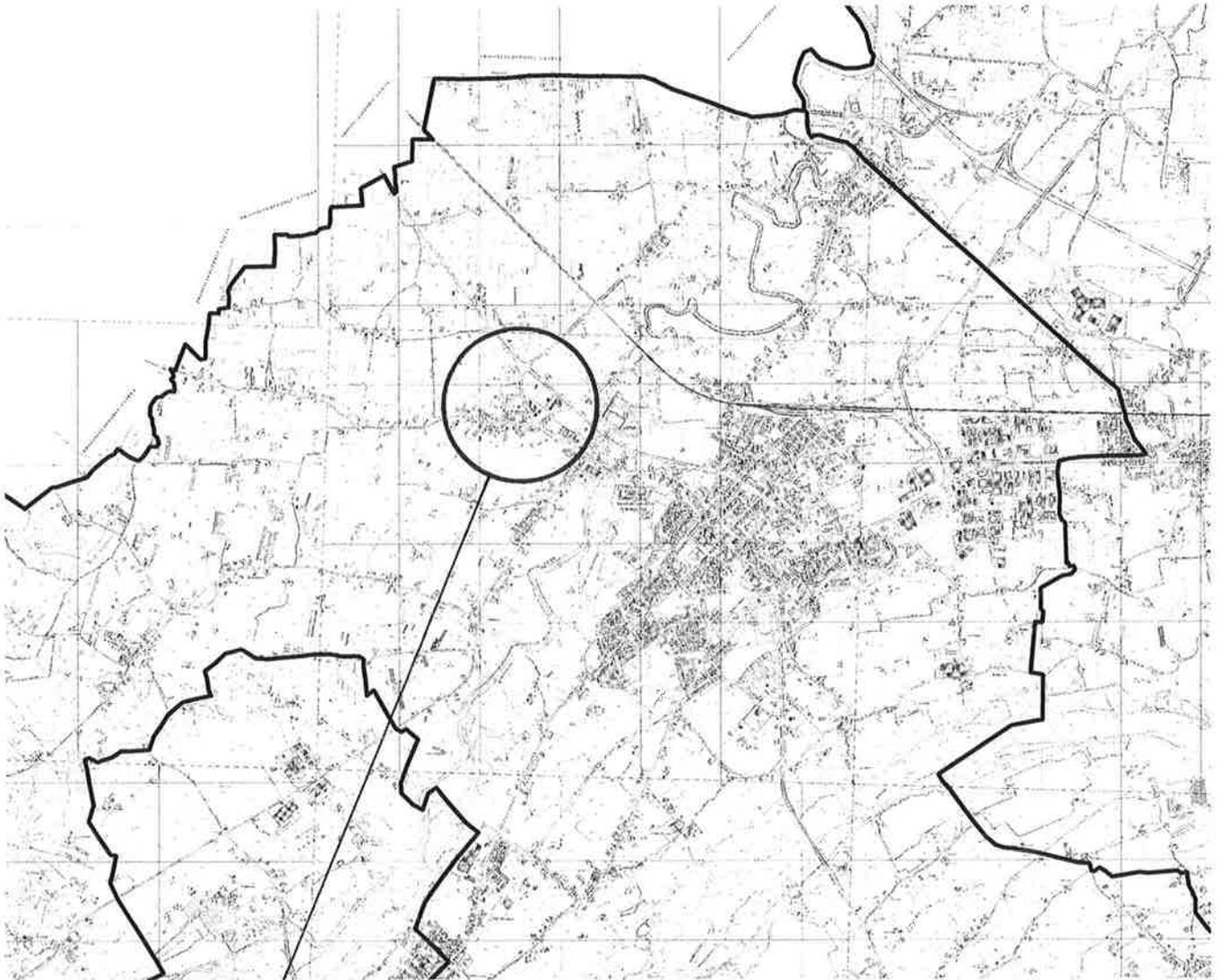
 Crinali - Spartiacque principali

 Ambiti di tutela pozzi e prelievi idrici
1-galleria drenante Fiume Marecchia
2-pozzo Bomaccino 1
3-pozzo Bomaccino 2

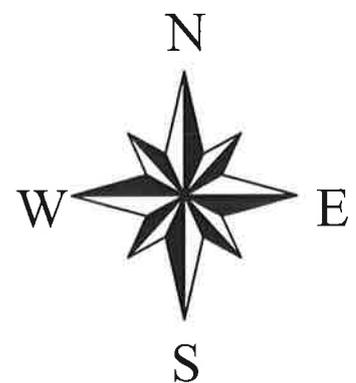
 Area morfologicamente depressa

 Confine comunale

PLANIMETRIA scala 1 : 25.000



Area in esame



UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE
- prove penetrometriche statiche con punta meccanica –

(Stralcio da Google Earth).



ELABORATI GRAFICI PROVE DI LABORATORIO



di Scaparrotti dott. Roberto
Via Coletti 82/b - 47921 Rimini
Cell. 320 0555670
mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p.i.039 913 304 02

Cantiere: Santarcangelo di R. (RN), via Morigi	Data: Agosto 2021	
Sondaggio n. : sta 1	Campione n. : 1	Profondità : 1,00 mt.

Descrizione del campione : Limo argilloso di colore grigio verde

Stato del campione: disturbato

Caratteristiche fisico - meccaniche

caratteristiche generali		limiti di consistenza	
Contenuto in acqua	w = 19 %	Limite di liquidità	Wl = 49 %
Peso di volume umido	y = " gr/cmc	Limite di plasticità	Wp = 19 %
Peso di volume secco	yd = " gr/cmc	Limite di ritiro	Ws = " %
Peso specifico	Gs = 2,73 gr/cmc	Ritiro lineare	R = " %
Indice dei vuoti	e = "	Indice di plasticità	Ip = 30 %
Grado di saturazione	s = " %	Indice di consistenza	Ic = 1

granulometria	classificazione A.G.I.
ghiaia : " %	Limo con argilla
sabbia : 2 %	
limo : 51 %	
argilla : 47 %	



di Scaparrotti dott. Roberto

Via Coletti 82/b - 47921 Rimini

Cell. 320 0555670

mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p.i.039 913 304 02

Cantiere: Santarcangelo di R. (RN), via Morigi

Data: Agosto 2021

Sondaggio n. : sta 1

Campione n. : 1

Profondità : 1,00 mt.

Analisi granulometrica

Metodo della prova: per setacciatura e sedimentazione

Stato del campione: disturbato

Peso secco netto: 45,87 gr.

setacci A.S.T.M. n.	luce netta mm.	passante %
30	0,600	100,00
50	0,300	99,41
100	0,150	99,14
200	0,075	98,53

Descrizione
(Classificazione A.G.I.)

Ghiaia
%

Sabbia
%

Limo
%

Argilla
%

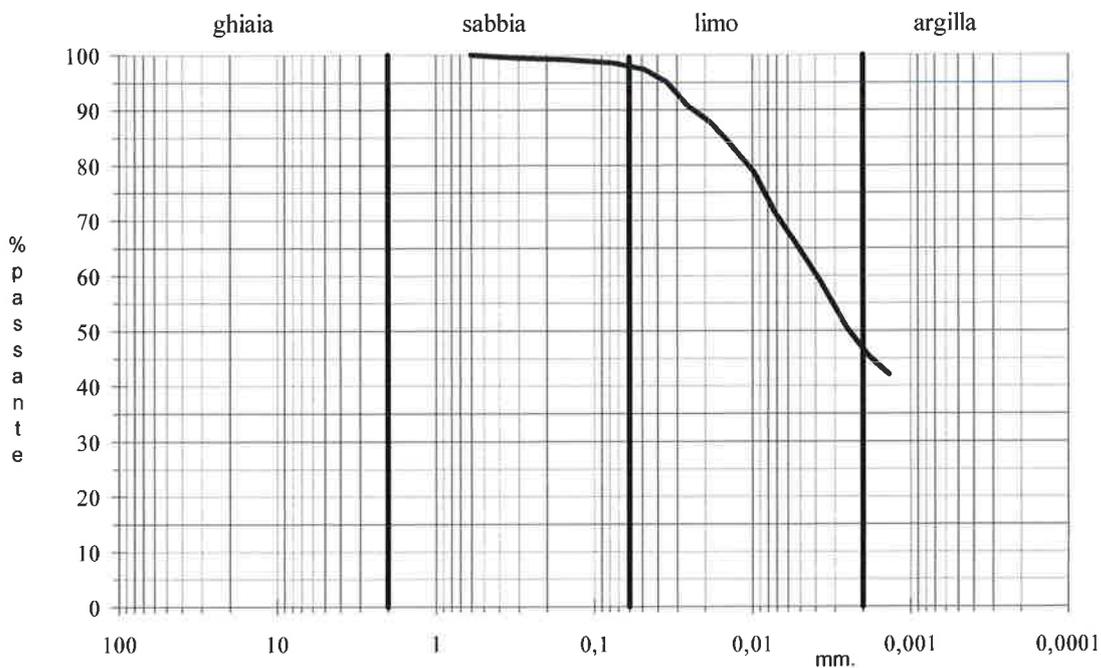
Limo con argilla

"

2

51

47





di Scaparrotti dott. Roberto
Via Coletti 82/b - 47921 Rimini
Cell 320 0555670
mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p i 039 913 304 02

Cantiere: Santarcangelo di R. (RN), via Morigi	Data: Agosto 2021	
Sondaggio n. : sta 2	Campione n. : 1	Profondità : 1,50 mt.

Descrizione del campione : Limo argilloso di colore grigio verde

Stato del campione: disturbato

Caratteristiche fisico - meccaniche

caratteristiche generali		limiti di consistenza	
Contenuto in acqua	w = 24 %	Limite di liquidità	Wl = 51 %
Peso di volume umido	y = " gr/cmc	Limite di plasticità	Wp = 19 %
Peso di volume secco	yd = " gr/cmc	Limite di ritiro	Ws = " %
Peso specifico	Gs = 2,71 gr/cmc	Ritiro lineare	R = " %
Indice dei vuoti	e = "	Indice di plasticità	Ip = 32 %
Grado di saturazione	s = " %	Indice di consistenza	Ic = 0,843

granulometria	classificazione A.G.I.
ghiaia : " %	Limo con argilla
sabbia : 3 %	
limo : 61 %	
argilla : 36 %	



di Scaparrotti dott. Roberto
Via Coletti 82/b - 47921 Rimini
Cell. 320 0555670
mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p.i. 039 913 304 02

Cantiere: Santarcangelo di R. (RN), via Morigi	Data: Agosto 2021	
Sondaggio n. : sta 3	Campione n. : 1	Profondità : 2,00 mt.

Descrizione del campione : Limo argilloso di colore grigio verde

Stato del campione: disturbato

Caratteristiche fisico - meccaniche

caratteristiche generali		limiti di consistenza	
Contenuto in acqua	w = 18 %	Limite di liquidità	Wl = 46 %
Peso di volume umido	y = " gr/cmc	Limite di plasticità	Wp = 17 %
Peso di volume secco	yd = " gr/cmc	Limite di ritiro	Ws = " %
Peso specifico	Gs = 2,70 gr/cmc	Ritiro lineare	R = " %
Indice dei vuoti	e = "	Indice di plasticità	Ip = 29 %
Grado di saturazione	s = " %	Indice di consistenza	Ic = 0,966

granulometria	classificazione A.G.I.
ghiaia : " %	Limo con argilla
sabbia : 2 %	
limo : 58 %	
argilla : 40 %	



di Scaparrotti dott. Roberto
Via Coletti 82/b - 47921 Rimini
Cell. 320 0555670
mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p i 039 913 304 02

Cantiere: Santarcangelo di R. (RN), via Morigi

Data: Agosto 2021

Sondaggio n. : sta 3

Campione n. : 1

Profondità : 2,00 mt.

Analisi granulometrica

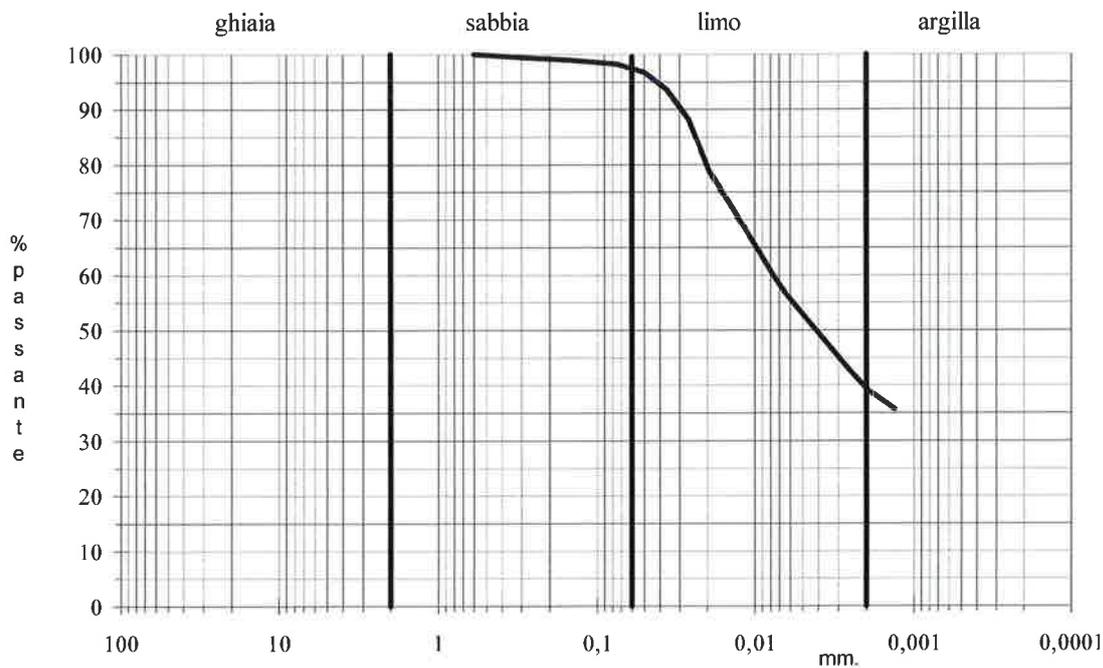
Metodo della prova: per setacciatura e sedimentazione

Stato del campione: disturbato

Peso secco netto: 47,38 gr.

setacci A.S.T.M. n.	luce netta mm.	passante %
30	0,600	100,00
50	0,300	99,42
100	0,150	98,96
200	0,075	98,27

Descrizione (Classificazione A.G.I.)	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
Limo con argilla	"	2	58	40



INDAGINE GEOFISICA (HVSR)

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI o HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)

La finalità dell'indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e l'individuazione delle discontinuità sismiche e la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) così come richiesto dal D.M. 14-01-2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni-.

La tecnica HVSR è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di alcun tipo di perforazione, né stendimento di cavi, né energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

I risultati ottenibili da una siffatta registrazione sono:

la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione per evitare l'effetto "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. Successivamente sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

La velocità media delle onde di taglio V_{s30} calcolate tramite un apposito codice di calcolo: E' necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc...) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del sottosuolo di fondazione come richiesto dal D.M. 14-01-2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni-;

La stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 mt. di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), ha raggiunto la sua massima popolarità in Giappone già nei primi anni '70 come strumento per una microzonazione sismica speditivi.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri sismici del rumore di sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) applicata da Nogoshi e Igarashi (1971).

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti di sito.

La tecnica proposta da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione delle discontinuità sismiche presenti nel sottosuolo, assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato soffici su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologia combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca **SESAME** (2005) - (Site EffectS assessment using **AM**biEnt **Exc**itations) che si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed array ed a questo si rimanda per le sopra citate linee guida della tecnica H/V spectral ratio.

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni d'indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

- Basi teoriche

Le basi teoriche dell' HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui I parametric variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (p_1 e p_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce una importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumori di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti dalle onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolari da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità delle onde di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico.

Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

- Attrezzature e modalità

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcuno strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né accelerometri sismologici.

Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale > 20 sec. In quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse.

Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e dalla rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E ed W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza di edifici, vento, ecc.... in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta del sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- Trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ($< 1-2$ Hz);
- Amplificatori;
- Digitalizzatore;
- Frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- Convertitore A/D (analogico/digitale) a 24 bit;
- Durata di registrazione: > 10 minuti;
- Collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

- Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200 – 400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);
2. operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
3. merging dei componenti orizzontali;
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (> 10);
5. valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sue deviazione standard.

Il risultato finale della prova presenta:

- 1) i criteri di attendibilità della misura;
- 2) i criteri di validità del picco di f_0 ;
- 3) i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- 4) l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alle frequenze del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- 5) l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure di HVSR offrono la possibilità di determinare:

- 1). Valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alla frequenza di risonanza;
- 2). Spessori della coltre di copertura.

- Frequenze

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali.

L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

- Spessori

L'assunzione di base è che, per un modello di suolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza f_r dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$T = \frac{4 * \sum_{I=1}^n h_i}{\frac{\sum_{I=1}^n V_{s_i} * h_i}{\sum_{I=1}^n h_i}}$$

Dove h è lo spessore dello strato dei sedimenti e V_s dipende dalla velocità delle onde di taglio nel suo interno.

In base a tale relazione quindi, a partire da valori misurati di f_r e V_s , ricavati, è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_s come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-Von Seht e Wohleberg (1999).

Poiché l'andamento del log in V_s in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidezza al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire da valori di V_s per la porzione più superficiale del terreno, è possibile

estrapolare l'andamento delle V_s a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

A questo scopo Ibs-Von Seht e Wohleberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0 (1 + Z)^a$$

dove V_0 è la velocità al tetto dello strato ed "a" un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione, ecc...).

Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \frac{V_0 (1-a)^{1/(1-a)}}{4 f_r} + 1 - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004) usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Lowe.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004) usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Lowe.

- Vantaggi della caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR

Onde consentire una resa chiara ed immediata della tecnica HVSR, di seguito vengono elencati in maniera sintetica i principali vantaggi derivanti dal confronto con altre metodologie d'indagine.

- Consente una veloce acquisizione dati in un lasso di tempo relativamente ristretto (max. 20 minuti);
- Permette di raggiungere elevate profondità d'indagine indipendentemente dalla natura dei terreni (fino 50 ÷ 70 mt. ad alta risoluzione);
- Consente di evidenziare lo spessore di alterato / fratturato della roccia;
- Non risente della eventuale presenza d'acqua (a varia concentrazione di sali) a differenza di quanto avviene con il metodo geoelettrico;
- Individua ed analizza le inversioni di velocità a differenza della sismica a rifrazione.

Si riportano inoltre i vantaggi derivanti dall'utilizzo di tomografi digitali:

- Estrema semplicità di utilizzo;
- Possibilità di equipaggiare lo strumento con GPS integrato; Elevato numero di misure registrabili nella memoria interna (circa 150);
- Sensori allocati internamente allo strumento (operatività quindi in assenza di geofoni esterni);
- La possibilità di trasferire dati tramite software specifico dall'acquisitore ad un personal computer con controllo in tempo reale delle misurazioni eseguite;
- La possibilità di svolgere in contemporanea il lavoro interpretativo con la raccolta dati, consente di velocizzare i tempi di consegna del lavoro.

Indagine sismica passiva a stazione singola – Località: SANTARCANGELO di Romagna – Via Morigi.

Inizio registrazione: 21.07.2021 ore 10:21:29 - Fine registrazione: 21.07.2021 ore 10:41:29

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 98 % tracciato (selezione manuale)

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s.

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 12 %.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie del sottosuolo (N.T.C. 2008- Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categorie di sottosuolo

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

Dall'analisi dell'indagine HVSR si può affermare che il sito è caratterizzato da una velocità delle onde di taglio (V_{s30}) di 331 m/s, corrispondente ad un terreno di **tipo C**:

Profondità alla base dello strato (mt.)	Spessore (mt.)	Vs (m/s)
0.35	0.35	80
4.45	4.10	160
Inf.	Inf.	330

SANTARCANGELO, Via Morigi

Strumento: TRZ-0129/01-10

Inizio registrazione: 21/07/21 10:21:29 Fine registrazione: 21/07/21 10:41:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

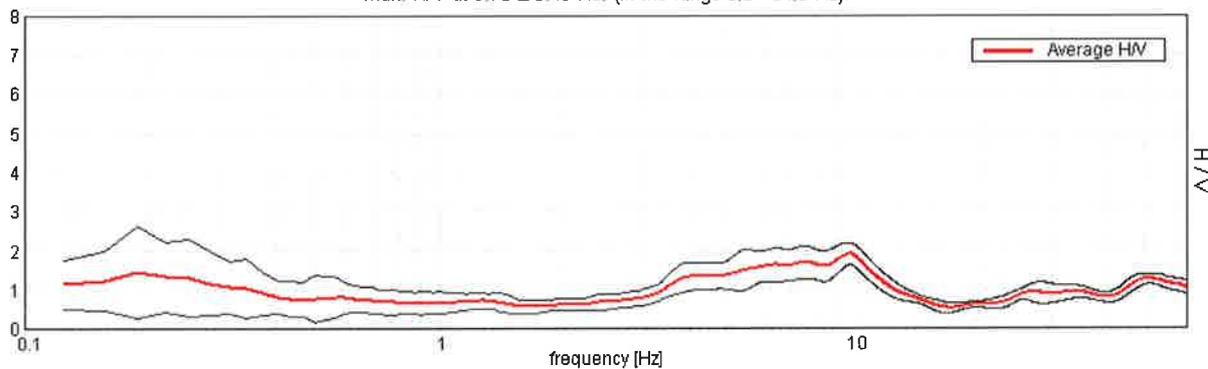
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

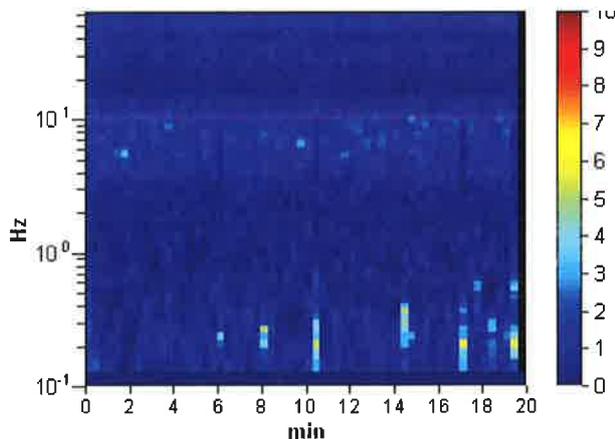
Lisciamento: 12%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

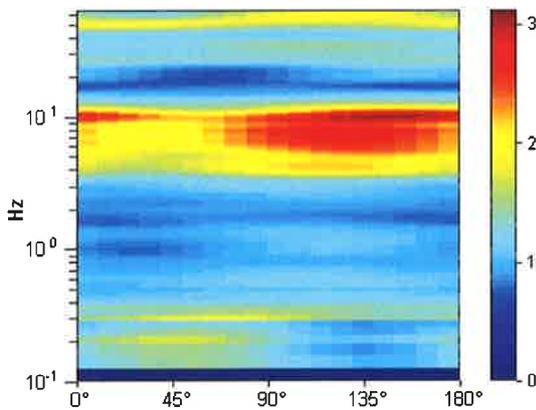
Max. H/V at 9.75 ± 0.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



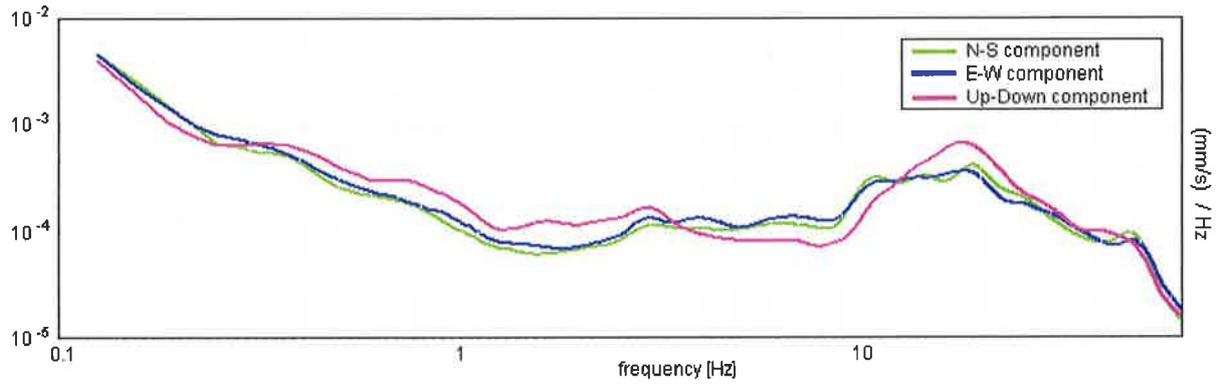
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

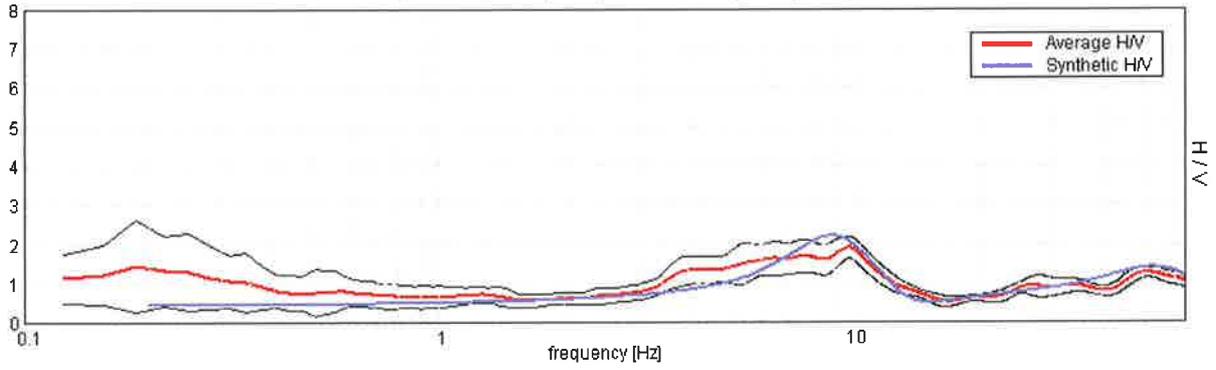


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



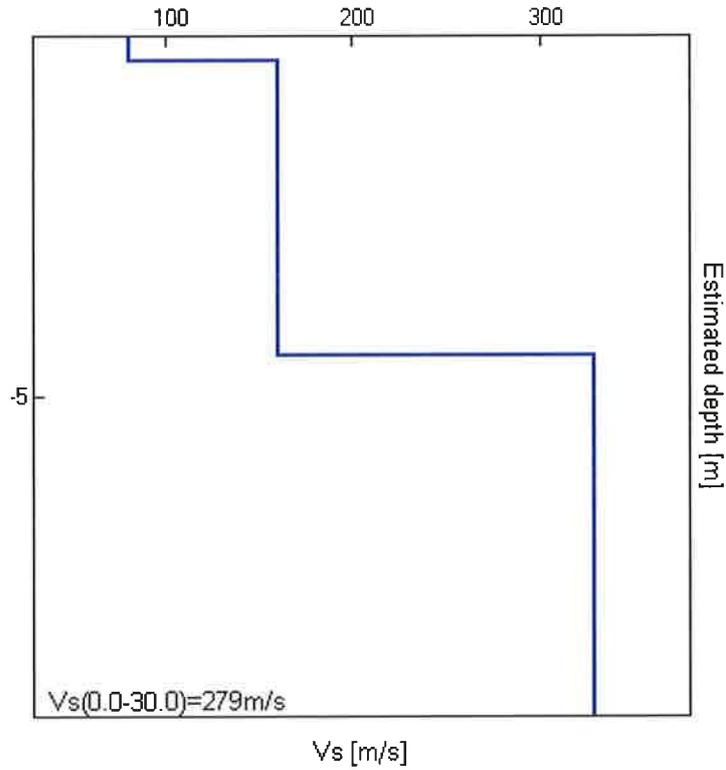
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 9.75 ± 0.49 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.35	0.35	80	0.30
4.45	4.10	160	0.35
inf.	inf.	330	0.35

$V_s(0.0-30.0)=279\text{m/s}$



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

Picco H/V a 9.75 ± 0.49 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	9.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11505.0 > 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 469	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.90 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02464 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.24023 < 0.4875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1339 < 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
σ_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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

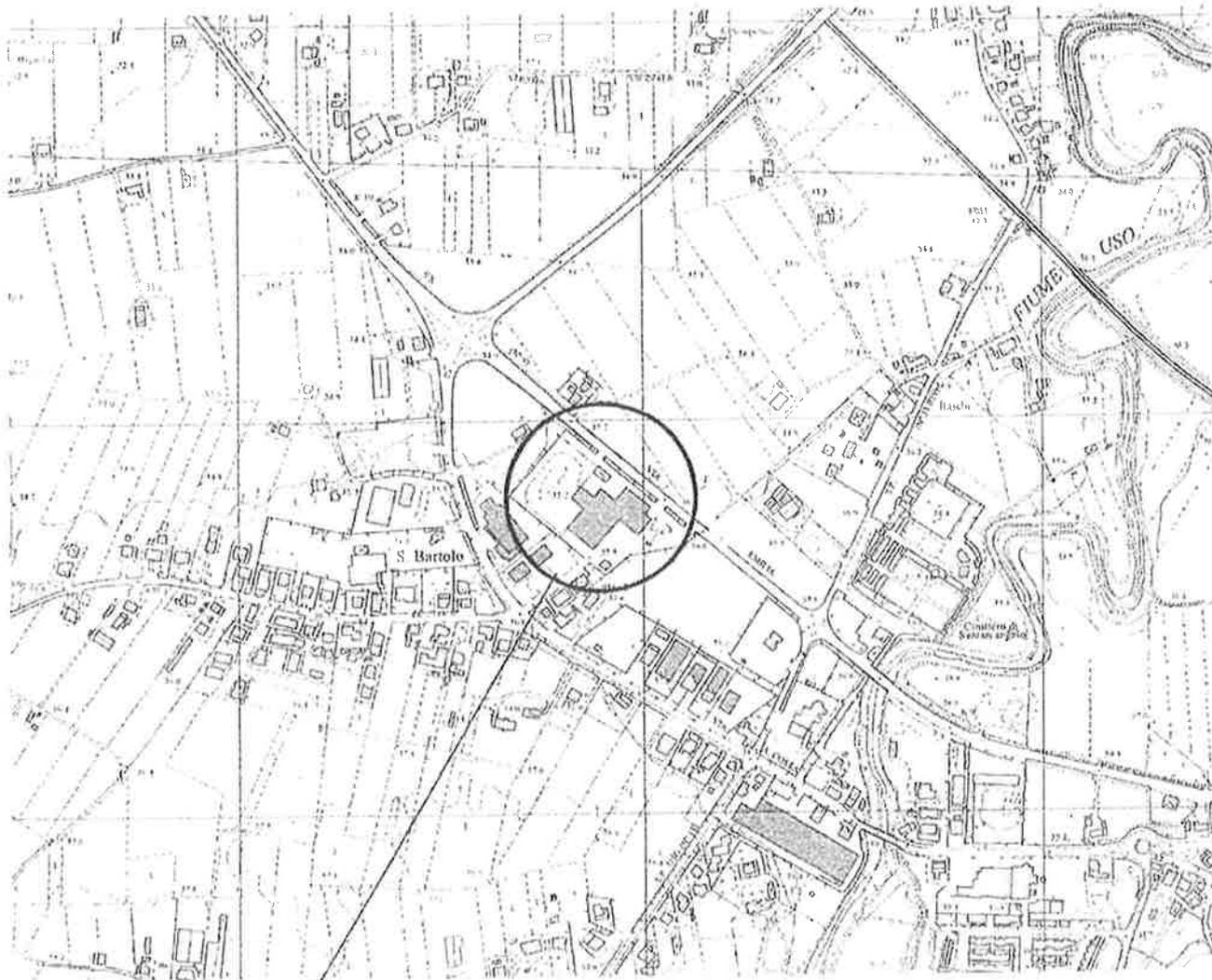
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

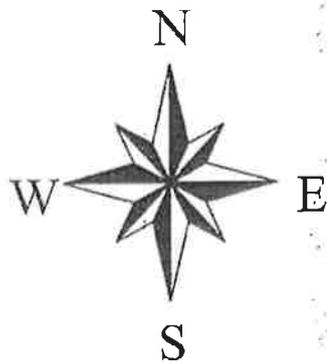
UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE
- HVSR + ESAC -

(Dr. Geol. L. Del Maschio – periodo: Ottobre 2019 -).

PLANIMETRIA scala 1 : 5.000



Area in esame





STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO
Via Camogli 59 - 41125 Modena
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816
e-mail delmaschio.l@alice.it
PEC delmaschio.l@epap.sicurezza postale.it

COMUNE DI SANTARCANGELO
PROVINCIA DI RIMINI

OGGETTO:

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
PER IL PUA ADRIAUTO SRL VIA EMILIA OVEST PER LA REALIZZAZIONE DI
MEDIO-PICCOLA STRUTTURA DI VENDITA ALIMENTARE E ATTIVITA'
TERZIARIE IN COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA**

LOCALITÀ:

Santarcangelo di Romagna - Via Emilia Ovest

COMMITTENTE

ADRIAUTO Srl

OTTOBRE 2019



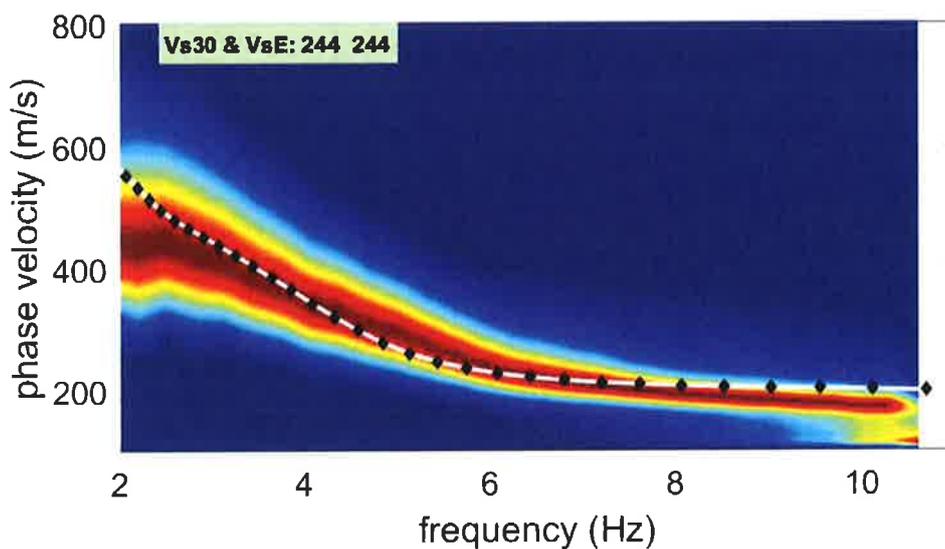
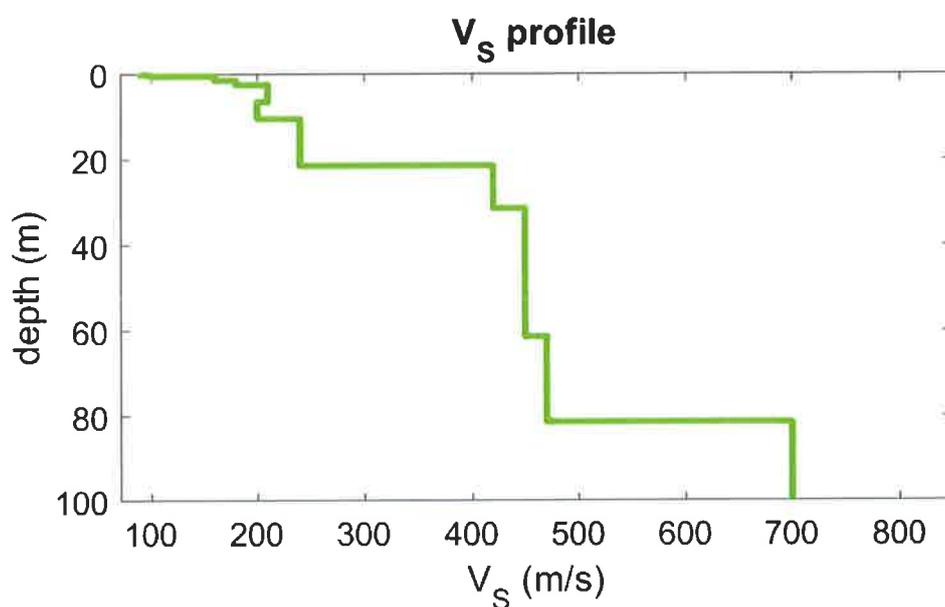
SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN), Via Emilia Ovest (ESAC + HVSR)

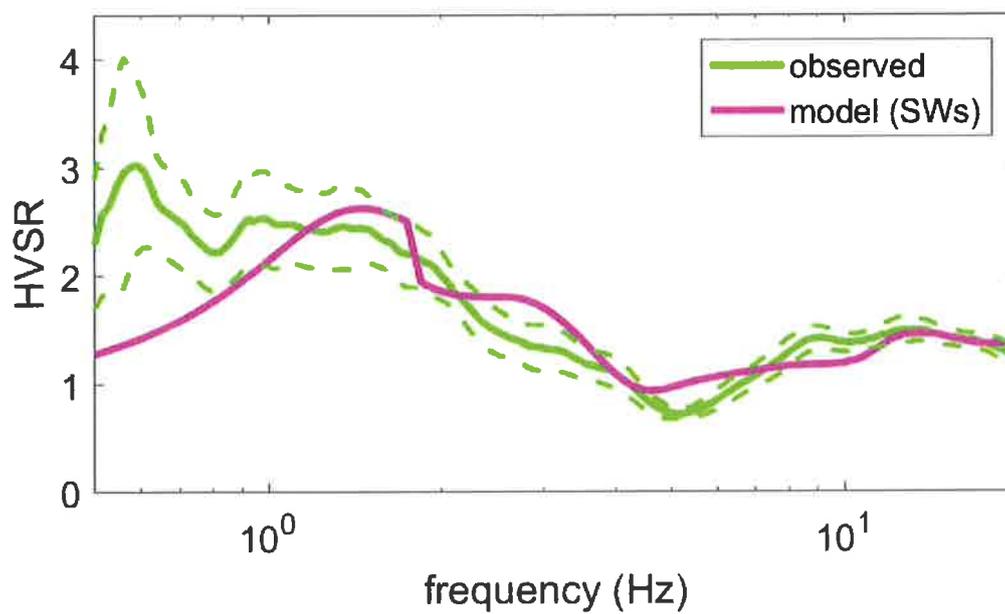
Sul sito di indagine sono state eseguite 1 acquisizioni HVSR ed 1 acquisizione ESAC.

L'analisi consiste nell'inversione congiunta (riportati i dati pertinenti al "minimum distance model") dei dati derivanti dalle singole indagini e dalla prova HVSR e dalla curva di dispersione effettiva derivante dall'analisi ESAC.

Relativamente al profilo di V_s con la profondità, abbiamo che:

- ESAC + HV





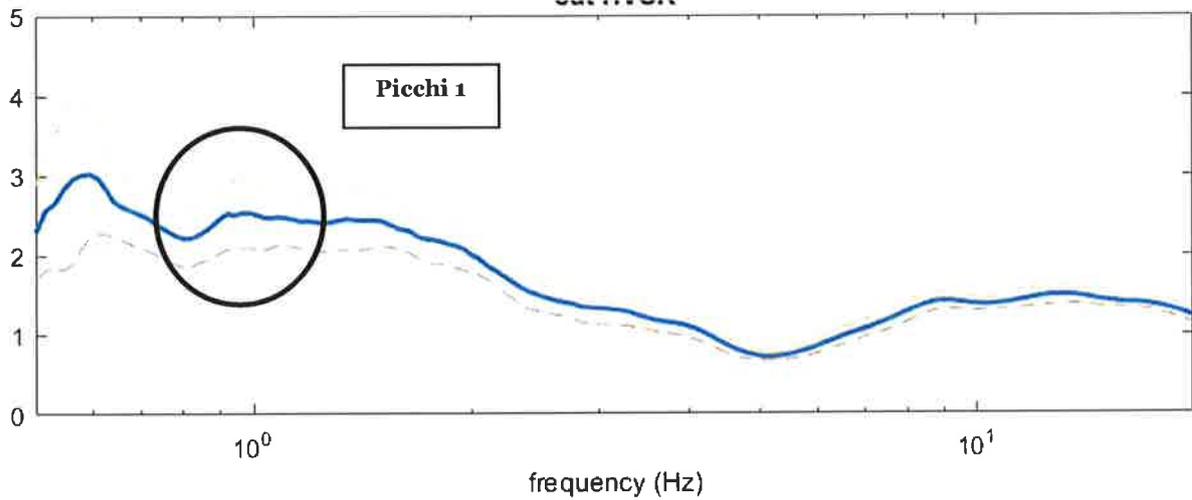
Mean model

Vs (m/s): 90, 100, 160, 180, 210, 200, 240, 420, 450, 470, 700, 800

Thickness (m): 0.3, 0.3, 1.0, 1.0, 4.0, 4.0, 11.0, 10.0, 30.0, 20.0, 40.0

VsEq /Vs30 (m/s): 244

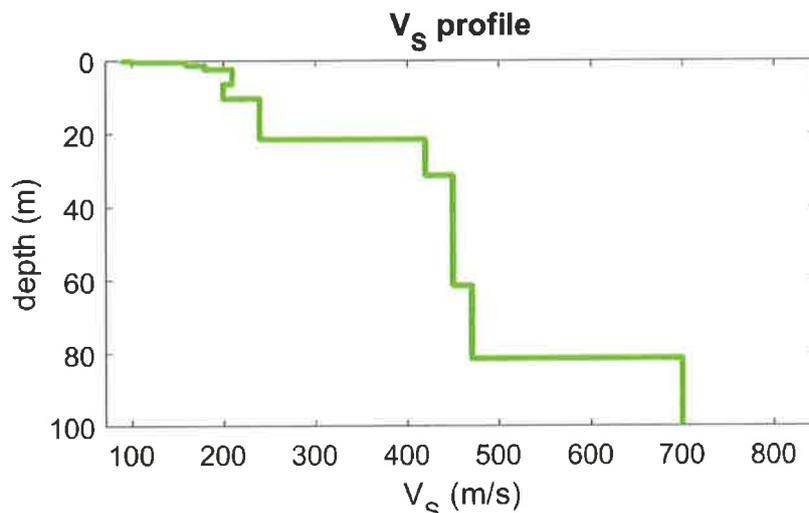
Sul sito di studio, sono state eseguite, 1 acquisizioni HV, 1 acquisizione ESAC ed 1 acquisizione MASW. Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, dal diagramma del confronto delle curve H/V, di seguito riportato, abbiamo:



Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 2.5	~ 1.0

Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico. Relativamente al profilo di V_s con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, **mediante la ricostruzione delle V_{s30}** , abbiamo che:

- ESAC + HV



V_{sEq} / V_{s30} (m/s): 244 (categoria di sottosuolo "C")

**ELABORATI GRAFICI PER IL DIMENSIONAMENTO
DELLE PAVIMENTAZIONI, BASI E FONDAZIONI**

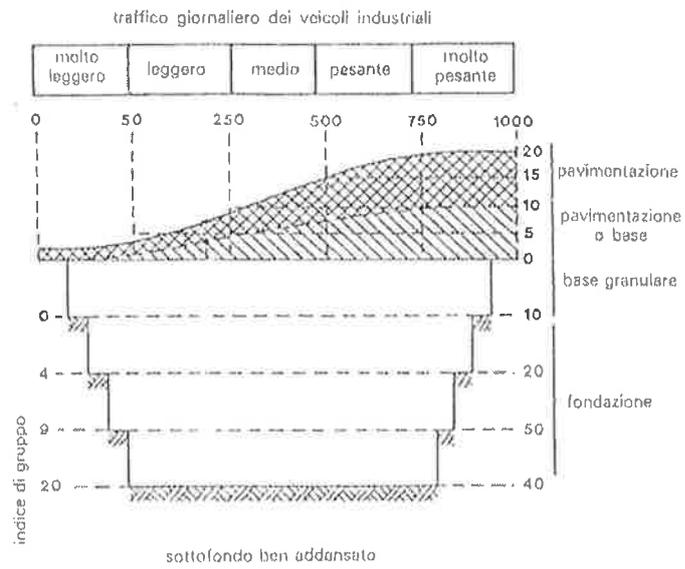


FIGURA 1 – Grafico per il dimensionamento delle pavimentazioni, basi e fondazioni in materiale selezionato, con il metodo dell'Indice di gruppo.

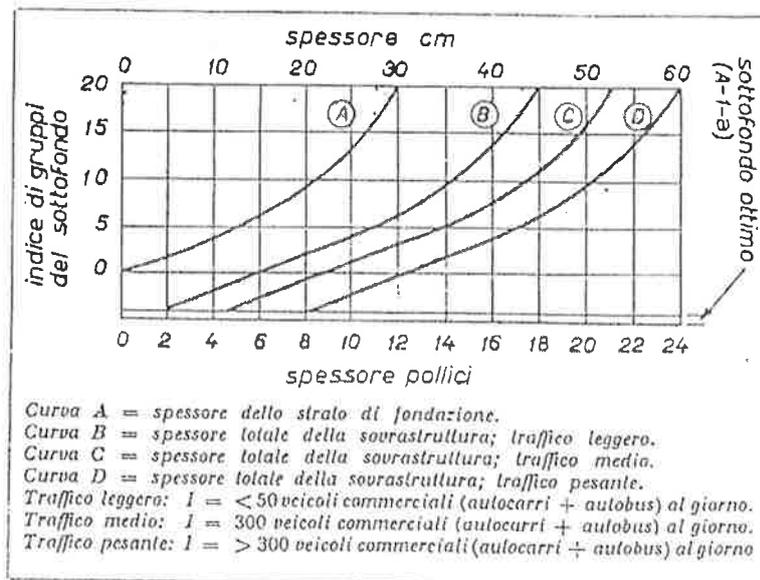


FIGURA 2 – Diagramma di progetto per pavimentazioni - metodo dell'Indice di gruppo -.

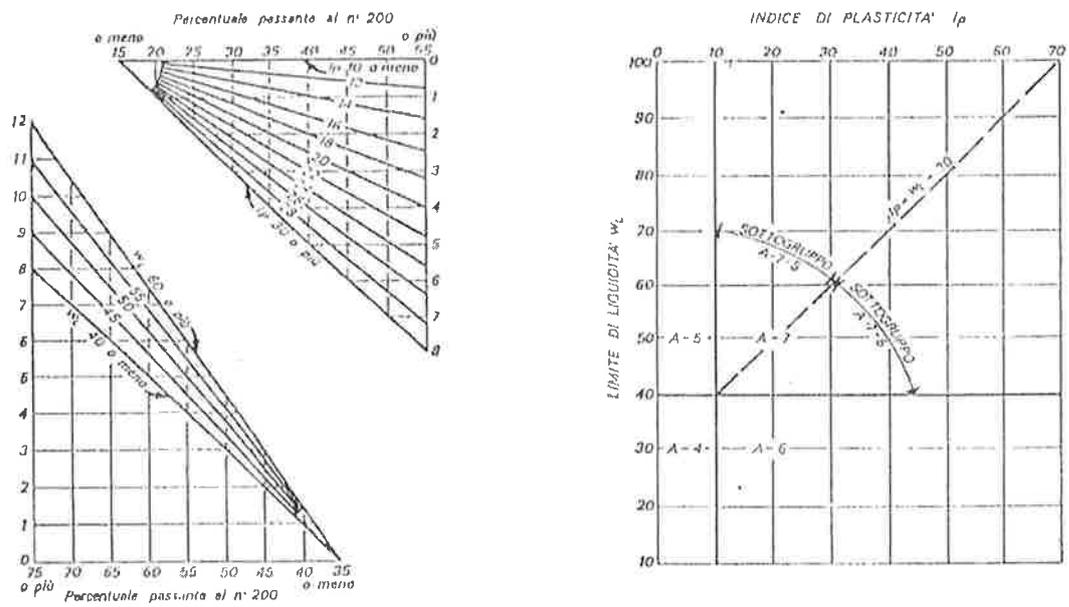


FIGURA 3 – Diagramma per la determinazione dell'Indice di gruppo.

Classificazione generale	Rocce ghiaiose-sabbiose					Rocce argillose				
	Frazione passante allo staccio 0,075 ≤ 35%					Frazione passante allo staccio 0,075 > 35%				
Gruppo	A 1		A 3	A 2		A 5	A 6	A 7		
Sottogruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7	A 7-5	A 7-6	
Analisi granulometrica										
Frazione passante allo staccio										
2 UNI 2332 %	≤ 50	—	—	—	—	—	—	—	—	
40,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 50	> 50	—	—	—	—	—	—	
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332										
Limite liquido	—	—	—	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	
Indice di plasticità	≤ 6	—	N.P.	≤ 10	≤ 10 max	> 10	> 10	> 10	> 10	
Indice di gruppo	0	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 16	≤ 20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane	Sabbia fina	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa					Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	
Qualità portanti, quale terreno di sottofondo, in assenza di gelo	Da eccellente a buono									
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Media									
Ritiro o rigonfiamento	Nulla o lieve									
Permeabilità	Elevata									
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto - Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono indivisibili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla					Non reagiscono alla prova di scuotimento (*) - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido	

(*) Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi dalle argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di roccia bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La roccia sciolta reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, si percepisce un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo.