

*Egr. Sig.*  
**MANUEL BALZANI**

**RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE  
ALLEGATA AL PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO  
ED AMMODERNAMENTO DELL'AZIENDA AGRICOLA  
UBICATA IN LOCALITA' STRADONE,  
PRESSO VIA TANA N° 431,  
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN -.**

**RELAZIONE**





*Egr. Sig.*  
**MANUEL BALZANI**

**RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE  
ALLEGATA AL PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO  
ED AMMODERNAMENTO DELL'AZIENDA AGRICOLA  
UBICATA IN LOCALITA' STRADONE,  
PRESSO VIA TANA N° 431,  
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN -.**

**1.- PREMESSA**

*L'indagine e' stata condotta su incarico del **Geom. MAURO VINCENZI** dello **Studio Tecnico Associato dei Geomm. FERRINI e VINCENZI** di Santarcangelo di Romagna, per conto del **Sig. MANUEL BALZANI** al fine di accertare le condizioni geologiche ed idrogeologiche dei terreni interessati dal progetto per l'ampliamento ed ammodernamento dell'Azienda agricola ubicata in localita' Stradone, presso Via Tana n° 431, in Comune di Santarcangelo (latitudine: 44.032113; longitudine: 12.394180) e di conseguenza acquisire gli elementi necessari alla redazione del progetto.*

*Lo studio preliminare e' stato condotto sulla base dei risultati ottenuti dall' esecuzione di **n° 1 prova penetrometrica dinamica pesante (D.P.S.H.)** condotta a Novembre 2021 nell'ambito di un precedente lavoro commissionato a codesto Studio.*

*Successivamente (Maggio 2023), sono state condotte ulteriori **n° 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)** che hanno raggiunto la **profondità massima di 8.60 mt. dall'attuale p.c.** per effetto della presenza di litotipi limo – argillosi tendenti a marnosi, del substrato formazionale pliocenico.*

*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.*

*E' stata infine effettuata (Novembre 2021) **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.*

## **2.- INQUADRAMENTO GENERALE DEL TERRITORIO**

*Il territorio comunale di Santarcangelo di Romagna ha un'estensione di 45.08 Km<sup>2</sup>.*

*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 e' 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 Km<sup>2</sup> secondo U. Buli "Geoidrologia della conoide del Fiume Marecchia" 1935 - Bologna, e 123 Km<sup>2</sup> 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 Km<sup>2</sup>. (circa il 22% della superficie comunale pari a 45.08 Km<sup>2</sup>.) mentre i depositi continentali alluvionali della pianura, una superficie di 35.125 Km<sup>2</sup>. 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 è 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 artesiana 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 è caratterizzata dalla presenza di depositi continentali pleistocenici, litologicamente costituiti da sabbie, ghiaie ed argille dei terrazzi.*

## **2.2.- INQUADRAMENTO NORMATIVO**

### **2.2.1.- Rischio idrogeologico**

*Dalla consultazione degli elaborati costitutivi il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dei Bacini Marecchia e Conca – Variante 2016 -, Tavola 1, la porzione di territorio interessata dall'intervento in oggetto risulta ricadere nella "Fascia ad Alta Vulnerabilità idrogeologica (art. 9) –.*

*Pertanto nell'ambito dell'intervento edificatorio si dovrà tener conto di tale vulnerabilità e prevedere misure necessarie per fronteggiare i potenziali rischi.*

### **2.2.2.- Rischio idrogeologico**

*Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dei Bacini Marecchia e Conca – Variante 2016 -, Agosto 2020, la porzione di territorio interessata dall'intervento in oggetto risulta ricadere nelle aree con "Alluvioni poco frequenti Pericolosità P2 –.*

*Pertanto nell'ambito dell'intervento edificatorio si dovrà tener conto di tale vulnerabilità e prevedere misure necessarie per fronteggiare i potenziali rischi.*

### **2.2.2.- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)**

*Un inquadramento dei rischi geologici, idrogeologici e geomorfologici dell'territorio comunale e, specificatamente, dell'area in esame, è fornito dalla Tavola "D".*

*Il sito in oggetto è classificato nella Tavola relativa agli ambiti di pericolosità idraulica tra le "Aree di ricarica della falda ideologicamente connesse all'alveo ARA (art. 3.3)".*

*Pertanto nell'ambito dell'intervento edificatorio si dovrà tener conto di tale vulnerabilità e prevedere misure necessarie per fronteggiare i potenziali rischi.*

## **3.- INDAGINI ESEGUITE**

*Nella zona oggetto di indagine sono state eseguite complessivamente n° 4 prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.) e n° 1 indagine geofisica HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio).*

*Di seguito vengono riassunte brevemente le caratteristiche tecniche delle prove penetrometriche dinamiche pesanti D.P.S.H.*

*Le prove D.P.S.H. sono comprese nelle "Raccomandazioni AGI 1977" per l'esecuzione delle indagini in situ e differiscono da quelle incluse nelle "Raccomandazioni del sottocomitato ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa 1976" nelle quali compare il termine di prova dinamica pesante.*

*La prova è stata eseguita mediante strumento tipo PAGANI 73-200 kN, semovente, munito di n° 2 batterie concentriche: la prima di aste interne, la seconda di rivestimento, esterna.*

*Alle aste interne è collegata una punta conica con diametro di 50.8 mm., sezione 20 mm. ed angolo di apertura pari a 60°.*

*Le aste interne hanno un peso, per ogni metro lineare, pari a 5.1 Kg. ed un diametro di 34 mm., mentre il rivestimento ha un diametro di 48 mm.*

*Il dispositivo di battuta è costituito da un maglio del peso di 63.5 Kg. che cade da un'altezza di 75 cm.*

*La prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 20 cm., misurando il numero di colpi (Np) necessari all'avanzamento di essa; ogni 20 cm. s'infigge anche il rivestimento, rilevando ancora il numero di colpi (Nr) necessari per il suo avanzamento.*

*La prova viene sospesa ogniqualvolta Np od Nr superino il valore di 100 colpi.*

*Le prove hanno raggiunto la profondità massima di 8.60 mt. dal piano campagna attuale.*

### **- 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 ( $\lambda$ ) 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 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:

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

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 Love.

#### **4.- STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO**

Al fine di valutare l' esatta successione stratigrafica dei terreni in esame sono state eseguite, complessivamente, **n° 4 prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)** ubicate come da planimetria allegata.

Le nozioni di carattere generale riportate precedentemente 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), unitamente alle risultanze delle indagini geognostiche reperite al contorno dell'area d'intervento.

Dalle risultanze dell' indagine geognostica condotta, si evince che i litotipi ghiaioso – sabbiosi rinvenibili a debole profondità (peraltro di spessore esiguo) sono stratigraficamente sovrastanti i limi argillosi sovraconsolidati formazionali.

Tutti i summenzionati litotipi si susseguono dal piano campagna fino alla massima profondità investigata (8.60 metri).

I risultati hanno evidenziato una stratigrafia così schematizzabile:

##### **- D.P.S.H. n° 1**

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| - dal p.c. a – 1.00 m | - Terreno vegetale limo – argilloso, alterato.  |
| - da –1.00 ÷ 1.80 m   | - Ghiaie eterometriche, calcaree, in matrice sabbioso - limosa con intercalazioni limo – sabbiose, eterometriche. |
| - da –1.80 ÷ 4.20 m   | - Limi argillosi / argille limose del substrato formazionale decompresso.   |

- da - 4.20 m alle profondità investigate.
- **D.P.S.H. n° A**
- dal p.c. a - 2.00 m
- da -2.00 ÷ 2.80 m
- da -2.80 ÷ 3.60 m
- da - 3.60 m alle profondità investigate.
- **D.P.S.H. n° B**
- dal p.c. a - 1.40 m
- da -1.40 ÷ 2.80 m
- da -2.80 ÷ 5.00 m
- da - 5.00 m alle profondità investigate.
- **D.P.S.H. n° C**
- dal p.c. a - 1.60 m
- da -1.60 ÷ 3.60 m
- da -3.60 ÷ 7.80 m
- da - 7.80 m alle profondità investigate.
- Limi argillosi tendenti a marnosi tel substrato formazionale pliocenico.
- Terreno vegetale limo - argilloso, alterato.
- Ghiaie eterometriche, calcaree, in matrice sabbioso - limosa con intercalazioni limo - sabbiose, eterometriche.
- Limi argillosi / argille limose del substrato formazionale decompresso.
- Limi argillosi tendenti a marnosi tel substrato formazionale pliocenico.
- Terreno vegetale limo - argilloso, alterato.
- Ghiaie eterometriche, calcaree, in matrice sabbioso - limosa con intercalazioni limo - sabbiose, eterometriche.
- Limi argillosi / argille limose del substrato formazionale decompresso.
- Limi argillosi tendenti a marnosi tel substrato formazionale pliocenico.
- Terreno vegetale limo - argilloso, alterato.
- Ghiaie eterometriche, calcaree, in matrice sabbioso - limosa con intercalazioni limo - sabbiose, eterometriche.
- Limi argillosi / argille limose del substrato formazionale decompresso.
- Limi argillosi tendenti a marnosi tel substrato formazionale pliocenico.

Per una visione di dettaglio si rimanda al grafico penetrometrico allegato a fine relazione.

Nei fori di sondaggio, nel corso dell'indagine geognostica (Novembre 2021 ÷ 2023), è stata rinvenuta la presenza di un livello freatico alla profondità di - 2.60 ÷ 2.90 mt. dal p.c. (Maggio 2023).

Tuttavia, in considerazione della situazione morfologica dell'area (lotto posizionato in prossimità del Fiume Uso ed ai piedi del pendio) nonché della sensibile permeabilità dei terreni superficiali, nel corso dell'anno e delle varie situazioni metereologiche si potranno avere variazioni anche rilevanti e relativamente veloci.

## **5.- GEOTECNICA**

### **5.1.- Parametri geotecnici**

Le caratteristiche ed i parametri geotecnici dei diversi orizzonti litologici presenti nell'area in esame sono stati determinati in base ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite, dalle conoscenze dei terreni in esame, dalle conoscenze geotecniche su terreni analoghi e limitrofi, nonché da notizie bibliografiche sulla zona rammentando che la distinzione in strati, dal punto di vista geotecnico, è in funzione del comportamento coesivo od incoerente dei litotipi.

In questo ambito non vengono considerati livelli che, dal punto di vista litologico, non possano essere riconducibili a terreni marcatamente coesivi o incoerenti ed il cui comportamento ibrido è difficilmente riconducibile a correlazioni tra  $R_p - \Phi$  ed  $R_p - c_u$ . Tali orizzonti se di ridotto spessore o presenti sotto forma di livelli, non sono in grado di influenzare il comportamento di grandi masse di terreno. Risultano invece determinanti nei processi di stabilità (versanti e/o fronti di scavo) e qualora siano sottoposti a carichi puntuali.

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici nei terreni granulari partendo da correlazioni tra la resistenza alla punta  $R_p$ , l'angolo d'attrito interno  $\Phi$ , la densità relativa  $D_r$  e il modulo edometrico  $E_d$ , il sono i seguenti:

**- Angolo di resistenza al taglio  $\Phi$ .**

$$\text{De Beer} \quad \Phi = 5.9 + 4.76 * (R_p / \sigma_v')$$

$$\text{Caquot} \quad \Phi = 9.8 + 4.96 * (R_p / \sigma_v')$$

$$\text{Robertson e Campanella (1893,1990)} \quad \Phi = \arctan ((0.1 + 0.38 \log (R_p / \sigma_v')))$$

**- Densità relativa**

$$\text{Schmertmann } D_r(\%) = - 97.6 + 36.6 \ln (R_p) - 26.9 \ln (\sigma_v')$$

Lancellotta  $Dr(\%) = -98 + 66 \ln(Rp) - \log(Rp / (\sigma_v'^{0.5}))$

**- Modulo edometrico**

Robertson e Campanella  $Ed (Kg/cm^2) = 0.03 * Rp + 11.7 \ln(\sigma) + 0.79 Dr\%$

Per ciò che concerne le correlazioni attinenti i terreni coesivi, vengono di seguito proposte le correlazioni tra la resistenza alla punta ( $R_p$ ) della prova statica e la resistenza laterale ( $R_l$ ), tra la  $R_p$  e la coesione non drenata ( $C_u$ ) ed infine tra la  $R_p$  ed il modulo edometrico.

**- Coesione non drenata  $C_u$ .** Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di

Lunne ed Eide (1976)  $C_u = (R_p - \sigma_v) / K$

Begemann  $C_u = (R_p - \sigma_v) / N_c$

dove " $\sigma_v$ " è la pressione litostatica alla profondità di misura della  $R_p$  ed  $N_c$  è compreso tra 15 e 25.

**- Modulo Edometrico  $Ed$ .** Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di Sanglerat (1972) ove il valore di  $Ed$  (in  $Kg/cm^2$ ) è uguale al rapporto di  $R_p$  per un coefficiente  $\alpha$  che assume valori differenti in relazione alla litologia.

$$Ed = \alpha * Rp$$

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.

**Terreno vegetale limo - argilloso, alterato (dal p.c. a - 1.00 ÷ 2.00 mt.):**

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico  $X_{k\phi} = 16^\circ$

Coesione drenata

Valore caratteristico  $X_{kc'} = 0.00 \div 0.03 Kg/cm^2$

Peso di volume

$Y = 1.9 Kg/cm^3$

Peso di volume immerso

$Y' = 0.9 Kg/cm^3$

Angolo di attrito

Coesione in sforzi totali

Valore caratteristico  $X_{kcu} = 0.02 \div 0.30 Kg/cm^2$

Modulo edometrico

$E_{ed} = 21.42 \div 32.12 Kg/cm^2$

Modulo elastico

$E_i = 17.14 \div 25.70 Kg/cm^2$

Modulo Poisson	$Mv = 0.40 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Winkler	$W = 2.1 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 5.86 * 10^{-5} \text{ cm/sec.}$

**Ghiaie e sabbie con intercalazioni limo – sabbiose eterometriche (da -1.00 ÷ 2.00 a -1.80 ÷ 3.60 mt.):**

Valore caratteristico	$Xk\phi = 27 \div 32^\circ$
Coesione drenata	$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
Modulo Poisson	$Mv = 0.30$
Modulo di Winkler	$W = 3.2 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 5.18 * 10^{-3} \text{ cm/sec.}$

**Limi – argillosi / argille – limose del substrato formazionale decompresso (da -1.80 ÷ 3.60 mt. a -3.60 ÷ 7.80 mt.).**

Angolo di attrito interno c.d.	
Valore caratteristico	$Xk\phi = 19^\circ$
Coesione drenata	
Valore caratteristico	$Xkc = 0.10 \div 0.14 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 2.00 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 1.00 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 0.53 \div 1.20 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Eed = 56.12 \div 91.84 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo elastico	$Ei = 44.90 \div 73.47 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.32 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Winkler	$W = 2.3 \text{ Kg/cm}^3$

**Limi argillosi tendenti a marnosi del substrato formazionale pliocenico (da -3.60 ÷ 7.80 mt. alle profondità investigate).**

Angolo di attrito interno c.d.	
Valore caratteristico	$Xk\phi = 21^\circ$
Coesione drenata	
Valore caratteristico	$Xkc = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 2.10 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 1.10 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu \geq 2.50 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Eed = 204 \text{ Kg/cm}^2$



Modulo elastico	$E_i = 194 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$M_v = 0.30 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Winkler	$W = 3.6 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 9.26 \cdot 10^{-9} \text{ cm/sec.}$

## 6.- NORME SISMICHE

### 6.1- Il quadro normativo di riferimento

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 17 gennaio 2018 recante "norme tecniche per le costruzioni", entrata in vigore a partire dal 22 marzo 2018.

La classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna introdotta ai sensi del punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, prevede che il territorio nazionale sia suddiviso in quattro zone sismiche, caratterizzate da quattro diversi valori di accelerazione ( $a_g$ ).

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A" sono individuate quattro zone sismiche orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima al suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s_{30}} > 800 \text{ m/s}$  secondo lo schema seguente. I valori di accelerazione delle quattro zone sismiche sono maggiormente specificati rispetto all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 secondo la schema di seguito proposto (tabella 6.1.1):

**Tabella 6.1.1: Valori di accelerazione al suolo  $a_g$**

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ ) – OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g$ ) – OPCM 3472
1	$0.25 < a_g \leq 0.35$	0.35
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$	0.25
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$	0.15
4	$\leq 0.05$	0.05

Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità dei comuni interessati dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 6.1.2).

**Tabella 6.1.2. Classificazione della sismicità del comune e valore dell'accelerazione al suolo  $a_g$**

Zona	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica OPCM 3274/2003	$a_g$
SANTARCANGELO	II	2	0.25 <sub>g</sub>

### 6.1.1.- Azione sismica di progetto

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

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

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

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria del sottosuolo e topografica, è quindi definito mediante l'accelerazione massima ( $A_{max}$ ) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa.

Nel caso oggetto di studio si ha:

$$S = S_s * S_t = 1.420 * 1.000 = 1.420$$

$$A_{g_{max}} = A_g * S = 0.184 * 1.420 = 0.261$$

### 6.1.2- Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso,

includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la

costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 6.1.2.1.

**Tabella 6.1.2.1. – Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato**

<b>Stati limite</b>		<b>Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato</b>	
<b>Stati limite di esercizio</b>	<b>SLO</b>	<b>81%</b>	
	<b>SLD</b>	<b>63%</b>	
<b>Stati limite ultimi</b>	<b>SLV</b>	<b>10%</b>	
	<b>SLC</b>	<b>5%</b>	

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

### **6.1.3.- Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche** **Categorie di sottosuolo**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

**Tabella 6.1.3.1. – 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- Deposit**i 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- Deposit**i 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.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell' opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Per quanto riguarda l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dall'espressione:

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

Nelle precedenti espressioni si indica con:

$h_i$  = 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.

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 6.1.3.3.):

**Tabella 6.1.3.3.–** Categorie topografiche

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ = i = 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le susposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

### 6.2.- Coefficienti sismici

In questa sede si fornisce un modello geologico e geotecnico allo Strutturista nel qual modello ad ogni strato vengono assegnati i parametri geotecnici medi caratteristici, competenti.

Tali valori sono validi esclusivamente per la porzione di terreno sottostante le fondazioni.

<b>Stato Limite</b>	<b>Tr (anni)</b>	<b><math>A_g(g)</math></b>	<b>Fo</b>	<b>Tc* (s)</b>
S.L. Operatività (SLO)	30	0.055	2.454	0.267
S.L. Danno (SLD)	50	0.069	2.438	0.285
S.L. Salvaguardia Vita (SLV)	475	0.184	2.444	0.316
S.L. Prevenzione Collasso (SLC)	975	0.243	2.447	0.325

### Coefficienti sismici – Determinazione

a)- Categoria sottosuolo: **C**;

b). Categoria topografica: **T1**.

<b>Coefficienti</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
Ss Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.43	1.34
Cc Coefficiente funz. Categoria	1.62	1.59	1.54	1.52
St Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

<i>Kh</i>	0.016	0.021	0.063	0.091
<i>kv</i>	0.008	0.010	0.032	0.046
<i>Amax (m/sec<sup>2</sup>)</i>	0.808	1.020	2.596	3.193
<i>B</i>	0.200	0.200	0.240	0.280

Per valutazioni delle capacità portanti e relativi cedimenti, si rimanda alla relazione geotecnica a firma dello Strutturista.

## 7.- PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.

In alternativa ai metodi analitici 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 recentemente 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- 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.**

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:

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

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 indagine sismica 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 **291 m/sec**.

## 8.- VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La zona oggetto di studio, come in precedenza ricordato, è caratterizzata dalla presenza, al di sotto del piano di fondazione, di depositi granulometricamente compresi tra ghiaie (a variabile grado di addensamento) sovrastanti limi argillosi, sovraconsolidati, del substrato formazionale pliocenico.

L'area in esame si trova su di un terreno completamente pianeggiante, privo di problemi tettonici.

Si è quindi provveduto a verificare la possibilità di liquefazione secondo il metodo proposto da **Robertson e Wride (1997)**.

Tale metodo utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo IC che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = [(3.47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1.22)^2]^{0.5}$$

$$Q = q_c - \sigma'_{v0} / Pa * (Pa / \sigma'_{v0})^n$$



$$R_f = fs / (q_c - \sigma'_{v0}) * 100$$

dove:

$q_c$  = è la resistenza della punta misurata;

$Pa$  = è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{v0}$ ;

$fs$  = è l'attrito del manicotto

$n$  = è un esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$  come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di IC con la formula sopra riportata.

Se  $IC > 2.6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma dato che il suolo non è liquefacibile.

Se  $IC = 2.6$  vuol dire che l'ipotesi assunta è errata ed IC deve essere ricalcolato nuovamente con la seguente formula:

$$Q = (q_c / Pa) * (q_c - \sigma'_{v0})^n$$

Si presume che il terreno sia granulare e si assume  $n = 0.5$ .

Se è ancora  $IC = 2.6$  significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $IC > 2.6$  vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata ed il suolo è probabilmente limoso. IC deve essere nuovamente ricalcolato ponendo  $n = 0.75$ .

Calcolato IC si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = (q_c / Pa) * (Pa / \sigma'_{v0})^n$$

dove  $n$  è lo stesso del calcolo di  $I_c$ .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata con le:

se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride classico:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c / q_{c1N}$$

$$K_c = -0.403 / c^4 + 5.581 / c^3 - 21.63 / c^2 + 33.75 / c - 17.88$$

se il metodo utilizzato è il Robertson e Wride modificato:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$q_{c1N} = (K_c / 1 - K_c) q_{c1N}$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine,  $FC$  (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC = 5$$

$$K_c = 0.0267(FC-5) \quad \text{per } 5 < FC = 35$$

$$K_c = 0.8$$

per  $FC > 35$

$FC$  (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1.75 / (I_c)^{3.25} - 3.7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7.5 ( $CRR_{7.5}$ ) si calcola nel modo seguente:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0.833 [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0.05$$

se  $50 = (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^2 + 0.08$$

Il rapporto di sforzo ciclico  $CSR$  si calcola a partire dal numero di colpi della prova SPT anche se oggi si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando le prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio  $V_s$ .

$MSF$  si calcola come raccomandato dal NCEER, ovvero:

<i>Magnitudo</i>	<i>NCEER (Seed R.B. et al.) (1997; 2003)</i>
5.5	2.21
6.0	1.77
6.5	1.44
7.0	1.19
7.5	1.00
8.0	0.84
8.5	0.73

Mentre il coefficiente  $R_d$  è calcolato mediante la seguente procedura:

se  $z < 9.15$  m

$$r_d = 1.0 - 0.00765 z$$

se  $9.15 = z < 23$  m

$$r_d = 1.174 - 0.00267 z$$

dove  $z$  è la profondità in metri.

Si calcola  $F_s$  con la seguente espressione:

$$F_s = CRR / CSR$$

*Mentre l'indice e il rischio di liquefazione con la procedura proposta da Iwasaki et alii.*

*Nel caso specifico, sulla base dei risultati forniti dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite in situ, non si rilevano orizzonti in cui il valore di  $F_s$  risulti inferiore a 1.30.*

## **9.- CONCLUSIONI**

*L'indagine svolta ha evidenziato la presenza nell'area interessata dall'intervento di ampliamento ed ammodernamento dell'Azienda agricola, di terreni limosi variamente consistenti, passanti a modesta profondità a ghiaie (a variabile grado di addensamento) sovrastanti limi argillosi, sovraconsolidati, del substrato formazionale pliocenico.*

*Lo studio preliminare e' stato condotto sulla base dei risultati ottenuti dall'esecuzione di n° **1 prova penetrometrica dinamica pesante (D.P.S.H.)** condotta a Novembre 2021 nell'ambito di un precedente lavoro commissionato a codesto Studio.*

*Successivamente (Maggio 2023), sono state condotte ulteriori n° **3 prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)** che hanno raggiunto la **profondità massima di 8.60 mt. dall'attuale p.c.** per effetto della presenza di litotipi limo – argillosi tendenti a marnosi, del substrato formazionale pliocenico.*

*Nei fori di sondaggio, nel corso dell'indagine geognostica (Novembre 2021 ÷ 2023), è stata **rinvenuta la presenza di un livello freatico alla profondità di – 2.60 ÷ 2.90 mt. dal p.c.** (Maggio 2023).*

*Tuttavia, in considerazione della situazione morfologica dell'area (lotto posizionato in prossimità del Fiume Uso ed ai piedi del pendio) nonché della sensibile permeabilità dei terreni superficiali, **nel corso dell'anno e delle varie situazioni metereologiche si potranno avere variazioni anche rilevanti e relativamente veloci.***

*Per la parametrizzazione geotecnica dei terreni si è fatto riferimento alle correlazioni con  $R_p$  e  $C_u$  dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite.*

*Sulla base dei risultati forniti dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite in situ, non si rilevano orizzonti in cui il valore di  $F_s$  risulti inferiore a 1.30.*

*Il Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. del 14.01.2008 e successivo aggiornamento del D.M. del 17.01.2018 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 8 del 20.02.2018), dell'OPCM e dell'EC8, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, sulla base del profilo stratigrafico indagato, consente di inquadrare il suolo di fondazione entro la categoria:*

***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.***

*Si ricorda che l'area è inserita in zona sismica di II categoria ( $S = \text{grado di sismicità} = 9$ ).*

*In questa sede, la velocità di  $V_{S30}$  è calcolata è stata calcolata partendo da n° **1 indagine geofisica 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  $V_{s_{30}}$  emerge un valore di  $V_{s_{30}}$  (modello medio) pari **291 m/sec.**

Si raccomanda infine di attuare una efficiente rete drenante che allontani rapidamente le acque meteoriche e reflue verso punti di minimo morfologico evitandone il ristagno e la conseguente infiltrazione verso le opere di fondazione.

Pertanto, sulla base delle verifiche e considerazioni sopra esposte si può affermare che l'intervento in progetto non inciderà sul quadro generale di stabilità e situazione idrogeologica della zona per cui si esprime parere positivo di fattibilità.

Infine, per qualsiasi problema geologico in cantiere durante le fasi di scavo o per l'eventuale ritrovamento di condizioni geologiche e geotecniche difformi da quelle prospettate con l'esecuzione della prova penetrometrica, si consiglia la presenza di un Geologo in cantiere.

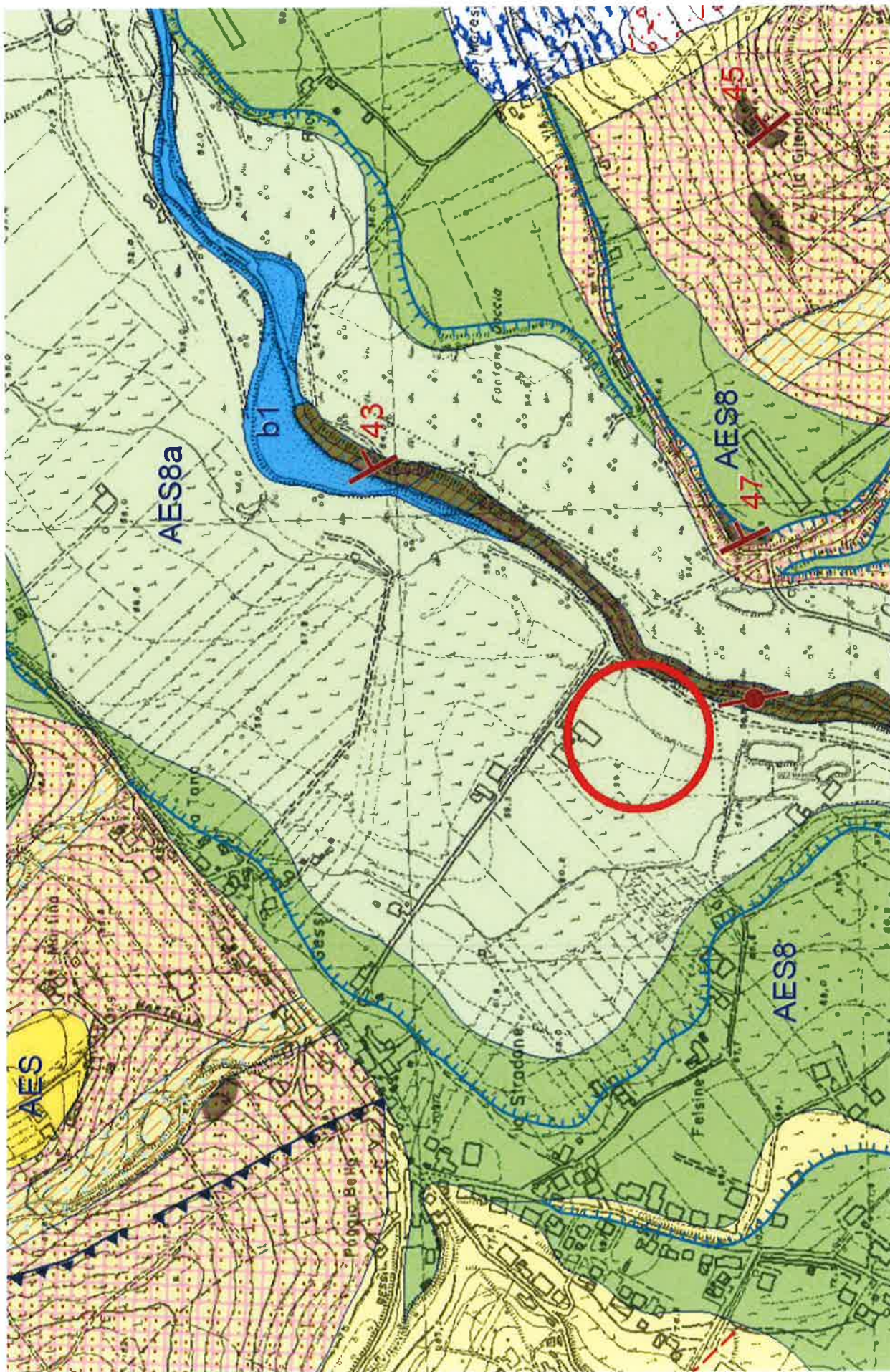
Santarcangelo di R., Luglio 2023.



**RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE ALLEGATA AL PROGETTO PER  
L'AMPLIAMENTO ED AMMODERNAMENTO DELL'AZIENDA AGRICOLA  
UBICATA IN LOCALITA' STRADONE, PRESSO VIA TANA N° 431, IN COMUNE DI  
SANTARCANGELO - RN -.**

**ALLEGATI**







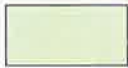

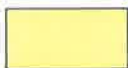
## SEZIONE 256130 - BORGHI










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

### Depositi quaternari continentali



	a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento
	a1e - Deposito di frana attiva per colamento rapido
	a1g - Deposito di frana attiva complessa
	a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
	a3 - Deposito di versante s.l.
	b1 - Deposito alluvionale in evoluzione
	i1 - Conoide torrentizia in evoluzione

### Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano


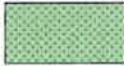
	AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore
	AES8 - Subsintema di Ravenna
	AES8a - Unità di Modena
	AES7 - Subsintema di Villa Verucchio
	AES6 - Subsintema di Bazzano
	AES5 - Subsintema di Torre Stagni
	FAA - Argille Azzurre
	FAAap - Argille Azzurre - litofacies arenaceo-pelitica
	FAA1a - Argille Azzurre - litofacies arenacea di Lardiano

	FAAmc - Argille Azzurre - litofacies delle marne di Corpolò
	FAA2p - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea
	FAA2ap - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica
	FAA2ar - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenacea organogena
	FAA2e - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra
	gh - Olistoliti di GHL
	ge - Olistoliti di GES
	gh - Olistoliti di GHL
	gh - Olistoliti di GHL

### Successione epiligure

	AQV - Formazione di Acquaviva
	SMN - Formazione di San Marino

### Unità liguri

	MLL - Formazione di Monte Morello
	AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia

---

## ***In Provincia di Forlì-Cesena***

### 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.



### **a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

### **a1e - Deposito di frana attiva per colamento rapido**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più granulari. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili. Le colate di detrito sono più rare.

### **a1g - Deposito di frana attiva complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

### **a2b - Deposito di frana quiescente 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.

### **a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

### **a2g - Deposito di frana quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

### **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).

### **i1 - Conoide torrentizia in evoluzione**

Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e valleciole trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia.

## Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

### **AES8 - Subsistema 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 subsistemi 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 decarbonatato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Lo spessore massimo dell'unità è genera

*Olocene*

### **AES7 - Subsistema di Villa Verucchio**

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale, piana intravalliva e conoide alluvionale. Depositi organizzati in diversi ordini di terrazzo. Il tetto dell'unità è generalmente rappresentato da suoli non calcarei molto evoluti di colore bruno scuro. Il limite inferiore è erosivo e discordante sui depositi sottostanti. Nel sottosuolo di pianura l'unità corrisponde ad un ciclo trasgressivo-regressivo costituito da una porzione basale, di pochi metri, di sabbie litorali (Tirreniano Auct.) e argille e limi palustri; una porzione intermedia contenente limi-sabbiosi, limi ed Lo spessore massimo è di 10 m circa.

*Pleistocene medio - sup.*

### **AES6 - Subsistema di Bazzano**

Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limo-argillosi di terrazzo intravallivo e di conoide alluvionale. Al tetto suoli decarbonatati con fronte di alterazione fino a 5-7 m, colore variabile da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Nel sottosuolo di pianura (Foglio256): unità correlata, su base geometrica, ad un ciclo trasgressivo-regressivo costituito da: una porzione basale di argille e limi palustri; una porzione intermedia contenente limi sabbiosi, limi ed argille di argine, rot Potenza inferiore ai 20 m in affioramento e circa 60 m nel sottosuolo della pianura.

*Pleistocene medio*

### **AES5 - Subsistema di Torre Stagni**

Depositi ghiaioso-sabbiosi, limosi e limo argillosi di terrazzo intravallivo e conoide alluvionale; contengono diverse intercalazioni di suoli. Al tetto suoli decarbonatati di colore bruno giallastro o bruno scuro spesso con fronte di alterazione fino a 10 m, a luoghi rubefatti, al di sotto dei quali possono essere presenti diversi suoli non calcarei meno sviluppati. Contatto inferiore erosivo e in discontinuità su unità più antiche. Spessore massimo di circa 20 m.

*Pleistocene medio*

### **FAA - Argille Azzurre**

Argille, argille marnose, localmente siltose, marne argillose e siltose, grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione; locali intercalazioni di sabbie fini in strati sottili o medi. Talora livelli a slump. Nella parte inferiore della formazione localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Frequenti microfossili; variabile la concentrazione di malacofauna a Gasteropodi e Lamellibranchi, sia come biosomi che come bioclasti. Presenti anche blocchi di aq (AQV-Formazione di Acquaviva), costituita da torbiditi arenaceo-marnoso-pelitiche con marne a forte componente carbonatica. L'ambiente di sedimentazione varia da piattaforma, localmente litorale, a scarpata. Foraminiferi planctonici appartenenti nei vari livelli alle zone a Globorotalia margaritae, G. punctulata, G. bononiensis, G. crassaformis, G. inflata e Hyalinea baltica Contatto inferiore graduale rapido su CEA, paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza fino a 1000 m circa.

*Pliocene inf. - Pleistocene inf.*

### **FAA2p - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea**

Prevalenti argille ed argille marnose grigio-azzurre, siltose, fossilifere, in strati molto sottili e sottili, con sottilissimi livelli di sabbie fini, intensamente bioturbate; rari intervalli pelitico-arenacei, con arenarie giallastre, molto sottili ( $A/P < 1/2$ ). Nell'area del Foglio 255 torbiditi pelitico-arenacei ( $A/P$  1/2 alla base e al tetto, oltre 2/1 nell'intervallo centrale); argille marnose, siltose e sabbiose; arenarie grigie, giallastre se alterate, poco cementate, in strati sottili e medi, con abbondanti biosomi e bioclasti grossolani; saltuarie calcareniti con clasti quarzosi e argille marnose, siltose e sabbiose; presenti strati con abbondanti microfossili e minor contenuto in sabbia e silt (emipelagiti); diffusi macrofossili rimaneggiati.

*Pliocene inf.*

### **FAA2ap - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica**

Alternanze di peliti e peliti sabbiose grigie, localmente marnose, fortemente fossilifere, biancastre all'alterazione, e arenarie grigio-giallastre in livelli sottili e medi, per lo più poco cementate ( $A/P$  variabile da 1/2 a 2); talora arenarie prevalenti in strati da spessi a molto spessi, mal definiti, a laminazione inclinata e con livelli di tritume conchigliare, o livelli siltosi. Nell'area del Foglio 255 alternanze arenaria-pelite ( $A/P$  da 2/1 a 3/1), in strati sottili; localmente gli strati sono amalgamati ( $A/P$  fino a 10). Nell'area del Foglio 266 possono essere presenti corpi arenacei lenticolari intercalati alle argille, costituiti da arenarie a granulometria da medio-fine a medio-grossolana, di colore giallastro ( $A/P > 1$ ).

*Pliocene inf.*

### **FAA2ar - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenacea organogena**

Torbiditi arenacei ad alta componente organogena. Si tratta di un corpo lenticolare con spessore di alcune decine di metri.

*Pliocene inf.*

### **FAA2e - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra**

Peliti provenienti prevalentemente da FAA con frammenti e blocchi provenienti anche da AVS; accumulo caotico con matrice argillosa prevalentemente varicolorata e clasti di calcilutiti, marne e marne calcaree grigio-chiare o biancastre; argilliti rosso-scure, rosate, verdi, nerastre, in strati molto sottili e sottili; arenarie fini, grigie; torbiditi arenaceo-marnose con alta componente carbonatica; calcilutiti silicee grigie, gradate, in strati medi e spessi; calcilutiti marnose grigio-chiare in strati spessi. Presente un olistolite di GHL (gh). Spessore massimo di alcune centinaia di metri e forti variazioni laterali con rapide chiusure.

*Pliocene inf.*

### **FCO - Formazione a Colombacci**

Argille, argille marnose e siltose, marne argillose, in strati sottili e medi, di colore biancastro, verdognolo, azzurro, grigio-verde, violaceo o nero, con rari microfossili (per lo più Ostracodi e Lamellibranchi) e resti organici carboniosi; sabbie gradate in strati medi e spessi, spesso alterate e di colore giallo ocra, arenarie a cementazione scarsa in strati da sottilissimi a medi e in banchi con lenti di ghiaie alternate a siltiti marnose; subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari ( $A/P < 1/3$ ) e lamine calcaree o calcareo-marnose. Localmente presente uno slump (sl) dello spessore di qualche metro costituito da frammenti carbonatici, conglomerati, arenarie e peliti. Localmente sono presenti orizzonti guida di calcilutiti grigio-chiare ("colombacci", indicati come cl, cl1, cl2, cl3, cl4, cl5, cl6). Sono presenti olistoliti di GES (ge) e di GHL (gh). Depositi alluvionali e parali. Contatto inferiore discordante sulla successione epiligure, sulle liguridi, sulle unità umbro-marchigiano-romagnole, su GES. Su GHT il contatto può essere concordante, netto e coincidente con cl1, oppure discordante. Spessore variabile da 1 a 250 m.

*Messiniano medio - Messiniano sup.*

### **gh - Olistoliti di GHL**

*Pliocene inf.*

## Successione epiligure

### **AQV - Formazione di Acquaviva**

Arenarie grigio-giallastre a laminazione inclinata in potenti strati massivi, con livelli di conglomerati e argille parzialmente bituminose, localmente distinte come AQV1 (Membro argilloso-bituminoso).

*Tortoniano sup. - Messiniano inf.*

### **SMN - Formazione di San Marino**

Calcarei organogeni grigi e calcareniti ricche in bioclasti. Presenti livelli di arenite ibride e glauconitiche, ruditi polimitiche. Localmente sono presenti marne e arenarie fini. Possono essere presenti due livelli di debris flow (df) di spessore metrico, con clasti extraformazionali centimetrici in matrice sabbiosa grossolana. Il livello caotico superiore segna il limite con MFU. Potenza superiore ai 150m.

*Burdigaliano sup.*

## Unità liguri

### **MLL - Formazione di Monte Morello**

Calcari marnosi torbiditici chiari, calcareniti talvolta con base microconglomeratica, marne chiare, marne argillose e argille marnose grigio scuro, in strati da medi a molto spessi. Possono essere presenti anche strati di arenarie e areniti ibride, che a volte costituiscono la base degli strati calcilutitici. Contatti tettonici con SIL e generalmente anche con AVS. Potenza fino a 300m.

*Eocene inf. - medio*

### **AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia**

Argilliti e siltiti marnose tettonizzate grigio-verdi, nerastre e rosso scure, con subordinate arenarie e siltiti, calcilutiti e calcari marnosi e con blocchi budinati di calcilutiti bianche e verdini spesso brecciati, siltiti manganesifere, areniti grigie. Frattura scheggiata con numerosi piani di taglio pervasivi e superficie lucida. La potenza geometrica massima raggiunge i 400m, con probabili ripetizioni tettoniche.

*Cretacico inf. - Paleocene?*

---

## **In Provincia di Rimini**

### Depositi quaternari continentali

#### **a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato**

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

#### **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.

#### **a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

#### **a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato**

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

#### **a2b - Deposito di frana quiescente 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.

#### **a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

## **a2g - Deposito di frana quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

## **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

## **AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore**

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

*Pleistocene sup. - Olocene*

## **AES8 - Subsintema 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 traccimazioni 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*

## **AES7 - Subsintema di Villa Verucchio**

Depositi alluvionali terrazzati dati da ciottoli, sabbie e limi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale prevalenti (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 10 per mille. Limite superiore dato da un suolo non calcareo spesso fino a 2 m di colore bruno scuro e bruno rossastro. Limite inferiore dato, in affioramento, da una superficie di erosione fluviale che incide AES6 ed i depositi marini. Spessore massimo circa 10 m in affioramento e 80 m nel sottosuolo della pianura.

*Pleistocene medio - sup.*

## **AES6 - Subsintema di Bazzano**

Depositi alluvionali terrazzati dati da ciottoli, sabbie, limi ed argille. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale passanti a limi ed argille di origine fluviale e/o eluvio-colluviale di versante (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo. Limite superiore coincidente, in affioramento, con il piano topografico e dato da 2 suoli non calcarei sovrapposti. Spessore complessivo del fronte di alterazione di 5-6 m. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale che incide, in discordanza, i depositi marini sottostanti. Spessore massimo 10-15 metri in affioramento e circa 60 m nel sottosuolo della pianura.

*Pleistocene medio*

## **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)*

## **FAAap - Argille Azzurre - litofacies arenaceo-pelitica**

Arenarie grigio-giallastre in strati medi e fini, talora a geometria lenticolare, con gradazione normale, laminazione piano-parallela e incrociata; intercalati subordinati livelli pelitico-argillosi di colore grigio. Le arenarie sono a composizione silicoclastica con abbondanti frammenti fossili, livelli di tritume conchigliare e nuclei di arenarie a maggiore cementazione (cogoli). Le partizioni argillose possono essere fossilifere e bioturbate.

*Piacenziano - Gelasiano*

## **FAA1a - Argille Azzurre - litofacies arenacea di Lardiano**

Strati e pacchi di strati arenaceo-argillosi, con A/P da 3/1 a 5/1. Arenarie medio-fini e fini, grigie, talora nettamente gradate, poco cementate, in strati da sottili a spessi, con abbondanti frustoli carboniosi, biosomi, bioclasti e inclusi pelitici. Argille marnose, a volte laminate, in strati da molto sottili a medi, passanti talora ad argille sabbiose e siltose. Siltiti fittamente laminate, in letti sottili e molto sottili, con spalmature di materiale organogeno (diatomee, frustoli, ecc). Passano lateralmente a prevalenti argille e marne argillose con subordinati letti sottili e molto sottili di arenaria fine. Foraminiferi planctonici delle zone a Globorotalia bononiensis, G. aemiliana e G. crassaformis. Potenza 0-200 m.

*Pliocene medio - sup.*

## **FAAmc - Argille Azzurre - litofacies delle marne di Corpolò**

Argille marnose e marne siltose grigie e grigio-azzurre, in strati sottili poco evidenti, con intercalazioni di strati arenacei, da sottili a molto spessi, con evidenze di bioturbazione, alternate a strati sottili di silt argillosi con lamine sottilissime di marne tripolacee e tripoli bianchi, ricchi in fossili, organizzati in intervalli anche decametrici. Limite inferiore netto, probabilmente discontinuo, su FAA2. In rapporti di eteropia con la parte inferiore di FAA. Potenza massima di circa 450 m.

## **FAA2p - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea**

Prevalenti argille ed argille marnose grigio-azzurre, siltose, fossilifere, in strati molto sottili e sottili, con livelli di sabbie fini e siltiti, caratterizzate da intensa bioturbazione; rari intervalli pelitico-arenacei, con arenarie giallastre, molto sottili, e A/P < 1/2.

*Pliocene inf.*

## **FAA2ap - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica**

Alternanze di argille sabbiose grigie, localmente marnose, fortemente fossilifere, biancastre all'alterazione, e livelli siltosi o arenarie grigio-giallastre in livelli sottili e medi, poco cementate (A/P variabile da 1/2 a 2); talora arenarie prevalenti in strati da spessi a molto spessi con livelli di tritume conchigliare e nuclei a maggiore cementazione o corpi arenacei lenticolari intercalati alle argille, costituiti da arenarie a granulometria da medio-fine a medio-grossolana, di colore giallastro (A/P > 1)

*Pliocene inf.*

## **FAA2e - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra**

Peliti provenienti essenzialmente da FAA con frammenti e blocchi provenienti da argille varicolori; argilliti rosso-scure, rosate, verdi, nerastre, in strati molto sottili e sottili; arenarie fini, grigie; calcilutiti silicee grigie, gradate, in strati medi e spessi; calcilutiti marnose grigio-chiare in strati spessi.

*Pliocene inf.*

## Unità liguri

## **MLL - Formazione di Monte Morello**

Calcarei marnosi torbiditici chiari in strati medi o spessi; calcareniti talvolta con base microconglomeratica, stratificazione fine e bioturbazione, con frequenti controimpronte di fondo alla base degli strati, in particolare flute e groove casts; marne, marne argillose e argille marnose grigio scuro, a stratificazione sottile e colori che vanno dal nocciola al grigio. Localmente sono presenti livelli di calciruditi a nummuliti. Le intercalazioni pelitiche sono date da siltiti e argilliti siltose di colore grigio scuro, piuttosto fogliettate. Nella parte bassa della formazione marne e calcari marnosi rosa-rossastri alternati ad argilliti scure e policrome. Limite inferiore netto su SIL (in aree limitrofe), localmente direttamente su AVS.

*Eocene inf. - medio*

## **AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia**

Argilliti grigio-verdi, nerastre e rosso scure, recanti blocchi budinati di calcareniti, calcilutiti grigie o verdastre, areniti fini brune, siltiti di colore marrone scuro-rossastro e marne grigio-avana; marne e marne argillose di colore nero. Spessore non valutabile a causa dell'intensa tettonizzazione.

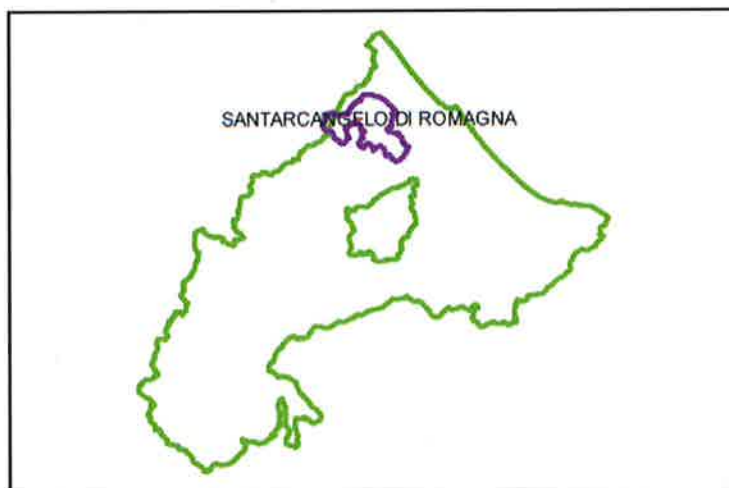
*Cretacico inf. - Paleocene?*

## AUTORITA' INTERREGIONALE DI BACINO MARECCHIA - CONCA

### **PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) PROGETTO DI VARIANTE 2016**

(Deliberazione del Comitato Istituzionale n°1 del 27.04.2016)

## Territorio del Comune di **SANTARCANGELO DI ROMAGNA**



### TAVOLA 1

Scala 1 : 10.000

**Il presente elaborato grafico non sostituisce i contenuti e l'efficacia degli elaborati di Piano del P.A.I..**

Elaborazione  
a cura dell'Autorità Interregionale  
di Bacino Marecchia - Conca

Segreteria Tecnico - Operativa

Luglio 2016







# Legenda



Confini comunali



Alveo (art.8)



Fascia con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni nella situazione pre-interventi (art. 9)



Fascia con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni nella situazione post-interventi (art. 9)



Fasce ad Alta Vulnerabilità Idrologica (art. 9)



Delimitazione della fascia di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni (art. 10)



Attraversamenti non adeguati



Numero progressivo

Corso d'acqua

16MA\_R3

Livello di rischio

(nel caso di ponti T5 o T2 a seconda della criticità a 50 o 200 anni)



Calanchi (art.14)



Abitati dichiarati da consolidare ex L.445/1908 nel territorio della Regione Emilia-Romagna (Art. 14, comma 3 lett. e; Art. 15, comma 3 lett. e; Art. 16, comma 3 lett. d)



Aree in dissesto per fenomeni in atto (art. 14)



Aree di possibile influenza del dissesto nelle frane di crollo (art. 15)



Aree di possibile evoluzione del dissesto e frane quiescenti (art. 16)

**NN\_R** Codice identificativo di area a rischio elevato e/o molto elevato (Perimetrazione di cui all'Allegato 2A)

**NN\_P** Codice identificativo di area a pericolosità elevata e/o molto elevata (Perimetrazione di cui all'Allegato 2B)

## Aree in dissesto da assoggettare a verifica (art. 17)



Attiva



Quiescente



Aree verificate (ex art. 17)



Frana non cartografabile attiva



Frana non cartografabile quiescente



**Autorità di Bacino**  
**Distrettuale del Fiume Po**  
Parma



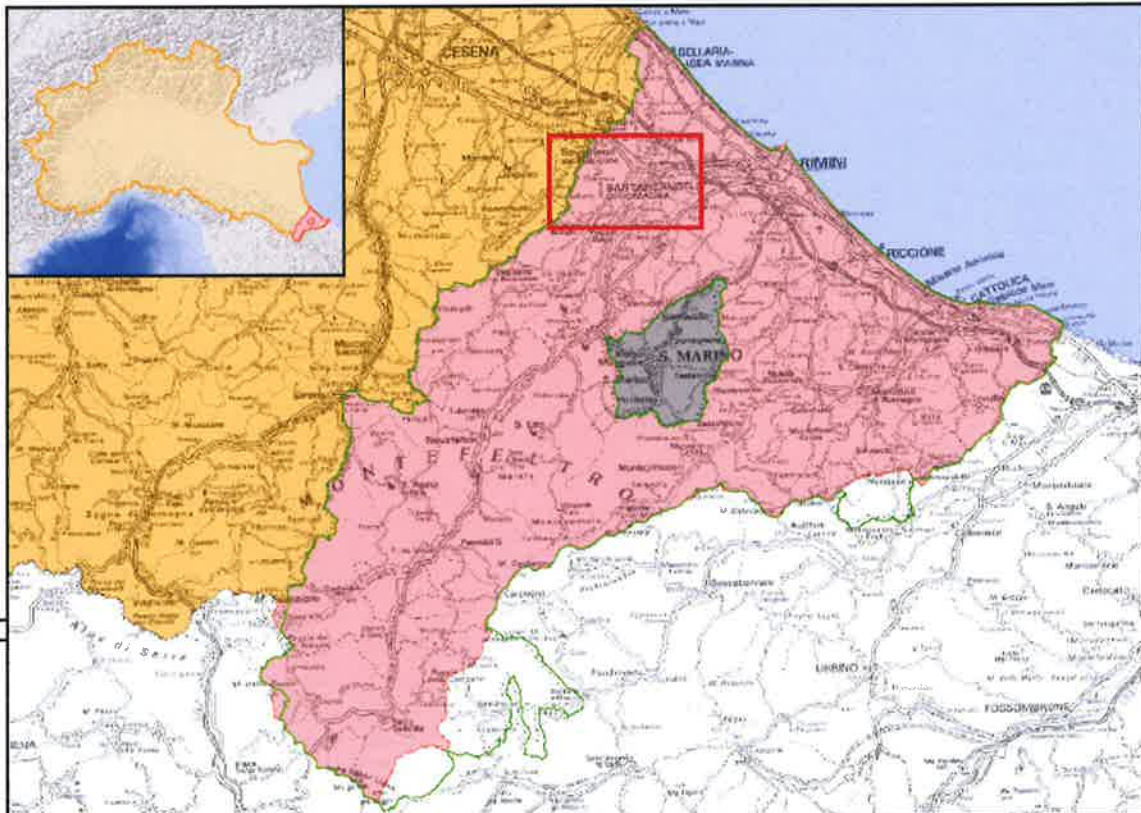
# **PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DEI BACINI MARECCHIA E CONCA**

## **Variante 2016**

**Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n°152**  
**DELIBERAZIONE DI ADOZIONE**  
**DELLA CONFERENZA ISTITUZIONALE**  
**PERMANENTE N. 2 DEL 18.11.2019**

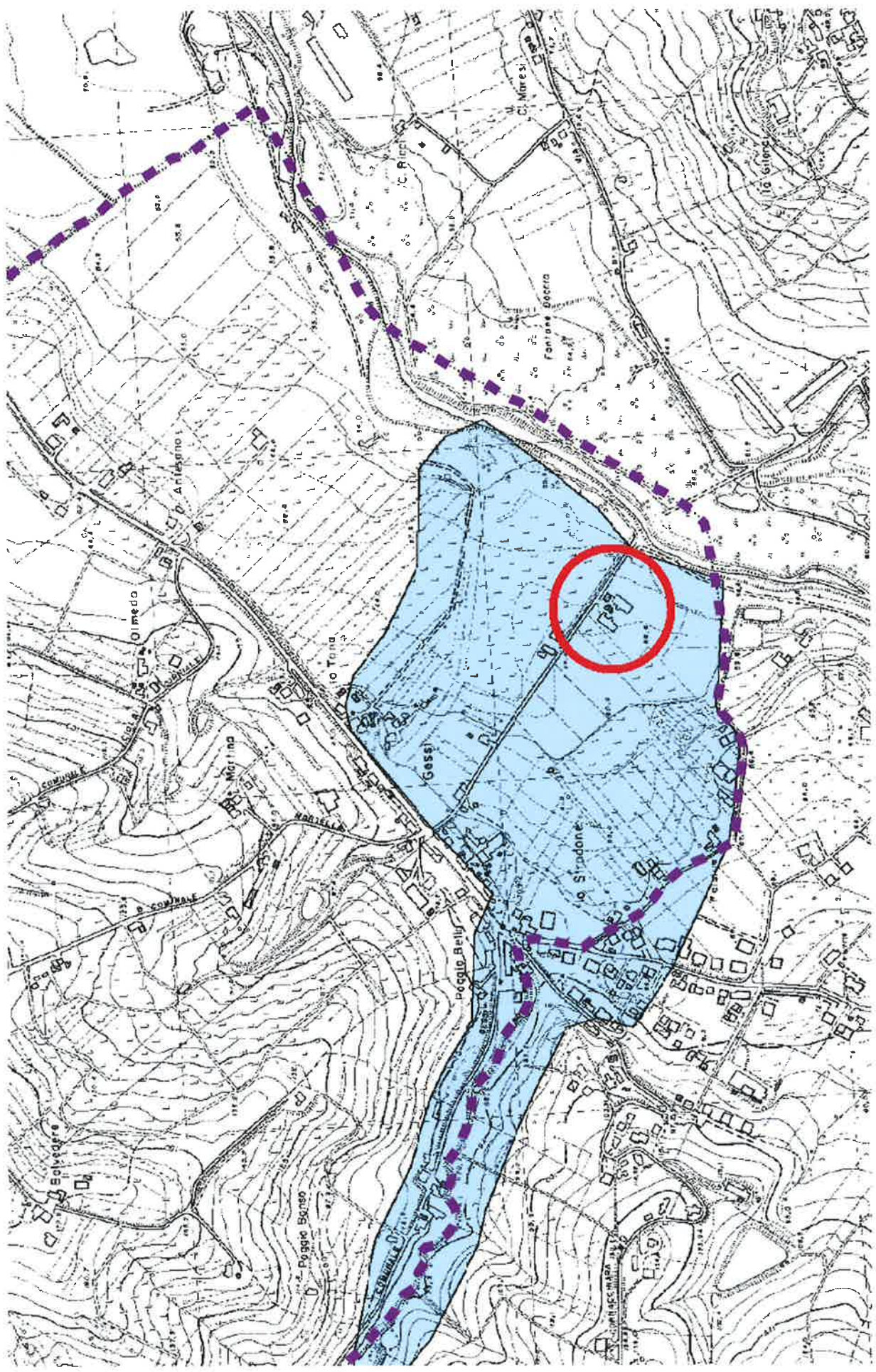
### **Santarcangelo**

**1 : 10000**



**Agosto 2020**





## Legenda



Confine comunale



Limite dell'Autorità di Bacino



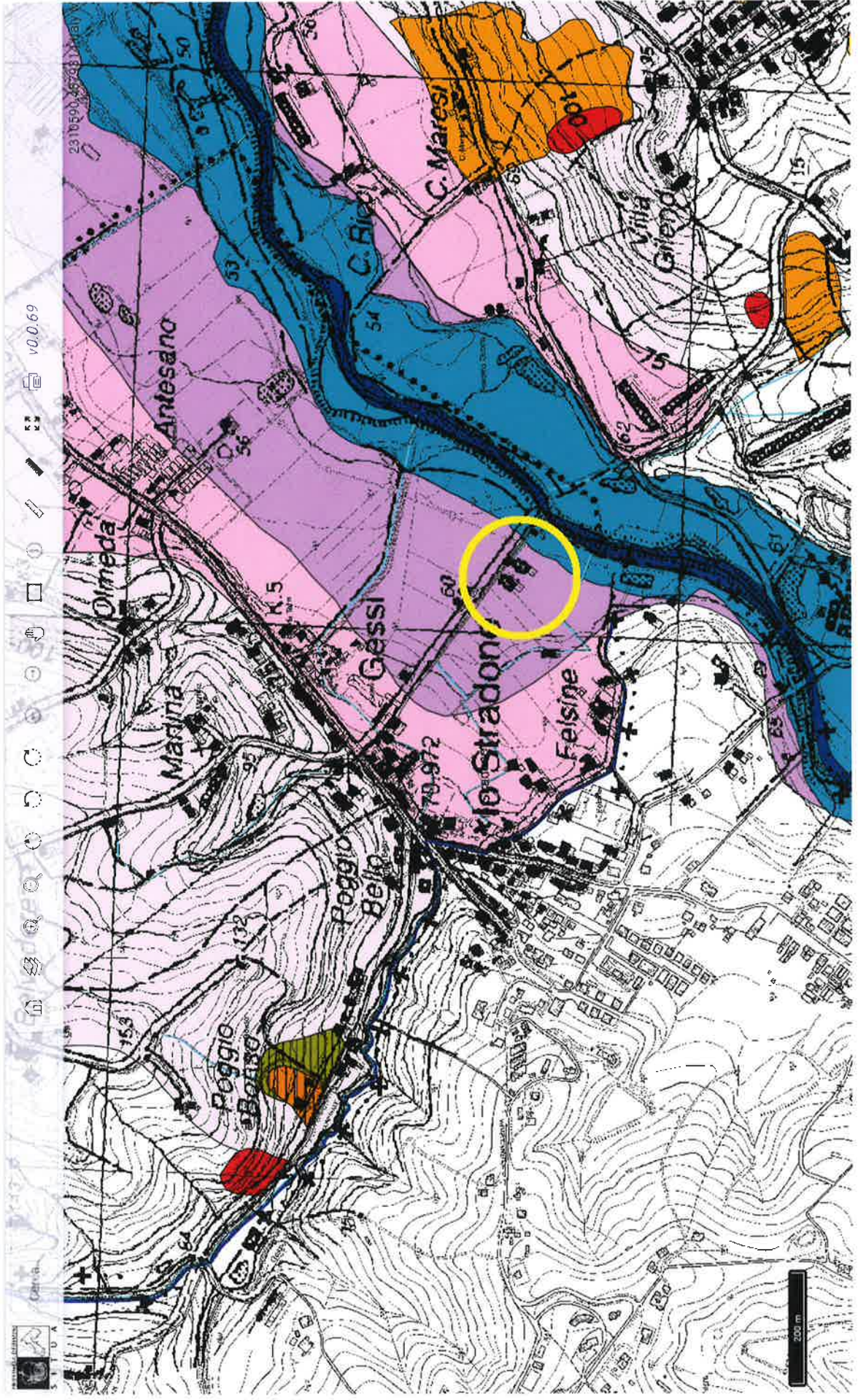
Alluvioni frequenti (pericolosità P3)



Alluvioni poco frequenti (pericolosità P2)

da **SITUA Rimini**  
**- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale - Tav. D (stralcio) -**







## Livelli

-  DBTR\_CtrMultiscala
-  PTCP\_1\_25000
-  Catasto
  -  a2\_7\_3\_particelle\_2018
  -  a2\_15\_3\_fabbricati
  -  a2\_5\_1\_civici\_3857
-  Vincolo\_Idrogeologico
  -  vincolo\_idrogeologico\_rev7
  -  a5\_19\_3\_buffer\_200m\_pozzi\_av
  -  a5\_18\_1\_pozzi\_idropotabili\_av
  -  a5\_16\_1\_pozzi\_idropotabili
  -  a5\_17\_3\_buffer\_200m\_pozzi
-  Tavola\_D\_PTCP
  -  AMBITI A PERICOLOSITA' IDRAULICA
    -  a5\_4\_2\_reticolo\_idrografico
      -  Reticolo idrografico minore
      -  Reticolo idrografico principale
    -  a5\_6\_3\_ambiente
      -  Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art. 2.2)
    -  a5\_12\_3\_aree\_esondabili\_art\_2\_3
  -  AMBITI A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA
    -  a5\_2\_2\_Scarpate (art. 4.1 comma 13)
    -  a5\_8\_3\_aree\_pericolosite\_agg\_lug2012\_controd
      -  Aree di possibile influenza di frane di crollo (art. 4.1 commi 3 e 7)
      -  Zone instabili per fenomeni di dissesto attivi verificati (art. 4.1 commi 3 e 7)
      -  Zone instabili per fenomeni di dissesto quiescenti verificati (art. 4.1 commi 6 e 7)
    -  a5\_9\_3\_perimetrazioni\_adb\_2008\_controd
      -  Aree di possibile influenza di frane di crollo (art. 4.1 commi 3 e 7)
      -  Zone instabili per fenomeni di dissesto attivi verificati (art. 4.1 commi 3 e 7)
      -  Zone instabili per fenomeni di dissesto quiescenti verificati (art. 4.1 commi 6 e 7)



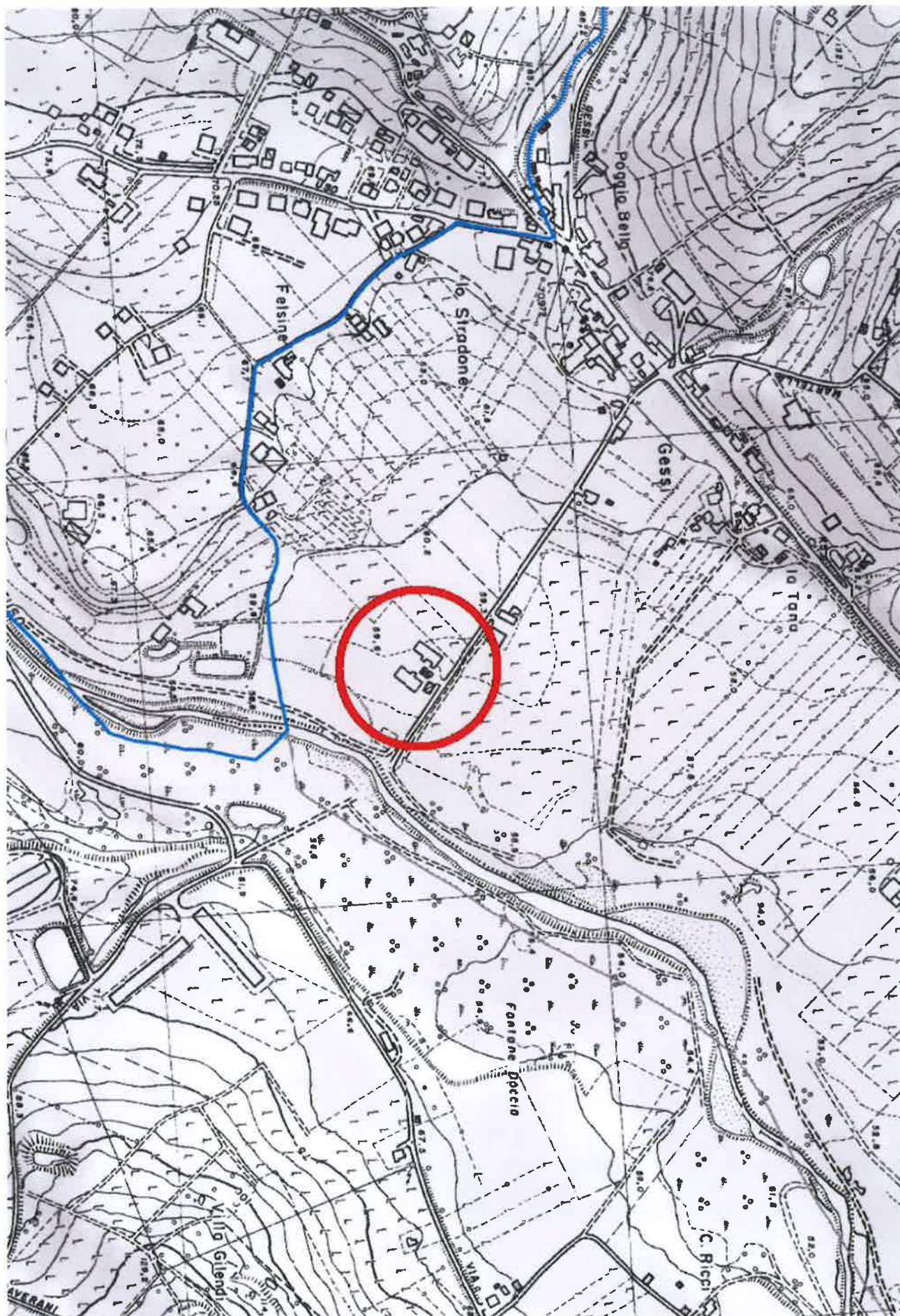
-  a5\_10\_3\_coperture
  -  Depositi di versante da verificare (art. 4.1 comma 10)
  -  Depositi di versante verificati (art. 4.1 comma 11)
  -  Zone instabili per fenomeni di dissesto attivi da verificare (art. 4.1 commi 3 e 7)
  -  Zone instabili per fenomeni di dissesto quiescenti da verificare (art. 4.1 commi 5 e 7)
  -  Depositi eluvio-colluviali e antropici (art. 4.1 comma 12)
  -  a5\_5\_3\_ambiti\_da\_consolidare (art. 4.2)
  -  a5\_7\_3\_calanchi\_var2011\_controd (art. 4.1 commi 3,4,7)
  -  a5\_11\_3\_aree\_pot\_instabili
-  AMBITI A VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA
  -  a5\_3\_3\_art\_3\_6\_bacino\_marecchia\_conca (art. 3.6)
  -  a5\_13\_3\_Aree di ricarica della falda idrologicamente connesse all'alveo ARA (art. 3.3)
  -  a5\_14\_3\_vulnerabilita
    -  Aree di ricarica diretta della falda ARD (art. 3.4)
    -  Aree di ricarica indiretta della falda ARI (art. 3.5)
    -  Bacini imbriferi BI (art. 3.5)
-  a2\_14\_3\_confineprovinciale
-  Sfondo
  -  Google Hybrid
  -  Google Terrain
  -  OSM TF Landscape
  -  Sfumo Altimetrico5x5
  -  Stamen Terrain-USA/OSM
  -  Agea2011\_RGB
  -  OCM Landscape
  -  Stamen Toner Lite/OSM
  -  Stamen Watercolor/OSM

**COROGRAFIA scala 1 : 25.000**



**COROGRAFIA scala 1 : 5.000**





**UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE**  
**(Prove penetrometriche dinamiche pesanti – D.P.S.H. –**

(Stralcio da Google Earth)





Tommaso Ranch Scuderia

Via Lancia

DPSH A

DPSH B

DPSH C

DPSH 1

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

## DPSH 1

cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - Stradone, via Tana

quota inizio: piano campagna

data: Novembre 2021

prof. falda: assente



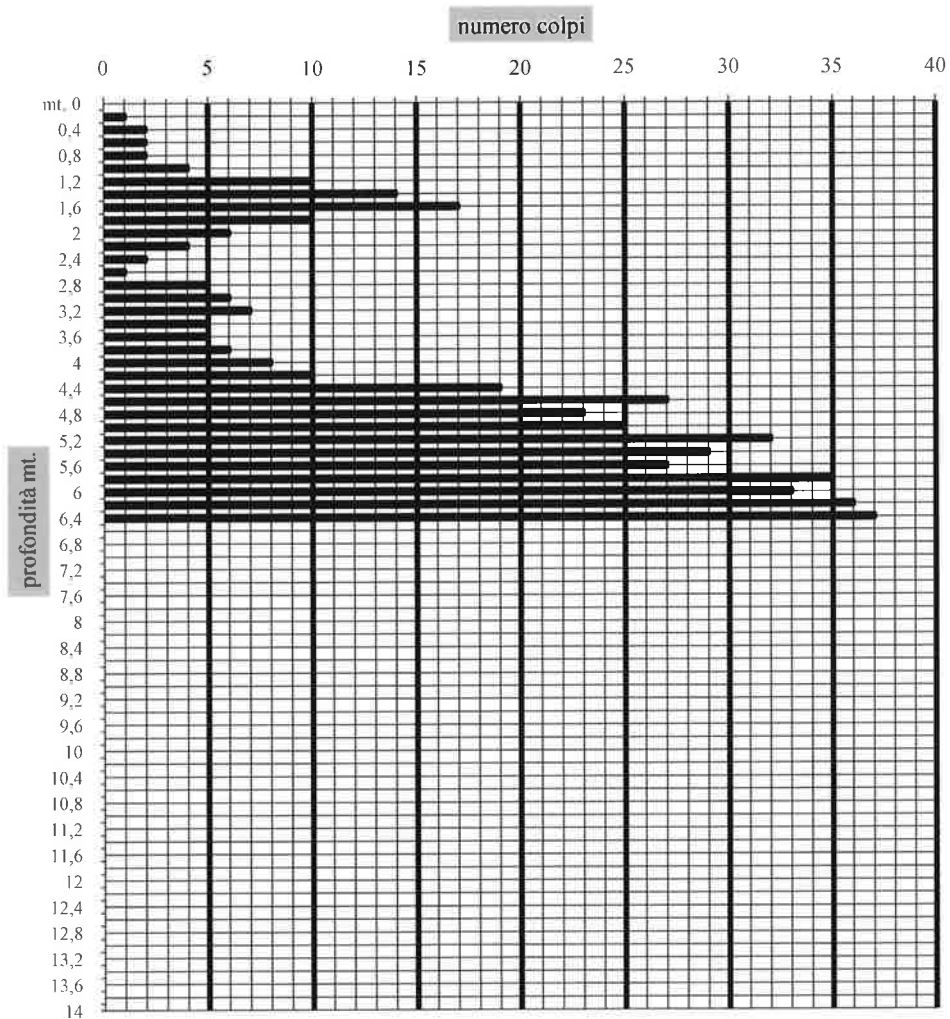
Penetrometro dinamico pesante Pagani tipo "Emilia" :

Peso maglio: 63,50 Kg.

Peso aste: 6.20Kg/ml.

Caduta maglio: 75cm.

Sezione punta: 20cmq.





# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH A

cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - Stradone, via Tana

quota inizio: piano campagna

data: maggio 2023

prof. falda: -2,80 mt. dal piano campagna



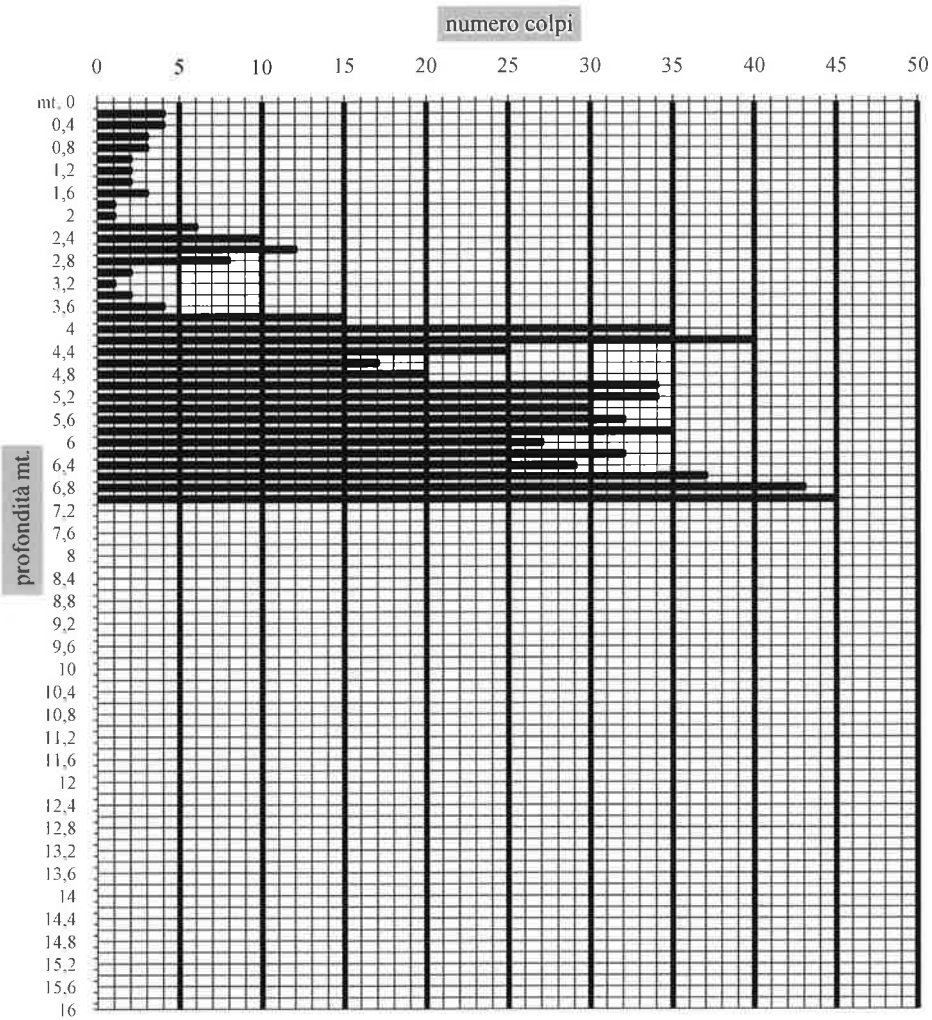
Penetrometro dinamico pesante Pagani tipo "Emilia" :

Peso maglio: 63,50 Kg.

Peso aste: 6,20Kg/ml.

Caduta maglio: 75cm.

Sezione punta: 20cmq.



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

## DPSH B

cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - Stradone, via Tana

quota inizio: piano campagna

data: maggio 2023

prof. falda: -2,60 mt. dal piano campagna



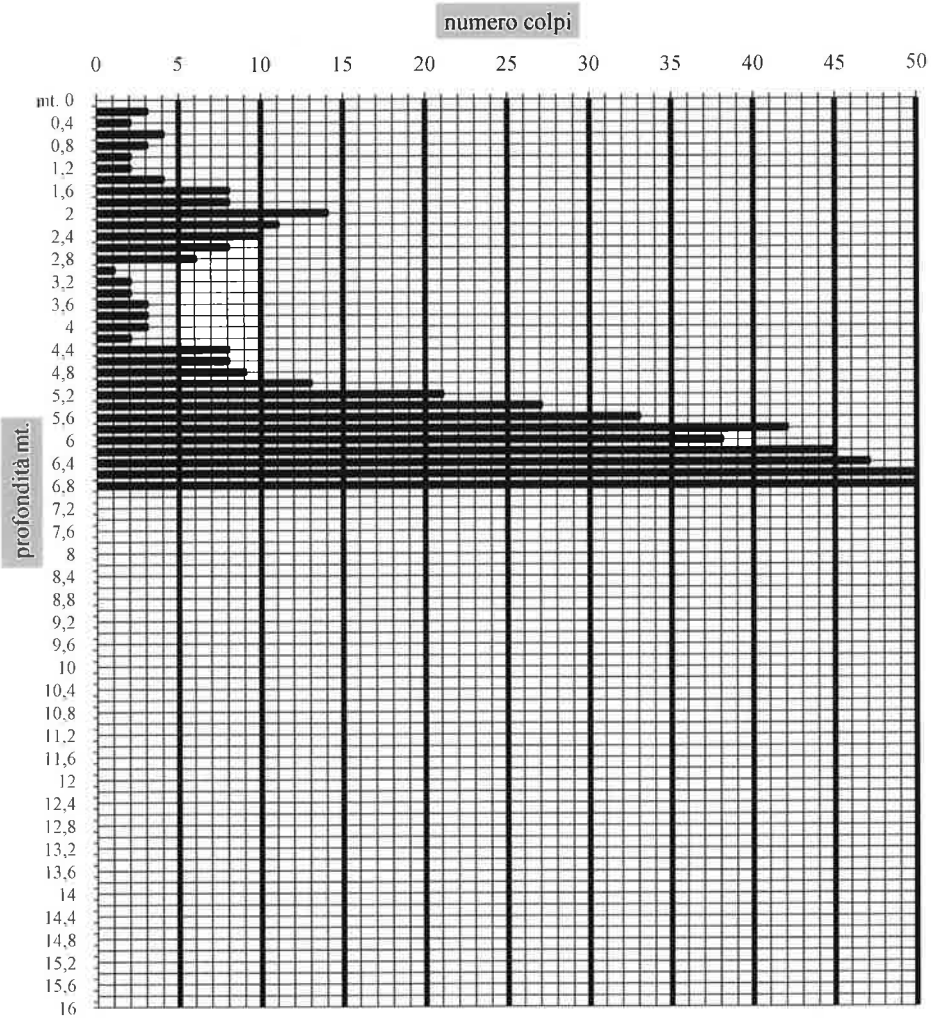
Penetrometro dinamico pesante Pagani tipo "Emilia" :

Peso maglio: 63,50 Kg.

Peso aste: 6,20Kg/ml.

Caduta maglio: 75cm.

Sezione punta: 20cmq.



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH C

cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - Stradone, via Tana

quota inizio: piano campagna

data: maggio 2023

prof. falda: -2,90 mt. dal piano campagna



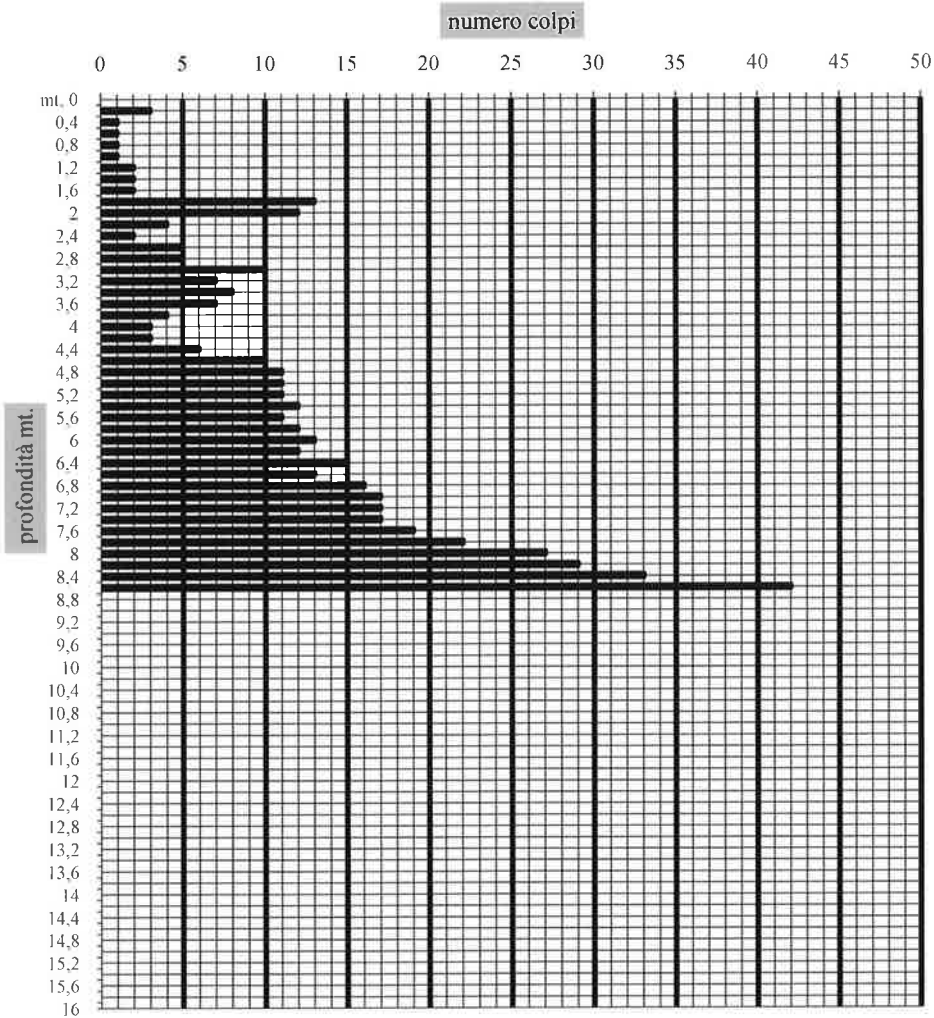
Penetrometro dinamico pesante Pagani tipo "Emilia" :

Peso maglio: 63,50 Kg.

Peso aste: 6,20Kg/ml.

Caduta maglio: 75cm.

Sezione punta: 20cmq.





Presidenza del Consiglio dei Ministri

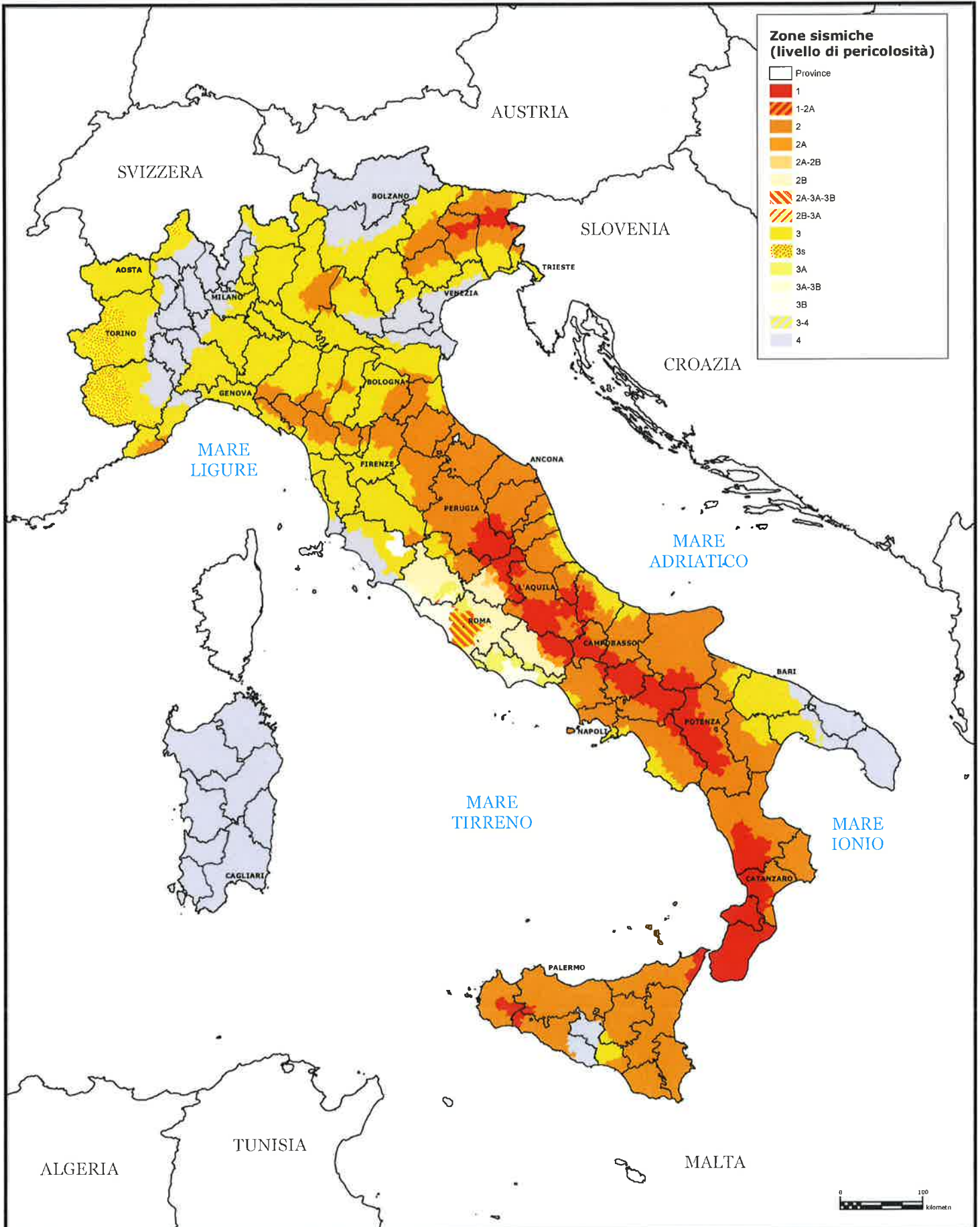
## Dipartimento della protezione civile

UFFICIO III - Attività Tecnico-Scientifiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi - Servizio Rischio Sismico

# Classificazione sismica al 31 gennaio 2020

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519

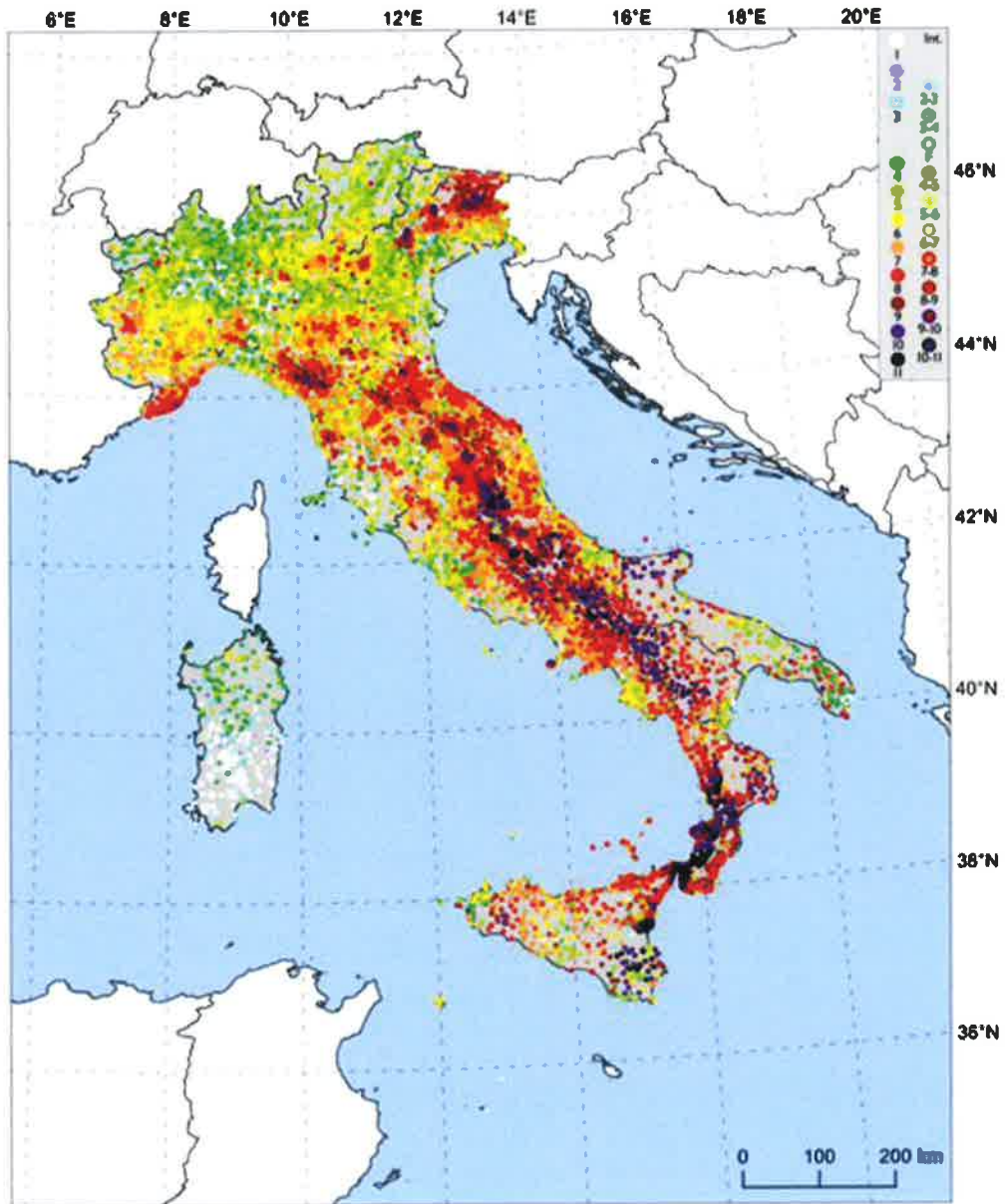
Atti di recepimento al 31 gennaio 2020. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447. Emilia Romagna: DGR 23/07/18, n. 1164. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 17/03/17, n. 216. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129. Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 20/9/06, n. 194. Piemonte: DGR 15 febbraio 2019, n. 17-8404. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31. Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 421. Trentino Alto Adige-Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111. Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603







ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



da INGV – Distribuzione delle intensità massime osservate per le 15343 località italiane

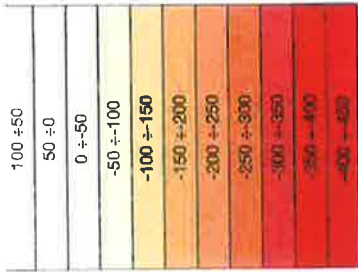
**CARTA SISMOTETTONICA della Regione Emilia Romagna e Aree Limitrofe**

**- redatta dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna  
nel 2016 e pubblicata nel 2017 (Particolare) -.**









Isobate della base del Sinuema Emiliano-Romagnolo, Superiore (SERS), 0.45 Ma. Presente) riferite al livello del mare. Isobaths of the base of the Emilia-Romagna Upper Synthem (SERS, 0.45 My-Present) referred to the sea level

### Unità geologiche affioranti Outcropping geological units

Depositi quaternari dei bacini intermontani e del margine padano-adriatico  
Quaternary deposits of intermontane basins and Po Plain - Adriatic margin

- 1 Depositi alluvionali olocenici  
Holocene alluvial deposits
- 2 Depositi alluvionali pleistocenici  
Pleistocene alluvial deposits
- 3 Depositi fluvio-lacustri (Villafranchiano-Pleistocene medio)  
Fluvial-lacustrine deposits (Villafranchian-middle Pleistocene)
- Successione marina plio-pleistocenica del margine padano-adriatico  
Pliocene-Pleistocene marine succession of the Po Plain-Adriatic margin
- 4 Sabbie di Imola (Pleistocene medio)  
Imola Sands (middle Pleistocene)
- 5 Sabbie gialle (Pleistocene medio)  
Yellow sands (middle Pleistocene)
- 6 Successione Pliocene sup. - Pleistocene inf.  
Late Pliocene - Early Pleistocene succession

- Unità alloctone s.l.  
Allochthonous units
- 7 Successione epiligurica superiore (Burdigaliano - Messiniano inf.)  
Upper Epiligurian Succession (Burdigalian - Early Messinian)
  - 8 Successione epiligurica inferiore (Luteziano - Burdigaliano)  
Lower Epiligurian Succession (Lutezian - Burdigalian)
  - 9 Unità Liguri (Giurassico - Eocene medio)  
Ligurian Units (Jurassic - middle Eocene)
  - 10 Successione episubigurica (Bartonian - Langhiano)  
Episubigurian Succession (Bartonian - Langhian)
  - 11 Subliguri (Cretaceo - Aquitaniano)  
Subligurian Units (Cretaceous - Aquitanian)
  - 12 Unità delle evaporiti triassiche della Val Secchia  
Val Secchia Triassic evaporites
  - 13 Mélanges tettonico  
Tectonic mélanges

- Unità umbro-marchigiano-romagnole  
Umbrie-Marche and Romagna Units
- 14 Successione Messiniano sup. - Pliocene inf.  
Late Messinian - Early Pliocene succession

- 15 Evaporiti messiniani  
Messinian evaporites
- 16 Depositi di avanafossa miocenici  
Miocene foredeep deposits

- Unità toscane  
Tuscan Units
- 17 Depositi di avanafossa oligo-miocenici e Scaglia Toscana  
Oligocene-Miocene foredeep deposits and Tuscan Scaglia
  - 18 Successione carbonatica mesozoica  
Mesozoic carbonatic succession
  - 19 Basamento cristallino e copertura metamorfica  
Crystalline basement and metamorphic units

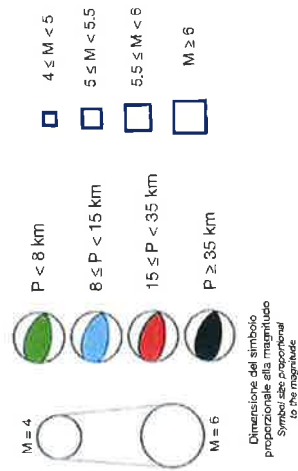
- 
- Faglia  
Fault
  - Faglia presunta  
Inferred fault
  - Faglia normale  
Normal fault
  - Faglia normale presunta  
Inferred normal fault
  - Anticlinale  
Anticline
  - Sovrascramento  
Thrust fault
  - Fronte di sovrascramento sepolto  
Buried thrust front
  - Fronte di sovrascramento sepolto presunto  
Inferred buried thrust front
  - Faglia sepolta  
Buried fault
  - Faglia sepolta presunta  
Inferred buried fault
  - Faglia normale sepolta presunta  
Inferred buried normal fault

Scoperta sismogenica individuale (da DISS 3.2)  
Individual seismogenic source (from DISS 3.2)

### Strutture tettoniche potenzialmente attive Potentially active tectonic structures

- 
- Faglia  
Fault
  - Faglia presunta  
Inferred fault
  - Faglia normale  
Normal fault
  - Faglia normale presunta  
Inferred normal fault
  - Anticlinale  
Anticline
  - Sinclinale  
Syncline
  - Fronte di sovrascramento sepolto  
Buried thrust front
  - Fronte di sovrascramento sepolto presunto  
Inferred buried thrust front
  - Faglia sepolta  
Buried fault
  - Faglia sepolta presunta  
Inferred buried fault
  - Faglia normale sepolta presunta  
Inferred buried normal fault
  - Discontinuità presunta  
Inferred discontinuity
  - Traccia di sezione geologica  
Geological cross section trace

### Meccanismi focali Earthquake epicenters (es. CP115)





## Santarcangelo di Romagna

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

Numero di eventi riportati 38

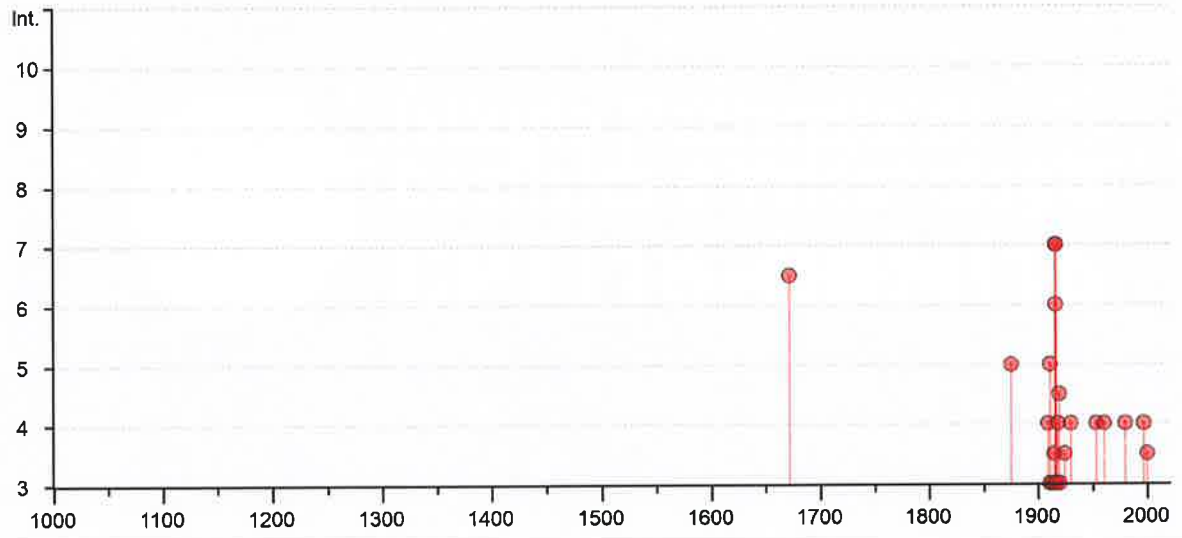
Effetti		In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
6-7	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59	
5	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74	
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.10	
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
3	1911 02 19 07 18 3	Forlivese	181	7	5.26	
3	1911 03 20 15 47	Forlivese	25	6	5.09	
5	1911 03 26 13 51	Riminese	9	5	5.04	
3	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63	
3-4	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08	
7	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82	
6	1916 06 16 01 27	Riminese	17	6	4.82	
7	1916 08 16 07 06 1	Riminese	257	8	5.82	
3	1917 04 26 09 35 5	Alta Valtiberina	134	9- 10	5.99	
4	1918 11 10 15 12 2	Appennino forlivese	187	9	5.96	
4-5	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38	
3	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53	
3-4	1924 01 02 08 55 1	Senigallia	76	7-8	5.48	
4	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83	
4	1953 12 14	Appennino forlivese	48	5-6	4.70	

## Effetti

## In occasione del terremoto del

Int.	Anno Mi Se	Me Gi	Ho Gi	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
	07	11	0			
4	1961 22 45 5	05	08	Forlivese	40	5 4.37
NF	1969 09 20 5	08	09	Appennino tosco-romagnolo	33	5 4.20
NF	1970 16 42 2	09	26	Cesenate	18	4-5 3.93
4	1980 18 34 5	11	23	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	1983 16 29 5	11	09	Parmense	850	6-7 5.04
NF	1986 17 07 1	12	06	Ferrarese	604	6 4.43
NF	1993 23 21 1	11	07	Cesenate	36	4-5 3.95
NF	1993 13 46 2	11	09	Cesenate	28	4-5 3.93
NF	1997 00 33 1	09	26	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8 5.66
4	1997 09 40 2	09	26	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 5.97
NF	1999 22 45 5	01	25	Appennino forlivese	97	5 4.36
NF	2000 22 07 0	05	06	Faentino	85	5 4.08
NF	2000 12 29 5	05	08	Faentino	126	5 4.67
NF	2000 16 52 1	05	10	Faentino	151	5-6 4.82
3-4	2000 02 34 3	08	01	Montefeltro	84	5-6 4.27
NF	2001 00 56 5	11	26	Casentino	211	5-6 4.63
NF	2002 10 57 4	11	02	Ferrarese	79	4 4.21
NF	2003 10 20 3	12	07	Forlivese	165	5 4.18
NF	2006 07 04 1	10	21	Anconetano	287	5 4.21

### Santarcangelo di Romagna (RN)



## **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 ( $\lambda$ ) 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 Tana n° 431 -.**

Inizio registrazione: 15.11.2021 ore 10:54:39 - Fine registrazione: 15.11.2021 ore 11:14:39

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 96 % tracciato (selezione manuale)

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s.

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 14 %.

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- **Depositi 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- **Depositi 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)
0.85	0.85	80
4.05	3.20	1.70
23.05	19.00	310
Inf.	Inf.	570

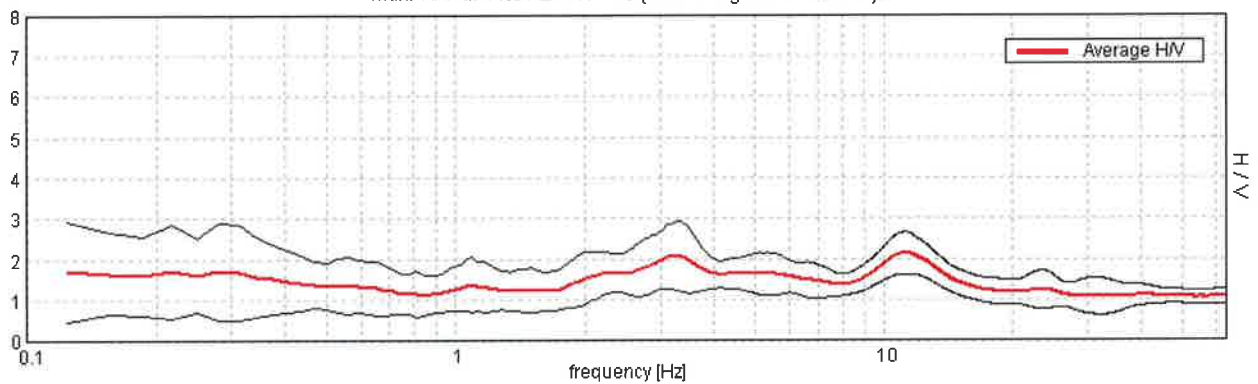
**SANTARCANGELO, Via Tana n° 431**

Strumento: TRZ-0129/01-10  
Inizio registrazione: 15/11/2021 10:54:39 Fine registrazione: 15/11/2021 11:14:39  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

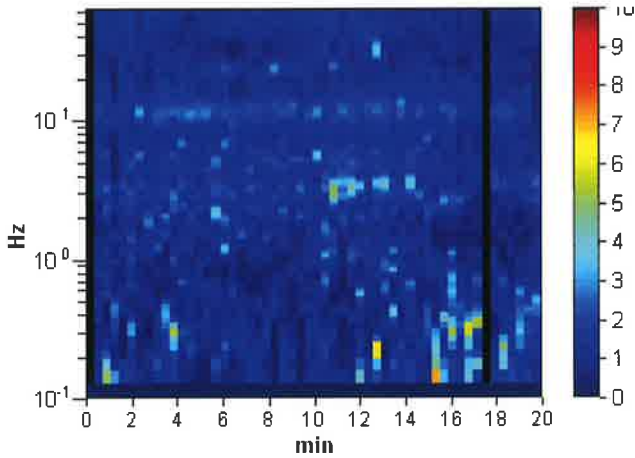
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 22 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 14%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

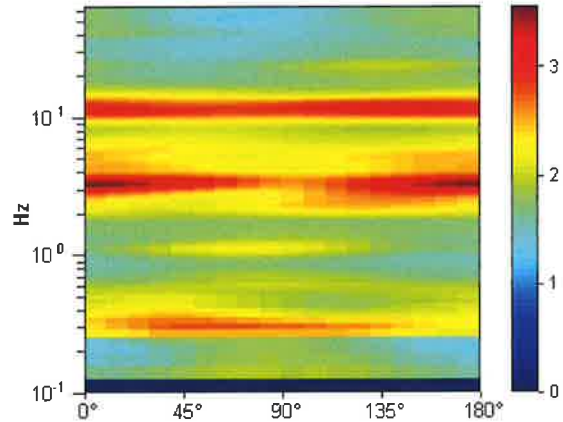
Max. H/V at 11.31 ± 1.15 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



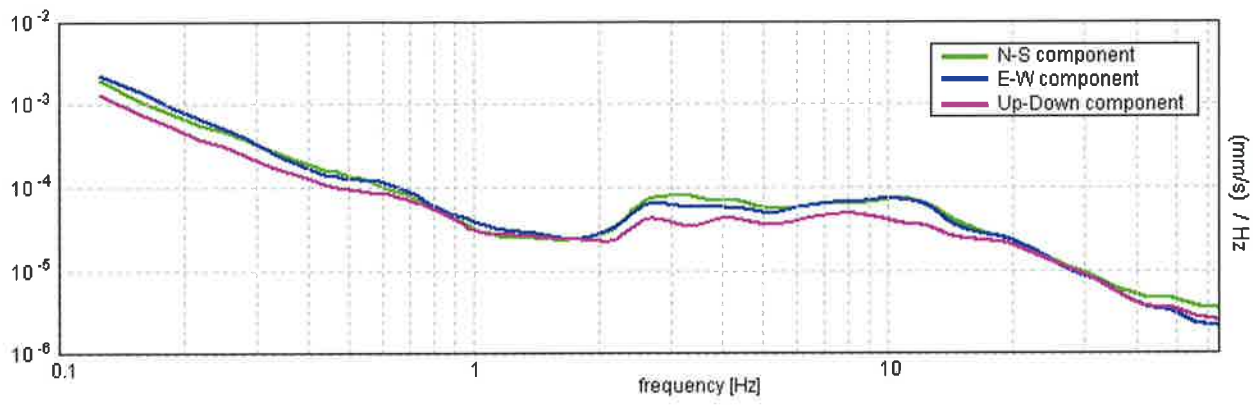
**SERIE TEMPORALE H/V**



**DIREZIONALITA' H/V**

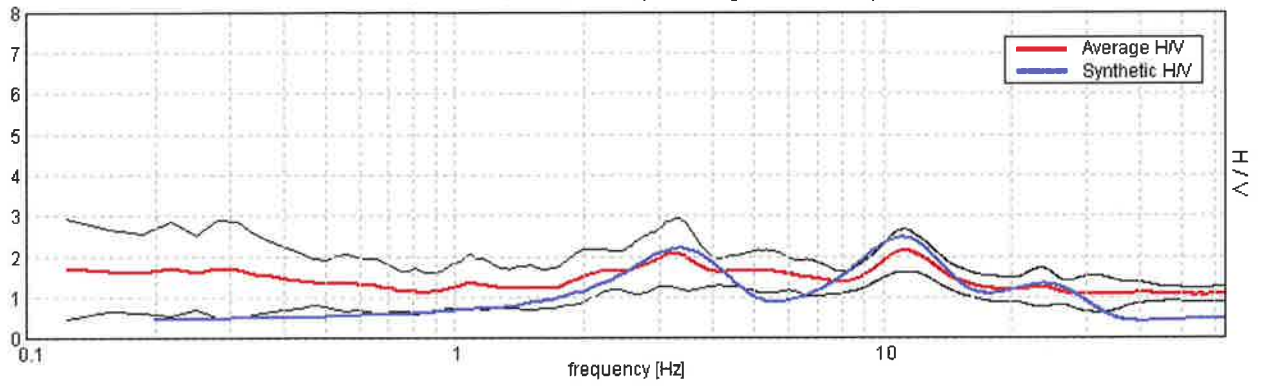


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



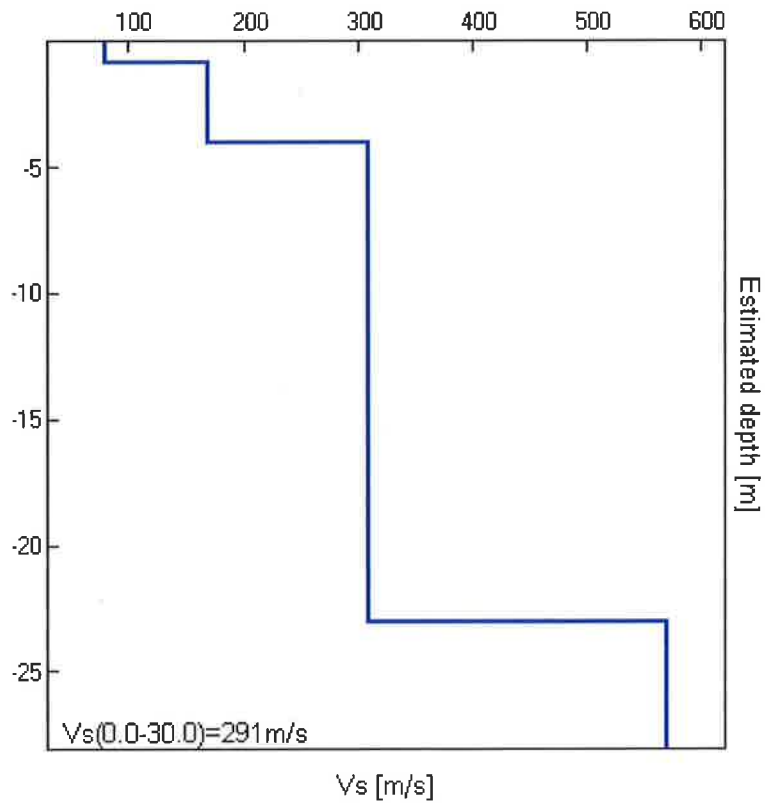
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 11.31 ± 1.15 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.85	0.85	80	0.30
4.05	3.20	170	0.35
23.05	19.00	310	0.35
inf.	inf.	570	0.35

Vs(0.0-30.0)=291m/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  $11.31 \pm 1.15$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.31 > 0.45$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$12941.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\square_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\square_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 544	<b>OK</b>	

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

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	33.438 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.14 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}   A_{H/V}(f) \pm \square_A(f) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04934  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\square_f < \square(f_0)$	$0.56551 < 0.56563$	<b>OK</b>	
$\square_A(f_0) < \square(f_0)$	$0.255 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\square_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\square(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\square_f < \square(f_0)$
$A_0$	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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\square_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\square_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\square_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\square(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\square_A(f) < \square(f_0)$

Valori di soglia per  $\square_f$  e  $\square_A(f_0)$

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