

Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI

***RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA AL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE
DI ANNESSI RUSTICI
DA ADIBIRE AD ATTIVITA' DI PRIMA LAVORAZIONE
E CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI AGRICOLI – CANTINA, ACCLUSI
AL FABBRICATO RESIDENZIALE
SITO PRESSO VIA DELL' USO N° 876,
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN –
CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.***

RELAZIONE



Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI

**RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA AL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE
DI ANNESSI RUSTICI
DA ADIBIRE AD ATTIVITA' DI PRIMA LAVORAZIONE
E CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI AGRICOLI – CANTINA, ACCLUSI
AL FABBRICATO RESIDENZIALE
SITO PRESSO VIA DELL' USO N° 876,
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN –
CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.**

1.- PREMESSA

L' indagine e' stata condotta su incarico dell' Arch. GUERRINO PAGANELLI di Santarcangelo di Romagna per conto del Sig. EDOARDO SQUADRANI al fine di accertare le condizioni geologiche ed idrogeologiche dei terreni ove è situato il fabbricato ad uso residenziale oggetto di ristrutturazione di annessi rustici da adibire ad attività di prima lavorazione e conservazione di prodotti agricoli - cantina, sito presso Via Provinciale Uso n° 876, in Comune di Santarcangelo (latitudine: 44.060830; longitudine: 12.429442) e di conseguenza acquisire gli elementi necessari alla redazione del progetto.

L'indagine geognostica si è avvalsa dell'esecuzione di n° 2 prove penetrometriche statiche effettuate mediante penetrometro tipo PAGANI 73-200 kN, semovente che hanno raggiunto la profondità massima di 19.40 dall'attuale p.c.

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

Sono state inoltre eseguite n° 3 prove penetrometriche dinamiche leggere effettuate con attrezzo oleodinamico le cui caratteristiche sono riportate in nota.

I relativi grafici penetrometrici sono allegati a fine relazione.

E' stata infine effettuata una prova HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) finalizzata alla valutazione degli effetti locali di sito sulla base degli Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna e degli studi realizzati in conformità all'EC 7 e 8 ed il D.M. 14-01-2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni-.

NOTA:

Peso del maglio

M = 30 Kg;

Altezza di caduta

H = 20 cm;

Sezione della punta conica

A = 10 cmq;

Peso delle aste

P = 2.8 Kg/ml.

2.- 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).

I terreni affioranti nel territorio del Comune di Santarcangelo di Romagna si sono costituiti in posto (a differenza ad esempio di quelli affioranti nella vicina Val Marecchia che sono migrati in senso orizzontale) e pertanto si presentano in successione stratigrafica normale, con i sedimenti più antichi in basso ed i più recenti in alto.

Essi rappresentano il cosiddetto "neoautoctono".

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

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

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

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

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

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

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

Di queste, la conoide di gran lunga più importante per estensione (200 Km² secondo U. Buli "Geoidrologia della conoide del Fiume Marecchia" 1935 - Bologna, e 123 Km² secondo il Consorzio di Bonifica Agro Riminese "Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento

artificiale del conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile ed irriguo" 1977 - Rimini) che per gli acquiferi contenuti, e' quella del Fiume Marecchia.

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

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

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

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

La copertura alluvionale argillosa, contribuisce a rendere 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 e' caratterizzata dalla presenza di depositi continentali pleistocenici, litologicamente costituiti da sabbie, ghiaie ed argille dei terrazzi.

3.- INDAGINI ESEGUITE

Ai fini della ricostruzione stratigrafica dell' area oggetto di indagine, sono state eseguite n° 3 prove penetrometriche dinamiche leggere, n° 2 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) e ci si è avvalsi dei risultati forniti da una prova HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- diametro di base del cono: 37.5 cm.;

- angolo di apertura del cono: 60°.

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

Le aste cave hanno il diametro esterno di 36 mm.

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

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

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

Con la punta Begemann vengono rilevate ogni 20 cm.:

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

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

R_p / profondità;

R_l / profondità;

R_p÷R_l / profondità.

Le prove non vengono di norma spinte oltre la profondità di 50 metri dal piano campagna.

La prova deve essere sospesa e la batteria di aste estratta se la resistenza totale, od alla punta o al manicotto è tale da non consentire un ulteriore avanzamento.

Nel caso specifico, le prove statiche hanno raggiunto la profondità massima di 19.40 mt. dal piano campagna attuale.

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche tecniche delle prove dinamiche leggere. Le prove penetrometriche dinamiche si svolgono in sito mediante l'infissione a percussione nel terreno, di una punta conica e di una batteria di aste di perforazione; consistono nel determinare lo spessore dei vari strati e la resistenza alla penetrazione dinamica di ognuno di essi.

Il dato d'interesse è il numero di colpi di maglio necessari per ottenere un approfondimento unitario pari a 10 centimetri.

Tali prove trovano applicazioni geognostiche sia di tipo qualitativo che quantitativo: nel primo caso s'individuano le caratteristiche di omogeneità litologica del sottosuolo, la profondità del substrato, l'eventuale presenza di orizzonti molli, di vuoti o cavità, ecc...; nel secondo si determinano le caratteristiche geotecniche dei terreni e la loro capacità portante per fondazioni superficiali e profonde.

I valori riscontrati vengono graficizzati ed applicati ad una formula empirica di battitura, conosciuta come "formula degli Olandesi", che consente di ricavare la resistenza del terreno (R_d) alla penetrazione dinamica.

- 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 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 (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio.

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

- Basi teoriche

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

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

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

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

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

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:

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

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.

4.- STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Al fine di valutare l' esatta successione stratigrafica dei terreni in esame ci si è avvalsi dei risultati forniti da n° 3 prove penetrometriche dinamiche leggere e n° 2 prove penetrometriche statiche, ubicate come da planimetria allegata. I risultati hanno evidenziato una stratigrafia così schematizzabile:

- Prova penetrometrica statica n° 1

- dal p.c. a – 1.40 mt. : Orizzonte limo – argilloso superficiale, alterato;
- da – 1.40 mt. alle : Alternanza di livelli limosi e limo – argillosi a vario grado di consistenza con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore, sparse.

- Prova penetrometrica statica n° 2

- dal p.c. a – 1.40 mt. : Orizzonte limo – argilloso superficiale, alterato;
- da – 1.40 a – 17.20 mt. : Alternanza di livelli limosi e limo – argillosi a vario grado di consistenza con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore, sparse.
- da – 17.2 a – 19.0 mt. : Limi argilloso - sabbiosi molto consistenti con intercalazioni sabbioso - limose di limitato spessore.
- da – 19.0 mt. alle : Ghiaie eterometriche ed eterogenee a notevole grado di ad-densamento in matrice limo - sabbiosa.

- Prova dinamica leggera n° 1

- dal p.c. a – 1.20 mt. : Orizzonte limo – argilloso superficiale, alterato;
- da – 1.20 a – 6.40 mt. : Alternanza di livelli limosi e limo – argillosi a vario grado di consistenza con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore, sparse.
- da – 6.40 mt. alle : Alternanza di livelli limosi e limo – argillosi a vario grado di consistenza.

- Prova dinamica leggera n° 2

- dal p.c. a – 0.70 mt. : Orizzonte limo – argilloso superficiale, alterato;

- da - 0.70 a - 1.90 mt. : *Limo argilloso da mediamente consistente a consistente;*
- da - 1.90 a - 2.50 mt. : *Intervallo limo - argilloso decompresso;*
- da - 2.50 a - 6.40 mt. : *Alternanza di livelli limosi e limo - argillosi a vario grado di consistenza con intercalazioni limo - sabbiose di limitato spessore, sparse.*
- da - 6.40 mt. alle
profondità' investigate : *Alternanza di livelli limosi e limo - argillosi a vario grado di consistenza.*
- Prova dinamica leggera n° 3**
- dal p.c. a - 1.10 mt. : *Orizzonte limo - argilloso superficiale, alterato e/o riporto;*
- da - 1.10 a - 4.00 mt. : *Limo argilloso mediamente consistente;*
- da - 4.00 a - 6.00 mt. : *Alternanza di livelli limosi e limo - argillosi a vario grado di consistenza con intercalazioni limo - sabbiose di limitato spessore, sparse.*
- da - 6.00 mt. alle
profondità' investigate : *Alternanza di livelli limosi e limo - argillosi a vario grado di consistenza.*

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

Nei fori di sondaggio, in sede di indagine geognostica, e' stata rinvenuta la presenza di un livello freatico alla profondità di - 1.00 ÷ 1.10 mt. dall'attuale p.c.

Tale livello e', comunque, da considerare relativo esclusivamente alla stagione attuale poiché, data la situazione topografica e la sensibile permeabilità dei terreni superficiali, nel corso dell' anno e delle varie situazioni meteorologiche si potranno avere variazioni anche rilevanti e relativamente veloci.

5.- GEOTECNICA

5.1.- Opere di fondazione

Dall' analisi della geologia e morfologia della zona, dai risultati delle prove penetrometriche condotte nonché dalle caratteristiche di progetto, si sono ipotizzate, per il fabbricato in progetto, fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita, impostate ad una profondità non inferiore a - 3.00 mt. dall' attuale p.c. In fase esecutiva si dovrà tempestivamente contenere la spinta del terreno, pertanto saranno da adottarsi

accorgimenti tali da non pregiudicare la staticità delle strutture adiacenti (micropali, paratie, diaframmi di calcestruzzo gettati in opera, ecc.).

Durante le fasi di escavazione, dovendo contenere sia le spinte esercitate dal terreno che la spinta dell' acqua (la cui quota è soggetta a relativamente veloci variazioni), dovrà essere valutata la praticità di abbattere od abbassare il livello della falda freatica poiché tale operazione può determinare un cedimento del terreno e/o delle strutture circostanti.

In sede di dimensionamento delle opere fondali e perimetrali di contenimento, dovrà essere attentamente valutato il possibile sollevamento per spinta idrostatica ed il fenomeno di sifonamento a cui potranno essere soggette le strutture il cui piano interrato è posto al di sotto della falda freatica.

Va' sottolineato altresì che la realizzazione di un piano interrato permetterà l' eliminazione di cedimenti differenziali dovuti alla non trascurabile disomogeneità di consolidamento degli strati più superficiali; infine il livello freatico, ed ancor più le sue periodiche fluttuazioni, non avranno alcuna influenza sugli strati immediatamente sottostanti il piano di fondazione, in quanto quest' ultimo verrà a trovarsi permanentemente al di sotto della superficie freatica.

Il sistema fondale proposto, particolarmente rigido, permetterà di ovviare alle mediocri caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, alle particolari caratteristiche di flessibilità del sottosuolo e della struttura ed alle escursioni stagionali del livello freatico.

5.2.- 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 condotte, dalle conoscenze dei terreni in esame, dalle conoscenze geotecniche su terreni analoghi e limitrofi, nonché da notizie bibliografiche sulla zona.

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

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

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

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

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

$$E_d = a * Rp$$

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 verifichino i valori più sfavorevoli sia inferiore al 5% (5° percentile). Una volta ricavati questi parametri caratteristici è possibile definire i parametri geotecnici più appropriati ai fini progettuali.

Pertanto, dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite nonché dalle conoscenze dei terreni in esame, sono stati desunti, trattandosi di alternanze granulometricamente eterogenee, i seguenti parametri geotecnici medi:

Orizzonte limo-argilloso superficiale (dal p.c. a - 1.10 ÷ 2.50 mt.):

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico

$$Xk\phi = 18^\circ$$

Coesione drenata

$$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$$

Peso di volume

$$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$$

Peso di volume immerso

$$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$$

Angolo di attrito

$$\phi_u = 0^\circ$$

Coesione in sforzi totali

Valore caratteristico

$$Xkcu = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo edometrico

$$Mv = 21.63 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo elastico

$$Ei = 18.4 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo Poisson

$$Mv = 0.21$$

Modulo di Winkler

$$W = 1.4 \text{ Kg/cm}^3$$

Permeabilità

$$K = 4.67 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec.}$$

Intervallo limoso, argilloso e sabbioso a vario grado di consistenza (da -1.10 ÷ 2.50 mt. a - 5.0 mt.):

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico

$$Xk\phi = 18.0^\circ$$

Coesione drenata

Valore caratteristico

$$Xkcu = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$$

Peso di volume

$$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$$

Peso di volume immerso

$$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$$

Angolo di attrito

$$\phi_u = 0^\circ$$

Coesione in sforzi totali

Valore caratteristico

$$Xkcu = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo edometrico

$$Mv = 48.76 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo elastico

$$Ei = 46.21 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulo Poisson

$$Mv = 0.29$$

Modulo di Winkler

$$W = 2.9 \text{ Kg/cm}^3$$

Permeabilità

$$K = 4.67 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec.}$$

Intervallo limoso, argilloso e sabbioso a vario grado di consistenza (da -5.00 mt. a - 9.20 mt.):

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico

$$Xk\phi = 21.0^\circ$$

Coesione drenata

Valore caratteristico

$$Xkcu = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$$

<i>Peso di volume</i>	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Peso di volume immerso</i>	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Angolo di attrito</i>	$\phi_u = 0^\circ$
<i>Coesione in sforzi totali</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_{cu} = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$M_v = 38.76 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo elastico</i>	$E_i = 36.21 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$M_v = 0.25$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 2.7 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 3.82 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

Intervallo limo - argilloso consistente (da -9.20 mt. a -13.20 mt.):

<i>Angolo di attrito interno c.d.</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_\phi = 21.0^\circ$
<i>Coesione drenata</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_{cu} = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Peso di volume</i>	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Peso di volume immerso</i>	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Angolo di attrito</i>	$\phi_u = 0^\circ$
<i>Coesione in sforzi totali</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_{cu} = 0.8 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$M_v = 41.23 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo elastico</i>	$E_i = 40.21 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$M_v = 0.31$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 3.2 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 5.67 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

Intervallo limo - argilloso a vario grado di consistenza (da -13.20 mt. a -17.20 mt.):

<i>Valore di progetto</i>	$Xd_\phi = 18^\circ$
<i>Coesione drenata</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_{cu} = 0.06 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Peso di volume</i>	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Peso di volume immerso</i>	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Angolo di attrito</i>	$\phi_u = 0^\circ$
<i>Coesione in sforzi totali</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk_{cu} = 0.50 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$M_v = 35.95 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo elastico</i>	$E_i = 35.61 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$M_v = 0.27 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 2.7 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 2.74 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

Intervallo limoso, argilloso e sabbioso, molto consistente (da - 17.20 a - 19.00 mt.):

Angolo di attrito interno c.d.	
Valore caratteristico	$Xk\phi = 23.0^\circ$
Coesione drenata	
Valore caratteristico	$Xkcu = 0.12 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 2.1 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 1.1 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 1.10 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Mv = 89.07 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo elastico	$Ei = 87.62 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.34 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Winkler	$W = 3.6 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 2.69 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec.}$

Ghiaie e sabbie a notevole grado di addensamento (da -19.00 mt. alle profondità investigate):

Angolo di attrito interno c.d.	
Valore caratteristico	$Xk\phi = 36^\circ$
Coesione drenata	$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 1.9 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 0.9 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 2.04 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Mv = 155.70 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.34 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo di Winkler	$W = 3.5 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 2.31 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec.}$

6.- NORME SISMICHE

6.1- Il quadro normativo di riferimento

Il panorama legislativo in materia sismica, è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza PCM. n. 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza PCM. n. 3519/2006, infine le recentissime nuove Norme Tecniche per le costruzioni con D.M. del 14/01/2008). Alla legislazione, si aggiunge il lavoro dell'Associazione Geotecnica Italiana, "aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: linee guida". L'A.G.I., ha finora elaborato una edizione provvisoria del testo, pubblicata nel 2005.

L'Ordinanza PCM. n. 3274/2003, ha disposto nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo stabilendo in questo senso:

- una nuova classificazione dei Comuni nazionali, secondo quattro diversi gradi di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;*
- una nuova classificazione del sottosuolo, in "categorie di suolo di fondazione", basata sulla stima di alcuni parametri fondamentali (V_s , N_{spt} , c_u , profondità del bedrock). Ad ogni categoria, sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto.*

L'OPCM 3274/2003, non è mai entrata in vigore, ma le classificazioni sono state riprese nel D.M. 159/2005 e nell'ultimo D.M. 14/01/2008.

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_o** 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_o 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:

$$S = S_s * S_t = 1.425 * 1.000 = 1.425$$

$$A_{g_{max}} = A_g * S = 0.189 * 1.425 = 0.269$$

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 rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la

costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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

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

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- Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi** caratterizzati da valori di $V_{S\ 30}$ superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri;
- B- Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S\ 30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa);
- C- Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza** con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$; $70 < c_u < 250$ kPa);
- D- Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di $V_{S\ 30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$; $c_u < 70$ kPa);
- E- Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali** con valori di $V_{S\ 30}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 mt. giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S\ 30} > 800$ m/s.

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, tale profondità 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.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) $NSPT_{30}$ (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 6.1.3.2. – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

S1- Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 mt. di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa);

S2- depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Pertanto, la scheda riepilogativa che prende in considerazione le caratteristiche del territorio che potenzialmente possono determinare effetti di sito e/o instabilità dei terreni in Emilia Romagna, con riferimenti alle categorie dei suoli di fondazione contenute nel T.U. "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui sopra, viene di seguito riportata:

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 mt.):

- a- Detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio – colluviali, depositi morenici, depositi di geliflusso, ecc...); categorie del suolo: B, C, D.*
- b- Detriti di conoide alluvionale; categorie del suolo: B, C, E.*
- c- Depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle; categorie del suolo: C, E.*
- d- Accumuli detritici di zona pedemontana (falde di detrito e con di deiezione); categorie del suolo: B, C.*
- e- Depositi fluvio – lacustri; categorie del suolo: D, E, S.*
- f- Riporti antropici poco addensati; categorie del suolo: C, D, S₂.*
- g- Substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 mt.); categorie del suolo: , C.*
- h- Litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/sec.(*); categorie del suolo: B, C.*

Elementi morfologici che possono determinare amplificazione (cfr. EC8)

- a- Scarpata subverticale (acclività $> 45^\circ$) con altezza ≥ 10 mt.;*
- b- Cresta rocciosa, cocuzzolo, dorsale allungata con altezza ≥ 10 mt. e versanti con acclività $\geq 30^\circ$;*
- c- Versanti con acclività $> 15^\circ$;*
- d- Cavità sepolte.*

Zona di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse.

Depositi granulari fini, sciolti, nei primi 20 mt. dal p.c. con profondità media stagionale della falda acquifera superiore a 15 mt. dal p.c. (fattori predisponenti al rischio di liquefazione e densificazione); categorie del suolo: S₂.

Zone instabili o potenzialmente instabili:

- a- Zone instabili: zone direttamente interessate da fenomeni franosi attivi (con evidenze di movimenti in atto o recenti).*

- b- Zone potenzialmente instabili: zone in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti, indipendentemente dalla genesi, i pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati(**) con acclività > 15°, versante con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio).

Depositi (spessore ≥ 5 mt.) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori di $N_{SPT} < 15$ o $c_u < 70$ kPa o $V_{S30} < 180$ m/s; categorie del suolo: D, S_I^* .

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}} \text{ [m/s]}$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPTi}}}$$

La resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{ui}}}$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

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

$N_{SPT,i}$ = numero di colpi NSPT nell' i -esimo strato;

$c_{u,i}$ = resistenza non drenata nell' i -esimo strato;

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

(*) es.: argille marnose oligo – mioceniche epiliguri, argille e argille marnose tardo messiniane e plio – pleistoceniche, sabbie poco cementate plio – pleistoceniche,

(**) spaziatura della fratturazione < 20 cm.

*M = numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
K = numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.*

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da A ad E, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare NSPT₃₀ limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30m di profondità;*
- determinare cu₃₀ limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;*
- individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri NSPT₃₀ e cu₃₀ ;*
- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.*

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. 4.1.3.3.):

Tabella 6.1.3.3.– Categorie topografiche

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

Le suesposte 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.- Opere di fondazione - carico ammissibile

Dall' analisi della geologia e morfologia della zona, dai risultati delle prove penetrometriche condotte, nonché dalle caratteristiche di progetto, si sono ipotizzate fondazioni superficiali del tipo a platea strutturalmente irrigidita attestate ad una profondità non inferiore a 3.00 mt. dall'attuale p.c. previa realizzazione di un'adeguata opera di contenimento (mediante micropali, diaframmi in calcestruzzo, ecc...) mirata a contenere le spinte esercitate dai terreni e dalle strutture poste a ridosso dell'area di scavo.

Il sistema fondale proposto, particolarmente rigido, permette di ovviare alle mediocri caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione ed alle particolari caratteristiche di flessibilità del sottosuolo e della struttura.

Sulla base dei risultati forniti dall' esecuzione delle prove penetrometriche statiche (C.P.T.), correlabili ai valori di N_{SPT} , si sono desunti i parametri geotecnici in precedenza indicati.

La valutazione di capacità portante è stata quantificata in termini di parametri geotecnici medi stanti la rigidità della fondazione, del modesto incremento di carico trasmesso e l'eterogeneità dei litotipi sottostanti il piano di fondazione, che in termini di verifiche degli SLU dettati dalle nuove norme.

In prima analisi è stato valutato lo spessore d'influenza e rottura del terreno; il volume (o spessore) di terreno interessato dalla eventuale superficie di rottura è "grande".

Parimenti, la struttura di fondazione è sufficientemente rigida da distribuire i carichi sulle porzioni di terreno più resistenti.

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.

Stato Limite	Tr (anni)	$A_g(g)$	Fo	Tc* (s)
<i>S.L. Operatività (SLO)</i>	30	0.055	2.451	0.267
<i>S.L.Danno (SLD)</i>	50	0.069	2.443	0.285
<i>S.L. Salvaguardia Vita (SLV)</i>	475	0.189	2.480	0.305
<i>S.L. Prevenzione Collasso (SLC)</i>	975	0.248	2.486	0.317

Coefficienti sismici – Determinazione

- a)- Categoria sottosuolo: **C**;
- b). Categoria topografica: **T1**.

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
<i>Ss Amplificazione stratigrafica</i>	1.50	1.50	1.42	1.33
<i>Cc Coefficiente funz. Categoria</i>	1.62	1.59	1.55	1.53
<i>St Amplificazione topografica</i>	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Kh</i>	0.016	0.021	0.064	0.092
<i>kv</i>	0.008	0.010	0.032	0.046
<i>Amax (m/sec²)</i>	0.802	1.015	2.629	3.235
<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.

Il sistema fondale proposto, particolarmente rigido, permette di ovviare alle mediocri caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, alle particolari caratteristiche di flessibilità del sottosuolo e della struttura ed alle escursioni stagionali del livello freatico.

7.- INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI 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:

- F- Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri;*
- G- Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa);*
- H- Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$; $70 < c_u < 250$ kPa);*
- I- Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$; $c_u < 70$ kPa);*
- J- Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 mt. giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.*

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1- Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 mt. di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa);

S2- depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Pertanto, la scheda riepilogativa che prende in considerazione le caratteristiche del territorio che potenzialmente possono determinare effetti di sito e/o instabilità dei terreni in Emilia Romagna, con riferimenti alle categorie dei suoli di fondazione contenute nel T.U. "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui sopra, viene di seguito riportata:

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 mt.):

- i- Detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio – colluviali, depositi morenici, depositi di geliflusso, ecc...); categorie del suolo: B, C, D.*
- j- Detriti di conoide alluvionale; categorie del suolo: B, C, E.*
- k- Depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle; categorie del suolo: C, E.*
- l- Accumuli detritici di zona pedemontana (falde di detrito e con di deiezione); categorie del suolo: B, C.*
- m- Depositi fluvio – lacustri; categorie del suolo: D, E, S.*
- n- Riporti antropici poco addensati; categorie del suolo: C, D, S₂.*
- o- Substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 mt.); categorie del suolo: , C.*
- p- Litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/sec.(*); categorie del suolo: B, C.*

Elementi morfologici che possono determinare amplificazione (cfr. EC8):

- e- Scarpa subverticale (acclività $> 45^\circ$) con altezza ≥ 10 mt.;*
- f- Cresta rocciosa, cocuzzolo, dorsale allungata con altezza ≥ 10 mt. e versanti con acclività $\geq 30^\circ$;*
- g- Versanti con acclività $> 15^\circ$;*
- h- Cavità sepolte.*

Zona di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse.

Depositi granulari fini, sciolti, nei primi 20 mt. dal p.c. con profondità media stagionale della falda acquifera superiore a 15 mt. dal p.c. (fattori predisponenti al rischio di liquefazione e densificazione); categorie del suolo: S₂

Zone instabili o potenzialmente instabili:

- c- Zone instabili: zone direttamente interessate da fenomeni franosi attivi (con evidenze di movimenti in atto o recenti).*
- d- Zone potenzialmente instabili: zone in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti, indipendentemente dalla genesi, i pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati(**) con acclività $> 15^\circ$, versante con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio).*

Pertanto, la scheda riepilogativa che prende in considerazione le caratteristiche del territorio che potenzialmente possono determinare effetti di sito e/o instabilità dei terreni in Emilia Romagna, con riferimenti alle categorie dei suoli di fondazione contenute nel T.U. "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui sopra, viene di seguito riportata:

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 mt.):

- i- Detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio – colluviali, depositi morenici, depositi di geliflusso, ecc...); categorie del suolo: B, C, D.*
- j- Detriti di conoide alluvionale; categorie del suolo: B, C, E.*
- k- Depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle; categorie del suolo: C, E.*
- l- Accumuli detritici di zona pedemontana (falde di detrito e cono di deiezione); categorie del suolo: B, C.*
- m- Depositi fluvio – lacustri; categorie del suolo: D, E, S.*
- n- Riporti antropici poco addensati; categorie del suolo: C, D, S₂.*
- o- Substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 mt.); categorie del suolo: , C.*
- p- Litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/sec.(*); categorie del suolo: B, C.*

Elementi morfologici che possono determinare amplificazione (cfr. EC8):

- e- Scarpa subverticale (acclività $> 45^\circ$) con altezza ≥ 10 mt.;*
- f- Cresta rocciosa, cocuzzolo, dorsale allungata con altezza ≥ 10 mt. e versanti con acclività $\geq 30^\circ$;*
- g- Versanti con acclività $> 15^\circ$;*
- h- Cavità sepolte.*

Zona di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse.

Depositi granulari fini, sciolti, nei primi 20 mt. dal p.c. con profondità media stagionale della falda acquifera superiore a 15 mt. dal p.c. (fattori predisponenti al rischio di liquefazione e densificazione); categorie del suolo: S₂

Zone instabili o potenzialmente instabili:

- c- Zone instabili: zone direttamente interessate da fenomeni franosi attivi (con evidenze di movimenti in atto o recenti).*
- d- Zone potenzialmente instabili: zone in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti, indipendentemente dalla genesi, i pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati(**) con acclività $> 15^\circ$, versante con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio).*

Depositi (spessore ≥ 5 mt.) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori di $N_{SPT} < 15$ o $c_u < 70$ kPa o $V_{S30} < 180$ m/s; categorie del suolo: D, S_I*.

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

Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$; $70 < c_u < 250$ kPa); – categoria del suolo: C.

Nelle definizioni precedenti V_{S30} è la velocità media di propagazione entro 30 mt. di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

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.

(*) es.: argille marnose oligo – mioceniche epiliguri, argille e argille marnose tardo messiniane e plio – pleistoceniche, sabbie poco cementate plio – pleistoceniche,

(**) spaziatura della fratturazione < 20 cm.

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 prova **HVSR** (Horizontal to vertical Spectral Ratio) eseguita sul lotto in esame unitamente all'indagine geognostica ed il cui elaborato è allegato alla presente relazione.*

Da tale relazione emerge un valore di V_{S30} (modello medio) pari 358 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 limi ed argille con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore.

La costruzione in progetto 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 σ'_{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 IC .

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 (%):

$K_c = 0$	per $FC = 5$
$K_c = 0.0267(FC-5)$	per $5 < FC = 35$
$K_c = 0.8$	per $FC > 35$

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

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

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

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

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

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

$$CRR = 93 [(q_{clN})_{cs} / 1000]^{\frac{1}{3}} + 0.08$$

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:

Magnitudo	NCEER (Seed R.B. et al.) (1997; 2003)
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 $z < 9.15 \text{ m}$

$$r_d = 1.0 - 0.00765 z$$

se $9.15 = z < 23 \text{ m}$

$$r_d = 1.174 - 0.00267 z$$

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 dalla prova penetrometrica statica eseguita, non si rilevano orizzonti in cui il valore di F_s risulta inferiore a 1.30.

9.- CONCLUSIONI

L'indagine svolta ha evidenziato la presenza nell'area del fabbricato in progetto, di terreni a modeste caratteristiche geomeccaniche.

- ❖ *Per la parametrizzazione geotecnica dei terreni si è fatto riferimento sia alle correlazioni con R_p e C_u dalle prove penetrometriche statiche condotte.*
- ❖ *Litologicamente l'area in esame è dominata da un'alternanza di terreni limosi variamente consistenti con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore, sparse;*
- ❖ *Ai fini dell'intervento in progetto si sono ipotizzate fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita, impostate ad una profondità non inferiore a – 3.00 mt. dall'attuale piano campagna previa realizzazione di un'adeguata opera di contenimento (mediante micropali, diaframmi in calcestruzzo, ecc...) mirata a contenere le spinte esercitate dai terreni e dalle strutture poste a ridosso dell'area di scavo;*
- ❖ *Va' sottolineato inoltre che la realizzazione del piano interrato, permetterà l'eliminazione di cedimenti differenziali dovuti alla non trascurabile disomogeneità di consolidamento degli strati più superficiali;*
- ❖ *Si consiglia di verificare, in fase d'opera, la presenza di livelli meno consistenti, provvedendo a sostituirli, ove necessario, con terreno sabbioso incompressibile, al fine di evitare eventuali cedimenti differenziali della struttura portante.*
- ❖ *Il fronte di qualunque sbanco per la costruzione dell'opera fondale dovrà avere angoli di scarpa compatibili con l'angolo d'attrito interno del terreno scavato; esso dovrà essere tenuto aperto il minor tempo possibile, in funzione anche della piovosità del periodo in cui si eseguiranno i lavori.*
- ❖ *I fronti di scavo dovranno essere protetti con teloni impermeabili; alla base dovranno essere ricavate delle canalette di scolo per l'allontanamento delle acque meteoriche verso punti di minimo morfologico e/o di captazione.*
- ❖ *Durante le fasi di escavazione, dovendo contenere sia le spinte esercitate dal terreno che la eventuale spinta dell'acqua (la cui quota è soggetta a relativamente veloci variazioni), dovrà essere valutata la praticità di abbattere od abbassare il livello della falda freatica poiché tale operazione può determinare un cedimento del terreno e/o delle strutture circostanti.*
- ❖ *In sede di dimensionamento delle opere fondali e perimetrali di contenimento, dovrà essere attentamente valutato il possibile sollevamento per spinta idrostatica ed il fenomeno di sifonamento a cui potranno essere soggette le strutture il cui piano interrato è posto al di sotto della falda freatica.*
- ❖ *Andrà attentamente valutato l'effetto ad arco dovuto alla rigidità delle fondazioni, nonché il contributo alla rigidità stessa fornito dalle sovrastrutture.*
- ❖ *Va' sottolineato altresì che la realizzazione di un piano interrato permetterà l'eliminazione di cedimenti differenziali dovuti alla non trascurabile disomogeneità di consolidamento degli strati più superficiali; infine il livello freatico, ed ancor più le sue periodiche fluttuazioni, non avranno alcuna influenza sugli strati immediatamente*

sottostanti il piano di fondazione, in quanto quest' ultimo verrà a trovarsi permanentemente al di sotto della superficie freatica.

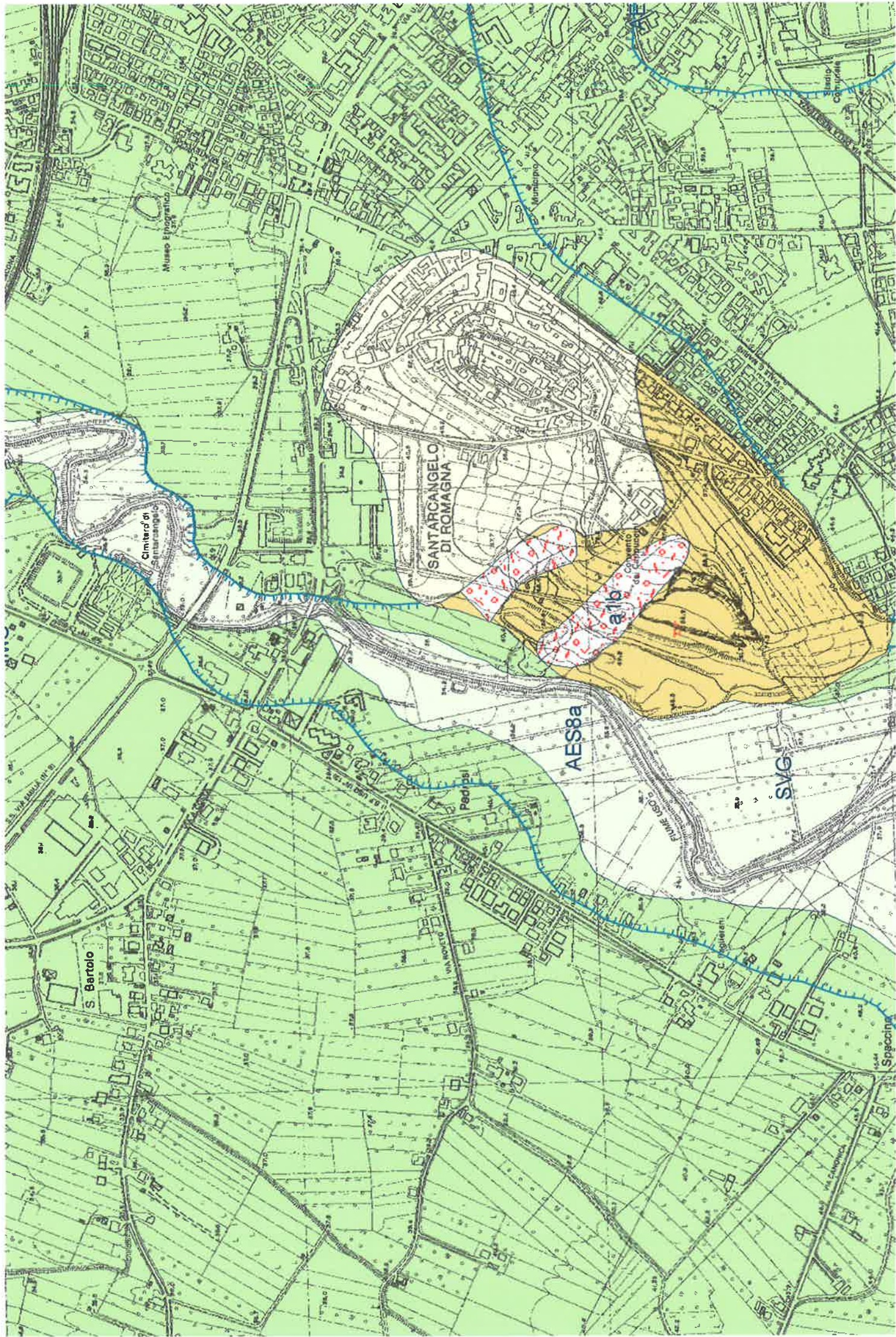
- ❖ Il Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. del 14.01.2008, dell'OPCM e dell' EC8, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, sulla base del profilo stratigrafico indagato, consente di inquadrare il suolo di fondazione entro la categoria: **Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$; $70 < c_u < 250$ kPa); – categoria del suolo: C.**
- ❖ Si ricorda che l'area è inserita in zona sismica di II categoria ($S =$ grado di sismicità = 9) e che il valore di V_{S30} misurato nell'ambito della realizzazione della prova MASW è risultato pari a **358 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 con conseguente deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi sottostanti.
- ❖ Pertanto, sulla base delle verifiche e considerazioni sopra esposte si può affermare che l'intervento in oggetto non inciderà sul quadro generale di stabilità e situazione idrogeologica della zona per cui si esprime parere positivo di fattibilità.

Santarcangelo di R., Giugno 2012.



RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATA AL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE DI ANNESSI RUSTICI DA ADIBIRE AD ATTIVITA' DI PRIMA LAVORAZIONE E CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI AGRICOLI – CANTINA, ACCLUSI AL FABBRICATO RESIDENZIALE SITO PRESSO VIA DELL' USO N° 876, IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN – CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.

ALLEGATI



SEZIONE 256100 - SANTARCANGELO DI ROMAGNA

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

Depositi quaternari continentali



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

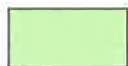


a3 - Deposito di versante s.l.



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



AES8 - Subsintema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena



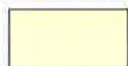
IMO - Sabbie di Imola



SVG - Arenarie ed argille di Savignano



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



FAA - Argille Azzurre

In Provincia di Forlì-Cesena

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsintema di Ravenna

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

Pleistocene sup. - Olocene

AES8a - Unità di Modena

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

Olocene

IMO - Sabbie di Imola

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

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

SVG - Arenarie ed argille di Savignano

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

Pleistocene inf.

In Provincia di Rimini

Depositi quaternari continentali

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

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

a3 - Deposito di versante s.l.

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

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

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

Successione neogenica - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsistema di Ravenna

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7.

Pleistocene sup. - Olocene

AES8a - Unità di Modena

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

Olocene

IMO - Sabbie di Imola

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

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

SVG - Arenarie ed argille di Savignano

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

Pleistocene inf.

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

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

Pleistocene inf.

FAA - Argille Azzurre

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

Piacenziano - Gelasiano (biozone MNN16a-MNN18)

LEGENDA GEOLOGICA COMUNE DI SANTARCANGELO

Depositi quaternari continentali

Deposito di frana attiva (a1)

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. 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.

a1a: Deposito di frana per crollo e/o ribaltamento

Deposito originato da distacco di rocce litoidi da un pendio acclive e messo in posto con processi di caduta libera, rimbalzo e rotolamento di ciottoli e massi. L'accumulo detritico è costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm³ e decine di m³, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica a luoghi alterata e pedogenizzata. E' caratteristica la riattivazione improvvisa e la estrema velocità del movimento.

a1b: Deposito di frana 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.

a1g: Deposito di frana complessa

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

Deposito di frana quiescente (a2)

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. 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 per scivolamento

(descrizione analoga a a1b)

a2d: Deposito di frana 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 complessa

(descrizione analoga a a1g)

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 - Depositi alluvionali 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.

i1 – conoide torrentizia in evoluzione

Depositi alluvionali dei torrenti minori, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua.

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENINICO-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 superiore-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 tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7.

Pleistocene superiore-Olocene

AES8a - Unità di Modena

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

Olocene

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-superiore

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

IMO - SABBIE DI IMOLA

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

Pleistocene medio

SVG - ARENARIE E ARGILLE DI SAVIGNANO

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

Pleistocene inferiore

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. 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 - 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.

FAAmc - 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.

FAA1a - litofacies delle arenarie e argille 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.

Membro arenaceo di Borello (FAA2)

Membro interamente suddiviso in litofacies caratterizzate da variabilità del rapporto A/P e spessore medio degli strati, che si ripetono a più altezze stratigrafiche e mostrano rapporti di eteropia. Passaggio rapido a FAA. Spessore estremamente variabile, raggiunge i 1000 m e localmente si riduce fino ad annullarsi.

Pliocene inferiore

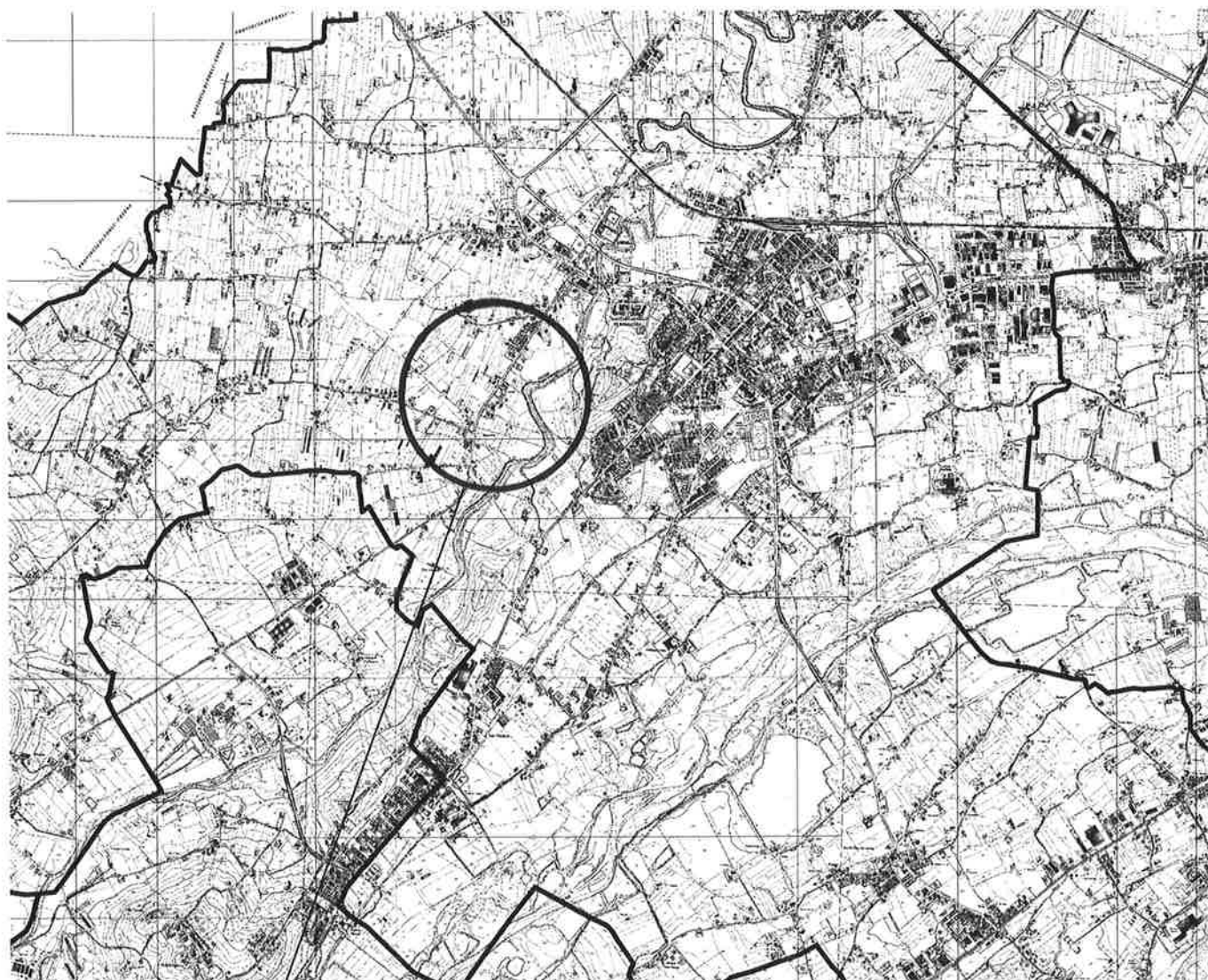
FAA2p - litofacies pelitico-arenacea

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 $A/P < 1/2$.

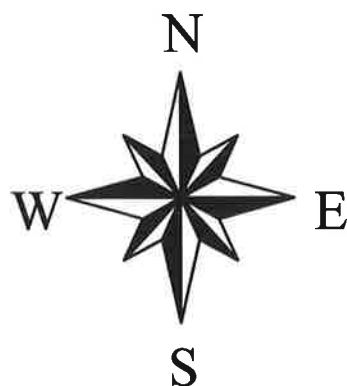
FAA2ap - litofacies arenaceo-pelitica

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 ($A/P > 1$).

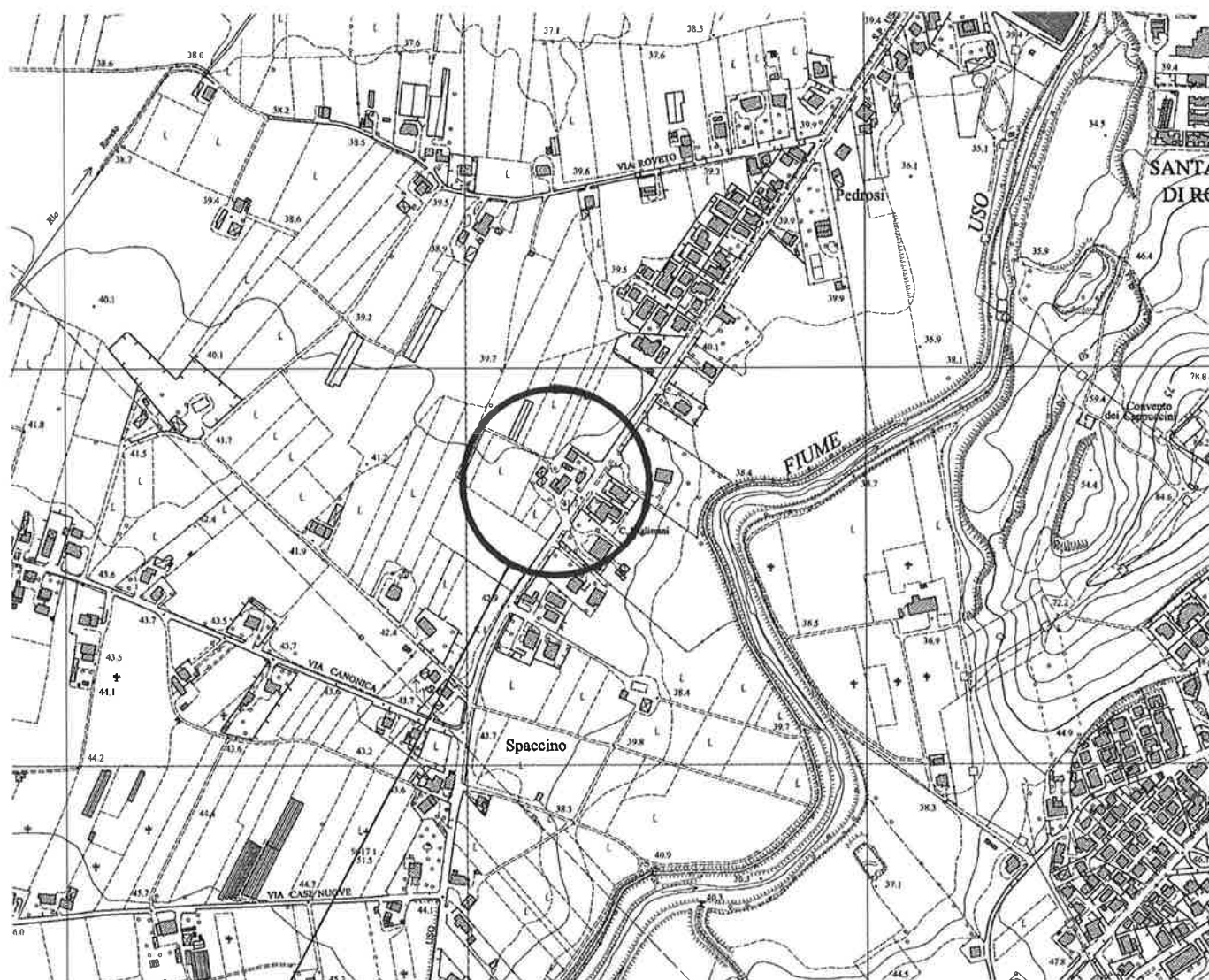
PLANIMETRIA scala 1 : 25.000



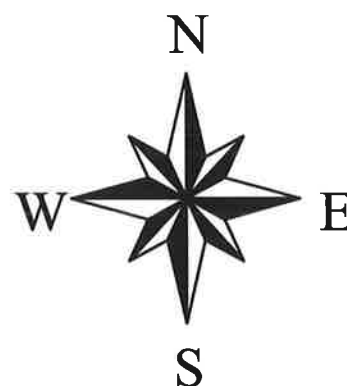
Area in esame



PLANIMETRIA scala 1 : 5.000

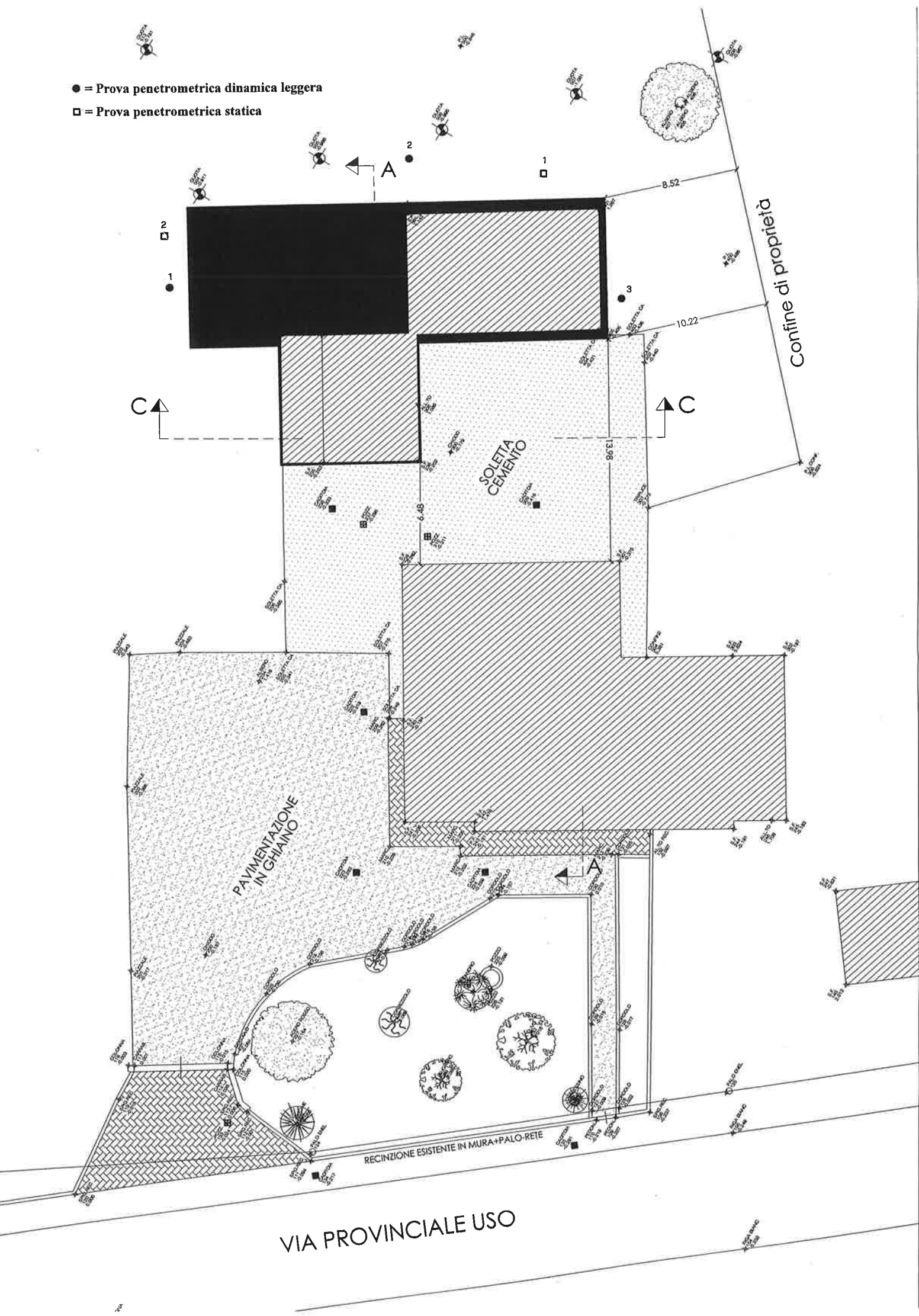


Area in esame



● = Prova penetrometrica dinamica leggera

□ = Prova penetrometrica statica



Committente: **Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI**

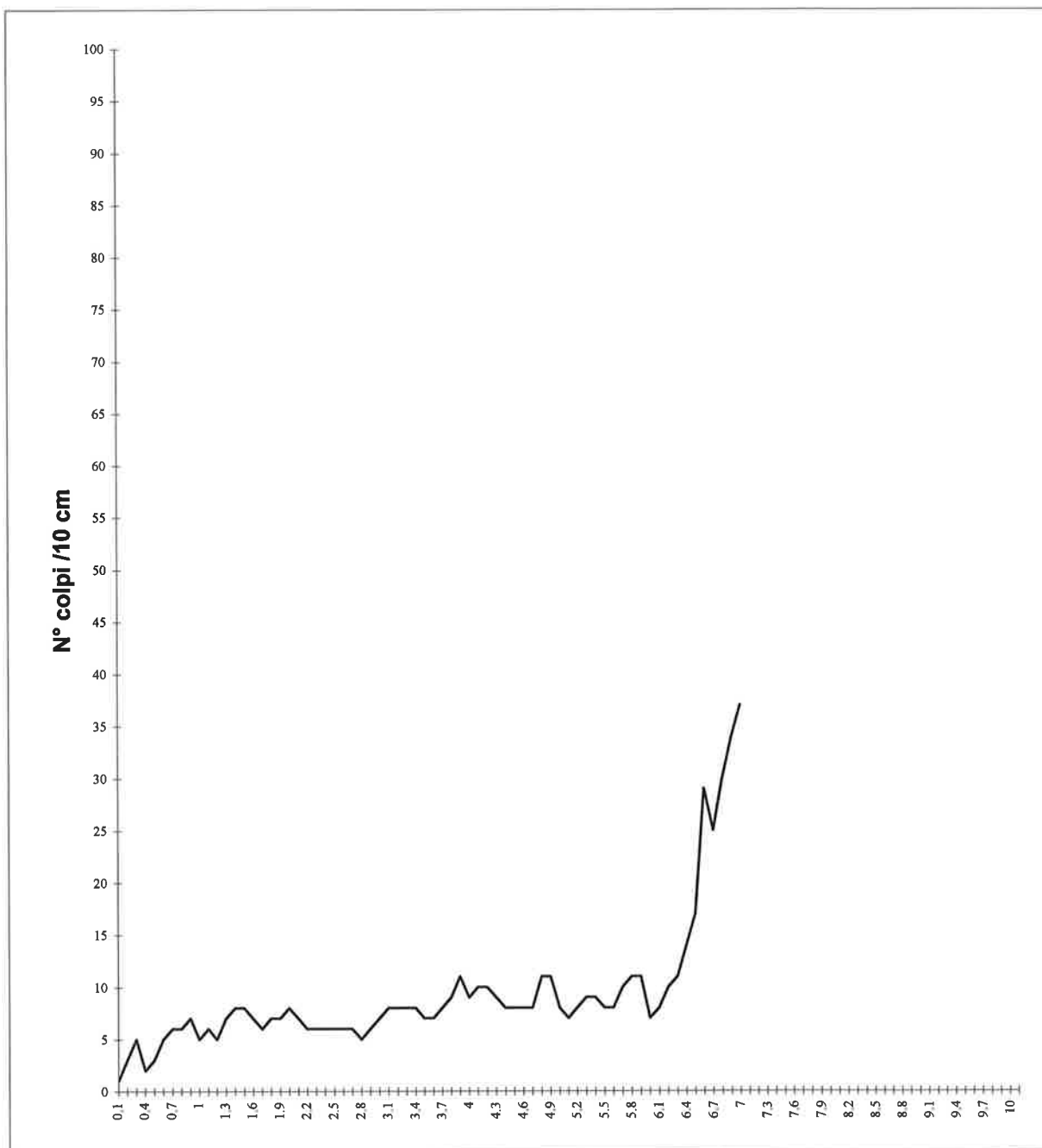
Lavoro: **Via dell'Uso n° 876 - SANTARCANGELO di R.**

Data: **Mar. 2012**

Prova **Penetrometrica**

Dinamica n° **1**

M = Kg 30 H = cm 20 A = cmq 10 P = Kg/ml 2,80



Note:

Studio Geologico

Dr. FRANCO BATTISTINI

Santarcangelo di R. - Tel.+ Fax 0541/625259

Committente: Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI

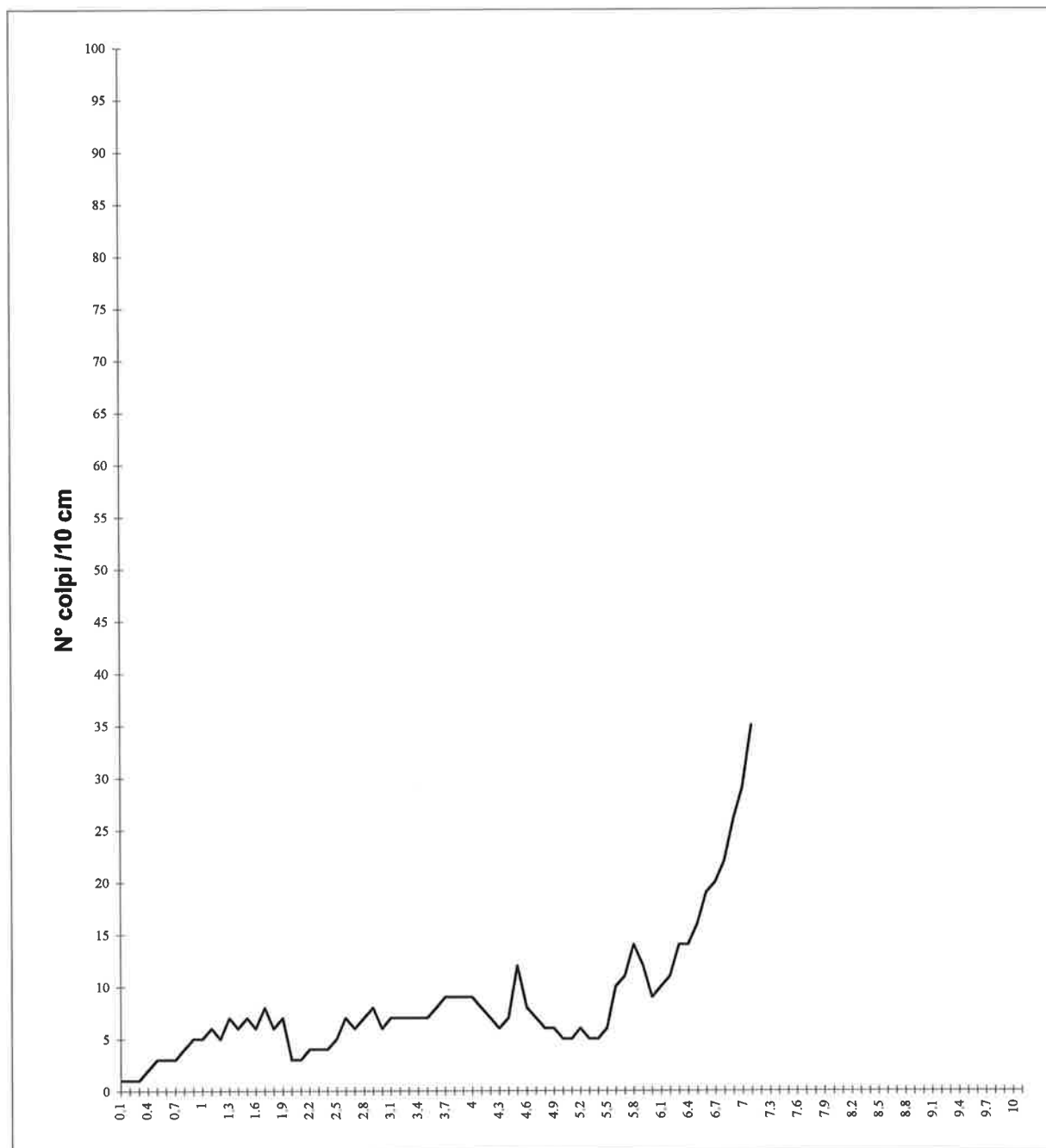
Lavoro: Via dell'Uso n° 876 - SANTARCANGELO di R.

Data: Mar. 2012

Prova Penetrometrica

Dinamica n° 2

M = Kg 30 H = cm 20 A = cmq 10 P = Kg/ml 2,80



Note:

Studio Geologico

Dr. FRANCO BATTISTINI

Santarcangelo di R. - Tel.+ Fax 0541/625259

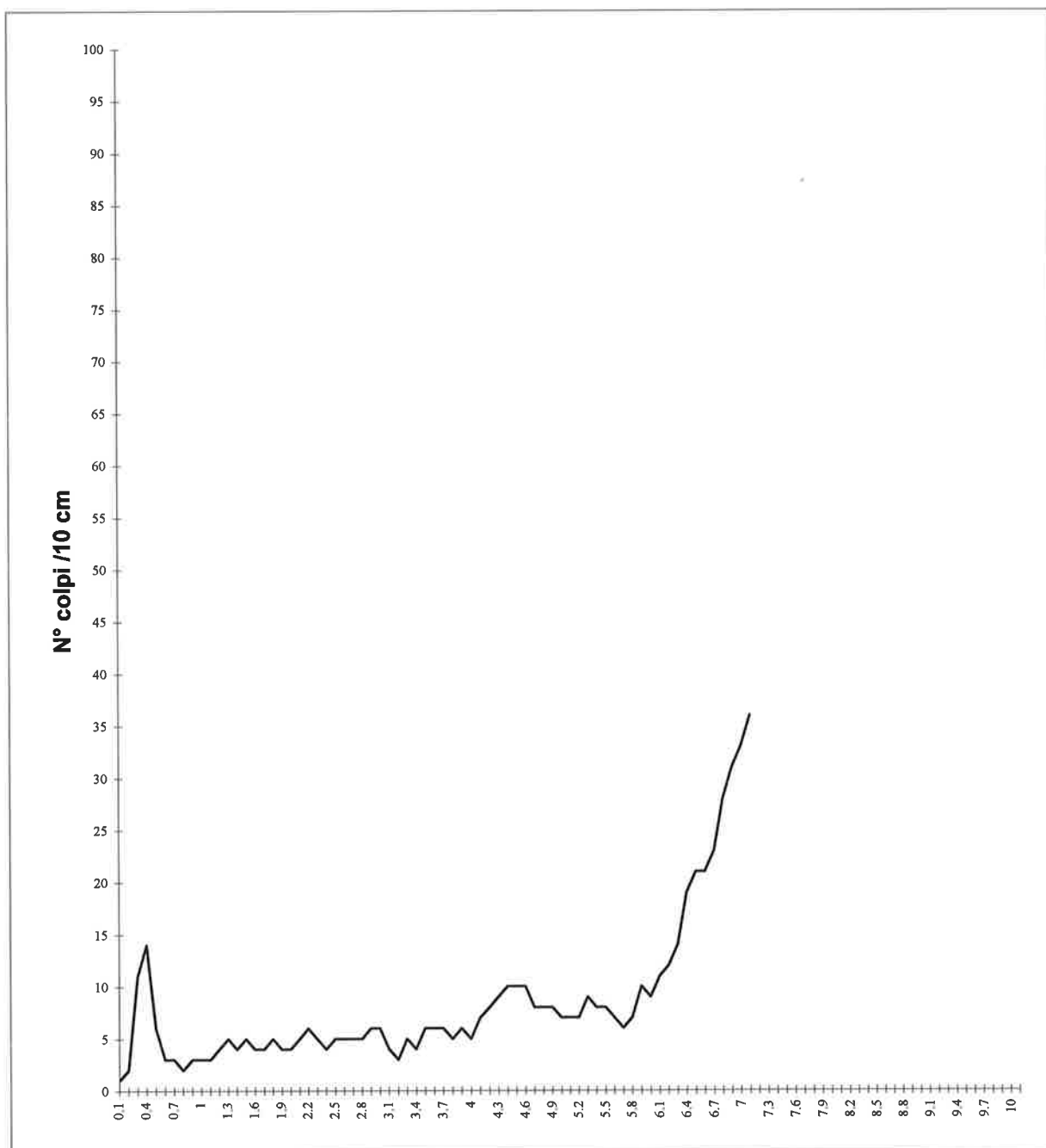
Committente: **Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI**

Lavoro: **Via dell'Uso n° 876 - SANTARCANGELO di R.**

Data: **Mar. 2012**

Prova Penetrometrica
Dinamica n° **3**

M = Kg 30 H = cm 20 A = cmq 10 P = Kg/ml 2,80



Note:

Studio Geologico

Dr. FRANCO BATTISTINI

Santarcangelo di R. - Tel.+ Fax 0541/625259

Committente: **Egr. Sig. EDOARDO SQUADRANI**

Cantiere: **Via dell' Uso n° 876**

Località: **SANTARCANGELO di R.** Prova C.P.T. n° **1**

Riferimento: Data **Mar. 2012**

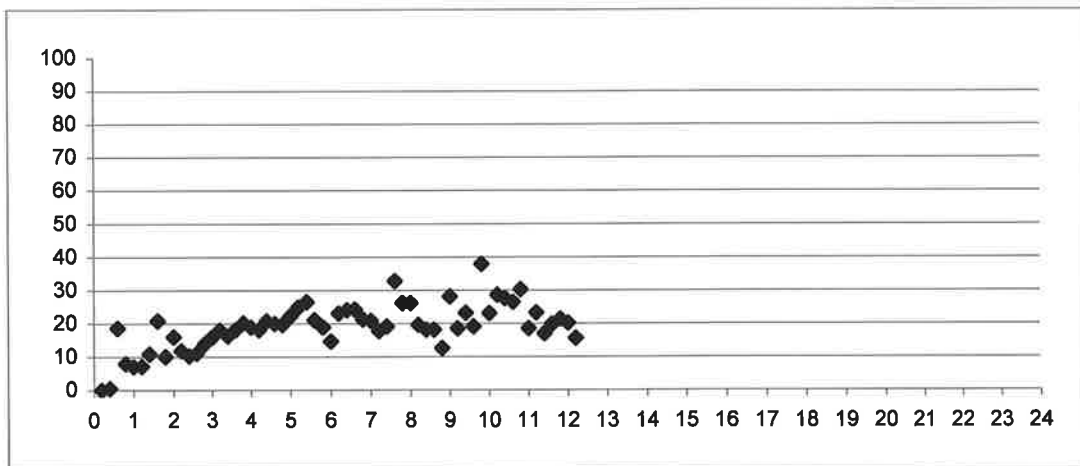
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Note:

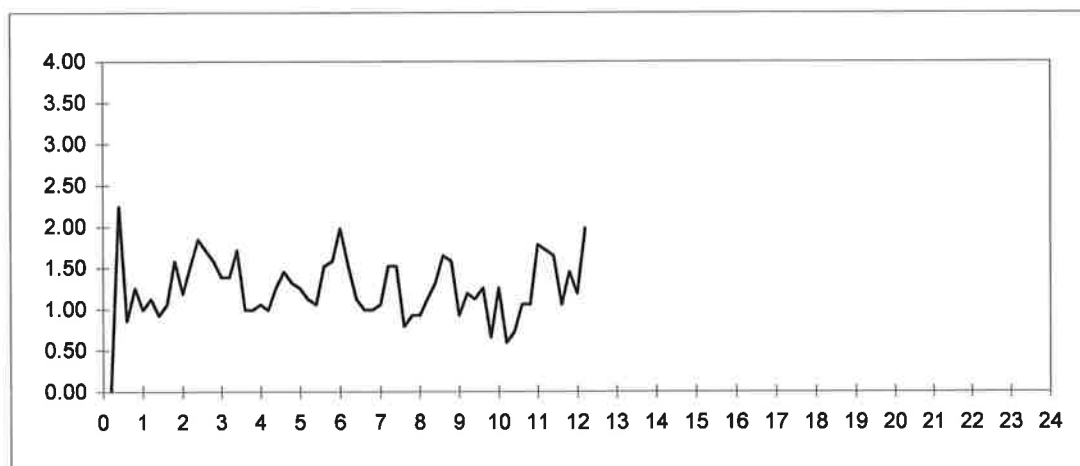
	Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl
1,0	0	0	7,0	34	64	13,0	30	48	19,0		
	0	0		26	49		21	51			
	15	49		23	40						
	9	22		20	35						
	6	25		21	36						
	7	22		26	42						
	9	26		28	51						
	21	35		25	48						
	15	31		23	35						
2,0	18	42	8,0	23	37	14,0			20,0		
	17	35		21	35						
	18	41		23	40						
	18	46		29	49						
	21	47		19	44						
3,0	21	45	9,0	25	49	15,0			21,0		
	24	45		21	35						
	27	48		25	43						
	17	43		23	40						
	19	34		24	43						
4,0	19	34	10,0	28	38	16,0			22,0		
	17	33		16	35						
	25	40		19	28						
	28	47		27	38						
	25	47		31	47						
5,0	27	47	11,0	32	48	17,0			23,0		
	27	46		39	66						
	27	44		27	53						
	31	47		20	45						
	29	52		30	46						
6,0	28	52	12,0	23	45	18,0			24,0		

H₂O =

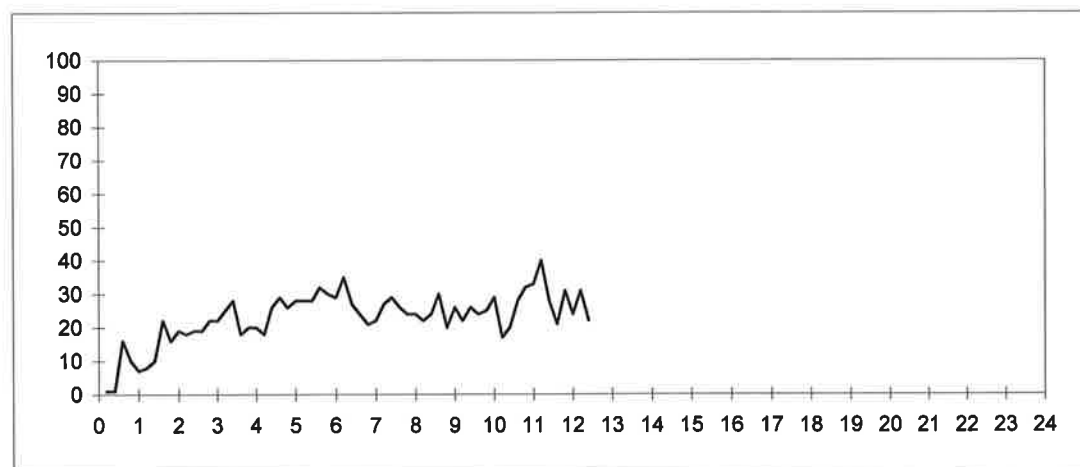
MISURA BEGEMAN (RP/RL)



MISURA RL (Kg/cm²)



MISURA RP (Kg/cm²)





CARTA della SISMICITÀ in Italia

Seismicity Map of Italy

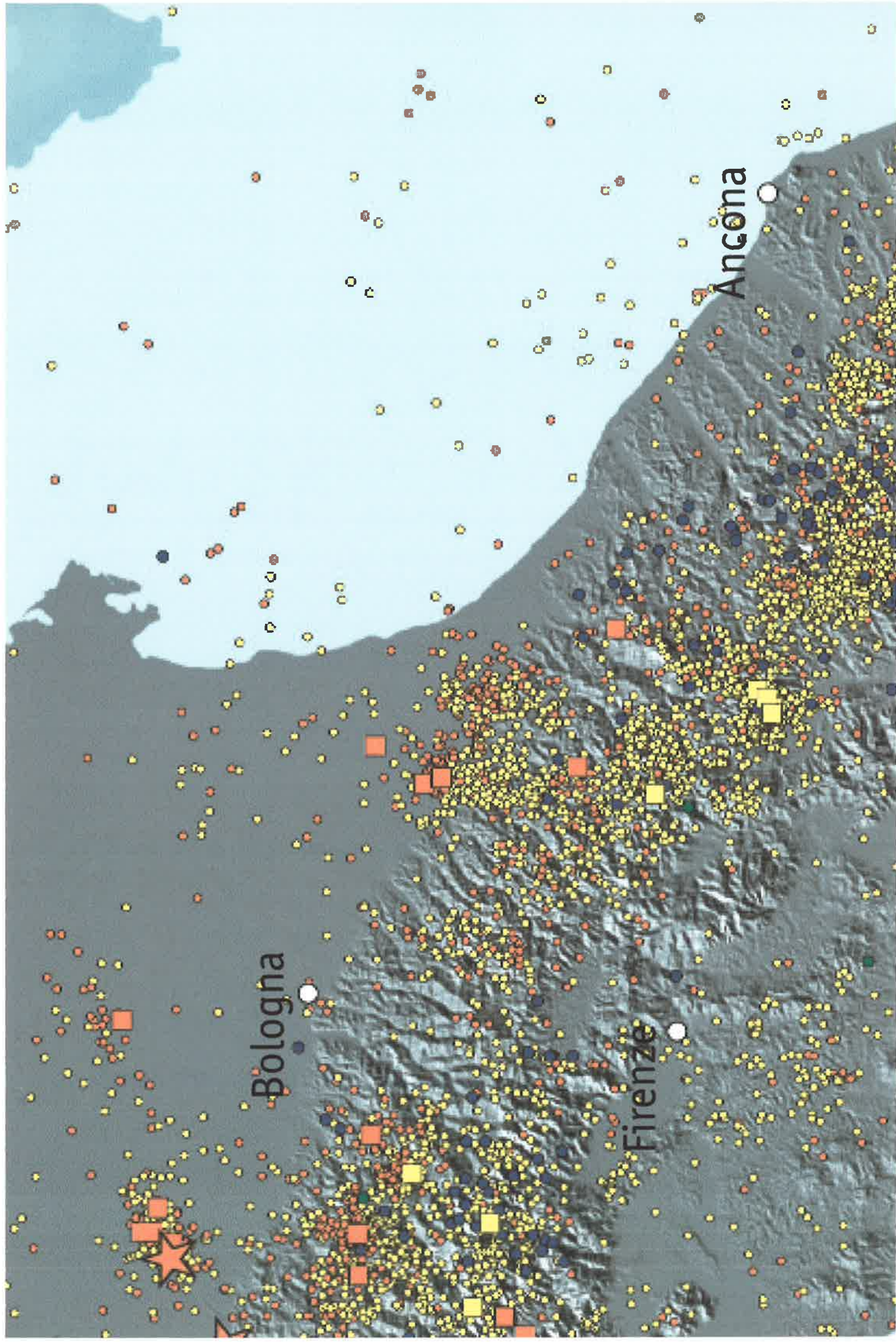
B. CASTELLO, M. WORO, C. CHIARABBA, M. DI BONA, F. DOUMAZ, G. SELVAGGI and A. AMATO - CENTRO NAZIONALE TERREMOTI - INGV

La Carta della sismicità in Italia illustra la distribuzione degli epicentri di 45.000 terremoti avvenuti in Italia tra il 1981 e il 2002. La maggior parte dei terremoti indicati ha una magnitudo inferiore a 4.0 ed è localizzata nella crosta superiore, entro 12 km di profondità. Solo 33 terremoti hanno una magnitudo superiore a 5.0 ed il più forte è stato il terremoto che nel Settembre del 1997 ha colpito la regione umbro-marchigiana (Magnitudo $M=6.0$). In questa mappa è chiaramente mostrato come nell'Italia peninsulare ci sia una stretta correlazione tra la sismicità e la topografia e come, inoltre, si sia verificato un notevole rilasciamento sismico sia in corrispondenza dei vulcani attivi italiani (ad esempio il Monte Etna) che a largo delle coste settentrionali della Sicilia. Nella zona del Tirreno meridionale è presente una notevole sismicità profonda in relazione al processo di subduzione della litosfera ionica al di sotto dell'arco calabrese. A questo processo sono collegati alcuni dei più forti terremoti registrati in Italia: nel periodo considerato (1981-2002) il più forte terremoto è avvenuto il 6 gennaio 1994 a circa 200 km di profondità ($M=5.8$).

La cartografia è stata elaborata a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile. Si ringrazia il Servizio Sismico Nazionale (SSN) INGV-GR, INGV-CT e per averci fornito i dati relativi ai terremoti di attività della Rete Sismica. La cartografia è stata elaborata a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

The map shows 45,000 selected earthquakes which occurred in Italy in the period between 1981 and 2002. Most of the earthquakes have magnitude lower than 4.0 and are located within the Earth's crust, in the upper 12 km. Only 33 earthquakes exceeded magnitude 5.0, and the largest event is the 1997, September 26, Umbria-Marche earthquake ($M=6.0$). The map emphasizes the close relationship between seismicity and topography in the Apennines, and also the high seismic release in active volcanoes (as Mt. Etna) and offshore northern Sicily. A concentration of subcrustal and deep earthquakes is evident in the southern Tyrrhenian sea, where the Italian lithosphere subducts beneath the Calabrian arc. The largest deep earthquake in this period occurred on 1994, January 6th in the Southern Tyrrhenian Sea, with a moment magnitude (M_w) of 5.8, at 200 km depth.

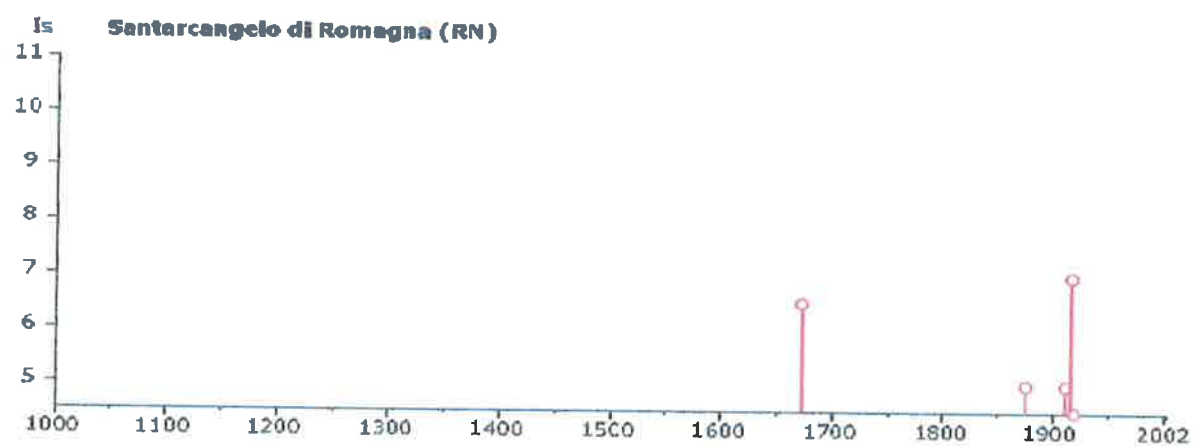
Acknowledgements: we thank all the INGV people who contributed to the data from the National Seismic Network. We also thank the University of Ferrara, INGV-Modena, the University of Udine, the University of Bari, the University of Pisa, the University of Perugia, the University of L'Aquila, the Servizio Sismico Nazionale (SSN) INGV-GR, INGV-CT and others who provided archival data. The development and maintenance of the National Seismic Network is carried out by the National Earthquake Center of INGV with the support of the National Department of Civil Protection.



Storia sismica di Santarcangelo di Romagna
[44.063, 12.447]

Total number of earthquakes: 21
Effects

Is	Anno			Area epicentrale	Earthquake occurred:			
	Me	Gi	Or		Studio	nMDP	Io	Mw
6-7	1672	04	14 15 45	Riminese	CFTI	92	8	5.60
5	1875	03	17 23 51	Romagna sud-orient.	CFTI	143	8	5.74
NF	1904	11	17 05 02	PISTOIESE	DOM	204	7	5.18
4	1909	01	13 00 45	BASSA PADANA	DOM	799	6-7	5.53
2	1911	02	19 07 18 30	Romagna meridionale	CFTI	185	7	5.38
5	1911	03	26 13 51	RIMINI	DOM	9	6	5.18
3	1914	10	27 09 22	GARFAGNANA	DOM	618	7	5.79
3-4	1915	01	13 06 52	AVEZZANO	DOM	1040	11	6.99
7	1916	05	17 12 50	Alto Adriatico	CFTI	130	8	5.85
7	1916	08	16 07 06 14	Alto Adriatico	CFTI	256	8	5.92
2-3	1917	04	26 09 35	MONTERCHI-CITERNA	DOM	128	9	5.80
4	1918	11	10 15 12 28	Appennino romagnolo	CFTI	95	8	5.79
4-5	1919	06	29 15 06 13	Mugello	CFTI	267	9	6.18
2	1920	09	07 05 55 40	Garfagnana	CFTI	638	9-10	6.48
3-4	1924	01	02 08 55	SENIGALLIA	DOM	73	7-8	5.59
4	1930	10	30 07 13	SENIGALLIA	DOM	263	9	5.94
NF	1960	10	29 00 09	MUGELLO	DOM	37	7	4.93
4	1980	11	23 18 34 52	Irinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
NF	1983	11	09 16 29 52	Parmense	CFTI	835	6-7	5.10
NF	1986	12	06 17 07 19	BONDENO	DOM	604	6	4.56
4	1997	09	26 09 40 25	Appennino umbro-march.	CFTI	869	8-9	6.05



SANTARCANGELO, Via Dell'Uso 876

Strumento: TRZ-0129/01-10

Inizio registrazione: 05/03/12 09:51:37 Fine registrazione: 05/03/12 10:11:37

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

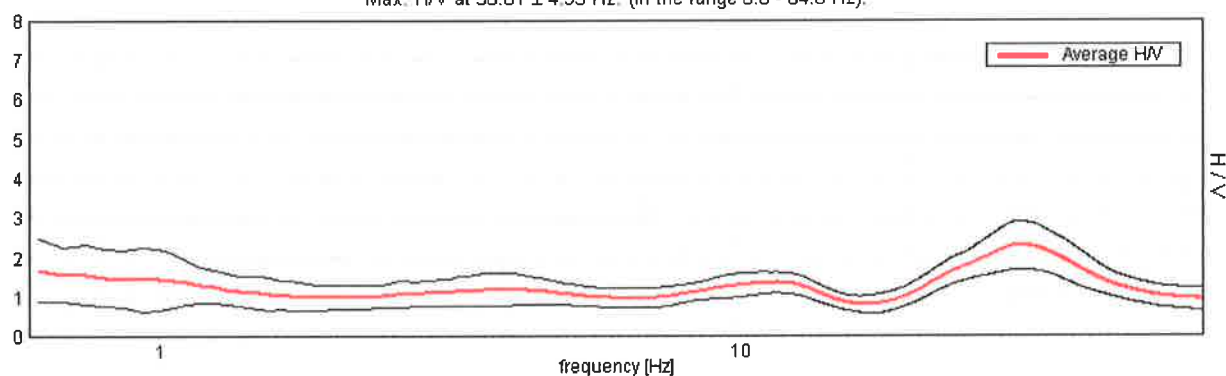
Lunghezza finestre: 16 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

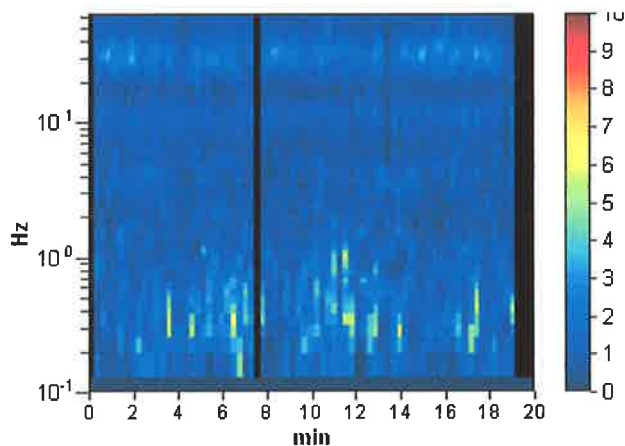
Lisciamento: 16%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

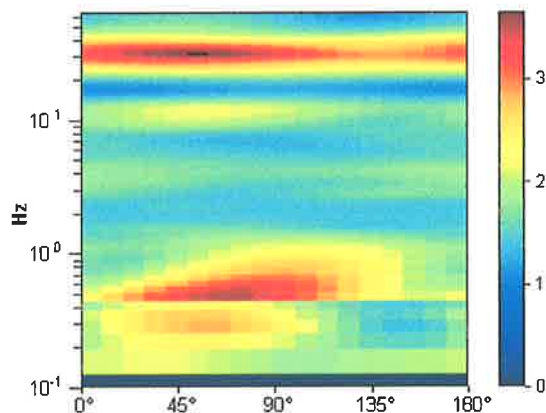
Max. H/V at 30.81 ± 4.95 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



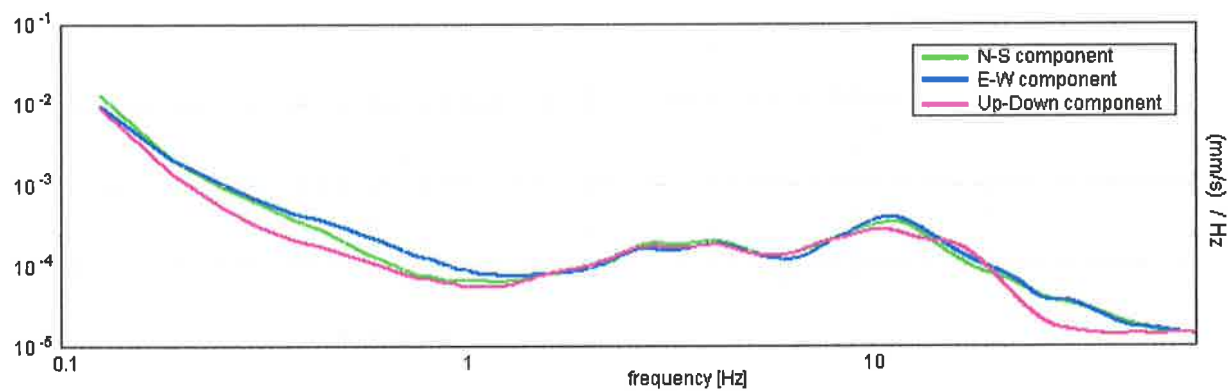
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

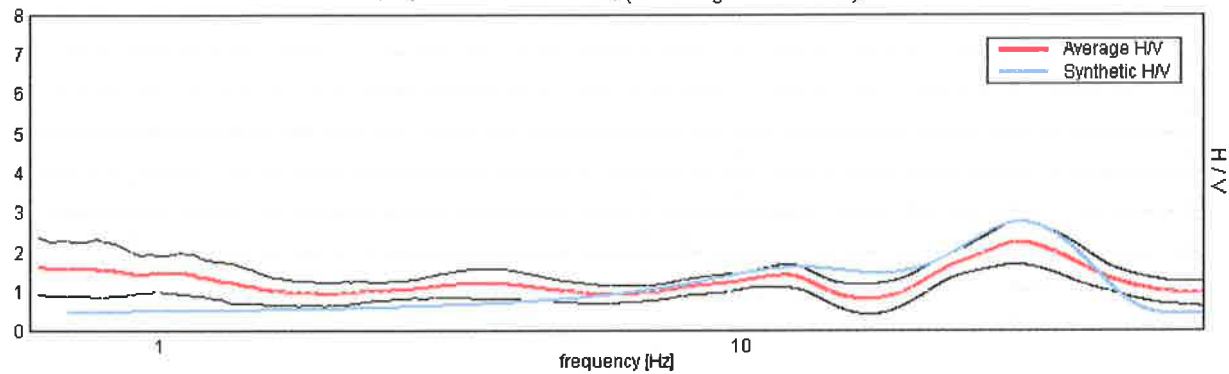


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



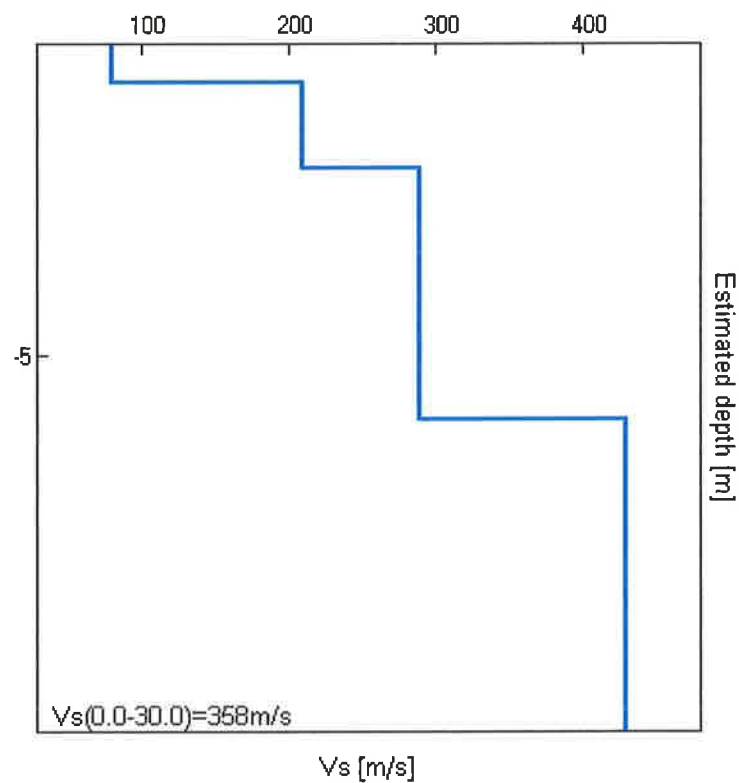
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 0.34 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	80	0.25
2.00	1.40	210	0.30
6.00	4.00	290	0.35
inf.	inf.	430	0.35

Vs(0.0-30.0)=358m/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 30.81 ± 4.95 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$30.81 > 0.63$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$34510.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 740	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	20.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	48.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.29 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.46505 < 1.54063$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3018 < 1.58$	OK	

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

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

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

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 sovrapposto 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 Excitations) 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 (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

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

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

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

mentre quella relativa alle onde S è:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Attrezzature e modalità

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

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

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

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

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

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

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

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

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

- Elaborazione dati

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

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

I principali passi del processing sono i seguenti:

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

5. valutazione della deviazione standard.

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

Il risultato finale della prova presenta:

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

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

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

- Frequenze

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

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

- Spessori

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

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}$$

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 R. –RN-
Via dell’Uso n° 876.**

Inizio registrazione: 05.03.2012 ore 09:51:37 - Fine registrazione: 05.03.2012 ore 10:11:37

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 93 % tracciato (selezione manuale)

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 16 s.

Tipo di lisciamiento: Triangular window

Lisciamiento: 16%.

Con la determinazione delle onde di taglio V_s 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- Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi** caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri;
- B- Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa);
- C- Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza** con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$; $70 < c_u < 250$ kPa);
- D- Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$; $c_u < 70$ kPa);
- E- Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali** con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 mt. giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.

Categorie aggiuntive di sottosuolo.

S1- Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 mt. di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa);

S2- depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine HVSR si può affermare che il sito è caratterizzato da una velocità delle onde di taglio (V_{S30}) di 381 m/s, corrispondente ad un terreno di **tipo C**:

Profondità alla base dello strato (mt.)	Spessore (mt.)	V_s (m/s)
0.60	0.60	80
2.00	1.40	210
6.00	4.00	290
Inf.	Inf.	430