

COMUNE DI SANTARCANGELO DI R.

PROVINCIA DI RIMINI

ELABORATO GRAFICO ALLEGATO ALLA RICHIESTA DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO AREA IDENTIFICATA DAL PSC E DAL POC, AN.C15A SITA NEL COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA IN VIA SAN BARTOLO.

COMMITTENTI

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> SOCIETÀ "PROM.ED. S.R.L." _____ | <input type="checkbox"/> GUIDI NADIA _____ |
| <input type="checkbox"/> GUIDI TERESA _____ | <input type="checkbox"/> GUIDI PAOLA _____ |
| <input type="checkbox"/> GUIDI SEVERINA _____ | <input type="checkbox"/> SANTARINI FABIO _____ |
| <input type="checkbox"/> GUIDI ROBERTO _____ | |
| <input type="checkbox"/> GOBBI NATALINA _____ | |
| <input type="checkbox"/> GUIDI DANILO _____ | |

PROGETTISTI

- GEOL. FRANCO BATTISTINI

SPAZIO RISERVATO AI VISTI DEGLI ENTI:

TAVOLA

12

DATA: 20/12/2016

SCALA:

OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA

Spett. Società PRO.MED. S.r.l.

Egr. Sigg.

**NATALINA GOBBI, GINO, NADIA, PAOLA, SAVERIO,
SEVERINA, TERESA GUIDI, FABIO SANTARINI.**

**RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA ALLA RICHIESTA DI VALUTAZIONE PREVENTIVA
AI SENSI DEL REC ART. 16 L.R. 31/2012 E ART. 21 DEL REC
SU AREA IDENTIFICATA DAL PRG VIGENTE
QUALE C3 N3A (PSC AN.C15A)
SITA TRA LE VIE A. COSTA E VIA S. BARTOLO,
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN -
CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.**

RELAZIONE



Spett. Società PRO.MED. S.r.l.

Egr. Sigg.

**NATALINA GOBBI, GINO, NADIA, PAOLA, SAVERIO,
SEVERINA, TERESA GUIDI, FABIO SANTARINI.**

**RELAZIONE GEOLOGICA
ALLEGATA ALLA RICHIESTA DI VALUTAZIONE PREVENTIVA
AI SENSI DEL REC ART. 16 L.R. 31/2012 E ART. 21 DEL REC
SU AREA IDENTIFICATA DAL PRG VIGENTE
QUALE C3 N3A (PSC AN.C15A)
SITA TRA LE VIE A. COSTA E VIA S. BARTOLO,
IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN –
CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.**

1.- PREMESSA

L'indagine e' stata condotta su incarico dell' Ing. FEDERICO RAMBALDI. Arch. ELISA ALESSI ed Arch. RICCARDO RAMBERTI di Santarcangelo di Romagna per conto della Spett. Società PRO.MED. S.r.l. e dei Sigg. NATALINA GOBBI, GINO, NADIA, PAOLA, SAVERIO, SEVERINA, TERESA GUIDI e FABIO SANTARINI al fine di accertare le condizioni geologiche ed idrogeologiche dei terreni siti tra le Via A. Costa e Via S. Bartolo, in Comune di Santarcangelo identificati dal PRG vigente quale C 3 N 3° (PSC AN.C15A) e di conseguenza acquisire gli elementi necessari alla realizzazione di un insediamento residenziale articolato in due sub ambiti a) e b).

Con l'intervento in progetto si prevede di ricollocare e potenziare i sevizi scolastici (scuola elementare e palestra) attualmente presenti lungo l'asse viario principale di via San Bartolo oltre alla realizzazione di n° 8 edifici residenziali sviluppati su uno – due piani.

L'indagine geognostica preliminare si è avvalsa dell'esecuzione di n° 4 prove penetrometriche statiche effettuate mediante penetrometro tipo PAGANI 73-200 kN, semovente che hanno raggiunto la profondità massima di 30.00 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.

I relativi grafici penetrometrici sono allegati a fine relazione.

Sono state inoltre effettuate una prova MASW (multichannel analysis of surface waves) e n° 2 prove HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) finalizzate 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-.

Ci si è inoltre avvalsi dei risultati forniti dall’esecuzione di ulteriori n° 1 prova MASW e n° 1 prova HVSR condotte dal Dr. Geol. Antonio Maria Baldi nell’ambito della stesura di relazione di microzonazione sismica allegata al Piano Strutturale Comunale –Luglio 2010-.

Infine, ad integrazione e verifica dei dati / vincoli insistenti sull’area in esame, si è preso visione delle Tavole tematiche allegate al P.S.C. 8 a Firma dei Geol. D. Bastianelli, F. Carlini ed M. Zaghini i cui tematismi sono di seguito sintetizzati nelle seguenti cartografie:

Tavola 1 – Carta Geologica.

Tavola 2 – Carta Geomorfologia.

Tavola 3 - Carta Litologica.

Tavola 4 – Carta dell’Idrografia superficiale.

Tavola 5° / 5b – Carta delle isofreatiche (anni 1996 – 1998 – 2007).

Tavola 6 – Carta Ubicazioni Indagini geognostiche.

Tavola 7 – Carta Clivometrica.

Tavola 8 – Carta del Rischio Ambientale (geomorfologico, idraulico, vulnerabilità idrogeologica).

Tavola 9 – Carta delle aree soggette ad effetti locali in caso di eventi sismici.

Tavola 10 – Carta di Sintesi dei Vincoli.

Delle predette carte tematiche (eccezione fatta per quelle contraddistinte dai nn° 4, 6 e 7) si è riportato in allegato uno stralcio relativo all’area oggetto del presente studio.

2.- INQUADRAMENTO GENERALE DEL TERRITORIO

*Il territorio comunale di Santarcangelo di Romagna ha un’estensione di **45.08 Kmq.***

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

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

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

2.1.- GEOLOGIA e GEOMORFOLOGIA

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

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

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

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

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

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

Essi rappresentano il cosiddetto "neautoctono".

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda l'alveo recente del Fiume Marecchia, a partire dagli anni '70 esso ha subito, al pari di altri fiume emiliano - romagnoli, una profonda trasformazione per effetto della canalizzazione che ha prodotto una drastica riduzione della sezione d'alveo ed una profonda incisione a valle di Ponte Verucchio (di oltre 10 metri) che ha portato in affioramento i terreni di deposito marino (peliti grigio - azzurre della successione pliocenica). La canalizzazione è stata prodotta dalle escavazioni compiute in alveo e sui terrazzi laterali del fiume, compiute negli anni '70 che hanno prodotto l'asportazione del sottile pavè ghiaioso (dello spessore di 5 - 7 metri circa) posti al tetto dei terreni di deposito marino nella zona apicale del conoide. La canalizzazione riguarda circa 7 - 8 dei 19 Km. Della lunghezza d'alveo compresa tra Ponte Verucchio e la foce.

Complessivamente i depositi marini occupano una superficie pari a 9.955 Km². (circa il 22% della superficie comunale pari a 45.08 Km².) mentre i depositi continentali alluvionali della pianura, una superficie di 35.125 Km². Pari a circa il 78 % del territorio comunale.

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

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

La copertura alluvionale argillosa, contribuisce a rendere artesiani 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

Sull'area in esame sono state eseguite n° 4 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) ubicate come da planimetria allegate unitamente ad una prova MASW (multichannel analysis of surface waves) e n° 2 prove HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio).

Le prove penetrometriche statiche CPT sono state eseguite mediante penetrometro tipo PAGANI 73-200 kN, semovente, con spinta max. di 20 Tons, con ancoraggi tramite viti elicoidali e punta meccanica Begemann.

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 30.00 mt. dal piano campagna attuale.

- MASW (multichannel analysis of surface waves)

Il metodo MASW (multichannel analysis of surface waves) è una tecnica di indagine non invasive che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diversa lunghezza d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K, & Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più

superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento di sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze comprese tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 ÷ 50 mt., in funzione della rigidità del suolo.

Di seguito si farà riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica del suolo, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 mt. di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il metodo MASW consiste in tre fasi: 1)- la prima prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale; 2)- la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica; 3)- la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o, in maniera alternativa, alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ e si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale si assegnano per tentativi, diversi valori della velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% ed il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve ed il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 mt. di profondità V_{s30} e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

Ovviamente si ribadisce la necessità di avere a disposizione altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnica del suolo, prima di procedere alla classificazione sismica del sito.

- HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)

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

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

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

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

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

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

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

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

- Basi teoriche

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_s come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-Von Seht e Wohleberg (1999). Poiché l'andamento del log in V_s in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidità 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 sono state eseguite n° 4 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) ubicate come da planimetria allegata.

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

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

I risultati hanno evidenziato una stratigrafia così schematizzabile:

- Prova penetrometrica statica n° 1.

- dal p.c. a - 0.80 mt. : Terreno vegetale limoso -argilloso. Alterato.
- da - 0.80 a - 23.2 mt. : Alternanza di limi argillosi e sabbiosi a vario grado di consistenza.
- da - 23.2 a -27.0 mt. : Ghiaie eterometriche in matrice limo - sabbiosa con intercalazioni limo - argillose di limitato spessore. Addensate.
- da - 27.0 mt. alle
profondità investigate : Limi argillosi ed argille limose da consistenti a molto consistenti.

- Prova penetrometrica statica n° 2.

- dal p.c. a - 1.40 mt. : Terreno vegetale limoso -argilloso. Alterato.
- da - 1.40 mt. alle
profondità investigate : Limi argillosi ed argille limose da consistenti a vario grado di consistenza con intercalazioni limo - sabbiose di limitato spessore.

- Prova penetrometrica statica n° 3.

- dal p.c. a - 0.80 mt. : Terreno vegetale limoso -argilloso. Alterato.

- da – 0.80 a – 5.80 mt. : *Alternanza di limi argillosi e sabbiosi a vario grado di consistenza.*
- da – 5.80 a – 7.00 mt. : *Intervallo sabbioso – limoso a vario grado di consistenza / addensamento.*
- da – 7.00 mt. alle : *Limi argillosi ed argille limose, consistenti.*
profondità investigate
- **Prova penetrometrica statica n° 4.**
- dal p.c. a – 1.00 mt. : *Terreno vegetale limoso –argilloso. Alterato.*
- da – 1.00 mt. alle : *Limi argillosi ed argille limose da consistenti a vario grado*
profondità investigate *di consistenza con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore.*

Per una visione di dettaglio si rimanda ai grafici penetrometrici allegati a fine relazione. Nei fori di sondaggio, completati con la posa di tubi piezometrici, e' stata rinvenuta la presenza di un livello freatico a quota compresa tra - 1.20 e - 1.60 mt. dall' attuale piano campagna..

5.- GEOTECNICA

5.1.- Opere di fondazione

Dall' analisi della geologia e morfologia della zona, dai risultati delle prove penetrometriche condotte ed in considerazione, allo stato attuale dei lavori, dell' assenza di un progetto esecutivo anche di massima, verranno di seguito esposte due ipotesi di fondazione, generiche ed arbitrarie, delle quali saranno discussi i relativi aspetti di portanza e previsione dei cedimenti derivanti dall' analisi dei risultati delle prove penetrometriche condotte.

*In prima analisi, si sono ipotizzate **fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita, impostate ad una profondità non inferiore a – 1.50 mt. dall'attuale piano campagna, previa decorticazione dei litotipi limo - argillosi superficiali, alterati, presenti fino alla profondità di \cong - 1.40 mt. dall'attuale p.c. ed alla loro successiva sostituzione con materiale incoerente (classe granulometrica A 2 o superiore), posizionati in strati di ridotto spessore, opportunamente rullati e costipati o "magrone" di calcestruzzo.***

Qualora si propenda per l'impiego di inerti, per la preparazione del piano di posa verrà asportato lo strato di terreno più superficiale fermo restando che l'asportazione non potrà essere inferiore a 150 cm. dal p.c. iniziale; il fondo dello scavo sul quale andranno sistemati i

materiali che andranno a costituire il corpo della struttura dovrà essere costipato a mezzo di opportuni rulli.

Tali rulli possono essere di tre tipi:

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

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

La bonifica del piano di posa si potrà ottenere scavando ulteriormente e sostituendo il materiale di scavo con materiali granulari appartenenti ai gruppi A1 (A-1 o A-1-b) o A2, fino al sottogruppo A-2-5.

Si fa presente che il materiale A3, in considerazione della uniformità granulometrica delle sabbie di cui è costituito, risulta piuttosto difficile da costipare.

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

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

Il materiale di bonifica verrà sistemato a strati e compattato; ovviamente bisognerà procedere al compattamento anche del fondo dello scavo.

*In alternativa, per i fabbricati in esame, si sono ipotizzate **fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita, impostata ad una profondità non inferiore ad - 3.00 mt. dal piano campagna attuale.***

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.

Pertanto saranno da adottarsi accorgimenti tali da non pregiudicare la staticità delle strutture adiacenti.

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 di fondazione 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 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.

5.2.- Parametri geotecnici – Modello geotecnico.

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

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici sono i seguenti:

- **Angolo di resistenza al taglio Φ** . Per stimare questo parametro è stata utilizzata la relazione di De Beer.

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

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

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

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

$$E_d = \alpha * R_p$$

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 -0.80 ÷ 1.40 mt.):

Angolo di attrito interno c.d.

Valore caratteristico

$$X_{k\phi} = 18^\circ$$

Coesione drenata

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

Peso di volume

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

<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>	$Xkcu = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$Mv = 13.10 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo elastico</i>	$Ei = 11.6 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$Mv = 0.21$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 1.0 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 3.32 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

Intervallo limoso, argilloso e sabbioso (da -0.80 ÷ 1.40 mt. a - 23.20 m.):

<i>Angolo di attrito interno c.d.</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk\phi = 21^\circ$
<i>Coesione drenata</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xkc' = 0.054 \text{ Kg/cm}^2$
<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>	$Xkcu = 0.63 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$Mv = 42.12 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo elastico</i>	$Ei = 41.3 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$Mv = 0.25$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 2.6 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 5.86 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec.}$

Ghiaie eterometriche e sabbie con intercalazioni limo – sabbiose di limitato spessore. Addensate. (da - 23.20 mt. a - 27.00 mt.):

<i>Angolo di attrito interno c.d.</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xk\phi = 35^\circ$
<i>Coesione drenata</i>	$C' = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Peso di volume</i>	$Y = 1.8 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Peso di volume immerso</i>	$Y' = 0.8 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Angolo di attrito</i>	$\phi_u = 0^\circ$
<i>Coesione in sforzi totali</i>	
<i>Valore caratteristico</i>	$Xkcu = 2.04 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Valore di progetto</i>	$Xdcu = 1.65 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo edometrico</i>	$Mv = 155.70 \text{ Kg/cm}^2$
<i>Modulo Poisson</i>	$Mv = 0.35$
<i>Modulo di Winkler</i>	$W = 3.6 \text{ Kg/cm}^3$
<i>Permeabilità</i>	$K = 2.31 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec.}$

Limi argillosi ed argille limose da consistenti a molto consistenti (da – 27.00 mt. alle profondità investigate):

Angolo di attrito interno c.d.	
Valore caratteristico	$Xk\phi = 22^\circ$
Coesione drenata	
Valore caratteristico	$Xkc' = 0.11 \text{ Kg/cm}^2$
Peso di volume	$Y = 2.00 \text{ Kg/cm}^3$
Peso di volume immerso	$Y' = 1.00 \text{ Kg/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi_u = 0^\circ$
Coesione in sforzi totali	
Valore caratteristico	$Xkcu = 0.96 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo edometrico	$Mv = 61.86 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo elastico	$Ei = 60.48 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo Poisson	$Mv = 0.35$
Modulo di Winkler	$W = 3.4 \text{ Kg/cm}^3$
Permeabilità	$K = 7.26 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec.}$

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 ag, 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. La tabella sottostante, riassume la classificazione del sottosuolo, secondo le citate "categorie":

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 ag 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:

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo 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 ag ,Fo e T*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

In riferimento al calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica dell'area individuata, questi sono stati effettuati secondo quanto stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n° 112 del 02.05.2007, ovvero utilizzando le metodologie concordate dal servizio preposto dalla Regione Emilia Romagna.

Nello specifico per il computo dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle dell'allegato 2 contenute nell'Atto sopra citato, facendo riferimento in particolare per Il Comune di Santarcangelo ai valori riferiti per gli Ambiti qui di seguito riportati:

Appennino e Margine Appenninico – Padano

In caso di substrato marino affiorante caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec.

F.A. P.G.A.

V_{S30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.1 s <T0< 0.5 s

V_{S30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.5 s <T0< 1.0 s

V_{S30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0

Pianura Padana e Costa Adriatica

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (< 100 mt. dal p.c.) – PIANURA 1

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.1 s <T0< 0.5 s

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.5 s <T0< 1.0 s

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri) con substrato profondo (>100 mt. dal p.c.). – PIANURA 2.

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.1 s <T0< 0.5 s

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. Intensità Spettrale 0.5 s <T0< 1.0 s

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Nel caso oggetto di studio (V_{S30} dal p.c.: 187 m/s – Classe C), i coefficienti di amplificazione sismica (F.A.) risultano essere:

in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀):

$$F.A. P.G.A. = 1.70$$

in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI₀):

$$F.A. \text{ Intensità Spettrale } 0.1 \text{ s } <T0< 0.5 \text{ s} = 1.9$$

$$F.A. \text{ Intensità Spettrale } 0.5 \text{ s } <T0< 1.0 \text{ s} = 2.6$$

La frequenza di risonanza fondamentale ricavata dalle misure HVSR risulta essere compresa tra 0.31 (HVSR n° 1) e 19.78 Hz (HVSR n° 2).

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_{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.

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 sensitività 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 affiorate 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, S₁*.

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

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

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

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

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;

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.

(*) 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.

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 NSPT,30 limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30m di profondità;*
- *determinare cu,30 limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;*
- *individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri NSPT,30 e cu,30 ;*
- *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. 6.1.3.3.):

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 ed in considerazione, allo stato attuale dei lavori, dell'assenza di un progetto esecutivo anche di massima, sono state valutate due ipotesi di fondazione generiche ed arbitrarie, che prevedono l'impiego di **fondazioni superficiali del tipo a platea, attestate a profondità di -1.50 ÷ - 3.00 mt. dal p.c. attuale.***

Nel primo caso ipotizzato, la platea, strutturalmente irrigidita, sarà impostata ad una profondità non inferiore a - 1.50 mt. dall'attuale piano campagna, previa decorticazione dei litotipi limo - argillosi superficiali, alterati, presenti fino alla profondità di \cong 1.30 mt. dall'attuale p.c. ed alla loro successiva sostituzione con materiale incoerente (classe granulometrica A 2 o superiore), posizionati in strati di ridotto spessore, opportunamente rullati e costipati o "magrone" di calcestruzzo.

Nel secondo caso ipotizzato, si dovrà prevedere ancora l'impiego di fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita, impostate ad una profondità non inferiore a - 3.00 mt. dal piano campagna attuale.

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

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.

Utilizziamo la media dei dati che è anche una media ponderata del ϕ nello spessore d'influenza.

In fase di calcolo è stato adottato un fattore d'influenza pari a 2 B.

Dall'elaborato riportato in allegato si ricava il ϕ di progetto = ϕ caratteristico con fattore di sicurezza parziale.

Utilizziamo il ϕ di progetto nella formula di Hansen (1970) senza inserire il fattore di sicurezza globale.

In alternativa, 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	0.053	2.451	0.268
<i>S.L. Danno (SLD)</i>	50	0.067	2.444	0.285
<i>S.L. Salvaguardia Vita (SLV)</i>	475	0.185	2.482	0.304
<i>S.L. Prevenzione Collasso (SLC)</i>	975	0.243	2.491	0.316

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	1.43	1.34
<i>Cc Coefficiente funz. Categoria</i>	1.62	1.59	1.56	1.54
<i>St Amplificazione topografica</i>	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Kh</i>	0.016	0.020	0.063	0.091
<i>kv</i>	0.008	0.010	0.032	0.046
<i>Amax (m/sec²)</i>	0.784	0.993	2.578	3.191
<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.- NORMATIVA ATTUATIVA

Come in precedenza indicato, con l'intervento si prevede di ricollocare e potenziare i sevizi scolastici (scuola elementare e palestra) attualmente presenti lungo l'asse viario principale di via San Bartolo oltre alla realizzazione di n° 8 edifici residenziali sviluppati su uno – due piani.

Ovviamente si prevede anche l'attuazione di:

- Infrastrutture per la modalità pubblica e privata; percorsi pedociclabili di collegamento con il capoluogo;*
- Impianti e reti tecnologiche: collegamenti alle reti esistenti alla frazione;*
- Attrezzature e spazi collettivi: aree a verde attrezzate.*

Relativamente ad eventuali vincoli presenti ed alle prescrizioni di sostenibilità, verificate le norme e prescrizioni del P.S.C. e constatata l' assenza di elementi di rischio ambientale (liquefazione dei terreni, presenza di aree esondabili, instabilità di versante, ecc... come del resto verificabile dalle cartografie tematiche riportate in allegato), l'area soggiace alla mitigazione del rischio idraulico e di funzionalità idraulica come da artt. 2.5 e 3.5 del P.T.C.P. – Aree di ricarica indiretta della falda – ARI e Bacini imbriferi – BI.

Pertanto si assume quanto riportato nella scheda d'ambito AN.C.15 del P.S.C. e nella Valsat del P.O.C.

Ai sensi del comma 1 (lettera B) dell'art. 14.4 del P.S.C. in tali aree, a compensazione delle nuove impermeabilizzazioni, sono da individuarsi nuove superfici da destinare al rinascimento della falda per un'estensione non inferiore a quella di nuova impermeabilizzazione fermo restando l'obbligo di gestione delle acque di prima pioggia ai sensi dell'art. 10.2 delle suddette norme.

Si prescrive inoltre il mantenimento di aree permeabili in profondità per un'estensione totale pari ad almeno il 50% dell'estensione dell'intero ambito (conteggiando sia le aree pubbliche che private).

Le considerazioni sopra espresse ed i predetti vincoli normativi consentono comunque l'inserimento dell'area entro il P.O.C. Zero esplicitando le caratteristiche urbanistiche e strutturali dell'intervento e consentendo inoltre una ricostruzione geotecnica e sismica dell'area.

Per ciò che concerne l'analisi puntuale di 3° Livello inerente la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi di cui all'allegato "A" punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n° 112 del 02.05.2007, ricadendo l'area nelle situazioni di seguito elencate:

- aree soggette a liquefazione e densificazione;*
- aree instabili e potenzialmente instabili;*
- aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;*
- aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.***

si rimanda l'approfondimento delle indagini alla successiva relazione allegata al P.U.A. esecutivo.

8.- 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 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 affiorate 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- Scarpata 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°;

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°, 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, S₁.*

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

(*) 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.

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

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

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

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

$$G_0 = P V_s^2$$

dove P è la densità del terreno.

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

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

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

In questa sede, la velocità di V_{S30} è calcolata è stata calcolata partendo sia da prove HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) che da prova MASW (multichannel analysis of surface waves) eseguite sul lotto in esame unitamente all'indagine geognostica ed i cui elaborati grafici sono riportati in allegato alla presente relazione.

Dall'indagine geofisica si ricava un valore di V_{S30} (modello medio) compreso tra 267 e 276 m/sec. (prove HVSR); 187 m/sec. (per la prova MASW).

Da tali relazioni sono state individuate le categorie corrispondenti singolarmente ai valori di V_{S30} : pertanto il sottosuolo è stato ascrivito alla categoria: C.

7.1.- Commento sul profilo delle velocità

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata nell'ambito della prova HVSR n° 1 una frequenza massima di picco pari ad Hz 0.31 ± 0.01 ; si rinviene anche un altro picco ad Hz 16.15 ± 0.31 .

La prova HVSR n° 2 evidenzia una frequenza massima di picco ad Hz 19.78 ± 0.66 ed un secondo picco a 0.78 ± 0.86 .

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece compreso tra 0.5 – 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard.

Poiché la coincidenza di risonanza tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'imput sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori di almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo.

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 passanti in profondità a ghiaie a notevole grado di addensamento.

La costruzione in progetto si verrà a trovare 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 $(q_{c1N})_{cs} < 50$

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

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

$$CRR = 93 [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^{\frac{1}{3}} + 0.08$$

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 *Vs*.

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 *Rd* è calcolato mediante la seguente procedura:

se $z < 9.15$ m

$$r_d = 1.0 - 0.00765 z$$

se $9.15 = z < 23$ m

$$r_d = 1.174 - 0.00267 z$$

dove *z* è la profondità in metri.

Si calcola *Fs* 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 dinamica pesante eseguita, non si rilevano orizzonti in cui il valore di *Fs* risulti inferiore ad 1.30.

8.- CONCLUSIONI

L'indagine svolta ha evidenziato la presenza nell'area in esame di terreni limosi variamente consistenti, passanti in profondità a ghiaie e sabbie a buon grado di addensamento;

Per la parametrizzazione geotecnica dei terreni e la ricostruzione di un modello geotecnico degli stessi, si è fatto riferimento alle correlazioni con R_p e C_u dalle prove penetrometriche statiche condotte.

In quest'ambito viene pertanto fornita una ricostruzione stratigrafica dell'area, una parametrizzazione geotecnica dei terreni, una definizione di categoria di sottosuolo competente sulla base delle indagini geofisiche condotte e si sono fornite delle ipotesi di fondazione relative all'intervento edificatorio sull'area.

Per ciò che concerne l'analisi puntuale di 3° Livello inerente la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi di cui all'allegato "A" punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n° 112 del 02.05.2007, ricadendo l'area nelle situazioni di seguito elencate:

- aree soggette a liquefazione e densificazione;*
- aree instabili e potenzialmente instabili;*
- aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;*

- aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

si rimanda l'approfondimento delle indagini alla successiva relazione allegata al P.U.A. esecutivo.

*In quest'ambito pertanto, stante l'assenza di un progetto esecutivo anche di massima, sono state valutate, come ipotesi di fondazione generiche ed arbitrarie, l'impiego di **fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita**, impostate ad una profondità non inferiore a - 1.50 mt. dall'attuale piano campagna, previa decorticazione dei litotipi limo - argillosi superficiali, alterati, presenti fino alla profondità di \cong - 1.40 mt. dall'attuale p.c. ed alla loro successiva sostituzione con materiale incoerente (classe granulometrica A 2 o superiore), posizionati in strati di ridotto spessore, opportunamente rullati e costipati o "magrone" di calcestruzzo.*

Come ricordato in precedenza, si fa presente che il materiale A3, in considerazione della uniformità granulometrica delle sabbie di cui è costituito, risulta piuttosto difficile da costipare.

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

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

Il materiale di bonifica andrà sistemato a strati e compattato; ovviamente bisognerà procedere al compattamento anche del fondo dello scavo.

*In alternativa alla soluzione progettuale sopra indicata, si sono ipotizzate **fondazioni superficiali del tipo a platea, strutturalmente irrigidita**, impostata ad una profondità non inferiore ad - 3.00 mt. dal piano campagna attuale.*

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.

Pertanto saranno da adottarsi accorgimenti tali da non pregiudicare la staticità delle strutture adiacenti.

In sede di dimensionamento delle opere fondali e perimetrali di contenimento, dovrà essere attentamente valutato il sollevamento per spinta idrostatica ed il fenomeno di sifonamento a cui potranno essere soggette le strutture il cui piano di fondazione 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 avrà 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, 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.

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.

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 ($S = \text{grado di sismicità} = 9$) e che il valore di V_{S30} misurato nell'ambito della realizzazione delle prove MASW ed HVSR è risultato compreso tra 187 e 276 m/sec.

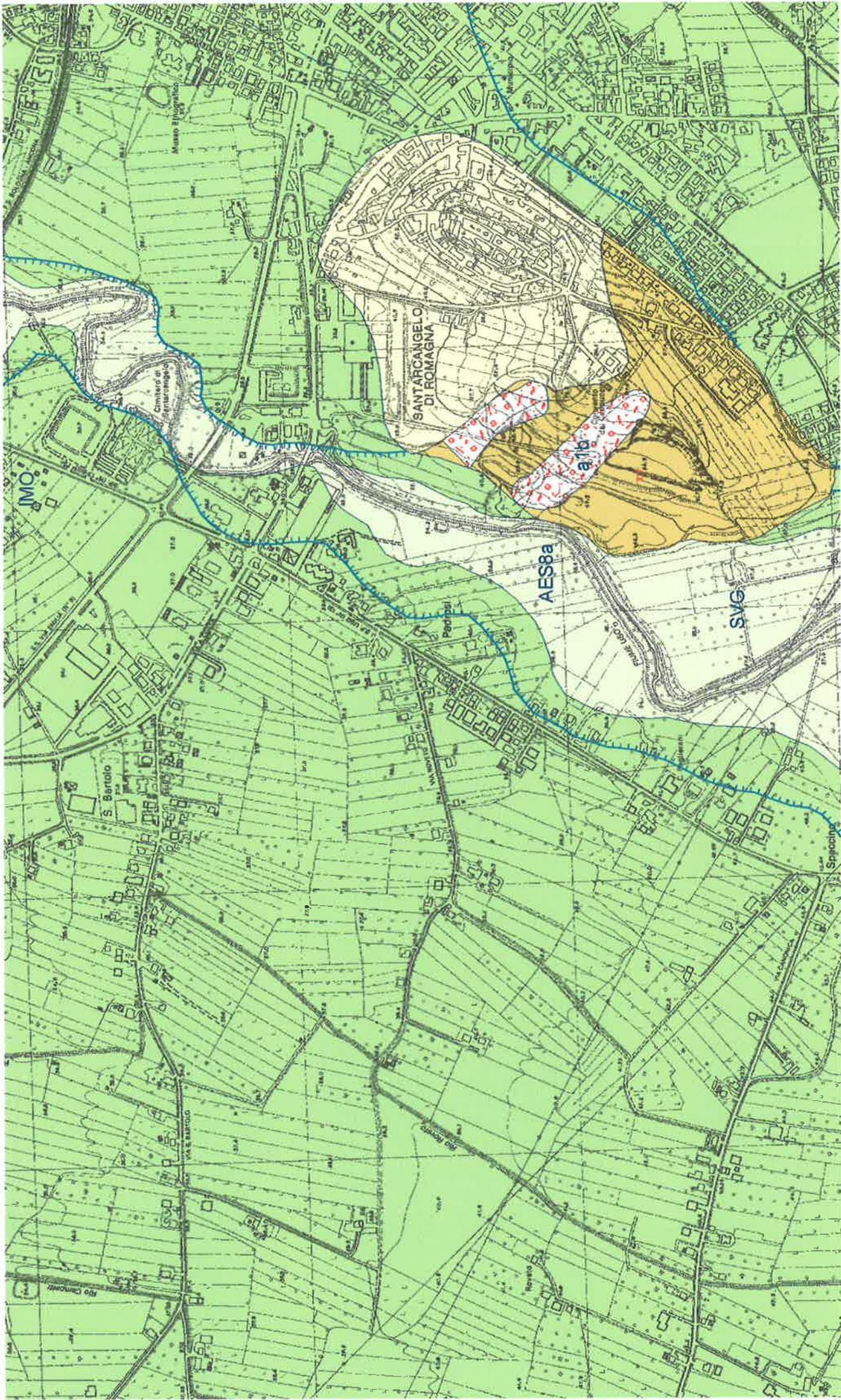
Si raccomanda infine di attuare una efficiente rete drenante che allontani rapidamente le acque meteoriche e reflue verso punti di minimo morfologico evitandone il ristagno e la conseguente infiltrazione verso le opere di fondazione con conseguente deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei 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., Maggio 2013.

RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATA ALLA RICHIESTA DI VALUTAZIONE PREVENTIVA AI SENSI DEL REC ART. 16 L.R. 31/2012 E ART. 21 DEL REC SU AREA IDENTIFICATA DAL PRG VIGENTE QUALE C3 N3A (PSC AN.C15A) SITA TRA LE VIE A. COSTA E VIA S. BARTOLO, IN COMUNE DI SANTARCANGELO - RN – CON INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.

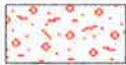
ALLEGATI



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

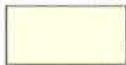
Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



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 genera

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

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsistema di Ravenna

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

Pleistocene sup. - Olocene

AES8a - Unità di Modena

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

Olocene

IMO - Sabbie di Imola

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

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

SVG - Arenarie ed argille di Savignano

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

Pleistocene inf.

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

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

Pleistocene inf.

FAA - Argille Azzurre

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

Piacenziano - Gelasiano (biozone MNN16a-MNN18)

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 embriate, 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

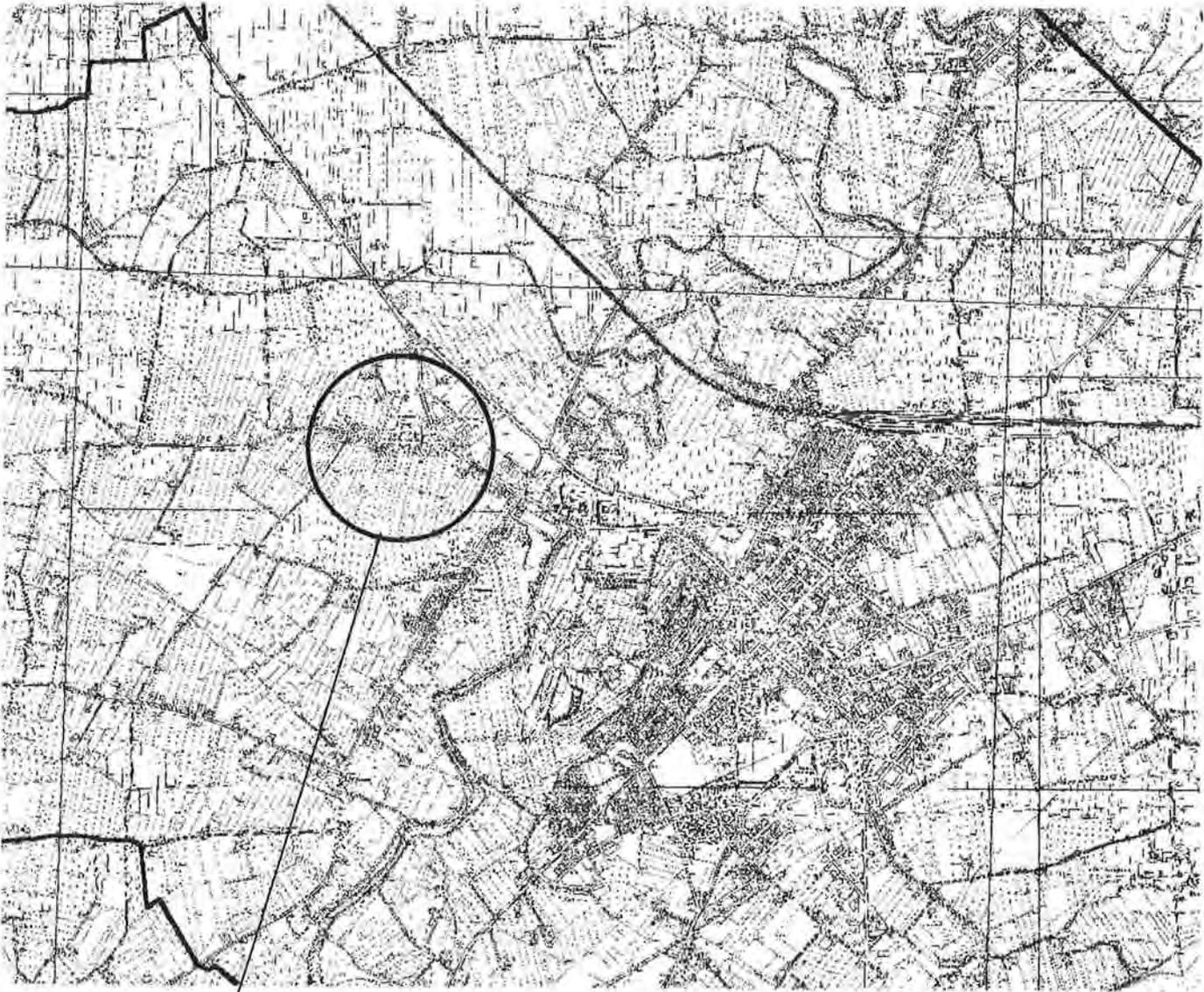
FAA2p - litofacies pelitico-arenacea

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 $A/P < 1/2$.

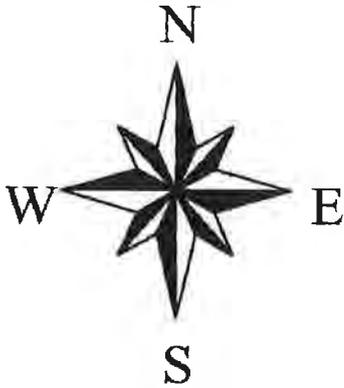
FAA2ap - litofacies arenaceo-pelitica

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 ($A/P > 1$).

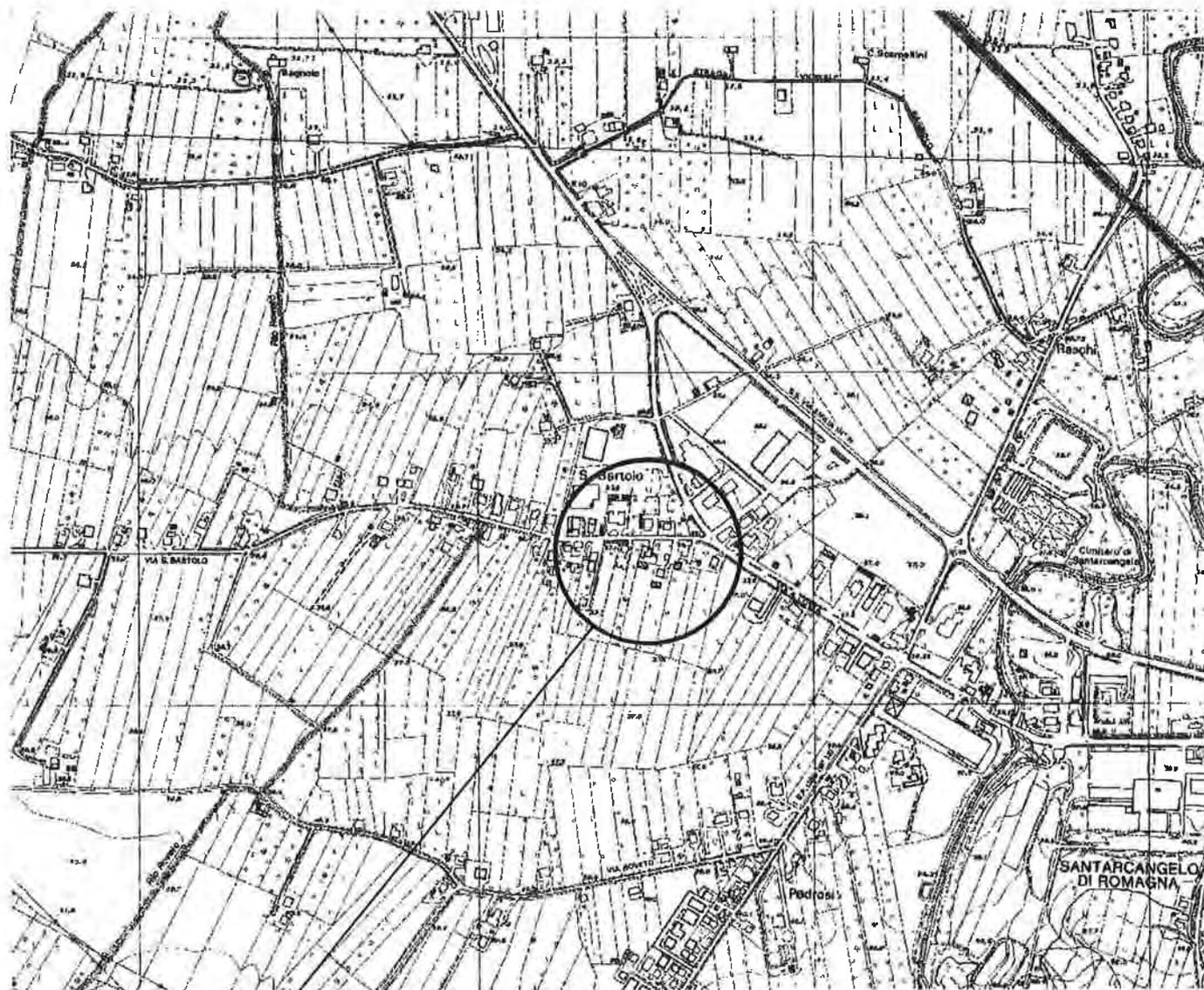
PLANIMETRIA scala 1 : 25.000



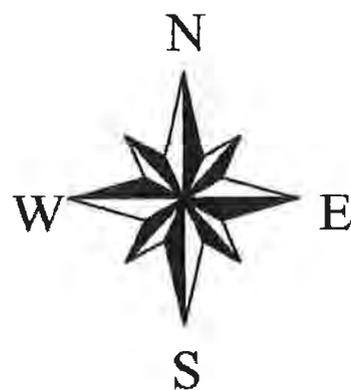
Area in esame



PLANIMETRIA scala 1 : 10.000



Area in esame



Committente: **Spett. SOCIETA' PRO.MED. S.r.l. & Al.**

Cantiere: **Via S. Bartolo**

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

Riferimento: **Data** **Mag. 2013**

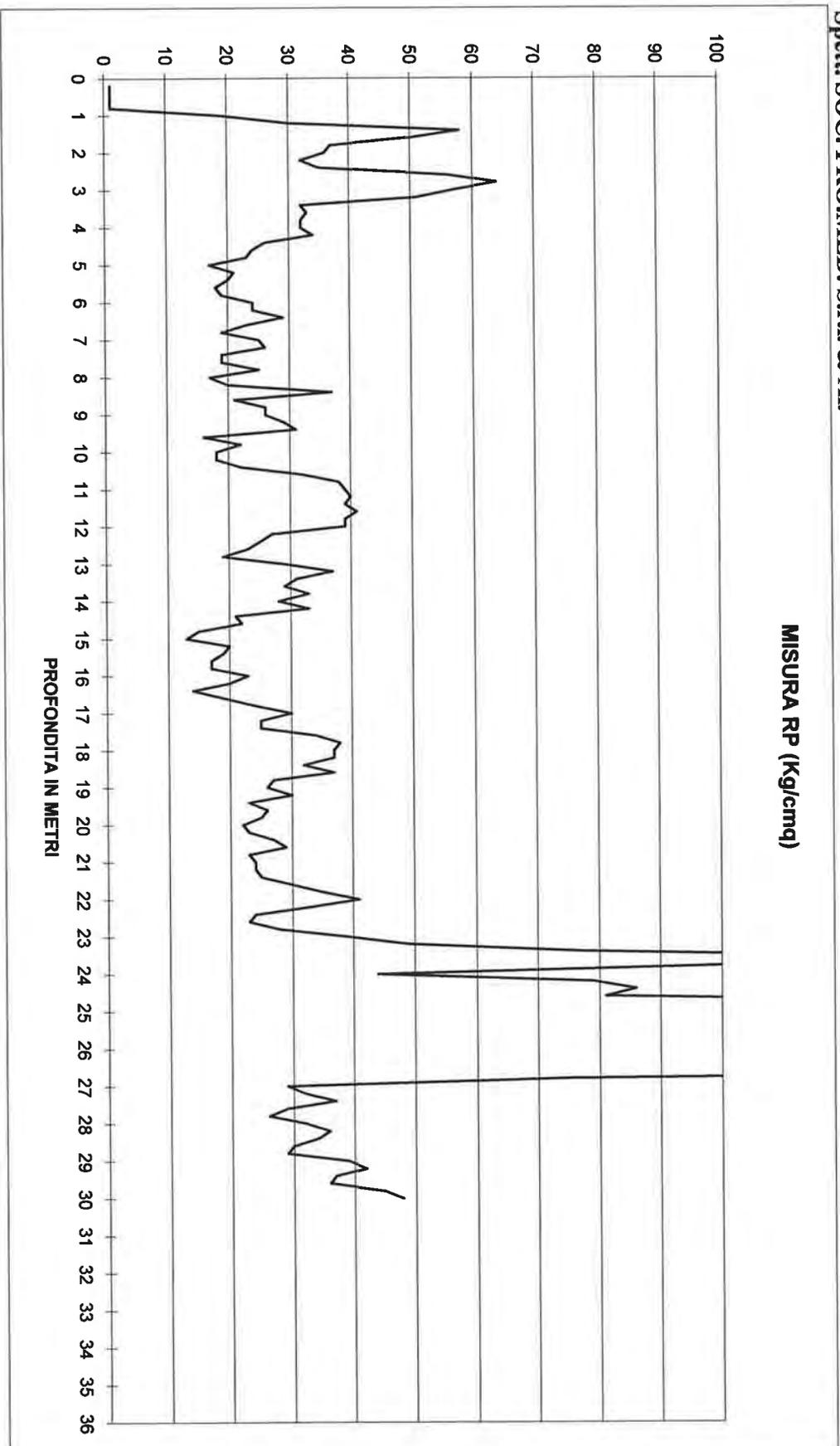
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Note:

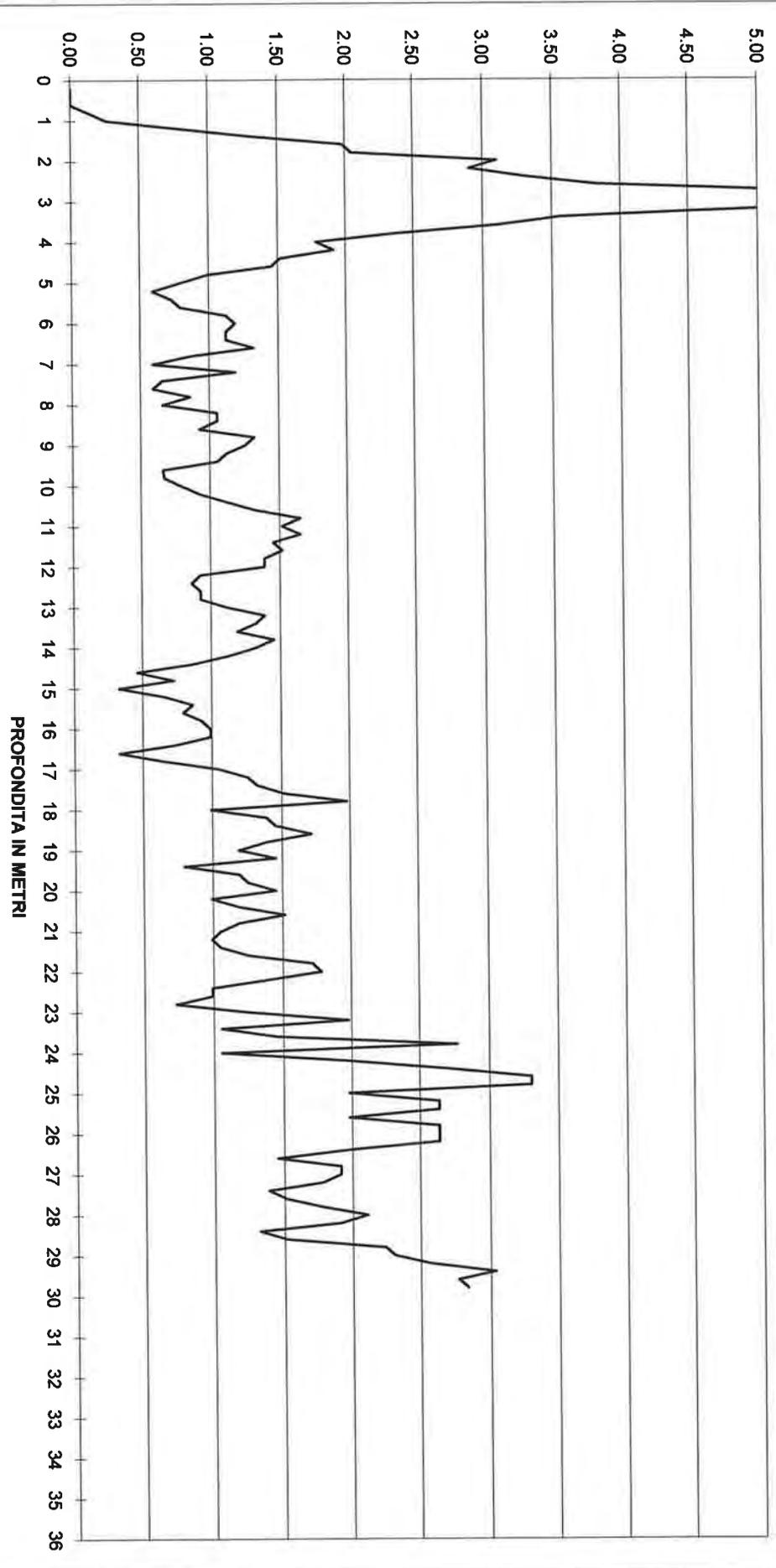
	Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl
	0	0		24	43		36	51		31	60
	0	0		16	30		31	52		36	63
	18	20		15	31		36	58		28	49
	29	33		21	31		26	52		25	48
1.0	57	69	10.0	17	30	19.0	25	46	28.0	31	58
	49	69		17	29		29	47		35	67
	36	66		21	35		22	44		33	62
	35	66		31	48		25	37		29	49
	31	78		37	57		24	42		28	51
2.0	34	78	11.0	38	63	20.0	21	40	29.0	38	72
	55	105		39	62		22	44		41	76
	63	121		38	63		26	41		36	75
	56	140		40	62		28	46		35	81
	50	130		38	61		22	45		44	86
3.0	31	108	12.0	38	59	21.0	23	41	30.0	47	90
	32	86		26	47		23	39			
	31	78		24	38		24	39			
	31	67		22	35		29	45			
	33	60		18	32		34	53			
4.0	25	54	13.0	28	42	22.0	40	66	31.0		
	23	46		36	53		32	59			
	22	44		30	51		23	44			
	16	31		28	48		22	37			
	20	32		32	50		27	42			
5.0	19	28	14.0	27	49	23.0	38	49	32.0		
	17	28		32	52		48	67			
	18	30		20	37		76	106			
	23	40		21	34		140	156			
	23	41		14	21		95	117			
6.0	28	45	15.0	12	23	24.0	43	85	33.0		
	22	39		19	24		78	94			
	18	38		18	28		85	115			
	24	37		16	29		80	121			
	25	34		16	28		150	200			
7.0	18	36	16.0	22	36	25.0	180	230	34.0		
	18	28		19	34		220	250			
	24	33		13	28		250	290			
	16	29		18	29		170	210			
	19	29		23	28		210	240			
8.0	36	52	17.0	29	39	26.0	260	300	35.0		
	20	36		24	40		190	230			
	25	39		24	43		200	240			
	25	45		33	53		230	260			
	28	47		37	60		74	96			
9.0	30	47	18.0	36	66	27.0	28	57	36.0		

H₂O = _____

MISURA RP (Kg/cmq)

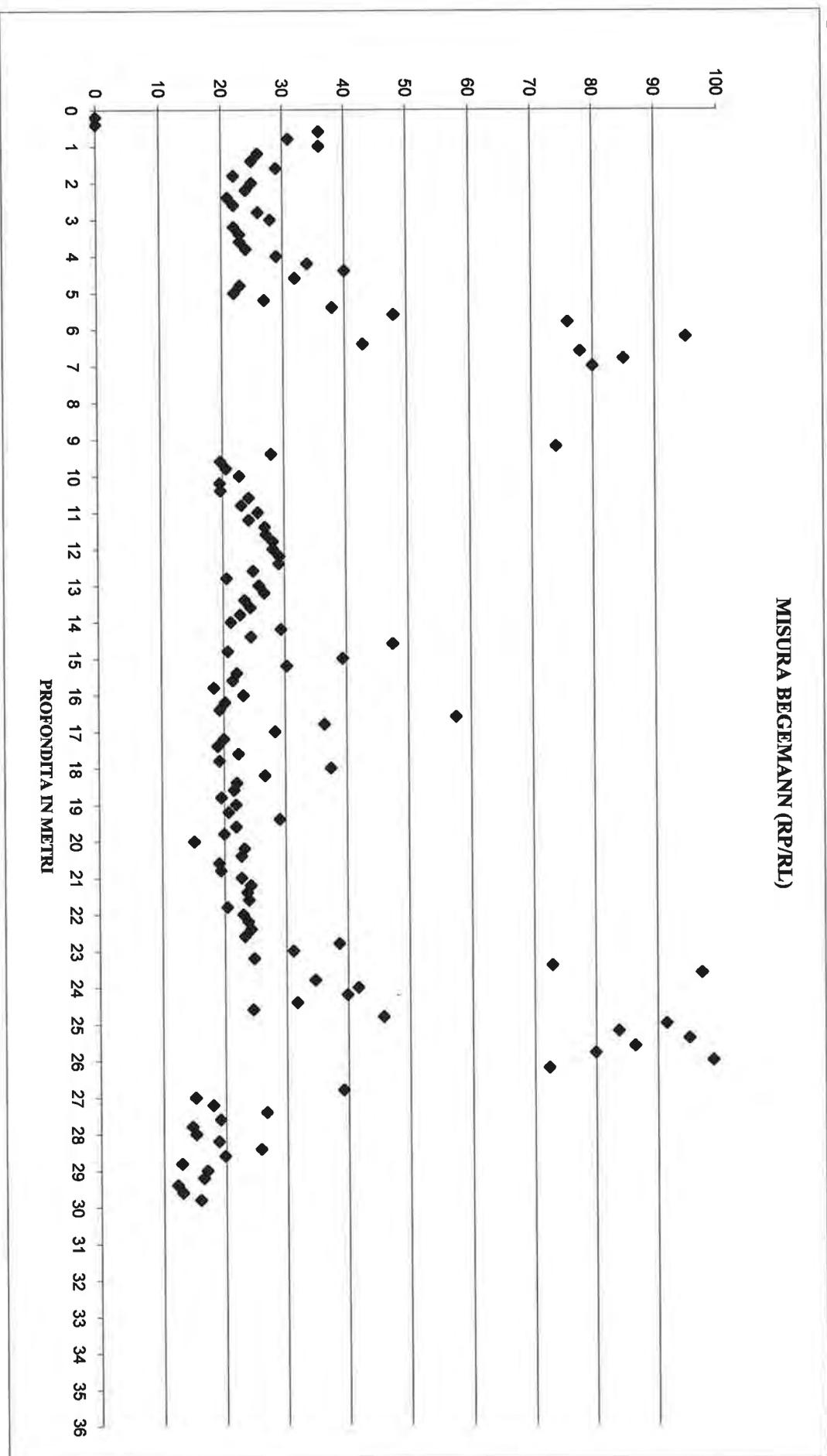


MISURA RL (Kg/cmq)



PROFONDITA IN METRI

MISURA BEGEMANN (RP/RL)



Committente: **Spett. SOCIETA' PRO.MED. S.r.l. & Al.**

Cantiere: **Via S. Bartolo**

Località: **SANTARCANGELO di R.** Prova C.P.T. n° **2**

Riferimento: **Data** **Mag. 2013**

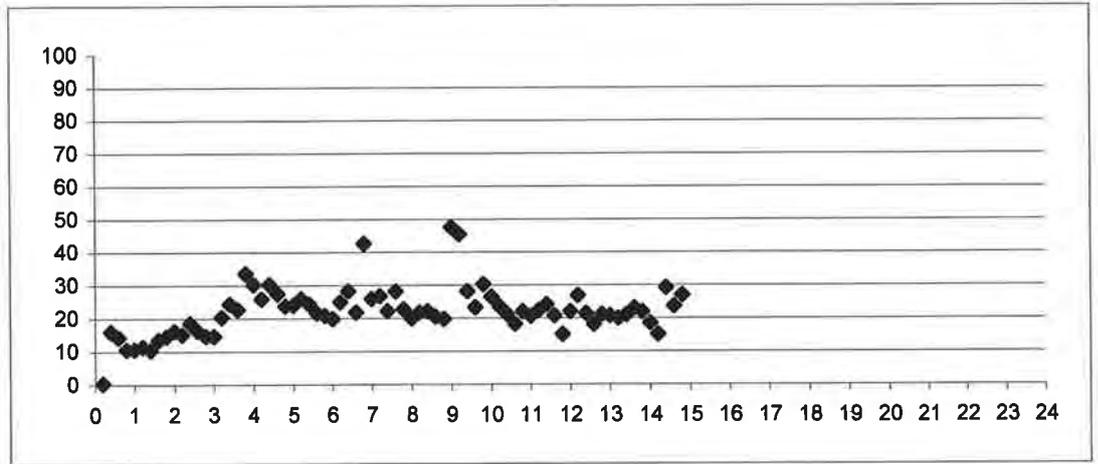
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Note:

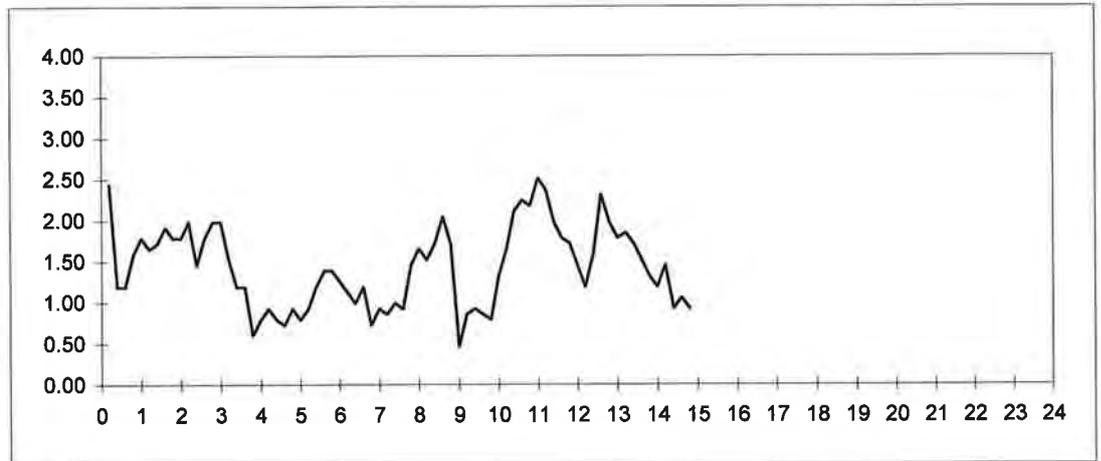
	Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl
	0	0		27	46		31	53			
	18	55		27	44		33	51			
	16	34		25	40		41	65			
	16	34		30	48		41	76			
1,0	18	42	7,0	23	34	13,0	36	66	19,0		
	18	45		22	36		36	63			
	17	42		21	34		35	63			
	25	51		25	40		34	60			
	25	54		32	46		28	51			
2,0	28	55	8,0	32	54	14,0	21	41	20,0		
	29	56		32	57		21	39			
	26	56		37	60		26	48			
	28	50		41	67		24	38			
	28	55		33	64		24	40			
3,0	28	58	9,0	21	47	15,0	28	42	21,0		
	30	60		38	45						
	28	51		25	38						
	26	44		19	33						
	19	37		23	36						
4,0	23	32	10,0	34	46	16,0			22,0		
	23	35		38	58						
	23	37		44	69						
	19	31		40	72						
	21	32		47	81						
5,0	18	32	11,0	51	84	17,0			23,0		
	23	35		52	90						
	28	42		47	83						
	29	47		36	66						
	28	49		25	52						
6,0	24	45	12,0	31	57	18,0			24,0		

H2O =

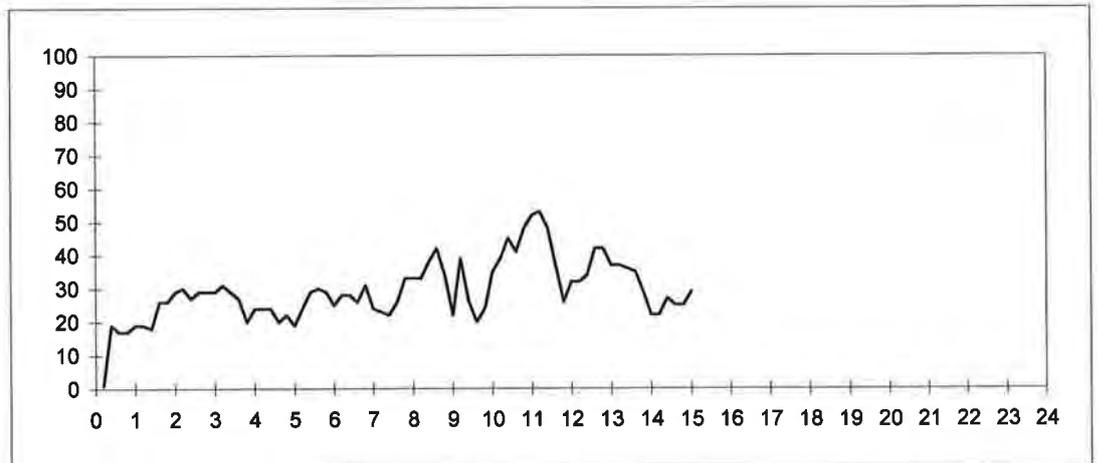
MISURA BEGEMAN (RP/RL)



MISURA RL (Kg/cmq)



MISURA RP (Kg/cmq)



Committente: **Spett. SOCIETA' PRO.MED. S.r.l. & Al.**

Cantiere: **Via S. Bartolo**

Località: **SANTARCANGELO di R.** Prova C.P.T. n° **3**

Riferimento: **Data** **Mag. 2013**

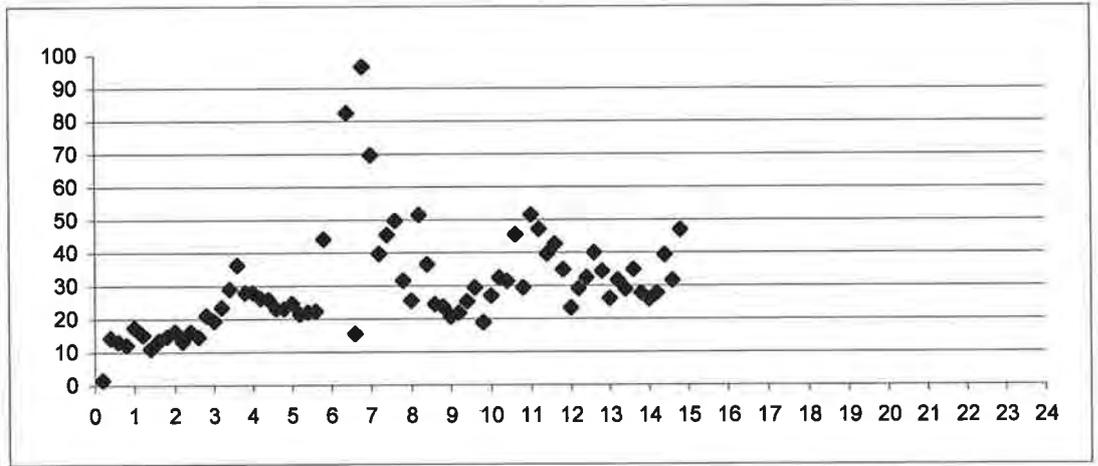
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Note:

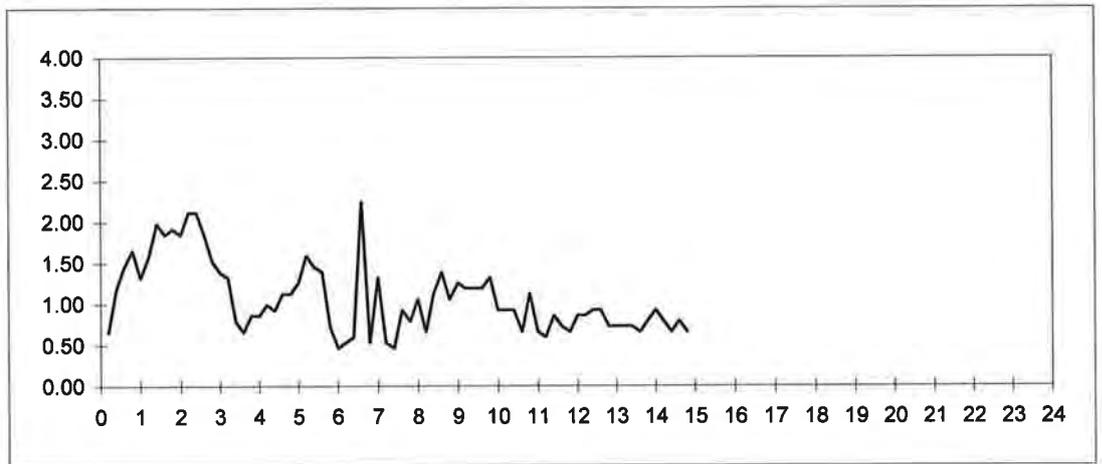
	Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl
	0	0		59	66		24	37			
	16	26		48	56		29	42			
	18	36		34	43		36	50			
	19	41		50	84		24	38			
1,0	22	47	7,0	91	99	13,0	18	29	19,0		
	23	43		20	40		22	33			
	21	45		20	28		20	31			
	24	54		45	52		22	33			
	27	55		24	38		21	31			
2,0	29	58	8,0	26	38	14,0	23	35	20,0		
	27	55		33	49		21	35			
	33	65		40	50		25	37			
	26	58		33	50		24	34			
	31	59		24	45		30	42			
3,0	26	49	9,0	25	41	15,0	37	47	21,0		
	30	51		25	44						
	22	42		29	47						
	23	35		34	52						
	23	33		24	42						
4,0	23	36	10,0	24	44	16,0			22,0		
	25	38		29	43						
	23	38		28	42						
	25	39		29	43						
	25	42		32	42						
5,0	30	47	11,0	33	50	17,0			23,0		
	33	52		27	37						
	31	55		33	42						
	30	52		30	43						
	31	52		22	33						
6,0	73	84	12,0	19	29	18,0			24,0		

H2O =

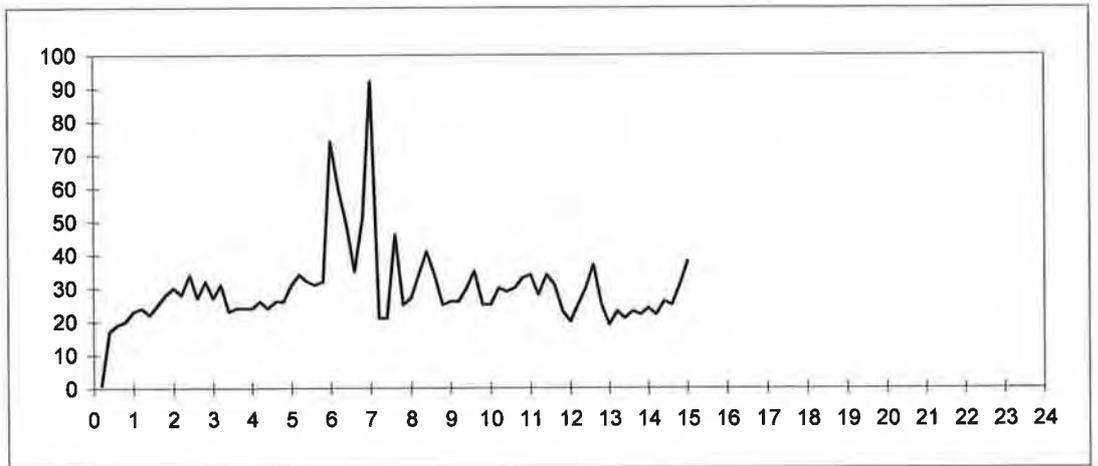
MISURA BEGEMAN (RP/RL)



MISURA RL (Kg/cmq)



MISURA RP (Kg/cmq)



Committente: **Spett. SOCIETA' PRO.MED. S.r.l. & Al.**

Cantiere: **Via S. Bartolo**

Località: **SANTARCANGELO di R.** Prova C.P.T. n° **4**

Riferimento: Data **Mag. 2013**

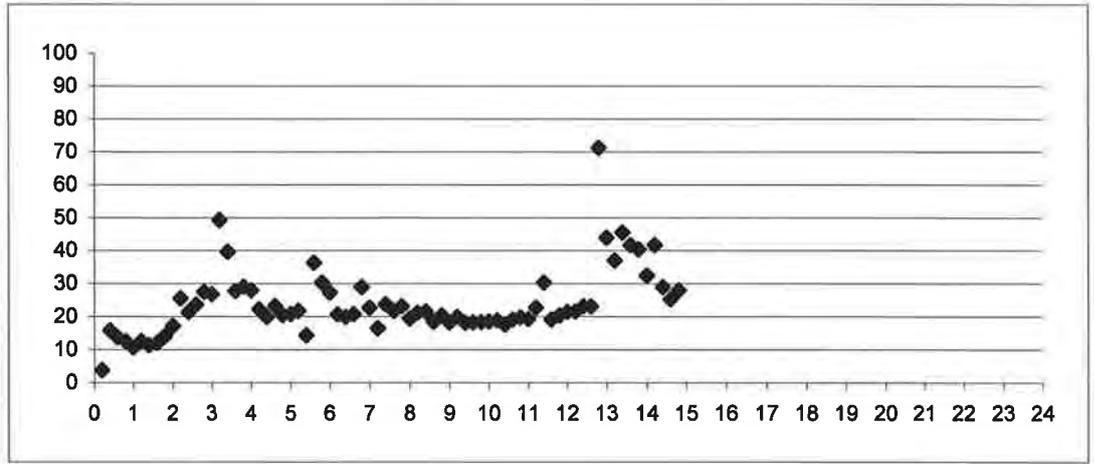
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Note:

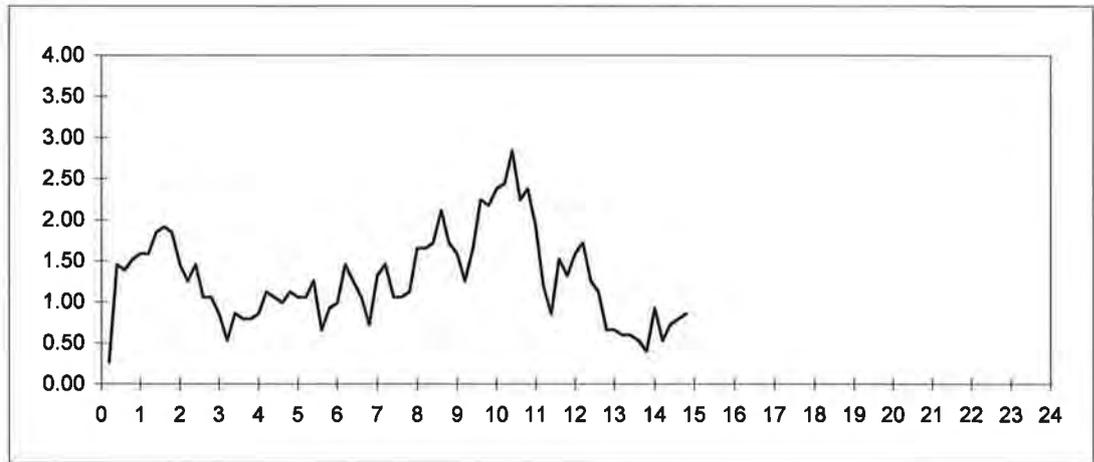
	Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl		Rp	Rl			
1,0	0	0	7,0	29	44	13,0	36	60	19,0					
	22	26		24	46		28	54						
	18	40		21	40		25	44						
	18	39		20	36		46	63						
	16	39		29	40		28	38						
	19	43		23	43		21	31						
	20	44		24	46		26	35						
2,0	22	50	8,0	22	38	14,0	21	30	20,0					
	25	54		25	41		15	23						
	24	52		31	48		29	35						
	31	53		34	59		21	35						
	30	49		36	61		20	28						
	24	46		38	64		19	30						
	28	44		34	66		23	35						
3,0	22	38	9,0	28	54	15,0	24	37	21,0					
	25	38		24	48									
	33	41		29	48									
	21	34		40	65									
	22	34		39	73									
	23	35		43	76									
	24	37		45	81									
4,0	20	37	10,0	49	86	16,0			22,0					
	22	38		42	85									
	22	37		46	80									
	21	38		36	72									
	22	38		26	55									
	17	33		25	43									
	23	42		28	41									
5,0	27	37	11,0	26	49	17,0			23,0					
	26	40		33	53									
6,0			12,0			18,0			24,0					

H2O =

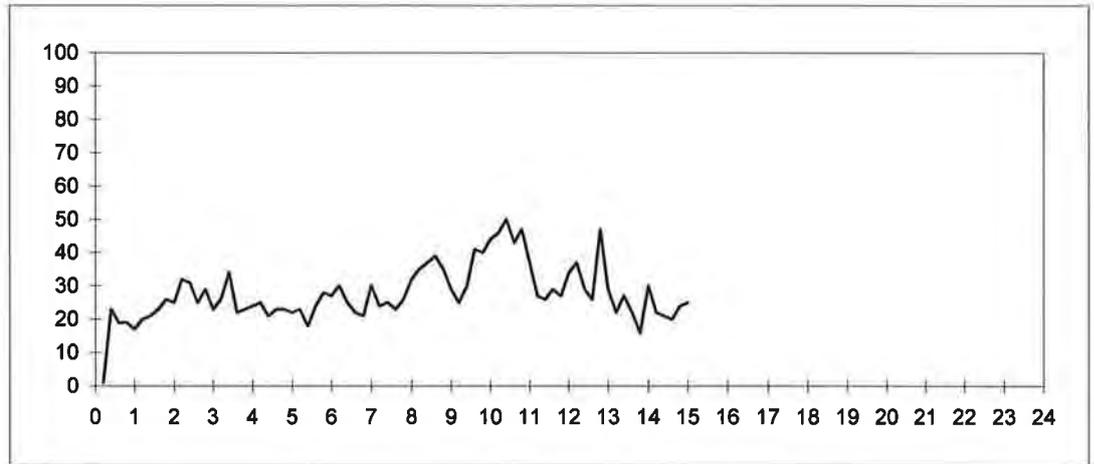
MISURA BEGEMAN (RP/RL)

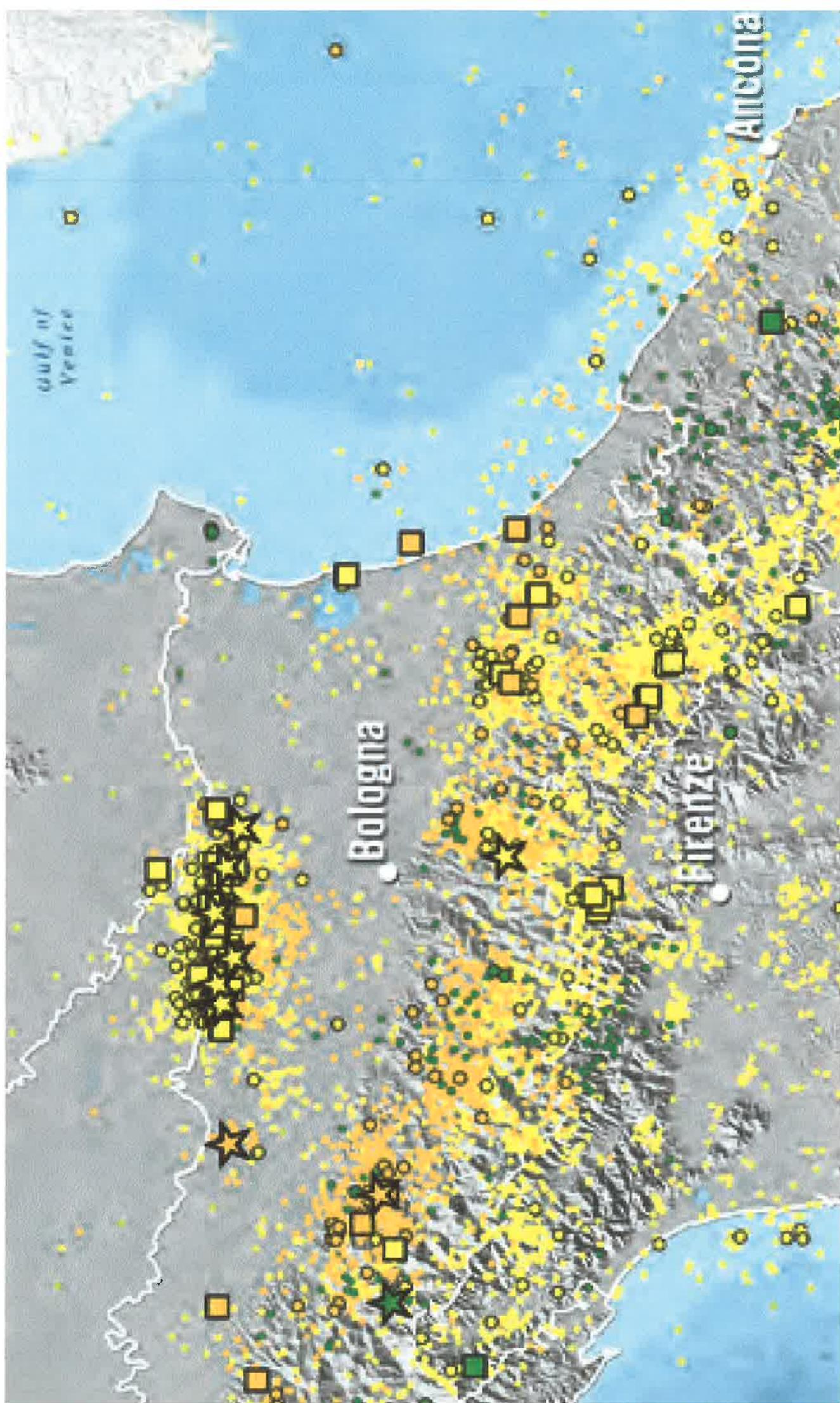


MISURA RL (Kg/cmq)



MISURA RP (Kg/cmq)





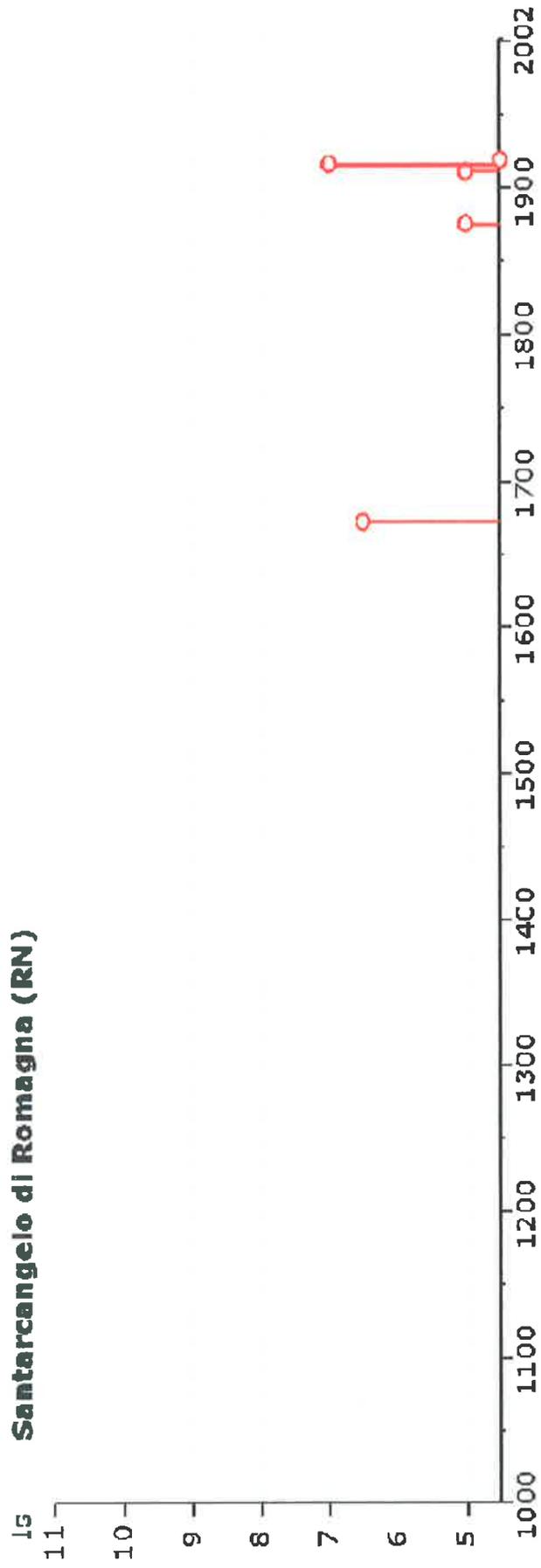
Storia sismica di Santarcangelo di Romagna
[44.063, 12.447]

Total number of earthquakes: 21
 Effects

Is	Anno Me Gi Or	Earthquake occurred:				Mw
		Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	
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	Irpinia-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

Questo file è stato scaricato da INGV - DBMI04

Santarcangelo di Romagna (RN)





**GEODE
LABORATORIO
GEOTECNICO**

RIMINI

Indagine geofisica

SISTEMA QUALITA'

MOD. 85

REV. 00

DATA 08/03/10

PAG. 1 DI 20

DR. F. BATTISTINI



INDAGINE SISMICA MASW

**c/o Via San Bartolo
in Comune di Santarcangelo di R. (RN)**

RELAZIONE GEOFISICA

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati: 0
00	30/05/13	emissione	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Approvato



GEODE
LABORATORIO
GEOTECNICO

RIMINI

Indagine geofisica

MOD. 85
REV. 00
DATA 08/03/10

SISTEMA QUALITA'

PAG. 2 DI 20

INDICE

1 - PREMESSA	3
2 - INDAGINE MASW	4
2.1 - DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA MASW	4
2.2 - PROSPEZIONI SISMICHE MASW	6
2.3 - STRUMENTAZIONE, MODALITA' DI ACQUISIZIONE	10
3 - ELABORAZIONE DATI	11
3.1 - DATI SPERIMENTALI	11
3.2 - RISULTATI DELLE ANALISI.....	12
3.3 - CURVA DI DISPERSIONE	13
3.4 - PROFILO IN SITO.....	14
3.5 - RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30	19

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato



1 - PREMESSA

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un' indagine geofisica consistente in un profilo sismico con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) effettuato presso Via San Bartolo in Comune di Santarcangelo di R. (RN).

La campagna di indagine è stata eseguita in data 29 maggio 2013, su incarico del Dott. Geol. F. Battistini.

Scopo dell'indagine è quello di definire la classificazione sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto ricostruendo, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s - z) e determinando il parametro V_{s30} in accordo con O.P.C.M. 3274 e s.m.i, D.M.14.09.2005 e D.M. 14.01.2008.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In Figura 1 si riporta l'ubicazione delle indagini integrate eseguite.



Fig. 1 – Foto aerea da Google Earth con ubicazione dell' indagine geofisica eseguita.

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica		MOD. 85
		SISTEMA QUALITA'		REV. 00 DATA 08/03/10 PAG. 4 DI 20

2 – INDAGINE MASW

2.1 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA MASW

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Fig. 2 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. 3274/03. Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 3).

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	

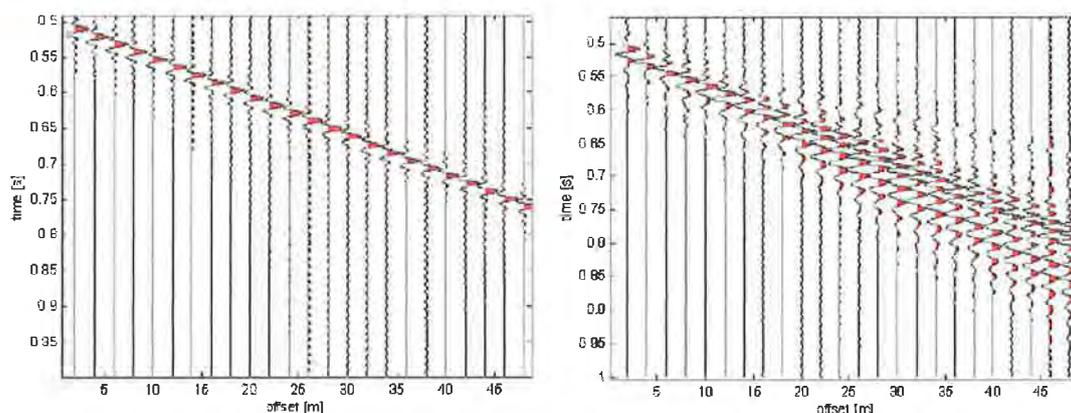


Fig. 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione (Fig. 4).

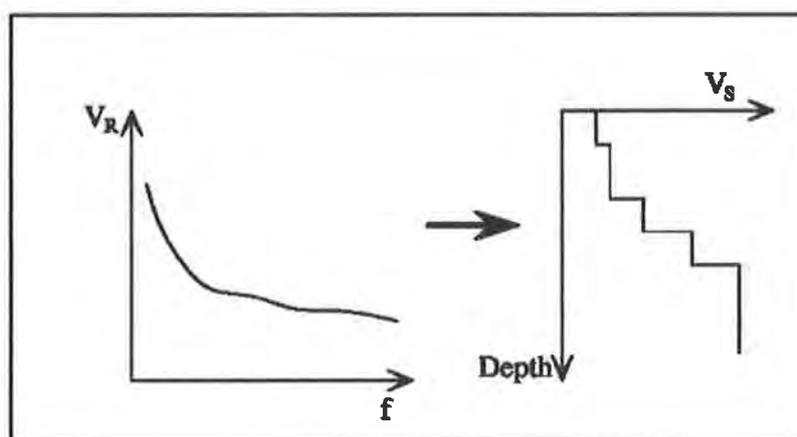


Fig. 4 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (V_s). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative più onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione della $V_s < 20\%$.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti tecniche: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	

	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica		MOD. 85 REV. 00 DATA 08/03/10
		SISTEMA QUALITA'		PAG. 6 DI 20

La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

2.2 – PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh – MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) – è un'efficiente metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_s .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980), detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, mentre le onde a bassa frequenza raggiungono gli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J., 1999). Il metodo utilizzato nell'indagine è quello attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente e sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni). Tal e metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo.

La metodologia MASW non è influenzata dai fenomeni di inversione di velocità (strati soffici compresi tra strati più rigidi) o presenza di falde acquifere superficiali consentendo di individuare il profilo di velocità V_s anche in presenza di contrasti di rigidità fra gli strati del suolo.

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase (V_R). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali è differente.

In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica		MOD. 85 REV. 00 DATA 08/03/10
		SISTEMA QUALITA'		PAG. 7 DI 20

Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipende dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche con il metodo SWM è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con i singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali può essere suddiviso nelle tre fasi di:

- 1) Acquisizione
- 2) Processing
- 3) Inversione

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 6), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), lungo uno stendimento rettilineo di geofoni, energizzando ai due estremi dello stendimento. (Fig. 5);

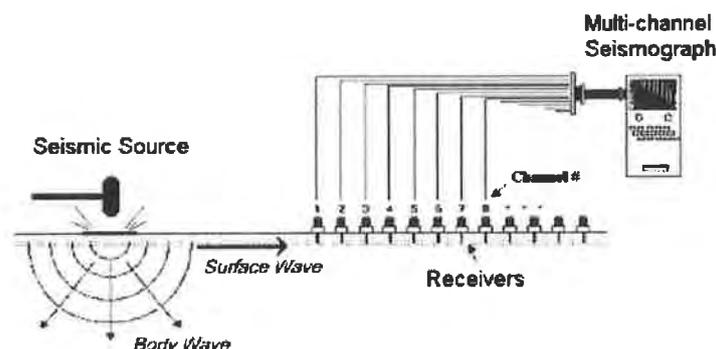


Fig. 5 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	

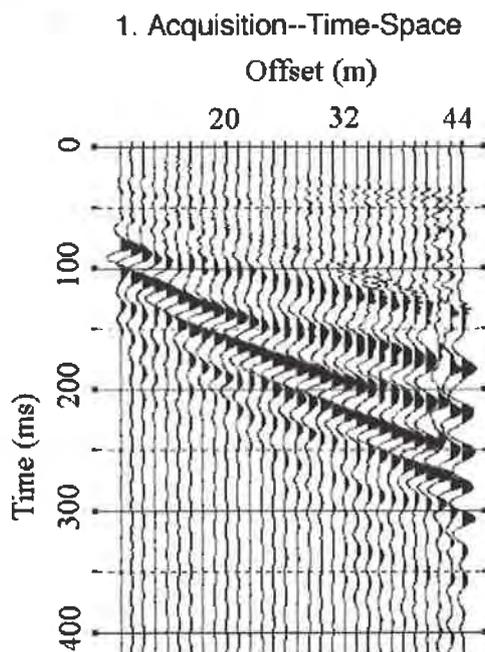


Fig. 6 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 7);

2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase Velocity

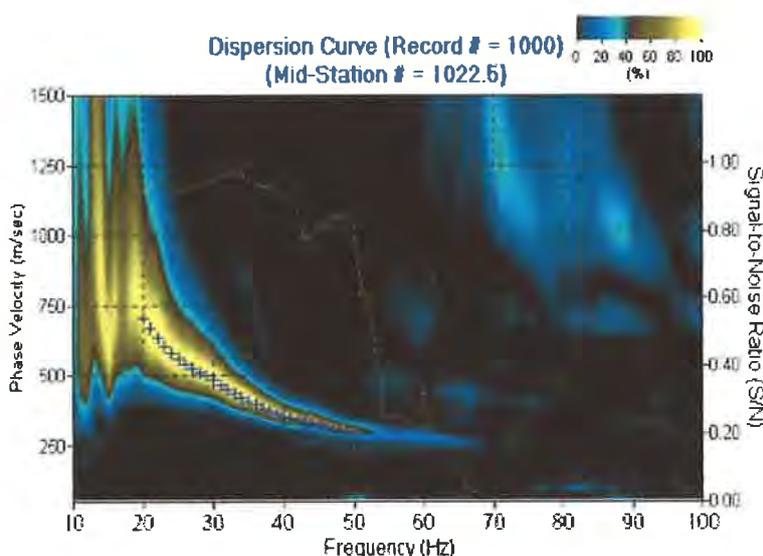


Fig. 7 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

I dati acquisiti vengono cioè sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda).

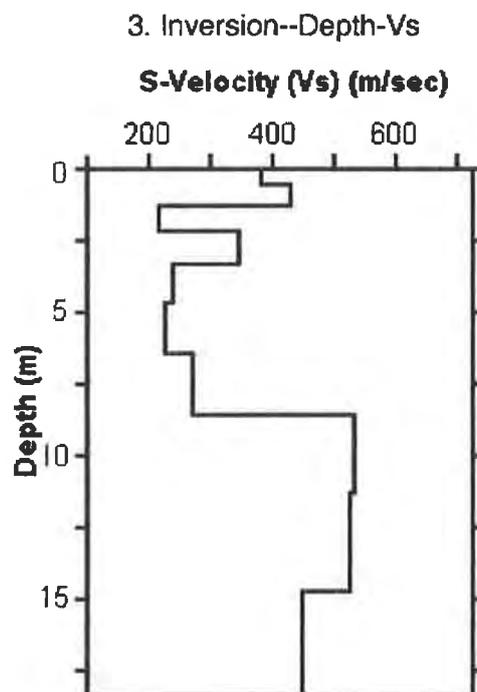
I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

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

Riportando le coppie di valori (V_r, f) in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione.

In sintesi dal calcolo della curva di dispersione sperimentale si passa al calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001) ed al calcolo della dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998).

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (Fig. 8) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);



	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica		MOD. 85 REV. 00 DATA 08/03/10
		SISTEMA QUALITA'		PAG. 10 DI 20

Fig. 8 – Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a $1.1V_R$ (V_R =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa 0.4λ (λ =lunghezza d'onda).

La fase di inversione –deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello.

Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

Lo scopo è quello di raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativa tra le due curve.

2.3 – STRUMENTAZIONE, MODALITA' DI ACQUISIZIONE

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments a 16 bit (registratore DOREMI), 24 geofoni a frequenza di 4.5 Hz ed un pc. Come sistema di energizzazione è stato utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello metallico.

L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo una stendimento lineare di 48 m di lunghezza con 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 2.0 m.

Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate 4 energizzazioni disposte alle estremità del profilo ad una distanza di 2 e 3.0 m dal primo e dall'ultimo geofono. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati 4 impulsi sismici (shots).

I dati sono stati elaborati tramite il software MASW (V. Roma, 2007). L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fittine" con i valori sperimentali.

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	



3 – ELABORAZIONE DATI

3.1 – DATI SPERIMENTALI

Nome del file delle tracce
Numero di ricevitori..... 24
Numero di campioni temporali 2000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

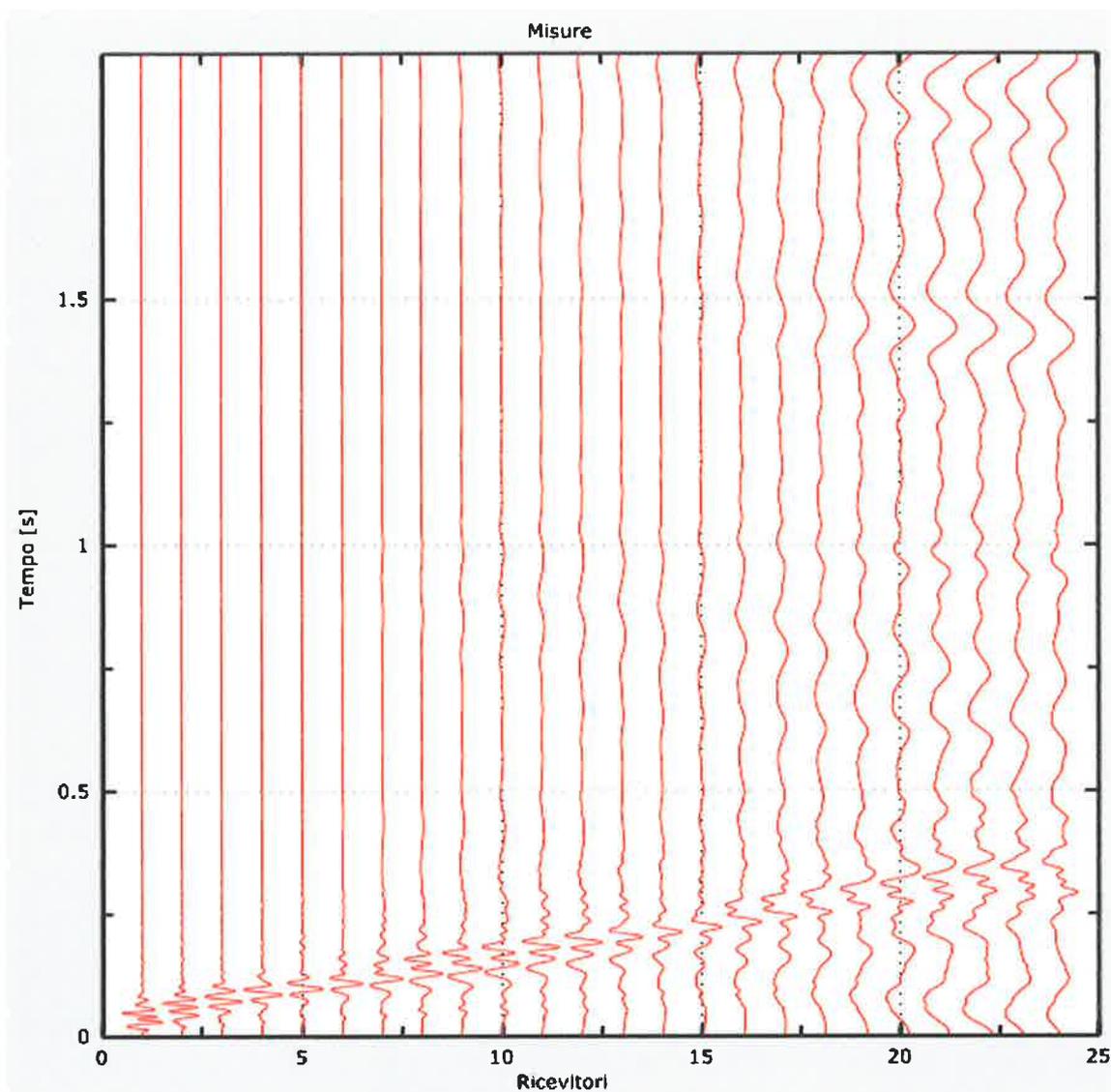


Figura 9: Tracce sperimentali

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	



3.2 – RISULTATI DELLE ANALISI

Frequenza finale..... 70Hz

Frequenza iniziale..... 2Hz

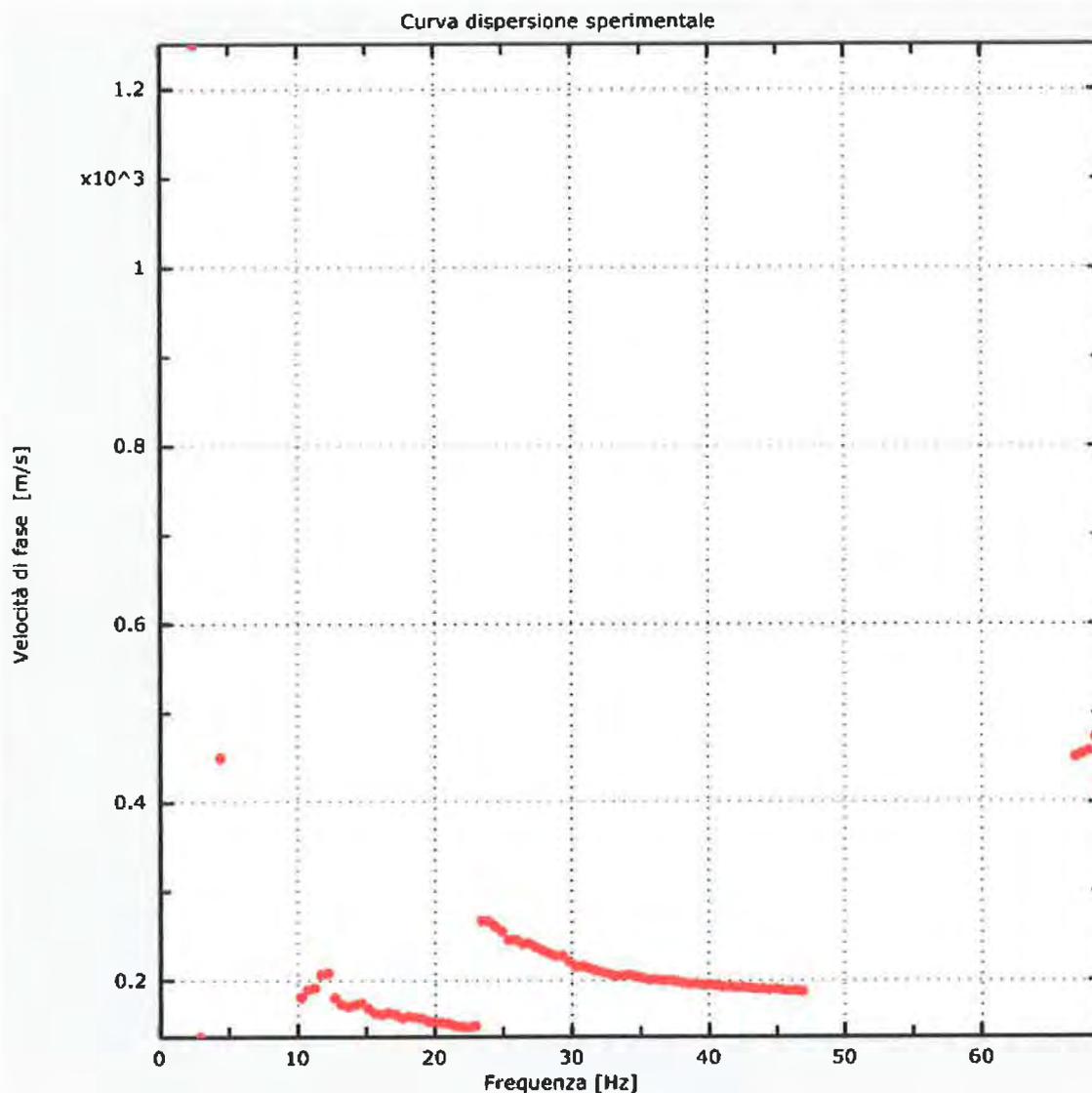


Figura 10: Curva dispersione sperimentale

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	



3.3 – CURVA DI DISPERSIONE

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
4.60814	445.714	392.969	498.458
11.3555	192.037	171.944	212.13
13.2834	171.944	159.386	184.502
15.6932	154.362	144.316	164.409
18.9062	156.874	149.339	164.409
21.1553	151.851	149.339	154.362
24.529	264.875	252.317	277.433
31.1158	217.154	189.525	244.782
36.578	199.572	197.06	202.084
39.1484	199.572	189.525	209.619

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

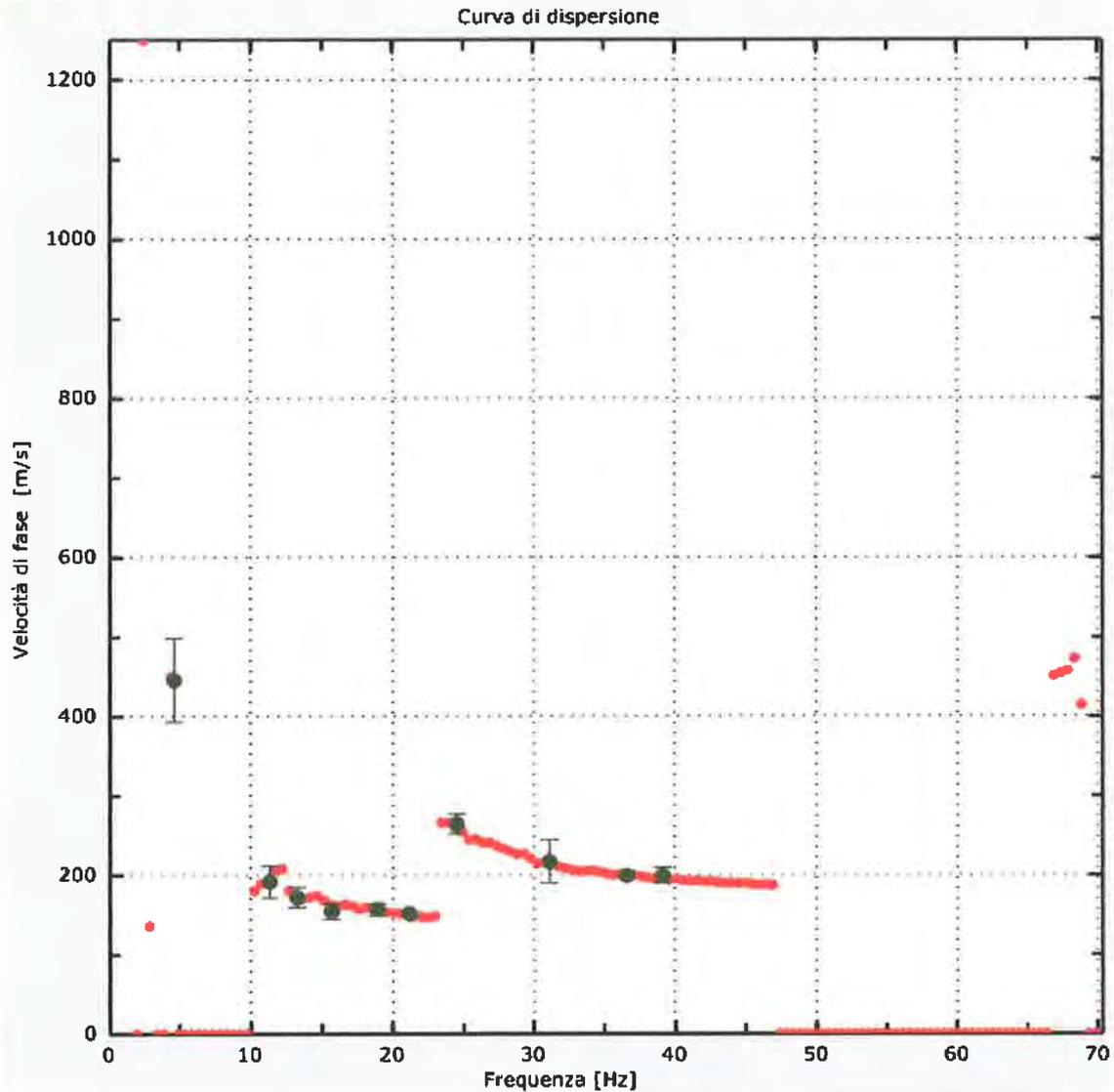


Figura 11: Curva di dispersione

3.4 – PROFILO IN SITO

Numero di strati (escluso semispazio).....	6
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi	1
Numero iterazioni	4
Massimo errore [%]	2.000000e-001
Consenti forti contrasti di rigidezza tra 2 strati consecutivi	

Strato 1

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato



h [m].....	4
z [m].....	-4
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson.....	0.48
Vs [m/s]	221.75
Vp [m/s].....	1130.71
Vs min [m/s]	110.87
Vs max [m/s].....	443.49
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	221.750

Strato 2

h [m].....	19
z [m].....	-23
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson.....	0.48
Vs [m/s]	174.30
Vp [m/s].....	888.76
Vs min [m/s]	87.15
Vs max [m/s].....	348.61
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	174.300

Strato 3

h [m].....	4
z [m].....	-27
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson.....	0.48
Vs [m/s]	213.37
Vp [m/s].....	1087.98
Vs min [m/s]	106.69
Vs max [m/s].....	426.75
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	213.370

Strato 4

h [m].....	15
z [m].....	-42
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson.....	0.2

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	



Vs [m/s]213.37
 Vp [m/s]348.43
 Vs min [m/s] 106.69
 Vs max [m/s].....426.75
 Falda non presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s]213.370

Strato 5

h [m]..... 50
 z [m].....-92
 Densità [kg/m³] 1800
 Poisson..... 0.2
 Vs [m/s]213.37
 Vp [m/s]348.43
 Vs min [m/s] 106.69
 Vs max [m/s].....426.75
 Falda non presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s]213.370

Strato 6

h [m]..... 0
 z [m].....-00
 Densità [kg/m³] 1800
 Poisson..... 0.2
 Vs [m/s]495.24
 Vp [m/s]808.72
 Vs min [m/s]247.62
 Vs max [m/s].....990.48
 Falda non presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s]495.240

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

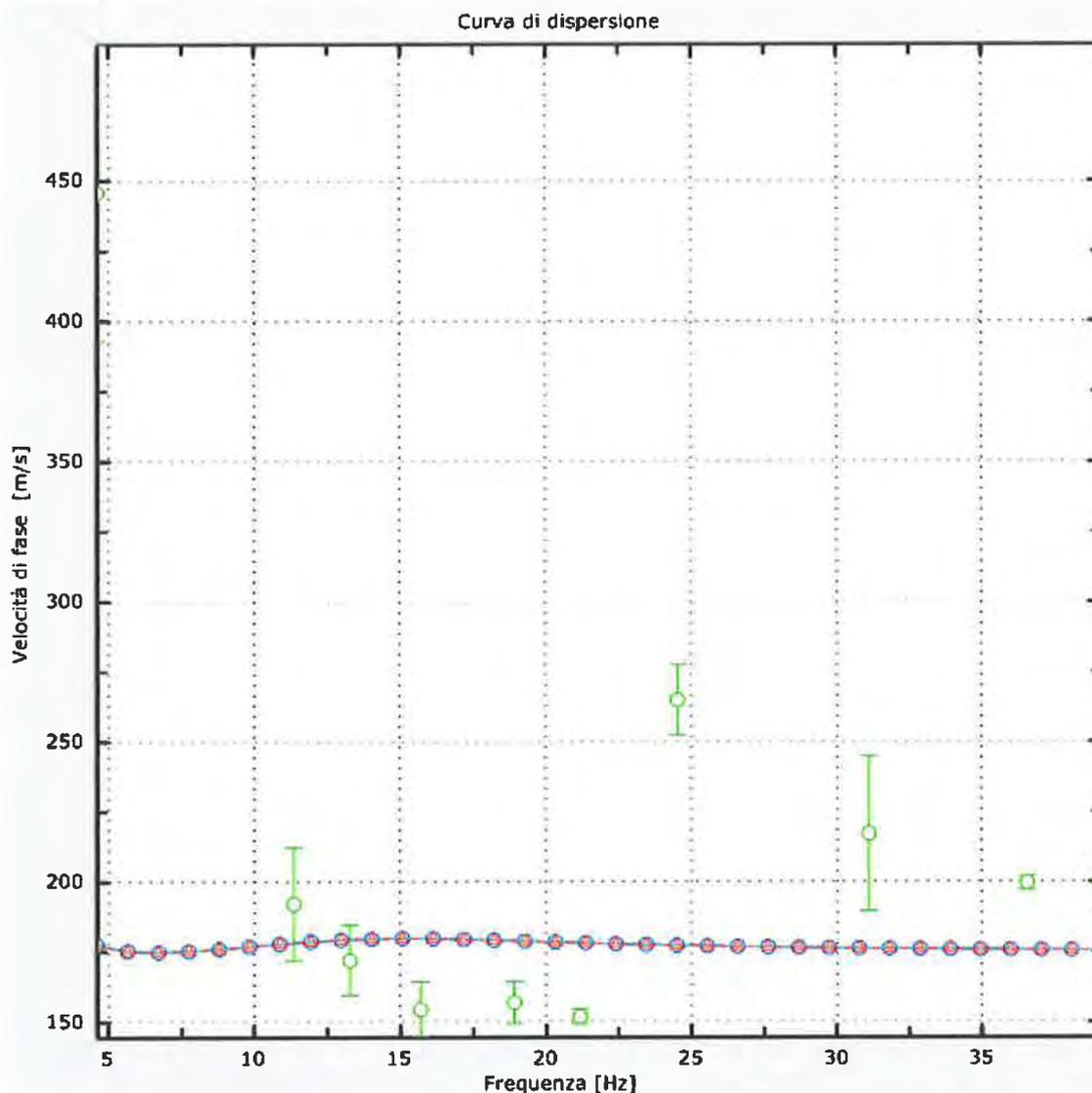


Figura 12: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Controllato	Approvato

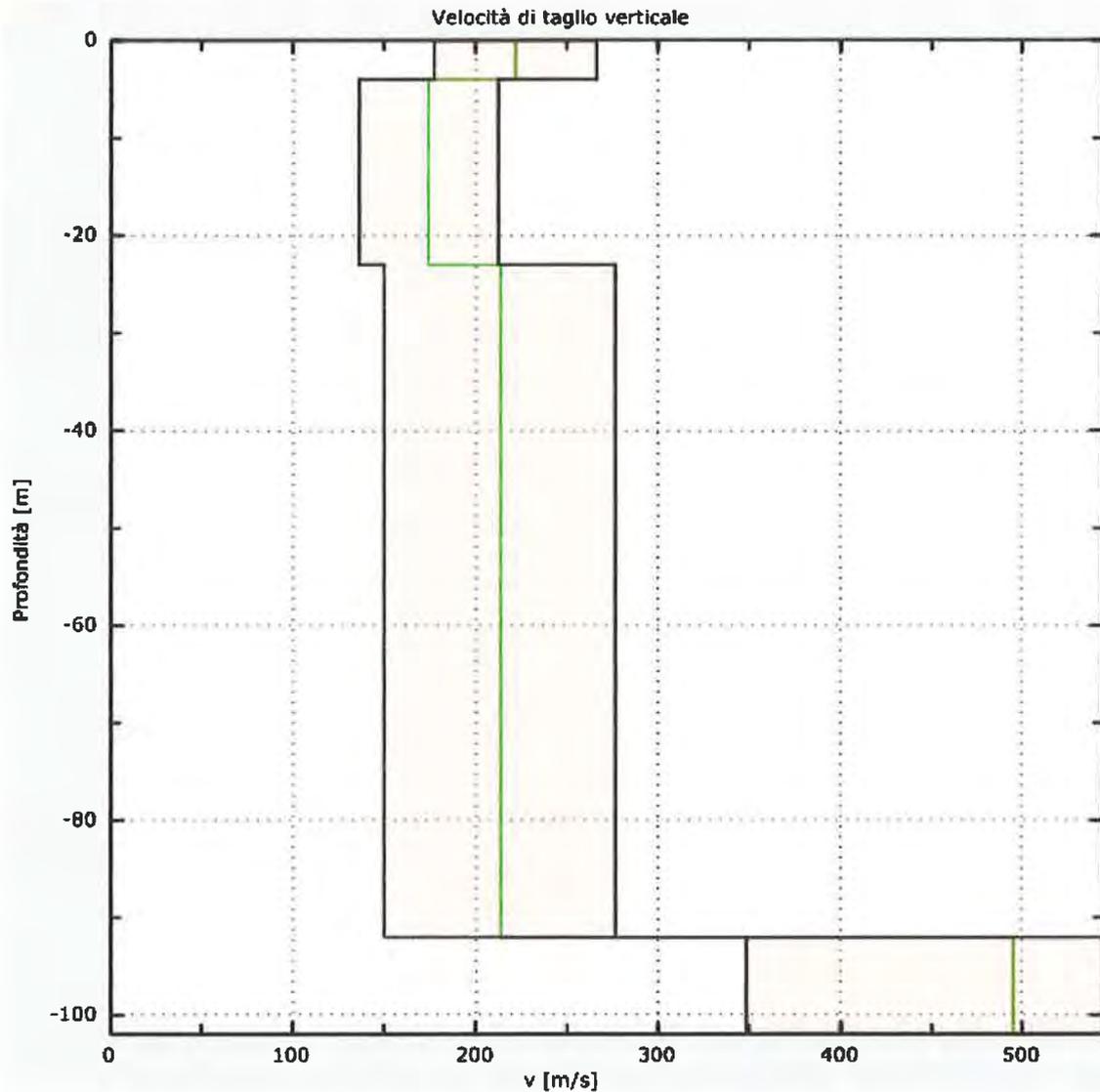


Figura 13: Velocità

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

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 48 m):

Modello 1			
Strato	Spessore(m)	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	4.0	4.0	221
2	19.0	23.0	174
3	4.0	27.0	231
4	15.0	42.0	213
5	50.0	92.0	213
6	∞	∞	495

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Approvato	

	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica	MOD. 85 REV. 00 DATA 08/03/10
		SISTEMA QUALITA'	PAG. 19 DI 20

3.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE Vs30

Offset [m]..... 0

Vs30 [m/s] 187

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 5.

Tipo di suolo C.

Dall'analisi delle indagini geognostiche e dalle indagini geofisiche realizzate risulta che il sottosuolo si presenta fondamentalmente a tre strati di cui il quarto rappresenta l'unità geotecnica rigida.

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) 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 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

Vs30 = 187 m/s

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C** (si veda la tabella seguente).

Rif.: G13080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
00	30/05/13	G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato
			Controllato	Approvato

	GEODE LABORATORIO GEOTECNICO RIMINI	Indagine geofisica	MOD. 85 REV. 00 DATA 08/03/10
		SISTEMA QUALITA'	PAG. 20 DI 20

Appendice

Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, 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 $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tipo S1: Depositati costituiti da, o contenenti uno strato di almeno 10m di spessore, argille/limi soffici con un alto indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua

Tipo S2: Depositati di terreno liquefacibile o argille sensitive o altri profili di terreno non inclusi nei tipi A, B, C, D, E o S1. Attenzione: la nuova norma classifica come S2 una serie di siti che prima erano classificati come B, C, D, E.

080	File:G13080-07battistini.doc	Cod. doc.: 07/13	N. pag.: 20	Allegati:
30/05/13		G. Venturini	G. Venturini	M. Mularoni
Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato

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 microtremiti (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 sovrice 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 **EX**citations) 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Vantaggi della caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR

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

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

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

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

Indagine sismica passiva a stazione singola – Località: SANTARCANGELO di Romagna – RN- Via S. Bartolo 01.

Inizio registrazione: 28.05.2013 ore 09:44:54 - Fine registrazione: 28.05.2013 ore 10:04:54

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 88 % tracciato (selezione manuale)

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 24 s.

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 13 %.

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)
0.30	0.30	80
2.40	2.10	160
Inf.	Inf.	300

SANTARCANGELO, Via S. Bartolo 01

Strumento: TRZ-0129/01-10

Inizio registrazione: 28/05/13 09:44:54 Fine registrazione: 28/05/13 10:04:54

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

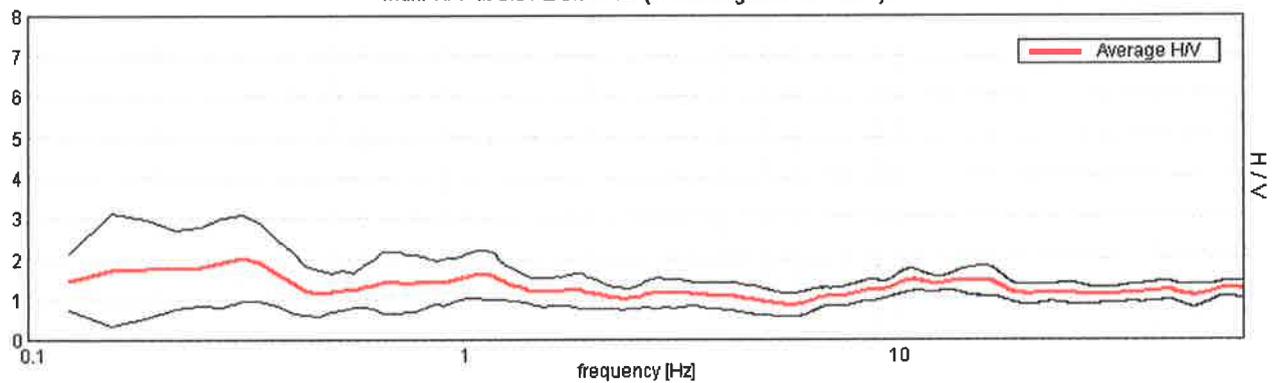
Lunghezza finestre: 24 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

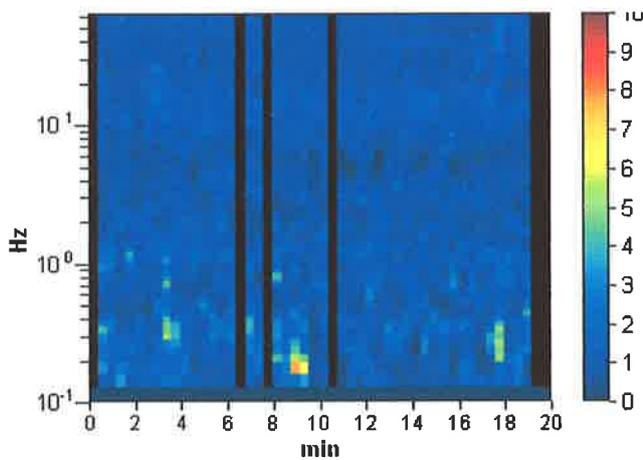
Lisciamento: 13%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

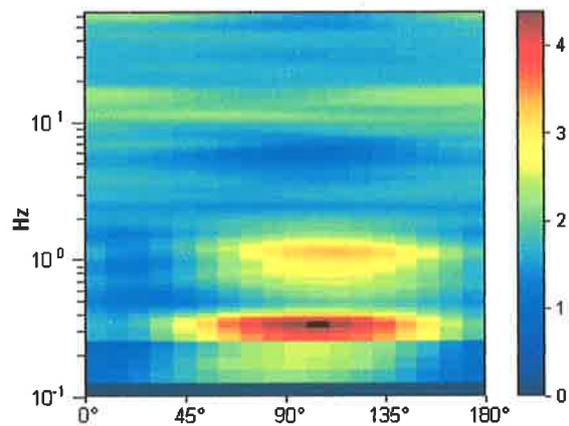
Max. H/V at 0.31 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



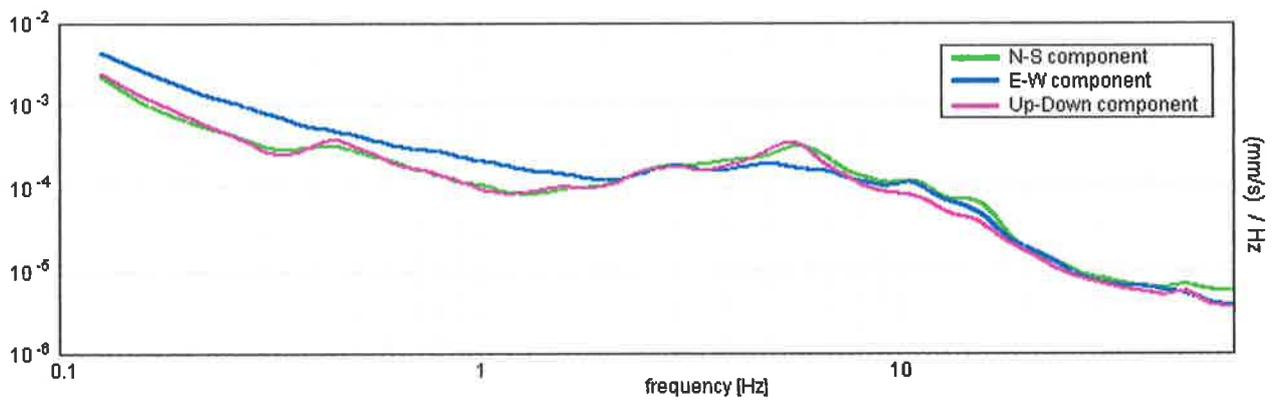
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

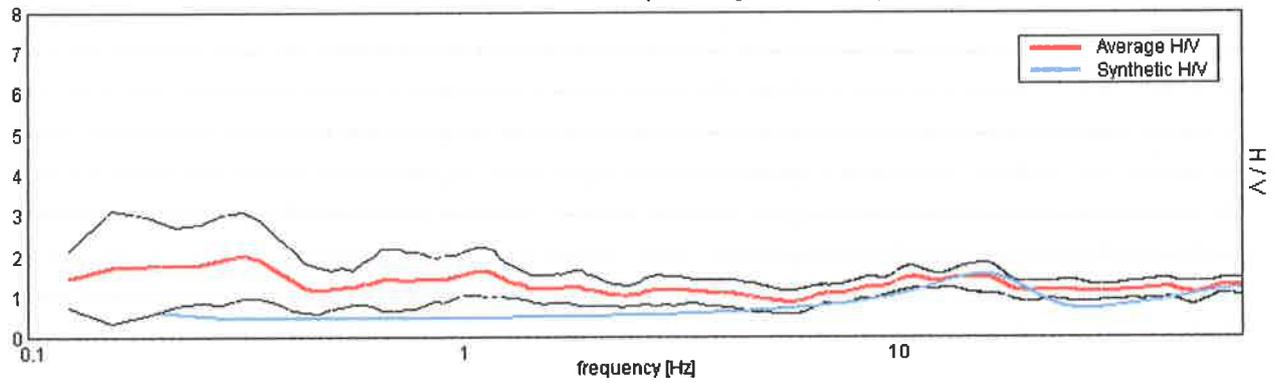


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



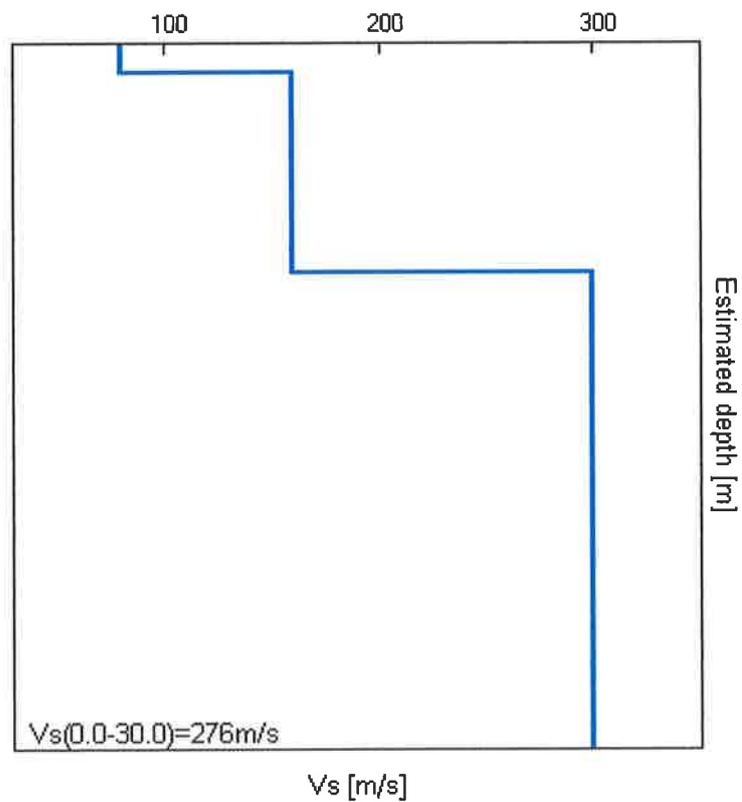
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 0.31 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	80	0.25
2.40	2.10	160	0.30
inf.	inf.	300	0.35

Vs(0.0-30.0)=276m/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 0.31 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.44 > 0.42$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$330.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 16	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.02 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02307 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00721 < 0.0625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5261 < 2.5$	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 microtremiti (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 sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito.

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

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

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca **SESAME** (2005) - (Site EffectS assessment using **AM**ambient **E**xcitations) 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Vantaggi della caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR

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

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

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

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

Indagine sismica passiva a stazione singola – Località: SANTARCANGELO di Romagna – RN- Via S. Bartolo 02.

Inizio registrazione: 28.05.2013 ore 10:15:24 - Fine registrazione: 28.05.2013 ore 10:35:24

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 92 % tracciato (selezione manuale)

Frequenza di campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s.

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 15 %.

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)
0.40	0.40	70
1.80	1.40	150
Inf.	Inf.	290

SANTARCANGELO, Via S. Bartolo 02

Strumento: TRZ-0129/01-10

Inizio registrazione: 28/05/13 10:15:24 Fine registrazione: 28/05/13 10:35:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

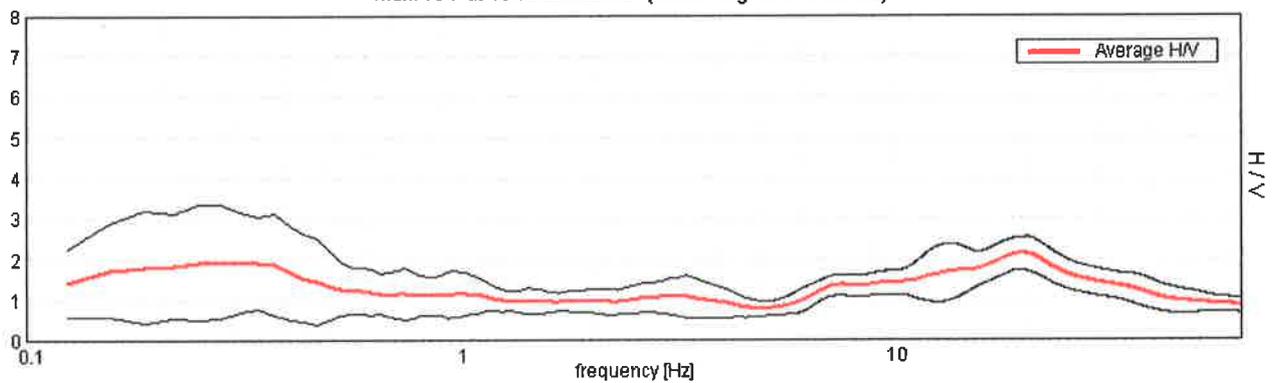
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

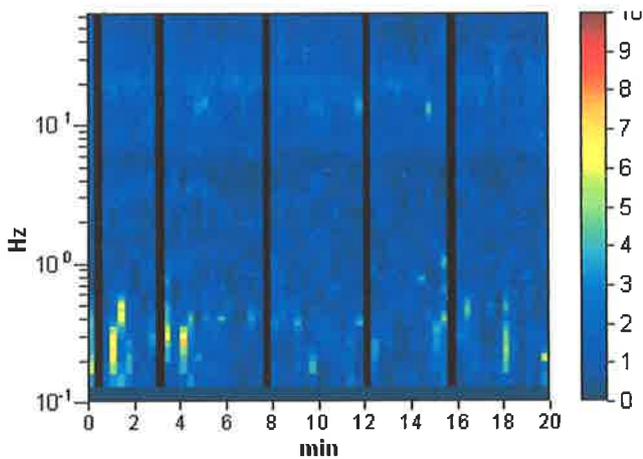
Lisciamento: 15%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

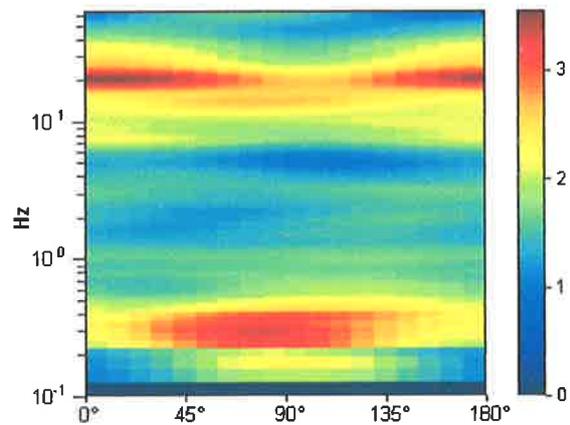
Max. H/V at 19.78 ± 3.66 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



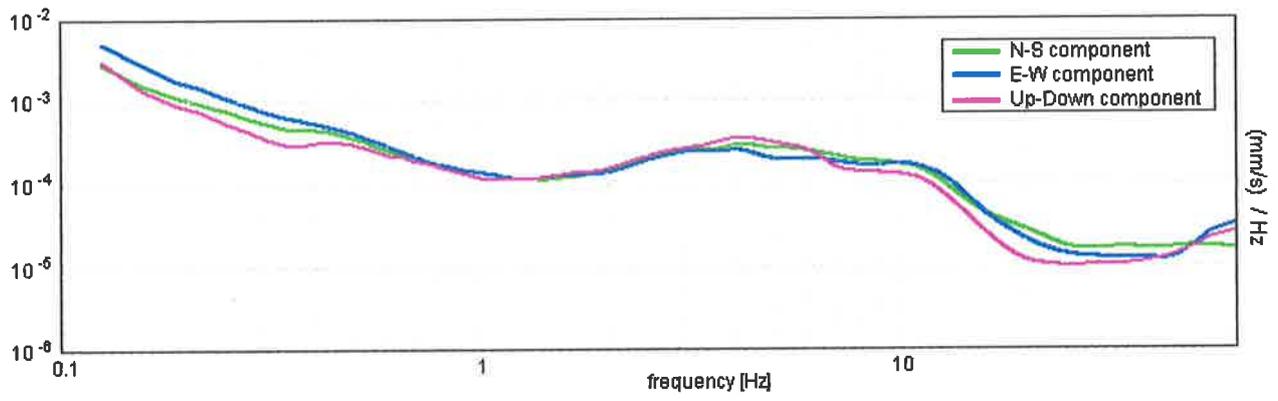
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

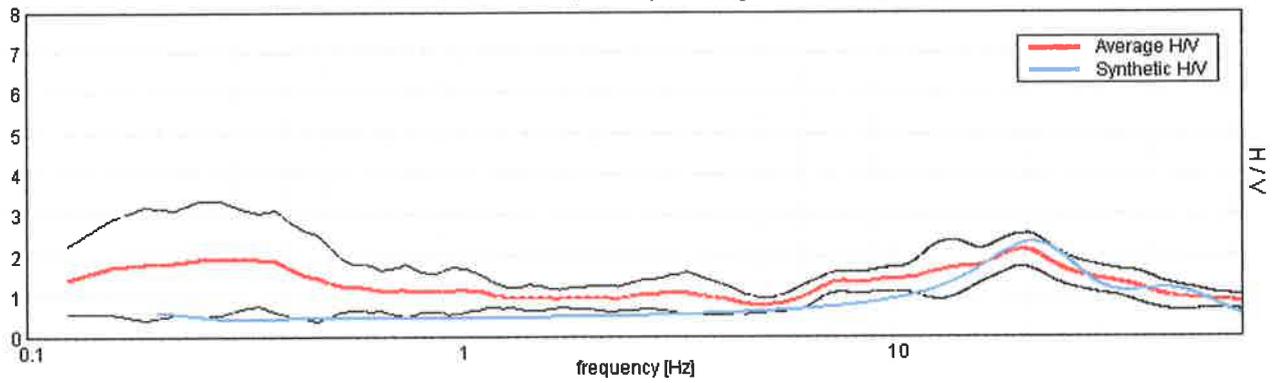


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



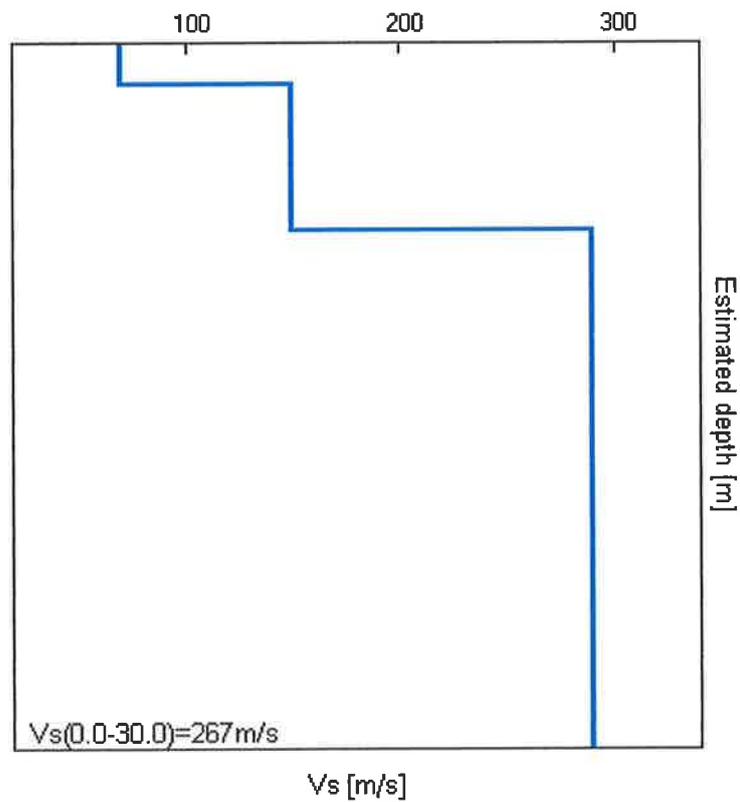
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 19.78 ± 3.66 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	70	0.25
1.80	1.40	150	0.30
inf.	inf.	290	0.35

Vs(0.0-30.0)=267m/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 19.78 ± 3.66 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$19.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$21759.4 > 200$	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 950	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.344 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	41.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.13 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09153 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.81066 < 0.98906$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2003 < 1.58$	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



Provincia di Rimini

Piano Territoriale
di Coordinamento
Provinciale

pTcP

2007

Tavole di piano

Ferdinando Fabbri
Presidente
Provincia di Rimini

Alberto Rossini
Assessore pianificazione
territoriale,
mobilità, lavori pubblici

Carmelo Cilia
Segretario Generale

gruppo di lavoro pTcP

Franco Tinti (coordinatore) †
Rudi Fallaci
Tecnicoop Scarl

Approfondimenti tematici

Michela Valentini
S.L. & A srl

Romeo Farinella
Marco Zaoli
Università di Ferrara
Dip. Arch. /Citer

Sergio Signanini

Fabio Tunioli
Tecnicoop Scarl

Contributi specialistici

Valter Pagnini
Daniela Tonini
Lea Ermeti

Fabio Tomasetti (dirigente)
Servizio Pianificazione
Territoriale e urbanistica

Roberta Laghi
Paolo Setti
Ufficio pianificazione

Massimo Filippini
Ufficio difesa del suolo

Giuseppe Fuschillo
Gabriele Sartini
Ufficio Situa

Servizio Agricoltura

Servizio Ambiente

Servizio Mobilità

Rossella Salvi
Ufficio Statistica

Titolo:

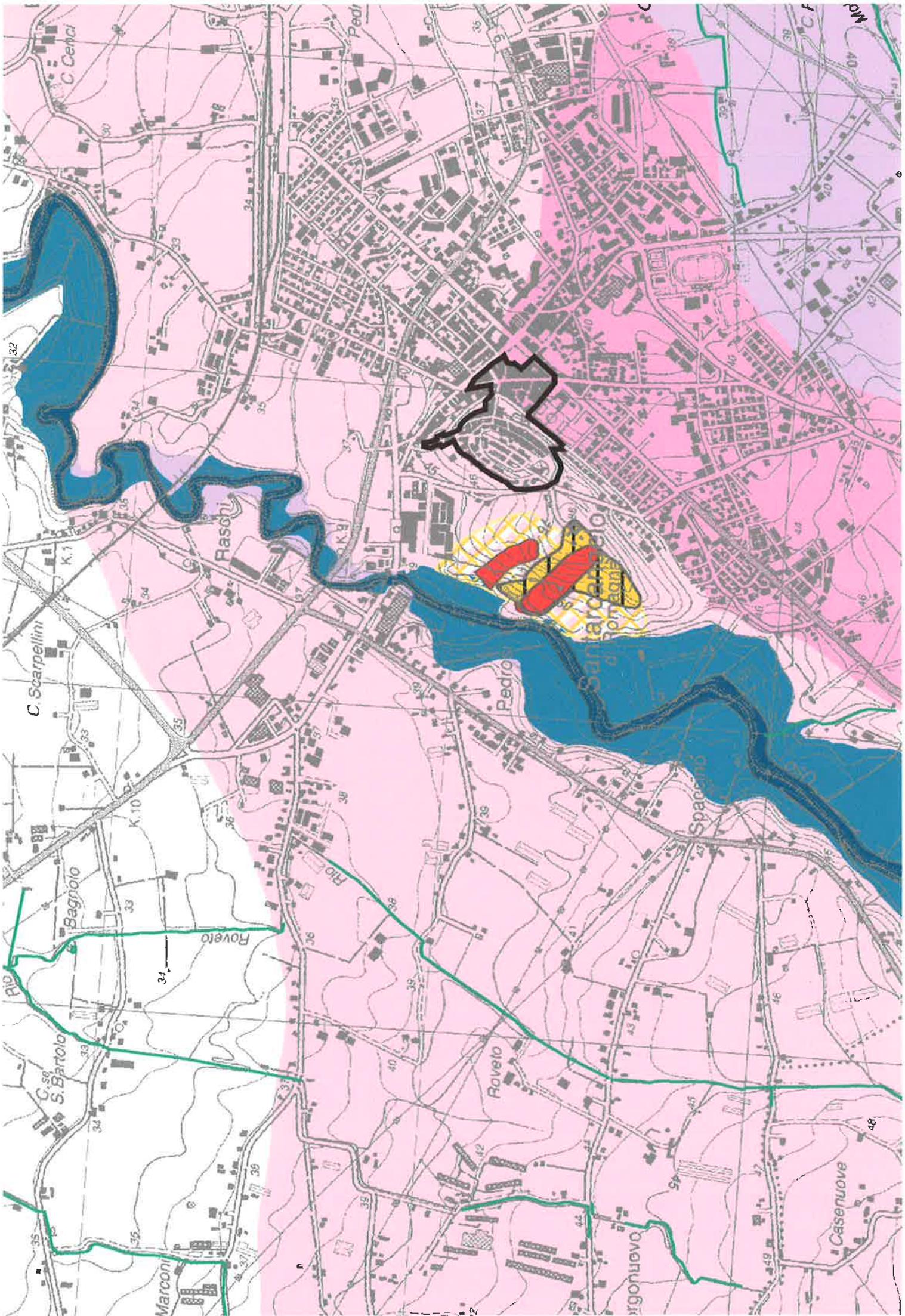
Rischi Ambientali

tavola

D_{1/2}

Scala: 1:25.000

Data: Giugno 2007



LEGENDA

AMBITI A PERICOLOSITA' IDRAULICA

-  Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua - reticolo idrografico principale (art. 2.2)
-  Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua - reticolo idrografico minore (art. 2.2)
-  Aree esondabili (art. 2.3)

AMBITI A VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

-  Aree di ricarica idraulicamente connesse all'alveo - ARA (art. 3.3)
-  Aree di ricarica diretta della falda - ARD (art. 3.4)
-  Aree di ricarica indiretta della falda - ARI (art. 3.5)
-  Bacini imbriferi - BI (art. 3.5)
-  Bacino imbrifero del fiume Conca (art. 3.6)

AMBITI A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

-  Zone instabili per fenomeni attivi (art. 4.1 comma 3)
-  Calanchi (art. 4.1 commi 3 e 4)
-  Zone instabili per fenomeni quiescenti da verificare (art. 4.1 comma 5)
-  Zone instabili per fenomeni quiescenti verificati (art. 4.1 comma 6)
-  Aree potenzialmente instabili (art. 4.1 comma 9)
-  Depositi di versante da verificare (art. 4.1 comma 10)
-  Depositi di versante conclamati (art. 4.1 comma 11)
-  Depositi eluvio-colluviali e antropici (art. 4.1 comma 12)
-  Scarpate (art. 4.1 comma 13)
-  Abitati da consolidare (art. 4.2)
-  Aziende a rischio di incidente rilevante (art. 8.6)



COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA
(Provincia di RIMINI)



Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione P.G.A.

ADOZIONE: Del. C.C. n. 54 del 21/04/2009

APPROVAZIONE: Del. C.C. n. ... del

Sindaco
Mauro MORRI

*Assessore alla Pianificazione Territoriale, Urbanistica,
Edilizia Privata*
Alfio FIORI

Segretario Generale
Alfonso PISACANE

Progettista responsabile:
Roberto Farina (OIKOS Ricerche Srl)

Gruppo di lavoro OIKOS Ricerche:
Alessandra Carini (coord. operativo di progetto)
Francesco Manunza (coord. Q.C. e ValSAT)
Elena Lollì (analisi del sistema insediativo storico)
Diego Pellattiero (coll. ValSAT)
Monica Regazzi, Silvia Di Michele, Valentina Fantin,
Daniela Sagripanti (coll. Quadro Conoscitivo)

Collaboratori:
Antonio Corticello, Roberta Benassi (cartografia,
elaborazioni S.I.T.) - Concetta Venezia (editing)

Comune di Santarcangelo di Romagna:
Oscar Zammarchi (Dirigente Settore Territorio)
Gilberto Facondini (Responsabile Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale): FASE DI APPROVAZIONE
Leonardo Ubalducci (Consulente Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale): FASE DI ADOZIONE
Funzionari e addetti del Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale

Studio di microzonazione sismica: Antonio Maria Baldi – SGG srl

LUGLIO 2010

V
F.

m/s
A.= 1.7

n° 13

$V_{s30} = 256 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.7$

n° 4

$V_{s30} = 269 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.7$

n° 5

$V_{s30} = 389 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.6$

n° 27

$V_{s30} = 277 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.7$

n° 25

$V_{s30} = 309 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.4$

n° 24

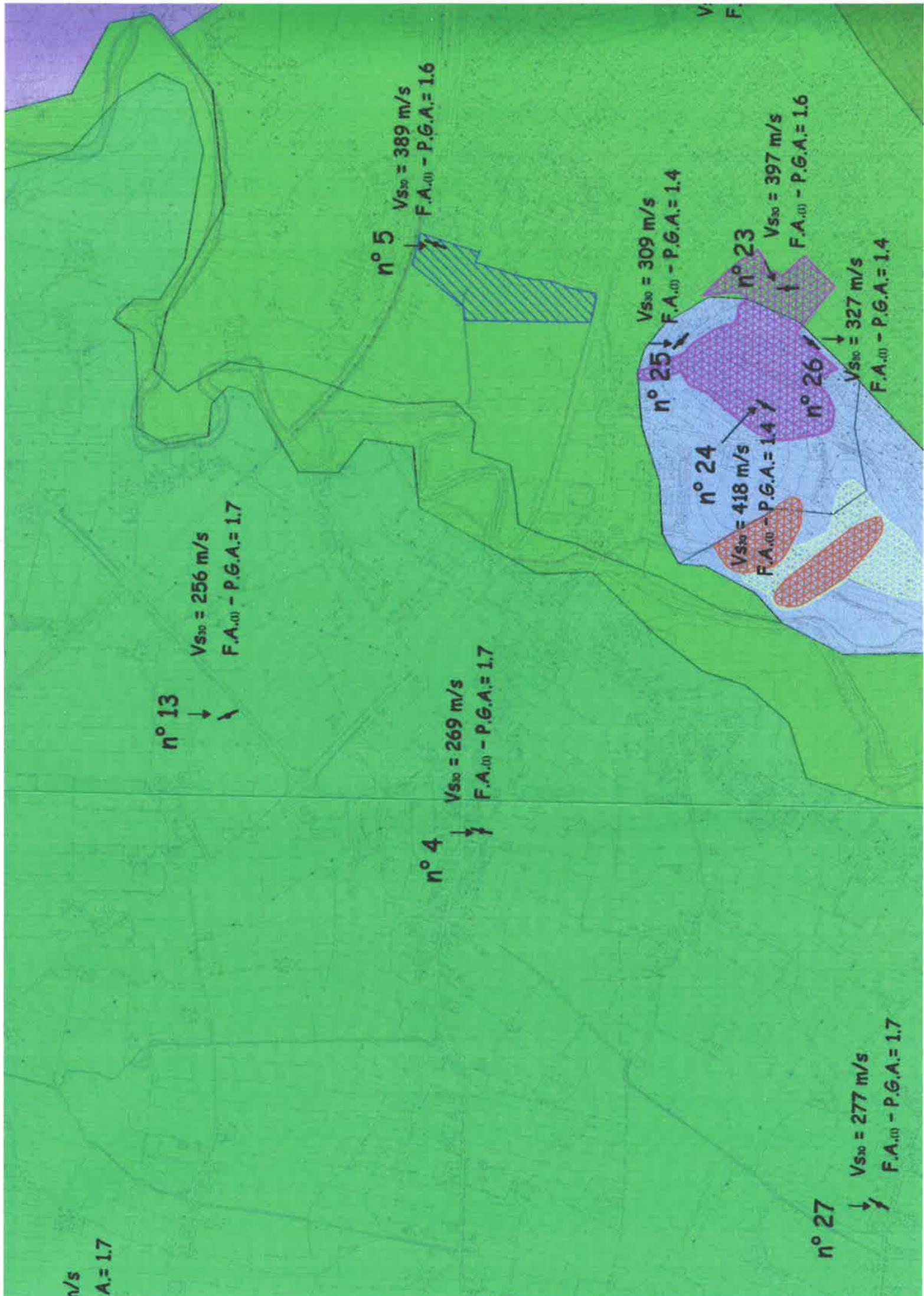
$V_{s30} = 418 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.4$

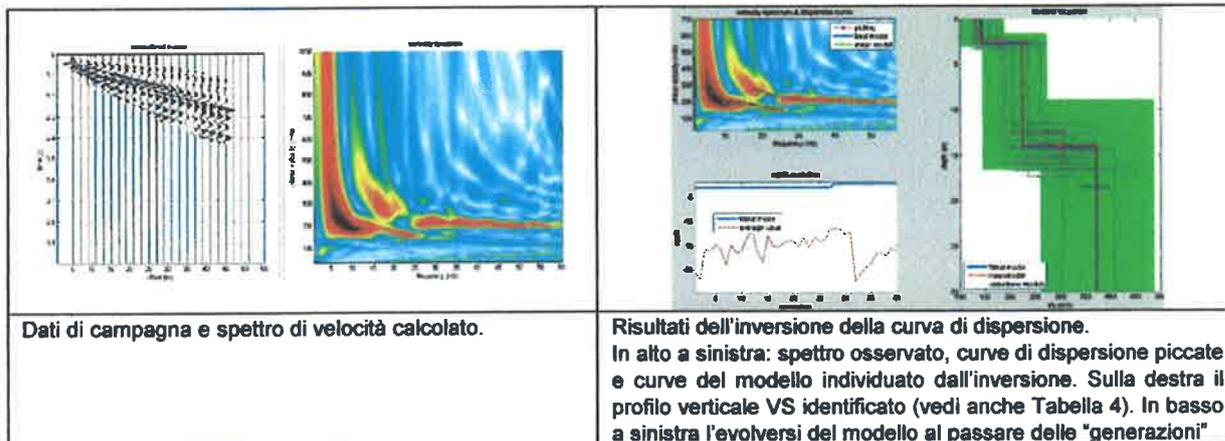
n° 23

$V_{s30} = 397 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.6$

n° 26

$V_{s30} = 327 \text{ m/s}$
 $F.A.(0) - P.G.A. = 1.4$



Sito 4:


Spessore (m)	V_s (m/s) e deviazioni standard
2.5 ± 0.2	141 ± 5
11.3 ± 0.6	226 ± 0
semispazio	371 ± 4

 Tab. 4. Modello medio individuato (V_{s30} dal p.c.: **269 m/s - Classe C**).

Per questo sito i coefficienti di amplificazione sismica (F.A.) risultano essere:

- in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀):

$$F.A. P.G.A. = 1.7$$

- in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI₀) per prefissati intervalli di periodi:

$$F.A. INTENSITA' SPETTRALE 0.1s < T_0 < 0.5s = 1.9$$

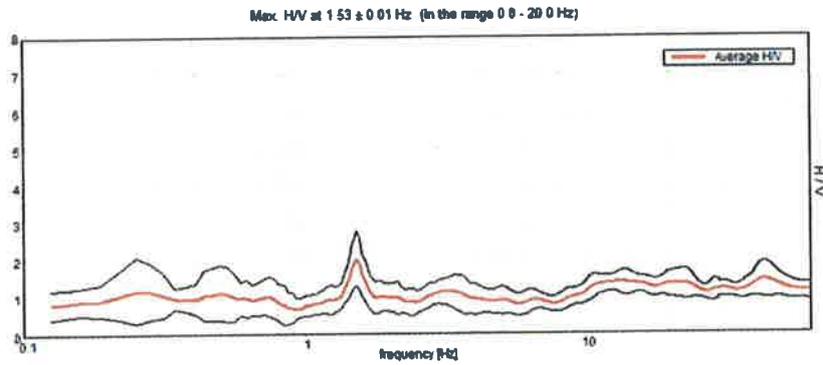
$$F.A. INTENSITA' SPETTRALE 0.5s < T_0 < 1.0s = 2.5$$

La frequenza di risonanza fondamentale ricavata dalla misura HVSR risulta essere pari a 1.53 Hz.

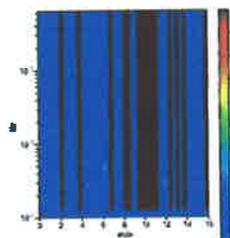
Misura HVSR n° 4

Trace length: 0h16'00". Analyzed 69% trace (automatic window selection)
 Sampling frequency: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing window: Triangular window
 Smoothing: 10%

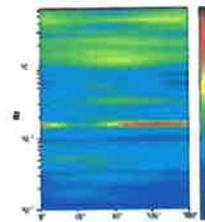
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



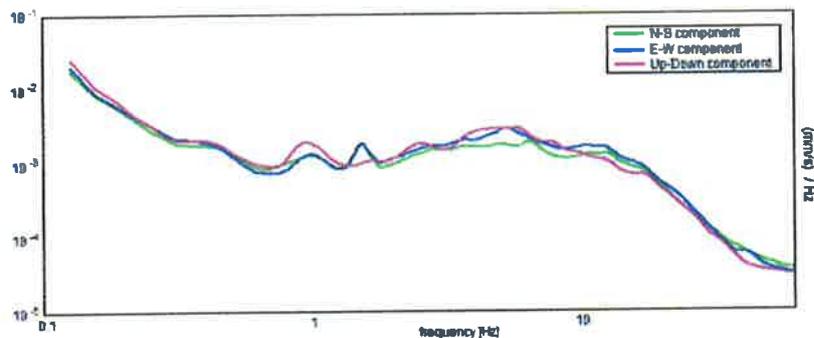
HV TIME HISTORY



DIRECTIONAL HV



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Località Santarcangelo di Romagna (RM)

MICROZONAZIONE SISMICA



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.53 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.53 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1010.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 74 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.04 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00186 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00284 < 0.15313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.357 < 1.78$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Località Santarcangelo di Romagna (RM)

MICROZONAZIONE SISMICA

Carta di microzonazione sismica: valori di V_{s30} e fattori di amplificazione P.G.A.

Zone di approfondimento di II livello

Zone suscettibili di approfondimento di III livello:

- Zone instabili
- Zone potenzialmente instabili
- Zone dove sono presenti cavità sotterranee

SITTO n° 19

Prova MASW: orientazione array sismico e ubicazione del profilo verticale di V_s

Velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore di 30 metri da p.c.

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀)

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di Intensità di Housner (SI/SI₀) definiti in un intervallo di periodo T_0 compreso tra 0.1s e 0.5 s

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di Intensità di Housner (SI/SI₀) definiti in un intervallo di periodo T_0 compreso tra 0.5s e 1.0 s

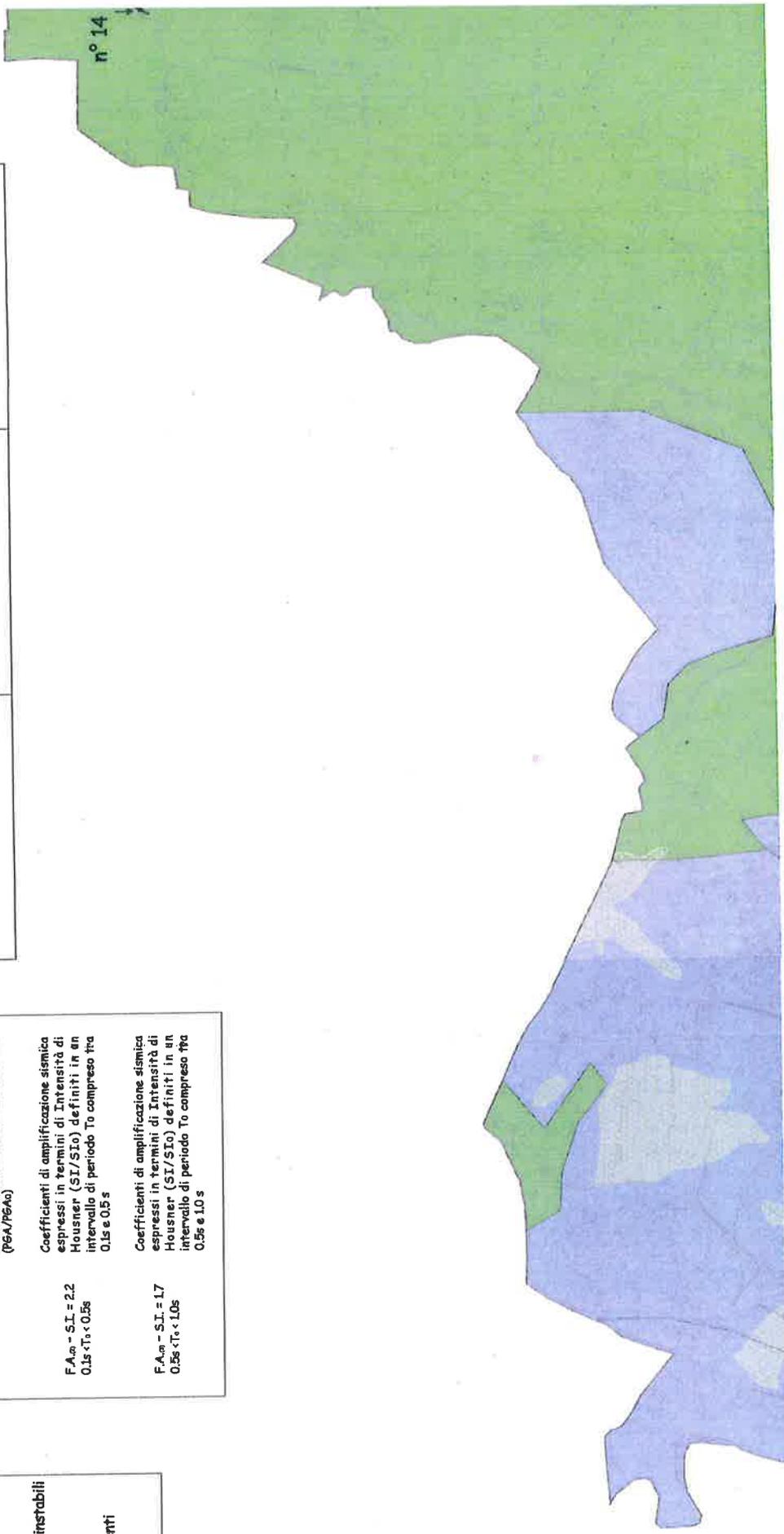
$V_{s30} = 258 \text{ m/s}$

$F_{A,0} - P.G.A. = 1.3$

$F_{A,0} - S.I. = 2.2$
 $0.1s < T_0 < 0.5s$

$F_{A,0} - S.I. = 1.7$
 $0.5s < T_0 < 1.0s$

Ambito Appennino	Ambito Pianura 1	Ambito Pianura 2
 F.A. P.G.A. = 1.4 ($V_{s30} < 450 \text{ m/s}$)	 F.A. P.G.A. = 1.7 ($250 \text{ m/s} < V_{s30} < 300 \text{ m/s}$)	 F.A. P.G.A. = 1.4 ($350 \text{ m/s} < V_{s30} < 400 \text{ m/s}$)
 F.A. P.G.A. = 1.2 ($600 \text{ m/s} < V_{s30} < 700 \text{ m/s}$)	 F.A. P.G.A. = 1.6 ($350 \text{ m/s} < V_{s30} < 400 \text{ m/s}$)	 F.A. P.G.A. = 1.4 ($400 \text{ m/s} < V_{s30} < 450 \text{ m/s}$)
	 F.A. P.G.A. = 1.6 ($400 \text{ m/s} < V_{s30} < 450 \text{ m/s}$)	
	 F.A. P.G.A. = 1.4 ($500 \text{ m/s} < V_{s30} < 600 \text{ m/s}$)	





COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA
(Provincia di RIMINI)



Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione S.I. ($0.1s < T_0 < 0.5s$)

ADOZIONE: Del. C.C. n. 54 del 21/04/2009

APPROVAZIONE: Del. C.C. n. ... del

Sindaco
Mauro MORRI

*Assessore alla Pianificazione Territoriale, Urbanistica,
Edilizia Privata*
Alfio FIORI

Segretario Generale
Alfonso PISACANE

Progettista responsabile:
Roberto Farina (OIKOS Ricerche Srl)

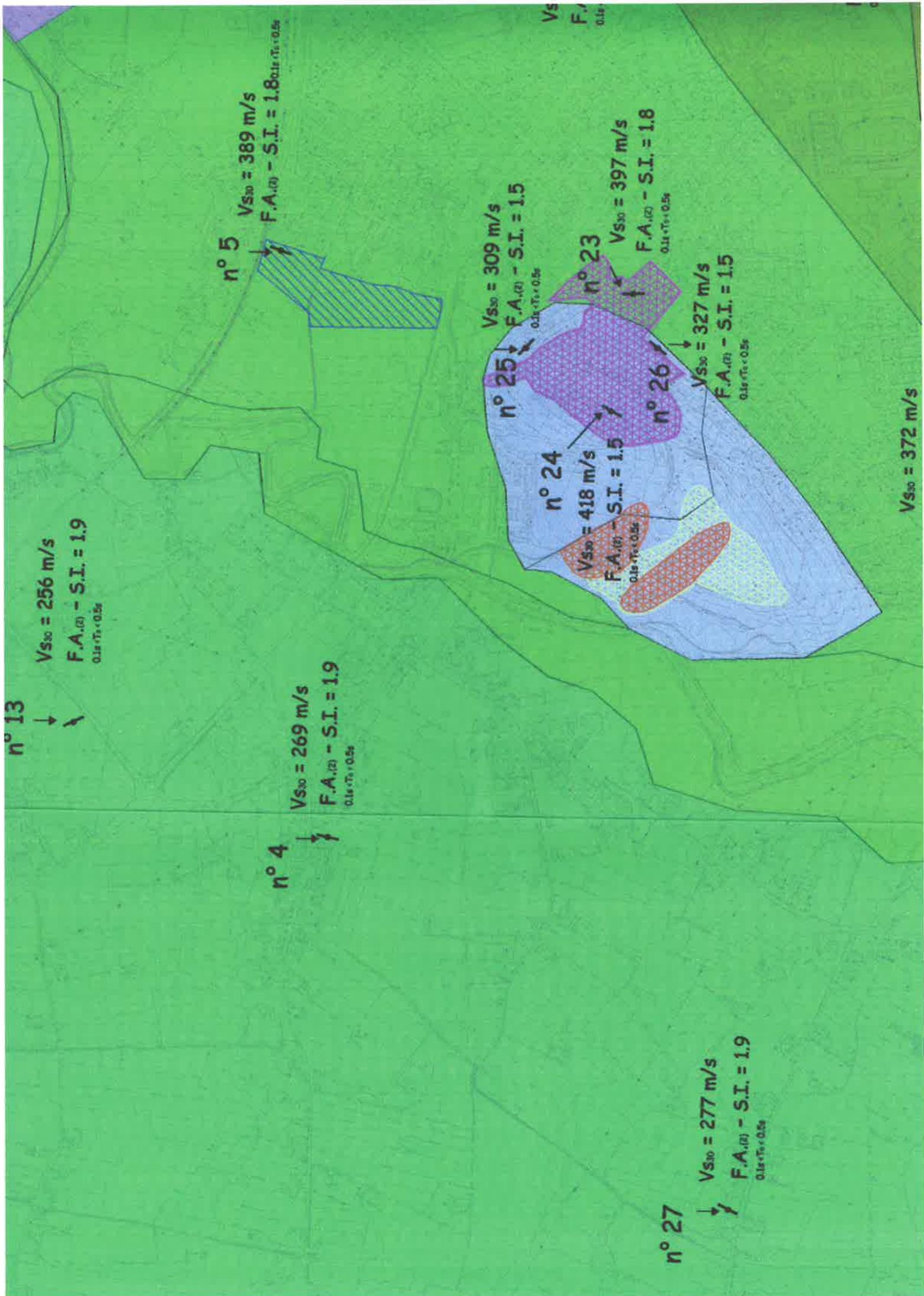
Gruppo di lavoro OIKOS Ricerche:
Alessandra Carini (coord. operativo di progetto)
Francesco Manunza (coord. Q.C. e ValSAT)
Elena Lollì (analisi del sistema insediativo storico)
Diego Pellattiero (coll. ValSAT)
Monica Regazzi, Silvia Di Michele, Valentina Fantin,
Daniela Sagripanti (coll. Quadro Conoscitivo)

Collaboratori:
Antonio Corticello, Roberta Benassi (cartografia,
elaborazioni S.I.T.) - Concetta Venezia (editing)

Comune di Santarcangelo di Romagna:
Oscar Zammarchi (Dirigente Settore Territorio)
Gilberto Facondini (Responsabile Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale): FASE DI APPROVAZIONE
Leonardo Ubalducci (Consulente Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale): FASE DI ADOZIONE
Funzionari e addetti del Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale

Studio di microzonazione sismica: Antonio Maria Baldi – SGG srl

LUGLIO 2010



$V_{S30} = 256 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.9$
 $0.18 \times T_0 \times 0.56$

n° 5
 $V_{S30} = 389 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.8$
 $0.18 \times T_0 \times 0.56$

n° 13
↓ ⚡

$V_{S30} = 269 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.9$
 $0.18 \times T_0 \times 0.56$

n° 4
↓ ⚡

$V_{S30} = 309 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.5$
 $0.21 \times T_0 \times 0.56$

n° 23
 $V_{S30} = 397 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.8$
 $0.11 \times T_0 \times 0.56$

n° 24
 $V_{S30} = 418 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.5$
 $0.19 \times T_0 \times 0.56$

n° 26
 $V_{S30} = 327 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.5$
 $0.16 \times T_0 \times 0.56$

n° 27
↓ ⚡
 $V_{S30} = 277 \text{ m/s}$
 $F.A.(T) - S.I. = 1.9$
 $0.18 \times T_0 \times 0.56$

$V_{S30} = 372 \text{ m/s}$

Carta di microzonazione sismica: valori di V_{s30} e fattori di amplificazione S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$)

Zona di approfondimento di II livello

Zona suscettibili di approfondimento di III livello:

- Zona instabili
- Zona potenzialmente instabili
- Zona dove sono presenti cavità sotterranee

STTO n° 19

$V_{s30} = 280 \text{ m/s}$

$F.A.S. = P.A.A. = 1.3$

$F.A.S. = S.I. = 2.2$
 $0.5s < T_0 < 0.5s$

$F.A.S. = S.I. = 1.7$
 $0.5s < T_0 < 1.0s$

Primi MASIP: a) testazione array sismica e b) ubicazione del profilo verticale di V_s

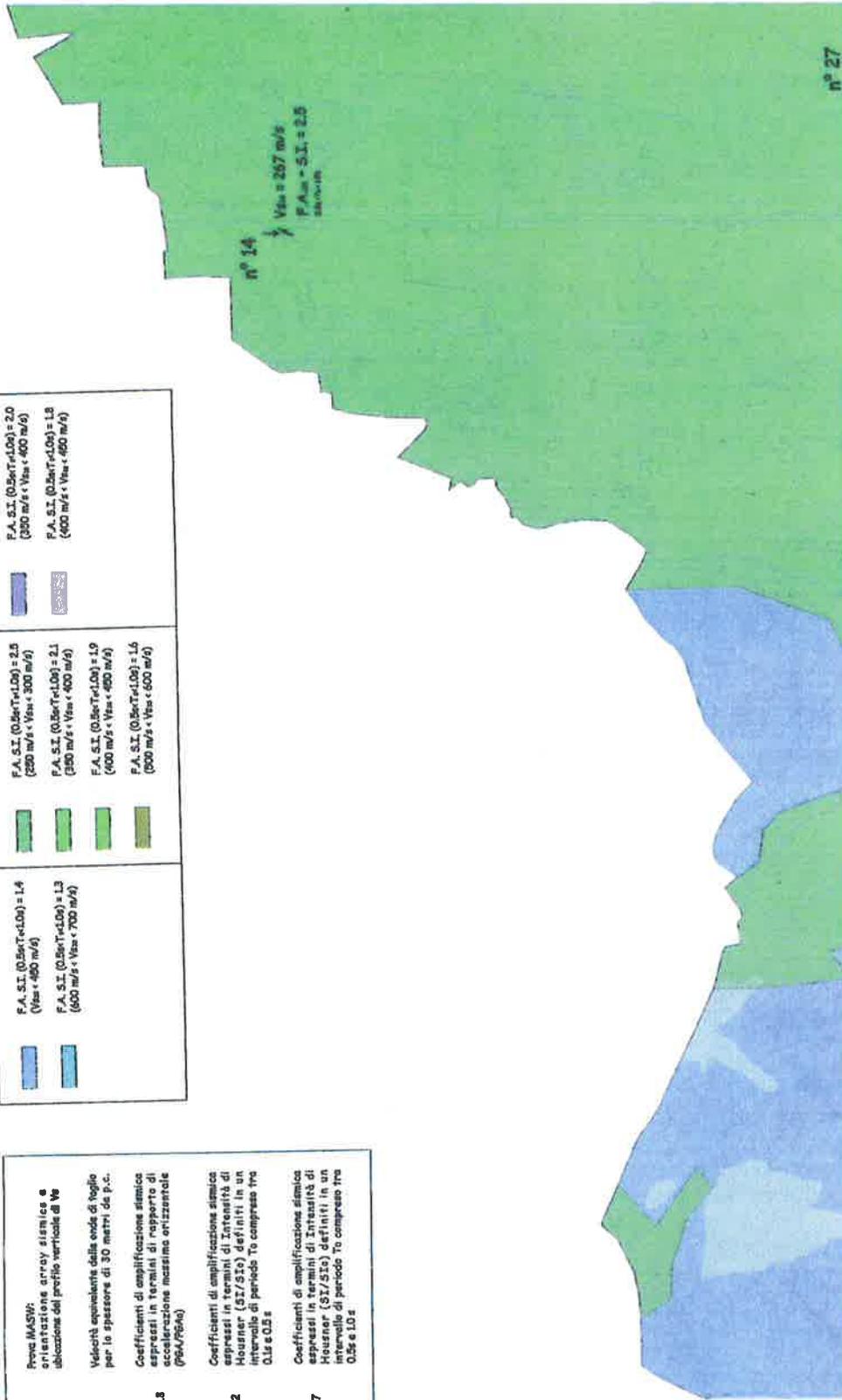
Velocità equivalente della onde di taglio per lo spessore di 30 metri da p.c.

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (P.A.A./P.S.A.)

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di Terzietà di Housner (S.I./S.S.) definiti in un intervallo di periodo T_0 compreso tra 0.5s e 0.5s

Coefficienti di amplificazione sismica espressi in termini di Terzietà di Housner (S.I./S.S.) definiti in un intervallo di periodo T_0 compreso tra 0.5s e 1.0s

Ambito Appennino	Ambito Pianaura 1	Ambito Pianaura 2
<p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 1.4 ($V_{s30} < 400 \text{ m/s}$)</p> <p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 1.3 ($600 \text{ m/s} < V_{s30} < 700 \text{ m/s}$)</p>	<p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 2.0 ($200 \text{ m/s} < V_{s30} < 300 \text{ m/s}$)</p> <p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 2.1 ($300 \text{ m/s} < V_{s30} < 400 \text{ m/s}$)</p> <p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 1.9 ($400 \text{ m/s} < V_{s30} < 450 \text{ m/s}$)</p> <p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 1.6 ($500 \text{ m/s} < V_{s30} < 600 \text{ m/s}$)</p>	<p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 2.0 ($300 \text{ m/s} < V_{s30} < 400 \text{ m/s}$)</p> <p>F.A. S.I. ($0.5s < T_0 < 1.0s$) = 1.8 ($400 \text{ m/s} < V_{s30} < 450 \text{ m/s}$)</p>





COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA
(Provincia di RIMINI)



TAVOLA 2b
Tutele e vincoli di natura ambientale
Scala 1:5000

VERSIONE APPROVATA

ADOZIONE: Del. C.C. n. 54 del 21/04/2009

APPROVAZIONE: Del. C.C. n. 22 del 21/07/2010

Il Sindaco

Mauro MORRI

*Assessore alla Pianificazione Territoriale,
Urbanistica, Edilizia Privata*

Aldo FIORI

Segretario Generale

Antonio PISACANE

Progettista responsabile

Roberto Farina (OIKOS Ricerca Srl)

Gruppo di lavoro OIKOS Ricerca:

Alessandro Carini (coord. operativo di progetto)

Francesco Manunza (coord. O.C. e ValSAT)

Elena Lotti (analisi del sistema insediativo storico)

Diego Pollaliero (coll. ValSAT)

Monica Regazzi, Silvia Di Michele, Valentina Farin,

Daniela Sagripanti (coll. Quadro Conoscitivo)

Collaboratori

Antonio Conticello, Roberta Benassi

(cartografia, elaborazioni S.I.T.)

Concetta Venezia (editing)

Comune di Santarcangelo di Romagna

Oscar Zammarchi (Dirigente Settore Territorio)

Gilberto Facondini (Responsabile Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale) FASE DI APPROVAZIONE

Leonardo Ubalducci (Consulente Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale) FASE DI ADOZIONE

Funzionari e addetti del Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale

*Consulenti dell'Amministrazione Comunale per
l'elaborazione del PSC*

Indagini geologiche PSC Maurizio Zaghini (Geo Coop)

Studio di microzonazione sismica Antonio M. Baldi - SGG

Studio idrogeologico-idraulico del rio Mavone

Enrico Galigani- Idroprogetti

Studio aree strategiche Francesco Saverio Fera

(Univ. di Bologna, Facoltà di Architettura di Cesena)

Rapporto sulla sostenibilità dello sviluppo e

coordinamento Forum Agenda 21 e sul PSC.

Primo Silvestri (Europa Inform)

Oikos
LUGLIO 2010

Legenda

..... Confine Comunale

AMBITI A PERICOLOSITA' IDRAULICA

-  Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (art. 7 del PSC - art. 2.2 del PTCP)
-  Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua, reticolo idrografico minore (art. 7 del PSC - art. 2.2 del PTCP)
-  Aree esondabili (art. 8 del PSC - art. 2.3 del PTCP)
Aree esondabili del Rio Mavone, in base allo studio idrogeologico-idraulico in sede di PSC (proposta di modifica del perimetro del PTCP vigente)-(art. 8 c.6 del PSC)
-  Aree esondabili per tempi di ritorno di 25 anni
-  Aree esondabili per tempi di ritorno di 200 anni

AMBITI A VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

-  ARA - Aree di ricarica della falda idrogeologicamente connesse all'alveo (art. 14.2 del PSC - art. 3.3 del PTCP)
-  ARD - Aree di ricarica diretta della falda (art. 14.3 del PSC - art. 3.4 del PTCP)
-  ARI - Aree di ricarica indiretta della falda (art. 14.4 del PSC - art. 3.5 del PTCP)
-  BI - Bacini imbriferi (art. 14.4 del PSC - art. 3.5 del PTCP)

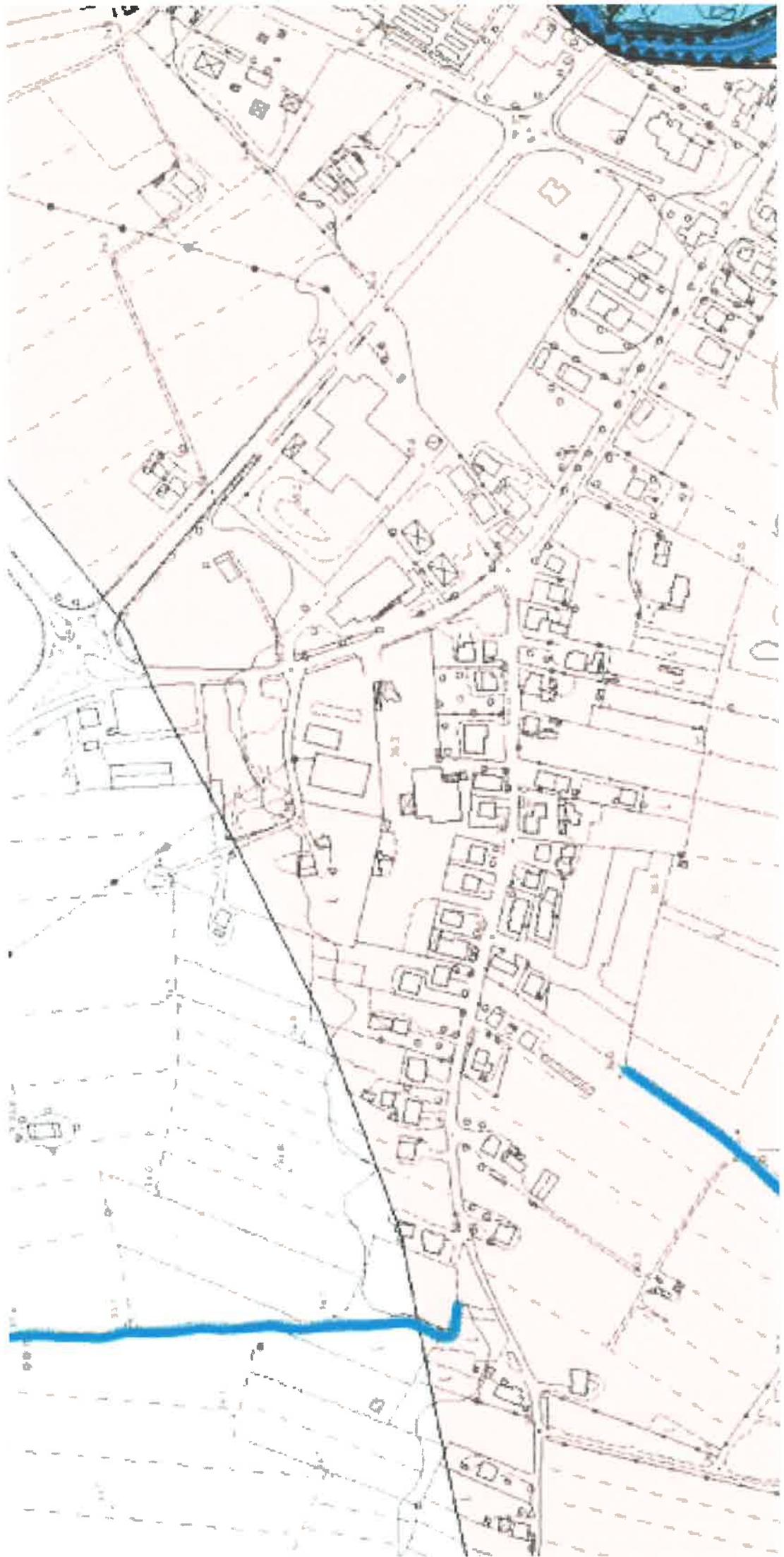
AMBITI A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

-  Aree potenzialmente instabili (art. 17 c.7 del PSC - art. 4.1 c.9 del PTCP)
-  Zone instabili per fenomeni di dissesto attivi da verificare (art. 17 c.2, 5 c.6 del PSC - art. 4.1 c.3 e c.7 del PTCP)
-  Zone instabili per fenomeni di dissesto attivi verificati (art. 17 c.2, 5 del PSC - art. 4.1 c.3 e c.7 del PTCP)
-  Zone instabili per fenomeni di dissesto quiescenti da verificare (art. 17 c.3, 5, 6 del PSC - art. 4.1 c.5 e c.7 del PTCP)
-  Zone instabili per fenomeni di dissesto quiescenti verificati (art. 17 c.4, 5 del PSC - art. 4.1 c.6 e c.7 del PTCP)
-  Depositi di versante da verificare (art. 17 c.8 del PSC - art. 4.1 c.10 del PTCP)
-  Deposito oluvio-colluviale (art. 17 c.9 del PSC - art. 4.1 c.12 del PTCP)
-  Zone o elementi a rischio (art. 8 c.9 del PSC - art. 9 del PAI AdB Maracchia-Conca)
-  Scarpate (art. 17 c.10 del PSC - art. 4.1 c.13 del PTCP)
-  Abitato da consolidare (art. 18 del PSC - art. 4.2 del PTCP)
-  B1 - Area urbanizzata ad elevata concentrazione di cavità collocate su più livelli
-  B2 - Area urbanizzata a moderata distribuzione di cavità superficiali
-  B3 - Area urbanizzata pianeggiante con presenza di cavità

 Ambiti del PAE adottato (art. 12 del PSC)

-  Cave attive
-  Cave dismesse, da riqualificare

 Ambiti di tutela pozzi e profevi idrici (art. 15 del PSC - art. 3.7 del PTCP)





COMUNE DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA
(Provincia di RIMINI)



TAVOLA 3b
**Tutele e vincoli di natura storico-culturale,
paesaggistica e antropica**
Scala 1:5000

VERSIONE APPROVATA

ADOZIONE: Del. C.C. n. 54 del 21/04/2009	APPROVAZIONE: Del. C.C. n. 22 del 21/07/2010
--	--

Il Sindaco
Mauro MORRI

*Assessore alla Pianificazione Territoriale,
Urbanistica, Edilizia Privata*
Alfio FIORI

Segretario Generale
Alfonso PISACANE

Progettista responsabile:

Roberto Farina (OIKOS Ricerche Srl)

Gruppo di lavoro OIKOS Ricerche:

Alessandra Carini (coord. operativo di progetto)
Francesco Manunza (coord. O.C. e ValSAT)
Elena Lolli (analisi del sistema insediativo storico)
Diogo Petaliero (coll. ValSAT)
Monica Rogazzi, Silvia Di Michele, Valentina Fantin,
Daniela Sagnani (coll. Quadro Conoscitivo)

Collaboratori:

Antonio Conbello, Roberta Berassi
(cartografia, elaborazioni S.I.T.)
Concetta Venezia (editing)

Comune di Santarcangelo di Romagna:

Oscar Zammarchi (Dirigente Settore Territorio)
Gilberto Facondini (Responsabile Servizio Edilizia
o Pianificazione Territoriale): FASE DI APPROVAZIONE
Leonardo Ubalducci (Consulente Servizio Edilizia
o Pianificazione Territoriale): FASE DI ADOZIONE
Funzionari e addetti del Servizio Edilizia
e Pianificazione Territoriale

*Consulenti dell'Amministrazione Comunale per
l'elaborazione del PSC:*

Indagini geologiche PSC: Maurizio Zaghini (Geo Coop)
Studio di microzonazione sismica: Antonio M. Baldi - SGG
Studio idrogeologico-idraulico del rio Mavone:
Enrico Galgani - Idroprogetti
Studio aree strategiche: Francesco Saverio Fera
(Univ. di Bologna, Facoltà di Architettura di Cesena)
Rapporto sulla sostenibilità dello sviluppo e
coordinamento Forum Agenda 21 e sul PSC
Primo Silvestri (Europa Inform)



LUGLIO 2010

Legenda

..... Confine Comunale

ELEMENTI DELLA RETE ECOLOGICA PROVINCIALE

-  Aree di collegamento ecologico di rilevanza regionale (aree PAN) (art. 25 c.4b del PSC - art. 1.5 del PTCP)
-  Aree di collegamento ecologico di rilevanza provinciale (art. 25 c.4b del PSC - art. 1.5 del PTCP)
-  Siti di importanza comunitaria (Area Torriana, Montebello, fiume Marecchia) (art. 25 c.4a del PSC - art. 1.5 del PTCP)
-  Area meritoria di tutela ai sensi delle categorie della L.R. 6/05 (art. 25 c.4b del PSC - art. 1.5 del PTCP)
-  Direttrici da potenziare e corridoi trasversali (art. 25 c.5 del PSC - art. 1.5 del PTCP)

VALORIZZAZIONE E TUTELA DELLE RISORSE PAESAGGISTICHE E STORICO CULTURALI

-  Zona di particolare interesse paesaggistico ambientale (art. 28 del PSC - art. 5.3 del PTCP)
-  Zona di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua (art. 29 del PSC - art. 5.4 del PTCP)
-  Sistema forestale boschivo (art. 27 del PSC - art. 5.1 del PTCP)
-  Aree percorse dal fuoco - anno 2004 (art. 27 c.1 del PSC - art. 10 L. 353/2000)

 Aree percorse dal fuoco - anno 2004 (art. 27 c.1 del PSC - art. 10 L. 353/2000)

 Aree archeologiche (art. 30 c.1-3 del PSC - art. 5.5 del PTCP)

 Altre aree archeologiche (art. 30 c.11 del PSC)

Potenzialità archeologiche (art. 30 c.5.6 del PSC)

 Alta (art. 30 c.10 del PSC)

 Media (art. 30 c.9 del PSC)

 Bassa (art. 30 c.8 del PSC)

 Sistema collinare e dei crinali (art. 24 del PSC - art. 1.2 del PTCP)

 Linee di crinale (art. 24 del PSC - art. 1.2 del PTCP)

 Altre linee di crinali (art. 24 del PSC)

Elementi di interesse storico-testimoniale (art. 32 del PSC - art. 5.9 del PTCP)

 Punti panoramico bassa collina 60-200 m s.l.m.

 Punti visuale di interesse lungo le strade panoramiche

 Punti visuale di interesse lungo le strade di pianura in corrispondenza di significativi campi percettivi

 Strade storiche extraurbane (art. 32 del PSC - art. 5.9 del PTCP)

 Strade panoramiche (art. 24 del PSC - art. 5.9 del PTCP)

Insedimenti urbani storici e strutture insediative storiche non urbane (art. 31 del PSC - art. 5.8 del PTCP)

 Residenziale (Palazzo, Casa patronale, Villa etc.) (PTCP art. 5.8)

 Sistema insediativo rurale (PTCP art. 5.8)

 Religioso (Chiese, Edicole, Oratori etc.) (PTCP art. 5.8)

 Paleo industriale (Mulino, Fornace, Opificio, Stazione ed.) (PTCP art. 5.8)

 Militare (Torre, Rocca, Castello etc.) (PTCP art. 5.8)

 Edifici e complessi tutelati ai sensi del D.Lgs. 42/2004 art. 10,11,13 (art. 39 del PSC)

 Edifici di particolare interesse storico-architettonico (art. 41 c.3 del PSC - L.R. 20/2000 art. A-9)

VINCOLI E RISPETTI

 Fasce di rispetto stradale e ferroviario (art. 36, 75 del PSC)

 Aree di tutela art. 142 D.Lgs. 42/2004 (art. 30 del PSC)

 Aree con presenza di cavità sotterranee (art. 18 del PSC)

 Fascia di attenzione sugli elettrodotti dell'Alta Tensione (art. 35, 36, 75, 93 del PSC)

 Rete dell'alta tensione 380 KV

 Rete dell'alta tensione 132 KV

 Rispetti cimiteriali (art. 36, 80 del PSC)

 Limite del centro abitato in corrispondenza della viabilità (art. 33 del PSC)

ALTRI VINCOLI E RISPETTI DISCIPLINATI DAL RUE

 Fasce di rispetto metanodotti

 Aquedotto e fascia di rispetto

 Limite di rispetto speciale (Tiro a segno)

Acque consorziali

 Canale aperto con criticità idraulica - salvaguardia (fascia di inedificabilità 10 mt per lato a partire dal ciglio)

 Canale aperto verificato (fascia di inedificabilità 10 mt per lato a partire dal ciglio)

 Canale tombinato con criticità idraulica - salvaguardia (fascia di inedificabilità 4 mt per lato a partire dal ciglio)

 Canale tombinato verificato (fascia di inedificabilità 4 mt per lato a partire dal ciglio)





GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata

SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

elaborazione cartografica



Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/624073
www.geologica.it - info@geologica.it



Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.

Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta Geologica

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

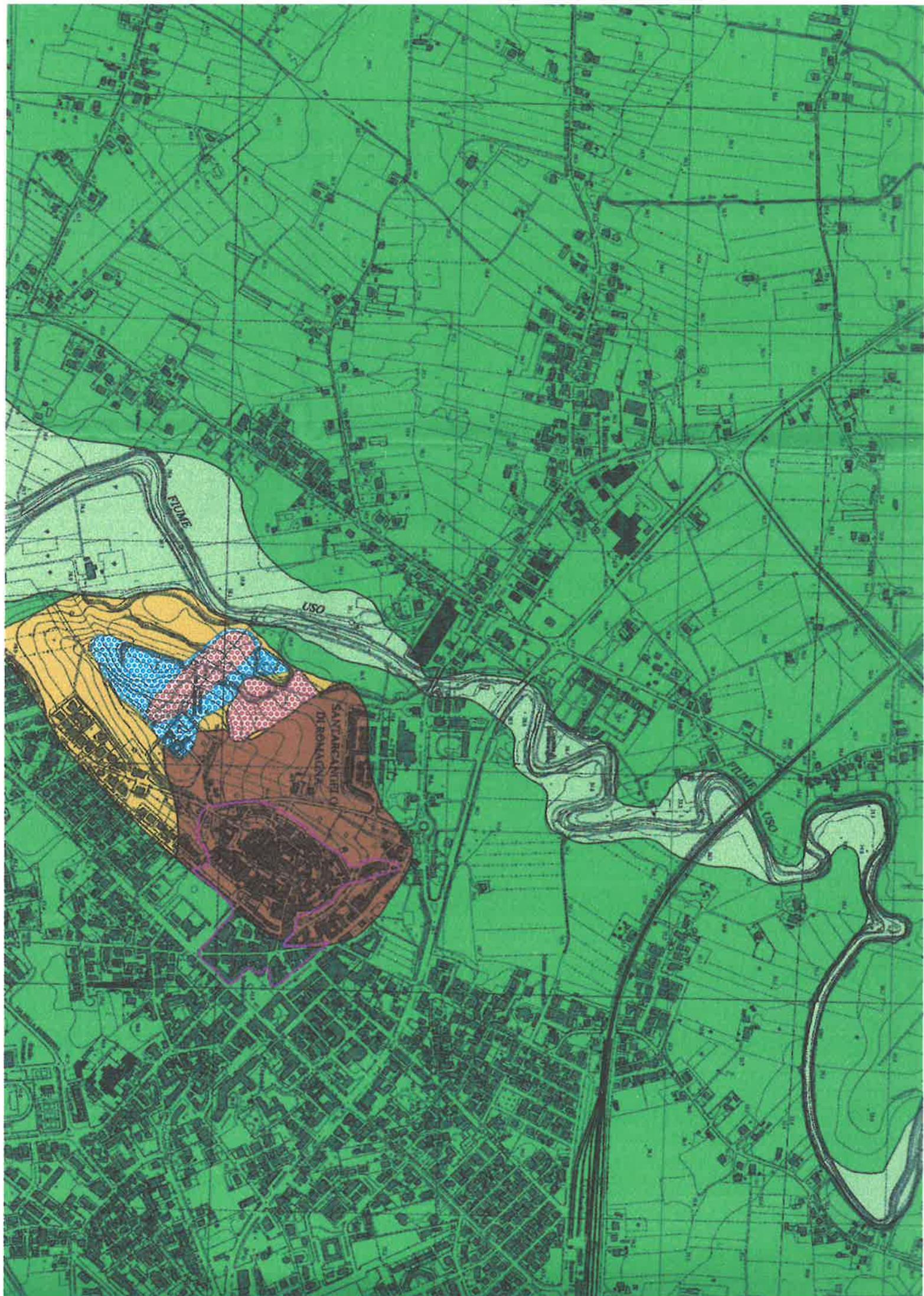
1

Scala:

1:10000

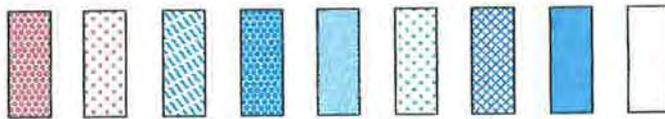
Data:

Febbraio 2008



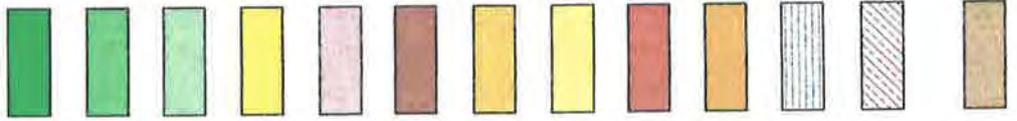
Legenda

Depositi quaternari continentali



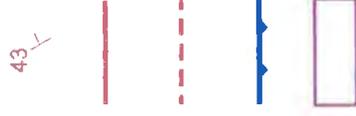
- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- a3 - Deposito di versante s.l.
- b1 - Deposito alluvionale in evoluzione
- i2 - Conoide torrentizia inattiva

Successione neogenica - quaternaria del margine appenninico padano



- AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore
- AES8 - Subintema di Ravenna
- AES8a - Unità di Modena
- AES7 - Subintema di Villa Verucchio
- AES6 - Subintema di Bazzano
- IMO - Sabbie di Imola
- SVG - Arenarie ed argille di Savignano
- FAA - Argille Azzurre
- FAAap - Argille Azzurre - litofacies arenaceo-pelitica
- FAA1a - Argille Azzurre - litofacies arenacea di Lardiano
- FAA1mc - Argille Azzurre - litofacies delle mame di Corpolo
- FAA2p - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea
- FAA2ap - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica

Simboli



- 43 - Giacitura degli strati
- - Faglia certa
- - - - - Faglia presunta
- ▲— - Sovrascorrimiento
- - Perimetro abitato da cont.



GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata

SOCIETÀ DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

Elaborazione cartografica



Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/624073
www.geologica.it - info@geologica.it

Rilievo e aerofotointerpretazione

Dott. Geol. Lucilla Tentoni
Dott. Geol. Mara Marafioti



Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.
Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta Geomorfologica

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

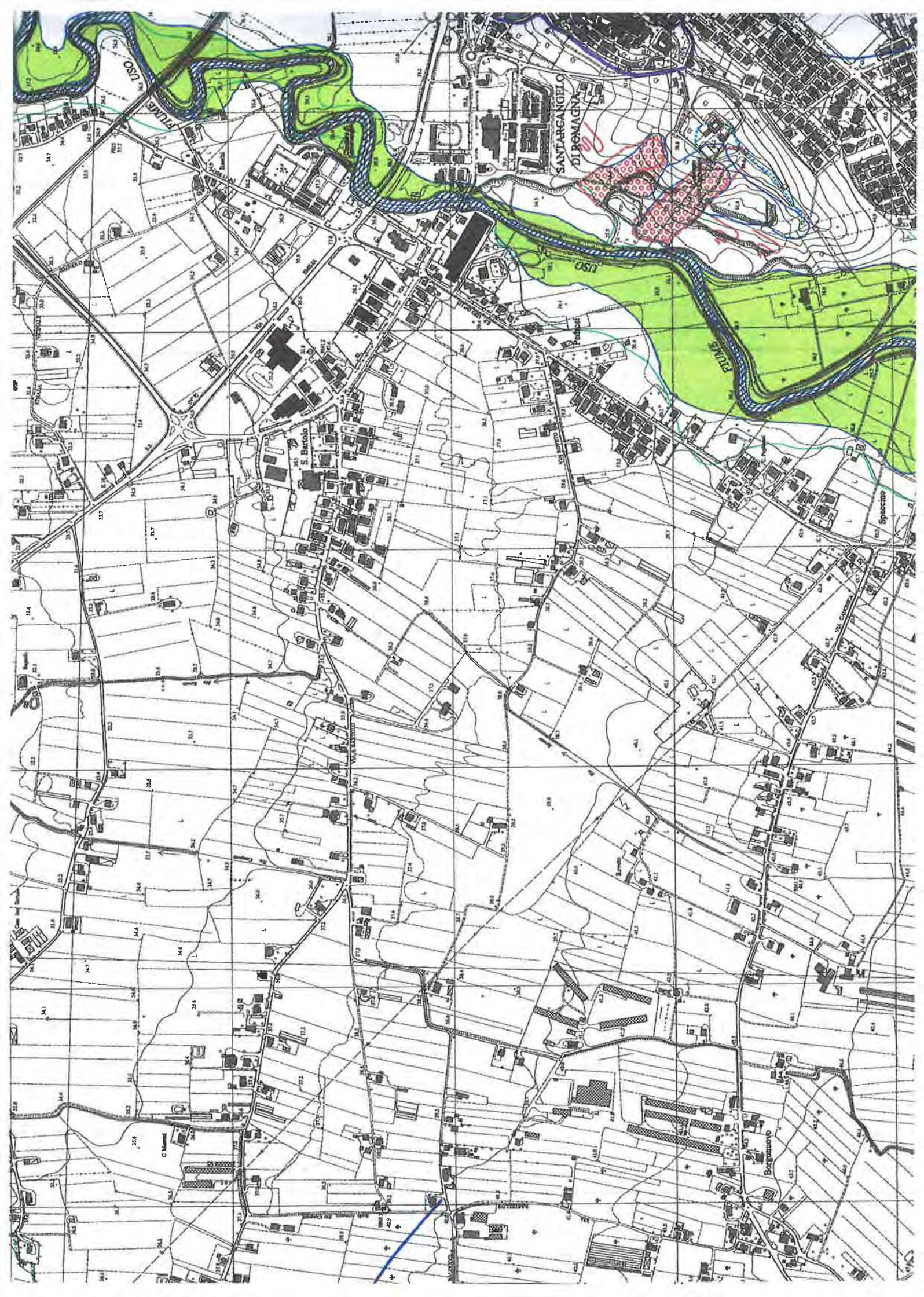
2

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



Legenda

	Depositi quaternari continentali		limite litologico certo
	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento		limite litologico incerto
	a1g - Deposito di frana attiva complessa		limite di aree di basso morfologico
	a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato		limite di aree di alto morfologico
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento		erosione laterale fluvio-torrentizia
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento		scarpata fluvio-torrentizia
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa		scarpata di degradazione
	a3 - Deposito di versante s.l.		nicchia
	b1 - Deposito alluvionale in evoluzione		dilavamento diffuso
	i2 - Conoide torrentizia inattiva		dilavamento concentrato
	Alveo attuale		PTCP (art. 4.1 comma 3) zone instabili per fenomeni attivi
	Laghi		PTCP (art. 4.1 comma 5) zone instabili per fenomeni quiescenti da verificare
	Invasi		PTCP (art. 4.1 comma 6) zone instabili per fenomeni quiescenti verificati
	Alluvioni terrazzate		PTCP (art. 4.1 comma 10) depositi da versante da verificare
			PTCP (art. 4.2) centri abitati da consolidare
			Confine Comunale
			asse di anticlinali
			asse di sinclinali
			sovrascorrimento
			faglie presunte
			cava inattiva



GEOCOOP RIMINI
Soc. Coop. a Responsabilità Limitata
SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

elaborazione cartografica



Geologica
Tecnologie per il territorio

Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/824078
www.geologica.it - info@geologica.it

Comune di Santarcangelo di Romagna
Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.
Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta Litologica

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

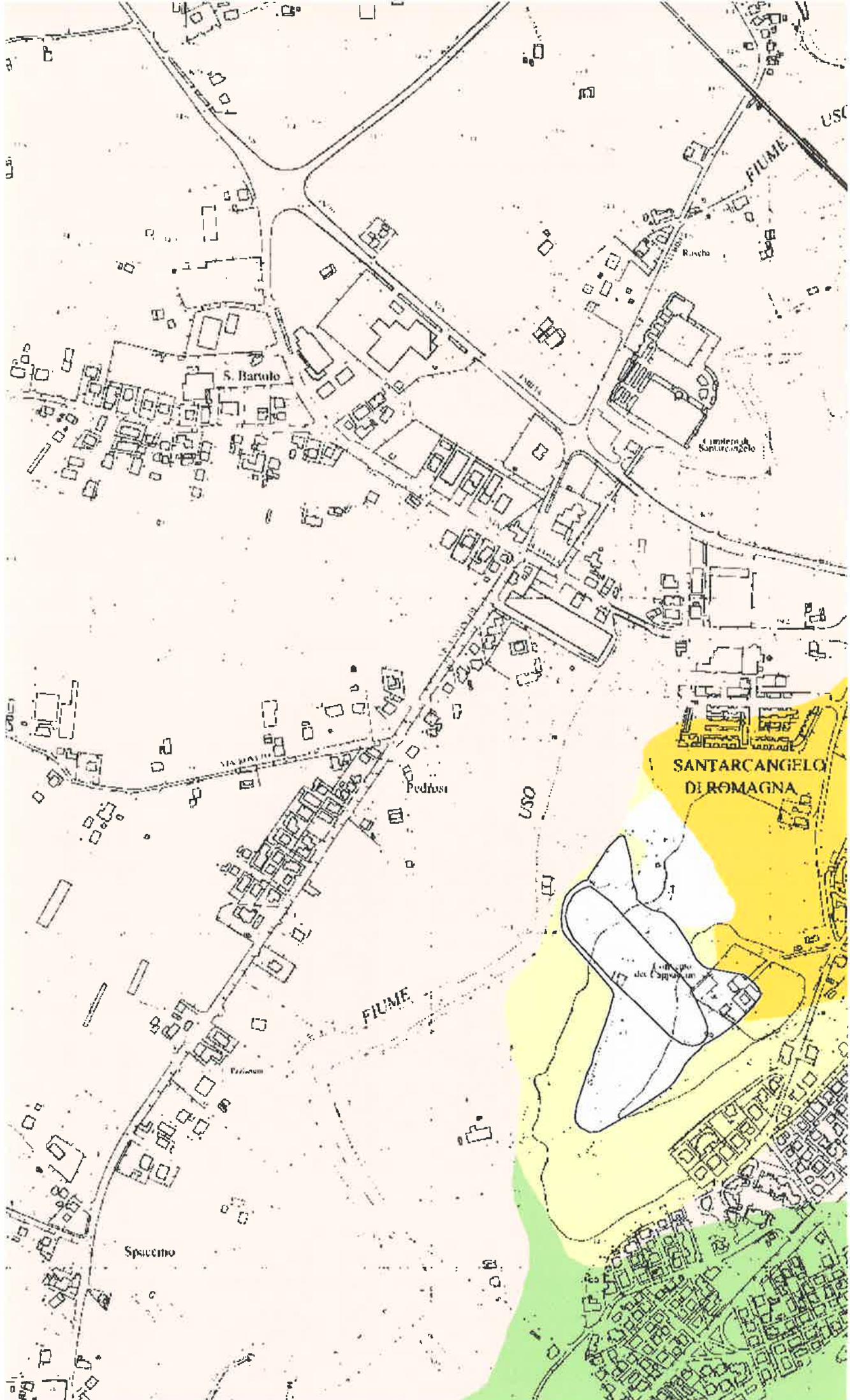
3

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



SANTARCANGELO
DI ROMAGNA

FIUME

S. Bartolo

Pedrossi

Specchio

L'Impero di Santarcangelo

L'Impero di Santarcangelo

USC

USO

San

Legenda



Depositi franosi e depositi di versante (eluvio-colluviali)



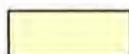
Depositi alluvionali costituiti da ghiaie prevalenti



Depositi alluvionali costituiti da sabbie e limi prevalenti



**Depositi formazionali costituiti da arenarie poco cementate e sabbie
Pliocene Superiore/Pleistocene**



**Depositi formazionali costituiti da marne e argille con rare intercalazioni
sabbiose - Pliocene Superiore**



Confine Comunale



EOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata
TA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
pubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

one cartografica

Geologica
Tecnologie per il territorio

za Marini 25
2 Santarcangelo di R. (RN)
Fax 0541/624073
.geologica.it - info@geologica.it



Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.

Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta dell'idrogeologia

misurazioni anni 1997 e 1998

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

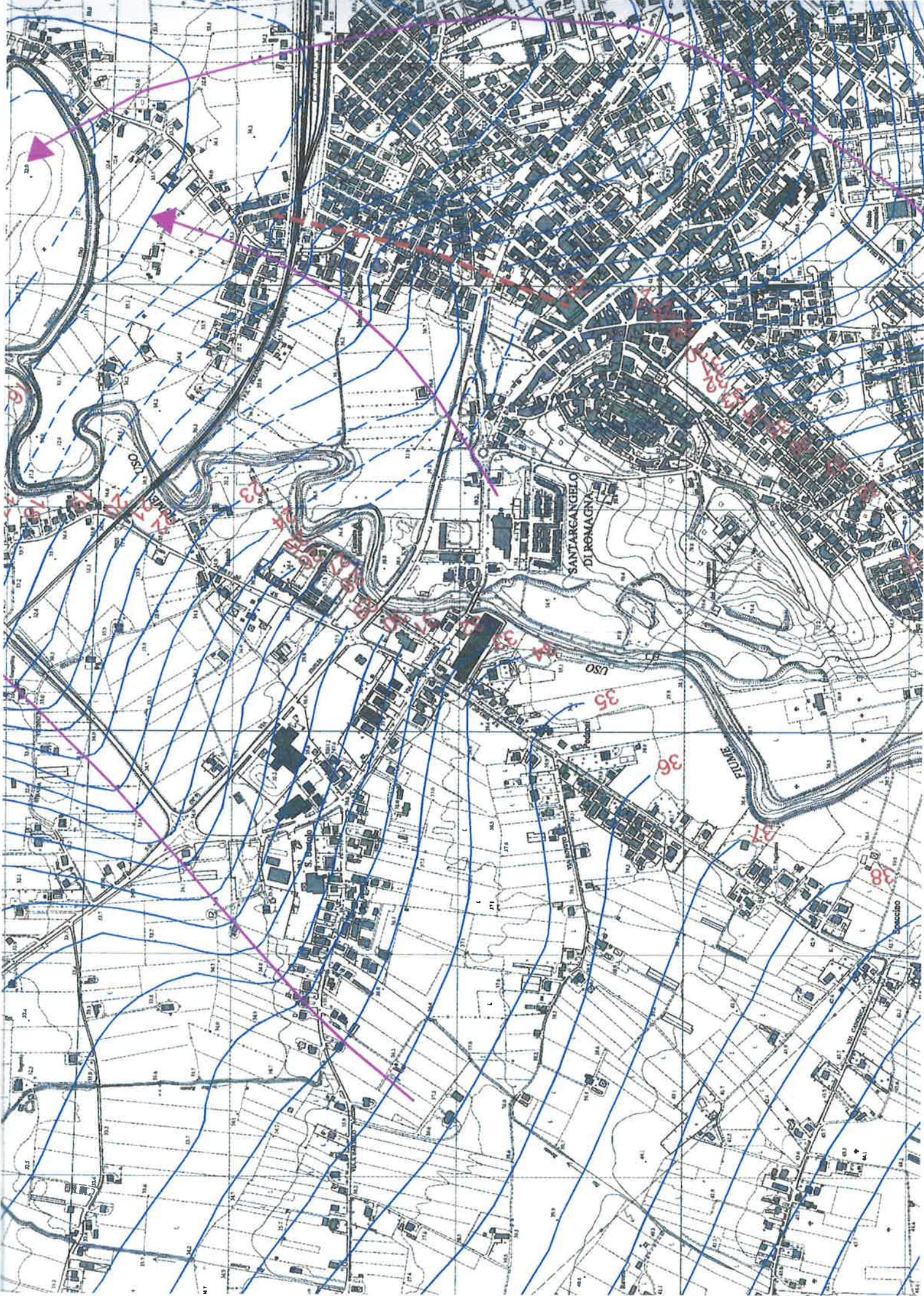
5/a

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008





GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata

SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

Elaborazione cartografica



Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/624073
www.geologica.it - info@geologica.it



Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.

Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta dell'idrogeologia

misurazioni anno 2007

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

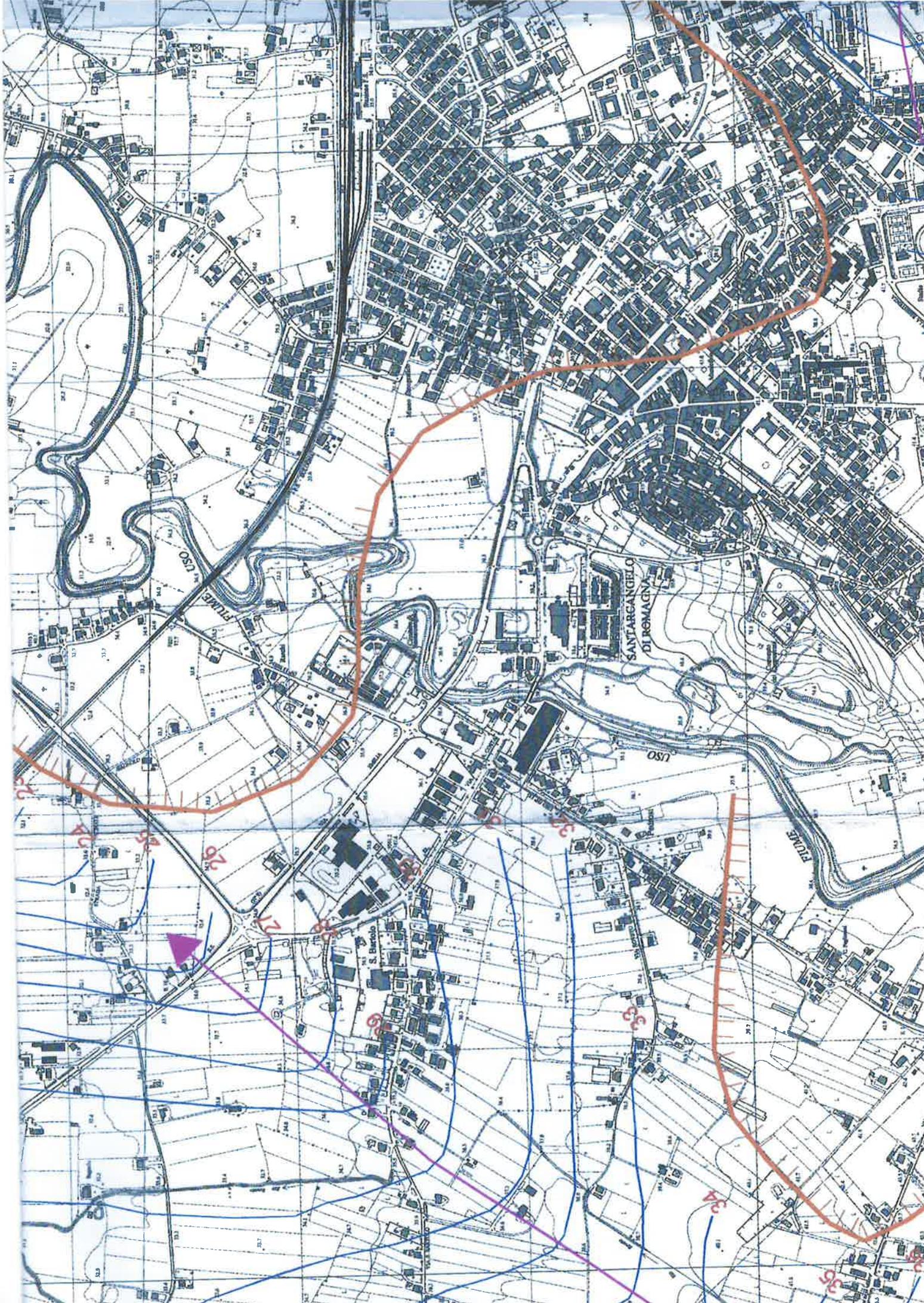
5/b

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



SANT'ANGELO
DI ROMAGNA

USO

USO

S. Barbara

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35





GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata

SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

laborazione cartografica



Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/624073
www.geologica.it - info@geologica.it



Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.

Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Carta del Rischio Ambientale

Ambiti a Pericolosità Geomorfologica
Ambiti a Pericolosità Idraulica
Ambiti a Vulnerabilità Idrogeologica

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

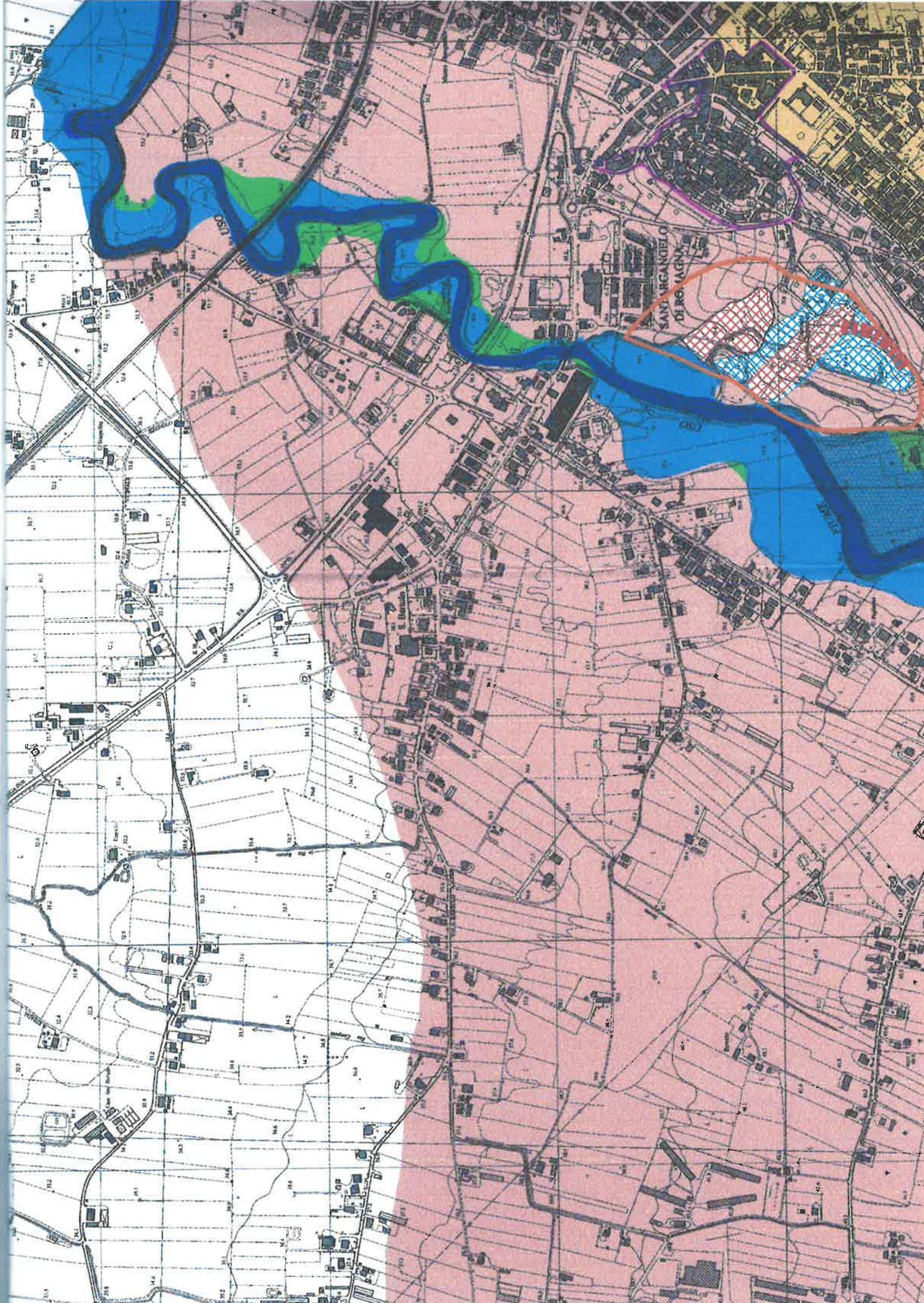
8

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



Legenda

Ambiti a Pericolosità Geomorfologica

 Zone instabili per fenomeni attivi (PTCP RN art. 4.1 comma 3)

 Zone instabili per fenomeni quiescenti (PTCP RN art. 4.1 comma 6)

 Depositi di versante (PTCP RN art. 4.1 comma 11)

 Aree potenzialmente instabili (PTCP RN art. 4.1 comma 5)

 Scarpate con pendenza >45° (PTCP RN art. 4.1 comma 13)

 Zone o elementi a rischio (P.A.I. AdB Marecchia-Conca)

 Perimetro abitato da consolidare (PTCP RN art. 4.2)

Ambiti a Pericolosità Idraulica

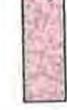
 Corsi d'acqua principali (alveo attuale) (PTCP RN art. 2.2)

 Aree esondabili (PTCP RN art. 2.3)

Ambiti a Vulnerabilità Idrogeologica

 Aree di ricarica idraulicamente connesse all'alveo - ARA (PTCP RN art. 3.3)

 Aree di ricarica diretta della falda - ARD (PTCP RN art. 3.4)

 Aree di ricarica indiretta della falda - ARI (PTCP RN art. 3.5)

 Confine Comunale



GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata
SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Milano Adriatico (RN)

elaborazione cartografica



Geologica
Tecnologie per il territorio

Piazza Martiri 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/824073
www.geologica.it - info@geologica.it

Comune di Santarcangelo di Romagna
Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.
Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

**Carta Comunale delle zone suscettibili
di effetti locali**

Rischio Sismico

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

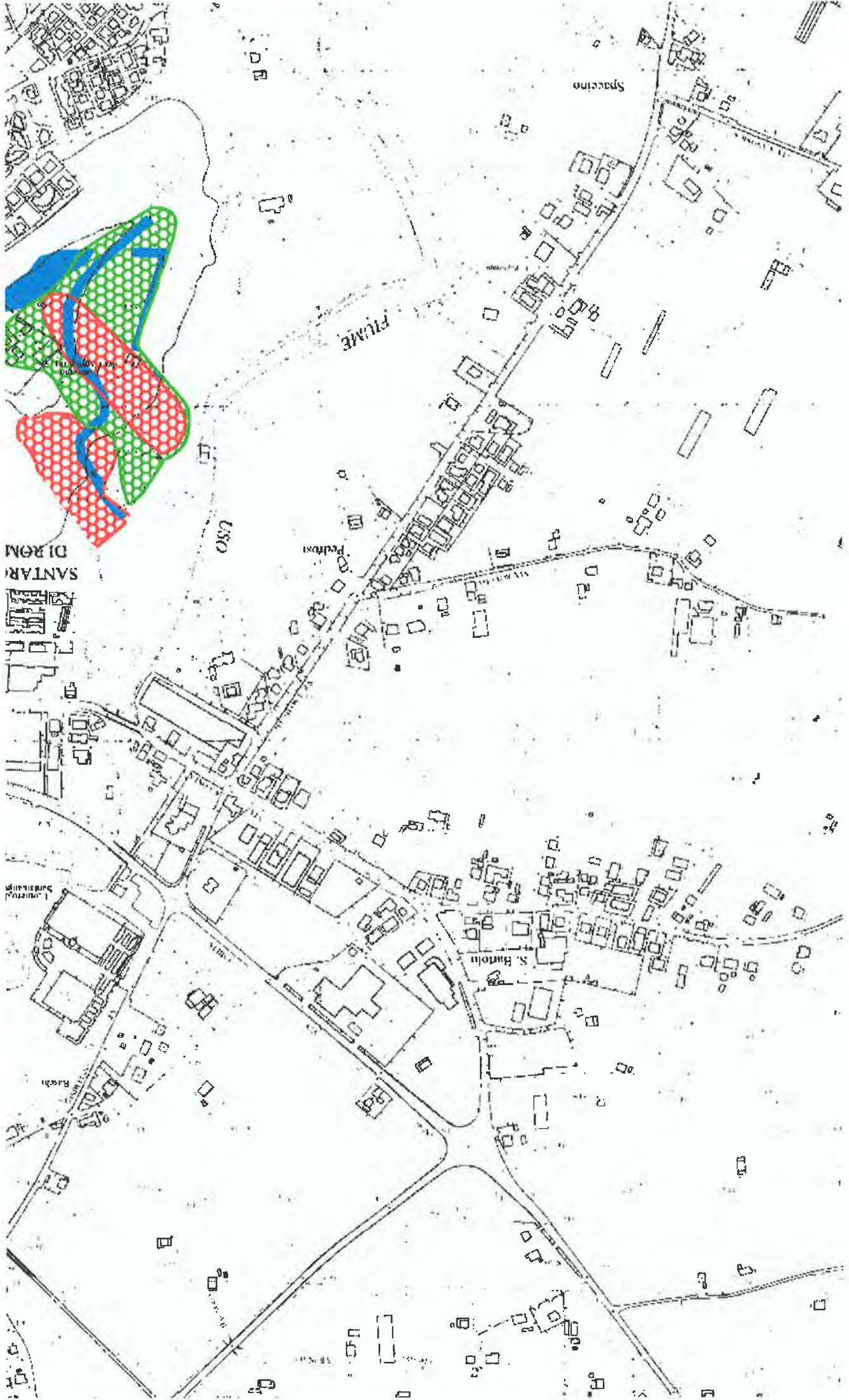
9

Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008



SANTARI
DIRON

USO

RIVERA

Spaceino

S. Bartolo

Rivera

L. Amieruz
Sant'Antonio

Legenda



Aree in cui non sono attesi effetti locali



Versanti instabili e suscettibili di amplificazione



Versanti potenzialmente instabili e suscettibili di amplificazione

Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche



Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche con acclività dei versanti >15°



Perimetro abitato da consolidare (PTCP RN art. 4.2)



Confine comunale



GEOCOOP RIMINI

Soc. Coop. a Responsabilità Limitata
SOCIETA' DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
Via Repubblica, 75 - 47843 Misano Adriatico (RN)

laborazione cartografica



Piazza Marini 25
47822 Santarcangelo di R. (RN)
Tel. - Fax 0541/624073
www.geologica.it - info@geologica.it

Comune di Santarcangelo di Romagna

Provincia di Rimini

Oggetto:

P.S.C.

Piano Strutturale Comunale 2008

Indagine Geologica

Titolo:

Sintesi dei vincoli territoriali e ambientali

Ambiti a Pericolosità Geomorfologica
Ambiti a Pericolosità Idraulica
Ambiti a Vulnerabilità Idrogeologica
Ambiti di tutela
Rischio sismico

Tipo:

C.T. Provincia Rimini

Elaborato n°:

10

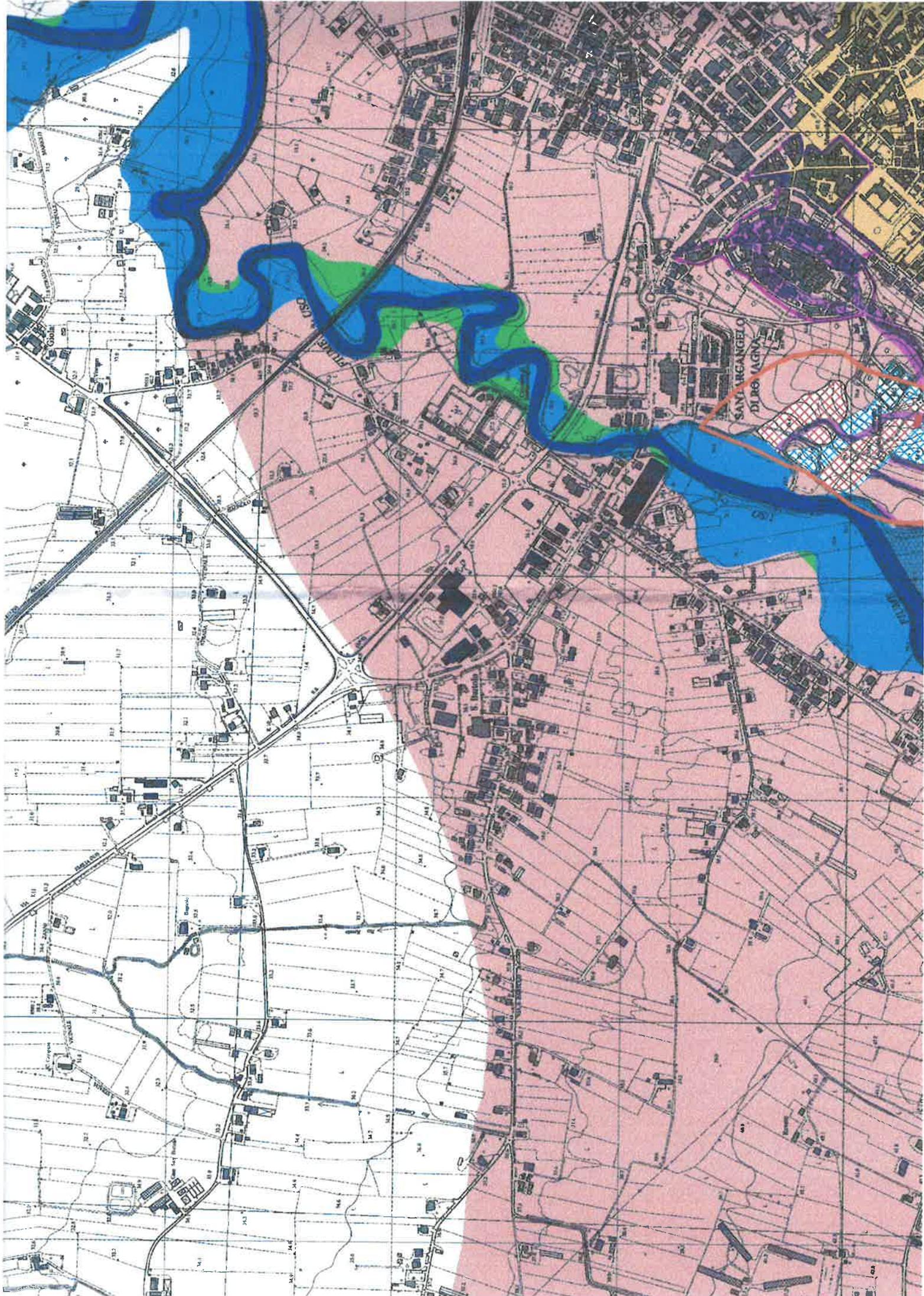
Scala:

1:10000

Data:

Febbraio 2008





Legenda

	Ambiti a Pericolosità Geomorfologica e Rischio Sismico	Ambiti a Pericolosità Idraulica
Zone instabili per fenomeni attivi (PTCP RN art. 4.1 comma 3)		Corsi d'acqua principali (alveo attuale) (PTCP RN art. 2.2)
	Versanti instabili e suscettibili di amplificazione	
Zone instabili per fenomeni quiescenti (PTCP RN art. 4.1 comma 6)		Aree esondabili (PTCP RN art. 2.3)
	Versanti potenzialmente instabili e suscettibili di amplificazione	Ambiti a Vulnerabilità Idrogeologica
Depositi di versante (PTCP RN art. 4.1 comma 11)		
	Versanti potenzialmente instabili e suscettibili di amplificazione	Aree di ricarica idraulicamente connesse all'alveo - ARA (PTCP RN art. 3.3)
Aree potenzialmente instabili (PTCP RN art. 4.1 comma 5)		
	Scarpate con pendenza >45° (PTCP RN art. 4.1 comma 13)	
	Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche con acclività dei versanti >15°	Aree di ricarica indiretta della falda - ARI (PTCP RN art. 3.5)
	Zone o elementi a rischio (P.A.I. AdB Marecchia-Conca)	Ambiti di tutela
	Perimetro abitato da consolidare (PTCP RN art. 4.2)	
		Ambiti di tutela pozzi e prelievi idrici
		1-galleria drenante Fiume Marecchia
		2-pozzo Bomaccino 1
		3-pozzo Bomaccino 2
		
		Confine Comunale

* In corsivo le classi di rischio sismico rappresentate in tavola 9