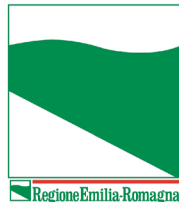




**PROTEZIONE CIVILE**  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA AI SENSI  
DELL'OPCM 4007 DEL 2012 E DGR 1302 DEL 2012.**

## RELAZIONE ILLUSTRATIVA

**Regione Emilia-Romagna**  
**Comune di San Giovanni in Marignano**



Regione  
Emilia-Romagna



Comune  
San Giovanni in Marignano



Soggetto realizzatore  
**Dott. Geol. Carlo Copioli**

Via Cimarosa, 15  
47838 - Riccione (RN)  
e-mail: copiolicarlo@libero.it

**Dott. Geol. Paolo Ciacci**

Corso Europa, 131  
61013 - Sassofeltrio (PU)  
e-mail: paolo\_ciacci@libero.it

Collaboratore:  
**Dott. Geol. Alessandro Merli**

Data  
Giugno 2016

# INDICE GENERALE

|  |    |
|--|----|
| <b>1. PREMESSA.</b> .....  | 2  |
| <b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.</b> ..... | 3  |
| 2.1 Inquadramento sismotettonico .....   | 3  |
| 2.2 Pericolosità sismica di base .....   | 6  |
| <b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.</b> .....   | 10 |
| <b>4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.</b> .....  | 12 |
| <b>5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.</b> .....   | 15 |
| 5.1 Dati Geotecnici. ....  | 15 |
| 5.2 Dati Geofisici .....   | 16 |
| <b>6. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.</b> .....  | 16 |
| <b>7. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE.</b> .....   | 17 |
| <b>8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.</b> .....                               | 17 |
| 8.1 Premessa .....   | 17 |
| 8.2 Metodologia di Elaborazione .....  | 18 |
| 8.3 Risultati .....  | 18 |
| 8.4 Microzonazione di Primo Livello. ....  | 18 |
| 8.5 Microzonazione di Secondo Livello .....  | 19 |
| 8.5 Microzonazione di Terzo Livello .....  | 21 |
| <b>9. ELABORATI CARTOGRAFICI.</b> .....  | 49 |
| 9.1 Carta delle Indagini .....   | 49 |
| 9.2 Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica. ....                        | 50 |
| 9.3 Carta del tetto delle ghiaie. ....   | 50 |
| 9.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni. ....                                   | 51 |
| 9.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1) .....            | 52 |
| 9.6 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) .....                             | 57 |
| 9.7 Carta di microzonazione sismica (livello 2). ....                                  | 58 |
| 9.8 Carta di microzonazione sismica (livello 3). ....                                  | 59 |
| <b>10. CONCLUSIONI.</b> .....  | 59 |

# 1. PREMESSA.

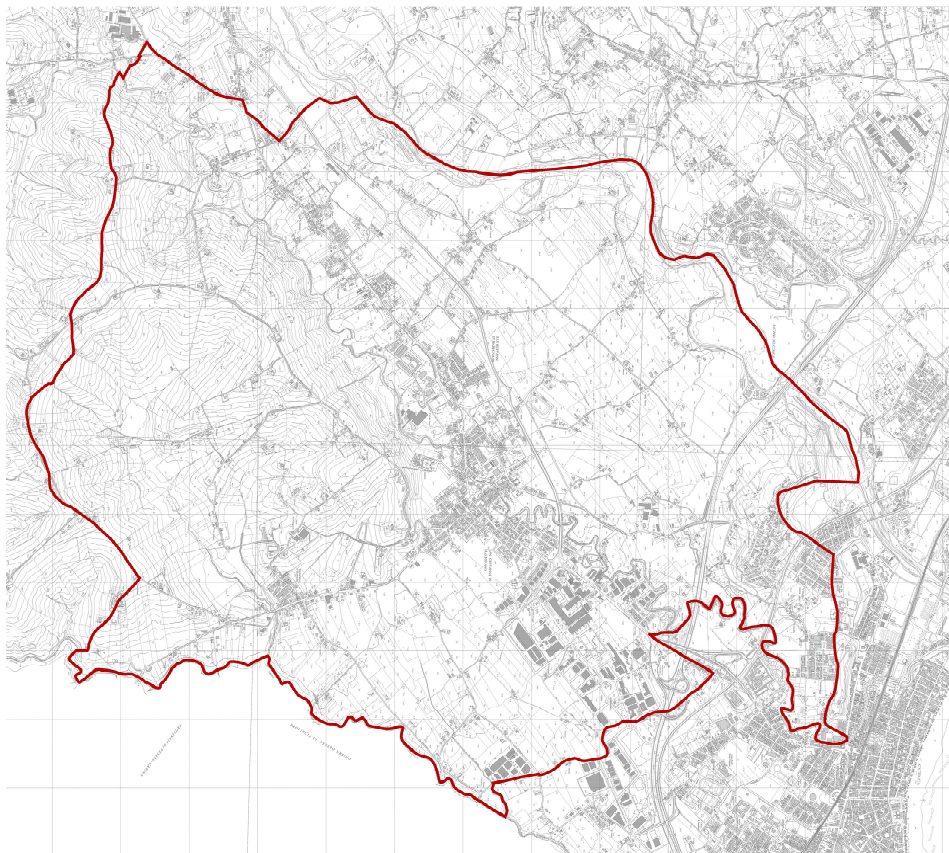
Il presente studio si prefigge come obiettivo la determinazione della pericolosità sismica del territorio Comunale di San Giovanni in Marignano, necessario all'analisi del rischio sismico, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica e della pianificazione dell'emergenza.

La normativa legislativa di riferimento nazionale è rappresentata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 del 29 febbraio 2012 (OPCM 4007/2012) in Attuazione dell'articolo 11 del decreto- legge 28 aprile 2009 in. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77. La normativa legislativa di riferimento regionale è rappresentata dalla Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n. 1302 del 10 settembre 2012 (DGR1302/2012).

La normativa tecnica di riferimento in materia di microzonazione sismica è rappresentata dalla Delibera di Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 5/2/2007 (DAL 112/2007) e dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Il territorio del Comune di San Giovanni in Marignano si colloca nel settore sud - occidentale della Provincia di Rimini, ed è delimitato dai confini amministrativi di Cattolica a Nord Est, Misano Adriatico a Nord Ovest, San Clemente e Morciano di Romagna a Ovest, Saludecio a Sud, mentre a Est confina direttamente con la Regione Marche.

Cartograficamente è compreso nelle Sezioni n° 268010 (Misano Adriatico) e n° 268050 (San Giovanni in Marignano) della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 di cui se ne riporta uno stralcio fuori scala.



Dal punto di vista fisiografico il Comune di San Giovanni in Marignano si estende su una superficie complessiva di 21,24 km<sup>2</sup>, tra la quota di 5,0 m s.l.m. dell'area pianeggiante più prossima alla linea di costa e la quota 155,0 m ca. s.l.m. della sommità dei rilievi collinari più interni.

La zona collinare occupa all'incirca un quinto dell'intero territorio comunale, mentre la rimanente parte è occupata dalla pianura alluvionale, sulla quale si sviluppano con direzione SO-NE i tratti terminali del Torrente Conca, che segna il limite amministrativo nord - occidentale, del Torrente Ventena e del Torrente Tavollo, che delimita il confine regionale a Est.

Gli abitanti censiti alla data del 31.11.2011 risultano 9.100. Le frazioni più rappresentative sono Montalbano, Villaggio Santa Lucia e Fontemaggi a Nord, Santa Maria in Pietrafitta a sud, Pian Ventena e Tombaccia a Sud-Ovest.

L'analisi della pericolosità sismica dell'area comunale è stata sviluppata mediante tre successivi step di lavoro:

- Il primo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di primo livello, utile per l'individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di eventi sismici su tutto il territorio comunale.

- Il secondo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di secondo livello, o microzonazione sismica semplificata, necessaria per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, sulla base delle Tabelle contenute nelle disposizioni regionali (DAL 112/2007), per il territorio urbanizzato, urbanizzabile ed ambiti di riqualificazione.

- Il terzo step ha previsto un approfondimento sismico di terzo livello 2D, finalizzato ad una valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in corrispondenza della Sezione 3, nel tratto che attraversa il centro abitato di San Giovanni in Marignano e termina in corrispondenza delle collinette in località Santa Maria in Pietrafitta, intercettando perpendicolarmente la scarpata sepolta.

## **2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.**

### **2.1 Inquadramento sismotettonico.**

Il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera sono il prodotto di un sistema ad embrici e accavallamenti che regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica. Secondo le ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana meridionale costituisce una stretta fascia allungata parallelamente ai rilievi del bordo appenninico entro cui si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici. La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate ed annegate da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di sezioni sismiche.

Lungo il bordo appenninico esterno e la fascia di pianura antistante gli elementi strutturali accatastati vengono a formare un prisma di accrezione che per la complessa interferenza tra l'attività tettonica e quella sedimentaria assume i caratteri di una pronunciata fossa tettonica (Scandone, 1980) denominata "Avanfossa appenninicoadriatica" (Ori, Roveri e Vannoni, 1986).

La struttura principale di questo settore della costa romagnola è un sovrascorrimento cieco, con al tetto un'anticlinale sepolta, appartenente al fascio delle Pieghe Adriatiche, considerato tuttora attivo (Boccaletti et al., 2004; Vannoli et al., 2004; Lavecchia et al., 2004).

Si vedano inoltre i risultati del profilo CROP03 (*La linea CROP 03: Appennino Settentrionale*).



Questa struttura immerge, lungo l'asse, verso WNW ed emerge verso ENE, nel pesarese.

Da "La sismicità della zona costiera adriatica nord-marchigiana di Stefano Mazzoli e Chiara Macchiavelli" si trae che studi effettuati in tempi recenti da gruppi di ricerca (Borraccini *et alii*, 2002, 2005; Di Bucci *et alii*, 2003; Santini *et alii*, 2011; Macchiavelli *et alii*, 2012) indicano che la sismicità della zona costiera delle Marche settentrionali mostra un comportamento complesso, caratterizzato da una notevole variabilità delle orientazioni degli assi di massima e minima compressione (Fig. 1).

Tale complessità è tipica delle zone esterne dell'Appennino, che sono caratterizzate da terremoti con soluzioni focali di vario tipo (da faglia inversa, da faglia trascorrente, da faglia normale, da faglia a scorrimento obliquo con variabili componenti laterali, normali o inverse) ed orientazione variabile degli assi di compressione (P) e di estensione (T) (Gasparini *et alii*, 1985; Zollo *et alii*, 1995; Frepoli & Amato, 1997; Gruppo di Lavoro CPTI, 1999; Mariucci *et alii*, 1999; Frepoli & Amato, 2000; Galadini *et alii*, 2000; Meletti *et alii*, 2000, 2008; Selvaggi *et alii*, 2001; Di Bucci *et alii*, 2003; Santini *et alii*, 2011).

Nonostante un notevole dibattito scientifico esista circa la cinematica delle faglie attive ed campo di stress attualmente dominante nell'area d'interesse (Frepoli & Amato, 1997, 2000; Montone *et alii*, 1999, 2004, 2012; Boncio *et alii*, 2000; Di Bucci & Mazzoli, 2002; Vannoli *et alii*, 2004; Chiarabba *et alii*, 2005; Pondrelli *et alii*, 2006; Basili *et al.*, 2007; Boncio & Bracone, 2009; Piccinini *et alii*, 2009; Pierdominici *et alii*, 2012; Macchiavelli *et alii*, 2012), tutti gli Autori concordano sul fatto che le faglie attive principali che controllano la sismicità dell'area siano rappresentate da strutture con direzione circa parallela alla costa e immersione dominante verso sud-ovest (costituite, almeno originalmente, da faglie inverse). Tali faglie sono efficacemente rappresentate all'interno del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) dell'INGV (<http://diss.rm.ingv.it/dissNet/>; Fig. 2).

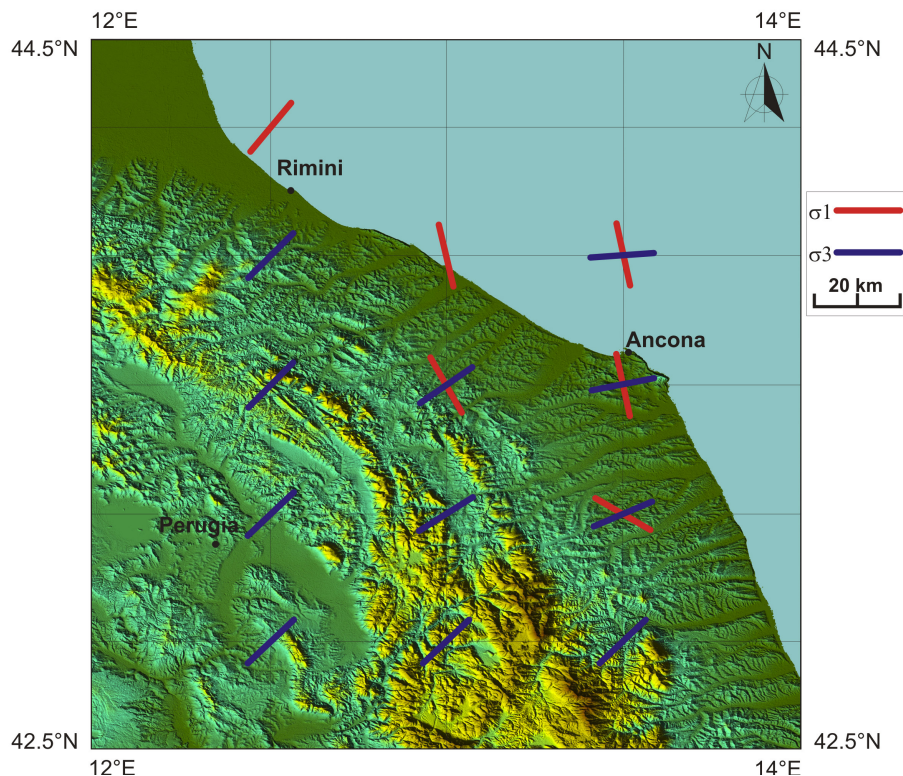


Fig. 1. Proiezione in mappa degli assi di massima compressione ( $\sigma_1$ ) e minima compressione ( $\sigma_3$ ) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli *et alii*, 2012).

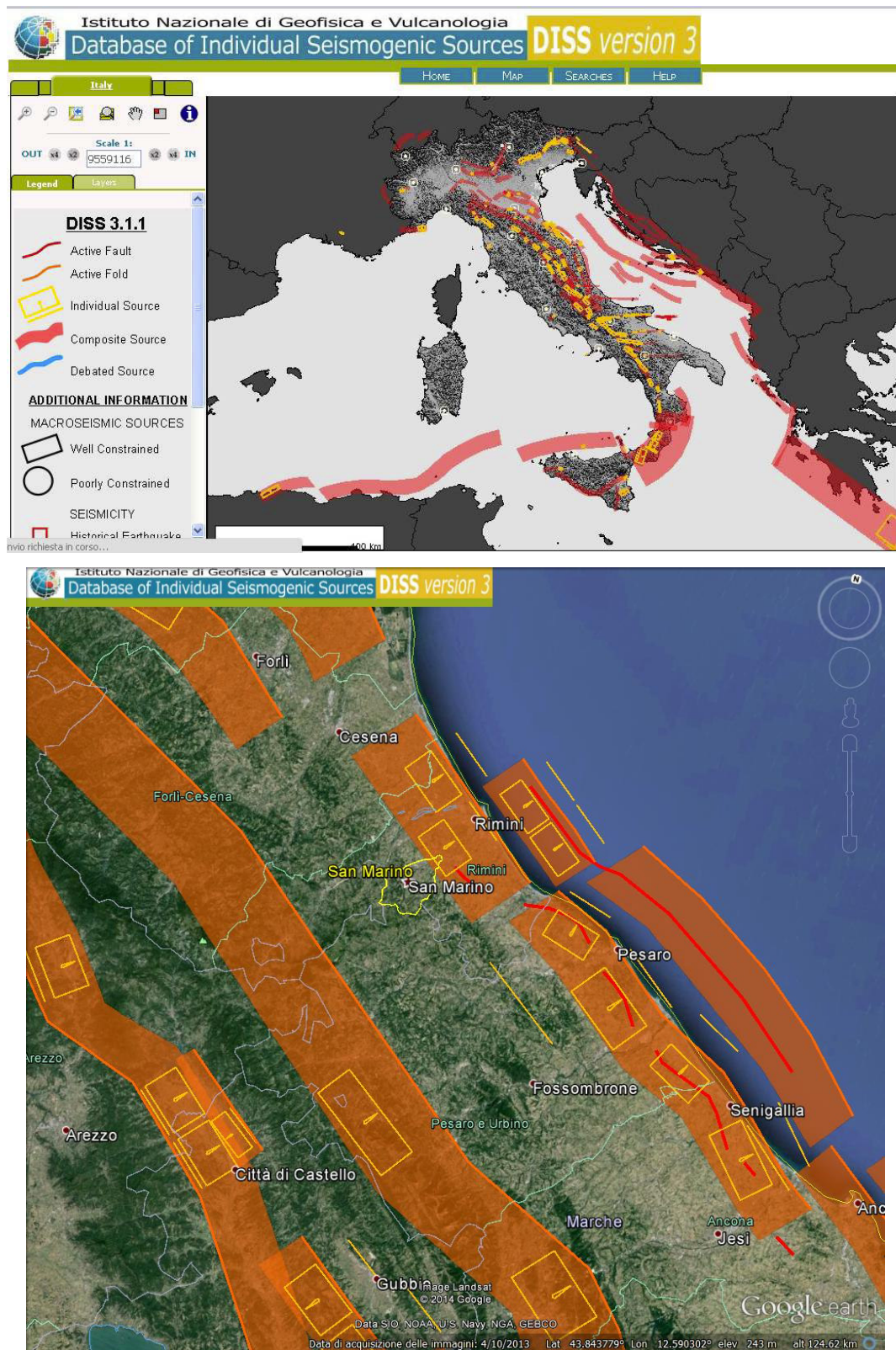


Fig. 2. Immagini tratte dal database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) dell'INGV (<http://diss.rm.ingv.it/dissNet/>).



Sulla base del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS), risulta evidente come la costa adriatica nord-marchigiana sia caratterizzata da un'elevata densità di faglie attive e sorgenti sismogenetiche.

L'interpretazione di profili sismici a riflessione e la costruzione di sezioni geologiche bilanciate hanno permesso l'individuazione di faglie profonde che coinvolgono il basamento, interessando tutta la crosta superiore (v. anche Barchi *et alii*, 1998), con un potenziale sismogenetico ben diverso da quello comportato dalla presenza di faglie pellicolari suggerite in studi precedenti (Bally *et alii*, 1986).

## 2.2 Pericolosità sismica di base.

Sulla base del Data Base Macrosismico Italiano (Stucchi *et al.*, 2007), si riporta la storia sismica del Comune di San Giovanni in Marignano.

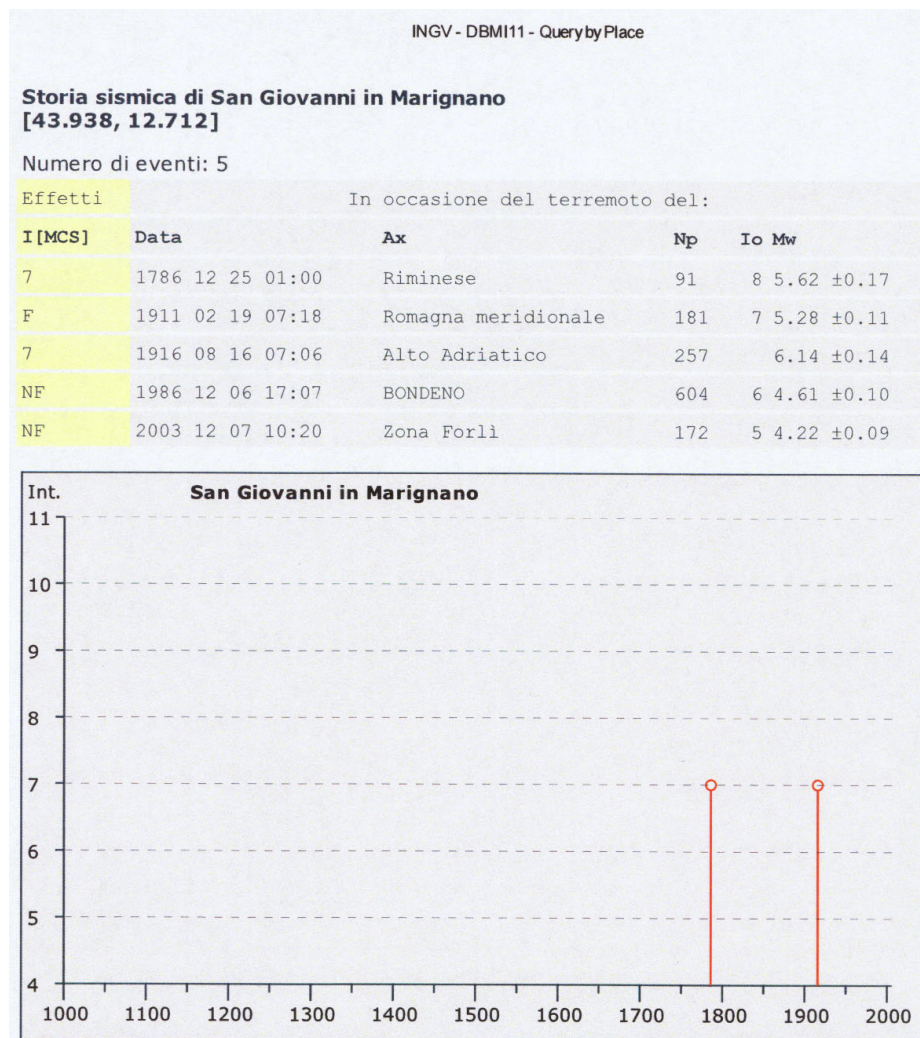


Fig. 3. Storia sismica del Comune di San Giovanni in Marignano.  
(<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

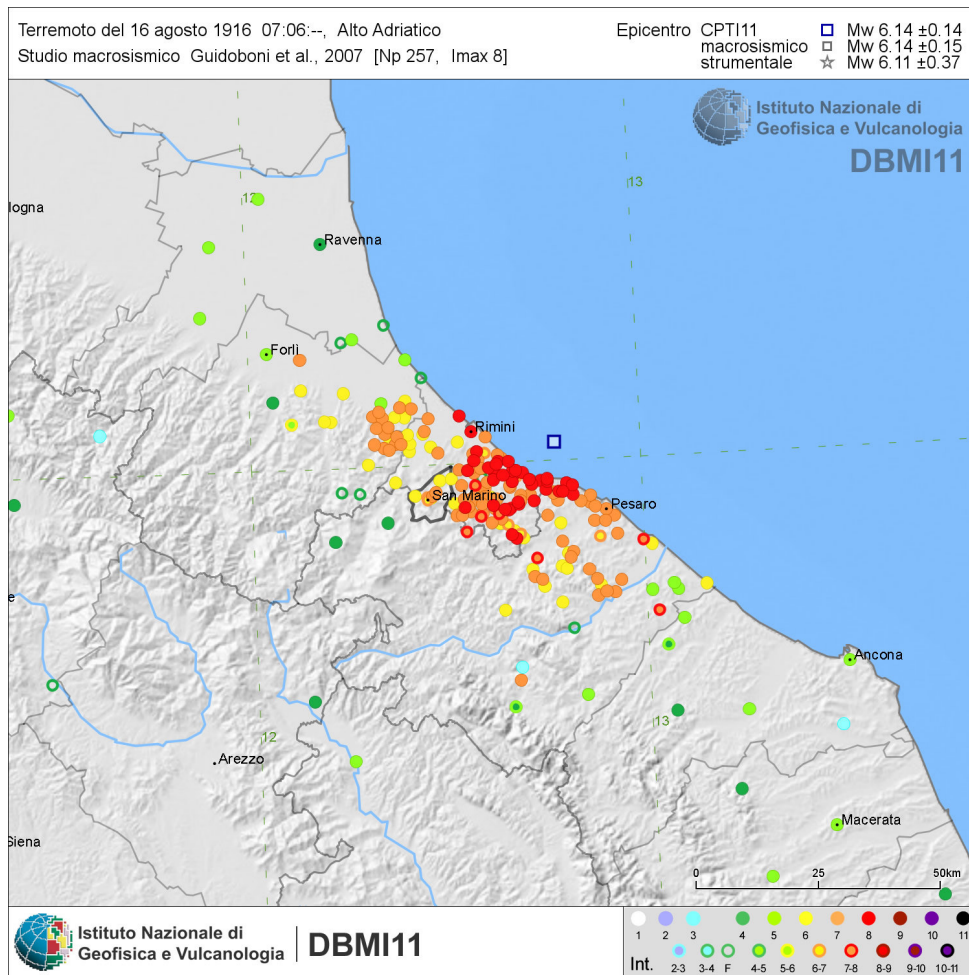


Fig. 4. Distribuzione degli eventi sismici (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

I dati storici riportati sono stati definiti dal Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>.

Si riporta inoltre la storia sismica del Comune di Rimini e del Comune di Pesaro.

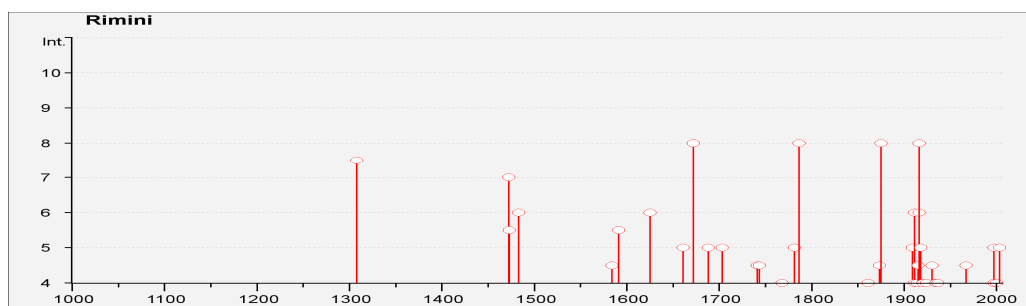


Fig. 5. Storia sismica del Comune di Rimini (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

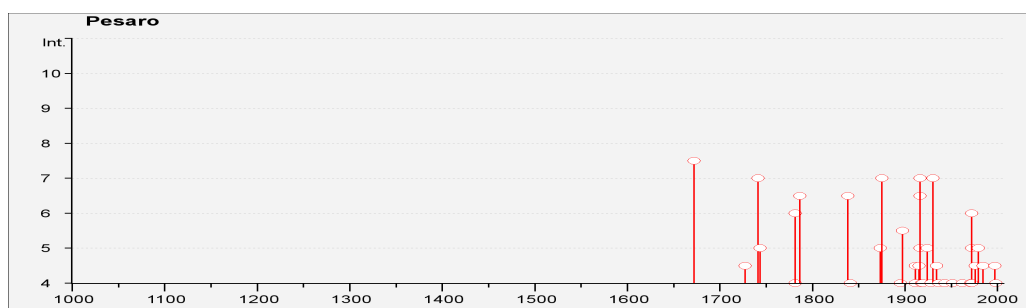


Fig. 6. Storia sismica del Comune di Pesaro (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

Da queste storie sismiche emerge che questo settore della costa romagnola e nord-marchigiana è soggetto ad una sismicità medio-elevata, caratterizzata da terremoti che hanno raggiunto Intensità pari all’VIII grado della scala MCS, con Magnitudo stimate fino a 6.14 (Alto Adriatico del 1916).

Lo studio ZS9 del 2004 (“Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica” dell’INGV) è una rielaborazione della precedente sismozonazione ZS4 (Meletti et al, 2000) ripensata in base sia a nuove valutazioni del potenziale sismogenetico sia rispetto a nuove analisi eseguite sui terremoti storici e considerazioni statistiche.

L’area di studio ricade nella zona “Rimini-Ancona” definita come ZS n. 917 in figura 7.

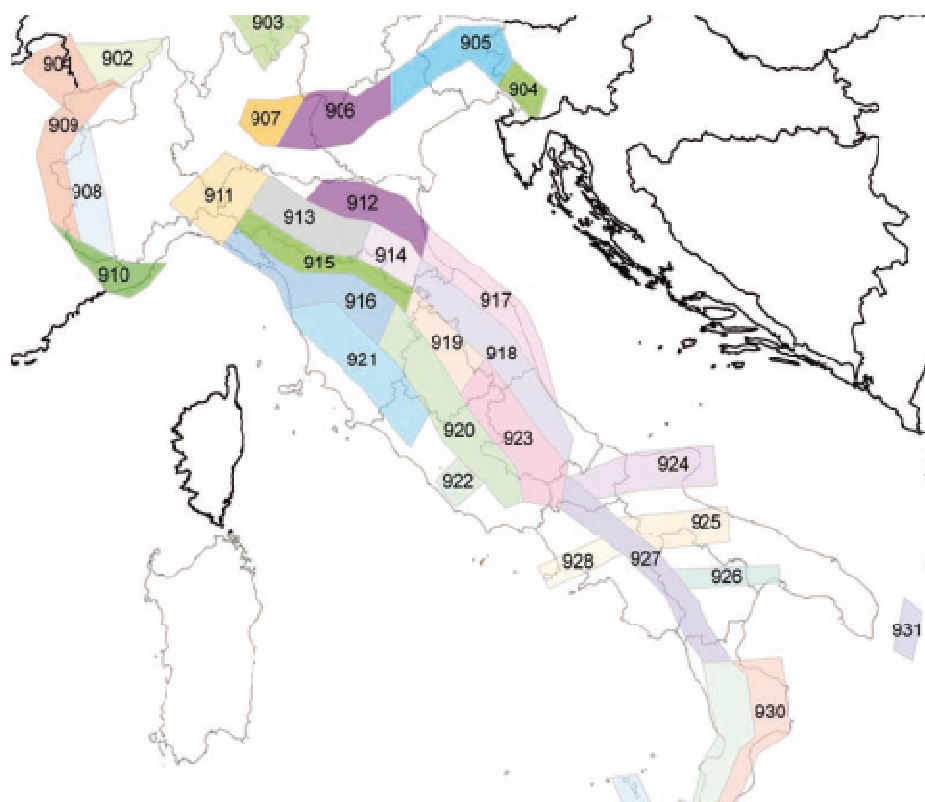


Figura 7–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 (“Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica” dell’INGV, 2004). Evidenziata in rosso la ZS n. 917 “Rimini-Ancona”.



Le caratteristiche associate a tale zona prevedono:

- Un meccanismo focale prevalente di tipo “inverso”.
- Una Magnitudo Momento Massima “Osservata” ( $M_w$ -max1) definita sia dalle analisi legate agli eventi storici sia su basi geologiche legate al Database of Individual Seismogenic Sources (DISS).
- Una Magnitudo Momento Massima “Cautelativa” ( $M_w$ -max2) definita aggiungendo un margine di sicurezza rispetto alla  $M_w$ -max1.

In dettaglio, l'area n.917 prevede sia la  $M_w$ -max1 che la  $M_w$ -max2 pari a 6.14. Le caratteristiche dell'area, permettono di ritenere, infatti, tale valore già di per sé sufficientemente cautelativo e a carattere “previsonale”.

Pertanto la  **$M_w$ max di 6.14** è stata considerata come Magnitudo di Riferimento per l'area di studio.

Attualmente il Comune di San Giovanni in Marignano è classificato in zona 2 dalla vigente classificazione sismica nazionale (OPCM 3274/2003).

Come molti altri comuni del riminese, anche San Giovanni in Marignano è stato classificato sismico di II categoria nel 1927, declassificato nel 1938 e poi riclassificato nel 1983.

Sulla base dei dati per l'analisi della pericolosità sismica del territorio nazionale (ai sensi dell'OPCM 3274/2003 e del DM 14/9/2005 – Fig. 8) resi disponibili da INGV, l'accelerazione massima al suolo mediamente attesa per un periodo di ritorno di 475 anni nel territorio di San Giovanni in Marignano è pari a 0,184g (Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112/2007, Allegato A4).

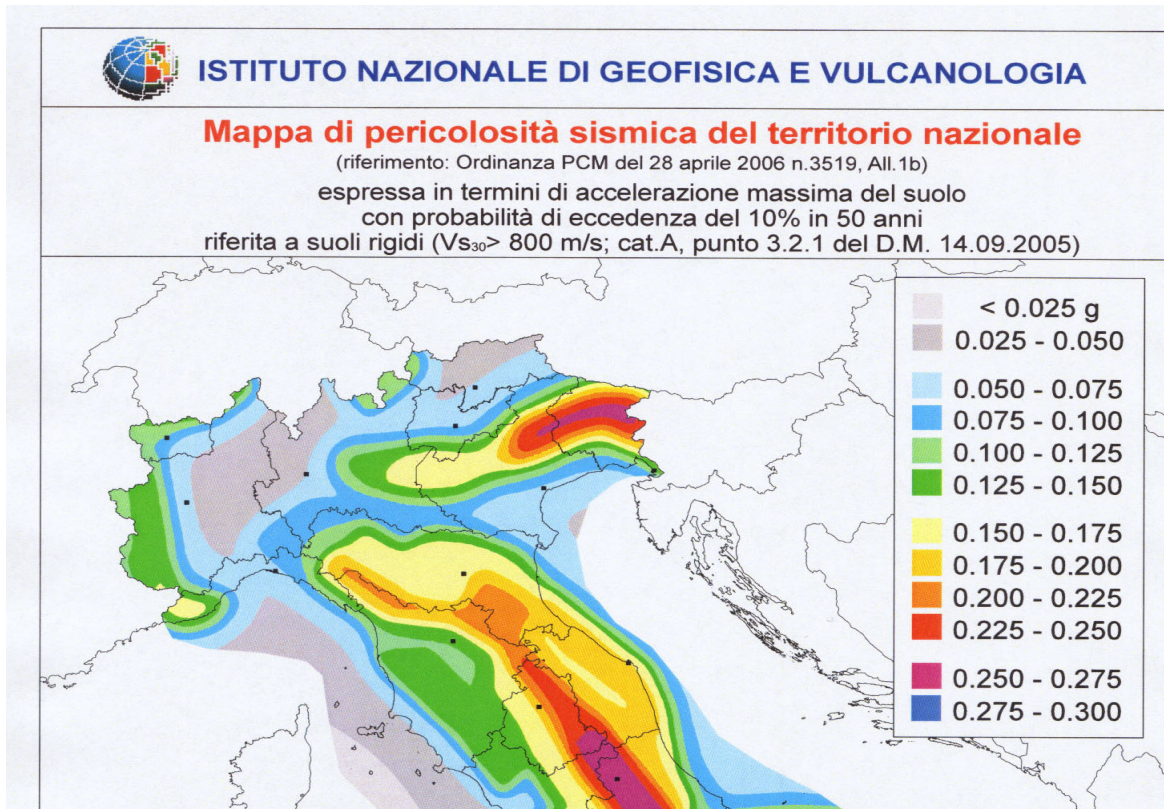


Fig. 8. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Elaborazione: aprile 2004.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.

La cartografia geologica di riferimento è rappresentata da:

Carta Geologica dell'Appennino Emiliano Romagnolo a scala 1:10.000, edizione 2011, Sezione 268050 San Giovanni in Marignano e Sezione 268010 Misano Adriatico.

Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 268 Pesaro, in attesa di stampa, pubblicata sul Web.

La geologia del territorio del Comune di San Giovanni in Marignano è pressoché interamente rappresentata dai terreni marini neogenici della successione Umbro - Marchigiana - Romagnola, raramente affioranti lungo i versanti della zona collinare situata a sud del capoluogo e della piccola dorsale su cui sorge l'abitato di Montalbano, in quanto prevalentemente ricoperti da spessori molto variabili di depositi continentali quaternari di origine chiaramente alluvionale.

I litotipi del substrato sono in gran parte rappresentati da 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, attribuibili alla formazione delle Argille Azzurre del Pliocene medio - superiore (FAA); tale unità, il cui spessore massimo può raggiungere i 700 m ca., passa localmente verso il basso al membro arenaceo di Borrello (FAA2), litologicamente costituito da un'alternanza di strati arenaceo - pelitici di spessore medio, talora eteropici, con rapporto A/P mutevole, la cui potenza risulta estremamente variabile tra 0 e 1000 m.

La morfologia del tetto del substrato prealluvionale presenta un fondo piano e debolmente ondulato, in cui sono riconoscibili alcune depressioni e solchi di paleoalvei.

Una prima incisione segue un tracciato più o meno rettilineo coincidente nel tratto iniziale con l'alveo attuale del Conca e nel tratto finale con il percorso attuale del rio Agina. All'altezza di S. Giovanni in Marignano il Paleoconca mostra una deviazione verso destra, che aggira il rilievo di Montalbano e si immette nel paleocorso del torrente Ventena. Quest'ultimo defluisce verso Cattolica in un solco di forma più ristretta che si insinua tra l'alto di Montalbano e il promontorio di Cattolica-Gabicce.

Nelle zone collinari i terreni del substrato geologico sono ricoperti dai depositi quaternari eluvio-colluviali di variabile spessore compreso tra i 5 ed i 15 metri. Nel settore di fondovalle i terreni del substrato sono ricoperti dai depositi quaternari della conoide del Torrente Conca, il cui spessore raggiunge valore di circa 40÷45 metri a ridosso del confine con il territorio comunale di Cattolica.

Tali depositi, coincidenti con i terrazzi alluvionali del III e IV ordine, appartengono al Sistema Emiliano - Romagnolo superiore (AES), all'interno del quale vengono individuati il Subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>) e l'Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>), costituiti essenzialmente da materiali grossolani (sabbie e ghiaie) alternati a materiali a granulometria più fine (limi e argille); questi ultimi, in corrispondenza del terrazzo superiore, occupano la parte più superficiale del deposito.

I materiali alluvionali grossolani rappresentano il prodotto dell'erosione delle sequenze calcareo-marnose ed arenacee (Formazione del Bisciario, dello Schlier, della Gessoso-Solfifera, dell'Alberese, di S. Marino, ecc.) drenate dal torrente Conca nel tratto di bacino compreso tra il Monte Carpegna e Monte Cerignone, mentre i sedimenti più fini hanno origine dalla degradazione delle formazioni argillose presenti nell'Alta Valle, dove il fiume scorre sui depositi

della colata gravitativa della Valmarecchia e in pianura, da Morciano di Romagna al mare, sui depositi delle formazioni plioceniche.

Di seguito si fornisce una descrizione dettagliata delle formazioni geologiche presenti nel territorio comunale di San Giovanni in Marignano, tratta dal Catalogo dei Dati Geografici del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna (CARG).

### **LEGENDA DELLA SUCCESSIONE NEOGENICO – QUATERNARIA DEL MARGINE APPENINICO PADANO.**

#### **Sintema Emiliano - Romagnolo - Superiore (AES).**

Sabbie e ghiaie con subordinati limi argillosi costituenti terrazzi intravallivi e conoidi, talora con indizi di pedogenesi, e i depositi attualmente in evoluzione nei fondovalle.

Sintema parzialmente suddiviso in subsistemi limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. Contatto inferiore erosivo e discordante sui vari terreni prequaternari.

*Pleistocene superiore-Olocene*

#### **AES8 - Subsistema di Ravenna.**

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

*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*

#### **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. Depositi di scarpata e base scarpata. Potenza complessiva affiorante di circa 700 m.

*Piacenziano-Gelasiano*

#### **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-azzurro, 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  $A/P < 1/2$ .

#### **FCO - Formazione a colombacci (FCO)**

Argille, marne e marne argillose, grigie, grigio-scure, verdastre, viola o nere, in strati sottili e medi, con intercalati livelli carbonatici biancastri (colombacci), di spessore variabile da 2 a 40 cm fortemente laminati, e subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari ( $A/P < 1/3$ ), lamine calcaree o calcareo marnose.

Nelle arenarie sono presenti frustoli carboniosi, gusci di Gasteropodi e Lamellibranchi ed evidenze di bioturbazione. Sono state distinte alcune litofacies, sulla base del rapporto arenite/pelite, intercalate a più livelli all'interno della formazione e che formano dei corpi più o

meno lenticolari. Limite inferiore discordante su GHT, GES e FMA, (dove affioranti) spesso complicato da frangimenti sinsedimentari.

Potenza molto variabile, fi no ad alcune centinaia di metri.

*Messiniano medio e sup.*

#### **FCOa - litofacies arenacea**

Alternanza arenaceo-marnosa (A/P da 2/1 a 10/1). Arenarie grigie medie e grossolane, con fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente medi.

Formano corpi lenticolari di 2-40 m distribuiti ad altezze diverse entro FCO.

\*\*\*

Di seguito uno stralcio della legenda della carta geologico tecnica.


| <b>Terreni di copertura</b>  |   | <b>Ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura</b> |  |
|--|---|---|--|
| RI   | Terreni contenenti resti di attività antropica  | cz  | Conoide di deiezione                           |
| GM   | Ghiaie limose, miscela di ghiaia sabbia e limo  | ec  | Eluvi, colluvi                                 |
| GC   | Ghiaie argillose, miscela di ghiaia sabbia e argilla  | es  | Argine/barre/canali                            |
| SM   | Sabbie limose, miscela di sabbia e limo   | fd  | Falda detritica                                |
| MH   | Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei o diatomitici  | lc  | Lacustre                                       |
| CL   | Argille inorganiche di media bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre | tf  | Terrazzo fluviale                              |
| <b>Substrato geologico</b>   |   | zz  | Terreni contenenti resti di attività antropica |
|  | Substrato geologico rigido coesivo sovraconsolidato stratificato molto fratturato                         |   |  |

Fig. 8. Stralcio Legenda della Carta Geologica Tecnica.

## **4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.**

Sulla base della conformazione morfologica del paesaggio, regolata e strutturata dalla natura dei terreni che vi affiorano, il territorio comunale di San Giovanni in Marignano può essere suddiviso in due unità principali:

**1.** Aree collinari di Montalbano a Nord e Montelupo e Santa Maria in Pietrafitta a sud .

**2.** Area pianeggiante di fondovalle.

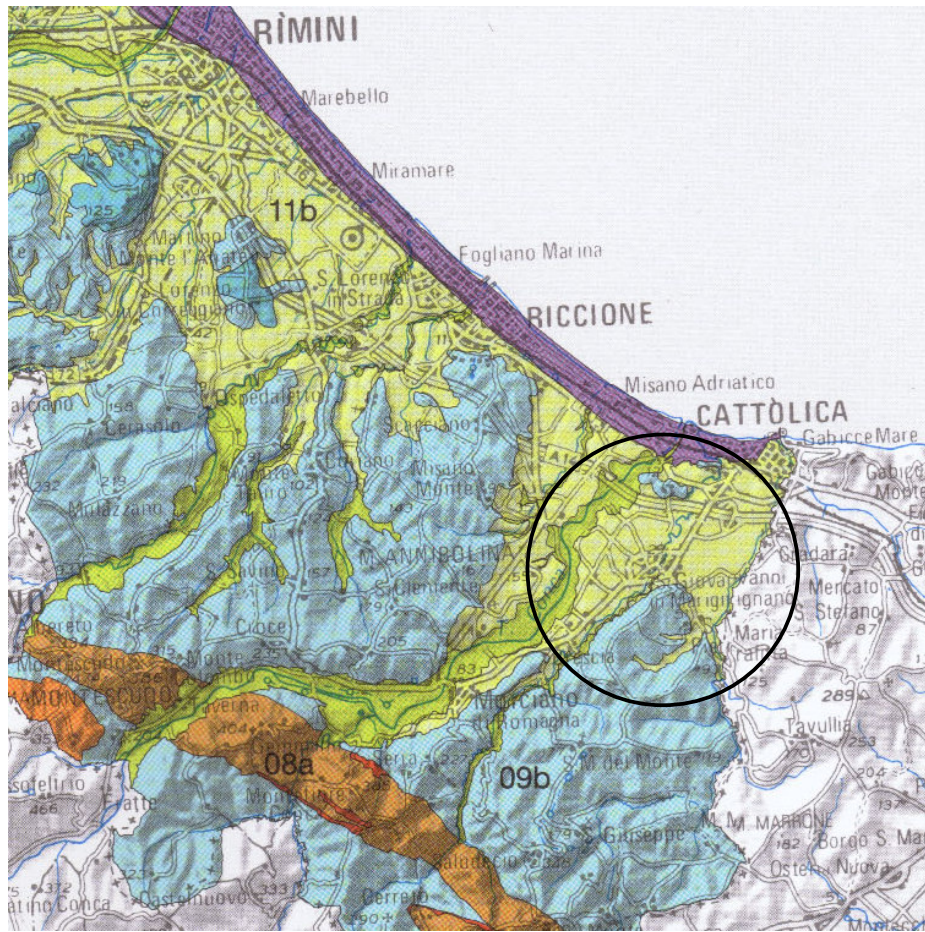
Il settore collinare principale di Montelupo e Santa Maria in Pietrafitta è rappresentato dal complesso che si incunea a sud del capoluogo tra i corsi del Torrente Ventena e del Torrente Tavollo e che è compreso tra le quote 35 e 155 m ca. s.l.m.; la facile erodibilità dei litotipi argillosi che ne costituiscono l'ossatura determina una morfologia molto dolce, con versanti lunghi e poco acclivi che si raccordano alle ampie vallecicole sottostanti.

A nord del territorio comunale si rinviene il rilievo isolato su cui sorge Montalbano, che rappresenta il residuo dell'attività erosiva operata dai torrenti Conca e Ventena durante l'evoluzione della rete idrografica quaternaria.

A differenza di quest'ultimo, il settore principale è ampiamente interessato da fenomeni di instabilità, con numerose frane, che si sono instaurate principalmente lungo le pendici rivolte a nord; di maggior estensione e prevalentemente quiescenti sono quelle presenti sul versante destro del Rio Cattolicaccio, mentre di minori dimensioni ma spesso attive sono quelle che



interessano il tratto inferiore a maggior pendenza della pendice al cui piede scorre il torrente Ventena.



**09 PRIMI COLLI**

Lungo tutto il margine pedeappenninico, dal piacentino al riminese, si estende questa unità dove il paesaggio collinare si raccorda alla pianura con estrema gradualità. Il paesaggio è caratterizzato da una morfologia dolce, articolata in lunghi ripiani declinanti verso valle dove sono conservati antichi paleosuoli. Locali erosioni del reticolo idrografico minore formano valli scarsamente approfondite, separate da crinali dalle ampie sommità dove affiorano le "sabbie gialle" che costituiscono il substrato roccioso.

Questo paesaggio termina verso monte a ridosso di estesi bacini calanchivi, dove affiorano argille pioceniche dal colore grigio-azzurro. L'estensione dei calanchi può essere straordinaria, come accade nelle vallate romagnole, modenesi, reggiane e piacentine. Le rocce che compongono questa unità sono le formazioni delle **Argille Azzurre** e delle **Sabbie gialle** (cfr. Sabbie di Imola) che si depositarono tra 5,3 e 0,01 milioni di anni fa (Pliocene - Pleistocene). Nelle colline romagnole tra le argille pioceniche affiora un calcare organogeno detto Spungone, a cui è legato un paesaggio a rupi e alte colline che caratterizza una fascia sottile, continua e trasversale alle vallate. Questo paesaggio, dai profili dolcissimi, è da sempre frequentato dall'uomo e oggi è fortemente segnato dalle pratiche agricole tra le quali prevalgono i vigneti e i frutteti.

- 09a Sabbie gialle
- 09b Argille Azzurre

**11 PIANA DEI FIUMI APPENNINICI**

Comprende i settori intravallivi dell'Appennino, gli sbocchi vallivi al margine appenninico e l'ampia pianura fino a lambire il fiume Po e la costa. Escludendo i tratti intravallivi, le quote sono generalmente comprese tra 100 metri, nell'alta pianura, e il livello del mare, nelle aree costiere. Il paesaggio deve le sue caratteristiche alla dinamica dei fiumi appenninici. Durante il loro corso intravallivo i fiumi formano ridotti depositi nastriformi; mentre allo sbocco in pianura depositano il loro carico grossolano di ghiaie e sabbie, formando corpi sedimentari (conoidei alluvionali), caratterizzati da un sistema di **canali fluviali**. Gradienti di pendio sempre più bassi (intorno al 0,1-0,2 %) e una diminuzione della granulometria dei sedimenti segnano il passaggio alla media e bassa pianura, dove la dinamica fluviale è caratterizzata dalle ripetute divagazioni dei corsi appenninici. Il paesaggio è dominato dai dossi, rilievi deposizionali di alcuni metri di altezza, dalla forma allungata e pensile sui terreni circostanti, formati dai depositi di **argine, canale e rotta** dei corsi appenninici attuali e antichi, e dalle "valli", ampie depressioni, nelle quali si depositarono i sedimenti trascinati durante le piene (aree di **piana interfluviale**). Il regolare deflusso delle acque è attualmente garantito dalle opere di bonifica.

La pianura è un territorio completamente antropizzato dove l'uomo, da oltre 3000 anni, ha esercitato la sua azione, alterandone la naturale dinamica evolutiva sia con un'intensa urbanizzazione sia con le opere di arginatura artificiale dei corsi d'acqua e di bonifica delle valli. Oggi la pianura si presenta interamente coltivata e con un tasso di industrializzazione che, lungo l'asse della via Emilia, è tra i maggiori al mondo.

- 11a Canali fluviali
- 11b Argine, canale e rotta
- 11c Piana interfluviale

Fig. 9. Tratta da *IL PAESAGGIO GEOLOGICO DELL'EMILIA ROMAGNA – 2009*.

Sul fondo delle vallecole, alla base dei piccoli corsi d'acqua che scendono dai fianchi collinari in questione, si trovano depositi di versante, la cui genesi è da mettere in relazione al trasporto ed alla deposizione dei materiali erosi dalle



acque dilavanti in corrispondenza delle rotture dipendenza (conoidi torrentizie e depositi eluvio - colluviali).

La perimetrazione dei fenomeni gravitativi e dei depositi di versante è stata ricostruita sulla base delle cartografie geologiche di riferimento regionali opportunamente rivedute laddove le verifiche di campagna hanno consentito un più dettagliata definizione dell'origine e della natura dei depositi stessi.

Per quanto concerne l'unità di paesaggio di pianura, le uniche forme che appaiono degne di nota sono gli orli di terrazzo che separano la spianata del III ordine da quella sottostante del IV ordine, mentre non sono presenti in tutto il territorio comunale le scarpate così come definite dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica.

Si fornisce di seguito la descrizione dei depositi quaternari di copertura proveniente dal Catalogo dei Dati Geografici del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna (CARG).

### **LEGENDA DEI 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.

#### **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)

#### **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 stratificati 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.

**I2 – conoide torrentizia inattiva.**

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.

\*\*\*

Di seguito uno stralcio della legenda della carta geologico tecnica.



Fig. 10. Stralcio Legenda della Carta Geologico Tecnica.

Le parti di territorio con pendenza  $>15^\circ$  e la sovrapposizione di diversi tipi di instabilità laddove i dissesti cartografati si sovrappongono con le parti di territorio con pendenza  $>15^\circ$  è stata evidenziata come instabilità "Non definita".

## 5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.

### 5.1 Dati Geotecnici.

Per la caratterizzazione dei terreni di copertura e del substrato geologico si è provveduto a reperire il maggior numero possibile di indagini pregresse. Ciò è avvenuto mediante la consultazione del Data Base Geognostico della Regione Emilia Romagna e mediante l'accesso all'archivio del Comune di San Giovanni in Marignano. Le indagini reperite sono state opportunamente selezionate mediante valutazione critica dell'attendibilità del dato. Il risultato di tale lavoro, come si può vedere dalla CARTA DELLE INDAGINI è una buona copertura aerea di tutto il territorio comunale.

In sintesi sono state cartografate le seguenti indagini geognostiche.

**Da Banca Dati Geognostica RER:**

- N. 20 sondaggi a carotaggio continuo.
- N. 11 pozzi per acqua.
- N. 14 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 186 prove penetrometriche dinamiche leggere DL.

**Da archivio comune di San Giovanni in Marignano:**

- N. 15 sondaggi a carotaggio continuo.
- N. 3 pozzi per acqua.
- N. 157 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 14 prove penetrometriche dinamiche pesanti DP.
- N. 65 prove penetrometriche dinamiche leggere DL.

Nella zona di pianura è stata pertanto possibile la ricostruzione dello spessore dei depositi alluvionali finì che ricoprono le ghiaie, l'andamento del tetto delle ghiaie stesse, ed in corrispondenza dei sondaggi, gli spessori delle ghiaie ed il tetto del substrato geologico.

Nelle zone di collina (Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta), lo spessore dei depositi eluvio-colluviali che ricoprono il substrato geologico.

## 5.2 Dati Geofisici.

Le indagini geofisiche pregresse reperite sono di seguito sintetizzate:

**Da archivio comune di San Giovanni in Marignano:**

- N. 1 Cross Hole.
- N. 1 Down Hole.
- N. 48 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.
- N. 26 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW.
- N. 1 prospezione simiche a rifrazione passiva con metodo ReMi.

Tali indagini pregresse sono state integrate con **n. 31** nuove indagini geofisiche di misura di microtremore a stazione singola HVSR eseguite mediante tromografo digitale Micromed TROMINO® - TRZ-0144/01-11.

Le suddette indagini, pregresse e nuove, sono distribuite sul territorio comunale in funzione delle finalità di caratterizzazione sismica delle aree urbanizzate, degli ambiti suscettibili di urbanizzazione e delle principali infrastrutture viarie.

\*\*\*

Le indagini sopra descritte, pregresse e di nuova realizzazione sono state georeferenziate in apposito elaborato cartografico denominato **CARTA DELLE INDAGINI**, restituito alla scala di 1:5.000, comprensivo dell'intero territorio comunale.

## 6. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.

Per l'area in studio sono disponibili numerose perforazioni, per lo più costituite da prove penetrometriche statiche e dinamiche, sia pesanti che leggere, sondaggi a carotaggio continuo e pozzi per acqua.

Tuttavia le profondità indagate sono funzione del tipo di indagine e quindi molto variabili: nel caso di prove penetrometriche generalmente meno di 20 metri, nel caso di sondaggi a carotaggio continuo fino a 30-40 metri, nel caso invece di pozzi per acqua le profondità indagate arrivano anche a 50 metri, ma in questo caso l'interpretazione della stratigrafia presenta qualche margine di incertezza.

## **AREA DI PIANURA.**

I depositi continentali di questo settore del Comune di San Giovanni in Marignano sono tutti riferibili al Sintema Emiliano-Romagnolo superiore di età compresa tra 450.000 anni e il presente.

In particolare in quest'area sono presenti i depositi di terrazzo fluviale ascrivibili al subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>), di età prevalentemente olocenica.

Tra i depositi del subsistema di Ravenna sono stati distinti, come appartenenti all'Unità di Modena (AES<sub>8a</sub> di età post-romana), le alluvioni più recenti, che formano i terrazzi più bassi adiacenti ai Torrenti Conca, Ventena e Tavollo.

I depositi alluvionali affioranti sono costituiti da argille limose, limi argillosi e limi sabbiosi, di ambiente di piana alluvionale dello spessore variabile da 3 a 15 metri. In prossimità dei Torrenti Conca, Ventena e Tavollo da prevalenti ghiaie, talora sabbiose e argillose, di alveo e di conoide dello spessore variabile da 3 a 8 metri.

Nella zona del Comune di San Giovanni a ridosso del confine con il territorio comunale di Cattolica lo spessore dei depositi fini soprastanti le ghiaie aumenta sensibilmente passando a 20 – 27 metri.

Il substrato geologico è rappresentato dai depositi marini riferibili alle Argille Azzurre del Pliocene medio - superiore (FAA). Tale deposito è costituito da argille grigio-azzurre con rare intercalazioni di arenarie giallastre e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili, coesive, stratificate, con accentuato grado di alterazione al tetto In profondità sovraconsolidato e fratturato.

## **AREE COLLINARI DI MONTALBANO E SANTA MARIA IN PIETRAFITTA-MONTELUPO.**

Si rinvencono le coperture eluvio-colluviali di versante costituite da argille e argille limose inorganiche di media-bassa plasticità soprastanti il substrato geologico sempre riferibile alla Argille Azzurre del Pliocene medio - superiore (FAA) rinvenibile ad una profondità variabile dai 5 ai 15 metri.

## **7. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE.**

Per quanto riguarda le interpretazioni riguardanti sia l'area di pianura, sia le aree collinari è possibile affermare ci sia una buona corrispondenza tra il modello geologico descritto con la situazione reale.

## **8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.**

### **8.1 Premessa.**

Lo studio di Microzonazione Sismica del Comune di San Giovanni in Marignano è stata sviluppato mediante tre successivi step di lavoro:

- Il primo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di primo livello, utile per l'individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di eventi sismici su tutto il territorio comunale.
- Il secondo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di secondo livello, o microzonazione sismica semplificata, necessaria per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, sulla base delle Tabelle contenute nelle disposizioni regionali (DAL

112/2007), per tutto il territorio urbanizzato, urbanizzabile ed ambiti di riqualificazione.

- Il terzo step ha previsto un approfondimento sismico di terzo livello 2D, finalizzato ad una valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in corrispondenza della Sezione 3, nel tratto che attraversa il centro abitato di San Giovanni in Marignano e termina in corrispondenza delle collinette in località Santa Maria in Pietrafitta, intercettando perpendicolarmente la scarpata sepolta.

## 8.2 Metodologia di Elaborazione.

Sulla base dei rilievi geofisici di microtremore (HVSr) ed in array (attivi e passivi), nonché delle prove in foro di tipo Down-Hole e Cross Hole, sono state definiti i modi caratteristici di vibrare per ciascun punto di indagine (frequenze di risonanza e fondamentale) definendo altresì, ove possibile, i relativi profili di velocità.

Mentre nelle prove in foro i log di velocità vengono definiti direttamente in base ai tempi di arrivo ai geofoni delle onde sviluppate attraverso varie forme di energizzazione, nelle prove in array con stendimenti geofonici di varia lunghezza e configurazione, si sfruttano le proprietà dispersive delle onde superficiali; quindi attraverso tecniche di inversione della curva di dispersione, si ricerca il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Per quanto riguarda le prove HVSr, in base alle conoscenze stratigrafiche locali, utilizzando la curva H/V, è possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005.

La curva H/V può essere invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di almeno un vincolo. Tale vincolo all'occorrenza può essere fornito dalla conoscenza della stratigrafia e, quindi, della profondità di almeno un riflettore sismico significativo individuabile tramite prove geognostiche (o anche tramite altre metodologie di indagine geofisica), il cui marker sia ben riconoscibile e correlabile anche nelle curve H/V.

L'analisi delle prospezioni geofisiche utilizzate, congiuntamente alle conoscenze geologico/stratigrafiche, ha consentito la definizione dei caratteri rappresentativi per le aree in studio e la definizione degli elementi/parametri necessari a sviluppare i diversi gradi di approfondimento dello studio di microzonazione sismica e di locale approfondimento di III° Livello.

## 8.3 Risultati.

I risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i tre livelli di microzonazione sismica. Nel successivo capitolo ("Elaborati cartografici") i risultati saranno dettagliati e spiegati per ogni singolo prodotto realizzato all'interno dello studio.

## 8.4 Microzonazione di Primo Livello.

Il Primo Livello di microzonazione sismica è stato realizzato su tutto il territorio comunale. In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica



del Dipartimento di Protezione Civile, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento omogeneo in occasione di sollecitazione sismica.

Dall'analisi dei dati e delle cartografie emerge che tutta l'area comunale risulta suscettibile di amplificazione, prevalentemente per caratteristiche stratigrafiche. Non sono state individuate, nel sottosuolo, discontinuità litologiche con contrasto di  $V_s$  e geometrie tali da determinare amplificazione per morfologie sepolte.

Nella totalità delle verticali indagate sono presenti depositi continentali di spessore maggiore di 5 metri.

I dati delle prove geofisiche disponibili, ed in particolare ci si riferisce alle prove down-hole e cross-hole, indicano che i limi e argille alluvionali hanno  $V_s$  mediamente comprese tra 1800 e 240 m/s mentre i terreni ghiaiosi hanno  $V_s$  dell'ordine di 320-350 m/s.

Dove lo spessore dei depositi continentali si riduce o dove questi sono assenti, il substrato è costituito da argille plio-pleistoceniche caratterizzate da  $V_s$  variabile tra 430 e 600 m/s e quindi anch'esse risultano suscettibili di amplificazione.

Né in affioramento né in nessuna delle verticali indagate, sono stati incontrati terreni caratterizzati da  $V_s \geq 700-800$  m/s (*bedrock* sismico).

Relativamente le frequenze fondamentali del sottosuolo, la relativa carta, derivata da indagini speditive di sismica passiva HVSR, sia pregresse che di nuova esecuzione, mostra che:

- nella zona di pianura l'andamento dello spessore delle coperture di terrazzo fluviale a granulometria fine soprastanti le ghiaie (considerate *bedrock like*) determina il valore di  $f_0$ . Quando lo spessore è maggiore di 30 metri tale valore è  $1\text{Hz} < f_0 < 2\text{Hz}$ , spessori compresi fra 30 e 10 metri determinano valori  $2\text{Hz} < f_0 < 8\text{Hz}$  e spessori minori di 10 metri determinano valori di  $f_0 > 8\text{Hz}$ .
- nelle zone di collina (Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta), il valore di  $f_0$  è sempre spostato verso le basse-medie frequenze con  $f_0 < 5\text{Hz}$ , caratterizzate dai depositi eluvio-colluviali che ricoprono il substrato geologico.

Relativamente l'ampiezza del rapporto H/V i valori riscontrati sono tendenzialmente  $\leq 3$  in tutto il territorio comunale.

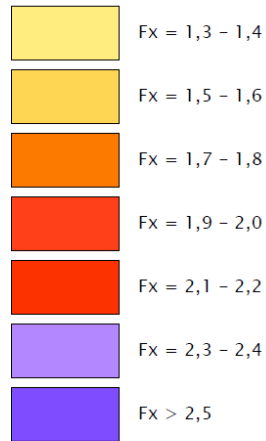
## 8.5 Microzonazione di Secondo Livello.

Il Secondo Livello di microzonazione sismica (o microzonazione sismica semplificata), vista la buona copertura territoriale delle indagini, è stato realizzato su tutte le aree urbanizzate, urbanizzabile ed ambiti di riqualificazione forniti agli scriventi dal Comune di San Giovanni in Marignano.

Dall'analisi dei dati ottenuti e sulla base delle risultanze del Primo Livello di approfondimento è stato possibile quantificare i fattori di amplificazione stratigrafica. Tali fattori sono tre per ogni area individuata, in termini sia di accelerazione al suolo (PGA) che di Intensità di Housner (IS suddivisa in due distinti periodi T di riferimento) secondo l'approccio proposto dalla Regione Emilia-Romagna.

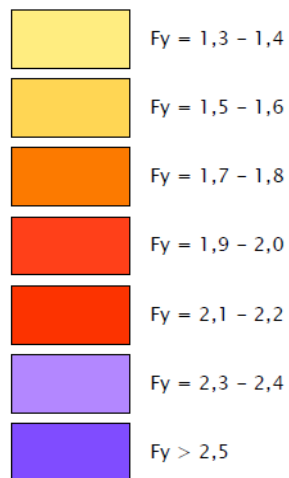
$$F_x = F_{A_{PGA}}$$

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



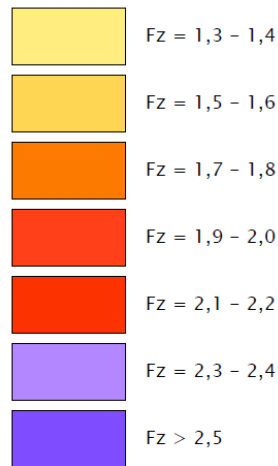
$$F_y = F_{A_{0,1-0,5s}}$$

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



$$F_z = F_{A_{0,5-1s}}$$

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



### 8.5 Microzonazione di Terzo Livello.

Al fine di verificare le condizioni di pericolosità sismica locale in corrispondenza del centro abitato di S. Giovanni in Marignano, ricompreso tra il Torrente Ventena e le pendici collinari di Santa Maria in Pietrafitta, si è optato di effettuare uno studio di Risposta Sismica Locale tramite modellazione bidimensionale in virtù della conformazione morfologica (superficiale e sepolta) della valle entro cui scorre il Torrente Ventena. Tale modalità di analisi consente infatti di poter sviluppare una modellazione continua di sottosuolo e dell'assetto morfologico di interesse, lungo un tratto della "Sezione 3" (vedi fig. a)-b)-c), Tavv. n. 1/2 e 2/2 Carta Geologico-Tecnica e Tav. Sezioni Geologiche) verificando a contempo sia le singole verticali di interesse che eventuali effetti dovuti alle variazioni laterali della situazione geologica e morfologica.

L'areale afferente alla sezione indagata è stato quindi suddiviso in microzone contraddistinte da condizioni di pericolosità omogenee, così come identificate da specifici fattori di amplificazione dell'azione sismica, definiti dal rapporto fra spettri di risposta e da valori di accelerazione calcolati al bedrock ed in superficie.

Su parte dell'areale urbanizzato ed urbanizzabile del centro abitato di S. Giovanni in Marignano e di un suo congruo intorno, sono quindi state sviluppate le cartografie di Microzonazione Sismica di Terzo Livello di approfondimento.

#### **Analisi di Risposta Sismica Locale**

##### *Modellazione numerica e codici di calcolo*

Le analisi numeriche sono state condotte in primis tramite il codice di calcolo bidimensionale LSR2D (Stacec srl), in licenza al dott. Alessandro Merli, effettuando lungo un congruo tratto della "Sez. 3" un'analisi agli elementi finiti in condizioni "lineari equivalenti".

Secondo tale approccio il deposito è stato discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare, consentendo una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici. La generazione della mesh è

una delle fasi più delicate dell'analisi, dipendendo da essa sia l'accuratezza della soluzione e sia l'onere computazionale. In generale si può affermare che tanto più la mesh è fitta tanto più la soluzione è accurata e tanto maggiori sono il tempo e la memoria richiesta dall'elaborazione. L'utilizzo di una mesh eccessivamente grossolana si traduce in un filtraggio delle componenti di alta frequenza poiché le piccole lunghezze d'onda non possono essere adeguatamente modellate da nodi troppo distanti tra loro.

L'altezza  $h$  di ogni elemento deve essere scelta in modo che risulti:

$$h \leq \left( \frac{1}{8} \div \frac{1}{5} \right) \frac{V_s}{f_{max}}$$

dove:

- $h$ : passo della mesh.
- $V_s$ : velocità di propagazione delle onde di taglio nel mezzo discretizzato.
- $f_{max}$ : frequenza max considerata nell'analisi (generalmente pari a 20-25 Hz).

Nel caso in studio, in relazione allo spessore dei sismostrati e della necessità di valutare adeguatamente la risposta sismica anche per strutture caratterizzate da modi di vibrare caratteristici con periodi  $T \geq 0.15$  sec. (quali ad es. edifici ordinari in muratura e c.a. di vecchia e recente realizzazione di 1-2 piani), è stata adottata una mesh con passo  $h=5$  mt, localmente raffittita in funzione delle irregolarità stratigrafiche (vedi fig. a), b) e c)).

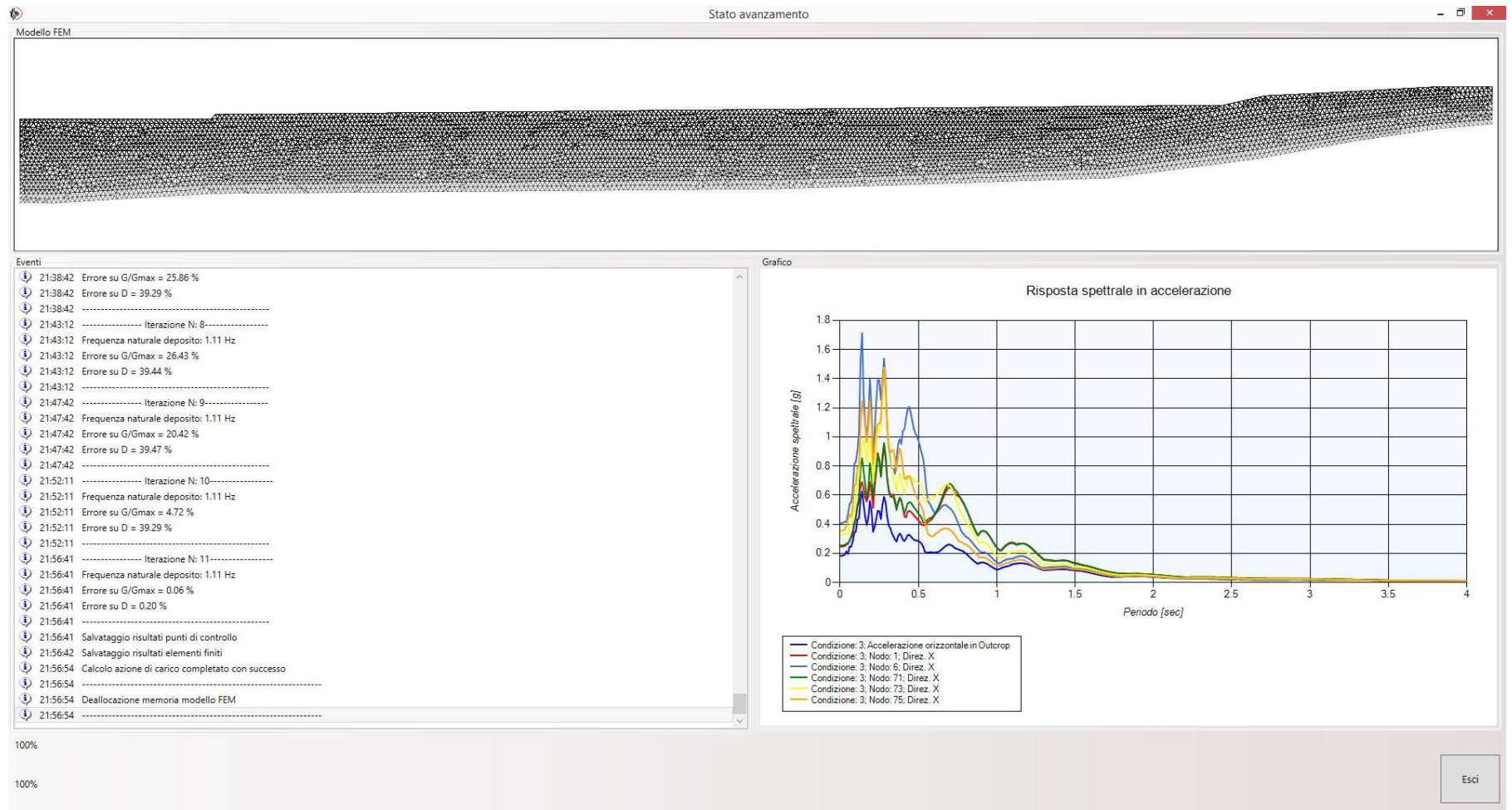


Fig. a) – Discretizzazione mesh modello elementi finiti (FEM) della sezione in studio



Le equazioni del moto sono risolte nel dominio del tempo attraverso il calcolo con il metodo di Newmark ed in modo particolare con il metodo CAA (*Constant Average Acceleration Method*) che è incondizionalmente stabile e non introduce alcun *damping* numerico.

Il moto sismico di input viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV e/o onde di compressione P (in plane motion) con direzione di propagazione verticale ed ha il significato fisico di un moto registrato su affioramento piano del basamento (outcropping bedrock).

In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante. L'estensione finita della zona discretizzata comporta necessariamente la presenza di confini che devono modellare il più accuratamente possibile questa aliquota di energia persa per radiazione. Questa situazione è stata risolta attraverso l'applicazione di smorzatori viscosi anche ai lati del modello, simulando dunque le perdite per radiazione di energia appena evidenziate.

La non linearità del terreno viene tenuta in conto attraverso l'esecuzione di analisi lineari equivalenti. Il modulo di taglio  $G$  e il rapporto di smorzamento  $D$  vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale  $\gamma$  indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidità e smorzamento, con una prima analisi si determina, per ciascun elemento, un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale  $\gamma_{eff}$ . Dalle curve  $G/G_0 - \gamma$  e  $D - \gamma$  si determinano nuovi valori dei parametri dinamici, le matrici di rigidità e smorzamento di ciascun elemento vengono aggiornate e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di  $G$ ,  $D$  e  $\gamma_{eff}$  viene ritenuto arbitrariamente accettabile. In genere 5-6 iterazioni sono sufficienti per contenere gli scarti in poche unità percentuali, anche nel caso di comportamenti marcatamente non lineari. Il valore caratteristico  $\gamma_{eff}$  è un valore considerato mediamente rappresentativo della storia temporale  $\gamma(t)$  irregolare cui è soggetto il generico elemento, ed è espresso come un'aliquota  $\alpha$  costante del valore massimo di  $\gamma(t)$ .

Le proprietà dissipative del terreno sono modellate attraverso la matrice di dissipazione denominata "C". Essa deriva dall'assemblaggio delle matrici di dissipazione dei singoli elementi calcolate secondo la formulazione di Rayleigh completa.

L'adozione di una formulazione alla Rayleigh comporta uno smorzamento dipendente dalla frequenza che può condizionare in maniera sensibile i risultati di un'analisi numerica. Per minimizzare tale variazione i coefficienti di Rayleigh vengono calcolati in funzione delle frequenze naturali dell'intero deposito.

In definitiva il software richiede in input, per ciascun materiale, i seguenti parametri:

- peso dell'unità di volume, modulo di taglio e smorzamento a basse deformazioni, coefficiente di Poisson dei materiali;
- la curva di attenuazione con il livello di deformazione tangenziale del modulo di rigidità, normalizzata rispetto al valore iniziale ( $G/G_0$ );
- la curva di variazione del rapporto di smorzamento con il livello di deformazione tangenziale ( $D\%$ );
- la costante  $\alpha$  per il calcolo del valore caratteristico della deformazione tangenziale (effective strain ratio) a partire dal valore massimo di  $\gamma(t)$  (in genere con la regola di Idriss-Sun 1992 pari a  $\alpha = (M_w - 1)/10$  in cui  $M_w =$  magnitudo); nel caso in esame, assumendo  $M_w = 6.14$ , risulta  $\alpha = 0.51$  (strain ratio).

In uscita il codice fornisce:

- Accelerazioni massime in tutti i nodi della mesh.
- Sforzi e deformazioni tangenziali massime in ciascun elemento.
- Storia temporale dell'accelerazione nei nodi selezionati (componenti verticali e orizzontali).

Parallelamente, onde verificare la coerenza delle analisi e della modellazione della mesh in relazione all'assetto geologico-stratigrafico, su alcune verticali caratteristiche sono state condotte analisi numeriche in condizioni monodimensionali tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare ed in cui le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente a quanto fatto dal ben noto codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). Anche tale metodologia, di tipo iterativo, utilizza l'approccio *lineare equivalente* considerando i medesimi dati di input ed al contorno, utilizzando una suddivisione in sismostrati alla stregua di quanto modellato col codice bidimensionale.

La comparazione, oltre a validare i risultati ottenuti, ha altresì consentito di verificare settori in cui è possibile attendersi effetti amplificativi e/o di modifica del moto sismico imputabili a condizioni propriamente 2D per motivi morfologico/stratigrafici e/o topografici.

Generalmente l'entità di questi effetti di valle dipende dalle caratteristiche geometriche della struttura ed in particolare dal rapporto H/L (Shape Ratio) secondo una regola generale che considera:

$$v_0 = \sqrt{1 + \left(2.9 \frac{H}{L}\right)^2}$$

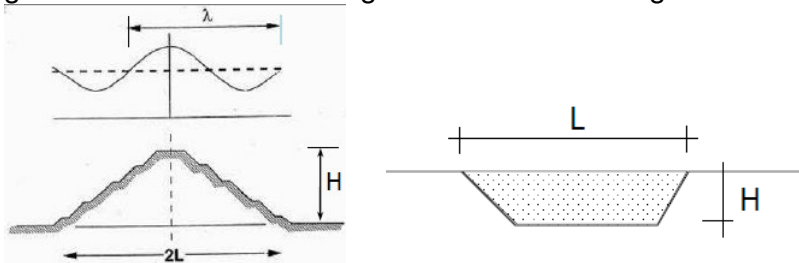
ove

$v_0$ =frequenza fondamentale deposito

H=altezza rilievo – profondità massima valle

L=semilarghezza valle – semilarghezza rilievo

Normalmente si ritiene accettabile una modellazione monodimensionale fintanto che il rapporto  $H/L < 0.1-0.2$ , ma avvicinandosi ai bordi della valle per via della possibile focalizzazione delle onde sismiche (interferenza tra campo d'onda riflesso e rifratto e sulla generazione delle onde di superficie su superfici non piane) i modelli 1D, soprattutto in particolari condizioni stratigrafiche, generalmente non sono in grado di simulare adeguatamente il moto sismico.



Gli effetti della topografia sono significativi quando le dimensioni delle irregolarità sono simili a quelle della lunghezza d'onda delle fasi sismiche incidenti per cui  $2L \approx \lambda$  ove L è la semilarghezza del rilievo e  $\lambda = V/v$  è la lunghezza d'onda della sollecitazione. Generalmente l'effetto è massimo quando  $f=2$ , in cui  $f=2L/\lambda$

Per effettuare tale comparazione sono state identificate 4 verticali di riferimento rispettivamente denominate colonna 1,2,3,4 (vedi figura b)).

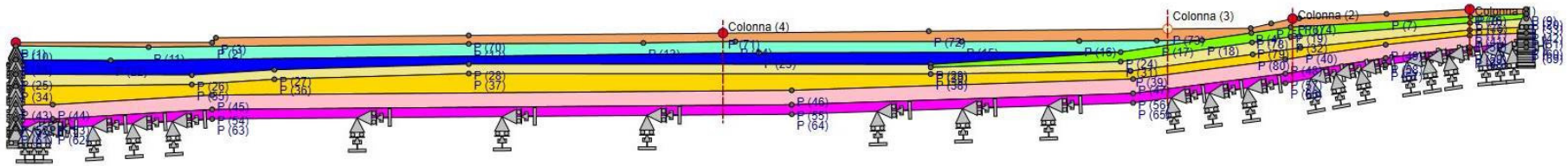


Fig. b) – Discretizzazione, condizioni al contorno, nodi e colonne di verifica 1D e 2D della sezione in studio



Fig. c) – Modello geofisico e sismostratigrafico della sezione in studio

### *Moto di input*

Come previsto da Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, le analisi di Risposta Sismica Locale (RLS) sono state condotte considerando, in ciascuna simulazione, 3 differenti moti sismici al bedrock. In dettaglio, sono stati utilizzati i segnali di riferimento indicati dalla Regione Emilia Romagna nel Del. Ass. Lgs. N° 112 / 2007 R.E.R.

Si tratta di **Accelerogrammi Naturali** estratti dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database", con caratteristiche energetiche e di scuotimento (durata, contenuto in frequenza, ecc.) diverse tra loro, in modo da poter investigare, quanto più possibile, il comportamento del sottosuolo e la sua suscettibilità ai fenomeni amplificativi/dissipativi quando sottoposto ad azioni sismiche differenti.

I 3 segnali di riferimento all'interno della banca dati accelerometrica vengono identificati attraverso i seguenti codici:

1. **000046xa**
2. **000126xa**
3. **000354xa**

Tali segnali, ciascuno scalato all'accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock, risultano spettro-compatibili con lo spettro elastico comunale di riferimento (vedi fig. e) e per cui:

- La forma dello spettro di risposta normalizzato è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%).
- I valori di arefg di ogni comune sono riferiti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni e, nel caso in oggetto, risulta pari a 0.184g.

La "forma generale" dei 3 accelerogrammi (successivamente scalata in valore assoluto per ciascun comune) è riportata in figura d).

Il valore di profondità del bedrock sismico, al quale sono stati ancorati i 3 segnali di riferimento, è stato determinato sia sulla base dell'analisi congiunta delle diverse prove geofisiche in sito (misure DH, hvsr ed in array) sia sulle informazioni derivanti da sondaggi meccanici e pozzi.

Il comportamento geomeccanico/geofisico di tale interfaccia (individuata localmente in corrispondenza dei picchi di frequenza di risonanza basali nell'ambito  $1.0 < f < 2.5$ ) è stato descritto mediante i seguenti parametri:  $\delta = 22$  kN/m<sup>3</sup>,  $V_s = 850$  m/sec e  $D_0 = 0.01$  (smorzamento/damping = 1.0 %).

Il livello freatico medio utilizzato per la modellazione numerica risulta variabile in relazione al sito di verifica.

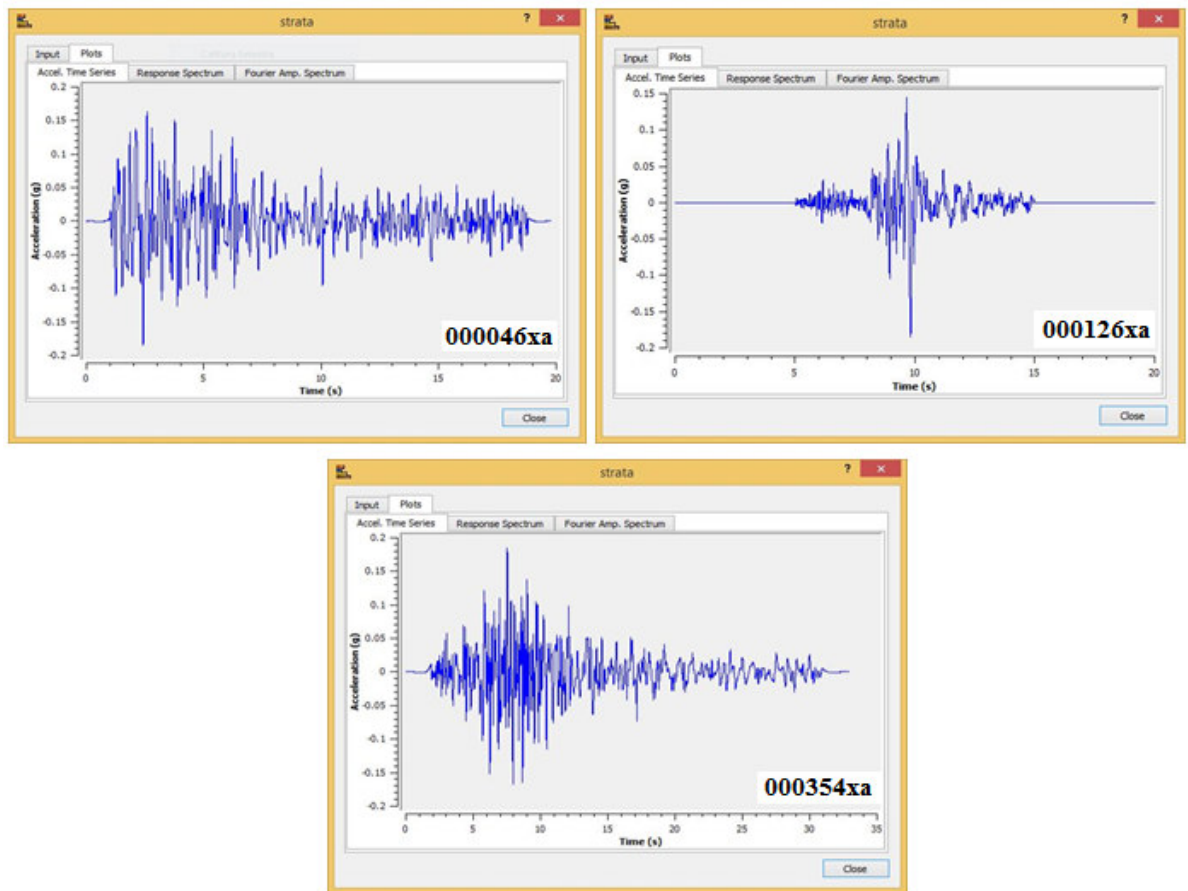


Figura d) - Sismogrammi di riferimento utilizzati come "Input" per le analisi RLS.

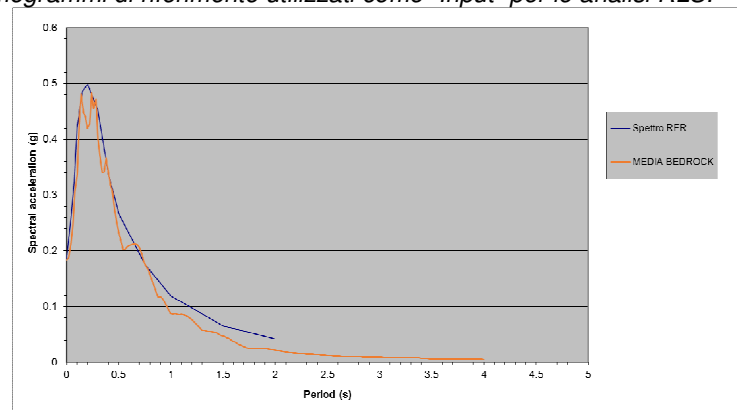


Figura e) - Spettro medio accelerogrammi di input e spettro elastico di riferimento RER di riferimento utilizzati per le analisi RLS

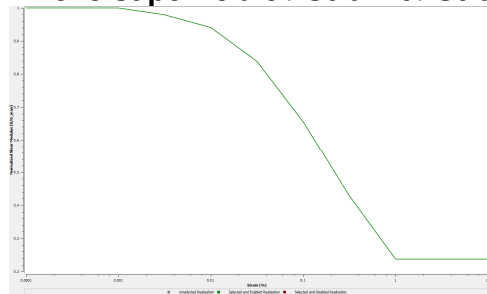
### Modello di sottosuolo e parametri dinamici

Per quanto riguarda la caratterizzazione dinamica dei terreni, al fine di ottenere curve di decadimento del Modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento ( $D\%$ ) rappresentative per l'area, data la varietà tipologica dei materiali presenti in sito, suddivisi secondo 7 tipologie rappresentative (vedi fig. c):

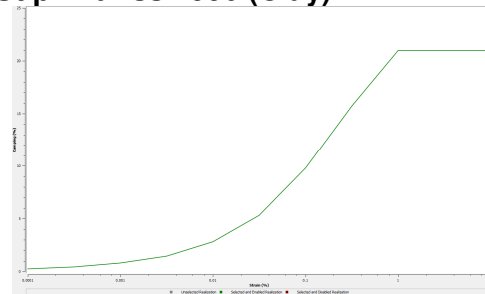
Livello superficiale, Ghiaie Superiori, Ghiaie Inferiori, Substrato Alterato, substrato decompresso superiore, Substrato decompresso inferiore, Sub1 e Sub2.

Per tali materiali, caratterizzati sulla base delle prove geognostiche e di laboratorio, in relazione alle pressioni litostatiche attese, caratteristiche granulometriche, costitutive e di comportamento geomeccanico (OCR, IP, ecc.), sono state utilizzate le seguenti curve di letteratura di seguito riportate (EPRI 93, Seed et Al. 86, Idriss 90):

**Livello superficiale / Sub Alt / Sub Dec Sup – Idriss 1990 (Clay):**

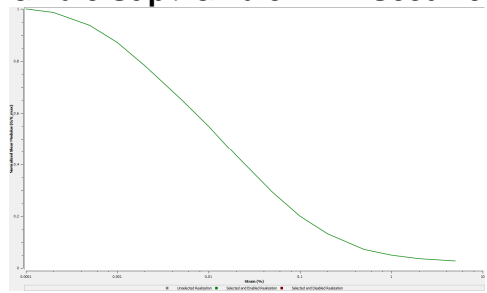


G/G0

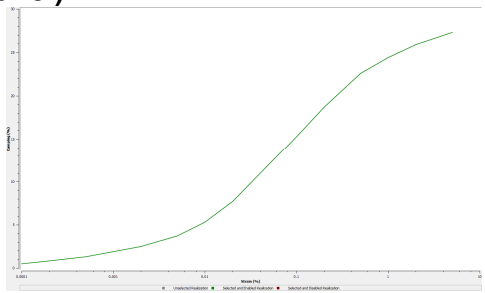


Damping %

**Ghiaie Sup / Ghiaie Inf. – Seed 1986 (gravel):**

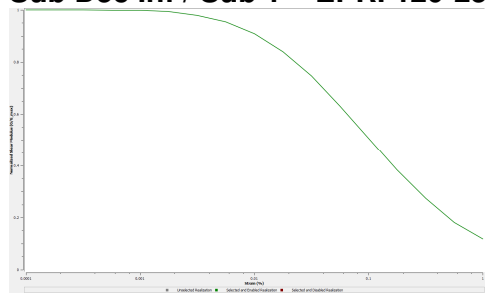


G/G0

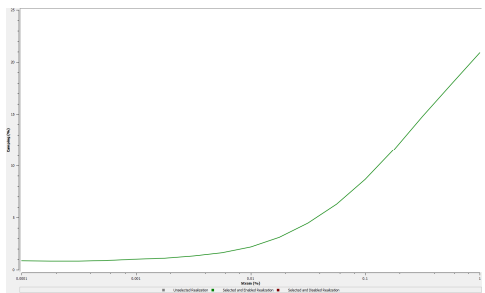


Damping %

**Sub Dec Inf / Sub 1 – EPRI 120-250 ft:**

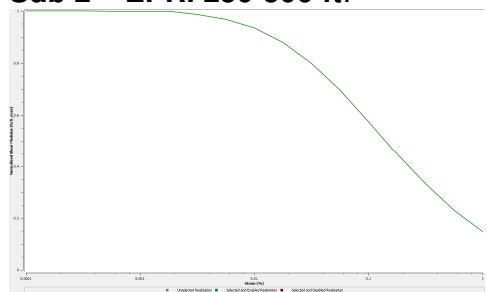


G/G0

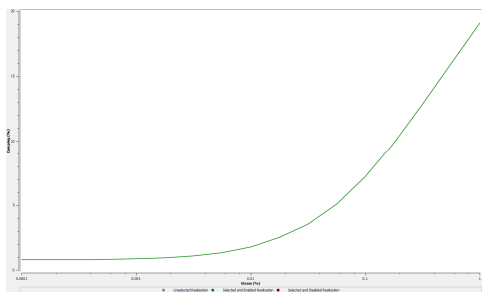


Damping %

**Sub 2 – EPRI 250-500 ft:**



G/G0



Damping %

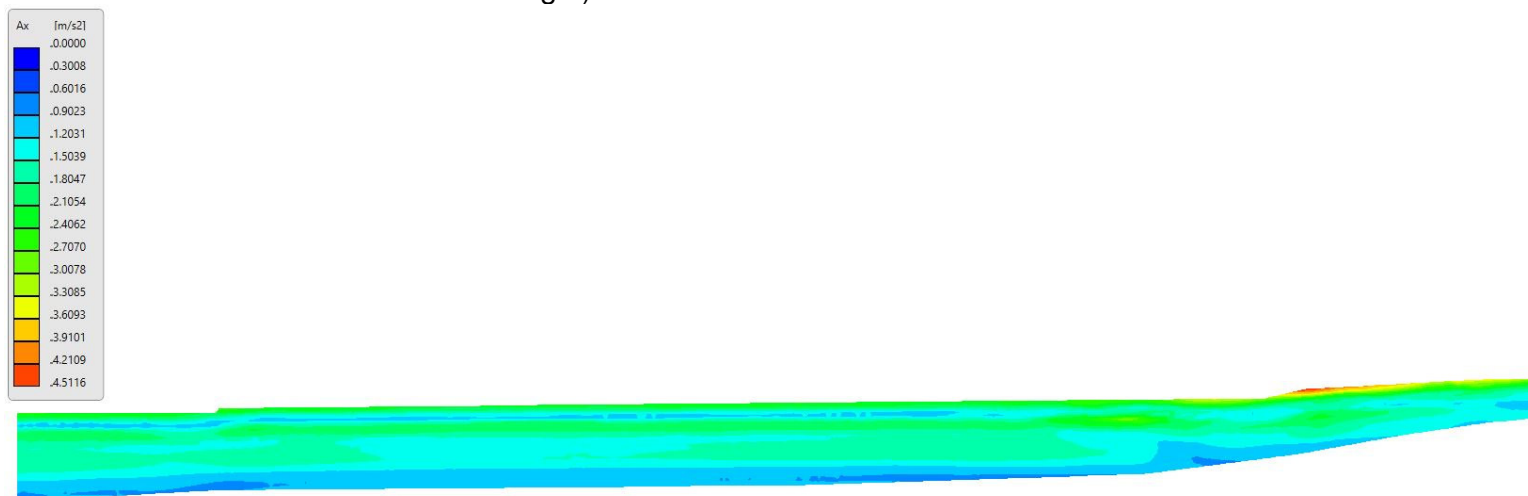
I gradienti di velocità  $V_s$  nel sottosuolo sono stati definiti attraverso le numerose prove geofisiche svolte in corrispondenza dei vari siti di verifica, utilizzando misure dirette per gli orizzonti più superficiali (ove disponibili) e stimandone gli andamenti in profondità sulla base delle prove HVSR.

#### *Spettri di Risposta e Fattori di Amplificazione*

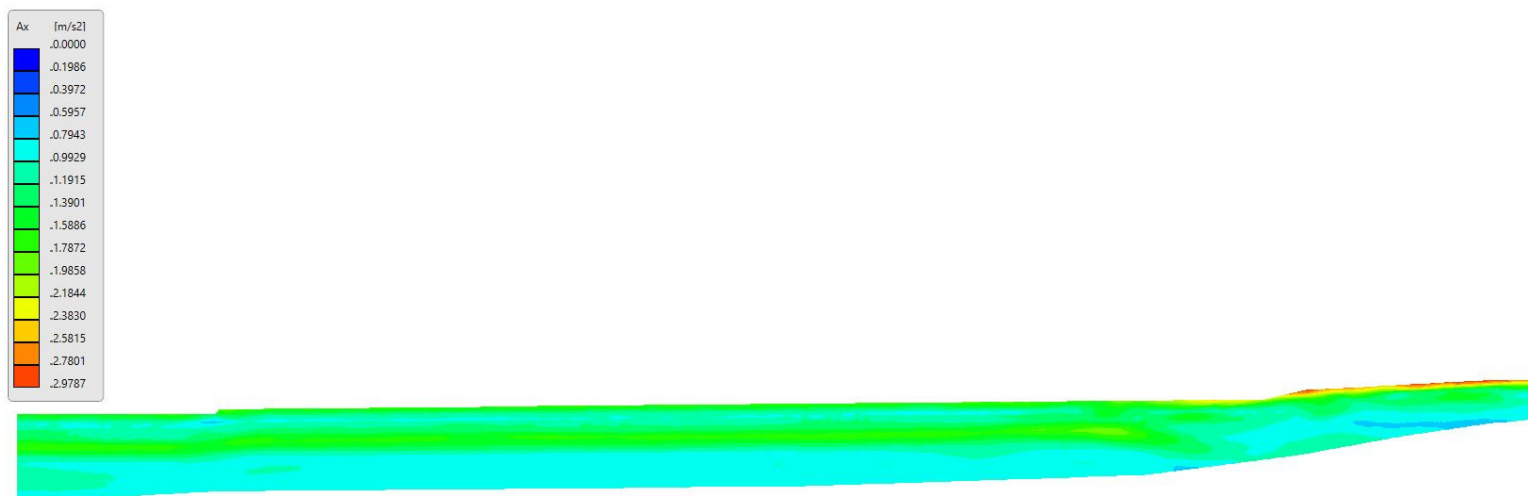
Di seguito sono riportati risultati delle simulazioni RSL condotte in condizioni di *free field* con il software LSR2D (analisi bidimensionale) e STRATA (analisi monodimensionale).

In particolare nelle seguenti fig. f)-g)-h) vengono riportate le sezioni rappresentative dei massimi di accelerazione, spostamento e velocità calcolate per ciascun accelerogramma di riferimento (046xa-126xa-354xa):

Fig. f) - MASSIMI IN ACCELERAZIONE

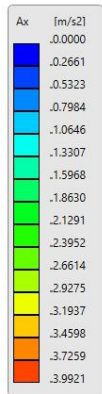


046xa



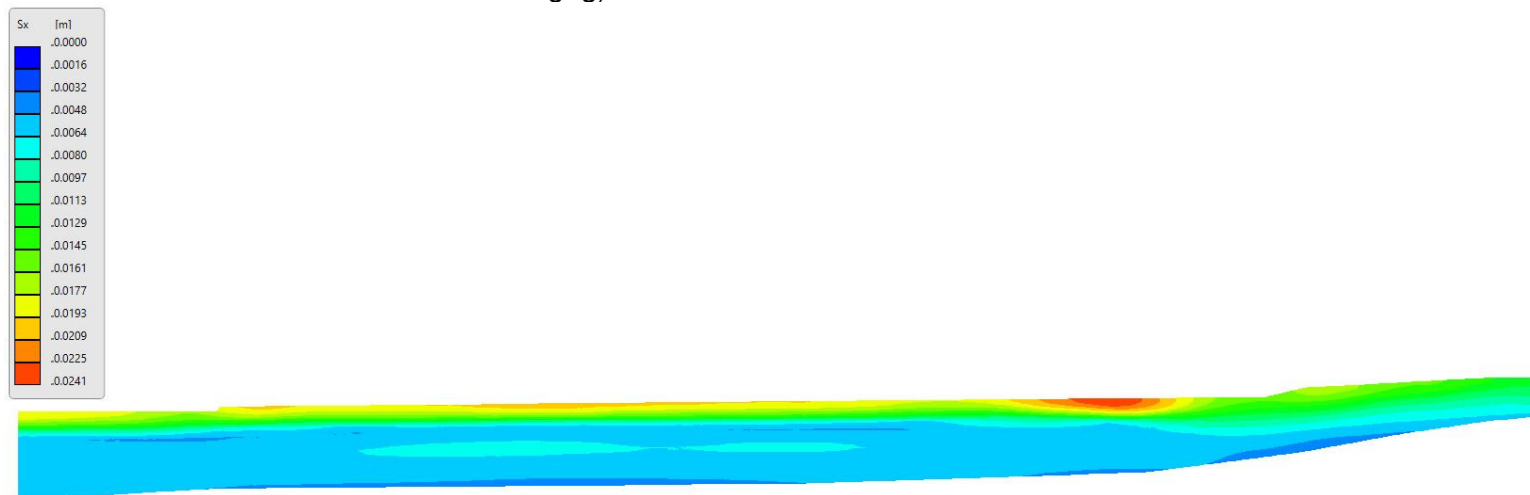
126xa



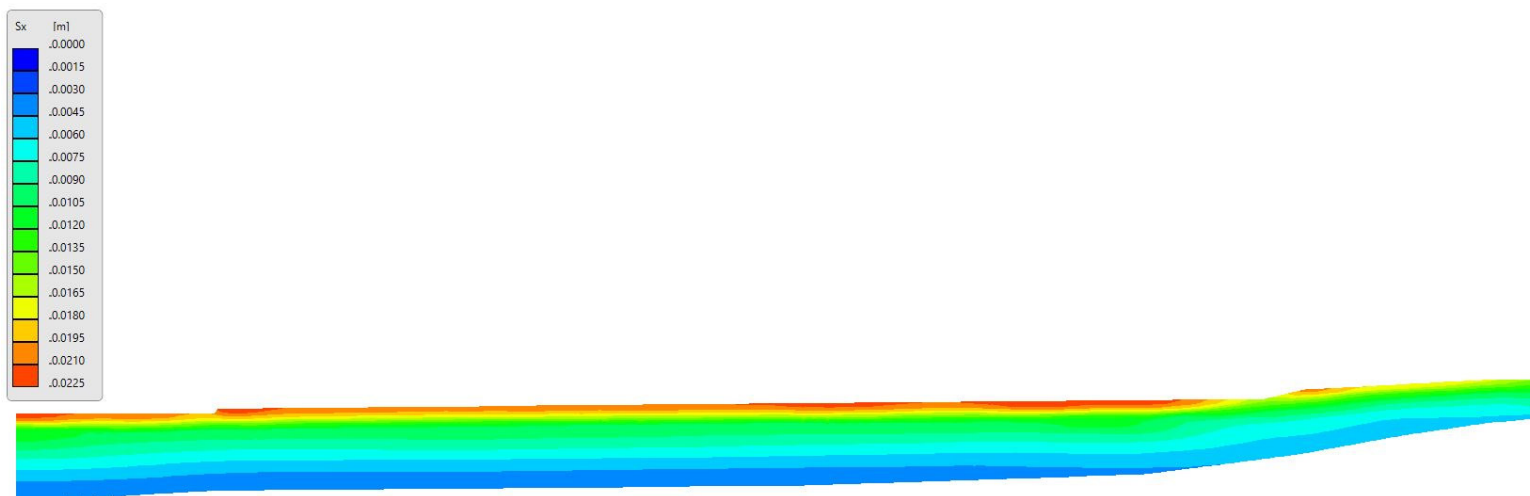


354xa

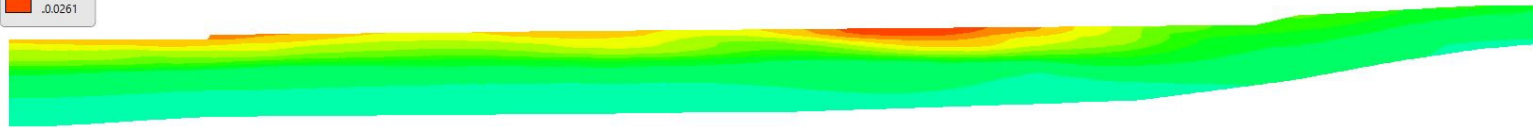
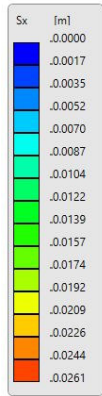
Fig. g) - MASSIMI IN SPOSTAMENTO



046XA

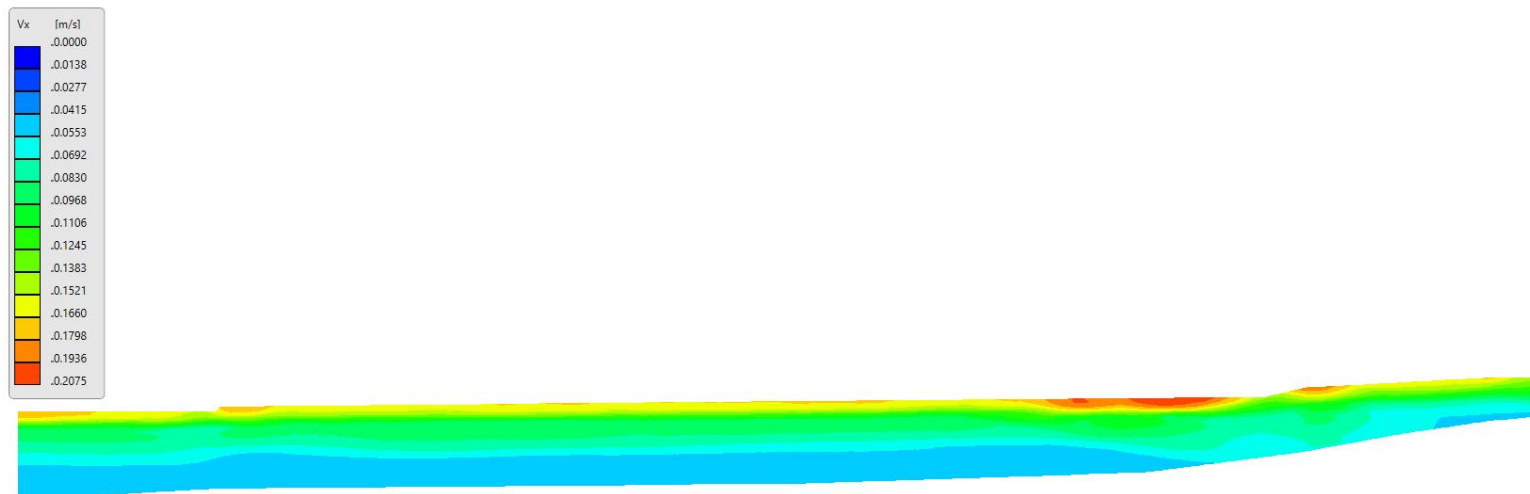


126XA

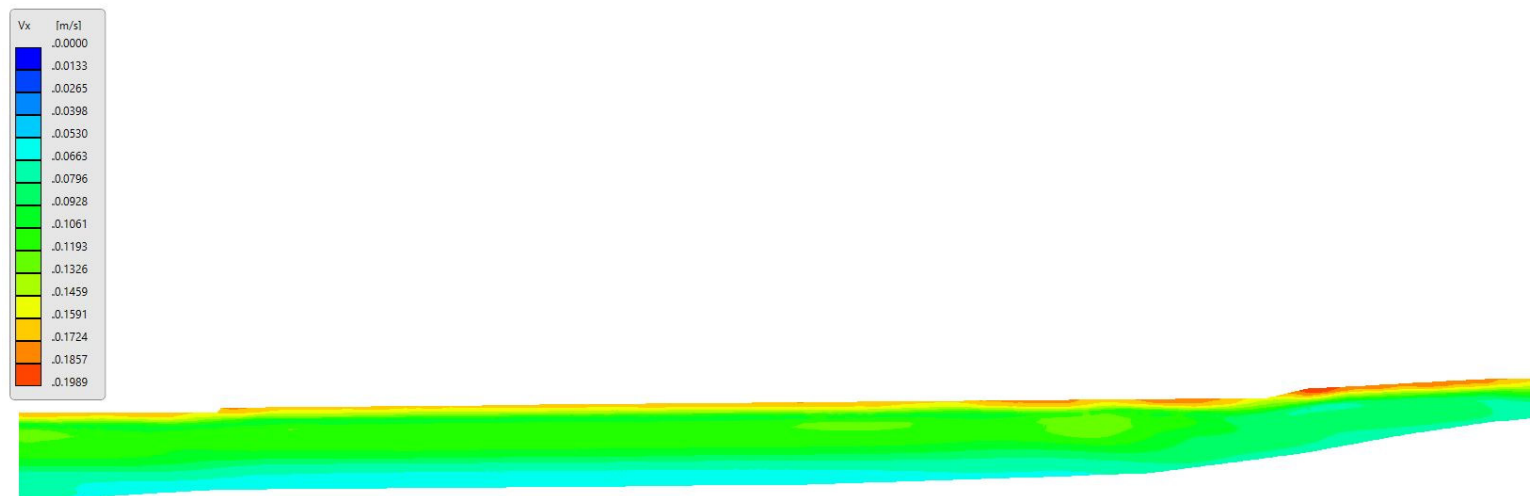


354XA

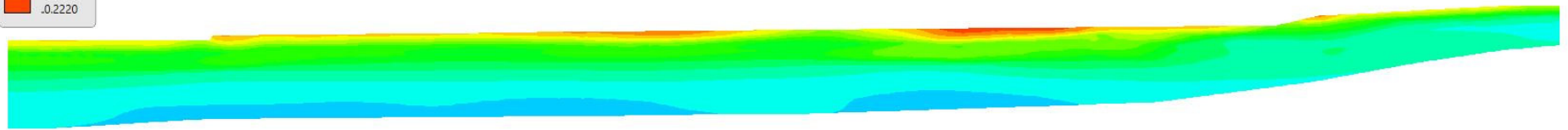
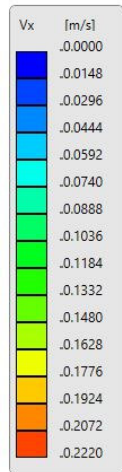
Fig. h) - MASSIMI IN VELOCITA'



046XA



126XA



354XA

Mentre per ciascuna verticale di calcolo (Colonna 1,2,3,4) nelle figure successive vengono visualizzati:

- $a_{gmax}$
- gli spettri elastici di accelerazione in output con smorzamento al 5% riferiti a ciascuno dei 3 segnali con simulazione 2D e spettro medio;
- lo spettro elastico di pseudoaccelerazione medio (media aritmetica dei 3 segnali) al Bedrock ed in output 1D e 2D, con relativi fattori di amplificazione.
- lo spettro elastico di pseudovelocità medio (media aritmetica dei 3 segnali) al Bedrock ed in output 1D e 2D, con relativi fattori di amplificazione.

Per le analisi sui segnali/spettri in fase di input/output sono stati utilizzati i software SeismoSignal 5.1.2 e SeismoMatch vers. 2.1.2, sviluppati dalla soc. SeismoSoft, di cui si dispone della relativa licenza d'uso.

Per ciascuna area di verifica (Colonna 1,2,3,4) sono state, inoltre, calcolate le relative “ $a_{gmax}$ ” al suolo libero (media dei 3 segnali) ed i fattori di amplificazione determinati sulla base del rapporto  $a_{gmax}/a_{gbedrock}$ , dei rapporti spettrali in pseudoaccelerazione (fra periodi 0.1-0.5 sec e 0.5-1.0 sec) ed in pseudovelocità (Intensità di Housner fra periodi 0.1-0.5 sec e 0.5-1.0 sec), i quali vengono sinteticamente riepilogati per la condizione 2D come riportati nelle microzone delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 –  $F_x/F_y/F_z$  o, come più estesamente, illustrati in coda al relativo diagramma.

#### TABELLA RIEPILOGATIVA FATTORI DI AMPLIFICAZIONE – ANALISI 2D

|                            | Colonna1     | Colonna2     | Colonna3     | Colonna4     |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>FA_pga</b>              | <b>2.05</b>  | <b>2.503</b> | <b>1.875</b> | <b>1.491</b> |
| <b>HOUSNER<br/>0.1-0.5</b> | <b>2.332</b> | <b>2.759</b> | <b>2.114</b> | <b>1.624</b> |
| <b>HOUSNER<br/>0.5-1.0</b> | <b>1.589</b> | <b>2.239</b> | <b>2.383</b> | <b>2.404</b> |

I dati numerici relativi ai fattori di amplificazione ed ai singoli spettri vengono inoltre forniti nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dei dati.

**COLONNA 1:**

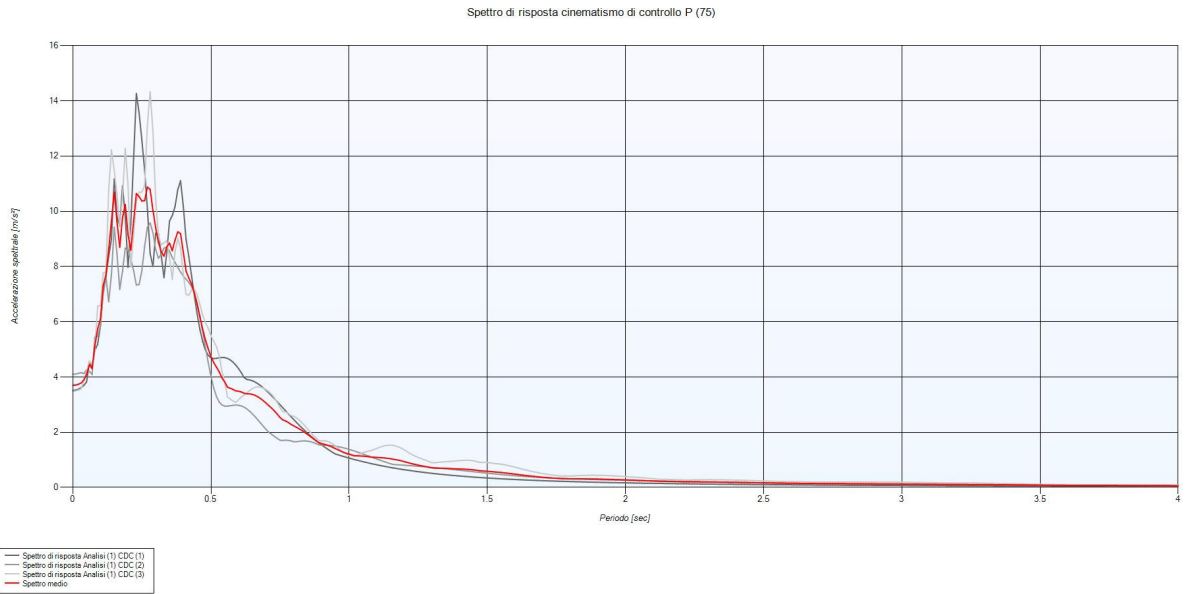
**agmax = 0.377**

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PGAsoil/PgAbedrock

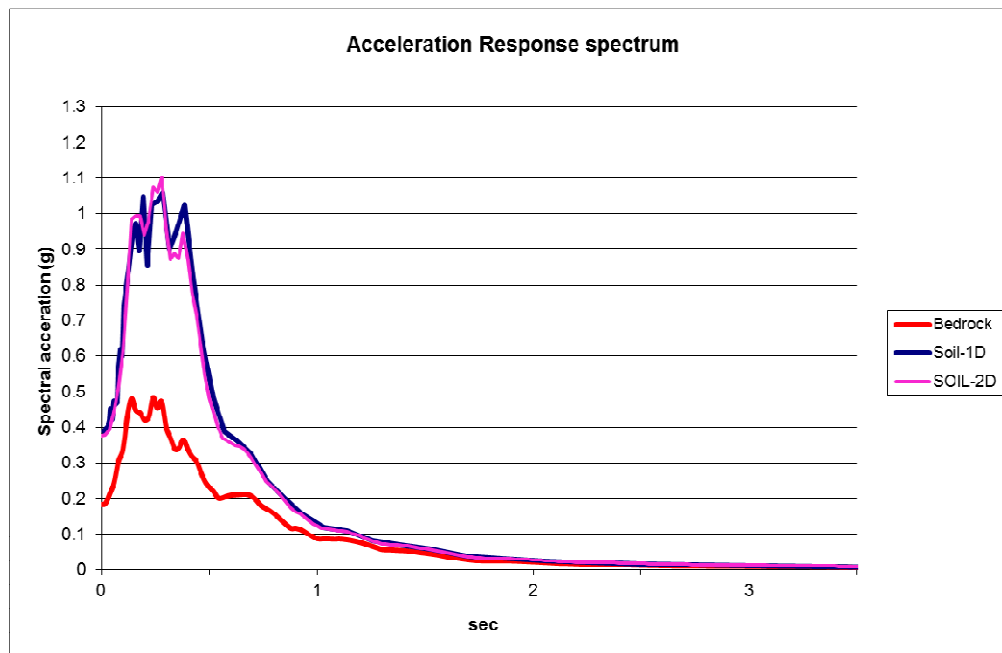
Fa pga\_1D 2.113

Fa pga\_2D 2.050

- SPETTRI DI RISPOSTA SINGOLI SEGNALE E SPETTRO MEDIO 2D

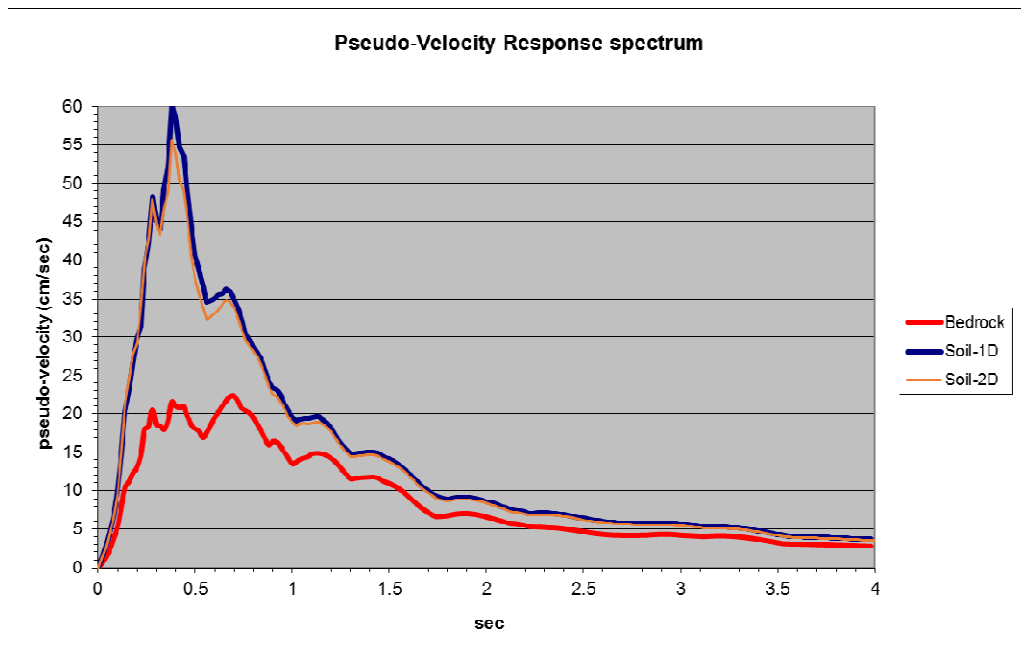


- FATTORI DI AMPLIFICAZIONI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |          |          |       |
|--------------------------|---------|----------|----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock  | Soil     | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.374090 | 2.347 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.162917 | 1.842 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.580698 | 1.933 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |          |          |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.374090 | 0.361961 | 0.968 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.162917 | 0.144431 | 0.887 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.580698 | 0.570075 | 0.982 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |          |          |       |
|                          | Periodo | Bedrock  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.361961 | 2.271 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.144431 | 1.633 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.570075 | 1.898 |

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN PSEUDO-VELOCITA' (HOUSNER)





| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |           |           |       |
|--------------------------|---------|-----------|-----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock   | Soil      | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 16.420941 | 2.418 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 16.009474 | 1.663 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 48.850999 | 1.675 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |           |           |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 13.616828 | 15.842717 | 1.163 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 16.009474 | 15.298230 | 0.956 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 48.850999 | 47.131726 | 0.965 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |           |           |       |
|                          | Periodo | Bedrock   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 15.842717 | 2.332 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 15.298230 | 1.589 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 47.131726 | 1.616 |

**COLONNA 2:**

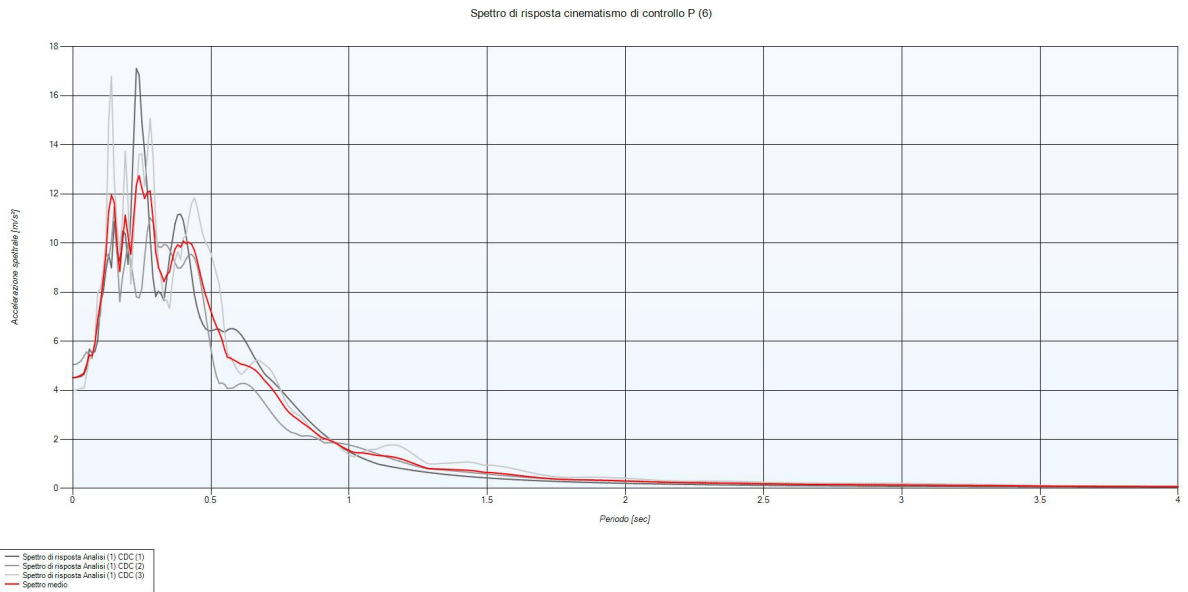
agmax = 0.461

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PGAsoil/PGAbedrock

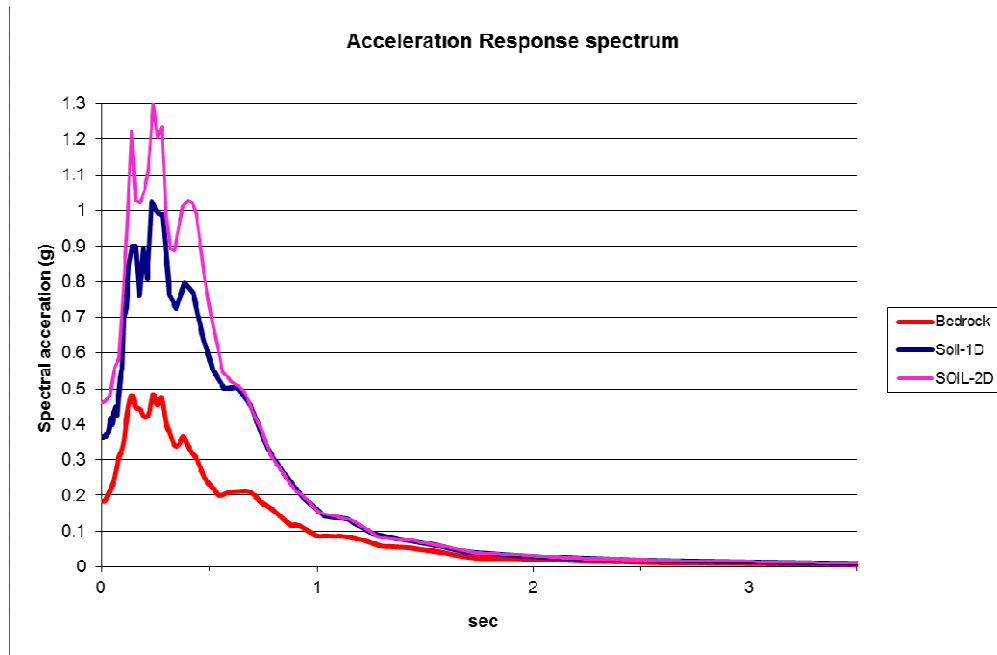
Fa pga\_1D 1.977

Fa pga\_2D 2.503

- SPETTRI DI RISPOSTA SINGOLI SEGNALE E SPETTRO MEDIO 2D

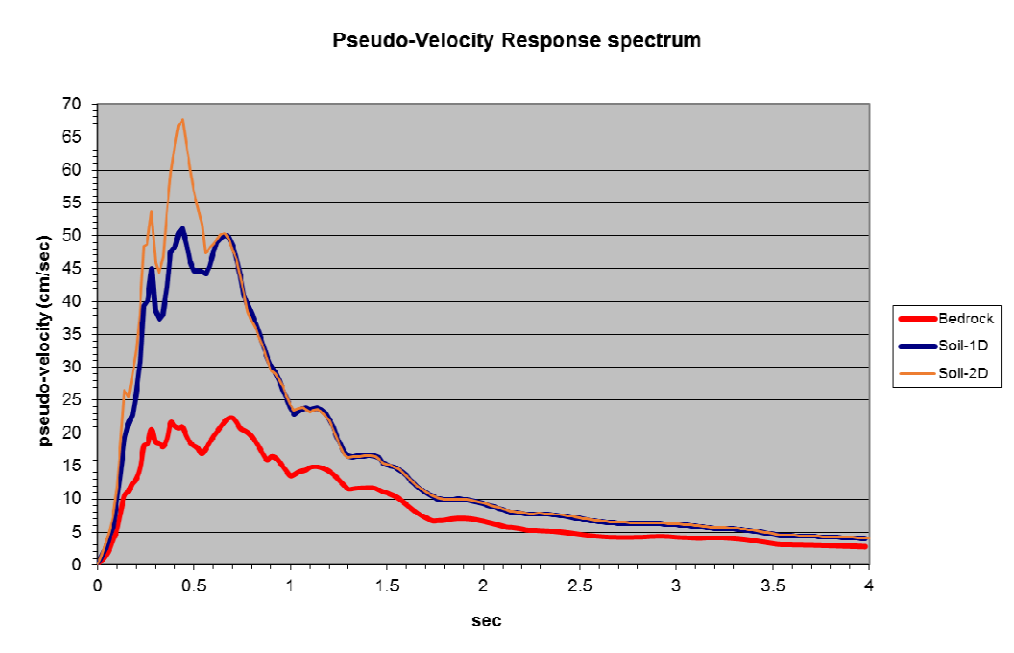


- FATTORI DI AMPLIFICAZIONI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |          |          |       |
|--------------------------|---------|----------|----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock  | Soil     | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.340365 | 2.136 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.206748 | 2.338 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.598504 | 1.992 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |          |          |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.340365 | 0.420722 | 1.236 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.206748 | 0.205773 | 0.995 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.598504 | 0.697964 | 1.166 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |          |          |       |
|                          | Periodo | Bedrock  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.420722 | 2.640 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.205773 | 2.327 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.697964 | 2.324 |

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN PSEUDO-VELOCITA' (HOUSNER)



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |           |           |              |
|--------------------------|---------|-----------|-----------|--------------|
|                          | Periodo | Bedrock   | Soil      | FA           |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 14.847730 | <b>2.186</b> |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 20.762619 | <b>2.157</b> |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 54.188698 | <b>1.858</b> |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |           |           |              |
|                          | Periodo | SOIL-1D   | SOIL-2D   | FA           |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 14.847730 | 18.741591 | <b>1.262</b> |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 20.762619 | 21.560485 | <b>1.038</b> |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 54.188698 | 58.664034 | <b>1.083</b> |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |           |           |              |
|                          | Periodo | Bedrock   | SOIL-2D   | FA           |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 18.741591 | <b>2.759</b> |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 21.560485 | <b>2.239</b> |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 58.664034 | <b>2.012</b> |

### COLONNA 3:

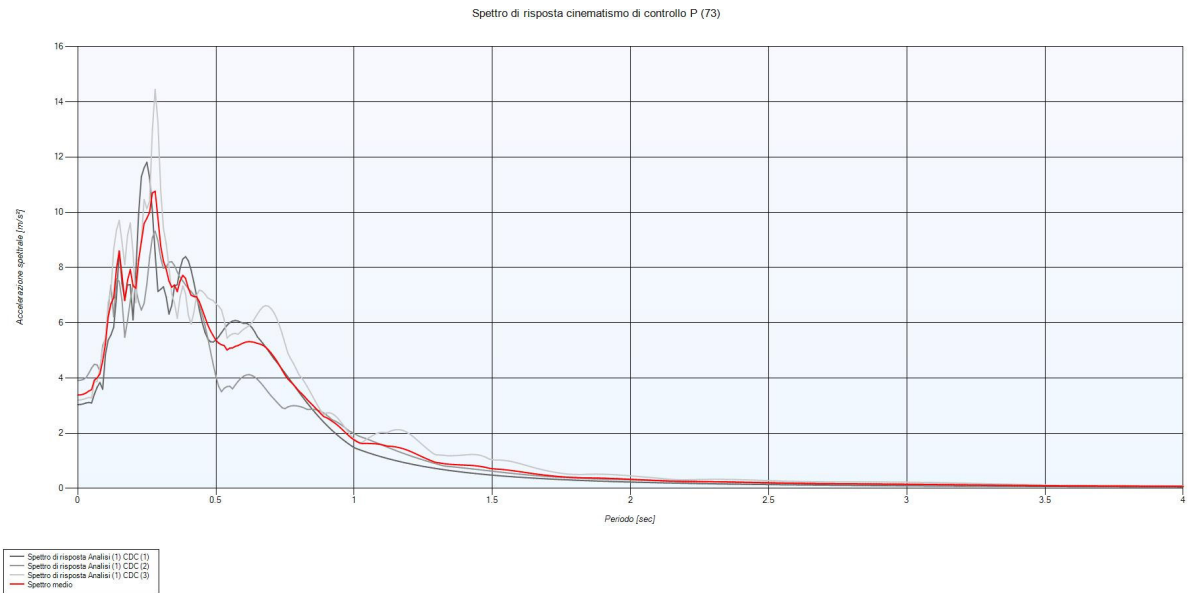
agmax = 0.345

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PGAsoil/PGAbedrock

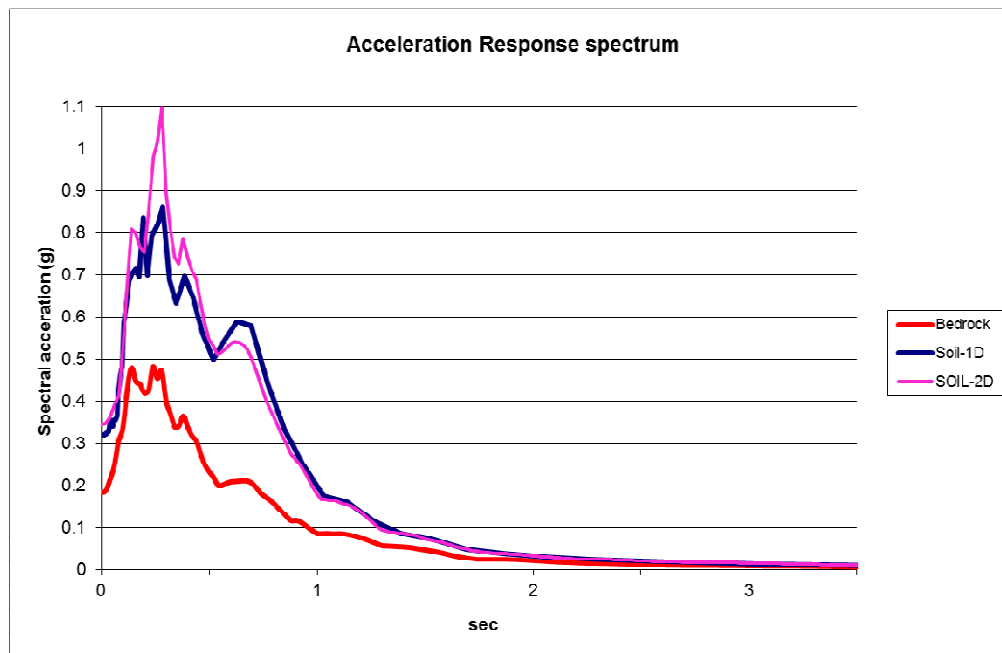
Fa pga\_1D 1.744

Fa pga\_2D 1.875

- SPETTRI DI RISPOSTA SINGOLI SEGNALE E SPETTRO MEDIO 2D

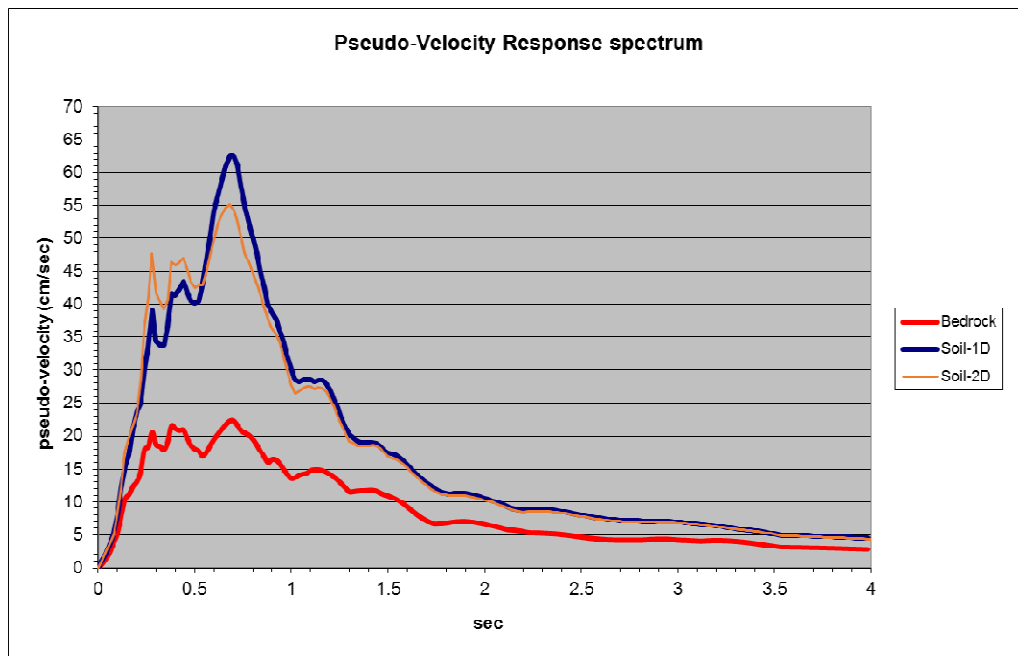


- FATTORI DI AMPLIFICAZIONI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |          |          |       |
|--------------------------|---------|----------|----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock  | Soil     | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.291738 | 1.830 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.239685 | 2.710 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.600175 | 1.998 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |          |          |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.291738 | 0.321396 | 1.102 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.239685 | 0.212601 | 0.887 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.600175 | 0.620588 | 1.034 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |          |          |       |
|                          | Periodo | Bedrock  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.321396 | 2.017 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.212601 | 2.404 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.620588 | 2.066 |

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN PSEUDO-VELOCITA' (HOUSNER)



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |           |           |       |
|--------------------------|---------|-----------|-----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock   | Soil      | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 12.764557 | 1.879 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 24.835872 | 2.580 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 59.585762 | 2.043 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |           |           |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 12.764557 | 14.357443 | 1.125 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 24.835872 | 22.945959 | 0.924 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 59.585762 | 58.457783 | 0.981 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |           |           |       |
|                          | Periodo | Bedrock   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 14.357443 | 2.114 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 22.945959 | 2.383 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 58.457783 | 2.005 |

**COLONNA 4:**

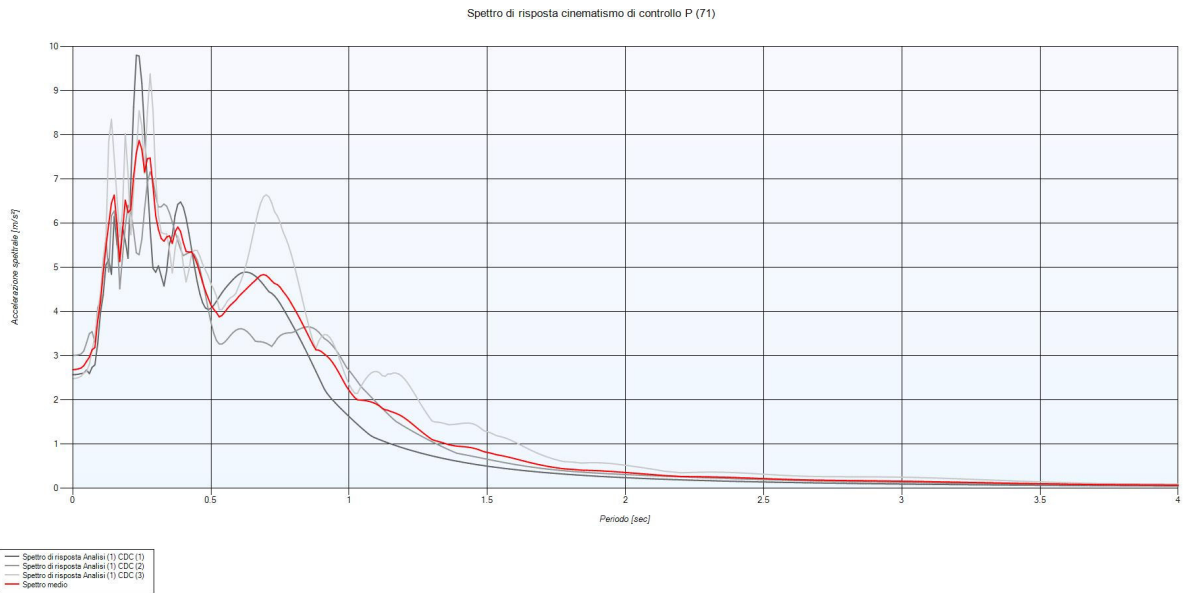
**agmax = 0.274**

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PGAsoil/PGAbedrock

Fa pga\_1D 1.571

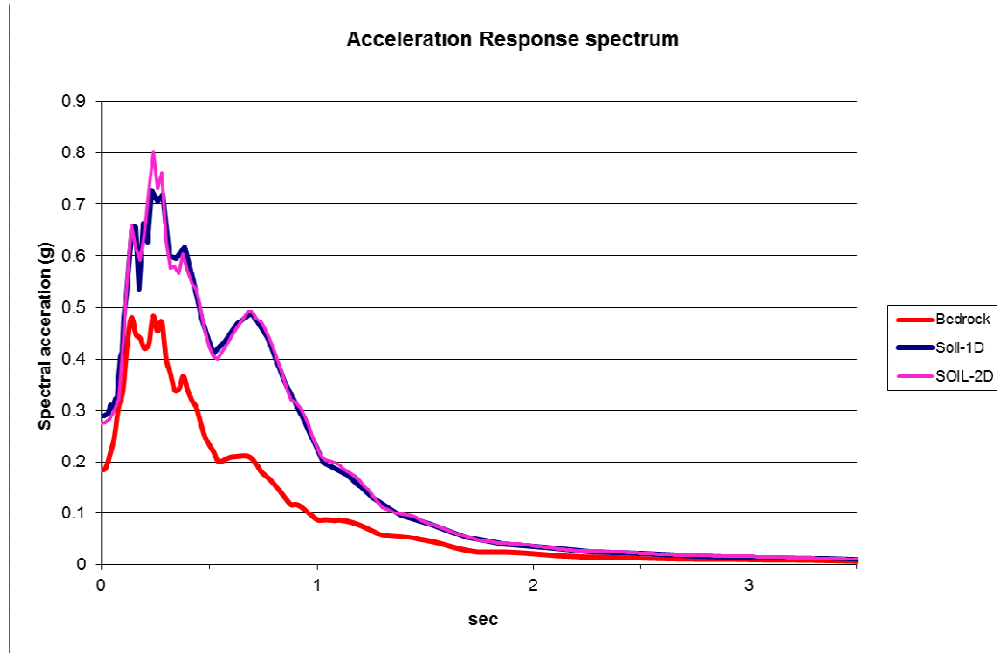
Fa pga\_2D 1.491

- SPETTRI DI RISPOSTA SINGOLI SEGNALE E SPETTRO MEDIO 2D



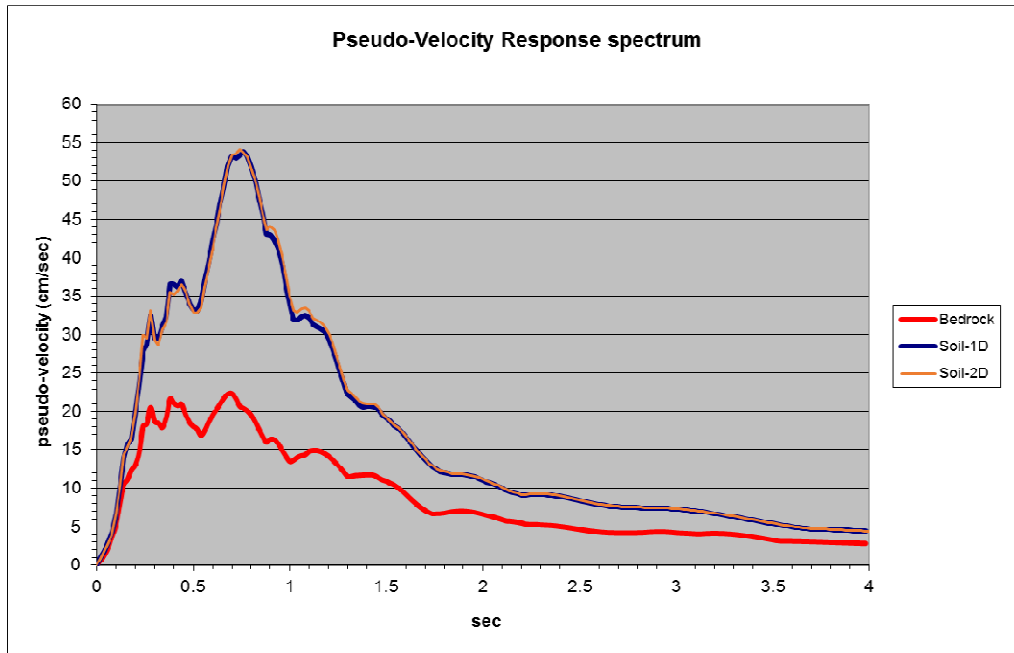


- FATTORI DI AMPLIFICAZIONI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |          |          |       |
|--------------------------|---------|----------|----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock  | Soil     | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.252364 | 1.583 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.219155 | 2.478 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.552418 | 1.839 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |          |          |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.252364 | 0.248614 | 0.985 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.219155 | 0.207182 | 0.945 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.552418 | 0.559420 | 1.013 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |          |          |       |
|                          | Periodo | Bedrock  | SOIL-2D  | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 0.159377 | 0.248614 | 1.560 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 0.088434 | 0.207182 | 2.343 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 0.300387 | 0.559420 | 1.862 |

- FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN PSEUDO-VELOCITA' (HOUSNER)



| AMPLIFICAZIONE - 1D      |         |           |           |       |
|--------------------------|---------|-----------|-----------|-------|
|                          | Periodo | Bedrock   | Soil      | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 11.049373 | 1.627 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 23.075057 | 2.397 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 58.131533 | 1.993 |
| RAPPORTO SPETTRALE 2D/1D |         |           |           |       |
|                          | Periodo | SOIL-1D   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 11.049373 | 11.033926 | 0.999 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 23.075057 | 23.143654 | 1.003 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 58.131533 | 58.604061 | 1.008 |
| AMPLIFICAZIONE - 2D      |         |           |           |       |
|                          | Periodo | Bedrock   | SOIL-2D   | FA    |
| INT SPETT.               | 0.1-0.5 | 6.792169  | 11.033926 | 1.625 |
| INT SPETT.               | 0.5-1.0 | 9.627433  | 23.143654 | 2.404 |
| INT SPETT.               | 0.1-2.5 | 29.162682 | 58.604061 | 2.010 |

## RISULTATI ANALISI RSL

I dati numerici relativi ai fattori di amplificazione ed ai singoli spettri, anche in relazione al confronto tra condizioni 1D e 2D, pongono in evidenza i seguenti aspetti:

- a) La sezione analizzata è adeguatamente rappresentativa per una definizione del modello geofisico locale e le frontiere laterali non risultano apportare alcun elemento di alterazione “artificiale” al moto sismico atteso (imputabile al filtraggio degli smorzatori viscosi propri del modello di calcolo); in ogni caso tali frontiere risultano sufficientemente lontane dalle aree urbanizzate/urbanizzabili (e relative microzone) come individuate nelle Carte di microzonazione sismica di livello 3 – Fx/Fy/Fz.
- b) Le aree sottoposte a 3° Livello di approfondimento, suddivise in microzone, sono state definite secondo un congruo intorno alla sezione di verifica, ove caratterizzate da un adeguato grado di omogeneità geologico-strutturale e geomorfologica e sulla base alle indagini geognostiche e geofisiche utilizzate.
- c) Lungo un limitato tratto di sezione, in corrispondenza della chiusura laterale dei depositi alluvionali (in condizioni di pinch-out) e delle scarpate morfologiche presenti al piede del pendio (rif. colonne 2 e 3), anche per via della modesta velocità di propagazione di Vs nei terreni superficiali, le geometrie dei depositi e dei profili topografici tendono ad avere dimensioni comparabili con le lunghezze d'onda relative a frequenze medio-elevate ( $f \geq 2-3$  Hz), determinando fenomeni amplificativi per condizioni 2D soprattutto in corrispondenza del tratto a basso periodo degli spettri di risposta in pseudoaccelerazione (FA 01.-0.5 sec) e pseudovelocità (Housner 0.1-0.5 sec); tale condizione, nei segmenti di interesse, porta ad amplificazioni talora maggiori del 25% rispetto alla simulazione 1D. Diversamente nei tratti di spettro elastico riferiti a periodi medio-alti ( $T > 0.5 - 0.6$  sec) gli spettri 1D e 2D risultano pressoché coincidenti.
- d) In relazione all'assetto stratigrafico e morfologico generale, ad eccezione della casistica di cui al precedente punto c), i risultati ottenuti arealmente risultano sostanzialmente coerenti con situazioni di analisi monodimensionale (1D) per gran parte del territorio urbanizzato/urbanizzabile interessato dalla sezione. In tal caso l'azione sismica risulta prevalentemente condizionata dall'assetto stratigrafico e dall'entità dei contrasti di impedenza tra terreni superficiali e con il bedrock, ovvero dalla posizione di quest'ultimo rispetto alla superficie libera; tale situazione risulta particolarmente evidente, al netto dei valori assoluti ottenibili dalle simulazioni del moto sismico (in accelerazione, velocità e spostamento), nelle verifiche effettuate in corrispondenza delle Colonne 1 e 4; in tal caso gli spettri elastici simulati in condizioni 2D e 1D risultano sostanzialmente coincidenti a meno di piccolissime differenze nel tratto a bassissimo periodo ( $T < 0.1-0.15$  sec), perlopiù imputabile alle modalità di discretizzazione della mesh in relazione alle frequenze e lunghezze d'onda di interesse.
- e) In corrispondenza della zona di pianura (rif. colonna 4) i valori di FA\_pga ed FA-Housner 0.1-0.5 sec derivati tramite appropriate analisi di RSL 1D e 2D generalmente presentano entità inferiori rispetto ai fattori di amplificazione ottenibili tramite approccio tabellare per la microzonazione di 2° Livello;

- diversamente per periodi spettrali medio-alti (FA-Housner 0.5-1.0 sec) i coefficienti amplificativi risultano maggiori.
- f) In ambito collinare (rif. colonna 1), a meno di particolari fenomeni amplificativi 2D, i valori di FA\_pga ed FA-Housner 0.1-0.5 sec derivati tramite appropriate analisi di RSL 1D e 2D generalmente presentano entità comparabili rispetto ai fattori di amplificazione ottenibili tramite approccio tabellare per la microzonazione di 2° Livello; diversamente per periodi spettrali medio-alti (FA-Housner 0.5-1.0 sec) i coefficienti amplificativi risultano inferiori.
- g) I risultati, in termini di spettri e fattori di amplificazione, vengono illustrati nelle Carte di microzonazione sismica di livello 3 – Fx/Fy/Fz nonché forniti nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dei dati per la PC.

## 9. ELABORATI CARTOGRAFICI.

### 9.1 Carta delle Indagini.

La Carta delle Indagini, restituita alla scala 1:5000 (Tav. 1 e Tav. 2) per una migliore lettura, è stata elaborata cartografando le indagini pregresse reperite consultando il Data Base Geognostico della Regione Emilia Romagna e mediante l'accesso all'archivio comunale di San Giovanni in Marignano. Tali indagini pregresse sono state integrate con nuove indagini eseguite specificatamente per il presente lavoro di Microzonazione Sismica.

In sintesi sono state elaborate e cartografate:

Indagini geognostiche pregresse:

#### **Da Banca Dati Geognostica RER:**

- N. 20 sondaggi a carotaggio continuo.
- N. 11 pozzi per acqua.
- N. 14 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 186 prove penetrometriche dinamiche leggere DL.

#### **Da archivio comune di San Giovanni in Marignano:**

- N. 15 sondaggi a carotaggio continuo.
- N. 3 pozzi per acqua.
- N. 157 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 14 prove penetrometriche dinamiche pesanti DP.
- N. 65 prove penetrometriche dinamiche leggere DL.

Indagini geofisiche pregresse:

#### **Da archivio comune di San Giovanni in Marignano:**

- N. 1 Cross Hole.
- N. 1 Down Hole.
- N. 48 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.
- N. 26 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW.
- N. 1 prospezione simiche a rifrazione passiva con metodo ReMi.

#### **Nuove indagini geofisiche:**

- N. 31 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

Mediante tale lavoro è stata ottenuta una buona copertura territoriale.

## 9.2 Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica.

La Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica riporta tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate dalla consultazione della cartografia geologica esistente sia regionale (alla scala 1:10.000) che nazionale (alla scala 1:50.000). Inoltre sono stati consultati numerosi studi pregressi depositati presso l'archivio del comune di San Giovanni in Marignano realizzati per la formazione degli strumenti urbanistici comunali, per il recente ampliamento dell'autostrada, o semplicemente per interventi edilizi.

Questi dati sono stati necessari alla definizione del modello geologico del sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

Sono stati cartografati i rari affioramenti del substrato marino visibili in corrispondenza di scarpate o scavi, prevalentemente antropici, lungo le sponde di erosione fluviali od in corrispondenza delle zone in dissesto.

Sono stati cartografati i terreni di copertura (con spessori > 3 metri) suddivisi su base granulometrica con l'indicazione dell'ambiente genetico deposizionale.

Sono state cartografate le instabilità di versante con distinzione dello stato di attività e della tipologia di movimento.

Sono state cartografate le forme di superficie e sepolte. In particolare si segnalano le conoidi alluvionali e le falde detritiche della zona collinare di Montelupo e Santa Maria in Pietrafitta.

Tra le forme sepolte è particolarmente importante la scarpata di raccordo delle colline Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta con la pianura alluvionale.

Sono stati cartografati gli elementi tettonico strutturali quali faglie, assi sinclinali ed assi anticlinali.

Infine tra gli elementi geologici e idrologici sono state cartografate la giacitura degli strati, in corrispondenza degli affioramenti del substrato marino e l'indicazione dei sondaggi con la relativa profondità in quanto non hanno raggiunto il substrato rigido.

Sono inoltre rappresentate le tracce delle tre sezioni elaborate. Sono state elaborate tre sezioni geologiche denominate Sezione 1, Sezione 2, Sezione 3.

La Sezione 1 e la Sezione 2 corrispondono alle Sezioni 130 e 131 della Regione Emilia Romagna, ne deriva quindi una modifica sulla base delle indagini prese a riferimento.

La Sezione 3, trasversale alle Sezioni 1 e 2, partendo dalle colline di Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta, passando per tutto l'abitato di San Giovanni in Marignano, intercetta pressoché perpendicolarmente la scarpata sepolta di raccordo delle colline Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta con la pianura alluvionale.

Le tre sezione elaborate sono considerate le più significative in funzione delle caratteristiche del territorio.

## 9.3 Carta del tetto delle ghiaie.



Relativamente all'area di pianura, è stata redatta la carta dei depositi di sottosuolo che possono influenzare il moto sismico in superficie.

Sono stati cartografati i depositi grossolani affioranti del Torrente Conca con campitura aerea, mentre per quanto riguarda i depositi grossolani sepolti, è stata definita una distribuzione puntuale con colorazione distinta per classi di profondità.



A seguire si riporta lo stralcio di legenda.

### Depositi grossolani affioranti

-  distribuzione puntuale
-  distribuzione areale

### Depositi grossolani sepolti

#### Distribuzione puntuale



-  profondità < di 10 mt dal p.c.
-  profondità compresa tra 10 e 30 metri dal p.c.

Fig. 11. Stralcio Legenda della Carta del Tetto delle Ghiaie.

La carta delle profondità del tetto delle ghiaie è stata restituita alla scala di 1:10.000.

## 9.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni.






La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata ottenuta mediante le indagini di microtremore a stazione singola con tecnica HVSR.

I dati ottenuti dalle elaborazioni di tali indagini, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale dello strumento, consentono infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza fondamentale del sottosuolo (valore  $f_0$  = Picco H/V) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze individuate.

Bisogna infatti considerare che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di "risonanza" e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito).

E' stato definito un intervallo di valori significativo dei valori di  $F_0$  per le caratteristiche del sottosuolo di San Giovanni in Marignano come segue:

### Frequenze naturali dei terreni

-   $f_0 \leq 2.0$  Hz
-   $2.0 < f_0 \leq 5.0$  Hz
-   $5.0 < f_0 \leq 6.5$  Hz
-   $6.5 < f_0 \leq 8.0$  Hz
-   $f_0 > 8.0$  Hz

La carta è stata elaborata riportando tutti i punti di misura con associato sia il valore del picco significativo  $f_0 = \text{Max}H/V$  corrispondente alla frequenza fondamentale di risonanza, con il relativo valore del rapporto H/V. Inoltre ove ritenuti significativi si sono associati anche i valori di  $f_1$  e  $f_2$  e del relativo valore di H/V di altri picchi. L'intervallo di frequenza considerato è 0.1-20Hz.

E' opportuno comunque ricordare che esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

La carta che ne deriva mostra:

- Nella zona di pianura l'andamento dello spessore delle coperture di terrazzo fluviale a granulometria fine soprastanti le ghiaie (considerate bedrock like) determina il valore di  $f_0$ . Quando lo spessore è maggiore di 30 metri tale valore è  $1\text{Hz} < f_0 < 2\text{Hz}$ , spessori compresi fra 30 e 10 metri determinano valori  $2\text{Hz} < f_0 < 8\text{Hz}$  e spessori minori di 10 metri determinano valori di  $f_0 > 8\text{Hz}$ .

- Nelle zone di collina (Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta), il valore di  $f_0$  è sempre spostato verso le basse-medie frequenze con  $f_0 < 5\text{Hz}$ , caratterizzate dai depositi eluvio-colluviali che ricoprono il substrato geologico.

Relativamente l'ampiezza del rapporto H/V i valori riscontrati sono tendenzialmente  $\leq 3$  in tutto il territorio comunale.

La Carta delle frequenze naturali dei terreni è stata restituita alla scala di 1:10.000.

## 9.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

E' il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Sulla base degli elementi individuati, precedentemente descritti e già riportati nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, è stata redatta la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. L'elaborato è stato restituito alla scala 1:10.000.

In funzione delle informazioni rappresentate, la legenda è distinta nelle seguenti parti:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.
- Zone suscettibili di instabilità.
- Forme di superficie e sepolte.
- Tracce di sezione topografica.
- Punti di misura del rumore ambientale.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento di Protezione Civile e gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica MS versione. 2.0, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica.

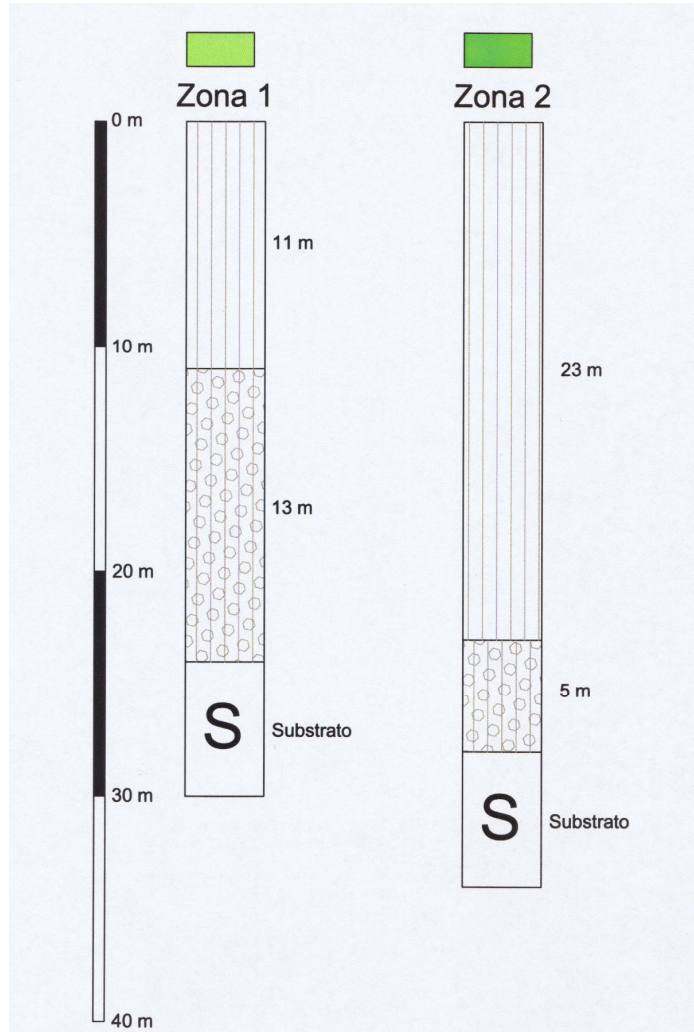
Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi.

### **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI.**

**Zona 1** – Coperture di terrazzo fluviale costituite da argille limose e limi argillosi, inorganici, di bassa plasticità soprastanti ghiaie in matrice limosa. Le ghiaie sono rinvenibili ad una profondità variabile dai 6 ai 15 metri. Il loro spessore varia dai 6 ai 20 metri. A seguire il substrato geologico. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

**Zona 2** – Coperture di terrazzo fluviale costituite da argille limose e limi argillosi, inorganici, di bassa plasticità soprastanti ghiaie in matrice limosa. Le ghiaie sono rinvenibili ad una profondità variabile dai 20 ai 27 metri. Il loro spessore varia da 1 a 10 metri. A seguire il substrato geologico. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

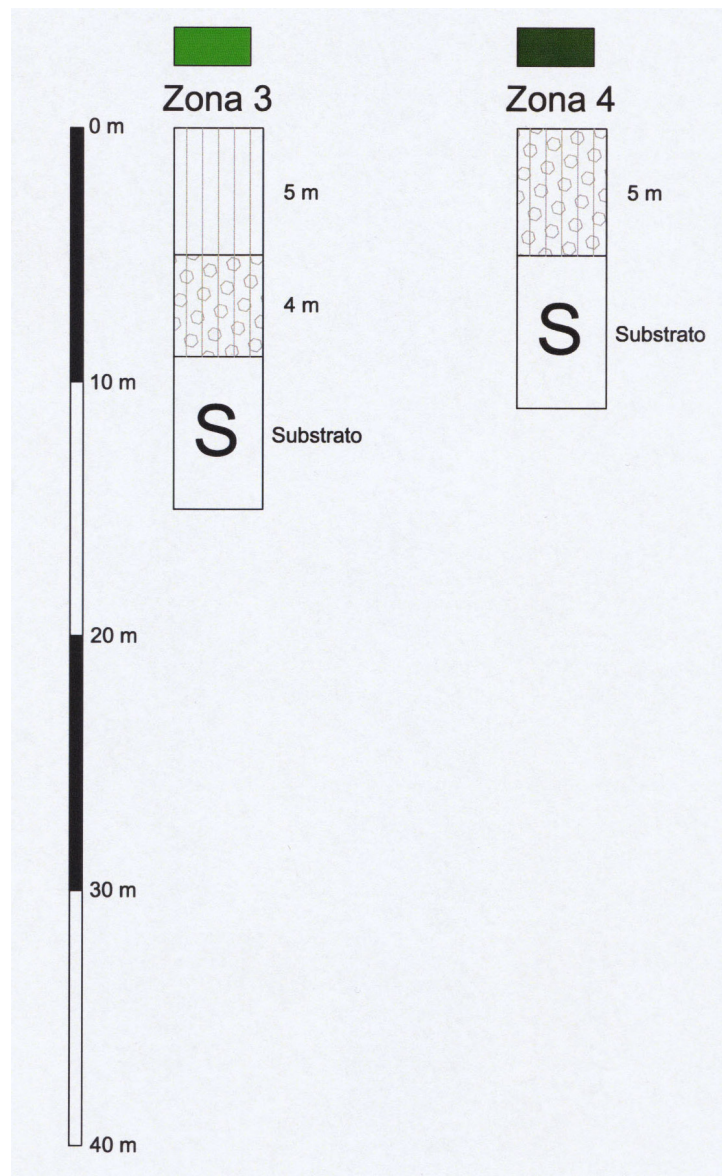
Le colonne stratigrafiche rappresentative della zona a cui fanno riferimento sono le seguenti:



**Zona 3** – Coperture di terrazzo fluviale costituite da argille limose e limi argillosi, inorganici, di bassa plasticità soprastanti ghiaie in matrice limosa. Le ghiaie sono rinvenibili ad una profondità variabile dai 3 ai 10 metri. Il loro spessore varia dai 2 ai 6 metri. A seguire il substrato geologico. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

**Zona 4** – Ghiaie limose e ghiaie argillose di terrazzo fluviale e lacustri, mediamente addensate di spessore variabile da 3 a 8 metri. A seguire il substrato geologico. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

Le colonne stratigrafiche rappresentative della zona a cui fanno riferimento sono le seguenti:

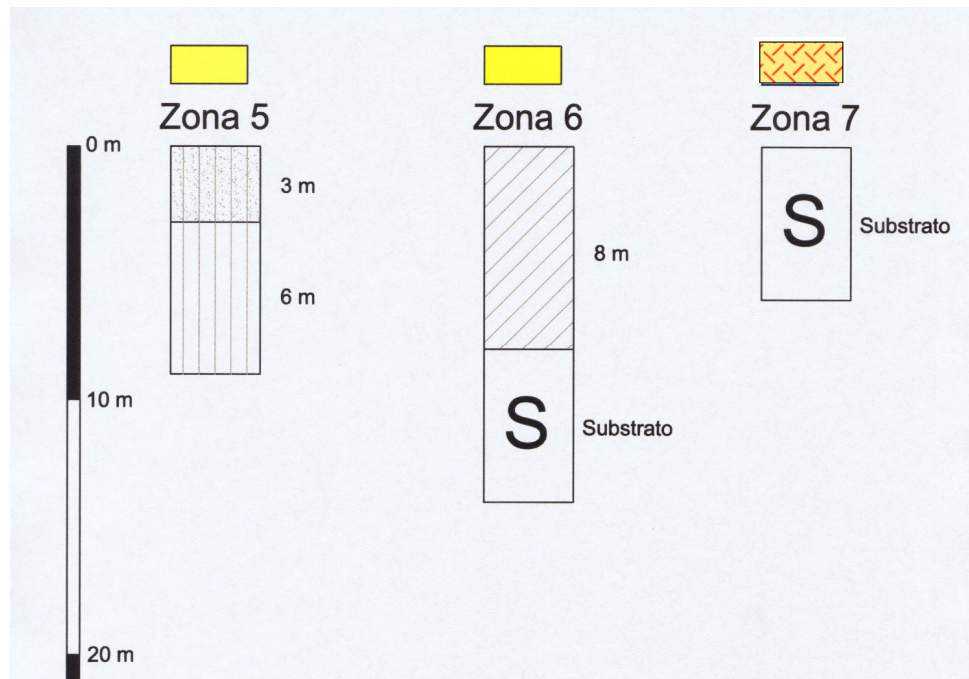


**Zona 5** – Sabbie limose, miscele di sabbie e limo di terrazzo fluviale, mediamente addensate di spessore variabile da 1 a 3 metri. A seguire il substrato geologico. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

**Zona 6** – Coperture eluvio-colluviali di versante costituite da argille e argille limose inorganiche di media-bassa plasticità soprastanti il substrato geologico rinvenibile ad una profondità variabile dai 5 ai 15 metri. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

**Zona 7** - Substrato geologico coesivo, stratificato, con accentuato grado di alterazione al tetto, costituito da argille grigio-azzurre con rare intercalazioni di arenarie giallastre e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili. In profondità sovraconsolidato e fratturato. Sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici.

La colonne stratigrafiche rappresentative della zona a cui fanno riferimento sono le seguenti:



#### **ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ.**

Tra le zone suscettibili di instabilità, nel territorio comunale sono state individuate le zone legate a instabilità di versante: sono stati individuati i depositi in frana, distinguendo i dissesti attivi e quelli quiescenti.

Le porzioni di territorio con pendenza  $>15^\circ$  sono state evidenziate con la dicitura "Instabilità non definita".

E' stata messa inoltre in evidenza la sovrapposizione di diversi tipi di instabilità laddove i dissesti cartografati si sovrappongono con le parti di territorio con pendenza  $>15^\circ$ .

#### **FORME DI SUPERFICIE E SEPOLTE.**

Tra le forme di superficie e sepolte sono state individuate:

- Conoidi alluvionali.
- Falde detritiche.
- Scarpata sepolta.

Non sono stati individuati gli orli di terrazzo fluviale in quanto non rientranti nelle categorie individuate dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

#### **TRACCE DI SEZIONE GEOLOGICA.**

Sono state elaborate tre sezioni geologiche denominate Sezione 1, Sezione 2, Sezione 3.

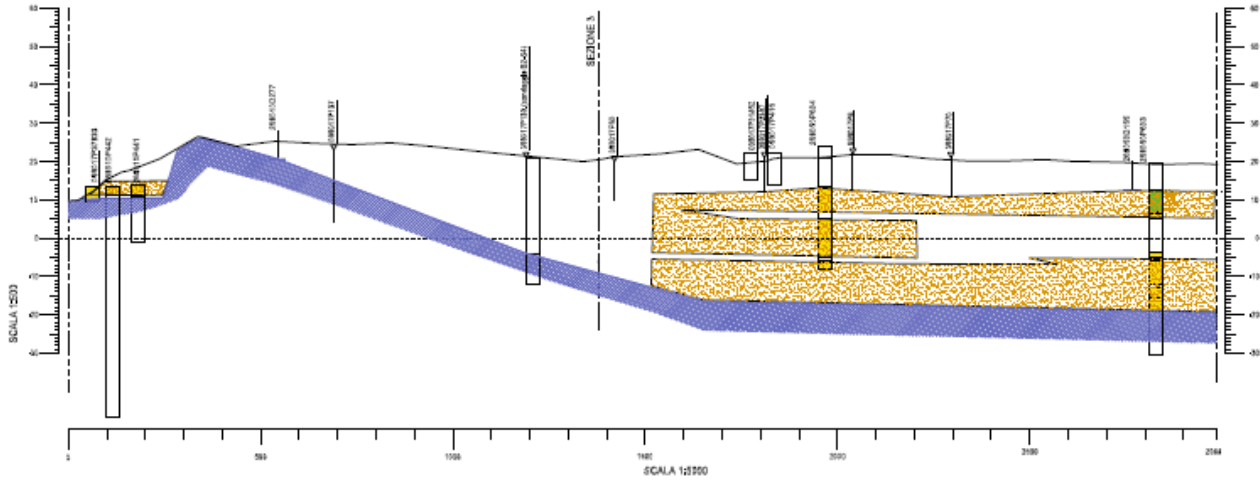
La Sezione 1 e la Sezione 2 corrispondono alle Sezioni 130 e 131 della Regione Emilia Romagna, ne deriva quindi una modifica sulla base delle indagini prese a riferimento.

La Sezione 3, trasversale alle Sezioni 1 e 2, partendo dalle colline di Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta, passando per tutto l'abitato di San Giovanni in Marignano, intercetta pressochè perpendicolarmente la scarpata

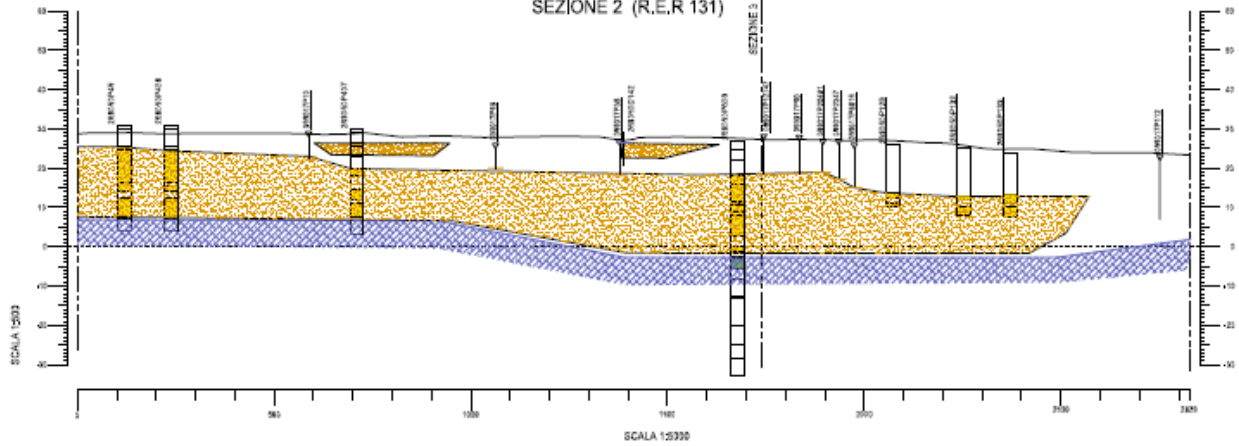


sepolta di raccordo delle colline Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta con la pianura alluvionale.  
 Le tre sezioni elaborate sono considerate le più significative in funzione delle caratteristiche del territorio.

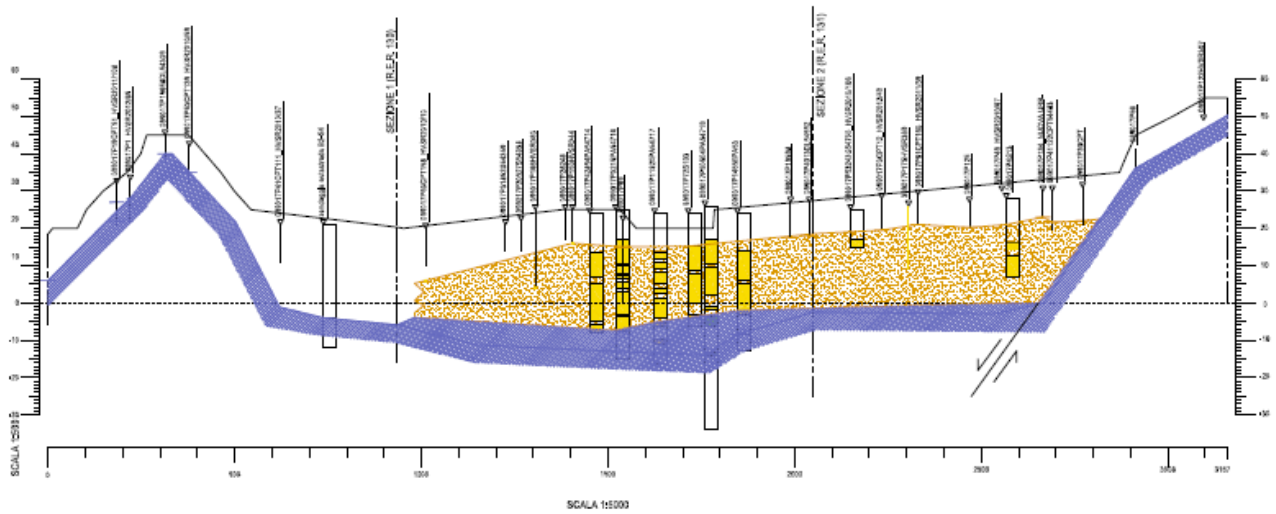
SEZIONE 1 (R.E.R. 130)



SEZIONE 2 (R.E.R. 131)



SEZIONE 3



## 9.6 Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

La carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ), rappresenta la sintesi delle velocità delle onde di taglio con indicazione, per ogni punto di misura, del tipo di prova geofisica considerata (indagine puntuale o indagine lineare), del valore di  $V_{sH}$  nelle aree in cui H non è maggiore di 30 metri, o del valore di  $V_{s30}$  nelle aree dove H è maggiore di 30 metri.

I valori di  $V_s$  cartografati derivano da:

### Indagini geofisiche pregresse:

- N. 1 Down Hole.
- N. 48 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.
- N. 26 prospezioni sismiche a rifrazione attiva con metodo MASW.
- N. 1 prospezione sismiche a rifrazione passiva con metodo ReMi.

### Nuove indagini geofisiche:

- N. 31 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

Nell'elaborazione della carta è stato definito un intervallo di valori significativo dei valori di  $V_{sH}$  e  $V_{s30}$  come segue:

### Indagini lineari

$V_{sH}$   $V_{s30}$

### Indagini puntuali

$V_{sH}$

- $V_s \leq 200$
- $200 < V_s \leq 250$
- $250 < V_s \leq 300$
- $V_s > 300$

$V_{s30}$

- $V_s \leq 200$
- $200 < V_s \leq 250$
- $250 < V_s \leq 300$
- $V_s > 300$

La carta che ne deriva mostra:

- Nella zona di pianura una netta prevalenza dei valori di  $V_{sH}$  determinata dalla presenza dello strato ghiaioso, considerato bedrock like, sottostante le coperture di terrazzo fluviale a granulometria fine.
- Nelle zone di collina (Montalbano e Santa Maria in Pietrafitta), una prevalenza dei valori di  $V_{s30}$  caratterizzate dai depositi eluvio-colluviali che ricoprono il substrato geologico.

E' stato scelto di indicare in corrispondenza dei valori di  $V_{sH}$ , anche il valore di  $V_{s30}$ .

Le velocità caratteristiche delle onde S riscontrate per i singoli litotipi sono di seguito riassunte:

### ZONA DI PIANURA:

- Coperture di terrazzo fluviale costituite da argille limose e limi argillosi:  
 $V_s$  min 180 m/s       $V_s$  max 240 m/s
- Ghiaie limose e ghiaie argillose:  
 $V_s$  min 320 m/s       $V_s$  max 350 m/s



- Substrato geologico: FAA  
Vs min 430 m/s Vs max 600 m/s

### **RILIEVI COLLINARI:**

- Coperture eluvio-colluviali di versante costituite da argille e argille limose:  
Vs min 220 m/s Vs max 240 m/s

La Carta delle velocità delle onde di taglio S è stata restituita alla scala di 1:10.000.

## **9.7 Carta di microzonazione sismica (livello 2).**

Oggetto di approfondimento di secondo livello o microzonazione sismica semplificata è stato tutto il territorio urbanizzato, il territorio urbanizzabile e gli ambiti di riqualificazione del Comune di San Giovanni in Marignano, comprese le principali infrastrutture.

Obiettivo del secondo livello di approfondimento è individuare le aree a comportamento sismico equivalente, attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa del moto sismico con tempo di ritorno  $T_r = 475$  anni ed uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ ).

La carta di microzonazione sismica assegna ad ognuna delle microzone individuate valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) calcolati mediante appositi abachi predisposti della Regione o dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

Nel caso particolare del comune di San Giovanni in Marignano gli abachi predisposti dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, non sono utilizzabili in quanto prevedono la presenza di un bedrock sismico avente  $V_s = 800$  m/s al di sotto della profondità H. Pertanto i fattori di amplificazione sono stati stimati sulla base degli abachi messi a disposizione dalla Regione Emilia-Romagna (v. Allegato A2 della DAL 112/2007) ed in particolare l'allegato A2.1.1 riferito a "Appennino e margine appenninico-padano con substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s".

Questi ultimi prevedono una serie di dati di ingresso che comprendono il contesto geologico di riferimento, lo spessore di copertura ed il tipo di substrato geologico ed i parametri  $V_{s30}$  e  $V_{sH}$ .

Il parametro scelto per quantificare l'amplificazione non corrisponde al parametro  $F_a$  o  $F_v$  degli ICMS 2008.

I parametri utilizzati sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PG_A/PGA_0$ ) sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ) per prefissati intervalli di periodi, dove  $PGA_0$  e  $SI_0$  sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e  $PGA$  e  $SI$  sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Vengono restituite pertanto tre carte di microzonazione sismica di secondo livello:

La carta degli  $F_x$  = Fattore di amplificazione della PGA (FA PGA).

La carta degli  $F_y$  = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,1-0,5 s (FA IS 0,1-0,5 s).

La carta degli  $F_z$  = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,0 s (FA IS 0,5-1,0 s).

Le tre carte di microzonazione sismica di secondo livello sono restituite alla scala di 1:10.000.

### 9.8 Carta di microzonazione sismica (livello 3).

A seguito degli approfondimenti di III° Livello, tramite elaborazione di sezione 2D e locali verifiche 1D, le varie microzone vengono contraddistinte da specifiche caratteristiche di amplificazione del moto sismico atteso, e in analogia a quanto elaborato per il II° livello di approfondimento, sono state restituite pertanto tre carte di microzonazione sismica di approfondimento locale di III Livello:

La carta degli  $F_x$  = Fattore di amplificazione della PGA (FA PGA).

La carta degli  $F_y$  = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,1-0,5 s (FA IS 0,1-0,5 s).

La carta degli  $F_z$  = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,0 s (FA IS 0,5-1,0 s).

Le tre carte di III Livello di approfondimento sono restituite ad una scala di maggior dettaglio pari a 1:5.000.

In aggiunta per ciascuna microzona vengono forniti, secondo la codifica e formato definiti negli standard di archiviazione per la PC, gli spettri "medi" (derivati della terna di segnali forniti dalla RER ex Del 112/2007 per il comune in studio) attesi al bedrock ed in superficie sia in termini di pseudo-accelerazione che di pseudo-velocità cui poter fare riferimento per eventuali ulteriori valutazioni analitiche.

## 10. CONCLUSIONI.

Lo studio di Microzonazione di I° e II° Livello ha consentito di evidenziare le criticità geologico/strutturali e caratteristiche di risposta sismica in corrispondenza di diversi ambiti territoriali omogenei del Comune di San Giovanni in Marignano.

In base alle condizioni stratigrafiche e topografiche locali ed ai relativi profili di  $V_s$  il moto sismico atteso è stato definito secondo specifici fattori di amplificazione della PGA (FA PGA) e dell'intensità di Housner (intervalli compresi tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,0 s)

In corrispondenza della chiusura dei depositi alluvionali contro il margine appenninico è stato sviluppato uno specifico studio di approfondimento di III° Livello tramite una sezione di verifica con modello di analisi 2D.

Le aree sottoposte a 3° Livello di approfondimento, suddivise in microzone, sono state definite secondo un congruo intorno alla sezione di verifica.

Lungo un limitato tratto di sezione, in corrispondenza della chiusura laterale dei depositi alluvionali (in condizioni di pinch-out) e delle scarpate morfologiche presenti al piede del pendio, le geometrie dei depositi e dei profili topografici tendono ad avere dimensioni comparabili con le lunghezze d'onda relative a frequenze medio-elevate ( $f \geq 2-3$  Hz), determinando fenomeni amplificativi per condizioni 2D, soprattutto in corrispondenza del tratto a basso periodo degli spettri di risposta in pseudoaccelerazione (FA 0,1-0,5 sec) e pseudovelocità (Housner 0,1-0,5 sec); tale condizione, nei segmenti di interesse, porta ad amplificazioni talora maggiori del 25% rispetto alla simulazione 1D. Diversamente nei tratti di spettro elastico riferiti a periodi medio-alti ( $T > 0,5 - 0,6$  sec) gli spettri 1D e 2D risultano pressoché coincidenti.

In relazione all'assetto stratigrafico e morfologico generale, ad eccezione della zona di chiusura delle alluvioni e delle scarpate morfologiche di cui sopra, i risultati ottenuti arealmente risultano sostanzialmente coerenti con situazioni di analisi monodimensionale (1D) per gran parte del territorio urbanizzato/urbanizzabile. In tal caso l'azione sismica risulta prevalentemente condizionata dall'assetto stratigrafico e dall'entità dei contrasti di impedenza tra terreni superficiali e bedrock, ovvero dalla posizione (distanza) di quest'ultimo rispetto alla superficie libera; tale situazione risulta particolarmente evidente in corrispondenza delle Colonne 1 e 4; in tal caso gli spettri elastici simulati in condizioni 2D e 1D risultano sostanzialmente coincidenti a meno di piccolissime differenze nel tratto a bassissimo periodo ( $T < 0.1-0.15$  sec), perlopiù imputabile alle modalità di discretizzazione della mesh in relazione alle frequenze e lunghezze d'onda di interesse.

In corrispondenza della zona di pianura (rif. colonna 4) i valori di FA\_pga ed FA-Housner 0.1-0.5 sec, derivati tramite appropriate analisi di RSL 1D e 2D, presentano generalmente entità inferiori rispetto ai fattori di amplificazione ottenibili tramite approccio tabellare per la MZS di 2° Livello; diversamente per periodi spettrali medio-alti (FA-Housner 0.5-1.0 sec) i coefficienti amplificativi risultano maggiori.

In ambito collinare (rif. colonna 1), a meno di locali fenomeni amplificativi 2D, i valori di FA\_pga ed FA-Housner 0.1-0.5 sec derivati tramite appropriate analisi di RSL 1D e 2D generalmente presentano entità comparabili rispetto ai fattori di amplificazione ottenibili tramite approccio tabellare per la microzonazione di 2° Livello; mentre per periodi spettrali medio-alti (FA-Housner 0.5-1.0 sec) i coefficienti amplificativi risultano inferiori.

Chiaramente i risultati ottenuti non tengono conto di eventuali condizioni di direzionalità del moto sismico né di particolare distanza epi/ipocentrale (near-field / far-field).

I risultati, in termini di spettri e fattori di amplificazione, vengono illustrati nelle Carte di microzonazione sismica di livello 3 – Fx/Fy/Fz nonché forniti nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dei dati per la PC.

San Giovanni in Marignano (RN), Giugno 2016

Dott. Geol. Carlo COPIOLI

Dott. Geol. Paolo CIACCI

Collaborazione:

Dott. Geol. Alessandro MERLI