Regione Umbria
Servizio Geologico e Sismico

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA PER IL PIR DI SPINA E MICROZONAZIONE SISMICA DELLA LOCALITA' DI SPINA DI MARSCIANO.

Geol. Stefano Bisogno
Geol. Arnaldo Boscherini
Geol. Andrea Motti
Geol. Norman Natali
Geol. Gianluigi Simone
Ing. Marco Barluzzi

Agosto 2012

INDICE

p.3 1.Premessa
p.4 2.Articolazione delle indagini
p.6 3.Caratterizzazione sismica dell'area terremotata
p.10 4.Cartografia geotematica e analisi dei dati disponibili
1. carta geologica, carta di pericolosità sismica locale e carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
2. indagini geognostiche e geofisiche
p.22 5.Analisi della campagna geognostica e delle indagini eseguite
1. campagna geognostica e prove di laboratorio
2. indagini geofisiche in foro
3. indagini geofisiche di superficie
p.38 6.Modello geologico e geotecnico-geofisico
p.42 7.Modellazioni numeriche
p.50 8.Carta di microzonazione sismica e spettri di risposta
p.58 9.Considerazioni conclusive
p.60 10.Bibliografia

Allegati contenuti nel DVD

- Carta geologica alla scala 1:5.000
- Carta delle indagini raccolte alla scala 1:5.000
- Carta delle indagini eseguite alla scala 1:5.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica alla scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica alla scala 1:5.000
- Rapporti sulla campagna geognostica e geofisica
- Rapporti sulle indagini geognostiche di superficie
- Rapporto sulla modellazione numerica

1.Premessa

Il 15 dicembre 2009 un evento sismico di magnitudo 4.3 ha interessato alcune località del Comune di Marsciano (abitati di Spina, San Biagio della Valle e Sant'Apollinare) e, secondariamente, i Comuni di Corciano, Deruta, Fratta Todina, Magione, Monte Castello di Vibio, Panicale, Perugia, Piegaro, San Venanzo e Torgiano, danneggiando alcune abitazioni di tali Comuni. Il Presidente del Consiglio dei Ministri ha dichiarato lo stato di emergenza con Decreto del 22/12/09. Successivamente con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3853 del 03/03/10 si è disposto di intervenire per ripristinare l'edilizia del borgo storico della frazione di Spina, nel Comune di Marsciano, attraverso la realizzazione di un Programma Integrato di Recupero (PIR).
Con successiva Ordinanza del Commissario Delegato n. 248 del 25/10/11 il Servizio Geologico e Sismico della Regione Umbria è stato incaricato della redazione degli studi di microzonazione sismica e dell'espletamento di tutte le prestazioni professionali di carattere geologico e geotecnico utili alla redazione degli elaborati per il PIR di Spina.
Il Servizio Geologico e Sismico ha quindi provveduto all'esecuzione di una campagna geognostica e geofisica funzionale agli studi in questione, affidandone la realizzazione alla ditta Methodo s.r.l. di Ancona, secondo il progetto approvato dal Servizio Geologico e Sismico con D.D. n. 9805 del 22/12/11.

2.Articolazione delle indagini

Le indagini si sono effettuate secondo un'articolazione, distinta in più fasi, analogamente a quanto definito negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" - ICMS, 2008 - editi dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN) e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome.
Il personale della Sezione 1 del Servizio Geologico e Sismico dal 2010 al 2012 ha eseguito:

- il coordinamento delle attività;
- la direzione lavori;
- la progettazione geologica delle indagini;
- le attività di supporto tecnico ed amministrativo;
- i sopralluoghi finalizzati all'ubicazione delle indagini;
- la raccolta e l'analisi dei dati esistenti;
- la determinazione del modello geologico e geofisico dell'area;
- la redazione degli elaborati geotematici.

In alcune di queste fasi di attività sono stati coinvolti anche alcuni studenti (Paolo Di Vittorio, Massari Gianluca, Caglioti Domenico, Ortenzi Gianluigi, Bertoldi Gianandrea, Giuseppe Gallo, Francesco Galatà) del corso di laurea in Geologia dell'Università degli Studi di Perugia, nel corso di tirocini di formazione presso la sede del Servizio Geologico e Sismico.
Sono stati inizialmente raccolti i dati geologici, stratigrafici e geotecnici disponibili per l'area in esame e, contemporaneamente, si è provveduto al ricontrollo delle unità geologiche delle cartografie geologiche e geotematiche già realizzate.
Quindi, sono state eseguite ulteriori esplorazioni di tipo geofisico e geognostico in zone non coperte da indagini in *situ*. Tali indagini, utili ad ottenere una serie esaustiva di parametri geotecnici e geofisici per ogni unità stratigrafica rilevata, hanno permesso di distinguere le varie unità geotecniche e geofisiche (le tipologie di indagini ed i dati acquisiti sono dettagliatamente descritti al paragrafo 5) caratterizzanti la stratigrafia dei siti esaminati.
Le indagini geofisiche di superficie, eseguite nel novembre 2010 dall'Osservatorio Sismico "Andrea Bina" nell'ambito della convenzione in essere con il Servizio Geologico e Sismico, sono consistite in:

- 1 profilo di sismica a rifrazione in onde SH;
- 1 profilo di sismica a rifrazione in onde P;
- 1 profilo M.A.S.W. *(Multichannel Analysis of Surface Waves method)*;
- 4 punti di acquisizione di misure di rumore sismico con analisi HVSR (*Horizzontal to Vertical Spectral Ratio* – Metodo di Nakamura).

La campagna geognostica e geofisica è stata eseguita, a seguito di affidamento dopo gara, nel giugno-luglio 2012 dalla ditta Methodo di Ancona ed è consistita in:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo di 30m;
- 2 prove down hole (DH);
- 5 prove *Standard Penetration Test* (SPT);
- 30 prove di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi.

Le correlazioni tra i dati stratigrafici e le indagini geofisiche hanno permesso la determinazione dei corpi geologici a comportamento sismico omogeneo e l'ubicazione profili geologico- geofisici utilizzati per le modellazioni numeriche della risposta sismica locale (RSL).

Nel luglio 2012, il Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano (Prof.ssa Floriana Pergalani e Dott. Massimo Compagnoni) ha eseguito 2 modellazioni numeriche bidimensionali, che hanno fornito i parametri rappresentativi della risposta sismica locale lungo profili sopra citati. Per la modellazione numerica, su verticali realizzate, quando possibile, in corrispondenza dei sondaggi, sono stati utilizzati sia i dati ottenuti dalle prove in *situ* ed in laboratorio per l'area in esame quanto i dati della microzonazione sismica dell'area del perugino (lavoro del 2009 in bibliografia).

I prodotti ottenuti attraverso le analisi numeriche coprono una vasta gamma delle possibilità rappresentative dell'amplificazione sismica locale, dagli spettri di risposta in accelerazione, ai fattori di amplificazione per più intervalli di periodi. L'analisi dei microtremori ha invece fornito indicazioni sui periodi propri di vibrazione dei vari corpi geologici, permettendo così di identificare i periodi (critici) con tendenza all'esaltazione del moto per effetto della risonanza delle strutture.
Infine, nella carta di microzonazione sismica ad ogni area sono stati associati i valori dei parametri più rappresentativi delle amplificazioni sismiche, individuati con le campagne sismometriche e con le modellazioni.
Le indagini e gli elaborati cartografici realizzati sono conformi agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione sismica (ICMS, 2008).

3.Caratterizzazione sismica dell'area terremotata.

L'area colpita dall'evento sismico del 15/12/2009 (ora italiana 14,12) ricade principalmente nel Comune di Marsciano (abitati di Spina, San Biagio della Valle e Sant'Apollinare) e solo marginalmente nel Comune di Perugia.

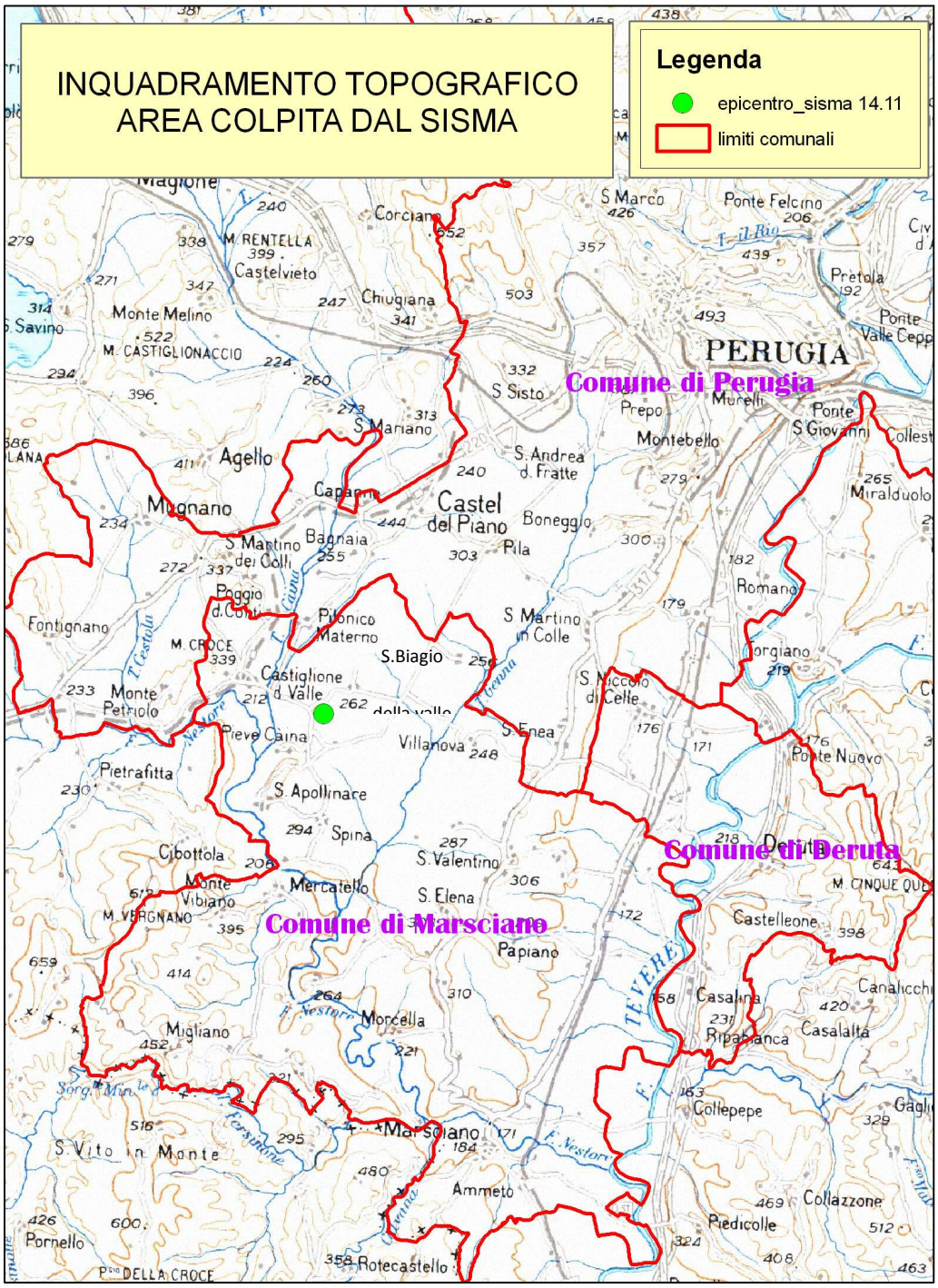


Fig. 1: Inquadramento topografico.

I parametri sismici, da fonte INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), sono i seguenti:
- coordinate epicentrali: Latitudine 43.007, Longitudine 12.271;
- profondità ipocentrale: 8.8;
- magnitudo: 4.3.

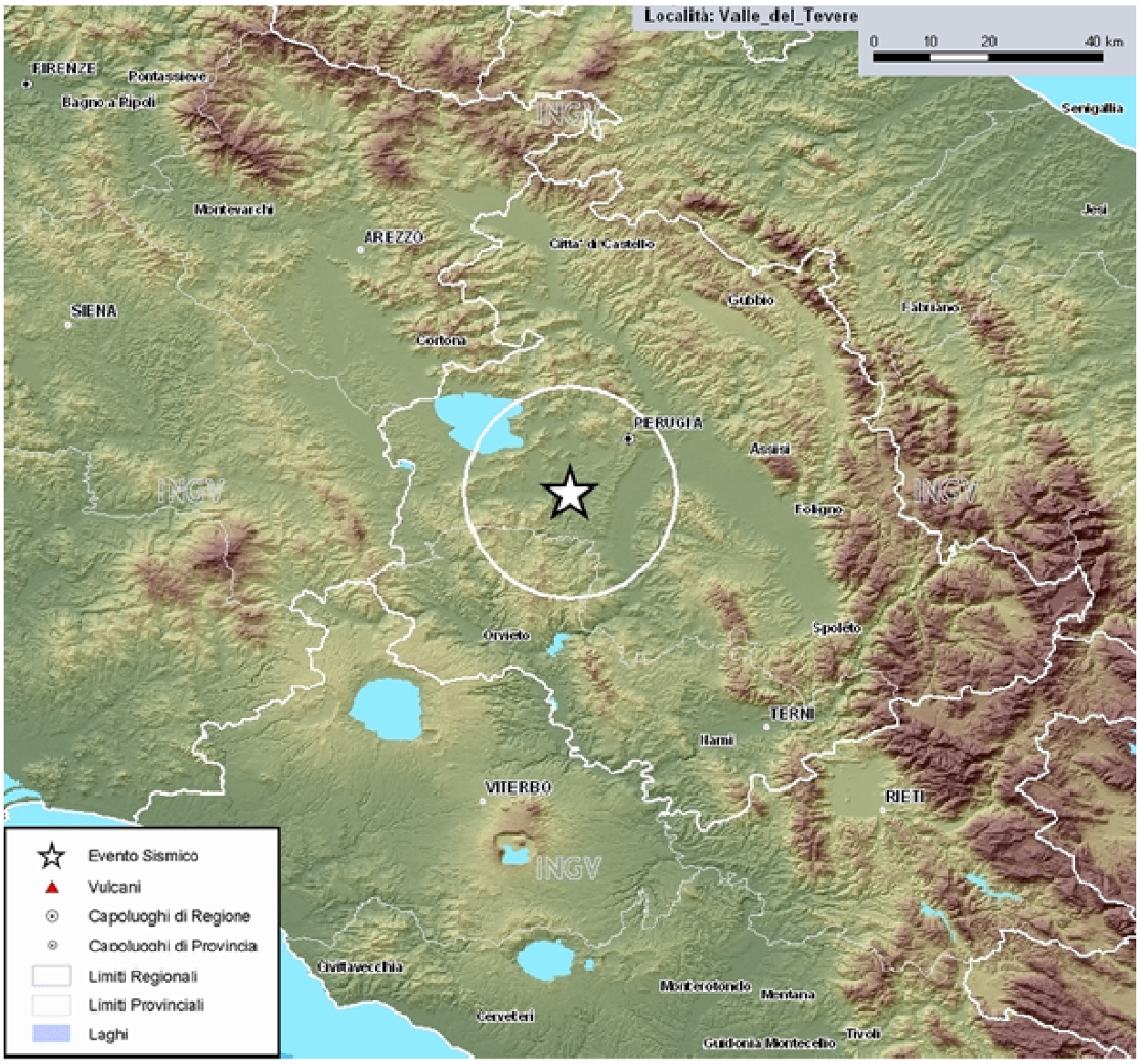


Fig. 2 : Area epicentrale (dal sito dell'INGV).

Il meccanismo focale individuato per l'evento è di tipo prevalentemente trascorrente e le accelerazioni di picco riportate dalle mappe INGV sono pari a 0,035g all'epicentro.
I Comuni interessati dal sisma sono classificati in Zona 2, ovvero a pericolosità simica media, in base alla DGR n. 852 del 18 giugno 2003 (*Approvazione classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria*).
La pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo (ag) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e tempo di ritorno 475 anni, riporta ai nodi della maglia reticolare di 0,05° della zona epicentrale, valori compresi tra 0,1559g e 0,1610g (DM 14.01.2008 - NTC08).
La rete sismica locale regionale gestita dall'Osservatorio Sismico "Andrea Bina" ha registrato, sempre il 15/12/09, una scossa di assestamento di magnitudo 2.1, con epicentro prossimo a quello principale, alle ore 17.57 locali a profondità ipocentrale di 6,3 km e con coordinate 42.979N e 12.321E.

Lo stesso Osservatorio “Bina” nelle ore successive alla scossa principale, ha posizionato due stazioni sismiche nelle località di San Biagio della Valle e Pietrafitta, le quali, unitamente a una stazione posizionata ad Olmeto, hanno registrato una serie di microsismi locali (1-2 ogni ora) utili per la comprensione della faglia attivata. (*Osservatorio Sismico Andrea Bina-2009. Relazione sismica sull’attività sismica nella zona di S. Biagio della Valle*).
Si riportano di seguito i dati e le cartografie relativi alla sismicità storica e alla sismicità più recente nelle zone vicine all’area epicentrale.

Data	Ora	Località	Magnitudo	Latitudine	Longitudine
13.02.1919	02.20.00	Lago Trasimeno	4.83	43.112	12.287
03.11.1941	20.44.12	Deruta	5.17	43.000	12.433
11.08.1969	13.55.00	Trasimeno	5.09	43.036	12.226
30.12.1973	02.20.00	Agello	4.42	43.033	12.300

Fonte dati CPTI (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani) 04 e Osservatorio Sismico A.Bina.

Fig. 3: Sismicità storica limitrofa (ultimo secolo) e localizzazione scossa principale e replica dello stesso giorno. Fonte: CPTI (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani) 04.

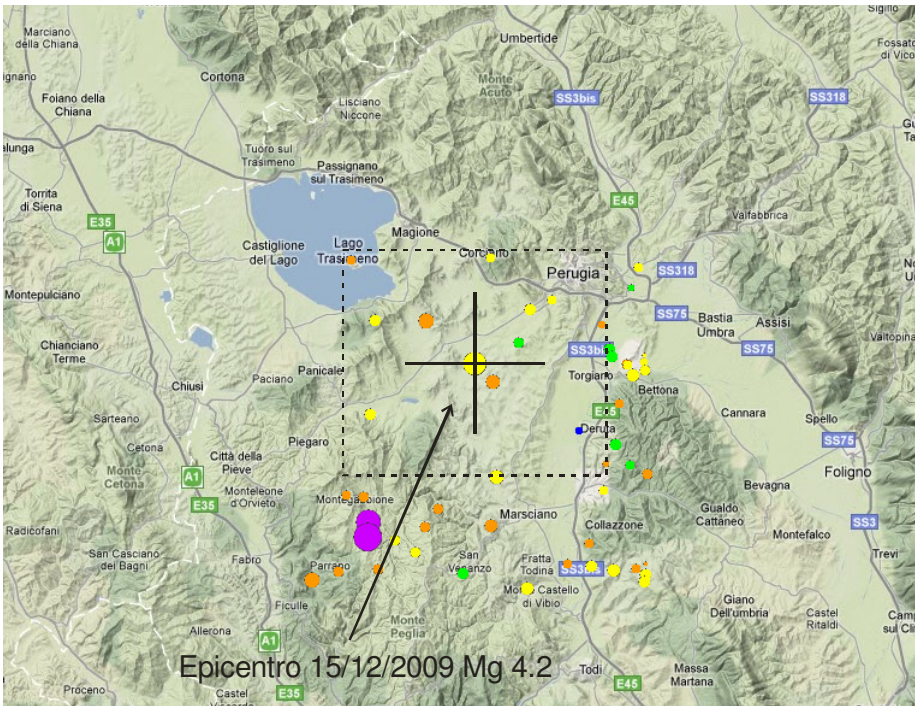


Fig. 4: Localizzazione di terremoti registrati dalle reti gestite dall'Osservatorio Sismico "A. Bina" dal gennaio 1991 fino ad oggi, all' intorno dell' area epicentrale (diametro dei cerchi proporzionale alla magnitudo).

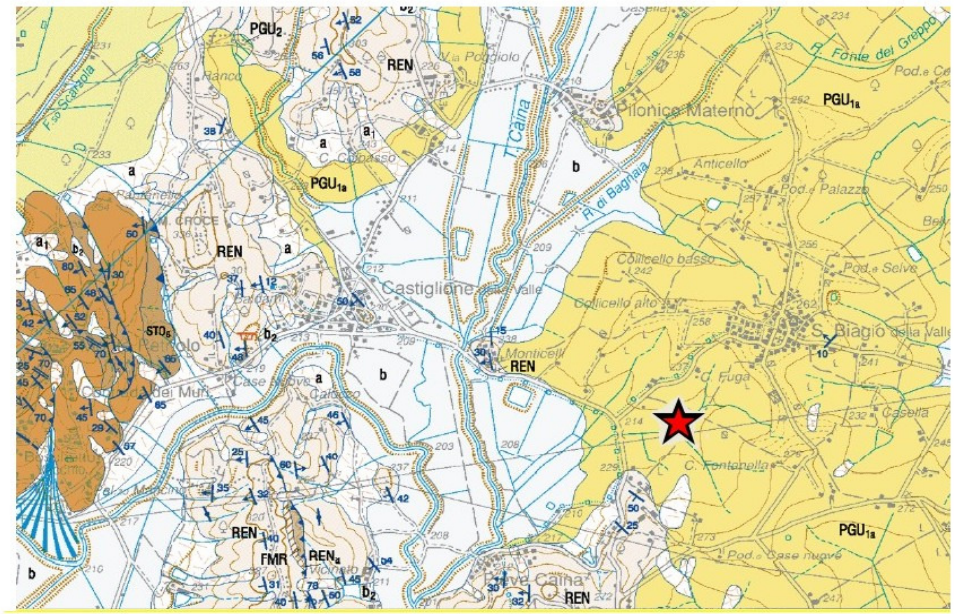
4.Cartografia geotematica e analisi dei dati disponibili

4.1 Carta geologica, carta di pericolosità sismica locale e carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

GEOLOGIA-La larghezza della valle del Fiume Nestore, all'altezza dell'abitato di Spina, varia dai 300 metri fino ai 600-700 metri, mentre quella del Torrente Caina, all'altezza di San Biagio della Valle e Castiglione della Valle, varia da 400-500 metri fino ad oltre 1km a Nord della confluenza con lo stesso F. Nestore.

La geologia della zona è stata recentemente rilevata con il progetto CARG del Foglio 310 "Passignano sul Trasimeno" realizzato dalla Regione Umbria e con i progetti regionali di completamento della cartografia geologica a grande scala.

INQUADRAMENTO AREA
ESTRATTO DAL FOGLIO C.A.R.G. 310 "PASSIGNANO SUL TRASIMENO"



Bacini sedimentari Plio Pleistocenici
Super Sintema Tiberino
Unità di San Biagio

PGU 1a

Limi, limi argillosi, limi sabbiosi ed argille anche lignitifere, prevalenti e rare sabbie fini e ghiaie. Si hanno inoltre livelli di calcari micritici laminati e limi calcarei più o meno sciolti. I limi calcarei e i calcari si trovano in livelli alternati ad argille ricche in sostanza organica e con variabile componente carbonatica.Spessore superiore ai 130 metri in base a dati di sondaggi

Pleistocene Inferiore

REN
REN$_a$

Unità Tettonica Rentella
Formazione della Montagnaccia

Alternanza di torbiditi fini siltitico-marnose in strati sottili e di torbiditi più spesse (da 1 m a vari metri) a base arenitica talora grossolana e geometria lentiforme.
Un livello arricchito in silice e spesso una decina di metri è stato cartografato alla base della formazione (litofacies a selce RENa).

Aquitaniano p.p. - Burdigaliano p.p.

Epicentro sisma
15.12.09 ore 14.11

Fig. 5: Estratto dal Foglio Geologico n. 310 "Passignano sul Trasimeno".

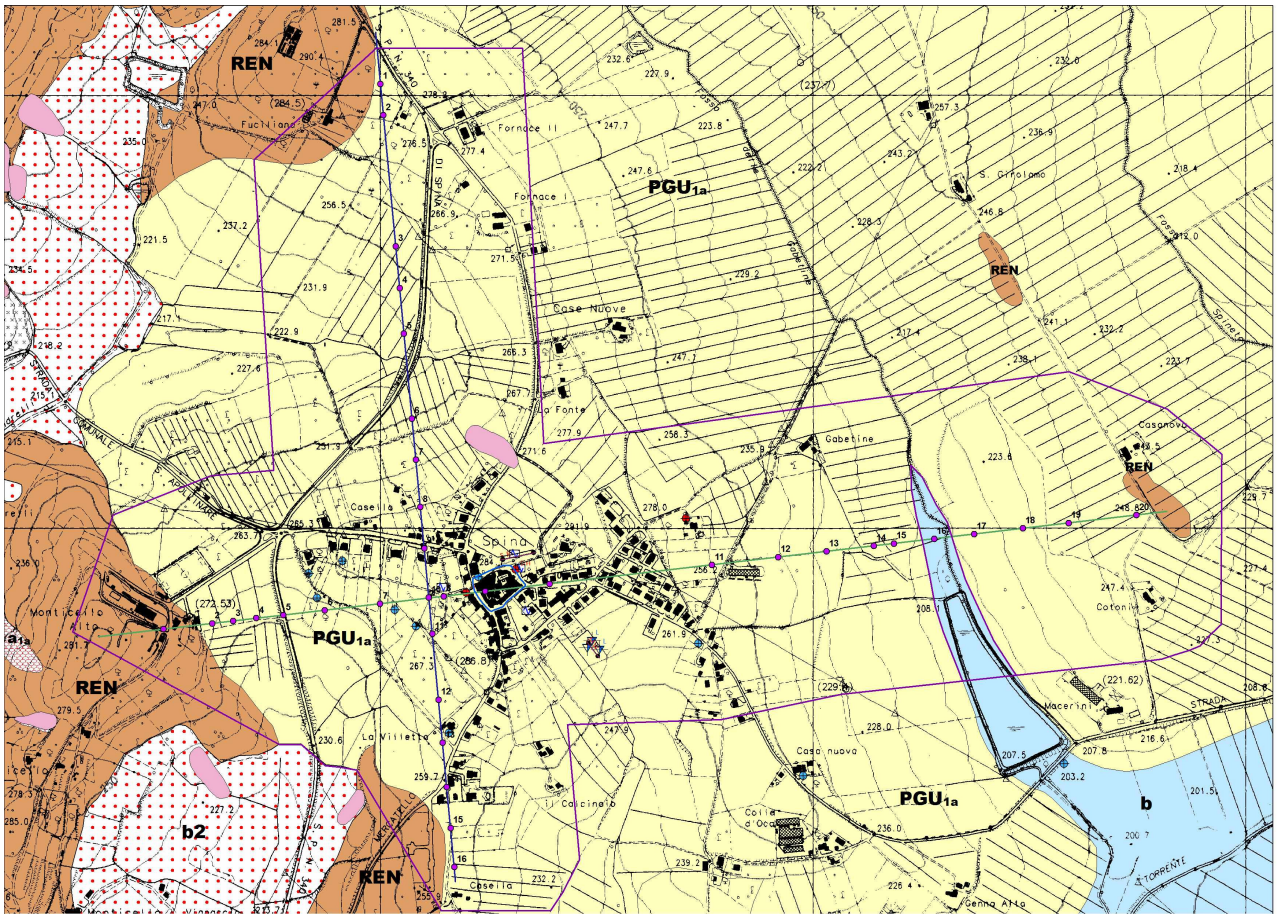


Fig. 6: Carta Geologica per l'area di Spina.

In particolare la rielaborazione eseguita della carta geologica ha permesso di riferire i terreni affioranti rispettivamente: alla successione continentale Pleistocenica, in sinistra dell'allineamento T. Caina-F. Nestore; alla successione marina del Miocene inferiore in destra di tale allineamento.

I depositi continentali, individuati con il colore giallo e dalla sigla **PGU$_{1a}$**, sono costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, limi sabbiosi ed argille, anche lignitifere, con rari livelli di sabbie fini e di ghiaie; talvolta sono intercalati dei calcari micritici laminati e limi calcarei, più raramente placche di travertini fitoermali *(Unità di San Biagio PGU1a – Sintema di Perugia PGU) [P.Argenti, R.Bizzarri, F.Pazzaglia, Note illustrative del Foglio CARG 310, Passignano sul Trasimeno, predisposizione per la stampa].*

In sovrapposizione ed in discordanza si rinvengono, nelle valli del T. Caina e del F. Nestore, i depositi alluvionali, individuati con il colore celeste e dalla sigla **b**, costituiti da limi argillosi con corpi ghiaiosi e sabbiosi.

Sono state indicate in rosa le aree segnalate dal Progetto IFFI.

I sedimenti marini, individuati con il colore marrone e dalla sigla **REN**, sono formati da successioni prevalentemente pelitico-arenacee, rappresentate spesso da torbiditi sottili marnose e siltitico-marnose, con intercalati strati arenacei spessi anche qualche metro (Formazione della Montagnaccia) *[M.Barsella, F.Botti, F.Meneghini, S.Palandri, L.Pandolfi, Note illustrative del Foglio CARG 310, Passignano sul Trasimeno, predisposizione per la stampa].*

La tettonica dell'area, come in gran parte dell'Appennino Settentrionale e quindi nel settore nord-occidentale dell'Umbria, è legata alla migrazione spazio-temporale verso Est del sistema catena-avanfossa a partire dal Miocene inferiore.
E' pertanto caratterizzata da sovrascorrimenti e piegamenti Est vergenti collegati alle fasi compressive mioceniche e da una tettonica estensionale, a partire dal Pliocene, con sviluppo di depressioni contenenti bacini sedimentari Plio-quaternari.
Le note illustrative del Foglio Geologico 310 riportano una ampia descrizione delle strutture estensionali, citando faglie dirette a prevalente direzione NNO/SSE "segmentate e localmente trasferite da faglie trasversali a direzione OSO/ENE" con "carattere estensionale e transtensivo". (*M.Barsella, F.Botti. Note illustrative del Foglio CARG 310, Passignano sul Trasimeno, predisposizione per la stampa].*
L'area circostante la zona epicentrale sembra inoltre interessata da sistemi di faglie normali Est-immergenti a direzione N/NO – S/SE, parallele alla cosidetta "Faglia Altotiberina". *(G. La Vecchia, F.Brozzetti, P.Boncio. 2000 - Relazioni tra faglie attive e sismicità nella Regione Umbria, Carta regionale delle principali strutture distensive Plio-Quaternarie e delle faglie attive sismo genetiche. Archivio Servizio Geologico e Sismico Regionale).*
Le carte geologiche in scala 1:10.000, recentemente realizzate, permettono di individuare, in linea di massima, le aree con comportamento sismico omogeneo, distinguendo le zone potenzialmente non soggette ad amplificazioni sismiche locali [substrato torbiditico senza anomalie topografiche] da quelle soggette ad amplificazioni morfostratigrafiche [depositi alluvionali recenti, depositi pleistocenici, placche travertinose] e a deformazione del suolo [principalmente depositi di frana e riporti] (fig. 6).
Si può notare come l'abitato di Spina (e anche fuori carta l'abitato di San Biagio della Valle) sia posto su depositi continentali pleistocenici non particolarmente addensati, sovrapposti al substrato marnoso pelitico affiorante a poca distanza.

GEOMORFOLOGIA-Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da rilevi collinari posti in destra e sinistra idrografica del T. Caina e del F. Nestore. In sinistra idrografica i versanti assumono pendenze più blande e raggiungono quote massime di poco inferiori ai 300m sul livello mare (Spina 284). In destra idrografica i versanti sono più acclivi e raggiungono quote massime anche superiori ai 350 – 400m slm (Monte Petriolo 374, Cibottola 469).
La larghezza della valle del F. Nestore, all'altezza dell'abitato di Spina, varia dai 300 metri fino ai 600-700 metri, mentre quella del T. Caina, all'altezza di San Biagio della Valle e Castiglione della Valle, varia da 400-500 metri fin oltre 1km a Nord della confluenza con lo stesso Nestore.
L'abitato di Spina sorge su un rilievo collinare con altitudine di 284m slm che separa l'ampia valle del fiume Nestore ricadente ad ovest con la valle del Torrente Genna posta ad est.
Le due valli s'incrociano poco a sud dell'abitato di Spina ad una quota di 195m slm dove si verifica la confluenza del T. Genna nel F. Nestore.
Tali corsi d'acqua sono alimentati da modesti impluvi a carattere torrentizio con scarsa energia, che incidono debolmente i bassi rilievi collinari.
I versanti collinari esposti ad est ed ovest rispetto alla dorsale dove è posto il borgo medioevale di Spina, digradano secondo pendenze non superiori al 15% e possono comunque essere soggetti a fenomeni di dissesto gravitativo superficiale, come si evince dalle segnalazioni del progetto IFFI riportate nella carta geologica.
Le cause dei dissesti superficiali sono riconducibili all'azione corrivante e d'infiltrazione delle acque meteoriche che s'infiltrano nei materiali terrigeni di natura limosa ed argillosa che contraddistinguono i versanti collinari della zona.

L'area del Castello di Spina, per la sua conformazione semipianeggiante, è esente da dissesti gravitativi e per la sua collocazione altimetrica è anche esente da fenomeni di tipo alluvionale.
La presenza di un'unità geomorfologica collinare come quella in oggetto è considerata da alcuni autori (Iwasaki ed altri 1982) un criterio che rende improbabile lo svilupparsi di un potenziale di liquefazione dei terreni.

IDROGEOLOGIA-L'area d'interesse è caratterizzata dall'affioramento di depositi di origine fluvio-lacustre a fine granulometria risalenti al Pleistocene.
Le indagini geolognostiche effettuate con sondaggi eseguiti fino alla profondità di 30m dal piano campagna, hanno accertato la presenza di materiali prevalentemente argillosi, a luoghi torbosi, attribuibili alla base del ciclo di sedimentazione del paleolago tiberino.
Tali materiali con bassa permeabilità e dal comportamento sostanzialmente impermeabile fungono da acquitardo.
Nell'area fino ad una profondità d'indagine diretta di 30m non si sono rinvenute falde acquifere e quindi sono de escludere rischi legati alla liquefazione dei terreni.

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE- Di seguito è riportato uno stralcio della carta alla scala 1:10.000, realizzata nel 2009, derivata dalla carta geologica con elementi geomorfologici ed evidenzia le situazioni morfostratigrafiche suscettibili di fenomeni di instabilità o di amplificazioni dinamiche.
La carta fornisce la perimetrazione areale delle diverse situazioni morfostratigrafiche non ordinate secondo criteri di pericolosità crescente, in quanto ciascuna di esse possiede una particolare identità sia in relazione alle caratteristiche geologiche e morfologiche che a quelle dell'evento sismico. Vengono distinti in dettaglio 4 raggruppamenti tipologici di situazioni:

- le zone da 1 a 4 rappresentano le aree dove fenomeni in atto o potenziali di instabilità e cedimenti possono subire una riattivazione o accentuazione in seguito al verificarsi di eventi sismici.
- le zone 5 e 6 evidenziano le particolarità morfologiche che possono comportare amplificazioni del moto del suolo o fenomeni locali di collasso per focalizzazione delle onde sismiche.
- le zone 7, 8 evidenziano le aree con possibile amplificazione del moto sismico legate in primo luogo alla diversità di impedenza sismica tra substrato e copertura e secondariamente alla conformazione geometrica con conseguenti fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.
- Le zone 11 individuano aree con substrato alterato.
- le zone 12 individuano aree con possibile amplificazione del moto sismico legate in primo luogo alla diversità di impedenza sismica anche all'interno della stessa unità o tra substrato e depositi sovrastanti più "soffici" e secondariamente alla conformazione geometrica con conseguenti fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

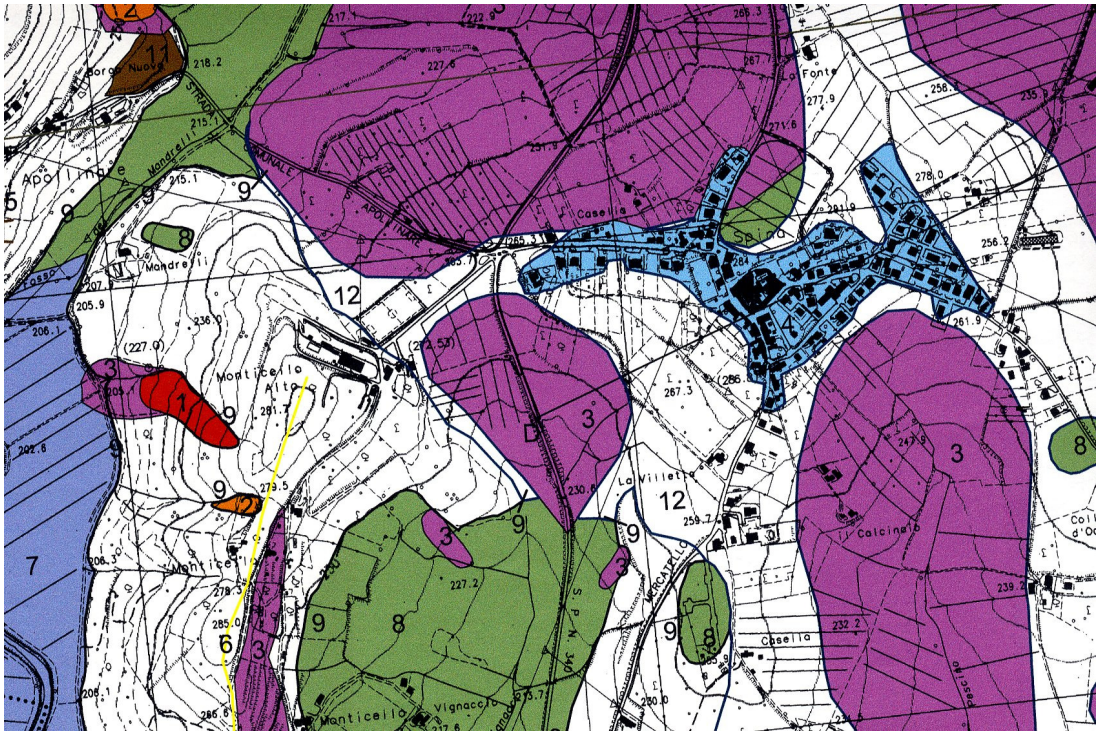


Fig. 7: Carta di pericolosità sismica locale Sez. 322040 "Cerqueto"- Rilevatrice Dott.ssa Barbara Cattaneo

LEGENDA:

TIPOLOGIA DELLE SITUAZIONI DI BASE

1 Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

2 Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

3 Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana

4 Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)

5 Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale, di natura antropica)

6 Zona di crinale affilato o cocuzzolo

7 Zona di fondovalle

8 Zona pedemontana di falda di detrito e cono di deiezione

9 Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

10 Zona con travertini

11 Zona con substrato alterato

12 Aree che in sede di redazione della pianificazione di settore dovranno essere sottoposte ad adeguate indagini per la definizione della velocità delle onde di taglio (vs) ai fini della valutazione dell'amplificazione sismica locale

L'analisi della carta di pericolosità sismica locale individua nell'area di Spina una situazione articolata in cui sono presenti aree con possibile presenza di terreni scadenti dovuti a riporti antropici (zona dell'abitato di Spina) eventualmente sovrapposti a depositi limo-argillosi. La carta geologica eseguita ha comunque premesso di escludere la presenza dei riporti indicati nella carta di pericolosità sismica locale.

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISIMICA

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è stata redatta secondo gli *"Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione sismica"*.

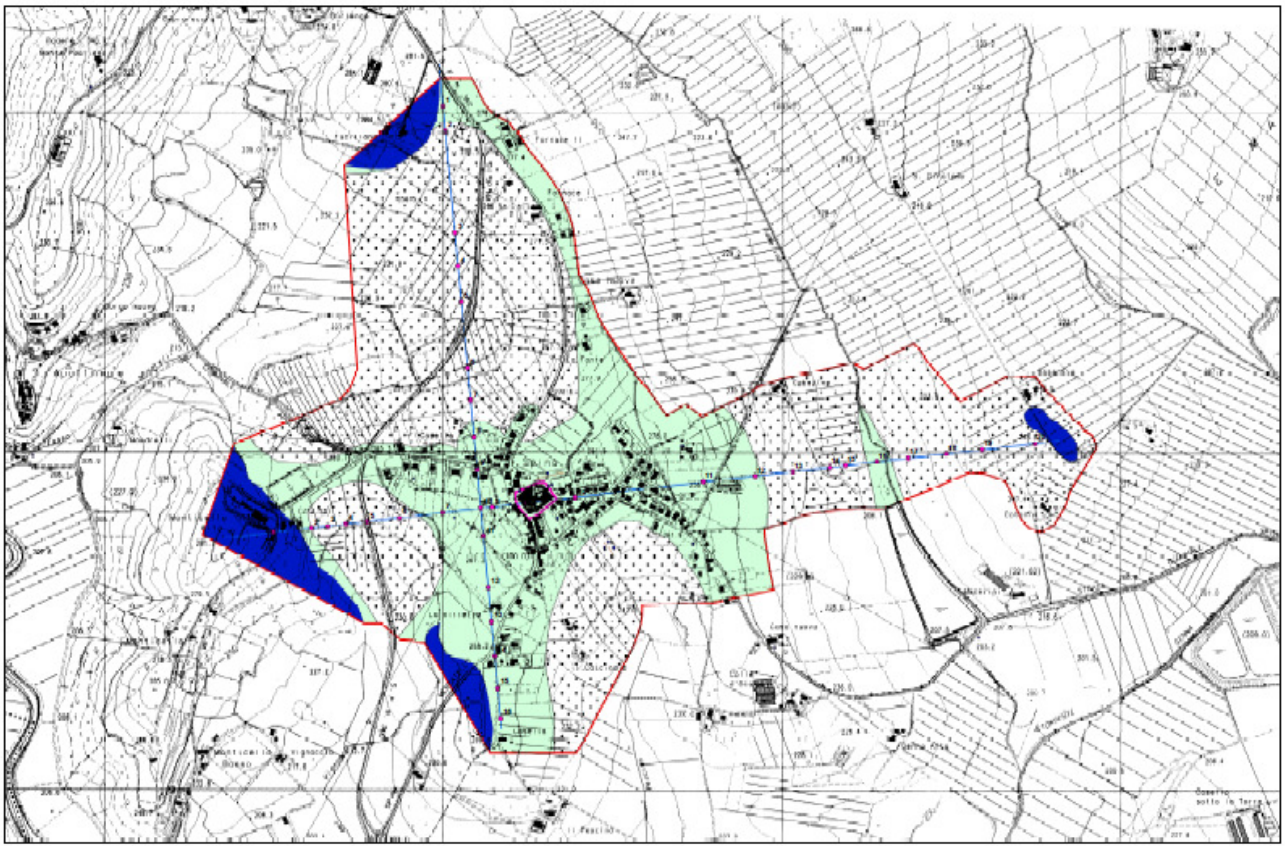


Fig. 8: Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica.

La carta individua:

- con il colore blu la zona stabile del substrato costituito dalle alternanze torbiditiche della Formazione della Montagnaccia (REN);
- con il colore verde la zona stabile suscettibile di amplificazioni locali contraddistinta da spessori fino a circa 100 metri dei depositi limo-argillosi dell'Unità di S. Biagio (PGU1a) posti al di sopra del substrato (REN);
- con il puntinato su fondo bianco la zona suscettibile di instabilità di versante non definita, nelle aree soggette a possibili fenomeni di dissesto superficiale.

4.2 Indagini geognostiche e geofisiche

Le unità geomeccaniche e geofisiche dei depositi continentali riscontrabili nell'area in esame sono caratterizzate da sedimenti prevalentemente fini come argille limose e limi sabbiosi a cui sono intercalati livelli sabbiosi di limitato spessore. Sono presenti inoltre livelli argillosi con presenza di resti vegetali e livelli limo-sabbiosi calcarei pulverulenti oltre a limitate placche di depositi di travertino litoide. I pochi livelli limo-sabbiosi possono essere sede di temporanee e limitate falde acquifere superficiali.
A causa di tale eterogeneità anche le caratteristiche geomeccaniche possono essere variabili. A titolo di esempio, nel prosieguo si riportano i dati delle indagini di laboratorio (raccolti nell'esecuzione del progetto regionale di realizzazione delle cartografie geotematiche di pericolosità sismica locale del 2009) su campioni prelevati rispettivamente nella località San Biagio della Valle ed in quella di Spina.

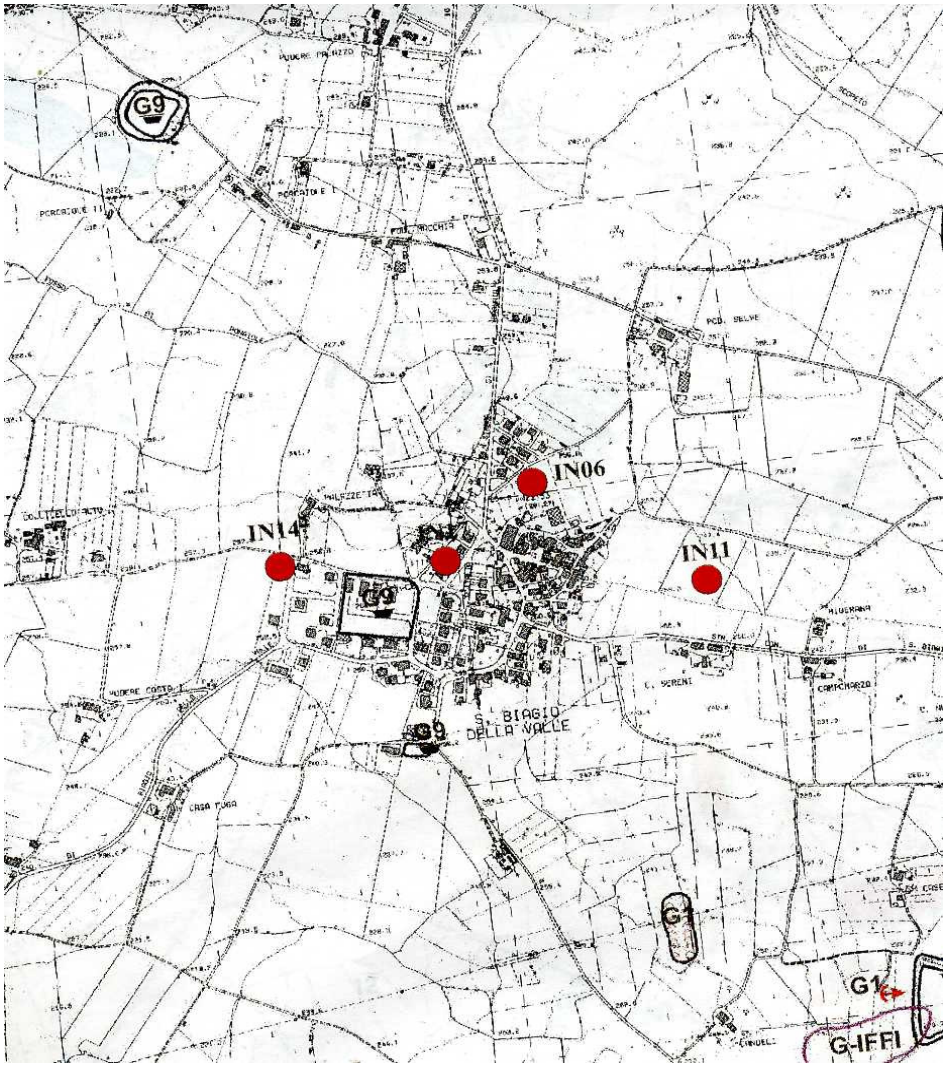


Fig. 9: Ubicazione stratigrafie raccolte nell'area di S.Biagio della Valle.

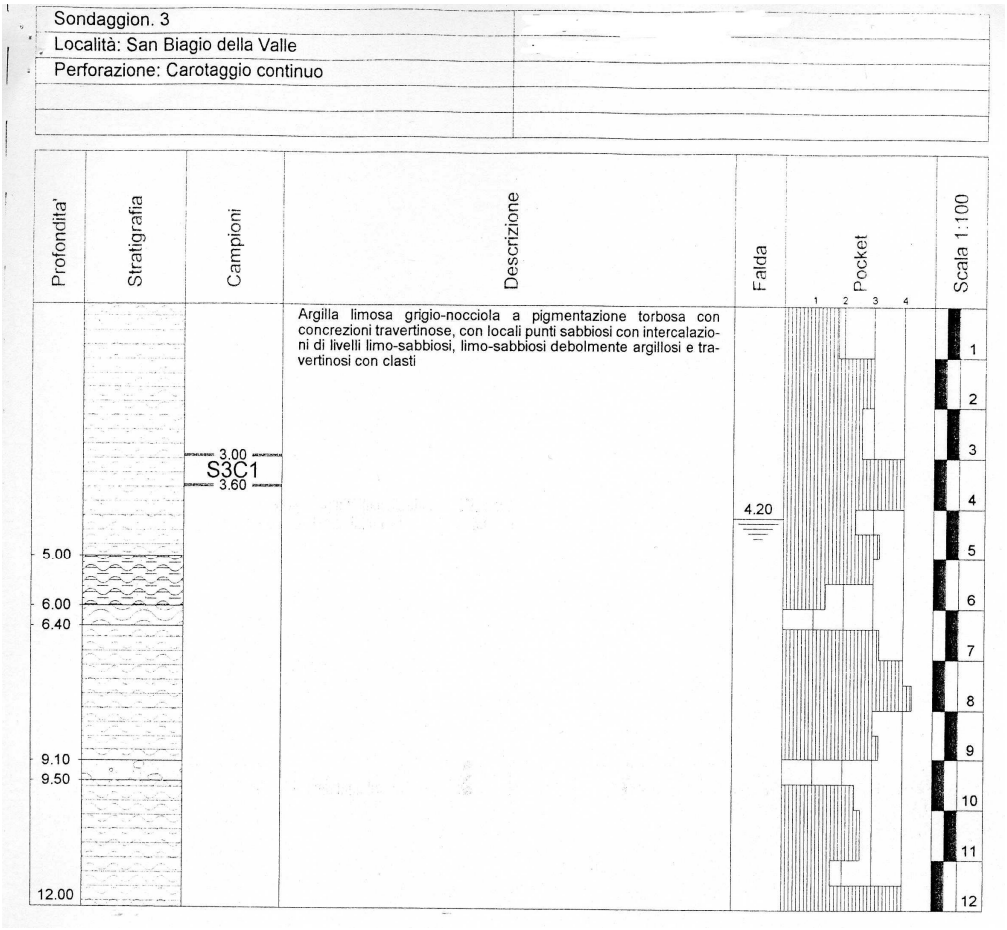


Fig. 10: Stratigrafia relativa all'ubicazione IN 11.

Per l'omonima unità sintemica (PGU_{1a}-Unità di San Biagio), in funzione della granulometria prevalente dei sedimenti, sono stati individuati i parametri geotecnici statici di seguito riportati:

-Argilla limosa: Φ'= 11°-14°, γ =18-19 kN/m^3, c'=20-30kPa;

-Limi sabbiosi: Φ'= 27°-28°, γ =18-19 kN/m^3 , c'=0;

-Sabbie limose: Φ'= 30°-31°, γ =18-20 kN/m^3, c'=5-10kPa;

Nel suo insieme i valori più rappresentativi dei parametri dinamici dell'unità vengono forniti dalle indagini geofisiche che indicano valori bassi delle velocità delle onde di taglio (Vs).
Ad esempio, in località Villanova i profili sismici superficiali indicano valori delle Vs che vanno da circa 200m/s sotto il piano di campagna fino a 370 m/s a -10m di profondità e raggiungono al massimo i 500m/s a -20m dal piano campagna.

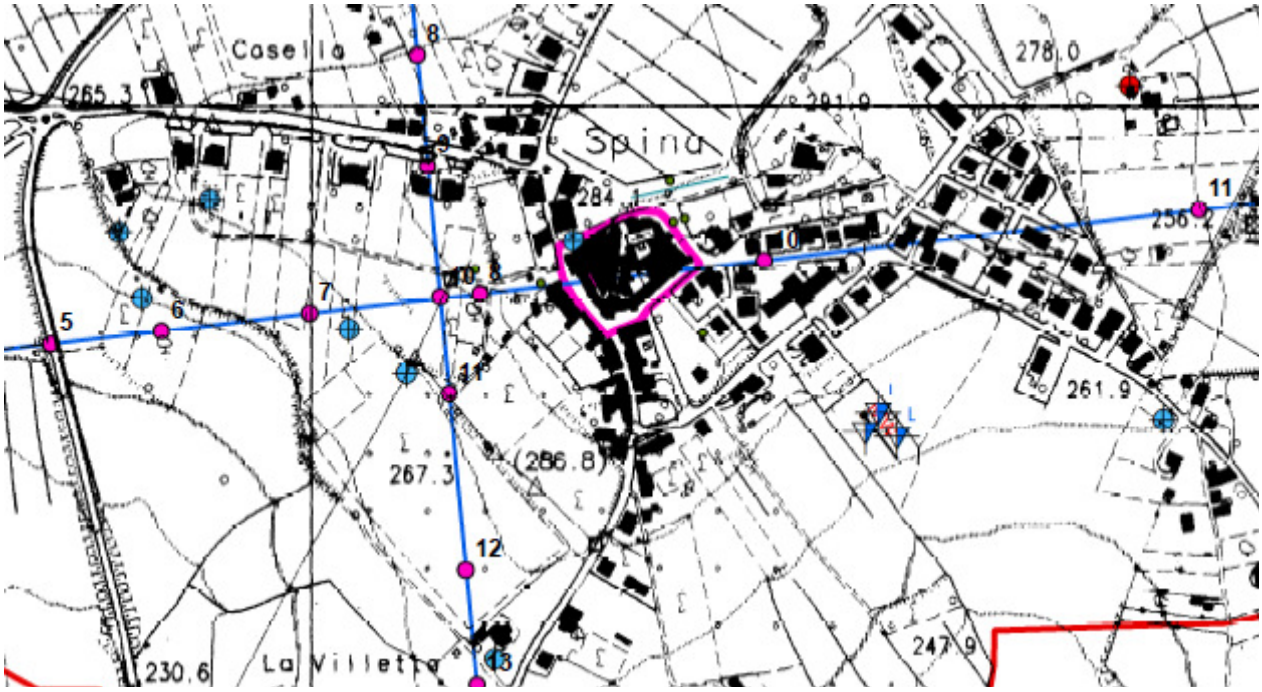


Fig. 11: Ubicazione indagini raccolte a Spina.

Le stratigrafie reperite nell'area di Spina raggiungono moderate profondità, circa 10 m, e non intercettano il substrato. I litotipi presenti sono principalmente argilloso-limosi con intercalati rari e più sottili livelli di sabbie.
I risultati di alcune prove penetrometriche, eseguite a sud di Spina per l'installazione di una struttura prefabbricata destinata ad ospitare le scuole sono di seguito riportati, indicano terreni coesivi di bassa **portanza** almeno nei primi metri di profondità.

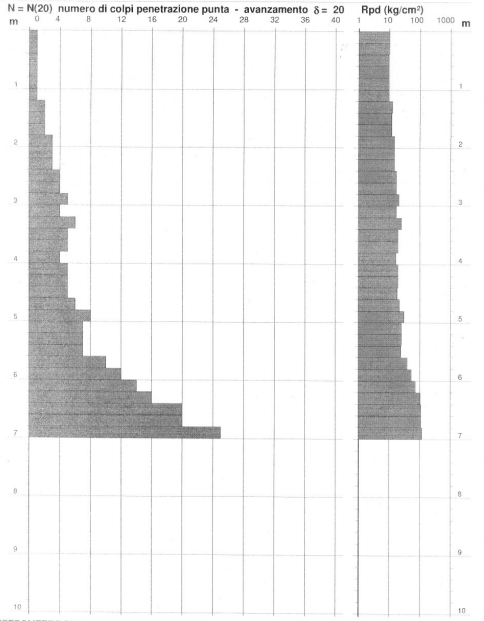
IDROGEOTEC snc di Boila Dr. Paolo e C.
Via Fra Giovanni da Pian di Carpine, 78
06127 - PERUGIA Tel. 075 - 5000603

Riferimento: 2010_12

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 1
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- indagine : Geognostica
- cantiere : Spina
- località : Spina
- data : 27/05/2010
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63.50** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m - A (area punta)= **20.43** cm² - D(diam. punta)= **51.00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/940820

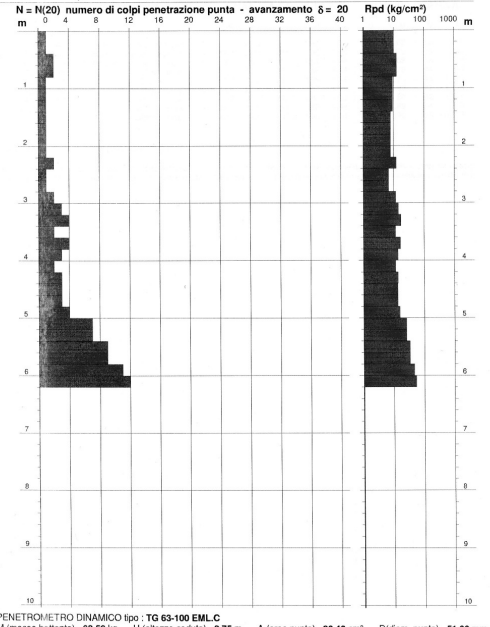
IDROGEOTEC snc di Boila Dr. Paolo e C.
Via Fra Giovanni da Pian di Carpine, 78
06127 - PERUGIA Tel. 075 - 5000603

Riferimento: 2010_12

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 2
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- indagine : Geognostica
- cantiere : Spina
- località : Spina
- data : 27/05/2010
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63.50** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m - A (area punta)= **20.43** cm² - D(diam. punta)= **51.00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/940820

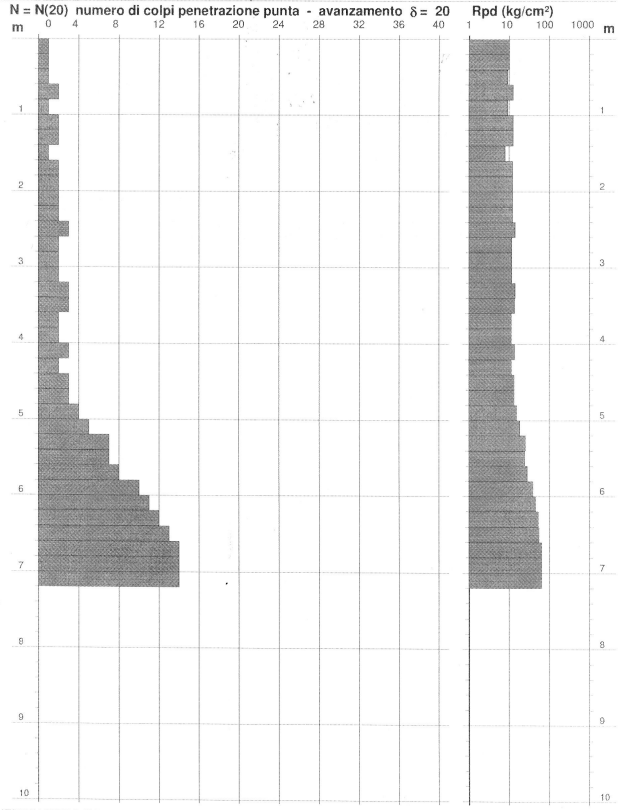
IDROGEOTEC snc di Boila Dr. Paolo e C.
Via Fra Giovanni da Pian di Carpine, 78
06127 - PERUGIA Tel. 075 - 5000603

Riferimento: 2010_12

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 3
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- indagine : Geognostica
- cantiere : Spina
- località : Spina
- data : 27/05/2010
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63.50** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m - A (area punta)= **20.43** cm² - D(diam. punta)= **51.00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/940820

Fig 12: Ubicazione stratigrafia raccolta nell'area del centro abitato di Spina.

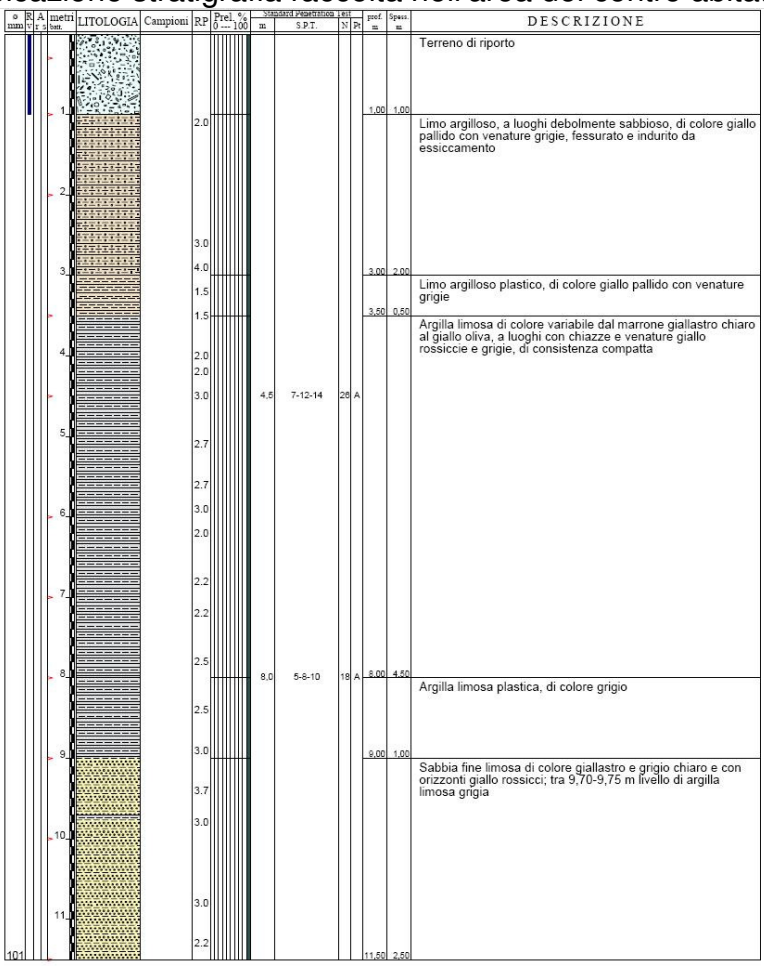


Fig. 13: Stratigrafia rappresentativa e litotipi presenti nell'area di Spina.

In aree più orientali verso la valle del Tevere, in località Papiano, le indagini di sismica a rifrazione sotto riportate, eseguite sempre sulla stessa unità sintemica, hanno fornito valori delle Vs in linea ai risultati sopra indicati (*Osservatorio Sismico Andrea Bina-2009. Indagini di sismica a rifrazione in località Papiano*).

Fig. 14: Tracciato indagine sismica a rifrazione in prossimità del centro abitato di Papiano.

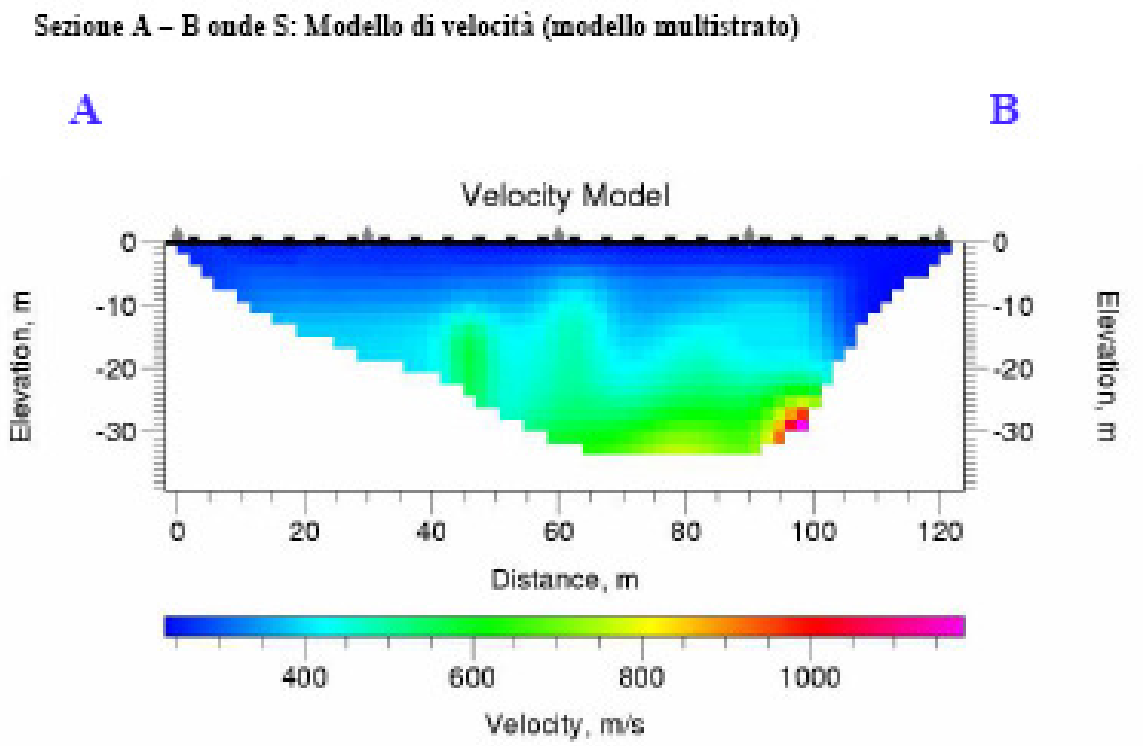


Fig. 15: Modello di velocità per il profilo sismico della figura precedente.

Altre indagini di sismica superficiale eseguite in località Spina e San Biagio della Valle con profili M.A.S.W. si è ritenuto di non utilizzarle.

5.Analisi della campagna geognostica e delle indagini eseguite
5.1 Campagna geognostica e prove di laboratorio

La campagna geognostica è stata eseguita, dal 4 giugno all'11 giugno 2012, dalla ditta Mhetodo srl di Ancona mediante una sonda a rotazione IPC Drill 830L carro cingolata, le cui caratteristiche sono contenute nello specifico rapporto. La perforazione è stata eseguita a rotazione a "carotaggio continuo" con aste e carotiere utilizzando carotieri semplici del diametro di 101mm. I rivestimenti utilizzati sono stati del diametro di 127 mm.
La campagna eseguita è consistita nell'esecuzione di:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi 30m, con condizionamento per l'esecuzione di prove geofisiche, finalizzati alla ricostruzione stratigrafica ed il prelievo di campioni indisturbati (la cui profondità di prelievo è indicata nei certificati che sono sotto riportati) per l'esecuzione di prove di laboratorio statiche e dinamiche;
- 2 prove geofisiche tipo Down Hole, fino alla profondità di 30m, i cui dati interpretati hanno permesso di ricavare le velocità sismiche per ciascun sismostrato (sia per le onde P che per le onde SH).

Lo studio geologico dell'abitato storico "Il Castello" di Spina si è avvalso dell'esecuzione di n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo della profondità di 30m dal piano campagna.
I sondaggi sono stati posizionati esternamente alla zona del Castello considerata la limitata accessibilità dei mezzi meccanici di grande ingombro all'interno dell'area del borgo antico e sono rappresentativi dell'area oggetto del PIR.

Ubicazione del sondaggio S2 Ubicazione del sondaggio S1

Le perforazioni geognostiche si sono svolte nel periodo dal 04/06712 al 11/06/12 previo accertamento della non interferenza degli scavi con le linee di servizio sotterranee (cavi elettrici, gas, acquedotti, ecc.).
Sono state attraversate le unità litologiche Pleistoceniche descritte nella cartografia geologica alla scala 1:10.000: limi, limi argillosi, limi sabbiosi, argille con resti vegetali torbosi (Unità di S. Biagio-PGU_{1a}) eseguendo il rilievo stratigrafico di dettaglio dei terreni, tramite misure dirette degli spessori dei litotipi distinguibili a seconda delle caratteristiche granulometriche, di consistenza, presenza di inclusi, colorazione, ecc.

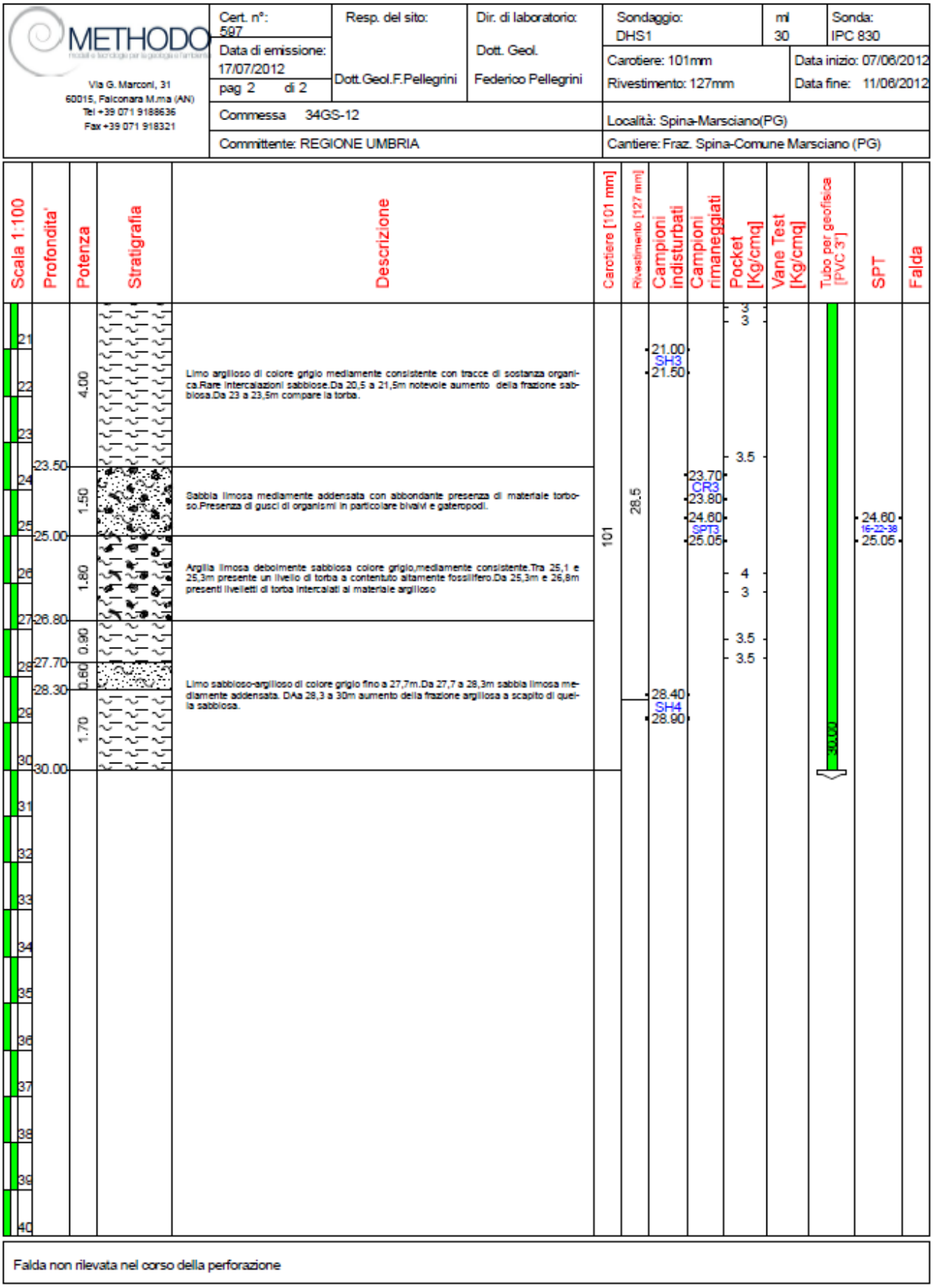
Sondaggio n. 1

Questo sondaggio a carotaggio continuo è stato eseguito ad ovest rispetto alla cinta muraria del Castello .
Nell'area è presente del materiale estremamente eterogeneo assimilabile a riporto/terreno alterato fino ad una profondità di -4,70 m. dal p.c.; dalla profondità di -4,70m fino a -7,50m prevalgono delle sequenze sabbio-limose mediamente addensate con superfici di ossidazione rossastra.
Dalla quota di -7,5m fino a -30m è netta la prevalenza di materiali fini argillo-limosi e limo-argillosi di consistenza medio alta con tonalità dal giallo al grigio cui si intercalano strati sabbio limosi e limo sabbiosi con spessori complessivi rispettivamente di 3,9m e 3,7m.
E' stato rinvenuto dalla profondità di -23,50m fino a -26,8m abbondante materiale torboso con locale presenza di gusci di organismi bivalvi e gasteropodi.
Tra i -15 ed i -16,5m si osservano degli inclusi cristallini con lucentezza vitrea e scalfibili all'unghia tipici di ambienti anaerobici dove intervengono processi con emanazione di gas solfurei.

METHODO	Cert. n°: 597	Resp. del sito:	Dir. di laboratorio:	Sondaggio: DHS1	ml 30	Sonda: IPC 830
Via G. Marconi, 31 60015, Falconara M.ma (AN) Tel +39 071 9188636 Fax +39 071 918321	Data di emissione: 17/07/2012 pag 1 di 2	Dott.Geol.F.Pellegrini	Dott. Geol. Federico Pellegrini	Carotiere: 101mm Rivestimento: 127mm		Data inizio: 07/06/2012 Data fine: 11/06/2012
	Commessa 34GS-12			Località: Spina-Marsciano(PG)		
	Committente: REGIONE UMBRIA			Cantiere: Fraz. Spina-Comune Marsciano (PG)		

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Carotiere [101 mm]	Rivestimento [127 mm]	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Pocket [Kg/cmq]	Vane Test [Kg/cmq]	Tubo per geofisica [PVC 3"]	SPT	Falda
1	1.50	1.50		Riporto antropico	101	28.5							
2	3.00	1.50		Limo sabbioso colore marrone con ciottoli millimetrici (RIPORTO)									
3	4.70	1.70		Sabbia limosa mediamente addensata di colore giallognolo con ciottoli millimetrici di varia natura (RIPORTO)									
4	5.00	0.30		Sabbia limosa da poco a mediamente addensata con rari ciottoli e presenza di superfici di ossidazione rossastre.				4.80 CR1 4.90	3.8				
5	5.50	0.50		Limo argilloso sabbioso di colore giallognolo mediamente consistente.Presenza di sostanza organica e superfici di ossidazione rossastre.									
6	6.50	1.00		Sabbia limosa da mediamente a pocpo addensata di colore giallognolo.				6.00 SPT1 6.45	3.5 3.5			6.00 7-8-10 6.45	
7	7.10	0.60		Limo argilloso sabbioso di colore giallognolo mediamente consistente con tracce di sostanza organica e superfici di ossidazione rossastre.									
	7.50	0.40		Sabbia limosa mediamente addensata di colore giallognolo.									
8									3				
9							9.00 SH1 9.50			1			
10		3.50		Argilla limosa mediamente consistente di colore giallognolo,con frequenti intercalazioni sabbiose e superfici di ossidazione rossastre.									
11	11.00												
12		1.80		Sabbia limosa di colore giallognolo mediamente addensata,satura.				11.40 CR2 11.50					
13	12.80	0.60											
14	13.40			Limo sabbioso debolmente argilloso,a tratti passante a sabbia limosa mediamente addensata,di colore giallognolo.Da 13,4 a 14,3m aumento della frazione argillosa e comparsa di superfici di ossidazione rossastre.Da 14.8 a 16.5 abbondante presenza di cristalli a lucentezza vitrea e scaifiblli con l'unghia.Nella parte terminale comparsa di un livello torboso.					2.5 3 3.5				
15		3.10						14.30 SPT2 14.75				14.30 10-12-15 14.75	
16									3				
17	16.50						16.00 SH2 16.50						
18				Argilla limosa a consistenza medio-alta.Il colore passa da giallo a grigio.Tracce di sostanza organica.					5 4.5 4.8 5	1.9			
19		3.00							3 3.5 3 3				
20	19.50	4.00		Limo argilloso di colore grigio mediamente consistente con tracce di sostanza organica.Rare intercalazioni sabbiose.Da 20,5 a 21,5m notevole aumento della frazione sabbiosa.Da 23 a 23,5m compare la torba.						0.9			

Falda non rilevata nel corso della perforazione



Sondaggio n. 2

Da questo sondaggio eseguito a carotaggio continuo sul lato est del Castello, il materiale di riporto in superficie risulta di esiguo spessore (30cm); poi per tutta la lunghezza del

sondaggio è predominante una sequenza argillo-limosa e limo-argillosa di medio-alta consistenza intervallata a materiale sabbio-limoso ossidato con spessori variabili da 1m a 3m, ma complessivamente non superiore ai 6m.
Anche in questa situazione si assiste localmente ad una concentrazione di materiale torboso (tra i -25m ed i -28m) ed alla presenza abbondante di gusci e di organismi bivalvi e gasteropodi su un livello di 50cm.
Per entrambe le perforazioni non sono state rinvenute falde acquifere.

METHODO	Cert. n°: 598	Resp. del sito:	Dir. di laboratorio:	Sondaggio: DHS2	ml 30	Sonda: IPC 830
Via G. Marconi, 31 60015, Falconara M.ma (AN) Tel +39 071 9188636 Fax +39 071 918321	Data di emissione: 17/07/2012 pag 1 di 2	Dott.Geol.F.Pellegrini	Dott. Geol. Federico Pellegrini	Carotiere: 101mm Rivestimento: 127mm		Data inizio: 04/06/2012 Data fine: 06/06/2012
	Commessa 34GS-12			Località: Spina-Marsciano(PG)		
	Committente: REGIONE UMBRIA			Cantiere: Fraz. Spina-Comune Marsciano (PG)		

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione
	0.30	0.30		Riporto antropico
1, 2	2.00	1.70		Limo argilloso con rre intercalazioni sabbiose di colore giallastro,media conbsistenza.Presenti superfici di ossidazione rossastre.
3, 4, 5, 6	6.50	4.50		Argilla debolmente limosa colore giallastro mediamente consistente.Presenza di sostanza organica e patine di ossidazione rossastre.
7, 8	8.30	1.80		sabbia limosa da mediamente a poco addensata,con presenza di patine di ossidazione rossastre e rari ciottoli millimetrici.
9	9.40	1.10		Argilla limosa debolmente sabbiosa colore giallastro con tracce di sostanza organica e patine di ossidazione rossastre
10	10.50	1.10		Sabbia limosa colore giallastro con ossidazioni rossastre,mediamente addensata.
11, 12, 13	13.50	3.00		Argilla limoso-sabbiosa a medio-alta consistenza di colore da grigio a giallastro con evidenti superfici di ossidazione.la frazione sabbiosa scompare intorno al 11,3m.Da 12,1 a 13,5m la colorazione passa a grigio.Sostanza organica assente.
14, 15	15.00	1.50		Limo argilloso colore grigio-giallastro con intercalazioni sabbiose,mediamente consistente.Presenti patine di ossidazione e spalmature nerastre riconducibili a presenza di sostanza organica.
16, 17	16.50	1.50		Limo argilloso colore grigio,con intercalazioni sabbiose, a medio-alta consistenza
18, 19	18.50	2.00		Argilla limosa colore grigio mediamente consistente.Rare tracce di sostanza organica.
20	20.00	1.50		Argilla torbosa con evidenze olfattive.Presenti intercalazioni sabbiose,color nerastro a consistenza medio-alta.

Carotiere [101 mm]	Rivestimento [127 mm]	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Pocket [Kg/cmq]	Vane Test [Kg/cmq]	Tubo per geofisica [PVC 3"]	SPT	Falda
101	28,5	1.50 SH1 2.00	3.00 SPT1 3.45	3, 2.8, 3, 3.7, 4, 4, 3.8	0.5, 0.7, 1.3, 1.5		3.00 6-7-11 3.45	
			7.60 CR1 7.70	3, 4				
			10.50 SPT2 10.95	4, 2.8	1.8, 1		10.00 10-11-14 10.50	
		13.60 SH2 14.00						
			15.70 CR2 15.80	5	2.2			
			16.50 SPT3 16.95	4, 4, 3	1.6		16.50 13-19-22 16.95	
			18.60 CR3 18.70	4, 5				
			19.50 CR4 19.60	4				

Falda non rilevata nel corso della perforazione

METHODO
Via G. Marconi, 31
60015, Falconara M.ma (AN)
Tel +39 071 9188636
Fax +39 071 918321

Cert. n°: 598	Resp. del sito:	Dir. di laboratorio:	Sondaggio: DHS2	ml 30	Sonda: IPC 830
Data di emissione: 17/07/2012	Dott.Geol.F.Pellegrini	Dott. Geol. Federico Pellegrini	Carotiere: 101mm Rivestimento: 127mm		Data inizio: 04/06/2012 Data fine: 06/06/2012
pag 2 di 2					
Commessa 34GS-12			Località: Spina-Marsciano(PG)		
Committente: REGIONE UMBRIA			Cantiere: Fraz. Spina-Comune Marsciano (PG)		

Profondita'	Potenza	Descrizione	Carotiere [101 mm]	Rivestimento [127 mm]	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Pocket [Kg/cmq]	Vane Test [Kg/cmq]	Tubo per geofisica [PVC 3"]	SPT
20.00	3.50	Argilla limosa di colore grigio a consistenza medio-alta.Tracce di sostanza organica.	101	28.5	23.00 SH3 23.50		4.5, 5, 4.3, 2.5, 2, 2.2	0.8	30.00	
23.50	1.30	Torba a carattere principalmente limoso.Nella parte finale diventa sabbiosa.					4, 3.5			
24.80	0.40									
25.20	3.00	Sabbia limosa poco addensata con sottili lamine torbose.Il colore varia da marrone scuro a marroncino.La torba si presenta abbondante rispetto alla matrice sabbiosa nella parte sommitale,mentre come intercalazioni nella parte finale.Evidenze olfattive.Da 26,2 a 27,3m abbondante presenza di gusci di organismi come bivalvi e gasteropodi.Da 28 a 28,2m livello esclusivamente composto da torba.				25.70 CR5 25.80				
28.20	1.80	Argillalimosa di colore grigio mediamente consistente con tracce di sostanza organic,specialmente nel tratto iniziale,rare intercalazioni sabbiose.				29.00 SPT4 29.45	3, 4, 3, 27			29.00 21-20-25 29.45
30.00										

Scala 1:100: 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

Falda non rilevata nel corso della perforazione

Il rivestimento del foro con tubi in acciaio di diametro pari a 127mm ha garantito il procedere dell'escavazione verticale senza incorrere in pericoli d'instabilità e scavernamenti delle pareti.
Considerata la consistenza dei materiali e le loro caratteristiche litologiche il prelevamento dei campioni indisturbati è stato possibile tramite un campionatore a pareti sottili del tipo SHELBY.
I sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2 hanno evidenziato una caratterizzazione litostratigrafica con predominanza di terreni granulari fini limo argillosi ed argillo-limosi dal comportamento coesivo; del tutto assente è stata la presenza di una componente ghiaiosa.
Le prove geotecniche di laboratorio, a cui si accenna più avanti sono state tutte effettuate su campioni di terreno indisturbato ad esclusione di n. 2 prove granulometriche che hanno interessato dei campioni rimaneggiati a granulometria leggermente più grossolana:

- campione CR1 con frazione sabbiosa al 50% e limosa al 40%;
- campione CR2 con frazione limosa al 68% ed argillosa al 27%.

Le curve granulometriche presentano dei bruschi cambiamenti di pendenza per la mancanza dei diametri delle ghiaie ed appaiono estese negli altri intervalli.
Il comportamento geomeccanico dei materiali non presenta delle marcate discontinuità piuttosto risulta abbastanza omogeneo.
Dall'analisi degli indici di consistenza (Atterberg) i terreni esaminati esibiscono una consistenza solido-plastica (0.75<IC<1) dimostrata sia dai bassi valori dell'indice di liquidità (LI) caratterizzati da valori del contenuto d'acqua naturale (w_n) prossimi al limite plastico (w_n) che dai valori dell'indice di consistenza (IC) che, stimati alle varie profondità, non sono mai risultati inferiori a 0,94.
I valori di LL (limite di liquidità), LP(limite di plasticità), IP(indice di plasticità) che sono stati riscontrati evidenziano la presenza di minerali argillosi di tipo caolinitico.
Un contenuto dei fini (<0,005 mm) ampiamente superiore al 10% accompagnato da un indice di Plasticità IP sempre > 10 sono condizioni che **confermano la non suscettibilità dell'area alla liquefazione**.
Le prove penetrometriche in foro del tipo SPT (*Standard Penetration Test*), eseguite utilizzando un campionatore standardizzato "Raymond", confermano una consistenza del deposito limo argilloso medio-alta, ottenendo valori d N_{spt} pari a 18 nei primi 5m fino a valori di 45-60 nell'ultimo tratto del sondaggio tra i 25m ed i 30m di profondità.
Le prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL), che è stato possibile eseguire per la capacità intrinseca dei materiali di conservare nel corso della prova le pressioni interstiziali, hanno ottenuto una resistenza al taglio non drenata pari a:
c_u = 124kP_a (strato superficiale);
c_u = 176kP_a (strato profondo).
I valori della resistenza alla penetrazione del terreno i condizioni non drenate (q_u) ottenuti per mezzo del penetrometro tascabile (*pocket penetrometer*) oscillano prevalentemente tra i ≈ 294-392 kPa (3-4 kg/cmq) per attestarsi, nei livelli localmente meno addensati per un maggiore contenuto di acqua, a valori di ≈196 kPa (q_u = 2,0 kg/cmq).
Le prove fatte con scissometro tascabile (*vane*) hanno fornito dei valori di resistenza non drenata del terreno (c_u) compresi tra 98-196 kPa (1- 2 kg/cmq).
La prova triassiale di Compressione Isotropa Drenata (C.I.D.), eseguita su un campione prelevato ad una profondità di 21,0m, ha fornito i seguenti valori dei parametri di resistenza:

- c' = 40,7 kPa
- Φ' = 24,6°

Su un campione limo-argilloso estremamente compatto prelevato alla profondità di 23m è stata effettuata una prova di compressione edometrica; dalla curva edometrica calcolata nel diagramma e-logσ_v' si evince una pressione di preconsolidazione σ_p' = 1000 kPa la quale fornisce, assunta la tensione litostatica del campione σ_{vo}'= 420 kPa, un grado di sovraconsolidazione OCR = 2,3 che identifica un deposito di tipo LC (leggermente sovra consolidato).
Il modulo edometrico è risultato pari a M = 24755kPa.
Con le prove di laboratorio si è analizzato il comportamento dinamico dei terreni tramite l'esecuzione di una prova di colonna risonante su un campione indisturbato prelevato alla profondità di 14m dal piano campagna del sondaggio S2.
L'ampiezza della curva di decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_{max} - γ_{sa} e di incremento del fattore di smorzamento D - γ_{sa} rivela il comportamento coesivo dei materiali confermato anche da un rapporto di pressione interstiziale con variazioni insignificanti.

5.2 Indagini geofisiche in foro

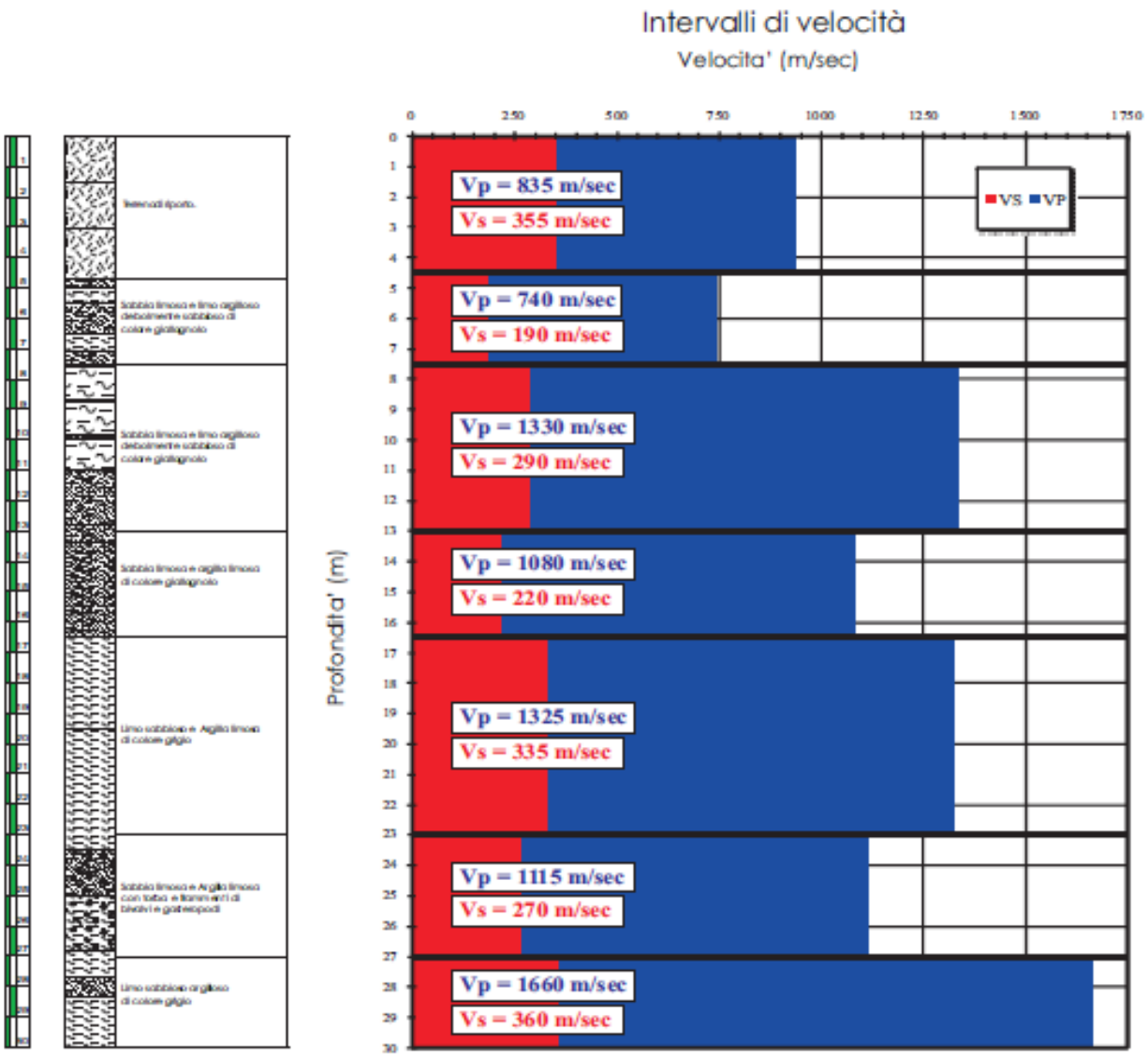
Nell'area in oggetto si è ricavato in modo diretto la velocità V_s delle onde di taglio tramite le indagini *down hole* eseguite in corrispondenza dei sondaggi S1 ed S2 che hanno raggiunto la profondità di 30m.
Al termine di ogni sondaggio si è effettuata la cementazione delle pareti del foro per l'intera lunghezza di 30m come condizionamento per le successive prove geofisiche del tipo *down hole*.

Cementazione del foro S2

Sono di seguito riportati le sintesi dei risultati delle prove *down hole* eseguite nei fori si sondaggio. Le prove *down hole* sono dettagliatamente descritte nel rapporto in allegato.

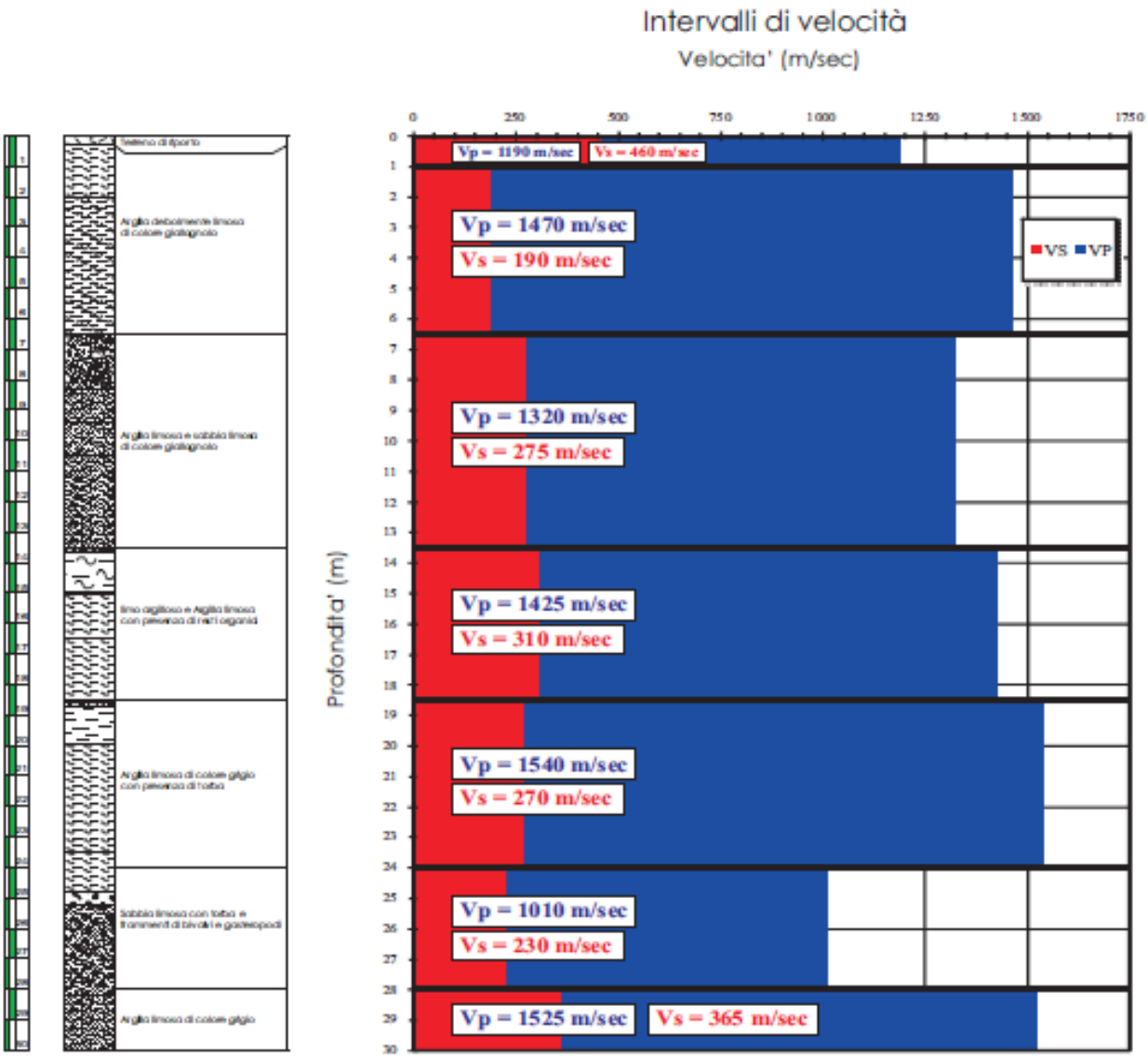
Down-Hole S1

*** MODULI ELASTICI DINAMICI***								
Int.	γ	*Vp*	*Vs*	*Vp/Vs*	E_0	*G*	σ	*K*
0.0-4.5 m	1900	835	355	2.35	6.655E+08	2.394E+08	0.3897	1.01E+09
4.5-7.5 m	1800	740	190	3.89	1.904E+08	6.498E+07	0.4647	8.99E+08
7.5-13.0 m	1900	1330	290	4.59	4.714E+08	1.598E+08	0.4750	3.15E+09
13.0-16.5 m	1900	1080	220	4.91	2.719E+08	9.196E+07	0.4784	2.09E+09
16.5-23.0 m	1900	1325	335	3.96	6.251E+08	2.132E+08	0.4659	3.05E+09
23.0-27.0 m	1900	1115	270	4.13	4.069E+08	1.385E+08	0.4689	2.18E+09
27.0-30.0 m	2000	1660	360	4.61	7.648E+08	2.592E+08	0.4753	5.17E+09
*** γ *Kg/m*^{3} - *Velocità m/sec* - *Moduli N/m*^{2} ***								



Down-Hole S2

*** MODULI ELASTICI DINAMICI***								
Int.	γ	*Vp*	*Vs*	*Vp/Vs*	E_0	*G*	σ	*K*
0.0-1.0 m	1900	1190	460	2.59	1.135E+09	4.020E+08	0.4122	2.15E+09
1.0-6.5 m	1800	1470	190	7.74	1.938E+08	6.498E+07	0.4915	3.80E+09
6.5-13.5 m	1900	1320	275	4.80	4.245E+08	1.437E+08	0.4773	3.12E+09
13.5-18.5 m	1900	1425	310	4.60	5.387E+08	1.826E+08	0.4752	3.61E+09
18.5-24.0 m	1900	1540	270	5.70	4.111E+08	1.385E+08	0.4841	4.32E+09
24.0-28.0 m	1900	1010	230	4.39	2.960E+08	1.005E+08	0.4727	1.80E+09
28.0-30.0 m	2000	1525	365	4.18	7.832E+08	2.665E+08	0.4696	4.30E+09
*** γ *Kg/m*^{3} - *Velocità m/sec* - *Moduli N/m*^{2} ***								

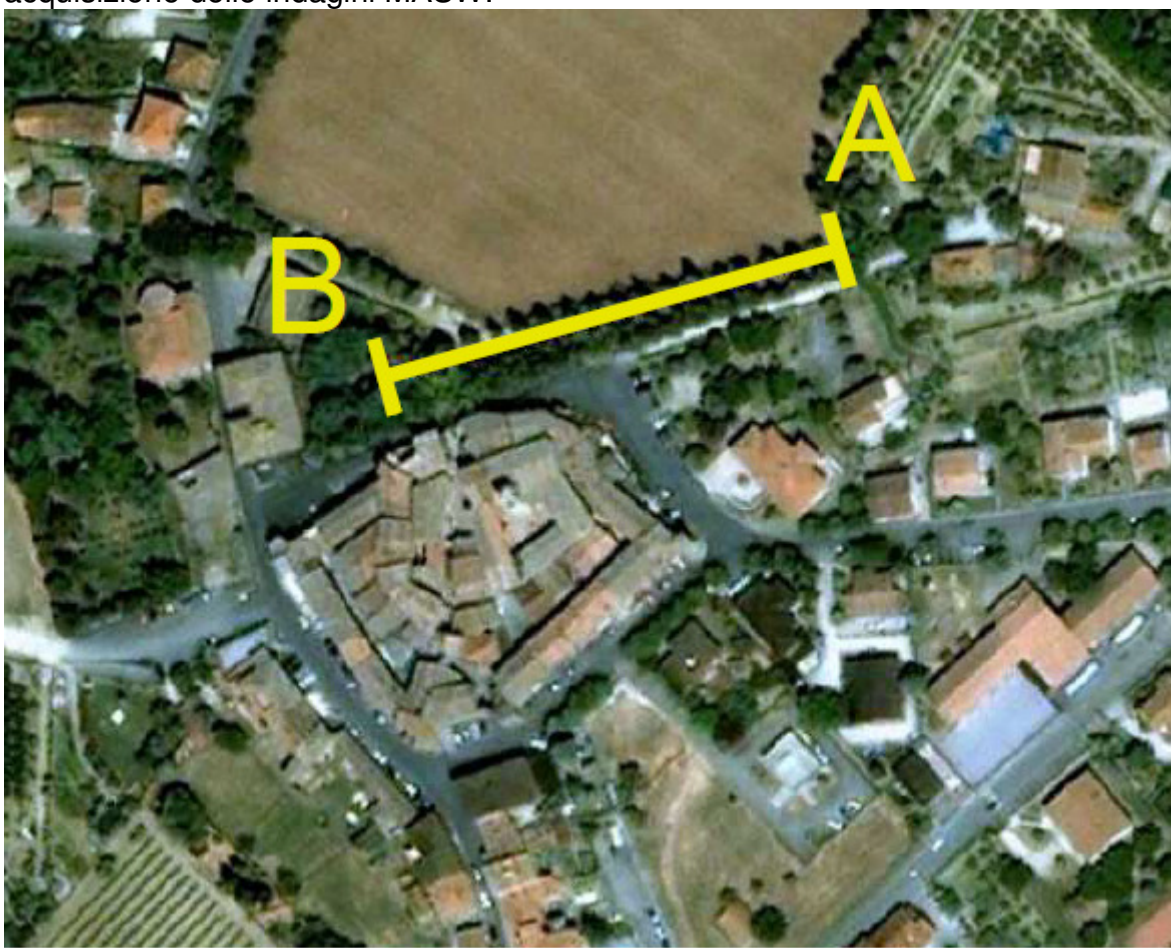

Intervalli di velocità
Velocita' (m/sec)
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
Profondita' (m)
Vp = 1190 m/sec
Vs = 460 m/sec
Vp = 1470 m/sec
Vs = 190 m/sec
Vp = 1320 m/sec
Vs = 275 m/sec
Vp = 1425 m/sec
Vs = 310 m/sec
Vp = 1540 m/sec
Vs = 270 m/sec
Vp = 1010 m/sec
Vs = 230 m/sec
Vp = 1525 m/sec
Vs = 365 m/sec
VS
VP

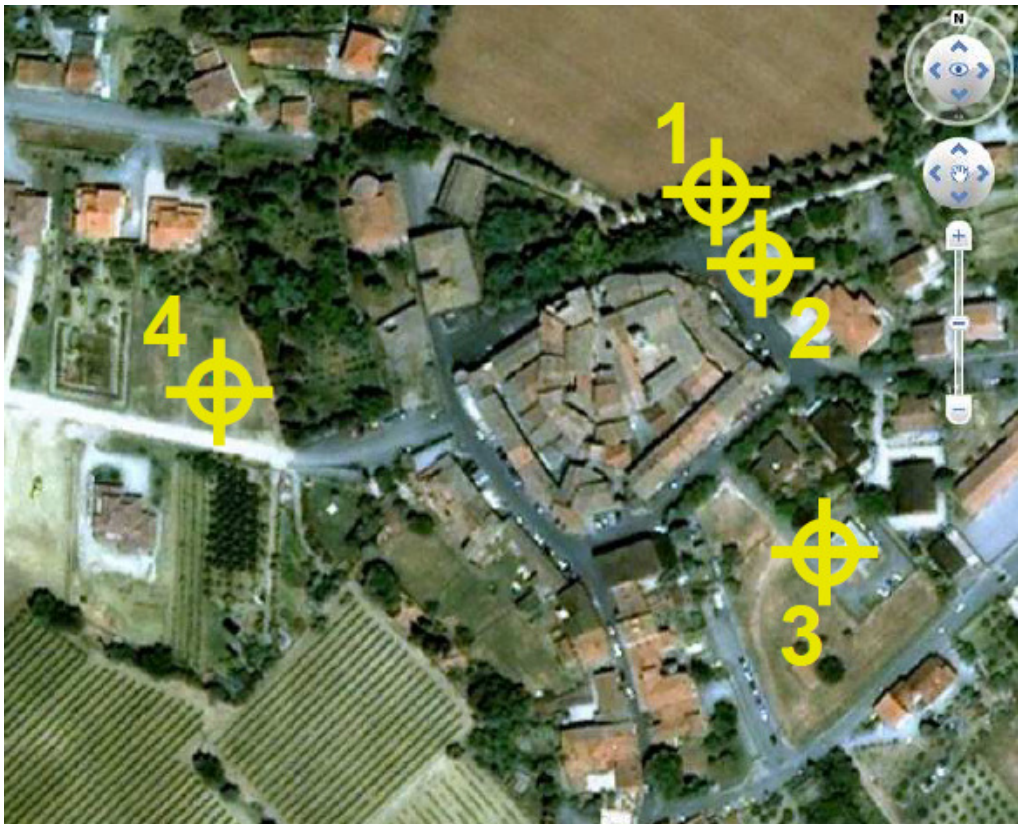
5.3 Indagini geofisiche di superficie

Le indagini geofisiche di superficie sono state eseguite nel novembre 2010 dall'Osservatorio Sismico "Andrea Bina" nell'ambito della convenzione in essere con il Servizio Geologico e Sismico e sono consistite in:

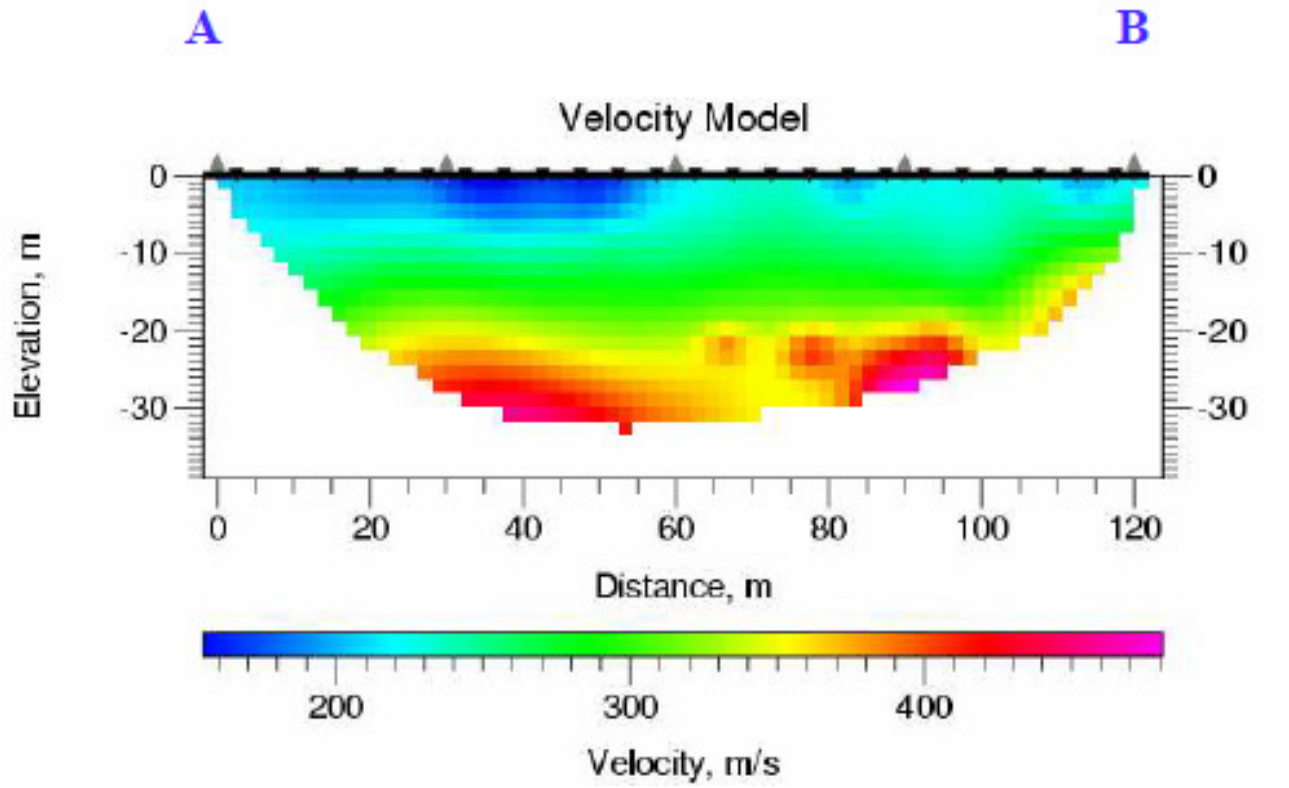
- n. 1 profilo di sismica a rifrazione in onde SH;
- n. 1 profilo di sismica a rifrazione in onde P;
- n. 1 profilo M.A.S.W.;
- n. 4 punti di acquisizione di misure di rumore sismico con analisi HVSR (Nakamura).

Si rimanda allo specifico rapporto in allegato per le specifiche delle strumentazioni usate.
Di seguito sono riportate le ubicazioni rispettivamente della linea di acquisizione di sismica a rifrazione con acquisizione in onde SH e P, delle misure di rumore e della linea di acquisizione delle indagini MASW.




1
2
3
4

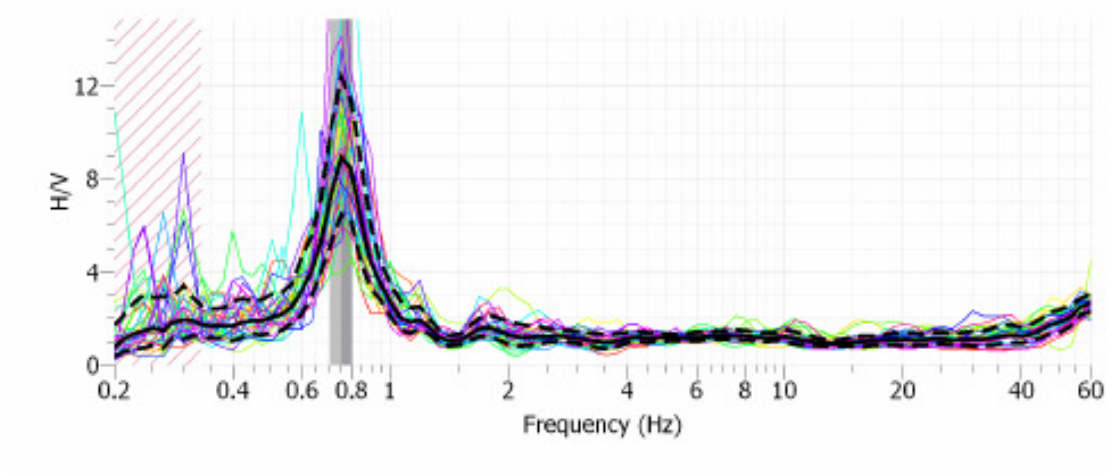
L'acquisizione effettuata con tecnica di sismica a rifrazione per l'analisi delle velocità delle Vs ha fornito i seguenti risultati.



Il calcolo del parametro Vs_{30} (in accordo alle NTC08) eseguito lungo lo stendimento di sismica a rifrazione ha fornito, per distanze dal punto A di 45m, 60m, 70m e90m, valori di 265m/s, 282m/s, 292m/s e 303m/s, rispettivamente.

Le misure di rumore eseguite hanno individuato in tutte e quattro le misure effettuate una frequenza di risonanza dei terreni circa a 0.79hz con un elevato picco di amplificazione del rapporto H/V con valori compresi tra 6.5-9. Di seguito è riportata una delle misure.

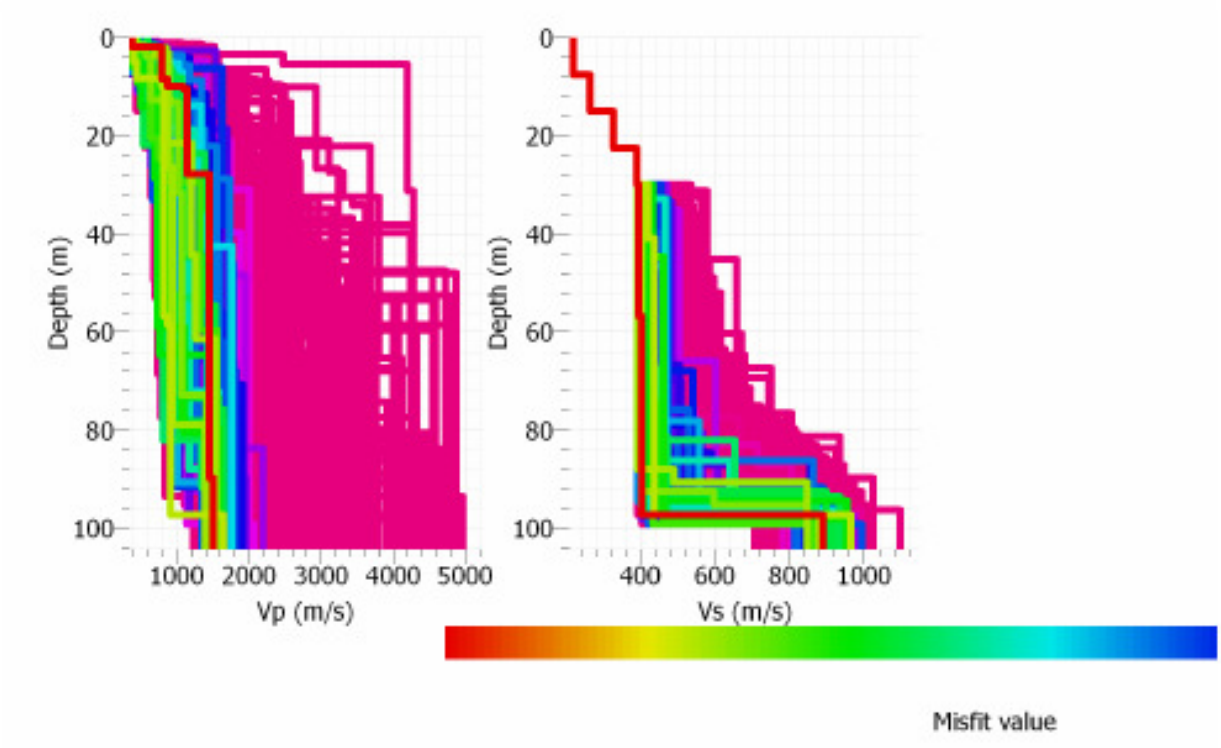
Punto n. 2: Lat. 42.986311 Long. 12.280936



Frequenza di risonanza del sito: 0.776 Hz. Rapporto H/V: 8.86

Le analisi eseguite hanno permesso di definire il modello sismostratigrafico nei pressi del Castello di Spina.
I valori calcolati del parametro Vs_{30} sono associabili alla categoria di sottosuolo C, le velocità Vs rimangono costanti con valori bassi fino al limite del contrasto di rigidità sismica, associabile ai depositi torbiditici posto ad una profondità di 92m-99. Di seguito è riportato il modello sismo stratigrafico calcolato per il punto 2.

Punto 2



.

Spessore medio degli strati (m)	Velocità media delle onde S (m/s)
Da 0 a 7.5	220
Da 7.5 a 15	265
Da 15 a 22.5	328
Da 22.5 a 30	392
Da 30 a 56	400
Da 56 a 97	410
Da 97 in poi (bedrock sismico)	890

Modello sismostratigrafico relativo al Punto 2 (Lat. 42.986311 Long. 12.280936)

6.Modello geologico e geotecnico-geofisico

Sulla base dei dati analizzati è stato possibile innanzi tutto definire un modello geologico con il quale sono state individuate 5 diverse unità geologiche, tra depositi di origine continentale e depositi del substrato di origine marina, così come descritte nel capitolo 4.
L'interpretazione dei risultati delle diverse campagne d'indagine (si veda l'apposito capitolo 5 sulle indagini geognostiche e geofisiche) ha permesso di definire, su un'area di circa 5 chilometri quadrati, il modello geotecnico-geofisico mediante 7 unità geofisiche che ricomprendono le 5 diverse unità geologiche summenzionate.
I dati derivanti dalla campagna geofisica sono in linea con i risultati già ottenuti per la microzonazione sismica dell'area urbana di Perugia, *(Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico. Microzonazione sismica delle aree urbane: 1° intervento città di Perugia-2009)*, eseguite nelle stesse unità litotecniche o geotecniche-geofisiche rinvenibili nell'area terremotata.
Il modello geotecnico-geofisico è sintetizzato in 2 profili rappresentativi dell'area in studio.
In particolare, la scelta dei 2 profili ha tenuto conto delle conoscenze acquisite con i rilevamenti e con i tutti i dati raccolti al fine di ottenere il maggior grado di informazioni, quantitative e qualitative, sul comportamento in condizioni sismiche nelle diverse condizioni geologiche e topografiche.

Nelle figure sottostanti sono riportati gli stralci cartografici con i 2 profili geologici ed i profili geotecnico-geofisici utilizzati nelle analisi numeriche bidimensionali (le lettere lungo i profili indicano le sigle delle unità geofisiche ed i cerchi le verticali delle analisi numeriche eseguite).

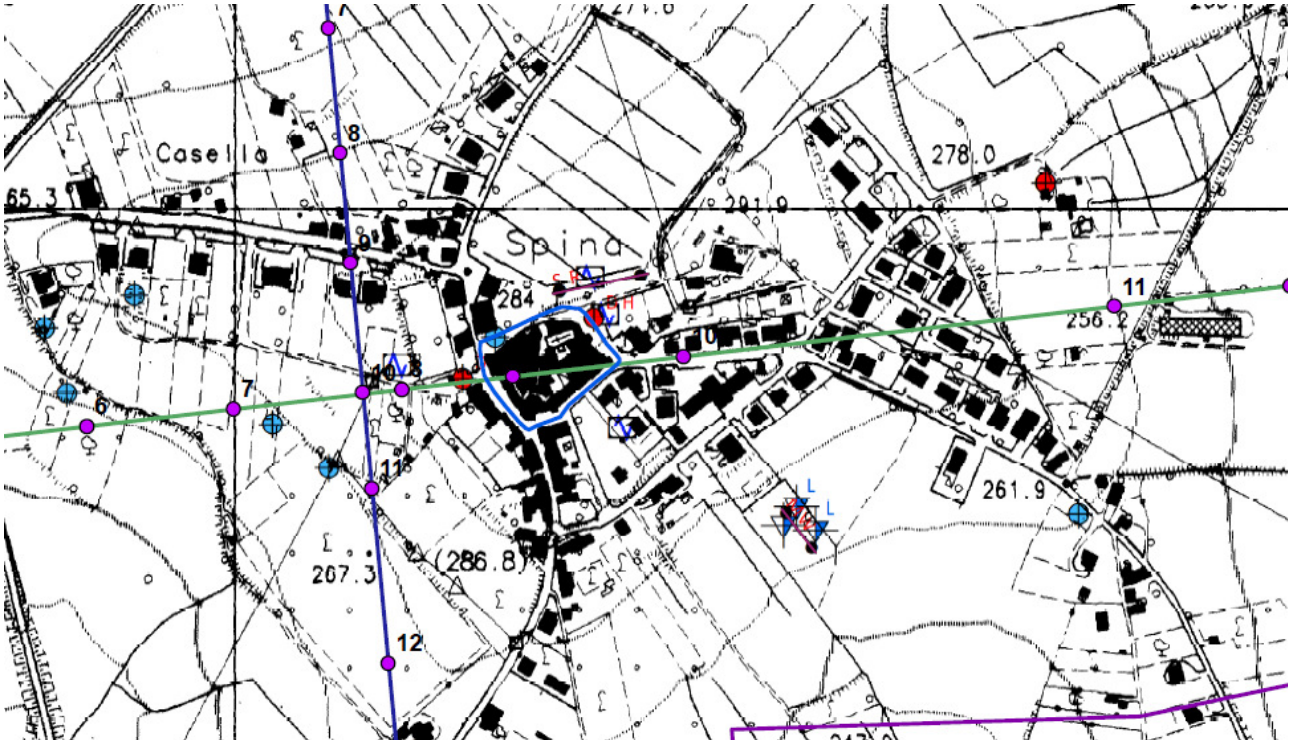


Fig. 16: Ubicazione di tutte le indagini disponibili a Spina.

Fig. 17: Traccia profilo O-E.

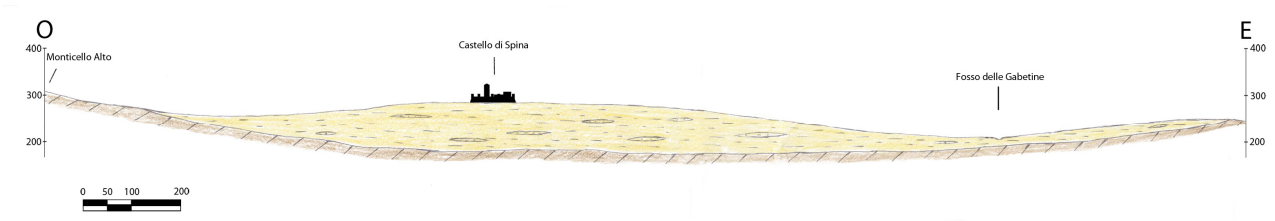


Fig. 18: Profilo geologico O-E.

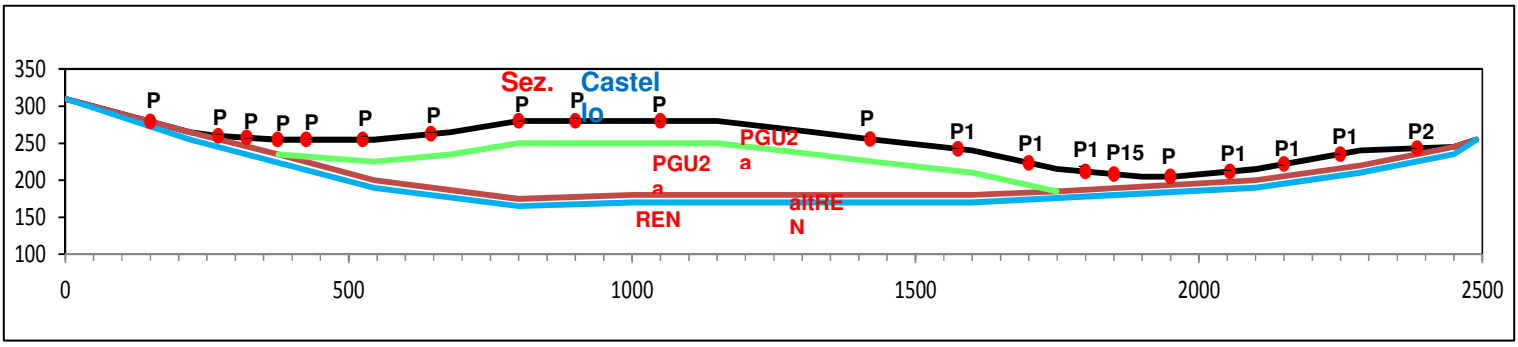


Fig. 19: Profilo geotecnico-geofisico O-E.

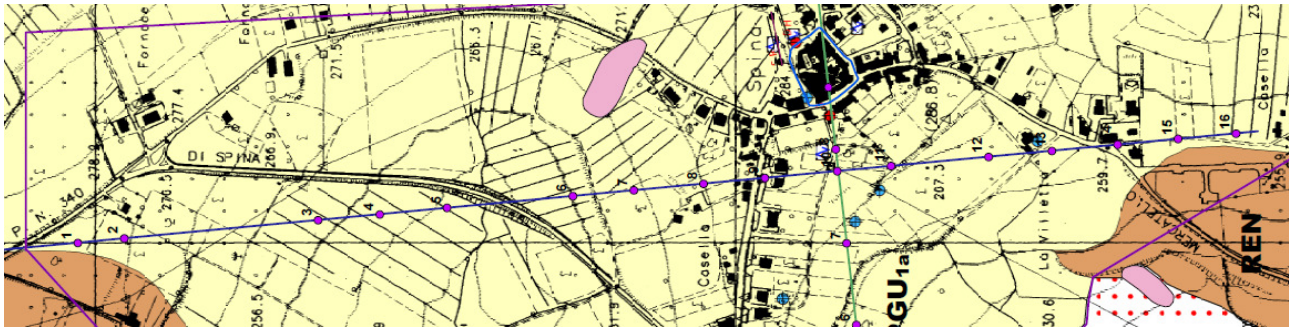


Fig. 20: Traccia profilo N-S.

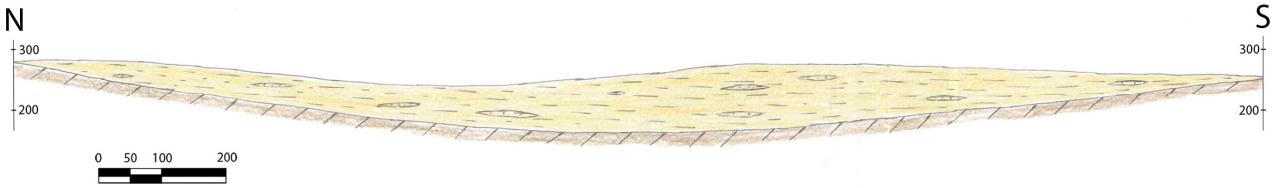


Fig. 21: Profilo geologico N-S.

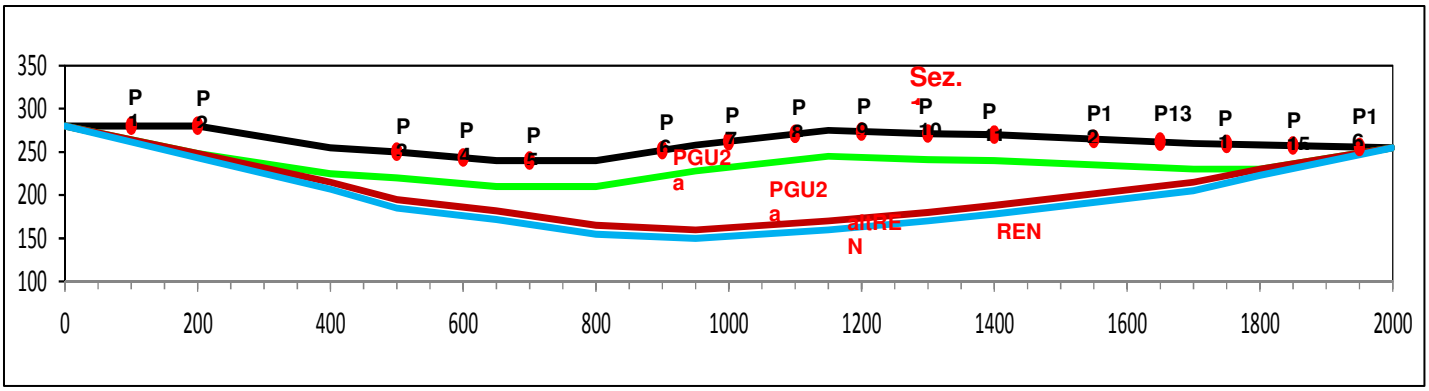
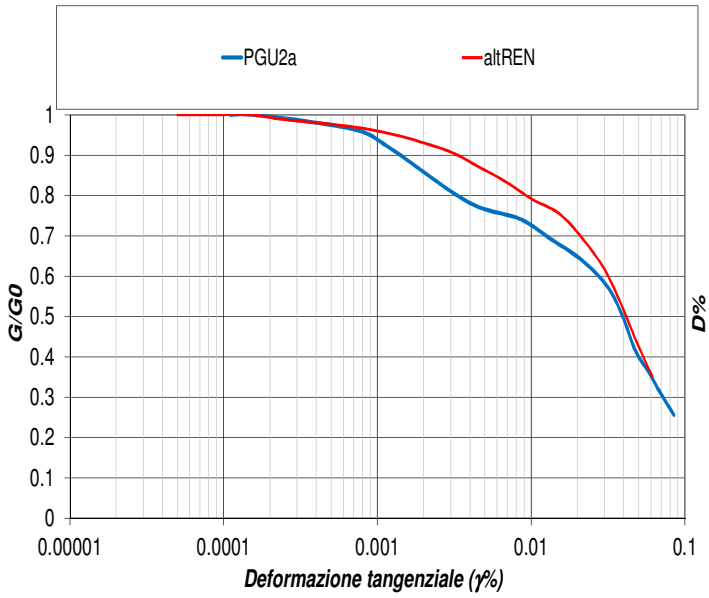
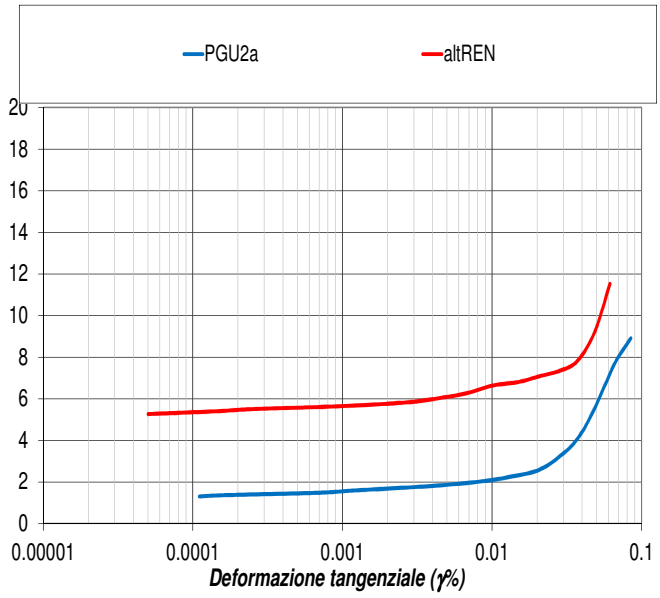


Fig. 22: Profilo geotecnico-geofisico N-S.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geotecniche e geofisiche associate ad ogni unità geofisica utilizzata per le modellazioni numeriche bidimensionali: nome dell'unità geofisica, sigla utilizzata, valori della velocità delle onde S (Vs), delle onde P (Vp) e il peso di volume (γ).
Le curve dell'andamento del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e del rapporto di smorzamento (D) con la deformazione tangenziale, per ogni unità analizzata, sono rappresentate nella figura successiva.
I parametri derivano da indagini effettuate nell'ambito di questo studio e dal progetto di microzonazione sismica dell'area di Perugia *(Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico. Microzonazione sismica delle aree urbane: 1° intervento città di Perugia-2009)*.

unità geofisica	**sigla**	**Vs (m/s)**	**Vp (m/s)**	**γ (kN/m^3)**
unità argillosa S. Sisto	PGU2a (primi 30 m)	270	1350	19.3
unità argillosa S. Sisto	PGU2a	400	1350	19.3
Unità torbiditica alterata	altREN	540	2120	20.0
Unità torbiditica	REN	760	2440	20.9





7.Modellazioni numeriche

Il Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano (Prof.ssa Floriana Pergalani e Dott. Massimo Compagnoni) ha eseguito e messo a disposizione 2 modellazioni numeriche bidimensionali nel luglio 2012.
La modellazione bidimensionale ha fornito i parametri rappresentativi dell'amplificazione sismica locale. Per la modellazione su sezioni geofisiche sono stati utilizzati i dati disponibili, in dipendenza del grado di accuratezza e di affidabilità, ottenuti dalle prove in situ ed in laboratorio oltre all'utilizzo dei dati della microzonazione sismica dell'area del perugino.
Di seguito si riportano i principali dati delle attività eseguite, che sono integralmente descritti nel rapporto sulla modellazione, riguardanti:

- definizione del moto sismico di input al bedrock (sono stati applicati gli accelerogrammi utilizzati per la microzonazione sismica effettuata nell'area del Comune di Perugia);
- valutazione della risposta sismica locale.

Definizione del moto sismico di input al bedrock
Per quanto riguarda la prima attività, al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito, si è reso necessario avere a disposizione accelerogrammi da utilizzare come inputs sismici nella modellazione stessa. In questo progetto sono stati utilizzati accelerogrammi registrati opportunamente selezionati.
Per ottenere questi risultati ci si è basati sui risultati ottenuti dal Gruppo di Lavoro, 2004[1], per la determinazione della mappa di pericolosità sismica, nei quali sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di accelerazione massima attesa (a_{max}) e delle ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione su una griglia regolare. Il tempo di ritorno considerato è stato quello di 475 anni, in quanto valore convenzionalmente utilizzato per studi di pericolosità.
Si sono scelti i 4 punti della griglia di riferimento e calcolate le relative distanze: il valore di a_{max} assegnato al Comune è stato ottenuto come media ponderata, con l'inverso della distanza, dei valori assegnati ai quattro punti della griglia:

Valori di a_{max} (g) – Comune di Perugia				
ID 22960	ID 22961	ID 23182	ID 23183	Media Ponderata
0.1805	0.1973	0.1717	0.1866	0.186

Valori di a_{max} assegnati ai 4 punti della griglia di riferimento e valore medio ponderato.

Per la scelta degli accelerogrammi registrati è stata utilizzata la Banca dati ITACA[2]: per la selezione delle 5 storie accelerometriche utilizzate nelle analisi numeriche è stato seguito quanto previsto dalle NTC[3] ed in particolare la scelta effettuata si è basata sulla coerenza in termini di:

---

[1] Gruppo di Lavoro 2004 - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici, aprile 2004.
[2] Working Group ITACA 2010. *Data Base of the Italian strong motion records: http://itaca.mi.ingv.it*.

[3] NTC, *Norme Tecniche per le Costruzioni*. DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (www.cslp.it), 2008.

- sismicità storica di Perugia e caratteristiche sismogenetiche della sorgente (meccanismo distensivo – faglia normale);
- coppia magnitudo-distanza dalla sorgente (da dati di disaggregazione prodotti dal Gruppo di Lavoro, 2004 l'evento che contribuisce maggiormente alla pericolosità è caratterizzato da una magnitudo compresa tra 4.5-5.0 e da una distanza epicentrale compresa tra 0-10 km);
- massima accelerazione orizzontale attesa (0.186 g).
- Inoltre sono state selezionate solo le registrazioni effettuate su bedrock sismico (sottosuolo di categoria A, NTC).

Le registrazioni scelte non sono state oggetto di scalatura, sebbene questa procedura sia ammessa dalle NTC, in quanto i valori del picco di accelerazione di ciascun accelerogramma risultano dello stesso ordine di grandezza della media ponderata attesa al sito.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali degli eventi sismici ai quali si riferiscono le registrazioni selezionate: il nome dell'evento, la data e l'ora dell'evento, la latitudine e la longitudine dell'evento, la profondità, la magnitudo momento, la magnitudo locale ed il regime tettonico dell'evento.

Evento	**Data**	**Ora**	**Lat (°)**	**Long (°)**	**Profondità (km)**	**Mw**	**ML**	**Regime tettonico**
VAL NERINA	1979-09-19	21:35:37	42.800	13.040	6.0	5.8	5.5	Faglia normale
GUBBIO	1984-04-29	05:03:00	43.208	12.568	6.0	5.6	5.2	Faglia normale
UMBRIA-MARCHE 1° SHOCK	1997-09-26	00:33:12	43.023	12.891	3.5	5.7	5.6	Faglia normale
UMBRIA-MARCHE 2° SHOCK	1997-09-26	09:40:25	43.015	12.854	9.9	6.0	5.8	Faglia normale

Principali caratteristiche degli eventi considerati.

In Fig. 23 è riportata l'ubicazione degli epicentri degli eventi scelti (cerchi rossi), delle stazioni di registrazione (quadrati blu); inoltre è evidenziato in barrato il territorio comunale di Perugia, l'ubicazione secondo ISTAT del centro comunale (triangolo verde) e i 4 punti della griglia di riferimento della pericolosità (crocette rosse).

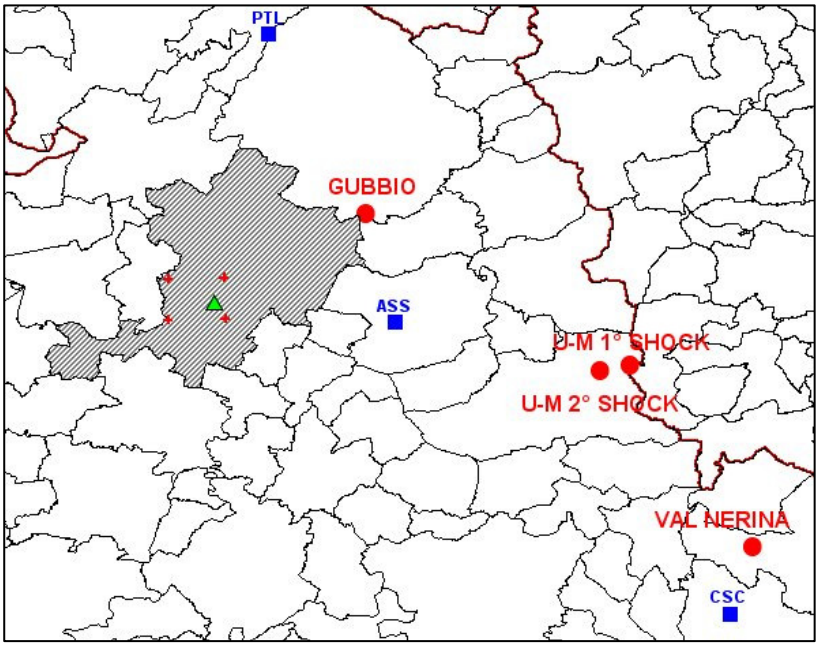


Fig. 23 – Ubicazione degli epicentri degli eventi (cerchi rossi), delle stazioni di registrazione (quadrati blu), del centro comunale secondo ISTAT (triangolo verde) e dei punti della griglia di riferimento della pericolosità (crocette rosse).

La scelta degli accelerogrammi è stata orientata maggiormente verso la compatibilità tra PGA e a_{max}, di conseguenza sono stati accettati eventi più energetici e più distanti dal sito di registrazione rispetto a quelli previsti dall'analisi di disaggregazione della pericolosità.
Per un ulteriore controllo della conformità del set accelerometrico cosi predisposto sono stati calcolati gli spettri di risposta in accelerazione dei 5 accelerogrammi selezionati, mediati tra loro e confrontati con lo spettro di risposta previsto dalle NTC per il Comune di Perugia e per sottosuolo di categoria A. In Fig. 24 sono riportati gli spettri sopra descritti.

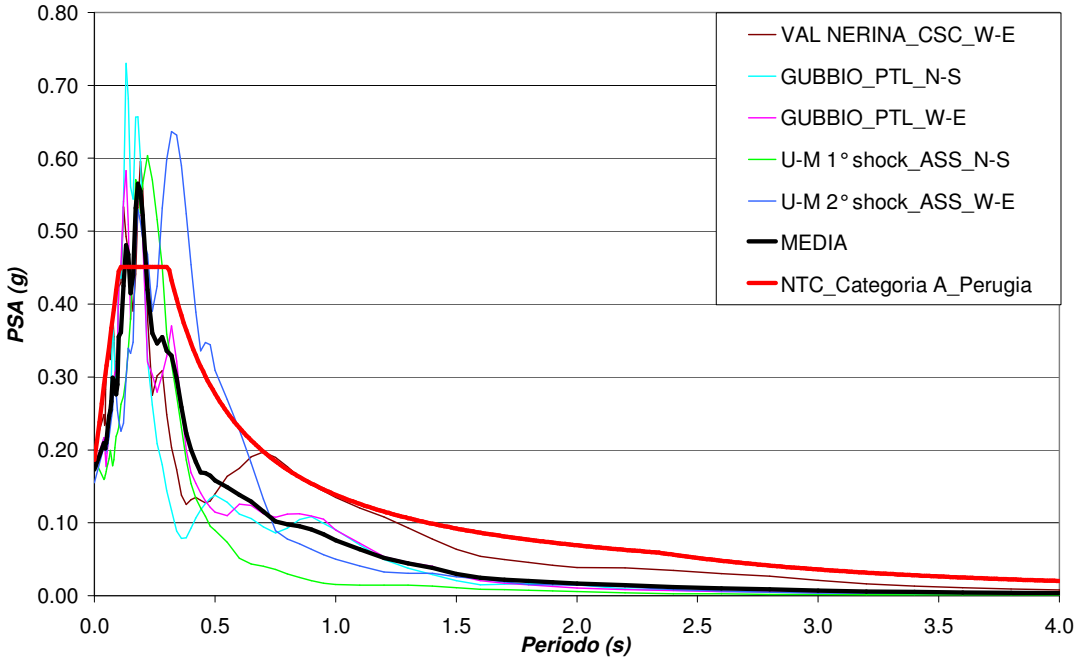


Fig. 24 –Spettri di risposta in accelerazione dei 5 accelerogrammi scelti, della loro media e spettro di norma per Perugia (NTC).

In figura 25 sono riportati i grafici degli accelerogrammi selezionati.

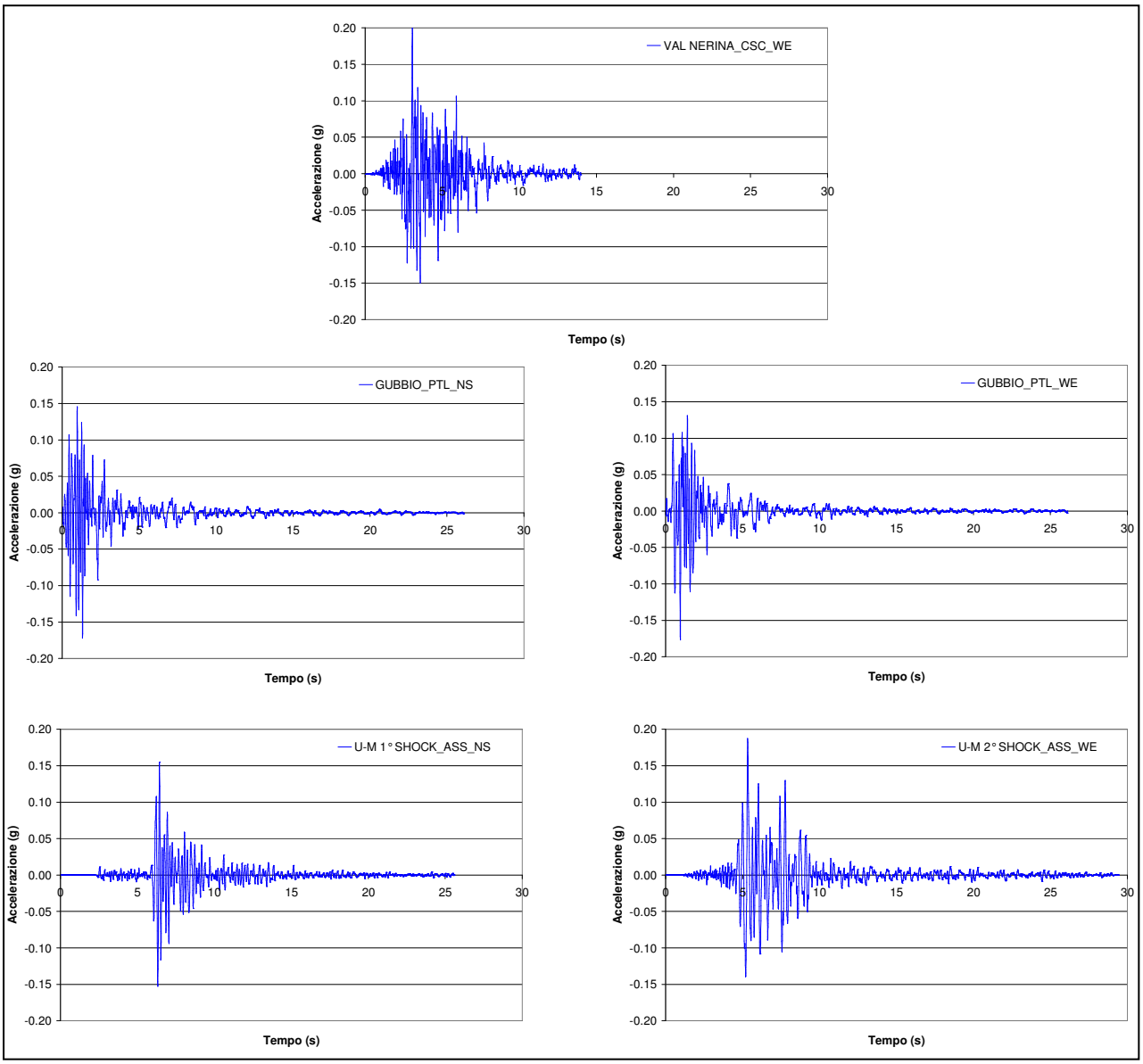


Fig. 25–Set accelerometrico selezionato (Tr = 475 anni).

Modellazioni numeriche della risposta sismica locale

Le analisi sono state effettuate su 2 sezioni geologiche (OE e NS) rappresentative dell'area in studio, eseguite dal Servizio Geologico e Sismico della Regione Umbria utilizzando le caratteristiche geotecniche e geofisiche, sempre fornite dal Servizio Geologico e Sismico della Regione Umbria insieme alle curve dell'andamento del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e del rapporto di smorzamento (D) con la deformazione tangenziale, per ogni unità analizzata.

In relazione alle caratteristiche geologiche, geotecniche e geofisiche dell'area in esame, che presentano un andamento caratteristico di una valle alluvionale, si è scelto di utilizzare un programma (QUAD 4v_p) di calcolo bidimensionale (2D), nato dalla revisione del

programma QUAD4 e QUAD4M[4]. Il programma di calcolo è descritto nel rapporto sulla modellazione.

I risultati delle analisi numeriche sono riportati nei punti delle sezioni rappresentativi delle verticali caratterizzanti le diverse sequenze geofisiche e i diversi spessori. I risultati, finalizzati alla valutazione delle amplificazioni attese, sono stati espressi sia in termini di fattori di amplificazione Fa, sia in termini di spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico.
Dagli spettri elastici in pseudo-velocità al 5% dello smorzamento critico (PSV) è stata calcolata l'intensità spettrale (SI) nei seguenti intervalli di periodo:

- 0.1-0.5s: assunto come rappresentativo di edifici con strutture particolarmente rigide e sviluppo verticale indicativamente fino a 5 piani
- 0.5-1.5s: assunto come rappresentativo del periodo proprio di edifici con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani
- 0.1-2.5s: così come definito da Housner

Il fattore di amplificazione Fa è stato definito come il rapporto tra le intensità spettrali calcolate sugli spettri di risposta in pseudo-velocità al 5% dello smorzamento critico del moto in superficie e del moto di input, calcolati per i diversi intervalli di periodo:

$$Fa_{0.1\text{-}0.5} = \frac{SI_{0.1\ \ 0.5}(\text{output})}{SI_{0.1\ \ 0.5}(\text{input})}$$

$$Fa_{0.5\text{-}1.5} = \frac{SI_{0.5\ \ 1.5}(\text{output})}{SI_{0.5\ \ 1.5}(\text{input})}$$

$$Fa_{0.1\text{-}2.5} = \frac{SI_{0.1\ \ 2.5}(\text{output})}{SI_{0.1\ \ 2.5}(\text{input})}$$

Le modellazioni sono state eseguite applicando i 5 accelerogrammi di input nelle due sezioni analizzate e i risultati sono stati mediati sui valori dei 5 accelerogrammi applicati.
Nelle figure 26 e 27 sono mostrati i risultati ottenuti, in particolare per ogni sezione sono rappresentati: la sezione con l'indicazione dei punti scelti, la tabella ed il grafico dei valori dei fattori di amplificazione medi nei vari punti.

Risultati

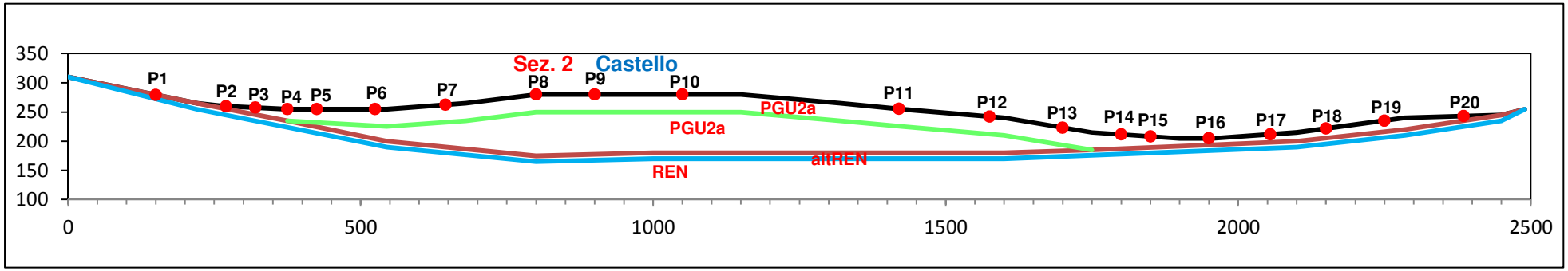
La sezione 1 (OE) mostra valori del fattore di amplificazione, nell'intervallo di periodo 0.1s-0.5s, bassi nella parte centrale della sezione e medio-alti ai lati della sezione; nell'intervallo di periodo 0.5s-1.5s, si rilevano valori medi ai lati della sezione e valori alti al centro della sezione, tale andamento può essere notato anche nel grafico dove vengono rappresentati gli spettri di risposta medi sui singoli punti confrontati con lo spettro di risposta di input.
Anche la sezione 2 (NS) mostra valori del fattore di amplificazione, nell'intervallo di periodo 0.1s-0.5s, bassi nella parte centrale della sezione e medio-alti ai lati della sezione; nell'intervallo di periodo 0.5-1.5, si rilevano valori bassi ai lati della sezione e valori alti al centro della sezione, tale andamento può essere notato anche nel grafico dove vengono rappresentati gli spettri di risposta medi sui singoli punti confrontati con lo spettro di risposta di input.

---

[4] Hudson M.B., Idriss I.M., Beikae M., 1993. *QUAD4M, A computer program for evaluating the seismic response of soil structure by variable damping finite element procedures*. Report of Dip. of Civil & Environmental Eng., University of California, Davis

La valle analizzata attraverso le due sezioni può essere classificata come una valle larga, in funzione dei parametri geometrici e del rapporto di velocità Vs tra bedrock sismico e depositi di riempimento, come dimostrato dalla relazione: $h/l < 0.65/\sqrt{(Cv-1)}$ ove h e la profondità massima della valle, l la sua larghezza e Cv il rapporto tra Vs bedrock e Vs media dei depositi di riempimento; di conseguenza gli effetti bidimensionali di amplificazione legati alla forma della valle sono da ritenersi poco accentuati, come mostrato dai risultati ottenuti.

SEZIONE 1 (OE)



Sezione schematica e punti di analisi.

	Fa .1-0.5	Fa .5-1.5	Fa .1-2.5
P1	1.34	1.06	1.13
P2	1.84	1.23	1.37
P3	1.93	1.51	1.55
P4	1.62	1.66	1.57
P5	1.46	2.01	1.75
P6	1.23	2.22	1.86
P7	1.18	2.62	2.18
P8	1.10	2.54	2.14
P9	1.12	2.61	2.20
P10	1.25	2.45	2.06
P11	1.35	2.53	2.07
P12	1.38	1.89	1.66
P13	1.58	1.64	1.52
P14	1.60	1.50	1.44
P15	1.87	1.34	1.45
P16	1.93	1.43	1.51
P17	1.65	1.49	1.45
P18	1.92	1.71	1.65
P19	1.63	1.15	1.26
P20	0.96	0.98	0.98

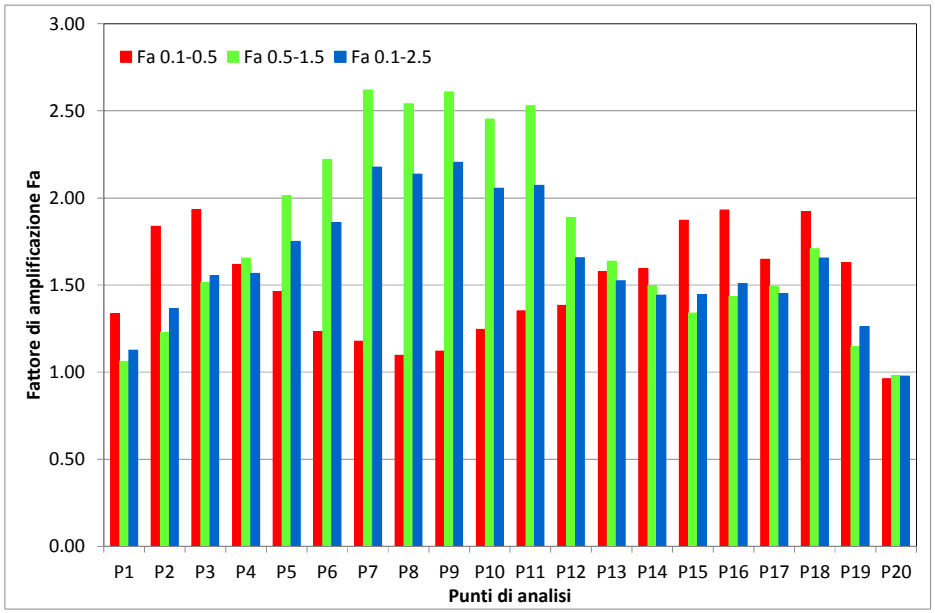
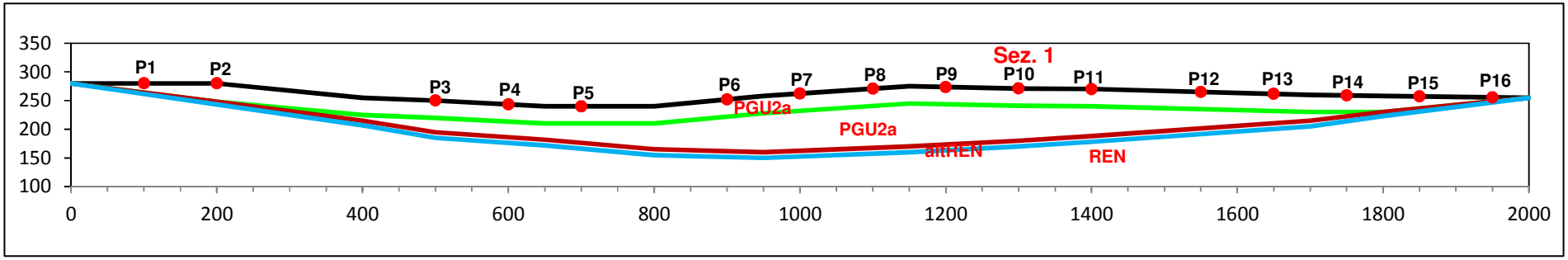


Fig. 26 - Tabella e grafico dei valori del fattore di amplificazione medio.

SEZIONE 2 (NS)



Sezione schematica e punti di analisi.

	Fa0.1-2.5	Fa0.5-1.5	Fa0.5-1.5
P1	1.34	1.63	1.27
P2	1.76	1.77	1.91
P3	2.03	1.38	2.44
P4	2.01	1.24	2.46
P5	1.93	1.25	2.31
P6	1.94	1.22	2.26
P7	2.13	1.14	2.54
P8	2.32	1.08	2.83
P9	2.24	1.09	2.70
P10	1.99	1.19	2.33
P11	2.00	1.22	2.37
P12	2.00	1.27	2.44
P13	1.89	1.32	2.29
P14	1.72	1.61	1.90
P15	1.49	1.79	1.46
P16	1.15	1.42	1.07

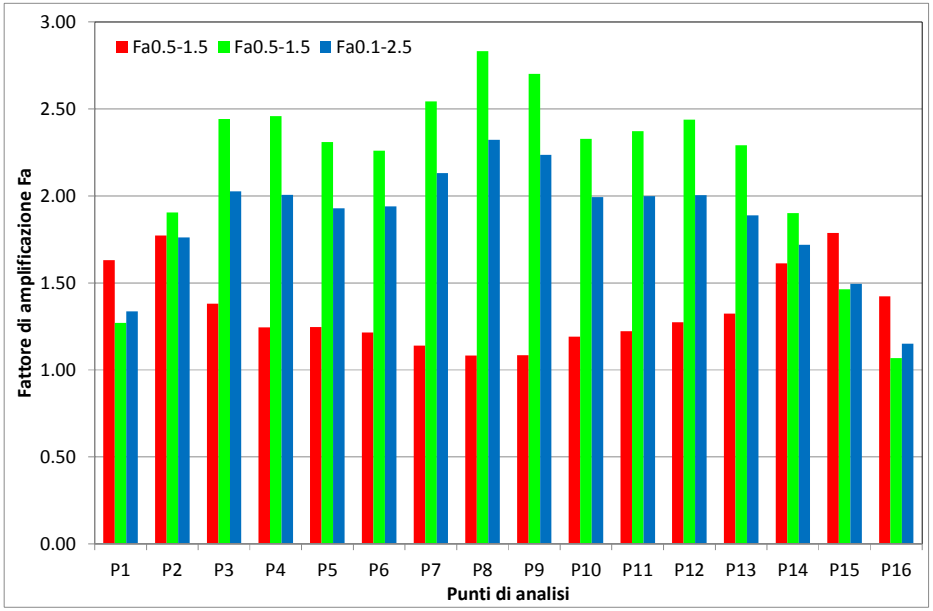


Fig. 27 - Tabella e grafico dei valori del fattore di amplificazione medio.

8.Carta di microzonazione sismica e spettri di risposta

La carta di microzonazione sismica, eseguita secondo *gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione sismica",* tiene conto di tutte le informazioni derivanti dalle cartografie geotematiche, dal modello geologico e geosifico-geotecnico e dai risultati delle indagini geofisiche e delle modellazioni numeriche.
Si ricordano di seguito le classi di amplificazione sismica per ordine decrescente:

colore	Valori del Fattore di amplificazione FA
viola	2.3-2.4
rosso intenso	2.1-2.2
rosso	1.9-2.0
arancione	1.7-1.8
avana	1.5-1.6
giallo scuro	1.3-1.4
giallo chiaro	1.1-1.2
celeste	1.0

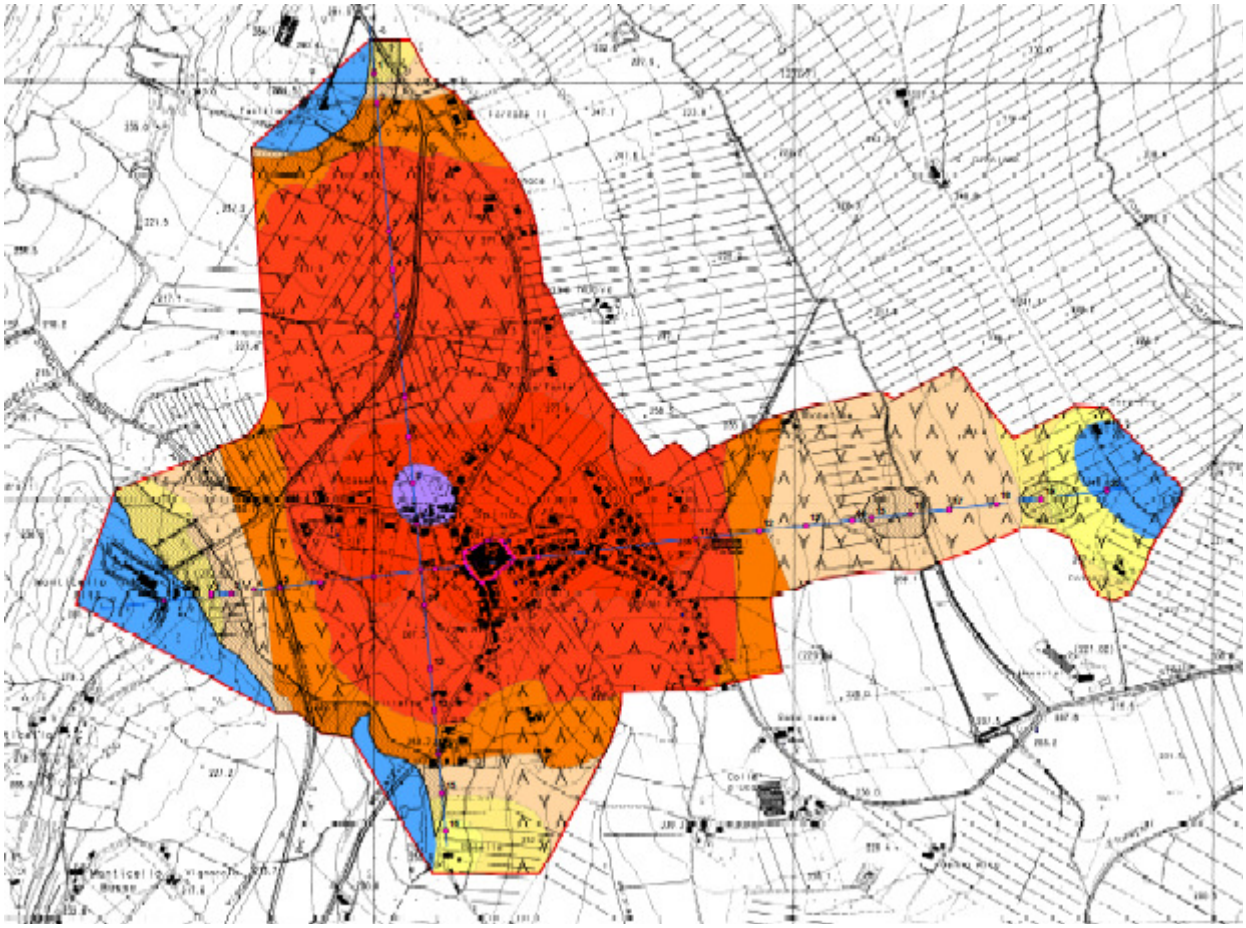


Fig. 28 - Carta di microzonazione sismica.

Gli effetti di amplificazione delle forze sismiche per effetti morfostratigrafici sono variabili in dipendenza del periodo che si prende in considerazione.
Nella carta di amplificazione sismica realizzata considerando il periodo compreso tra 0.1s-2.5s si si riscontrano:

- bassi valori di amplificazione agli estremi delle due sezioni;
- medi valori di amplificazione compresi tra 1.5-2 per i punti da P3 a P5 e da P12 a P18 della sezione OE e per i punti P2, P13 e P14 della sezione NS;
- alti valori di amplificazione intorno a 2.0 per i punti da P7 a P11 della sezione OE e per i punti da P3 a P12 della sezione NS.

Con il periodo compreso tra 0.1s-0.5s si riscontrano:

- medio-alti valori di amplificazione compresi tra 1.5-2.0 circa agli estremi delle due sezioni;
- medi valori di amplificazione intorno a 1.5 per i punti da P3 a P4 e da P12 a P14 della sezione OE;
- medio-bassi valori di amplificazione compresi tra1.1-1.3 per i punti da P6 a P11 della sezione OE e per i punti da P3 a P13 della sezione NS.

Con il periodo compreso tra 0.5s-1.5s si riscontrano:

- bassi valori di amplificazione agli estremi delle due sezioni;
- medi valori di amplificazione compresi tra 1.5-2 per i punti da P3 a P5 e da P12 a P18 della sezione OE e per i punti P2 e P14 della sezione NS;
- elevati valori di amplificazione compresi tra 2.0-2.6 per i punti da P5 a P11 della sezione OE e per i punti da P3 a P12 della sezione NS.

Sono stati inoltre considerati, per ogni punto di modellazione numerica (Politecnico di Milano), gli spettri di risposta elastici in accelerazione per i quali occorre tenere presente che:

- sono stati calcolati utilizzando un tempo di ritorno di 475 anni (vedere il capitolo relativo al moto sismico di input);
- spettri di risposta per altri tempi di ritorno sono ottenibili mediante l'utilizzo dello spettro di risposta calcolato per 475 anni, scalato per un fattore costante su tutto lo spettro e pari al rapporto tra le accelerazioni di ancoraggio delle NTC08 attese per i diversi periodi di ritorno e l'accelerazione di ancoraggio calcolata per Tr=475 anni;

La lisciatura degli spettri di risposta medi è stata effettuata utilizzando quanto riportato negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di Lavoro MS, 2008), che prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione (TA);
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (SA) nell'intorno tra 0.5TA-1.5TA;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità (TV);
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità (SV) nell'intorno tra 0.8TV-1.2TV;
- il calcolo del valore di $Tc = 2\pi\ (SV/SA)$:
- il calcolo del valore di $Tb = 1/3Tc$;
- il calcolo del valore di $Td = 4a_g+1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (2008) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T0, Tb, Tc, Td, T4 s.

Gli spettri di risposta, così lisciati, sono stati accorpati in base alla categoria di sottosuolo, e nei grafici è riportato anche il relativo spettro di normativa (NTC08).
Nelle figure 29 e 30 sono riportati gli spettri di risposta elastici.

Nelle figure 31 e 32 sono rappresentati, per ogni sezione analizzata, gli spettri di risposta in accelerazione lisciati, derivati dalla media degli spetti di risposta ottenuti su ogni singolo punto analizzato applicando i 5 accelerogrammi di input, caratterizzati da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità del 10% in 50 anni). Gli spettri elastici di risposta in accelerazione medi "lisciati" sono poi confrontati con lo spettro di norma (NTC08) per l'area in studio, con riferimento alla categoria di sottosuolo.

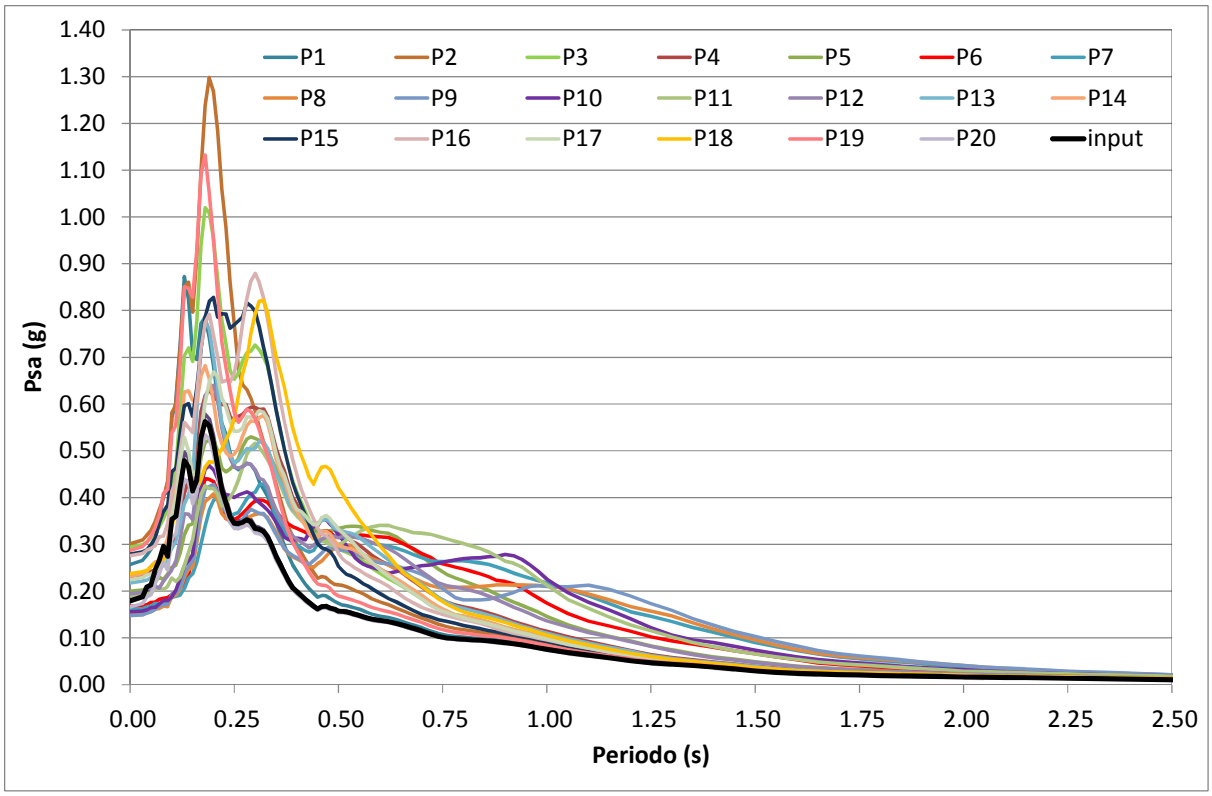


Fig. 29 - Spettri di risposta in accelerazione medi per la sezione 1(OE).

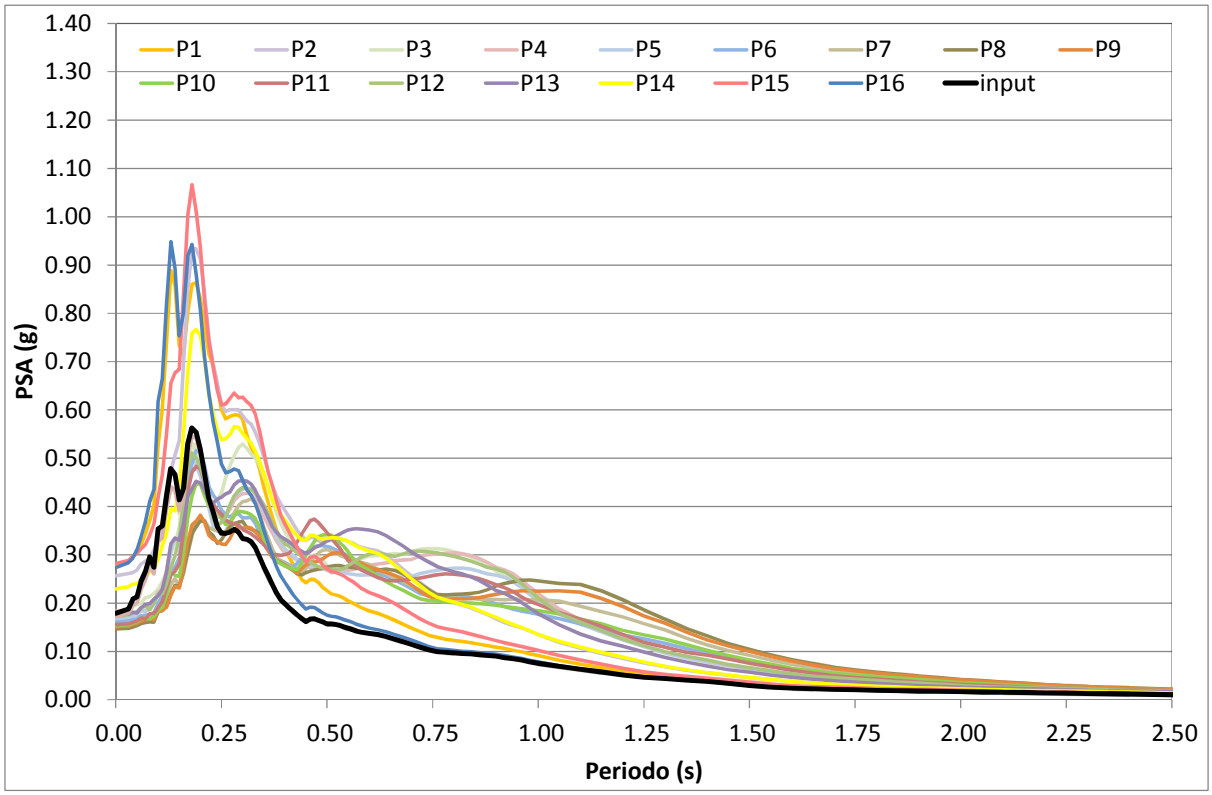
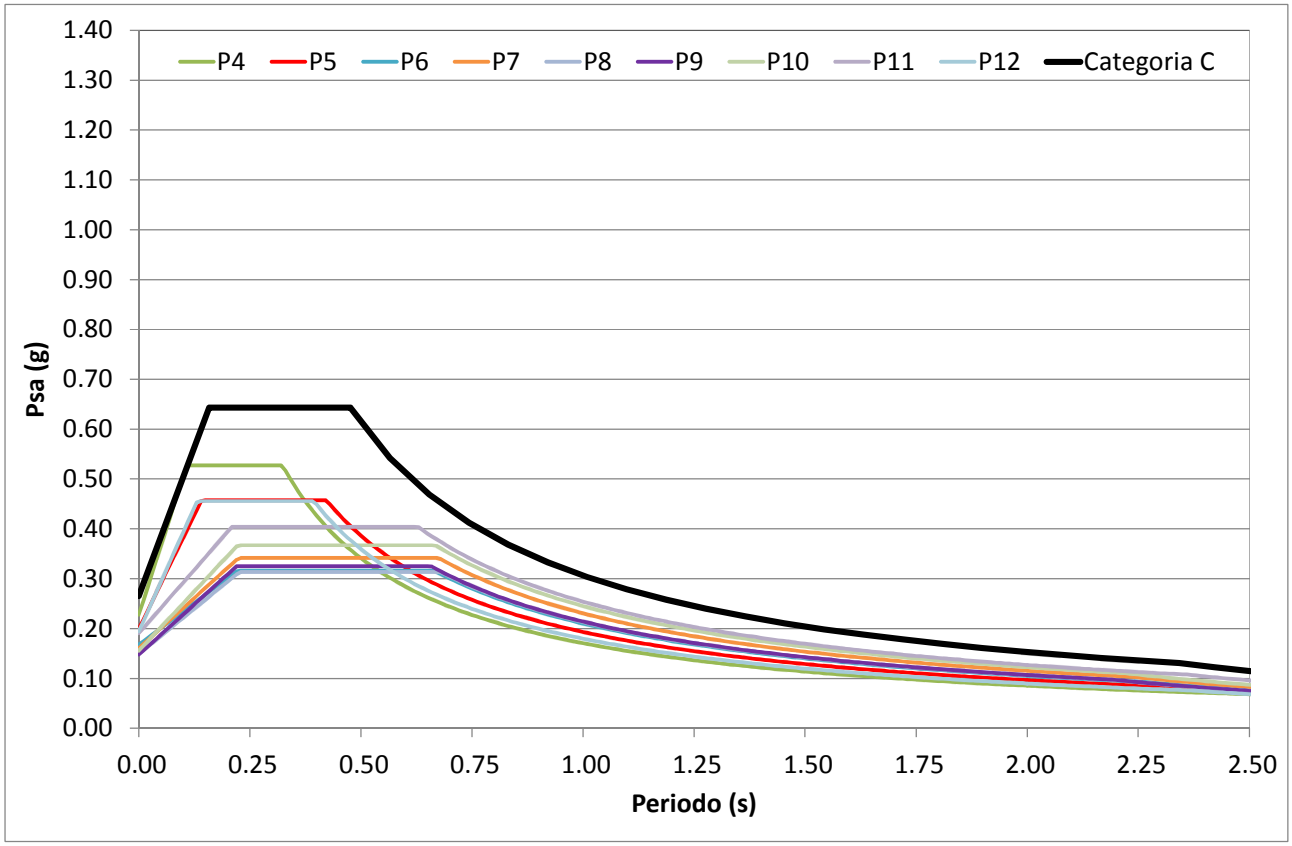


Fig. 30 - Spettri di risposta in accelerazione medi per la sezione 2 (NS).



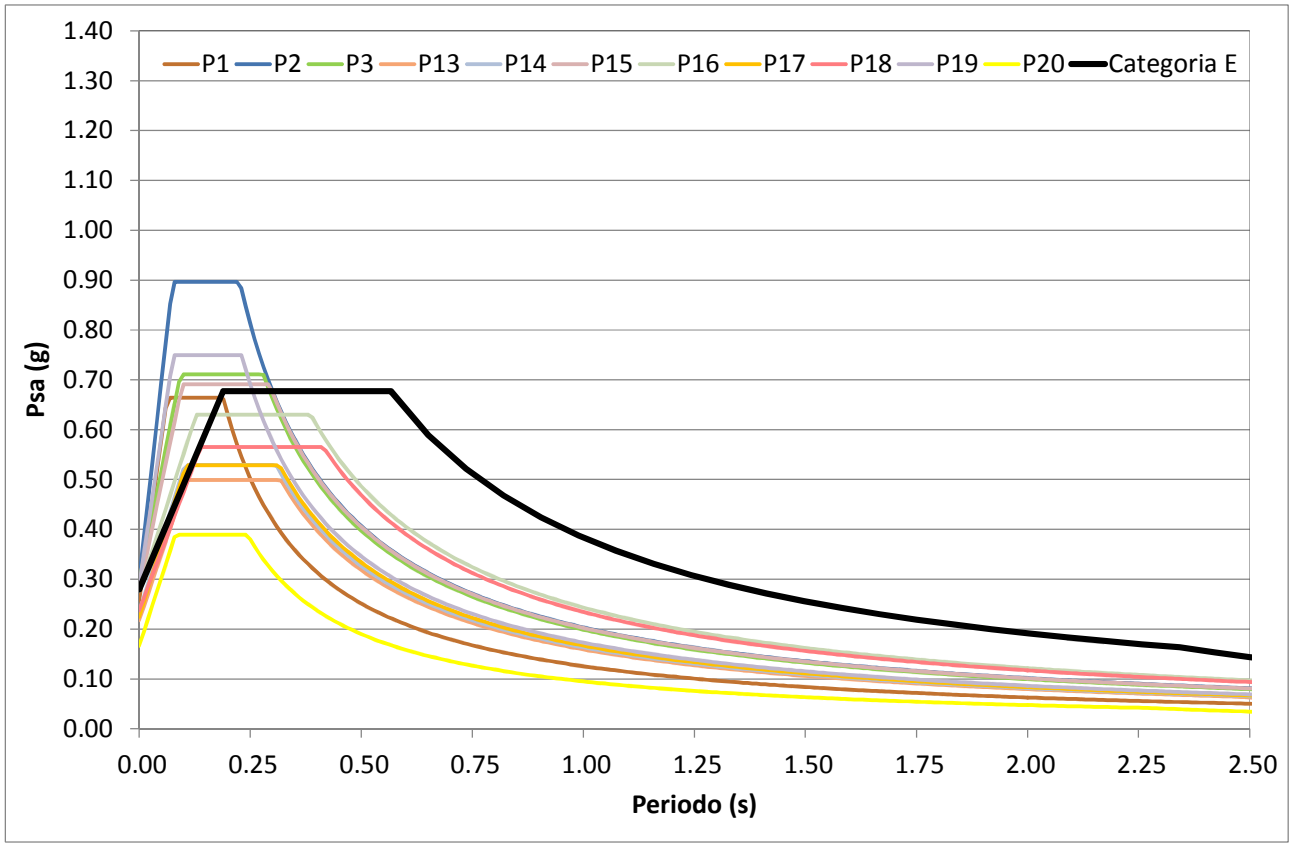
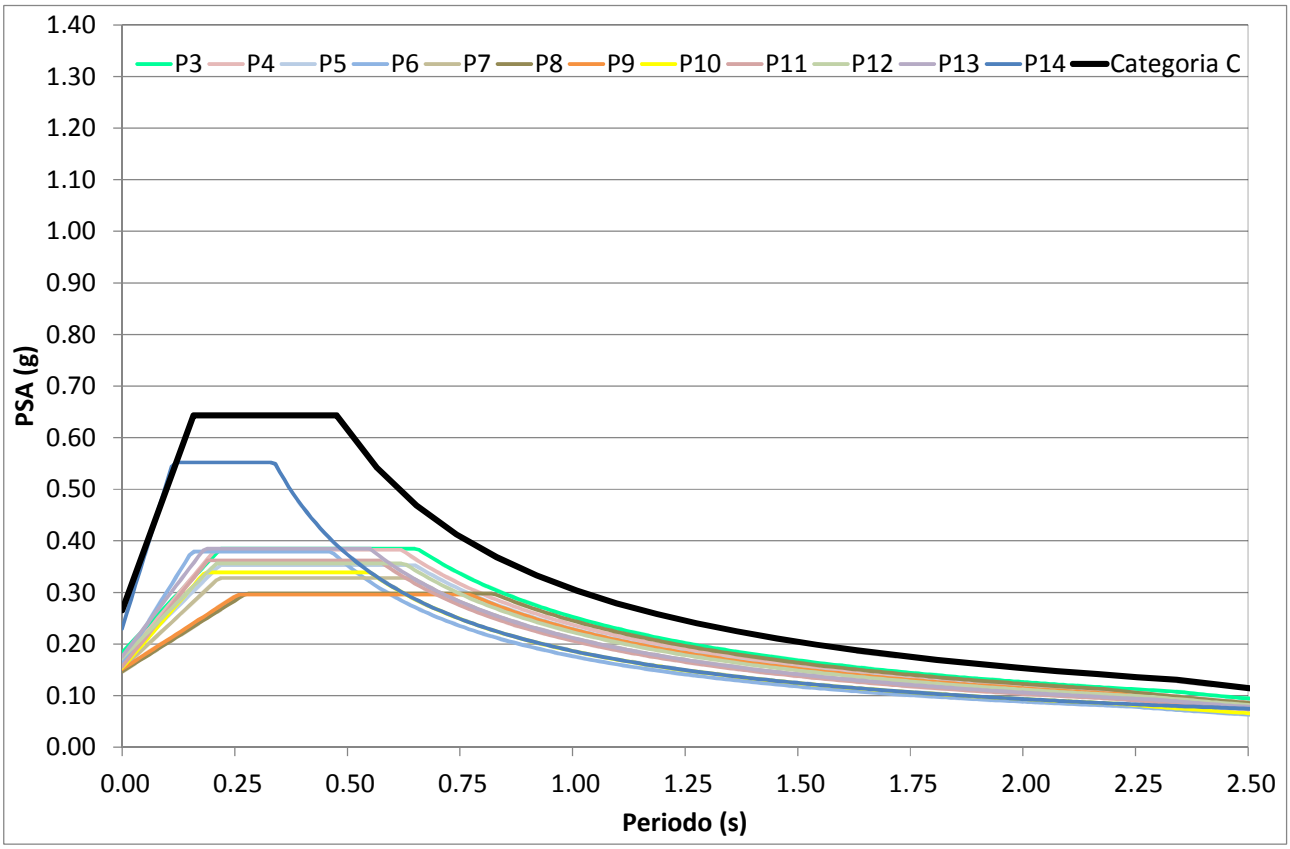


Fig. 31 - Spettri di risposta in accelerazione medi “lisciati” per la sezione 1 (OE) e spettro di norma NTC per sottosuoli di categoria C o E.



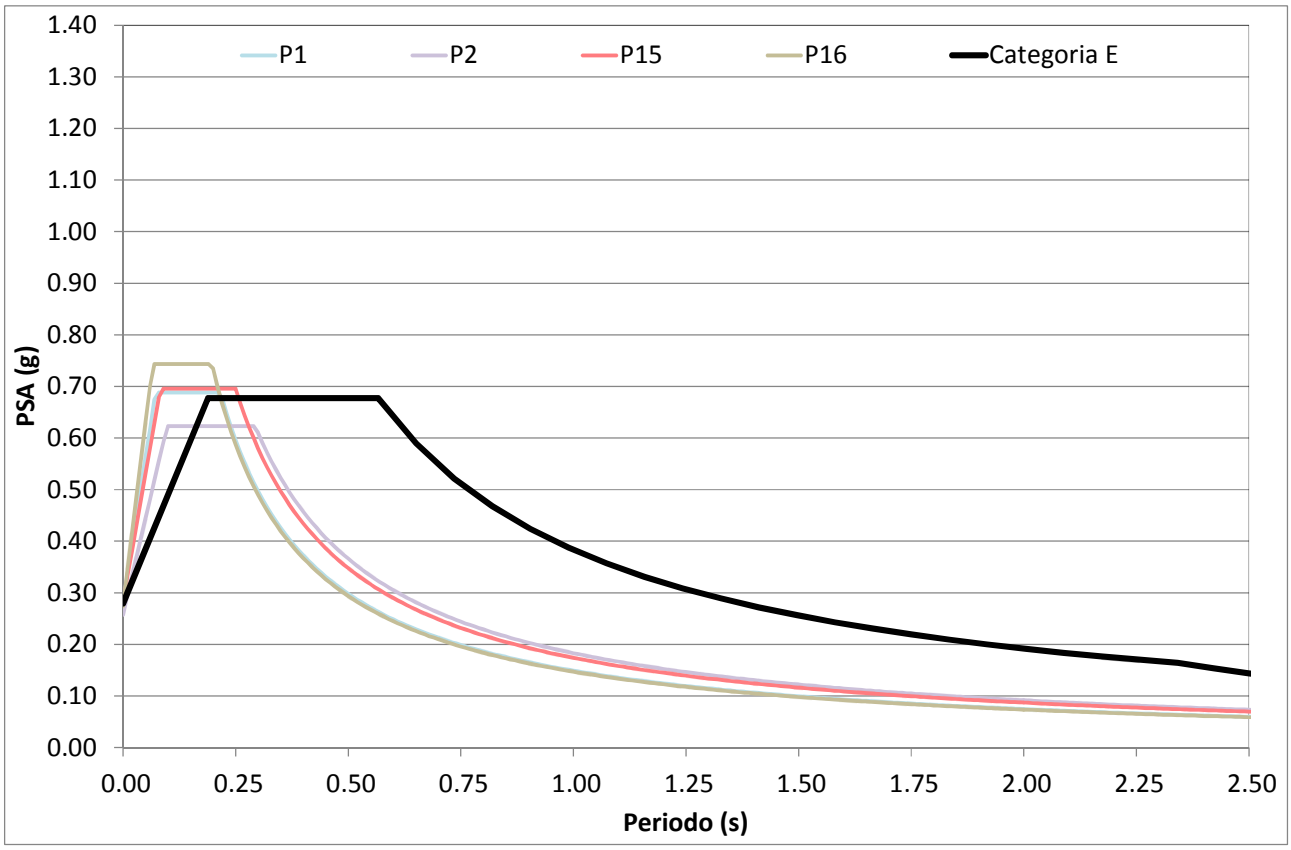
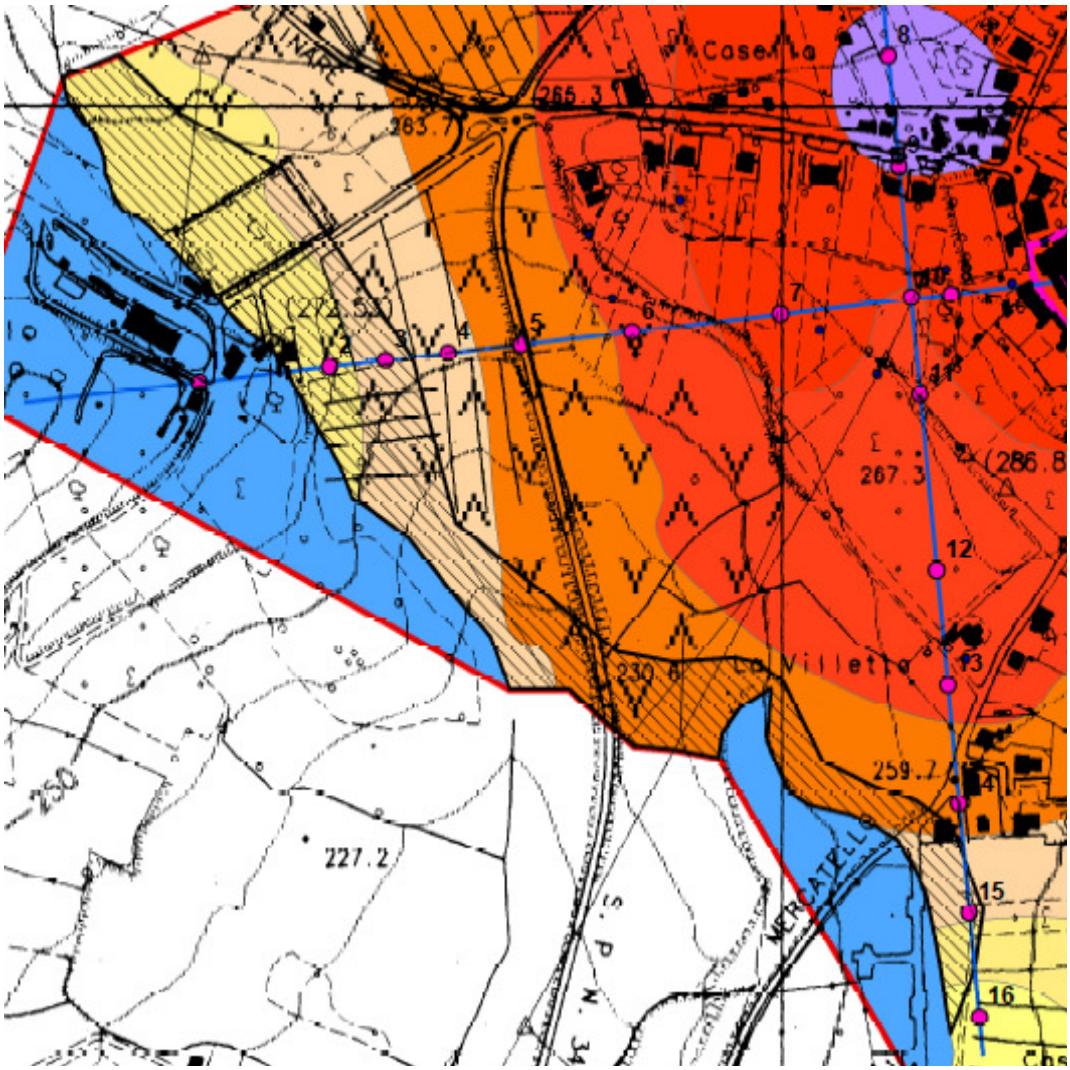
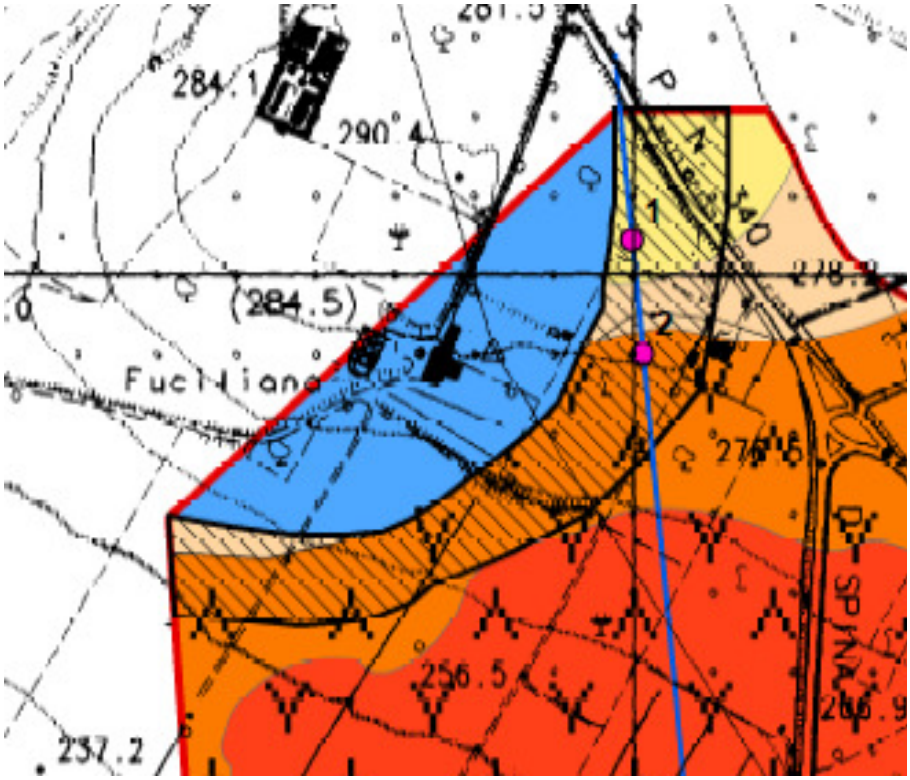


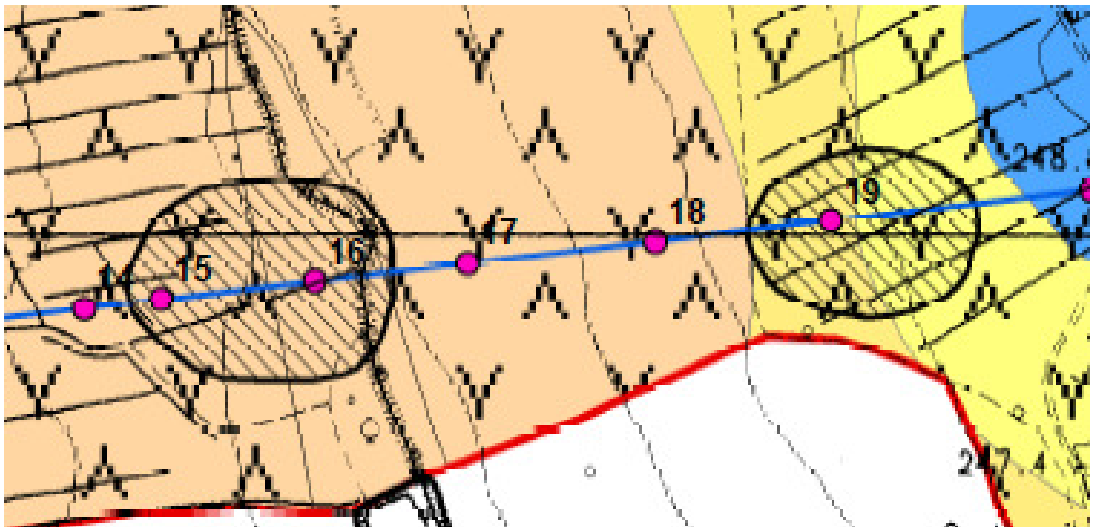
Fig. 32 - Spettri di risposta in accelerazione medi “lisciati” per la sezione 2 (NS) e spettro di norma NTC per sottosuolo di categoria C o E.

Per la sezione O-E i valori medi degli spettri in accelerazione ottenuti risultano compatibili con quelli della norma (NTC08), per i sottosuoli di categoria C, mentre in alcuni casi (P1, P2, P3, P15, P19), per sottosuoli di categoria E si nota come lo spettro di norma non sia sufficientemente cautelativo per bassi periodi (Fig. 31).
Per la sezione N-S i valori medi degli spettri in accelerazione ottenuti risultano compatibili con quelli della norma (NTC), per i sottosuoli di categoria C, mentre per la quasi totalità dei casi (P1, P15, P16), per sottosuoli di categoria E si nota come lo spettro di norma non sia sufficientemente cautelativo per bassi periodi (Fig. 32).

Con i dati a disposizione si è quindi individuato il perimetro della carta di microzonazione riportandolo in tutte le cartografie realizzate.
In tale perimetro i valori medi degli spettri in accelerazione ottenuti risultano compatibili con quelli della norma (NTC08) per i sottosuoli di categoria C ad eccezione delle aree, indicate con il sovrassegno nero diagonale sinistro, in cui lo spettro di norma per i sottosuoli di categoria E non è sufficientemente cautelativo per bassi periodi (inferiori a 0.3s).
Di seguito sono riportate le aree, individuate con il sovrassegno nero diagonale sinistro, in cui lo spettro di norma per i sottosuoli di categoria E non è sufficientemente cautelativo per bassi periodi (inferiori a 0.3s) .







Infine con il sovrassegno V Λ si sono indicate le aree in cui il Fattore di amplificazione o la categoria di sottosuolo è utilizzabile previo accertamento di stabilità del versante.

9.Considerazioni conclusive

L'area del Castello di Spina per la sua conformazione semipianeggiante è esente da dissesti franosi e per la sua collocazione altimetrica è anche esente da fenomeni di tipo alluvionale.
I versanti collinari, esposti ad Est ed a Ovest rispetto alla dorsale dove è posto il borgo medioevale di Spina, digradano secondo pendenze non superiori al 15% e possono comunque essere soggetti a fenomeni di dissesto gravitativo superficiali. Le cause dei dissesti superficiali sono riconducibili all'azione corrivante e d'infiltrazione delle acque meteoriche che s'infiltrano nei materiali terrigeni di natura limosa ed argillosa che contraddistinguono i versanti collinari della zona.
I dati di sottosuolo, integrati con quelli derivanti dalle indagini geofisiche di superficie, dalla campagna geognostica-geofisca e da prove di laboratorio appositamente effettuate, hanno permesso di realizzare il modello geologico più superficiale per un'area di circa 5 chilometri quadrati con la distinzione di 5 unità geologiche e poi, in funzione dei parametri geofisici, con l'identificazione di 7 unità geofisiche.
In tutta l'area esaminata i sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2 hanno evidenziato una caratterizzazione litostratigrafica con predominanza di terreni granulari fini limo-argillosi ed argillo-limosi dal comportamento coesivo; del tutto assente è stata la presenza di una componente ghiaiosa. **Il comportamento geomeccanico** dei materiali non presenta delle marcate discontinuità e **risulta abbastanza omogeneo**. Nell'area, fino ad una profondità d'indagine diretta di 30m, non si sono rinvenute falde acquifere.
I terreni hanno una buona consistenza geomeccanica come riscontrato dalle prove penetrometriche SPT e dai valori delle prove eseguite in laboratorio.
I valori delle Vs ottenute dalle prove *down hole* sono generalmente medio bassi con valori compresi tra 190m/s-365m/s.
Le indagini di sismica superficiale hanno determinato un parametro Vs_{30} con valori compresi tra 265m/s-303m/s e una **frequenza di risonanza dei terreni a 0.79hz con un picco di amplificazione del rapporto H/V con valori compresi tra 6.5-9**.
Le analisi eseguite hanno permesso di definire il modello sismostratigrafico nei pressi del Castello di Spina ed i valori calcolati del parametro Vs_{30} sono associabili alla categoria di sottosuolo C.
Il modello geologico-geofisico è stato sintetizzato in 2 profili, rappresentativi dell'area in studio, orientato O-E e N-S. Il Castello di Spina è intercettato lungo il profilo O-E.
Lungo questi due profili sono state eseguite 2 modellazioni numeriche bidimensionali.
Tutte e due le sezioni mostrano valori del fattore di amplificazione, nell'intervallo di periodo 0.1s-0.5s, bassi nella parte centrale della sezione (Fa=1.1-1.3) e medio-alti ai lati della sezione (Fa=1.5-2.0); nell'intervallo di periodo 0.5s-1.5s, si rilevano invece valori medi ai lati della sezione e valori alti al centro della sezione dove è presente il Castello di Spina con valori di Facompresi tra 2.0-2.6.
Nella carta di microzonazione sismica si sono individuate, fra le altre, aree omogenee aventi le seguenti caratteristiche:

- fattore di amplificazione sismica maggiore di 2.0 per i periodi compresi tra 0.5s-1.5s ed anche per i periodi compresi tra 0.1s e 2.5s. **L'area oggetto del PIR di Spina è completamente compresa in quest'area e pertanto dovrà essere eseguita in sede di ricostruzione un'analisi strutturale per l'individuazione del periodo proprio degli edifici.**
- fattore di amplificazione sismica maggiore di 1.5 per i periodi compresi tra 0.1s-0.5s ad Ovest di Spina vicino a Monticello alto ed a Est di Spina.

Gli spettri in accelerazione sono stati forniti anche in forma "lisciata" per facilitare il confronto con gli spettri NTC08; l'operazione di "lisciatura" è stata effettuata utilizzando le stesse indicazioni utilizzate con la microzonazione sismica dell'area urbana di Perugia, *(Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico. Microzonazione sismica delle aree urbane: 1° intervento città di Perugia-2009)*.

Nel perimetro dell'area d'indagine i valori medi degli spettri in accelerazione ottenuti risultano compatibili con quelli della norma (NTC08) per i sottosuoli di categoria C ad eccezione delle aree, indicate nelle carte con il sovrassegno nero diagonale sinistro, nelle quali lo spettro di norma per i sottosuoli di categoria E non è sufficientemente cautelativo per bassi periodi (inferiori a 0.3s).

Per l'impiego dei risultati ottenuti, tenuto conto della loro completezza ed esaustività, si è ritenuto opportuno fornire alcune indicazioni per il loro utilizzo in maniera analoga alla microzonazione sismica dell'area urbana di Perugia:

1. nelle aree soggette a potenziali dissesti gravitativi di tipo superficiale il fattore di amplificazione o la categoria di sottosuolo è utilizzabile previo accertamento di stabilità del versante;
2. di utilizzare come spettri di risposta rappresentativi delle singole aree quelli cosiddetti "lisciati" per le aree in cui lo spettro di norma non è sufficientemente cautelativo per il tempo di ritorno di 475 anni;
3. di ritenere che gli spettri ottenuti siano utilizzabili solo nel caso in cui il piano fondale sia impostato sulle stesse unità geofisiche/geologiche investigate;

In ultimo si ricorda che l'area oggetto del PIR di Spina è completamente compresa in un'area in cui sono presenti elevati valori del fattore di amplificazione (FA=2.5) per periodi compresi tra 0.5s-1.5s e pertanto dovrà essere eseguita in sede di ricostruzione un'analisi strutturale per l'individuazione del periodo proprio degli edifici.

10.Bibliografia

-Commissione Tecnica per la microzonazione sismica OPCM n. 3907/10, art. 5, comma 7). "*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Microzonazione sismica*". Dipartimento della Protezione Civile, Roma, giugno 2012.
-G. La Vecchia, F. Brozzetti, P. Boncio – 2000. *Relazioni tra faglie attive e sismicità nella Regione Umbria, 1-Carta delle principali strutture distensive Plio-Quaternarie e delle faglie attive sismogenetiche.* Archivio Servizio Geologico e Sismico Regionale.
-ICMS, 2008. "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
-INGV-2009. *Ubicazione epicentro.* Portale www.ingv.it.
-T. Iwasaki ed altri – 1982. *Micrononation for soil liquefaction potential using simplified methods* vol. 3. In: Proceeding of 3rd international conference on microzonation. Seattle, pp. 1319-1330.
-NTC08, "*Norme Tecniche per le Costruzioni".* DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (www.cslp.it), 2008.
-Osservatorio Sismico Andrea Bina-2009*. Relazione sismica sull'attività sismica nella zona di S. Biagio della Valle.*Relazione interna*.*
-Osservatorio Sismico Andrea Bina-2009*. Indagini di sismica a rifrazione in località Papiano. Relazione interna.* Relazione interna.
-Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico-2009. *Completamento delle cartografie geotematiche di pericolosità sismica locale alla scala 1:10.000*.
-Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico-2009. *Completamento della cartografia geologica regionale a grande scala. Carta geologica sez. n. 322040-rilevatrice Barbara Cattaneo*. In esecuzione.
-Regione Umbria - Servizio geologico e Sismico, ISPRA-2009. *Progetto CARG Foglio geologico n. 310 "Passignano sul Trasimeno"* , in print.
-Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico, ISPRA-2009. *Progetto CARG Foglio geologico n. 310 "Passignano sul Trasimeno".Note illustrative* , in print.
-Regione Umbria - Servizio Geologico e Sismico-2011*. Microzonazione sismica delle aree urbane: 1° intervento città di Perugia*. Gruppo Poligrafico Tiberino, ottobre 2011.