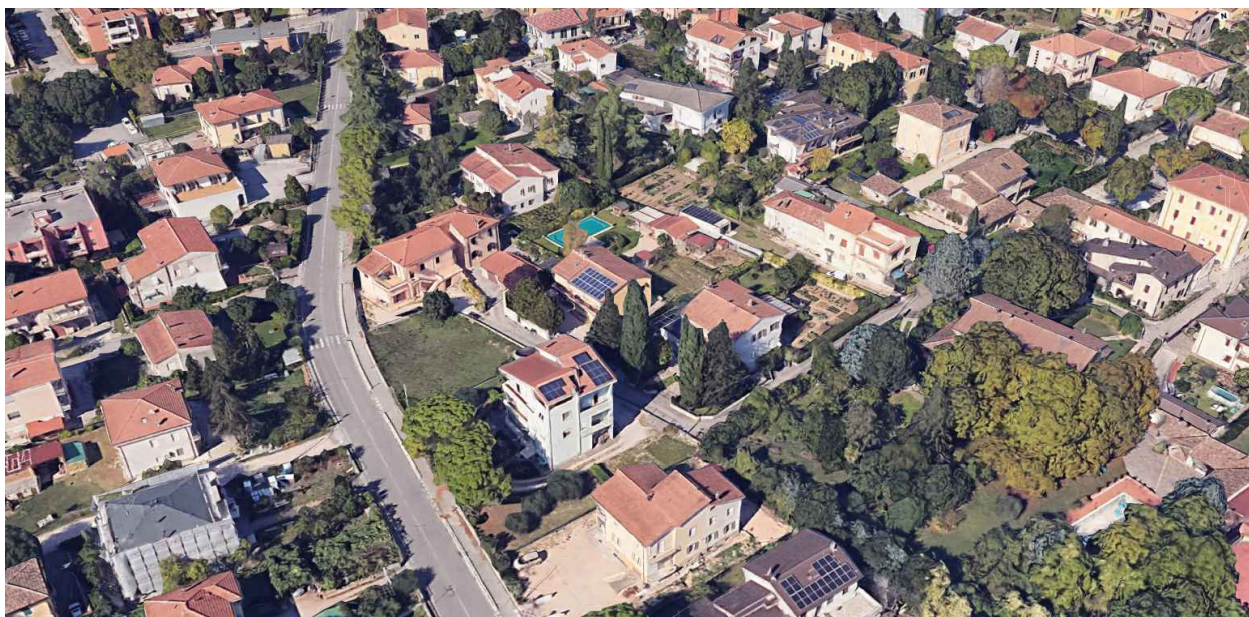




COMUNE DI FOLIGNO
AREA GOVERNO DEL TERRITORIO

Ufficio tecnico per la pianificazione urbanistica (Ufficio del Piano)

Corso Cavour 89



PRG'97

**TRATTO DI VIABILITA' DI COLLEGAMENTO TRA VIA FRANCO SANTOCCHIA
E VIA VITTORIO ALFIERI**

**VARIANTE PARZIALE AL VIGENTE PRG'97 PER LA RIPIANIFICAZIONE DI UN AREA
INTERESSATA DA VINCOLO PREORDINATO ALL'ESPROPRIO DECADUTO**

ELAB. N. 3/4	RELAZIONE GEOLOGICA
------------------------	----------------------------

Coordinatore della progettazione: geom. Luca Piersanti

Progettista: arch. Anna Conti

Aspetti Geologici, Idraulici, idrogeologici e sismici: dott. geol. Alessandro Bertani

Gruppo di Lavoro: arch. Gina Elisabetta Diotallevi, geom. Gaetano Medorini, geom. Andrea Broccolo

IL DIRIGENTE DI AREA: arch. Anna Conti

DATA: Settembre 2024

DOTT. GEOL. ALESSANDRO BERTANI

VIA DEI MONASTERI, 38 - BETTONA (PG)
CELL. 392 60 72 067 - E-MAIL: ALEX.BERTANI85@GMAIL.COM
CODICE FISCALE BRTLSN85M19A475E
PARTITA IVA 03563830540

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: Comune di Foligno, Area Governo del Territorio

Comune: Foligno

Località: Sant' Eraclio, Via Franco Santocchia / Via Vittorio Alfieri

Foglio Catastale: 214

Particelle: 222 e 2909

**STUDIO GEOLOGICO, IDRAULICO, IDROGEOLOGICO E
SISMICO AI FINI DELLA VARIANTE PARZIALE AL
VIGENTE PRG'97 RELATIVA AD UN TRATTO DI
VIABILITA' DI COLLEGAMENTO TRA VIA FRANCO
SANTOCCHIA E VIA VITTORIO ALFIERI
CIG ZF83D845C7**

Data: Marzo 2024

Dott. Geol. Alessandro Bertani
Ordine Geologi Regione Umbria
Albo n. 550



PREMESSA

La relazione, eseguita su incarico del Comune di Foligno, Area Governo del Territorio, illustra i risultati dello studio geologico ed idraulico ai fini della variante parziale al vigente PRG '97 relativo ad un tratto di viabilità di collegamento tra via Franco Santocchia e Via Vittorio Alfieri, in località Sant'Eraclio.

Lo scopo dello studio è quello di definire un modello geologico, idraulico, idrogeologico e sismico del sito in relazione alle proprietà litostratigrafiche dei terreni ed alle condizioni morfologiche, idrogeologiche e sismiche locali, in conformità alle normative vigenti.

L'indagine geologica, finalizzata alla caratterizzazione di dettaglio del sito, è stata condotta mediante specifiche analisi volte a:

- definire il modello geologico locale, in relazione alle proprietà geomorfologiche, geologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche locali;
- fornire gli elementi necessari alla modellazione geotecnica dei terreni;
- eseguire uno studio di microzonazione sismica di 3° livello relativo le particelle oggetto di variante.

Il presente lavoro, redatto nel rispetto delle normative nazionali e regionali vigenti, è stato svolto con l'ausilio di indagini geognostiche, dirette e indirette *in situ*, nonché sulla base dei dati bibliografici e cartografici disponibili per la zona in studio. In particolare la campagna di indagini è stata sviluppata come di seguito schematizzato:

- rilevamento geologico – geomorfologico generale e di dettaglio;
- esecuzione di n.1 indagine penetrometrica dinamiche tramite penetrometro dinamico pesante DPSH;
- esecuzione di n.1 profilo sismico con tecnica M.A.S.W.;
- esecuzione di n.1 sismica passiva tipo HVSR;

Le indagini svolte sono state correlate e confrontate con le indagini pregresse (fonte microzonazione sismica Comune di Foligno e bibliografiche) rinvenute a breve distanza dall'area di studio.

Il modello sismico di sito viene dettagliatamente illustrato nella presente relazione.

1. DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOGRAFICI, GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

1.1. Localizzazione dell'area

L'area in esame si trova nel centro abitato della frazione del Comune di Foligno di Sant'Eraclio, tra Via Franco Santocchia e Via Vittorio Alfieri. L'individuazione topografica della zona è riportata sulla tavoletta Foglio n°131 I NO "FOLIGNO" della Carta d'Italia I.G.M. in scala 1:25.000 serie 25/V, di cui si allega uno stralcio (**Allegato 1**); un maggior dettaglio dell'area indagata è riscontrabile dalla Carta Tecnica Regionale – Sezione n. 324050 "SANT'ERACLIO" – in scala 1:10.000 (**Allegato 2**). Il progetto interessa l'immobile censito al N.C.E.U. del Comune di Foligno alle particelle n. 222 e 2909 del foglio di mappa n. 214 (**Allegato 3**).

Le coordinate geografiche del sito sono le seguenti WGS84: 42.935280 N, 12.718652 E

1.2. Geomorfologia

L'areale di studio è inserito in un contesto sub/pianeggiante di raccordo tra i rilievi collinari presenti ad Est e la pianura alluvionale occupata dall'antico Lago Tiberino posta ad Ovest. Nonostante l'elevato grado di urbanizzazione dell'area, sono riconoscibili in campagna i caratteri geomorfologici che contraddistinguono la zona. L'assetto geomorfologico è quello caratteristico degli ambienti distali/terminali di falda detritica, contraddistinto da una leggera pendenza occidentale, testimoniata peraltro dalla direzione e verso di scorrimento di alcuni canali artificiali che attraversano la città. Il sito di intervento si trova ad una quota di 230 metri s.l.m., posto in sinistra idrografica del Fiume Topino e ad una distanza di circa 2,6Km in direzione Nord-Ovest. Dall'attività di rilevamento condotta e dallo studio delle cartografie di riferimento (Piano di Assetto Idrogeologico; Inventario Fenomeni Franosi Italiano – Allegato 5.1 e 5.2) sotto il profilo geomorfologico, nell'area in studio non sono presenti aree perimetrate come instabili o potenzialmente instabili.

1.3. Geologia

La zona di studio si colloca strutturalmente nel cosiddetto Preappennino Umbro, caratterizzato da unità tettoniche-stratigrafiche di tipo torbido, le quali sono ricoperte, all'intero delle depressioni presenti, da potenti depositi plio-pleistocenici. Nello specifico l'area in esame si colloca all'interno della Valle Umbra, depressione tettonica controllata da faglie normali orientate in senso appenninico (NO-SE), sotto un regime di sforzi estensionali con asse di minima compressione NE-SO (Boncio e Lavecchia, 2000)¹. La complessità del quadro tettonico della Valle Umbra, struttura complessa

¹ Boncio P., Lavecchia G., 2000. *A structural model for active extension in Central Italy*. J. Geodynamics, 29, 233-244.

formata da due bacini principali (Foligno e Spoleto) e dalla depressione minore di Bastardo, separata dalla conca di Foligno dall'alto strutturale di Montefalco, è stato descritto come prodotto della successione di quattro fasi tettoniche, a partire dal Pliocene inferiore all'Attuale, in cui le strutture tettoniche formate in ciascuna fase sono state riattivate nelle fasi successive. A partire dal Pleistocene medio, in un regime di sforzi trascorrente transtensivi, la riattivazione di faglie generate nelle fasi precedenti hanno provocato importanti slittamenti orizzontali sinistri, permettendo la formazione di bacini transtensivi (*pull-apart*), come il bacino di Foligno (Bonini, 1997₂, 1998₃).

Nello specifico, il sito oggetto di studio insiste su depositi di detriti di falda, depositi essenzialmente gravitativi caratterizzati da clasti a spigoli vivi. Il contesto geologico del sito in esame è stato fatto a partire dall'osservazione di campagna, basandosi inoltre sui dati ricavati dall'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH. Si è fatto inoltre riferimento a dati provenienti da precedenti indagini eseguite nella zona in merito ad altre lavorazioni.

Localmente, al di sotto di uno strato pedologico di 80 cm, si rinviene un orizzonte costituito da limi sabbiosi con ghiaie fino alla profondità di 2,80m che sovrastano, a loro volta, uno strato di ghiaie sabbiose che ha causato il termine della prova penetrometrica alla profondità di 3,00m per rifiuto strumentale.

In **Allegato 4** si riporta uno stralcio della Cartografia Geologica della Regione Umbria in scala 1:5.000 – Sezione 324050.

1.4. Idrologia

Sotto l'aspetto idrografico l'area di studio appartiene al bacino idrografico del Fiume Topino, principale collettore della zona, il quale, nel settore esaminato, segue un tracciato orientato in direzione NE-SO con flusso verso SO. L'area indagata è situata in sinistra idrografica, ad una distanza di circa 2600 m dall'argine fluviale esterno del Topino e si colloca nella zona del bacino in cui il fiume ha raggiunto la pianura. In particolare l'area si trova ad est del corso d'acqua che anticamente è stato deviato all'esterno delle mura cittadine e costretto entro argini artificiali.

Nell'area è inoltre presente un altro corpo idrico superficiale di ordine minore il "Fosso di Forma Vecchia" il quale scorre ad una distanza di circa 500 metri in direzione sud rispetto al sito di studio.

Da un punto di vista idraulico, dalla consultazione della cartografia Piano Assetto Idrogeologico, fasce idrauliche del reticolo secondario e minore - Tav. TB13 – Topino (**Allegato 5.6**) l'area in esame risulta **non compresa** in nessuna fascia di rispetto.

Nella zona indagata non sono presenti altri corsi d'acqua la cui azione possa alterare l'attuale modellato superficiale. L'area risulta urbanizzata e servita da un sistema di drenaggio delle acque

² **Bonini M., 1997.** *Evoluzione tettonica Plio-Pleistocenica ed analisi strutturale del settore centro meridionale del Bacino Tiberino del Bacino di Rieti (Appennino Umbro – Sabino)*. Boll. Soc. Geol. It., 116, 279-318.

³ **Bonini M., 1998.** *Chronology of deformation and analogue modelling of the Plio-Pleistocene "Tiber Basin": Implications for the evolution of the northern Apennines (Italy)*. Tectonophysics, 285, 147-165.

meteoriche, le quali non danno origine a fenomeni di ruscellamento diffuso e/o concentrato, né ad altre manifestazioni che possano essere causa di dissesto idrogeologico.

Il sito in esame inoltre, dalla consultazione delle cartografie di riferimento, non risulta ricadere in un settore sottoposto a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. n.3267/1923 (**Allegato 5.5**).

1.5. Idrogeologia

Nell'areale di studio la circolazione delle acque sotterranee è condizionata dalla presenza e dall'assetto dei depositi continentali sopra descritti. Tali depositi, stratificati e a granulometria medio – alta (k pari a $10^{-2} \div 10^{-4}$ m/sec), risultano localmente sostenuti in profondità da depositi limo argillosi a permeabilità relativamente minore (k pari a $10^{-5} \div 10^{-6}$ m/sec). In corrispondenza dell'area interessata dal progetto è stato verificato che la circolazione idrica sub-superficiale si sviluppa tramite un sistema acquifero di tipo freatico il cui livello idrostatico, ricavato dalle carte delle isofreatiche della pianura folignate (**Allegati 5.7 e 5.8**), risulta attestarsi ad una profondità di circa - 16 metri dalla superficie (salvo variazioni stagionali), con flusso principale della falda idrica in direzione OVEST.

2. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA

2.1. Assetto litostratigrafico e modello geologico di sito

La definizione dell'assetto litostratigrafico locale è stata effettuata sulla base delle risultanze di indagini integrate (Ubicazioni indagini Allegato 6.1) costituite da n.1 DPSH eseguita nell'intorno dell'area di studio e di n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo posto a circa 80 metri di distanza dalla struttura oggetto di questo studio. La documentazione inerente l'intera somma delle indagini è consultabile internamente agli Allegati 6.2. Attraverso l'analisi delle suddette prove si è potuto appurare l'andamento stratigrafico sino ad una profondità di 13 m da p.c. Si riporta di seguito la successione stratigrafica dei depositi individuata in sito (**Allegati 6.2.3**):

- dal p.c. a 0,8 m	Elementi pedologici;
- da 0,8 m a 2,8 m	Limi sabbiosi con ghiaie;
- da 2,8 m a 3,0 m	Ghiaie sabbiose;
- da 3,0 m a 5,5 m	Argille con inclusi lapidei
- da 5,5 m a 6,5 m	Ghiaia in matrice sabbiosa
- da 6,5 m a 9,0 m	Argille con inclusi lapidei
- da 9,0 m a 9,5 m	Ghiaia in matrice sabbiosa
- da 9,5 m a 10,5 m	Argille con inclusi lapidei
- da 10,5 m a 13 m	Ghiaia in matrice sabbiosa

L'assetto stratigrafico precedentemente proposto si riferisce una quota "Zero" posta alla attuale quota del piano di campagna (**Allegato 6.4**).

2.2. Cenni in merito alle proprietà geotecniche dei terreni

Ai fini della modellazione geotecnica dei terreni interessati dal progetto, sono state eseguite n.1 prova penetrometrica dinamica, i cui risultati sono riportati in Allegato 6.2, dove sono elencate le tabelle relative ai parametri geotecnici suggeriti per la successione indagata. Oltre a dette indagini si è tenuto in considerazione la presenza di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, spinto sino a 13 metri di profondità. I parametri di seguito esposti vengono individuati tramite analisi critica dei risultati ottenuti da differenti algoritmi di calcolo relativi a differenti autori per le risultanze di indagine eseguita. I dati geomeccanici, coesione non drenata (C_u) ed angolo di attrito (Φ) sono indicati come range di valori tra quello minimo e di picco, i parametri modulo edometrico (E_d), modulo elastico (E) e il parametro fisico del peso di volume in condizioni naturali (γ), sono indicati come valore medio.

Profondità (m)	Descrizione	γ (t/m ³)	ϕ (°)	c_u (kg/cm ²)	E_d (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
0,0 ÷ 0,8	Orizzonte 1 Orizzonte pedologico (Limi sabbiosi)	1,80	-	-	-	-
0,8 ÷ 2,8	Orizzonte 2 Limi sabbiosi con ghiaia	2,00	30 ÷ 32	0,80 ÷ 1,00	75	60
2,8 ÷ 3,0	Orizzonte 3 Ghiaie sabbiose	2,05	> 35	-	330	275

Definito da parte del progettista geotecnico incaricato il modello geotecnico del sottosuolo ed identificati i parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali, la scelta dei valori caratteristici, deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato, in coerenza con Eurocodici e l'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

3. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITA' STORICA

3.1 Inquadramento sismotettonico e sismicità storica

L'assetto strutturale del sito in esame, collocato all'interno della Valle Umbra, ramo sud - orientale del più ampio Bacino Tiberino, è caratterizzato da un regime tipicamente distensivo. La sismicità storica e strumentale locale è fortemente controllata dalla geometria della "Faglia Altotiberina": faglia diretta, a basso angolo, immergente verso Est. Tale faglia rappresenta la master fault basale del sopracitato bacino, sulla quale si articolano sistemi di faglie minori antitetiche, che di fatto suddividono il settore in distensione in una serie di blocchi strutturali.

La sismicità dell'area di studio è fortemente condizionata dalle sorgenti sismiche che si collocano all'intersezione delle suddette faglie antitetiche con la Faglia Altotiberina. Nel settore della Valle Umbra dati sismologici mostrano l'assenza di forti terremoti storici, a seguito della scarsa profondità la master fault basale (circa 4 km di profondità).

La "forza" di un terremoto si esprime in termini di Magnitudo, misura dell'energia sprigionata da un terremoto nel punto in cui esso si è originato (ipocentro), e di Intensità macrosismica, misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sugli edifici presenti nell'area colpita dal sisma, sull'ambiente, sulla popolazione. I valori di intensità macrosismica (MDP- Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati in modo da fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani – CPTI15 e del Database Macrosismico Italiano - DBMI15, consente di elaborare la "storia sismica" di una determinata località italiana, in funzione degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Il CPTI15 fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020. Il DBMI15 fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020.

La Figura 1 e la Tabella 1 riportano rispettivamente la distribuzione areale e i dati (data, area epicentrale, intensità e magnitudo dei terremoti) che rappresentano l'attività sismica storica in un'area circolare avente per centro il sito in studio. La ricerca è stata eseguita considerando un raggio di 40 km, una magnitudo compresa tra 4 e 7 e una finestra temporale di 1020 anni. Il database ha permesso di estrarre 154 record relativi ai terremoti storici aventi magnitudo M_w compresa tra 5 e 7,32 ed intensità I_0 maggiore o uguale di 5. Il sisma storico di magnitudo massima (M_w 6,49) è avvenuto in Valnerina nel 1616.

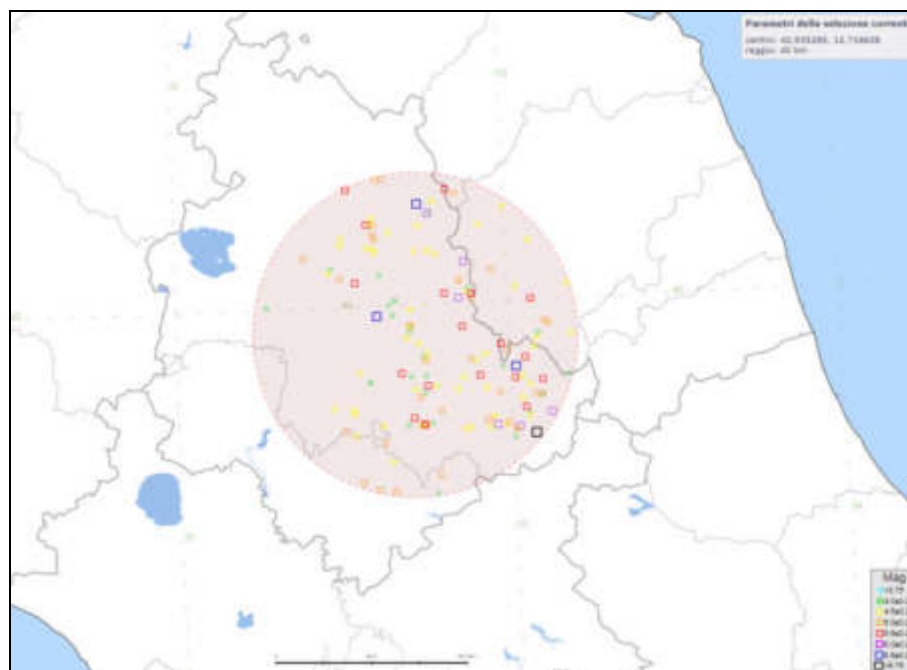


Figura 1: Estratto dal CPTI15 - area con centro nell'area d'intervento e raggio 40 km - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Dal DBMI15 si rileva che per la zona d'interesse progettuale, località "Foligno" (Tabella 2), è stata registrata la massima intensità macrosismica di effetti in occasione del terremoto del 1832 con epicentro nell'area della Valle Umbra (Figura 2).

File downloaded from CPTI15 - DBMI15 v4.0	
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano	
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	
Seismic history of	Foligno
PlaceID	IT_48817
Coordinates (lat, lon)	42.955, 12.704
Municipality (ISTAT 2015)	Foligno
Province	Perugia
Region	Umbria
No. of reported earthquakes	143

Tabella 2: Database Estratto dal DBMI15: set terremoti storici nell'area di Foligno

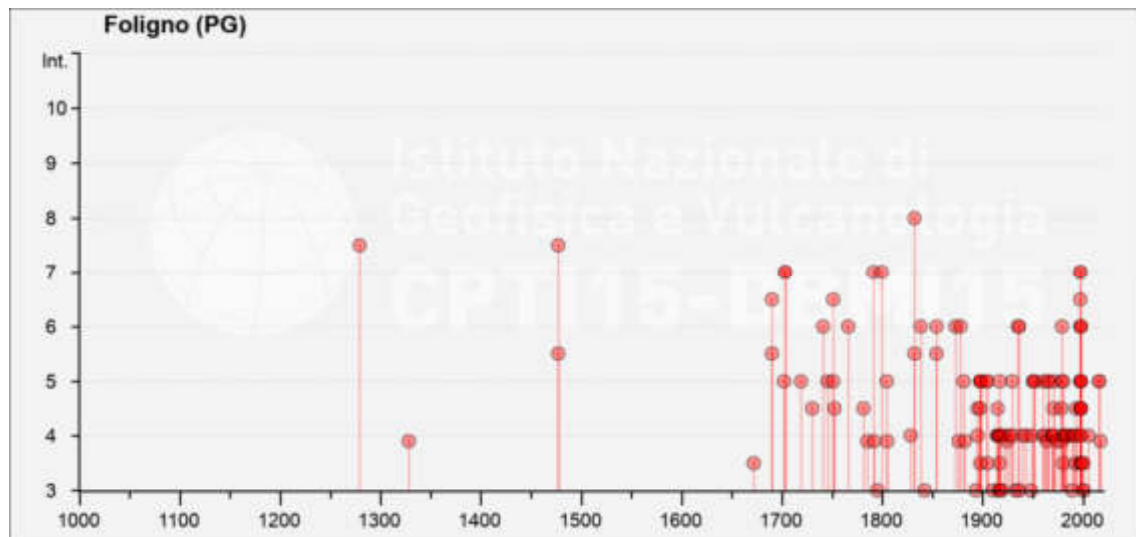


Figura 2: Estratto dal DBMI15 - località d'interesse progettuale

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

3.2 Analisi delle sorgenti sismogenetiche

L'analisi delle sorgenti sismogenetiche, condotta mediante il database D.I.S.S. 3.3.0 (INGV - DISS Working Group, 2021), mostra che nel settore in studio si estendono in direzione NO-SE, due sorgenti sismogenetiche composite, regioni allungate contenenti molteplici sorgenti sismogenetiche individuali, come indicato nella Figura 3, di seguito riportata.

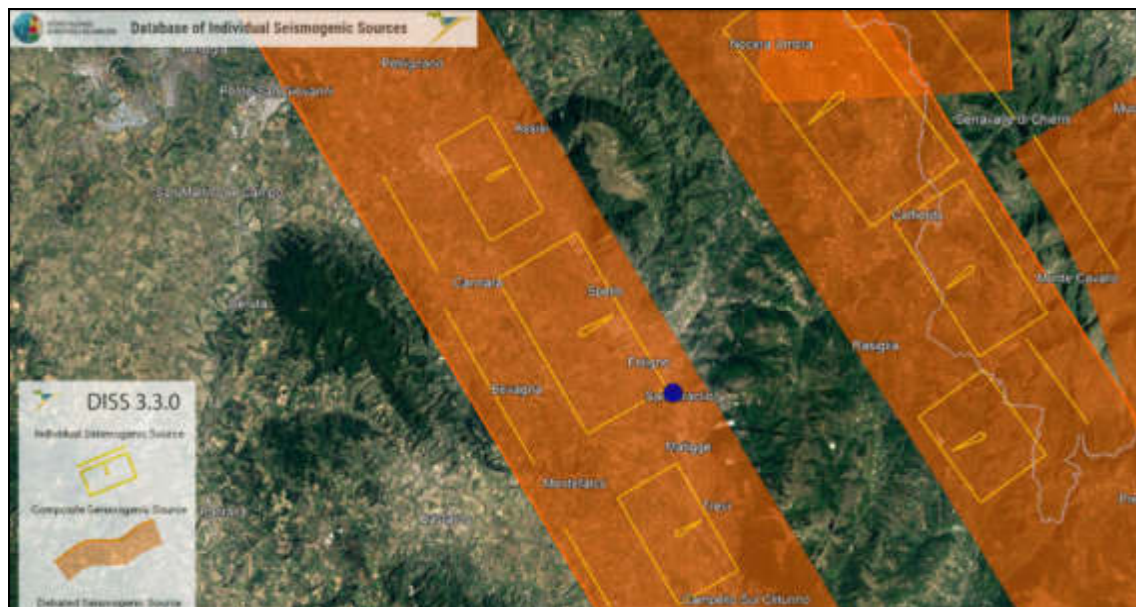


Figura 3: Estratto DISS versione 3.3.0 (INGV – DISS Working Group 2021)

L'area d'interesse progettuale si colloca nelle immediate vicinanze della sorgente composta ITCS037 Mugello – Città di Castello – Leonessa, la quale si estende per circa 200 km e rappresenta il nucleo del bacino estensionale generato dalla Faglia Altotiberina.

3.3 Analisi della pericolosità sismica di base

La Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004⁴) rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale.

L'area in esame ricade nella Zona 919 (Figura 5), caratterizzata da una profondità "efficace" della sorgente sismogenetica di 8 km, una magnitudo massima M_w stimata di 6.37 e da un meccanismo focale "normale".



Figura 4: Cartografia ZS9 (suddivisione zone sismogenetiche dell'Italia centrale) estratta dal "Geoportale nazionale"

La pericolosità sismica viene definita attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa, in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (suolo A $V_{s30} > 800$ m/s), con superficie topografica orizzontale. La classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003) è basata su studi ed elaborazioni riguardanti la pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio sia interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento sismico che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche. Un aggiornamento dello studio di pericolosità sismica di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità (allegato all'OPCM n. 3519) ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la

⁴ Gruppo di lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici.

classificazione del territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche. Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale il “Servizio Geologico e Sismico Regione Umbria” ha realizzato la Carta della Pericolosità Sismica della Regione Umbria (in accordo con l'O.P.C.M. 3274/03) classificando il territorio regionale in quattro zone a ciascuna delle quali è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima (a_g) su suolo rigido. Il territorio del Comune di Foligno è classificato come **Zona Sismica 1** (D.G.R. 1111/2012). La consultazione delle Mappe di Pericolosità Sismica reperibili nel sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) ha permesso di definire la magnitudo media attesa nella zona di interesse progettuale tramite la disaggregazione dei valori di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Sfruttando il punto griglia più vicino all'area oggetto di indagine (lat. 42,932 – long. 12,739 WGS84) è stata ricavata una magnitudo media pari a **M=5.31**.

La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R- ϵ dove ϵ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Per l'elaborazione delle mappe di M, R ed ϵ per l'intero territorio nazionale, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (relativi a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA), corrispondenti a diversi periodi di ritorno (RP). Per ciascun sito, i risultati sono stati restituiti in termini di distribuzioni M-R- ϵ da cui sono stati ricavati i valori medi e modali di tali parametri (<http://esse1-gis.ingv.it/>).

Per il sito in esame sono stati ricavati i contributi (espressi in termini di magnitudo – distanza) di diversi scenari sismici alla pericolosità di sito.

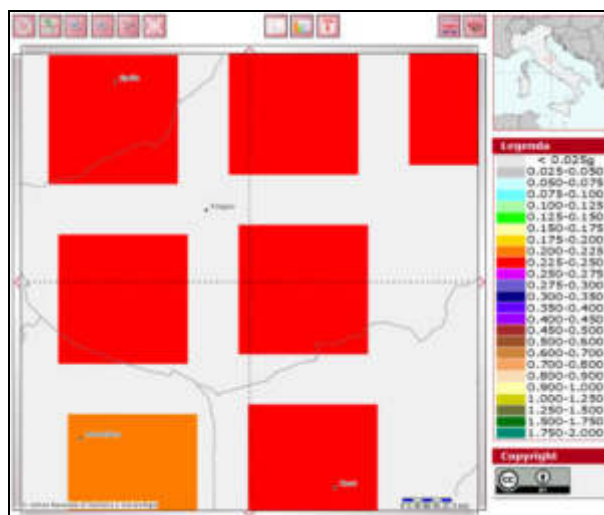


Figura 5: Individuazione del sito in esame e del punto griglia più vicino

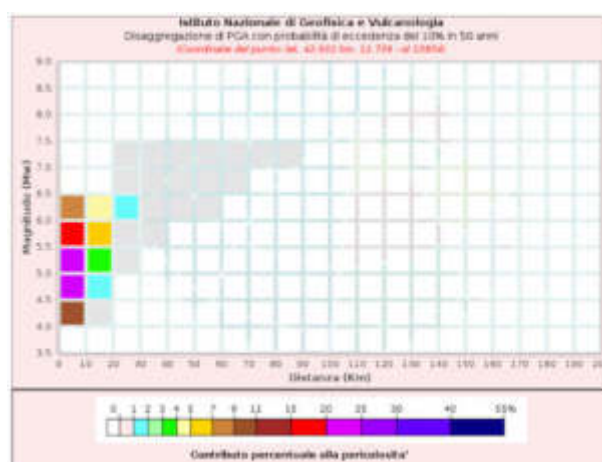


Figura 6: Grafico di disaggregazione della pericolosità sismica

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 42.932 lon. 12.759 - Id 33054)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	5.0 5.5	5.5 6.0	6.0 6.5	6.5 7.0	7.0 7.5	7.5 8.0	8.0 8.5	8.5 9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valori Medi											
Magnitudo				Distanza				Probabilità			
5.04				7.06				1.1			

Figura 7: Disaggregazione della pericolosità sismica coppie magnitudo-distanza

4. INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini della modellazione sismica locale è stata eseguita un'indagine sismica con metodologia MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della velocità equivalente V_{seq} ed un'indagine sismica passiva H.V.S.R..

Coordinate geografiche del sito in esame

WGS84	Latitudine:	42.935280
WGS84	Longitudine:	12.718652
ED50	Latitudine:	42.936245
ED50	Longitudine:	12.719588

4.1 MODELLO SISMICO LOCALE

L'approfondimento della caratterizzazione sismica del sito è stato condotto mediante una campagna d'indagini geofisiche di superficie con metodologia M.A.S.W. e H.V.S.R. utilizzando contestualmente anche dati stratigrafici locali derivati dagli studi geologici condotti (cfr. par. 2). L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata in Figura 8.

La caratterizzazione geofisica dei terreni interessati dal progetto è finalizzata alla ricostruzione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio V_s , con determinazione della velocità equivalente V_{seq} (Aggiornamento NTC 2018), ed alla ricostruzione sismostratigrafica degli assetti geologici di sito.

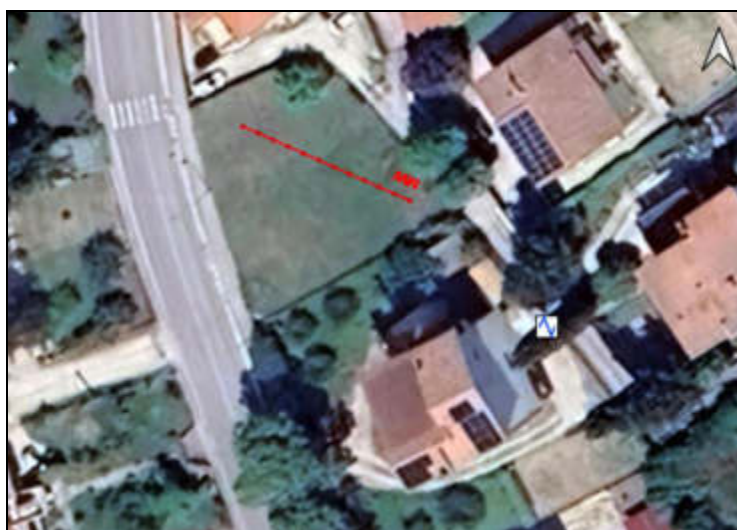



Figura 8: Ubicazioni indagini geofisiche

- Ubicazione sismica con tecnica M.A.S.W.
-  Ubicazione indagine H.V.S.R.

4.2 Sismica con metodologia M.A.S.W.

La metodologia sismica adottata è quella sintetizzata dall'acronimo M.A.S.W. ovvero “analisi multicanale delle onde superficiali”. Energizzando il terreno si generano vari tipi di onde, tra cui onde di volume P e S, onde di superficie di Rayleigh e di Love. Il metodo analitico M.A.S.W. sfrutta alcune proprietà delle onde superficiali, a differenza della sismica rifrazione, nella quale si misurano e si analizzano i tempi di arrivo delle onde di volume rifratte, energizzate in compressione V_p o di taglio V_s . Sinteticamente le principali proprietà legate alla propagazione delle onde superficiali utilizzate dalla metodologia M.A.S.W. sono le seguenti:

1. la maggior parte dell'energia generata sia in compressione che di taglio, si converte in onde di superficie (circa il 90%),
2. la propagazione delle onde di superficie è poco influenzata dalle onde di volume P e dalla densità del mezzo, mentre è funzione delle onde S,
3. la proprietà fondamentale delle onde superficiali è rappresentata dal fenomeno della dispersione nei mezzi stratificati.

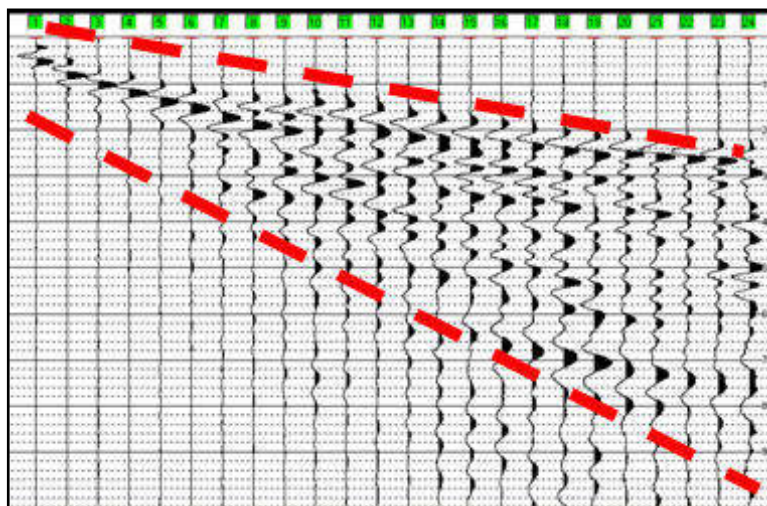


Figura 9: Tracciato sismico a 24 canali in onde S

L'area racchiusa nel tratteggio evidenzia il fenomeno di dispersione con l'aumentare della profondità delle onde superficiali di Love in un mezzo stratificato

Dall'analisi delle curve di dispersione dei due tipi di onde, ottenute dalle variazioni della velocità di fase in funzione delle lunghezze d'onda o delle frequenze, è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità, tramite processi analitici di inversione, consistenti nell'adozione di un modello teorico di partenza “numero strati/velocità/spessori” e successiva ottimizzazione dei dati mediante processi di raffinamento.

4.2.1 Metodo di acquisizione indagine sismica MASW

L'indagine in oggetto è stata eseguita tramite l'acquisizione strumentale, lungo un profilo di misura lineare, della componente superficiale di onde generate in compressione (onde di Rayleigh). È stata utilizzata una stesa costituita da 12 geofoni verticali da 4,5 Hz per l'acquisizione delle onde di Rayleigh, tutti con equidistanza di 2,00 m, per una lunghezza complessiva di 22,00 m.

Sono stati effettuati due tiri per ciascun tipo di acquisizione: in "compressione", tramite battuta con mazza su piastra. L'offset è posto ad una distanza di 2,00 e 5,00m dal geofono n.1 per una distanza complessiva di 27,00 m.

4.2.2 Elaborazione dati MASW

I dati ottenuti sono stati analizzati scegliendo la serie di curve più idonee e sottoponendole alle successive fasi di elaborazione:

- a) caricamento sismogrammi onde di Rayleigh;
- b) calcolo degli spettri di velocità Frequenza Hz – Velocità fase m/s;
- c) modellazione diretta delle curve di dispersione del modo fondamentale e di quelli superiori, tramite assunzione di modelli Velocità/Spessori progressivamente più soddisfacenti, attribuiti a partire dai dati geologico stratigrafici dell'area;
- d) piccaggio delle curve di dispersione ottimizzate;
- e) inversione delle curve di dispersione;
- f) modello finale della variazione della velocità Vs con la profondità.

La taratura del modello di input è stata effettuata utilizzando i dati di superficie (cfr. Relazione Geologica) ricavati dal rilevamento geologico, dalle indagini condotte e da dati bibliografici.

4.2.3 Risultati MASW

Dal calcolo degli spettri di velocità Frequenza (Hz) / Velocità di fase (m/s) (Figura 10), si rileva come la massima dispersione della velocità di fase risulta compresa nell' intervallo di frequenza tra i 5 e i 30 Hz, mentre la corrispondente velocità risulta compresa tra 150 m/s e 800 m/s. Nella Tabella 3 viene presentato il modello teorico di partenza, assunto per l'elaborazione nel processo di inversione, ricondotto a tre sismostrati sovrastanti il semispazio, aventi i seguenti valori di velocità e spessore:

Spessore (m)	Vs (m/s)
2,0	185
4,5	355
9,6	455
8,0	585
Semispazio	750

Tabella 3: Modello teorico di partenza

Nella Figura 11 viene riportato il risultato finale del processo di inversione, nei grafici è evidente come la curva teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità è in buon accordo con la curva di dispersione sperimentale. Nella Figura 12 è riportata la colonna sismostratigrafica "Vs (m/s) - profondità (m)" con la rappresentazione della distribuzione delle velocità Vsv. Le seguenti tabelle (Tabella 4 e 5) rappresentano l'output della distribuzione delle velocità medie ottenute dal processo di inversione applicato:

	Vsv (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm ³)
STRATO 1	185	2,0	1,82
STRATO 2	356	4,6	1,98
STRATO 3	451	10,2	2,04
STRATO 4	626	8,4	2,12
STRATO 5	780	-	2,15

Tabella 4: Modello ricavato

	Vp (m/s)	Poisson
STRATO 1	385	0.35
STRATO 2	745	0.35
STRATO 3	939	0.35
STRATO 4	1303	0.35
STRATO 5	1459	0.30

Tabella 5: Valori stimati di Vp e dei moduli elastici

Il software utilizzato (WinMASW 4.8) restituisce una forbice di valori Vs_{eq} calcolati come medie delle V_{sv} ottenute dal processo di inversione applicato.

Il valore della Vs_{eq} equivalente è determinato dalla relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

Vs_{eq}= velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio;

hi = spessore, dello strato i-esimo;

Vs_i= velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per il sito in studio si sceglie di adottare il valore determinato mediante le elaborazioni effettuate:

$$V_{s,eq} = V_{s30} = 454 \text{ m/s}$$

ELABORATI INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

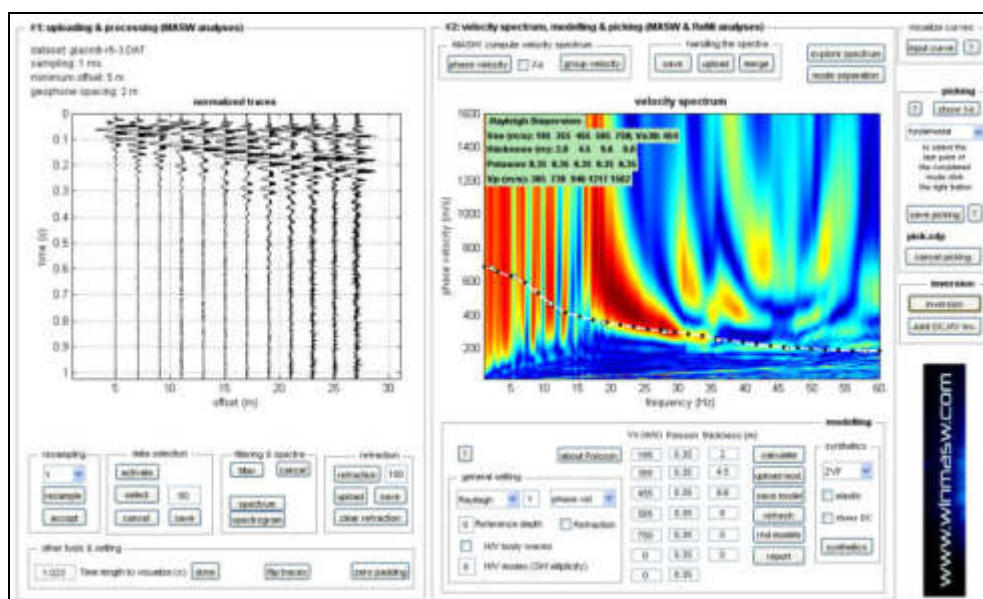


Figura 10 - Sismogrammi acquisiti e analisi spettrale

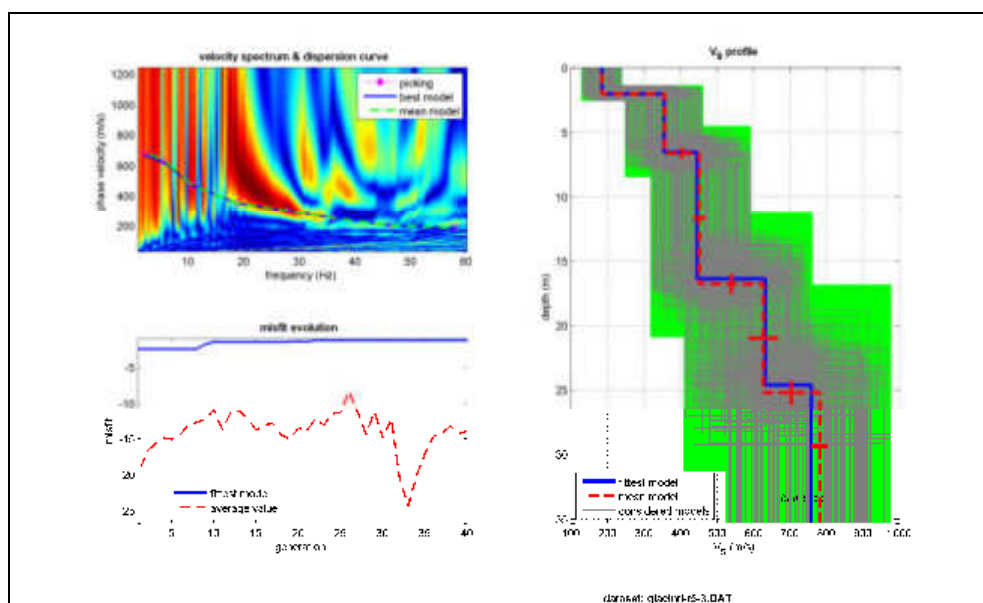


Figura 11 - Curve di dispersione e modello invertito

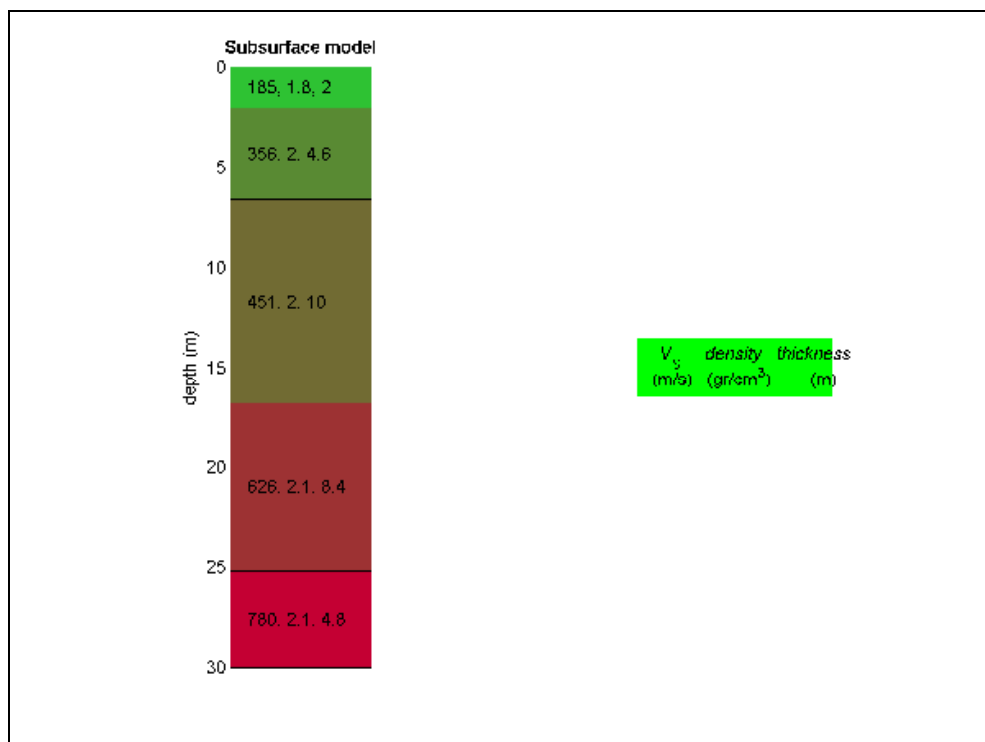


Figura 12 - Suddivisione sismostrati

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Ubicazione indagine sismica con metodo M.A.S.W.

4.3 Sismica passiva con metodologia HVSR

La metodologia adottata è quella della sismica passiva, che sfrutta il rumore sismico ambientale presente ovunque in superficie. Tale rumore sismico è prodotto da vari fenomeni, quali l'attività dinamica terrestre, i fenomeni atmosferici di grande portata (venti, onde marine) e l'attività antropica. Il rumore sismico ambientale viene definito anche come "microtremore", in quanto è caratterizzato da oscillazioni molto più piccole di quelle generate dai terremoti.

Questa metodologia è definita come "passiva" in quanto il terreno non viene energizzato artificialmente nel corso delle registrazioni.

4.3.1 Metodo di acquisizione indagine sismica a stazione singola HVSR

L'indagine in oggetto è stata eseguita tramite una stazione singola di registrazione (SARA modello SR04/MT) costituita da tre geofoni calibrati, uno verticale e due orizzontali, con disposizione convenzionale N-S e E-O di frequenza pari a 2 Hz. Per il punto/stazione di misura è stato particolarmente curato l'accoppiamento sensore/terreno ed è stata eseguita accurata livellazione e messa in bolla del sensore. Le misure sono state acquisite in via digitale a 24 bit con una frequenza di campionamento di 300 Hz. La durata di registrazione è stata di 20 minuti.

4.3.2 Elaborazione dati HVSR

Tra le varie tecniche consolidate per ricavare informazioni del sottosuolo partendo dagli spettri del rumore sismico registrati, quella che ha riscosso maggiori consensi è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella del moto verticale denominata HVSR da Horizontal to Vertical Spectral Ratio, o più brevemente H/V, nota anche come tecnica di Nakamura. Le basi teoriche del metodo possono essere brevemente riassunte considerando un sottosuolo a due strati, con densità e velocità differenti. Un'onda che viaggia nello strato 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte di separazione dei due strati, interferisce con le onde incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime in condizione di risonanza quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore del primo strato.

Per le onde P di compressione ciò si traduce in:

$$f_r = V_p1/(4h)$$

mentre per le onde S in:

$$f_r = V_s1/(4h)$$

con f_r = frequenza di risonanza.

Essendo questo effetto teoricamente sommabile, la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza caratteristiche dei vari strati.

4.3.3 Risultati HVSR

Per la stazione di misura effettuata è riportata in allegato una scheda con la tabella di settaggio, i segnali registrati (Figura 13) la campionatura di analisi e il risultante grafico del rapporto spettrale H/V (Figura 14).

L'analisi permette la definizione di un picco di frequenza posto a 0.9 Hz, correlabile con il tetto del substrato sismico.

Di seguito viene riportata la verifica della elaborazione.

Sampling frequency (Hz): 300
Window length (sec): 40
Length of analysed temporal sequence (min): 20.0
Tapering (%): 10

Peak frequency (Hz): 0.9

Peak HVSR value: 3.4

=== Criteria for a reliable H/V curve

#1. $[f_0 > 10/Lw]: 0.9 > 0.25$ (OK)

#2. $[nc > 200]: 20399 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Tramite un processo di inversione utilizzando il Software Dinver, si è potuta ricostruire la sismostratigrafia locale e definire la profondità del bedrock sismico; ancorando il modello di input a dati geognostici ricavati in sito e dati sismici eseguiti (MASW).

Il processo di inversione del modello presunto ha identificato la presenza di 2551 modelli di cui 1928 correlabili con un misfit pari a 1,162 (Figura 14).

In virtù dei dati stratigrafici, l'analisi integrata ha permesso l'identificazione di un modello numericamente simile a quello ricavato con il metodo di inversione MASW e l'identificazione di un bedrock sismico con velocità $V_s > 800$ m/sec alla profondità di oltre 30.00 m dal p.c..

Il modello sismostratigrafico ricostruito, con l'apporto dei dati sismici MASW, è riportato nella tabella seguente.

Spessore (m)	Vs (m/s)
1,80	185
4,38	355
13,00	455
10,82	585

Tabella 6: Valori per il calcolo della Vseq da elaborazione integrata

Tramite la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

si ottiene un valore della $V_{s,eq}=V_{s30}$ equivalente pari a **464 m/s**, che appare tra l'altro congruente con il risultato ottenuto analizzando il profilo sismico in modalità MASW.

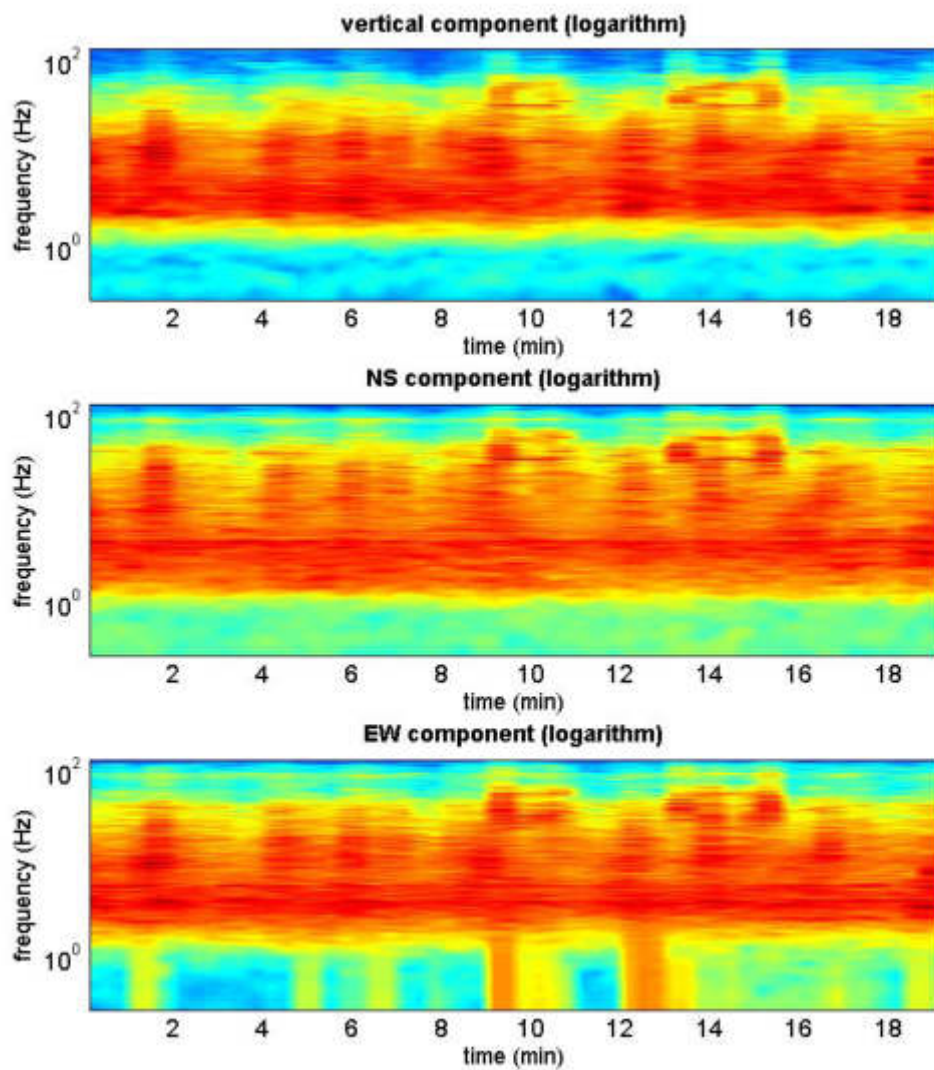


Figura 13: Grafico frequenza-tempo segnale acquisito nelle componenti: orizzontali, N-S, E-W

show data reset

step01 (optional) - decimate
 1.28Hz new frequency resample

step02 - HV computation
 remove events clean axes
 40 window length (s)
 10 tapering (%)
 10% spectral smoothing (triangular window)
☐ show particle motion (raw data) compute

step03a (optional) - directivity analysis
 compute max freq 32 Hz

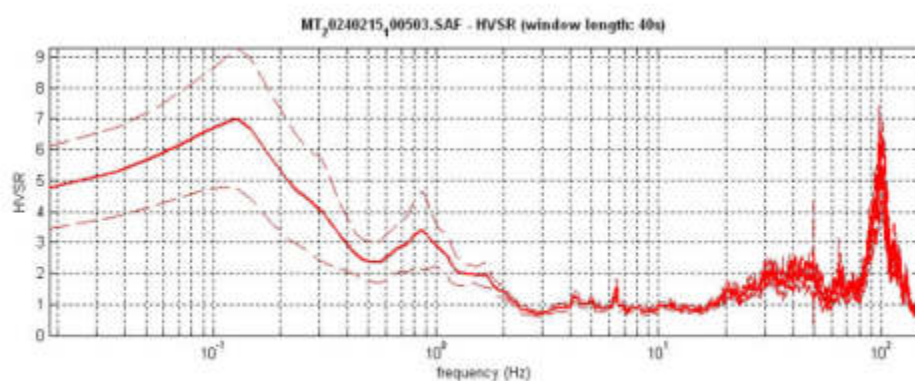
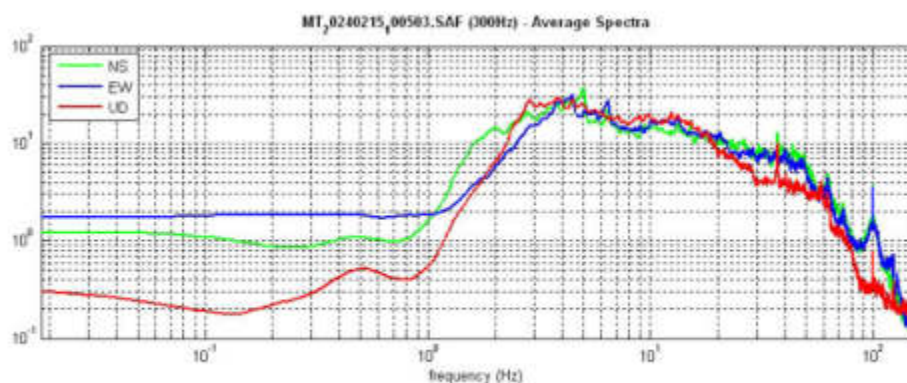
step03b (optional) - directivity over time
 directivity in time time step: 50 s

save - option01: save HVSR as it is
 Save HV from 0.3 to 84 Hz
 save HV curve (as it is)

Save - option02: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV

quick analysis (H/Vs/H)
☐ average V/s (m/s) (from surface to bedrock)
☐ depth of the bedrock (m)
 compute

www.winmasw.com



To model the HVSR (also partly with MASW or ReMi data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

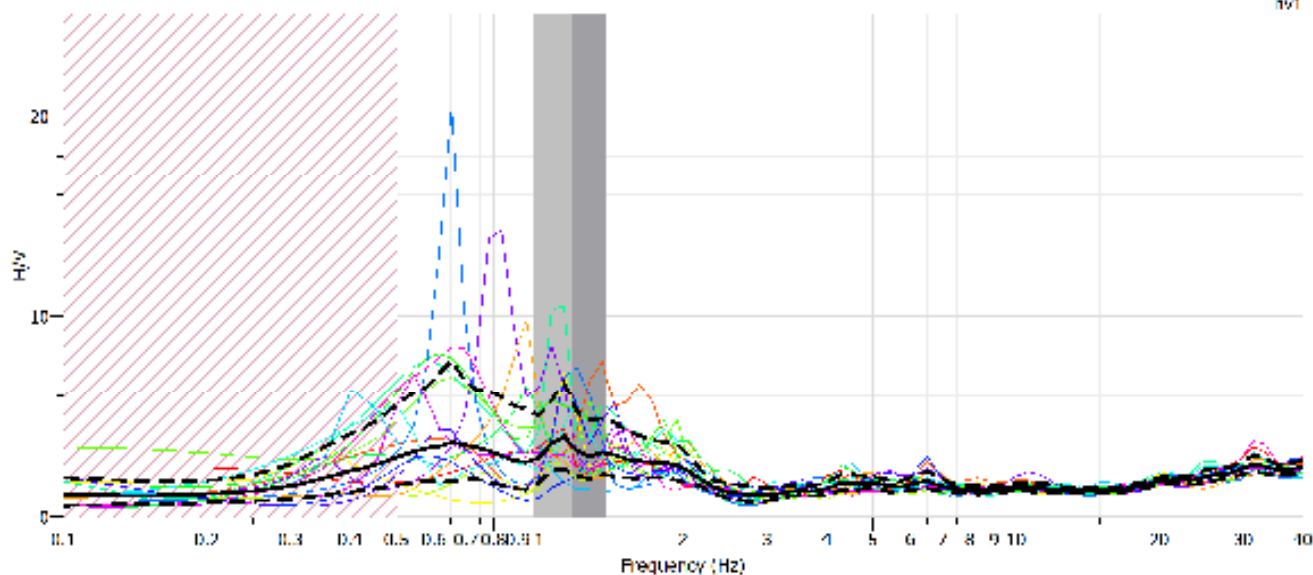


Figura 14: Definizione finestre di calcolo del range di frequenza e del grafico del rapporto H/V

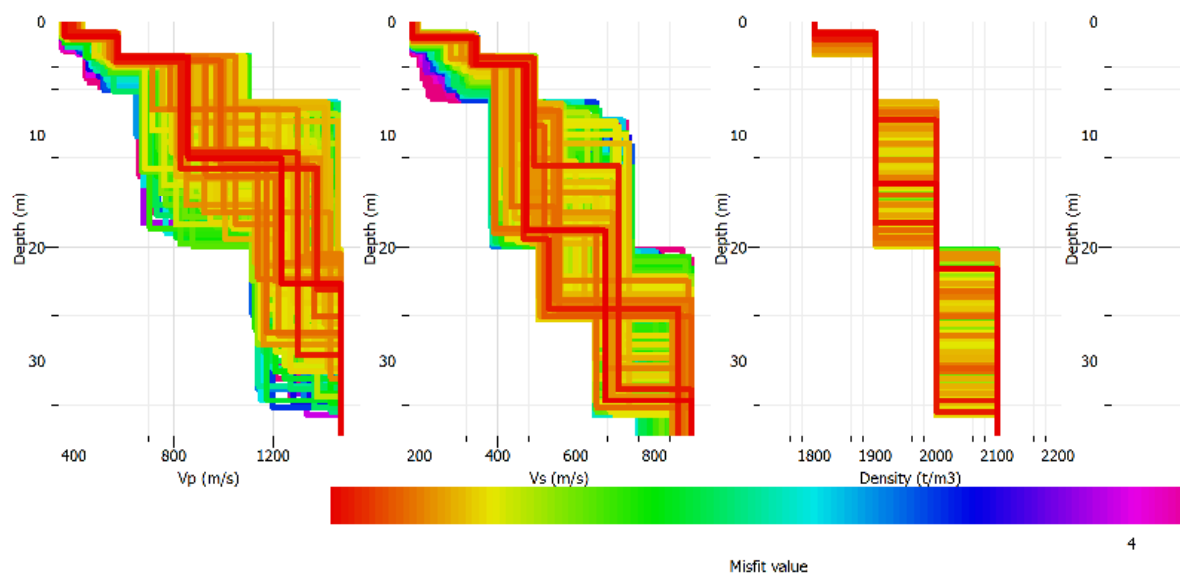


Figura 15: Processo di inversione elaborazione congiunta

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 2: Particolare stazione di misura sismica passiva con metodologia HVSR

5. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO - MS3

5.1 Indagini Geognostiche e geofisiche pregresse

I dati pregressi, per l'area oggetto di studio, sono reperiti:

- Microzonazione sismica di terzo livello Comune di Foligno;
- Studi ed indagini forniti da professionisti e/o studi tecnici che operano nel medesimo Comune.

L'ubicazione dei dati geognostici, acquisiti in questa sede, sono riportati nella *carta delle indagini* in scala 1:5.000 limitatamente a quelle presenti all'interno di un raggio di circa 400m rispetto l'area di studio.

ID	Tipo indagine	Profondità prova (m)	Fonte
054018P58	Sondaggio a distruzione di nucleo (SD)	30,0	MS3
054018P70	Sondaggio (S)	30,0	MS3
054018P113	Sondaggio (S)	13,0	MS3
054018P114	Sondaggio (S)	7,5	MS3
054018P169	Prova penetrometrica statica (CPT)	8,6	MS3
054018P270	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	2,1	MS3
054018P271	Sondaggio (S)	11,0	MS3
054018P335	Pozzo (PA)	35,0	MS3
B-01 DPM	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	1,6	Professionista
B-02 DPM	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	6,4	Professionista

Tabella 7 - Lista indagini pregresse

5.2 Indagine geognostica – Prova penetrometrica dinamica DPSH

E' stata eseguita n. 1 prova penetrometrica DPSH, con penetrometro superpesante Pagani tipo Emilia TG63/100. L'indagine è stata spinta sino alla profondità di 3,0m (rifiuto strumentale) al fine di effettuare una ricostruzione stratigrafia di dettaglio nel area di studio ubicata tra Via Franco Santocchia e Via Vittorio Alfieri.

DPSH 1

Data inizio: 15/02/2024 - Data inizio: 15/02/2024

- 0,00 – 0,80 m Orizzonte pedologico (Limi sabbiosi);
- 0,80 – 2,80 m Limi sabbiosi con ghiaia;
- 2,80 – 3,00 m Ghiaie sabbiose;

Nella tabella 5 si riportano i parametri geotecnici dei terreni indagati (dove: γ = peso di volume in condizioni naturali; ϕ = angolo di attrito interno; c_u = coesione non drenata).

Descrizione	Profondità (m)	γ (t/m ³)	ϕ (°)	c_u (kg/cm ²)
Orizzonte pedologico	0,0 – 0,8	1,80	-	-
Limi sabbiosi con ghiaia	0,8 – 2,8	2,00	30-32	0,8-1,0
Ghiaia sabbiosa	2,8 – 3,0	2,05	>35	-

Tabella 8 - Elaborazione statistica prova DPSH 1

5.3.1 Indagini geofisiche – Sismica con metodologia MASW

L'acquisizione è stata effettuata con la seguente strumentazione:

- Sismografo PASI 16G24N a 24 canali, 24 bit ad incremento di segnale;
- n° 12 geofoni verticale da 4.5 Hz (Onde superficiali di Rayleigh);
- Energizzazione con mazza su piastra in alluminio per generare le onde di Rayleigh;
- Distanza intergeofonica 2,0 m;
- Copertura dello stendimento 22,00 m.

La metodologia sismica adottata è quella sintetizzata dall'acronimo M.A.S.W. (Multichannel Analysys of Surface Waves) ovvero "analisi multicanale delle onde superficiali".

Tale metodo di analisi dei dati sismici sfrutta alcune proprietà delle componenti superficiali (Rayleigh) delle onde generate, a differenza della classica sismica a rifrazione, nella quale, come è noto, si misurano i tempi di primo arrivo delle onde energizzate rifratte in compressione o di taglio V_p o V_s .

Le principali proprietà utilizzate sono le seguenti: la maggior parte dell'energia generata sia in compressione che di taglio è convertita in onde di superficie (circa il 90%); la propagazione delle onde di superficie è influenzata in misura minore dalle onde P e dalla densità del mezzo.

Dall'analisi delle curve di dispersione dei due tipi di onde si ottengono curve di dispersione della variazioni della velocità di fase, in funzione delle lunghezze d'onda o delle frequenze (inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità, tramite l'adozione di processi analitici di inversione, consistenti nell'adozione di un modello teorico di partenza numero strati/velocità/spessori, e successiva ottimizzazione dei dati tramite processi di raffinamento). I dati così ottenuti sono stati analizzati scegliendo la serie di curve più idonee e sottoponendole alla successive fasi di elaborazione:

- Caricamento sismogrammi onde di Rayleigh;
- Calcolo degli spettri di velocità Frequenza Hz – Velocità fase m/s;
- Modellazione diretta delle curve di dispersione del modo fondamentale e di quelli superiori tramite assunzione di modelli Velocità/Spessori via via più soddisfacenti, attribuiti a partire da dati geologico stratigrafici dell'area e da valori di V_s degli strati più superficiali, questi ultimi calcolati tramite i risultati del profilo a rifrazione eseguito;

- Piccaggio delle curve di dispersione ottimizzate;
- Inversione delle curve di dispersione;
- Modello finale della variazione della velocità V_s con la profondità;

Il processo di inversione è stato effettuato con il software WINMASW della ditta EliaSoft.

Dal calcolo degli spettri di velocità Frequenza (Hz) / Velocità di fase (m/s), si rileva come la massima dispersione della velocità di fase risulta compresa nell'intervallo di frequenza tra i 5 e i 30 Hz, mentre la corrispondente velocità risulta compresa tra 150 m/s e 800 m/s.

In allegato al presente lavoro viene presentato il modello teorico di partenza, assunto per l'elaborazione nel processo di inversione, il risultato finale del processo di inversione e il rapporto sismostratigrafico V_s (m/s)/profondità (m), con la rappresentazione della distribuzione delle velocità. In accordo con il modello inserito, tarato con l'ausilio delle indagini geofisiche e geognostiche, come definito dal cap. 3.2.2 del DM 14/01/2018, viene restituito per ogni acquisizione un valore della V_{seq} equivalente, corrispondente alla categoria di sottosuolo, tramite il fitting effettuato sulla base della relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$V_{s,eq}$ = velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio;

h_i = spessore dello strato i -esimo;

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

N = numero di strati ;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Sito	Tipo indagine	Codice identificativo	Geofoni n°	Tipologia geofoni	Lunghezza stendimento (m)	Tipo di elaborazione	Categoria di sottosuolo NTC2018
Area di studio	Lineare	MASW	12	P	22	Inversione	B

5.3.2 Indagini geofisiche – Sismica passiva HVSR

L'indagine in oggetto è stata eseguita tramite una stazione singola di registrazione, costituita da tre velocimetri calibrati, uno verticale e due orizzontali, con disposizione convenzionale N-S e E-W, di frequenza naturale pari a 2 Hz, (SR04MT).

La metodologia adottata è quella della sismica passiva, che sfrutta il rumore sismico ambientale presente ovunque in superficie. Tale rumore sismico è prodotto da vari fenomeni, quali l'attività dinamica terrestre, fenomeni atmosferici di grande portata (venti, onde marine) e attività antropica. Il rumore sismico ambientale viene definito anche come "microtremore", in quanto è caratterizzato da

oscillazioni molto più piccole di quelle generate dai terremoti nel campo vicino, pari a 10^{-15} [m/s²] in termini di accelerazione.

Questa metodologia è definita come “passiva” in quanto il terreno non viene energizzato artificialmente nel corso delle registrazioni, come avviene, invece, per la sismica a rifrazione.

Per il punto/stazione di misura è stato particolarmente curato l'accoppiamento sensore/terreno, ed è stata eseguita una accurata livellazione e messa in bolla del sensore. Le misure sono state acquisite in via digitale a 24 bit, con una frequenza di campionamento di 200 Hz; la durata di registrazione è stata di 20 minuti. Tra le varie tecniche consolidate per ricavare informazioni del sottosuolo, partendo dagli spettri del rumore sismico registrati, quella che ha riscosso maggiori consensi è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella del moto verticale, denominata HVSR da Horizontal to Vertical Spectral Ratio, o più brevemente H/V, nota anche come tecnica di Nakamura.

Le basi teoriche del metodo possono essere brevemente riassunte considerando un sottosuolo a due strati, con densità e velocità differenti. Un'onda che viaggia nello strato 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte di separazione dei due strati, interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime, in condizione di risonanza, quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore del primo strato.

Per le onde P di compressione ciò si traduce in:

$$fr = Vp1/(4h)$$

mentre per le onde S in:

$$fr = Vs1/(4h)$$

con fr = frequenza di risonanza.

Essendo questo effetto teoricamente sommabile, la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza caratteristiche dei vari strati, ciò insieme ad una stima delle velocità, permette di prevedere con una certa approssimazione gli spessori. Per il punto di misura è riportata in allegato una scheda con la tabella di settaggio, i segnali registrati, la campionatura di analisi e il risultante grafico del rapporto spettrale H/V.

Sito	Tipo indagine	Codice identificativo	Time (min)	f0(Hz)	A0	Tipo di elaborazione	“Tipo_gt” e “Gen”
Area di studio	Puntuale	HVSR	20	0,9	3,4	Inversione	GMfd

5.4 Modello geologico

Integrando i dati raccolti di indagini pregresse con quelli delle indagini eseguite, si è cercato di definire un modello di sottosuolo per le aree oggetto di Microzonazione sismica di livello III.

Per la definizione di tale modello, oltre ai dati superficiali a disposizione (carta geologica della Regione dell'Umbria e dati del rilevamento di campagna), sono state di grande utilità sono state le indagini reperite e realizzate in precedenza. Sono state quindi redatte n. 2 sezioni geologico-tecniche, con lo scopo di definire il modello del sottosuolo integrando le indagini dirette ed indirette a disposizione e basandosi su considerazioni geologiche generali. Le sezioni sono state la base, insieme alla carta geologico-tecnica, per la realizzazione delle stratigrafie di riferimento per le microzone omogenee e per la realizzazione della carta delle MOPS e di microzonazione sismica di III livello.

5.4.1 Modello del sottosuolo – Zona 45 (2045)

Zone stabili suscettibili ad amplificazione locale

Nel caso specifico, il modello sismostratigrafico del sottosuolo si caratterizza per la presenza depositi essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, da ben classificati a fortemente eterometrici, clasti a spigoli vivi, in accumuli massivi e/o grossolanamente stratificati, non in rapporto con la morfologia attuale appartenenti ad un ambiente deposizionale di falda detritica (figura 16). Il materiale è rappresentato da *“Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo”* come descritto nella legenda della CGT_MS (figura 17).

Descrizione	Gen
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	di
Piana pedemontana	pd

Fig.16 – Estratto Codici relativi agli ambienti deposizionali






Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

Fig.17 – Estratto Legenda della CGT_MS

Il modello di sottosuolo ricavato per l'area oggetto di studio, integrando i dati geognostici e geofisici, evidenzia la presenza di un materiale ghiaioso-limoso con spessori variabili fino alla profondità di almeno 30m. La presenza di depositi ghiaiosi-limosi è dimostrata dai sondaggi bibliografici 054018P113 e 054018P114. Nell'area delimitata per gli studi di microzonazione sismica le indagini hanno permesso di identificare un modello stratigrafico identificato nella Carta delle MOPS come Zona45 (2045) come nella tabella sottostante n.9) e figura 18.

Sito	MOPS	Tipo GT	Descrizione	Log	Vs (m/s)	Spessore (m)
Area di Studio	Stabile suscettibile di amplificazione	GMfd	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo	GMfd	180-356	0-5
Area di Studio	Stabile suscettibile di amplificazione	GMfd	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo	GMfd	356 - 780	5-30
Area di Studio	Stabile suscettibile di amplificazione	?	Substrato sismico	SS	> 800	> 30

Tabella 9 - Ricostruzione schematica zona stabile suscettibile di amplificazione locale Zona45 (2045)



Fig.18 – Estratto Carta delle MOPS: Stratigrafia di riferimento microzona – Zona45 (2045)

5.5 Modellazione della Risposta sismica locale in configurazione 1D

5.5.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione sismica di livello III realizzato ha portato, a seguito delle attività di rilevamento, dell'analisi dei dati disponibili e della realizzazione delle indagini geognostiche e geofisiche, alla redazione di Cartografie di sintesi finali, consistenti nella Carta di Microzonazione sismica e nella Carta delle MOPS. L'input sismico utilizzato per tutte le modellazioni numeriche è stato fornito dal Servizio Sismico della Regione dell'Umbria. In figura 19 si allega il report fornito che descrive il set di accelerogrammi scelto come rappresentativi per il Comune di Foligno.

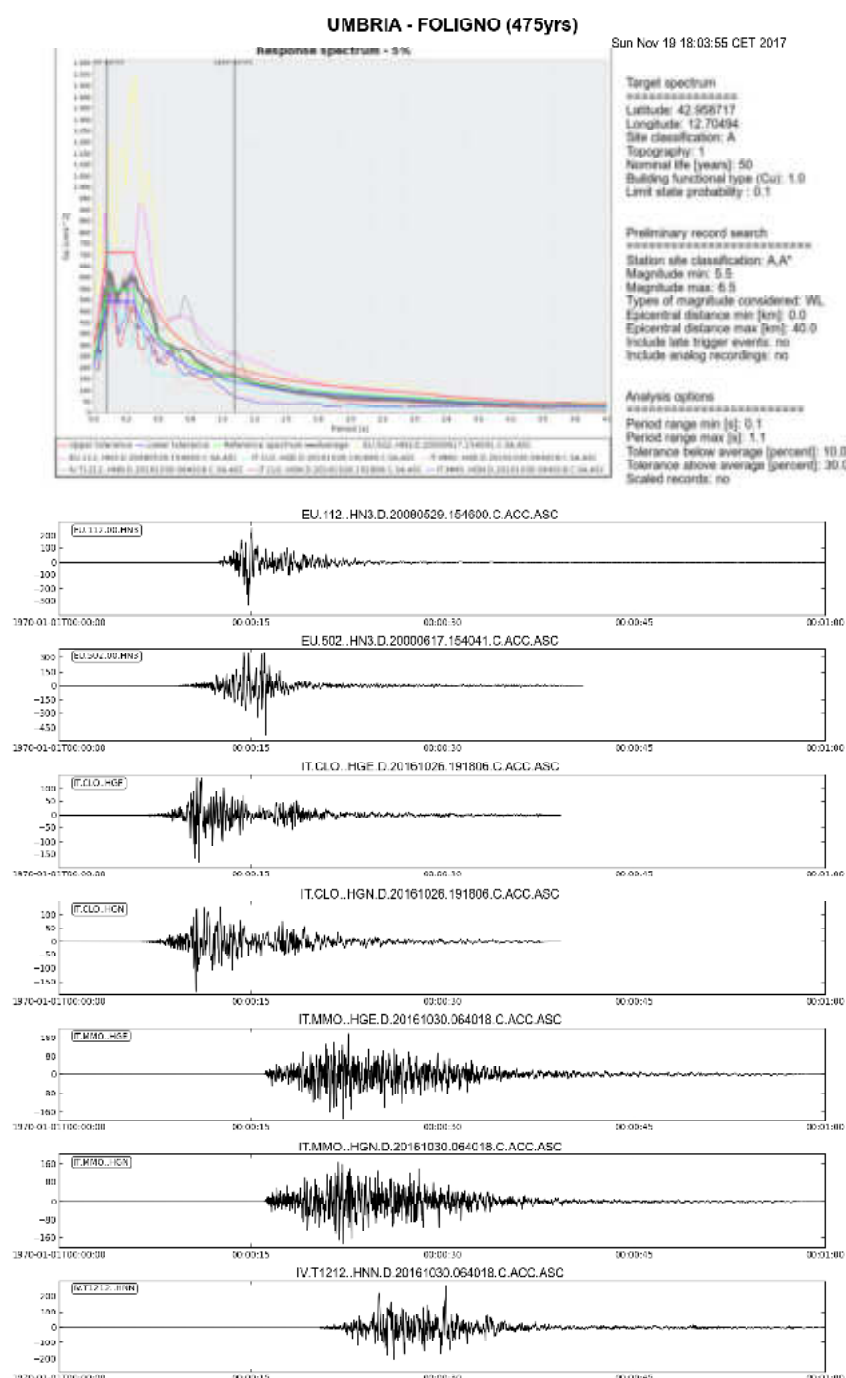


Fig.19 – Input sismico – fornito dalla Servizio Geologico e Simico della Regione Umbria

5.5.2 Modello di analisi e scelta del codice di calcolo

Il programma utilizzato per tale modellazione è STRATA (Kottke&Rathje, 2008), che permette la realizzazione di analisi di risposta sismica locale 1D in un contesto semplificato di tipo elastico-equivalente. Il modello consiste in una serie di strati piani e paralleli, ognuno dei quali è considerato omogeneo ed isotropo, di estensione orizzontale infinita, poggianti su bedrock sismico. Sullo stesso semispazio si applica il moto di input, ogni strato è considerato omogeneo ed isotropo ed è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità, dal modulo di elasticità a taglio G , dal rapporto di smorzamento e dalla velocità di propagazione delle onde S . Il comportamento del terreno non è lineare e varia al variare della deformazione indotta dal terremoto. Il processo di calcolo è iterativo, la procedura di interazione va portata avanti per un numero di cicli tali finché il valore di deformazione tangenziale, caratteristica di un ciclo, sia uguale a quella del ciclo precedente, a meno di un valore di tolleranza prefissato. Di seguito si forniscono i parametri comuni di input e di output utilizzati per le varie elaborazioni indicati dagli standard di Microzonazione Sismica:

Metodo di elaborazione:

- Metodo: EQL (equivalente lineare);

Parametri di calcolo:

- Error tolerance: 2.0%;
- Maximum number of iteration: 10;
- Damping Bedrock Layer: 0.5%;

Response spectrum properties:

- Damping: 5%;
- Minimum: 0.01 s;
- Maximum: 4.0 s;
- Point count: 100;
- Spacing: Log.

Per ogni simulazione il software ha calcolato:

- i tabulati dei sette spettri di risposta di input con unità di misura in (g);
- i tabulati dei sette spettri di risposta di output calcolati in superficie con unità di misura in (g);
- i tabulati dei sette accelerogrammi di output con unità di misura in (g).

Per ogni elaborazione, attraverso specifico foglio di calcolo fornito dal Servizio Geologico e Sismico della Regione dell'Umbria, viene calcolato:

- lo spettro medio di risposta di input con unità di misura in (g);
- lo spettro medio di risposta di output con unità di misura in (g);

- una terna di fattori di amplificazione FA nei tre intervalli di periodi scelti da Centro MS (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s).

I dati degli spettri e degli accelerogrammi di output sono stati realizzati, per ogni simulazione/microzona files in formato *.txt ed in particolare:

- n. 1 file con i sette spettri di output;
- n. 1 file con la media dei sette spettri di output;
- n. 1 file con i sette accelerogrammi di output.

Per quanto riguarda i files contenenti i sette spettri di output e quelli relativi ai sette accelerogrammi di output, le sette colonne fanno progressivamente riferimento ai sette accelerogrammi di input secondo il seguente ordine:

- Accelerogramma EU.112..HN3.D.20080529.154600.C.ACC.ASC
- Accelerogramma EU.502..HN3.D.20000617.154041.C.ACC.ASC
- Accelerogramma IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC
- Accelerogramma IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.ASC
- Accelerogramma IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C.ACC.ASC
- Accelerogramma IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC
- Accelerogramma IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC

Le curve di decadimento del moto sismico utilizzate (Strain-Dumping e Strain-G/Gmax figure 20 e 21) sono le medesime fornite dagli Indirizzi e Criteri di Microzonazione e fanno riferimento a quanto pubblicato da Rollins et al. 1998. La scelta delle curve di decadimento è stata eseguita in funzione delle stratigrafie desunte in fase di campagna e secondo gli standard degli ICMS.

La taratura del modello geologico e del modello sismico è stata eseguita analizzando congiuntamente i dati relativi alla campagna di indagine specificatamente effettuata per l'intervento.

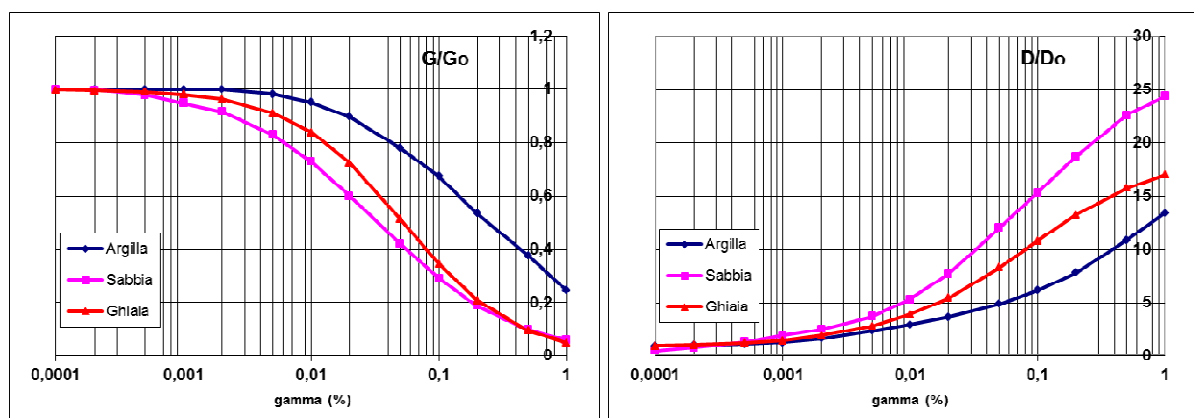


Figura 20 e 21 - Curve di decadimento ghiaia Rollins et al. 1998

5.5.3 Risultati

Modello sismostratigrafico e risultati Zona 45 (2045)

Sito	Strato	Tipo GT	Vs (m/s)	Spessore (m)	γ (KN/m ³)	Curve di degrado
Area di studio	1	GM	356	4,60	19,61	ROLLINS,1998
"	2	GM	451	10,00	19,61	ROLLINS,1998
"	3	GM	626	8,40	19,61	ROLLINS,1998
"	4	GM	780	18,40	20,59	ROLLINS,1998
"	5	Bedrock	900	-	22,00	ROLLINS,1998

Tabella 10 - Modello input adottato Zona45 (2045)

La figura 22 rappresenta lo spettro in accelerazione alla location 0,0 derivato dalle analisi di Risposta Sismica Locale (RSL).

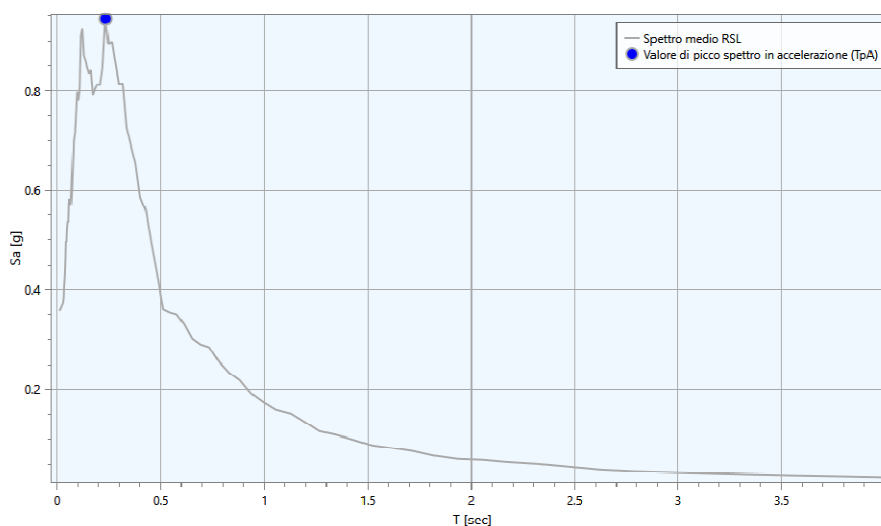


Fig. 22 - Spettro di accelerazione location 0,0

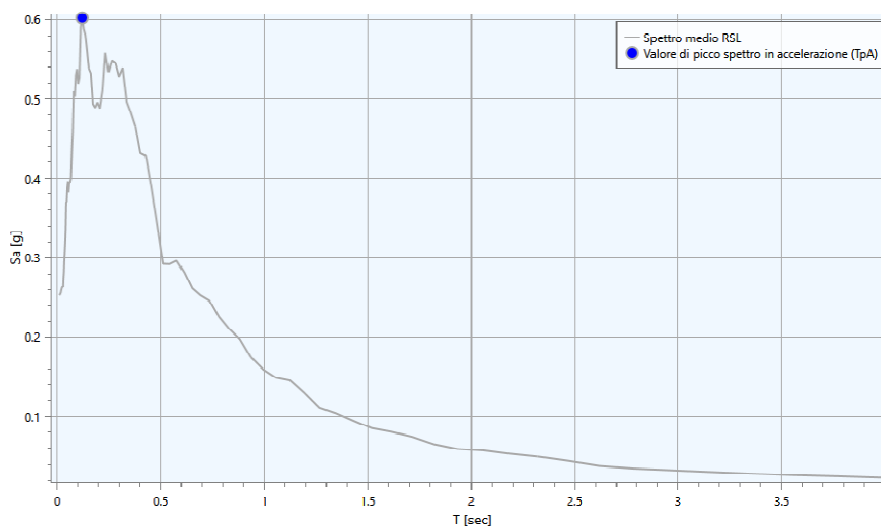


Fig. 23 - Spettro di accelerazione location Badrock

Spettri in input (bedrock):

T (s)	input #1	input #2	input #3	input #4	input #5	input #6	input #7	MEDIO
0,010000	0,335554	0,536240	0,185474	0,195080	0,190566	0,190861	0,279288	0,273294
0,010624	0,335748	0,537156	0,185628	0,195327	0,190701	0,191053	0,279385	0,273571
0,011287	0,335879	0,538223	0,185802	0,195608	0,190856	0,191271	0,279495	0,273876
0,011991	0,336155	0,539461	0,185992	0,195920	0,191035	0,191515	0,279621	0,274243
0,012739	0,336516	0,540469	0,186241	0,196147	0,191240	0,191793	0,279757	0,274595
0,013534	0,336906	0,542467	0,186475	0,196547	0,191485	0,192104	0,279923	0,275130
0,014378	0,337159	0,545249	0,186771	0,197125	0,191796	0,192444	0,280118	0,275809
0,015275	0,337007	0,548049	0,187166	0,197551	0,192161	0,192848	0,280336	0,276446
0,016228	0,336596	0,551615	0,187407	0,198125	0,192525	0,193309	0,280209	0,277112
0,017241	0,337403	0,556351	0,187966	0,199702	0,192991	0,193850	0,280237	0,278357
0,018316	0,339497	0,565921	0,188531	0,201880	0,193564	0,194533	0,280442	0,280624
0,019459	0,343676	0,569659	0,189018	0,203236	0,194081	0,195282	0,281418	0,282338
0,020673	0,349266	0,564166	0,189425	0,204395	0,195331	0,196308	0,281221	0,282873
0,021963	0,352935	0,574103	0,189450	0,203559	0,196615	0,196632	0,281214	0,284930
0,023333	0,353143	0,595176	0,190381	0,200672	0,197072	0,195882	0,279954	0,287469
0,024789	0,354576	0,599832	0,192967	0,194095	0,199938	0,197278	0,284007	0,288956
0,026335	0,354570	0,564290	0,192599	0,194972	0,204305	0,205555	0,282998	0,285613
0,027978	0,353345	0,527100	0,187407	0,198881	0,209274	0,213412	0,280657	0,281440
0,029724	0,354023	0,591883	0,204191	0,200334	0,216727	0,221419	0,285002	0,296226
0,031578	0,341202	0,640307	0,215370	0,206703	0,224261	0,228826	0,286202	0,306124
0,033548	0,346445	0,766901	0,208536	0,208706	0,253561	0,218120	0,304076	0,329478
0,035641	0,354720	0,804814	0,218387	0,215545	0,281333	0,223462	0,297798	0,342294
0,037865	0,374882	0,866663	0,239004	0,209143	0,305817	0,239345	0,282023	0,359554
0,040227	0,380295	0,898188	0,251383	0,201861	0,343956	0,270298	0,302913	0,378413
0,042737	0,374064	0,973968	0,267454	0,231568	0,371773	0,327361	0,345744	0,413133
0,045403	0,377601	0,880982	0,260496	0,256566	0,378047	0,325118	0,357773	0,405226
0,048236	0,405743	0,789365	0,259259	0,283803	0,393953	0,364342	0,393054	0,412788
0,051245	0,441331	0,813967	0,271738	0,280214	0,347830	0,386310	0,420417	0,423115
0,054442	0,402866	0,714971	0,299372	0,293609	0,342548	0,379239	0,361302	0,399129
0,057839	0,424059	0,770836	0,276944	0,274819	0,344194	0,453664	0,385989	0,418643
0,061447	0,454755	0,803735	0,261311	0,268053	0,336662	0,467050	0,372860	0,423490
0,065281	0,499763	0,665458	0,241834	0,304466	0,381766	0,510443	0,346717	0,421492
0,069354	0,544138	0,672403	0,247447	0,363003	0,430834	0,501140	0,388877	0,449692
0,073681	0,567051	0,640665	0,256918	0,436124	0,442773	0,480314	0,495832	0,474240
0,078277	0,813740	0,696776	0,260610	0,444864	0,539452	0,441058	0,569249	0,537964
0,083161	0,868355	0,629379	0,303683	0,397089	0,538961	0,461896	0,494764	0,527733
0,088349	0,935906	0,731752	0,345047	0,368668	0,467740	0,526651	0,546655	0,560346
0,093861	0,751009	0,806936	0,444885	0,429736	0,484285	0,501408	0,461581	0,554263
0,099717	0,631907	0,707266	0,520535	0,431905	0,452692	0,480566	0,466478	0,527336
0,105939	0,566336	0,724473	0,675005	0,401830	0,461972	0,467404	0,470799	0,538260
0,112548	0,536106	0,931608	0,829159	0,466738	0,443142	0,563418	0,514434	0,612087
0,119570	0,481412	1,185176	0,751234	0,504330	0,441170	0,542033	0,554012	0,637052
0,127029	0,533581	1,229639	0,541779	0,532951	0,522051	0,468818	0,526393	0,622173

0,134955	0,557070	1,179932	0,435608	0,626836	0,436966	0,499469	0,572794	0,615525
0,143374	0,530962	0,968054	0,399109	0,629191	0,403060	0,617371	0,547694	0,585063
0,152319	0,444832	0,803710	0,438311	0,594253	0,446302	0,571787	0,550913	0,550016
0,161822	0,467268	0,776501	0,447888	0,479986	0,530346	0,513904	0,570970	0,540981
0,171918	0,481610	0,745906	0,457804	0,377501	0,443134	0,456037	0,573471	0,505066
0,182644	0,509444	0,917934	0,573565	0,338117	0,397647	0,376368	0,495059	0,515448
0,194039	0,508011	1,057564	0,507472	0,297759	0,495351	0,348320	0,528830	0,534758
0,206144	0,477690	1,168863	0,353988	0,316381	0,501492	0,369120	0,574034	0,537367
0,219006	0,476698	1,192621	0,432010	0,314544	0,486375	0,400055	0,597054	0,557051
0,232669	0,486215	1,207856	0,469961	0,372314	0,619552	0,421135	0,631299	0,601190
0,247185	0,489476	1,052225	0,426255	0,380009	0,636136	0,413883	0,563237	0,565889
0,262606	0,499044	1,217245	0,350908	0,419537	0,623472	0,533727	0,501375	0,592187
0,278990	0,527461	1,456660	0,296410	0,483277	0,534129	0,602250	0,406335	0,615217
0,296396	0,596519	1,397402	0,321703	0,455602	0,358271	0,639336	0,409906	0,596963
0,314888	0,675570	1,563207	0,369546	0,511009	0,329209	0,507928	0,396803	0,621896
0,334533	0,829979	1,264400	0,423088	0,378699	0,297983	0,395934	0,376273	0,566622
0,355404	0,927963	1,099364	0,431357	0,297540	0,285471	0,388181	0,420457	0,550048
0,377577	0,934271	0,925102	0,384100	0,281533	0,266095	0,381184	0,498222	0,524358
0,401134	0,875396	1,022062	0,311320	0,295677	0,219828	0,336388	0,464388	0,503580
0,426160	0,762455	1,068519	0,246190	0,343637	0,239187	0,342663	0,475004	0,496808
0,452748	0,632488	0,971989	0,195138	0,330748	0,259221	0,264171	0,505322	0,451296
0,480994	0,537767	0,762635	0,170937	0,271245	0,234508	0,277734	0,456252	0,387297
0,511003	0,482332	0,550971	0,170957	0,224616	0,250556	0,216813	0,328567	0,317830
0,542884	0,442827	0,473834	0,176424	0,213356	0,261683	0,241789	0,361617	0,310219
0,576753	0,418768	0,367219	0,172285	0,250860	0,249150	0,290083	0,416233	0,309228
0,612736	0,417572	0,311628	0,161202	0,278129	0,202968	0,267748	0,444699	0,297707
0,650964	0,430046	0,342796	0,162271	0,263944	0,147947	0,206595	0,435557	0,284165
0,691577	0,438177	0,344613	0,170710	0,228241	0,126932	0,179655	0,492084	0,282916
0,734723	0,429753	0,294580	0,190467	0,192812	0,134397	0,167928	0,525634	0,276510
0,780562	0,403091	0,229260	0,200759	0,166567	0,143273	0,177214	0,381686	0,243121
0,829260	0,369466	0,183960	0,201430	0,154482	0,137719	0,195378	0,322704	0,223591
0,880996	0,337471	0,164113	0,190278	0,152959	0,141348	0,179423	0,290900	0,208070
0,935961	0,308804	0,152959	0,170170	0,168722	0,105060	0,135153	0,255394	0,185180
0,994354	0,285416	0,138939	0,147963	0,186844	0,090413	0,116475	0,228867	0,170702
1,056390	0,270068	0,146508	0,131007	0,180584	0,082247	0,080309	0,267915	0,165520
1,122297	0,258534	0,178627	0,120430	0,183239	0,072492	0,072753	0,262808	0,164126
1,192316	0,245096	0,201036	0,105619	0,165516	0,069541	0,061720	0,171214	0,145677
1,266703	0,228944	0,202799	0,092143	0,142616	0,063992	0,043967	0,123388	0,128264
1,345731	0,210536	0,187257	0,083703	0,139334	0,062200	0,042972	0,109604	0,119372
1,429689	0,191855	0,159829	0,076175	0,130850	0,052312	0,042284	0,103072	0,108054
1,518886	0,172717	0,154493	0,068157	0,117687	0,045246	0,036511	0,093117	0,098275
1,613647	0,154732	0,156093	0,060659	0,102089	0,047104	0,040583	0,078933	0,091456
1,714320	0,139081	0,157584	0,051263	0,085261	0,047884	0,037780	0,074695	0,084793
1,821274	0,125859	0,147841	0,041829	0,067715	0,044520	0,031208	0,070499	0,075639
1,934901	0,115209	0,129379	0,032367	0,055269	0,048286	0,030769	0,065931	0,068173

2,055617	0,116705	0,122959	0,027644	0,048231	0,049199	0,036544	0,061528	0,066116
2,183864	0,106629	0,127032	0,021761	0,052056	0,045027	0,030676	0,057788	0,062996
2,320113	0,098314	0,123688	0,018529	0,052451	0,038971	0,029697	0,054710	0,059480
2,464861	0,090388	0,113840	0,016040	0,046854	0,028101	0,030085	0,052061	0,053910
2,618641	0,082163	0,093460	0,011465	0,040498	0,021972	0,030500	0,049518	0,047082
2,782014	0,068867	0,070116	0,011477	0,035952	0,022869	0,030530	0,046765	0,040940
2,955581	0,059907	0,061440	0,011969	0,031584	0,023203	0,030035	0,044736	0,037553
3,139975	0,054378	0,056400	0,011664	0,027046	0,022131	0,029219	0,043929	0,034967
3,335874	0,048739	0,050128	0,010096	0,021271	0,024181	0,029797	0,045020	0,032747
3,543995	0,043349	0,042834	0,009211	0,015426	0,026782	0,030236	0,047452	0,030755
3,765100	0,037991	0,046157	0,008357	0,012600	0,026474	0,028582	0,048180	0,029763
4,000000	0,032678	0,048563	0,007299	0,010116	0,026005	0,026998	0,046331	0,028284

Spettri di output:

T (s)	input #1	input #2	input #3	input #4	input #5	input #6	input #7	MEDIO
0,010000	0,381626	0,868176	0,285536	0,234699	0,319084	0,296889	0,358502	0,392073
0,010624	0,381839	0,869102	0,285812	0,234991	0,319262	0,297058	0,358630	0,392385
0,011287	0,382097	0,870165	0,286124	0,235319	0,319464	0,297246	0,358773	0,392741
0,011991	0,382349	0,871387	0,286475	0,235684	0,319694	0,297455	0,358934	0,393140
0,012739	0,382608	0,871520	0,286773	0,236139	0,319957	0,297688	0,359112	0,393399
0,013534	0,382835	0,873237	0,287224	0,236628	0,320264	0,297946	0,359315	0,393921
0,014378	0,382968	0,875302	0,287769	0,237196	0,320621	0,298238	0,359520	0,394516
0,015275	0,382991	0,877539	0,288373	0,237696	0,320997	0,298542	0,359656	0,395113
0,016228	0,383172	0,880445	0,288989	0,238595	0,321416	0,298891	0,359978	0,395927
0,017241	0,384228	0,883814	0,289786	0,240180	0,321947	0,299321	0,360474	0,397107
0,018316	0,386260	0,889145	0,290727	0,241682	0,322532	0,299892	0,360959	0,398742
0,019459	0,387609	0,894388	0,291831	0,242881	0,323140	0,300449	0,361701	0,400285
0,020673	0,389819	0,895733	0,292699	0,243023	0,324299	0,301496	0,361544	0,401231
0,021963	0,392422	0,903179	0,293546	0,241491	0,324699	0,303366	0,361756	0,402923
0,023333	0,398919	0,915744	0,295335	0,238060	0,324484	0,305860	0,362753	0,405879
0,024789	0,398733	0,913038	0,297568	0,234702	0,324165	0,309958	0,364854	0,406145
0,026335	0,399593	0,891255	0,296700	0,240596	0,327790	0,319432	0,362625	0,405427
0,027978	0,402059	0,874706	0,294968	0,244352	0,329895	0,323258	0,368536	0,405396
0,029724	0,397824	0,906419	0,313947	0,246000	0,331297	0,318815	0,370808	0,412159
0,031578	0,397982	0,944279	0,327409	0,252645	0,342730	0,314297	0,374614	0,421994
0,033548	0,391422	1,048946	0,322857	0,254617	0,375881	0,345822	0,388398	0,446849
0,035641	0,388888	1,106256	0,338685	0,259936	0,410532	0,365996	0,374545	0,463548
0,037865	0,408400	1,169634	0,361436	0,249452	0,446722	0,388276	0,379647	0,486224
0,040227	0,414875	1,210565	0,381871	0,266032	0,499114	0,423893	0,407522	0,514839
0,042737	0,412016	1,276056	0,402673	0,296356	0,531064	0,488935	0,461069	0,552596
0,045403	0,414165	1,168618	0,388539	0,325364	0,536233	0,489183	0,463649	0,540821
0,048236	0,445270	1,099056	0,387451	0,361957	0,558524	0,549991	0,524640	0,560984
0,051245	0,510249	1,146528	0,408641	0,357656	0,503006	0,574538	0,534663	0,576469
0,054442	0,507496	1,056309	0,443915	0,383977	0,507903	0,570079	0,485188	0,564981
0,057839	0,549420	1,123983	0,405333	0,432924	0,506495	0,698467	0,599781	0,616629
0,061447	0,581682	1,171649	0,384626	0,416208	0,478967	0,680747	0,560163	0,610577
0,065281	0,645527	0,983336	0,385110	0,446087	0,534049	0,715790	0,485161	0,599294
0,069354	0,617958	1,016753	0,394905	0,537051	0,616042	0,691442	0,516700	0,627265
0,073681	0,699494	0,968346	0,425578	0,635837	0,630988	0,677195	0,627035	0,666353
0,078277	0,905891	0,989419	0,445043	0,652441	0,703872	0,618353	0,725994	0,720145
0,083161	0,992182	0,985408	0,486832	0,590975	0,753376	0,684090	0,649766	0,734661
0,088349	1,075625	1,131595	0,555810	0,571251	0,699097	0,731132	0,692403	0,779559
0,093861	1,032509	1,203115	0,719064	0,660329	0,761204	0,725744	0,631466	0,819062
0,099717	0,890881	1,080937	0,842734	0,657158	0,708456	0,706512	0,659782	0,792351
0,105939	0,823331	1,094008	1,084805	0,613344	0,708492	0,719390	0,690591	0,819137
0,112548	0,797168	1,526307	1,320078	0,717262	0,670718	0,891339	0,764193	0,955295
0,119570	0,707163	1,836258	1,191505	0,775467	0,683090	0,853203	0,828808	0,982213

0,127029	0,650524	1,874442	0,813470	0,863639	0,810551	0,712760	0,771326	0,928102
0,134955	0,682881	1,786083	0,668600	1,007456	0,664881	0,748468	0,867967	0,918048
0,143374	0,650113	1,469691	0,616911	1,007485	0,670062	0,928814	0,834391	0,882495
0,152319	0,617724	1,244029	0,685264	0,947669	0,749654	0,906405	0,835877	0,855232
0,161822	0,745722	1,195499	0,707128	0,759960	0,872066	0,842248	0,847133	0,852822
0,171918	0,742647	1,135266	0,731038	0,588438	0,749412	0,749063	0,952566	0,806919
0,182644	0,781737	1,540587	0,997012	0,574782	0,655710	0,644556	0,744357	0,848392
0,194039	0,754837	1,737469	0,852969	0,505776	0,851837	0,583490	0,842327	0,875529
0,206144	0,691627	1,956039	0,624560	0,536591	0,878910	0,609875	0,951362	0,892709
0,219006	0,681728	2,000554	0,752957	0,502630	0,845019	0,698613	1,011352	0,927551
0,232669	0,784639	2,070376	0,813381	0,598997	1,059954	0,745049	1,072720	1,020731
0,247185	0,832574	1,832672	0,705600	0,603603	1,053750	0,708918	0,945213	0,954619
0,262606	0,821545	2,080107	0,559237	0,646579	1,069266	0,833148	0,855983	0,980838
0,278990	0,778540	2,469092	0,419120	0,737697	0,910584	0,945181	0,659744	0,988565
0,296396	0,880823	2,385156	0,445247	0,681557	0,578310	1,009252	0,635913	0,945180
0,314888	0,963044	2,703577	0,518682	0,748910	0,488829	0,798865	0,607764	0,975667
0,334533	1,206238	2,060747	0,597468	0,571335	0,417404	0,581835	0,513931	0,849851
0,355404	1,351118	1,766601	0,602238	0,414783	0,394229	0,561785	0,569823	0,808654
0,377577	1,343758	1,454052	0,533703	0,388074	0,364558	0,518163	0,675718	0,754004
0,401134	1,204387	1,497936	0,421809	0,373124	0,305531	0,448663	0,611099	0,694650
0,426160	1,003628	1,526970	0,310444	0,429508	0,313978	0,436494	0,621381	0,663200
0,452748	0,823052	1,315455	0,231494	0,396142	0,337079	0,333710	0,651745	0,584097
0,480994	0,688776	1,076333	0,196701	0,339477	0,296336	0,348682	0,567852	0,502022
0,511003	0,607619	0,742704	0,194133	0,281267	0,293290	0,265819	0,413113	0,399707
0,542884	0,549200	0,641975	0,208440	0,267126	0,314221	0,274917	0,414418	0,381471
0,576753	0,510736	0,485054	0,203836	0,279590	0,295369	0,333742	0,467582	0,367987
0,612736	0,500794	0,412384	0,189225	0,311249	0,231181	0,307345	0,502673	0,350693
0,650964	0,508345	0,437281	0,177276	0,297715	0,171276	0,232626	0,494447	0,331281
0,691577	0,511277	0,439951	0,188272	0,257734	0,145849	0,198559	0,553687	0,327904
0,734723	0,494789	0,381046	0,206570	0,217747	0,161395	0,187339	0,591446	0,320048
0,780562	0,456133	0,301082	0,214472	0,187258	0,158435	0,196561	0,412086	0,275147
0,829260	0,401644	0,242887	0,213665	0,171771	0,147802	0,206790	0,350417	0,247854
0,880996	0,352677	0,214086	0,203749	0,166706	0,154313	0,197099	0,310440	0,228439
0,935961	0,327669	0,196552	0,181960	0,178011	0,114134	0,145711	0,278548	0,203227
0,994354	0,304625	0,176979	0,157589	0,195940	0,095842	0,130085	0,242918	0,186282
1,056390	0,279854	0,157254	0,135103	0,192483	0,088196	0,092243	0,285391	0,175789
1,122297	0,266896	0,186241	0,125664	0,191860	0,075343	0,077826	0,275446	0,171325
1,192316	0,254319	0,207448	0,110899	0,172295	0,070789	0,064222	0,181702	0,151668
1,266703	0,237859	0,211189	0,092524	0,148916	0,067025	0,045502	0,134440	0,133922
1,345731	0,218472	0,193804	0,086967	0,145064	0,064546	0,045546	0,116310	0,124387
1,429689	0,197899	0,172944	0,079846	0,135554	0,054355	0,043762	0,109571	0,113419
1,518886	0,178335	0,156978	0,070882	0,121304	0,047779	0,037497	0,098188	0,101566
1,613647	0,159342	0,157912	0,061212	0,104799	0,049787	0,041476	0,082635	0,093880
1,714320	0,141812	0,163043	0,052563	0,087798	0,049991	0,038644	0,077415	0,087324
1,821274	0,127445	0,151715	0,043419	0,069523	0,046077	0,032180	0,071473	0,077405

1,934901	0,116599	0,132888	0,033879	0,057484	0,048897	0,030943	0,066346	0,069577
2,055617	0,119110	0,124527	0,027991	0,049613	0,050454	0,037058	0,062275	0,067290
2,183864	0,107961	0,128152	0,022018	0,052822	0,045396	0,031068	0,058716	0,063733
2,320113	0,099549	0,125329	0,018735	0,053007	0,040041	0,030488	0,055673	0,060403
2,464861	0,090664	0,115270	0,016143	0,047108	0,029329	0,030728	0,052906	0,054593
2,618641	0,083457	0,094248	0,012010	0,040642	0,022613	0,030643	0,050166	0,047683
2,782014	0,069718	0,070831	0,011700	0,036068	0,023703	0,030768	0,047352	0,041448
2,955581	0,060953	0,061963	0,011999	0,031986	0,024111	0,030367	0,045660	0,038148
3,139975	0,055384	0,057536	0,011907	0,027408	0,023015	0,029475	0,044205	0,035561
3,335874	0,049496	0,051607	0,010118	0,021604	0,024225	0,030404	0,045140	0,033228
3,543995	0,043817	0,044479	0,009289	0,015707	0,027046	0,031035	0,047856	0,031319
3,765100	0,038364	0,046498	0,008485	0,012823	0,026703	0,029000	0,048456	0,030047
4,000000	0,032983	0,048897	0,007395	0,010460	0,026087	0,027102	0,046768	0,028528

Calcolo dei valori di FA tramite la relazione

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,50	1,20	1,11

I valori di FA sono calcolati come media logaritmica dei valori di FA relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati.

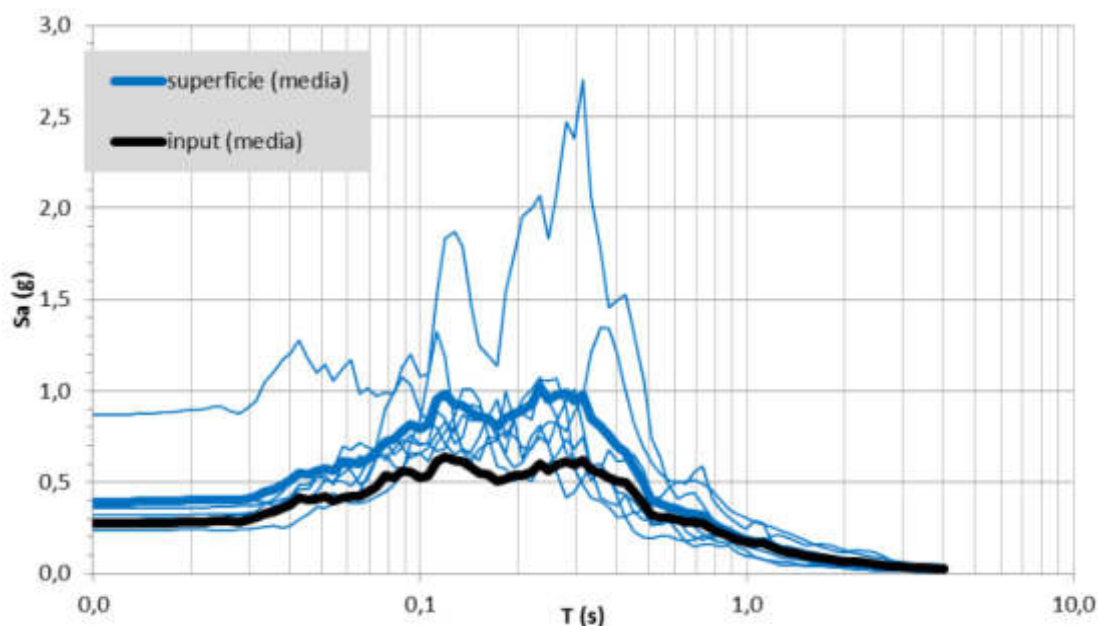


Fig. 24 Calcolo degli FA per ogni intervallo di periodo di interesse e grafici di confronto spettri di output, spettro medio di output, spettro medio di input

5.6. Elaborati Grafici

Come richiesto dagli standard di microzonazione, contestualmente alla relazione illustrativa, sono stati redatti gli “elaborati grafici” articolati nel seguente modo:

- TAV. 1 – Carta delle indagini;
- TAV. 2 – Carta geologico tecnica;
- TAV. 3 – Carta delle microzone in prospettiva sismica;
- TAV.4 - Carta dei microzonazione sismica FA0105s;
- TAV.5 - Carta dei microzonazione sismica FA0408s;
- TAV.6 - Carta dei microzonazione sismica FA0711s;
- TAV.7 - Carta delle frequenze naturali dei terreni (f_0);
- TAV.8 – Sezioni CGT – MS.

5.6.1 Carta delle indagini – TAV.1

In questo elaborato tecnico sono state inserite sia le indagini eseguite che quelle bibliografiche descritte al precedente paragrafo 5.1. Data la “piccola” superficie di studio è stata scelta una scala di rappresentazione di 1:5.000, per avere una migliore lettura e comprensione dell’area di studio.

Di seguito vengono riportate le indagini presenti in questo elaborato:

ID	Tipo indagine	Fonte
DPSH 1	Prova penetrometrica dinamica s.pesante (DPSH)	Geol. Bertani
HVSR	Indagine sismica passiva tecnica HVSR	Geol. Bertani
MASW	Indagine sismica attiva tipo MASW	Geol. Bertani
054018P58	Sondaggio a distruzione di nucleo (SD)	MS3
054018P70	Sondaggio (S)	MS3
054018P113	Sondaggio (S)	MS3
054018P114	Sondaggio (S)	MS3
054018P169	Prova penetrometrica statica (CPT)	MS3
054018P270	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	MS3
054018P271	Sondaggio (S)	MS3
054018P335	Pozzo (PA)	MS3
B-01 DPM	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	Professionista
B-02 DPM	Prova penetrometrica dinamica media (DPM)	Professionista

5.6.2 Carta geologico tecnica (CGT-MS) – TAV.2

In questo elaborato tecnico viene riportato sia il tipo di “copertura e genesi” dell’area di studio sia le tracce di sezione geologica (AA’ e BB’). Tutta la superficie è costituita da Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo di falda detritica, graficamente è colorata di verde e presenta la sigla “GMfd”. Data la modesta superficie di studio è stata scelta una scala di rappresentazione di 1:2.000 e come da standard viene riportata solo l’area di studio all’interno del perimetro di approfondimento.

5.6.3 Carta delle MOPS – TAV. 3

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) è costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni riportati nella CGT_MS. L’area di studio ricade in una zona stabile suscettibile di amplificazione locale identificata sulla tavola dal numero di 2045 e di colore verde scuro. Viene riportato inoltre l’ubicazione del punto di misura di rumore ambientale. Data la modesta superficie di studio è stata scelta una scala di rappresentazione di 1:2.000 e come da standard viene riportata solo l’area di studio all’interno del perimetro di approfondimento.

5.6.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – TAV. 4-5-6

In questi elaborati tecnici vengono riportate le zone stabili suscettibili ad amplificazione sismica rappresentative dei parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti ai periodi di:

FA 0.1-0.5s pari a 1,50, FA 0.4-0.8s pari a 1,20, FA 0.7-1.1s pari a 1,11.

Data la modesta superficie di studio è stata scelta una scala di rappresentazione di 1:2.000 e come da standard viene riportata solo l’area di studio all’interno del perimetro di approfondimento.

5.6.5 Carta delle frequenze naturali dei terreni (F0) – TAV. 7

In questo elaborato viene rappresentato la frequenza naturale del terreno oggetto di studio (0.9 Hz) oltre all’ampiezza di picco della tecnica HVSR (3.4).

Data la modesta superficie di studio è stata scelta una scala di rappresentazione di 1:2.000 e come da standard viene riportata solo l’area di studio all’interno del perimetro di approfondimento.

5.6.6 Sezioni CGT-MS – TAV. 8

In questo ultimo elaborato vengono riportate sia le sezioni presenti in TAV.2 sia il log della Zona 45 (2045) riportata nella cartografia delle MOPS TAV.3. La sezione AA’ è stata tracciata con andamento NW-SE interessando lo stesso tipo di terreno di copertura superficiale (GMfd). La sezione BB’ è stata tracciata con andamento SW-NE, perpendicolare alla AA’, presenta due tipi di coperture differenti a contatto fra loro: la GMfd e la SM (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo): nel caso specifico la falda detritica GMfd sovrapposta al deposito alluvionale presente (SM). Tale geometria è riscontrabile sia della carta geologica regionale che nella CGT-MS redatta dalla Regione Umbria.

6. CONCLUSIONI

Mediante le indagini svolte sono state verificate le proprietà geologico-geomorfologiche locali, nonché gli aspetti idrogeologici, idraulici e sismici propri dei terreni presenti nell'area di studio.

In sintesi risulta che:

- L'area indagata si colloca ad una quota di circa 230 m s.l.m., in una zona pianeggiante contraddistinta da una leggera pendenza occidentale e risulta in condizioni di stabilità geomorfologica;
- La zona non è soggetta a pericolosità e rischio idraulico;
- La falda acquifera risulta essere posta a profondità maggiori di 15m di profondità;
- I depositi presenti dell'area in studio sono costituiti da orizzonti costituiti da limi ghiaiosi fino a 2,8 metri di profondità da p.c. sovrastanti ghiaie sabbiose;
- Sulla base del modello stratigrafico ed idrogeologico dei terreni indagati, non sussistono condizioni di pericolosità nei confronti della liquefazione dei terreni a seguito delle sollecitazioni sismiche;
- L'analisi sismica effettuata con metodo M.A.S.W. sulla base dell'utilizzo di un approccio di tipo semplificato di normativa sismica, consente di assimilare i terreni presenti alla categoria stratigrafica B;
- Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, considerando che l'area in esame presenta una morfologia sub-pianeggiante, tale rientra nella categoria topografica T1;
- I terreni risultano non essere sottoposti a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/1923, si esclude che gli interventi in progetto possano apportare variazioni degne di nota all'ordinato e stabile assetto idrogeologico.

Dallo studio di microzonazione di III livello risulta che:

- I terreni di copertura dell'area oggetto di studio risultano essere costituiti da "Ghiaie limose, miscele di ghiaia, sabbia e limo" - GW
- L'areale ricade nella "zona stabile suscettibile ad amplificazione sismica" – Zona 2045;
- Substrato sismico risulta posto ad una profondità maggiore di 30m dal P.C.;
- FA 0.1-0.5s pari a 1.50, FA 0.4-0.8s pari a 1,20, FA 0.7-1.1s pari a 1,11;
- F0 pari a 0.9 Hz ed A pari a 3.4;

Si assicura la completa disponibilità per ogni eventuale chiarimento.

Bettona, Marzo 2024

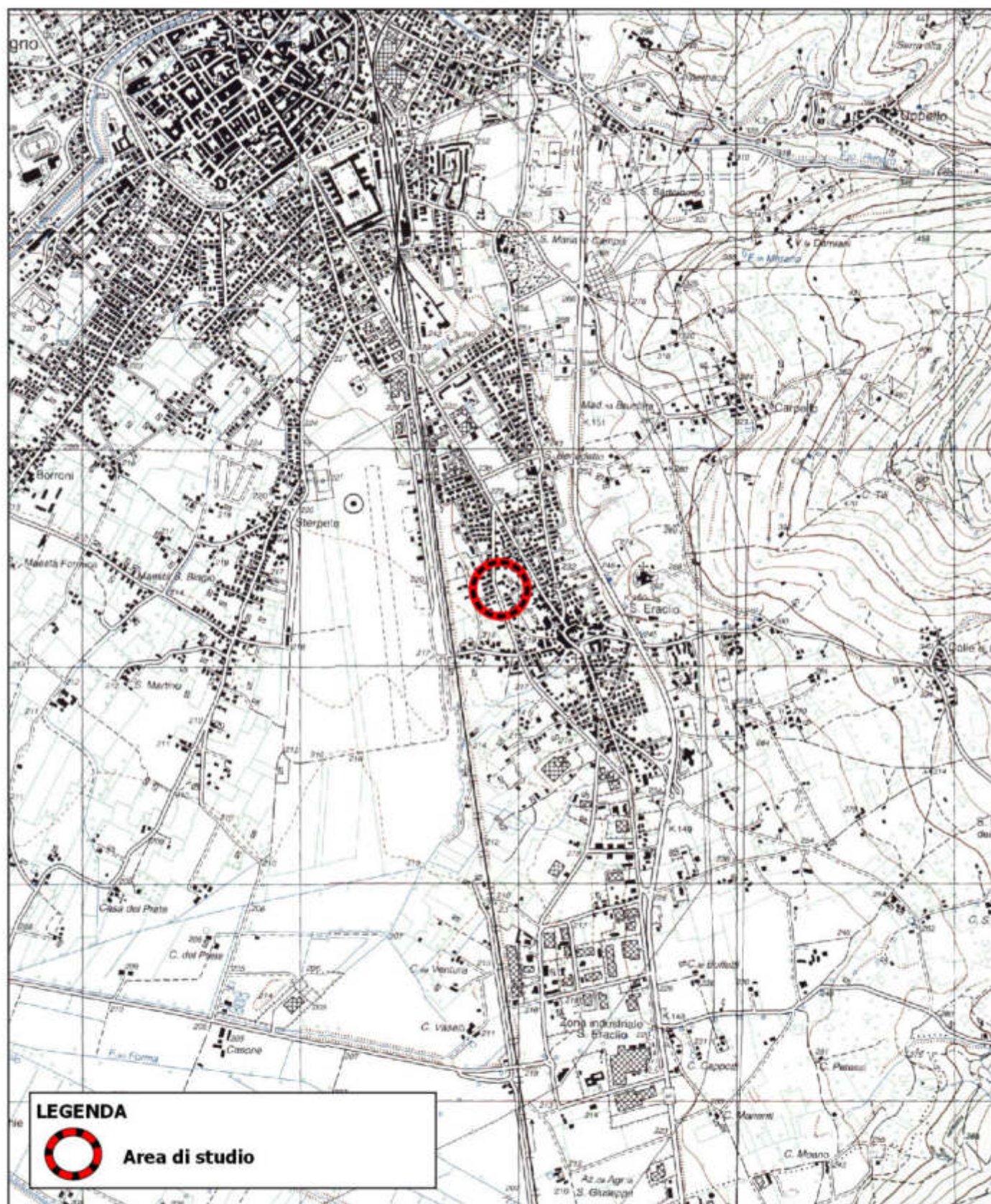
Dott. Geol. Alessandro Bertani



Dott. Geol. Alessandro Bertani

via dei monasteri 38 – 06084 – Bettona (PG) - email: alex.bertani85@gmail.com – pec: alex.bertani@pec.it

ALLEGATO 1



**ESTRATTO CARTOGRAFIA I.G.M. SERIE 25/V
FOGLIO N.131 I NO "FOLIGNO"**

SCALA 1:25.000

ALLEGATO 2



**STRALCIO DELLA CARTA TECNICA REGIONALE
FOGLIO 324050 "SANT' ERACLIO"
SCALA 1:10.000**

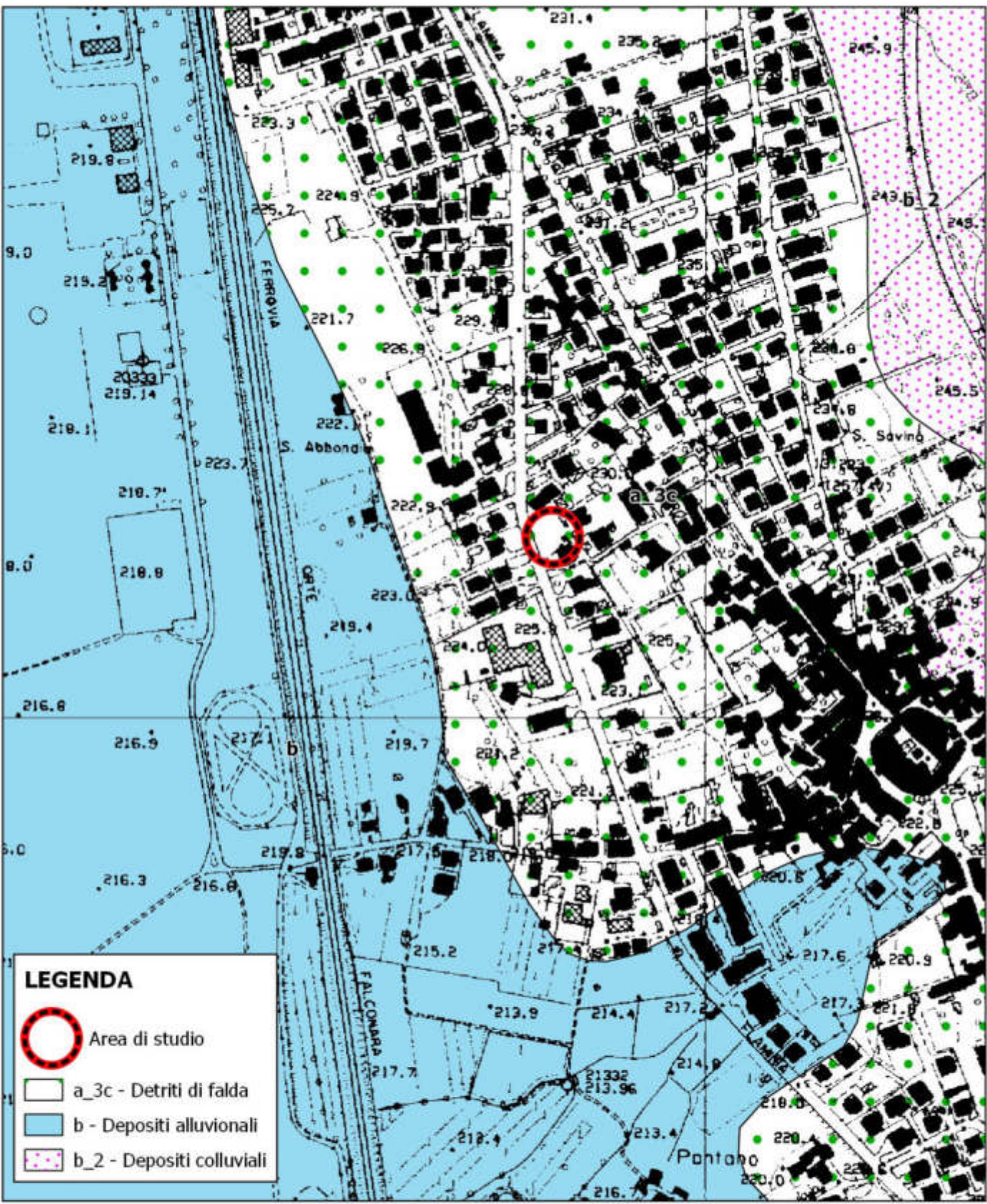
ALLEGATO 3



**STRALCIO DEL FOGLIO N.214 P.LLE N.222,2909 E 2910 DEL NCEU
COMUNE DI FOLIGNO**

SCALA 1:1.000

ALLEGATO 4

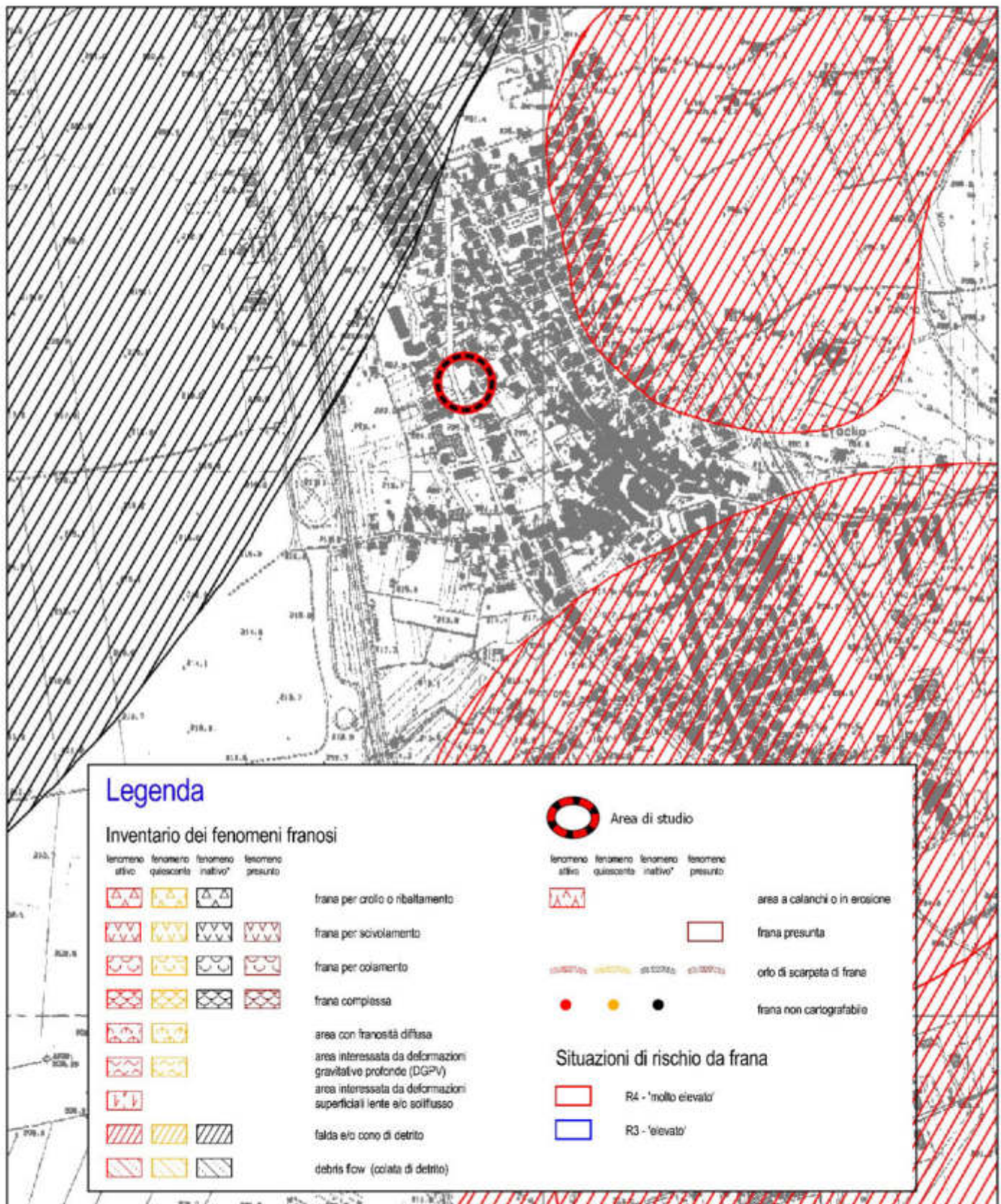


**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA
REGIONE UMBRIA SEZIONE N.324050**

SCALA 1:5.000

SCALA 1:5.000

ALLEGATO 5.1



**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA P.A.I.
INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI E SITUAZIONI DI RISCHIO DA
FRANA TAV. 218**

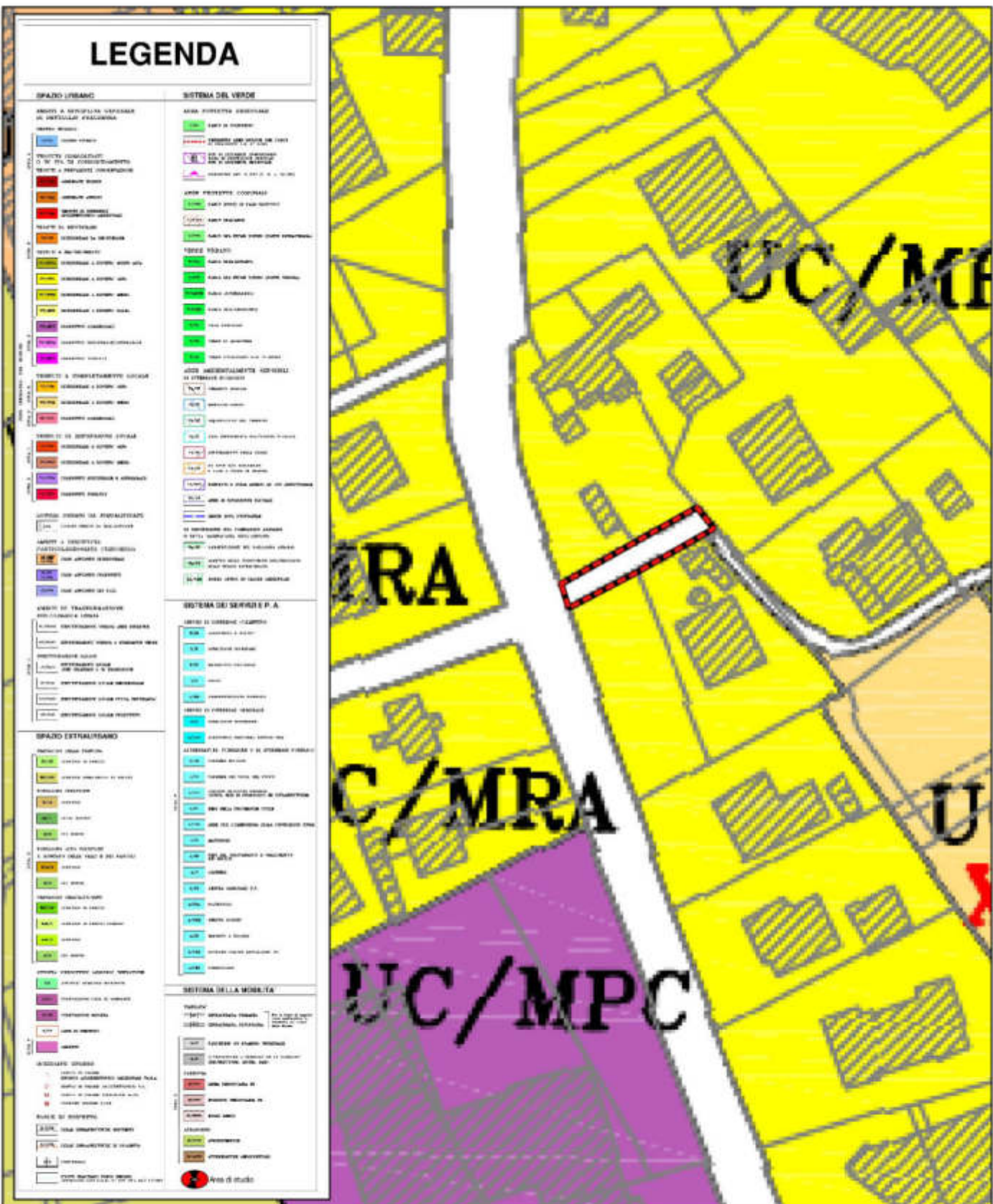
SCALA 1:10.000



**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA I.F.F.I.
INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI IN ITALIA**

SCALA 1:10.000

ALLEGATO 5.3



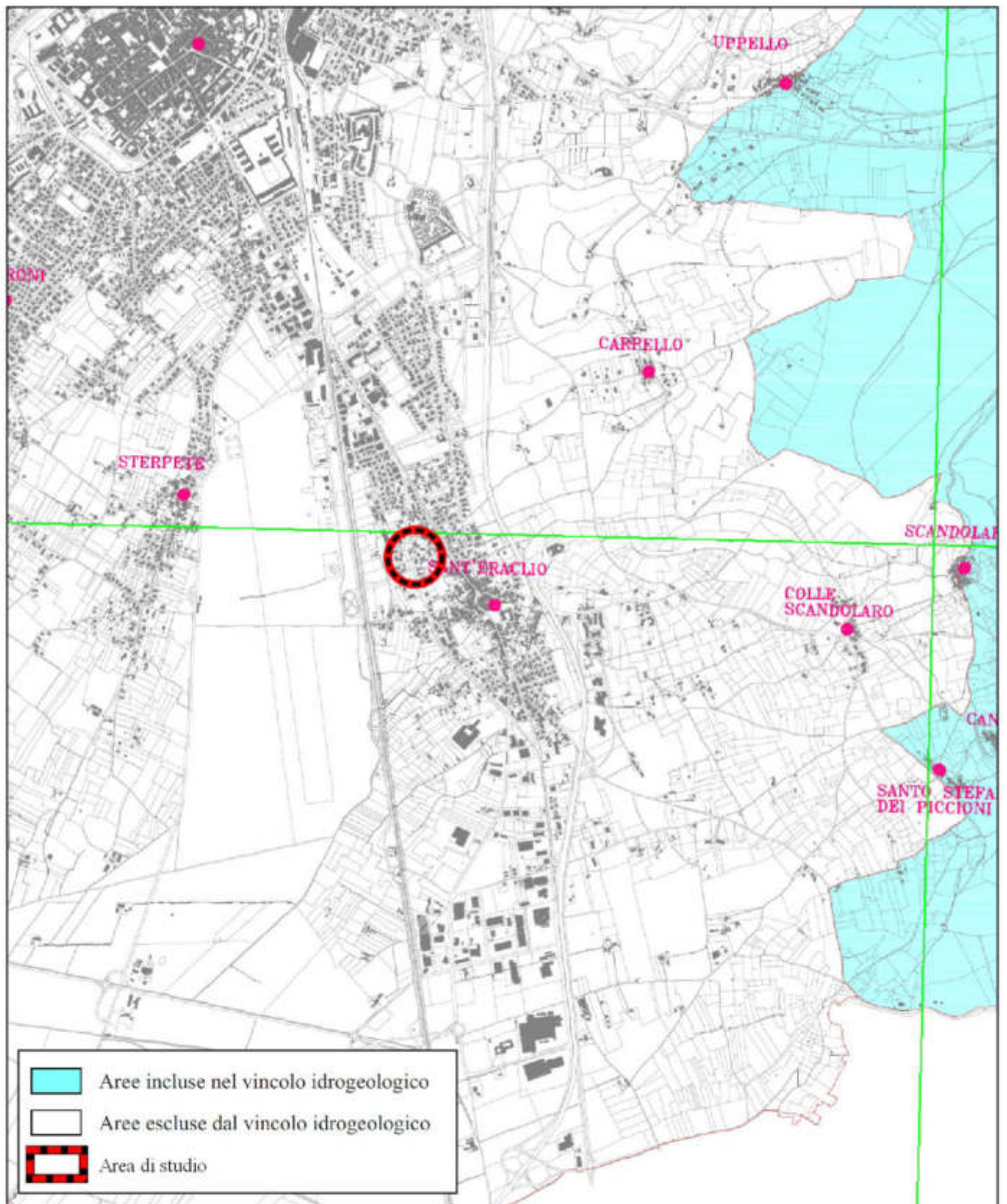
**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DEL P.R.G. - PARTE STRUTTURALE
COMUNE DI FOLIGNO - TAVOLA P3 TAVOLA 02**

SCALA 1:1.000

**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DEL P.R.G. - PARTE STRUTTURALE
COMUNE DI FOLIGNO - TAVOLA P3 TAVOLA 02**

SCALA 1:1.000

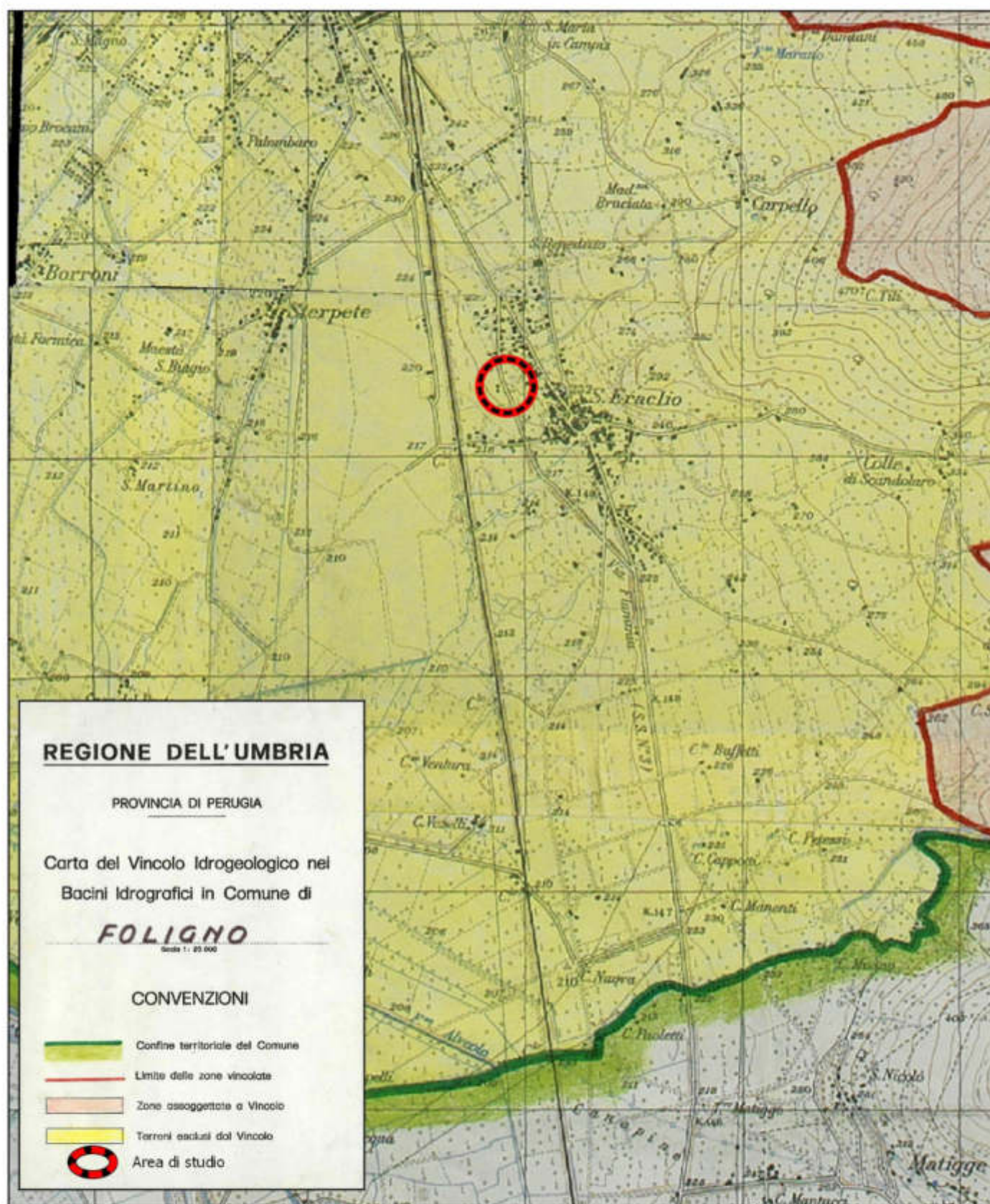
ALLEGATO 5.4



**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DEL P.R.G. - PARTE STRUTTURALE
COMUNE DI FOLIGNO - CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO**

SCALA 1:25.000

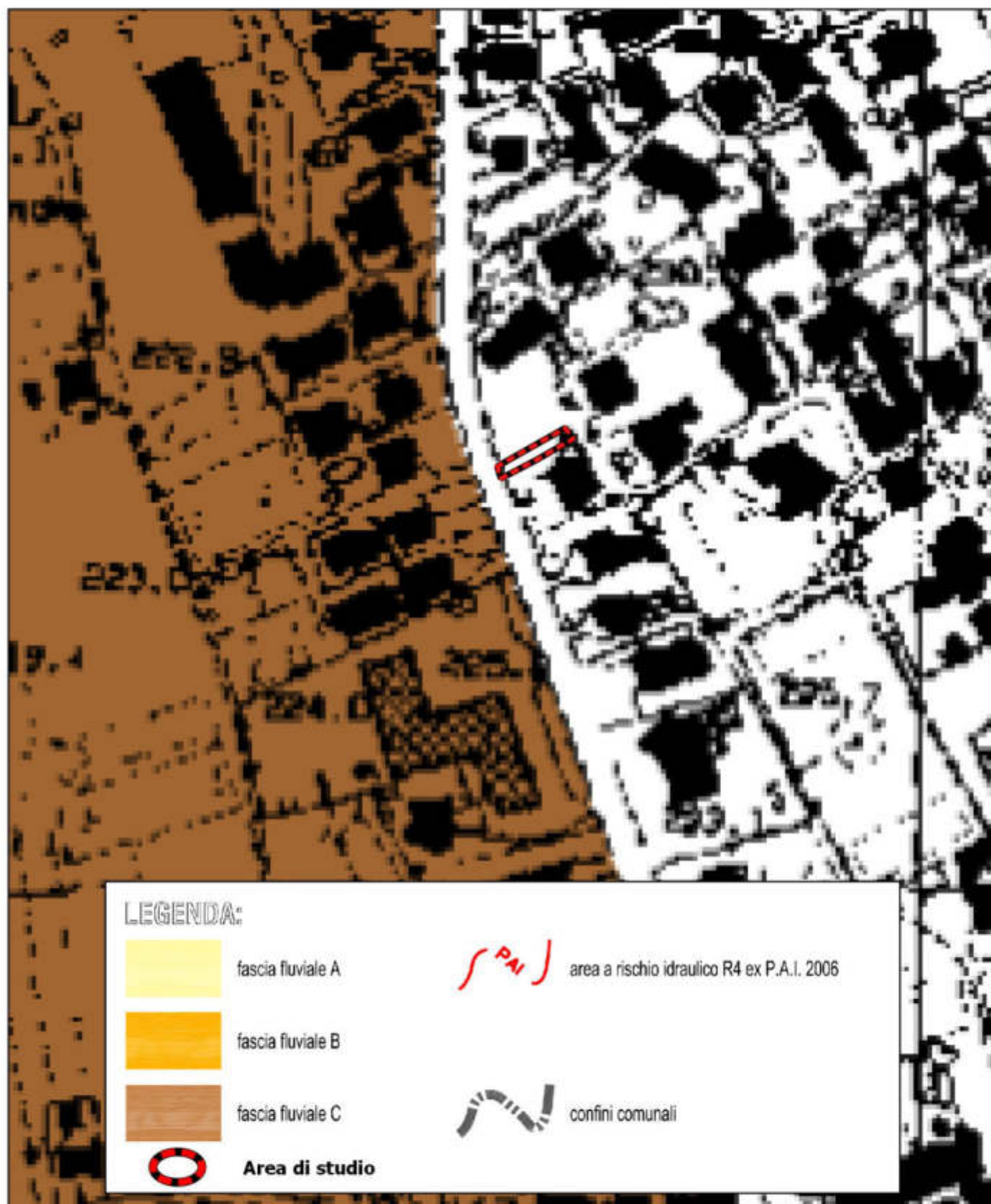
ALLEGATO 5.5



**CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO
COMUNE DI FOLIGNO - R.D. 3267/1923**

SCALA 1:25.000

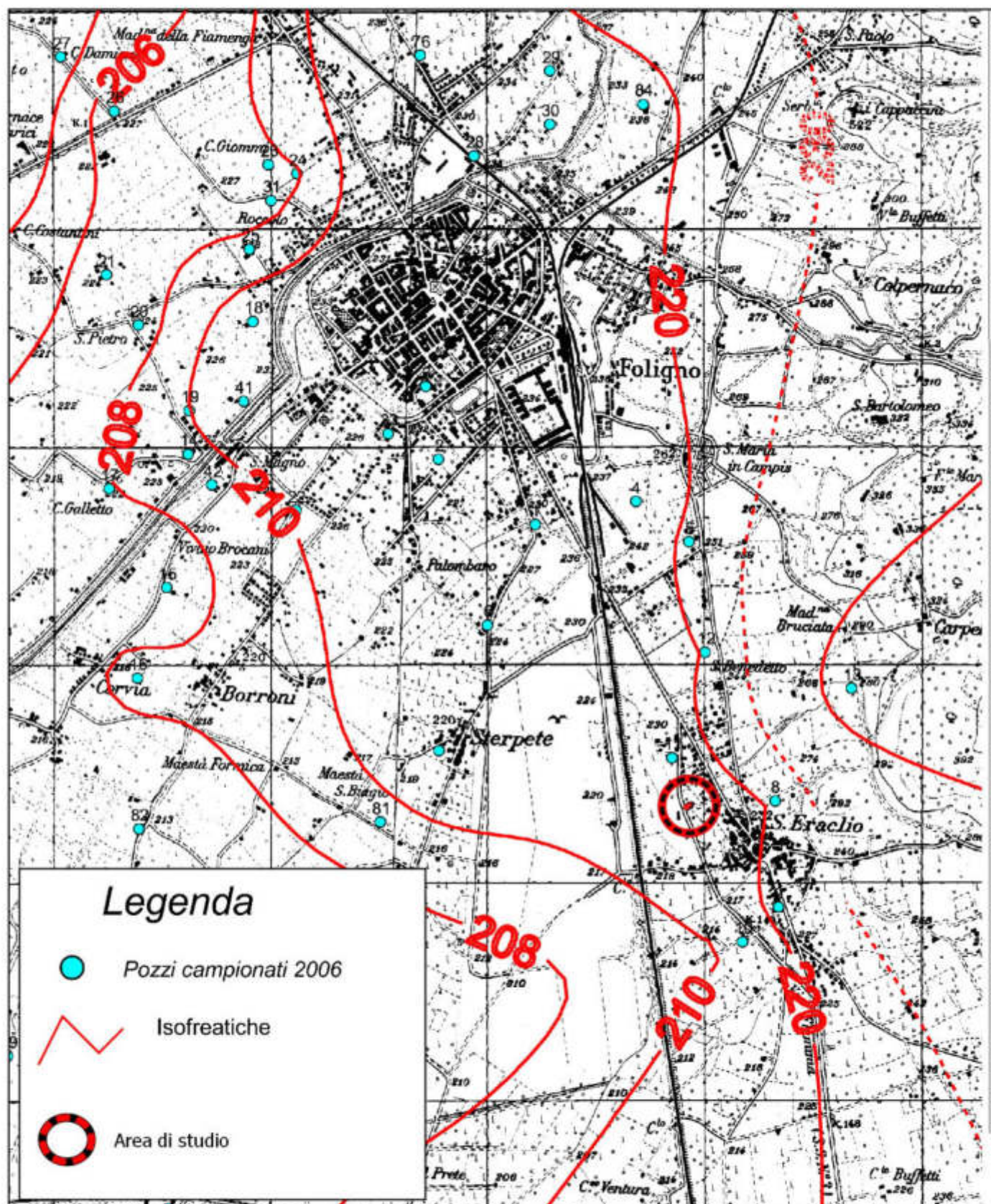
ALLEGATO 5.6



**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA PAI - PIANO STRALCIO DI ASSETTO
IDROGEOLOGICO - FASCE IDRAULICHE SUL RETICOLO SECONDARIO E
MINORE - TAV. PB13 TOPINO**

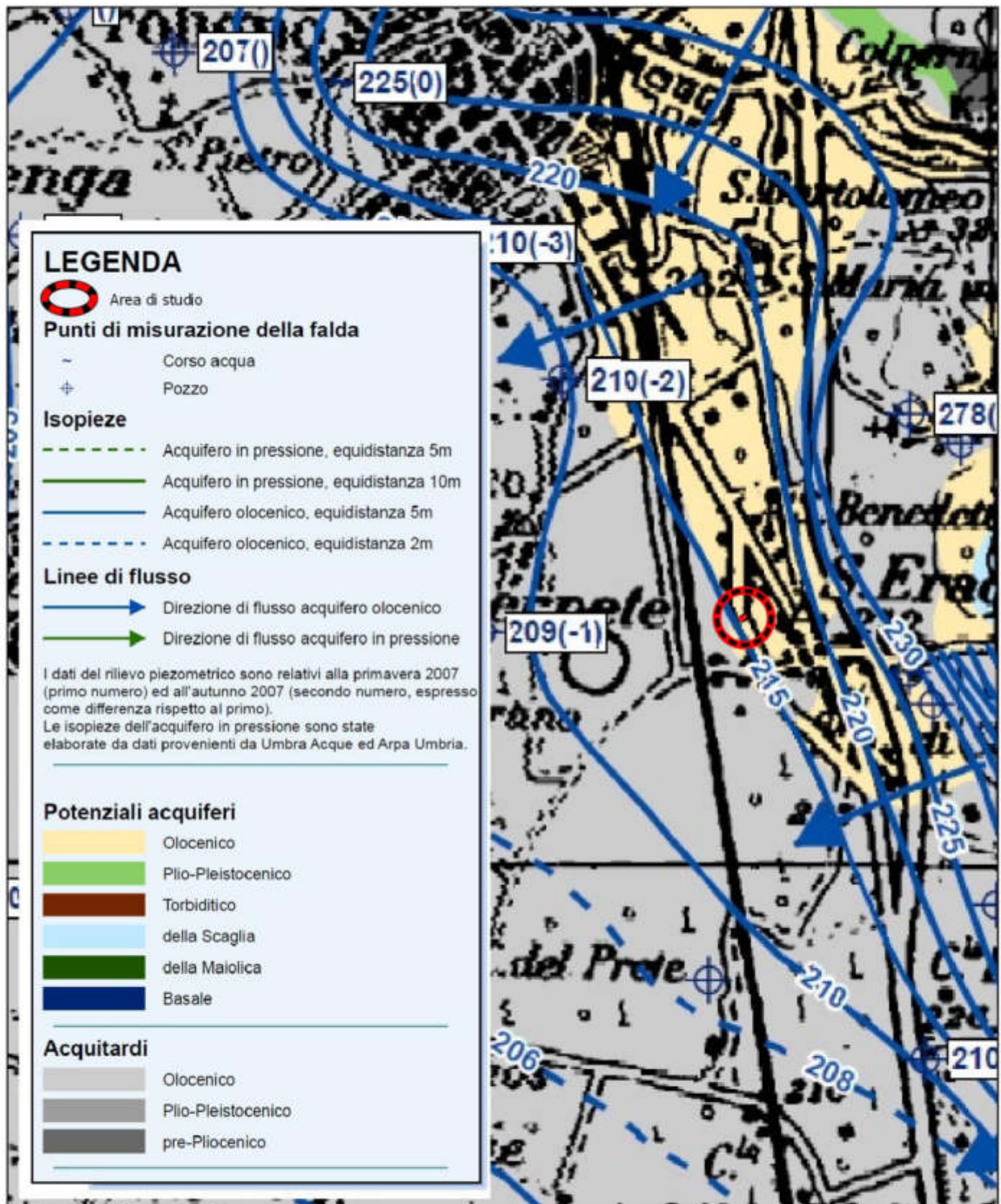
SCALA 1:2.000

ALLEGATO 5.7



**STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DELLE ISOFREATICHE
TRATTO DA TAV.3 "CARTA CAMPIONAMENTO POZZI 2006"**

SCALA 1:25.000



**STRALCIO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA DELLA VALLE UMBRA
SERVIZIO GEOLOGICO E SISMICO - REGIONE UMBRIA**

SCALA 1:25.000

ALLEGATO 6.1



**UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE
REPORT INDAGINI**

SCALA 1:1.000

REPORT INDAGINI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Foligno Cantiere: Variante PRG'97 Località: via Santocchia 55/57	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

Il responsabile del sito

Il direttore

PROVA ... DPSH 1

Strumento utilizzato...

DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

18/02/2024

Profondità prova

3.00 mt

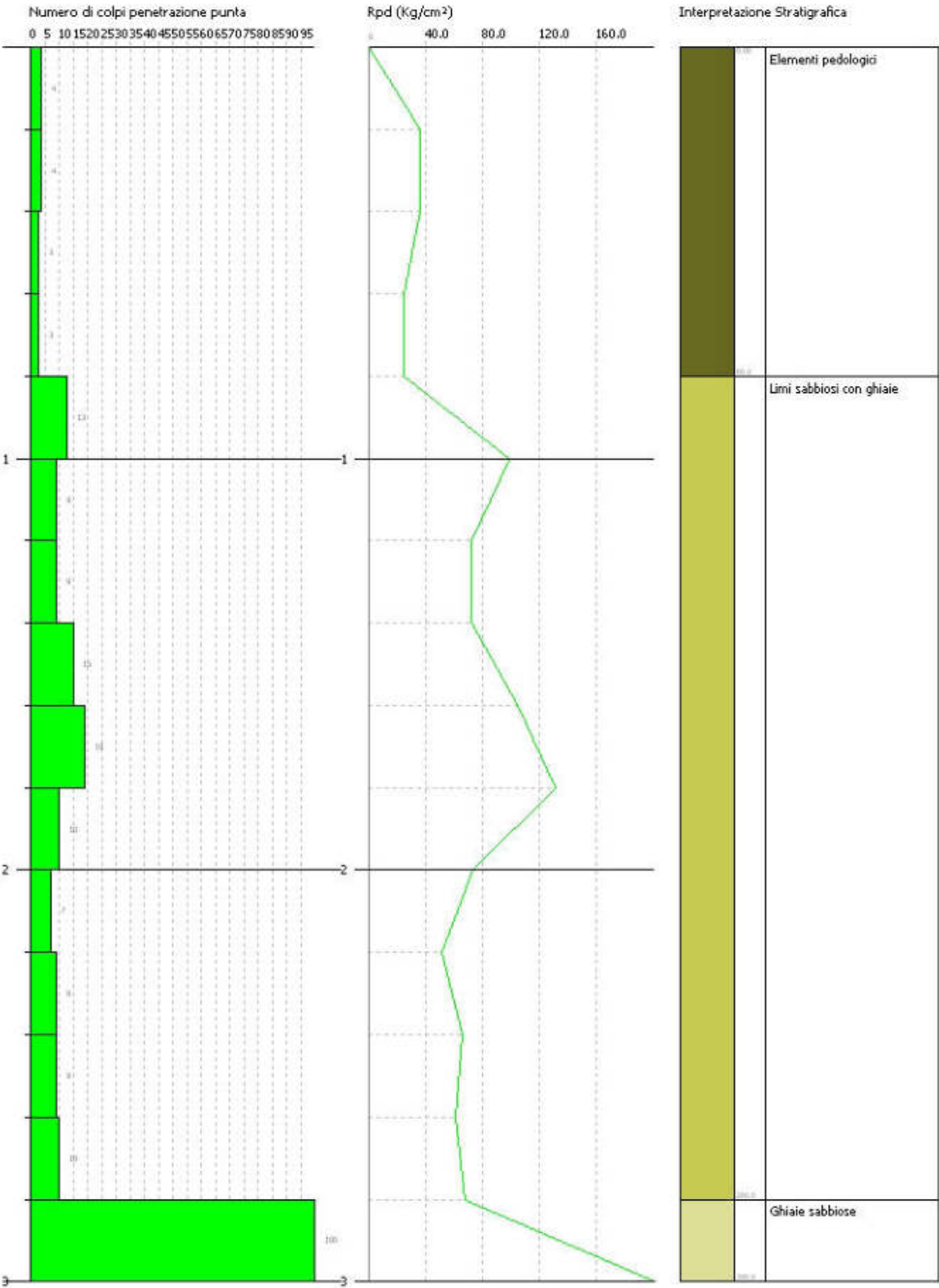
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	4	0.851	35.76	42.03	1.79	2.10
0.60	3	0.847	24.50	28.93	1.23	1.45
0.80	3	0.843	24.40	28.93	1.22	1.45
1.00	13	0.790	99.01	125.36	4.95	6.27
1.20	9	0.836	72.58	86.79	3.63	4.34
1.40	9	0.833	72.29	86.79	3.61	4.34
1.60	15	0.780	104.20	133.66	5.21	6.68
1.80	19	0.776	131.44	169.31	6.57	8.47
2.00	10	0.823	73.35	89.11	3.67	4.46
2.20	7	0.820	51.16	62.38	2.56	3.12
2.40	9	0.817	65.53	80.20	3.28	4.01
2.60	9	0.814	60.69	74.54	3.03	3.73
2.80	10	0.811	67.20	82.82	3.36	4.14
3.00	100	0.609	504.08	828.17	25.20	41.41

Committente:
Cantiere:
Località:

Data: 18/02/2024



INDAGINI BIBLIOGRAFICHE

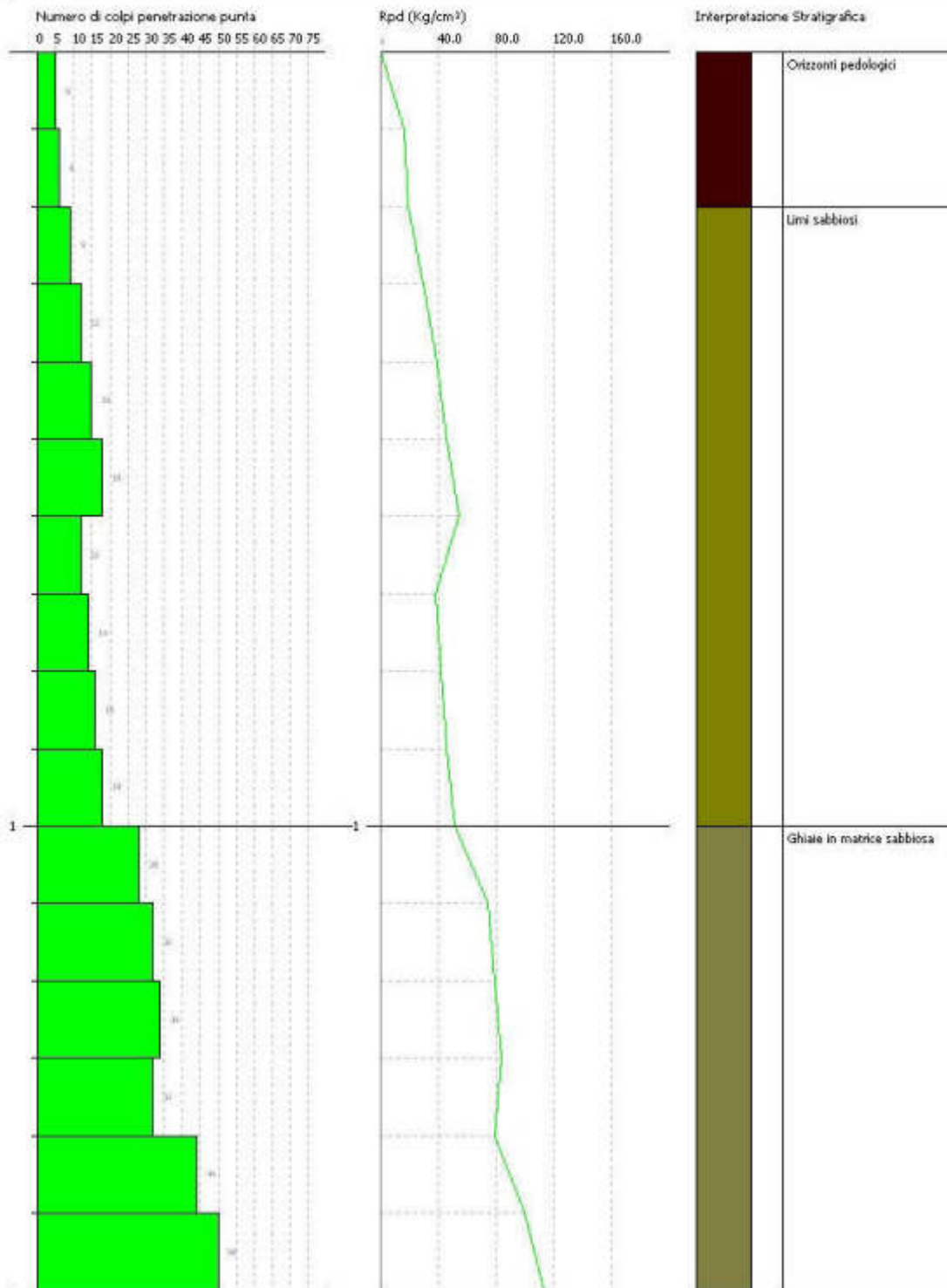
ALLEGATO 6.2.3

B-01 DPM

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:
Cantiere:
Località:

Data: 14/09/2022



IL RESPONSABILE DEL SITO

IL DIRETTORE

ALLEGATO 6.2.3

B-02 DPM

Committente:	Sondaggio: DPM N°1
Riferimento:	Data: 15.11.2022
Coordinate:	Quota: 251 m s.l.m.
Perforazione: Prova penetrometrica effettuata con un penetrometro dinamico medio PAGANI TG 30-20	

SCALA 1:40

STRATIGRAFIA - P. PENETROMETRICA - DPM N°1

Pagina 1/1

metri test	LITOLOGIA	prof. m	Riv. m	DESCRIZIONE	Campioni	VT	Standard Penetration Test			
							m	S.P.T.	N	m/s
1		1.0	1.0	Suolo. ($\sigma' = 20+25$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,6-1,8 t/m ² o gr/cm ³)						
		1.7	0.7	Limo-sabbioso. ($\sigma' = 31,3$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,9 t/m ² o gr/cm ³ - E = 127,4 Kg/cm ²)						
2		2.7	1.0	Ghiaia eterometrica con matrice limo-sabbiosa. ($\sigma' = 37$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,85 t/m ² o gr/cm ³ - E = 774,0 Kg/cm ²)						
		3.8	1.1	Limo-sabbioso. ($\sigma' = 31,3$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,9 t/m ² o gr/cm ³ - E = 127,4 Kg/cm ²)						
3		4.3	0.5	Limo-sabbioso misto a ghiaia e/o ghiaia con abbondante matrice limo-sabbiosa. ($\sigma' = 35$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,85-1,9 t/m ² o gr/cm ³ - E = 281,0 Kg/cm ²)						
		5.5	1.2	Limo-sabbioso. ($\sigma' = 31,2$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,9 t/m ² o gr/cm ³ - E = 124,4 Kg/cm ²)						
4		6.1	0.6	Ghiaia eterometrica con matrice limo-sabbiosa. ($\sigma' = 37,6$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,85 t/m ² o gr/cm ³ - E = 1015,8 Kg/cm ²)						
		6.4	0.3	Ghiaia eterometrica con matrice limo-sabbiosa. ($\sigma' > 37,6$ - $c' = 0$ Kg/cm ² - p.v. = 1,85 t/m ² o gr/cm ³ - E > 1015,8 Kg/cm ²)						

COMUNICAZIONE N°1.

- a) data inizio trivellazione: 27/09/'90;
 b) località: Foligno, strada della pian vecchia;
 c) ubicazione: distanza minima dai confini con altra proprietà: 6,00 ml.;
 d) uso: irriguo.

054018P58

COMUNICAZIONE N°2.

- A) Caratteristiche lito-morfologico-stratigrafiche: i materiali presenti sono:
- 1) dall'attuale piano di campagna e fino alla profondità di 0,70 ml., abbiamo un suolo agricolo;
 - 2) da detta profondità e fino a quella di 12,00 ml., incontriamo una ghiaia, a matrice sabbiosa, ad elementi a \varnothing 0,5-2,00 cm.;
 - 3) dai 12,00 ai 16,80 ml. di profondità, è presente un limo argilloso, compatto, contenente sostanze organiche;
 - 4) da detta profondità e fino a quella di 23,20 ml., si ha una ghiaia, ad elevatissima matrice sabbioso-argillosa, con elementi poligenici a \varnothing 0,5-3,00 cm.;
 - 5) dai 23,20 ai 30,00 ml. di profondità, abbiamo un limo argilloso-sabbioso, compatto, con tracce di sostanze organiche;
 - 6) alla profondità di 17,00 ml., dall'attuale piano di campagna, è presente un livello acquifero.
- B) Diametro perforazione: \varnothing 300 mm.;
- C) Profondità pozzo: 30,00 ml.;
- D) Portata: 0,90 litri/sec.;
- E) Diametro del pozzo: \varnothing 250 mm. (in tubi P.V.C., uso alimentare, dallo spessore di 7,70 mm.);
- F) Profondità e diametro colonna di emungimento: 27,00 ml.; I e I/4 pollice.
- G) Cementazione intercapedine: primi 10,00 ml.;
- H) Protezione della falda: filtro in breccino, da quota -10,0 a -30,0 ml.;
- I) i sopra dette tubi, in P.V.C., sono stati opportunamente sforazzati alla altezza della falda freatica; da quota -17,50 a quella di -22,50 ml.

DR. ETTORE MENGONI
 ORDINE NAZIONALE DEI GEOLOGI
 N. 1806

Ettore Mengoni

Foligno li 15/10/'90

ALLEGATO 6.2.3

Laboratorio Terre
Tel/Fax 0742 381170

SONDAGGIO 054018P113

Committente Milucci - Picci				Profondità raggiunta 13,0 m dal p.c.				
Indagine Contributo ristrutturazione post terremoto				Data 17/11/06				
Sondaggio S 1								
Litologia (t)	Descrizione	Spessore	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cm ²	Campione S1C1	Valda	Piezometro (P)	
	Terreno vegetale	0,70	21 - 34 - 32 -1,40 PA					
	Riponto granulare	0,50						
	Ghiaietto a frastone fine di colore chiaro	0,40						
	Argille di colore chiaro con venature giallastre ed inclusi lapidei	3,90			-2,00 5 -2,40			
	Ghiaietto e sabbia in matrice argillo limosa di colore avana	0,80						
	Argille limose di colore grigio chiaro, poco consistenti, con rari inclusi lapidei e "fiammate" sabbiose rossastre	2,70			> 6 Kg/cm ² 3,7 Kg/cm ²			
	Ghiaia e ghiaietto in matrice limosa di colore grigio	0,50			0,8 - 1,0 Kg/cm ²			
	Argille di colore grigio aruno, poco consistenti, con aumento di inclusi lapidei intorno a 10 m dal p.c.	1,00			1,0 - 1,1 Kg/cm ²			
	Ghiaietto in matrice limo argillosa di colore avana	1,00			0,8 - 1,0 Kg/cm ²			
	Ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa di colore avana/ocra	1,00						
	Limi debolmente sabbiosi di colore nocciola	0,50						

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Note SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa





ALLEGATO 6.2.3

GEO.ECO.TEST s.r.l.

Laboratorio Terre

Tel/Fax 0742 381170

SONDAGGIO 054018P114

Committente Milucci - Pioli				Profondità raggiunta 7,5 m dal p.c.				
Indagine Contributo ristrutturazione post terremoto				Data 17/11/06				
Sondaggio S2								
Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campione S2C1	Falda	Piezometro (P)
0,00		Terreno vegetale	0,60					
0,60		Ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa di colore avana	1,20					
1,80		Argille limose di colore avana con rari inclusi lapidei e trovanti centimetrici	1,20		> 6 Kg/cmq 3,2 Kg/cmq 4,0 Kg/cmq			
3,00		Argille debolmente limose di colore nocciola, con inclusi lapidei e livelli centimetrici di ghiaietto fine	5,00		3,0 - 3,5 Kg/cmq 5,0 Kg/cmq 3,0 Kg/cmq 0,7 - 0,9 Kg/cmq	-4,60 <div>5</div> -5,00		
8,00								

Leggenda: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT

Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande

Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Note SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

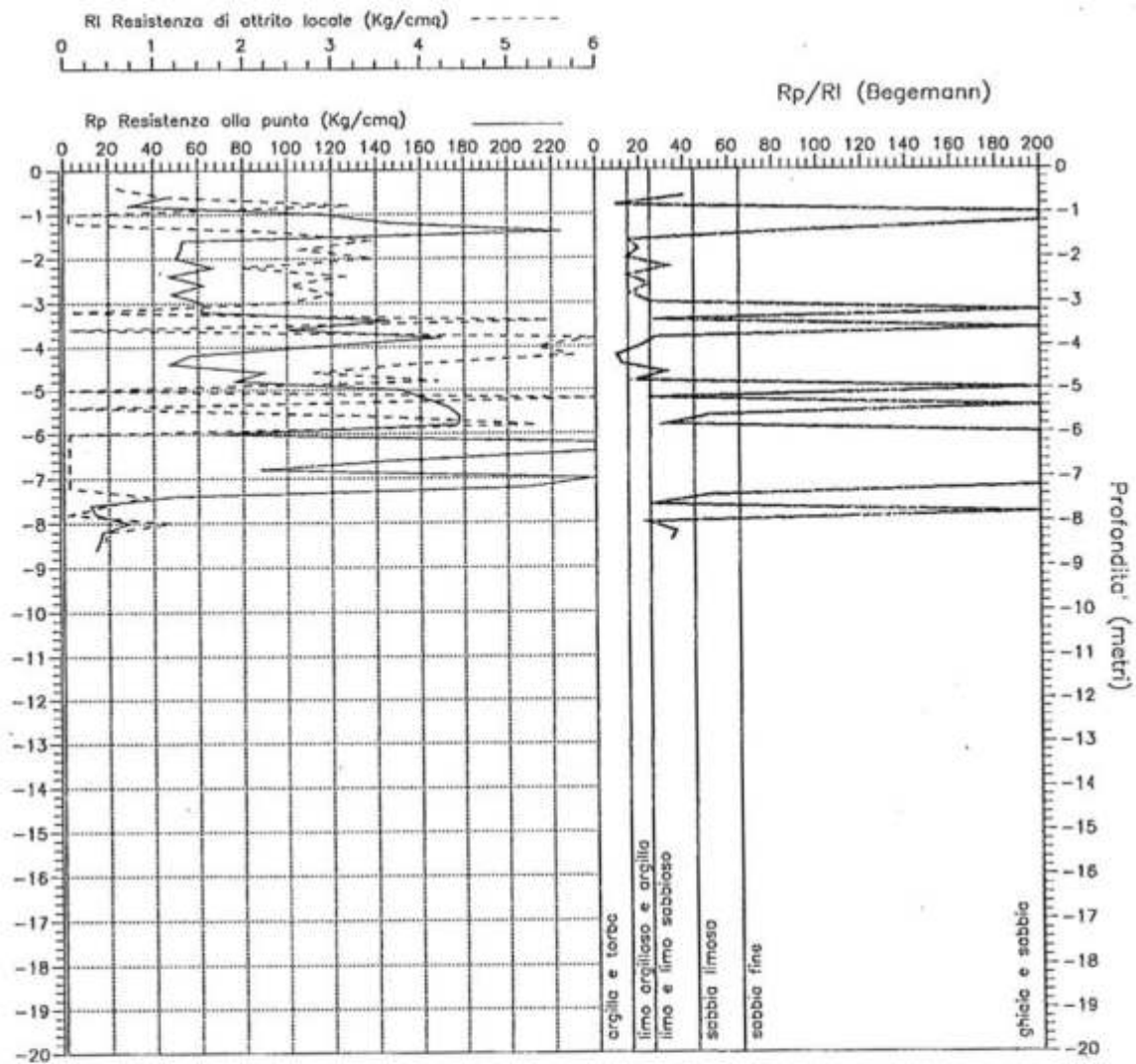
054018P169

PROVA PENETROMETRICA STATICA STANDARD

CPT N.31 (44)

Committente: COMUNE DI FOLIGNO ;
Località: pianura folignate

Anello allargatore: ----
Profondità della falda dal p.c.: - 5.6 m.



Soc. Coop. a.r.l.

Ricerche geologiche - indagini geognostiche

Via della scuola 93b - 06047 Ponte San Giovanni - PG
Tel. 075/397839 - Tel. e Fax. 075/5937500

ALLEGATO 6.2.3

054018P270

Allegato 4f

Sondaggio penetrometrico dinamico

OGGETTO: Sondaggi Penetrometrici dinamici DL30

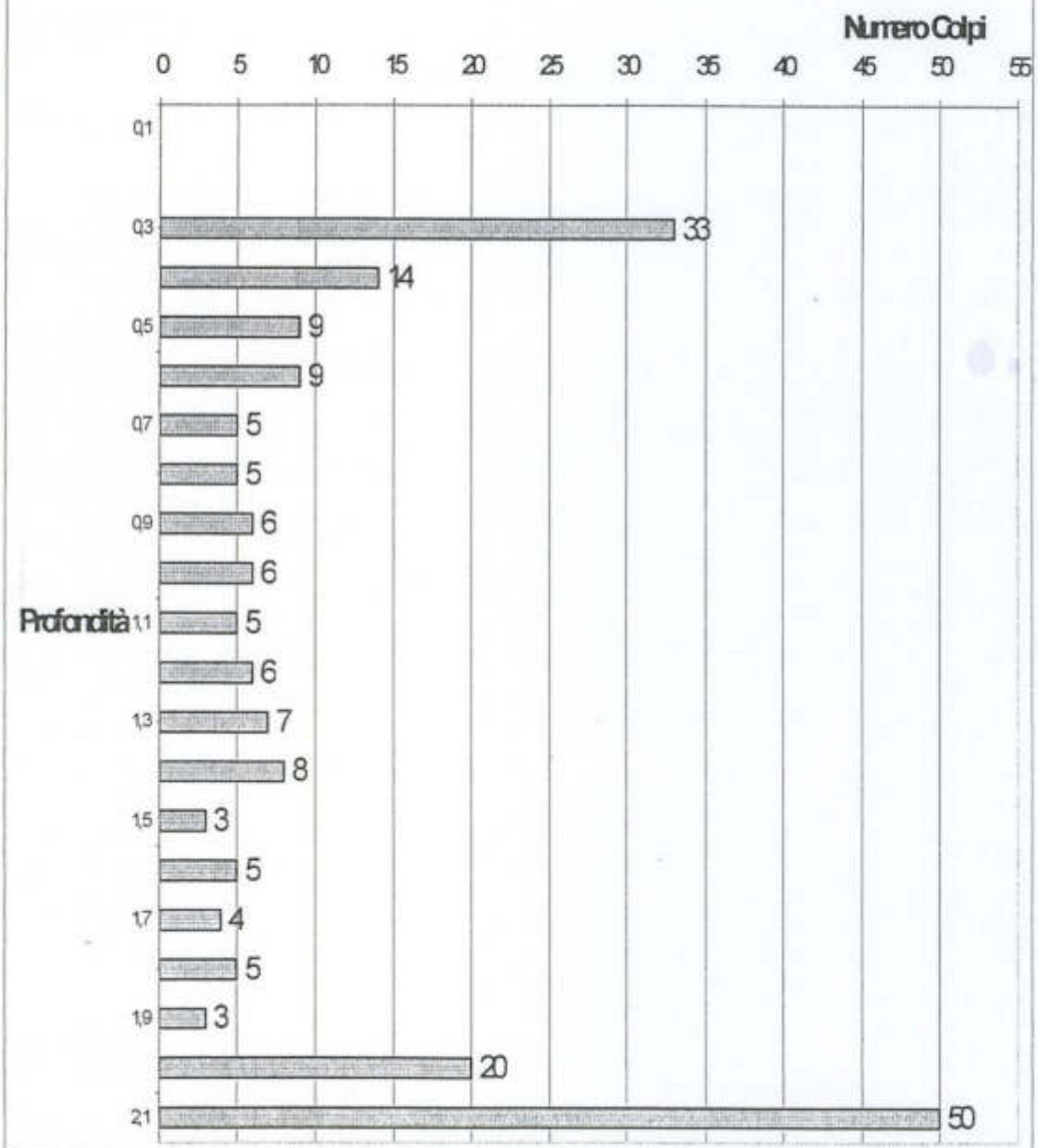
LOCALITA': S. Eracleo

DATA: 10/09/2000

N SONDAGGIO: P6

:

Elaborazione Penetrometrica P6



am

ALLEGATO 6.2.3

054018P271

Allegato 6a Stratigrafia sondaggio verticale Sv1

Committente: Consorzi "IL Castello 1 e 2"

Località: Castello di S.Eraclio Foligno (PG) 27/03/2000

	Prof	Litol.	DESCRIZIONE	S.P.T n° colpi		Pocket Kg	Camp ione	Liv. Fald
p.c.			Terreno di riporto, costituente l'antico fossato di recinzione del castello, costituito da clasti eterogeni					3.5 m dal p.c.
1 m								
2 m	2.0m		Limi argillosi molli (di colore grigio)	3	1	φ6.4=1.0 Kg φ10= 2.0 Kg		
3 m	3.0m		Limo sabbioso con elementi calcarei dispersi (colore marrone)	2	1			
	3.5m		Limi argillosi molli		2			
4 m	4.0m		Limi argillosi consistenti grigi			φ6.4=4.0 Kg		
	4.5m		Ghiaia fina in matrice limo argillosa (di colore grigio)					
5m	5.5m		Limi argillosi grigio azzurri compatti			φ6.4=6.0 Kg		
6m	5.8m		Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa, talvolta limo sabbiosa (tra 6.0 e 6.8 prevalenza di matrice) colore grigio.					
7m								
8m								
9m	9.0m		Sabbia grossolana e ghiaie fini in abbondante matrice limo argillosa					
10m	9.8m		Argille consistenti di colore azzurro			φ6.4=4.3 Kg		
11m								

ALLEGATO 6.2.3



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



054018P335

Contatti | Mappa | Ricerca



Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

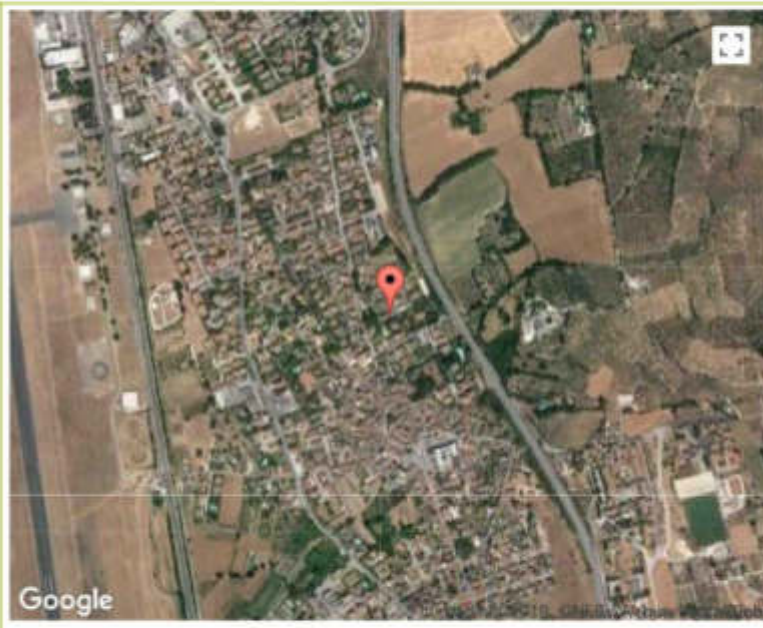
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 166325
Regione: UMBRIA
Provincia: PERUGIA
Comune: FOLIGNO
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: DOMESTICO
Profondità (m): 35.00
Quota pc slm (m): 240
Anno realizzazione: 1997
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 3.5
Portata esercizio (l/s): 1
Numero falde: 1
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): SI
Numero strati: 5
Longitudine ED50 (dd): 12.723333
Latitudine ED50 (dd): 42.936947
Longitudine WGS84 (dd): 12.722410
Latitudine WGS84 (dd): 42.935964

(*)Indica la presenza di un professionista
nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	35	35	400

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	17	26	9

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	17	26	9	250

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
GEN / 1997	17	17.5	0.5	1

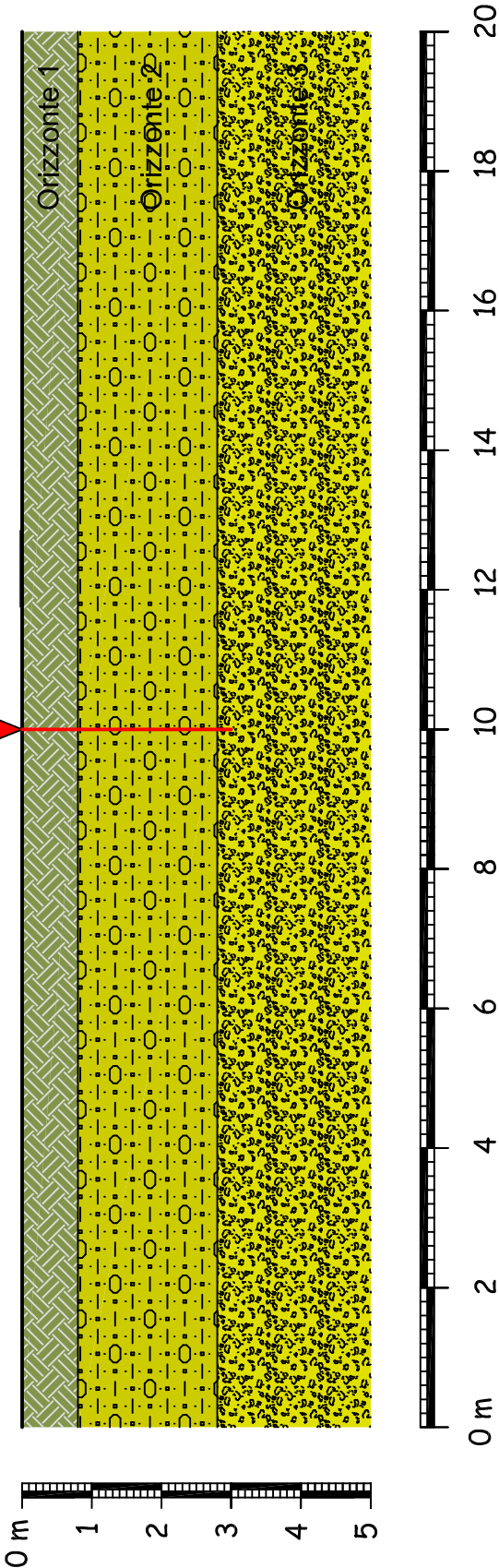
STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	15	15.0		GHIAIA MEDIO FINA CON ABBONDANTE MATRICE SABBIOSO LIMOSA
2	15	20	5.0		ARGILLA SOVRACONSOLIDATA DI COLORE GRIGIASTRO A CONSISTENZA LITOIDE
3	20	23	3.0		SABBIA LIMOSA MARRONE
4	23	26	3.0		GHIAIA ETEROGRANULARE DI NATURA ALLUVIONALE
5	26	35	9.0		ARGILLA SOVRACONSOLIDATA DI COLORE MARRONE E SUCCESSIVAMENTE GRIGIASTRO A CONSISTENZA LITOIDE

ALLEGATO 6.4 - MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

SCALA 1:100

DPSH 1



LEGENDA

- Orizzonte 1 : Elementi pedologici
- Orizzonte 2 : Limo sabbiosi con ghiaie
- Orizzonte 3 : Ghiaie sabbiose

MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta delle indagini

scala 1:5.000








Regione Umbria
Comune di Foligno



TAV.1

Legenda

Indagini puntuali

- | | | | |
|---|------------------------------------|---|---|
|  | Sondaggio a carotaggio continuo |  | Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU |
|  | Sondaggio a distruzione di nucleo |  | HVSR |
|  | Prova penetrometrica dinamica DPM |  | Pozzo per acqua |
|  | Prova penetrometrica dinamica DPSH | | |

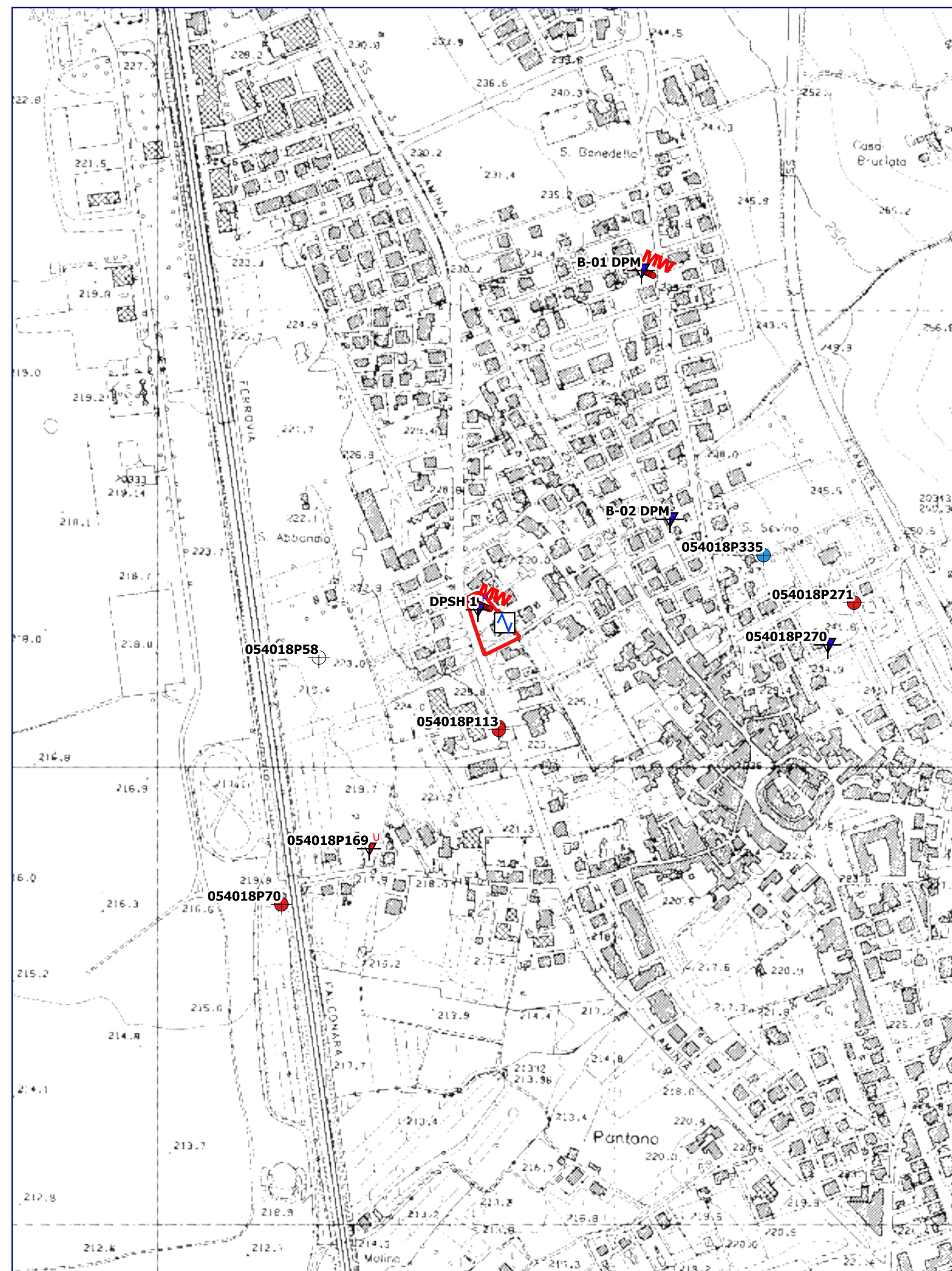
Indagini lineari



MASW



Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta geologico-tecnica

scala 1:2.000

Regione Umbria


Comune di Foligno




TAV.2


Legenda

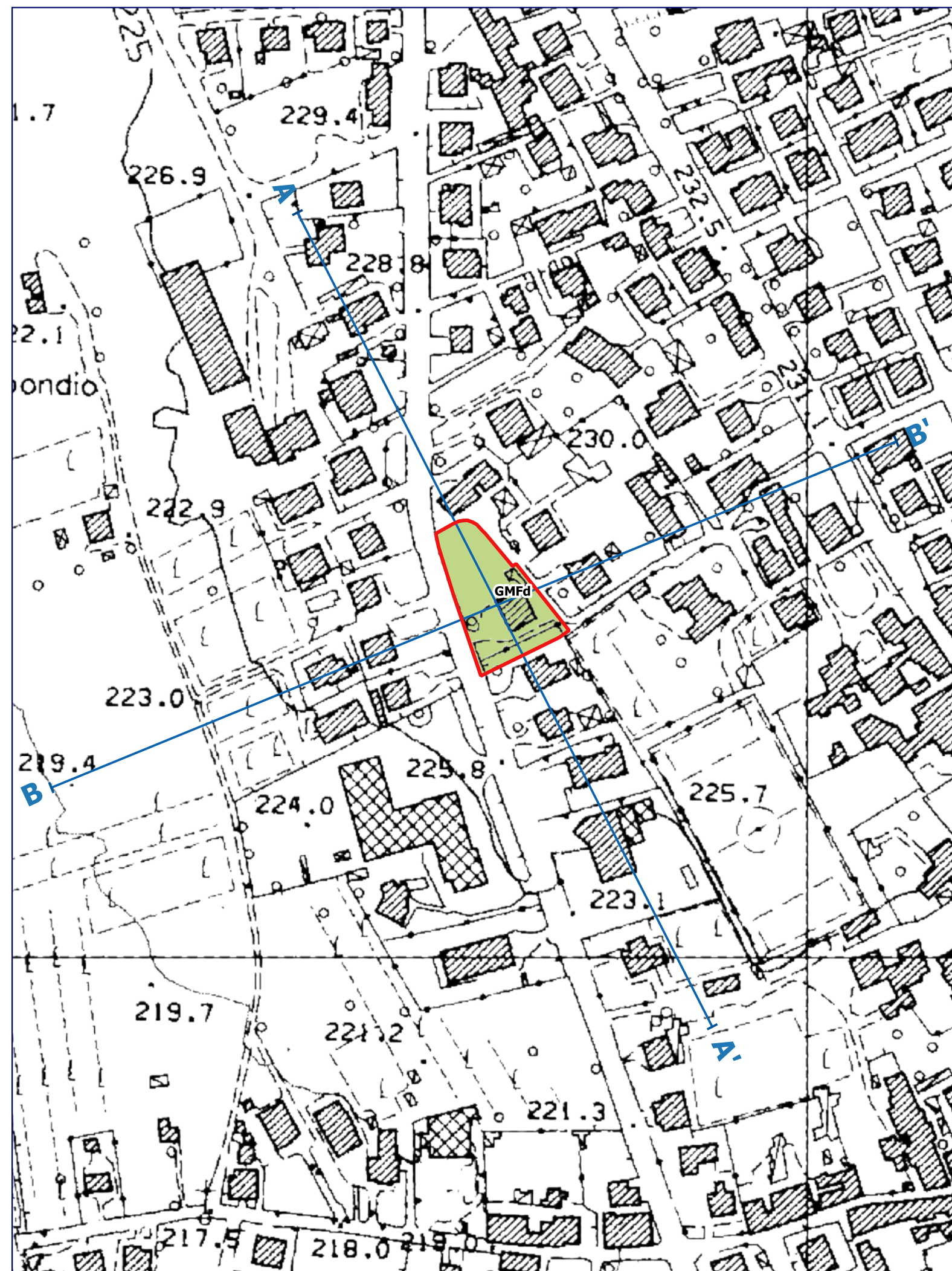
Terreni di Copertura

 GMfd Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo di falda detritica

Elementi geologici

 Traccia di sezione geologica

 Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta delle microzone omogenee in
prospettiva sismica

scala 1:2.000


Regione Umbria
Comune di Foligno



TAV.3

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica

 Zona 2045

Punto di misura di rumore ambientale

 HVSr

 Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta di microzonazione sismica

FA0105s

scala 1:2.000

Regione Umbria

Comune di Foligno







TAV.4

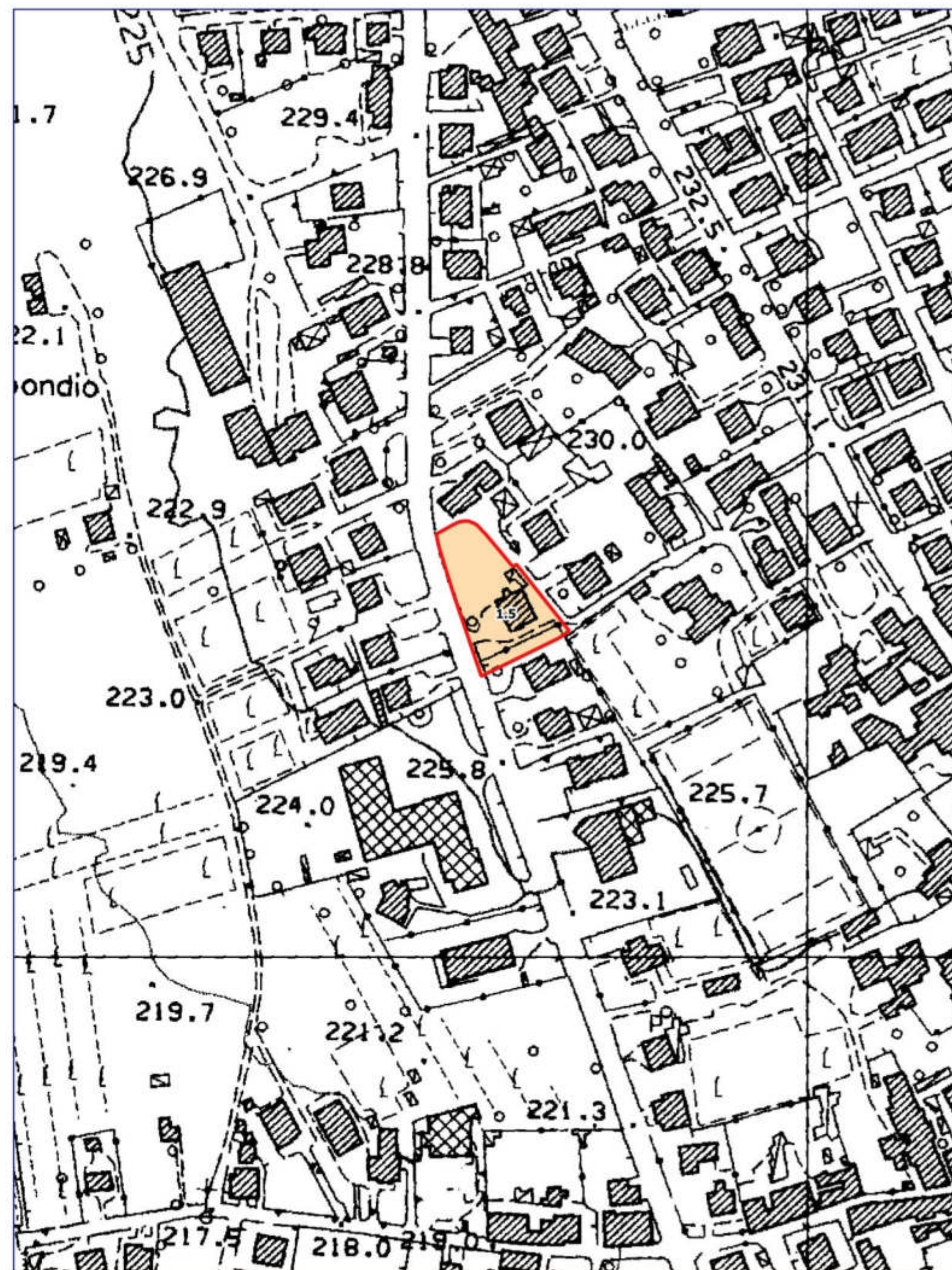
Legenda

Microzonazione sismica di livello 3

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  FA = 1.1 - 1.2
-  FA = 1.3 - 1.4
-  FA = 1.5 - 1.6

 Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta di microzonazione sismica

FA0408s

scala 1:2.000

Regione Umbria

Comune di Foligno






TAV.5

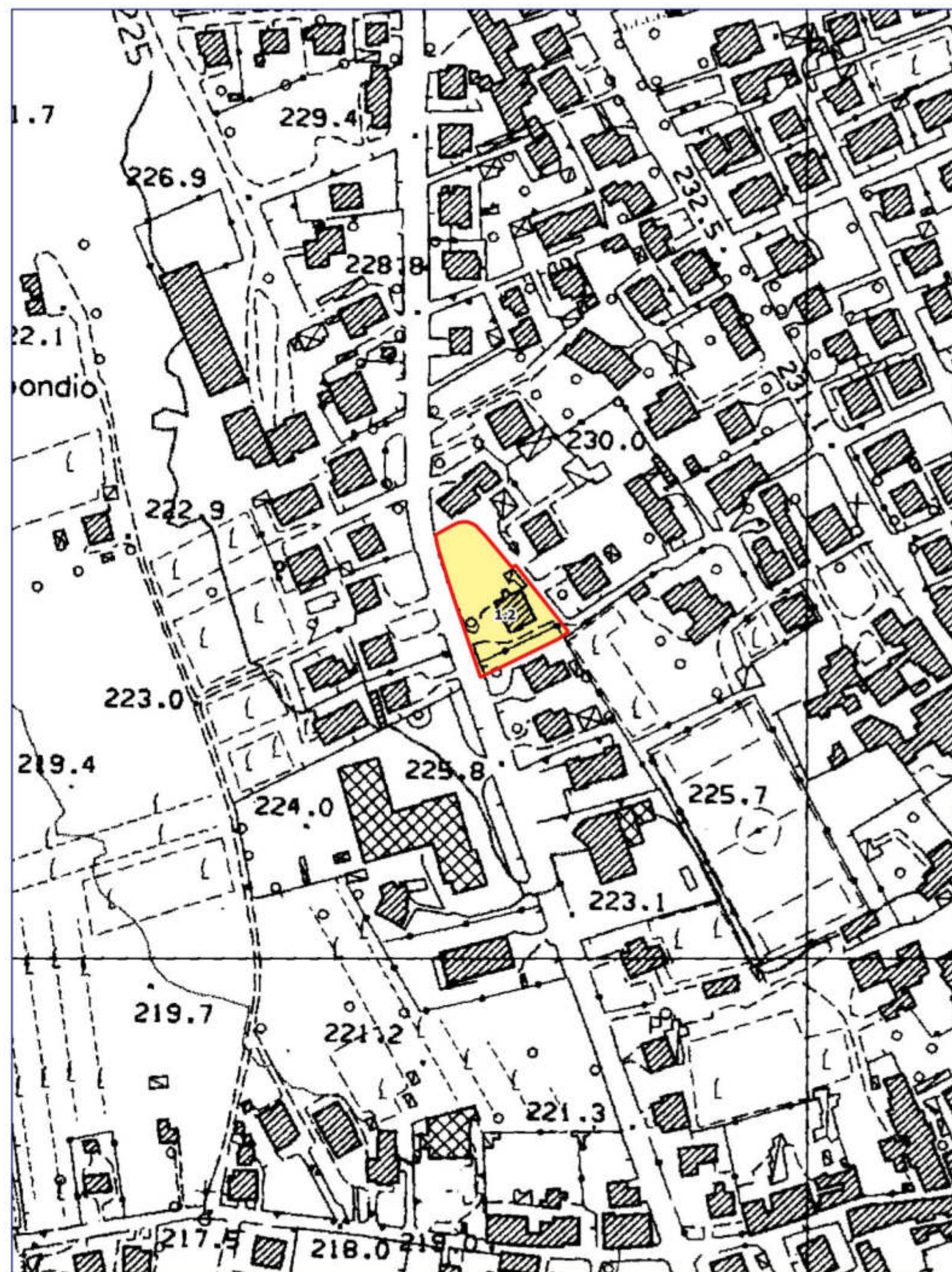
Legenda

Microzonazione sismica di livello 3

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  FA = 1.1 - 1.2
-  FA = 1.3 - 1.4
-  FA = 1.5 - 1.6

 Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta di microzonazione sismica

FA0711s

scala 1:2.000

Regione Umbria

Comune di Foligno






TAV.6

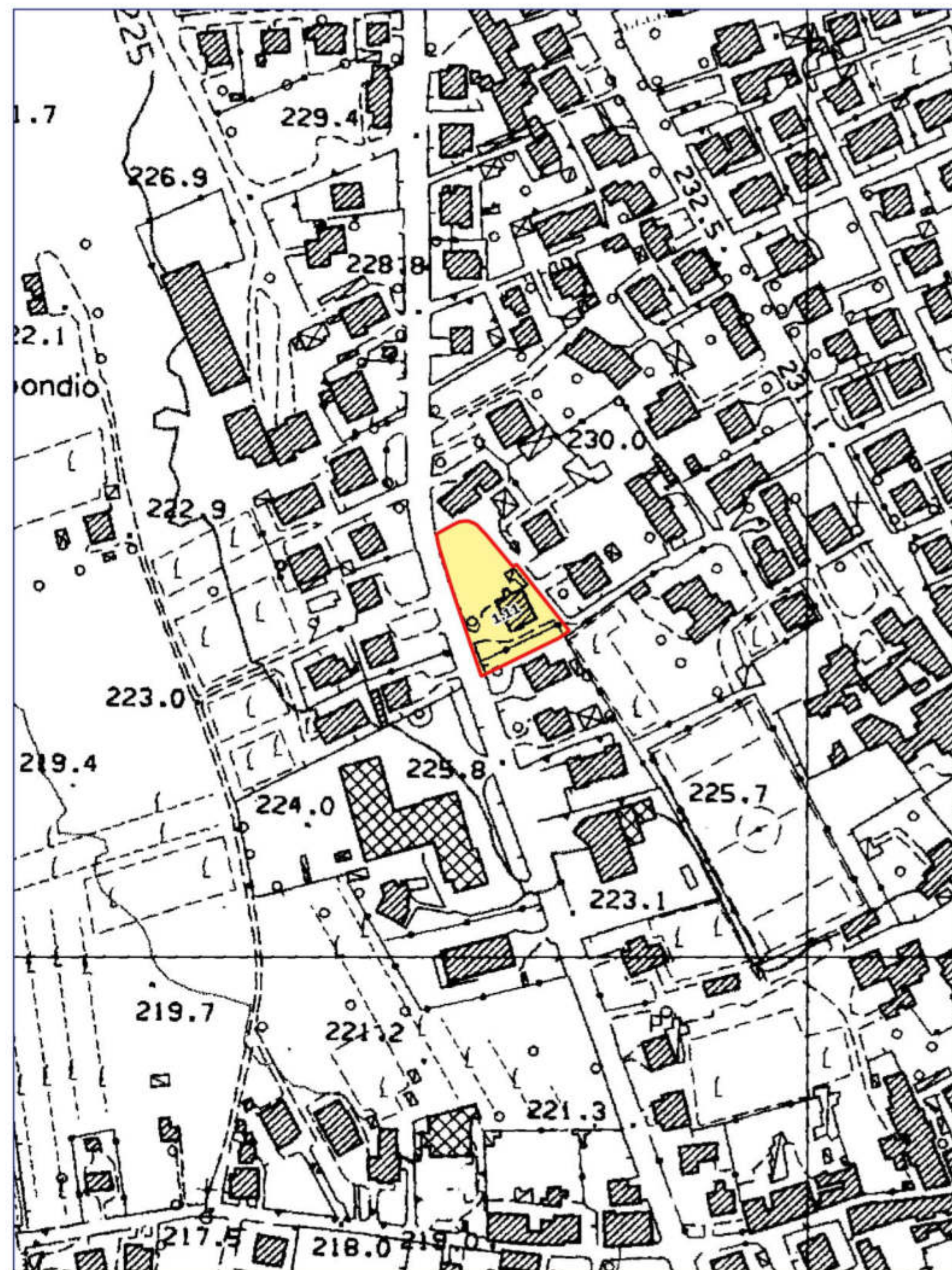
Legenda

Microzonazione sismica di livello 3

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  FA = 1.1 - 1.2
-  FA = 1.3 - 1.4
-  FA = 1.5 - 1.6

 Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Carta delle frequenze naturali dei
terreni (f_0)

scala 1:2.000

Regione Umbria
Comune di Foligno



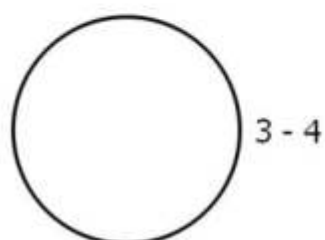
TAV.7

Legenda

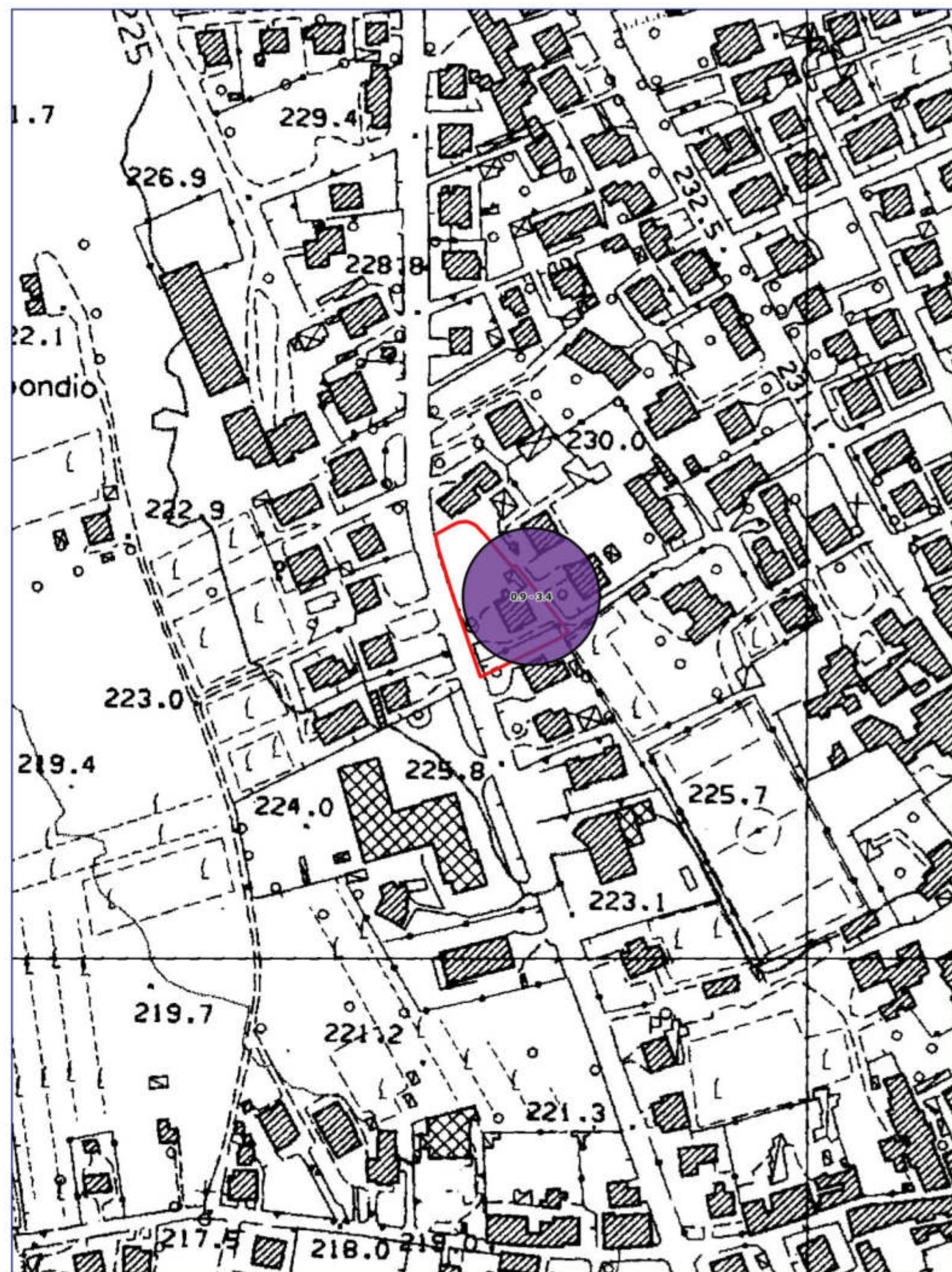
Frequenza f (Hz)

0.50 - 0.90

Ampiezza A_0



Perimetro area approfondimento LIVELLO 3



MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 3 DI APPROFONDIMENTO

Sezioni CGT- MS

Regione Umbria
Comune di Foligno



TAV.8

