



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



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

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

scala 1 : 5.000

Regione Emilia-Romagna Comune di Alto Reno Terme



Regione
 Emilia-Romagna

*Studio realizzato con il contributo di cui
 all'OPCM 4007/2012 - DGR 1302/2012.
 Coordinamento della Regione Emilia -
 Romagna - Servizio Geologico
 Luca Martelli*

Soggetto realizzatore:
 Dott. Geologo
 Francesco Cintelli



Rappresentazione cartografica:
 Pianificatore Territoriale
 Luca Menguzzato

Amministrazione Comunale
 Sindaco:
 Giuseppe Nanni
 Assessore all'urbanistica:
 Giuseppe Nanni
 Responsabile di settore:
 Arch. Mauro Vecchi
 Data: Maggio 2019

1 - INTRODUZIONE	3
2 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	3
3 - OBIETTIVI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE ALTO RENO TERME	4
3.1 - Selezione delle aree di indagine	5
4 - INQUADRAMENTO SISMICO E TETTONICO	11
4.1 - Zonazione sismogenetica.....	11
4.2 - Inquadramento tettonico e strutturale	13
4.2.1 - Strutture del settore di catena	18
4.3 - Sismicità storica e strumentale.....	20
4.4 - Normativa sismica di riferimento.....	26
4.5 - Effetti di sito.....	28
5 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA URBANIZZATA DI GRANAGLIONE, PONTE DELLA VENTURINA, BORGIO CAPANNE, PORRETTA TERME, CASTELLUCCIO	30
5.1 - Inquadramento geologico e geomorfologico.....	30
5.2- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Granaglione	32
5.3- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Ponte della Venturina.....	32
5.4- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Borgo Capanne	33
5.5- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Porretta Terme	33
5.6- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Castelluccio	33
6 - INSTABILITÀ DI VERSANTE DEI TERRENI DI COPERTURA NELLE AREE URBANIZZATE DI GRANAGLIONE, PONTE DELLA VENTURINA, BORGIO CAPANNE, PORETTA TERME, CASTELLUCCIO	33
6.1- Tipologia di dissesto	33
6.2- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Granaglione	36
6.3- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Ponte della Venturina.....	36
6.4- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Borgo Capanne	36
6.5- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Porretta Terme	36
6.6- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Castelluccio	36
7 - INDAGINI GEOLOGICHE E DATI DI INGRESSO.....	36
7.1- Documentazione preesistente	36
7.2- Consultazione banche dati geologici	37
7.3- Metodologia di Valutazione della pericolosità	37
7.4- Indagini geognostiche e geofisiche analizzate.....	38
8 - MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	41
8.1- Granaglione.....	41
8.2- Ponte della Venturina	42
8.3- Borgo Capanne	44
8.4 - Porretta Terme	45
8.5- Castelluccio	47
9 - PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	49
9.1- Carta delle indagini.....	49
9.2- Carta delle frequenze naturali del terreno.....	50

9.2.1.- MODI DI VIBRARE DEL SUOLO E DELLE STRUTTURE	52
9.3- Carta geologico-tecnica.....	55
9.4- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS	61
10 – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	68
10.1- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	68
10.2- Carta dei fattori di amplificazione delle aree	70
10.3 – Confronto tra modello geologico e geofisico.....	76
11 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	76
12- BIBLIOGRAFIA	78

Tavola 1 – Sezioni geologiche

Tavola 2- Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali e mappa dei fattori di amplificazione sismica

- a) Granaglione
- b) Ponte della Venturina
- c) Borgo Capanne
- d) Porretta Terme
- e) Castelluccio

Tavola 3 – Zone MOPS

1 - INTRODUZIONE

La Regione Emilia-Romagna, attraverso uno specifico apparato normativo (L.R. 20/2000 e DAL. n.112/2007 ("Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica"), N. 112 e successivo DGR 2193/2015 ha imposto l'elaborazione degli studi di pericolosità e di microzonazione sismica nella pianificazione territoriale a scala comunale, definendo criteri di approfondimento differenziati (livelli) a seconda delle fasi di programmazione affrontate e del contesto di pericolosità locale riscontrato.

Considerato che le specifiche del DGR 1302/2012 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/20012 a favore degli enti locali" individuano i 2 ex Comuni di Porretta Terme e di Granaglione tra quelli destinatari dei contributi per studi di microzonazione sismica, è stato eseguito uno studio di microzonazione sismica di secondo livello e l'analisi della Condizione Limite di Emergenza (CLE), finanziati rispettivamente con diverse ordinanze di cui all' OCDPC 171/2014 (ex-Comune di Porretta Terme) e OCDPC 293/2015 (ex-Comune di Granaglione).

In merito ai criteri da seguire per gli studi di pericolosità e microzonazione sismica, la direttiva regionale individua tre fasi di analisi, da completarsi con tre diversi livelli di approfondimento.

La prima fase di studio, (primo livello conoscitivo), deve definire gli scenari di pericolosità sismica, attraverso l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali in caso di sisma per via di particolari condizioni geologiche e morfologiche (amplificazione dell'impulso sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di addensamento/liquefazione, cedimenti dei terreni, ecc.).

La seconda fase di studio (secondo livello conoscitivo) deve giungere alla valutazione della risposta sismica locale ed alla microzonazione del territorio. Lo studio è limitato alle aree già insediate o di previsione urbanistica, solamente se ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali di amplificazione (individuate nella prima fase).

2 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

In riferimento alle principali normative che impongono alla Regione Emilia-Romagna la predisposizione di studi e indirizzi da applicare in sede di pianificazione urbanistica per la riduzione del rischio sismico che richiedono indagini geologiche nelle zone classificate sismiche, la definizione della pericolosità sismica locale e la realizzazione di appositi studi di riferimento è possibile riferirsi alle:

- L.R. 20/2000, "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio";
- Delibera Assemblea Legislativa 3121/2007, "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";
- L.R. 19/2008, "Norme per la riduzione del rischio sismico e documenti correlati";
- L.R. 23/2009, "Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio, modifica della legge regionale 24 marzo 2000, n° 20 (Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio) e norme transitorie in merito alla legge regionale 30 ottobre 2008, n° 19 (Norme per la riduzione del rischio sismico)";
- D.G.R. 2193/2015 art. 16 della l.r. n.20 del 24/3/2000. approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007.

La principale normativa di riferimento introdotta dalla Provincia di Bologna è la seguente:

Variante in materia di riduzione del rischio sismico (ai sensi dell'art. 27 della L.R. 20/2000) del 26 luglio 2012.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 3 di 79
--	-----------------	----------------

La principale normativa di riferimento nazionale è la seguente:

- OPCM n. 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.
- D.M. 17/01/2018. Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle infrastrutture. Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale.

3 - OBIETTIVI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE ALTO RENO TERME

Nel contesto delle analisi di valutazione delle condizioni del grado di sicurezza riferito alla pericolosità sismica del territorio comunale di Alto Reno Terme, derivante dalla fusione dei precedenti comuni di Granaglione e Porretta Terme, è stato condotto uno studio di microzonazione sismica finalizzato alla riduzione del rischio sismico del territorio urbanizzato e delle fasce interessate dalle principali infrastrutture. Nel dettaglio, lo scopo dello studio è stato quello di produrre una microzonazione sismica (MS) delle aree insediate capace di fornire una classificazione relativa del territorio, definendo aree a maggiore e minore pericolosità sismica locale e indicando i siti in cui sono ritenuti opportuni e necessari ulteriori approfondimenti (schema concettuale in Figura 1). Si sottolinea in ogni caso che su tutto il territorio comunale dovranno essere adottati i criteri antisismici di cui al D.M. N.T.C. 2018 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

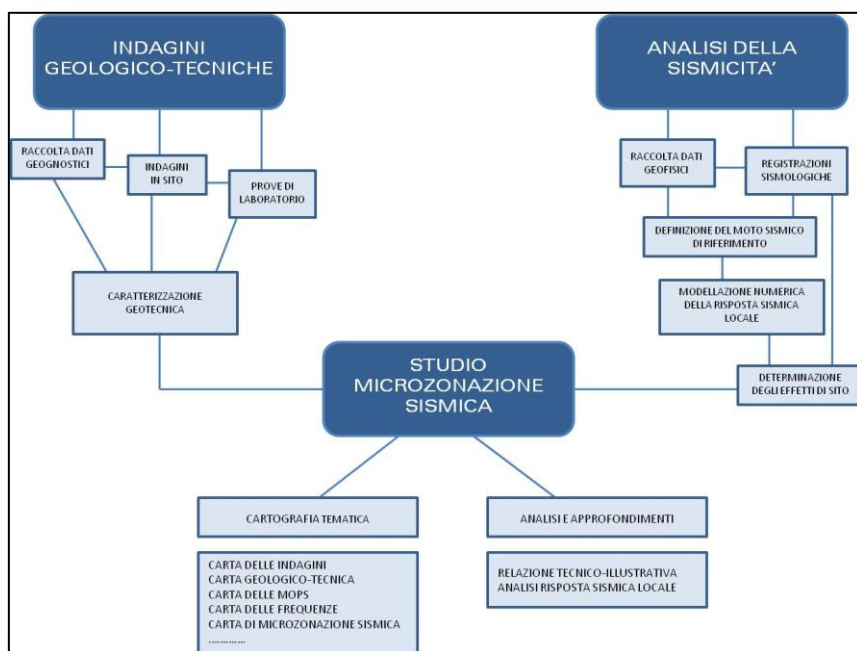


Figura 1- Schema concettuale degli obiettivi dello studio di microzonazione sismica del Comune di Alto Reno Terme.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 4 di 79
--	-----------------	----------------

Livelli di approfondimento

In conformità agli indirizzi regionali e alle direttive comunali sono previsti n. 2 livelli di approfondimento:

- un *livello 1*, propedeutico ai veri e propri studi di MS, che elabora essenzialmente i dati preesistenti e individua le aree critiche e le aree suscettibili di “effetti locali”;
- un *livello 2* che introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, e definisce la carta di microzonazione sismica.

3.1 - Selezione delle aree di indagine

Secondo quanto disposto dagli Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna e sulla base delle indicazioni fornite dal Dipartimento di protezione Civile (Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome) per la pianificazione territoriale e urbanistica le aree da indagare a scala comunale devono comprendere preliminarmente il territorio urbanizzato e urbanizzabile e le fasce di territorio riguardanti le reti infrastrutturali.

In funzione di ciò, ed in accordo con la P.A. le aree di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune di Alto Reno Terme ha selezionato sulla base dei seguenti criteri selettivi:

- numero degli abitanti delle frazioni;
- edifici pubblici e/o strategici;
- presenza di centri storici;
- estensione delle aree industriali e delle aree urbane in espansione;
- articolazione delle viabilità esistente e di prossima realizzazione.

Le aree individuate, riportate in tutti gli elaborati cartografici, riguardano gli abitati di: Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne. Trattasi di ambiti territoriali interessati dalle infrastrutture esistenti, dove si concentra pressoché la totalità degli ambiti di tipo residenziale e delle attività artigianali, industriali e commerciali. In tali contesti territoriali sono presenti aree con diverse caratteristiche morfologiche e perfettamente distinguibili dalle zone di affioramento di roccia in posto. In particolare sono evidenziabili:

- accumuli di sedimenti sciolti o semisciolti (coltri detritiche, terreni di copertura, depositi di versante);
- aree che nel passato sono state interessate da fenomeni di dissesto (quali corpi di paleo frane e di frane quiescenti);
- aree caratterizzate dalla presenza di depositi di fondovalle, attuali e recenti;
- aree che attualmente sono interessate da fenomeni di dissesto (quali aree soggette a franosità complessa in terreni acclivi prevalentemente argillitici, aree soggette a franosità per possibili fenomeni di scivolamento).

Le indagini e le analisi sono state estese ad un'adeguata fascia limitrofa ai territori e alle zone sopra citate in modo da comprendere aree il cui comportamento è potenzialmente in grado di influenzare i risultati della microzonazione nell'edificato. Nelle figure 2,3,4,5 si riporta l'ubicazione di tali aree sulla carta topografica, mentre in Figura 6 e Figura 7 a,b,c,d si riportano le fotografie aeree degli stessi abitati estratte dalle immagini Google Earth e Bing.

La restante parte del territorio comunale, costituita da territorio collinare coperto prevalentemente da boschi e foreste, non sarà interessata da studi sulla caratterizzazione sismica in quanto non sono presenti frazioni abitate o insediamenti sparsi e previsioni insediative o infrastrutturali.

La zona in analisi ricade nelle sezioni della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna:

N° 251080 Granaglione

N° 231040 Porretta Terme

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 5 di 79
--	-----------------	----------------

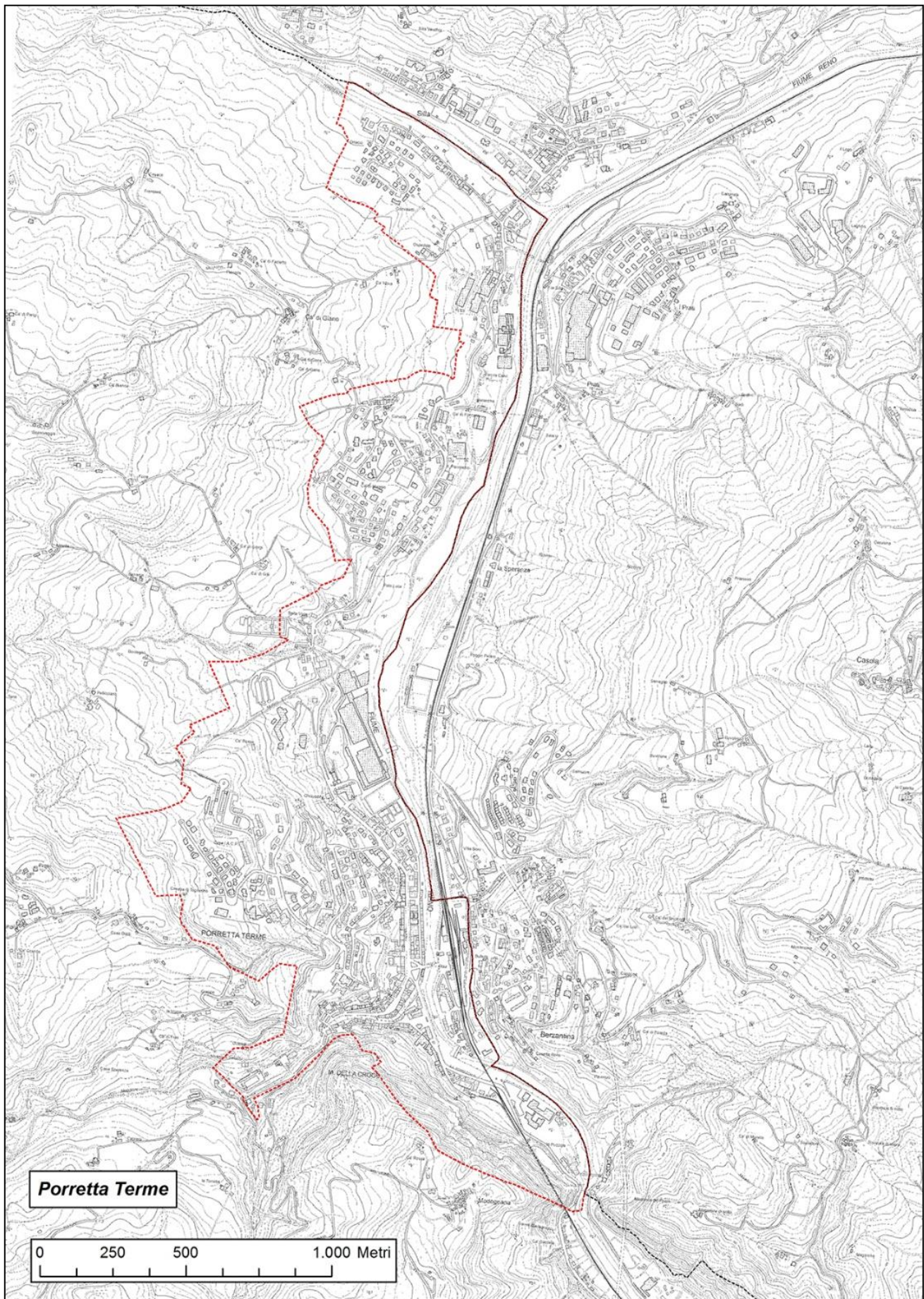


Figura 2- Inquadramento topografico del centro abitato di Porretta Terme.

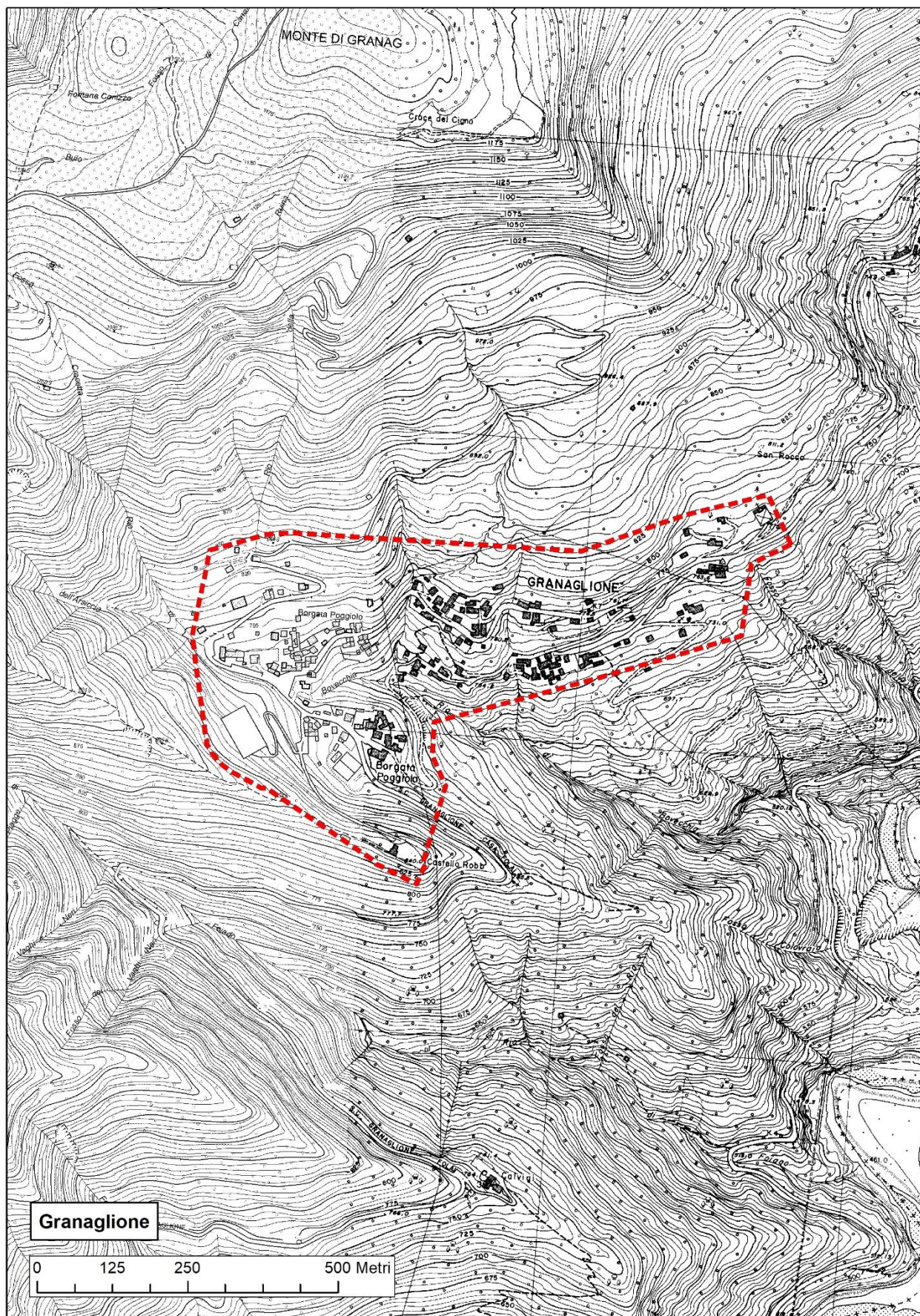


Figura 3 - Inquadramento topografico del centro abitato di Granaglione.

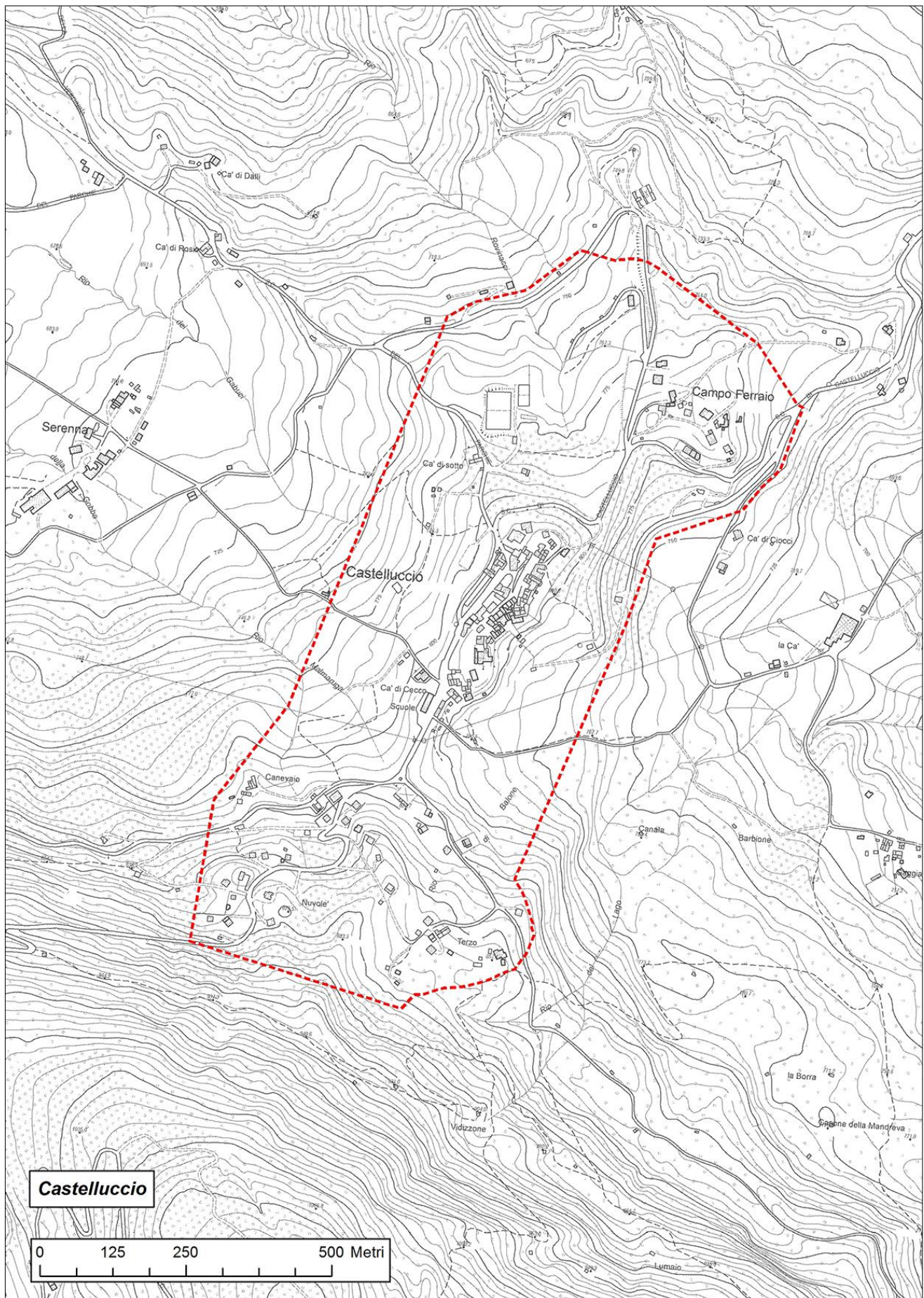


Figura 4 - Inquadramento topografico del centro abitato di Castelluccio.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne

N° elaborato: 1

Pagina 8 di 79

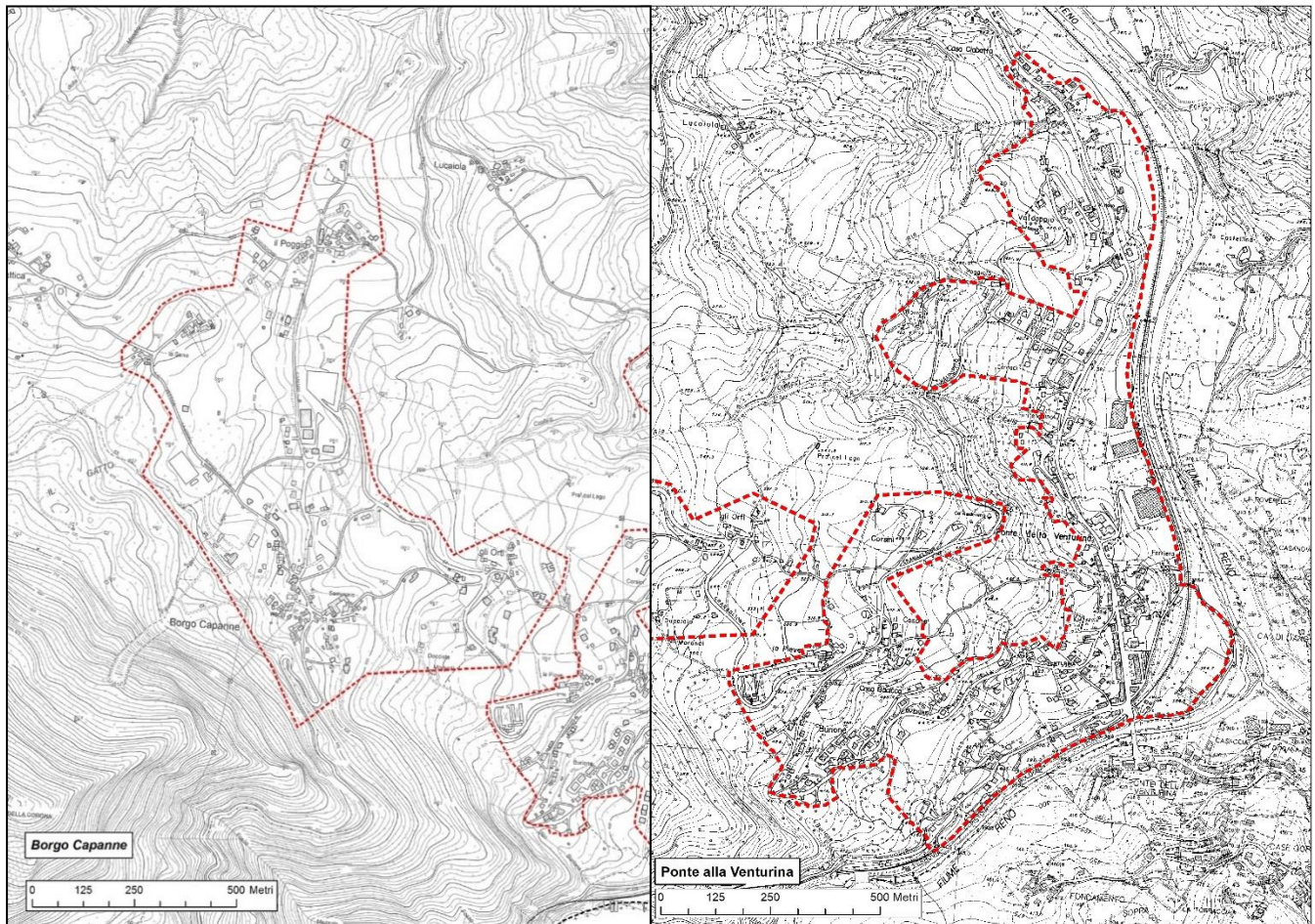


Figura 5 - Inquadramento topografico dei centri abitati di Ponte alla Venturina e Borgo Capanne.

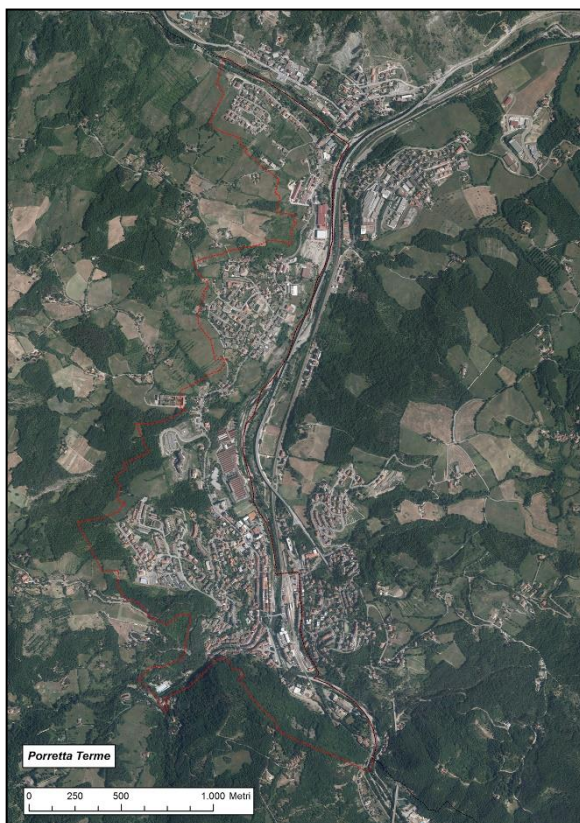


Figura 6 - Fotografia aerea del centro abitato di Porretta Terme (delimitato dalla linea rossa (OFC - 2011 Regione Emilia Romagna).

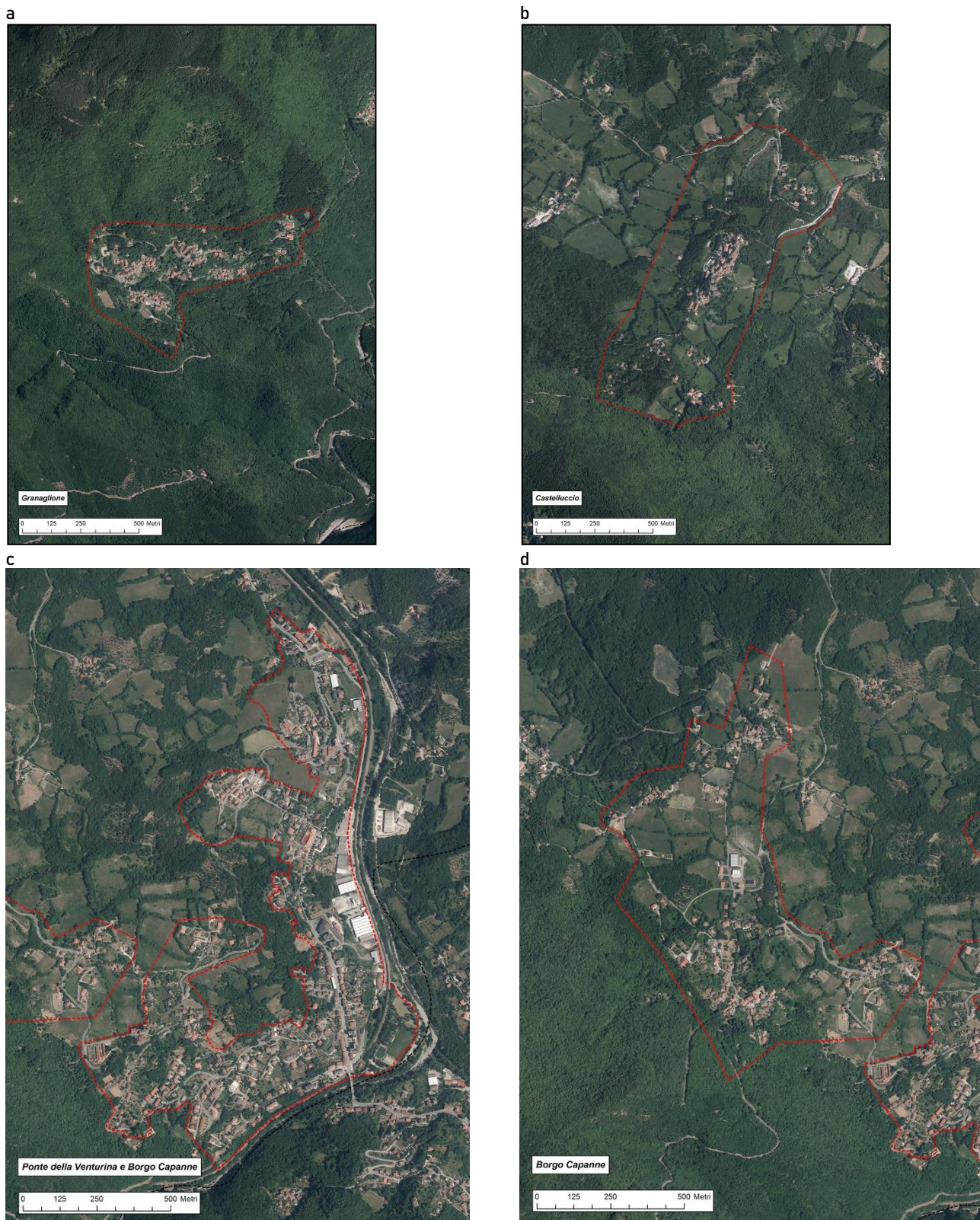


Figura 7 a,b,c,d – Fotografie aeree dei centri abitati di Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne (Immagini OFC - 2011 Regione Emilia Romagna).

<p>Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne</p>	<p>N° elaborato: 1</p>	<p>Pagina 10 di 79</p>
---	------------------------	------------------------

4 - INQUADRAMENTO SISMICO E TETTONICO

4.1 - Zonazione sismogenetica

Per determinare il carattere sismo genetico dell'area del comune di Alto Reno Terme sono stati presi in considerazione gli studi pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nei quali è stato mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche (aree omogenee dal punto di vista geologico strutturale e cinematico): tale zonazione viene chiamata ufficialmente Zonazione sismogenetica ZS9- App. 2 al Rapporto Conclusivo (Meletti C. & Valensise G, 2004). La zonazione sismogenetica è basata sul precedente background informativo di ZS4 e recepisce le informazioni delle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 e da studi inerenti le faglie attive regionali. Tale studio considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatesi anche lontani dalla zona in oggetto. Osservando la carta di zonazione ZS9 si osserva che la sismicità può essere distribuita in zone, ciascuna della quali è associata una magnitudo massima prevista M_w , che si assume come magnitudo massima attesa. La ZS9 può essere utilizzata, insieme al catalogo di CPTI2 per stimare la "profondità efficace" cioè l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in una zona sorgente. Osservando la Figura 8 si nota che il comune di Alto Reno Terme ricade a cavallo della zona 913 (porzione centro-settentrionale) e della zona 915 (porzione centro-meridionale). Tali zone presentano un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio comunale. Nel dettaglio la zona 913 (appennino emiliano-romagnolo) risulta dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo dove si verificano terremoti prevalentemente dovuti a movimenti compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi in quella sud-orientale; mentre la zona 915 (Garfagnana-Mugello) corrisponde al settore più interno della catena appenninica, generalmente interessato da importanti faglie primarie (che immergono verso NE) e comprende le relative sorgenti sismo genetiche (assieme alle zone 919 e 923) responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale.

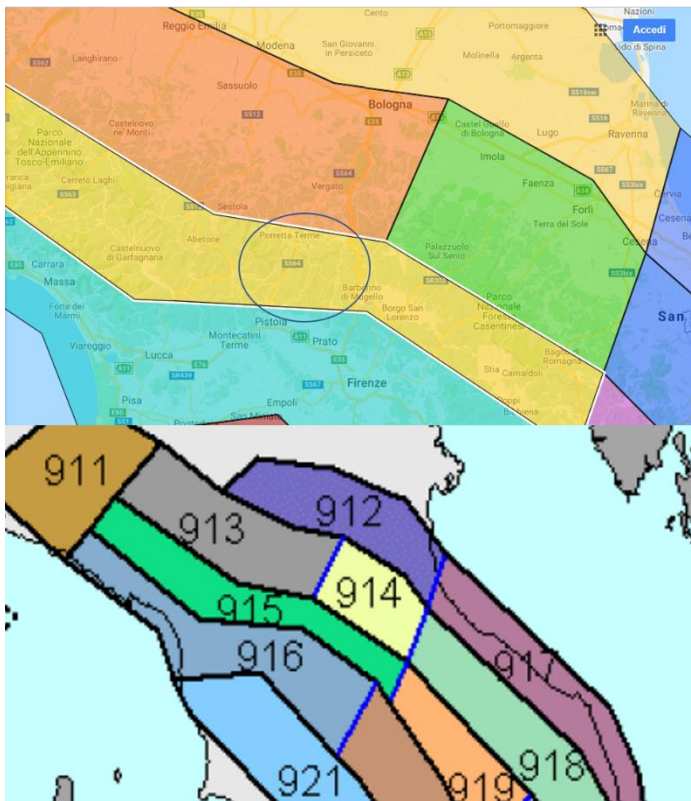


Figura 8 - Zonazione sismogenetica ZS9. La linea rossa individua il comune di Alto Reno Terme.

Tutti i risultati delle analisi di ZS9 pubblicati dal Gruppo di lavoro dell'INGV evidenziano che per le aree 913 (nella porzione più a Nord del territorio del Capoluogo di Porretta Terme). e 915 in cui ricade quasi totalmente il Comune di Alto Reno Terme (tab. 1).

Il valore di M_{max} rappresenta tradizionalmente un elemento di tipo cautelativo che viene adottato per garantire le determinazioni di a_{max} dalla possibilità che si verifichino, sia pure con probabilità molto bassa, eventi di M superiore a quelle verificatisi nel corso del periodo di osservazione del catalogo. Questa scelta riflette ovviamente la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una regione; non a caso, è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate. Il valore di M_{max} viene determinato con approcci diversi, di tipo prevalentemente statistico; spesso, per motivi cautelativi, in tali regioni la differenza fra M_{max} adottato e il valore massimo proposto dal catalogo ($M_{maxCPTI2}$) risulta molto elevata.

In sintesi il valore di M_{max} : a) uno calibrato, in modo cautelativo, sui dati sismologici e geologici, definito M_{max1} ; b) uno di tipo maggiormente cautelativo, definito M_{max2} .

La banca dati DISS 3.1 riporta due sorgenti sismogenetiche (contenute rispettivamente nella zona 913 e nella zona 915) poste in vicinanza all'area di studio (Figura 10).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60

Tabella 1 - Dettagli delle misurazioni nella Zone Sismogenetiche 913 e 915 (fonte Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo).

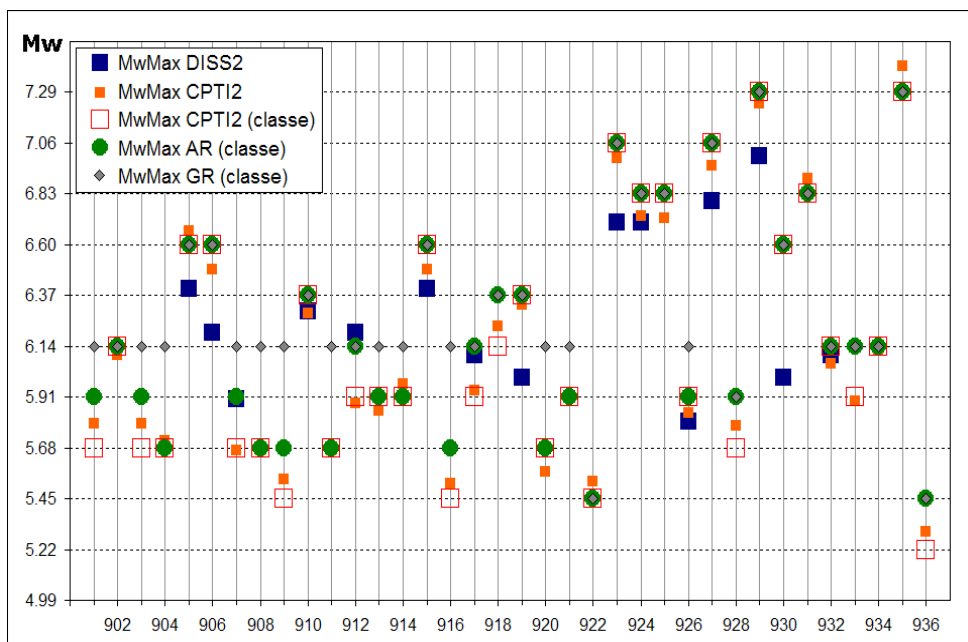


Figura 9 - Valori di M_{max} osservati (CPTI2 e DISS2).

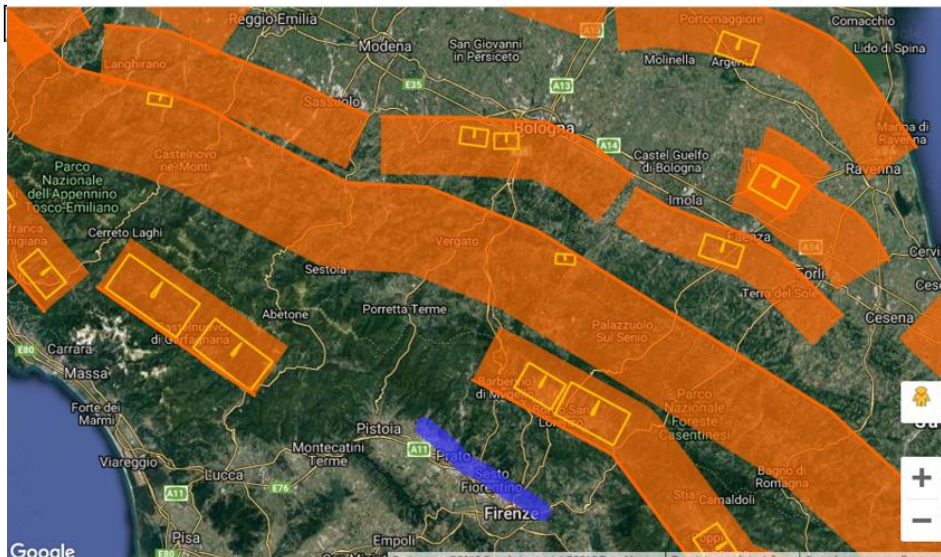


Figura 10 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.1 (foto aerea: Google Earth) e delle relative distanze dal Comune di Alto Reno Terme. Le sigle ITCS identificano le "sorgenti sismogenetiche" della banca dati DISS (versione aggiornata 3.1).

4.2 - Inquadramento tettonico e strutturale

Il Comune di Alto Reno Terme, da un punto di vista tettonico appartiene al sistema montuoso dell'Appennino Settentrionale formatosi dalla sovrapposizione di falde tettoniche con vergenza orientale, ovvero con senso di movimento da ovest ad est (Treves, 1984). Circa la genesi e l'evoluzione della catena appenninica, non ancora conclusa, è possibile ipotizzarne l'inizio a partire almeno dall'Eocene, durante la fase orogenica meso alpina (AA.VV, 1992). In tale periodo, le successioni liguri furono impilate le une sulle altre, a formare un prisma di accrezione. Secondo alcuni autori, la frequente attività sismica dell'Appennino settentrionale, confermerebbe come l'evoluzione della catena appenninica risulterebbe ancora in fase di sviluppo. Le principali unità tettoniche che danno luogo al prisma di accrezione appenninico sono denominate come di seguito riportato (Treves, 1984):

- Unità Liguri;
- Unità Subliguri;
- Falda Toscana;
- Unità Umbro-romagnole e marchigiano adriatiche.

Il modello del prisma di accrezione prevede che le Unità Liguri sovrastino geometricamente le Unità Subliguri che, a loro volta, si trovano al di sopra della Falda toscana e delle Successioni Umbro-Romagnola e Marchigiano Adriatica; tuttavia a complicare ulteriormente tale quadro strutturale sono intervenuti numerosi accavallamenti tettonici e faglie distensive neotettoniche. Come accennato l'evoluzione strutturale della catena appenninica continua anche ai giorni nostri, come mostrano, con la loro attività sismica le strutture tettoniche che hanno controllato la sedimentazione nel bacino padano, talora dislocando pure le unità sedimentarie più recenti plio-pleistoceniche di ambiente marino (che affiorano nei pressi del margine pedecollinare) e i depositi continentali del Pleistocene e dell'Olocene) che affiorano principalmente nelle valli o che formano il sottosuolo della pianura). L'Appennino Settentrionale in senso stretto si è formato tra l'Oligocene superiore ed il Pliocene ed è costituito da un'unità di crosta africana alle quali si sono sovrapposte unità oceaniche. Considerando che l'impilamento delle varie Unità Tettoniche (falde) ha una vergenza verso i quadranti NE ed E (Figura 1), risulta possibile distinguere all'interno della catena, da Ovest verso Est due grandi insiemi di domini, distinti per litologia, struttura ed origine paleogeografia (Martelli, 2003). Partendo dalle aree più occidentali possiamo riconoscere due grandi gruppi di domini (Bortolotti, 1992): ad Ovest, substrato costituito da crosta oceanica, dominio interno (Oceano Ligure-Piemontese); ad Est, substrato costituito da crosta continentale, dominio esterno (Adria). Da ciò risulta che uno dei caratteri distintivi che differenziano questi raggruppamenti di domini è il tipo di substrato nettamente differente. I domini prettamente oceanici sono tre, uno delle Liguridi Interne e due delle Liguridi Esterne (Bortolotti, 1992). Le loro unità si sono originariamente depositate in bacini oceanici o sul margine continentale assottigliato

e sono state successivamente staccate dal loro substrato scomparso in subduzione, andando così a costituire una coltre alloctona in seguito al loro sovrascorrimento da Ovest verso Est sull'insieme esterno dei domini continentali (Dominio Toscano e Dominio Umbro-Romagnolo e Marchigiano- Adriatico) (Elter, 1994). Su questi terreni Liguri intensamente tettonizzati si sono impostati bacini minori entro cui si sono deposte sequenze ricche di detriti silicoclastici chiamate Successioni Epiliguri, coeve temporalmente con i domini continentali più esterni (G.B. Vai, 1992). Nella zona di transizione fra i due raggruppamenti è localizzato un altro dominio denominato Sub-Ligure e rappresentato da unità discordanti sulle sottostanti unità di dominio continentale. L'Appennino Settentrionale è un edificio strutturale di forma arcuata ed allungata in direzione NW-SE (Figura), convenzionalmente delimitato dalla fossa adriatica ad Est e compreso tra due grandi lineamenti tettonici trasversali (Bortolotti, 1992).

- 1) a NW la linea Sestri - Voltaggio;
- 2) a SE la linea Ancona - Anzio.

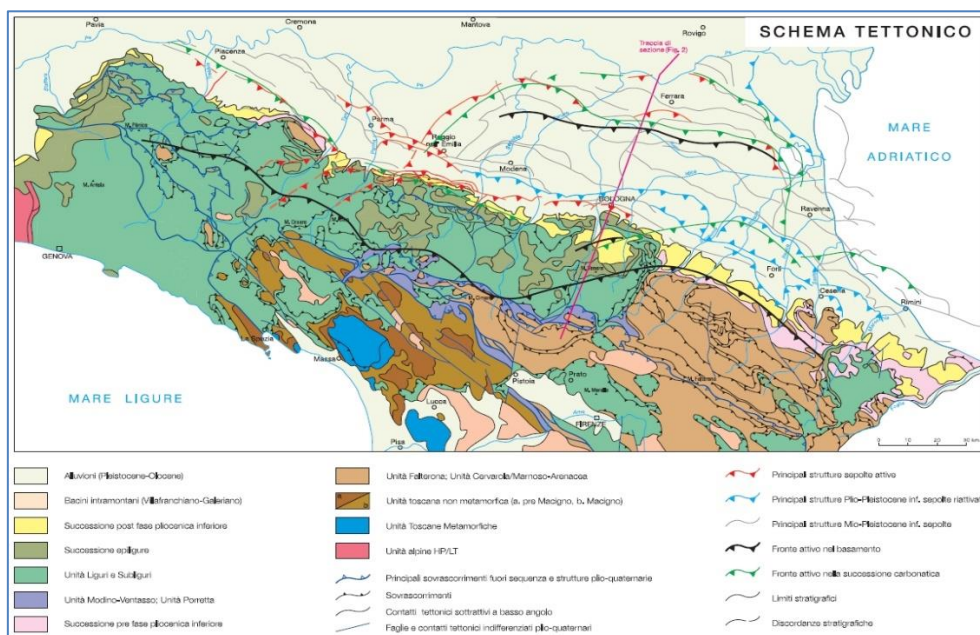


Figura 11 - Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale Tosco - Emiliano (da note illustrative della Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna).

Tali lineamenti sono interpretati come strutture a forte componente trascorrente (Bortolotti, 1992) e perciò considerati elementi, funzionanti da cerniera, che permettono il raccordo fra l'Appennino Settentrionale con il sistema Alpino a nord ed il piccolo blocco dell'Appennino Centrale a Sud.

La formazione dell'Appennino Emiliano - Romagnolo ebbe inizio a partire dal Cretaceo superiore in seguito alla chiusura dell'Oceano Ligure - piemontese, che faceva parte della Tetide, e alla successiva collisione da parte della placca europea (Corso - Sarda) con quella adriatica (Adria, Insubria) inizialmente connessa alla zolla africana (Coli, 1992). In questa complessa storia tettonica si possono distinguere dunque una fase oceanica e una continentale (Coli, 1992). La fase oceanica inizia al limite tra il Cretaceo inferiore e il Cretaceo superiore (circa 100 Ma), con la subduzione della litosfera secondo un piano di immersione verso E, verso il margine appenninico (Coli, 1992). Tale piano si trova al confine tra il bacino piemontese, ad ovest, e quello Ligure, ad est; questa prima fase termina quando la placca oceanica piemontese è completamente consumata (Boccaletti et al., 1980). La seconda fase inizia nel Cretaceo superiore e termina nell'Eocene medio (Boccaletti et al., 1980) e prevede la ripresa della subduzione secondo un piano immergente verso Ovest di crosta oceanica Ligure sotto il Massiccio Sardo - Corso portando la completa chiusura dell'Oceano Ligure - Piemontese (Bortolotti, 1992). Durante questa fase venne a generarsi un prisma d'accrezione costruito dall'impilamento, per sottoscorrimento verso Ovest, delle coperture oceaniche e di parte del loro basamento (Coli, 1992). Nell'Eocene medio ebbe inizio la *fase continentale (ensialica)* dove si ha la collisione fra margine Sardo - Corso europeo e margine adriatico che dà origine all'orogenesi appenninica (Boccaletti et al., 1980). In questa fase si ha uno sviluppo di una tettonica a *thrust* e falde con

sottoscorrimento verso Ovest delle Unità Toscane prima, e di quelle Umbro - Marchigiane poi, sotto le unità precedentemente impilate (Coli, 1992). La catena deriva così dalla complessa deformazione di sedimenti deposti nei diversi contesti paleogeografici meso - cenozoici: il Dominio Ligure, corrispondente in larga misura all'area oceanica, il Dominio epiligure, che si imposta a partire dall'Eocene medio sulle Unità Liguri già tettonizzate, il Dominio Subligure, sviluppato sulla crosta assottigliata africana adiacente alla zona oceanica, e il Dominio toscoumbro, di pertinenza africana. La formazione della Catena Appenninica Settentrionale è sostanzialmente riconducibile a cinque specifici momenti evolutivi che hanno sconvolto l'intero assetto dell'area mediterranea:

- 1) Collisione continente - continente, fra Iberia ed Adria e formazione del sistema Alpi - Appennini, in cui la proto-catena appenninica aveva uno sviluppo in direzione NE-SW, non coincidente con l'attuale assetto (Eocene Superiore).
- 2) Fase distensiva del settore occidentale della placca iberica con conseguente apertura del Bacino Algero - Provenzale e distacco del Blocco Sardo - Corso (Oligocene inferiore).
- 3) Rotazione antioraria del Blocco Sardo - Corso, che raggiunge la sua posizione attuale dopo aver subdotto il margine continentale adriatico, alle cui spese si è definitivamente costituita la paleo-catena appenninica (fine Oligocene e il Miocene medio).
- 4) Nuova fase distensiva, che causa l'apertura del Bacino Tirrenico interposto fra il Blocco Sardo - Corso e la paleo-catena appenninica smembrata e traslata verso SE-E-NE (Miocene superiore).
- 5) Riattivazione della collisione coinvolgente i resti della placca iberica ed adriatica con migrazione del fronte compressivo verso NE nell'Appennino Settentrionale (Pliocene).

Importante è sottolineare come all'interno dell'Appennino Settentrionale si possano distinguere unità flyschoidi derivanti da avanfosse geneticamente legate a due cicli orogenetici differenti. Nelle Unità Liguri e Sub-liguri i flysch si sono deposti tra il Cretaceo superiore e l'Oligocene, per opera dell'Orogenesi Alpina, mentre nei restanti domini sono riconducibili al periodo compreso tra l'Oligocene ed il Pliocene, in relazione all'Orogenesi Appenninica (Martelli, 2003). Relativamente a questa ultima fase deformativa il fronte compressivo è spostato progressivamente verso NE, implicando la migrazione delle avanfosse ed imprimendo alla catena il peculiare aspetto a pieghe e sovrascorrimenti (Martelli, 2003). Contemporaneamente sulle Unità Liguridi si sono formati bacini tettonici minori ("*piggy back basin*"), dove si sono deposte le Unità Epiliguri (Ricci Lucchi & Ori, 1985), precedentemente definite come "successioni semi-alloctone" (Merla, 1951) o "successione tardo-geosinclinale" (Sestini, 1971). All'interno del settore investigato si individuano da Nord verso Sud unità stratigrafiche rispettivamente appartenenti a:

-Dominio Ligure (oceanico)

- Unità Ofiolitica della Val Baganza - Argille a Palombini - APA affiorante in località Silla; è costituita prevalentemente da argille grigio-piombo e grigio-azzurrognole, cui si intercalano calcarei silicei grigio-bluastri, calcilutiti e calcisiltiti grigie in strati sottili e medi. Subordinate alternanze di sottili torbiditi arenaceo-pelitiche grigie e grigio-verdognole. Lo spessore della formazione non è valutabile con precisione a causa dell'intensa tettonizzazione, ma non superiore a 300 m (Barremiano-Turoniano).

-Dominio Toscano (continentale)

- Unità Modino-Cervarola - Successione Porretta - Arenarie di Suviana - SUV affiorante nell'abitato di Porretta Terme; sono costituite da torbiditi silico-clastiche in strati spessi e molto spessi a base arenitica medio-grossolana e tetto marnoso, cui possono intercalarsi sottili lenti di conglomerati. Spessore massimo di circa 150 m (Burdigaliano-Langhiano).
- Unità Modino-Cervarola - Successione Modino - Marne di Civago - CIV affiorante nell'abitato di Porretta Terme e Granaglione; marne o marne siltose ad elevato contenuto di silice; colore variabile dal grigio verde al grigio scuro; si possono intercalare intervalli a liste di selce nera. Spessore massimo circa 150 m (Aquitano).

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 15 di 79
--	-----------------	-----------------

- Unità Modino-Cervarola – Successione Modino - Marne di Marmoreto - MMA affiorante nell'abitato di Porretta Terme; marne massicce di colore grigio, talora rosato all'alterazione. Alla base può presentare locali intercalazioni di brecce mentre al tetto può essere presente una litofacies a brecce o pelitico arenacea. Spessore massimo di 120 m (Rupeliano-Cattiano).
- Unità Modino-Cervarola – Successione Modino - Argille di Fiumalbo – FIU affiorante nell'abitato di Porretta Terme; argilliti e argilliti marnose policrome da rosso a grigio verdastro con l'intercalazione di sottili strati siltitico-pelitici e arenitici fini; nella parte bassa (nord di Porretta) si trovano localmente intercalati sia sottili strati calcilutitici che livelli di brecce con clasti arenacei, calcarei, raramente marnosi, immersi in matrice argilloso-marnosa; nella parte alta prevalgono argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e areniti fini in strati sottili. Localmente presenti brecce e arenarie ofiolitiche. Spessore massimo di 250 m (Ypresiano-Rupeliano).
- Unità Modino-Cervarola – Successione Modino - Argilliti variegata con calcari - AVC affiorante nell'abitato di Porretta Terme, Ponte alla Venturina, Borgo Capanne e Castelluccio; argille scure e varicolori, dal bruno al verde, cui si intercalano strati calcarei e calcisiltitico-marnosi o arenacei fini. Depositi di ambiente marino profondo, spessore non superiore a 250-300 m (Barremiano-cenomaniano Medio).
- Unità Modino-Cervarola – Successione Modino - Argilliti variegata con calcari litofacies a Brecce Ofiolitiche - AVCa; caratterizzata da lenti di brecce poligeniche con clasti ofiolitici e subordinatamente calcarei e diasprini.
- Brecce Ofiolitiche – Unità Modino-Cervarola – Successione Modino - BO affiorante nell'abitato di Castelluccio;

-Dominio Tosco-Umbro

- Unità Rentella – Formazione di Castiglione dei Pepoli – membro arenaceo pelitico – CDP₂ affiorante nell'abitato di Granaglione; torbidi arenaceo-pelitici in strati medi e spessi costituiti da un sottile intervallo basale a grana arenitica medio-fine cui segue un intervallo sommitale siltitico-marnoso più sviluppato e intensamente bioturbato. A diverse altezze sono presenti intervalli plurimetrici di torbiditi sottili siltitico-marnose. Depositi torbiditici di lobo e frangia di lobo. Spessore massimo del membro circa 450 m (Burdigaliano-Langhiano).
- Unità Rentella – Formazione di Castiglione dei Pepoli – membro pelitico-arenaceo – CDP₃; - affiorante nell'abitato di Castelluccio e Borgo Capanne; torbidi silicoclastiche siltitico-marnose in strati sottili; nella parte alta si intercalano torbiditi in strati medi a base arenitica fine. Presenti rari strati calcarei spessi dai 3 ai 6 cm di colore bianco sporco-giallastro. Spessore circa 60 m (Burdigaliano).

Le relazioni geometriche esistenti tra le differenti unità litostratigrafiche descritte sono il frutto di una lunga storia di deformazione della crosta terrestre iniziata nel Cretaceo e non ancora conclusa. Dal Cretaceo all'Eocene medio, si è verificata la progressiva chiusura del paleo-oceano ligure con la formazione di un prisma di accrezione di materiale sedimentario; le successive fasi deformative, dall'Oligocene in poi, sono state caratterizzate da un regime collisionale che ha interessato le successioni toscane ed umbre. La migrazione continua del fronte deformativo per tutto il Miocene ed il Pliocene ha coinvolto successivamente i domini più esterni (umbro marchigiano e padano) fino a determinare la configurazione attuale della catena nord appenninica.

Lo schema dell'assetto tettonico e cinematico dell'Appennino centro-settentrionale che si è sviluppato come effetto del contesto dinamico sopra discusso è riportato in Figura 12, mentre in Figura 13 si può vedere una sezione geologica trasversale alla catena appenninica estratta dal foglio 251 PORRETTA TERME della Carta Geologica d'Italia.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 16 di 79
--	-----------------	-----------------

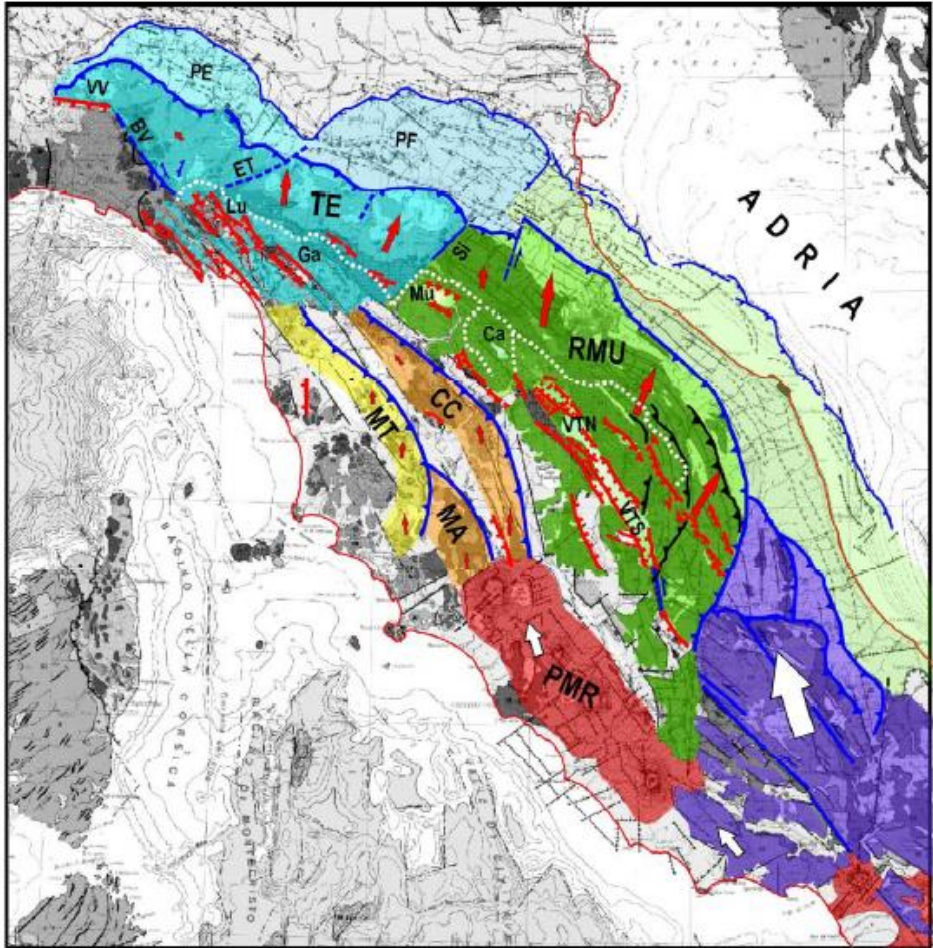


Figura 12 - Schema tettonico/cinematico dell'Appennino settentrionale. Sulla base B/N della Carta Tettonica d'Italia, (Funicello et alii, 1981) sono evidenziati in colore i due settori principali in cui l'Appennino settentrionale è suddiviso: cuneo Romagna-Marche -Umbria (RMU, verde) e cuneo Tosco-Emiliano (TE, azzurro). Il raccorciamento longitudinale di questo sistema strutturale orogenico è causato dalla spinta longitudinale (freccia grande bianca) della parte orientale della piattaforma Laziale-Abruzzese (viola), nell'ambito geodinamico a larga scala. Una spinta longitudinale, ma meno intensa (freccie bianche più piccole), passa anche attraverso la parte interna della catena appenninica (Viti et alii, 2006) producendo deformazioni e attività sismica minori nella Toscana interna, principalmente in corrispondenza delle dorsali presenti in questa zona (Chianti-Cetona=CC; Montalcino-Amiata=MA, Medio Toscana=MT) e delle fosse tra esse comprese. BV=zona sismica Bedonia-Varzi, Ca=Casentino, ET=sistema di faglie Enza-Taro, Ga=Garfagnana, Lu= Lunigiana, Mu=Fossa del Mugello, PE, PF =Complessi sepolti delle Pieghe Emiliane e Ferraresi, PMR=Provincia Magmatica Romana, Si=Linea del Sillaro, VTN, VTS= Val Tiberina Nord e Sud, VV= Zona sismica Villalvernia-Varzi.

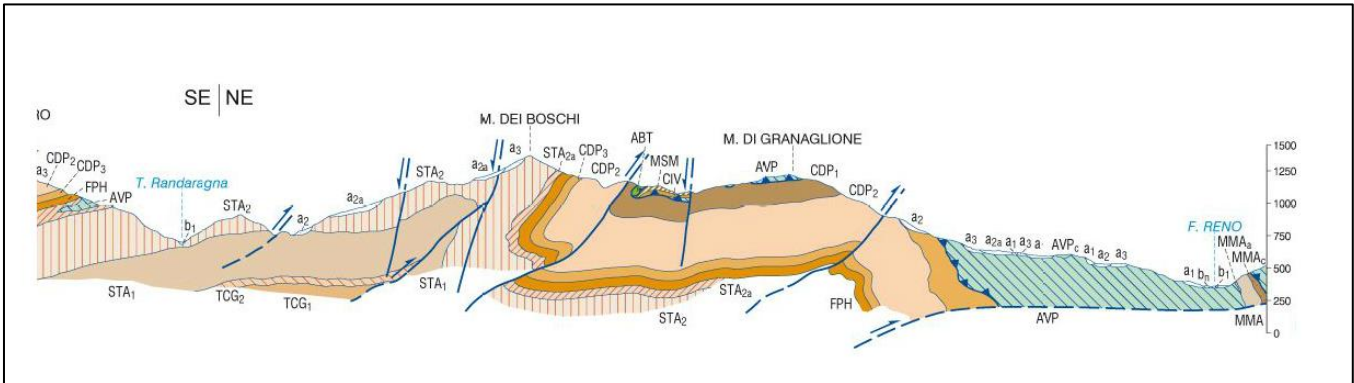


Figura 93 - Estratto di parte della sezione geologica SW - NE estratta dal foglio 251 PORRETTA TERME della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Per quanto riguarda le coperture quaternarie, la massima concentrazione di depositi e movimenti franosi è presente dove affiorano le Liguridi con i loro litotipi argilloso-calcarei e calcareo-marnosi. Le tipologie più

<p>Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne</p>	<p>N° elaborato: 1</p>	<p>Pagina 17 di 79</p>
---	------------------------	------------------------

frequenti sono colamenti, scorrimenti rotazionali o roto-traslazionali con frequente evoluzione in colate (frane complesse) e scorrimenti rotazionali o roto-traslazionali di detrito. Sono perlopiù accumuli caotici di frammenti litoidi eterometrici, spesso anche eterogenei, in matrice sabbioso-limosa o limoso-argillosa più o meno abbondante. I corpi di frana antica sono rappresentati da grandi frane in roccia verificatesi in un contesto climatico e morfo-evolutivo diverso da quello attuale. In genere sono sempre più o meno intensamente rimodellate da processi sia erosivi fluviali che gravitativi.

Scendendo nel dettaglio la zona comunale di Alto Reno Terme, collocandosi immediatamente a Nord del crinale appenninico, è caratterizzata da un'estrema varietà e deformazione delle unità geologiche. Il versante emiliano dell'Appennino è per lo più costituito da argille e calcari molto deformati, che inglobano "ofioliti". Quest'ultime appartengono alle Unità Liguri, che hanno un'età compresa tra 180 e 160 milioni di anni e sono costituite da lembi di rocce vulcaniche di colore scuro che un tempo formavano il fondale del paleo-oceano Ligure-Piemontese. Su queste rocce si sono poi accumulati i sedimenti calcarei di normale sedimentazione marina e terrigeni (sabbiosi e argillosi) provenienti dai continenti circostanti. Il versante Toscano è invece costituito in prevalenza da rocce arenaceo-marnose, generalmente più giovani, di età compresa tra i 60 e i 20 Ma, depositatisi sul margine continentale dell'Oceano Ligure e vanno a costituire le Unità Subliguri, tettonicamente interposte tra le Unità Toscane al di sotto e quelle Liguri al di sopra. Durante la fase di chiusura dell'oceano, nei bacini compresi fra lembi di crosta terrestre sovra-scorsa, si sono deposte le Unità Epiliguri costituite da successioni di arenarie e peliti che oggi costituiscono i principali rilievi rocciosi del Comune di Alto Reno Terme. Le unità rocciose che costituiscono questi rilievi sono le Arenarie di Porretta e Suviana (SUV), si sono sviluppate sopra un substrato costituito dai fondali dei paleo-oceani che in letteratura geologica coincide con le argille variegiate con calcari (AVC).

4.2.1 - Strutture del settore di catena

Nella Figura 14 viene riportata la carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (2016) con indicazione delle zone di risentimento delle faglie attive. Tale carta, redatta a livello regionale tenendo conto delle strutture tettoniche presenti, dei terremoti storici, dei dati strumentali degli ultimi decenni e delle manifestazioni naturali associate ai sistemi di faglie, mostra come la zona del comune di Alto Reno Terme ricada in un'area sensibile da un punto di vista tettonico-strutturale. Nell'area in esame le principali strutture attive individuate sono rappresentate da un sistema di sovrascorrimenti che si sviluppa in prossimità del crinale appenninico, al limite meridionale della regione Emilia-Romagna.

In particolare il territorio di Porretta Terme si colloca nella parte alta della dorsale appenninica in prossimità dello spartiacque che separa l'Appennino emiliano, il cui fronte, in accavallamento colla monoclinale lombardo-veneta, è localizzato nel sottosuolo padano all'incirca in corrispondenza del Fiume Po e l'Appennino toscano, caratterizzato da estesi bacini intramontani (Firenze-Prato-Pistoia, Mugello). I dati sismologici indicano che il margine appenninico-padano e la pianura emiliano-romagnola sono caratterizzati da terremoti originati dall'attività di faglie, immergenti a sud e vergenti a nord, responsabili dei forti raccorciamenti di questo settore della crosta terrestre e degli accavallamenti verso Nord.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 18 di 79
--	-----------------	-----------------

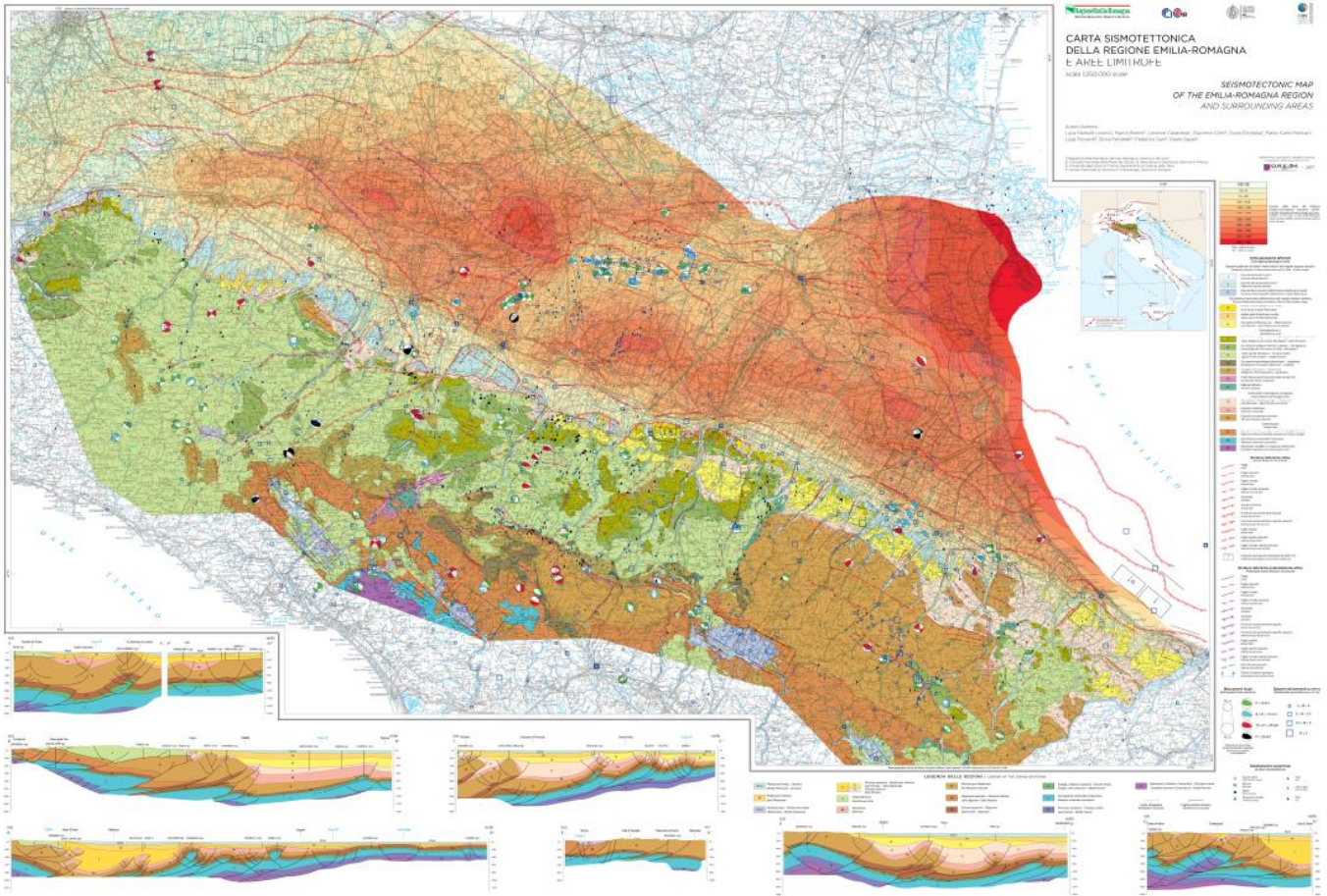


Figura 14 - Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe a cura di Luca Martelli, Mario Bonini et. al., 2016.

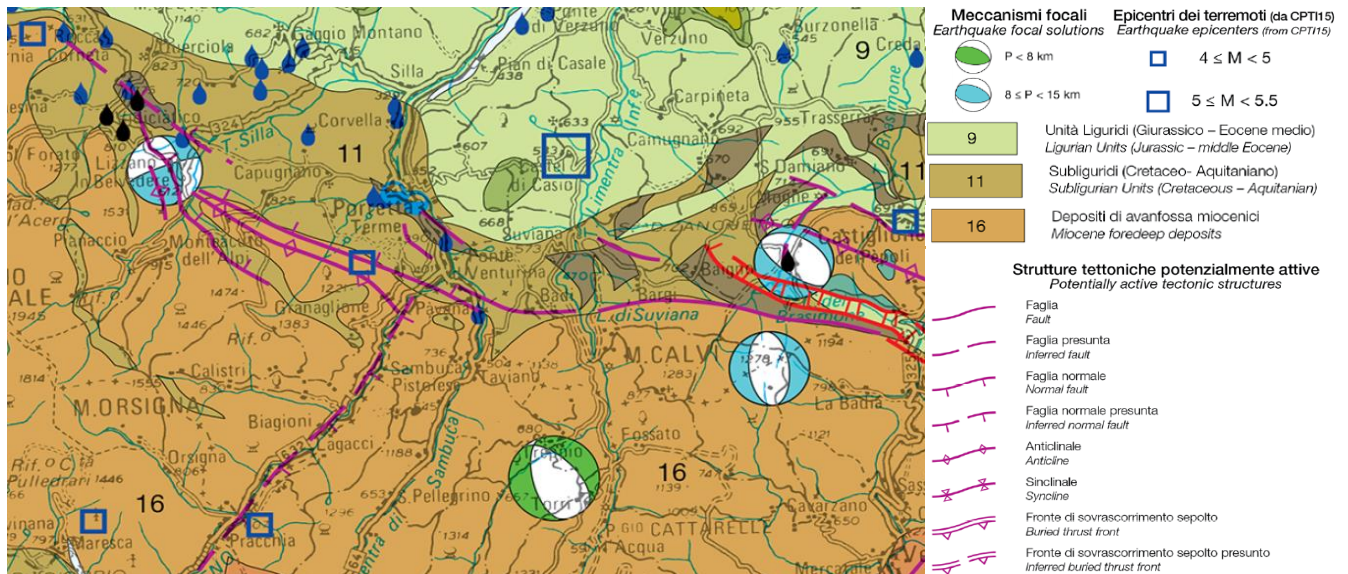


Figura 15 - Particolare area di studio da carta Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe a cura di Luca Martelli, Mario Bonini et. al., 2016.

4.3 - Sismicità storica e strumentale

La sismicità storica dell'Emilia Romagna e del Comune di Alto Reno Terme è stata consultata dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico. Il relativo database è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) "Banche dati e metodi macrosismici" (CPTI15) dell'INGV con il contributo del Dipartimento di protezione Civile.

A tal proposito si è fatto riferimento al catalogo nazionale più aggiornato denominato CPTI15 (Rovida et alii, 2019), che deriva dai precedenti Cataloghi Parametrici dei Terremoti Italiani.

A scala regionale è possibile evidenziare come l'elenco dei maggiori terremoti avvenuti dopo l'anno mille presenti una magnitudo superiore o uguale a 5.5 con un intervallo medio tra le scosse principali di circa 40 anni. Sono invece assenti terremoti fortissimi (magnitudo > 7) che caratterizzano altre parti della catena appenninica centrale e centro-meridionale. Tuttavia occorre precisare che la pericolosità sismica dell'Emilia-Romagna è anche influenzata dalle scosse forti che avvengono fuori dai confini regionali. Per mettere in evidenza il quadro complessivo della sismicità in rapporto alla geologia della zona in oggetto, gli epicentri dei terremoti con $M \geq 4$ sono riportati sulla Figura 10.

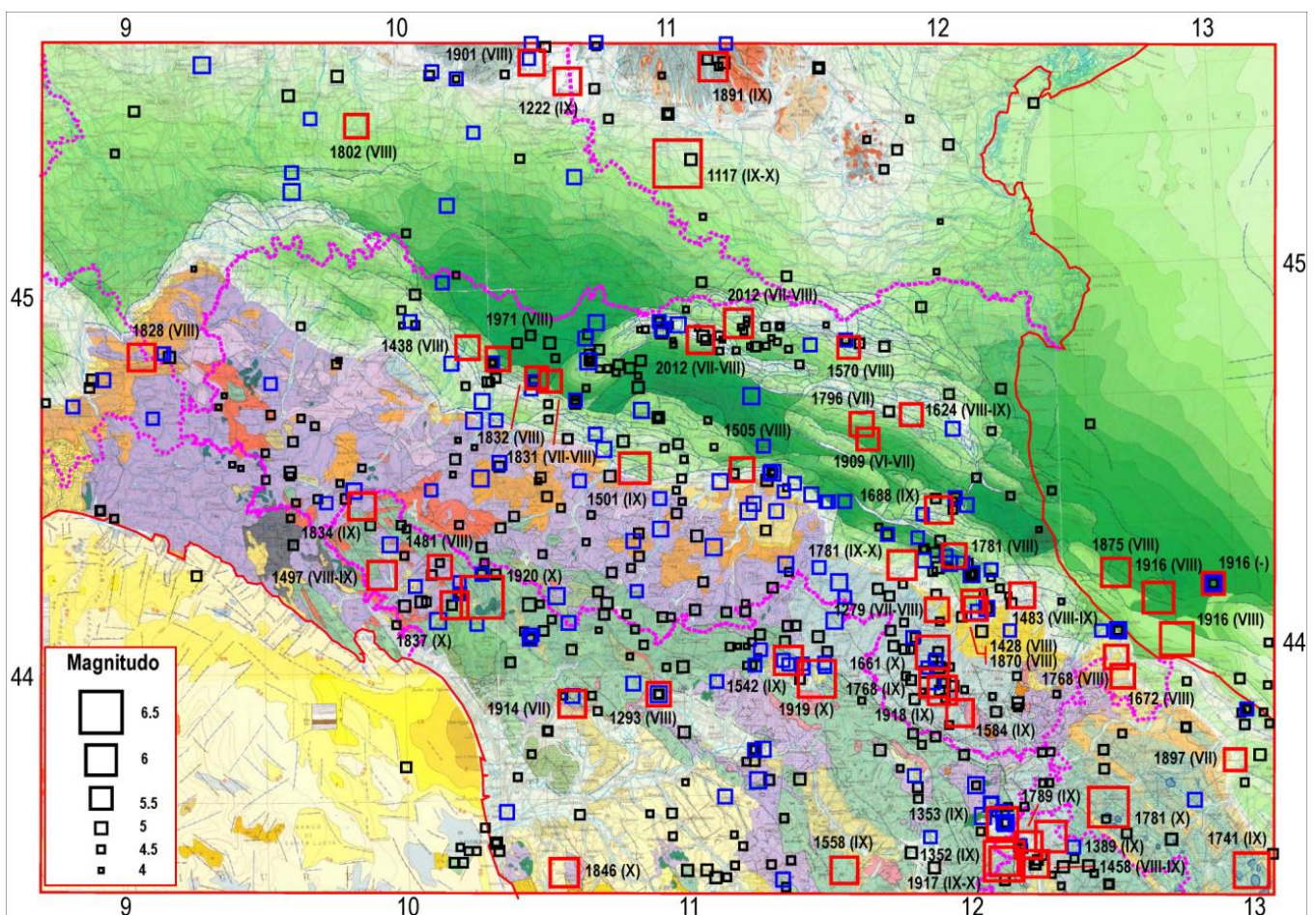


Figura 107- Sismicità storica dell'Emilia-Romagna e dintorni dall'anno 1000, riportata sulla Carta Strutturale d'Italia (Bigi et alii, 1990) Per le scosse più forti ($M \geq 5.5$, simboli rossi) è stato riportato l'anno e l'intensità MCS. I simboli blu indicano le scosse con $5.0 \leq M < 5.5$ (Catalogo CPTI15, Rovida et alii, 2019). Alcune informazioni provengono da Guidoboni e Comastri (2005) e Mariotti e Guidoboni (2006). In rosso le linee di costa e in viola i confini delle Regioni coinvolte.

Per quanto riguarda i principali aspetti geofisici, l'Appennino settentrionale è caratterizzato da un'evidente differenza di spessore crostale, valutato circa 20÷25 km nella zona interna, fino a 35÷45 km nella zona esterna (Cassinis et al., 2005) (Fig. 2.1b). Un elevato flusso di calore (>100 mW m⁻²; Della Vedova et al., 2001) e un'anomalia gravitativa di Bouguer positiva (Marson et al., 1998) caratterizzano il settore interno.

Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Alto Reno Terme (BO) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani sono state valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA. Il rapporto di (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), elaborato per conto della Protezione Civile, assegna un valore di I_{max} a ciascun comune italiano; nello specifico sono documentati eventi giungenti al 7 grado della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg, con intensità massima corrispondente ad $M = 5,5 \div 5,6$. Sebbene tale valore venga definito come "osservato", in molti casi deriva dal "giudizio esperto" degli autori, da considerazioni di coerenza con le I_{max} attribuite ai comuni vicini o dall'uso di relazioni empiriche di attenuazione dell'intensità macrosismica con la distanza dall'epicentro. Inoltre i dati considerati in quel rapporto provengono da tre fonti distinte (Boschi et alii, 1995; Camassi e Stucchi, 1997; Monachesi e Stucchi, 1997) costruite con criteri differenti (Camassi et alii, 2000). Per il comune di Alto Reno Terme (Figura 118) è stata proposta una $I_{max}=7$ superiore a quella dal catalogo macrosismico DB ($I=6$), poiché tale comune risulta vicino al terremoto del 1919 (Mugello, $I=10$) e al comune di Firenzuola, dove sono documentati risentimenti di $I=8$ per lo stesso evento.

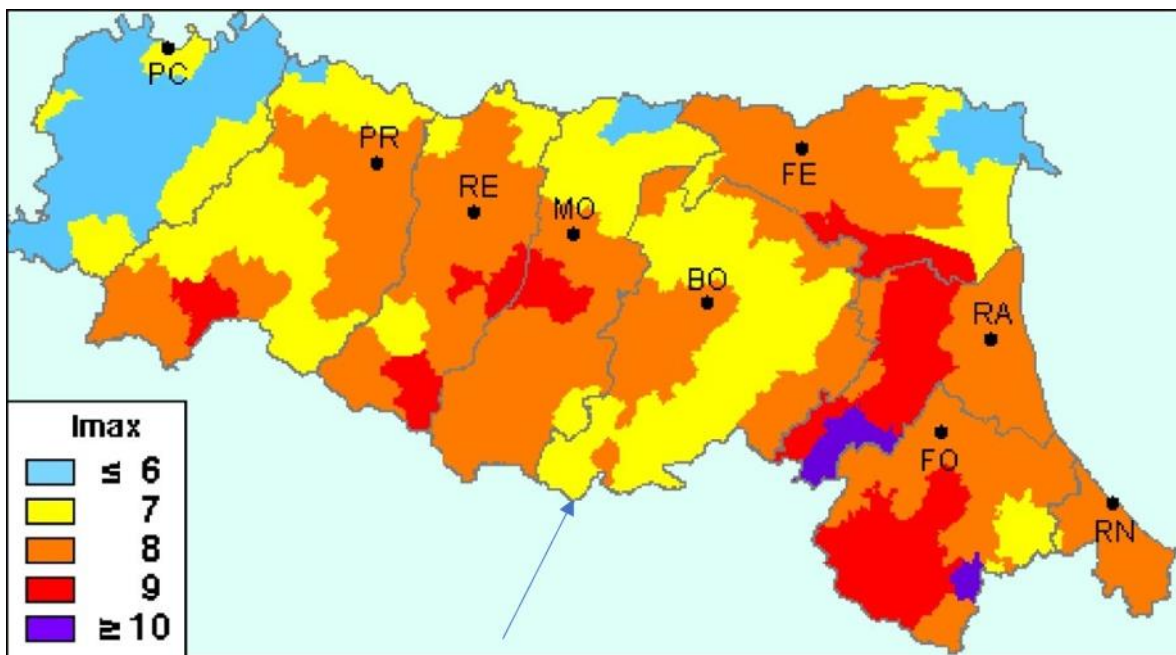


Figura 118- Carta delle intensità massime MCS stimate per l'Emilia-Romagna da Molin et alii (1996). Sono indicati i confini e le sigle dei capoluoghi di provincia (si veda il sito <http://emidius.mi.ingv.it/> per le informazioni relative ai singoli comuni). Le principali limitazioni della procedura adottata sono discusse in Camassi et alii (2000).

La sismicità del territorio comunale è rappresentata graficamente nella figura sottostante che mostra, a partire dall'anno 1000 e fino all'anno 2006, le osservazioni aventi intensità al sito, superiori a 4.5 di magnitudo e le osservazioni dei terremoti avvenute nei territori limitrofi a quello di Alto Reno Terme. In funzione di ciò vengono indicati oltre al luogo dove si è verificato il terremoto (Ax), l'anno, il mese ed il giorno in cui si è verificato (Data), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (I_0), l'intensità al sito in MCS (I), e la magnitudo momento (M_w).

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 21 di 79
--	-----------------	-----------------

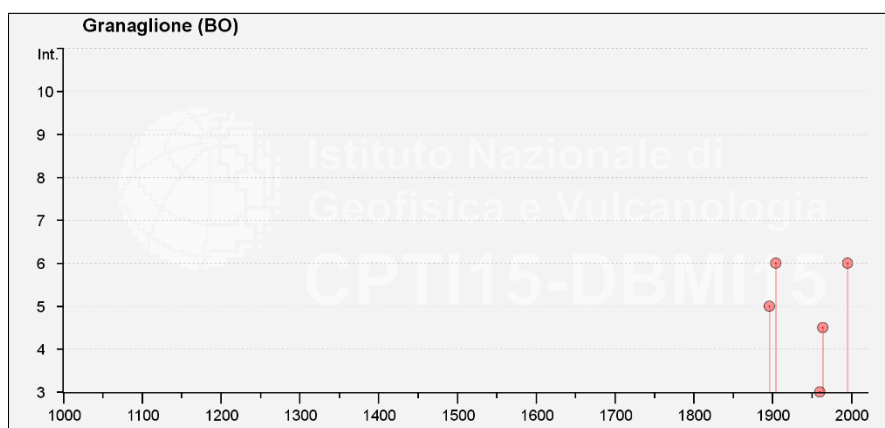


Figura 16 - Diagramma della storia sismica del Comune di Alto Reno Terme (Granaglione e Porretta Terme) (fonte "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV) e osservazioni dei terremoti, tra l'anno 1000 e l'anno 2006, con la maggiore intensità sismica per il territorio limitrofo al Comune di Alto Reno Terme (Granaglione e Porretta Terme).

File downloaded from CPT115 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of	Granaglione
PlaceID	IT_39712
Coordinates (lat, lon)	44.116, 10.959
Municipality (ISTAT 2015)	Granaglione
Province	Bologna
Region	Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes	6

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4,37
6	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4,82
3	1960 10 29 00 08 39.00	Mugello	69	7	4,91
4-5	1964 09 05 21 09	Appennino tosco-emiliano	22	5	4,35
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
6	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	56	6	4,45

Tabella 2 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2018 - Database Macrosismico Italiano 2018.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 22 di 79
--	-----------------	-----------------

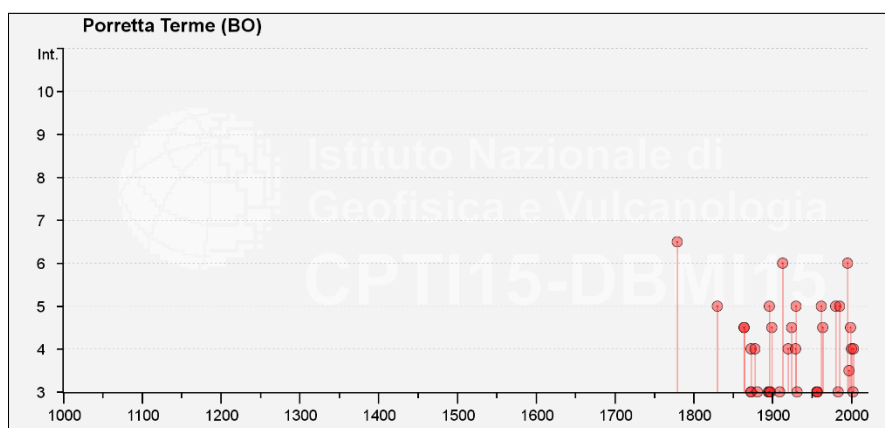


Figura 17 - Diagramma della storia sismica della frazione di Porretta Terme (fonte "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV) e osservazioni dei terremoti, tra l'anno 1000 e l'anno 2006, con la maggiore intensità sismica per il territorio limitrofo al Comune di Alto Reno Terme (Granaglione e Porretta Terme).

File downloaded from CPTI15 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of	Porretta Terme [Porretta]
PlaceID	IT_40088
Coordinates (lat, lon)	44.156, 10.976
Municipality (ISTAT 2015)	Porretta Terme
Province	Bologna
Region	Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes	53

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
2-3	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	5,22
2-3	1779 06 10 08 35	Bolognese	10		
6-7	1779 12 24 17	Appennino pistoiese	9	5-6	4,59
5	1830 01 26 04 30	Alto Reno	11	5	4,53
4-5	1864 03 15	Zocca	13	6-7	4,84
4-5	1864 12 11 17 40	Mugello	9	7	5,11
3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
4	1873 05 16 19 35	Reggiano	15	6-7	5,01
3	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5,26
2-3	1874 10 07	Imolese	60	7	4,96
2-3	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
NF	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4,84
4	1878 06 04 14 40	Bolognese	13	5	4,52
3	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5,22
NF	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4,53
3	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne

N° elaborato: 1

Pagina 23 di 79

5	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4,37
3	1896 12 08 17 06 45.00	Sestola	26	5	4,33
3	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4,59
4-5	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5,02
2-3	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4,81
F	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5,1
3	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34
NF	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5,08
6	1913 02 13 16 39	Corno alle Scale	26	5	4,18
4	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
F	1922 08 02 21 13	Frignano	21	5	4,32
4-5	1924 06 12 21 03 48.00	Frignano	25	5-6	4,46
4	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4,96
5	1930 05 24 22 02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4,91
NF	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
3	1931 09 05 01 25 53.00	Mugello	28	6	4,88
3	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4,74
2	1956 05 26 18 40	Appennino forlivese	76	7	4,99
3	1956 06 03 01 45 57.00	Appennino forlivese	62	6	4,51
3	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4,73
5	1962 05 11 01 05 31.00	Appennino bolognese	15	5-6	4,69
4-5	1964 09 05 21 09	Appennino tosco-emiliano	22	5	4,35
2-3	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5,05
5	1980 06 07 18 35 01.00	Garfagnana	102	6-7	4,64
3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
5	1985 01 23 10 10 16.55	Garfagnana	73	6	4,6
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
F	1988 02 08 11 24 46.14	Garfagnana	75	6	4,34
6	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	56	6	4,45
2	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
3-4	1997 12 24 17 53 10.12	Garfagnana	98	5	4,33
4-5	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4,67
4	2000 10 03 01 12 36.56	Frignano	62	5	4,22
NF	2002 06 08 20 13 07.10	Frignano	115	4	4,23
3	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24

Tabella 3 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2018 - Database Macrosismico Italiano 2018.

In relazione alla sismicità frequente la Figura 2112, che rappresenta la sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri della Regione Emilia-Romagna, mette in evidenza i seguenti aspetti:

- nelle Pieghe ferraresi e nella maggior parte delle zone di catena affiorante, ivi compresa l'area di Alto Reno Terme, la sismicità è prevalentemente localizzata nei primi 15 km. Attività non trascurabile si estende più in profondità fino scomparire quasi completamente oltre i 30 km;

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 24 di 79
--	-----------------	-----------------

- nella zona di Reggio Emilia-Parma la maggiore concentrazione di scosse e il massimo rilascio di energia sismica avviene tra 20 e 35 km di profondità;
- per profondità superiori a 40-50 km il numero più elevato di scosse riguarda la parte interna dell'Appennino Toscano e una fascia orientata circa NO-SE nell'Appennino umbro;
- nelle zone del Bolognese e del Riminese la sismicità strumentale è molto scarsa per tutte le fasce di profondità.

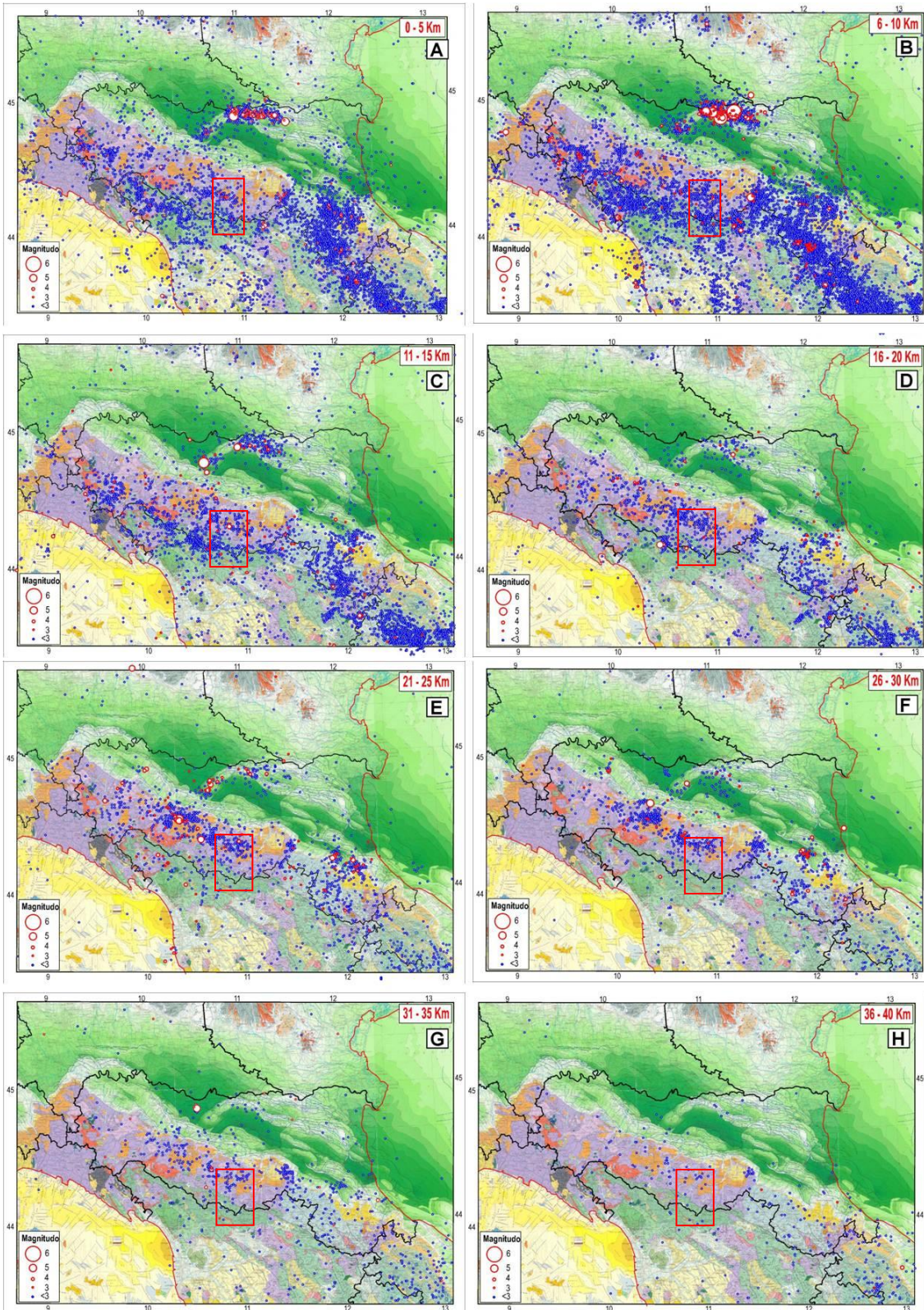


Figura 2112 - Distribuzione della sismicità strumentale nella crosta e mantello superiore, sulla base della posizione dell'ipocentro all'interno di intervalli di 5 km di profondità: a) 0-5 km, b) 6-10 km, c) 11-15km, d) 16-21 km, e) 21-25 km, f) 26-30 km, g) 31-35 km, h) 36-40 km, i) 41-45 km, l) 46-50 km m) > 50 km. . Il rettangolo rosso evidenzia l'area di interesse.

<p>Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne</p>	<p>N° elaborato: 1</p>	<p>Pagina 25 di 79</p>
---	------------------------	------------------------

Altre informazioni sulla distribuzione della sismicità strumentale dell'area di Alto Reno Terme si possono ottenere riferendosi nuovamente all'analisi riportata nel volume "Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana" il quale riporta le sezioni verticali trasversali alla catena, fino a profondità di 50 km, con ipocentri della sismicità strumentale.

La distribuzione degli ipocentri sulle sezioni longitudinali passanti in prossimità dell'area di Alto Reno Terme (Figura 132) evidenzia come l'attività sismica presenti ipocentri <15 km e come il numero di scosse diminuisca sensibilmente lungo la direzione NO-SE verso il settore Anconetano.

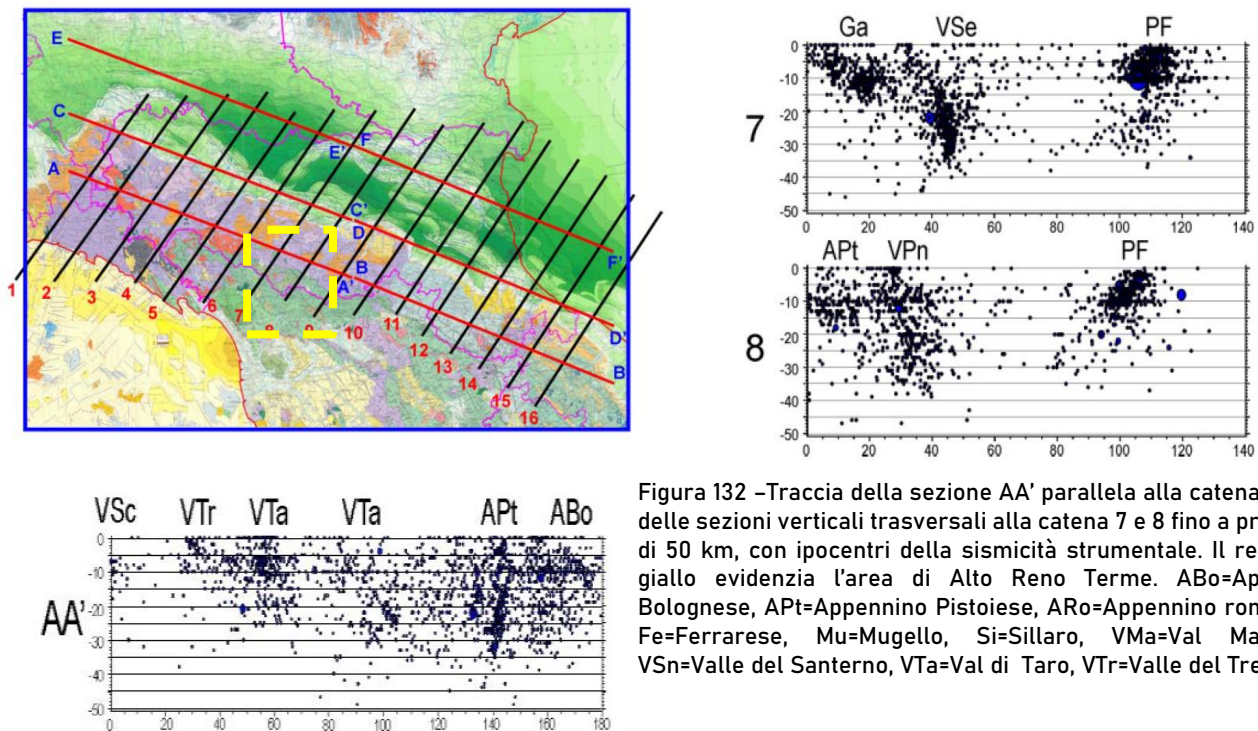


Figura 132 -Traccia della sezione AA' parallela alla catena; traccia delle sezioni verticali trasversali alla catena 7 e 8 fino a profondità di 50 km, con ipocentri della sismicità strumentale. Il rettangolo giallo evidenzia l'area di Alto Reno Terme. ABo=Appennino Bolognese, APt=Appennino Pistoiese, ARo=Appennino romagnolo, Fe=Ferrarese, Mu=Mugello, Si=Sillaro, VMa=Val Marecchia, VSn=Valle del Santerno, VTa=Val di Taro, VTr=Valle del Trebbia.

4.4 Normativa sismica di riferimento

Ordinanza P.C.M. 3274/2003

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (recepita in prima applicazione dalla Regione Emilia Romagna con DGR n. 1677 del 24/10/2005 ed aggiornata con DGR n. 1164 del 23/07/2018) è stata introdotta una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

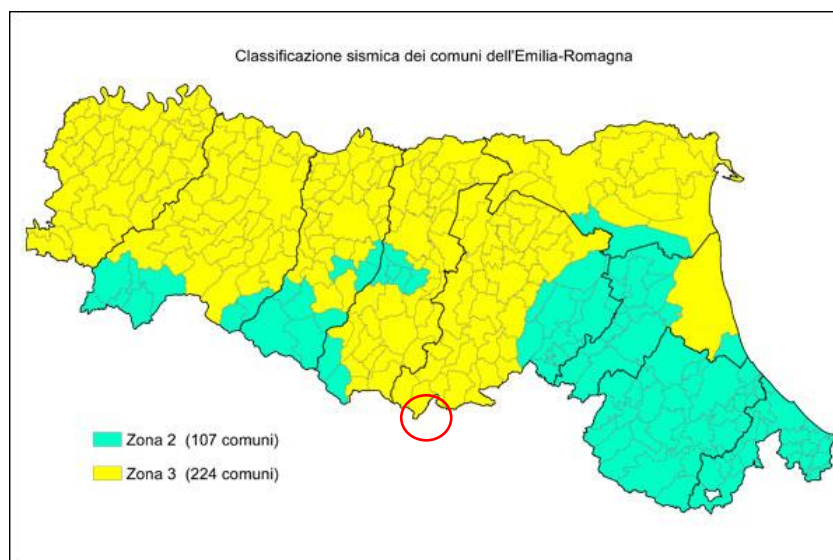
Zona	Valore di a_g
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

Tabella 4 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione a_g .

Il Comune di Alto Reno Terme, derivante dalla fusione dei precedenti comuni di Granaglione e Porretta Terme, ricade in "zona sismica 3" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 26 di 79
--	-----------------	-----------------

categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , pari a $a_g=0.15g$ (Figura 23143).



Provincia	Codice Istat	Denominazione	Classificazione
Bologna	37062	Alto Reno Terme	3

Allegato A - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA

Figura 2314 – Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna Ordinanza del P.C.M. n. 3274/2003, DGR 1164/2018. In evidenza il comune di Alto Reno Terme (BO).

Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza P.C.M. 35149/2006 ha indicato i "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A tale ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, dove per ogni comune è rappresentata una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni. La Mappa di Pericolosità sismica evidenzia come il territorio del Comune di Alto Reno Terme sia compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}) compresi tra 0.193g e 0.200g (Figura 24). Di fatto la mappa della pericolosità sismica evidenzia come la pericolosità sismica decresce in modo circa costante verso nord, allontanandosi maggiormente dall'Appennino tosco-romagnolo caratterizzato da maggior pericolosità sismica ($a_{max} > 0.2g$).

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 27 di 79
--	-----------------	-----------------

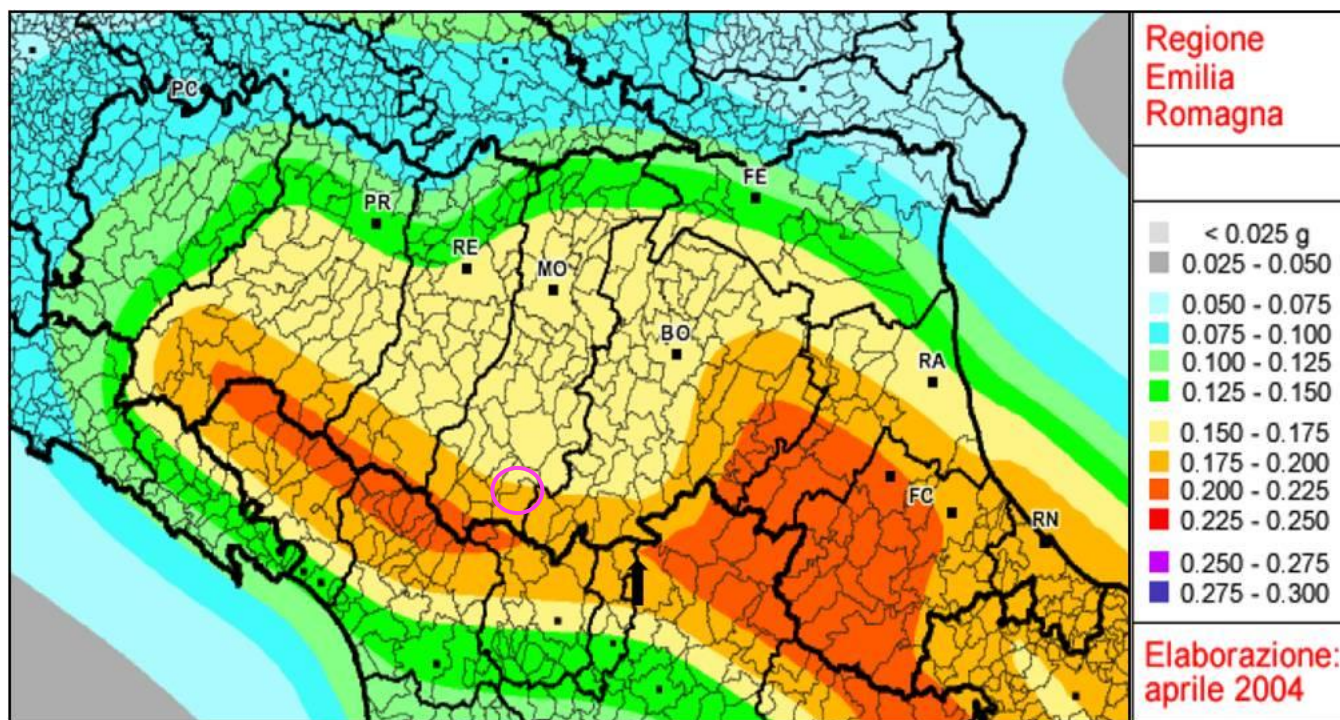


Figura 24- Mappa della Pericolosità sismica dell'Emilia Romagna e delle aree limitrofe in termini di accelerazione massima del suolo di riferimento (a_{max}) (classi con intervalli di 0.025), per TR = 475 anni e smorzamento del 5% (OPCM 3519/2006) (g = accelerazione di gravità) Le aree a diverso a_{max} sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi. Il cerchio magenta indica il Comune di Alto Reno Terme. Fonte INGV (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>).

Del. Assemblea Legislativa 112/2007

La Regione Emilia Romagna ha elaborato ed approvato (con Delibera Assemblea Legislativa n. 112 del febbraio 2007) gli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" in coerenza con la L.R. n. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio". In All. A4 "Spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento", sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in funzione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per ogni comune della Regione. Per il Comune di Alto Reno Terme risulta $a_{refg} = 0.193 \div 0,200$ (

Tabella 5).

BO	Granaglione	0.200
BO	Porretta Terme	0.193

Tabella 5 -Valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in funzione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}). In evidenza il Comune di Alto Reno Terme (fonte: tabella 2 allegato 4 DAL 112/2007).

4.5 Effetti di sito

Il fenomeno di vibrazione prodotto da un evento sismico in un sito è il risultato della propagazione a distanza dalla sorgente di onde di volume che in profondità attraversano ammassi di roccia lapidea e in superficie interessano formazioni di terreni sciolti. I caratteri del moto sismico in un determinato sito dipendono quindi sia dal meccanismo focale del terremoto sia dalle proprietà dei materiali interessati dalla propagazione delle onde sismiche. La varietà dei meccanismi di generazione e propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la natura granulare e multifase dei terreni rendono dunque estremamente difficoltosa la caratterizzazione del comportamento meccanico di un deposito soggetto ad azioni sismiche. Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalla complessa interazione tra le onde sismiche e le particolari condizioni locali (caratteristiche

morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno e ammassi rocciosi e proprietà fisico-meccaniche dei materiali che li costituiscono).

Questa interazione determina una specifica risposta sismica locale (insieme delle modifiche in termini di ampiezza, frequenza e durata che un moto sismico subisce propagandosi attraverso un deposito di materiali sciolti e degli spostamenti indotti dal moto ondoso nel deposito stesso) rispetto a quella che si avrebbe in un sito di riferimento ideale (rigido con piano campagna orizzontale). Siti con differenti condizioni locali manifestano quindi differenti risposte sismiche ad uno stesso terremoto e uno stesso sito risponde in maniera diversa a terremoti differenti. Le modifiche del moto sismico prodotte dalle condizioni locali vengono indicate come effetti di sito. Gli effetti di sito possono riguardare sia i terreni a comportamento sismico stabile, i quali sotto le sollecitazioni dinamiche si mantengono lontani dalla rottura e sono soggetti a deformazioni permanenti limitate, sia i terreni a comportamento instabile, che viceversa giungono a rottura e si deformano permanentemente in maniera significativa. Nel primo caso si parla di effetti stratigrafici (amplificazione sismica dovuta a fenomeni di risonanza tra onde sismiche e terreni) e topografici (modifiche del moto sismico causate da fenomeni di focalizzazione delle onde a causa delle irregolarità del terreno) e risulta oggetto di studio l'entità dell'amplificazione che le onde possono subire propagandosi verso la superficie, ma non il grado di sicurezza rispetto ad una eventuale condizione di rottura. Nel caso di terreni a comportamento instabile, per effetti di sito si intendono invece i cedimenti per liquefazione ed addensamento ed i fenomeni di instabilità dei versanti, e il compito preminente della verifica sismica risulta essere la valutazione del grado di sicurezza nei riguardi della rottura.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 29 di 79
--	-----------------	-----------------

5 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA URBANIZZATA DI GRANAGLIONE, PONTE DELLA VENTURINA, BORGO CAPANNE, PORRETTA TERME, CASTELLUCCIO

5.1 – Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio comunale di Alto Reno Terme (BO) ricade nel foglio n. 251 PORRETTA TERME della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Nello specifico il territorio dell'ex Comune di Porretta Terme si colloca nell'alto bacino del Reno, immediatamente a nord del crinale appenninico. Questo settore dell'Appennino è caratterizzato da un'estrema varietà e deformazione delle unità geologiche che lo costituiscono.

Il versante emiliano dell'Appennino è per lo più costituito da argille e calcari molto deformati (AVC), che inglobano lembi di rocce vulcaniche di colore scuro, verdastre e nerastre, denominate, "serpentiniti" e/o "ofioliti". Questo complesso di rocce si è formato a partire da circa 180-160 milioni di anni fa in un bacino marino ampio e profondo collocato molto più ad ovest: l'Oceano Ligure. Per questo motivo queste rocce sono note anche come "Liguridi", "unità liguri" o "complesso liguride". Il versante toscano è invece prevalentemente costituito da rocce arenacee e marnose, generalmente più giovani, di età compresa per lo più tra 60 e 20 milioni di anni (Oligocene-Miocene), depostesi su un substrato di rocce marnose e calcaree che, grosso modo in corrispondenza dell'attuale costa toscana, costituiva il margine continentale dell'Oceano Ligure.

Il territorio dell'ex Comune di Granaglione è caratterizzato prevalentemente, nella porzione più a monte, da arenarie feldspatico-micacee, generalmente molto compatte e ben stratificate con banchi di spessore variabile da 50-60 cm a oltre 2.0 m; nella parte alta degli affioramenti, si intercalano a marne fogliettate, a frattura scheggiata ed accentuata

Queste rocce costituiscono il substrato autoctono di questa parte di appennino e nel territorio di Granaglione immergono verso Nord-Est, al margine settentrionale della loro area di affioramento, e a Sud-Sud Ovest, in quella più meridionale, dando luogo ad un anticlinale con asse Ovest Nord Ovest-Est Sud Est parzialmente rovesciata.

La loro copertura detritica eluviale è rappresentata da terreni sabbiosi e sabbioso argillosi, con spessori talora rilevanti sui pianori, nelle aree modellate ad impluvio e alla base dei versanti.

I Terreni caotici denominati Argilliti variegata con calcari, affiorano subito a Nord dei rilievi appenninici (Borgo Capanne-Varano). Essi sovrastano stratigraficamente le Arenarie del Macigno e sono rappresentati da marne argillose e marne calcaree, intensamente fratturate secondo scaglie assai minute e presentando stratificazione assente. Il comportamento fisico di questi terreni risulta quello tipico dei depositi argillosi; infatti possono alterarsi in presenza di acqua e deformarsi plasticamente nelle coperture superficiali.

Al contatto fra le arenarie e le argille-argilliti, soprattutto nella zona di Borgo Capanne e nella parte alta di Ponte della Venturina, è presente un'ampia fascia di materiali detritici, prodotti dall'alterazione dei rilievi sovrastanti, che sono andati a sovrapporsi ad esse per fenomeni gravitativi. Questo detrito è composto generalmente da grossi blocchi arenacei, di diametro talora elevato (fino al metro), mescolati a ciottoli e sabbie argillose. Nel complesso la coesione è piuttosto bassa, mentre, data l'elevata granulometria.

A valle degli abitati di Ponte della Venturina e Porretta Terme, sono presenti i depositi alluvionali relativamente più recenti (AES8). I depositi alluvionali in narrativa sono organizzati in cicli sedimentari costituiti da ghiaie sabbiose - ghiaie embriciate alla base che passano a sabbie limose e quindi a limi sabbiosi verso l'alto. Tali corpi sedimentari nel settore di fondovalle del F. Reno costituiscono terrazzi con spessori mediamente compresi tra 6/7 e 10/20 m (nella porzione centrale dell'abitato di Porretta Terme alla confluenza con il Rio Maggiore).

Le unità litostratigrafiche presenti in corrispondenza degli abitati analizzati, nel territorio Comunale di Alto Reno Terme sono schematicamente riassunte, dall'alto verso il basso in senso stratigrafico, come di seguito esposto:

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 30 di 79
--	-----------------	-----------------

SUCCESSIONE NEOGENICA – QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8a - Unità di Modena

Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati.

UNITÀ TOSCANE

SU - Arenarie di Suviana

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati gradati prevalentemente spessi e molto spessi. Le arenite alla base degli strati sono da medie a grossolane (localmente molto grossolane) con composizione feldspatolitica, tetto marnoso nel quale sporadicamente si trovano intercalati sottilissimi livelli conglomeratici a geometria lentiforme (A/P>>1). Paleocorrenti dai quadranti occidentali. Depositi torbiditici di lobo e di frangia di lobo. Contatto inferiore discordante su CIV ed MMA, netto su BGN1, BGN. Potenza massima 150 m. (Burdigaliano - Langhiano)

SUVa - Arenarie di Suviana - litofacies a breccie poligeniche

Breccie poligeniche, di colata sottomarina, a matrice argillitica scura o localmente marnosa, grigie in superficie fresca e nocciola in superficie alterata, con scarso sviluppo della foliazione, e clasti di argilliti e calcari micritici grigi (superficie fresca) o bianco-giallastri (superficie alterata), di origine ligure e subligure. Localmente sono presenti clasti decimetrici di siltiti, arenite e marne calcaree, queste ultime di età oligo-miocenica.

Presenti nella parte medio-bassa della formazione. Potenza massima di circa 150 m.

(Burdigaliano - Langhiano)

MMA - Marne di Marmoreto

Marne, marne siltose e marne calcaree, grigie, a stratificazione mal visibile con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione. Nella parte alta è stata cartografata la litofacies pelitico-arenacea (MMAc), presente localmente in prossimità del contatto con le Arenarie di Suviana, in cui ai sedimenti marnosi si intercalano torbiditi arenaceo-marnose o siltitico-marnose generalmente di spessore variabile dai 5 ai 20 cm. La parte basale della formazione è talvolta caratterizzata da intercalazioni di breccie (talora grossolanamente stratificate) con clasti argillitici e calcarei, di origine ligure e/o subligure, immersi in una matrice argillitica scura (litofacies a breccie del Rifugio Battisti -MMAa).

FIU - Argille di Fiumalbo

Argille, argilliti e argilliti-marnose grigio-scure, verdastre e rosse con stratificazione poco evidente, talora con intercalazioni di sottili strati gradati di arenite finissime e fini, grigio-verdastre; nella parte alta della formazione prevalenza di argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e arenite fini in strati sottili. In prossimità del contatto con le formazioni sottostanti sono presenti breccie argillitico-calcaree a elementi liguri originate da debris flow (litofacies a breccie di Riccovolto - FIUa)

(Bartoniano - Oligocene inf.).

AVC - Argilliti variegata con calcari

Argilliti, talora marnose, bruno verdastre o grigio-verdi, talora in bande blu, nocciola in superficie alterata, in strati sottili con intercalate calciliti grigie (bianco-giallastre in superficie alterata), in strati da sottili a molto spessi, a volte marnose al tetto, e siltiti e arenarie fini in strati sottili.

Rapporto A/C >1. Strati calcareo-marnosi grigi, biancastri se alterati, da spessi a molto spessi, con base calcarenitica fine; breccie a matrice argillosa bruna a prevalenti clasti di calcari tipo palombini; argilliti grigio-piombo in livelli di spessore decimetrico alternate a calcari silicei grigio- bluastri in strati sottili e medi. Localmente è stata distinto un intervallo, spesso 80-100 m, costituito prevalentemente da torbiditi, di spessore variabile dal 50 cm a 3-4 m, a base calcarenitica fine e tetto marnoso molto sviluppato (litofacies calcareo-marnosa - AVCd). Nella parte bassa della formazione sono state talora distinte lenti di breccie poligeniche con clasti prevalentemente ofiolitici e più subordinatamente calcarei e diasprini (litofacies a breccie ofiolitiche - AVCa). Localmente sono presenti inclusi ofiolitici (of) di breccie poligeniche ad elementi ofiolitici, breccie di oficalciti e gabbri (bo) e basalti brecciati (Bb). Deformazione tettonica molto intensa che dà origine ad una foliazione ben marcata estremamente pervasiva nelle argilliti, mentre i livelli più competenti si presentano sottoforma di boudins e cerniere sradicate; solo molto raramente la stratificazione originale è preservata. Deposito di ambiente marino profondo. Contatto inferiore non affiorante; interdigitazioni con BAP. (*Cretaceo inf. - Eocene*)

AVCd - Argilliti variegate con calcari - litofacies calcareo marnosa

Intervallo, spesso 80-100 m, costituito prevalentemente da torbiditi, di spessore variabile dal 50 cm a 3-4 m, a base calcarenitica fine e tetto marnoso molto sviluppato. (*Cretaceo inf. - Eocene*)

bo - Breccie Ofiolitiche

L'assetto morfologico del territorio comunale è condizionato dalla natura e dalla resistenza dei materiali affioranti. Nelle zone in cui dominano le formazioni arenacee, la topografia è aspra ed accentuata, con pendii scoscesi, talora sub verticali, specie dove gli strati affiorano a reggipoggio e con giacitura sub orizzontale.

Dove affiorano i terreni argillosi e argilloso marnosi la morfologia è invece più dolce, con incisioni piuttosto moderate.

Laddove il substrato è costituito dai litotipi arenaceo-pelitici tra i dissesti prevalgono le frane per scivolamento in blocco e per crollo (alla base delle pareti più scoscese); nelle aree invece dove il substrato è costituito da argilliti, tra i dissesti si osservano molte frane attive in s.s., principalmente di tipo complesso o per colamento di fango, e numerose aree interessate da ruscellamento superficiale, soil creep e soliflusso.

Le frane si verificano ad elevata inclinazione (generalmente oltre i 15°), dove è maggiore il contenuto in argilla e la presenza di umidità.

5.2- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Granaglione

L'abitato di Granaglione si sviluppa lungo le pendici alla sinistra idrografica del fiume Reno. Risulta adagiato a mezza costa nella fascia altimetrica compresa indicativamente fra 760 m e 800 m s.l.m.

Il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di una topografia variabile, dove si a zone più rilevate si alternano bassi morfologici per lo più dovuti all'incisione fluviale del versante, testimoniata dalla presenza di faccette triangolari. Infatti per gran parte dell'area affiora la Formazione di Castiglione dei Pepoli sia nel suo membro arenaceo-pelitico (CDP2), che solamente arenaceo (CDP3). In quantità minore affiorano le Marne di Civago, grazie a sovrascorrimenti che ne permettono l'accavallamento sul CDP3. Nella parte Occidentale dell'abitato sono presenti depositi di versante costituiti da sabbie limose e miscele di sabbia e limo, mentre gran parte dell'area è occupata da depositi di frana.

5.3- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Ponte della Venturina

Ponte della Venturina è una frazione dell'ex Comune di Granaglione di 575 abitanti, compresa indicativamente fra le quote topografiche di 400 m e 500 m s.l.m. Sorge appena a valle della confluenza del torrente Limentra di Sambuca col fiume Reno, nella cui prossimità si trova una piccola area verde. Il ponte che attraversa il Reno costituisce il confine con la regione Toscana. È attraversata dalla linea ferroviaria Pistoia-Bologna.

La litologia prevalente è costituita dalle Argilliti variegate con calcari (AVC) ricoperte per buona parte da depositi di frana. Spostandosi verso Ovest troviamo anche le Argilliti variegate con calcari in litofacies a breccie ofiolitiche (AVCa). Lungo il fiume Reno sono invece presenti le alluvioni costituite da depositi ghiaioso- limosi.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 32 di 79
--	-----------------	-----------------

5.4- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Borgo Capanne

L'abitato di Borgo Capanne è situato a NW di Ponte della Venturina, alla base delle pendici del Parco regionale del corno alle Scale, indicativamente alle quote topografiche comprese fra i 580 m e i 660 m s.l.m.

Per gran parte dell'area affiorano le AVC ricoperte da depositi di frana, mentre nella parte meridionale si ritrovano depositi di versante costituiti da sabbie limose e miscela di sabbia e limo derivanti dalla Formazione di Castiglione dei Pepoli che affiora a sud-ovest dell'abitato.

5.5- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Porretta Terme

Porretta è la frazione più popolosa e la sede comunale del comune di Alto Reno Terme. Si trova tra i 340 e i 460 m.s.l.m., sulla sinistra idrografica del fiume alla confluenza del torrente Rio Maggiore, 1 Km ad Est di Ponte della Venturina.

Lungo il Fiume Reno si trovano depositi quaternari dell'Unità di Modena, mentre nelle zone più distanti dal fiume affiorano le AVC in gran parte ricoperte da depositi di frana. Nella parte meridionale è presente un accavallamento tettonico che mette a contatto i depositi alluvionali e le AVC con le arenarie di Suviana e ciò realizza uno scalino morfologico a causa del forte contrasto di competenza presente fra le arenarie e le argilliti/depositi alluvionali. Nella porzione centrale affiora inoltre la Formazione delle Argille di Fiumalbo e limitatamente a monte dell'affioramento delle arenarie di Suviana, è presente la formazione delle Marne di Marmoreto. Inoltre in corrispondenza della confluenza fra il Rio Maggiore e il fiume Reno si ha la presenza di una conoide alluvionale oggi ricoperta da infrastrutture e abitazioni.

5.6- Descrizione dell'ambito urbanizzato di Castelluccio

Castelluccio è una piccola frazione di Alto Reno Terme, si trova a sud-ovest di Porretta Terme su un alto morfologico sugli 800 m di quota.

L'abitato di Castelluccio poggia quasi interamente sulle argille variegata con calcari (AVG) che conferiscono al rilievo una morfologia caratterizzata da variazioni di pendenza gradualmente, nella parte centrale dell'area è presente un piccolo affioramento di Breccie Ofiolitiche (bo). A sud un sovrascorrimento tettonico mette in contatto le AVC con il membro arenaceo della Formazione di Castiglione dei Pepoli (CDP3).

6 - INSTABILITÀ DI VERSANTE DEI TERRENI DI COPERTURA NELLE AREE URBANIZZATE DI GRANAGLIONE, PONTE DELLA VENTURINA, BORGO CAPANNE, PORETTA TERME, CASTELLUCCIO

6.1- Tipologia di dissesto

La maggioranza delle frane esistenti sul territorio emiliano-romagnolo prendono origine da formazioni argillose strutturalmente complesse. Questi corpi di frana rappresentano, dal punto di vista litologico, un compendio delle varie formazioni che affiorano sul versante (spesso più di una). La loro struttura interna è spesso del tipo *blocks-in-matrix* e le proprietà geomeccaniche sono loro conferite principalmente dalla matrice argillosa.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alle forme e processi geomorfologici legati all'instabilità di versante, questi sono stati analizzati e cartografati relativamente al loro stato di attività:

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 33 di 79
--	-----------------	-----------------

- stato attivo, qualora siano presenti evidenze morfologiche di movimento che, non avendo esaurito la loro evoluzione, possono considerarsi recenti, riattivabili nel breve periodo con frequenza e/o con carattere stagionale;
- stato quiescente, qualora siano presenti evidenze morfologiche che, non avendo esaurito la loro evoluzione, hanno la possibilità di riattivarsi.

L'area di possibile evoluzione del dissesto è stata valutata coerentemente con la tipologia del fenomeno e con le ipotesi cinematiche ad esso connesse. Le frane presenti nel territorio in studio sono essenzialmente del tipo a cinematica lenta (scorrimenti e colate) e quindi le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze dei movimenti di versante stessi o di natura complessa nelle quali è difficile stabilire la tipologia di movimento prevalente. Per le aree in dissesto, cartografate come frane attive e frane quiescenti si è tenuto conto delle relative aree d'influenza, riferite alle aree di possibile evoluzione del fenomeno. Le diverse tipologie franose rilevate sono state quindi riaggregate in gruppi in funzione del cinematismo prevalente e dei caratteri morfodinamici (frane per colamento, scorrimento, complesse..).

Le grandi frane sono per lo più di tipo complesso, abbinando movimenti roto-traslativi (che prevalgono nella zona di coronamento) a lunghe colate che generalmente raggiungono la base del versante. Nella zona mediana e inferiore accade frequentemente che una completa deformazione del materiale (tipico delle colate) si accompagni ad un movimento di scivolamento alla base (per cui può risultare talvolta appropriato il termine di *mudslide* proposto da Hutchinson,1988). Nella fase di riattivazione di antiche colate (caso molto frequente), il corpo di frana procede per lungo tempo verso valle scivolando lentamente sulla sua base, con un meccanismo di "scivolamento traslativo" e minori deformazioni interne. La classificazione delle frane sopra riportata è inoltre arricchita da indicazioni sulla velocità dei movimenti che può essere messa in relazione con il danno prodotto (Tabella 6).

Classe	Descrizione	Danni osservabili	Velocità	(m/s)
7	<i>Estremamente rapido</i>	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.	5 m/s	5
6	<i>Molto rapido</i>	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	3m/min	5×10^{-2}
5	<i>Rapido</i>	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.	1.8 m/h	5×10^{-4}
4	<i>Moderato</i>	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.	13 m/mese	5×10^{-6}
3	<i>Lento</i>	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se il movimento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	1.6 m/anno	5×10^{-8}
2	<i>Molto lento</i>	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	16 mm/anno	5×10^{-10}
1	<i>Estremamente lento</i>	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni		

Tabella 6 - Scala di intensità delle frane basate sulla velocità e sul danno prodotto (Cruden e Varnes, 1996).

Dalla tabella della scala di intensità delle frane è possibile notare come delle sette classi di movimento, solo la prima ("frane estremamente lente") non è caratterizzata da significativi danni alle strutture. Inoltre, per le classi da 1 a 3 ("frane lente") sono possibili lavori di rinforzo e di stabilizzazione del pendio. Invece, per le classi da 5 a 7, non solo sono possibili danni alle strutture, ma è messa in pericolo la tessa vita umana. Ne consegue che in questi casi è necessario attuare interventi di salvaguardia della incolumità delle persone.

Una stima approssimata della velocità può essere ottenuta dalla tipologia del fenomeno e dal suo stato di attività (Varnes, 1978) (Tabella 7).

	CLASSI DI VELOCITÀ						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>crollo</i>							

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 34 di 79
--	-----------------	-----------------

<i>ribaltamento</i>								
<i>scivolamento di roccia (neoformazione)</i>								
<i>scivolamento di roccia (riattivazione)</i>								
<i>scivolamento di detrito</i>								
<i>scivolamento di terra (neoformazione)</i>								
<i>scivolamento di terra (riattivazione)</i>								
<i>espansione laterale in roccia</i>								
<i>espansione laterale di blocchi di roccia sopra livello duttile</i>								
espansione laterale per liquefazione								
colamento in roccia								
colamento di detrito								
colamento di terra coesiva (neoformazione)								
colamento di terra coesiva (riattivazione)								

Tabella 7 - Velocità delle frane (riferita alle classi proposte da CRUDEN & VARNES, 1996) in base alla tipologia del movimento, al materiale coinvolto e allo stato di attività. N= neoformazione; R = riattivazione.

Altro approccio rispetto alla velocità è quello proposto, in Canuti & Casagli (1996), in base alla tipologia dell'evento franoso, al materiale coinvolto ed al suo stato di attività (neoformazione o riattivazione) (Tabella 8).

Tipologia	Crollo	Scivolamento					Colamento		
Materiale	Roccia	Roccia		Detrito	Terra		Roccia	Detrito	Terra
Stato di attività	-	N	R	-	N	R	-	-	-
Classe di velocità	6-7	5-6	1-5	1-6	5-6	1-5	1-2	1-7	1-4

Tabella 8 - Velocità delle frane, riferita alle classi proposte da Canuti & Casagli (1996) (tab. 7) in base alla tipologia del movimento, al materiale coinvolto ed allo stato di attività (N=neoformazione; R=riattivazione).

La relazione fra tipo di movimento e velocità è abbastanza evidente: una colata di detrito a rapida evoluzione o un crollo di roccia in genere sono molto rapidi o estremamente rapidi, mentre una colata di terra è di solito lenta o molto lenta. Tranne alcune eccezioni discusse da Hutchinson (1987), rispetto allo stato di attività, un movimento di neoformazione (frana di prima generazione) in genere è più veloce della riattivazione di uno scivolamento pre-esistente, in quanto nel primo caso siamo in presenza di un materiale a rottura *fragile* mentre nel secondo a comportamento *duttile*, in quanto la resistenza al taglio è prossima o corrispondente ai valori residui. Tale differenza è tanto più marcata, quanto più elevata è la fragilità del materiale.

Le tipologie di movimento dominanti nel territorio in esame risultano essere i colamenti e i movimenti complessi in accordo con le caratteristiche litologiche e litotecniche del territorio appenninico toscano-bolognese, dominato da alternanze tra rocce lapidee (arenarie e calcareniti in prevalenza) e peliti o peliti marnose, conseguenti alla origine torbidaica di gran parte delle unità geologiche dell'Appennino settentrionale; e le tipologie complesse soprattutto in corrispondenza dei Flysch Liguri, caratterizzati da numerose frane profonde impostate su alternanze arenitico-pelitiche frequentemente fratturate e favorevoli allo sviluppo di frane costituite da associazione tra scivolamento rotazionale e colamento. Relativamente ai colamenti che solitamente si impostano su litologie prevalentemente argillose (prevalentemente appartenenti ai Domini liguri e subliguri), risultano presenti ma in minor entità. In merito alle frane di tipo per crollo occorre precisare che quest'ultime sono particolarmente frequenti sia per la presenza di superfici verticali e sub-verticali sia per la minima presenza di superfici prive di vegetazione. I dissesti interessano prevalentemente le coperture detritiche presenti in maniera diffusa nell'abitato di Granaglione ed a monte dell'abitato di Borgo Capanne. Tali coperture sono soggette a mobilitazione soprattutto in seguito a fenomeni piovosi intensi e/o prolungati, prevalentemente nelle zone più acclivi o nelle concavità dei versanti, dove il maggior richiamo d'acqua determina una più efficace saturazione del materiale. La superficie di movimento si imposta di solito al contatto fra substrato inalterato e la copertura soprastante (intesa come deposito sciolto di natura prevalentemente coesiva e/o incoerente e parte di substrato alterato e fratturato): il detrito, saturandosi a causa delle precipitazioni, tende ad appesantirsi e a sviluppare un aumento delle pressioni neutre, con conseguente riduzione della resistenza al taglio e aumento della propensione all'instabilità.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 35 di 79
--	-----------------	-----------------

6.2- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Granaglione

Gran parte dell'area è occupata da frane quiescenti complesse dovute a movimenti per scorrimento e/o ribaltamento in corrispondenza degli affioramenti del membro arenaceo-pelitico della Formazione di Castiglion dei Pepoli. In questo caso gioca un ruolo molto importante la pendenza degli affioramenti che per buona parte dell'area supera i 15°.

6.3- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Ponte della Venturina

Nel dettaglio si osserva come i principali fenomeni d'instabilità geomorfologica che interessa l'abitato di Ponte della Venturina hanno sede preferenzialmente nelle aree in cui è preponderante la componente argillosa ed argillitica (formazione delle Argilliti variegata con calcari - AVC) che infatti risulta in gran parte ricoperta da depositi di frana quiescente complessa per combinazione di colamenti e scorrimenti. In particolari condizioni d'alterazione e d'imbibizione, le argilliti tendono a muoversi con una certa predisposizione anche in situazioni di modesta acclività. La causa principale dell'instabilità è, come accennato, da ricercarsi presumibilmente nell'alta percentuale di acqua che satura l'intero complesso e di una insufficiente regimazione delle acque di scorrimento superficiale. Ne consegue un appesantimento e rigonfiamento delle argille in punti diversi che aumentano la sua plasticizzazione e diminuiscono le sue caratteristiche meccaniche peggiorandone le condizioni di stabilità. Questi lenti movimenti del terreno (di difficile delimitazione) a livello morfologico sono per la maggior parte evidenziati da piccoli cedimenti del terreno che formano ondulazioni e gibbosità nel pendio soprattutto nei primi metri di profondità.

6.4- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Borgo Capanne

A Borgo Capanne buona parte delle AVC è interessata da frane quiescenti per scivolamento in blocco ma sono presenti anche depositi di frana attiva complessa e quiescente complessa per combinazione di scivolamenti e colate.

6.5- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Porretta Terme

Per quanto riguarda l'area di Porretta Terme dove affiorano le AVC, è per gran parte ricoperta da depositi di frana quiescente, localmente da depositi di frana attiva sia complessa che per scivolamento e colamento di fango. Un'unica frana di crollo è presente nella parte meridionale dove affiorano le Arenarie di Suviana.

6.6- Descrizione del dissesto nell'area urbanizzata di Castelluccio

Castelluccio è in gran parte circondato da depositi di frana quiescente complessa e per colamento di fango, mentre in quantità minori da depositi di frana attiva e quiescente per scivolamento presenti nella parte sud-ovest dell'abitato.

Nell'estremità SW è anche presente un contatto tettonico che mette in contatto la Formazione litoide di Castiglione dei Pepoli (CDP2) e i depositi argillitici del complesso delle Argilliti variegata con calcari (AVC). In questo caso l'accumulo detritico risulta costituito prevalentemente da litologie argilloso-limose in cui sono inseriti elementi lapidei isolati, anche di grandi dimensioni di natura arenacea.

7 - INDAGINI GEOLOGICHE E DATI DI INGRESSO

7.1- Documentazione preesistente

Il lavoro di caratterizzazione delle aree per cui è stata richiesta microzonazione sismica è consistito in un censimento iniziale di tutte le fonti bibliografiche a disposizione, riguardanti sondaggi e penetrometrie svolte da società di consulenze geologiche per conto di costruttori edili: con queste informazioni, unite alle conoscenze dell'area geologica di Alto Reno Terme, è stato possibile effettuare un primo inquadramento geo-litologico del

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 36 di 79
--	-----------------	-----------------

territorio urbanizzato e urbanizzabile, come da accordi previsti nel disciplinare d'incarico. Individuati i punti sul territorio comunale, si è passati ad un rilievo di maggiore dettaglio utilizzando una misura geofisica di uso corrente quale la sismica passiva adottando l'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la misura del rumore sismico con la valutazione delle frequenze di risonanza dei terreni. Questa metodologia di acquisizione dati è conosciuta anche come "tecnica Nakamura": tale metodologia è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka del 1961. Le prove sono state compiute all'interno del perimetro delle aree urbane da indagare (o in prossimità di esse) ed in corrispondenza di prove (sondaggi e penetrometrie) geomeccaniche o di affioramenti significativi tramite i quali la stratigrafia del sottosuolo analizzato si può dire sufficientemente nota. Successivamente sono state eseguite sia prove sismiche passive con la tecnica Array 2-D su noise ambientale (ESAC) che prove di sismica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), per la misura delle velocità di taglio dei terreni. Nello specifico le suddette prove presentano le seguenti caratteristiche:

- la tecnica ESAC sfrutta, attraverso una geometria di distribuzione bidimensionale dei sensori sul terreno, il principio dell'antenna sismica (array) per l'analisi dei rapporti di fase dei treni d'onda che l'attraversano e quindi per la determinazione delle velocità di propagazione Vs. Poiché i microtremiti ambientali, proprio a causa della eterogeneità delle sorgenti che li producono, generano segnali che si propagano nel terreno sotto forma di onde piane, caratterizzate da casualità nella distribuzione spazio-temporale, la conformazione 2D dell'array geofonico ESAC si dimostra efficace sia in termini di indipendenza dei risultati dall'azimut dei segnali sia per l'attendibilità dei valori derivati di Vs;
- la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) si fonda sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

È stata infine effettuata una ricerca bibliografica e una raccolta della documentazione tecnica di carattere generale disponibile, riguardante gli aspetti geologici, idrogeologici, geotecnici ed idraulici del territorio di Alto Reno Terme, in particolare:

- VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC) Ex Comune di Granaglione.

7.2- Consultazione banche dati geologici

Come prima fase è stata effettuata una approfondita ricerca delle informazioni geologiche, geotecniche e geofisiche delle aree in studio tramite la consultazione e l'acquisizione dei seguenti:

- dati di base allegati al PS vigente del Comune di Alto Reno Terme;
- dati raccolti presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Alto Reno Terme, Pratiche Edilizie private e pubbliche (interventi diretti e piani attuativi), Varianti e le indagini a supporto degli interventi depositati presso l'ufficio SUAP ed Ufficio Vincolo Idrogeologico della Comunità Montana con sede a Vergato;
- Banca dati del servizio Geologico d'Italia (Indagini del sottosuolo, Sondaggi profondi, Faglie capaci, Geofisica) – ISPRA;
- Banca dati geognostici Regione Emilia Romagna (Cartografia interattiva e banche dati).
-

La corretta ubicazione e indicazione della somma dei dati esistenti sul territorio comunale di Alto Reno Terme, derivante dalla somma dei dati sopra richiamati, è riportata nella "Carta delle indagini".

7.3- Metodologia di Valutazione della pericolosità

La metodologia di studio adottata per definire gli scenari di pericolosità sismica locale delle aree oggetto di studio è stata suddivisa nelle seguenti fasi:

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 37 di 79
--	-----------------	-----------------

- acquisizione e interpretazione dei dati geologici-geotecnici-sismici ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite all'interno di ogni singola area;
- creazione di un modello litologico del sottosuolo per individuare i depositi che possono determinare effetti locali;
- individuazione di tutte le forme e gli elementi morfologici che possono determinare effetti locali;
- analisi dei dati e redazione della cartografia dettagliata di microzonazione sismica.

Ai fini della ricostruzione del modello geologico del sottosuolo dei centri abitati in esame e delle zone a loro circostanti si è fatto riferimento sia ad indagini geologiche dirette (sondaggi geotecnici a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo ed in seconda battuta interpretazioni sommarie di prove penetrometriche statiche e dinamiche realizzate) sia ad indagini indirette (indagini sismiche precedentemente eseguite e realizzate nel presente studio di microzonazione sismica) ubicate all'interno delle aree in esame, che hanno permesso la ricostruzione dei profili stratigrafici e di un quadro geologico d'insieme maggiormente dettagliato. L'insieme dei dati raccolti ed analizzati suddivisi per tipologia, data di esecuzione e caratteristiche principali (secondo quando disposto nel documento "Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'OPCM n. 4007/2012 e DCPC 16/03/2012" della DAL 112/2007) sono riportati nel Database Soft MS 4.0 allegato alla presente relazione.

7.4- Indagini geognostiche e geofisiche analizzate

Per definire il modello lito-stratigrafico e le principali caratteristiche geomeccaniche degli ambiti di trasformazione e di quelli già consolidati costituenti la struttura insediativa dei centri abitati in esame sono state analizzate le indagini riportate in Tabella 9.

DESCRIZIONE	TIPOLOGIA D'INDAGINE GEOLOGICA	QUANTITA'
INDAGINI PUNTUALI	CPT – prova penetrometrica statica	36
	DN – prova penetrometrica dinamica media	32
	DP – prova penetrometrica dinamica pesante	11
	DS – prova penetrometrica dinamica superpesante	44
	ERT – sondaggio elettrico verticale	7
	ESAC	1
	HVSR – misure di microtremore (reperiti)	145 totali
	HVSR – misure di microtremore (effettuate per MS1)	120
	S – sondaggio a carotaggio continuo che non intercetta il substrato	7
	SD – sondaggio a distruzione che non intercetta il substrato	3
	SDS- sondaggio a distruzione che intercetta il substrato	6

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 38 di 79
--	-----------------	-----------------

	SP – sondaggio con piezometro	5
	SPT – prova penetrometrica in foro	2
	SS – sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	30
	T – trincea o pozzetto esplorativo	21
	SR – sismica a rifrazione	4
INDAGINI LINEARI	REMI – prova remi	1
	MASW – prova masw (reperate)	61
	MASW – prova masw (effettuate per MS1)	57

Tabella 9- Indagini puntuali e lineari distribuite principalmente nelle aree urbanizzate.

Per quanto riguarda le prove penetrometriche e le indagini sismiche si riporta la suddivisione per centro abitato:

CENTRO ABITATO	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE			PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
	DM	DH	DPSH	CPT
Granaglione	-	-	-	1
Ponte della Venturina	6	6	2	9
Borgo Capanne	-	4	3	1
Porretta Terme	13	1	24	19
Castelluccio	4	-	1	2

Tabella 10- Numero di prove penetrometriche dinamiche e statiche analizzate per i 5 centri abitati in studio.

INDAGINE SISMICA	CENTRO ABITATO				
	<i>Granaglione</i>	<i>Ponte della Venturina</i>	<i>Borgo Capanne</i>	<i>Porretta Terme</i>	<i>Castelluccio</i>
Passiva (misura del rumore sismico HVSR)	14	23	11	68	17
Passiva (misura velocità Vs) (ESAC)	-	-	-	1	-
Attiva (misura velocità Vs)(MASW)	6	11	8	31	5

Tabella 11- Numero di indagini sismiche realizzate ex-novo per i 5 centri abitati in studio.

8 - MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico del sottosuolo è stato elaborato sulla base, sia del quadro strutturale e tettonico dell'area in studio che dei sondaggi a carotaggio continuo ivi presenti disponibili.

8.1- Granaglione

L'assetto stratigrafico in prossimità dell'abitato di Granaglione è stato ricostruito utilizzando i dati disponibili tra cui un sondaggio mostrato nella figura sottostante e la cui stratigrafia è riportata nella Tabella 12. Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di una copertura detritica che può localmente superare i 5.0-15.0 m. Tale copertura è costituita da sabbie e sabbie argillose con inclusi litoidi, anche di grandi dimensioni ed è interessata da frane di tipo complesso. I terreni in posto sono rappresentati da litotipi arenaceo-pelitici, con arenarie in grosse bancate la cui giacitura è riportata nelle Sezioni Geologiche di Figg. 26 e 27 *Figura 27* (le cui tracce sono riportate in Tavola 1).

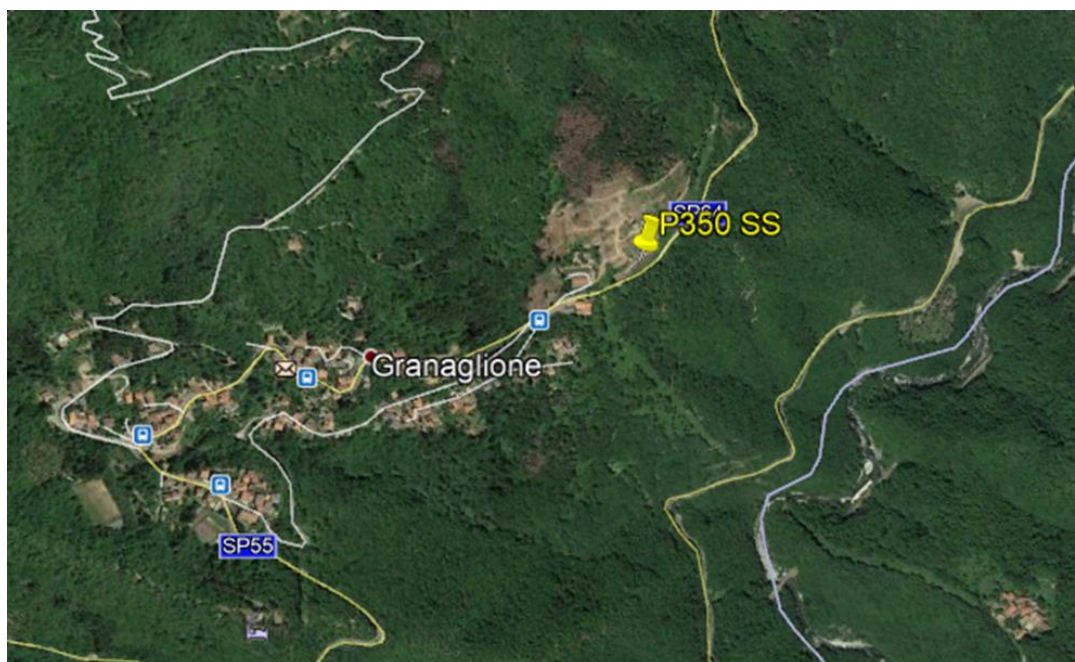


Figura 25-Ubicazione dell'unico sondaggio disponibile di Granaglione.

P350 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-7	Sabbia limosa con litici arenacei spigolosi e degradati, addensata, marrone oliva chiaro
7-10	Argilla limo sabbiosa con litici argillitici e arenacei, marrone scuro
10-11	Argilliti con litici arenacei degradati, grigio scuro

Tabella 12-Stratigrafia dell'unico sondaggio disponibile di Granaglione

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 41 di 79
--	-----------------	-----------------

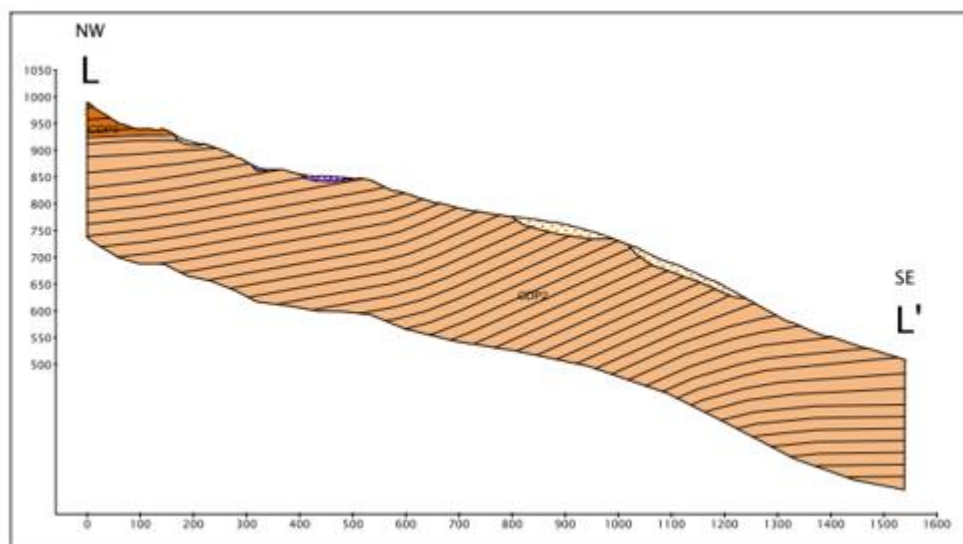


Figura 26- Sezione Geologica in direzione NW-SE passante per Granaglione

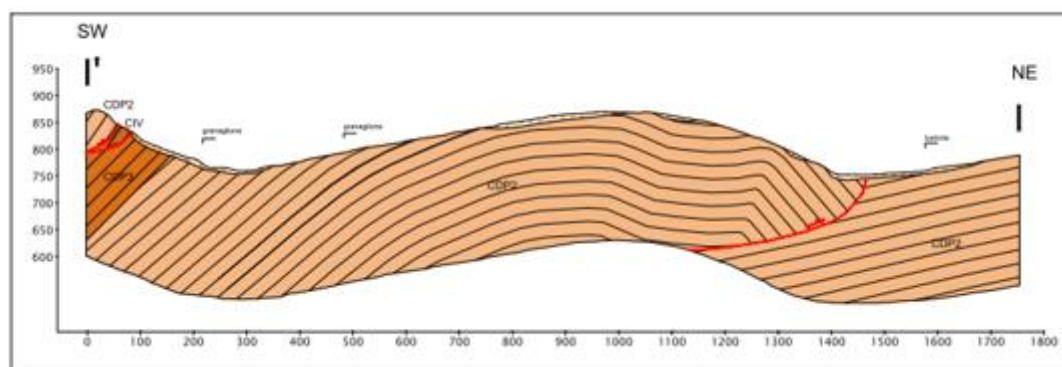


Figura 27- Sezione Geologica in direzione SW-NE passante per Granaglione

8.2- Ponte della Venturina

L'assetto stratigrafico in prossimità dell'abitato è stato ricostruito utilizzando i dati disponibili tra i quali alcuni sondaggi mostrati in Figura 28; tale assetto è caratterizzato dalla presenza di una copertura detritica che può localmente superare i 5.0-10.0 m ed è in parte costituita da argille di colore grigio, alterate e caoticizzate, inglobanti elementi lapidei prevalentemente calcarei e calcareo-marnosi, provenienti dalla demolizione delle argilliti affioranti nel ripido gradino del versante esteso subito a monte delle coperture che raccordano quest'ultimo con la piana alluvionale del fiume Reno. Questa successione è derivata da eventi eluvio colluviali che hanno dato origine a una coltre detritica con spessore ovunque superiore a 4-5 m. Spessori fino a 10 si raggiungono laddove la copertura è interessata da frane di tipo complesso, colamenti di fango e scorrimenti. Lungo il fiume Reno sono invece presenti terrazzi costituiti da depositi ghiaioso-limosi (GM) profondi 5-10 m e che coincidono con l'Unità di Modena. I terreni in posto sono rappresentati dal complesso argillitico (AVC) costituito dalle argilliti contenenti intercalazioni calcareo-marnose. Dalle sezioni di Figg. 29 e 30 (le cui tracce sono riportate in Tavola 1) si osserva che l'assetto stratigrafico risulta abbastanza semplice poiché le argilliti sono prive di stratificazione che è però presente all'interno delle intercalazioni in essa contenute. La stratigrafia di ciascun sondaggio utilizzato è stata riportata nella tabella sottostante. Come si può osservare, i sondaggi raggiungono i 10-13 m di profondità.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 42 di 79
--	-----------------	-----------------



Figura 28- Ubicazione di alcuni dei sondaggi disponibili in Loc. Ponte della Venturina.

P311 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-2,4	Terreno di riporto in argilla ed argilla limosa nocciola con ghiaia fine e medio grossa
2,4-3	Terreno di riporto in argilla limosa nocciola e massi argillitici
3-5	Argilliti argilla grigio nocciola con noduli marnosi piccoli e medio-grossi
5-6,5	Massi marnosi in matrice argilloso-marnosa grigia
6,5-10	Argilliti-argilla marnosa grigia ricca di noduli marnosi da piccoli a medio-grossi

P317 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-3	Macerie, ghiaia, sabbia limosa, limo argilloso
3-7	Limo a tratti debolmente argilloso di colore marrone, con abbondanti frammenti lapidei di arenaria e argillite, sub-angolari
7-11	Argille con patine di alterazione di colore grigio-marrone, substrato alterato (Unità Sestola-Vidiciatico)
11-13	Argillite di colore grigio (Unità Sestola-Vidiciatico)

P364 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-0,7	Argille limose consistenti di colore nocciola con screziature grigie, locali frammenti argillitici o calcilutitici
0,7-5,1	Argilliti fratturate e disarticolate con locali argille consistenti, colore grigiastro e con screziature nocciola o ocra, si individuano talvolta vene di calcite secondaria
5,8-9,5	Argilliti fissili e marne da molto ad estremamente consistenti, con locali livelli calcilutitici (mm e cm). Materiali di colore grigio con screziature nocciola in superficie, grigio scuro o nerastro nella restante porzione

Tabella 13- Stratigrafia di alcuni dei sondaggi disponibili di Ponte della Venturina.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 43 di 79
--	-----------------	-----------------

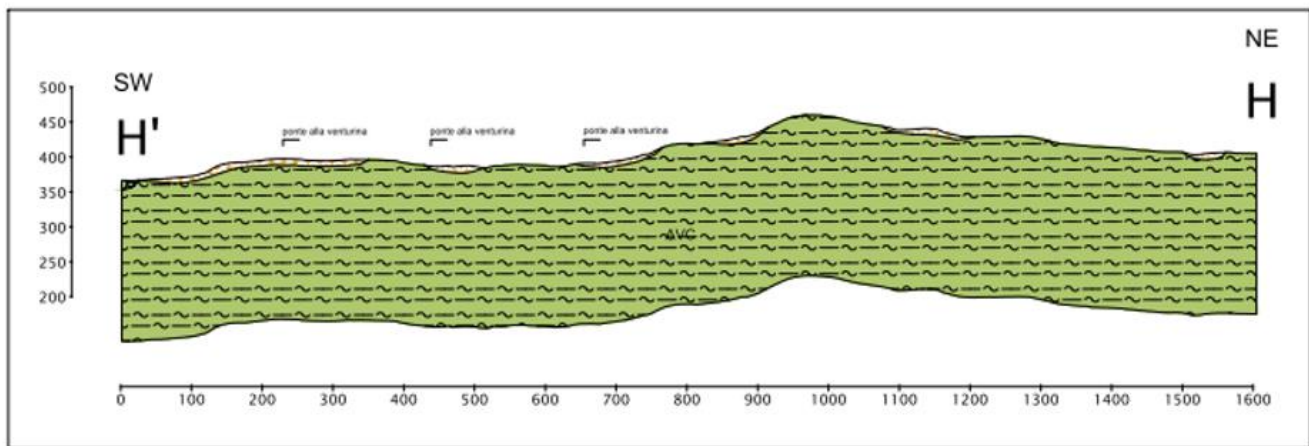


Figura 2915- Sezione Geologica NE-SW passante per Ponte della Venturina.

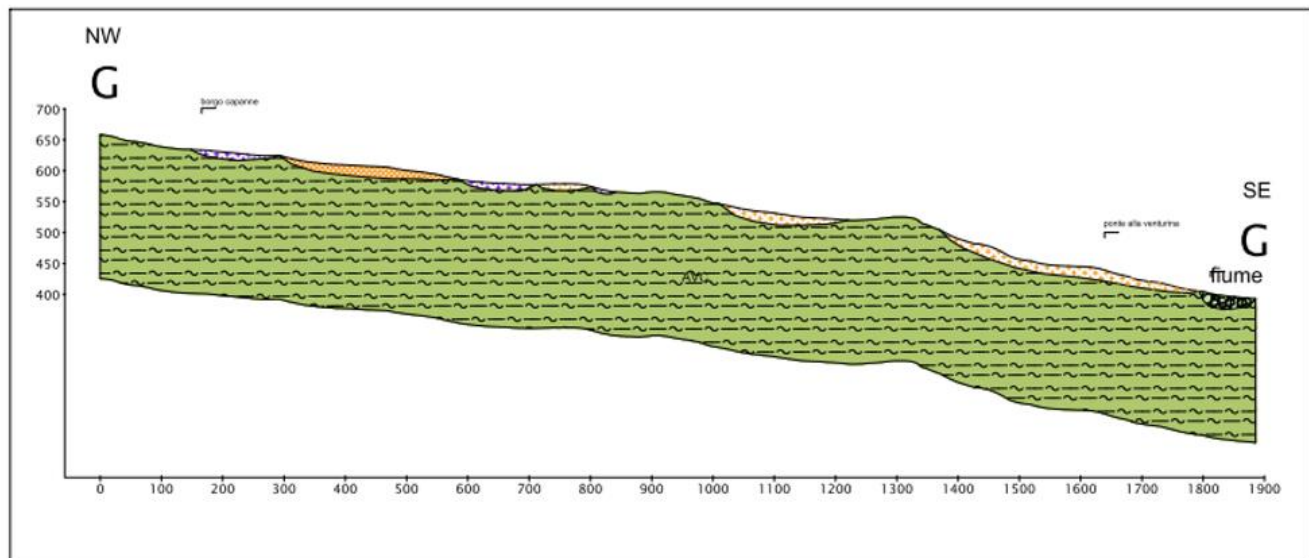


Figura 30- Sezione Geologica NW-SE passante per Borgo Capanne (a Ovest) e per Ponte della Venturina (ad Est).

8.3- Borgo Capanne

Sulla base dei dati disponibili è stato schematizzato un assetto stratigrafico del sottosuolo caratterizzato dalla presenza di una copertura detritica che può localmente superare i 5.0-10.0 m. I terreni di copertura si ritrovano in piccola parte in condizioni alterate, mentre in gran parte sono costituiti da frane. Quest'ultime sono costituite da argille contenenti un elevata frazione sabbiosa, o da sabbie, inglobanti numerosi elementi lapidei di varia natura (prevalentemente arenacei e calcareo marnosi) e di dimensioni anche notevoli (oltre il metro). Dalla sezione di Figura 31 (la cui traccia è riportata in Tavola 1) si vede come substrato affiorante sia in gran parte rappresentato dalle argilliti con intercalazioni di calcari e marne (AVC), che qui affiorano anche nella facies a breccie ofiolitiche (AVCa). Nella parte meridionale il substrato è in parte costituito dal membro arenaceo della Formazione di Castiglion dei Pepoli che è in gran parte ricoperto da depositi eluvio-colluviali sabbioso limosi di 5-10 m di spessore.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 44 di 79
--	-----------------	-----------------

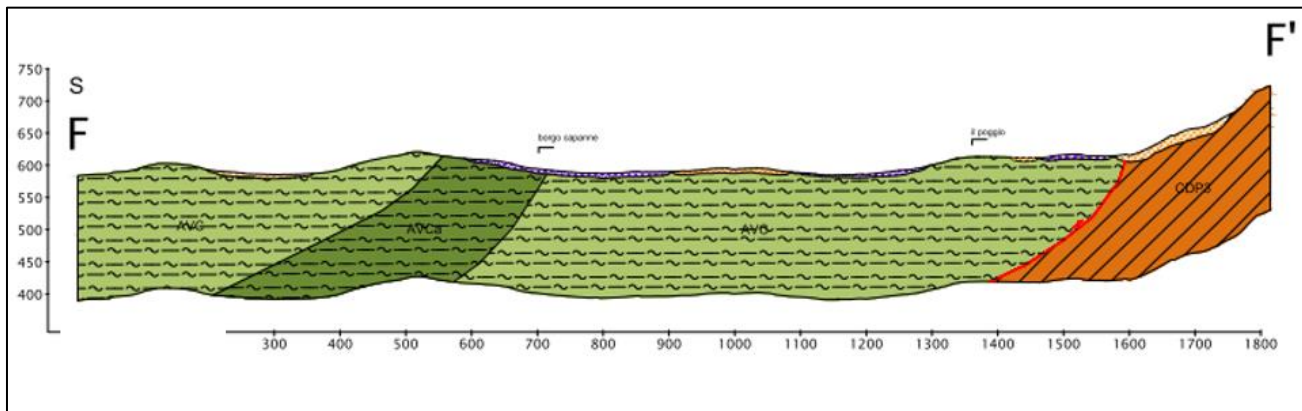


Figura 161-Sezione Geologica N-S passante per Borgo Capanne.

8.4 - Porretta Terme

L'assetto stratigrafico in prossimità dell'abitato di Porretta Terme è stato ricostruito utilizzando i sondaggi disponibili mostrati in Figura 32 (forniti dalla Regione Emilia-Romagna e dell'Amministrazione Comunale). Come si può osservare, gran parte dei sondaggi ha interessato spessori compresi tra i 9 m e i 17 m del sottosuolo. Sulla base dei dati disponibili è stato schematizzato un assetto stratigrafico del sottosuolo caratterizzato dalla presenza di una copertura detritica che varia nello spazio. Lungo il fiume Reno è costituita da ghiaie limose e miscele di ghiaia, sabbia e limo (GM) che costituiscono l'Unità di Modena, con spessori tra i 10 - 15 m tranne in corrispondenza di una conoide, nella parte meridionale, dove gli spessori possono raggiungere i 15-20 m. Tale copertura è spesso sovrastata da depositi di frana o depositi eluvio-colluviali di spessore variabile. Il substrato argillitico è prevalentemente ricoperto da depositi fino a 10 m di spessore, costituiti da argilla limosa e limo argilloso con numerosi inclusi lapidei marnosi e calcarei. Nella parte meridionale il substrato è arenaceo ed è invece interessato da fenomeni di frana attiva per crollo e/o ribaltamento che danno origine ad un deposito costituito da brecce arenacee fino a 5 m di spessore che sovrastano i depositi alluvionali. Dalla Figura si vede che le litologie affioranti sono rappresentate per gran parte dell'area dalle argilliti in condizioni alterate (AVC, FIU) e solo in piccola parte dalle Arenarie di Suviana (SUV).

P85 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-2	Argilla limosa di colore grigio-marrone con striature verdastre, plastica, con abbondanti inclusi calcarei e marnosi
2-4,1	Argilla limosa di colore grigio e grigio scuro con zone verdastre, a tratti plastica, con scagliette marnose nerastre, con inclusi calcarei e di calcite
4,1-12	Argilla debolmente marnosa di colore grigio, grigio scuro e nerastro con striature verdastre, scagliettata, con piccoli inclusi calcarei e di calcite. Tessitura caotica. A -11,0 m trovante calcareo (L=20 cm)

P91 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-1,6	Argille limose beige, umide, con numerosi trovanti di piccole dimensioni. Consistenza compatta
1,6-9	Argille limose marroni con livelli grigi (da 4,6 m dal p.c. di colore grigio con livelli beige) con minuti frammenti lapidei. Presente leggera umidità (più consistente da 3,6 m a 4,6 m dal p.c.). Consistenza: da compatto a molto compatto.
9-12	Argille c.s. asciutte. Consistenza: molto compatta. Da 10,2 a 12 m dal p.c. trovanti calcarei con umidità.
12-12,5	Argille scure asciutte. Consistenza: dura

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 45 di 79
--	-----------------	-----------------



Figura 172- Ubicazione di alcuni dei sondaggi disponibili di Porretta Terme.

P184 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-4,4	Argilla limosa e limo argilloso di colore marrone chiaro, con numerosi inclusi lapidei marnosi e calcarei. Presenza di alterazioni secondarie.
4,4-6	Argilla di colore grigio scuro con inclusi marnosi, colore grigio (probabile Formazione decompressa)
6-17,5	Argilla di colore grigio scuro con inclusi marnosi e calcarei (probabile Formazione)

P214 SS - S6

Profondità [m]	Descrizione
0-1	Terreno agrario
1-4,9	Argille di colore marrone beige, con frammenti e blocchi calcarei e marnosi, da molto compatte a compatte. A -4 m leggera umidità
4,9-7	Argille di colore grigio beige con numerosi frammenti calcarei, da compatte a molto compatte.
7-8,8	Argille con frammenti marnosi. Presenti sottili livelli color ocra, più sabbiosi

P214 SS - S5

Profondità [m]	Descrizione
0-1	Terreno agrario
1-1,9	Argille e limi di colore marrone scuro molto compatte

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 46 di 79
--	-----------------	-----------------

1,9-4	Argille di colore grigio beige con frammenti calcarei, da compatte a molto compatte. A -3,6 m leggera umidità
4-4,6	Blocchi calcarei. Modesta venuta di acqua
4,6-9,5	Argille grigie con numerosi frammenti calcarei di piccole dimensioni, da molto compatte a compatte/mediamente compatte. A -8,5 m leggera umidità
9,5-11	Argille marnose di colore grigio azzurro, a consistenza dura.

P166 SS

Profondità [m]	Descrizione
0-2,4	Detrito costituito da breccia arenacea in matrice limo argillosa di colore nocciola
2,4-3	Breccia arenacea di colore grigio. Terreno ad umidità scarsa
3-3,3	Limo argilloso di colore nocciola
3,3-4,4	Breccia arenacea di colore grigio in scarsa matrice limo sabbiosa di colore grigio nocciola. Terreno ad umidità scarsa
4,4-8	Ghiaia (3<d<12 cm) in matrice limoso- sabbiosa di colore nocciola. Terreno ad umidità scarsa.
8-16	Ghiaia con ciottoli di dimensioni leggermente inferiori in matrice limo argillosa di colore nocciola. Terreno bagnato

Tabella 14- Stratigrafia di alcuni dei sondaggi disponibili di Porretta Terme.

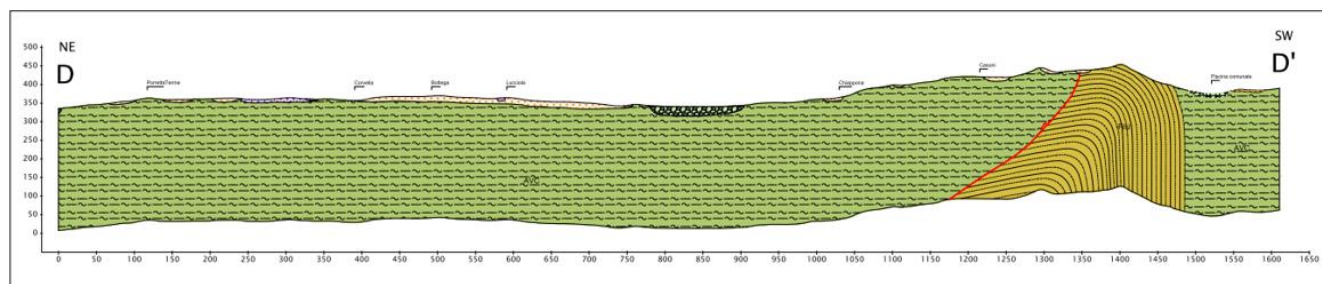


Figura 33- Sezione Geologica NE-S W passante per l'abitato di Porretta Terme.

8.5- Castelluccio

L'assetto stratigrafico in prossimità dell'abitato di Castelluccio è stato ricostruito anche analizzando il sondaggio riportato in Figura 34. Sulla base dei dati disponibili è stato schematizzato un assetto stratigrafico del sottosuolo caratterizzato dalla presenza di una copertura costituita da depositi di frana con spessori tra i 5-10 m. Il substrato argillitico affiora in condizioni alterate che si protraggono anche fino a 6 m di profondità. Nella parte meridionale del paese, come si vede dalla sezione di Figura 35, affiora un substrato arenaceo interessato da fenomeni di versante.

P167 S

Profondità [m]	Descrizione
0-0,4	Limo argilloso debolmente sabbioso di colore nocciola bruno, presenza di abbondanti radici vegetali, terreno ad umidità media
0,4-4,1	Limo argilloso debolmente sabbioso, presenza di brecce arenacee di piccole dimensioni, elevata alterazione
4,1-4,8	Limo argilloso di colore grigiastro a struttura scagliosa con brecce arenacee
4,8-5	Argilla limosa di colore grigio nocciola, media alterazione, terreno ad umidità scarsa
5-6,1	Limo debolmente sabbioso a tratti argilloso di colore nocciola con brecce arenacee, elevata alterazione, terreno saturo
6,1-9	Limo argilloso di colore da grigio a grigio scuro con trovanti calcareo marnosi di piccole dimensioni, alterazione medio-scarso, terreno ad umidità medio-scarso
9-15	Limo argilloso di colore grigio, presenza di trovanti calcarei, inalterato, terreno ad umidità scarsa

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 47 di 79
--	-----------------	-----------------

Tabella 15- Stratigrafia del sondaggio di Castelluccio.

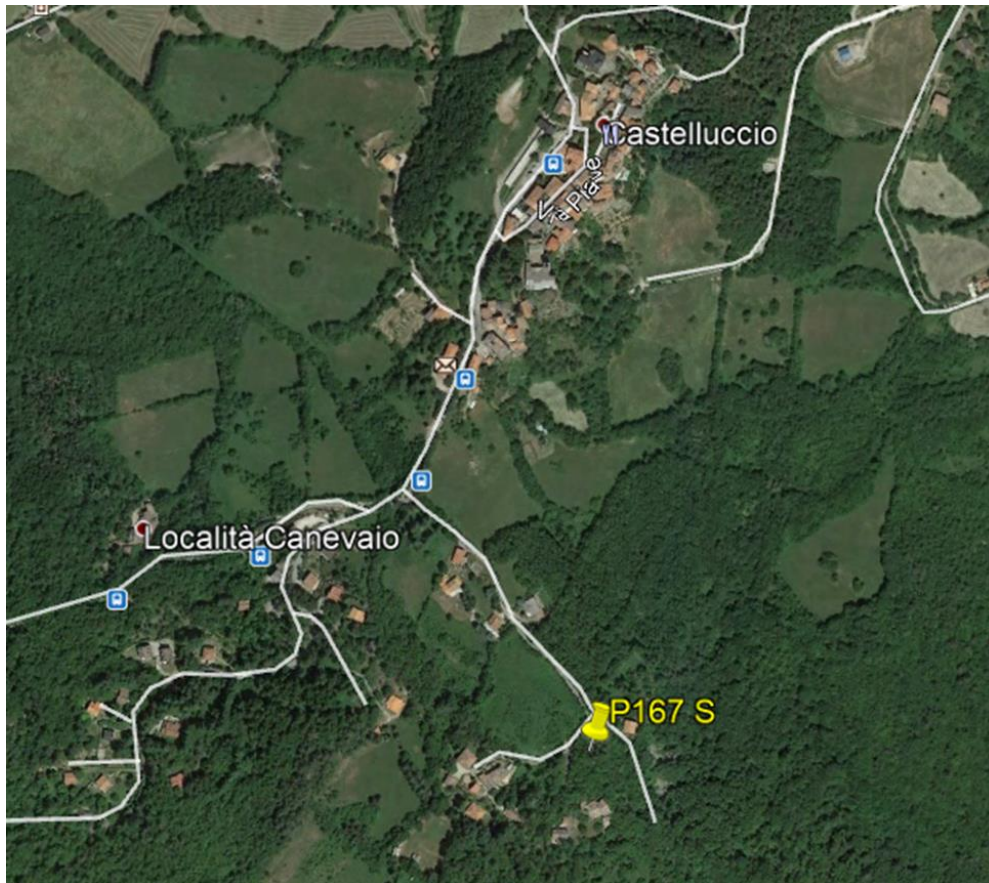


Figura 34 -Ubicazione del sondaggio in Loc. Castelluccio.

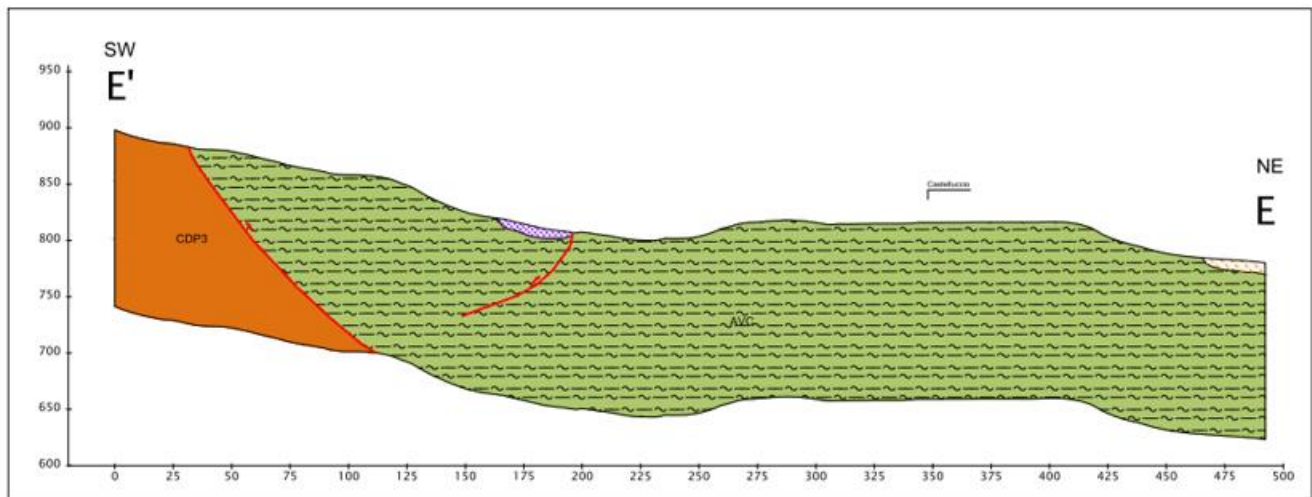


Figura 35 -Sezione Geologica SW - NE passante per Castelluccio.

9 – PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il metodo proposto nel presente studio per l'analisi di 1° livello, basato sulle indicazioni della Regione Emilia-Romagna, consiste in un approccio qualitativo ed empirico tale da permettere l'individuazione di zone in cui gli effetti prodotti da un terremoto sono prevedibili sulla base di osservazioni geologiche e sulla base della raccolta dati già disponibile. Di fatto sono le condizioni geologiche e geomorfologiche locali che influenzano la pericolosità sismica, cioè la vibrazione che un sito può subire durante un evento sismico, producendo anche effetti molto diversi tra loro in aree adiacenti. In questo livello di approfondimento sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta delle indagini geologiche;
- Carta geologico-tecnica;
- Carta delle frequenze naturali dei terreni;
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

9.1- Carta delle indagini

La "Carta delle Indagini" in scala 1:5.000 riporta l'ubicazione e l'indicazione della somma dei dati esistenti sul territorio comunale di Alto Reno Terme sottoposto allo studio di microzonazione sismica, derivante dall'acquisizione dei:

- dati di base aggiunti in Variante generale al P.S.C.;
- dati derivanti dalla campagna di indagine geofisica condotta per lo studio di MS.

L'insieme dei dati raccolti per le aree in esame ha permesso di disporre di dati puntuali e lineari rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS (Figura 36) con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile e catalogati e archiviati mediante software Gis. Nell'elaborazione della carta si è posta attenzione nel ridurre il margine di incertezza relativo alla localizzazione dell'indagine e nell'indicare la tipologia di indagine in maniera distinta e con una adeguata rappresentazione grafica. Dopo accurate operazioni di esame, acquisizione e sistematizzazione dei dati, sono state escluse, ai fini dell'analisi le stratigrafie di pozzi o sondaggi di dubbia attendibilità. Oltre al reperimento dei dati di base, è stato necessario operare correlazioni tra le diverse prove presenti in zone di territorio adiacenti al fine di individuare caratteristiche comuni degne di essere messe in evidenza. Le indagini a disposizione, insieme ai dati geologici e di letteratura, sono risultati pertanto indispensabili alla ricostruzione del modello di sottosuolo, fornendo informazioni sulle unità litotecniche presenti, sui loro rapporti stratigrafici e geometrici, sulla profondità e andamento del substrato e, ove possibile, sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni. In funzione di ciò è stato particolarmente importante la raccolta di sondaggi che hanno raggiunto il substrato, o comunque abbastanza profondi da permettere una ricostruzione delle successioni caratteristiche della zona e dei rapporti con le altre unità e la raccolta dei sondaggi attrezzati a piezometro che hanno permesso di raccogliere informazioni sulla falda acquifera.

Oltre alle indagini in sito sono state raccolte, dove presenti, le indagini di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dai sondaggi stratigrafici.

Tali indagini pregresse sono state integrate con nuove indagini geofisiche di superficie; nello specifico sono state effettuate prospezioni geofisiche sia attive che passive. Le nuove indagini sono state eseguite quasi sempre congiuntamente, al fine di caratterizzare al meglio le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità e di ridurre l'incertezza interpretativa che deriva dalle analisi di sismica di superficie.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 49 di 79
--	-----------------	-----------------














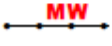

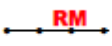
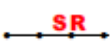
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)		Sondaggio a distruzione di nucleo
	Prova penetrometrica dinamica media		Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
	Prova penetrometrica dinamica pesante		Sondaggio con piezometro
	Prova penetrometrica dinamica super pesante		Prova penetrometrica in foro
	Verticale virtuale lungo tomografia elettrica		Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Array sismico, ESAC/SPAC		Trincea o pozzetto esplorativo
	Stazione microtremore a stazione singola		MASW
	Sondaggio a carotaggio continuo		Prova REfractionMicrotremors
			Profilo sismico a rifrazione

Figura 186- Indicazioni (simbolo, sigla e descrizione) relative alle indagini per la caratterizzazione del sottosuolo analizzate.

9.2- Carta delle frequenze naturali del terreno

La campagna di misure sismiche condotta nel comune di Alto Reno Terme ha previsto la valutazione del rapporto spettrale tra la componente orizzontale e quella verticale del rumore sismico registrato (HVSR, Horizontal to Vertical Spectral Ratio). L'analisi HVSR è stata eseguita per tutte le stazioni di registrazione sismica posizionate nelle 5 aree d'indagine (centri abitati di Granaglione, Ponte della Venturina, Borgo Capanne, Porretta Terme e Castelluccio) e ha permesso di definirne i caratteri salienti delle frequenze dei siti investigati. Di fatto le misure HVSR ai fini della microzonazione sismica si prestano a due ordini d'interpretazione:

- qualitativa: l'insieme dei dati ottenuti permette di identificare le aree dove esistono fenomeni di risonanza sismica nel campo delle frequenze d'interesse ingegneristico (0.2-20 Hz) cioè il range di frequenze di risonanza di edifici e manufatti;
- semi-qualitativa: alle misure sono associate stime grossolane dell'entità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati. Occorre comunque specificare che questo tipo di risultati non sostituisce un'analisi di dettaglio, ma ha lo scopo di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e fornire indicazioni per programmare e calibrare le indagini successive di approfondimento.

L'elaborazione dei risultati acquisiti ha così permesso la realizzazione di una Carta delle frequenze naturali del terreno secondo le indicazioni del DGR 2193/2015. Tale elaborato, in scala 1: 5.000 riporta al suo interno tutti i punti di misura con associato il risultato della prova (valore del picco significativo a più bassa frequenza).

I dati ottenuti dalle elaborazioni HVSR di queste consentono inoltre di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza (F_0) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze. Considerando che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di "risonanza" e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito), risulta evidente

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 50 di 79
--	-----------------	-----------------

l'utilità di detta tipologia di indagine per individuare, come previsto dal primo livello di approfondimento degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, le aree con comportamento sismico omogeneo-equivalente. Per meglio evidenziare possibili congruenze tra i risultati, i valori Frequenza/Ampiezza rilevati sono stati associati, in termini di frequenza di ampiezza del picco HVSR, nelle seguenti classi:

$$\begin{aligned}
 & f_0 \leq 0,6 \text{ Hz} \\
 & 0,6 \text{ Hz} < f_0 \leq 1 \text{ Hz} \\
 & 1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2 \text{ Hz} \\
 & 2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8 \text{ Hz}, \\
 & f_0 > 8 \text{ Hz}.
 \end{aligned}$$

Inoltre sono state caratterizzate le zone caratterizzate da contrasti di impedenza elevati (ampiezza picco HVSR ≥ 3),

moderati (ampiezza picco $2 \leq \text{HVSR} < 3$), bassi (ampiezza picco $1,5 \leq \text{HVSR} < 2$) e assenza di significativi contrasti (ampiezza picco HVSR $< 1,5$).

Le misure HVSR presentano, come evidenziato nella relazione tecnica allegata (Appendice 1), due picchi amplificazione nella maggior parte delle misure evidenziando un primo picco corrispondente al contatto deposito di versante e/o frana e substrato geologico (sismico e non sismico) e l'altro all'interno delle formazioni prevalentemente argillitiche (intrusioni calcaree e di varia natura).

Granaglione

Le misure di rumore ambientale hanno evidenziato che i maggiori valori di frequenza fondamentale si hanno nella parte centro settentrionale del paese dove i valori oscillano indicativamente tra i 14,6 e 13 Hz. Tali valori di frequenza indicano un contrasto di impedenza molto superficiale che, considerando una V media delle coperture di 250-300 m/s, è stato calcolato essere tra i 4 e i 6 m di profondità. In tale zona si hanno valori di ampiezza relativamente alti intorno ai 3-3,3 che indicano un forte contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra la coltre eluviale (suolo) e il membro arenaceo pelitico della Formazione di Castiglione dei Pepoli. Allontanandosi radialmente da tale zona, le frequenze diminuiscono gradualmente; questo perché si vanno ad incontrare depositi di frana quiescente complessa, che avendo uno spessore maggiore della coltre eluviale vanno ad approfondire il contrasto di impedenza. Nella parte orientale e meridionale della zona si raggiungono frequenze molto basse rispetto alla parte occidentale; nel primo caso si hanno valori fino a 2,5 Hz che coincidono con profondità del contrasto di 25-30 m, mentre nel secondo le frequenze minime sono sui 4,8 Hz (profondità di circa 10-15 m), che contrastano fortemente con la presenza di un punto a 12,4 Hz che coincide con l'assenza di copertura franosa. Per quanto riguarda l'ampiezza e quindi l'entità del contrasto di impedenza, abbiamo una forte variabilità nella parte meridionale dove si raggiungono valori uguali a 4, dovuti al forte contrasto tra deposito franoso e roccia in posto, per poi diminuire radialmente. Nella parte nord-occidentale dell'area le ampiezze sono piuttosto basse (con valori intorno a 2,5), probabilmente a causa di un deposito di frana più compatto e grossolano.

Ponte della Venturina

Le misure di rumore ambientale hanno evidenziato che i maggiori valori di frequenza fondamentale sono localizzate nella parte sud orientale dove si hanno valori fino a 6,7 Hz. Poiché questa zona appartiene alla piana alluvionale del fiume Reno, abbiamo la presenza di depositi alluvionali quaternari che, per buona parte della loro estensione, sono sovrastati da depositi di frana quiescente complessa. Al passaggio tra i depositi alluvionali e il substrato roccioso, che si realizza a 10-15 m di profondità, si genera un contrasto di impedenza di alta intensità (valori di ampiezza da 3 a 7,8). Spostandosi verso la parte N-NW dell'area si ha una relativa diminuzione delle frequenze che coincide con la presenza litologica delle argille variegata. Si arriva fino a valori minimi che coincidono con profondità massime del contrasto di impedenza di circa 100 m. In questa situazione si presume che i bassi valori di frequenza potrebbero essere riconducibili all'assetto complesso ed eterogeneo della formazione argillosa, cui si intercalano strati calcarei, marnosi o arenacei e che può raggiungere spessori di 200-

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 51 di 79
--	-----------------	-----------------

300 m. In questa parte si riscontrano valori di ampiezza elevati che indicano un forte contrasto di impedenza probabilmente dovuto alle intercalazioni presenti nelle argille.

Borgo Capanne

Le misure di rumore ambientale hanno evidenziato valori di frequenza generalmente medio-alti, con picchi relativamente più elevati (7Hz, profondità di circa 10 m) nella parte NW e centro-meridionale dell'area. Tali punti coincidono con valori di ampiezza che indicano un contrasto di impedenza medio-alto che può verificarsi a causa del contatto fra deposito di frana (complesso o per scivolamento in blocco) e le argille variegata in posto. Nella parte sud-orientale dell'area si hanno valori di frequenza relativamente bassi (tra 0,9 e 1,47), che coincidono con valori di ampiezza tra i 3-3,5. Questi valori corrispondono a un forte contrasto di impedenza che si realizza a profondità comprese all'incirca tra i 70 e i 100 m e probabilmente dovuto alle intercalazioni calcareo-marnoso-arenitiche presenti nelle Argilliti variegata.

Porretta Terme

Le misure di rumore ambientale hanno evidenziato che lungo il fiume Reno si hanno valori di frequenza relativamente bassi (2-3 Hz) che indicano profondità del contrasto di impedenza di circa 35 m. Tale profondità potrebbe coincidere con il passaggio dai depositi quaternari (Unità di Modena) alle argille variegata, che genera un contrasto di impedenza medio-alto, confermato dai valori di ampiezza (3-4). Valori di frequenza relativamente alti si hanno nella parte nord- occidentale dove si raggiungono valori di 7-8 Hz che potrebbero coincidere con un passaggio relativamente superficiale (circa 10 m di profondità) dai depositi di frana (quiescente o attiva complessa) alle argille variegata. Tali zone coincidono con valori di ampiezza elevati (da 3 a 12), che indicano il forte contrasto di impedenza presente al passaggio fra queste tipologie di substrato. Una situazione simile si verifica nella parte SE dell'area dove sia ampiezze che frequenze indicano il passaggio relativamente superficiale tra depositi di frana attiva o quiescente e le argille variegata. Nella parte meridionale dell'area il sovrascorrimento tettonico permette l'affioramento delle Arenarie di Suviana che, essendo ricoperte da depositi eluviali, fanno sì che in questa zona si abbia un aumento delle frequenze (con valori intorno ai 7-9 Hz) che coincidono con un forte contrasto di competenza ($A_0 = 3-4$) alla profondità di 7-9 m.

Castelluccio

Il centro abitato è caratterizzato da valori di frequenza medio-alti sui 4-5 Hz che coincidono con profondità del contrasto di 20-25 m. Poiché non sono presenti depositi di frana si può ipotizzare che siano le intercalazioni calcareo-arenacee delle argille variegata a generare questo contrasto di impedenza. Tale area coincide con valori di ampiezza di 2,5-3 che indicano che è presente un discreto contrasto di impedenza. Le frequenze minori si hanno nella parte NE e SW dell'area; in quest'ultima parte si registrano valori particolarmente bassi (1,5Hz) che coincidono con profondità di circa 65 m e ampiezze elevate (forte contrasto). Tali profondità potrebbero coincidere con il sovrascorrimento delle argille variegata sulla Formazione di Castiglion dei Pepoli (membro pelitico-arenaceo CDP3). Le frequenze maggiori si hanno nelle parti NW e SE dove sono presenti i depositi di frana quiescente complessa o depositi di versante che fanno sì che il contrasto di impedenza sia più superficiale. Le frequenze maggiori coincidono con aree ad ampiezza medio-bassa e ciò indica un contrasto di impedenza non troppo elevato.

9.2.1.- MODI DI VIBRARE DEL SUOLO E DELLE STRUTTURE

La carta delle frequenze naturali è di particolare utilità al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza nell'interazione suolo-strutture; dovranno perciò essere adeguatamente considerate le frequenze naturali del terreno e quelle di vibrazione delle strutture, ponendo particolare attenzione alle aree in cui si rilevano maggiori contrasti di impedenza. Per quanto riguarda i modi di vibrare delle strutture, esistono numerose equazioni semiempiriche che consentono di calcolare il periodo proprio di una struttura in funzione della sua altezza e della tipologia costruttiva.

L'applicabilità pratica della semplice formula:

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 52 di 79
--	-----------------	-----------------

$$f = V_s/4*H \quad (1)$$

f = frequenza fondamentale dello strato;
 Vs = velocità delle onde di taglio;
 H₀ = spessore dello strato.

per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cfr. Gallipoli *et al.*, 2000; Castellaro *et al.*, 2005). Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio sia governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. es. Pratt) (nel caso degli edifici l'H/V coincide con la risposta delle componenti orizzontali, in quanto si assume, per lo meno negli edifici moderni, che la risposta spettrale alle sollecitazioni verticali sia pressoché piatta).

$$Fr \text{ naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero di piani.} \quad (2)$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione.

$$Fr \text{ naturale edificio} \approx Fr \text{ naturale coperture} \quad (3)$$

La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz/numero di piani} \approx V_s/4H \quad (4)$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi (Grafico 1).

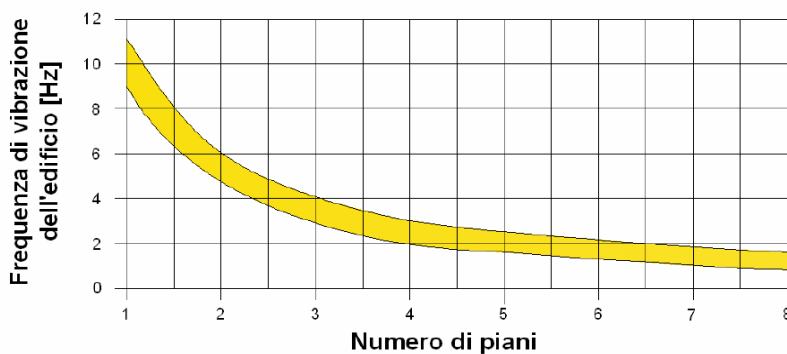
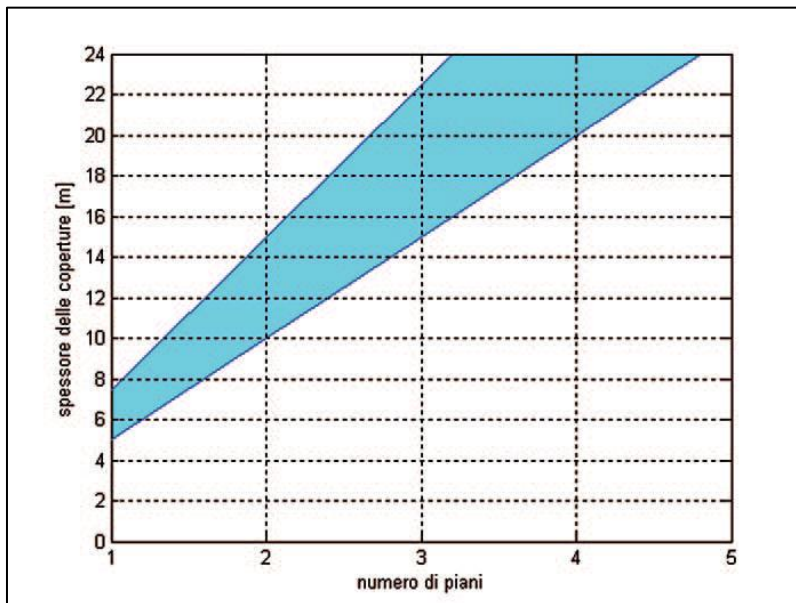


Grafico 1- Rapporti indicativi fra numero dei piani di un edificio in c.a. e sua frequenza di vibrazione.

Grafico 2- La fascia azzurra del grafico illustra la relazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso per cui; per una zona con Vs caratteristiche delle coperture di 200-300 m/s, sarebbero possibili fenomeni di doppia risonanza.



Se si considera come nei casi in studio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni di copertura medio-fini (200-300 m/s), è possibile riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz/numero di piani} \approx 200-300 \text{ (m/s)} / 4H$$

ottenendo la relazione illustrata nel Grafico 2.

Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell'edificio può essere valutata con formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008:

$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}} \quad (5)$$

in cui C_1 è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

Tipologia C_1

- Costruzioni con struttura a telaio in acciaio 0,085;
- Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato 0,075;
- Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura 0,050.

La relazione è valida per edifici con altezza Z non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza.

A titolo indicativo tra le varie formule per la misura del periodo di risonanza, si riportano le due estreme entro le quali si collocano le altre. Tali formule sono quelle proposte da Chopra e Goel (2000) e Hong e Hwang (2000) per strutture in cemento armato:

$$T = 0,0294^{0,804}$$

$$T = 0,067 \cdot A^{0,9}$$

Dove A è la struttura in metri.

Una volta definite le condizioni di risonanza del suolo e quelle della struttura si possono stimare le condizioni in cui si potrà sviluppare la doppia risonanza, suolo-struttura, e la profondità d'indagine significativa come risposta sismica di sito. Pertanto, se una struttura ha frequenza propria, bisognerà investigare se nel sottosuolo esistono amplificazioni per risonanza vicine alla frequenza propria della struttura. Quindi, ciò che interessa sapere è la profondità corrispondente a questa frequenza critica. Uguagliando i termini di entrambe le frequenze di risonanza, suolo-struttura, ed esplicitando la profondità H del riflettore che genera la risonanza delle coperture, si trova che per una fissata V_s delle coperture le soluzioni sono quelle riportate di seguito. Queste curve rappresentano la

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 54 di 79
--	-----------------	-----------------

profondità dell'indagine minima entro la quale vanno escluse risonanze del sottosuolo potenzialmente critiche per le strutture (Grafico 3).

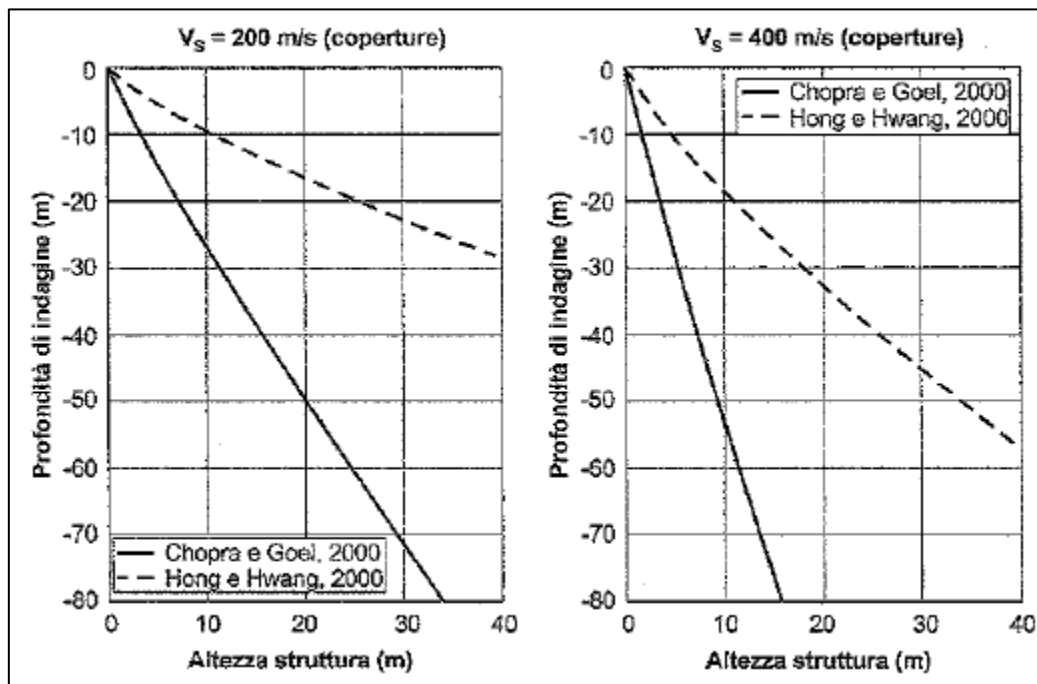


Grafico 3- Relazione tra altezza di una struttura e la profondità di sottosuolo minima da indagare per escludere la possibilità di dare doppia-risonanza in funzione delle Vs dello strato risonante.

A parità di altezza della struttura, quanto maggiore è la V_s delle coperture tanto maggiore sarà la profondità d'indagine per rilevare l'eventuale presenza di contrasti d'impedenza. Pertanto i grafici sopra riportati evidenziano come un'indagine V_{s30} è sufficiente solo su terreni teneri e per edifici entro i 3 piani; se ci si sposta su terreni di media rigidità tale indagine può non essere sufficiente per strutture di 2 piani.

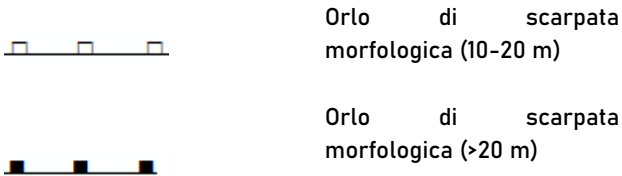
9.3- Carta geologico-tecnica

Prendendo spunto dalle cartografie presenti (geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche), dall'elaborazione dei dati litologici, stratigrafici, litotecnici e sismici acquisiti, nonché da un controllo in situ mediante rilevamento, è stata elaborata e redatta la Carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 per ciascuna delle 5 aree del comune, quale carta di sintesi ed elaborato propedeutico alla stesura della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). La Carta Geologico-Tecnica è stata realizzata utilizzando la simbologia prevista dagli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica". Nell'ambito di tale redazione è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura, alla ricostruzione dettagliata delle forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante e/o delle aree instabili ed all'individuazione del substrato roccioso. Di seguito si riporta uno schema semplificato dei rapporti crono stratigrafici fra le principali Unità presenti nei tre centri abitati.

All'interno della carta vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici:

- sondaggi che raggiungono il substrato geologico (con indicazione della profondità della perforazione);
- sondaggi che non hanno raggiunto il substrato geologico (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione);
- ubicazione delle forme di superficie e sepolte ritenute significative (Figura) quali falde detritiche, orli di scarpata morfologica con altezza compresa fra 10 e 20 m o maggiori di 20 m, oltre ad elementi tettonico-strutturali quali, nel caso in esame, faglie dirette e faglie trascorrenti certe o presunte, la giacitura degli strati e le tracce delle sezioni geologiche ritenute rappresentative del sottosuolo;

Forme di superficie e sepolti



Orlo di scarpata morfologica (10-20 m)

Orlo di scarpata morfologica (>20 m)

Figura 37- Rappresentazione grafica delle forme di superficie e sepolti rappresentate nella Carta Geologico-tecnica.

- aree suscettibili d'instabilità di versante distinte e classificate sulla base della tipologia e dello stato di attività in:

- scorrimento - attiva;
- scorrimento - quiescente;
- colata - attiva;
- colata quiescente;
- complessa - attiva;
- complessa - quiescente;

distinguendo con apposita simbologia (Figura 38) gli elementi sopra richiamati.

INFORMAZIONI SULLE INSTABILITÀ DI VERSANTE	
	Scorrimento - attiva
	Colata - attiva
	Complessa - attiva
	Non definita - attiva
	Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento
	Scorrimento - quiescente
	Colata - quiescente
	Complessa - quiescente

Figura 38 - Simbologie adottate per distinguere le varie tipologie d'instabilità di versante nella Carta Geologico-Tecnica.

Laddove le evidenze morfologiche ne hanno permesso la definizione con certezza, nella carta geologico-tecnica è stata distinta la tipologia di movimento, ricondotta per lo più a scorrimenti o colamenti, questi ultimi

caratterizzati in genere da dinamica lenta. In realtà le diverse dinamiche talora si associano dando luogo a movimenti complessi.

Ciascuna formazione, espressa in termini litologici, è stata suddivisa in funzione della classe di qualità della roccia, da intendersi non in termini rigorosi secondo le classificazioni geomeccaniche di uso comune bensì ai fini della risposta sismica del materiale roccioso, mentre per i terreni di copertura, come previsto dagli standard di rappresentazione per la *Microzonazione Sismica*, è stato fatto riferimento al sistema di classificazione *Unified Soil Classification System (USCS)*. Sono pertanto individuati e rappresentati i terreni di copertura riportati in Figura 39.



	ML - Limi organici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla

Figura 39 - Rappresentazione stratigrafica del terreno di copertura nella Carta Geologico-Tecnica.

Analogamente, in ragione delle caratteristiche (litologiche, di stratificazione e di cementazione o consolidamento) delle unità geologiche presenti nell'area di studio, sono state individuate n. 5 principali classi (Figura 40):

Substrato geologico	
	ALS Alternanza di litotipi stratificato
	COS Coesivo sovraconsolidato stratificato
	SFGR Granulare cementato fratturato o alterato
	SFCOS Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato/alterato
	SFALS Alternanza di litotipi stratificato fratturato o alterato

Figura 40 - Rappresentazione stratigrafica del substrato geologico rigido o non rigido nella Carta Geologico-tecnica.

ALS - Materiali costituiti da alternanze di litotipi - stratificato

La classe comprende le alternanze ordinate di livelli lapidei (in prevalenza da arenarie, calcareniti e calcilutiti) e di livelli pelitici (costituiti da argille, argille marnose e marne). Appartengono a questa classe:

CDP - Formazione di Castiglione dei Pepoli;

SUV - Arenarie di Suviana.

COS - Materiali coesivi sovra-consolidati stratificati

La classe comprende unità costituite in prevalenza da argille con subordinati inclusi lapidei, che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose") e talora intensamente diagenizzate. Di seguito le Formazioni geologiche:

AVC - Argilliti Variegate con calcari;

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 57 di 79
--	-----------------	-----------------

FIU-Argille di Fiumalbo.

SFGR - Materiale granulare cementato fratturato o alterato

Questa classe comprende solo un piccolo affioramento di brecce ofiolitiche alterate presente a Castelluccio.

SFCOS - Materiale coesivo sovra-consolidato stratificato in condizioni alterate o fratturate

Comprende le AVC e le APA in condizioni alterate o fratturate.

SFALS - Alternanza di litotipi stratificati in condizioni alterate o fratturate

Comprende la Formazione di Castiglione dei Pepoli e delle Arenarie di Suviana in condizioni alterate e fratturate.

L'assetto litostratigrafico, nel complesso, può essere considerato costituito da una discreta copertura detritica a granulometria fine (depositi sabbioso-argillosa "ML") o a granulometria grossolana (depositi ghiaioso-limosi "GM") che si imposta su un substrato sub-affiorante integro (ALS o COS) o alterato/fratturato (SFALS - SFCOS - SFGR). In seguito riportiamo il commento alla carta geologico-tecnica per le 5 aree di indagine:

Granaglione

Il substrato geologico, essendo costituito dalla Formazione di Castiglione dei Pepoli, ricade nella classe dei materiali costituiti da un'alternanza di litotipi stratificati (ALS) e si ritrova presente anche in condizioni fratturate/alterate (SFALS). Solo a NW dell'abitato ritroviamo depositi di versante eluvio-colluviali sabbioso-limosi (ML) mentre, per quanto riguarda l'instabilità di versante, le unità del substrato sono ricoperte per gran parte del territorio da depositi di frana quiescente complessa che coinvolgono spessori variabili dell'ordine di 5÷15 m.

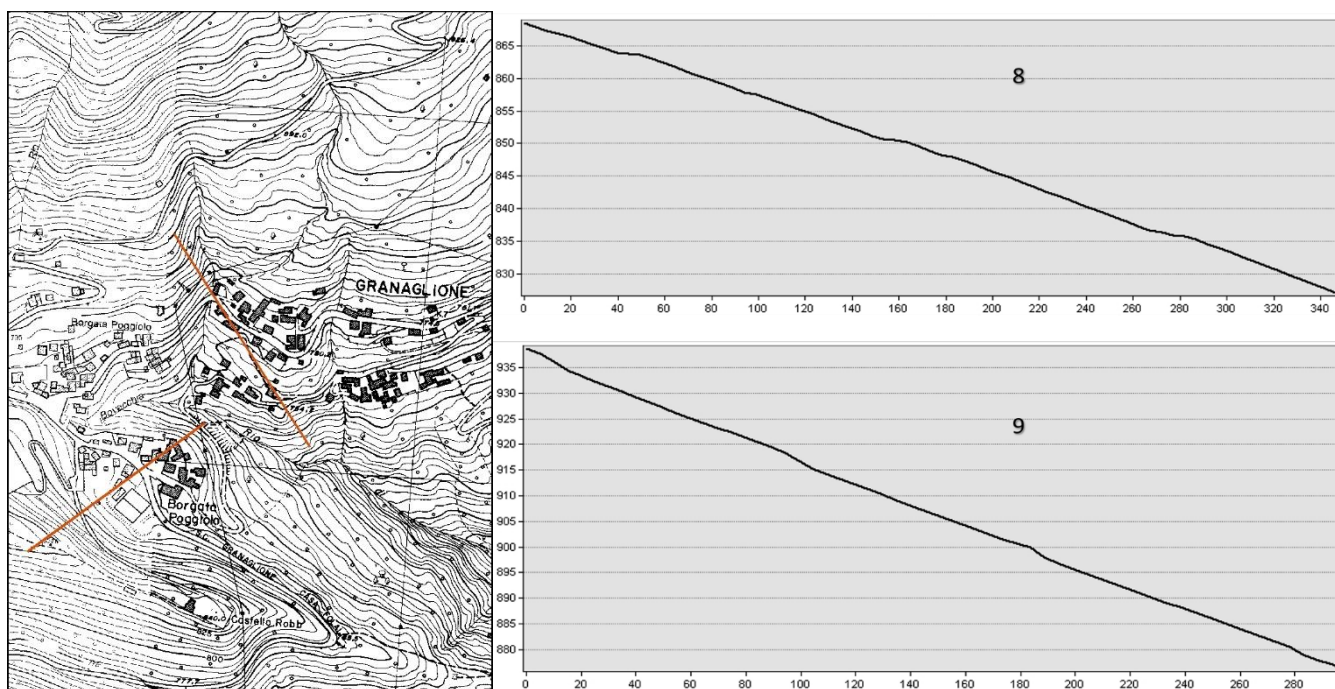


Figura 41-Sezioni topografiche lungo linea di massima pendenza in Loc. Granaglione.

Ponte della Venturina

Il substrato coesivo sovra-consolidato stratificato (COS), che affiora prevalentemente in condizioni fratturate/alterate (SFCOS); questo è costituito dal complesso argillitico (AVC). Relativamente ai terreni superficiali che coprono il substrato si nota, lungo il fiume Reno, la presenza di depositi ghiaioso-limosi (GM) profondi 5-10 m e che coincidono con l'Unità di Modena; mentre nelle porzioni a ovest del fiume Reno, il substrato

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 58 di 79
--	-----------------	-----------------

è ricoperto talvolta da depositi eluvio-colluviali sabbioso-limosi (ML) ma prevalentemente da depositi di frana quiescente complessa e in minima parte (nella parte meridionale dell'abitato) quiescente per scivolamento di fango.

Borgo Capanne

Il substrato coesivo sovra-consolidato stratificato (COS), sempre costituito dal complesso argillitico (AVC), solo raramente si ritrova in condizioni alterate/fratturate (SFCOS). Rispetto a Ponte della Venturina si ha una situazione diversa riguardo ai terreni superficiali che coprono il substrato: nella parte meridionale dell'area si nota la presenza di depositi di versante sabbioso-limosi (ML), depositi di frana attiva e quiescente per colamento di fango e depositi di frana quiescente complessa; nella parte centro-settentrionale il substrato è ricoperto prevalentemente da depositi di frana quiescente per scorrimento e attiva complessa.

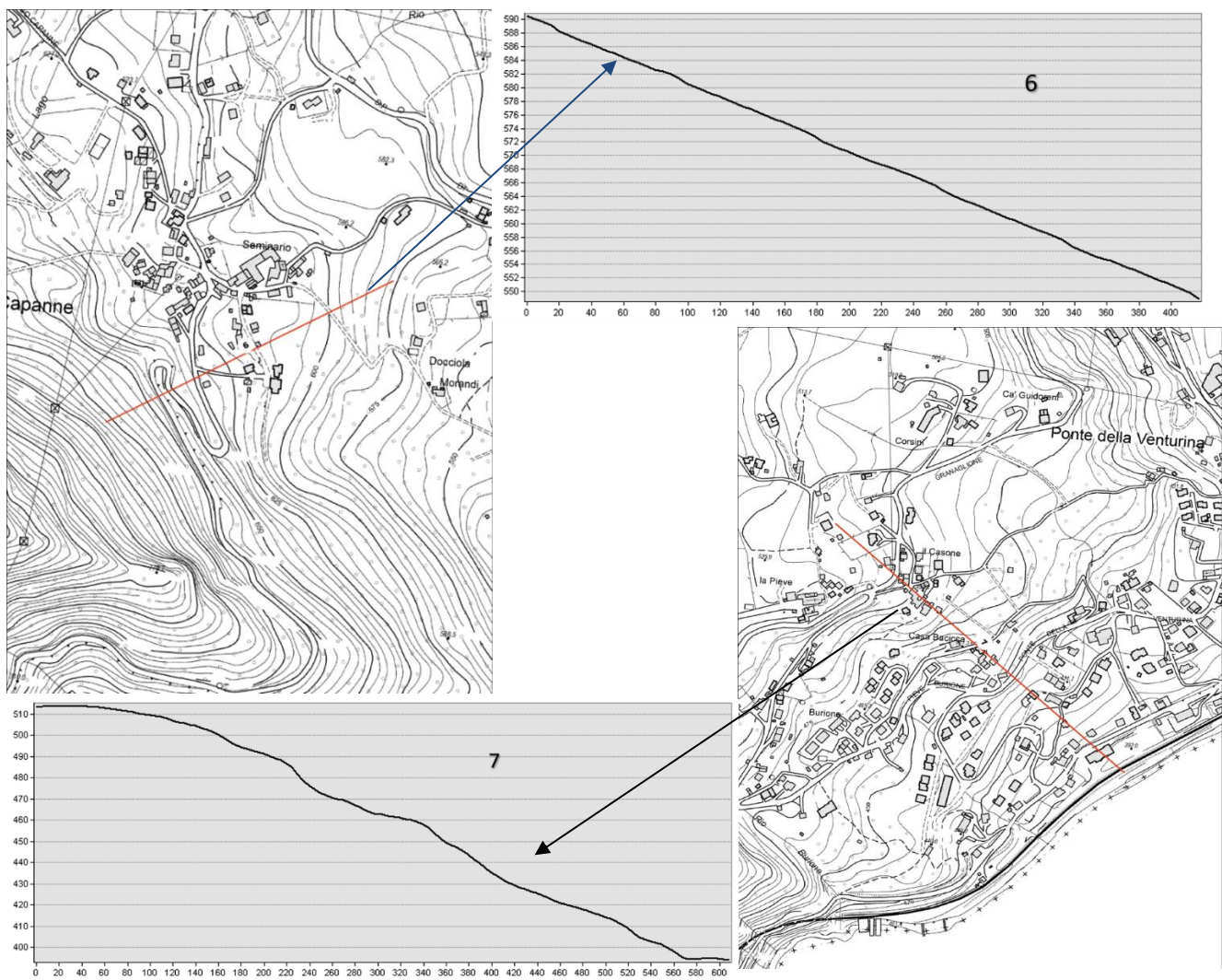


Figura 42-Sezioni topografiche lungo linea di massima pendenza in Loc. Borgo Capanne e Ponte della Venturina.

Porretta Terme

Per la maggior parte dell'area il substrato è di tipo coesivo sovra-consolidato stratificato fratturato/alterato (SFCOS) e solo in minima parte si ritrova come COS; mentre nella parte meridionale risulta in piccola parte costituito dall'alternanza di litotipi stratificati (ALS) rappresentati dalle Arenarie di Suviana, che si ritrovano anche in condizioni alterate/fratturate (SFALTS). Lungo il fiume Reno ci sono le ghiaie limose e miscele di ghiaia, sabbia e limo (GM) che costituiscono l'Unità di Modena, con spessori tra i 10 - 15 m tranne in corrispondenza di una conoide, nella parte meridionale, dove gli spessori possono raggiungere i 15-20 m. Ad Ovest del fiume, laddove

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 59 di 79
--	-----------------	-----------------

affiora il COS, sono presenti depositi eluvio-colluviali (ML) che raccordano il versante (COS) con la piana alluvionale (GM); quando il substrato argilloso è ricoperto da depositi di frana, questi sono di tipo attivo o quiescente complesso/per colamento di fango/per scivolamento. Nella parte meridionale il substrato arenaceo è invece interessato da fenomeni di frana attiva per crollo e/o ribaltamento.

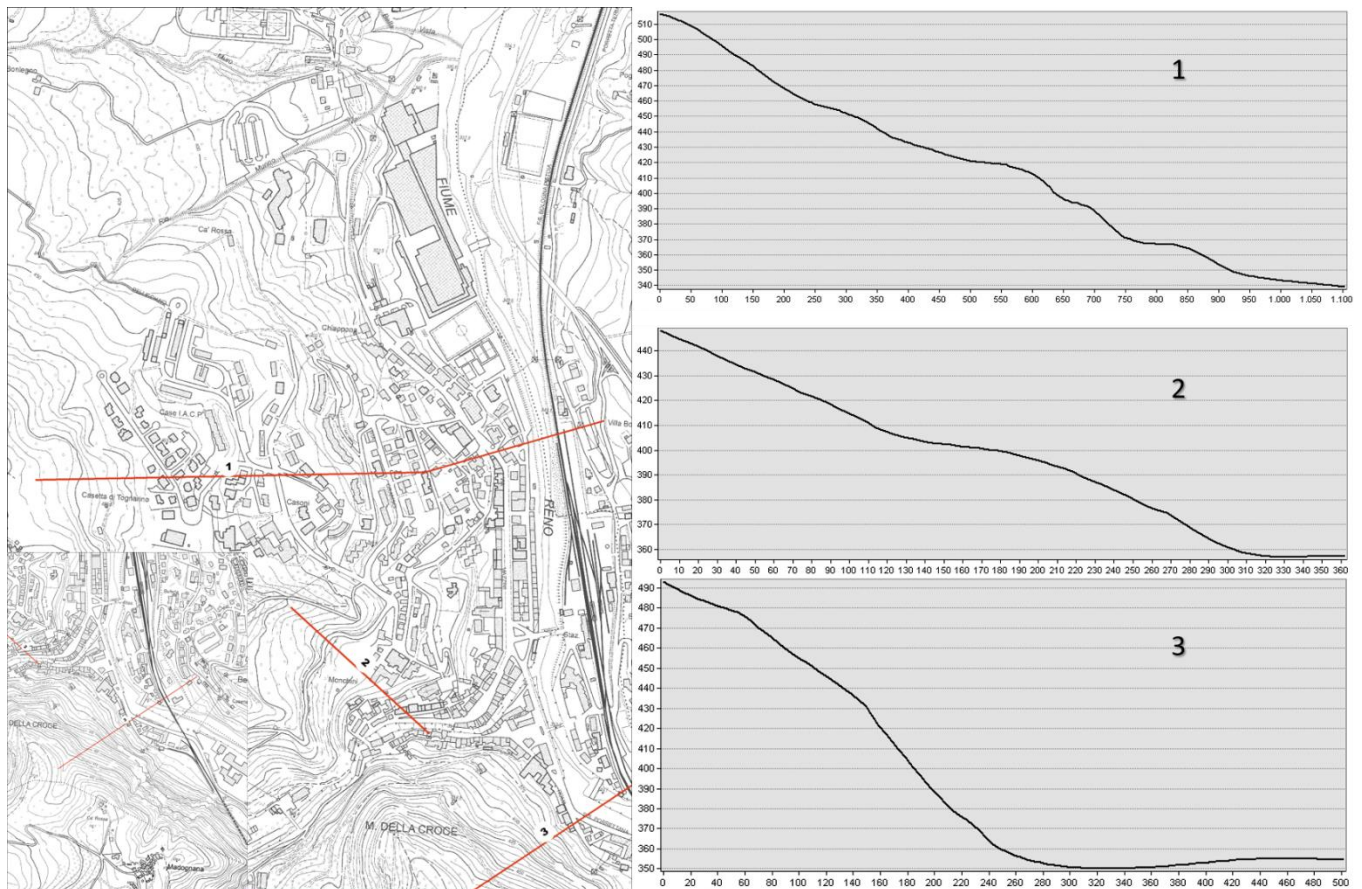


Figura 43–Sezioni topografiche lungo linea di massima pendenza in Loc. Granaglione.

Castelluccio

Il substrato geologico per gran parte dell'area affiora il substrato di tipo coesivo sovra-consolidato stratificato in condizioni alterate o fratturate. Qui è presente l'unico affioramento di substrato granulare alterato che coincide con le breccie ofiolitiche e si trova nella parte centrale dell'abitato. Nell'area meridionale è presente un contatto tettonico che permette l'affioramento del substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati (ALS). Sono presenti depositi di versante costituiti da sabbie fini limose o argillose, o argille sabbiose (ML).

	l'utilizzo di abachi, può portare a sottostima della risposta sismica in superficie; in tali condizioni sono raccomandate analisi bidimensionali;
<i>Zone suscettibili di instabilità</i>	<p>Aree nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio; i principali tipi di instabilità attesi in Emilia-Romagna sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - instabilità di versante in presenza di pendii instabili e potenzialmente instabili, - liquefazioni in presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m da piano campagna, - densificazioni in presenza di terreni granulari poco addensati e/o terreni coesivi poco consolidati, - cedimenti differenziali in aree che presentano terreni con significative variazioni laterali delle caratteristiche meccaniche (zone di contatto tra litotipi significativamente diversi, zone di faglia, zone a pronunciata diversità del grado di deformabilità, ...) o in presenza di cavità sotterranee.

Tabella 16 – Definizione caratteristiche delle microzone.

La cartografia tematica prodotta suddivide quindi il territorio in zone omogenee dal punto di vista litostratigrafico e del comportamento sismico ed individua qualitativamente gli elementi potenzialmente in grado di generare fenomeni di amplificazione locale ed instabilità dinamica.

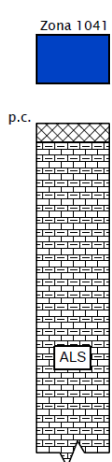
In funzione di ciò il presente studio ha identificato n. 13 zone differenziate in base allo spessore delle coperture, alle loro alternanze e tipologie, al grado di consistenza o al grado di addensamento, in rapporto alla presenza di un bedrock sismico o non sismico, valutabile dalla presenza o meno di un contrasto di impedenza sismica.

Nella carta MOPS sono inoltre riportate le forme di superficie ritenute significative e le tracce delle sezioni topografiche utilizzate in fase successiva per gli approfondimenti per lo studio delle amplificazioni di origine topografica determinati con le procedure previste al punto 2.5.4.2 e relativi abachi, delle Linee Guida II degli ICMS. 2008.

9.4.1- Descrizione delle microzone omogenee presenti nella Carta MOPS

Si riporta una descrizione nel dettaglio di ogni singola Zona individuata e inserita nella Carta MOPS del presente studio, la cui legenda si osserva in Figura 45 e Figura 46:

Zona 1041



ZONE STABILI: Si hanno in corrispondenza dell'affioramento del *bedrock* sismico rappresentato dalle Formazioni arenacee con pendenza minore di 15°. Tale zona si ritrovano nella parte sud-ovest di Castelluccio dove affiora il membro arenaceo della Formazione di Castiglione dei Pepoli e nella parte meridionale di Porretta dove affiorano le Arenarie di Suviana.

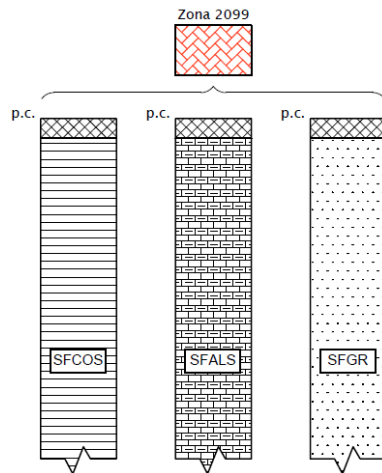
Zona 1041: substrato ALS con pendenza minore di 15°.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI: all'interno di questa classe sono state raggruppate tutte le zone caratterizzate dalla presenza di depositi detritici ed eluvio colluviali, limitatamente alle zone in cui lo spessore risulta di maggiore entità, ai fini di un possibile effetto di amplificazione sismica locale. Deve essere precisato che i litotipi arenacei costituiscono un *bedrock* sismico; mentre le argilliti non raggiungono velocità tali da considerarsi *bedrock* sismico ($V_s < 800$ m/s). Qualsiasi tipo di substrato in condizioni alterate o fratturate è suscettibile di amplificazioni locali. Per ogni zona è stata redatta una colonna stratigrafica sulla base delle evidenze geologiche s.l. sopra descritte; le zone suscettibili di amplificazione vengono quindi rappresentate in Tavola 3. A fianco di ciascun litotipo, come previsto dalle linee guida, viene indicato il valore in metri

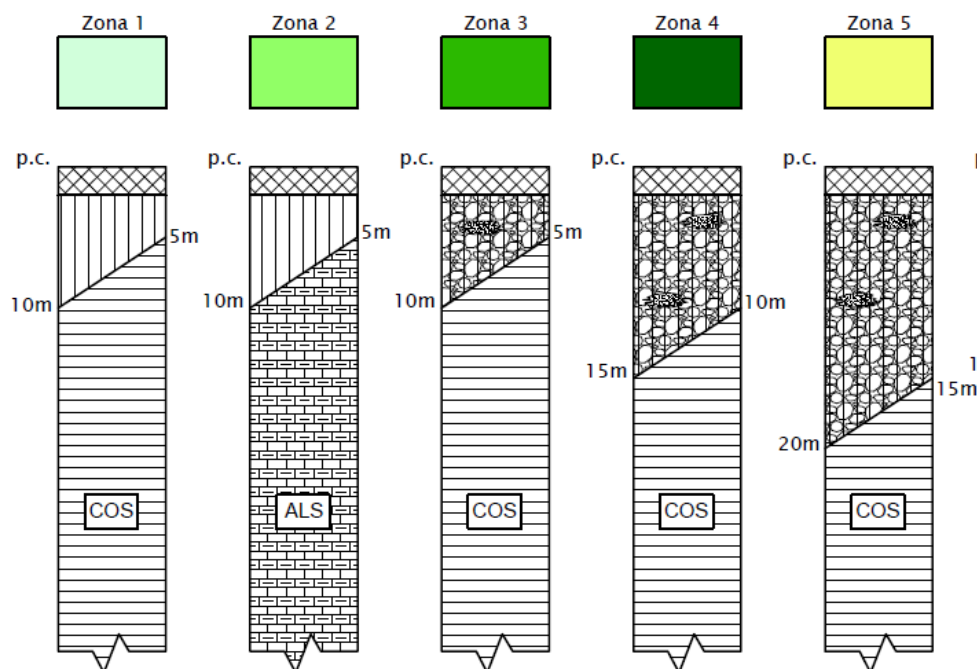
Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 62 di 79
--	-----------------	-----------------

rappresentativo dello spessore di ciascun intervallo. È opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di modeste variazioni in quanto l'analisi è stata effettuata sulla base dei dati disponibili, che seppur numerosi, rimangono sempre indagini puntuali.

Nelle coperture vengono di fatto aggregati materiali naturali da sciolti a cementati e corpi di origine antropica, spesso profondamente rimaneggiati accomunati dalla loro caratteristica generica di "non rocce", con caratteristiche, proprietà e comportamenti assai multiformi.



Zona 2099: include qualsiasi tipo di substrato in condizioni alterate o fratturate: SFCOS, SFALS, SFGR.



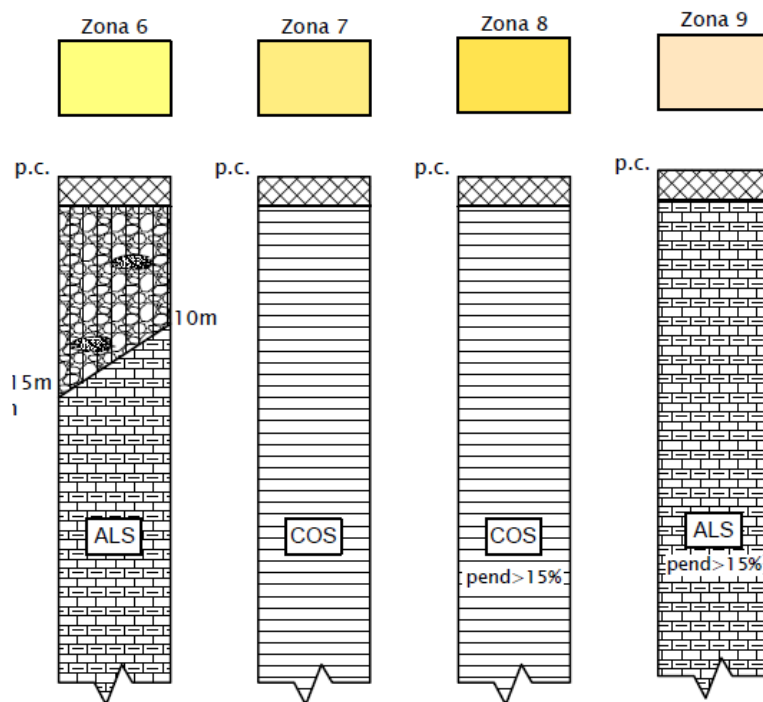
Zona 1: caratterizzata da una coltre detritica costituita da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 5 e 10 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato (ML su COS).

Zona 2: caratterizzata da una coltre detritica ML cioè costituita da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 5 e 10 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato arenaceo ALS, con quest'ultimo coincidente con le Formazioni CDP2, CDP3, SUV).

Zona 3: caratterizzata da una coltre detritica costituita da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 5 e 10 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato costituito dalle Argilliti Variegate con Calcari o dalle Argille di Fiumalbo (GM su COS).

Zona 4: caratterizzata da una coltre detritica costituita da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 10 e 15 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato (GM su COS).

Zona 5: caratterizzata da una coltre detritica costituita da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 15 e 20 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato (GM su COS).



Zona 6: caratterizzata da una coltre detritica costituita da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei. Tali coperture presentano spessori variabili compresi fra 10 e 15 metri e sono ubicate al di sopra di un substrato arenaceo (GM su ALS).

Zona 7: caratterizzata da un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato affiorante costituito da Argilliti Variegate (AVC) e Argille di Fiumalbo (FIU).

Zona 8: caratterizzata un substrato coesivo sovra-consolidato stratificato affiorante con pendenza > 15°.

Zona 9: caratterizzata un substrato arenaceo affiorante con pendenza > 15°.

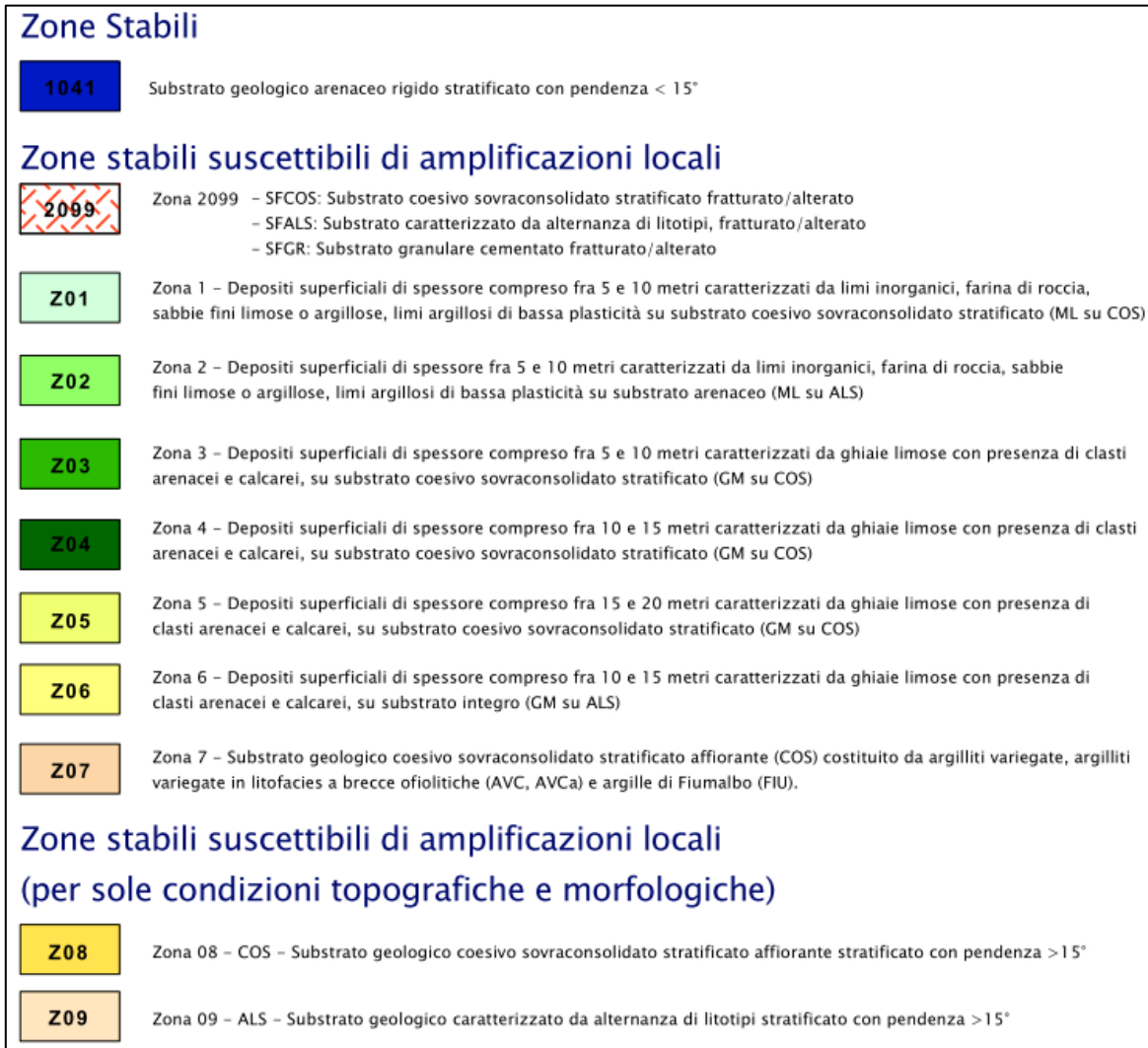


Figura 45 – Zone stabili e zone suscettibili di amplificazioni locali

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ: all'interno di questa definizione sono classificate e cartografate le aree che raccolgono varie forme di instabilità di versante distinte in base al loro stato di attività:

- aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazione di movimenti franosi (tutti accumuli detritici incoerenti indipendentemente dalla genesi, con acclività > 15°; pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati con acclività > 15°; versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio; aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso; scarpate subverticali; accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).

Per quanto riguarda la suddivisione in base al tipo di frana non è stata fatta una distinzione in base allo stato di attività ma si è dato importanza unicamente alla tipologia di movimento.

Le frane sono state suddivise in due gruppi:

- frane per scorrimento e complesse;
- frane per colamento.

Questi due gruppi sono stati a sua volta suddivisi in base al tipo di substrato:

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 65 di 79
--	-----------------	-----------------

- coesivo sovra-consolidato stratificato, costituito dalle argilliti;
- alternanza di litotipi stratificati arenaceo-pelitici.

L'analisi dei sondaggi a carotaggio continuo presenti nell'area hanno consentito di verificare una complessiva uniformità litologica fra le aree a frana rotazionale/traslazionale e complessa e la coltre eluvio/colluviale, la quale si presenta sostanzialmente più consistente. La superficie di scorrimento è posta al contatto con il sottostante *bedrock* geologico coincidendo pertanto con lo spostamento della coltre detritica eluvio-colluviale sul *bedrock* stesso in presenza di falda acquifera sub superficiale (nei primi - 8 m da p.c.). I Colamenti sono cartografati generalmente in zone di impluvio naturale "scorrendo" nei primi 4 m all'interno della coltre eluvio colluviale "satura" ed inglobando al loro interno materiale più grossolano e sabbioso.

Si descrivono sinteticamente le caratteristiche di queste tipologie di frana per genesi.

- *Frane di colata*: sono caratteristiche di terre ed ammassi detritici, avvengono lungo superfici non visibili che si attivano durante lo scorrimento stesso. Interessano aree molto estese, anche interi versanti, lungo i quali è possibile distinguere un bacino collettore o di alimentazione. Sono generalmente da ricondurre all'elevato contenuto d'acqua con superamento del limite liquidità (WLL) nel caso di terreni argillosi.
- *Frane di scorrimento rotazionali*: si verificano per superamento della resistenza di taglio all'interno di una massa che può essere omogenea o presentare stratificazioni. La superficie di rottura è arcuata, con concavità verso l'alto e può essere di neoformazione o in parte preesistente. Alla superficie di scorrimento principale, sono spesso associate superfici secondarie.
- *Frane di scorrimento traslazionale*: Si verificano su superfici di discontinuità preesistenti con inclinazione eguale o inferiore a quella del versante. Sono tipiche di rocce stratificate omogenee o di alternanze di rocce a reologia differente. Sono evidenziate da fratture di trazione riscontrabili nella parte alta del versante.
- *Frane di crollo e/o ribaltamento*: si verificano su pendii rocciosi estremamente acclivi, cioè dove affiorano i litotipi più competenti. Il sistema di fratturazione influenza anche le dimensioni ed il numero di blocchi coinvolti nel franamento. La nicchia di distacco può essere planare, cuneiforme, verticale o irregolare e caratterizzata da gradini ed è determinata essenzialmente dalla direzione delle discontinuità (fratture, faglie, stratificazione) dell'ammasso roccioso.
- *Frane complesse*: in questo tipo di frane i movimenti derivano dalla combinazione nello spazio e nel tempo di 2 o più tipi di movimento tra quelli descritti prima.

Le aree in frana, sulla base del tipo di frana, tipo di substrato e spessore delle coperture, sono state suddivise in 5 zone di attenzione per instabilità. Tali zone, numerate dalla 10 alla 14, sono state poi rappresentate nella Carta delle MOPS la cui legenda delle frane è consultabile in Figura 46. Di seguito sono descritte, per ognuna delle zone, la stratigrafia di riferimento e la natura dell'instabilità. Le relative colonne litostratigrafiche sono riportate nell'Allegato 3:

Zona 10

- Stratigrafia: frane di spessore da 5 a 10 m su substrato COS cioè costituito da litotipi coesivi sovra-consolidati stratificati. In questo caso il franamento complesso avviene per combinazione di processi gravitativi quali scorrimento e colata; deposito che ne deriva è costituito da una matrice argilloso-siltosa dove si possono ritrovare clasti calcareo-silicei angolosi e mal classati. Nel caso delle frane per scorrimento il materiale rimane invece più compatto, anche se per sua natura è scaglioso e scompaginato a causa delle intense deformazioni tettoniche. In alcuni punti si può riconoscere la stratificazione grazie alle intercalazioni calcareo-arenacee. Instabilità: frane complesse attive e quiescenti, frane di scorrimento attive e quiescenti.

Zona 11

- Stratigrafia: frane di spessore tra 10 e 20 m su substrato argillitico COS e caratteristiche come quelle descritte per la zona 10. Instabilità: frane complesse attive e quiescenti, frane di scorrimento attive e quiescenti.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 66 di 79
--	-----------------	-----------------

Zona 12

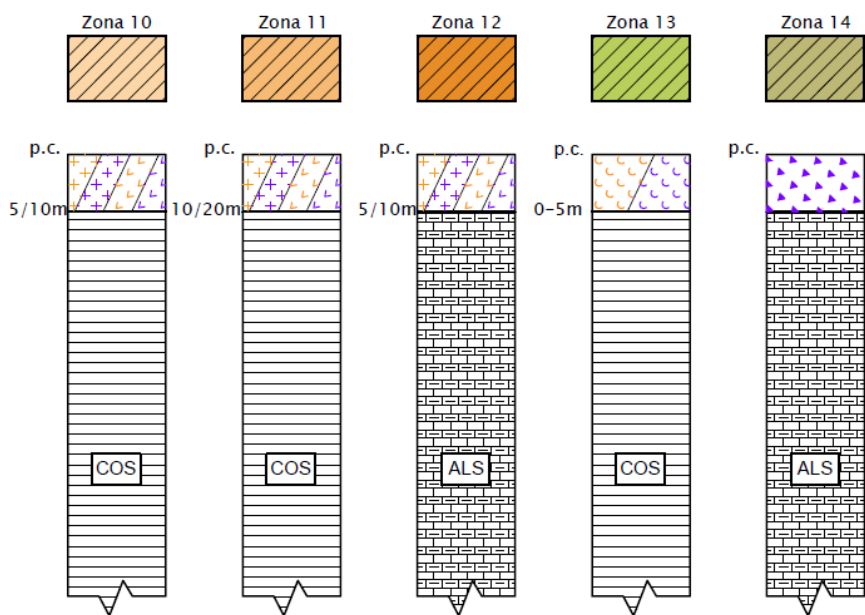
- Stratigrafia: frane di spessore compreso tra 5 e 10 m su substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati (ALS). Le frane complesse su litotipi arenaceo-pelitici stratificati sono perlopiù caratterizzate dalla combinazione crollo-scorrimento. Il crollo è dovuto principalmente alla fratturazione delle porzioni arenacee in aggetto, mentre lo scorrimento si realizza in corrispondenza degli strati marnoso-pelitici, dove in presenza di acqua si generano sovrappressioni che innescano la rottura. Il deposito è costituito in prevalenza da materiale litoide angoloso che in alcune parti può preservare la stratificazione originaria; questa è tanto più conservata quanto più lo scorrimento prevale sul crollo. Instabilità: frane complesse attive e quiescenti, frane di scorrimento attive e quiescenti.

Zona 13

- Stratigrafia: spessore tra 0 e 5 m su substrato coesivo sovra-consolidato stratificato. A causa dell'abbondante presenza di argilla il deposito è di tipo matrice-sostenuto: i clasti angolosi arenacei e calcarei sono immersi nella matrice argilloso-limosa e più abbondanti nella parte frontale e superficiale del deposito. Instabilità: frane per colamento attive e quiescenti.

Zona 14

- È presente solamente nella parte meridionale di Porretta Terme dove affiorano le arenarie di Suviana con giacitura a franapoggio che costituiscono la nicchia di distacco. Il materiale d'accumulo è caotico e non presenta alcun tipo di organizzazione interna; i blocchi sono angolosi e fortemente eterometrici. Instabilità: frana attiva per crollo/ribaltamento



Zone di attenzione per instabilità - Za_{FR}

- Zona 10 - Frane complesse o per scorrimento, da 5 a 10 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 11 - Frane complesse o per scorrimento, da 10 a 20 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 12 - Frane complesse o per scorrimento, da 5 a 10 metri di profondità, su substrato ALS
- Zona 13 - Frane per colamento, da 0 a 5 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 14 - Frane per crollo/ribaltamento, su substrato ALS

Figura 46- Zone suscettibili di instabilità di versante.

10 – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

L'analisi di secondo livello prevede una caratterizzazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrata nella cartografia di 1° livello, e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione di analisi di 2° livello ha lo scopo di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare le strutture sia esistenti sia future dagli effetti di amplificazione sismica locale; per queste aree si dovrà procedere alle indagini di 3° livello. In questo livello di approfondimento è stato prodotto il seguente elaborato cartografico:

- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs);
- Carta dei fattori di amplificazione delle aree.

Di seguito si riportano i principali aspetti relativi alle carte sopra richiamate.

10.1- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) (realizzata in scala 1:5.000 per ognuno dei 5 centri abitati in esame) riporta tutti i punti di misura di Vsh con indicazione, per ogni punto di misura, della tipologia della prova geofisica svolta per ottenere la misura, il valore di velocità (in m/s) misurato e la profondità corrispondente.

La carta delle velocità delle onde di taglio (Vs), rappresenta la sintesi delle velocità delle onde di taglio con indicazione per ogni punto di misura:

- del tipo di prova geofisica che è stata effettuata;
- della profondità del substrato h (in m) e di V_{seq} (in m/s) e V_{s30} .

I valori di Vs sono stati calcolati in base a dati acquisiti con indagini sismiche di superficie sia di tipo attivo che passivo opportunamente combinate tra di loro per meglio definire il profilo, con la profondità, di velocità delle onde S:

- 57 prospezioni sismiche a rifrazione attiva con metodo MASW;
- 1 prospezione sismica passiva ESAC;
- 120 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtrempi con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

In riferimento ai valori di velocità Vs calcolati con la seconda delle metodologie sopra indicate e sull'interpretazione critica delle prove geognostiche disponibili, è stato possibile estendere l'informazione sulla profondità H del substrato rigido avvalendosi della relazione che collega la frequenza di risonanza con la profondità del substrato rigido e la velocità media delle onde S ($F_0 = V_s/4H$).

Per i suoli presenti nei cinque abitati in studio sono stati presi in considerazione i seguenti valori di velocità delle onde di taglio S e confrontati rispettivamente con i valori derivanti da indagini pregresse realizzate in loco da professionisti abilitati che hanno cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSr con le frequenze proprie di risonanza del terreno e da altre misure realizzate ad hoc dal sottoscritto (indagini a sismica attiva MASW e indagine a sismica passiva con antenna sismica ESAC). I valori di velocità riprendono essenzialmente i valori tabulati da Borcherdt (1992; 1994) (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) a ssieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004). Per i terreni di copertura detritica si sono considerati mediamente i valori di Vs appartenenti alle argille compatte e suoli sabbiosi.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 68 di 79
--	-----------------	-----------------

Sulla base delle indagini sismiche effettuate, sono state distinte due classi, relazionate alla risposta sismica così come schematizzata dalla normativa sismica, in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di spessore del terreno (V_{s30}), ovvero se questa risulta inferiore o superiore a 800 m/s. La prima categoria ($V_{s30} \geq 800$ m/s) comprende le formazioni di CDP₂ CDP₃ e SUV; la seconda categoria ($V_{s30} \leq 800$ m/s) comprende le formazioni di AVC, FIU.

TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiale e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da scioite a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Tabella 17 - Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borcherdt, 1994].

In generale le elaborazioni delle acquisizioni effettuate hanno evidenziato quanto sotto riportato e suddiviso sulla base dei terreni di copertura e del substrato geologico:

Terreni di copertura:

- depositi di versante sl $V_s = 230-280$ m/sec;
- depositi alluvionali-conoidi alluvionali $V_s = 350-430$ m/sec;
- accumuli di frana $V_s = 200/250$ m/s (spessore 5-10 m) 300/350 (spessore 10-20 m);

Substrato geologico:

- prevalentemente argillitico (AVC, FIU) $V_s = 450-600$ m/sec.

Substrato geologico bedrock sismico:

- prevalentemente arenaceo-pelitico (CDP₂ CDP₃ e SUV) $V_s = 750/>800$ m/sec (bedrock sismico).

Substrato geologico alterato:

- costituito da argilliti (SFCOS) $V_s = 350/400$ m/sec;
- arenaceo-pelitico (SFALS) $V_s = 550/700$ m/sec;
- costituito da brecce ofiolitiche (SFGR) $V_s = 600$ m/sec.

10.2- Carta dei fattori di amplificazione delle aree

Attraverso il confronto fra le indagini geotecniche analizzate e le risultanze delle indagini geofisiche volte a determinare i profili di V_{s30} è stato possibile definire i fattori di amplificazione (Fa) dei tre centri abitati in esame, mediante tabelle e formule messe a punto dalla Regione Emilia Romagna: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla deliberazione n. 112 del 2/5/2007 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna" (D.A.L. 112/2007). Tali indicazioni prevedono che nelle aree collinari e nelle zone di pianura in cui è presente un contrasto di impedenza a bassa profondità l'amplificazione venga stimata con la tabella del margine appenninico su substrato a bassa velocità ($V_s < 800$ m/s) che prevede la definizione dello spessore H di copertura, o profondità del tetto del substrato, e del parametro di VSH, o valore equivalente di V_s nello spessore considerato (H). Negli altri casi in cui non venga individuato nessun contrasto di impedenza prossimo alla superficie l'amplificazione è stata stimata con le tabelle relative ad ambiti di pianura o costa o, nelle aree collinari, con la tabella relativa alle zone appenniniche con substrato marino caratterizzato da V_s a bassa velocità direttamente affiorante. Come accennato, tali tabelle richiedono la definizione del parametro V_{s30} . La scheda di riferimento che si adatta meglio al modello geofisico - geotecnico delle aree in esame è quella definita: APPENNINO E MARGINE APPENNINICO PADANO. In Figg. 46, 47 e 48 si riportano i fattori di amplificazione (Fa).

Per quanto riguarda la definizione dei valori di V_s , sono stati assegnati i profili di velocità misurati sperimentalmente nei vari punti stazione dal piano di campagna fino alla profondità del tetto del substrato dopo averli confrontati e mediati, nelle diverse aree omogenee individuate sulla base della litologia affiorante, con i dati presenti in bibliografia o derivanti da studi geosismici passati.

Nel dettaglio si è partiti dai risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate per lo studio di micro zonazione sismica dopodiché si è implementato tali dati attraverso un'analisi matematica derivante dalla modellazione di stratigrafie che riportavano i valori di velocità in funzione della litologia e dello spessore delle coperture del substrato. I profili di velocità nelle tre aree in esame sono complessivamente molto simili; si evidenzia un trend generalmente crescente con la profondità caratterizzato da un aumento significativo dei valori di V_s in corrispondenza del passaggio stratigrafico dai terreni di copertura a quelli del substrato. Le differenze tra le aree in esame, ed anche all'interno del singolo centro abitato, si riscontrano principalmente nella velocità della copertura superficiale, costituita per lo spessore di ca. 1-2 m da terreno di riporto con valori di V_s mediamente intorno a 100-150 m/s e per i successivi metri (con spessori variabile a seconda della zona da un minimo di 3 m ad un massimo di ca. 20 m) da limi inorganici (ML) o ghiaie limose (GM) con valori di V_s che oscillano rispettivamente mediamente intorno ai 200-350 m/s e 350/430 m/s.

Pertanto la velocità equivalente delle onde di taglio per la copertura superficiale risulta fortemente influenzata dallo spessore dei depositi limosi e/o argillosi sovrastanti il substrato in rispetto al contributo di velocità V_s offerto dallo spessore del terreno di riporto.

In ogni caso questi valori possono solo essere rappresentativi di situazioni generali e non particolari.

A partire dai profili di V_s disponibili, sono state redatte le carte dei fattori di amplificazione definiti come segue:

- F_{aPGA0} fattore di amplificazione di PGA0 (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock);
- $F_{a0,1-0,5s}$ fattore dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s;
- $F_{a0,5-1,0s}$ fattore dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.5-1.0s.

I risultati di questa analisi sono stati sintetizzati in cartografie di dettaglio che individuano zone a diverso comportamento in termini di fattori di amplificazione di accelerazione massima orizzontale (F_{aPGA}) e di Intensità di Housner per intervalli di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 s ($F_{a0,1-0,5s}$) e tra 0,5 e 1 s ($F_{a0,5-1s}$). In merito alla valutazione dell'amplificazione sismica dovuta agli effetti topografici è stato fatto riferimento alle indicazioni riportate nel paragrafo A2.2 - Effetti della topografia dell'Allegato 2 TABELLE E FORMULE PER LA VALUTAZIONE

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 70 di 79
--	-----------------	-----------------

DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DEL SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI e a quelle riportate nel paragrafo 3.2.2 - Condizioni topografiche. In particolare sono stati valutati gli effetti topografici nel caso di configurazioni bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza (H) superiore a 30 m, trascurando quelli per pendii con inclinazione media inferiore a 15°. Per i pendii con inclinazione maggiore a 15° la risposta sismica locale è stata moltiplicata attraverso un fattore S_T (coefficiente di amplificazione topografica) calcolato secondo le disposizioni del paragrafo A2.2 sopracitato.

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.1	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.4	2.3	2.1	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.4	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1
35		2.3	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	2.6	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.9	2.5	1.9	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
30		2.9	2.3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
35		3.2	2.8	1.9	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0
40		3.4	3.1	2.4	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
50		3.2	3.2	2.9	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1

Figura 47- Fattori di amplificazione PGA, S11 ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$) e S12 ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$) per la scheda Appennino e Margine Appenninico-Padano (in caso di substrato marino caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s). Colonna 1: H(m). Riga 1: V sH(m/s).

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Figura 48 - Fattori di amplificazione PGA, SI1 ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$) e SI2 ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$) per la scheda Appennino e Margine Appenninico-Padano (in caso di substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s). Colonna 1: H(m). Riga 1: V sH(m/s).

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Figura 49 - Fattori di amplificazione PGA, SI1 ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$) e SI2 ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$) per la scheda Appennino e Margine Appenninico-Padano in caso di substrato marino non rigido caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s affiorante.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$		1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $30^\circ \leq i \leq 15^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4
In prossimità della sommità del pendio	Sommità di rilievi con larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base		

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 72 di 79
--	-----------------	-----------------

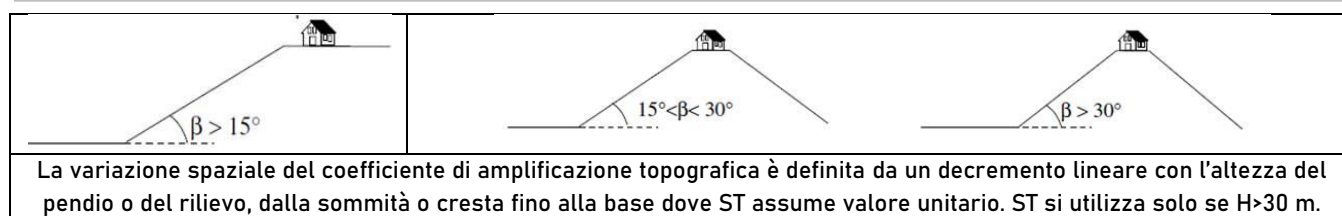


Figura 50- Categorie topografiche definite al punto 3.2.2. delle NTC 2018 per la valutazione della risposta sismica locale.

Nella Carta di microzonazione sismica di secondo livello riferita ai valori di Fa il territorio è suddiviso in zone caratterizzate dal diverso valore di amplificazione sismica. La suddivisione del territorio nelle suddette zone è stata svolta secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, Versione 4.0 della Microzonazione sismica i quali identificano i range specifici dei valori di ciascuna classe e attribuiscono colori univoci alle diverse classi per quanto attiene la rappresentazione cartografica.

In Tabella 18 sono riportate le varie zone.

Zona MOPS	Velocità medie	Fa _{PGA}	Fa _{0,1-0,5}	Fa _{0,5-1,0}	Fattore topografico	Tipologia di substrato
Z1	250	2	1.9	1.4		COS
Z2	250	1.9	1.6	1.0		ALS
Z3	350	1.6	1.5	1.3		COS
Z4	350	1.8	1.6	1.4		COS
Z5	350	1.9	1.8	1.4		COS
Z6	350	1.8	1.4	1.0		ALS
Z7	400	1.8	1.7	1.5		COS
Z8	400	2.16	2.04	1.8	1.2	COS
Z8.1	400	2.52	2.38	2.1	1.4	COS
Z9	800	1.2	1.2	1.2	1.2	ALS
Z9.1	800	1.4	1.4	1.4	1.4	ALS
Z10	200	2.2	2.3	1.6		COS
Z11	200	2.1	2.6	2.6		COS
Z12	200	2.0	2.0	1.1		ALS
Z13	200	2.0	1.7	1.4		COS
Z14	200	1.7	1.2	1.0		ALS
2099	350	1.9	1.9	1.5		SFCOS
2099	600	1.2	1.3	1.3		SFALS
2099	600	1.4	1.4	1.4		SFGR

Tabella 18 - Valori di FA nelle varie zone (Fa_{PGA} Fa_{0,1-0,5s} Fa_{0,5-1s}).

Di seguito sono descritti brevemente per ogni zona l'inquadramento, i principali caratteri geologici e i fattori di amplificazione sismica stratigrafica (FA).

Zona 1

- Inquadramento: Ponte della Venturina (località Ca' Guido reni, località Renghino e una piccola area a sud in località Burione), Borgo Capanne (area a sud dell'abitato), Castelluccio (due piccole aree rispettivamente a est e a nord del centro abitato), Porretta Terme (fascia di territorio che sale dal centro abitato verso nord, una piccola area in località Casetta di Tognarino) due aree all'estremità settentrionale della frazione).
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- Fa_{PGA}: 2,0; Fa_{0,1-0,5s}: 1,9; Fa_{0,5-1,0s}: 1,4

Zona 2

- Inquadramento: Granaglione (piccola area a nord in località Borgata Poggiolo), Castelluccio (estremità sud-ovest)

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 73 di 79
--	-----------------	-----------------

- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,9; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,6; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,0

Zona 3

- Inquadramento: Ponte della Venturina (fascia di territorio che delimita a est la frazione, da nord a sud), Porretta Terme (lingua di terreno a sud del centro abitato).
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,6; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,5; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,3

Zona 4

- Inquadramento: Porretta Terme, fascia di territorio che delimita a est la frazione dall'estremità settentrionale fino al centro abitato.
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,8; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,6; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,4

Zona 5

- Inquadramento: Porretta Terme area a sud del centro abitato in zona stazione.
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,9; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,8; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,4

Zona 6

- Inquadramento: Porretta Terme, estremità meridionale della frazione (località la Puzzola)
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,8; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,4; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,0

Zona 7

- Inquadramento: Ponte della Venturina (piccola area nella parte nord-ovest in località Borra-Poggiolo), Borgo Capanne (fascia di territorio che va da località Gli Orti al Seminario, piccola area al limite occidentale della frazione, estremità settentrionale della frazione), Porretta Terme (piccole aree in zona via Daldi e Matteucci Fratelli).
- Zona stabile soggetta ad amplificazione
- FA_{PGA} : 1,8; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,7; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,5

Zona 8

- Inquadramento: zone con pendenza compresa fra 15° e 30° all'interno della Zona 7. In aggiunta è presente una piccola area a Ponte della Venturina (in mezzo al centro abitato) e alcune aree a Porretta Terme (una a sud-ovest in località Molino di Saturno e alcune piccole aree a sud dell'Istituto Magistrale Montessori)
- Zona stabile soggetta ad amplificazione con fattore topografico 1,2 (pendenza compresa fra 15° e 30°)
- FA_{PGA} : 2,16; $FA_{0.1-0.5s}$: 2,04; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,8.

Zona 8.1

- Inquadramento: piccola area con pendenza >30° all'interno della Zona 8 a Porretta Terme, a sud-ovest in località Molino di Saturno.
- Zona stabile soggetta ad amplificazione con fattore topografico 1,4 (pendenza $i > 30^\circ$)
- FA_{PGA} : 2,52; $FA_{0.1-0.5s}$: 2,38; $FA_{0.5-1,0s}$: 2,1.

Zona 9

- Inquadramento: Granaglione (tre aree rispettivamente a nord, sud e ovest della frazione), Castelluccio (estremità meridionale della frazione), Porretta Terme (vasta fascia di territorio all'estremità meridionale della frazione)
- Zona stabile soggetta ad amplificazione con fattore topografico 1,2 (pendenza compresa fra 15° e 30°)

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 74 di 79
--	-----------------	-----------------

- FA_{PGA} : 1,2; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,2; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,2

Zona 9.1

- Inquadramento: area con pendenza $> 30^\circ$ all'interno della zona 9 a Porretta Terme, all'estremità meridionale della frazione
- Zona stabile soggetta ad amplificazione con fattore topografico 1,4 (pendenza $i > 30^\circ$)
- FA_{PGA} : 1,4; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,4; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,4

Zona 10

- Inquadramento: Ponte della Venturina (estremità nord, area intorno a via Kennedy, vasta area nella parte meridionale della frazione), Borgo Capanne (tutta la parte centrale della frazione più alcune piccole aree a nord e a sud), Castelluccio (due fasce di territorio sui confini est e ovest della frazione, due piccole aree a nord), Porretta Terme (alcune piccole aree nel centro abitato e altre all'estremità settentrionale della frazione)
- Zona di instabilità per frane complesse o da scorrimento attive o quiescenti con profondità da 5 a 10 metri su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato.
- FA_{PGA} : 2,2; $FA_{0.1-0.5s}$: 2,3; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,6

Zona 11

- Inquadramento: Borgo Capanne (piccola area nella parte occidentale della frazione), Porretta Terme (vasta area nella parte centro-nord della frazione, dall'ospedale all'altezza di località Ca' Nuova)
- Zona di instabilità per frane complesse o da scorrimento attive o quiescenti con profondità da 10 a 20 metri su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato.
- FA_{PGA} : 2; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,9; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,4

Zona 12

- Inquadramento: Ponte della Venturina (area a ovest dell'abitato in località Corsini), Granaglione (due vaste aree a est e ovest della frazione), Porretta Terme (zona a sud dell'abitato in località Monchini, alcune piccole aree più a sud)
- Zona di instabilità per frane complesse o da scorrimento attive o quiescenti con profondità da 5 a 10 metri su substrato arenaceo.
- FA_{PGA} : 2,0; $FA_{0.1-0.5s}$: 2,0; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,1

Zona 13

- Inquadramento: Ponte della Venturina (due aree all'estremità sud), Borgo Capanne (due piccole aree a sud e a ovest della frazione), Castelluccio (due aree a nord della frazione), Porretta Terme (alcune aree al centro della frazione in zona ospedale-cimitero e due piccole aree poco più a nord)
- Zona di instabilità per frane per colamento attive o quiescenti con profondità da 0 a 5 metri su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato.
- FA_{PGA} : 2,0; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,7; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,4.

Zona 14

- Inquadramento: Porretta Terme, piccola area a sud della frazione.
- Zona di instabilità per frane per crollo/ribaltamento su substrato arenaceo.
- FA_{PGA} : 1,7; $FA_{0.1-0.5s}$: 1,2; $FA_{0.5-1,0s}$: 1,0.

Zona 2099

- Inquadramento: Ponte della Venturina (diverse aree sul lato occidentale della frazione due più grandi a nord e a sud, alcune più piccole nel centro), Borgo Capanne (due piccole aree a sud della frazione), Castelluccio (una vasta fascia di territorio che occupa tutta la parte centrale della frazione, da nord a sud), Porretta Terme (diverse aree nel centro della frazione in corrispondenza del centro abitato, alcune aree a nord)

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 75 di 79
--	-----------------	-----------------

- Zona stabile.
- Substrato SFCOS - FA PGA: 1,9; FA_{0,1-0,5s}: 1,9; FA_{0,5-1,0s}: 1,5.
- Substrato SFALS - FA PGA: 1,2; FA_{0,1-0,5s}: 1,3; FA_{0,5-1,0s}: 1,3.
- Substrato SFGR - FA PGA: 1,4; FA_{0,1-0,5s}: 1,4; FA_{0,5-1,0s}: 1,4.

10.3 – Confronto tra modello geologico e geofisico

L'analisi attenta delle misure sismiche effettuate unite all'esame dei dati inerenti alle velocità sismiche di taglio Vs forniti dall'Ufficio Tecnico comunale a seguito di lavori pubblici e privati e alle conoscenze sulle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni indagati, ha permesso di ricavare preziose informazioni circa il modello geologico del sottosuolo.

In particolare il modello geofisico semplificato ottenuto dai risultati delle misurazioni fino alla profondità del substrato sismico è stato confrontato con i dati geologici del sottosuolo ricavati dalle stratigrafie di alcuni sondaggi e con il modello geologico ipotizzato nelle sezioni geologiche trasversali. Questo confronto è servito sia per controllare e tarare i dati geofisici in base alla geologia di sottosuolo sia per trasformare le sezioni geologiche in un modello geofisico del sottosuolo. I depositi di versante e accumuli di frana dei centri abitati di Borgo Capanne, Ponte della Venturina, Porretta Terme e Castelluccio, essendo di natura prevalentemente fine e caratterizzati da argille-limose, limi-sabbiosi e corpi litoidi eterometrici di varia genesi poggianti al di sopra del substrato argillitico AVC e che aumentano di profondità verso il fondovalle, presentano velocità Vs comprese fra 200 e 250 m/s e valori del letto alluvionale del Fiume Reno intorno a 400 m/s. In particolare è possibile mettere in evidenza una sostanziale coerenza tra i valori di Vs dei depositi superficiali ed i primi metri del substrato AVC dove le basse velocità iniziali, in coerenza con una sua natura argillitica, indicano che i contrasti d'impedenza non sono così marcati da determinare fenomeni d'amplificazione rilevanti. Ciò è confermato anche dalle analisi HVSR, che non hanno evidenziato ampiezze significativamente accentuate dei picchi spettrali di risonanza. Di fatto il substrato costituito dalle argilliti, presenta velocità decisamente basse nei primi 2 +3 m, corrispondenti ad uno spessore di alterazione del materiale, per poi subire un modesto incremento a ca. 8 + 10 m, per entrambi i siti arrivando a ca. 350/400 m/s (valore che può essere considerato come Vs di riferimento per questi materiali più superficiali). Va segnalato inoltre che alcune misure hanno evidenziato un contrasto d'impedenza sismico a profondità intorno a circa 80 m all'interno al substrato geologico probabilmente connesso con una variazione litologica in profondità all'interno delle AVC con velocità Vs comprese generalmente tra 600 e 800 m/s. Questo potrebbe essere dovuto a un livello dove incrementano le intercalazioni calcaree-marnose o arenacee fini presenti nelle Argilliti variegata con calcari.

D'altra parte a Granaglione e nella piccola porzione meridionale di Castelluccio e Borgo Capanne (ove si rinvengono le arenarie della Formazione di Castiglione dei Pepoli CDP₂), e nella porzione meridionale di Porretta Terme (ove si impongono le Arenarie di Suviana), sono presenti picchi spettrali molto più marcati (frequenze naturali con ampiezze maggiori di 3) delle altre aree investigate e sopra descritte. Questo è dovuto dalla presenza di un substrato (in questo caso bedrock sismico) più competente, come evidenziato anche dalle analisi delle velocità di taglio.

11 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Lo studio di secondo livello di approfondimento eseguito per la microzonazione sismica dei centri abitati di Granaglione, Ponte della Venturina, Borgo Capanne, Porretta Terme e Castelluccio ha evidenziato come ampie porzioni del territorio siano suscettibili di amplificazione sismica locale. Analogamente anche le condizioni di instabilità per la presenza di fenomeni franosi interessano la maggior parte delle aree in studio. I valori più alti di amplificazione si riscontrano, in linea di massima, nelle formazioni con i livelli pelitici prevalenti. Va comunque sottolineato come, localmente, l'alterazione superficiale di questo substrato geologico non rigido possa influenzare in maniera preponderante le condizioni di amplificazione locale.

Prendendo in considerazione i fabbricati aventi periodo di vibrazione compreso nell'intervallo 0,1 – 0,5 s (ricadono in questo intervallo le tipologie edilizie prevalenti nel settore civile realizzate con qualsiasi tipologia costruttiva,

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 76 di 79
--	-----------------	-----------------

aventi max 3-4 piani fuori terra) l'analisi dei fattori di amplificazione mette in risalto, per intervalli di periodo compresi fra 0.1 e 0.5s, valori medi stimati generalmente di 1,9 in corrispondenza di formazioni del substrato geologico non rigido affiorante costituito dalle AVC e FIU. In caso di zone di attenzione di instabilità su argilliti i valori sono compresi fra 1,7 e 2,3 invece su *bedrock* sismico si arriva a valori massimi di 2. Valori di $F_{a_{0.1-0.5s}}$ maggiori (2-2,3) risultano stimati dove gli spessori delle coperture che sovrastano un substrato diventano ragguardevoli (di solito compresi fra 12 e 17 m) e dove coesistono condizioni di amplificazione topografica.

Valori di $F_{a_{0.1-0.5s}}$ tra 1.5-1,6 sono stati ricavati in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Reno, mentre valori di 1,8 laddove i sedimenti raggiungono spessori fino a 18-20 m in corrispondenza della conoide. I valori minori (1,2-1,5) si hanno in corrispondenza di *bedrock* sismico in porzioni di versante dove gli spessori delle coperture risultano modesti (di solito dell'ordine di 3-5 m). Zone non suscettibili di amplificazione, con valori di $F_{a_{0.1-0.5s}}$ pari a 1, sono state riconosciute nelle aree dove il substrato rigido risulta sub-affiorante con spessori delle coperture generalmente minori di 3 m.

Sono state riconosciute e perimetrare condizioni di instabilità di versante per la presenza di situazioni geomorfologiche assai sfavorevoli. I dissesti interessano soprattutto le coperture detritiche presenti in maniera grossomodo diffusa sui cinque centri abitati in esame. Tali coperture sono soggette a mobilitazione soprattutto in seguito a fenomeni piovosi intensi e/o prolungati, prevalentemente nelle zone più acclivi o nelle concavità dei versanti, dove il maggior richiamo d'acqua determina una più efficace saturazione del materiale. La tipologia di movimento prevalente è lo scorrimento che talvolta può evolvere in colata all'aumentare del contenuto d'acqua. La superficie di movimento si imposta di solito al contatto fra substrato e copertura: il detrito, saturandosi a causa delle precipitazioni, tende ad appesantirsi e a sviluppare un aumento delle pressioni neutre, con conseguente riduzione della resistenza al taglio e aumento della propensione alla instabilità.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 77 di 79
--	-----------------	-----------------

12- BIBLIOGRAFIA

- Abbate E., Sagri M., (1970) - The eugeosynclinal sequences, in Sestini G., ed., Development of the Northern Apennines geosynclines: Sedimentary Geology, v.4, p. 521-527
- Abbate E., Bortolotti V., Passerini P., Sagri M., (1970) - Introduction to the geology of the Northern Apennines.
- APAT (2005) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 256 Rimini. Coord. scientifico: L. Martelli, P. Severi e Marco Roveri. Regione Emilia-Romagna, SGSS - APAT, SGI. S.EL.CA., Firenze.
- AA.VV. (1992) - Appennino Tosco-Emiliano. (A cura di Bortolotti V.) Guide geologiche regionali. N. 4, pp. 336, BE-MA Editrice, Firenze.
- AA.VV. Rapporto sulle frane in Italia - Il progetto IFFI: metodologia, risultati e rapporti regionali. Rapporto APAT 78/2007 - Roma.
- Boccaletti M., Bonini M., Moratti G., Sani F., 1999. Compressive Neogene-Quaternary tectonics in the hinterland area of the Northern Apennines. In: Boccaletti M., Dahmani M. (Eds.), Neogene sedimentation and tectonics in the Western Mediterranean. J. Petroleum Geol., 22, 37-60.
- Boccaletti M., M. Bonini, G. Corti, P. Gasperini, L. Martelli, L. Piccardi, P. Severi e G. Vannucci (2004) - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna, SGSS - CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Firenze. Selca, Firenze.
- Boccaletti M., Corti G., Martelli L., (2010) - Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). Int. J. Earth Sci. (Geologische Rundschau), doi: 10.1007/s00531 - 010-0545-y.
- Bruni P., (1973) - Considerazioni tettoniche e paleogeografiche sulla serie dell'Appennino Bolognese tra le valli dell'Idice e Santerno: Società Geologica Italiana, Bollettino, v. 12, p. 157-185.
- Carta geologica dell'Appennino emiliano romagnolo alla scala 1:10.000; Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna. <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/index.htm>.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.
- Compagnoni B., Galluzzo F., 2004. Geological map of Italy 1:250.000 scale. Especially printed for the 32nd international geological congress. S.EL.CA, Florence, Italy.
- Compagnoni M., Pergalani F., "Valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale: approccio numerico", Atti del Convegno: Microzonazione Sismica, Università degli Studi di Pavia, giugno 2006.
- D.A.L. 112/2007: Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 2 maggio 2007. B.U.R. Emilia Romagna n. 64 del 17/05/2007.
- DGR1051/2011. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1051/18/07/2011, "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm.". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 120 del 02/08/2011.
- DISS Working Group (2007) - Database of Individual Seismogenic Sources (version 3.0.4): a compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <http://legacy.ingv.it/DISS/>.
- Facciorusso J., Crespellani T., Martelli L., Romani M., Manicardi A., Ugoletti C., Mazzetti G., Campagnoli I., Marabini S., Nonni E., Sbarzaglia D., Madiati C., Vannucchi G., (2012) - Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna.
- Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., (2000) - Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, 117-128.
- Gozza G., Pizziolo M., (2005) - Analisi del dissesto da frana in Emilia Romagna.
- Guidoboni E., Comastri A., (2005) - Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, pagg. 1037.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. and Valensise G., (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C. - 1977) and Mediterranean Area (760 B.C. - 1500). INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Hutchinson, J. N.(1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides* (Ed: Bonnard, C.), 1, 3-35. Rotterdam: Balkema;
- Idriss, I.M., (1985) - Evaluating seismic risk in engineering practice. Proceedings of the 11th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, CA, Vol. 1, pp. 255-320.
- Janbu N., (1954) - Applications of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In Proceedings of the European Conference on the Stability of Earth Slopes, Stockholm, Vol. 3, pp. 39-43.
- Kanai K., Tanaka T., 1961 - On Microtremors. VIII, Bull. Earthquake res. Inst., University of Tokyo. Vol. 39.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 78 di 79
--	-----------------	-----------------

- Legg M.R., Slosson J.E., (1984) – Probabilistic approach to earthquake-induced landslide hazard mapping. Proc. Of the 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, 2, 445-452.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P., (2010) – Sismotettonica dell'Appennino Settentrionale – Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P., (2012) – Potenzialità sismica della Toscana e definizione di priorità per eventi di prevenzione.
- Manuale d'uso Slope (2011) – GeoStru Software.
- Margottini C. e Molin D., (1983) – Risultati preliminari delle ricerche di sismica storica condotte nell'Appennino tosco-emiliano. ENEA, OAS-ISP BR (83) 2, Roma, 120 pp.
- Martelli L., Quagliariere S., Cibirri U., Severi P., Correggiari A. e Roveri M. (2005) – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 256 Rimini. Regione Emilia-Romagna, SGSS – APAT, SGI. S.EL.CA., Firenze.
- Martelli L. (2011) – Quadro sismo tettonico dell'Appennino Emiliano-Romagnolo e della Pianura Padana centrale. Atti del GNGTS 2011, sessione 1.2
- Meletti C., Valensise G. (2004) – Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo. In: Gruppo di Lavoro MPS (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.
- Merla G., (1951) – Geologia dell'Appennino settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., v. 70, pp. 95-382. Pisa 1952.
- Montedison Spa – Energia e Servizi Settore Idrocarburi (1982) – Permesso Suviana – ricognizione Geologica.
- Newmark N.M., (1965) – Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique, vol. 15, No 2, pp. 139-159.
- Nogoshi M., & Igarashi T., (1971) – On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2). Resumen en ingles EN: Jour. Seism. Soc. Japan, Vol. 24; p. 26.
- NTC (2008) – Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- OPCM 3274/2003: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". G.U. n. 155, 08/05/2003.
- Okada, H. (2003). The Microtremor Survey Method. Geophysical Monograph Series, no. 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 135 p.
- Otha Y., Goto N., (1978). "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes", Earthquake Engineering Structural Dynamics 6, pp 67-187.
- Penta F., (1950) – Risultati di sondaggi nelle pianure del Volturno e del Garigliano: Boll. Soc. Geol. It. 69:3-11.
- Piana F., (2000) – Structural setting of Western Monferrato (Alps-Appennines junction zone, NW Italy). Tectonics, 19, 943-960.
- Picotti V., and Pazzaglia F. J., (2008) – A new active tectonic model for the construction of the northern Apennines mountain front near Bologna (Italy): Journal of Geophysical Research, 113, doi:10.1029/2007JB005307.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>
- Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M. and Tokimatsu, K. 1986. Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 112(11), 1016-1032.
- SESAME Project (2004) – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e Azzaro R. (2007) – DBMI04, il database delle osservazioni 32 macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. Quaderni di Geofisica, INGV.
- Treves B. (1984) – Orogenic belts as accretionary prism: the example of the Northern Apennines. Ofioliti, 9/3, 577-618.
- Vucetic M., Dobry R. 1991. Effect of soil plasticity on cyclic response, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117(1), 89-107
- Wilson L.F., Pazzaglia F.J., Anastasio D.J., (2009) – A fluvial record record of active fault propagation folding, Salsomaggiore anticline, northern Apennines, Italy. J.Geophys.Res., 114, B08403, doi:10.1029/2008JB005984.

Relazione illustrativa in merito allo studio di microzonazione sismica di livello di approfondimento I, II del sottosuolo degli abitati di Porretta Terme, Granaglione, Castelluccio, Ponte alla Venturina e Borgo Capanne	N° elaborato: 1	Pagina 79 di 79
--	-----------------	-----------------

MICROZONAZIONE SISMICA

Sezioni geologiche

Regione Emilia-Romagna
 Comune di Alto Reno Terme

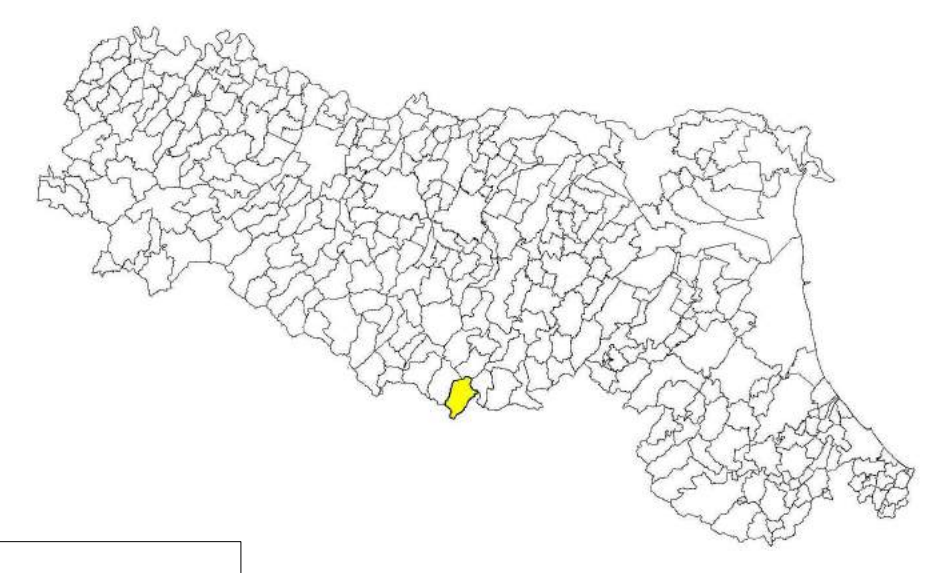


TAVOLA 1

Regione Emilia-Romagna Soggetto realizzatore: Dott. Geologo Francesco Cintelli	Amministrazione Comunale Sindaco: Giuseppe Nanni Assessore all'urbanistica: Giuseppe Nanni Responsabile di settore: Arch. Mauro Vecchi
Rappresentazione cartografica: Pianificatore Territoriale Luca Menguzzato	Data: Aprile 2019

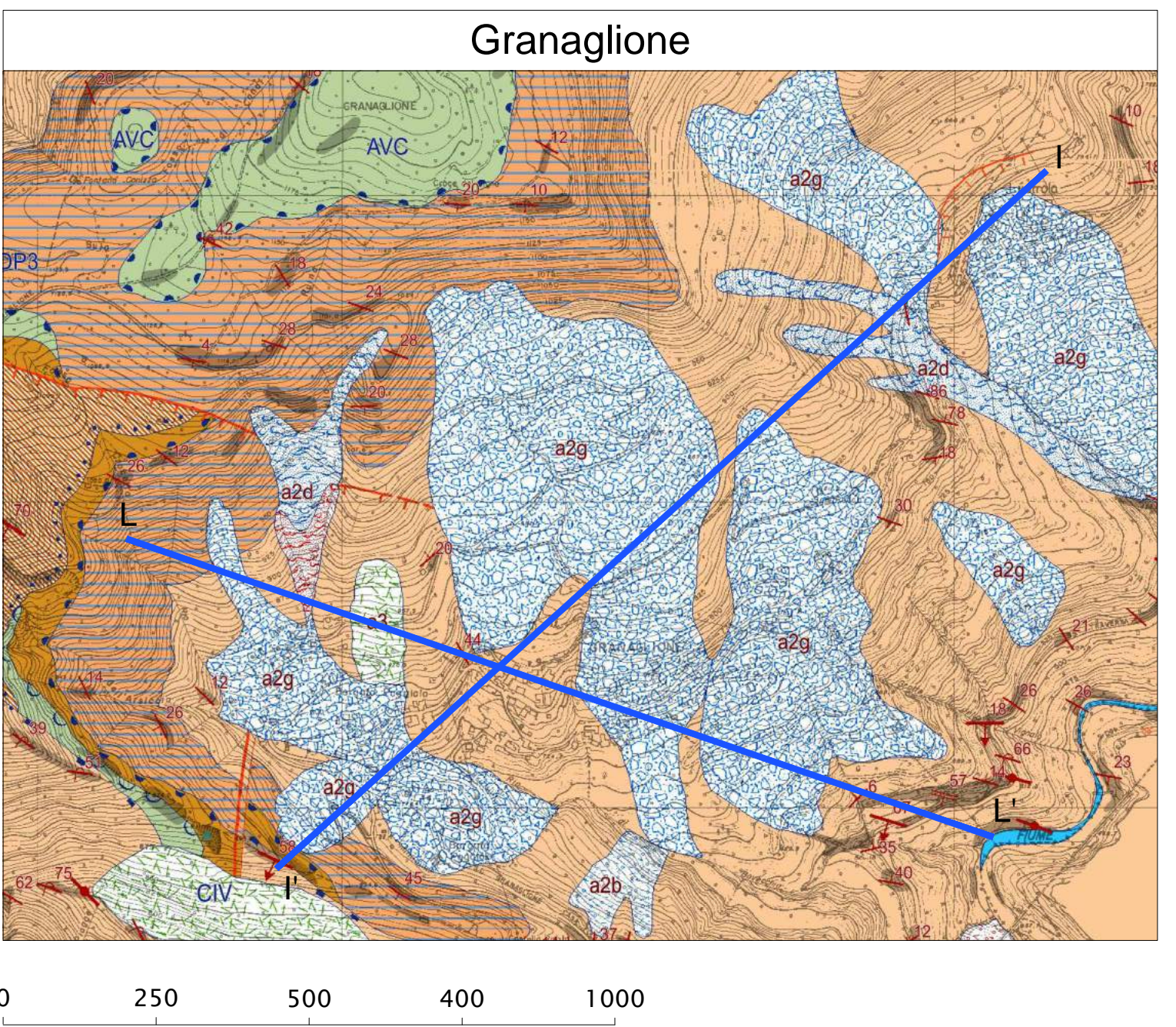
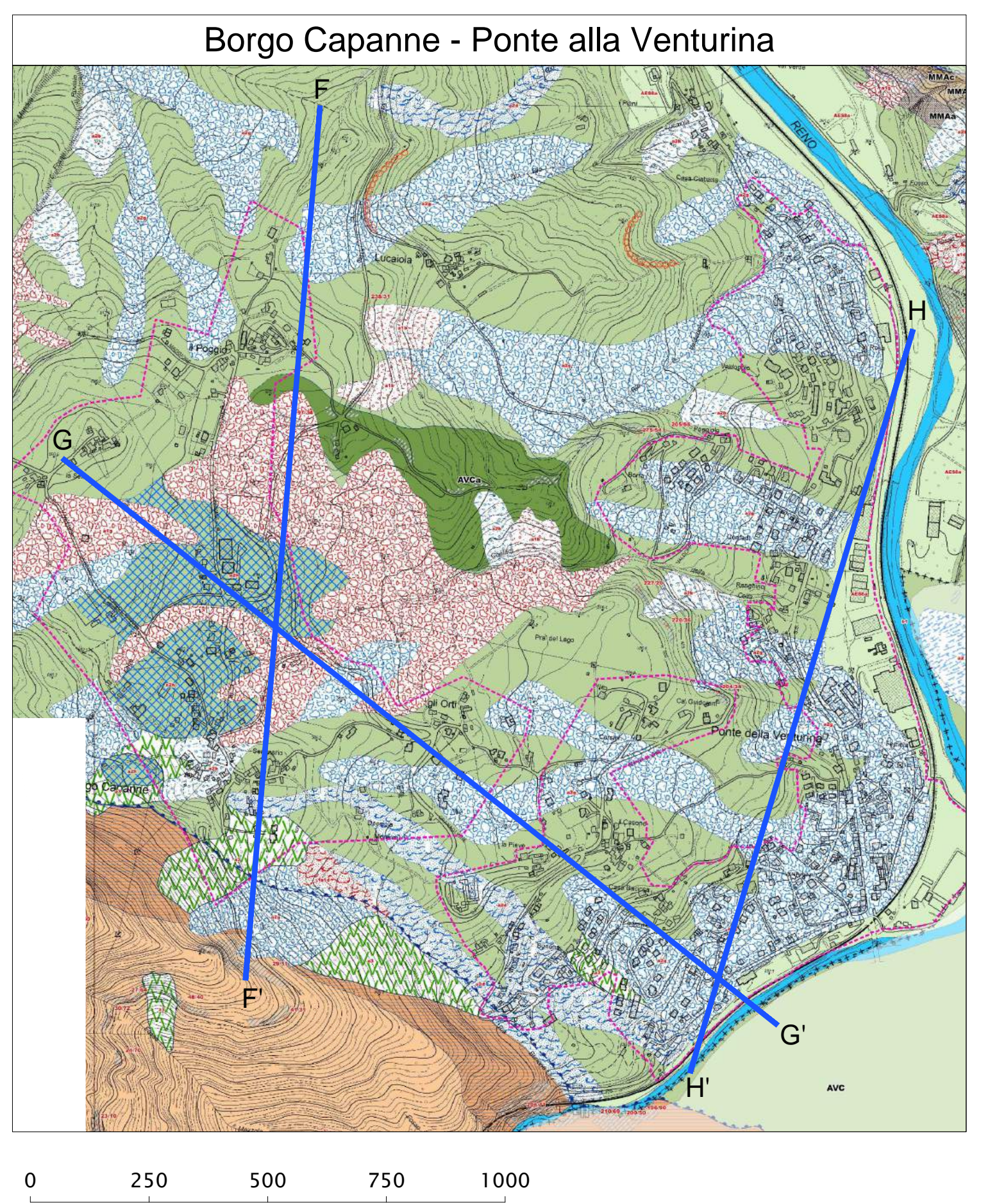
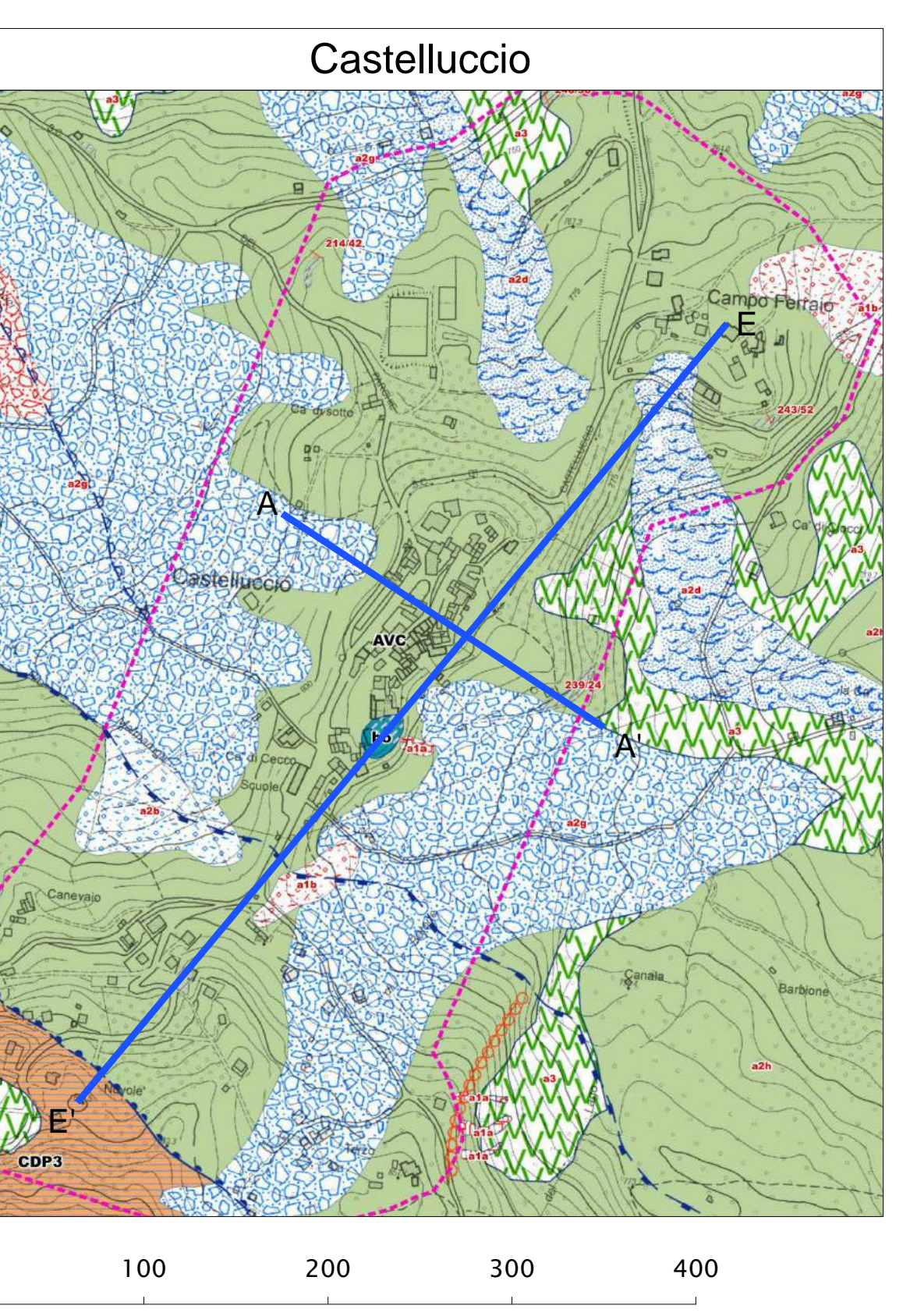
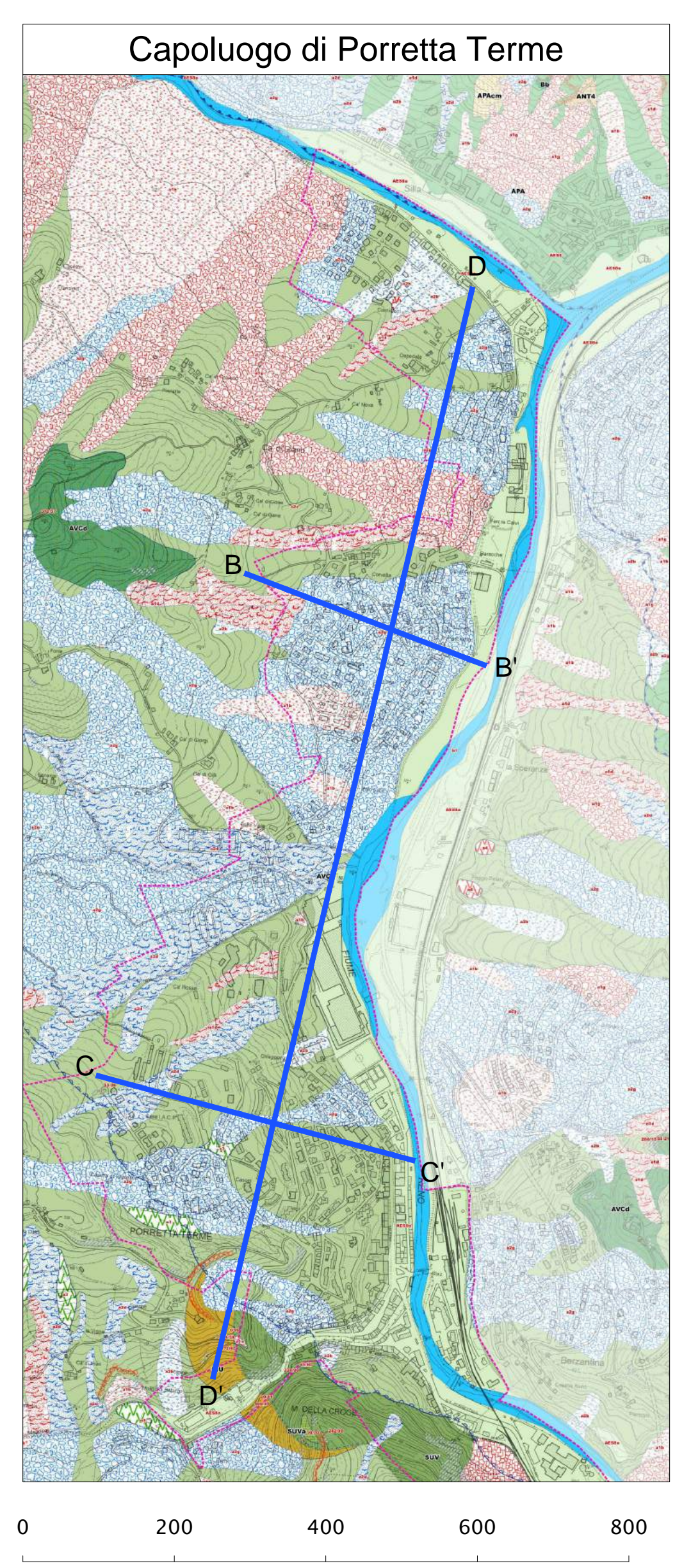
LEGENDA

Unità geologiche

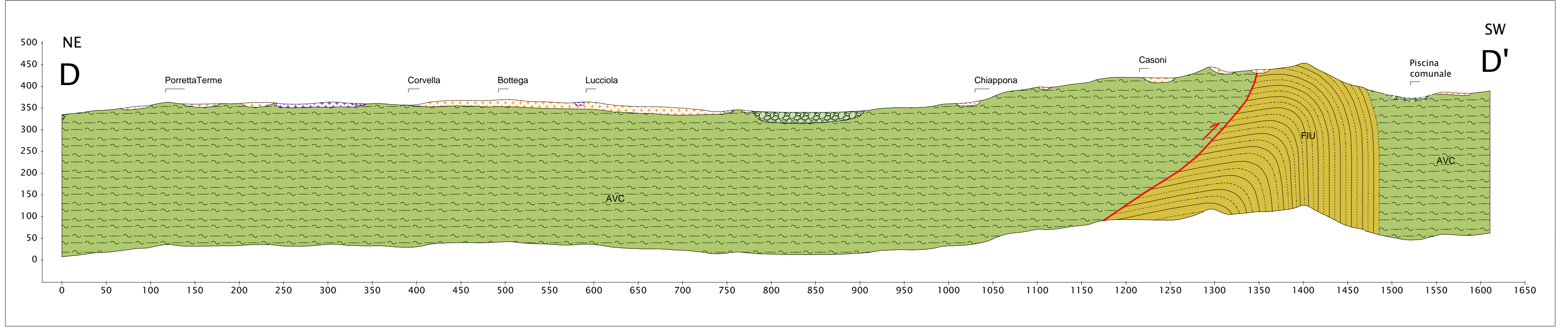
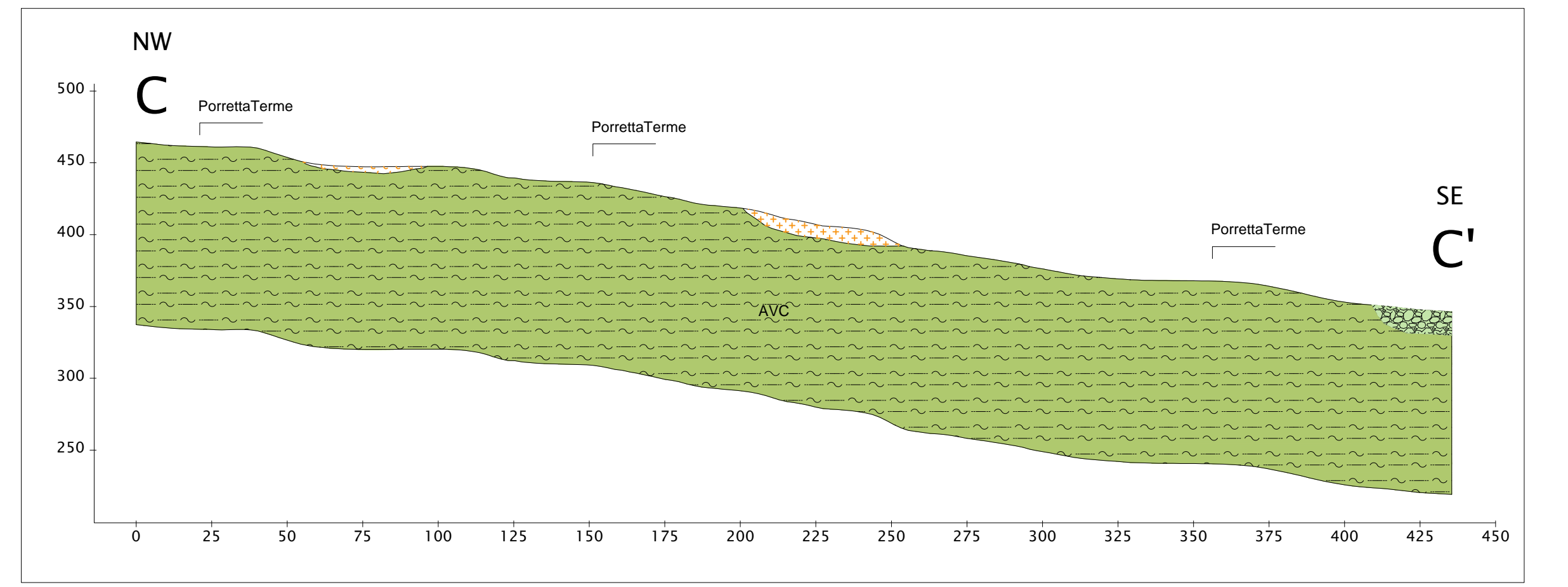
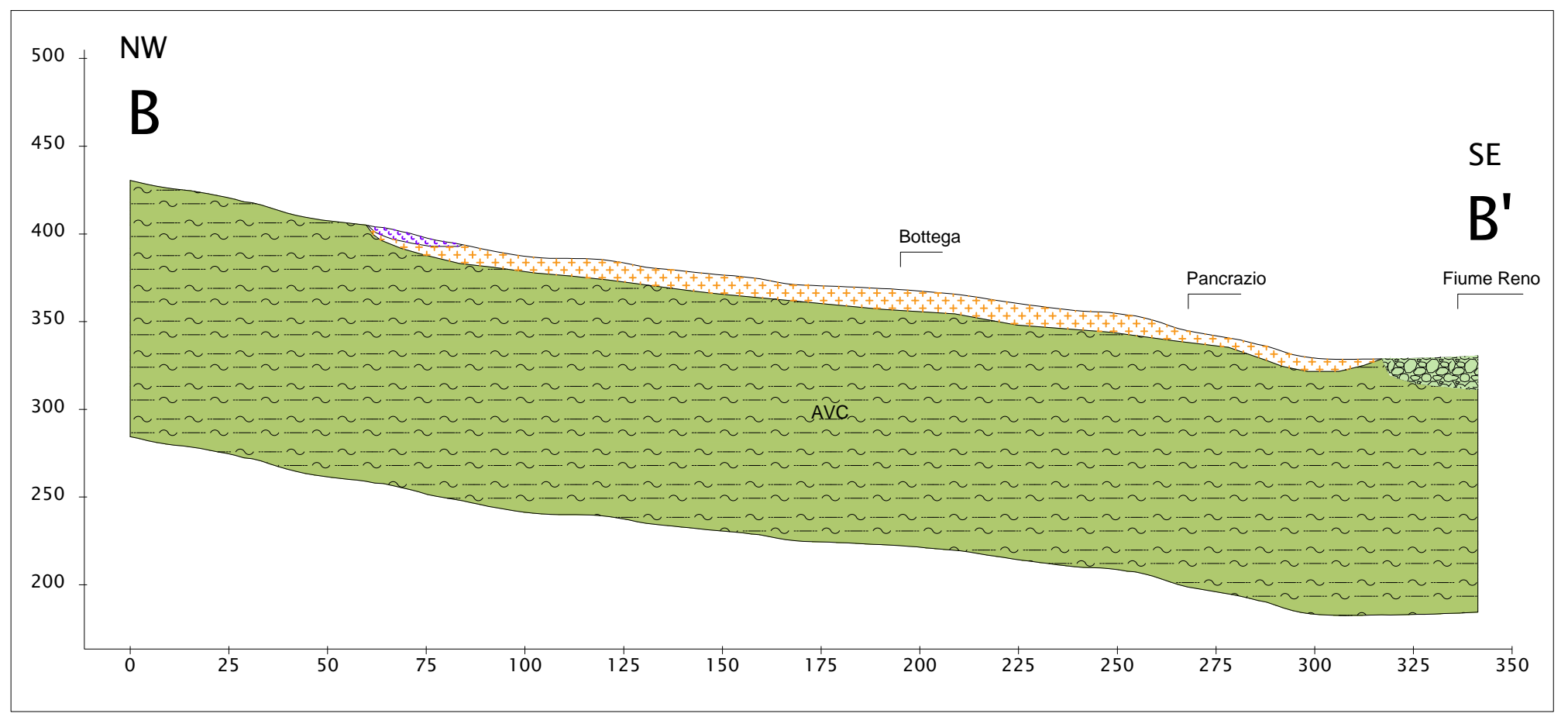
- AVC - Argilliti varietate con calcari
- AVCa - Argilliti variegata con calcari - litofacies a breccie ofiolitiche
- CIV - Marne di Civago
- CDP3 - Formazione di Castiglione dei Pepoli - membro arenaceo
- CDP2 - Formazione di Castiglione dei Pepoli - membro arenaceo pelitico
- FIU - Argille di Fiumalbo

Coperture quaternarie

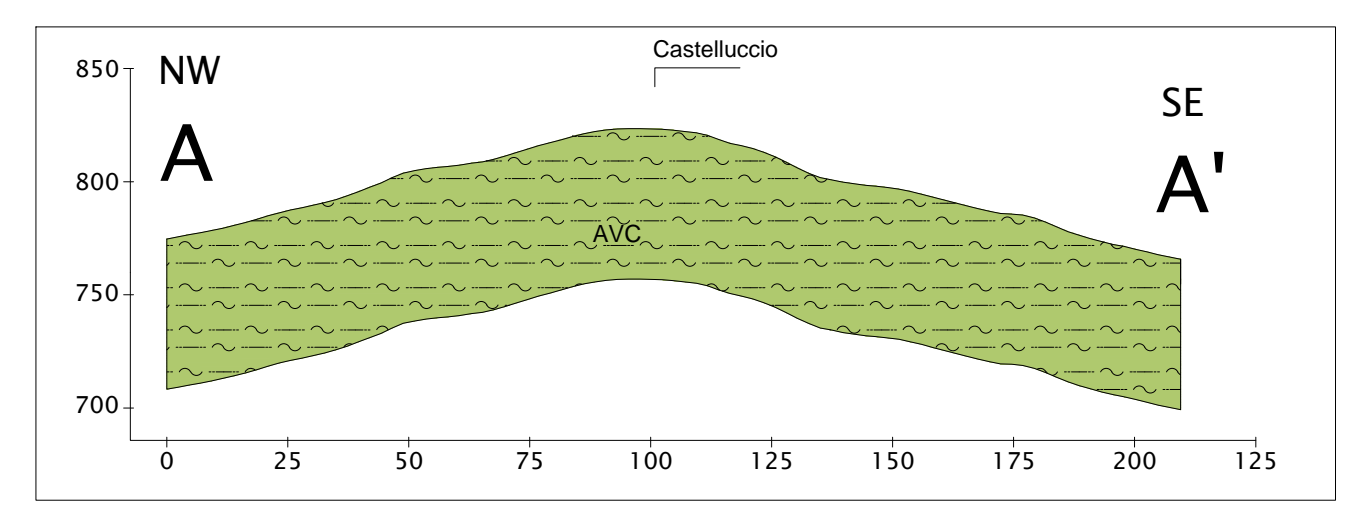
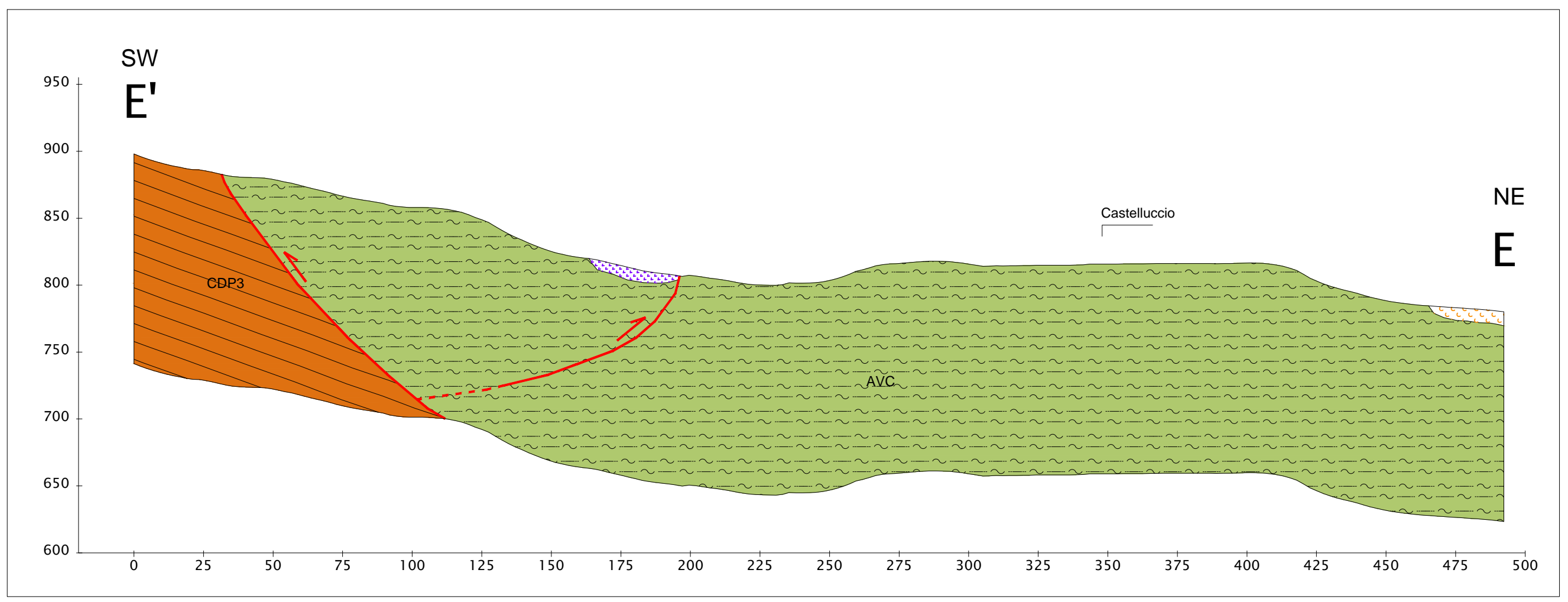
- Deposito di frana attiva per scivolamento
- Deposito di frana attiva per colamento di fango
- Deposito di frana attiva complessa
- Deposito di versante
- Deposito di frana quiescente per scivolamento
- Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- Deposito di frana quiescente complessa
- Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV
- Unità di Modena



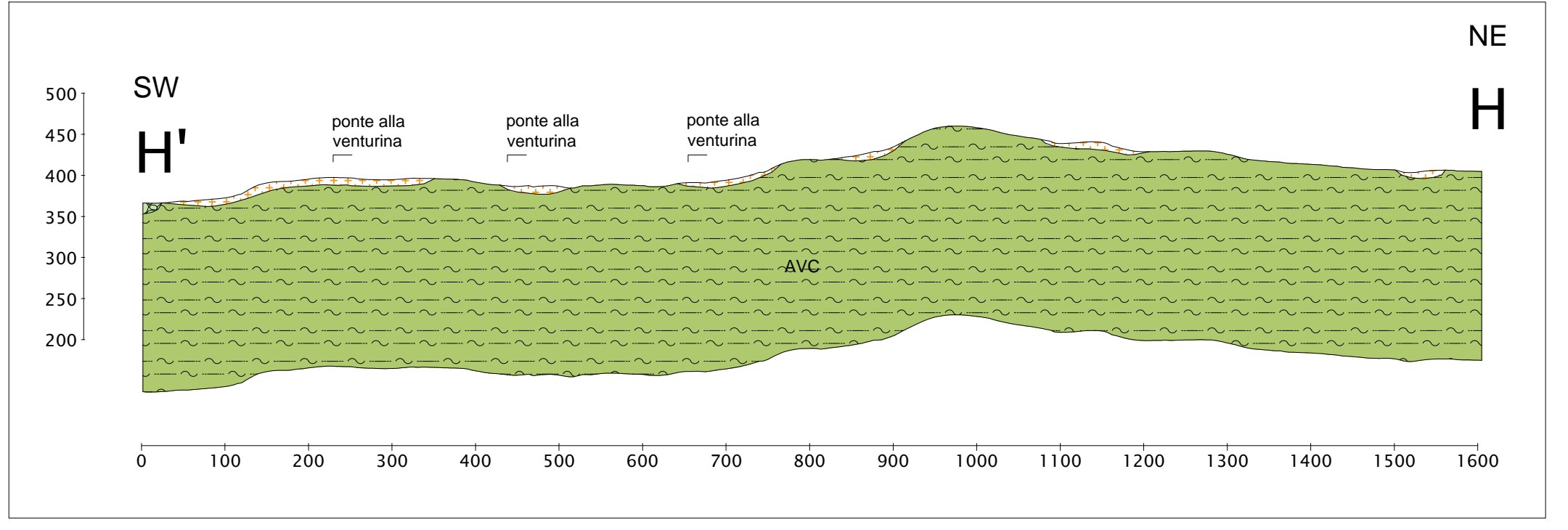
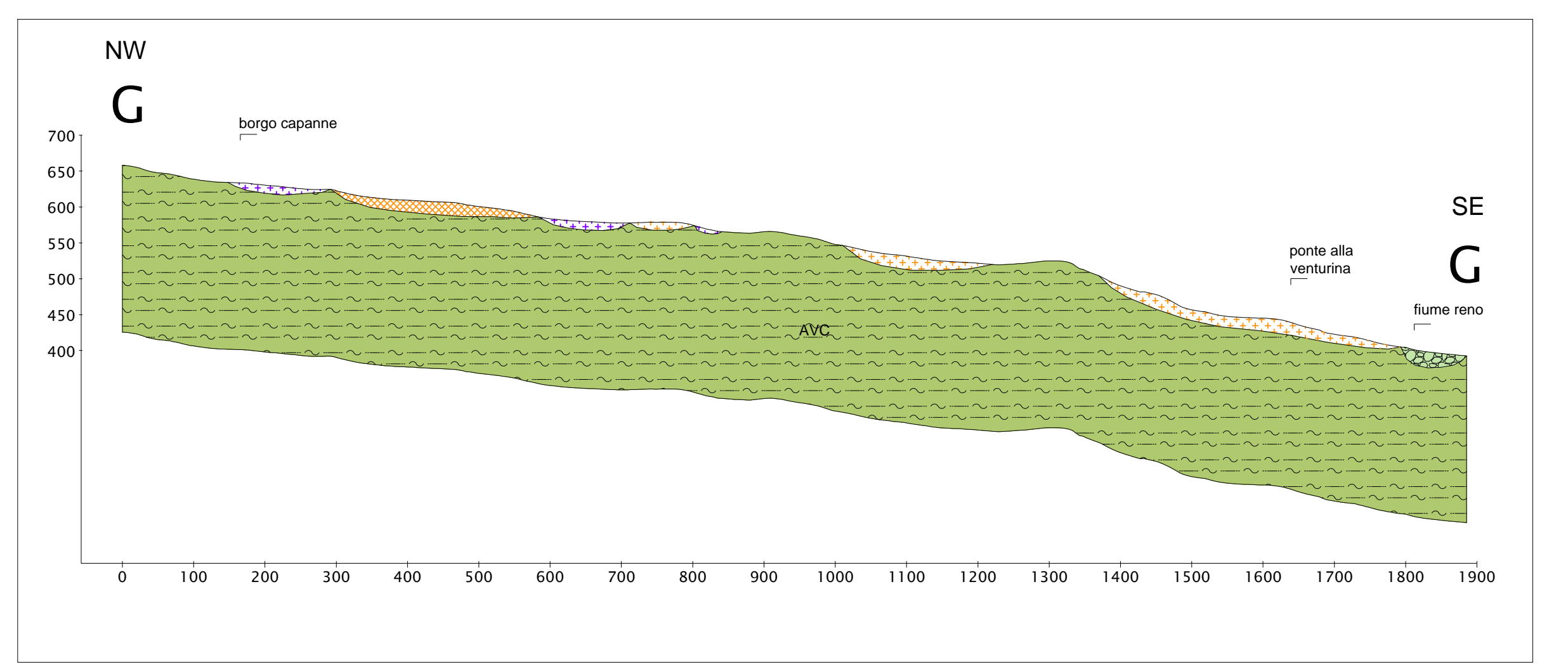
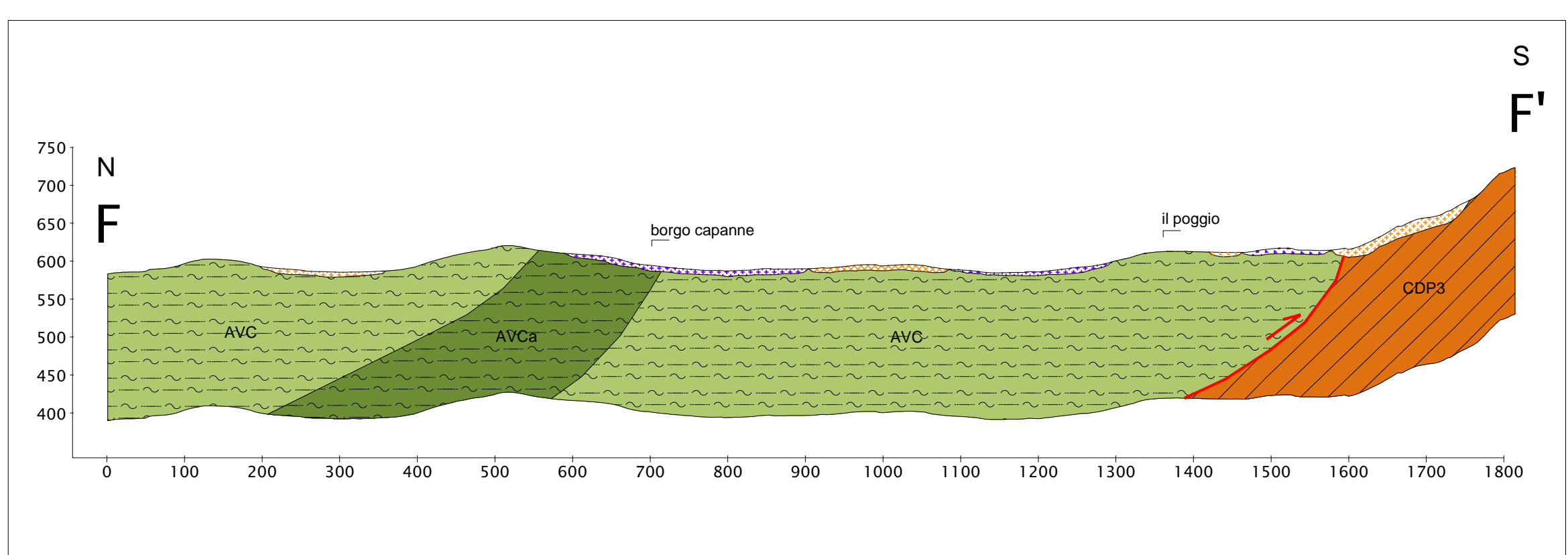
Capoluogo di Porretta Terme



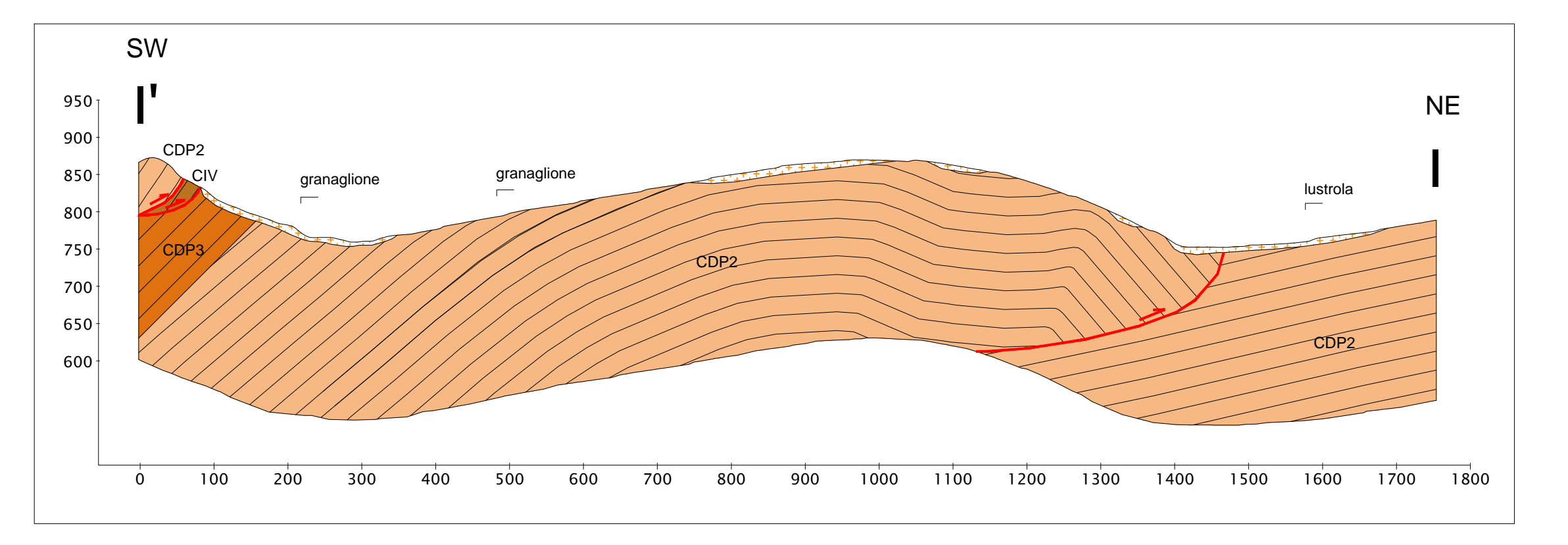
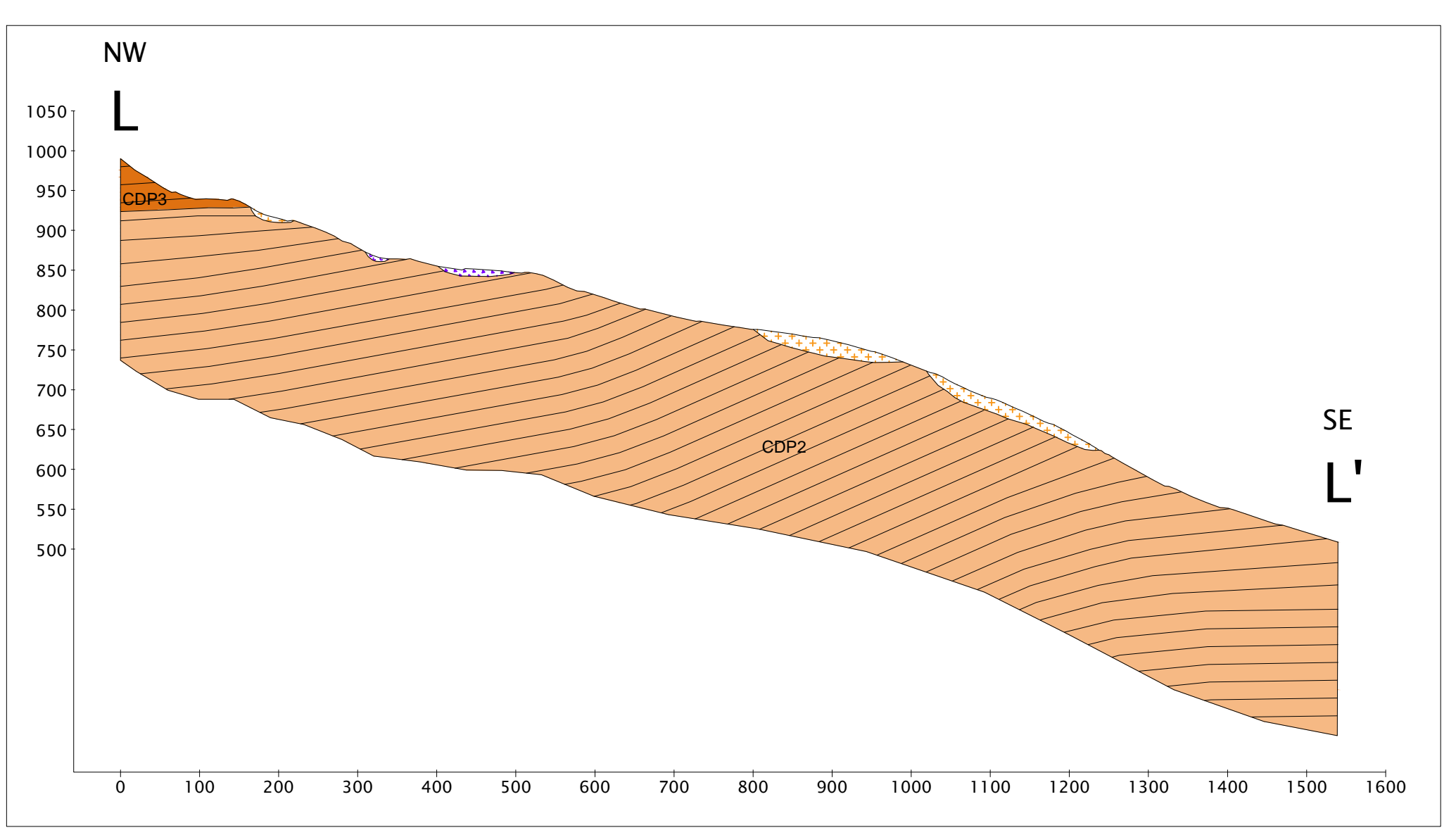
Castelluccio



Borgo Capanne - Ponte della Venturina



Granaglione



Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali

Mappa dei fattori di amplificazione sismica

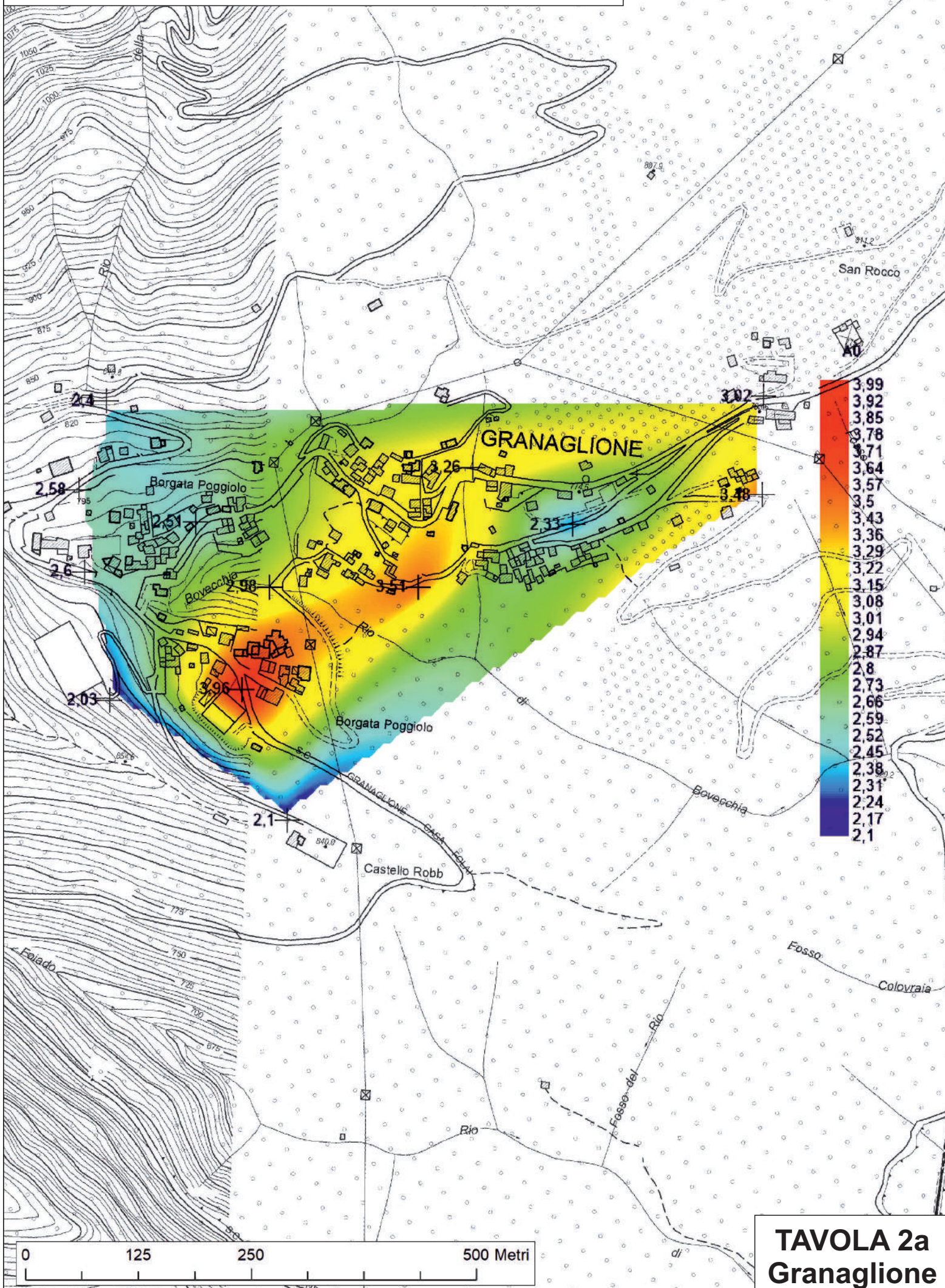
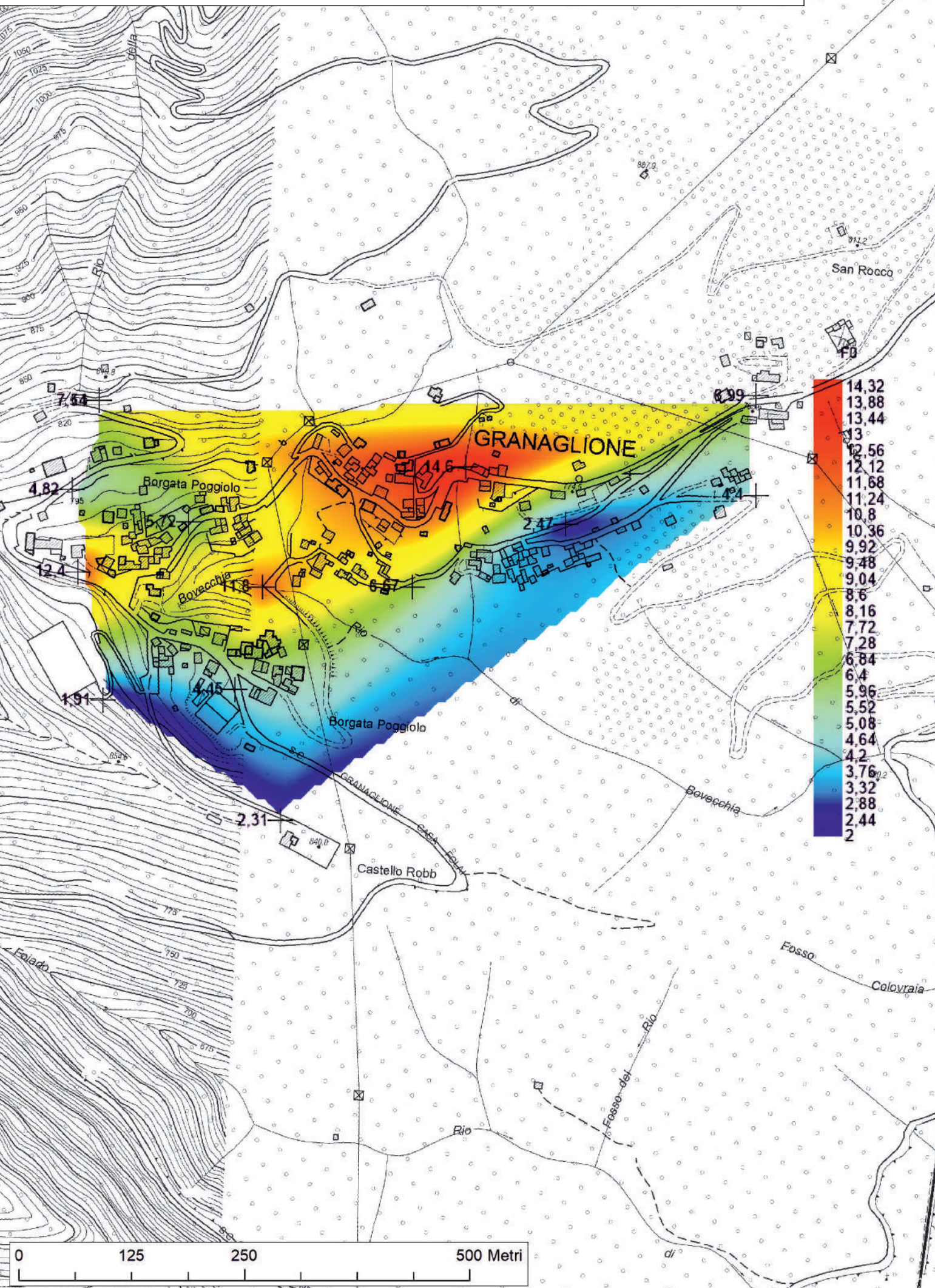
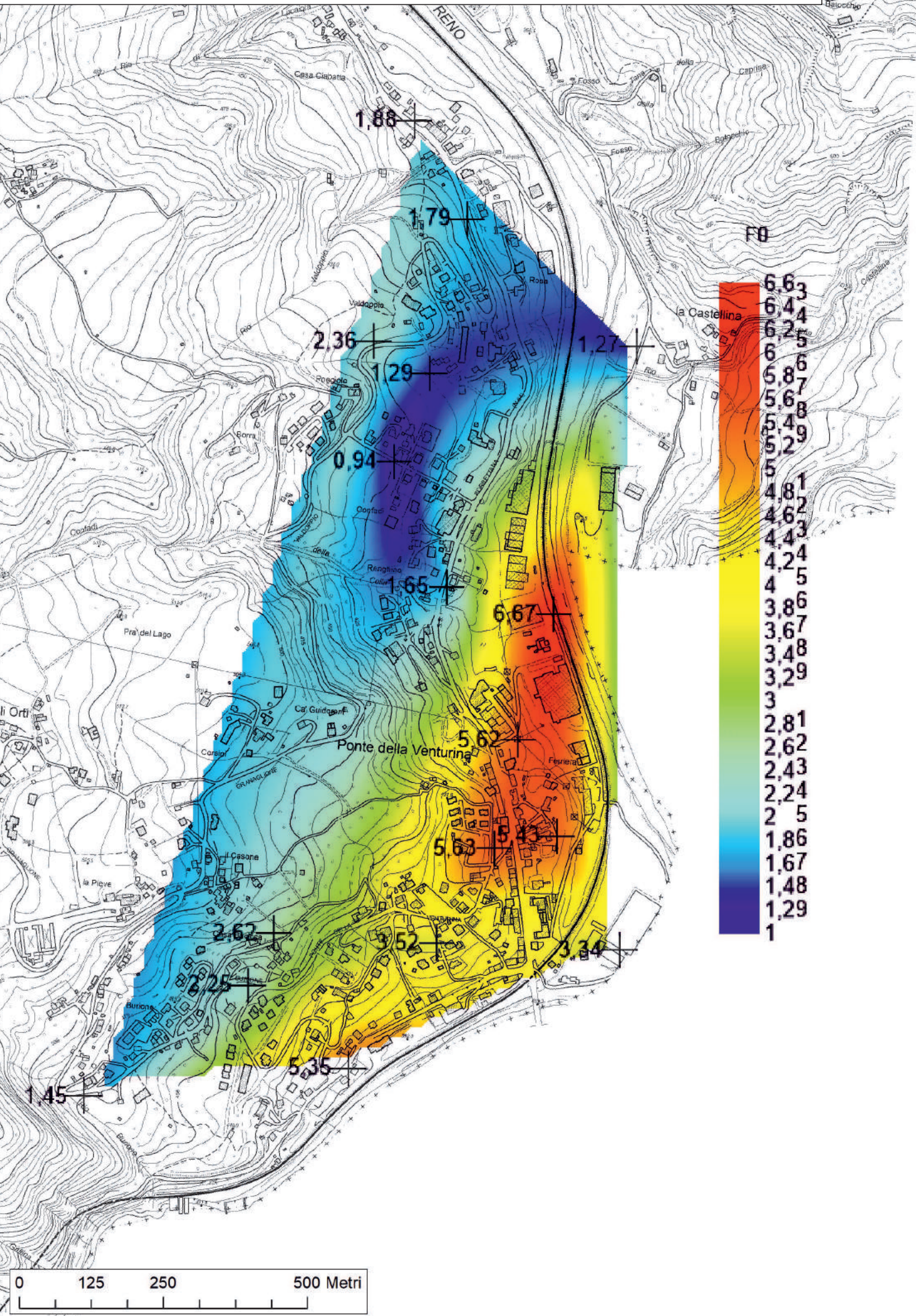


TAVOLA 2a
Granaglione

Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali



Mappa dei fattori di amplificazione sismica (A0)

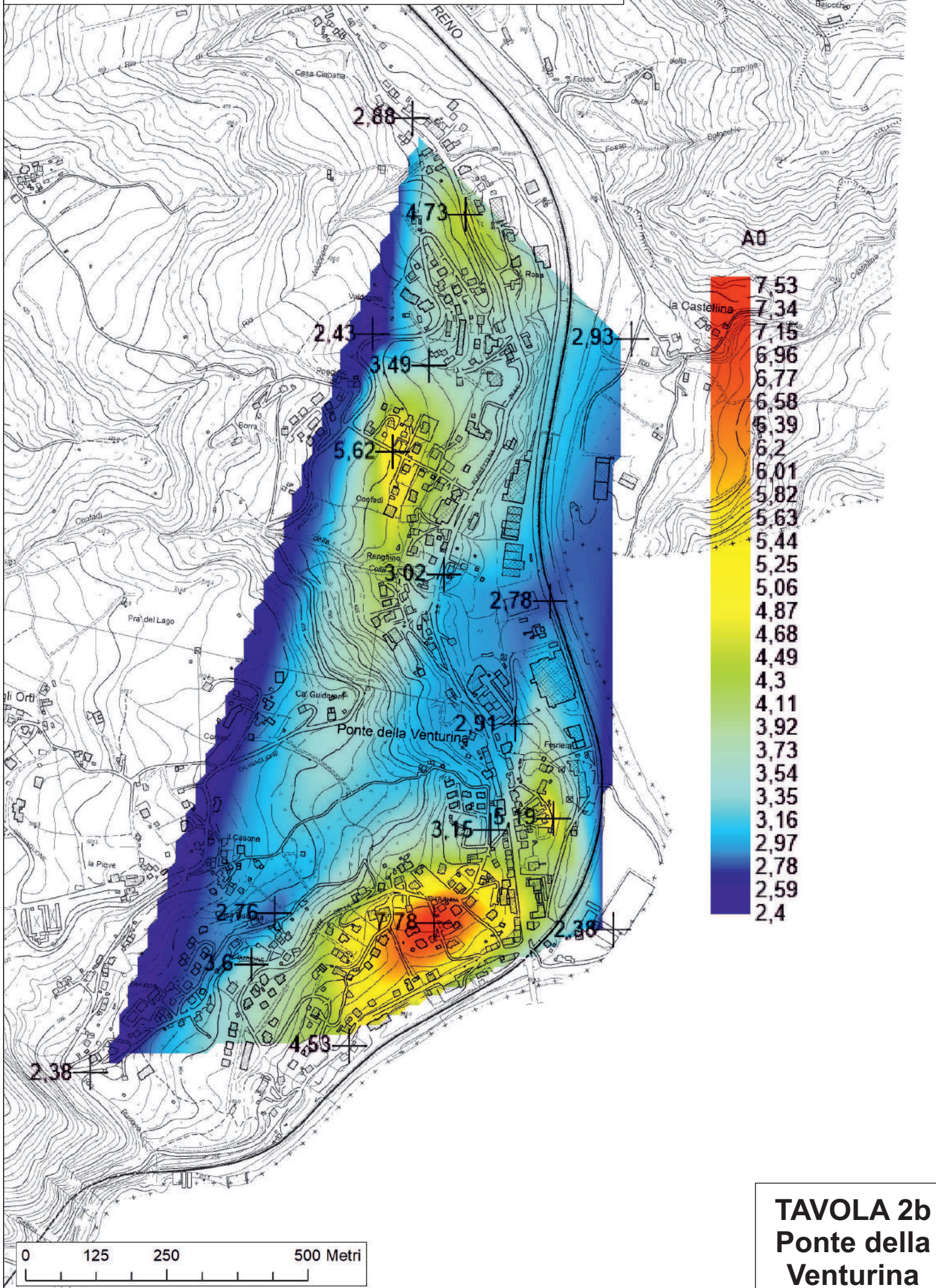


TAVOLA 2b
Ponte della
Venturina

Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali

Mappa dei fattori di amplificazione sismica

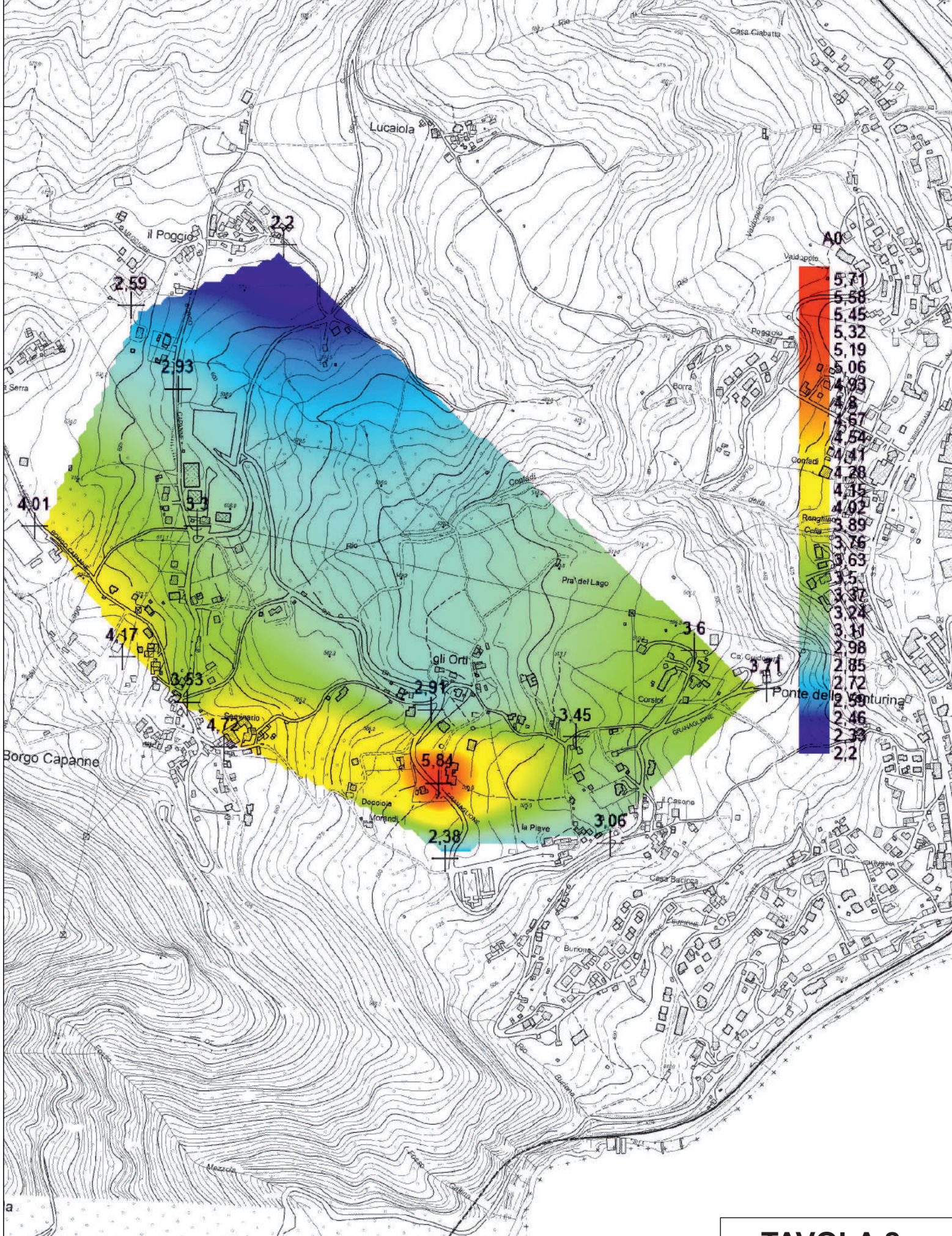
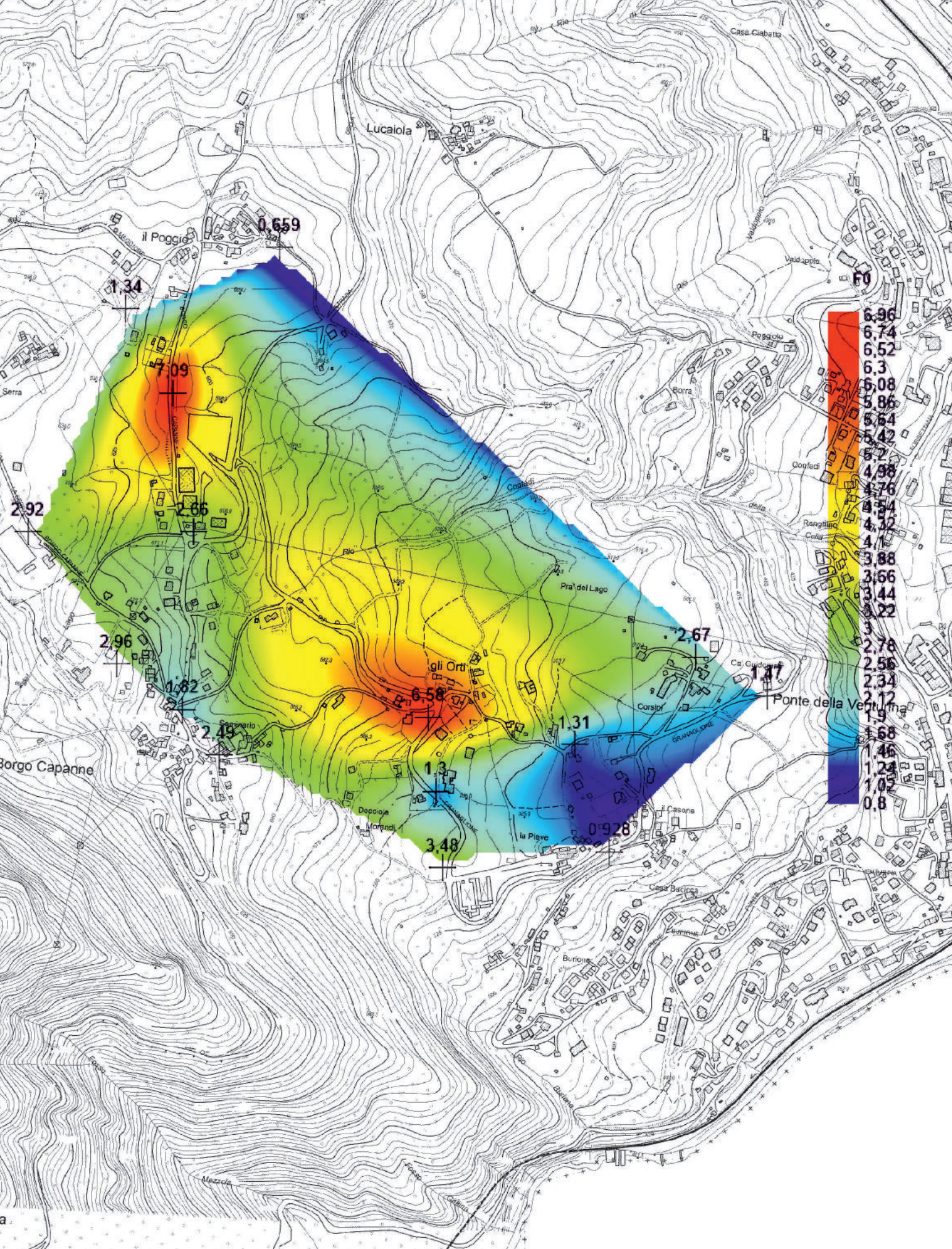
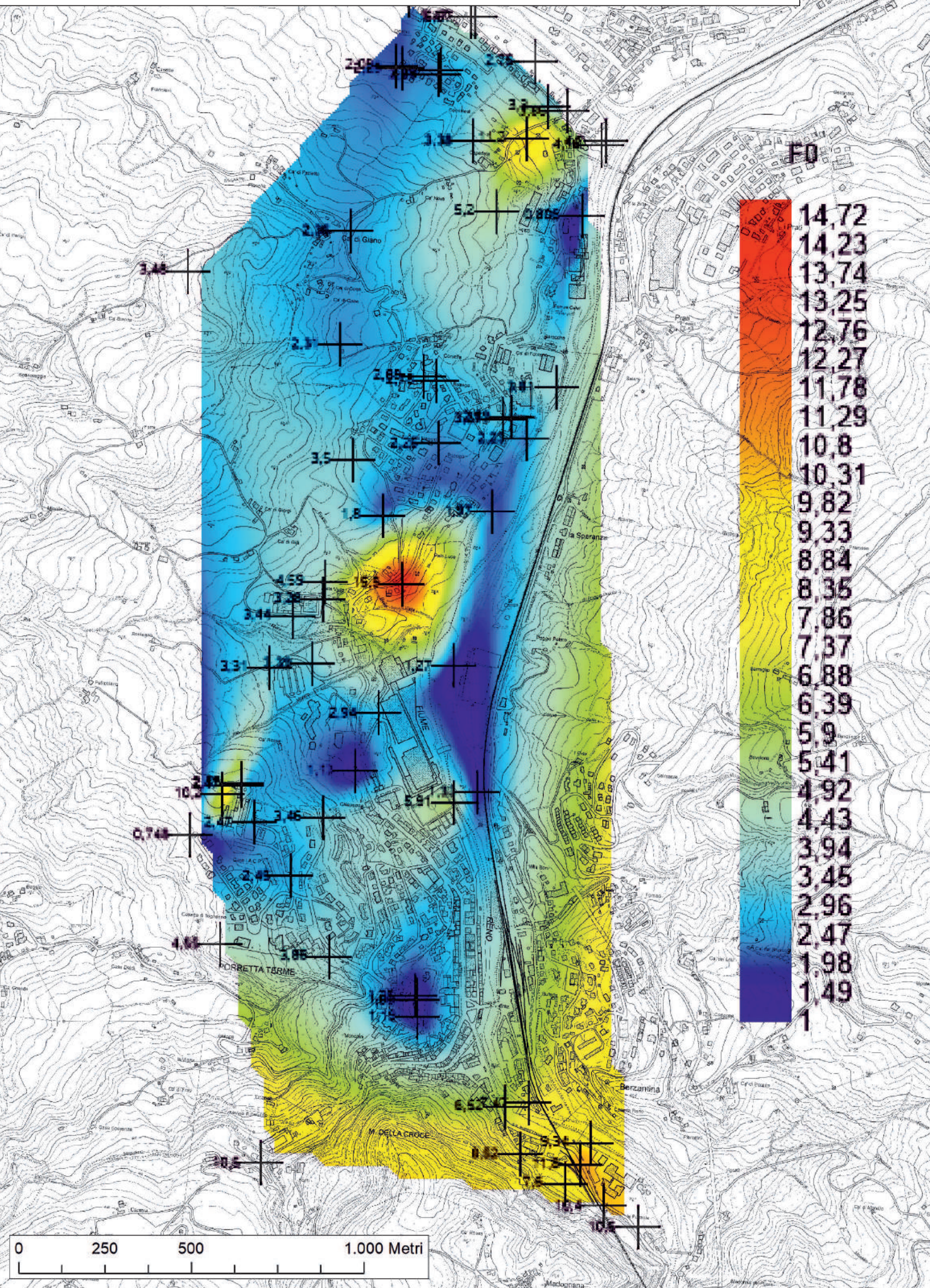
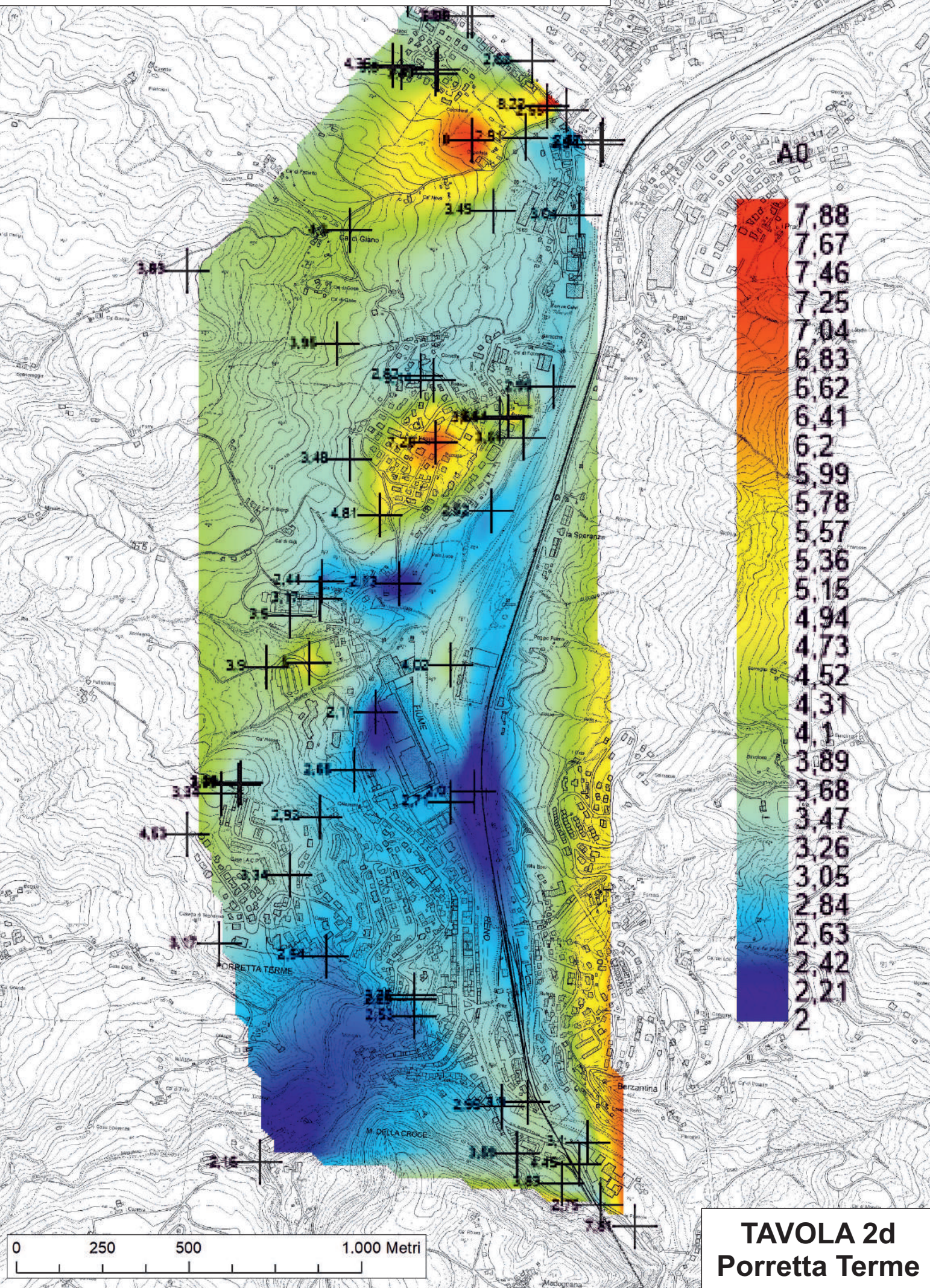


TAVOLA 2c
Borgo Capanne

Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali



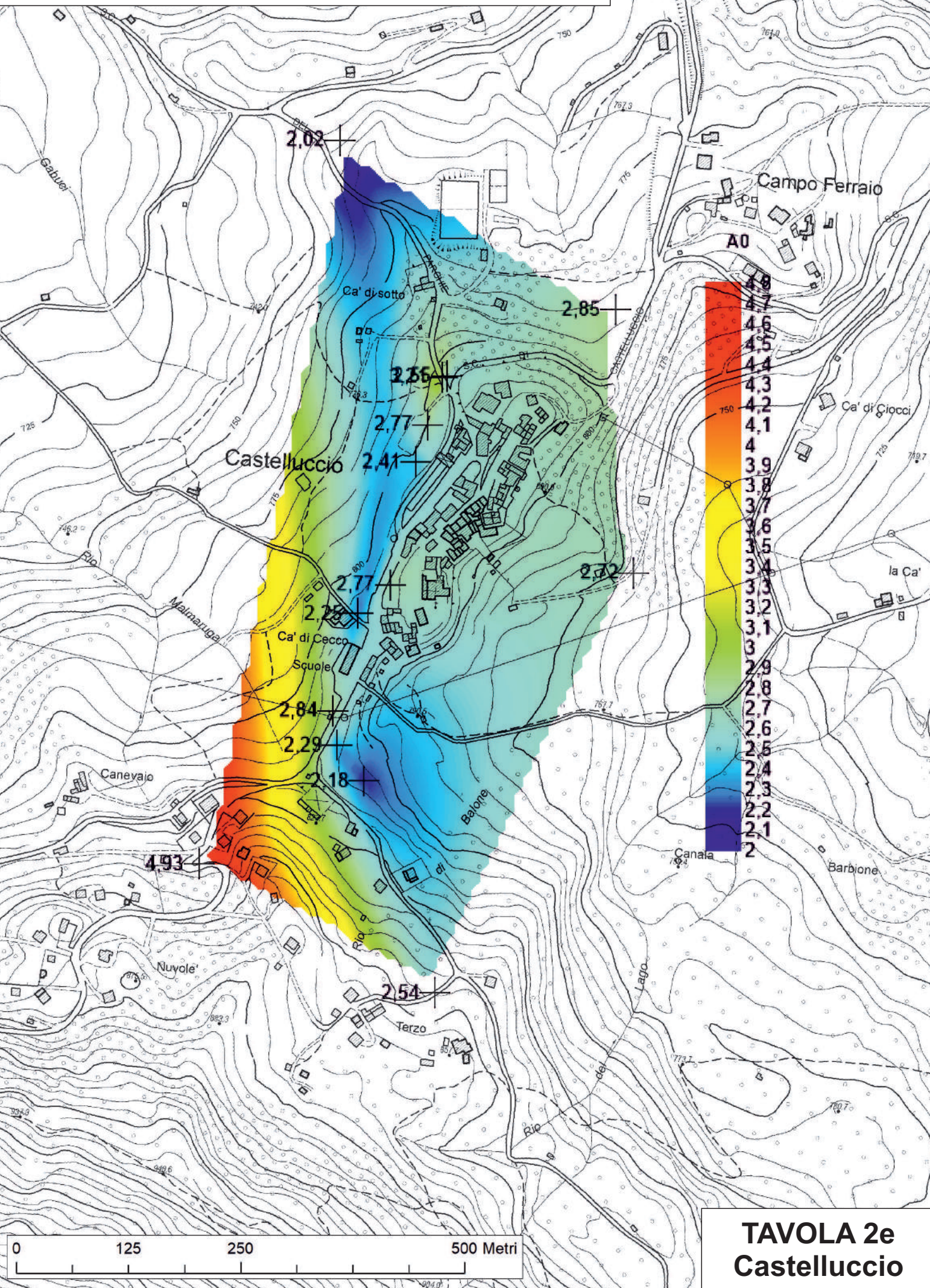
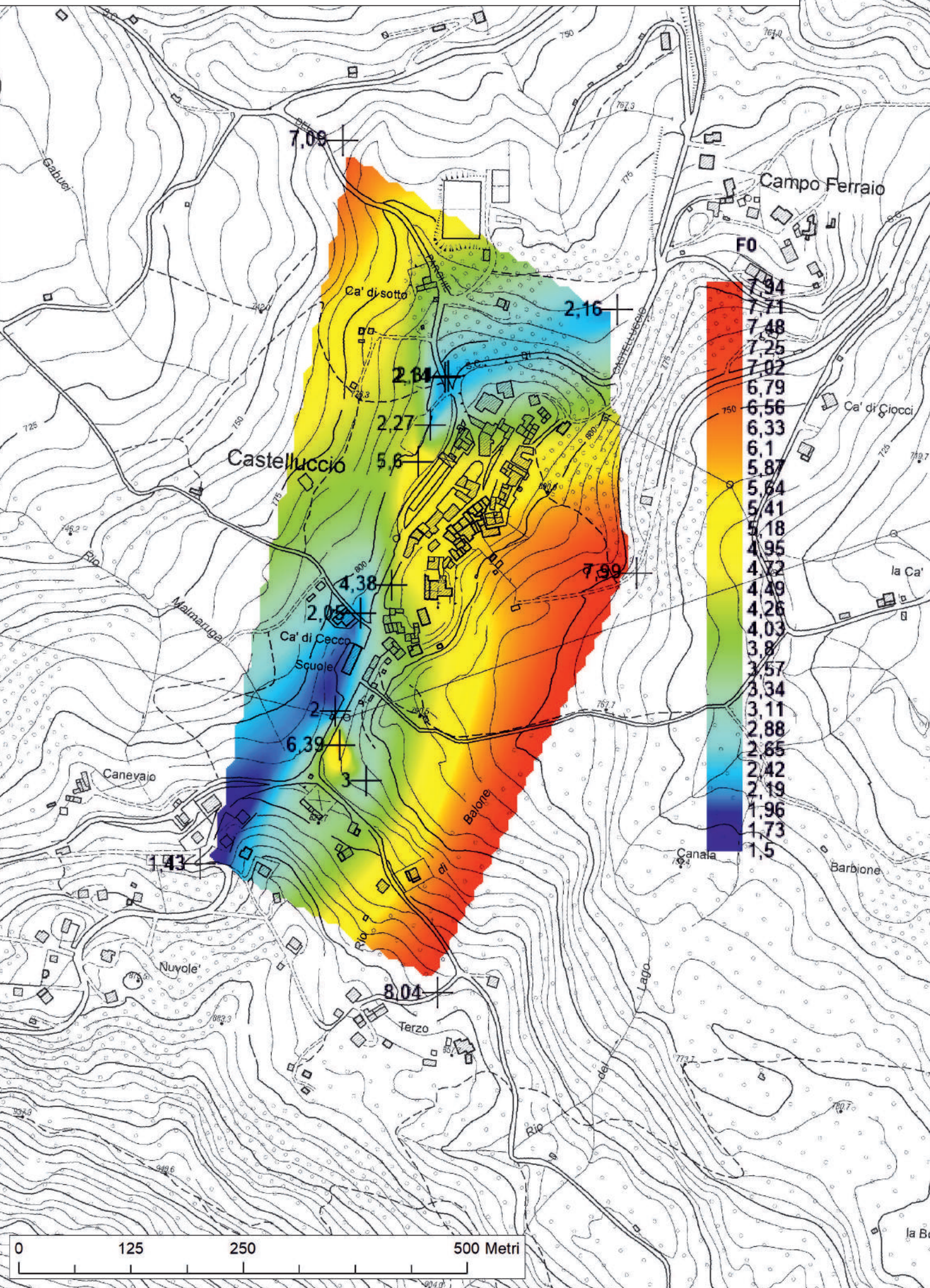
Mappa dei fattori di amplificazione sismica



**TAVOLA 2d
Porretta Terme**

Mappa delle frequenze di risonanza dei rapporti spettrali

Mappa dei fattori di amplificazione sismica



**TAVOLA 2e
Castelluccio**

INFORMAZIONI SUI TERRENI DI COPERTURA

- Suolo vegetale e/o materiale di riporto
- Ghiaie limose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla
- Limi organici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
- Intercalazioni di frammenti arenacei

INFORMAZIONI SUL SUBSTRATO

- Alternanza di litotipi, stratificato
- Coesivo sovraconsolidato stratificato
- Substrato geologico granulare cementato non stratificato
- Coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato alterato

INFORMAZIONI SULLE INSTABILITÀ DI VERSANTE

- Scorrimento - attiva
- Scorrimento - quiescente
- Colata - attiva
- Colata - quiescente
- Complessa - attiva
- Complessa - quiescente
- Non definita - attiva
- Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento

Zone stabili

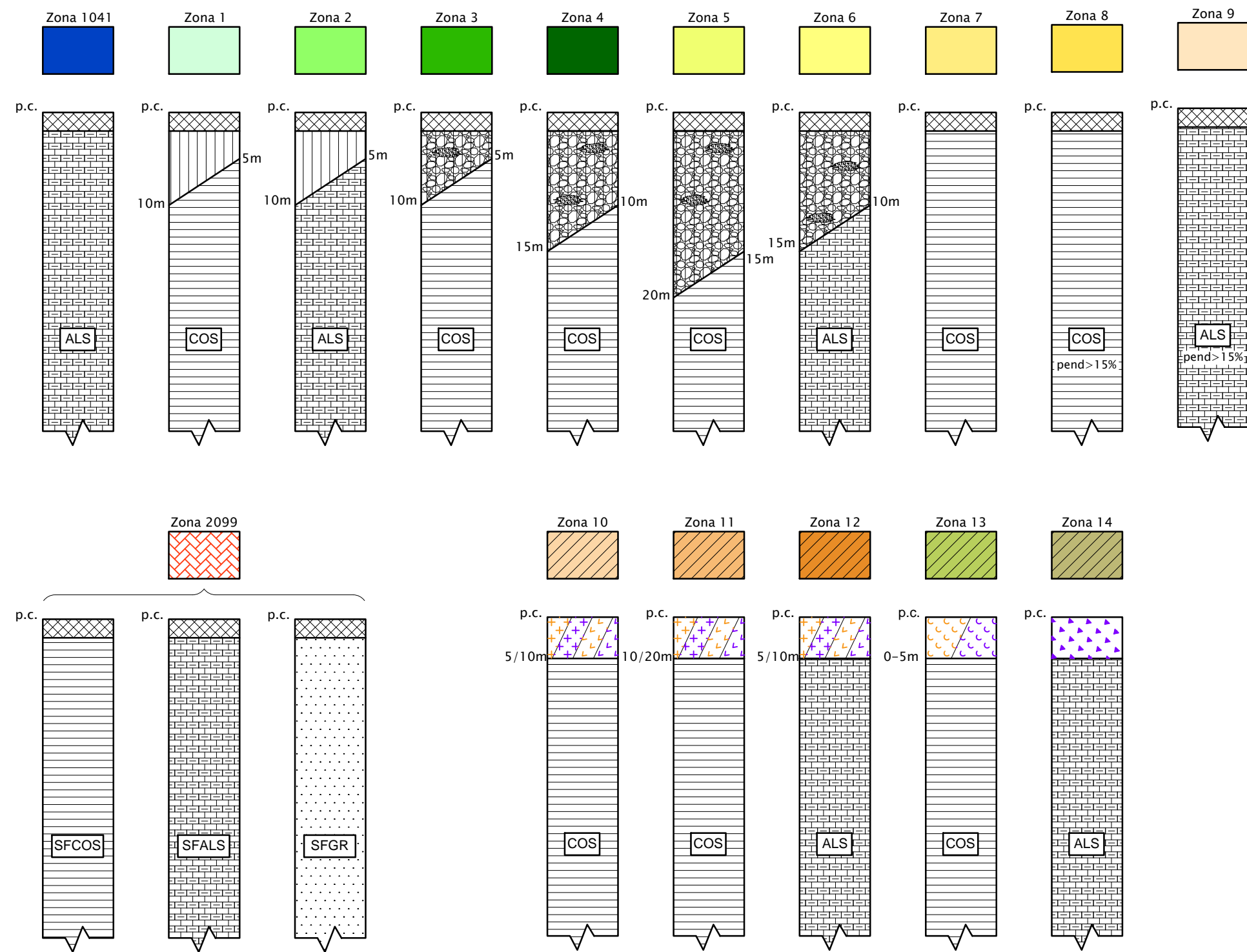
- 1041 - ALS - Substrato geologico arenaceo rigido stratificato con pendenza < 15°

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2099 - SFCOS: Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato - SFALS: Substrato caratterizzato da alternanza di litotipi, fratturato/alterato - SFGR: Substrato granulare cementato fratturato/alterato
- Zona 01 - Depositi superficiali di spessore compreso fra 5 e 10 metri caratterizzati da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (ML su COS)
- Zona 02 - Depositi superficiali di spessore fra 5 e 10 metri caratterizzati da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità su substrato arenaceo (ML su ALS)
- Zona 03 - Depositi superficiali di spessore compreso fra 5 e 10 metri caratterizzati da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (GM su COS)
- Zona 04 - Depositi superficiali di spessore compreso fra 10 e 15 metri caratterizzati da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (GM su COS)
- Zona 05 - Depositi superficiali di spessore compreso fra 15 e 20 metri caratterizzati da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei, su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (GM su COS)
- Zona 06 - Depositi superficiali di spessore compreso fra 10 e 15 metri caratterizzati da ghiaie limose con presenza di clasti arenacei e calcarei, su substrato arenaceo (GM su ALS)
- Zona 07 - Substrato geologico coesivo sovraconsolidato stratificato affiorante (COS) costituito da argilliti variegata, argilliti variegata in litofacies a breccie ofiolitiche (AVC) e argille di Fiumalbo (FIU).

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (per sole condizioni topografiche e morfologiche)

- Zona 08 - COS - Substrato geologico coesivo sovraconsolidato stratificato affiorante stratificato con pendenza > 15°
- Zona 09 - ALS - Substrato geologico caratterizzato da alternanza di litotipi stratificato con pendenza > 15°



Zone di attenzione per instabilità

- Zona 10 - Frane complesse o per scorrimento, da 5 a 10 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 11 - Frane complesse o per scorrimento, da 10 a 20 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 12 - Frane complesse o per scorrimento, da 5 a 10 metri di profondità, su substrato ALS
- Zona 13 - Frane per colamento, da 0 a 5 metri di profondità, su substrato COS
- Zona 14 - Frane per crollo/ribaltamento, su substrato ALS
- ZA 15 - Zona di Attenzione per Cedimenti Differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole
- ZA 16 - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali in sovrapposizione a instabilità differenti

Comune di Alto Reno Terme (BO)

tavola
3
scala
N/D

Referente Dott. Francesco Cintelli Via A. La Marmora, 51 - 50121 - Firenze (FI) email: fcintelli@geol-aqua.it cell.: 329/0723618	<p>Commitente Amministrazione Comunale Alto Reno Terme</p> <p>Indirizzo Piazza della Libertà, 13 - Porretta Terme (Bologna)</p> <p>Progetto Microzonazione sismica di I° e II° livello</p> <p>Oggetto Zone MOPS</p> <p>Data Aprile 2019 FILE MOPS.dwg</p>	
---	--	--