

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna

#### Comune di Camugnano



Regione  <b>Emilia-Romagna</b>  Studio realizzato con il contributo di cui all'OCDPC del 26 Ottobre 2015 n°293	Soggetto realizzatore  Piazza Giovanni XIII 12/b 40133 Bologna tel: 051-9912225 - fax: 051-4122990 luca.monti@ultraland.it <i>Collaborazione</i> <i>Mirko Soldati</i> <i>Giorgio Cioce</i>	Comune di <b>Camugnano</b>  Il Sindaco <b>Marco Masinara</b>	
		Data <b>Febbraio 2019</b>	Elaborato <b>1</b>

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.</b>	<b>Stima della Pericolosità Sismica di Base.....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.</b>	<b>Geologia del Territorio Comunale.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2.</b>	<b>Inquadramento Geomorfológico.....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>DATI GEOETECNICI E GEOFISICI.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1.</b>	<b>Dati Geotecnici.....</b>	<b>10</b>
<b>4.2.</b>	<b>Dati Geofisici.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3.</b>	<b>Indagini HVSR.....</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1.</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>12</b>
<b>6.2.</b>	<b>Metodologie di elaborazione.....</b>	<b>12</b>
<b>6.3.</b>	<b>I° Livello di Microzonazione.....</b>	<b>12</b>
<b>6.4.</b>	<b>II° Livello di Microzonazione.....</b>	<b>13</b>
<b>7.</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI.....</b>	<b>14</b>
<b>7.1.</b>	<b>Carta delle Indagini.....</b>	<b>14</b>
<b>7.2.</b>	<b>Carta geologico-tecnica per la micro zonazione sismica.....</b>	<b>14</b>
<b>7.3.</b>	<b>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....</b>	<b>15</b>
<b>7.4.</b>	<b>Carta di microzonazione sismica (livello 2) – [FPGA] – [FH01-0.5 s] – [FH 0.5-1 s]</b>	<b>15</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato è a corredo dello "studio di Microzonazione Sismica di secondo livello con analisi della Condizione Limite Locale per l'Emergenza (CLE)" del comune di Camugnano (BO), di cui all'Ordinanza del Capo di Dipartimento della Protezione Civile del 26 Ottobre 2015 n°293.

Lo studio si è posto l'obiettivo di realizzare la Microzonazione sismica di alcune aree urbanizzate e urbanizzabili del territorio comunale scelte, in accordo con l'Amministrazione Comunale, sulla base della loro rilevanza urbanistica e della presenza di un adeguato numero di dati geognostici di base (Figura 1):

1. il centro abitato di Camugnano
2. la Località Ponte di Verzuno
3. la Località Baigno
4. la Località Bargi

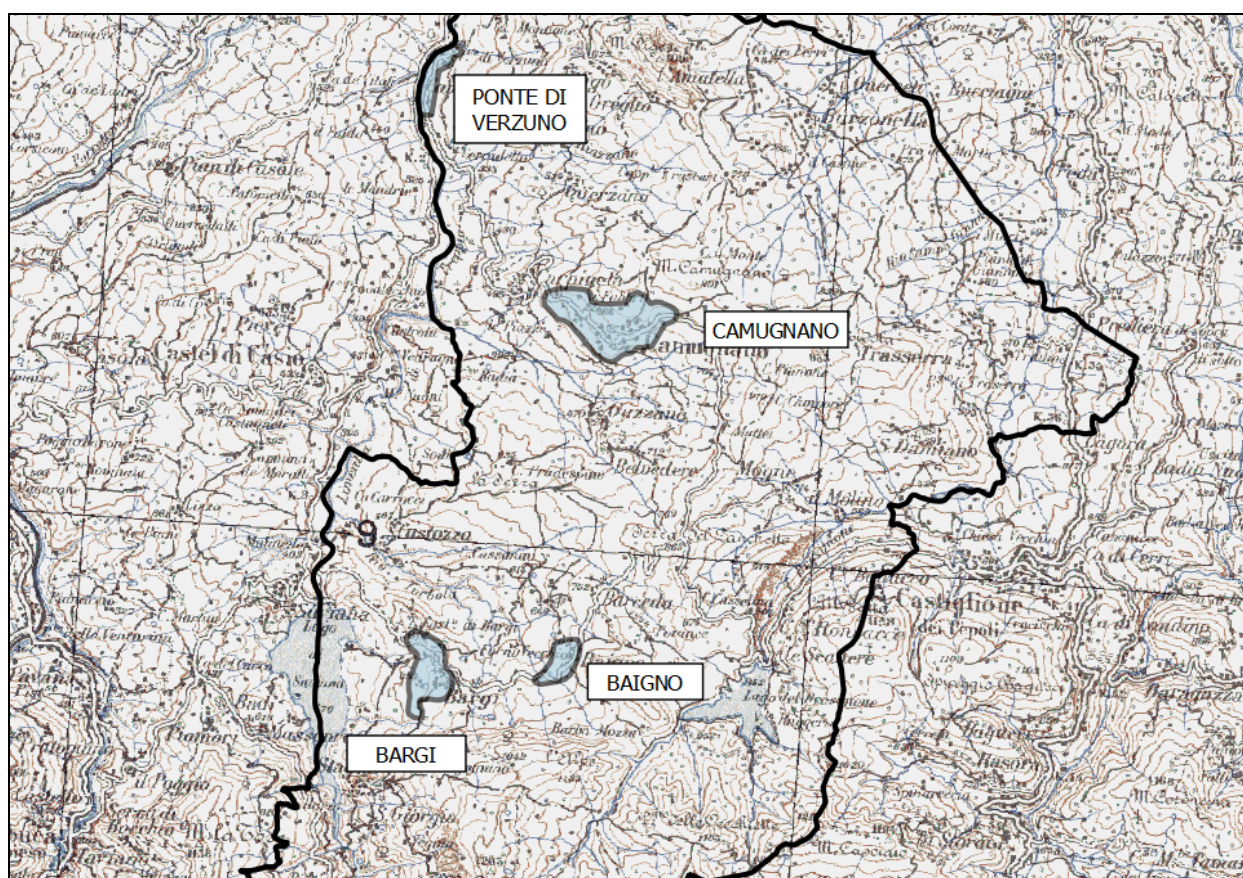


Figura 1. Individuazione delle aree studiate all'interno del territorio del Comune di Camugnano.

Il Comune di Camugnano (codice ISTAT 037010) si inserisce nell'alto Appennino bolognese, confinando con la Provincia di Prato a Sud e con i seguenti comuni:

- Grizzana Morandi a Nord;
- Castiglione dei Pepoli a Est;
- Castel di Casio a Ovest;



## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

L'analisi delle caratteristiche sismiche del territorio di Camugnano (BO) parte direttamente dall'esame delle informazioni storiche esistenti raccolte nel Database Macrosismico Italiano 2011 (DBMI15). Il DBMI15 contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti il cui epicentro ricade all'interno della nuova area CPTI15 (Catalogo Parametrico Dei Terremoti Italiani). I dati sono riferiti a 15416 località di cui 14150 in territorio italiano. Le informazioni sono consultabili on-line dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>). Di seguito si riportano le osservazioni sismiche disponibili per Camugnano (Figura 2).

Storia sismica di Camugnano [44.168, 11.089 ]

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1892	12	29	13	47	4	Castel del Rio	36	5-6	4.37
NF	1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
4	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4	1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6	4.74
2	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	1996	03	14	01	56	3	Appennino tosco-romagnolo	20	4-5	3.56
NF	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30

Figura 2. Osservazioni sismiche disponibili per il Comune di Camugnano (BO): Int= intensità degli effetti al sito espressa secondo la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS); Io= Intensità macrosismica epicentrale (MCS) da CPTI15; Mw= Magnitudo momento associata all'evento sismico.

Le stesse osservazioni sono riportate sottoforma di diagramma nella seguente figura.



Figura 3. Osservazioni sismiche relative al comune di Camugnano.



Per Camugnano sono disponibili dodici eventi sismici due dei quali con intensità al sito pari a 4 della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg). Il IV° MCS corrisponde ad una "scossa moderata: Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli e leggere oscillazioni di oggetti appesi", Figura 4.

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone. Oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'automobile.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaio, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo; fuoriuscita di lava dal terreno.

Figura 4. Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS): I gradi più bassi della scala MCS generalmente affrontano la maniera in cui il terremoto è avvertito dalla popolazione; i valori più alti della scala sono basati sui danni strutturali osservati (da: [https://it.wikipedia.org/wiki/Scala\\_Mercalli](https://it.wikipedia.org/wiki/Scala_Mercalli)).

L'evento più recente dei due, registrato nel catalogo, è quello riguardante l'evento sismico, di magnitudo momento stimata pari a 4,74, verificatosi nel 1956 nell'Appennino Bolognese (Figura 5 Errore: sorgente del riferimento non trovata). L'intensità risentita all'interno del territorio comunale fu di 4 MCS.

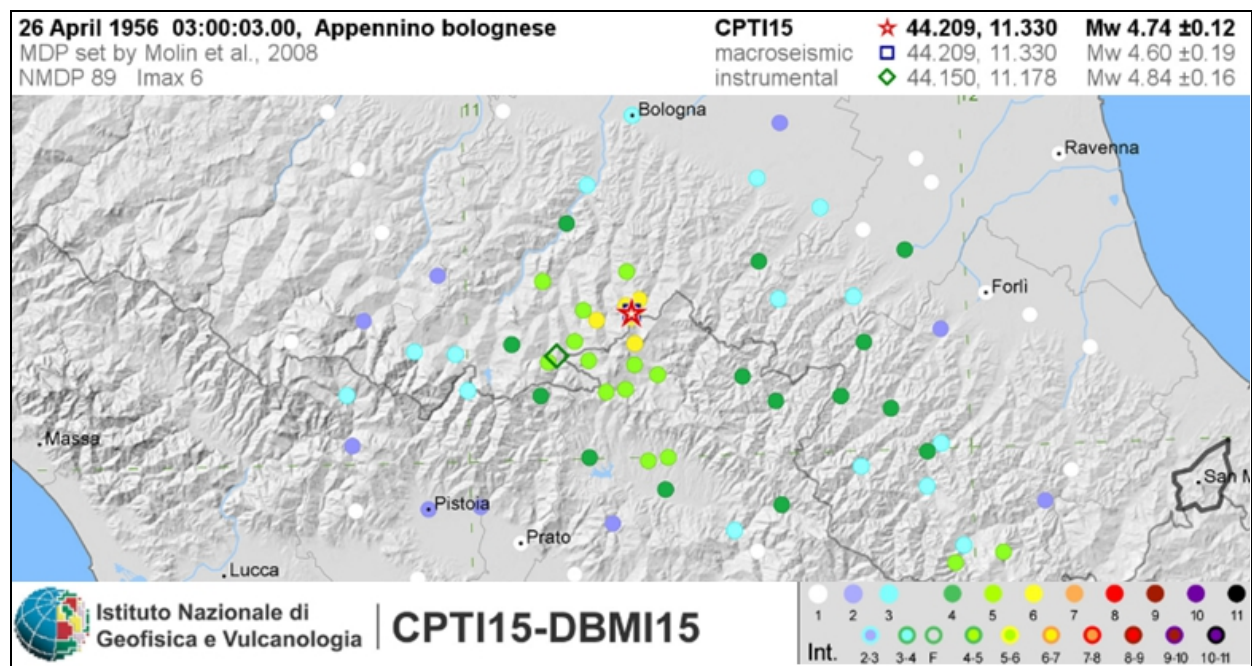


Figura 5. Dettagli dell'evento sismico del 26 aprile del 1956, localizzato nell'Appennino Bolognese.

Il Database Macrosismico Italiano contiene anche un evento sismico registrato sotto la località di Verzuno come di seguito rappresentato.

#### Storia sismica Verzubo [44.198, 11.072 ]

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
5	1881	01	24	16	14		Bolognese	38	7	5.22

Figura 6. Osservazioni sismiche disponibili per la località Verzuno nel Comune di Camugnano (BO): Int= intensità degli effetti al sito espressa secondo la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS); Io= Intensità macrosismica epicentrale (MCS) da CPTI15; Mw= Magnitudo momento associata all'evento sismico.

Le stesse osservazioni sono riportate sottoforma di diagramma nella seguente figura.

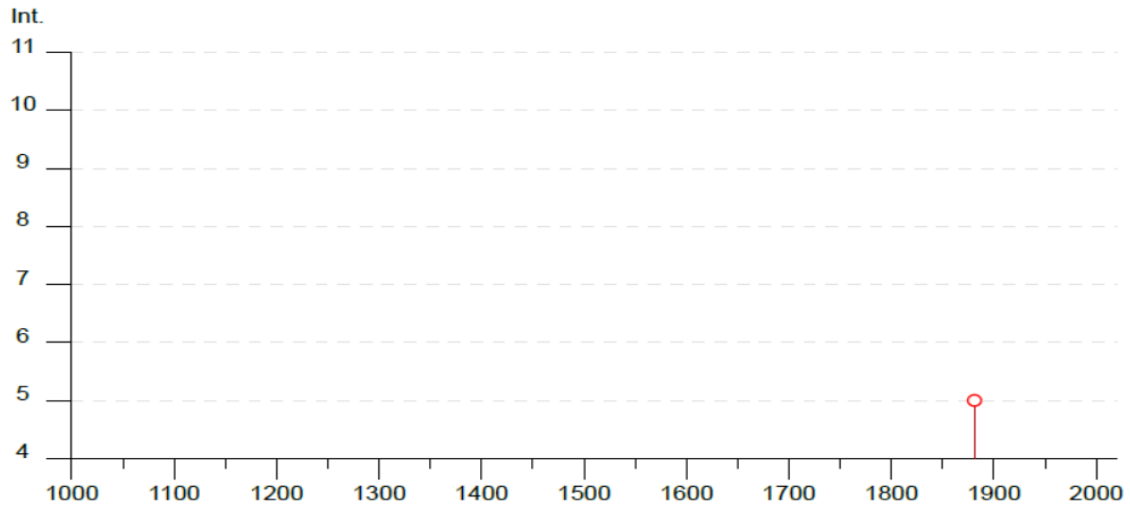


Figura 7. Osservazioni sismiche relative alla località Verzuno nel comune di Camugnano.

L'evento si riferisce ad un terremoto verificatosi nel 1881 nel Bolognese con una magnitudo momento stimata di 5,22 (Figura 8 Errore: sorgente del riferimento non trovata) che ha determinato un'intensità per Verzuno di 5 MCS. Il V° MCS corrisponde ad una "scossa piuttosto forte: Avvertita anche da persone addormentate, cadute di oggetti" (Figura 4).

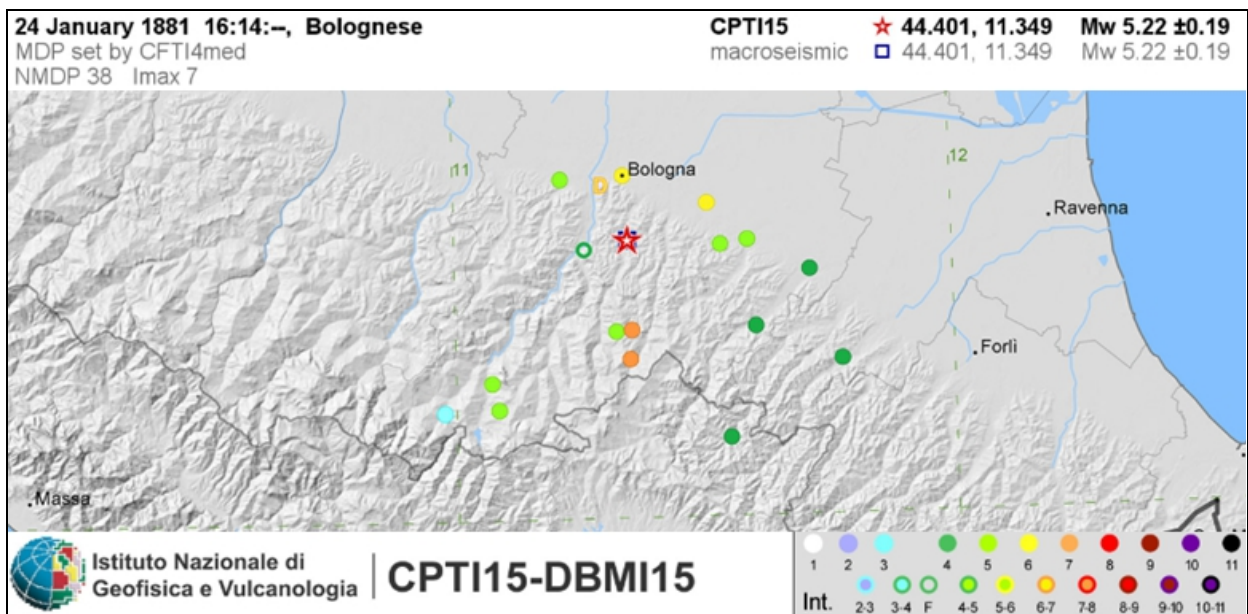


Figura 8. Dettagli dell'evento sismico del 26 gennaio del 1881, localizzato nel Bolognese.

Gli studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata "ZS9", che identifica le zone sorgenti a caratteristiche sismiche omogenee. In particolare la zonazione ha individuato 36 "zone-sorgente" i cui limiti sono stati appunto tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e delle differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

Il territorio del comune di Camugnano ricade in parte all'interno della zona sismogenetica ZS913 e in parte nella zona sismogenetica ZS915 (Figura 9).

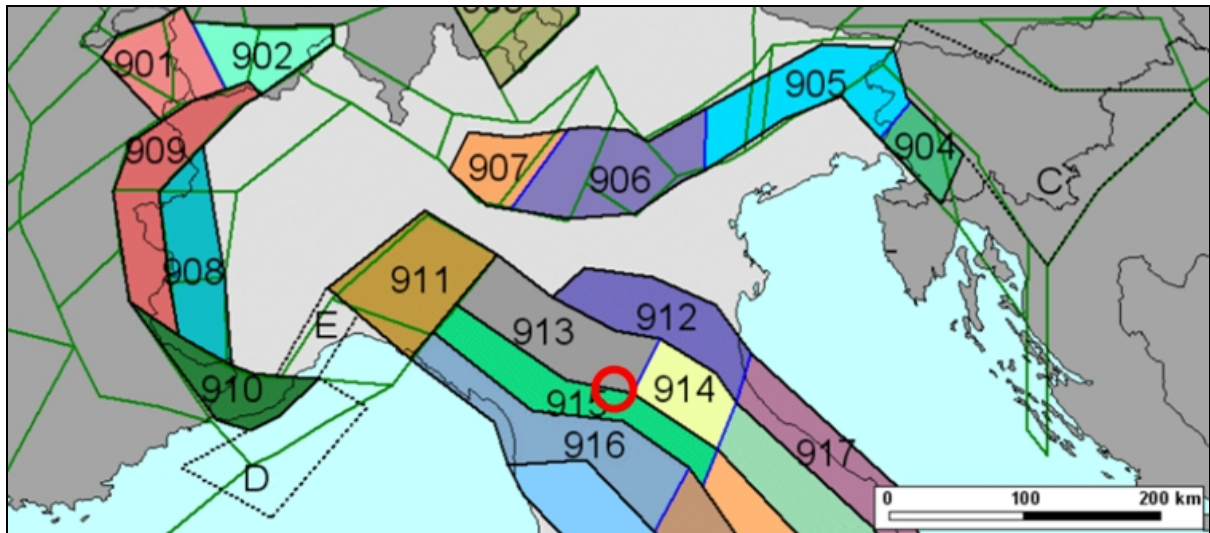


Figura 9. Stralcio Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

La Z913 è caratterizzata da una sismicità storica che raramente ha raggiunto valori molto elevati di magnitudo e nella quale la profondità efficace (profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona) è relativamente elevata compresa tra 12 e 20 Km. La massima magnitudo associata alla zona è pari 6.14 Mw. La Z915 deriva, insieme alla 919 e 923, dalla suddivisione di una lunga fascia dell'Appennino settentrionale che includeva le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo dell'arco Appennino settentrionale e centrale. Tali sorgenti hanno in genere espressioni superficiali, la Z915, rispetto alle altre, appare caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiori.

### 2.1. Stima della Pericolosità Sismica di Base

Dall'analisi della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, elaborata dall'INGV nel 2004 (consultabile on-line al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>), che riporta i valori di pericolosità sismica sui punti di una griglia con passo 0.05° si può osservare (Figura 10) che la pericolosità sismica di base del territorio comunale di Camugnano è caratterizzata da valori di accelerazione di picco, su suolo di riferimento,  $a(g)$  compresa tra 0.175 e 0.200 g. La carta è realizzata considerando una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e cioè un periodo di ritorno degli eventi sismici pari a:  $TR=475$  anni.

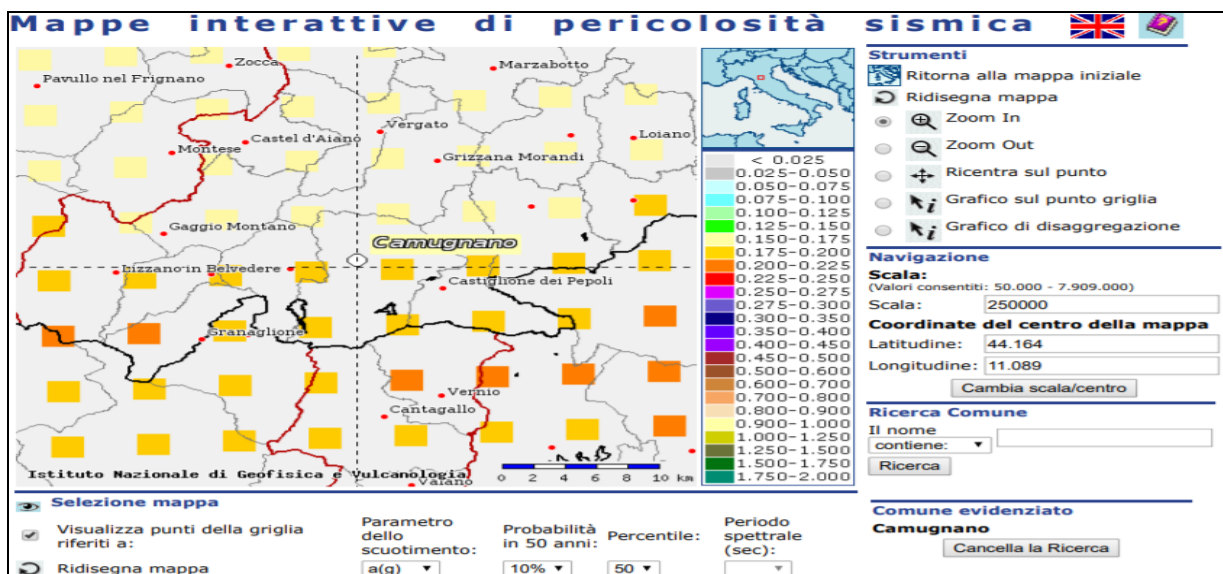


Figura 10. Mappa di pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

### **3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

#### **3.1. Geologia del Territorio Comunale**

La geologia del comune di Camugnano è caratterizzata in gran parte da litotipi ascrivibili alle Unità Liguri, alla successione Epiligure e alle Unità Toscane.

Le formazioni geologiche riscontrate nei comparti in studio per la Microzonazione Sismica sono riportate dall'alto nell'ordine geometrico in cui si ritrovano le unità tettoniche.

#### **Argille a Palombini (APA) – (*Berriasiano - Turoniano*)**

Sono costituite da un'alternanza irregolare di argille ed argilliti nerastre, fissili, con strati di calcilutiti grigie risedimentate, di spessore da decimetro a superiore al metro. Nelle argilliti, che a luoghi, come in quest'area, sono il litotipo dominante, si possono rinvenire intercalati strati singoli o pacchi di sottili torbiditi arenaceo-pelitiche con grana da media a finissima. Normalmente la Formazione ha perso il suo ordine stratigrafico interno infatti, quasi ovunque, le Argille a Palombini sono così intensamente deformate da assumere un aspetto stratigraficamente disordinato o caotico. La stratificazione non è quasi mai riconoscibile con sicurezza, poiché gli strati calcarei appaiono ridotti a blocchi più o meno allineati, deformati in modo fragile con forme, in sezione, da squadrate a lenticolari e con gli assi maggiori orientati parallelamente gli uni agli altri. La pelite, che nelle porzioni poco deformate è costituita da argilliti con una pronunciata fissilità parallela alla stratificazione, assume di norma una spiccata struttura scagliosa con carattere penetrativo (clivaggio scaglioso). Alla stratificazione si sostituisce così una struttura planare mesoscopica d'origine strutturale, una "stratificazione tettonica", che ha una persistenza ed una continuità di tipo cartografico. Questa stratificazione tettonica, oltre che dall'allineamento preferenziale dei boudins di litotipi competenti, è individuata anche dalla fissilità o dal clivaggio scaglioso presente nella pelite. All'interno della massa pelitica compaiono di frequente, sotto forma di inclusi, masse di rocce ofiolitiche, di dimensioni estremamente variabili, costituite prevalentemente da serpentiniti e basalti a luoghi pillows lavas, ma soprattutto brecce poligeniche esclusivamente formate da clasti ofiolitici, o con clasti di rocce sedimentarie (diaspri, calcari tipo Calcari a Calpionella, ecc..). L'età delle Argille a Palombini è ancora mal definita per la scarsità di microfaune e di nanofossili: ben documentata è la presenza del Cretaceo inferiore ed incerta quella del Cenomaniano. La formazione rappresenta un deposito di piana sottomarina sottoalimentata situata sotto il livello di compensazione dei carbonati.

#### **Argilliti variegata con calcari (AVC) – (*Albiano – Eocene inf.*)**

Si tratta di marne e marne argillose grigiastre o nerastre alla frattura fresca, verdastre, bruno – rossastre o giallastre per alterazione in superficie. Si presentano con un'intensa fratturazione a scaglie e squame dalla forma appiattita e dai contorni irregolari; la presenza di sottili spalmature brunastre ferro – mangesifere, dà untuosità e lucidità alle superfici dei piccoli frammenti marnosi. Non rare sono le vene di calcite secondaria. Frequenti sono gli interstrati, di spessore compreso solitamente fra i 20 e i 50 cm, a volte lentiformi, di calcare marnoso o di calcilutite grigio chiara alla frattura, mentre brunastro o bluastro in superficie per le patine mangesifere. Questi livelli calcarei mostrano un'intensa fratturazione e deformazione con abbondanti vene di calcite secondaria lungo le litoclasti. Numerosi sono inoltre i blocchi e gli inclusi di diversa litologia e di svariate dimensioni inglobati.



### **Marne di Baigno (BNG) – (Chattiano – Burdigaliano)**

Sono costituite da marne siltose, a luoghi calcaree, fortemente indurite, omogenee, di colore grigio-chiaro su superficie fresca e grigio-giallastro su superficie alterata. La stratificazione è in genere mal visibile o assente. Sono presenti livelli centimetrici di natura vulcanoclastica di colore dal giallastro-ocra al verde e livelli di marne selciose scheggiose.

### **Brecce argillose poligeniche (BAP)**

Argille a struttura primaria caotica (debris flow e mud flow). Unità costituite in prevalenza da argille con a luoghi subordinati inclusi lapidei che determinano una tessitura clastica, dalla scala dell'affioramento fino alla scala microscopica, originata dalla messa in posto di colate sottomarine di fango e detrito.

### **Formazione di Camugnano (CAU) – (Turoniano – Santoniano)**

La formazione è costituita da due litofacies principali: la prima è rappresentata da alternanze torbiditiche arenaceo-pelitiche con rapporto A/P intorno all'unità; la seconda è rappresentata da arenarie da medie a molto grossolane, talora microconglomeratiche, in strati da spessi a massicci ai quali si intercalano pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche in strati più sottili. Le areniti, di colore grigio, sono di composizione litica con prevalenti granuli carbonatici terrigeni; le peliti sono di colore verdastro e grigio-nerastro, piuttosto compatte e prive in genere di scagliosità.

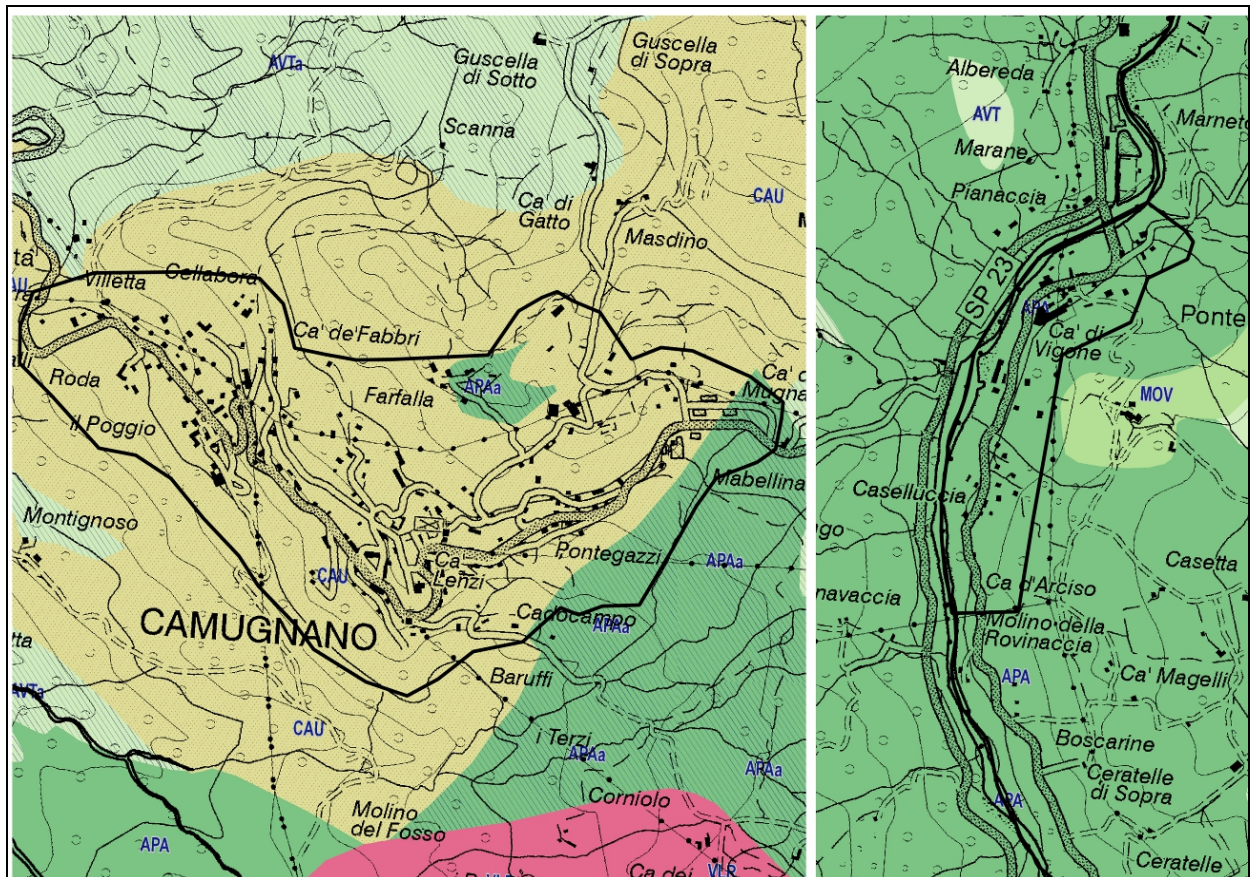


Figura 11. Geologia di base dei comparti Camugnano e Verzuolo.



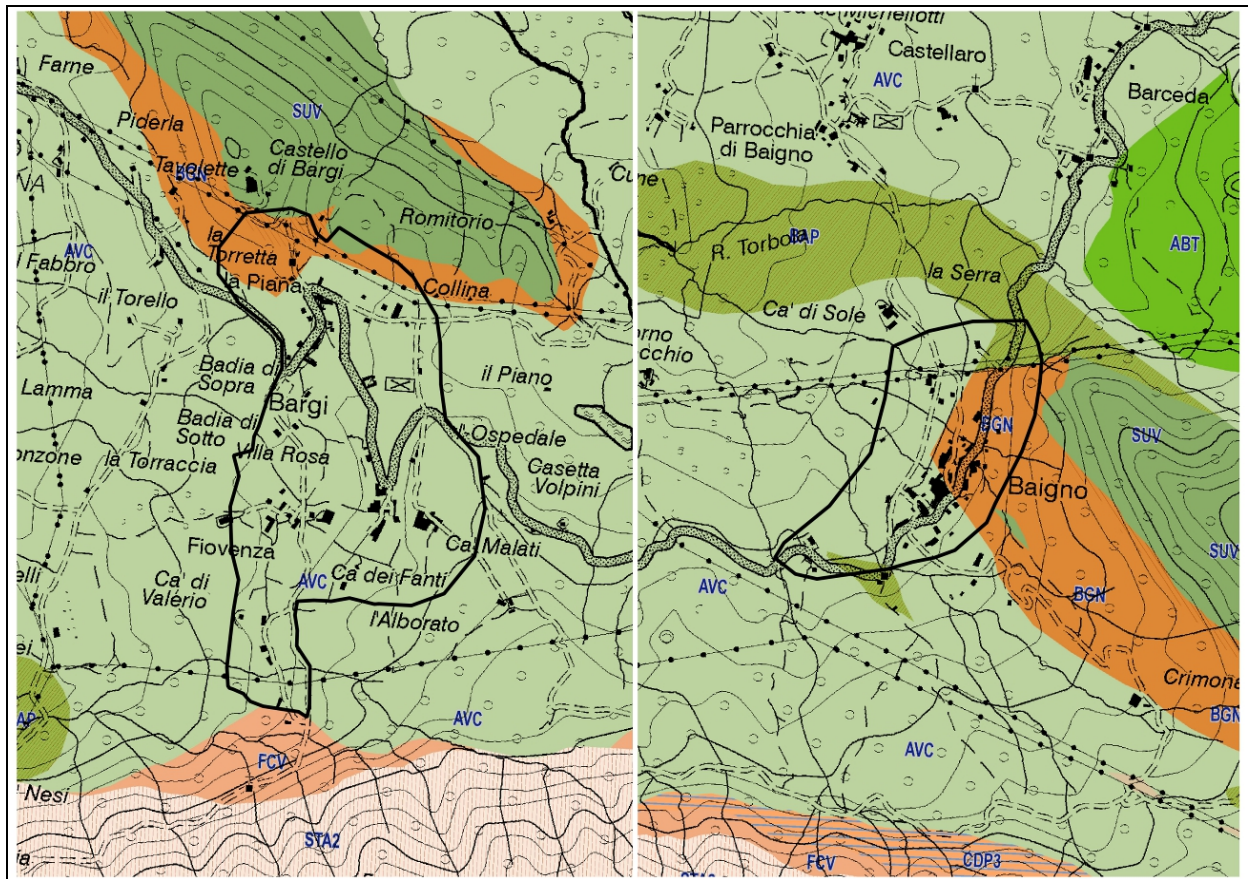


Figura 12. Geologia di base dei comparti Bargi e Bagno.

### 3.2. Inquadramento Geomorfológico

Per l'inquadramento morfologico generale dell'area, si è partiti dall'analisi della cartografia geologica dell'Emilia Romagna che riporta gli elementi aggiornati dell'Inventario del Dissesto della regione. Tali analisi sono state poi integrate dal rilevamento morfologico e geologico originale delle aree studiate, rilevando in campagna gli elementi morfologici presenti.

Le forme del paesaggio sono controllate dalla litologia di base presenti, dagli spessori dei terreni di copertura e dall'assetto geostrutturale che determina i lineamenti principali dell'orografia. Tale influenza si avverte sia a grande scala per quanto riguarda l'andamento dei crinali e delle valli principali, sia nelle forme locali.

In particolare il territorio comunale è segnato da un evidente forte contrasto del paesaggio che indica un netto contrasto nelle litologie presenti riscontrabile nelle sostanziali differenze morfologiche dei quattro comparti in studio.

## 4. DATI GEOETECNICI E GEOFISICI

### 4.1. Dati Geotecnici

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i terreni di copertura ed il substrato geologico è stato necessario reperire tutte le informazioni di carattere geologico in possesso dell'amministrazione comunale e servirsi di prove geonostiche effettuate sul territorio.

Le prove geognostiche, unitamente ai dati rilevati nel corso dei vari sopralluoghi ed alle analisi geologiche in s.l., hanno consentito di individuare lo spessore delle coltri di copertura, stabilire la profondità del substrato geologico, e di fornire le indicazioni sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati.

## **4.2. Dati Geofisici**

Per caratterizzare da un punto geofisico i terreni presenti è stata effettuata una campagna geosismica passiva costituita da 36 acquisizioni di microtremori a stazione singola (HVSR). Sono state inoltre analizzate 3 indagini geosismiche attive (due a rifrazione e una a riflessione) realizzate dalla Regione Emilia-Romagna *Direzione generale cura del territorio e dell'ambiente* per lo **Studio di abitati a rischio idrogeologico nei territori ricadenti all'interno del bacino del Reno.**

## **4.3. Indagini HVSR**

Le prove HVSR sono state ubicate in corrispondenza dei nodi di una maglia quadrata atta a coprire in maniera omogenea i quattro comparti, tenendo comunque in considerazione l'assetto geologico e geomorfologico delle aree di studio e le loro relative specificità.

Le indagini a stazione singola, con acquisizione di microtremori ambientali, sono state eseguite utilizzando un acquisitore **TROMINO®**.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz. In sintesi, dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo  $t$ , e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

1. divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
2. depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
3. "taper" con una finestra di Bartlett;
4. "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
5. calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
6. calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
7. smoothing (lisciamiento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
8. calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale è il prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore perché riguarda oscillazioni molto piccole (10 -15 (m/s<sup>2</sup>) in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica.

Le misure di microtremori sono state utilizzate anche per la valutazione di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) grazie anche all'utilizzo dei dati geognostici disponibili. Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

I dati misurati dallo strumento sono stati elaborati e interpretati con il software **Grilla®** fornendo un report finale così strutturato:

Dati delle misura.	Ora di inizio e fine registrazione, frequenza di campionamento, ecc.
Horizontal to vertical spectral ratio	Grafico H/V
H/V Time history	Grafico Time history del rapporto H/V
Directional H/V	Grafico Direzionalità del rapporto H/V
Single component spectra	Grafico delle singole componenti spettrali
Experimental vs. sintetic H/V	Sovrapposizione della curva sperimenta alla curva H/V e istogramma Velocità/Profondità

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico generale dei comparti di studio, che è stato definito grazie ai numerosi dati disponibili e alla campagna geofisica effettuata, è essenzialmente schematizzabile con due unità principali: la prima, superficiale, è costituita dai terreni di copertura che si sovrappongono alla seconda unità caratterizzata dai litotipi ascrivibili al substrato geologico inizialmente alterato e decompresso. La copertura presenta uno spessore variabile, generalmente in aumento procedendo da monte verso valle, e proprietà geomeccaniche solitamente in graduale miglioramento con la profondità.

## 6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

### 6.1. Premessa

Lo studio di microzonazione sismica, per le quattro aree del comune di Gaggio Montano, è stato realizzato secondo le seguenti fasi:

1. Individuazione delle aree suscettibili di effetti locali, o microzone omogenee in prospettiva sismica ( $\diamond$ MOPS, **I° livello** di approfondimento), definendo per ognuna di esse i livelli di approfondimento ritenuti necessari;
2. Determinazione quantitativa attraverso una procedura semplificata dei fattori amplificazione dove consentito ( $\diamond$ II° livello di approfondimento);

### 6.2. Metodologie di elaborazione

Le metodologie utilizzate e i risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i due livelli di microzonazione sismica realizzati per i quattro comparti del comune di Camugnano (I e II livello di microzonazione). Nel successivo capitolo ("Elaborati cartografici") i risultati saranno dettagliati e spiegati per ogni singolo prodotto realizzato all'interno dello studio.

### 6.3. I° Livello di Microzonazione

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ, sono state individuate e delimitate, all'interno delle due aree di studio, le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica e i livelli di approfondimento che competono ad ognuna di esse.



Dall'analisi dei dati sono state individuate tre **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** a comportamento sismico omogeneo.

**Zona 1:** Terreni di copertura alluvionali costituiti da ghiaie a granulometrie ben assortite e limi sabbiosi (si tratta dei terrazzi alluvionali);

**Zona 2:** Terreni di copertura eluvio-colluviali costituiti da sabbie limose;

**Zona 3:** Terreni di copertura eluvio-colluviali costituiti da argille inorganiche;

**Zona 4:** Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato, alterato e decompresso. (Velocità  $V_s < 800$  m/s).

Nelle aree di studio, il substrato geologico affiorante o sub-affiorante, non è stato identificato come **zona stabile** priva di effetti amplificativi, bensì come **zona stabile suscettibile di amplificazioni locali** dato il suo stato di forte alterazione e fratturazione superficiale. I differenti tipi di substrato sono stati accumulati nella stessa tipologia di zona poiché associati a comportamenti meccanici e quindi sismici simili.

Dall'analisi dei dati sono state individuate quattro **zone di attenzione per instabilità di versante** a comportamento sismico omogeneo distinte per cinematismo e caratteristiche litologiche.

**ZAFR (30232004):** Colata quiescente. Massa costituita da materiale fangoso saturo in acqua con uno spessore di circa 1,5 m;

**ZAFR (30122005):** Scorrimento attiva. Clasti eterometrici in matrice pelitica in ricoprimento al substrato con uno spessore dai 5 ai 8 m;

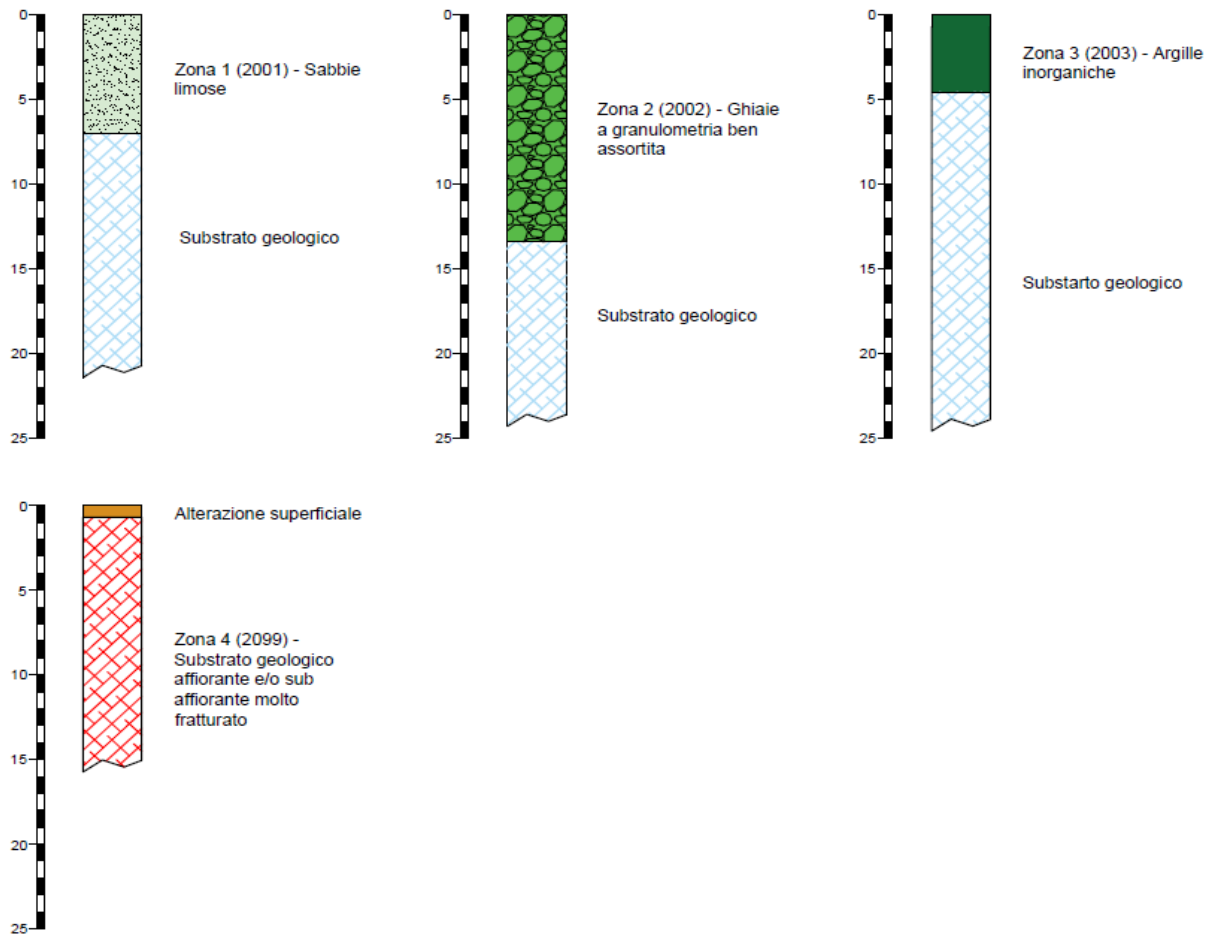
**ZAFR (30142006):** Complessa attiva. Clasti eterometrici in matrice pelitica in ricoprimento al substrato con uno spessore dai 3 ai 4 m;

**ZAFR (30222007):** Scorrimento quiescente. Clasti eterometrici in matrice pelitica in ricoprimento al substrato con uno spessore dai 3 ai 13 m;

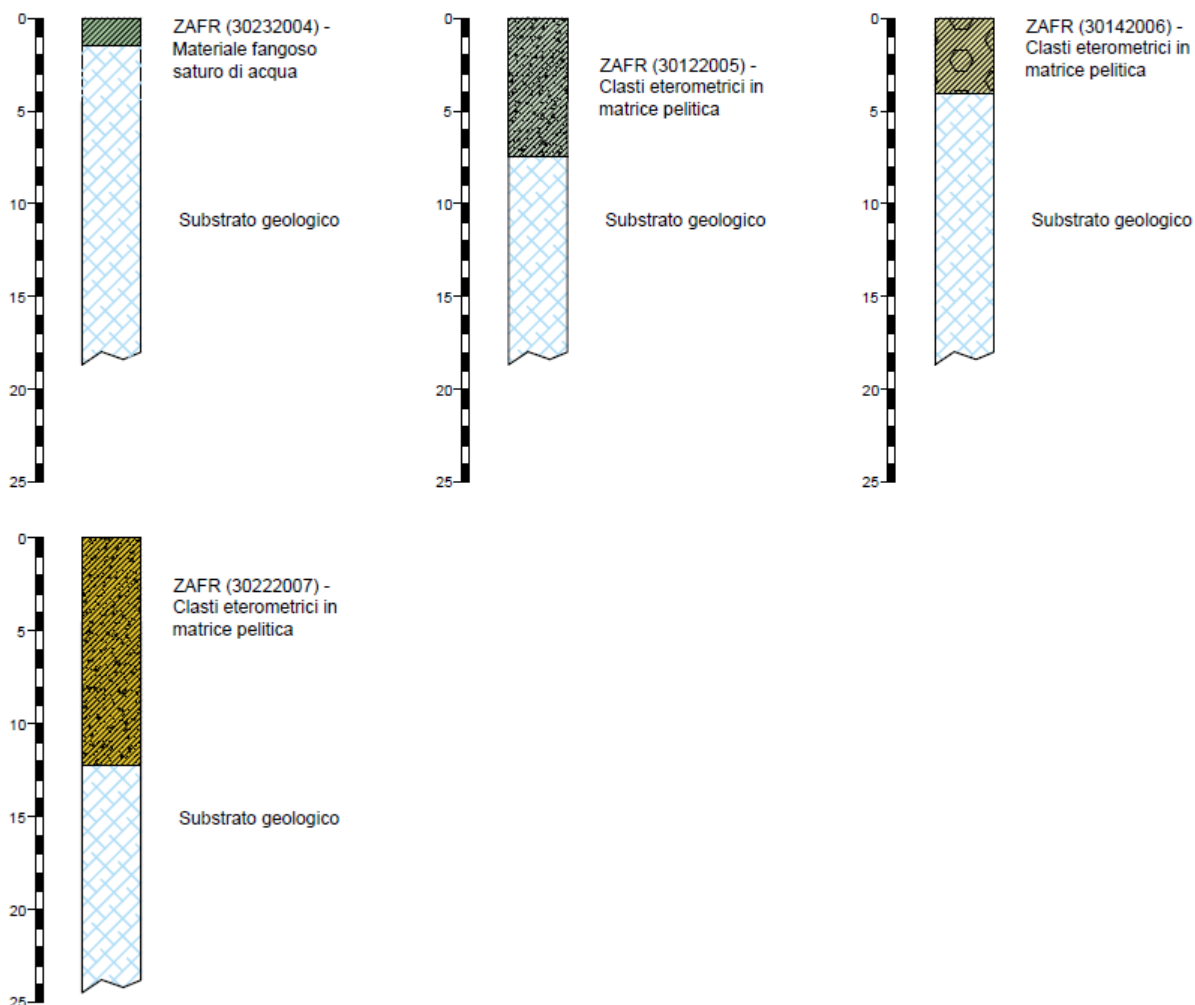
Le corrispondenti colonne litostratigrafiche sono riportate nella figura seguente.

# Colonne litostratigrafiche

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



## Zone di attenzione per instabilità



### 6.4. II° Livello di Microzonazione

Dall'analisi dei dati ottenuti e sulla base delle indagini sismiche passive realizzate è stato possibile quantificare i fattori amplificativi dei materiali geologici, dei terreni di copertura e del substrato sub-affiorante. Tali fattori sono tre per ogni area individuata, in termini di massima accelerazione al suolo (PGA) che di intensità di Housner (SI suddivisa in due distinti periodi T di riferimento SI1:  $0.1 < T_0 < 0.5$  s; SI2:  $0.5 < T_0 < 1.0$  s) secondo l'approccio proposto dalla Regione Emilia-Romagna a seguito dell'entrata in vigore del DGR n.2193 del 21/12/2015 (pubblicati nel BUR parte seconda – N.2 – del 8 gennaio 2016), che costituisce l'aggiornamento degli indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica (DAL n. 112 del 2 maggio 2007).

In particolare gli abachi utilizzati per l'individuazione dei fattori di amplificazione sono quelli relativi al contesto "APPENNINO -zone collinari e montane con substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s" (Allegato A2 del DGR 2193/2015).

	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

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)

	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

Fattori di Amplificazione **SII** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)

	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

Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)

In caso di substrato marino caratterizzato da  $V_S \ll 800$  m/s affiorante vengono utilizzate le seguenti tabelle.

$V_{s30}$ (m/s) →	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. SII					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

Fattori di Amplificazione **PGA, SII e SI2**

Le analisi dei dati raccolti hanno permesso di definire gli spessori dei depositi di copertura e/o delle profondità del substrato rigido ( $H$ ) oltre che di definire le velocità equivalenti delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{sH}$ ) dei depositi di copertura secondo le formule di seguito riportate:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

Sono state quindi prodotte tre carte nelle quali il territorio è stato suddiviso in isoaree sulla base delle classi di amplificazione come indicato nelle linee guida per la Microzonazione Sismica.



## 6.5. Effetti della topografia

Nell'area di Camugnano è stata effettuata una traccia di sezione per la stima delle amplificazioni topografiche (Figura 13).

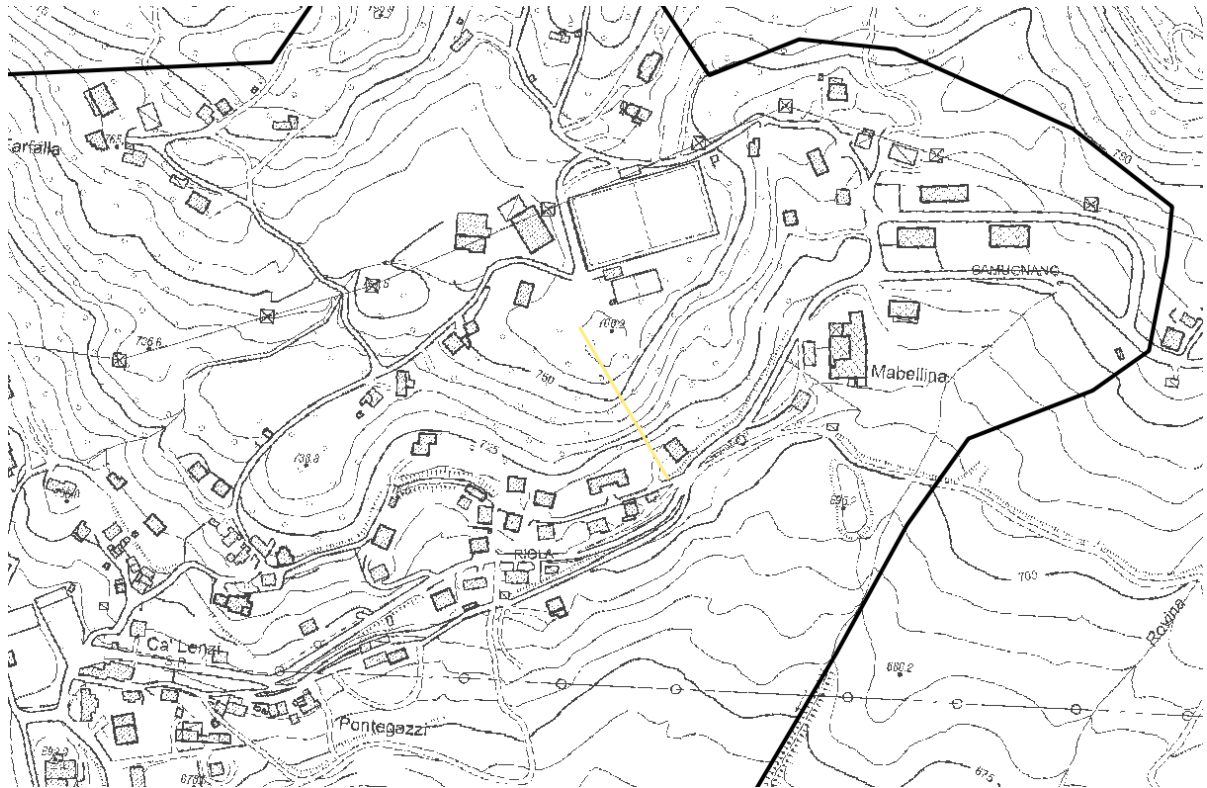
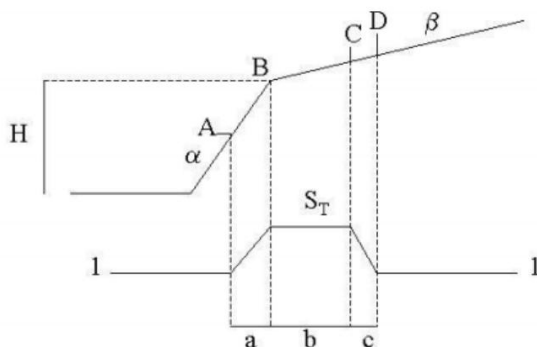


Figura 13. Ubicazione della traccia di sezione per la stima del fattore di amplificazione topografica.

Questi effetti vengono presi in considerazione nei pendii con inclinazione media uguale o maggiore di  $15^\circ$  e nel caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza (H) superiore a 30 metri. I fattori di amplificazione litostratigrafica devono essere moltiplicati per un fattore  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica) calcolato nel seguente modo:



$$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4) \text{ sul segmento BC}$$

$$b: \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } \frac{H+10}{4}$$

$\alpha$  e  $\beta$  sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$$S_T = 1 \text{ in A (} a = H/3 \text{) e } S_T = 1 \text{ in D (} c = H/4 \text{)}$$

$S_T$ : si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4.

Nel caso di Camugnano i calcoli hanno portato ad un valore di  $S_T$  di 1,1 (Figura 14)

## SEZIONE 1

$$St(BC) = 1.1$$

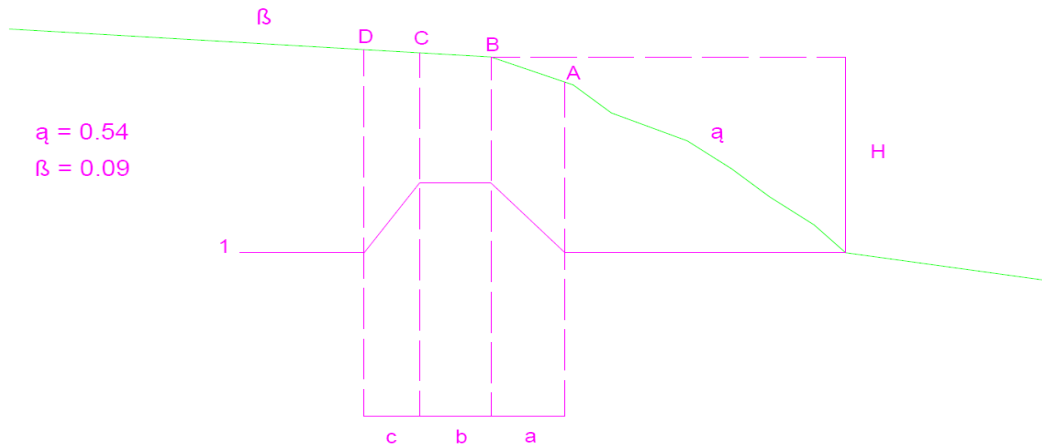


Figura 14. Profilo topografico e determinazione di  $St$ .

Date le modestissime dimensioni della porzione di territorio (segmento BC) interessata da valore di  $St$ , la suddetta area **non è esplicitata nella cartografia relativa ai fattori di amplificazione.**

## 7. LABORATI CARTOGRAFICI

### 7.1. Carta delle Indagini

Le 62 indagini geotecniche e geofisiche complessivamente utilizzate per questo studio sono descritte nel Capitolo 4. Tutte le prove utilizzate sono rappresentate nella Carta delle Indagini, riportata in allegato ed archiviate nel database associato. La carta e il database sono stati realizzati secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.0.

### 7.2. Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La denominazione delle litologie descritte nella carta geologico-tecnica è stata resa armonica con la legenda della Carta Geologica Regionale dell'Emilia-Romagna, che è stata utilizzata come cartografia di riferimento. I risultati riportati nelle cartografie derivano dai rilevamenti diretti effettuati nel corso del rilevamento geologico e morfologico effettuato nell'ambito del presente studio.

Secondo gli standard di rappresentazione di riferimento i terreni di copertura e il substrato geologico sono stati catalogati come segue:

- *Terreni di copertura*
  - **GW:** Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie
  - **SM:** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
  - **CL:** Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
- *Substrato geologico*
  - **SFLP:** Lapideo molto fratturato e alterato
  - **SFCO:** Coesivo sovraconsolidato molto fratturato

- **SFAL:** Alternanza di litotipi molto fratturato e alterato

Sono state individuate tre categorie di instabilità di versante:

- *Scorrimento*
- *Complessa*
- *Colata*

Sono state differenziate in base al loro stato di attività o di quiescenza.

Come descritto negli standard, nella carta sono state inserite le tracce di sezione geologica rappresentative del modello di sottosuolo. Inoltre sono presenti i sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico con relativa indicazione della quota.

### 7.3. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Come descritto nel § 6.3, sono state individuate tre zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- **Zona 1:** Terreni di copertura alluvionali costituiti da ghiaie a granulometrie ben assortite e limi sabbiosi (si tratta dei terrazzi alluvionali);
- **Zona 2:** Terreni di copertura eluvio-colluviali costituiti da sabbie limose;
- **Zona 3:** Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato, alterato e decompresso. (Velocità  $V_s < 800$  m/s).

Nella carta sono stati inseriti i punti di misura di rumore ambientale. Le zone di attenzione per instabilità di versante sono state suddivise come segue:

- **ZAFR:** Zona di attenzione per instabilità di versante

Come da standard sono state differenziate per ogni categoria di instabilità (scorrimento, colata, complessa) e sono state anch'esse differenziate in base al loro stato di attività o di quiescenza.

### 7.4. Carta di microzonazione sismica (livello 2) – [FPGA] – [FH01-0.5 s] – [FH 0.5-1 s]

Sono state prodotte tre distinte carte, ognuna delle quali associata ad uno specifico fattore di amplificazione.

- F.A.P.G.A
- F.A.h 0.1-0.5 s
- F.A.h 0.5-1 s

Bologna, aprile 2019

dott. Luca Monti  
GEOLOGO

