

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Caorso



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>EMILIA-ROMAGNA</b>	<b>Dott. Geol. Nicola Cavanna</b>  <b><u>Collaboratori:</u></b>  Dott. Geol. Roberto Ponzanibbio Dott. Geol. Gian Marco Veneziani	<b>Novembre 2022</b>

**INDICE**

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento</b>	<b>6</b>
2.1	Zonazione sismogenetica	8
2.1.1	Le sorgenti sismogenetiche	9
2.2	Sismicità storica	10
<b>3</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico</b>	<b>12</b>
3.1	Tettonica e sedimentazione	12
3.2	Stratigrafia comunale	12
3.3	Assetto geomorfologico	13
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici</b>	<b>14</b>
4.1	Indagini geognostiche pregresse	14
4.2	Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica	14
4.2.1	Prove sismiche HVSR	14
4.2.2	Prove penetrometriche CPT	21
<b>5</b>	<b>Modello del sottosuolo</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Interpretazioni ed incertezze</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici</b>	<b>24</b>
8.1	Carta delle indagini	24
8.2	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	25
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	25
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	26
8.4.1	Schemi dei rapporti stratigrafici	28
8.4.2	Sezione geologica	31
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	31
8.6	Carta di microzonazione sismica (livello 2)	32
8.7	Carte H <sub>SM</sub> Scuotimento atteso al sito in valore assoluto	35
8.8	Commenti finali e criticità	36

**ELENCO ELABORATI**

- Carta delle indagini (scala 1:10.000)
- Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (scala 1:10.000)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000)
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS – Livello 1) (scala 1:10.000)
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) (scala 1:10.000)
- Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:10.000)

- FPGA

- FA  $0.1s \leq T \leq 0.5s$
- FA  $0.4s \leq T \leq 0.8s$
- FA  $0.7s \leq T \leq 1.1s$
- FA  $0.5s \leq T \leq 1.5s$
- FH  $0.1s \leq T \leq 0.5s$
- FH  $0.5s \leq T \leq 1s$
- FH  $0.5s \leq T \leq 1.5s$

- Carta  $H_{SM}$  Scuotimento atteso al sito in % g (scala 1:10.000)
  - Carta  $H_{0.4 < H < 0.8}$  Scuotimento atteso al sito in % g
  - Carta  $H_{0.7 < H < 1.1}$  Scuotimento atteso al sito in % g
  - Relazione illustrativa
  - Sezione Geologia Fossadello – Caorso Nord
  - Sezione Geologica Roncarolo – Zerbio
-

## 1 INTRODUZIONE

Tutte le attività svolte ed in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- ✓ Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con  $ag < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 2245 del 27/12/2018 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da  $ag < 0,125g$ " (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale");
- ✓ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.2., Roma – Dicembre 2020 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, istituita con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti SRAI");
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS");
- ✓ Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'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", così come modificati dalla deliberazione di Giunta regionale n. 630 del 29.04.2019 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, n. 112 (da qui in avanti "indirizzi regionali");

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati e dal capitolato tecnico, è articolato nei seguenti due livelli di approfondimento:

. **PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**, finalizzato a:

- *definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici);*
- *individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;*
- *definizione del tipo di effetti attesi;*
- *indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.*

. **SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**, finalizzato a:

- *conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello ed eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;*
- *suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica;*

L'Amministrazione Comunale ha definito il territorio urbanizzato e urbanizzabile in cui effettuare la microzonazione e dove eseguire la nuova campagna d'indagini.

Tale zonazione ha, pertanto, interessato i seguenti abitati:

- Caorso
- Fossadello
- Muradolo
- Roncarolo
- Zerbio

Il comune di Caorso confina con i seguenti comuni: Cortemaggiore, San Pietro in Cerro, Monticelli D'Ongina, Piacenza e Pontenure. Nella porzione a Nord del territorio il corso del Fiume Po segna il confine con la Regione Lombardia.

Nell'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*", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 il Comune di Caorso viene classificato in **zona 3**.

Risulta opportuno evidenziare che già con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni" (ad oggi aggiornate con l'introduzione delle NTC 2018), la stima della pericolosità sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica in uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

L'elaborazione dei parametri della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta da INGV (2004) e riportata nell'OPCM 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", identifica, per il territorio comunale di Caorso, valori di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra:  $ag = 0,075 \div 0,100$  g (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV).

La magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) attesa nel comune (compreso all'interno delle zone sismogenetiche 911) e riportata negli ICMS (2008), è stimata pari 5,68.

Il territorio comunale di Caorso si colloca nella bassa pianura piacentina ed è compreso fra il fiume Po ed i torrenti Nure e Chiavenna.

I depositi nei quali è modellata la pianura piacentina rappresentano il prodotto della sedimentazione marina e fluviale instauratasi nel Pliocene e protrattasi fino ai giorni nostri. L'attuale conformazione strutturale di tali depositi, che hanno colmato quella vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici e alpini che corrispondeva al Bacino Perisuturale Padano, sono una diretta conseguenza delle intense deformazioni tettoniche che a partire dal Miocene Sup. hanno coinvolto il substrato Appenninico. Il bacino padano era sede di un rapido processo di sedimentazione che a partire dal Calabriano, (costituisce l'inizio della deposizione Quaternaria), tende ad assumere caratteri intermedi di ambiente deltizio e lagunare. Ma è con il Villafranchiano che la sedimentazione diviene prettamente continentale per poi intrecciarsi con i primi eventi glaciali: proprio l'apporto dei sedimenti fluvio-glaciali e fluviali è responsabile dell'aspetto odierno della pianura ed il raggiungimento delle caratteristiche fisiografiche attuali.

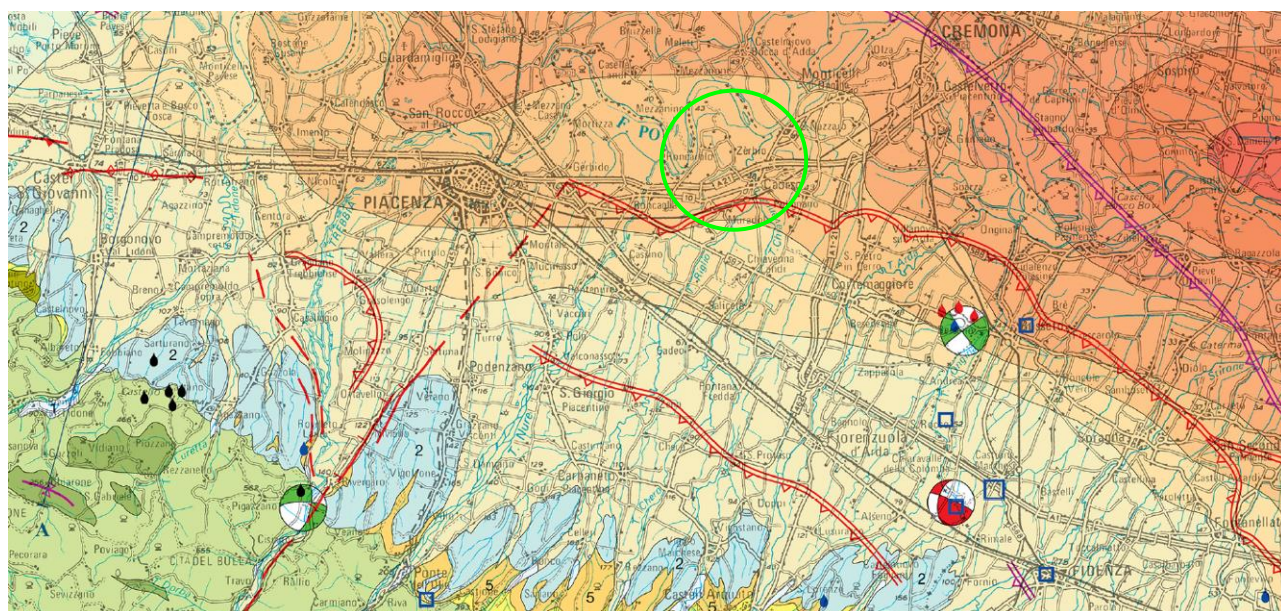
I lineamenti morfologici che caratterizzano l'area comunale sono così determinati in principal modo dalla presenza della grande valle del fiume Po e delle grandi valli torrentizie del T. Nure e del T. Chiavenna che scorrono in direzione all'incirca Sudovest-Nordest e Sud-Nord e pressoché perpendicolari agli assi strutturali appenninici, per cui ne consegue una regolare distribuzione delle zone altimetriche in fasce dolcemente degradanti verso Nord-Nordest. Per quanto riguarda le quote topografiche del territorio risultano comprese tra la quota 40 m s.l.m. presso il Capoluogo e la quota 50 m s.l.m. presso la località Fossadello. L'intera zona esaminata si caratterizza anche per la presenza di una fitta rete di canali di scolo

e fossi artificiali, frutto degli interventi di miglioramento fondiario, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti e, conseguentemente, alla necessità di agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche, altrimenti facilmente ristagnanti ed un'adeguata dotazione di acque irrigue nei mesi asciutti.

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

Il territorio del comune di Caorso (PC) è inserito in un contesto sismo-tettonico caratteristico della pianura padano-emiliana.

L'area di interesse è caratterizzata da strutture compressive (faglie inverse – thrust) di cui *“presentano evidenze di attività tettonica recente le faglie che non coincidono con il margine ma quelle strutture che corrispondono al fronte sepolto delle Pieghe Emiliane (Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – Note Illustrative)*. In particolare, l'attività sismica è legata ad una serie di discontinuità tettoniche associate al movimento di un thrust fault (sovrascorrimento) sepolto; la struttura è ubicata nella porzione centro-meridionale del territorio comunale (*“Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna” - 2017*).



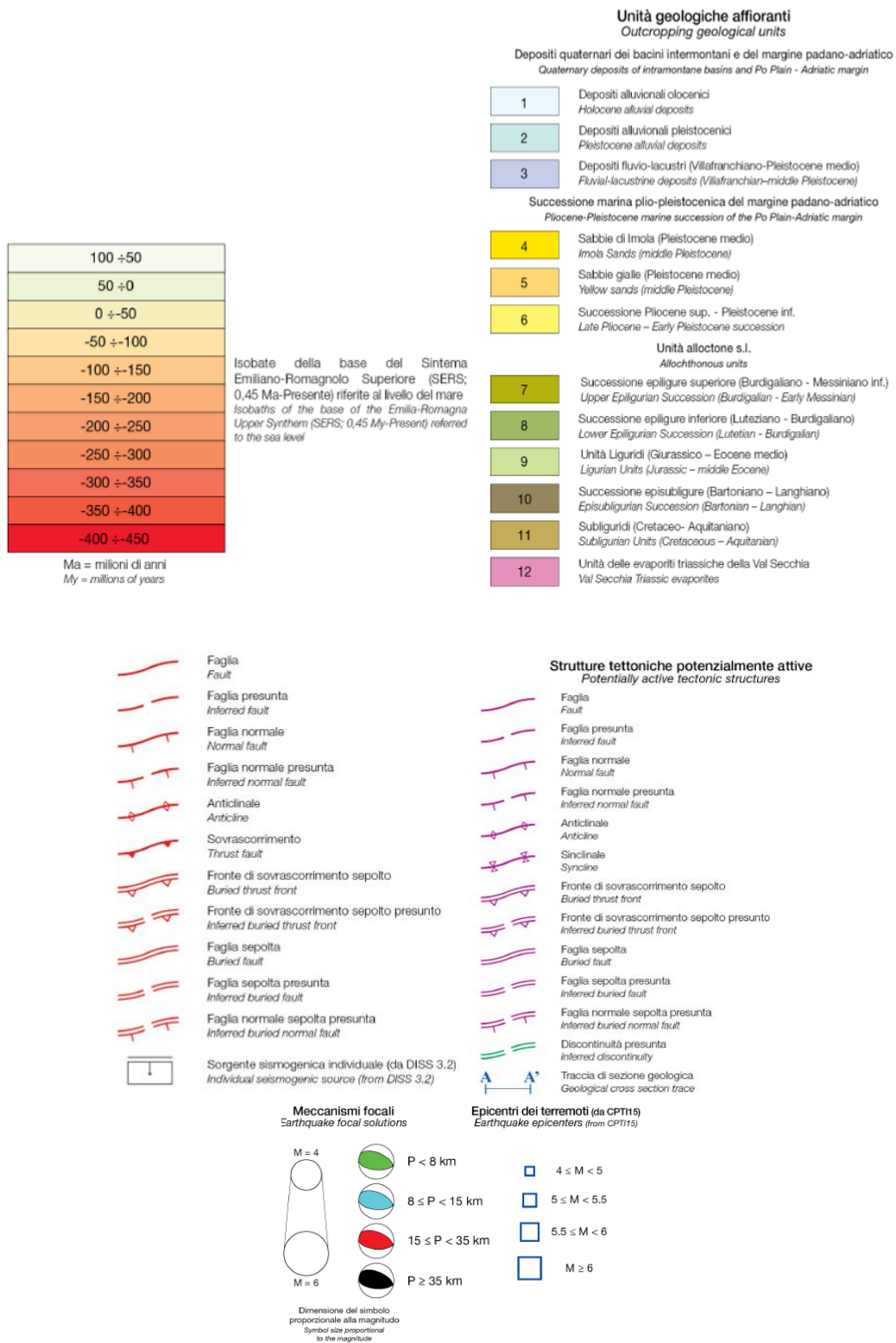


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna e aree limitrofe” (2017) con indicazione del territorio comunale.



## 2.1 Zonazione sismogenetica

La zonazione sismogenetica rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico: in particolare la nuova zonazione sismogenetica ZS9 “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo” pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004<sup>1</sup>) è stata ottenuta partendo dalla zonizzazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999), accorpendo e modificando le zone sorgente rendendole più coerenti con le informazioni oggi disponibili. Il modello sismotettonico che ha guidato nel tracciamento delle aree di ZS4 è basato sia su un modello strutturale 3D della penisola, sia sulla distribuzione spaziale dei terremoti storici ed attuali, sia sul modello cinematico dell’area mediterranea. In particolare, il territorio del comune di Caorso, nella nuova zonazione ZS9, ricade interamente, fatta esclusione l’area dove sorge l’ex centrale nucleare, nella zona sismogenetica **911**.

Di seguito si riporta una breve descrizione relativa alla zona 911, estratta dal già citato Rapporto conclusivo (“Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo”, G.d L, 2004).

Tutto l’arco appenninico settentrionale è stato riorganizzato secondo cinque fasce parallele longitudinali alla catena.

...

L’arco è limitato, a Nord, da una zona (**911**, unione delle zone 25 e 26 di ZS4 opportunamente ristrette) che comprende il cosiddetto “Arco di Pavia” e le strutture ad esse relative. In realtà, si suppone che la funzione delle strutture comprese all’interno della **911** sia di “svincolo” cinematico del sistema supposto in migrazione (in accordo con quanto espresso, ad esempio, in Paracca et al.,1990).

...

La zonazione (ZS9) indica anche una profondità dello strato sismogenetico, che risulta essere compreso tra 8-12 km per la zona 911.

Zona	Numero eventi Md>2.0	Numero eventi Md>2.5	Numero eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (Km)	Profondità efficace (Km)
911	126	91	18	4.1	8-12	8

La valutazione della magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) per le zone sismogenetiche, riportata anche negli ICMS (2008), per la zona 911 fornisce un valore di 5,68.

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli et alii (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell’Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l’attuale riferimento per il calcolo dell’azione sismica (NTC2018) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in figura successiva messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di Caorso ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo inverso (thrust fault) e in minor misura trascorrente sinistra (strike slip fault).

<sup>1</sup> Gruppo di Lavoro (2004): redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma



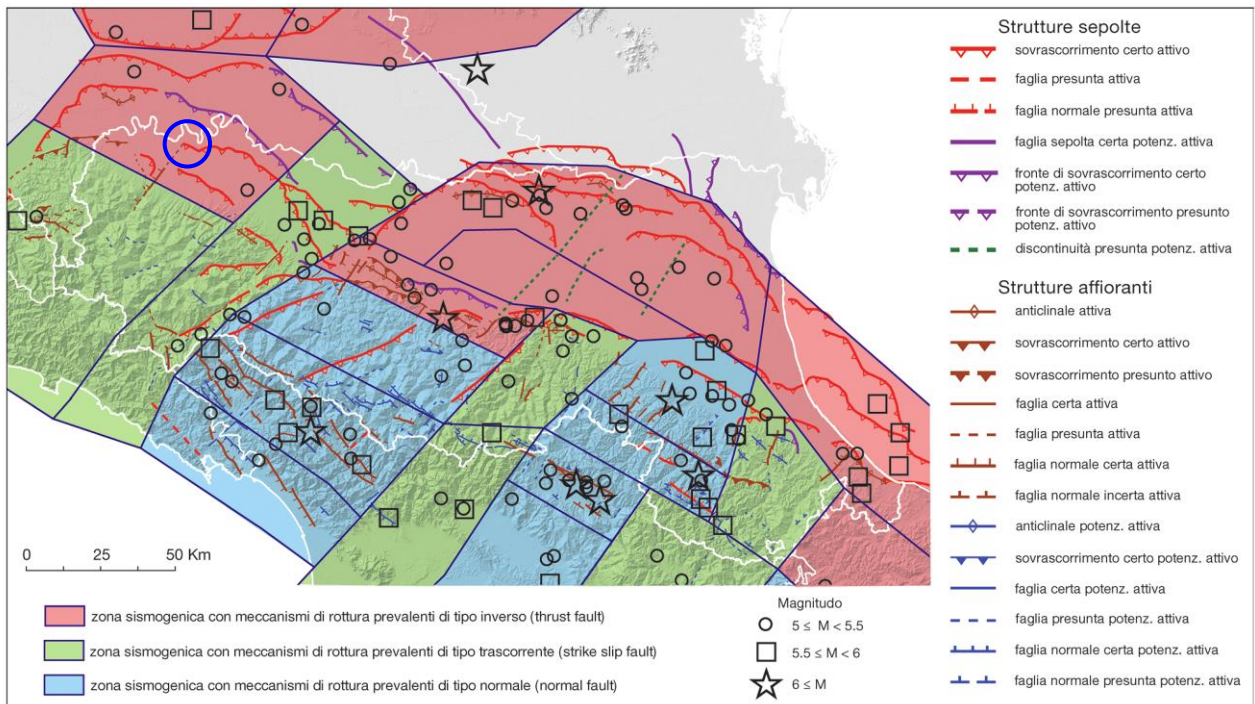


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017). Cerchiato il territorio comunale di Caorso.

### 2.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

Per la determinazione delle sorgenti sismogenetiche principali dell'area in esame si è fatto riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS 3.2.1) disponibile nel sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it).



Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS044\_Portalbera-Cremona. Cerchiato in verde il comune di Caorso.

Il database rappresenta la sintesi di tutte le evidenze geologiche e storiche relative alla fagliazione sismogenetica, con apporti derivanti dai dati della sismicità strumentale, dalla geodinamica a larga scala e dai caratteri geomorfologici. Il territorio comunale ricade nell'ambito della sorgente sismogenetica denominata **ITCS044** "Portalbera - Cremona".

Nella figura seguente sono riportati i dati relativi alla sorgente sismotettonica estratta dal database.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

COMMENTARY PICTURES REFERENCES USER COMMENTS

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITCS044
Name	Portalbera-Cremona
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	17-Oct-2013
Updated	19-Jun-2015

Display map ...

Related sources

**PARAMETRIC INFORMATION**

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.48...0.54	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

## 2.2 Sismicità storica

La sismicità storica è stata studiata a partire dai cataloghi dei terremoti disponibili, in particolare sono stati presi in considerazione i cataloghi presenti sul sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)).

Sono stati consultati i seguenti cataloghi:

**DBMI15 v4.0** – database macrosismico italiano\_ Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>

**CPTI 15 v4.0** – catalogo parametrico dei terremoti italiani (1000 – 2020)\_ Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolloi, B., Gasperini P., Antonucci A. 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Dall'interrogazione del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015" CPTI15-DBMI15 – relase 4.0 consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> per un intorno significativo della sede del Municipio (un raggio di 50 Km con centro **lat. 45.053** e **long. 9.869**) sono stati identificati **478** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; gli eventi principali presentano una Intensità massima  $I_{max}$  pari a 8 – 9 .

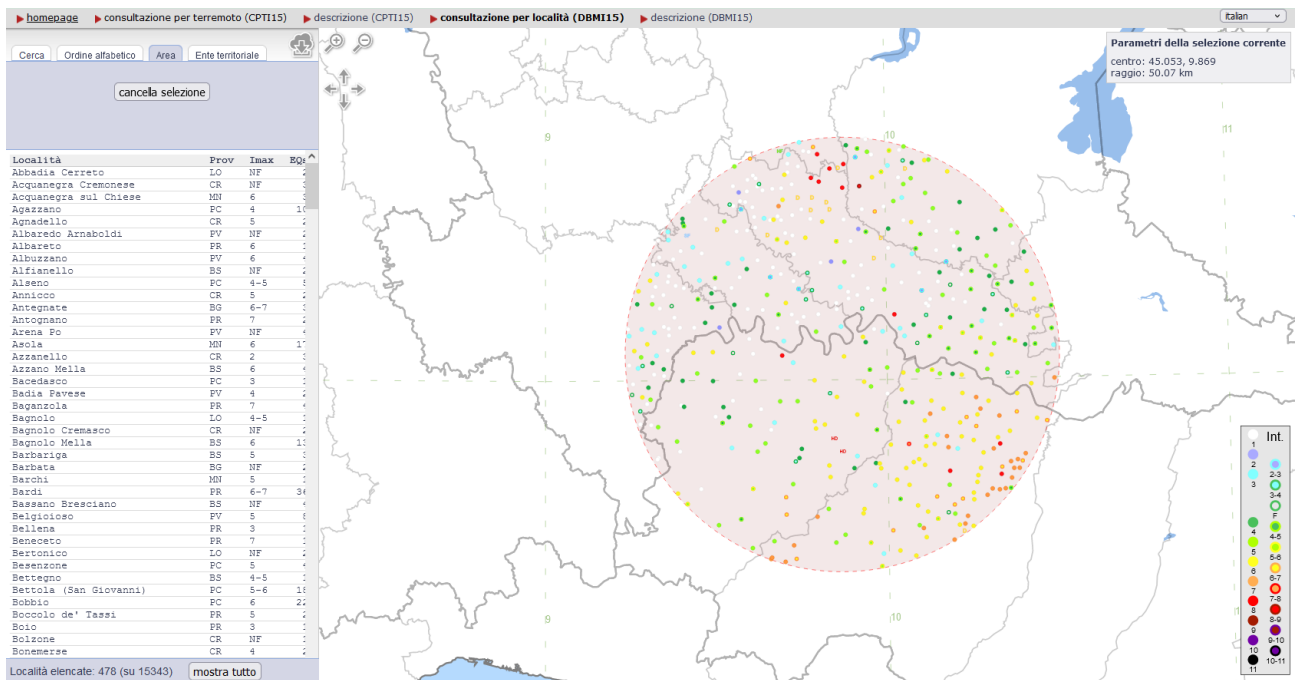
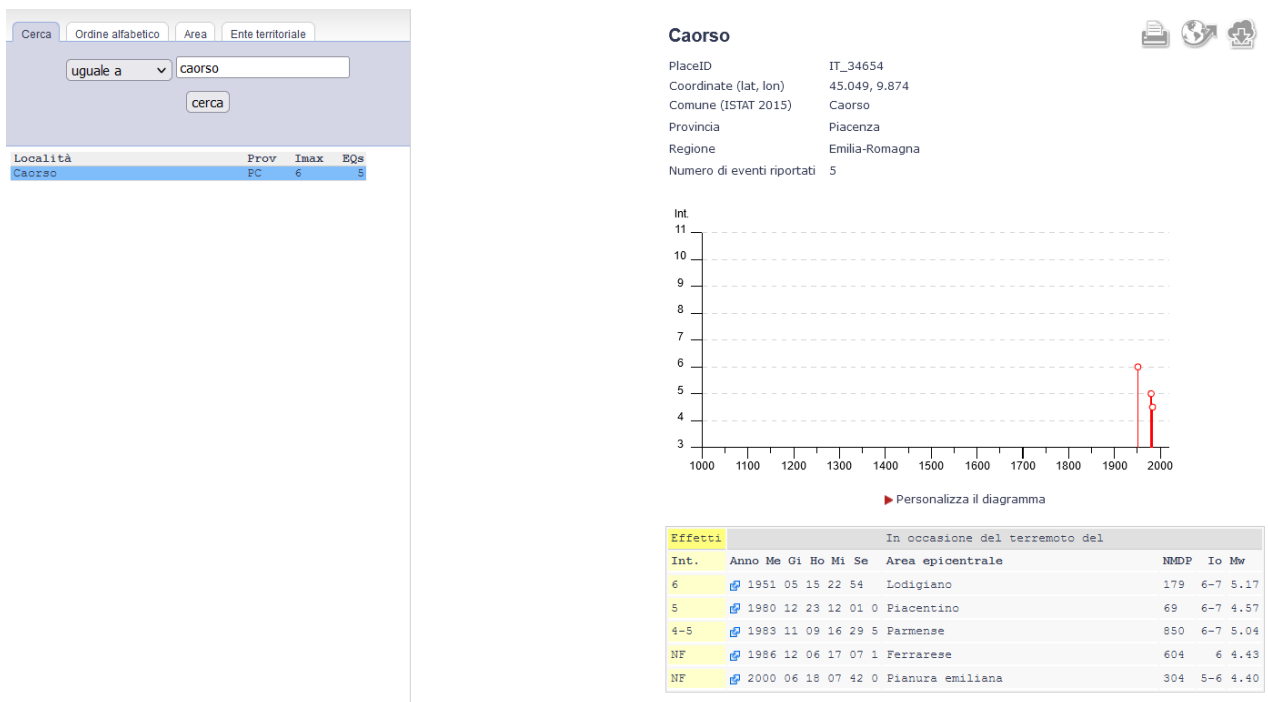


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di Caorso.

Nel catalogo DBMI15 a cura di Locati et al. 2015 viene riportata la storia sismica nota del comune di Caorso da cui si estrae quanto segue:



In sintesi si segnalano in particolare il terremoto del 15/05/1951 di magnitudo 5.17 con epicentro nel Lodigiano e il terremoto del 09/11/1983 di magnitudo 5.04 con epicentro nel Parmense.

### 3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

#### 3.1 Tettonica e sedimentazione

Sotto il profilo geologico tutta l'area comunale risulta impostata su depositi alluvionali di età quaternaria, in giacitura sub-orizzontale, che ricoprono un substrato marino piegato e fagliato appartenente all'ambiente morfologico dell'Appennino.

Il fronte della catena appenninica non coincide infatti con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico - padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano - veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

La complessa evoluzione del Bacino Perisuturale Padano nell'ultima ed attuale fase tettonica è riconducibile a fenomeni di subsidenza bacinale e quiescenza tettonica, i depositi alluvionali sono alternanze cicliche di facies fini e grossolane originate da oscillazioni climatiche - eustatiche.

La topografia regolare della pianura è così il risultato di un equilibrio, più o meno stabile, tra la velocità di sprofondamento dovuto alla subsidenza e l'apporto solido della sedimentazione.

La subsidenza naturale è stata attiva per alcuni milioni di anni e ha creato spazio per la deposizione di ingenti spessori di sedimenti i processi di subsidenza e sedimentazione sono lenti e pressoché impercettibili per l'uomo. Pertanto, i depositi alluvionali presenti nel sottosuolo comunale sono generalmente di origine fluviale, con qualche episodio di tipo lacustre-palustre. Si tratta in altre parole di sedimenti continentali che prendono origine dal fiume Po e dai suoi affluenti in funzione delle vicende climatiche che si sono susseguite nel Pleistocene (glaciazioni) e nell'Oligocene (avvicendamento di magre e di piene). Le litofacies presenti nei depositi alluvionali risultano estremamente mutevoli, con frequenti fenomeni di eteropia e discordanza: si può dunque osservare che i litotipi predominanti, sia in superficie che attraverso le diagrafie dei pozzi, sono rappresentati da sabbie e limi con la presenza di alcuni livelli torbosi.

Di seguito vengono riportate di ogni singola formazione geologica affiorante nel territorio comunale le relative caratteristiche litologiche e formazionali:

**a. "depositi alluvionali attuali" del letto ordinario dei corsi d'acqua: coincidenti con le aree occupate dagli alvei di piena delle principali aste fluviali presenti: Fiume Po T. Chiavenna e T. Nure, sono costituiti prevalentemente da sabbie, limi e argille. La litologia è eterogenea e rispecchia in gran parte le caratteristiche dei litotipi presenti nel bacino di alimentazione a monte, si tratta di materiali in prevalenza costituiti da elementi calcarei ed in parte arenacei. La giacitura di questi depositi è suborizzontale con tipica stratificazione incrociata e livelli a granulometria più fini (lenti discontinue argillose) che si alternano ad elementi più grossolani correlabili con i diversi regimi di piena e morbida del corso d'acqua. Lo spessore è contenuto entro 7/10 metri, ospitano una falda freatica direttamente collegata a quella di subalveo, conseguentemente le escursioni piezometriche sono assai rilevanti (da 2 a 4 m). Permeabilità elevata.**

**b. "depositi alluvionali medio-recenti" riferibili al dominio alluvionale dei T. Chiavenna e del T. Nure: costituiti prevalentemente da limi e argille, a cui, in profondità, fanno seguito livelli prevalentemente sabbiosi. Questi terreni formano superfici leggermente ondulate e di poco sopraelevate rispetto all'alveo attivo dei corsi d'acqua. Occupano senza soluzione di continuità il territorio comunale a sud dell'alveo del fiume Po. Sono caratterizzati da una permeabilità media.**

#### 3.2 Stratigrafia comunale

Dal punto di vista geolitologico il territorio del Comune di Caorso si estende entro la fascia della bassa pianura sviluppatasi al di sopra dei potenti sistemi deposizionali Plio-pleistocenici. Tali sistemi alluvionali (Fluviale Wurm, Alluvioni antiche, Alluvioni recenti) sono contraddistinti da una potente e variabile sedimentazione di litologie grossolane (sabbiose e ghiaiose) e fini (limose e argillose) in corpi tabulari



allungati e subparalleli la cui genesi risulta in toto attribuibile ad eventi di piena fluviale ed alla dinamica deposizionale ad essi connessa.

I terreni affioranti nel territorio comunale, di origine esclusivamente alluvionale, sono il risultato dell'azione di deposizione ed erosione dei due principali corsi d'acqua: Torrenti Chiavenna e Nure. Di tutte le unità affioranti nell'ambito della Pianura Padana solo una di queste è presente nel Comune di Caorso:

· *AES8a –Subsistema di Ravenna\_Unità di Modena: Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.*

### 3.3 Assetto geomorfologico

La connotazione morfologica principale dell'area in esame è senza dubbio identificabile nella sua conformazione subpianeggiante, si presenta infatti come un ampio ripiano lievemente inclinato da sud-sudovest a nord-nordest con una acclività molto blanda ed uniforme, che mediamente si attesta intorno a valori medi di 0,01 - 0,2 %.

La morfogenesi naturale, svolta della dinamica fluviale olocenica, è responsabile delle grandi strutture che si possono valutare attraverso l'esame di foto aeree o carte storiche, come i paleomeandri ed i dossi di pianura. La mutualità tra i fattori morfogenetici, entrambi di struttura dinamica, ha condizionato un paesaggio relativamente omogeneo e costante che raggiunge un spiccata monotonia allontanandosi dai corsi d'acqua, nel quale può essere individuata una unità territoriale morfologicamente distinta: l'unità morfologica della bassa pianura.

#### Unità morfologica della bassa pianura

**L'unità morfologica della bassa pianura**, contrariamente alla zona golenare e all'alveo attivo, sono caratterizzate da una dinamica evolutiva più antica e quindi più consolidata, nella quale unico elemento di evoluzione attualmente in atto è collegabile esclusivamente all'attività antropica. L'aspetto morfologico del ripiano principale della pianura è dominato da un paesaggio oltremodo omogeneo e costante che raggiunge il livello maggiore della monotonia e della banalità nel settore nordoccidentale del territorio comunale, dove la campagna risulta caratterizzata da un'agricoltura intensiva che ha comportato la costituzione di grandi appezzamenti e la demolizione di molte barriere vedi.

Unica variante alla monotona fisiografia della pianura è data dalla presenza delle "valli a cassetta" dei corsi d'acqua minori, le loro "valli", seppur di esigue dimensioni, risultano infatti leggermente depresse rispetto alla pianura vera e propria con un modesto dislivello talora risultano fisicamente separati dalla stessa da argini di contenimento idraulico. I processi sedimentari operati dai principali corpi idrici presenti in questa zona di pianura hanno inoltre originato evidenti fasce fluviali pensili, arealmente più o meno estese, che hanno richiesto interventi di regimazione idraulica (arginature).

In termini fisiografici il fondo della predetta "valle a cassetta" corrisponde all'alveo attivo dei corsi d'acqua, nell'ambito dei quali naturalmente sono particolarmente attive le azioni modellatrici relative alle forze idrologiche che caratterizzano il corso attivo dei torrenti.

L'intera area comunale si caratterizza anche per la presenza di una fitta rete di canali di scolo, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti e, conseguentemente, alla necessità di agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche, altrimenti facilmente ristagnanti.

## 4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini geognostiche e geofisiche utilizzate nel presente studio sono riportate nella tavola "Carta delle indagini". Dall'esame della suddetta carta si evidenzia come il territorio comunale sia stato ovviamente indagato soprattutto nei pressi dei centri abitati principali.

### 4.1 Indagini geognostiche pregresse

È stato raccolto ed inserito nella banca dati georeferenziata un repertorio di indagini pregresse derivanti dal database comunale composto dalle indagini relative alle pratiche connesse all'urbanizzazione. La stratigrafia del territorio è stata indagata da 12 pozzi per acqua, 14 Sondaggi a carotaggio continuo e da indagini geofisiche, tra cui, 5 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (tipo MASW) e da 3 stendimenti tipo Re.Mi

### 4.2 Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica

Ad integrazione dei dati reperiti è stata eseguita una campagna di indagine volta all'integrazione dei dati. In particolare, sono state eseguite n.12 prove sismiche a stazione singola (HVSR) e n.13 prove penetrometriche in varie località del territorio comunale. Per tutte le indagini eseguite sono riportati in allegato i rapporti di prova.

#### 4.2.1 Prove sismiche HVSR

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Gemini 2Hz) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo a una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz.

Il principio su cui si basa questo strumento è piuttosto semplice. Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si può identificare in maniera passiva la frequenza di risonanza del sottosuolo, che risulta in relazione diretta con l'amplificazione sismica.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore determinante che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo SR04-GEOBOX sensore 2.0Hz con una frequenza di campionamento di 300Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software WINMASW 6.0 Professional, impostando la lunghezza delle finestre a 20s e lisciamiento con finestra triangolare con ampiezze 5-10%.

In allegato sono riportati i diagrammi acquisiti e le elaborazioni eseguite.

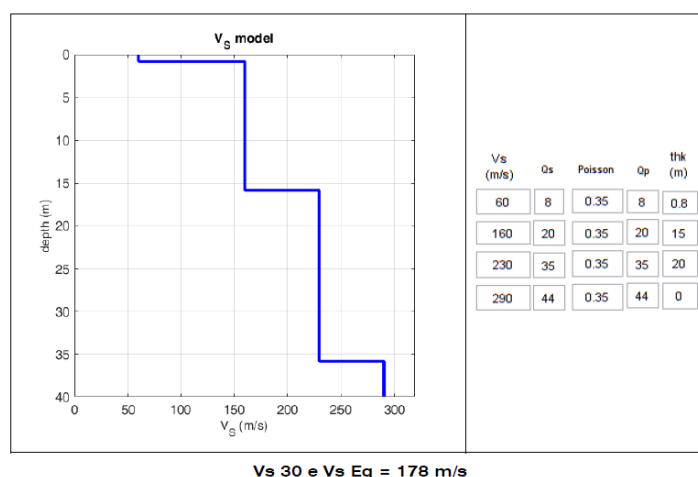
Di seguito si riportano i principali dati associati alle misure di microtremore eseguite per il presente lavoro e reperite.

ID_INDPU	$F_0$	Ampiezza	Altri picchi significativi
033010P14HVS14	1.8	1.4	-
033010P15HVS15	3.0	1.6	-
033010P16HVS16	2.8	2.1	-
033010P17HVS17	2.4	1.7	-
033010P18HVS18	3.5	1.5	-
033010P19HVS19	3.2	1.3	-
033010P20HVS20	0.9	2.5	-
033010P21HVS21	0.9	2.5	-
033010P22HVS22	0.7	2.1	-
033010P23HVS23	0.9	1.8	-
033010P24HVS24	0.9	2.6	-
033010P25HVS25	0.9	2.4	-

Di seguito vengono descritte le interpretazioni in termini di Vs30 delle prove HVSR acquisite.

**Fossadello Ovest P14**

Il valore di Vs<sub>30</sub> calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 178 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.



Vs 30 e Vs Eq = 178 m/s  
 Figura 4.1. Profilo di Vs ricavato dalla prova HVSR e valori di Vs.



Fossadello Ovest P15

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 199 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

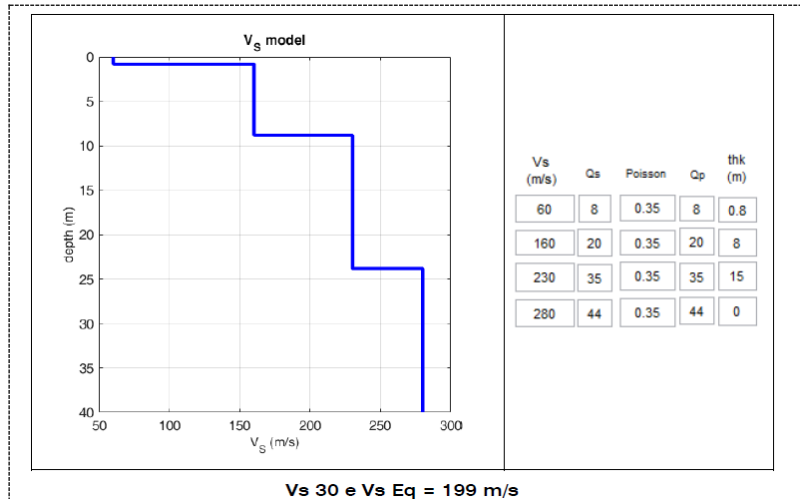


Figura 4.2. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Caorso, località Area Driade P16

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 212 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

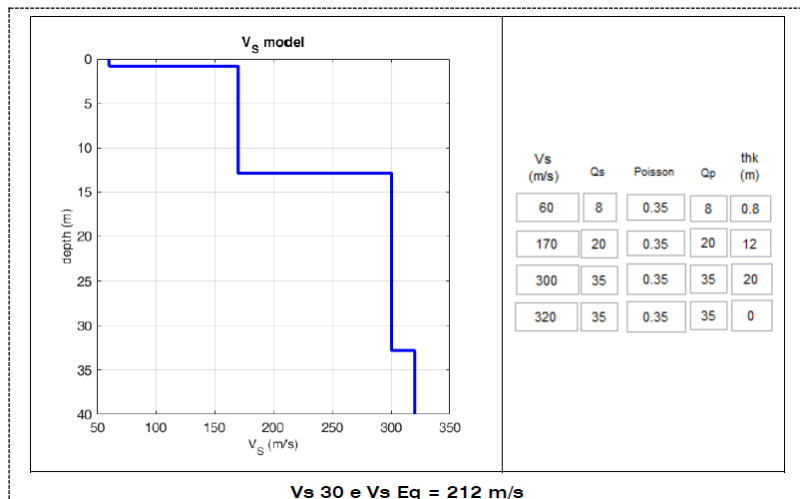


Figura 4.3. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Caorso, località Area Saib P17

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 211 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

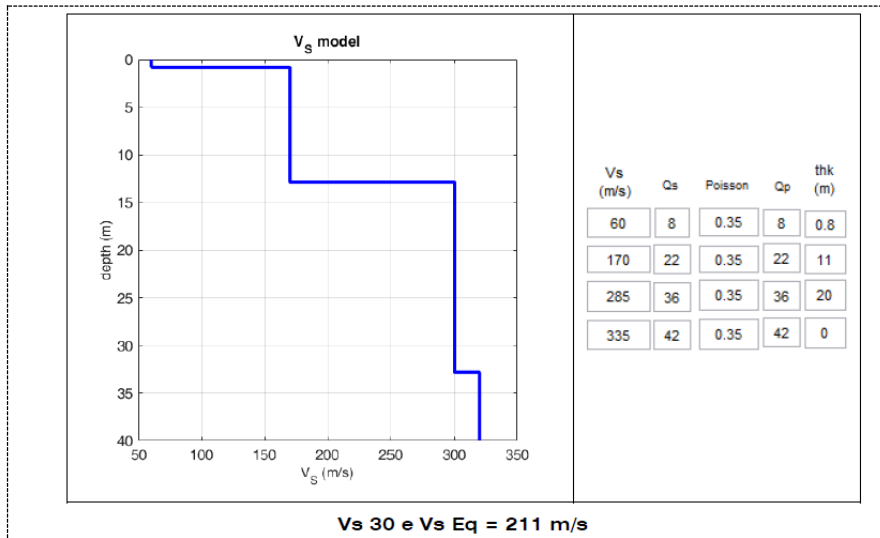


Figura 4.4. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Roncarolo P18

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 221 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

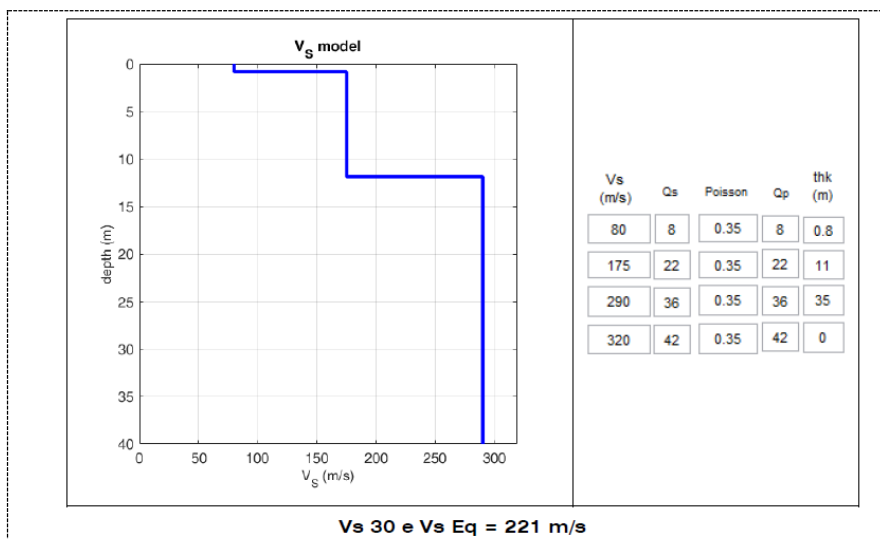


Figura 4.5. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Caorso, località Area industriale via Kennedy P19

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 219 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

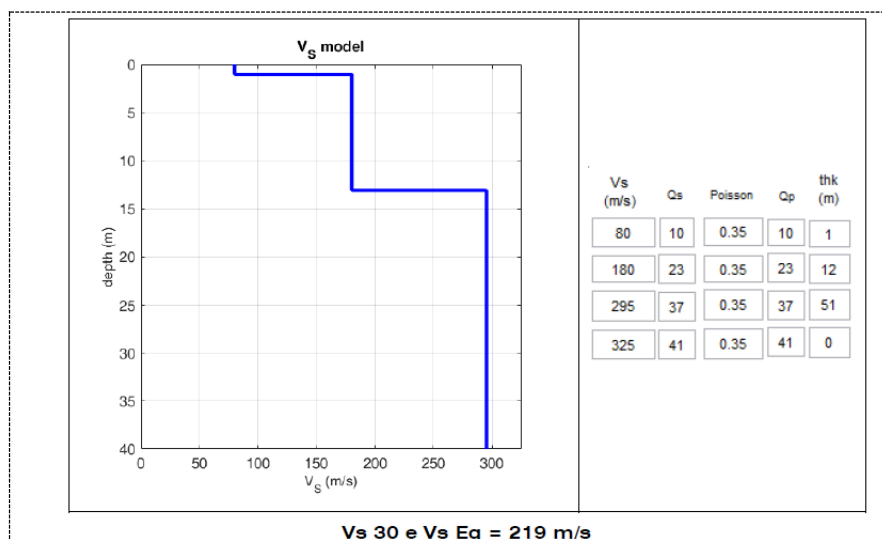


Figura 4.6. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Muradolo P20

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 180 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

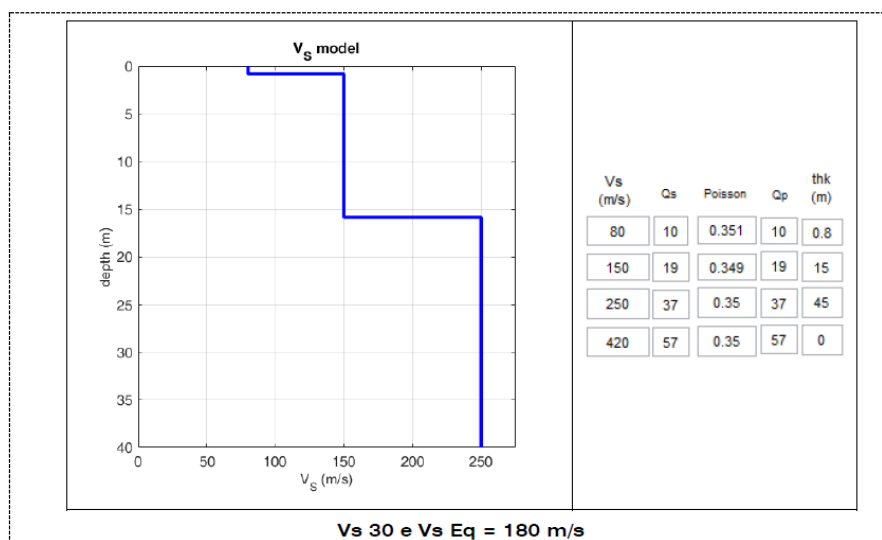


Figura 4.7. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$ .

Caorso, via I° Maggio angolo via Rotta P21

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 182 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

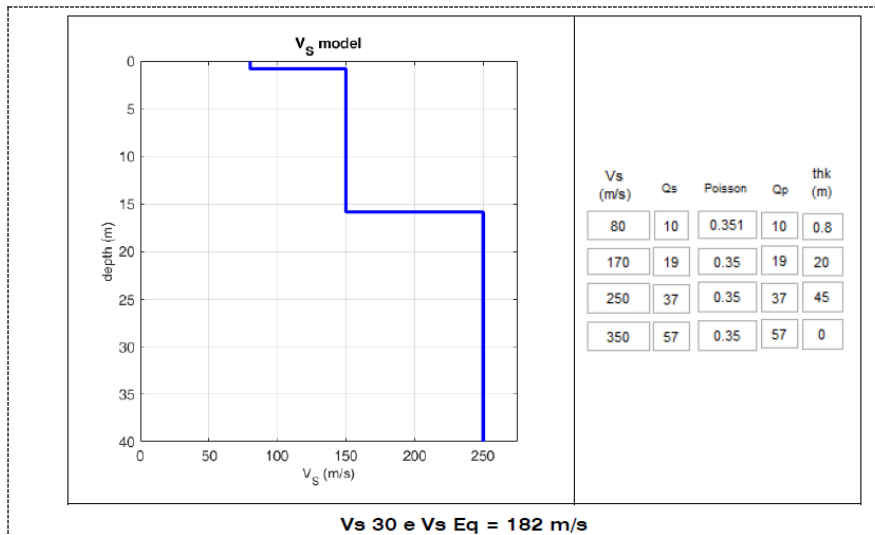


Figura 4.8. Profilo di Vs ricavato dalla prova HVSR e valori di Vs.

Caorso, Loc. La Minatta P22

Il valore di Vs<sub>30</sub> calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 187 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

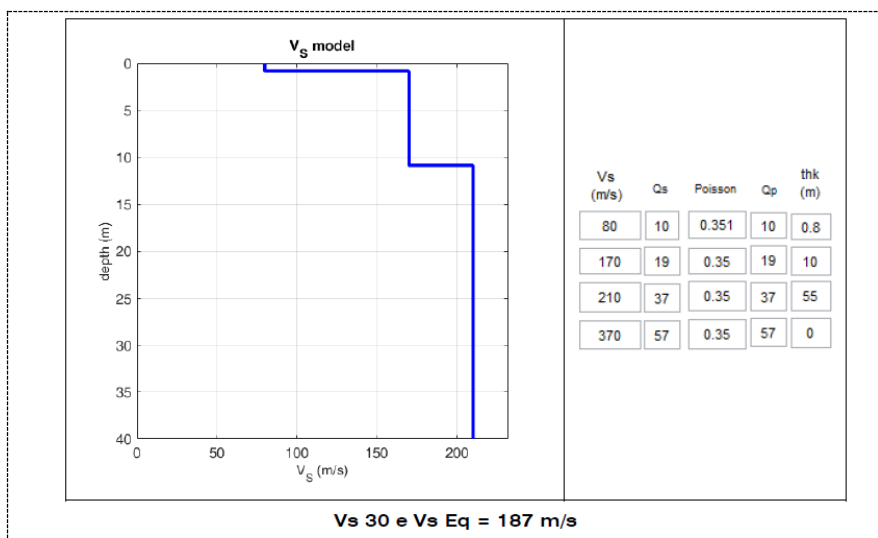


Figura 4.9. Profilo di Vs ricavato dalla prova HVSR e valori di Vs

Caorso, via I° Maggio angolo stab. Unical P23

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 197 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

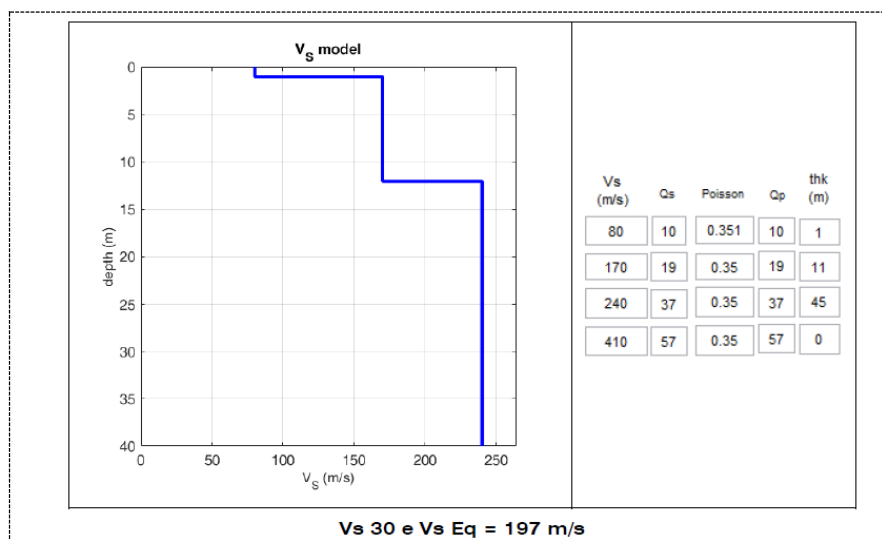


Figura 4.10. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$

Caorso, via Torta P24

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 198 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

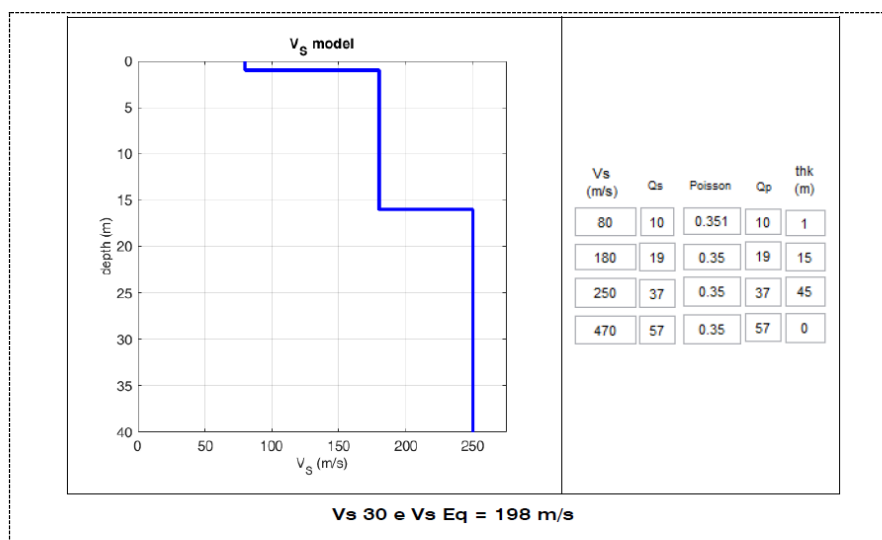


Figura 4.11. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova HVSR e valori di  $V_s$

Caorso, area Ritchie Bross lato ovest P25

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi HVSR è risultato pari a 202 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle

velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

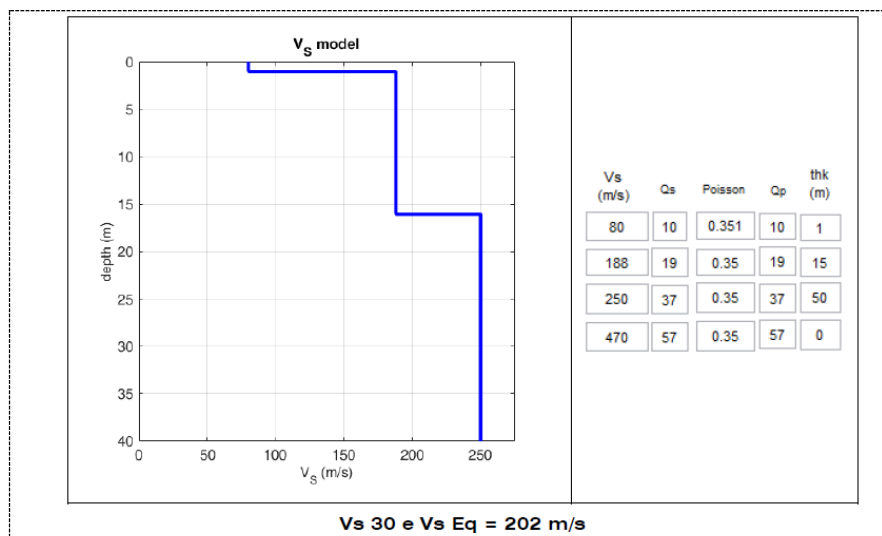


Figura 4.12. Profilo di Vs ricavato dalla prova HVSR e valori di Vs

#### 4.2.2 Prove penetrometriche CPT

La prova statica (CPT) consiste nell’infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta. La spinta viene fornita da un sistema idraulico ed è trasmessa alla punta conica mediante una batteria d’aste cave nel cui interno scorrono delle aste più piccole. Lo strumento posto alla base della batteria, costituito da una punta e da un manicotto di attrito, misura rispettivamente, ad intervalli regolari di 20 cm, la resistenza alla punta “Rp” (LP) e la resistenza laterale+punta “RI+Rp” (LL).

Le prove sono state eseguite mediante un penetrometro Pagani TG 63-100, semovente, in grado di eseguire misurazioni ogni 20 cm.

In allegato sono riportati i diagrammi acquisiti e le elaborazioni eseguite.

Si riportano in tabella profondità raggiunte dalle prove eseguite per il presente lavoro.

<b>ID_INDP</b>	<b>Profondità (m)</b>
033010P1CPT1	13,0
033010P2CPT2	13,8
033010P3CPT3	10,2
033010P4CPT4	13,4
033010P5CPT5	15
033010P6CPT6	11,6
033010P7CPT8	15,0
033010P9CPT9	15,0
033010P10CPT10	15,0
033010P11CPT11	15,0
033010P12CPT12	15,0
033010P13CPT13	15,0

## 5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Caorso, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Subsistema di Ravenna\_Unità di Modena AES8a).

Nell'area non sono noti affioramenti del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI); tale unità è stata invece individuata nel sottosuolo da alcune indagini reperite e visionate.

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo sono litologicamente contraddistinte dalla presenza di limi ed argille intercalati da sabbie la cui distribuzione risulta legata, e spesso limitata, a canali fluviali, che rendono impossibili uno schema preciso dei rapporti stratigrafici in quanto sono presenti repentine variazioni litologiche laterali e verticali. Tale situazione è ben evidenziata nelle sezioni geologiche riportate in allegato.

Il substrato marino è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Il substrato marino è presente nel territorio analizzato a quote comprese tra 200 e 250 metri slm. Il passaggio tra Subsistema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato invece a profondità di circa 120 metri slm, in accordo con la nuova "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia-Romagna, 2017) di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

La sezione geologica è stata realizzata correlando i dati geognostici reperiti nella banca dati del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna (pozzi e sezioni ENI-AGIP).

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura in cui ricade il comune di Caorso, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi, argille e sabbie fini), poggianti, a profondità normalmente comprese tra 3 e 15 m, su livelli dapprima sabbio - limosi e successivamente più francamente sabbiosi e ghiaiosi o di nuovo argillo - limosi.

A fronte di tale assetto litostratimetrico, le indagini tomografiche effettuate sono sempre state interpretate cercando di individuare ove possibile, nelle curve H/V, dei picchi proprio dove le indagini geognostiche indicavano il passaggio tra i depositi coesivi e quelli limo-sabbiosi.

Va, però, precisato che questo tipo di interpretazione è piuttosto complessa all'interno di un materasso alluvionale con prevalenza di materiali fini, che in genere presentano variazioni di Vs abbastanza omogenee, con conseguenti assenze di picchi litologici.

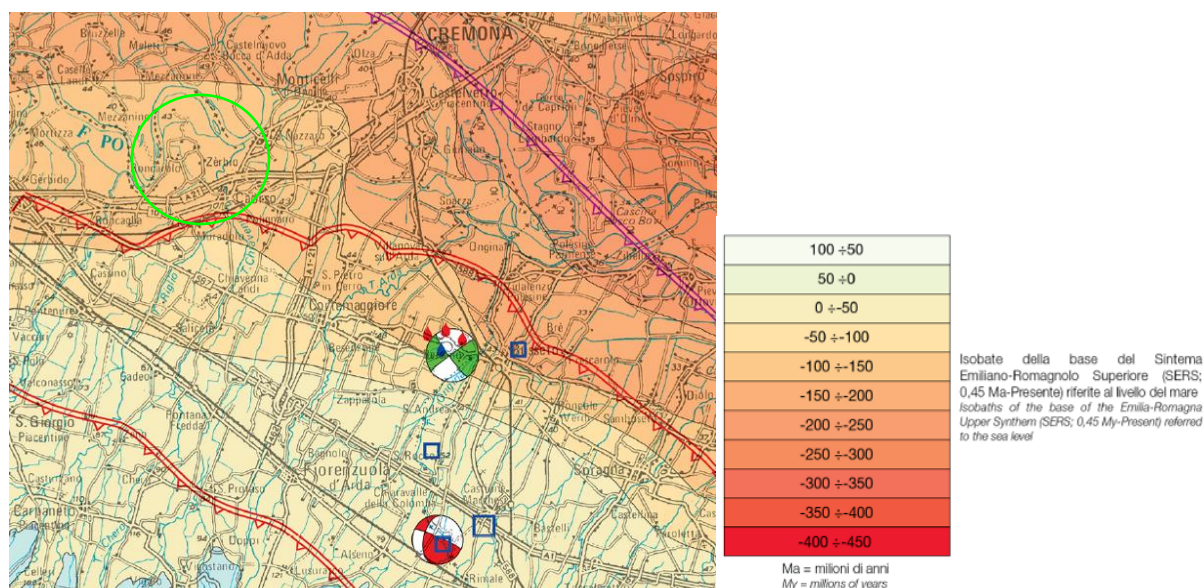


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di Cortemaggiore.



## 6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

Per ciascuna delle indagini effettuate tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è stato riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze.

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (Winmasw – Eliosoft), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimutali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

## 7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero territorio urbanizzato ed urbanizzabile, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini di sismica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

**Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;

**Carta geologico-tecnica:** tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;

**Carta delle frequenze naturali dei terreni:** tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale). Sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza  $0,5 \div 20$  Hz;

**Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, se presenti ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

**Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs<sub>30</sub>, ossia della velocità delle onde di taglio mediata nei primi 30 metri di profondità.

**Carte di microzonazione sismica:** si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>), sia di rapporto di Intensità spettrale in accelerazione (SA/SA<sub>0</sub>) per prefissati intervalli (0,1-0,5s denominata FA0105; 0,4-0,8s denominata FA0408; 0,7-1,1s denominata FA0711) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s denominata FH0105; 0,5-1s denominata FH0510 e 0,5-1,5s denominata FH0515).

**Carte H<sub>SM</sub>:** carta della distribuzione sul territorio dei valori del parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in % g). Sono state prodotte tre carte relativamente ad intervalli prefissati del paramentro: 0.4<H<0.8, 0.7<H<1.1 e 0.1<H<0.5

## 8 ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nel territorio del comune di Caorso sono state raccolte diverse prove geognostiche. In particolare sono state inserite nella Carta delle indagini, alla scala 1: 10.000, le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale e più precisamente:

- ✓ 13 prove penetrometriche statiche
- ✓ 14 sondaggi
- ✓ 12 pozzi per acqua,
- ✓ 12 prove sismiche a stazione singola HVSr, *di cui 5 eseguite per il presente lavoro,*
- ✓ 5 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie,
- ✓ 3 prove sismiche tipo Re.Mi
- ✓ 4 stratigrafie tipo della zona omogenea.

Esse sono state distinte in base alla tipologia nel modo seguente:

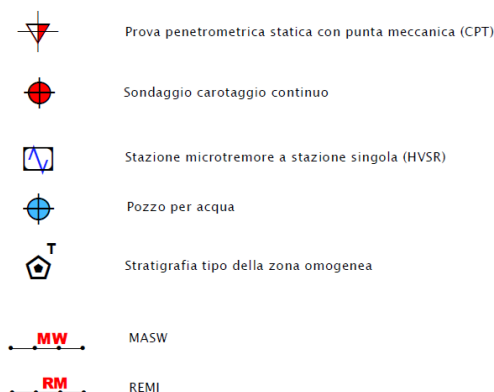


Figura 8.1. Legenda Carta delle Indagini.

## 8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale;
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- Progetto CARG della Regione Emilia-Romagna;
- indagini puntuali (vedi precedente paragrafo).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale è stata costruita una sezione geologica di cui si riporta l'ubicazione nell'estratto della Carta Geologica Tecnica riportato in figura successiva.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente; inoltre, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

**GPpi** – Miscela di ghiaie e sabbie costituenti depositi di piana inondabile; sono cartografate nel settore ad ovest dell'abitato di Fossadello in corrispondenza del corso del T. Nure.

**SMpi** – Sabbie limose, miscele di sabbie e limo, poco addensati; si tratta di depositi di piana inondabile: sono cartografate nella parte settentrionale del territorio comunale, in corrispondenza dell'ambito del fiume Po, oltre che in buona parte del capoluogo e della frazione di Muradolo

**CLpi** – Argille limose di medio bassa, coesive e moderatamente consistenti; si tratta di depositi di piana inondabile: sono cartografate in una porzione presso l'abitato di Fossadello e nell'area industriale ad est di Fossadello nonché nel capoluogo nella porzione in sinistra idrografica del T. Chiavenna.

**MLpi** – Limi argillosi a bassa plasticità; si tratta di depositi di piana inondabile: sono cartografate in fasce ristrette nelle porzioni più ad est del territorio comunale, in corrispondenza del limite comunale con il limitrofo comune di San Pietro in Cerro e Cortemaggiore.

Infine, nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:






- la profondità in metri della falda;
- pozzi/sondaggi che non hanno raggiunto il substrato con indicata la profondità del foro
- la traccia della sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo.

## 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

















Il comune di Vaorso, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sistema Emiliano Romagnolo Superiore, precisamente Subsistema di Ravenna\_Unità di Modena (*AES8a*).

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale).

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

-   $F_0 \leq 0,6$  Hz
-   $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  Hz
-   $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
-   $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
-   $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza elevato (ampiezza picco  $HVSR \geq 3$ ), moderato (ampiezza picco  $2 \leq HVSR < 3$ ), basso (ampiezza picco  $1,5 \leq HVSR < 2$ ) o non significativo (ampiezza picco  $H/V \leq 1,5$ ). Quando presente è stata indicata anche la frequenza del picco secondario.

frequenza picco significativo (nell'intervallo 0,2 - 20 Hz)	Ampiezza picco (contrasto di impedenza acustica)			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq HVSR < 2$ BASSO	$2 \leq HVSR \leq 3$ MEDIO	$HVSR > 3$ ALTO	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				200 - 100
$1 < F_0 \leq 2$				100 - 30
$2 < F_0 \leq 8$				30 - 10
$F_0 > 8$				< 10
assenza di picchi significativi				

A lato del simbolo sono riportate le frequenze relative al primo picco significativo.

Figura 8.2. Legenda Carta delle Frequenze naturali dei terreni.

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è sempre molto modesta, prevalentemente compresa tra 1 e 2, indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza modesta, come logica conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale.

Dalle prove eseguite il territorio comunale risulta caratterizzato da misurazioni HVSR praticamente piatte, con assenza di importanti riflettori e contraddistinte da valori di frequenza tipici dei sedimenti del bacino Padano (0.9 Hz, che testimoniano la presenza del bedrock sismico a profondità > 100 m. In alcuni casi sono stati identificati picchi tra 3.0 e 3.5 Hz nella zona di Fossadello che denotano molto probabilmente la presenza di un livello ghiaioso a tra i 20 e i 30 metri di profondità.

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

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Per la microzonazione sismica il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza ad una delle seguenti tre categorie:

1. **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Caorso.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata un'ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

- 3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti *alla categoria 2 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e alla categoria 3 – Zone di attenzione per instabilità per liquefazione.*

Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 4 microzone omogenee, ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo. All'interno dei perimetri degli areali di microzonazione sono presenti zone di attenzione per instabilità, indotte dalla presenza di aree interessate da possibili fenomeni quali liquefazione.

<b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
1	Fossadello	2001	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso - limosi di spessore variabile tra 13 e 17 metri, che ricoprono depositi costituiti da una miscela di ghiaie prevalenti e sabbie, che si estendono fino - 30 da p.c.

<b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
2	Caorso ovest	2003	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso - limosi di spessore variabile tra 10 e 15 metri, che ricoprono ghiaie prevalenti di spessore variabile tra 13 e 15 metri, seguiti da argille limose che si estendono fino a - 30 da p.c.

<b>Zone di attenzione per liquefazione (ZALQ)</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
3	Area industriale ovest di Fossadello e Muradolo, Roncarolo e Zerbio	30502002	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso - limoso di spessore variabile tra 3 e 4 metri che ricoprono sabbie limose con spessore variabile tra 7 e 10 metri, seguiti da ghiaie con sabbia di spessore variabile tra 9 e 10 m, che ricoprono argille che si estendono fino a - 30 da p.c.

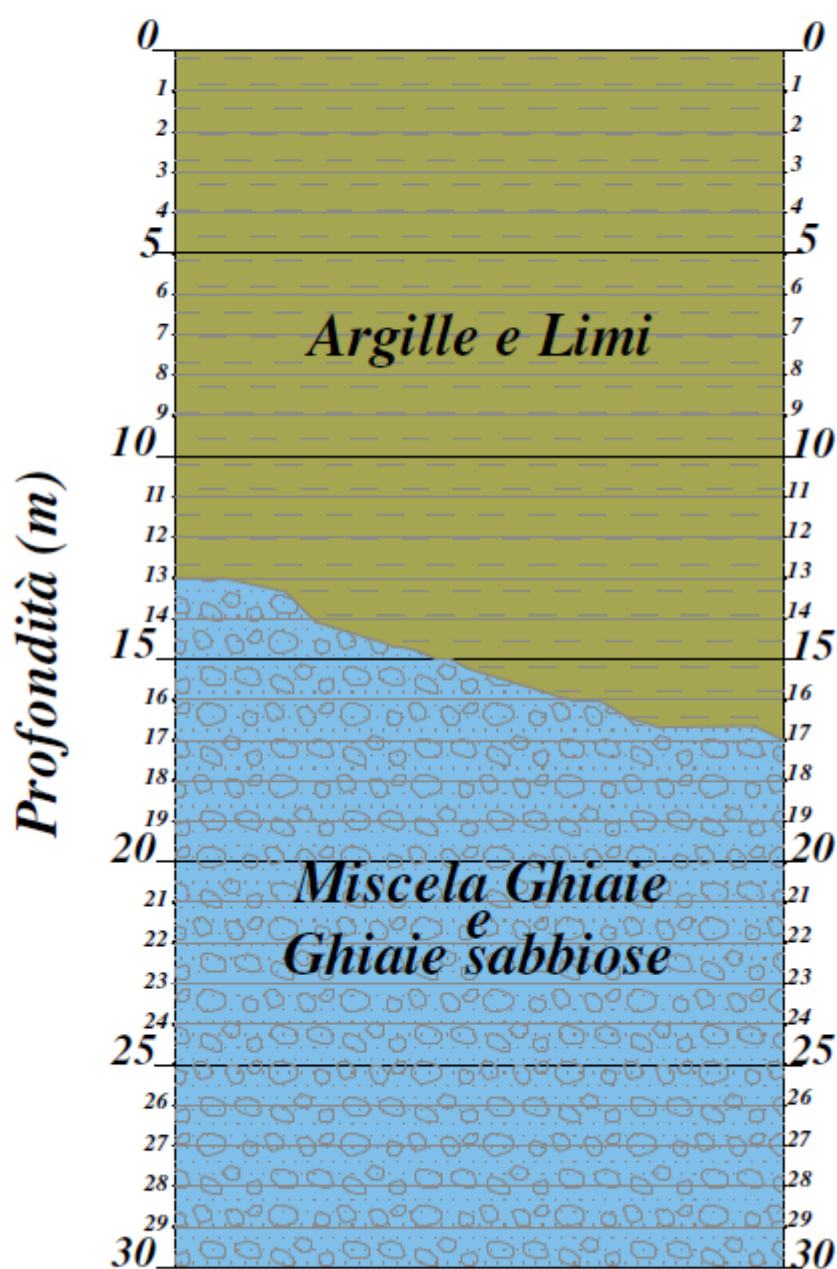
<b>Zone di attenzione per liquefazione (ZALQ)</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
4	Caorso est, area ex centrale nucleare	30502003	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso - limoso di spessore variabile tra 4 e 5 metri che ricoprono sabbie limose con spessore variabile tra 15 e 15 metri, seguiti da ghiaie con sabbia di spessore variabile tra 5 e 10 m, che ricoprono argille che si estendono fino a - 30 da p.c.

8.4.1 Schemi dei rapporti stratigrafici

Nelle tabelle seguenti sono riportate le colonnine rappresentative delle successioni litostratigrafiche individuate ed una loro breve descrizione.

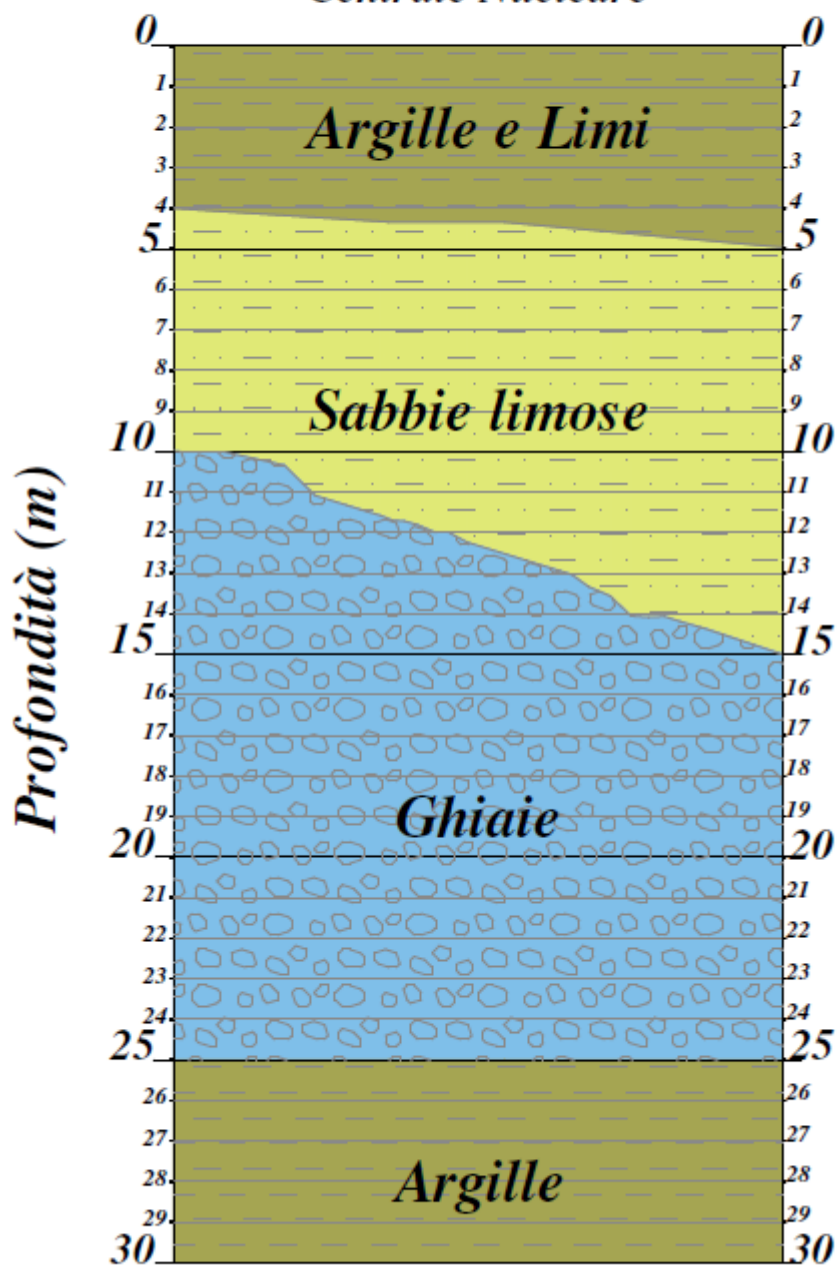
## Zona 2001

*Loc. Fossadello*



## Zona 2004 - 3050

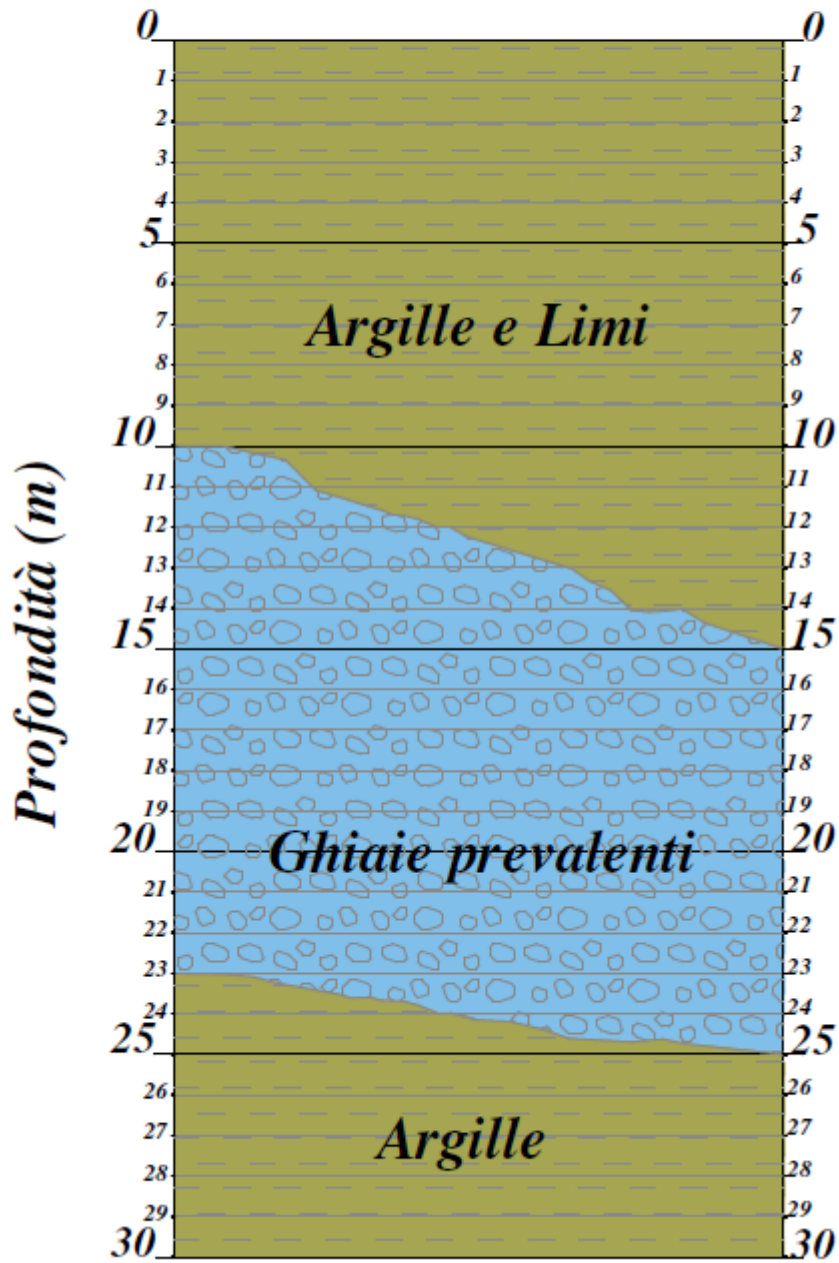
Loc. Caorso Est  
Centrale Nucleare

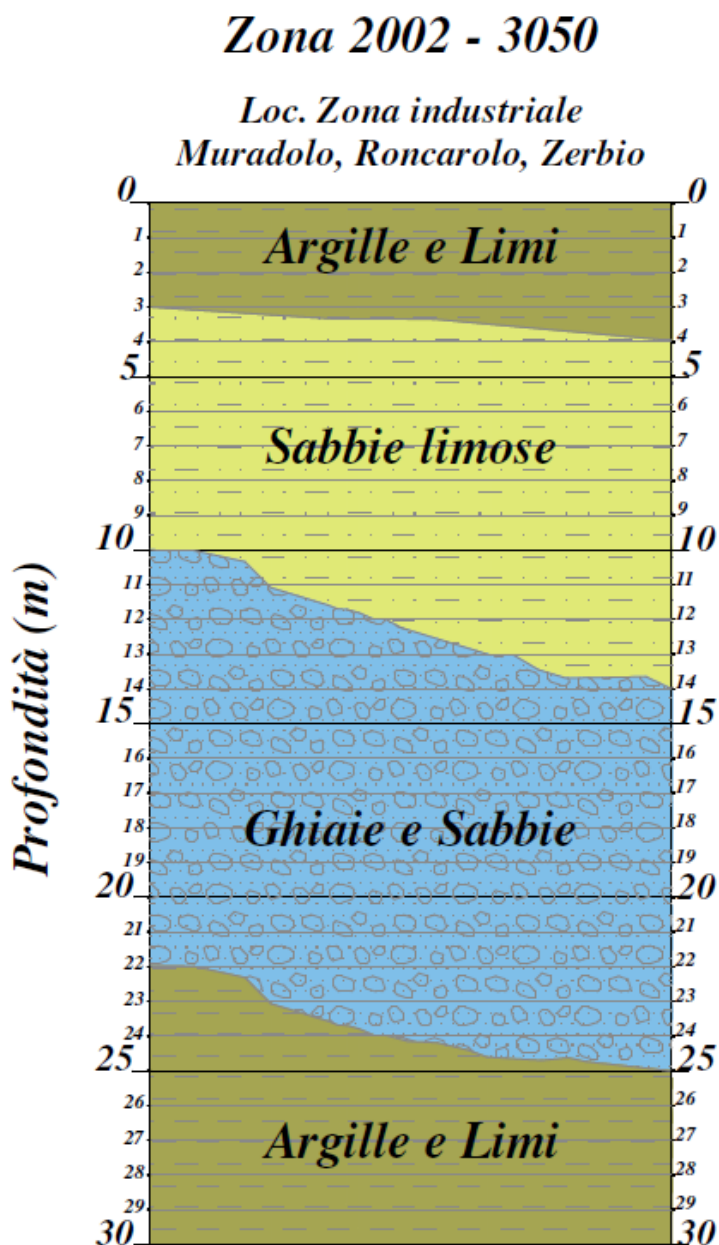




# Zona 2003

Loc. Caorso Ovest





#### 8.4.2 Sezione geologica

Le sezioni geologiche sono state realizzate correlando i dati geognostici reperiti nella banca dati del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna (pozzi e sezioni ENI-AGIP).

È stata creata una sezione est-ovest all'interno del territorio comunale passante per il capoluogo, che inizia a Fossadello, e una per le altre due frazioni interessate dallo studio (Roncarolo e Zerbio), schematizzando le principali unità geologiche rinvenute a profondità di 30-50 metri da piano campagna.

#### 8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio sono riportate tutte le misure utilizzate per la definizione della velocità delle onde di taglio nel territorio comunale (5 misurazioni Masw, 12 HVSR e 3 Remi). In particolare, sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura, il valore di  $V_{s30}$  (calcolato come riportato in § 8.6).

L'analisi complessiva dei dati rilevati a livello comunale mette in luce valori di  $V_{s30}$  variabili e compresi tra 178 e 325 m/s. Analizzando più in dettaglio occorre fare una distinzione sulle 9 prove prese in considerazione:

- 4 sono pregresse (in nero nella tabella sotto riportata),
- 5 sono state effettuate (in rosso nella tabella sotto riportata) per il presente lavoro.

Di seguito la tabella esemplificativa al riguardo.

<i>ID_INDP</i>	<i>Vs30</i>	<i>Tipo di deposito interessato</i>
033010P14HVS14	178	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P15HVS15	199	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P16HVS16	212	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P17HVS17	211	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P18HVS18	221	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P19HVS19	219	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P20HVS20	180	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P21HVS21	182	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P22HVS22	187	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P23HVS23	197	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P24HVS24	198	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010P25HVS25	202	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L1REMI1	265	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L2REMI2	289	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L3MASW3	325	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L4REMI4	250	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L5MASW5	220	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L6MASW6	217	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L7MASW7	225	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena
033010L8MASW8	252	AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena

L'elemento che si preme sottolineare è comunque una variabilità poco accentuata dei valori  $V_{s30}$  come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, con una netta prevalenza di materiali fini fino a grandi profondità.

## 8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

Gli ultimi elaborati in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione, anch'esse redatte alla scala 1: 10.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate per i vari settori di territorio in esame. La stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno TR=475 anni, con smorzamento  $\zeta = 5\%$ , e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);

- intensità spettrale

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove  $A$  è lo spettro di risposta in accelerazione,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove  $V$  è lo spettro di risposta in velocità,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

\*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (FA) richiesti nell'analisi semplificata si sono realizzate specifiche indagini che hanno permesso la definizione della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{s30}$ ) del deposito di copertura secondo le formule di seguito riportate:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{s_i}}$$

dove  $M$  è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m,

$h_i$  = spessore (in m) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m),

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo e in accordo con la "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia-Romagna, 2017). Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti si è scelto di utilizzare esclusivamente la Tabella PIANURA 2, proposta dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 630/2019):

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ), **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

*Figura 8.3. Abachi utilizzati per la stima dei FA.*

Conseguentemente, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nelle seguenti tabelle (il valore della  $V_s$  30, dato una stima media e cautelativa è stato attribuito pari a 200 in modo omogeneo su tutto il territorio comunale m/s):

Sito	FPGA	FA 0105	FA 0408	FA 0711	FA 0515
Zona 2001	1.7	1.8	2.7	3.2	3.1
ZONA 30502002	1.7	1.8	2.7	3.2	3.1
ZONA 2003	1.7	1.8	2.7	3.2	3.1
ZONA 30502004	1.7	1.8	2.7	3.2	3.1

Sito	FH 0105	FH 0510	FH 0515
ZONA 2001	2.0	3.0	3.3
ZONA 30502002	2.0	3.0	3.3
ZONA2003	2.0	3.0	3.3
ZONA 30502004	2.0	3.0	3.3

I fattori di amplificazione, calcolati come sopradescritto, sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.

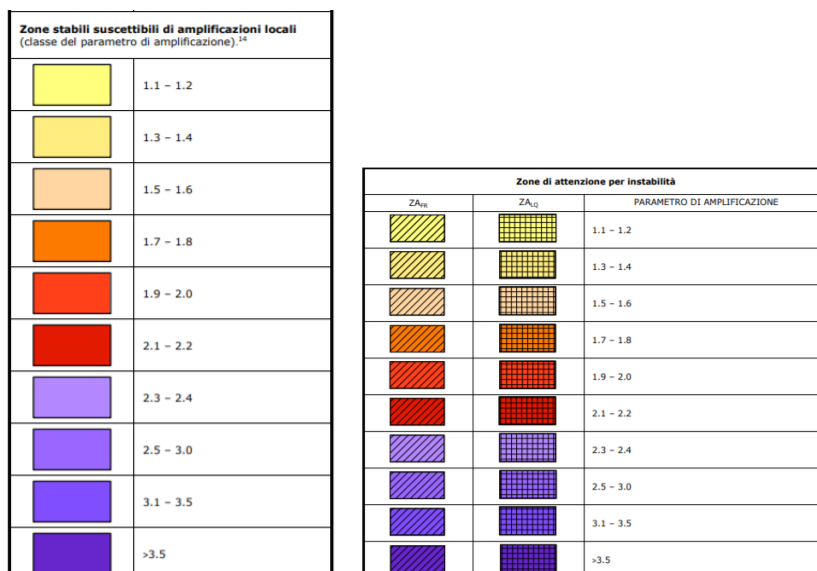


Figura 8.4. Legenda adottata per la definizione dei FA nelle Carte di microzonazione sismica.

### 8.7 Carte H<sub>SM</sub> Scuotimento atteso al sito in valore assoluto

Sono state anche prodotte tre carte della distribuzione sul territorio dei valori di H<sub>SM</sub>, parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in % g), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI<sub>UHS</sub>), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato negli intervalli di periodi, rispettivamente pari a: 0,1s≤T≤0,5s, 0,4s≤T≤0,8 e 0,7s≤T≤1,1s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s), e il tutto moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI<sub>UHS</sub>/ΔT sono stati ripresi dal file all\_4\_coord.kmz, nella cartella Allegato\_4.zip disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Nella figura successiva si riporta la legenda adottata per la produzione delle tre carte.

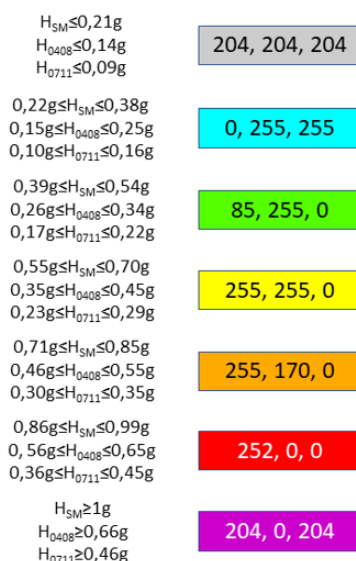


Figura 8.5. Legenda adottata per la mappa di scuotimento atteso.

Nella tabella seguente vengono riportati i valori calcolati nelle rispettive frazioni, espressi in termini di g:

Sito	HSM	H0408	H0711
Fossadello	0.39	0.58	0.59
Muradolo	0.40	0.59	0.70
Caorso	0.40	0.59	0.70
Zerbio	0.36	0.54	0.64
Roncarolo	0.36	0.54	0.64

## 8.8 Commenti finali e criticità

Innanzitutto, va precisato che il presente studio ha un carattere sperimentale, trattandosi ancora di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e, soprattutto, negli indirizzi regionali.

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili, primo fra tutti la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  maggiore o uguale a 800 m/s).

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione del territorio con attribuzione di differenti fattori di amplificazione.

Si è così evidenziato, come aspetto più significativo, che tutte le zone indagate presentano valori dei fattori di amplificazione sia in termini di PGA che di Intensità spettrale ( $S_A/S_{A0}$ ) che Intensità di Housner ( $S_I/S_{I0}$ ) costanti in relazione all'intervallo di frequenza considerato in tutto il territorio comunale.

Lo studio eseguito ha consentito di individuare alcune zone di attenzione per instabilità per liquefazione. Queste zone, definite nel paragrafo 8.4, e caratterizzate dalla presenza di terreni granulari fini probabilmente saturi entro i primi 20 m da piano campagna, saranno oggetto di approfondimenti di terzo livello finalizzati alla valutazione dell'effettivo grado di pericolosità.

Caorso, Novembre 2022

Dott. Geol. Nicola Cavanna

