

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Calendasco



<p>Regione</p> <p>Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>Dott. Geol. Stefano Castagnetti</p> <p>Collaboratori: Dott. Geol. Marco Baldi Dott. Geol. Marco Carretta</p>	<p>Data</p> <p>Ottobre 2022</p>
--------------------------------------	--	---------------------------------

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	Inquadramento geologico e tettonico	5
2.2	Caratteristiche sismotettoniche	8
2.3	Storia sismica.....	10
2.4	Classificazione sismica	12
3.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	15
4.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	16
5.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	19
6.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	21
7.	ELABORATI CARTOGRAFICI	23
7.1	Carta delle indagini	23
7.2	Carta geologico-tecnica.....	24
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	30
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	31
7.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S	35
7.6	Carte di Microzonazione sismica.....	36
8.	ELABORATI	41

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Calendasco (Provincia di Piacenza), eseguito a seguito di incarico del Comune di Calendasco con Determinazione n° 313 del 26/10/2021 del Responsabile del Settore Tecnico (CUP: G32I17000020002 - CIG: Z6433A218D).

Lo studio è stato reso possibile grazie alla concessione di contributi al Comune di Calendasco da parte della Regione Emilia-Romagna mediante la DGR n° 566 del 26/04/2021 "Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica $ag < 0,125$ " e finanziati con Determina Dirigenziale n° 13338 del 14/07/2021.


Infatti il Comune di Calendasco è uno dei 61 Comuni emiliano-romagnoli che ricadendo in un territorio con $ag < 0,125g$, non possono accedere ai contributi di cui all'art. 11 della Legge 77/2009 per la microzonazione sismica e l'analisi della condizione limite per l'emergenza.

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate ed ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Le attività di ricerca, acquisizione ed implementazione dati oltre che la predisposizione degli elaborati prodotti nell'ambito del presente studio, sono stati condotti in ottemperanza delle direttive e agli atti tecnici sotto elencati:

- D.G.R. n° 476 del 12.04.2021 aggiornamento Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017);

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	1 di 41

- D.G.R. n° 564 del 26.04.2021 “Integrazione della propria Deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)";
- “Indicazioni per l’archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell’analisi della condizione limite per l’emergenza, di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile” della Deliberazione di Giunta Regionale n. 1919 del 16.12.2013 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali” (Allegato D della DGR);
- “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, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (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 (ICMS).


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

➤ PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:

- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- descrizione delle caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.

➤ SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO con:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello ed eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	2 di 41

- suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
- conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello con l'indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Le aree oggetto di microzonazione sismica ricomprendono i centri abitati di Calendasco, Boscone Cusani, S. Imento – Campogrande, Incrociata – Cotrebbia Nuova – Malpaga e Castellazzo – Z.I. Ponte Trebbia (Fig. 1), per una superficie complessiva di circa 505 Ha, pari al 13,5% del territorio comunale, in cui risiede oltre l'85% della popolazione.

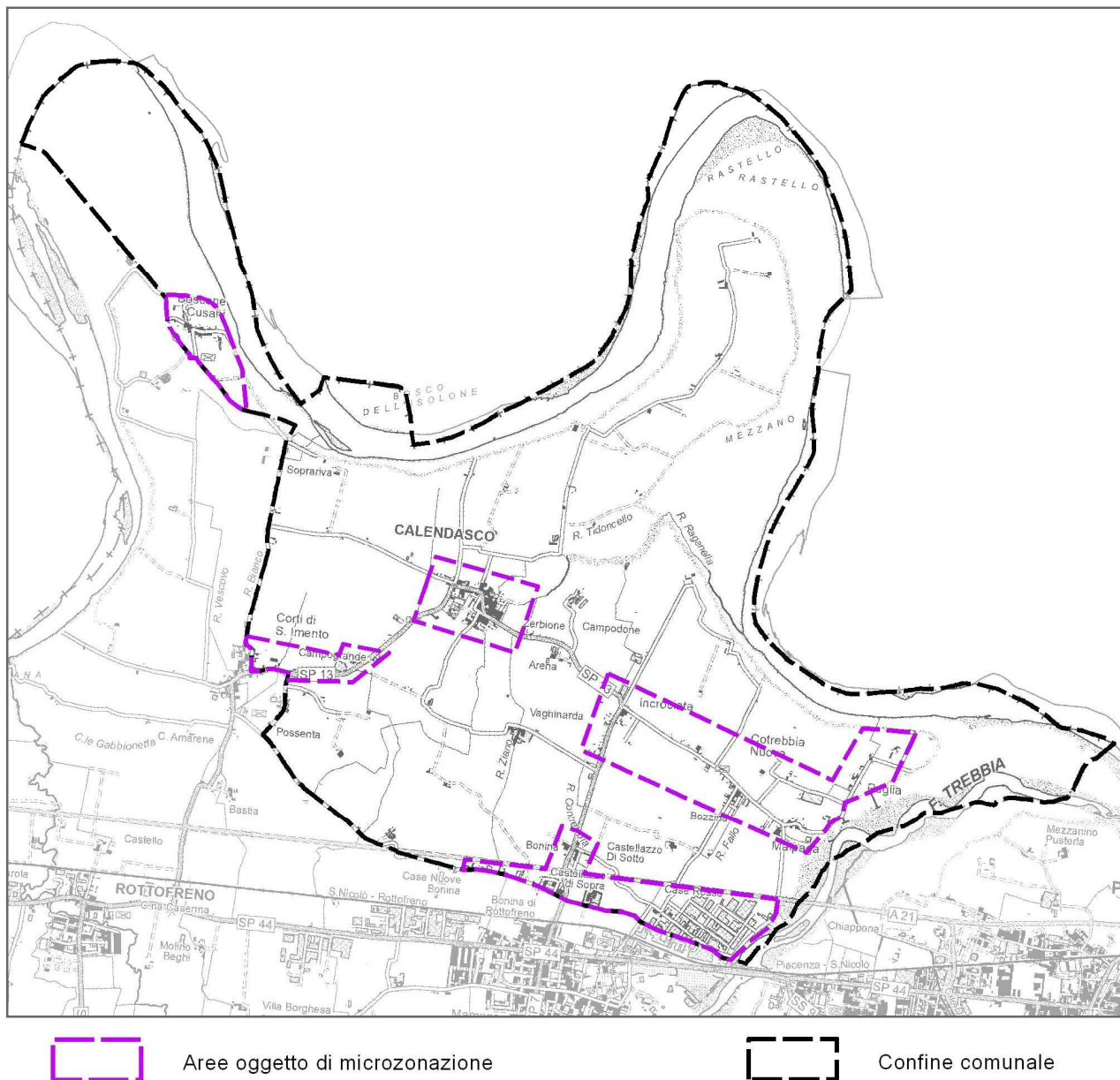



Fig. 1 – Aree oggetto di microzonazione sismica del Comune di Calendasco

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato A2 della DGR 241/2017 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: "MS - SoftMS", versione 4.2.

I dati cartografici sono stati allestiti in formato vettoriale (shapefile) e gli elaborati sono stati prodotti in versione cartacea e in versione digitale (pdf con risoluzione di 300 dpi).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	4 di 41

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

2.1 Inquadramento geologico e tettonico

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (PIERI & GROPPPI, 1982).

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Questo riempimento del bacino non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.


L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP (Di Dio, 1997) ha permesso di riconoscere due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali, nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura sono state riconosciute due sequenze principali, in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- **Supersistema del Quaternario Marino** (affiorante nella fascia collinare)
- **Supersistema Emiliano-Romagnolo**

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno delle sequenze deposizionali principali (Supersistemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	5 di 41

eventi tettonici minori a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i Sintemi vengono suddivisi in unità minori (Subsintemi e Unità).

In particolare il settore di territorio in studio ricade nella fascia di bassa pianura, costituita da una successione di sedimenti quaternari continentali riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua appenninici e dal F. Po (Supersintema Emiliano-Romagnolo).

Lo spessore dei depositi continentali nella zona in studio è superiore a 400 metri.


La conformazione attuale del territorio è il risultato di processi che hanno operato in epoca antecedente all'arginatura e canalizzazione dei corsi d'acqua, nel corso di un mutevole divagare degli stessi indotto da fattori tettonici e climatici.

Con riferimento alla cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG, elaborata secondo i concetti di stratigrafia sequenziale, i depositi affioranti nell'areale di studio possono essere attribuiti al Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. – Subsintema di Ravenna, di età Pleistocene superiore - Olocene.

I depositi sono costituiti da sabbie e limi stratificati con copertura di limi argillosi o limi sabbiosi. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m e il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

Tali depositi presentano una stratificazione di tipo cuneiforme, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che li hanno originati: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di argine-canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo (piana inondabile).

Sotto il profilo tettonico le ricerche in campo sismotettonico svolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella *"Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna"* (2017), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare, con riferimento all'area in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza (Fig. 2).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	6 di 41

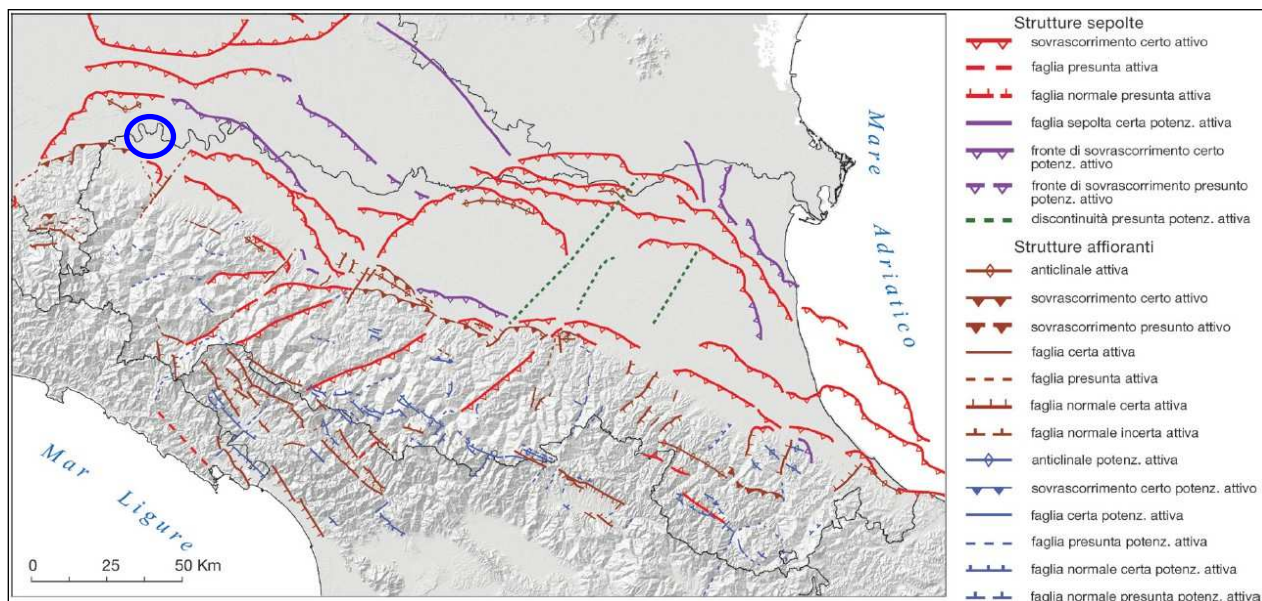


Fig. 2 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2017)


La fascia di bassa pianura, entro cui ricade l'areale in studio, si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi complessivamente direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).

Il fascio più settentrionale, denominato *Fronte di accavallamento esterno* (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. È costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali il T. Enza, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

Più ad est dell'area in studio i sovrascorrimenti dell'ETF assumono una direzione perpendicolare al margine appenninico e danno luogo ad importanti strutture sepolte note come

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	7 di 41

“Dorsale Ferrarese”, che in prossimità di Novi–Camurana presenta la massima culminazione assiale, determinando un sensibile innalzamento del substrato pre-pliocenico.

2.2 Caratteristiche sismotettoniche

Ai fini della valutazione del rischio sismico di un’area, è fondamentale identificare le faglie attive. Infatti, sebbene esistano strutture a scorrimento lento asismico (*fault creep o tectonic creep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche, in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società. D’altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica.


Una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un’attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti il territorio comunale di Corniglio, sono state ricavate dal *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Version 3.3.0 <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>. che costituisce il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5,5 nell’area Italiana¹.

Con riferimento all’immagine di Fig. 3, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell’area in studio sono:

- **ITCS044 – Portalbera-Cremona**, con una magnitudo massima attesa Mw=6.7;
- **ITCS018 – Rivanazzo-Stradella**, con una magnitudo massima attesa Mw=6.8;
- **ITCS009 – Busseto-Cavriago**, con magnitudo massima attesa Mw=6.8;
- **ITCS045 – S. Giorgio Piacentino-Fornovo Taro**, con una magnitudo massima attesa Mw=7.2.

¹ Gruppo di lavoro DISS (2021). Database delle singole sorgenti sismogenetiche (DISS), versione 3.3.0: una raccolta di potenziali sorgenti per terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	8 di 41

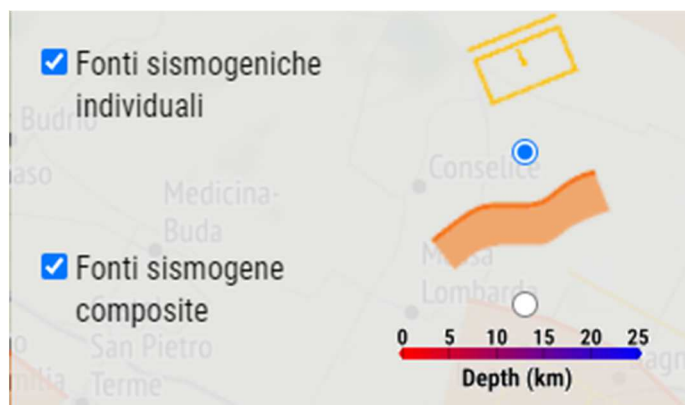
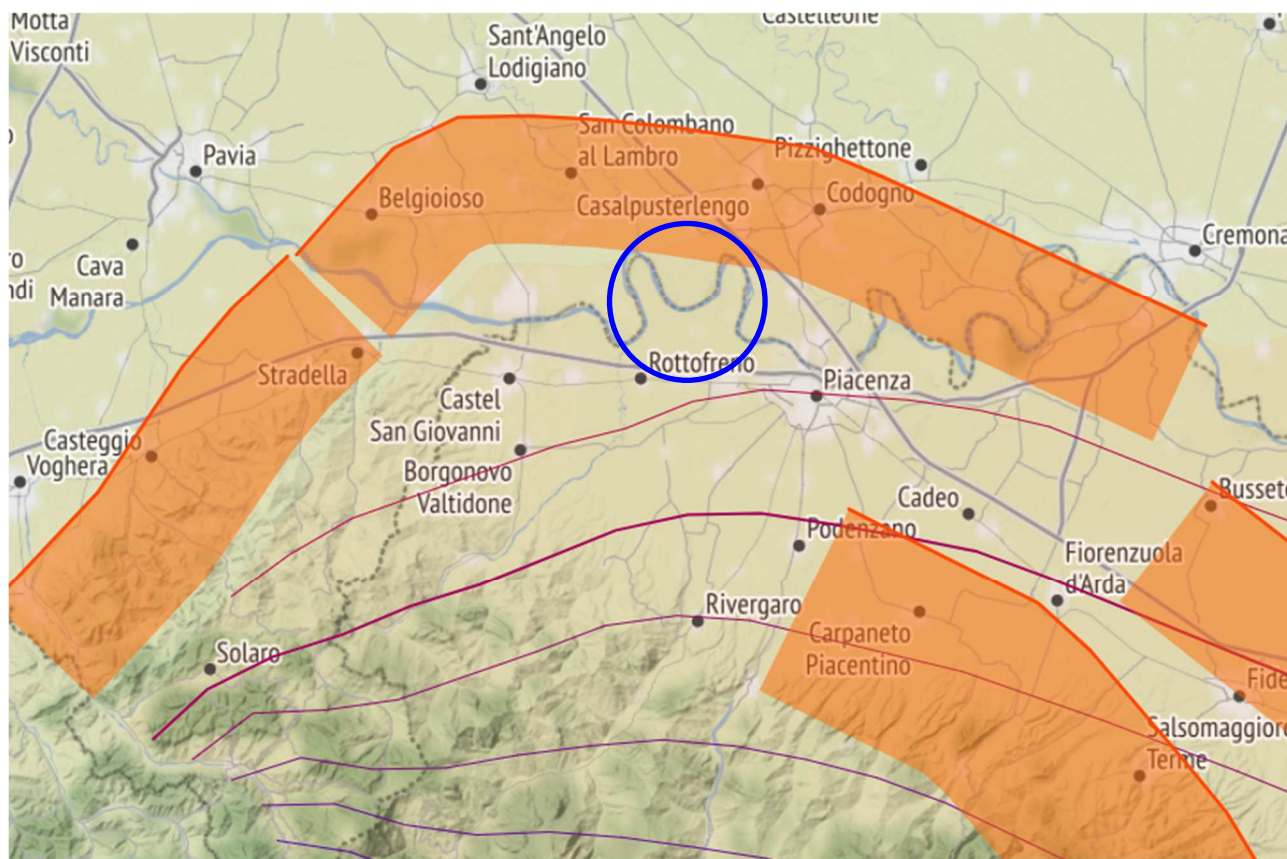


Fig. 3 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche da DISS 3.3.0. Il cerchio blu individua approssimativamente il territorio del Comune di Calendasco

2.3 Storia sismica

La storia sismica del Comune in studio è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15 v4.0, che contiene informazioni relative a 123.981 osservazioni macrosismiche dall'anno 1000 al 2020 relative a 3229 terremoti.

Dal momento che l'estrazione fatta per la località di Calendasco ha riportato solamente 4 eventi sismici recenti, al fine di disporre di una maggiore massa di dati², l'estrazione è stata fatta con riferimento alla città di Piacenza, che dista circa 8 km in direzione Sud-Est.

Secondo quanto riportato in DBMI15 v4.0, la storia sismica di Piacenza viene riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 4, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di esse, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

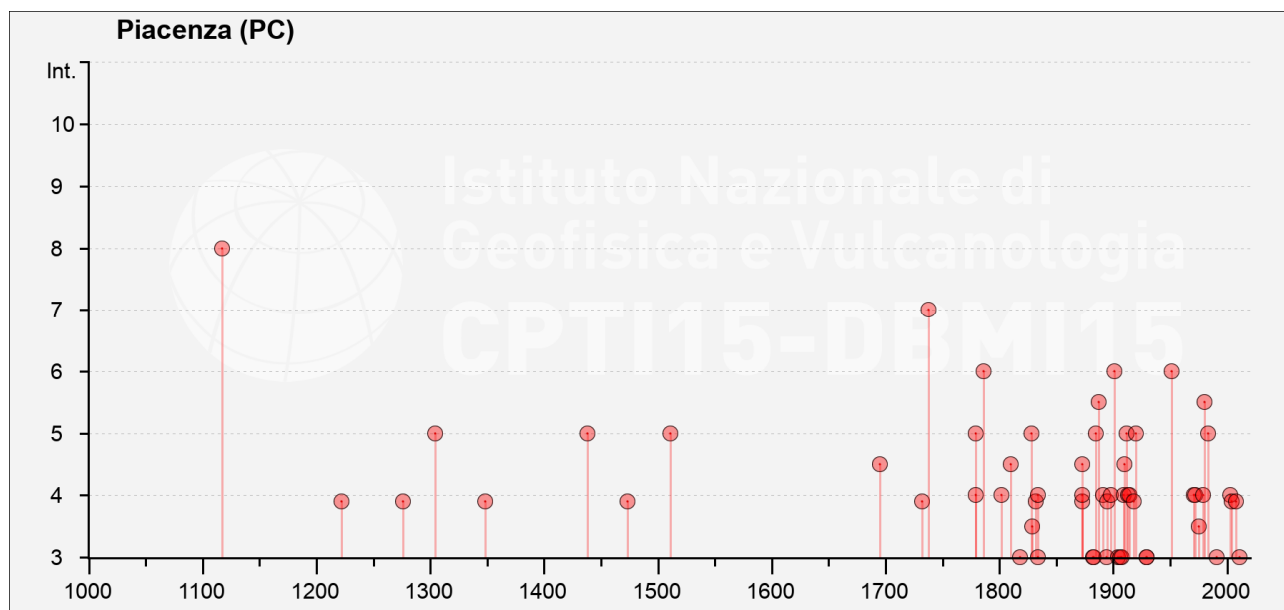



Fig. 4 – Rappresentazione grafica della storia sismica di Piacenza limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 (cfr. Tab. 1). Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

² Per il Comune di Roccabianca sono disponibili solamente 6 eventi, mentre per il Comune di S. Secondo P.se ci sono 19 eventi

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	10 di 41

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
7	1738	11	05	00	30		Emilia occidentale	10	7	5.10
6	1786	04	07	00	15		Pianura lombarda	10	6-7	5.22
6	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
5-6	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
5-6	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
5	1304	10	23	00	45		Pianura emiliana	4		
5	1438	06	11	02			Parmense	4	8	5.56
5	1511	03	26	15	30		Friuli-Slovenia	120	9	6.32
5	1779	07	14	19	30		Bolognese	17		
5	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110	8	5.72
5	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
5	1912	10	01	18	10		Piacenza	23	4	3.70
5	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10	6.40
4-5	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	33	6	5.06
4-5	1873	09	17				Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
4-5	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
4	1779	11	23	18	30		Bolognese	14	5	4.70
4	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
4	1834	02	14	13	15		Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
4	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1913	03	27	02	25	4	Val Trebbia	58	4-5	4.24
4	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
4	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78
4	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7	4.81

Tab. 1 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Piacenza tra il 1000 e il 2020 Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4> - parzialmente modificato

2.4 Classificazione sismica

A seguito dell'emanazione dell'OPCM 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" e s.m.i., il Comune di Calendasco è stato classificato sismico in ZONA 4. In precedenza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Calendasco risultava non classificato.

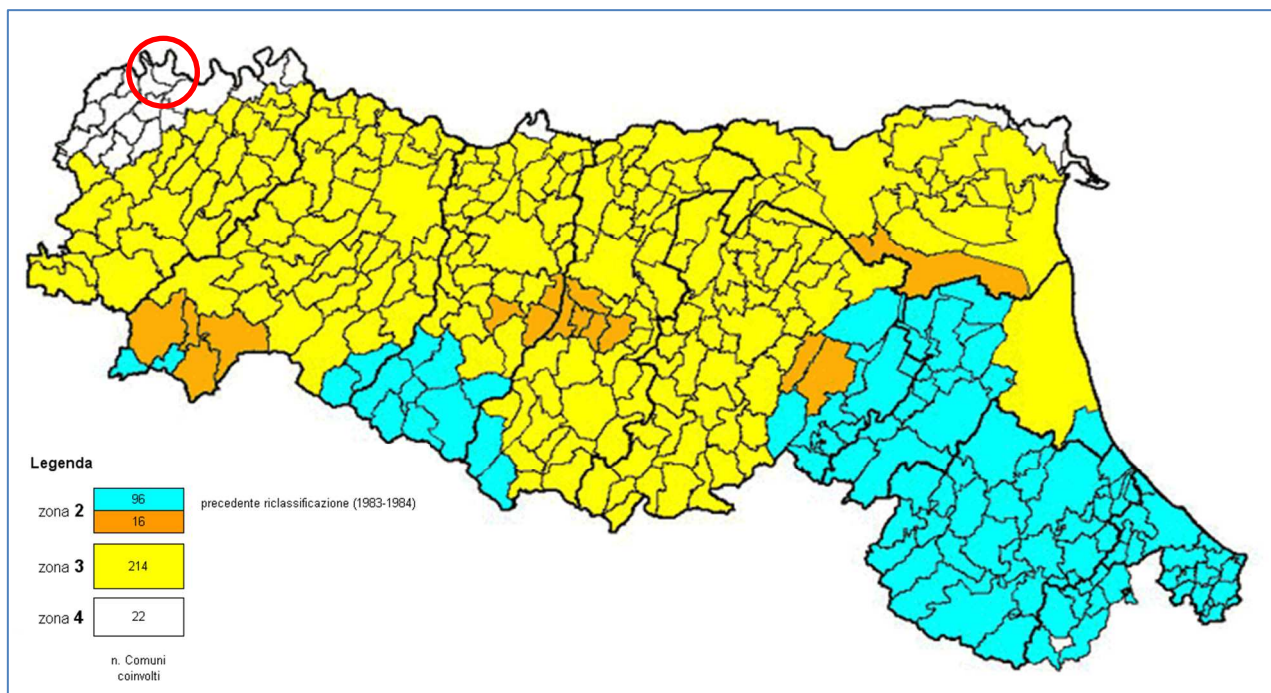


Fig. 5 – Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna conseguente alla OPCM 3274/2003. Il cerchio rosso individua il Comune di Calendasco.

Con la successiva DGR n° 1164/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna", il Comune di Calendasco è stato classificato sismico in ZONA 3 (Fig. 6).

Sulla base della *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale* elaborata dall'INGV (aprile 2004), il territorio di Calendasco si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo compresa tra $0,150 \div 0,175 a_g$ (Fig. 7).

In Fig. 8 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo $0,05^\circ$ relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo).

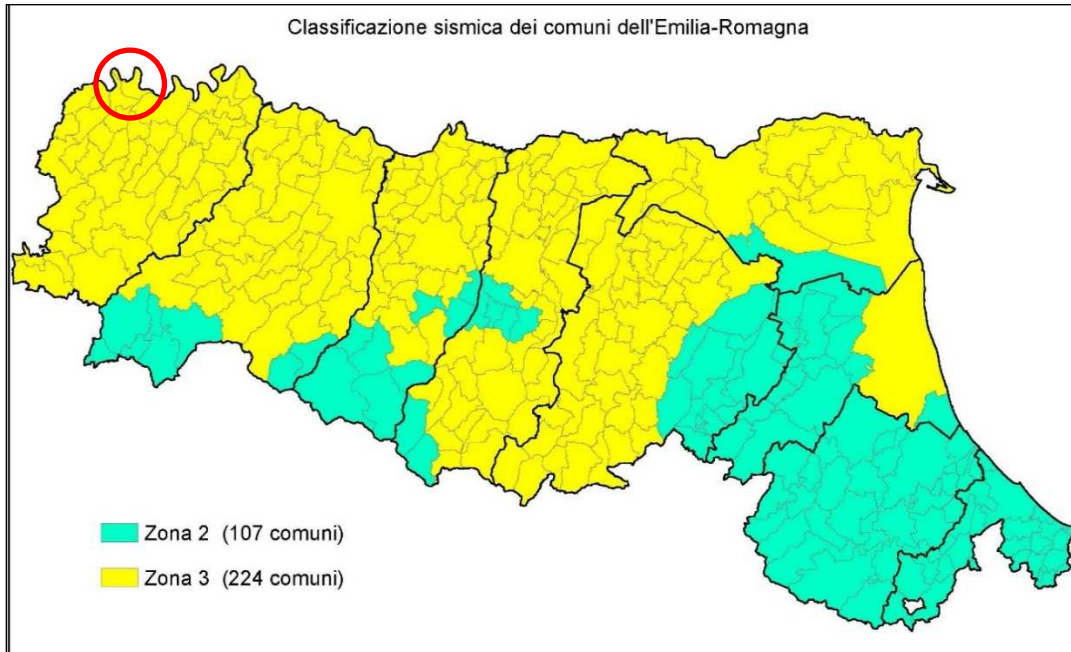


Fig. 6 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna di cui alla DGR 1164 del 23.07.2018. Regione Emilia-Romagna. Il cerchio rosso individua il Comune di Calendasco

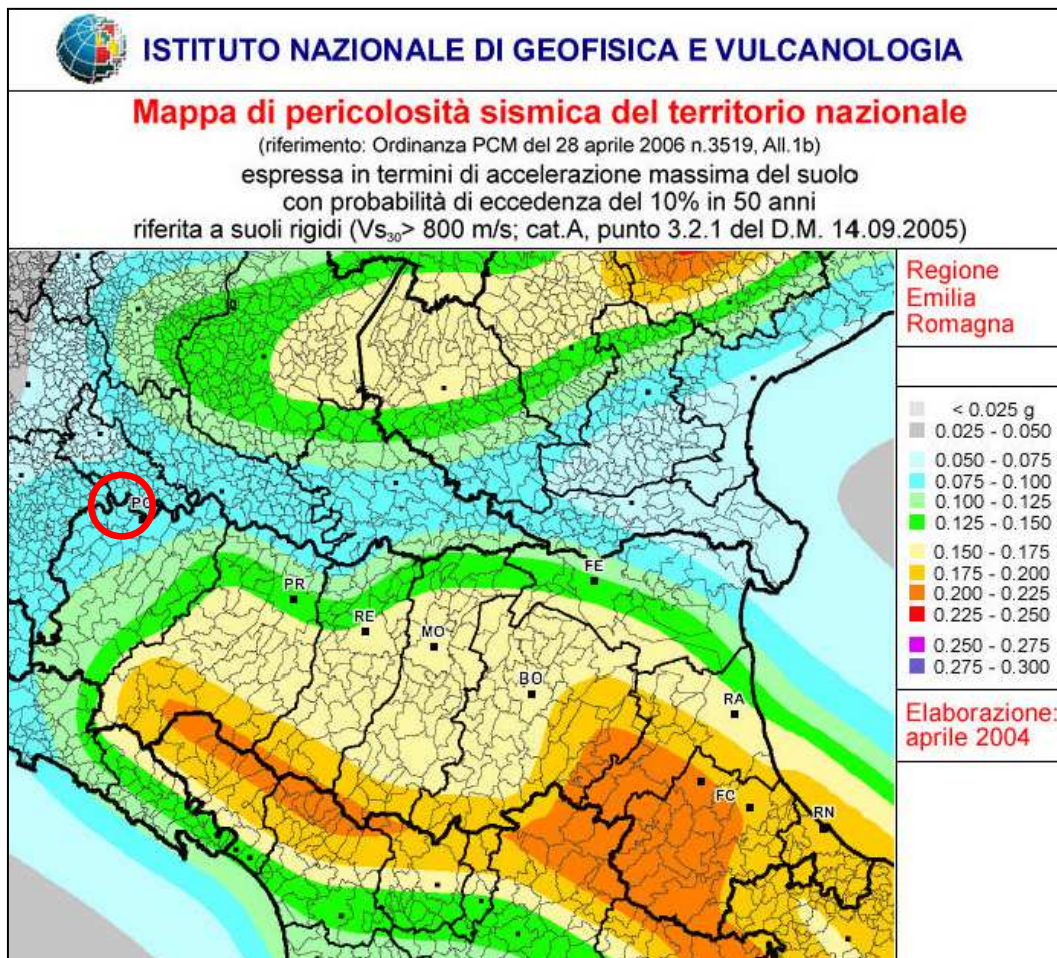



Fig. 7 - Estratto della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Il cerchio di colore rosso individua il Comune di Calendasco

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	13 di 41

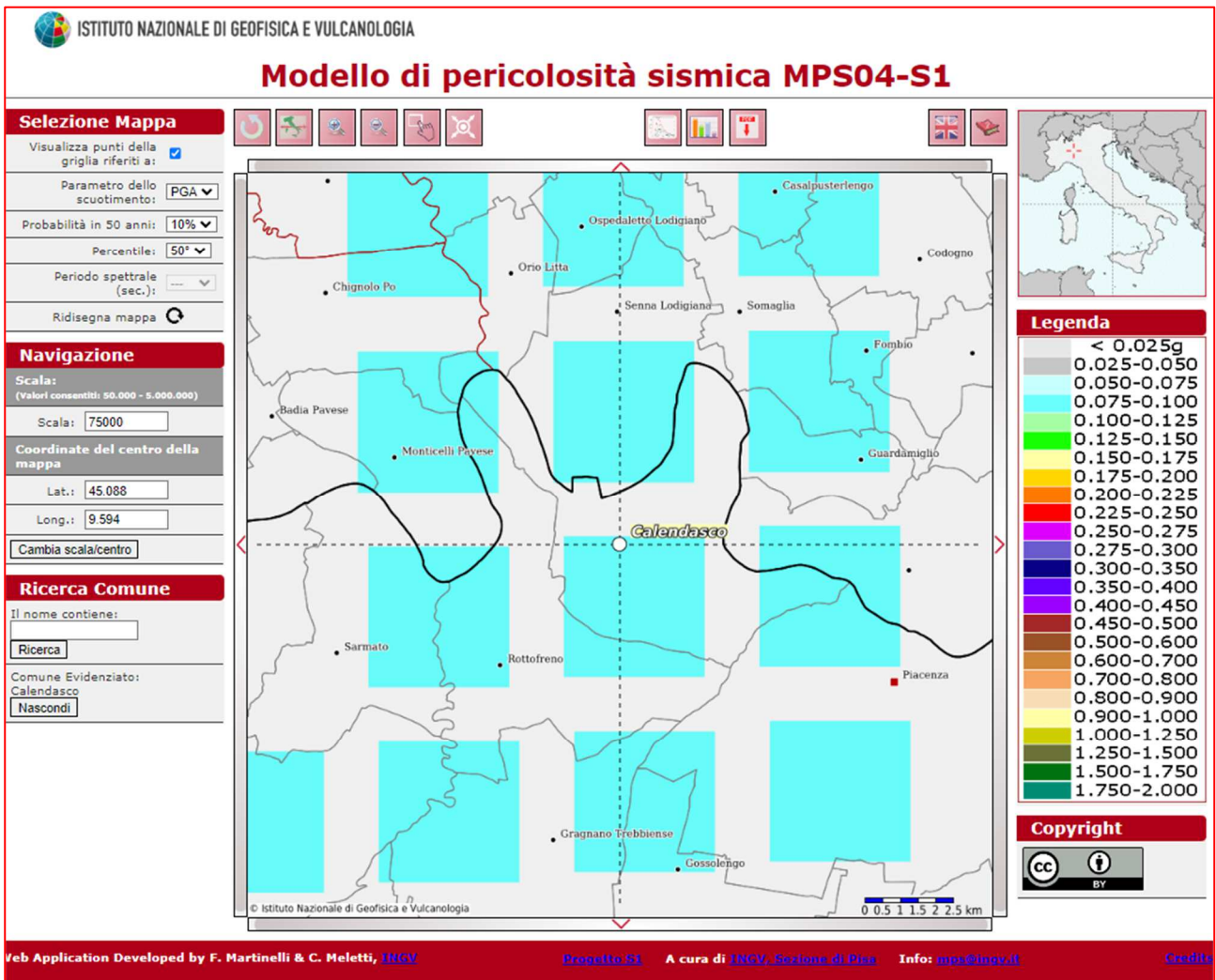



Fig. 8 - Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Calendasco espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	14 di 41

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Lo studio si è avvalso in primis della massa di dati contenuta nel Database geognostico messo a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di varianti agli strumenti urbanistici, di progetti edilizi, di PUA e di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche eseguite.


Tutti i dati acquisiti, esclusi quelli già presenti del DB geognostico della Regione Emilia-Romagna, sono stati trasformati in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

Sia i dati di base, sia quelli elaborati sono stati inoltre organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nel territorio in studio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine. Più in particolare sono state effettuate:

- n° 6 indagini sismiche MASW finalizzate alla determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio S;
- n° 20 misure di microtremore a stazione singola (HVSR), ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	15 di 41


4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

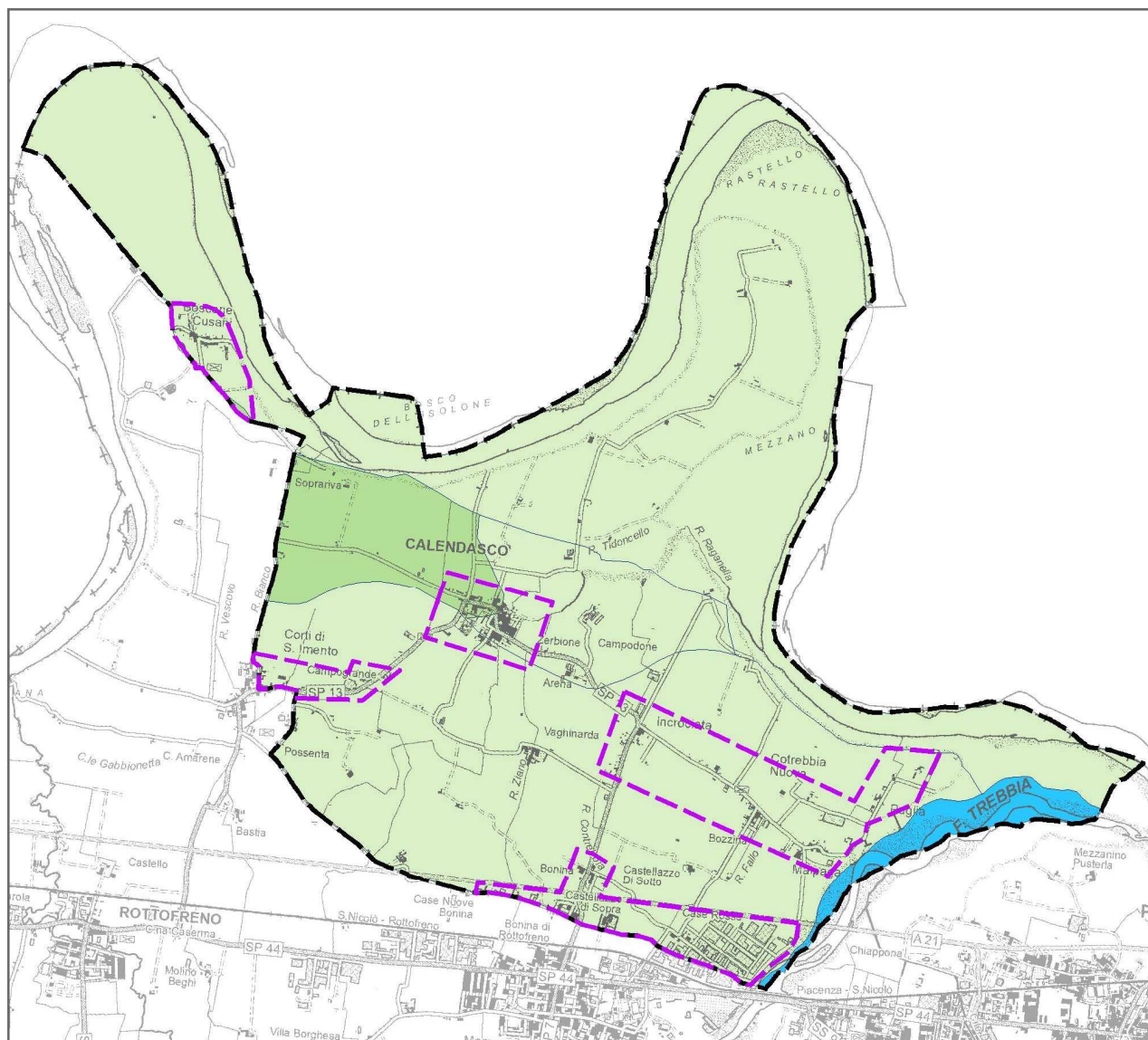
La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il territorio in questione, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti, oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 7.4 la descrizione specifica delle caratteristiche delle porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito ci si limita a proporre alcune considerazioni su come l'assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

L'analisi della geologia di base è stata fatta consultando la cartografia geologica CARG alla scala 1:10.000 (Fig. 9).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	16 di 41



Coperture quaternarie

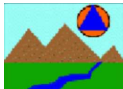
- Depositi alluvionali in evoluzione
- Subsistema di Ravenna - Unità di Modena

Subsistema di Ravenna

Fig. 9 – Cartografia geologica CARG del territorio comunale di Calendasco

Le aree oggetto di microzonazione sono caratterizzate dall'affioramento in superficie di depositi alluvionali, costituiti da depositi argille, limi e limi sabbiosi, appartenenti al Subsistema di Ravenna e all'Unità di Modena del medesimo Subsistema.

I dati litostratigrafici disponibili indicano la presenza di un primo banco sabbioso-ghiaioso di spessore pluridecametrico, che risulta sub-affiorante nel settore SE del territorio comunale in prossimità del F. Trebbia, mentre nella restante parte il tetto si colloca per lo più a profondità comprese tra -2,00÷7,00 m da p.c..

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	17 di 41

Tali depositi grossolani sono riconducibili al fronte della conoide alluvionale del F. Trebbia (Fig. 10).

Nella fascia rivierasca del F. Po, i depositi ghiaiosi sono sostituiti da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi.

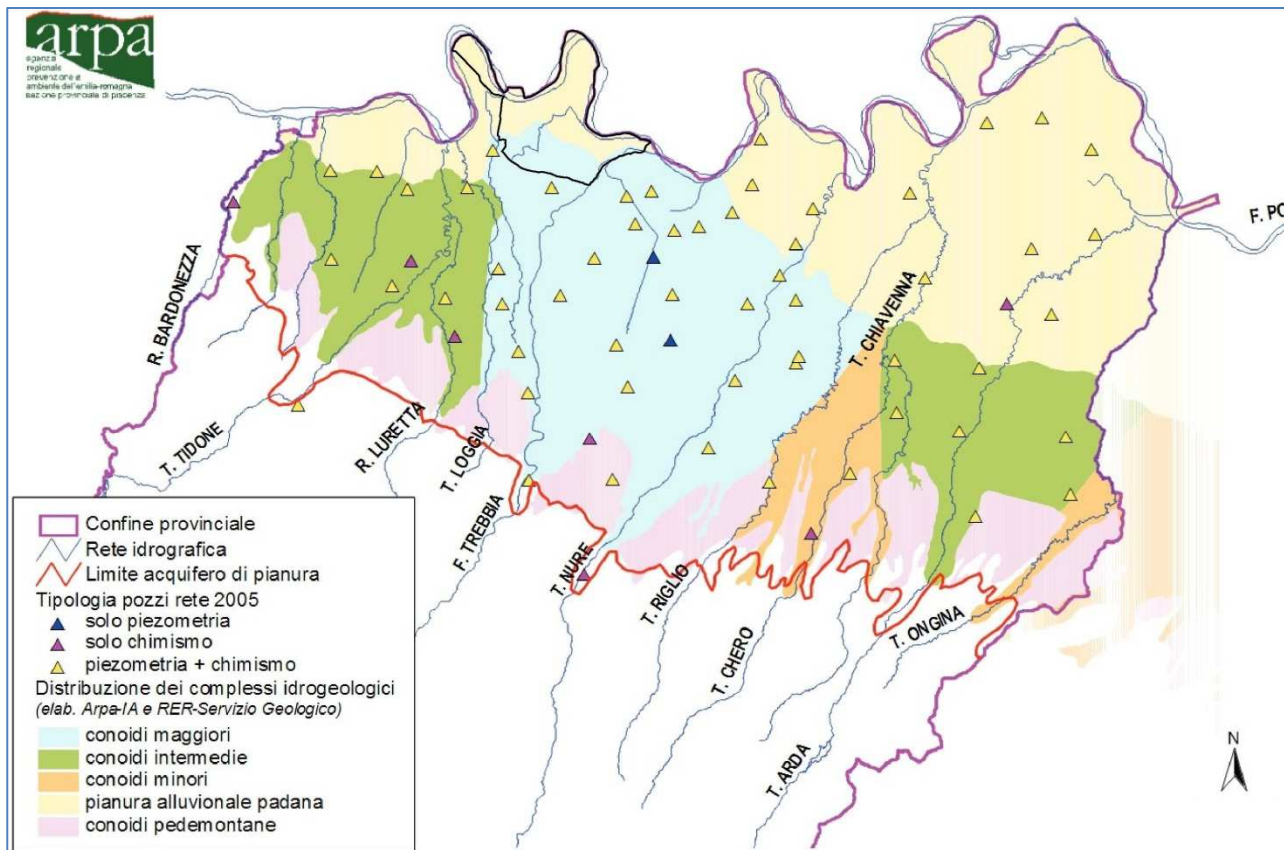


Fig. 10 – Distribuzione delle conoidi alluvionali nel territorio piacentino (con linea nera è indicato il Comune di Calendasco). Fonte: PTCP della Provincia di Piacenza.

5. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

Per ciascuna prova 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 (Fig. 11).

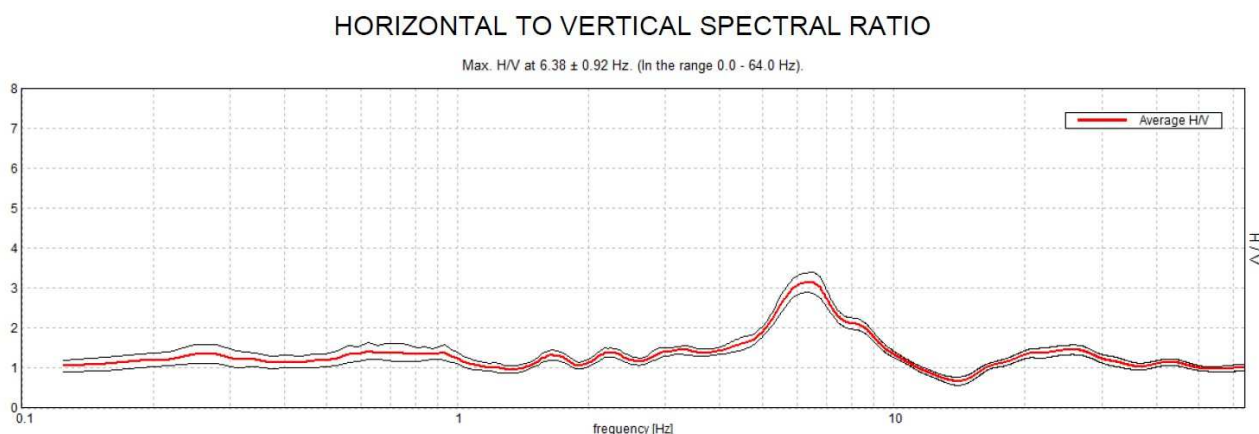



Fig. 7 – Esempio di curva H/V naturale della prova 033008P133HVSR157 eseguita in località Puglia (settore est del territorio comunale)

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 (GRILLA® – Moho), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	19 di 41

spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti, in quanto le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che spesso, nelle curve H/V, non siano presenti picchi ben pronunciati.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	20 di 41

6. 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 geofisica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:


- **Carta delle indagini (scala 1:10.00):** 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 (scala 1:10.00):** 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 (scala 1:10.00):** 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) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza $0,1 \div 20$ Hz;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.00):** 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 vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche.

La seconda fase del presente lavoro, la cui esecuzione ha seguito in continuità l'esecuzione della prima, ha portato alla Microzonazione Sismica del territorio comunale.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	21 di 41

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:10.000):** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs₃₀.
- **Carte di microzonazione sismica – Livello 2 (scala 1.10.000):** si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione viene quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀), di intensità spettrale in termini di spettro di risposta in accelerazione per prefissati intervalli di periodo (0,1-0,5s; 0,4-0,8s; 0,7-1,1s) e di intensità spettrale in termini di spettro di risposta in velocità per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s; 0,5 – 1s e 0,5-1,5 s). Per la definizione dell'amplificazione è previsto l'utilizzo delle tabelle e delle formule indicate nell'All. A2 degli Indirizzi regionali.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	22 di 41

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate 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.

Esse sono state distinte in base alla tipologia (Fig. 12).







	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
	Prova penetrometrica in foro (SPT)
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
	Prova penetrometrica con cono sismico e piezocono (SCPTU)
	Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)
	Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
	Pozzo per acqua
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSR)
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	MASW

Fig. 12 – Legenda della Carta delle indagini

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

I dati contenuti del DataBase geognostico della Regione Emilia-Romagna e la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale hanno consentito di acquisire le seguenti indagini (Tab. 2):

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	23 di 41

TIPOLOGIA INDAGINI	numero
Prove penetrometriche statiche (CPT)	23
Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)	11
Prova penetrometrica con cono sismico e piezocono (SCPTU)	3
Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)	18
Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)	21
Pozzi per acqua	32
Sondaggi a carotaggio continuo	2
MASW	4
Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)	16

Tab. 2 – indagini acquisite presso l'Ufficio Tecnico Comunale e DB geognostico RER


Come ricordato in precedenza, ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita dalle seguenti prove (Tab. 3):

TIPOLOGIA INDAGINI	numero
MASW	6
Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)	20

Tab. 3 – indagini di nuova esecuzione (campagna 2022)

7.2 Carta geologico-tecnica

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 (Fig. 13).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	24 di 41

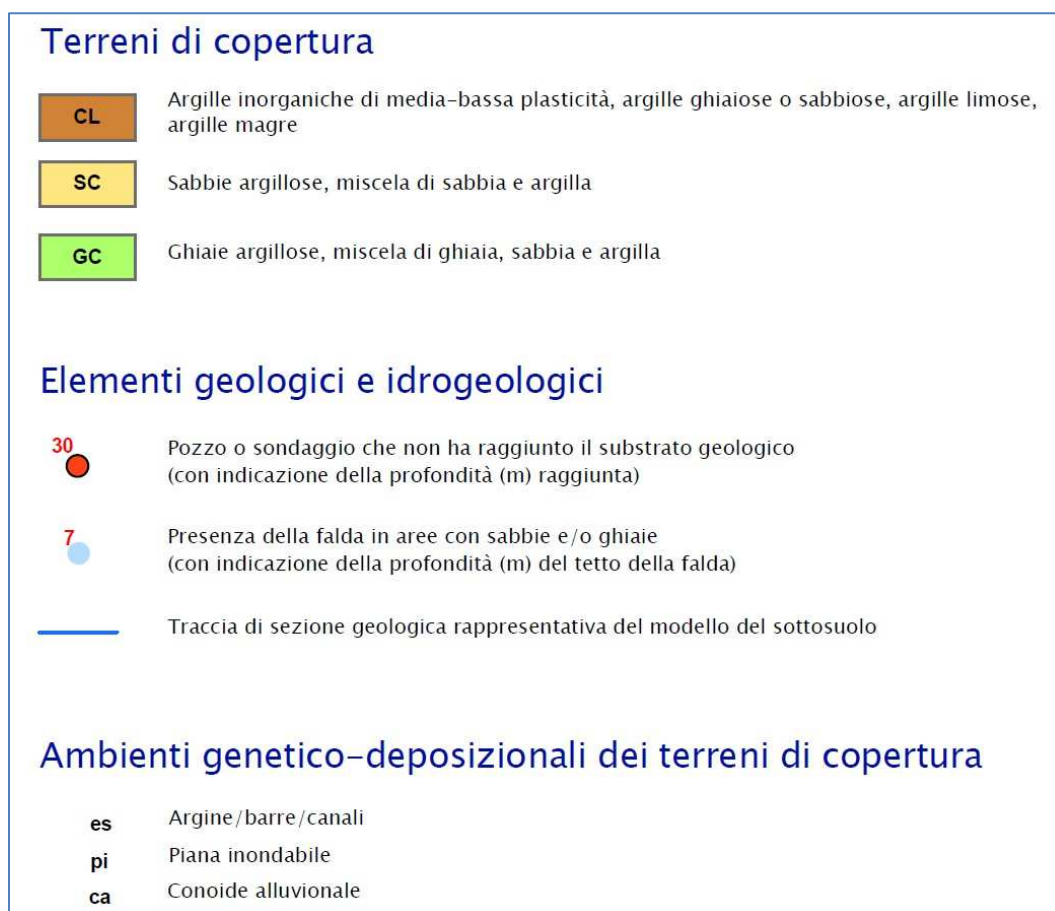



Fig. 13 – Legenda della Carta geologico tecnica

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), che saranno descritte nel successivo paragrafo 7.4.

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 dei vigenti strumenti urbanistici comunali (PSC-RUE-POC);
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo.

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale nelle Figg. 15 e 16, sono proposte due sezioni litostratimetriche (cfr. rappresentazione planimetrica della traccia riportata in Fig. 14).

 <p style="font-size: small;">Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	25 di 41

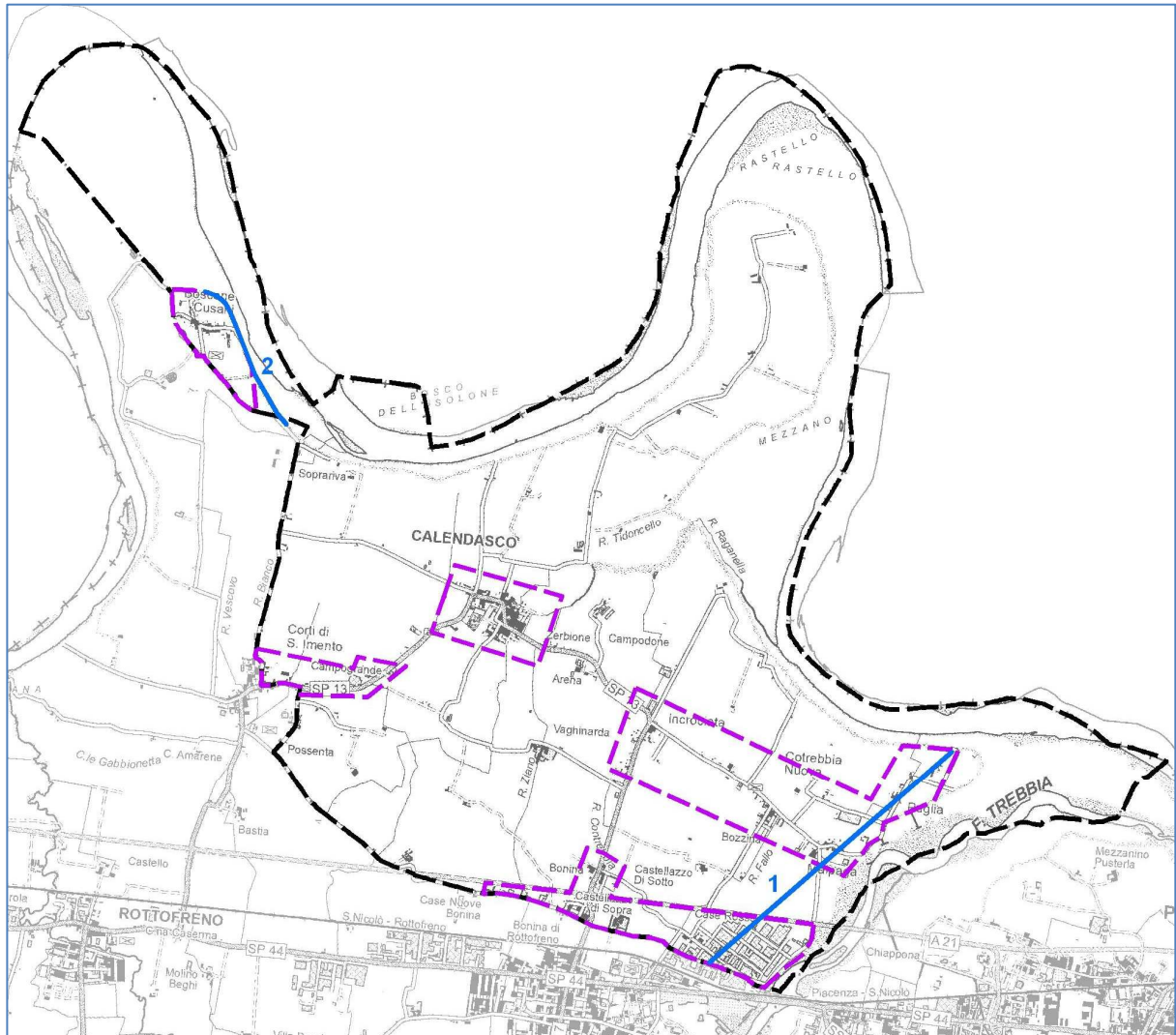


Fig. 14 – Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni

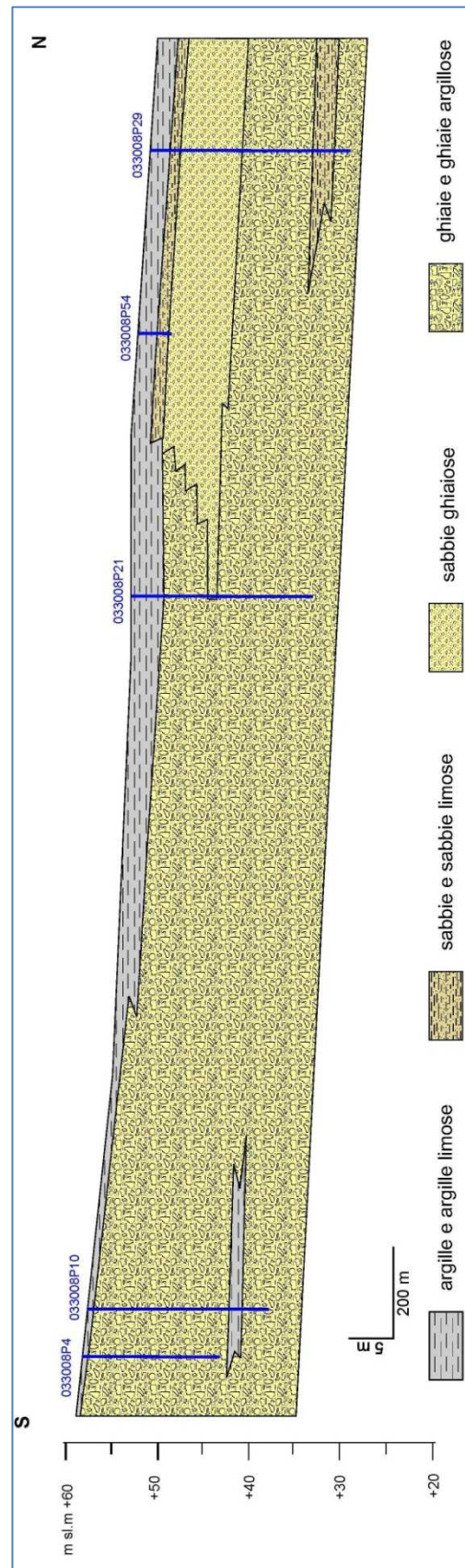



Fig. 15 – Sezione litostratimetrica n. 1, ubicata nel settore est del territorio comunale

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	27 di 41

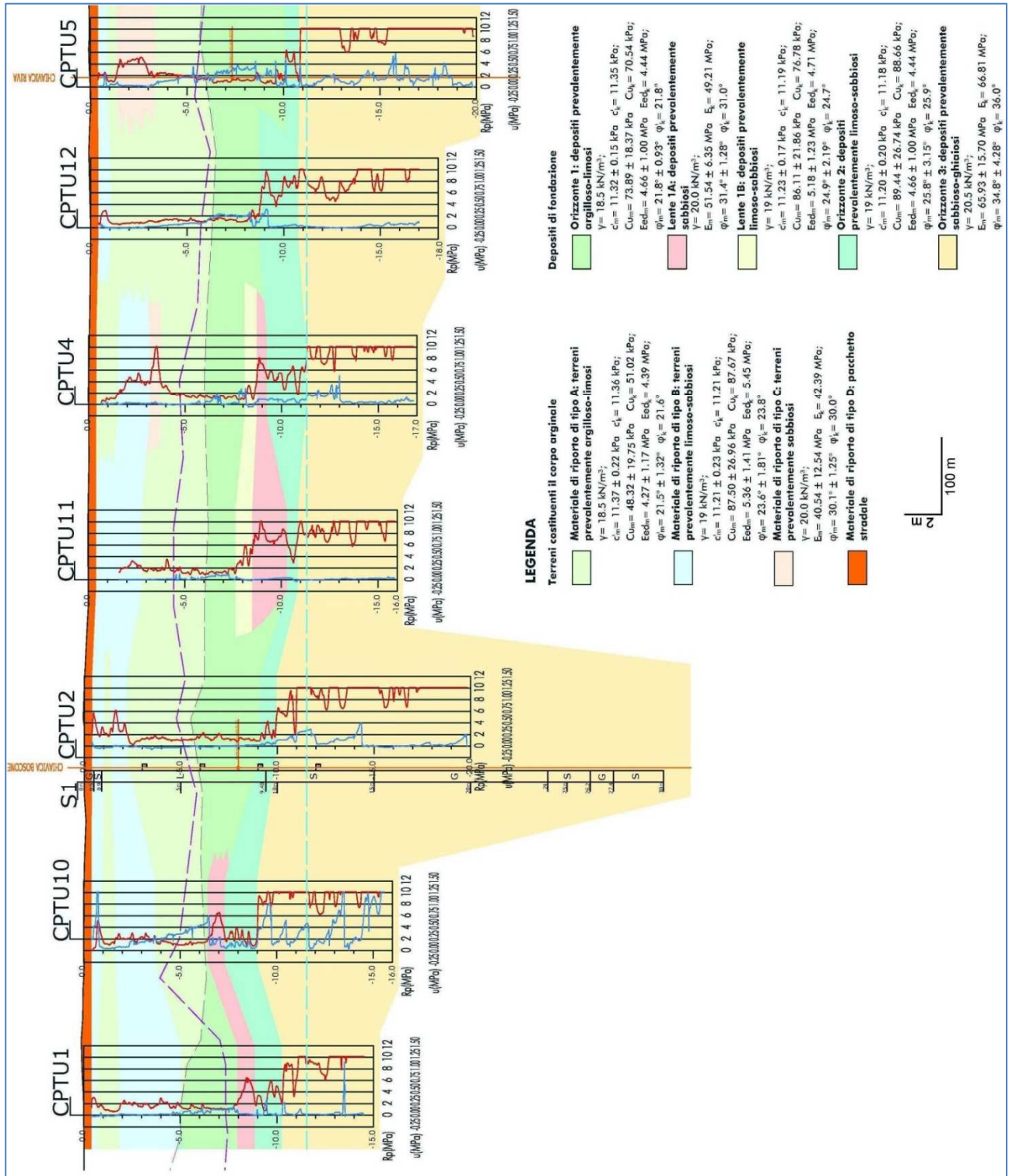


Fig. 16 – Sezione litostratimetrica n. 2, ubicata nel settore nord-ovest del territorio comunale (tratta da: “Lavori di rialzo dell’argine maestro in destra Fiume Po nel II° C.I. di Piacenza per l’adeguamento della sagoma definitiva prevista dal Piano Simpo in Comune di Calendasco e Rottofreno (PS45 2001-2002) – AIPO”)


Dall'esame della sezione, in estrema sintesi, si osserva che il sottosuolo del territorio presenta le seguenti caratteristiche:

- nel settore meridionale e in quello centrale del territorio comunale, sono presenti depositi ghiaioso-argillosi e ghiaioso-sabbiosi con locali intercalazioni argillose, ricoperti da una ridotta coltre di depositi fini limosi e limoso-argillosi dello spessore di 1÷3 metri. I depositi grossolani sono riconducibili al fronte della conoide alluvionale del F. Trebbia;
- spostandosi verso il corso del F. Po, i depositi superficiali tendono ad aumentare di spessore, sino a raggiungere spessori di 5÷7 metri, con aumento della frazione limo-sabbiosa;
- nella fascia immediatamente a sud del F. Po, i depositi sottostanti i terreni di copertura sono costituiti da sedimenti sabbiosi e sabbiosi ghiaiosi, appartenenti al dominio padano.

Nella 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. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, gli areali oggetto di microzonazione sismica rientrano nelle seguenti classi:

- *SC - Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla*: sono presenti nella fascia di territorio immediatamente a sud del F. Po;
- *GC - Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla*: sono dovute alla deposizione avvenuta in ambiente di conoide alluvionale (ca) e sono riconducibili in prevalenza al F. Trebbia;
- *CL – Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*: occupano la fascia di territorio ricompresa tra le due precedenti classi e sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di piana inondabile (pi).

Inoltre nella Carta geologico-tecnica sono stati indicati i pozzi e i sondaggi profondi con riportate le relative profondità, costituiti da perforazioni che non hanno raggiunto il substrato rigido ($V_s > 800$ m/s). Infine sono stati riportati i valori di soggiacenza della falda freatica, necessari alla eventuale definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni di liquefazione.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	29 di 41

7.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti negli archivi comunali, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni a scala 1:10.000.

Si tratta di una carta derivata dalle indagini speditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di F_0 del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di eventuali altri picchi significativi a più alta frequenza) (Fig. 17).

Le misure sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ($F_0 \leq 0,6$ Hz; $0,6 < F_0 \leq 1$ Hz; $1 < F_0 \leq 2$ Hz; $2 < F_0 \leq 8$ Hz; $F_0 > 8$ Hz) e dell'ampiezza del picco che individua contrasti di impedenza elevati (picco HVSR > 3), alti (picco $2 \leq$ HVSR < 3) o modesti (picco $1,5 \leq$ HVSR < 2). L'intervallo di frequenze considerato è compreso tra 0,2 – 20 Hz.

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq \text{HVSR} < 2$	$2 \leq \text{HVSR} < 3$	$\text{HVSR} \geq 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 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 la frequenza relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 17 – Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni

Nel complesso le misure hanno evidenziato che il settore sud e centrale del territorio comunale è caratterizzato da frequenze naturali dei terreni generalmente superiori a 10 Hz, con ampiezza dei picchi H/V quasi sempre compresi tra 2 e 3 (alto contrasto di impedenza). Si tratta della porzione di territorio in cui al di sotto di una ridotta coltre fine, sono presenti depositi ghiaiosi della conoide alluvionale dl F. Trebbia, che generano il contrasto di impedenza associato al picco delle misure HVSR.

Nella fascia rivierasca del F. Po, le frequenze naturali risultano ricomprese tra 0,9 e 7 Hz, con ampiezza dei picchi generalmente più ridotta, dovuta alla presenza di depositi sabbiosi di origine padana meno rigidi.

7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza ad una delle seguenti 3 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 indagato.
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 è possibile operare una 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 l'instabilità.** Si tratta di zone nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità per liquefazioni e densificazione. È bene precisare che in questo primo livello di approfondimento non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano esperiti i necessari approfondimenti di tipo quantitativo. Pertanto in queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello. In particolare devono essere considerate come zone di attenzione per instabilità da liquefazione, le aree caratterizzate dalla presenza di quattro condizioni predisponenti:
 - a) terreni sabbiosi presenti nei primi 15 m di profondità
 - b) falda a profondità inferiore a 15 m
 - c) Mw attesa al sito >5
 - d) Accelerazioni massime in superficie (pga) >0.1g.

Di seguito vengono descritte le microzone omogenee individuate.


 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	31 di 41



Fig. 18 – Legenda della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

ZONE STABILI


Queste zone caratterizzano il settore meridionale e centrale del territorio, in quanto le successioni stratigrafiche sono costituite da un livello superficiale limo-argilloso, che ricopre uno spesso orizzonte ghiaioso.

In particolare sono state distinte due di zone sulla base dello spessore dell'orizzonte superficiale fine:

Zona 1 (cod. 2001)

Successione stratigrafica costituita da una ridotta coltre di argilloso-limosi (1,00÷3,00 metri), che ricopre sedimenti ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-argillosi che si spingono sino alla profondità di oltre -30,00 m da p.c. (Fig. 19).

Caratterizza l'areale della Zona Industriale di Ponte Trebbia.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	32 di 41

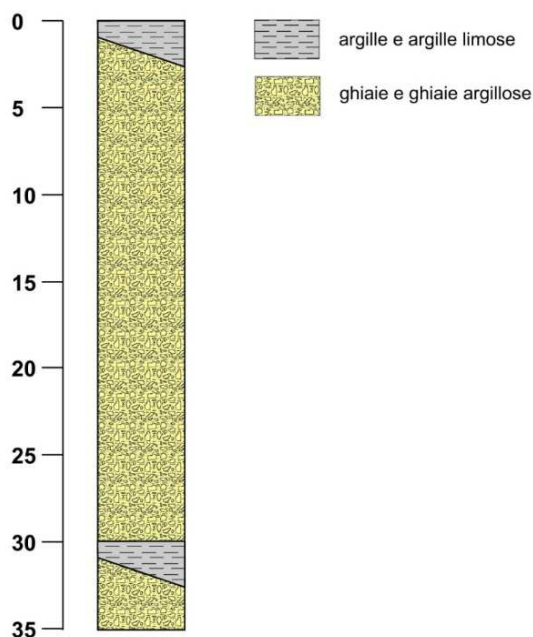


Fig. 19 – Successione stratigrafica cod. 2001

Zona 2 (cod. 2002)

Successione stratigrafica costituita da una coltre di argilloso-limosi dello spessore generalmente di 3÷7 metri, che ricopre sedimenti ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-argillosi che si spingono sino alla profondità di oltre -30,00 m da p.c. (Fig. 20).

Caratterizza gli areali di Calendasco, Campogrande, Castellazzo, Incrociata, S. Imento, Cotrebbia Nuova e Malpaga.

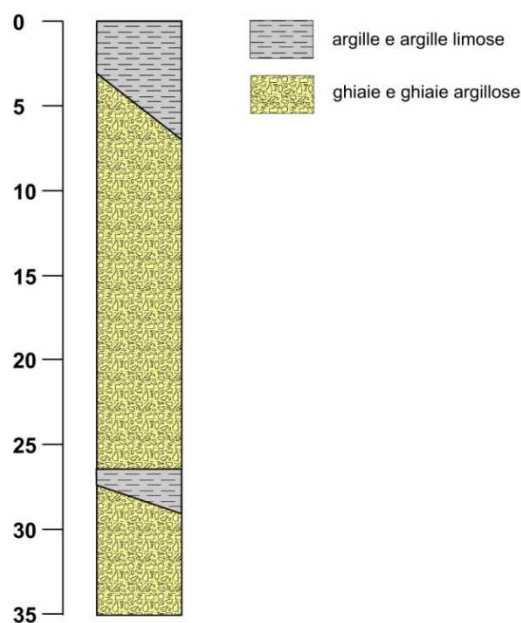


Fig. 20 – Successione stratigrafica cod. 2002

ZONE DI ATTENZIONE PER L'INSTABILITA'

Queste zone caratterizzano la fascia rivierasca del F. Po, in quanto le successioni stratigrafiche sono costituite da depositi fini, che ricoprono uno spesso orizzonte sabbioso e sabbioso-ghiaioso in falda.

Zona 3 (cod. 30502003)

Successione stratigrafica costituita da una coltre superficiale di depositi prevalentemente argilloso-limosi, avente spessore mediamente di 3,00÷4,00 m, che ricoprono un livello limo-sabbioso dello spessore di qualche metro, sovrapposto a sedimenti sabbioso-ghiaiosi di potenza pluridecametrica.

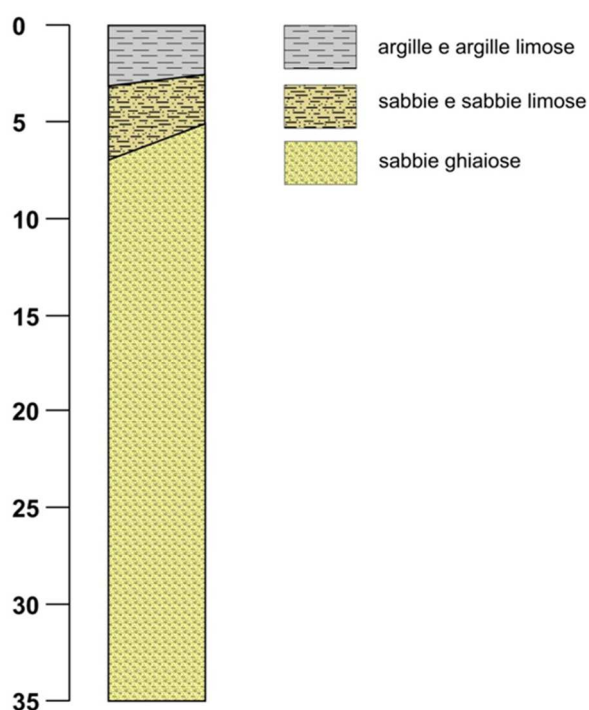


Fig. 21 – Successione stratigrafica cod. 30502003

7.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio S sono stati riportati i punti di misura di Vs con indicazione del valore in m/s di Vs₃₀ e Vs_H.

Sono state altresì distinte le misure di Vs sulla base della tecnica impiegata: MASW, con sismico (SCPTU) e interpretazione di misure di microtremori a stazione singola (Fig. 22).

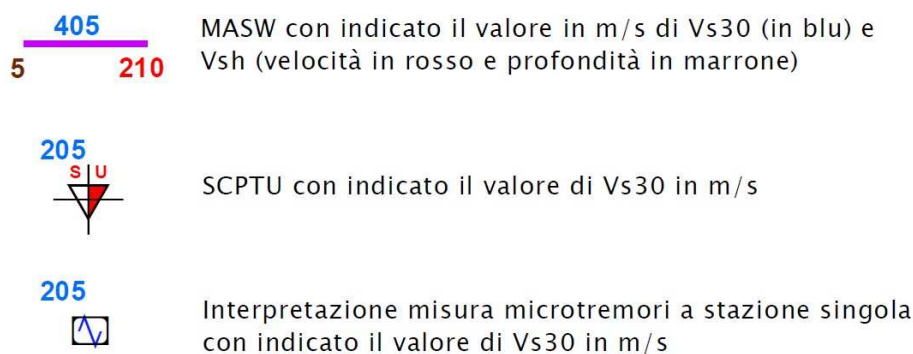



Fig. 22 – Legenda della carta delle velocità delle onde di taglio S

Per la stesura di questa carta sono state utilizzate le indagini reperite nell'archivio comunale (MASW, HVSR, SCPTU), allegare a pratiche edilizie e le indagini geofisiche di nuova esecuzione realizzate a supporto del presente studio di microzonazione sismica.

Nella cartografia è possibile osservare valori di Vs₃₀ generalmente maggiori di 350 m/s che caratterizzano in settore centro meridionale e occidentale del territorio comunale, in cui sono presenti sedimenti ghiaiosi della conoide del F. Trebbia.

In questi settori sono stati indicati anche i valori di Vs_H, essendo presenti contrasti di impedenza significativi al passaggio tra copertura di sedimenti fini e sottostanti ghiaie di conoide.

Nell'estremità nord-occidentale del territorio (areale di Boscone Cusani), in cui sono presenti sedimenti del dominio padano, i valori di Vs₃₀ risultano invece generalmente inferiori a 250 m/s.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	35 di 41

7.6 Carte di Microzonazione sismica

Attraverso la microzonazione sismica di Livello 2 è stata effettuata la stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.


L'amplificazione è stata quantificata in termini di:

- $F_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SA_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SA_2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, SA_3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e SA_4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- $FH = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SI_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SI_2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$ e SI_3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

Per le aree sottoposte ad analisi di secondo livello i valori dei fattori di amplificazione (FA) sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR n° 476 del 12.04.2021 della Regione Emilia-Romagna (Tabb. 4, 5 e 6).

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata effettuata sulla base delle caratteristiche sismo-stratigrafiche del sottosuolo:

- per la Zona 1 è stata utilizzata la tabella Appennino con substrato non rigido ($V_s \ll 800$ m/s) affiorante o subaffiorante (Tab 4), data la presenza di ghiaie di rilevante spessore con copertura fine inferiore a 2,5 m;
- per la Zona 2 e la Zona 3 del settore est del territorio comunale, la tabella utilizzata è quella del Margine di tipo A (Tab. 5), caratterizzato da terreni fini o grossolani poco addensati, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento rigido (indicativamente con valore di V_s media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti),
- per la Zona 3 del settore NW del territorio, si è ritenuto adeguato l'utilizzo della tabella Pianura 1 (Tab. 6), corrispondente al settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	36 di 41

una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza alla profondità indicativa di 100 ± 20 m da p.c..

In Fig. 23 sono state rappresentate le Zone oggetto di studio, distinte sulla base delle tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

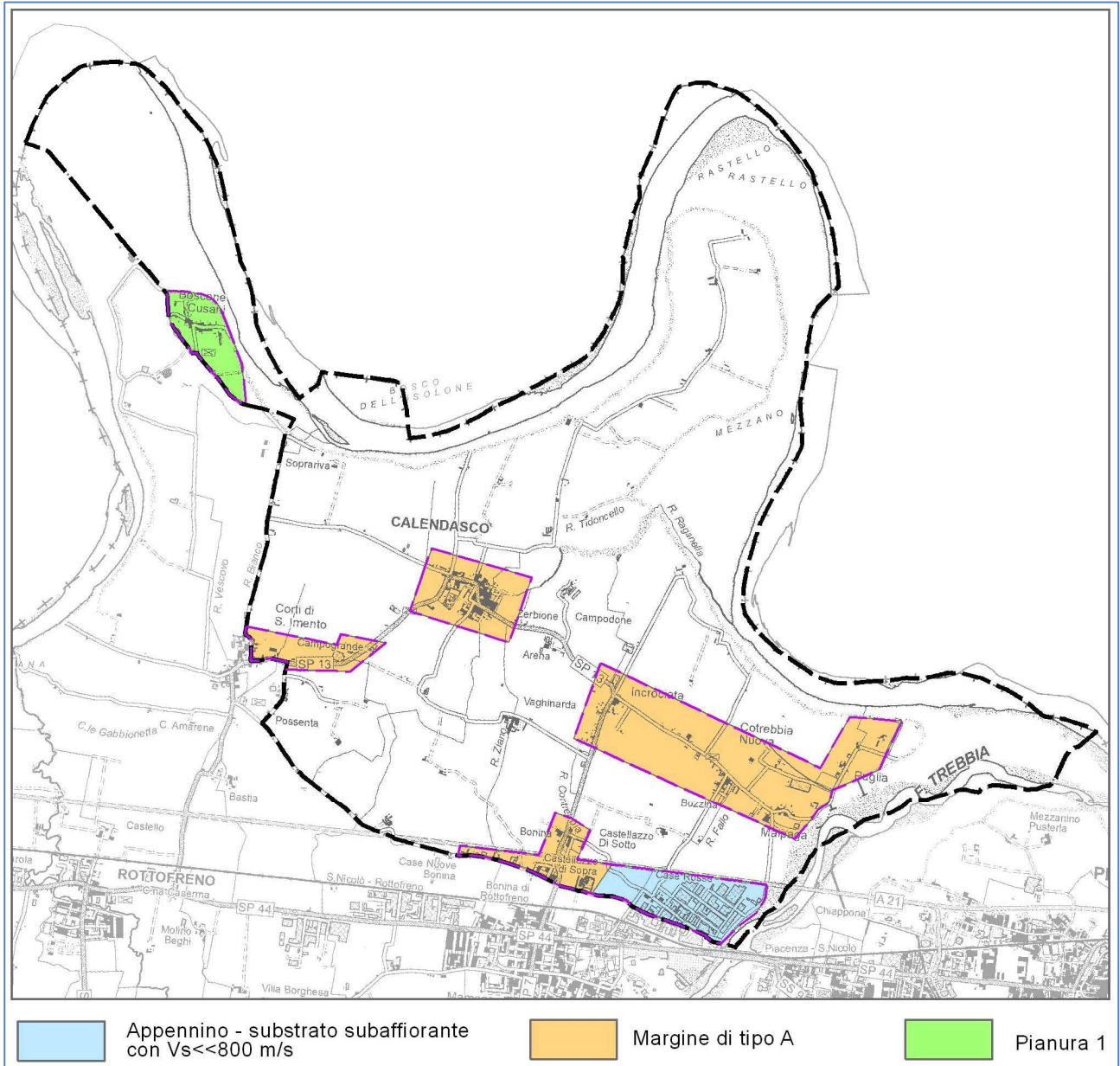


Fig. 23 - Suddivisione delle zone in base alle tabelle allegata alla DGR n. 476/2021 utilizzate per la determinazione dei fattori di amplificazione

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s), **SA2** (0,4s≤T≤0,8s), **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s), **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

Tab. 4 – Tabella Appennino con substrato sub-affiorante caratterizzato da Vs<<800 m/s da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione **PGA**

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,9	1,7	1,7	1,6		
10	2,7	2,2	1,9	1,8		
15	3,3	2,9	2,3	2,0		
20	3,4	3,1	2,6	2,2		
25	3,3	3,2	2,8	2,4		
30	3,1	3,1	2,8	2,5		

Fattore di Amplificazione **SA2**(0,4s≤T≤0,8s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,2	1,9	1,7	1,6		
10	2,6	2,4	2,0	1,8		
15	2,6	2,5	2,2	1,9		
20	2,5	2,5	2,3	2,0		
25	2,3	2,3	2,2	2,1		
30	2,1	2,1	2,1	2,0		

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,0	1,7	1,5		
10	2,5	2,3	2,0	1,8		
15	2,4	2,4	2,1	1,9		
20	2,3	2,3	2,1	2,0		
25	2,2	2,2	2,1	2,0		
30	2,0	2,0	2,0	1,9		

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,6	1,6	1,6	1,6		
10	2,0	1,8	1,7	1,7		
15	2,9	2,3	2,0	1,9		
20	3,4	2,8	2,3	2,0		
25	3,9	3,4	2,7	2,3		
30	3,8	3,6	3,0	2,5		

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

Tab. 5 – Tabella Margine Tipo A da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	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	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

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	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	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** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Tab. 6 – Tabella Pianura 1 da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Dal momento che il territorio in studio ricade in un contesto di pianura non sono stati considerati fattori di amplificazione per motivi topografici.

Nella Tab. 7 sono riportati i Fattori di Amplificazione determinati secondo la DGR n. 476/2021.

MOPS	ZONA	TABELLA F.A.	NOTE	VS (m/s)	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE							
					PGA	FA 0,1-0,5 S	FA 0,4-0,8 S	FA 0,7-1,1 S	FA 0,5-1,5 S	FH 0,1-0,5 S	FH 0,5-1,0 S	FH 0,5-1,5 S
STAB	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s		Vs30 = 400	1,8	1,7	1,6	1,4	-	1,7	1,5	-
	2002	Margine tipo A		Vs5 = 200	2,1	2,0	1,7	1,6	-	1,9	1,7	-
INSTAB	2003	Margine tipo A	Località Puglia	Vs5 = 200	2,1	2,0	1,7	1,6	-	1,9	1,7	-
	2003	Pianura 1	Località Boscone Cusani	Vs30= 200	1,7	1,8	2,5	3,2	3,0	1,9	2,9	3,2

Tab. 7 – valori dei Fattori di Amplificazione sismica determinati attraverso la DGR 476/2021

Dallo studio è emerso che le amplificazioni maggiori della PGA (accelerazione massima del suolo) si riscontrano nel settore del territorio comunale dove sono presenti livelli di ghiaie riconducibili alla conoide alluvionale del F. Trebbia, che determinano un netto incremento della velocità delle onde di taglio rispetto alla sovrastante copertura di depositi fini aventi spessore maggiore di 2,5 metri. Tale settore ricomprende gli abitati di Calendasco, Incrociata, Cotrebbia Nuova, Malpaga, Puglia, Castellazzo di Sopra e Corti di S. Imento.

In termini di spettro in accelerazione per bassi periodi (0,1-0,5 s), evidenziano un andamento simile a quella della PGA.

L'amplificazione degli spettri in accelerazione e velocità per periodi superiori a 0,5 s è caratterizzata da un andamento differente rispetto a quella per bassi periodi, con valori più elevati nel settore NW (Località Boscone Cusani).


Infine è stata prodotta la Carta Hsm, che rappresenta lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2) per l'intervallo di periodo $0,1 \leq T \leq 0,5\text{s}$.

Tale scuotimento è espresso attraverso il parametro H, dato dal prodotto dell'Acceleration Spectrum Intensity (ASI), integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per determinati intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H = \frac{ASI}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI sono stati determinati attraverso gli spettri di risposta a pericolosità uniforme in pseudo-accelerazione con T_r pari a 475 anni, riferiti al baricentro di ogni MOPS.

I valori di accelerazione sono compresi tra 0,35 e 0,40 g.


 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	40 di 41

8. ELABORATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

- Carta delle indagini (scala 1:10.000);
- Carta geologico-tecnica (scala 1:10.000);
- Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000);
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000);
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s) (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FPGA (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FA_{0,4 - 0,8 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FA_{0,7 - 1,1 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FA_{0,5 - 1,5 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FH_{0,1 - 0,5 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FH_{0,5 - 1,0 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FH_{0,5 - 1,0 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - FH_{0,5 - 1,5 s} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica - H_{SM} (scala 1:10.000).

Al termine dello studio è stata prodotta una cartografia di sovrapposizione tra gli elementi schedati nell'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) e le risultanze della MS (Livello 2 – H_{SM}).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Settembre 2022	41 di 41