



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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Livello 3

## Regione Emilia-Romagna

### Comune di Noceto



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

# INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2.1	INQUADRAMENTO .....	3
2.2	STORIA SISMICA.....	8
2.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	10
3.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	11
3.1	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI .....	11
4.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....	12
5.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	13
6.	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	15
6.1	Carta delle indagini .....	15
6.2	Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica.....	16
6.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	17
6.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	18
6.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S.....	22
7.	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	23
7.1	Modello geofisico del sottosuolo .....	24
6.1.1	Litologia .....	25
6.1.2	Determinazione della Vs e del bedrock sismico.....	25
6.1.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione.....	25
6.1.4	Descrizione del modello .....	27
6.1.5	Azioni sismiche in ingresso .....	30
7.2	Procedura di analisi RSL.....	31
6.2.1	Metodo lineare equivalente .....	31
6.2.2	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM .....	33
6.2.2.1	Smorzamento .....	34
6.2.3	Procedimento iterativo .....	35
6.2.4	Interpretazione dei risultati .....	35
7.3	Analisi dei risultati.....	36
8.	CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA .....	44
9.	ELENCO ELABORATI .....	49

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di Livello 3 del Comune di Noceto (Provincia di Parma), effettuato su incarico di cui alla Determinazione Dirigenziale n° 97 del 14/04/2022 (CUP: D72C21001920006 – CIG: Z33357A68B) e finanziato con contributi derivanti dall'OCDPC n° 780/2021 "Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77, rifinanziato dalla legge 30 dicembre 2018, n. 145." e dalla DGR n° 1885/2021 e assegnati con Determinazione Dirigenziale n° 1899 del 03.02.2022.

Il Comune di Noceto è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 realizzato nel luglio 2017 da Ambiter Srl. Tale studio venne finanziato con i contributi di cui alla OCDPC 171/2014 ed è stato validato dalla riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del 22/03/2018.

Il presente studio di Livello 3 è stato condotto a partire dal citato studio di Livello 2, provvedendo ad aggiornare ed integrare gli elaborati precedentemente realizzati, in modo da renderli conformi alle nuove specifiche tecniche.

Si sottolinea il fatto che, grazie all'abbondante quantità di nuovi dati litostratigrafici reperiti nell'archivio comunale e alle indagini di nuova esecuzione, è stata condotta una sostanziale revisione delle MOPS nell'areale del Capoluogo rispetto a quanto definito nel Livello 2.

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);
- 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

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	1 di 49

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).

Di concerto con l’Amministrazione Comunale l’approfondimento di Livello 3 è stato condotto su due settori del Capoluogo di rilievo strategico ai fini della Protezione Civile:

- settore est in quanto vi sono insediati la Pubblica Assistenza Croce Verde di Noceto, la Scuola Secondaria di 1° grado “*Biagio Pelacani*” con relativa palestra, la Scuola Elementare “*Renzo Pezzani*”, la Scuola dell’Infanzia “*Bruno Munari*”, il Palazzetto dello Sport “*7 Fratelli Cervi*”, il bocciodromo e il Complesso sportivo comunale costituito da numerosi campi per rugby, calcio, calcetto e tennis;
- settore centrale in cui sono insediati il Municipio, la Caserma dei Carabinieri e la Casa della Salute.

Le strutture di cui sopra sono inserite nel Piano Comunale di Protezione Civile e rappresentano le principali risorse da mettere in campo per la gestione delle emergenze, il ricovero per la popolazione e per l’ammassamento dei soccorsi.

L’ulteriore motivazione che ha portato a tale scelta è l’assenza di aree instabili di significativa estensione con interessamento di ambiti urbanizzati e/o urbanizzabili.

Gli elaborati redatti sono stati predisposti in versione cartacea e in versione digitale (PDF con risoluzione di 300 dpi). I dati cartografici sono stati allestiti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l’archiviazione dei dati e l’editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall’Allegato D della DGR 1919/2013 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica) versione 4.2.

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

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	2 di 49

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

### 2.1 INQUADRAMENTO

Il Comune di Noceto appartiene alla Regione Emilia-Romagna e ricade nella fascia di alta pianura della Provincia di Parma (Fig. 1).



Fig. 1 - Ubicazione del Comune di Noceto

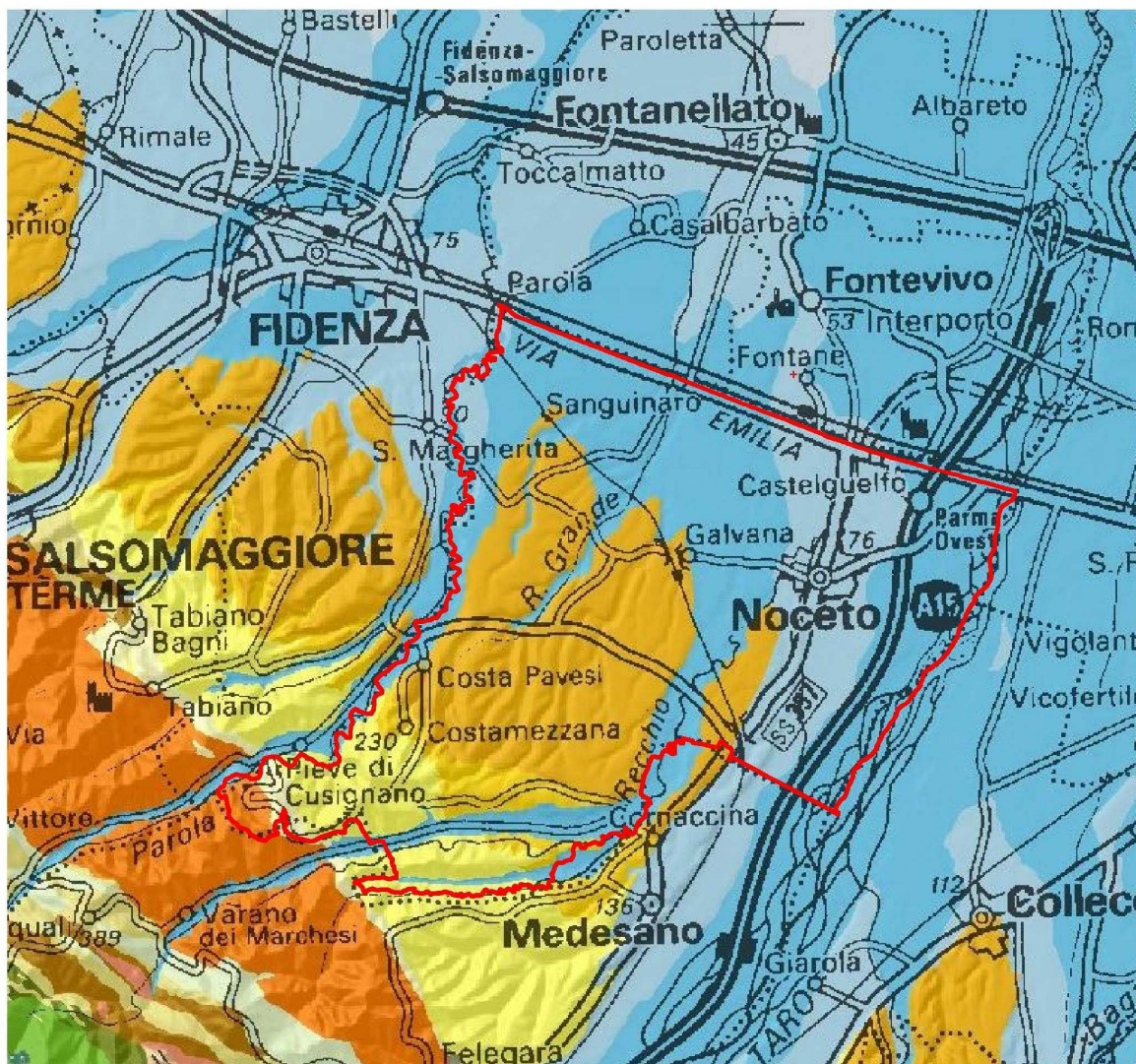
Per quanto riguarda l'assetto geologico e tettonica dell'areale si rimanda a quanto esposto nel citato studio di secondo livello.

In questa sede ci si limita a riproporre lo schema di inquadramento geologico del territorio comunale di Noceto (Fig. 2), in cui si può osservare la presenza di depositi alluvionali riconducibili principalmente alla conoide alluvionale del F. Taro e, in misura minore, ai T. Recchio e T. Parola.

Nel settore pedecollinare del territorio i depositi alluvionali di età pleistocenica risultano organizzati in terrazzi interessati da vistose incisioni del reticolo idrografico secondario. La parte meridionale del territorio è invece caratterizzata dall'affioramento di depositi di ambiente marino appartenenti alla successione post-evaporitica, costituiti da prevalenti peliti deposte sul margine interno dell'avanfossa padano-adriatica (Formazione



a Colombacci e Argille Azzurre). Nell'estremità meridionale del territorio, la successione post-evaporitica risulta in contatto tettonico con le unità appartenenti alla successione umbro-marchigiano-romagnola (Formazione del Torrente Ghiara), sollevate dalla Struttura anticlinale di Salsomaggiore.



**Raggruppamenti informali**

- B01 - Formazione a Colombacci
  - B02 - Argille Azzurre
  - B03 - Corpi arenacei pliocene inferiore
  - B05 - Corpi arenacei post-pliocene inferiore
  - D07 - Formazione di Antognola
  - D08 - Corpi arenacei nella Formazione di Antognola
  - D10 - Formazione di Contignaco
- Depositi di argine, canale e rotta fluviale
  - Depositi di canale fluviale
  - F21 - Flysch terziari liguri esterne
  - M07 - Successione di Salsomaggiore

Fig. 2 - Inquadramento geologico schematico del Comune di Noceto (Progetto CARG della Regione Emilia – Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli)



Elaborato	Data	Agg.	Pag.
RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	4 di 49

Per quanto concerne le caratteristiche sismotettoniche, l'inquadramento generale delle principali strutture attive sismogenetiche è rappresentato nella Mappa di sintesi realizzata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna (Fig. 3).

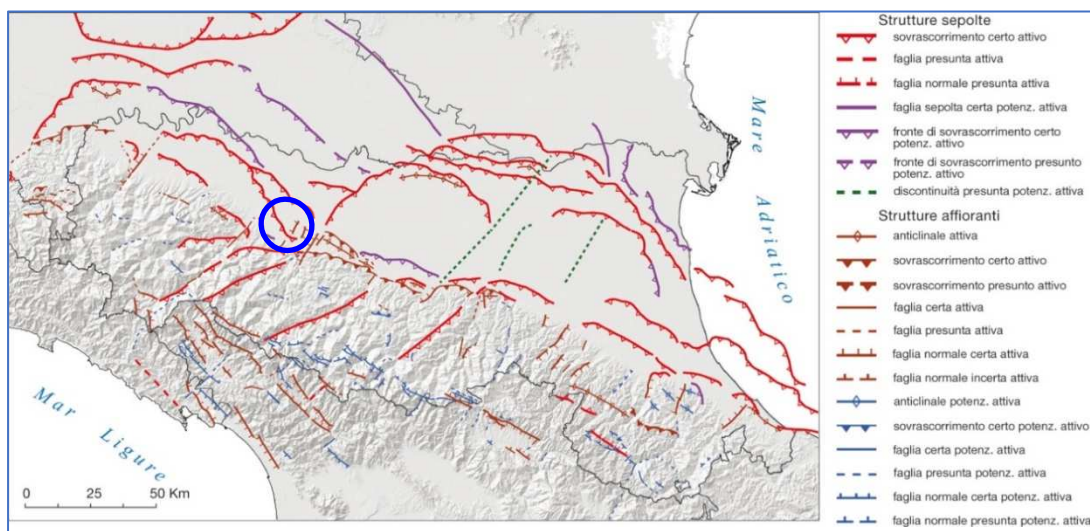


Fig. 3 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna, 2017)

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti il territorio comunale di Noceto, 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 Italiana<sup>1</sup>. Con riferimento all'immagine di Fig. 4, le sorgenti sismogenetiche prossime all'area in studio sono:

- **ITCS009 – Busseto-Cavriago** (sorgente composta) con una magnitudo massima attesa  $M_w = 6,8$
- **ITCS045 – San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro** (sorgente composta) con magnitudo massima attesa  $M_w = 7,2$

<sup>1</sup> 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	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	5 di 49

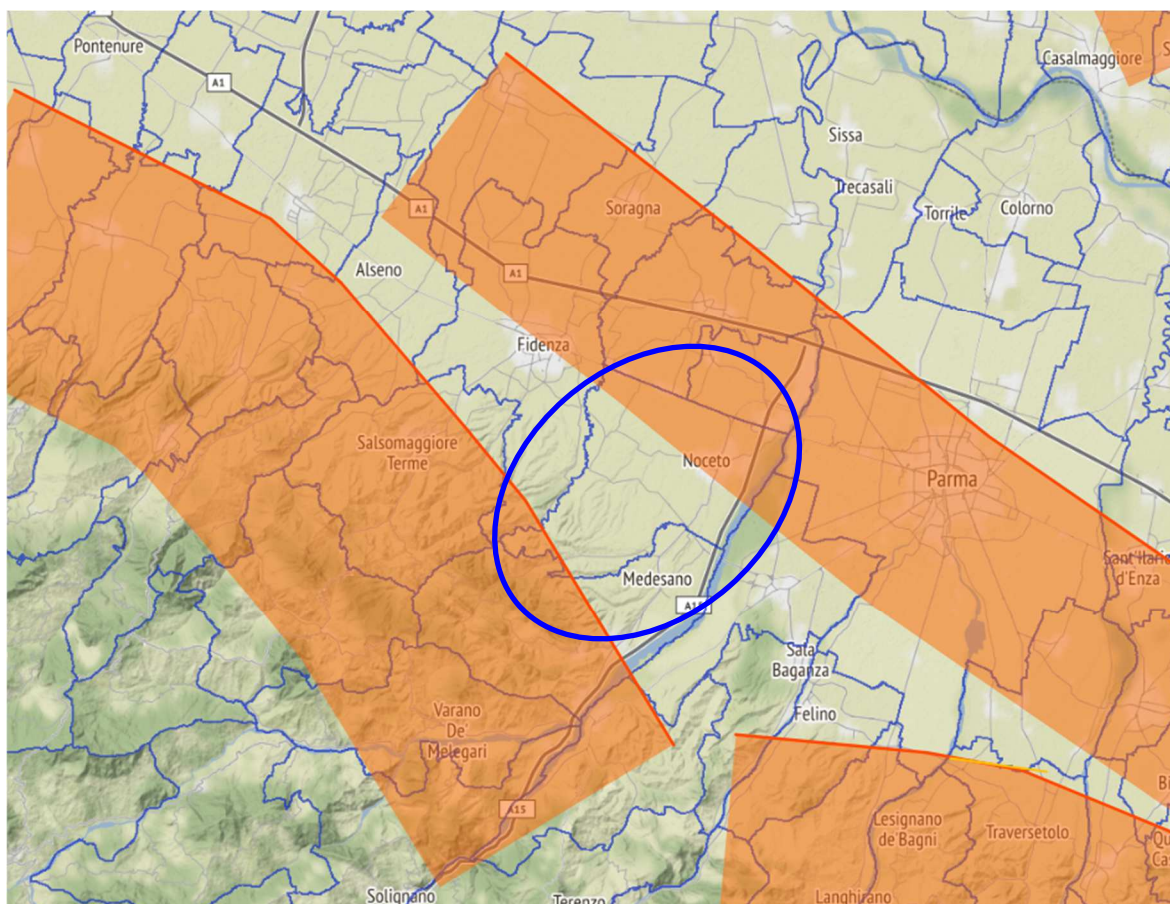


Fig. 4 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche da DISS 3.3.0. Il cerchio blu individua approssimativamente il territorio del Comune di Noceto

Con riferimento alla Zonazione sismogenetica ZS9 dell'INGV, il territorio comunale di Noceto ricade nella zona all'interno della zona sismogenetica 913 (Fig. 5), che è caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW con meccanismi trascorrenti nelle zone di svicolo, che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a  $M_{wmax} = 6,14$ .





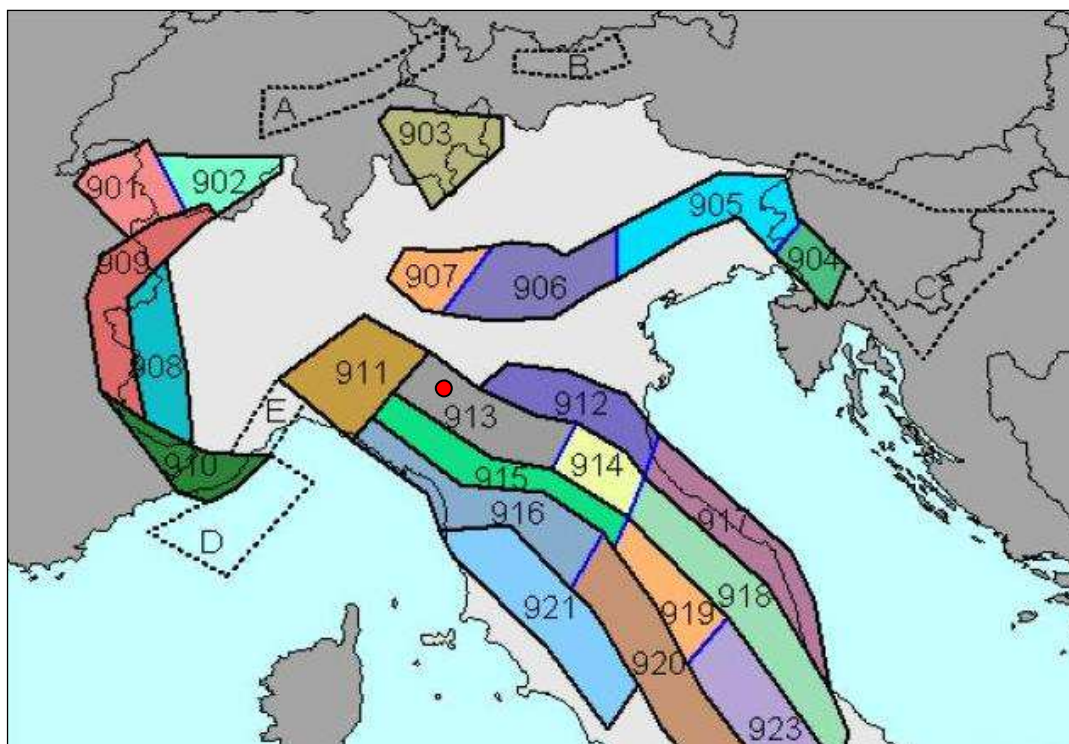


Fig. 5 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - INGV). Il punto rosso segna approssimativamente il Comune di Noceto.

Nella mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta a cura dell’INGV la pericolosità di ciascuna zona è espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi contraddistinti da  $V_s > 800$  m/s.

Il territorio in esame ricade in un’area caratterizzata da un’accelerazione sismica orizzontale massima  $a_g$  pari a 0,125-0,175 g (Fig. 6).

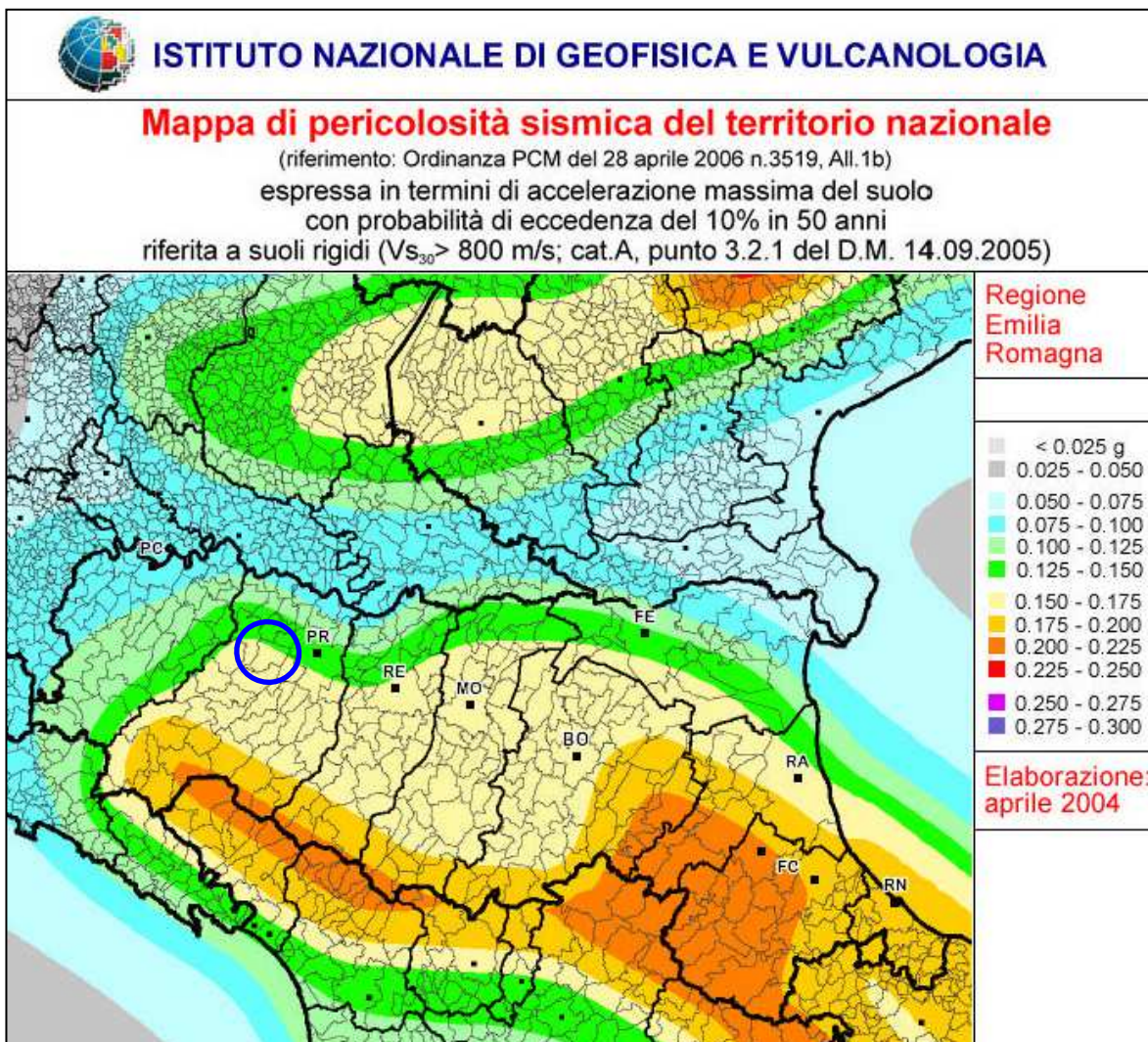


Fig. 6 - Estratto della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Il cerchio di colore blu individua il Comune di Noceto

## 2.2 STORIA SISMICA

La storia sismica del Comune di Noceto 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.

Secondo quanto riportato in DBMI15 v4.0, la storia sismica di Noceto è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 7, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di essi, 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 ( $N_p$ ), l'intensità massima epicentrale in scala MCS ( $I_0$ ) e la magnitudo momento ( $M_w$ ).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	8 di 49

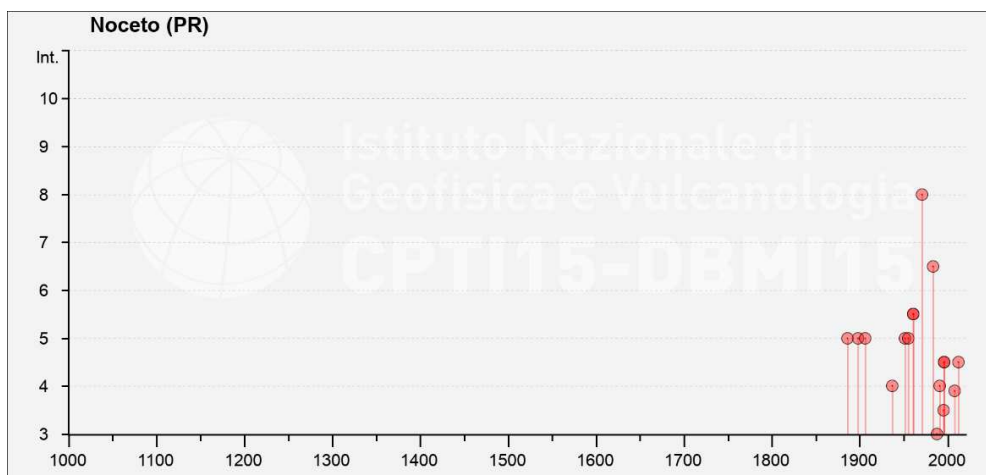


Fig. 7 – Eventi sismici di maggior intensità registrati nel Comune di Noceto. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
6-7	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
5-6	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
5-6	1961	08	14	01	03	0	Parmense	14	5-6	4.47
5	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
5	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
5	1906	08	25	03	11		Parmense	31	5	4.25
5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
5	1955	03	12	06	57	0	Parmense	15	5	4.15
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4-5	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
4-5	2012	01	25	08	06	3	Pianura emiliana	25	5-6	4.98
4	1937	09	17	12	19	0	Parmense	34	7	4.77
4	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
F	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36
3-4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57

<b>I [MCS]</b>	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
<b>Data</b>	Data del terremoto
<b>Ax</b>	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
<b>NMDP</b>	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
<b>Io</b>	Intensità macrosismica epicentrale, da CPT115, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
<b>Mw</b>	Magnitudo momento, da CPT115

Tab. 1 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Noceto 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

Dall'analisi di Fig. 7 e Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito e osservato a Noceto si è verificato il 15/07/1971 con un'intensità al sito dell'8° grado della scala MCS.

### 2.3 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 Noceto è stato classificato sismico in ZONA 3. In precedenza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Noceto risultava non classificato.

Con la DGR n° 1164/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna", il Comune di Noceto è stato confermato sismico in ZONA 3 (Fig. 8).

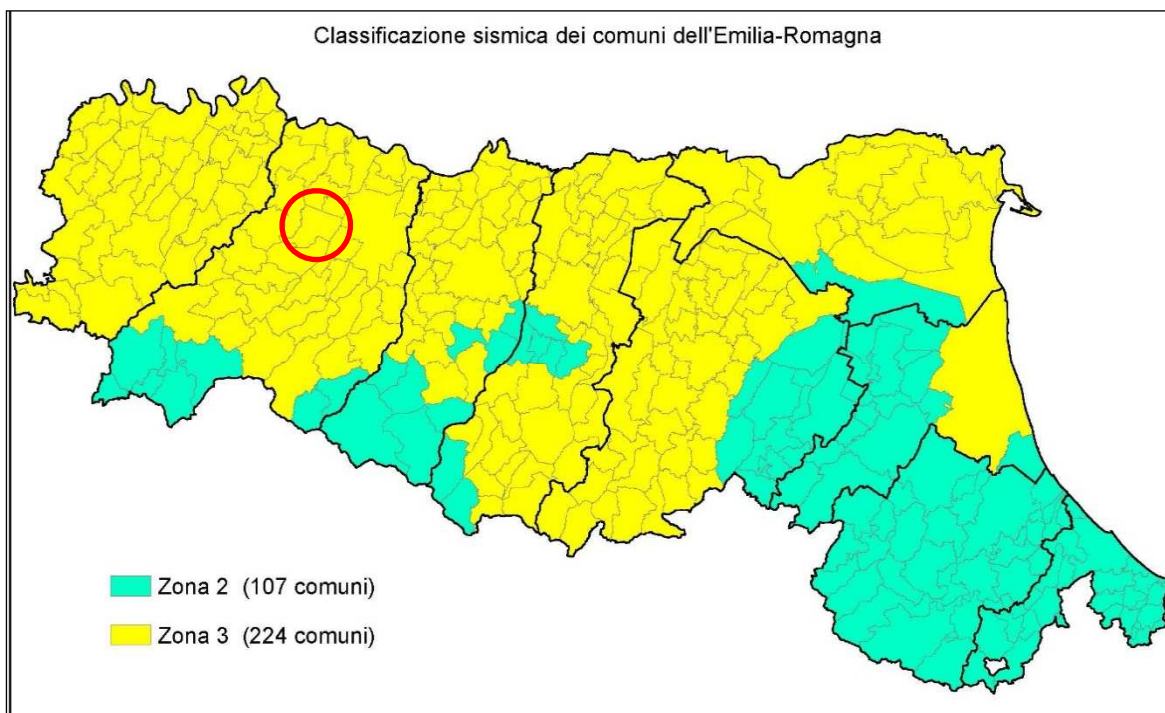


Fig. 8 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna di cui alla DGR 1164 del 23.07.2018. Regione Emilia-Romagna. Il cerchio rosso individua il Comune di Noceto

### 3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

#### 3.1 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

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.

I dati acquisiti sono andati ad integrare il database geognostico inizialmente messo a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Una volta completato il quadro dei dati disponibili, è stata pianificata e condotta una specifica campagna di indagini integrative. Tale campagna è consistita nell'esecuzione di n° 18 misure di microtremori a stazione singola HVSR e di n° 2 prospezioni sismiche tipo MASW.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*).

In Tab. 2 è rappresentato il quadro d'insieme delle prove acquisite ricadenti nel territorio comunale o appositamente realizzate nelle aree interessate dal secondo e dal terzo livello d'approfondimento.

Prove in sito	prove MS2	Archivio UTC e prove MS3	Totale
Sondaggi a carotaggio continuo	3	5	8
Sondaggi a distruzione di nucleo	2	8	10
Saggi esplorativi con escavatore	-	8	8
Prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DS)	2	40	42
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)	-	12	12
Prove penetrometriche dinamiche medie (DN)	-	2	2
Prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)	-	1	1
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	13	88	101
MASW	8	29	37
RE.MI.	11	-	11
Stazione microtremore a stazione singola (HVSR)	28	49	77
Down Hole (DH)	-	1	1
Cross Hole (CH)	-	2	2
Pozzi per acqua		56	56

Tab. 2 – Prove in sito disponibili per il Comune di Noceto

L'ubicazione dei dati stratigrafici e geofisici acquisiti è riportata nella Carta delle indagini in scala 1:4.000.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	11 di 49

## 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, con particolare riferimento all'individuazione della profondità del substrato geologico.

Per quanto concerne il modello generale del sottosuolo del Comune di Noceto, in questa sede si è fatto riferimento a quanto già definito e descritto nello studio di Microzonazione sismica di secondo livello, al quale si rimanda per particolari ed approfondimenti.

 <i>Studio di geologia</i> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	12 di 49

## 5. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, come descritto in precedenza, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e di archivio disponibili, sono stati condotti puntuali rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica fruibile. In seguito, tenendo conto dell'insieme degli elementi acquisiti, è stata predisposta ed eseguita una campagna di rilievi integrativi e di controllo. A conclusione di questa fase sono stati predisposti i seguenti elaborati:

- **Carta delle indagini (scala 1:4.000)** - In questa carta è riportata l'ubicazione, delle indagini in sito acquisite o realizzate in questa sede, distinte in base alla specifica tipologia (sondaggi, penetrometrie, prove geofisiche, ecc.). In considerazione dell'estensione del territorio indagato, la carta è stata suddivisa in due tavole: una relativa al Capoluogo e la seconda relativa alle frazioni.
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:5.000)** - Tale carta prende in esame i terreni di copertura, il substrato geologico, le instabilità dei versanti, gli elementi geologici, morfologici e idrogeologici e gli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura. In questa carta sono inoltre riportate le tracce delle sezioni geologiche redatte nel corso dello studio di secondo livello, a cui si rimanda per la consultazione.
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:5.000)** - In questa carta sono riportate le ubicazioni dei punti ove sono state eseguite le indagini sismiche HVSR, con simbolicamente rappresentato il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*). A fianco di ciascun simbolo è riportata la frequenza relativa al primo picco significativo e, qualora presente, è indicata anche la frequenza di un secondo picco (*frequenza secondaria*). Le misure inoltre sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze e dell'ampiezza del picco.
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:5.000)** - In questa carta sono state individuate n° 8 zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, n° 1 zona di attenzione per instabilità di versante e i punti di misura di rumore ambientale.

Successivamente è stato predisposto il seguente elaborato:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	13 di 49

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:5.000)** - In questa carta è stata riportata l'ubicazione delle prove geofisiche e a fianco di ciascuna prova è stato riportato il rispettivo valore di  $V_{s30}$  e/o  $V_{sH}$  in m/s.

Infine si è proceduto con la terza ed ultima fase di lavoro, in cui è stata riproposta un'analisi semplificata nelle aree sottoposte a microzonazione sismica di Livello 2 ed un'analisi approfondita per gli areali sottoposti a microzonazione sismica di Livello 3. L'analisi approfondita è stata svolta per due microzone del Capoluogo, di particolare interesse ai fini di Protezione Civile, ed ha portato alla determinazione dello spettro di risposta in superficie e dei fattori di amplificazione.

Gli elaborati prodotti in questa fase sono i seguenti:

- **Carte di microzonazione sismica (scala 1: 5.000)** - In queste carte, basate su quanto predisposto nell'indagine di secondo livello, sono stati riportati gli approfondimenti realizzati nell'ambito del presente studio. Più in particolare sono stati predisposti i seguenti elaborati cartografici:
- Carta di microzonazione sismica – FPGA
  - Carta di microzonazione sismica – FA<sub>0,1 - 0,5 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – FA<sub>0,4 - 0,8 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – FA<sub>0,7 - 1,1 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – FH<sub>0,1 - 0,5 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – FH<sub>0,5 - 1,0 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – H<sub>SM</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – H<sub>0,4 - 0,8 s</sub>
  - Carta di microzonazione sismica – H<sub>0,7 - 1,1 s</sub>

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	14 di 49



## 6. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 6.1 Carta delle indagini

Nell'aggiornamento della Carta delle indagini sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione, unitamente ai dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale e a stratigrafie di pozzi reperite nel DataBase geognostico della Regione Emilia-Romagna.

Esse sono state distinte in base alla tipologia (Fig. 9).


















	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
	Prova penetrometrica in foro
	Sondaggio a distruzione di nucleo
	Prova sismica in foro tipo Downhole
	Prova sismica in foro tipo Crosshole
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica
	Prova penetrometrica dinamica super pesante
	Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova penetrometrica dinamica media
	Prova penetrometrica dinamica leggera
	Pozzo pe acqua
	Stazione microtremore a stazione singola
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	MASW
	Prova REfractionMicrotremors

Fig. 9 – Legenda della Carta delle indagini

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri dell'area oggetto di microzonazione sismica, ove sono state indirizzate le analisi, ma ugualmente utili a definire le caratteristiche litostratigrafiche e/o geofisiche dei terreni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	15 di 49

## 6.2 Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica, prodotta in scala 1:5.000, sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Pertanto la legenda della carta geologico-tecnica è diventata la seguente (Fig. 10):




### Terreni di copertura

CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia

### Substrato geologico

GR	Granulare cementato
COS	Coesivo sovraconsolidato stratificato

### Instabilità di versante

	Scorrimento - attiva
	Colata - quiescente
	Complessa - quiescente

### Elementi tettonico strutturali

△ - △ -	Faglia inversa non attiva (incerta)
---------	-------------------------------------

### Elementi geologici e idrogeologici

10 ●	Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (con indicazione della profondità (m) del substrato)
10 ●	Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (con indicazione della profondità (m) raggiunta)
10 ●	Presenza della falda in aree con sabbie e/o ghiaie (con indicazione della profondità (m) del tetto della falda)
—	Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

### Ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura

es	Argini / barre / canali
tf	Terrazzo fluviale

Fig. 10 – Legenda della Carta geologico tecnica

	Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
		RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	16 di 49

### 6.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili integrati con quelli di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni alla scala 1:5.000.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

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) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

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 d'impedenza più o meno alto.

In Fig. 11 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	17 di 49

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. 11 – Legenda della Carta delle frequenze

#### 6.4 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 tale elaborato, prodotto in scala 1:5.000, le porzioni di territorio comunale microzionate vengono distinte a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

- 1) **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido. Tale categoria non è presente sul territorio comunale;
- 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. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello;
- 3) **zone suscettibili di 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 instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni (queste ultime non presenti sul territorio nocetano) e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

La categoria dominante è quella delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono stati identificate 9 microzone omogenee ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo (cfr. Fig. 12):

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	18 di 49

- Zona 1 - successione stratigrafica costituita da una ridotta coltre di depositi fini argilloso-limosi dello spessore di 1-2 metri, che ricopre sedimenti ghiaiosi di spessore pluridecamentrico con subordinate intercalazioni fini;
- Zona 2 - successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi fini argilloso-limosi di consistenza medio-bassa avente spessore di 3-5 metri, che ricopre sedimenti ghiaiosi di spessore pluridecamentrico con subordinate intercalazioni fini;
- Zona 3 - successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi fini argilloso-limosi di consistenza media avente spessore di 5-7,5 metri, che ricopre sedimenti ghiaiosi di spessore pluridecamentrico con subordinate intercalazioni fini;
- Zona 4 - successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi fini argilloso-limosi di consistenza medio-bassa avente spessore di 7,5-10 metri, che ricopre sedimenti ghiaiosi di spessore pluridecamentrico con subordinate intercalazioni fini;
- Zona 5 - successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi fini argilloso-limosi di buona consistenza e dello spessore di 7,5-10 metri, in gran parte ricadente su terrazzo alluvionale di età pleistocenica, che ricopre sedimenti ghiaiosi di spessore pluridecamentrico con subordinate intercalazioni fini;
- Zona 6 - successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi fini argilloso-limosi dello spessore di 8-12 metri, ricadente su terrazzo alluvionale di età pleistocenica, che ricopre sedimenti ghiaioso-argillosi di spessore pluridecamentrico con intercalazioni argilloso-sabbiose;
- Zona 7 - successione stratigrafica costituita da depositi argilloso-sabbiosi dello spessore medio di 20-25 m con subordinate intercalazioni ghiaiose, ricadente su terrazzo alluvionale di età pleistocenica, che ricoprono un substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s) costituito da depositi marini di sabbie-argillose;
- Zona 8 - successione stratigrafica costituita da depositi argilloso-limosi dello spessore di 8-10 m con subordinate intercalazioni ghiaiose, che ricoprono un substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s) costituito da depositi marini di argille sovraconsolidate;
- Zona 9 - substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s) affiorante o subaffiorante costituito da depositi marini di sabbie-argillose o di argille sovraconsolidate.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	19 di 49

In Fig. 12 sono rappresentate le colonne stratigrafiche sintetiche che caratterizzano le MOPS delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

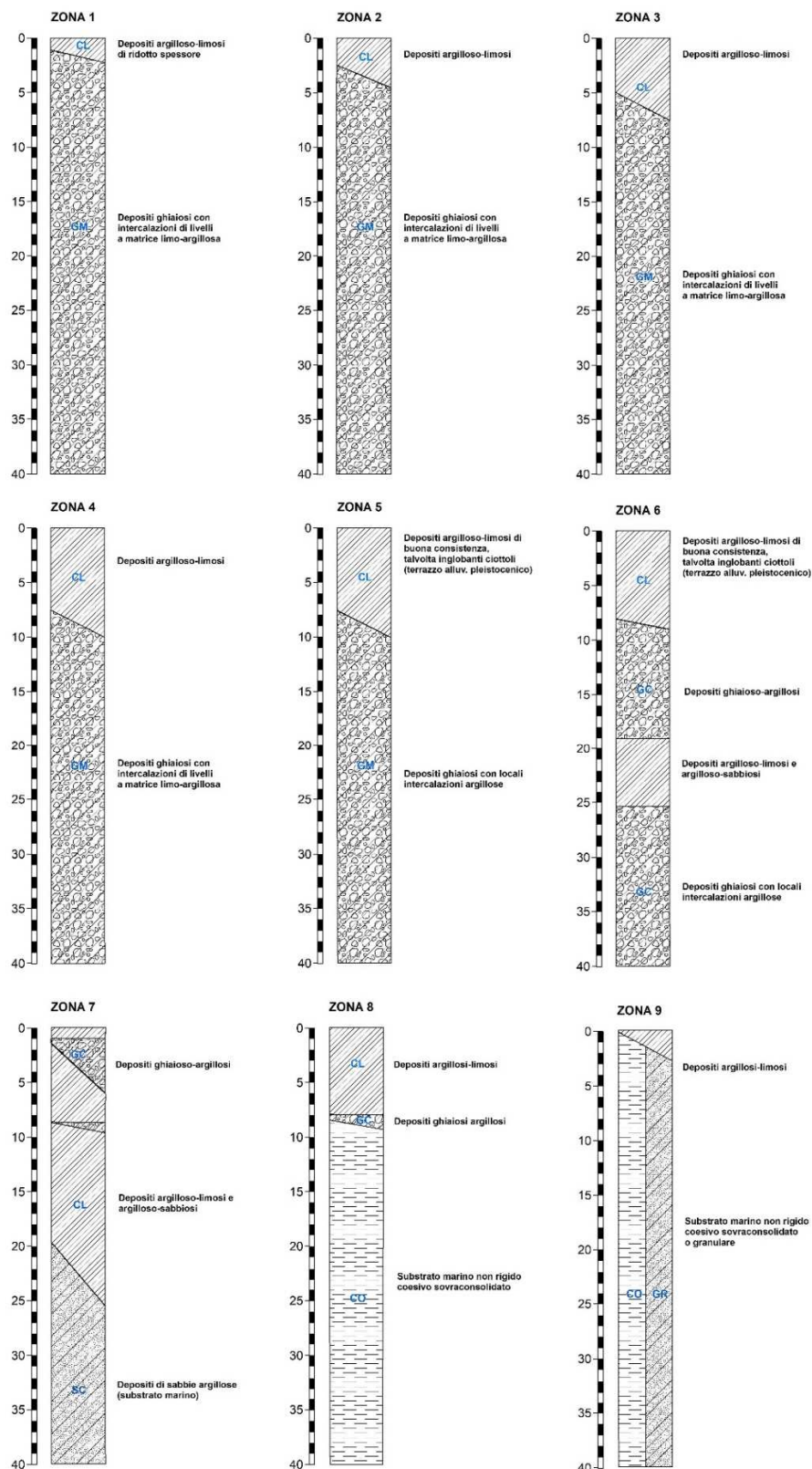


Fig. 12 - Colonne stratigrafiche sintetiche relative alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Come ricordato in premessa, grazie all’abbondante quantità di nuovi dati litostratigrafici reperiti nell’archivio comunale e alle indagini di nuova esecuzione, è stata condotta una sostanziale revisione delle MOPS rispetto a quanto definito nel Livello 2.

In un settore di limitata estensione del territorio comunale (frazioni di Costamezzana e Cella) sono state cartografate due zone di attenzione per instabilità, riconducibile a fenomeni di instabilità di versante quiescente come di seguito descritta (cfr. Fig. 13):

- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 10. Coltre di frana di spessore 3-5 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi, che ricopre depositi argilloso-sabbiosi dello spessore medio di 20 m con subordinate intercalazioni ghiaiose, a loro volta sovrapposti ad un substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s) costituito da depositi marini di sabbie-argillose;
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 11. Coltre di frana di spessore 3-5 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi, sovrapposti ad un substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s) costituito da depositi marini di sabbie-argillose o di argille sovraconsolidate.

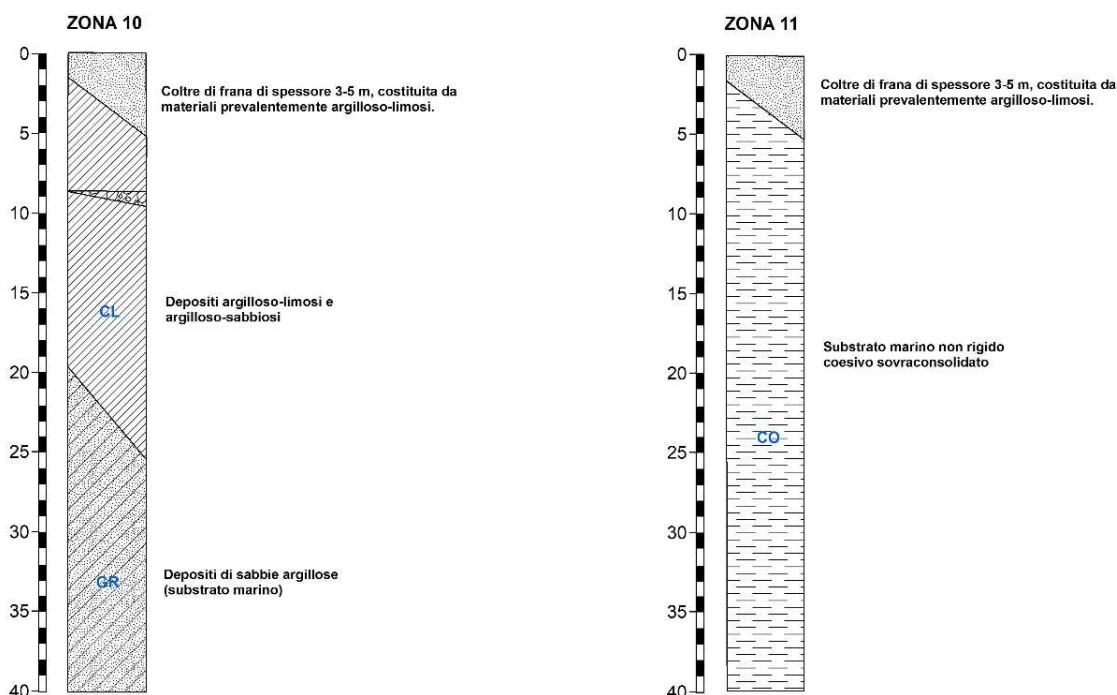


Fig. 13 - Colonna stratigrafica sintetica relativa alla zona di attenzione per instabilità di versante

Infine nella carta delle MOPS sono stati riportati i punti di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di F0.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	21 di 49

## 6.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, per tutte le aree oggetto di studio è stata redatta la Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) alla scala 1:5.000.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento, anche alla luce delle nuove indagini, di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello. In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSr, MASW) e indicando il corrispondente valore di  $V_{sH}$  (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*)

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*);

o di  $V_{s30}$  (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) 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).

In Fig. 14 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico:





	Downhole con indicato il valore di $V_{s30}$ e $V_{sh}$ in m/s
	Crosshole con indicato il valore di $V_{s30}$ e $V_{sh}$ in m/s
	MASW con indicato il valore di $V_{s30}$ e $V_{sh}$ in m/s
	RE.MI. con indicato il valore di $V_{s30}$ e $V_{sh}$ in m/s

Fig. 14 – Legenda della Carta delle velocità delle onde di taglio S

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	22 di 49



## 7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

In altre parole, le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al.,1999).

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione del modello geofisico del sottosuolo;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica in termini di:
  - a. Serie temporali
  - b. Spettri di risposta elastica in superficie

Nel presente studio la procedura di analisi di RSL è stata condotta con metodo monodimensionale in due microzone (MOPS) del Capoluogo (Fig. 15), che risultano di rilievo strategico ai fini della Protezione Civile:

- MOPS 2002: in quanto vi sono insediati la Pubblica Assistenza Croce Verde di Noceto, la Scuola Secondaria di 1° grado "Biagio Pelacani" con relativa palestra, la Scuola Elementare "Renzo Pezzani", la Scuola dell'Infanzia "Bruno Munari", il Palazzetto dello Sport "7 Fratelli Cervi", il bocciodromo e il Complesso sportivo comunale costituito da numerosi campi per rugby, calcio, calcetto e tennis;
- MOPS 2003: in cui sono insediati il Municipio, la Caserma dei Carabinieri e la Casa della Salute.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	23 di 49

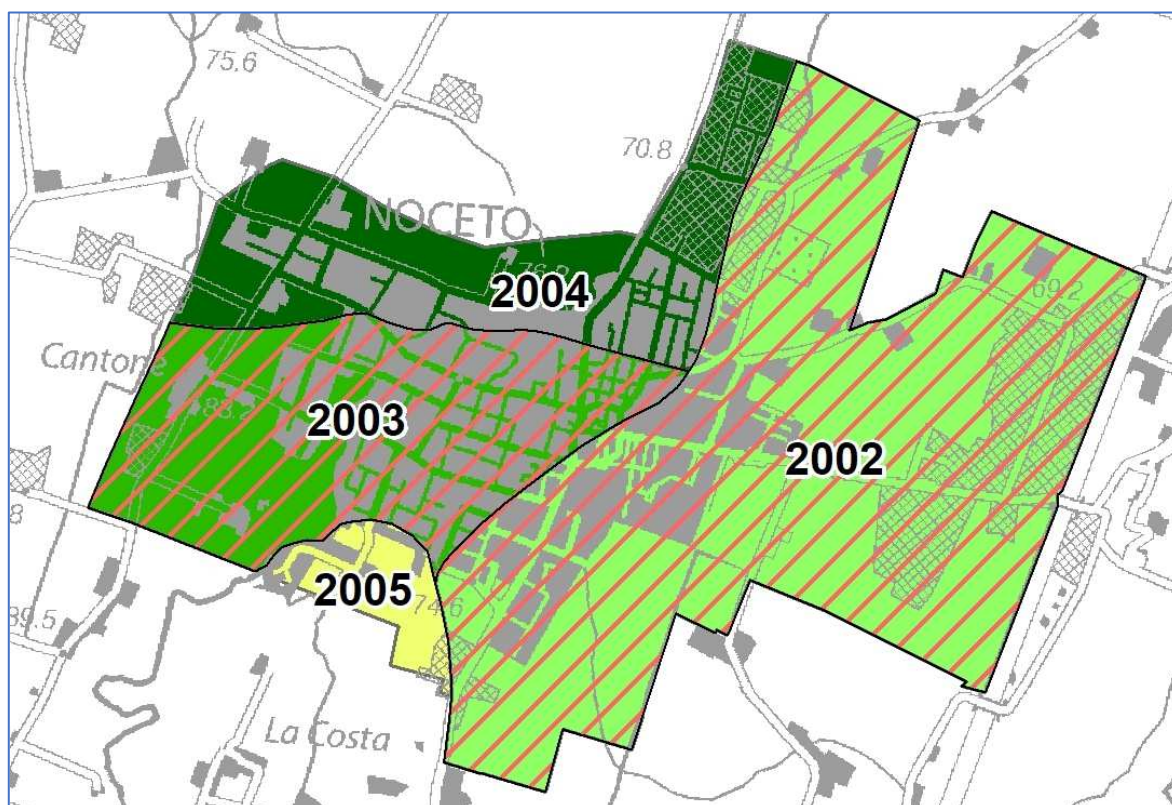


Fig. 15 – Ubicazione MOPS oggetto di analisi di risposta sismica locale (in rigato rosso)

Di seguito verrà illustrato il modello adottato, successivamente verrà descritta la procedura di analisi di RSL e infine i risultati dell'analisi.

## 7.1 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- densità dei litotipi indagati;
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidità ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il *bedrock* sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s, oppure un passaggio tra due materiali caratterizzato da elevato contrasto di impedenza sismica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	24 di 49

### 6.1.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche della MOPS 2002 sono stati utilizzati i dati di prove penetrometriche e quelli rilevati dal sondaggio a carotaggio continuo eseguito presso la scuola Biagio Pelacani (cod. 034025P177SC268), spinto fino alla profondità di -35,00 m da p.c.. Tali indagini hanno evidenziato la presenza di terreni superficiali argilloso-limosi di limitato spessore (2,5÷4 m), sovrapposti a depositi ghiaiosi a differente grado di addensamento.

Per la MOPS 2003 sono stati utilizzati invece dati di prove penetrometriche e stratigrafie di pozzi, che hanno permesso di accertare uno spessore maggiore dei depositi fini superficiali (5÷7,5 m) che ricoprono i sedimenti ghiaiosi.

### 6.1.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico

Per quanto riguarda la velocità delle onde S fino alla massima profondità indagata dal sondaggio eseguito nella MOPS 2002 presso la scuola Biagio Pelacani, si è fatto riferimento alle misure effettuate con la prova Down-Hole (cod: 034025P177DH291) per l'individuazione del bedrock sismico.

Tale prova ha permesso di individuare un sismostrato con velocità delle onde di taglio  $V_S > 800$  m/s alla profondità di circa -19,00 m da p.c., costituito da un orizzonte ghiaioso con caratteristiche di bedrock sismico.

Per la MOPS 2003 una indagine sismica REMI eseguita presso il municipio nell'ambito dello studio MS2 (cod: 034025L11REMI11), ha evidenziato la presenza di un sismostrato con  $V_S > 800$  m/s alla profondità di circa -16,00 m da p.c..

### 6.1.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D. Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D.

Per i terreni superficiali argilloso-limosi la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G0) in funzione della deformazione di taglio ( $\gamma$ ), è stata ottenuta attraverso n° 1 prova in colonna risonante (RC) sul campione prelevato nei depositi fini superficiali in occasione del sondaggio eseguito presso la scuola Biagio Pelacani.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	25 di 49

Tale prova ha fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G<sub>0</sub> mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{\left[-\lambda \frac{G}{G_0}\right]}$$

dove:

G/G<sub>0</sub> = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

α, β, η, λ = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati (X2).

In Fig. 16 è riportato il grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione di terreno.

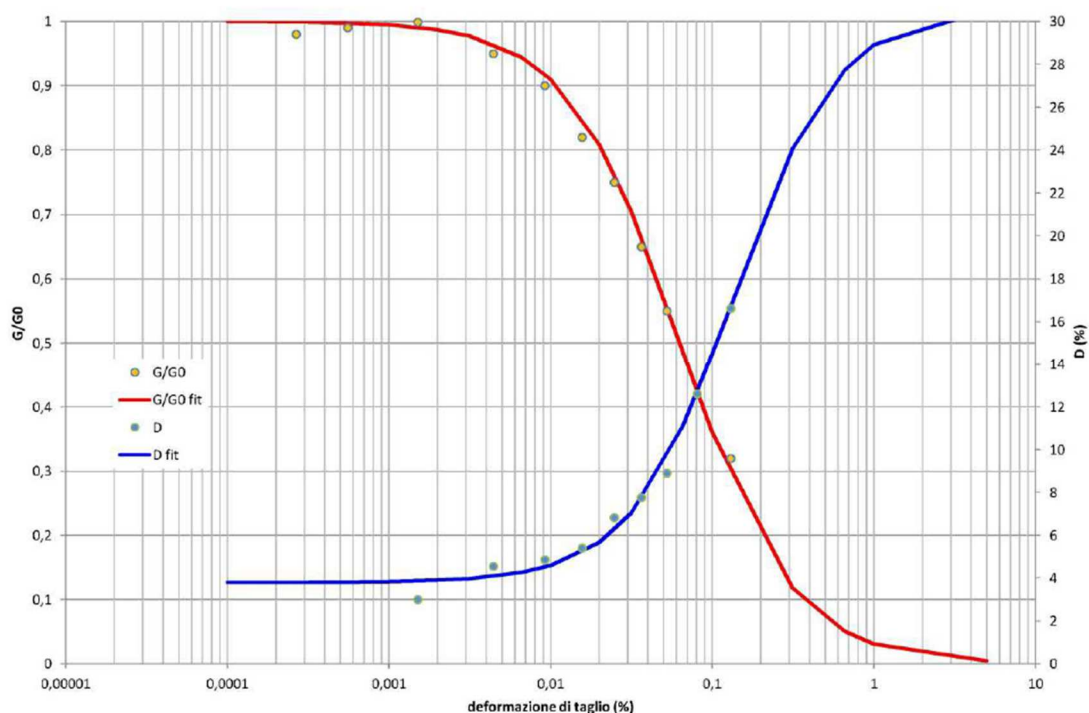


Fig. 16 – Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione Scuola Pelacani

Per i depositi ghiaiosi è stata viceversa utilizzata la curva di letteratura determinata da Rollins (1998)<sup>2</sup>, come riportato in Fig. 17.

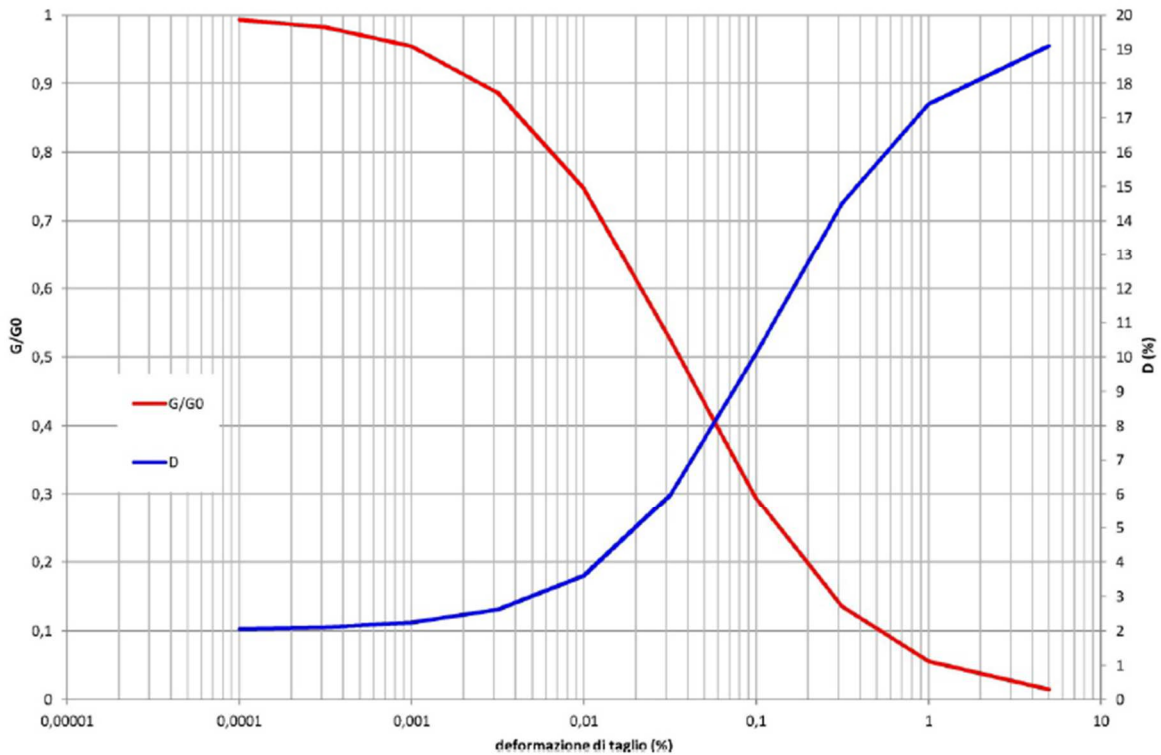


Fig. 17 – Grafico delle curve di Rollins per depositi ghiaiosi

In Tab. 3 sono riportati i risultati sintetici relativi ai parametri delle curve utilizzate nella RSL.

Tipo di curva	Litologia	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
S1C1	Argilla con limo	31,72	1,25	30,82	2,09
Rollins	Ghiaiosa	17,02	0,85	19,75	2,28

Tab. 3 – Parametri curve di variazione del rapporto di smorzamento e del decadimento del modulo di taglio normalizzato

#### 6.1.4 Descrizione del modello

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e geofisiche del sottosuolo, è stato costruito il modello riportato in Tab. 4, riferito ad un profilo stratigrafico tipo della MOPS 2002.

<sup>2</sup> Rollins K.M., Evans M., Diehl N. and Daily W. – 1998 – Shear modulus and damping relationships for gravels. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg., 124 (5), 396-405.

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	0.00	-3.50	3,50	1900	180.00	Campione S1C1
Ghiaia 1	-3.50	-10,50	7,00	1950	462.00	Rollins
Ghiaia 2	-10,50	-19,50	9.00	2000	702.00	Rollins
Bedrock	-19,50	-	-	2100	888.00	-

Tab. 4 – Modello sismostratigrafico e caratteristiche meccaniche degli strati della MOPS 2002

L'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) ai singoli sismostrati è avvenuta regolarizzando il profilo di Vs ottenuto dalla prova Down-Hole (Fig. 18).

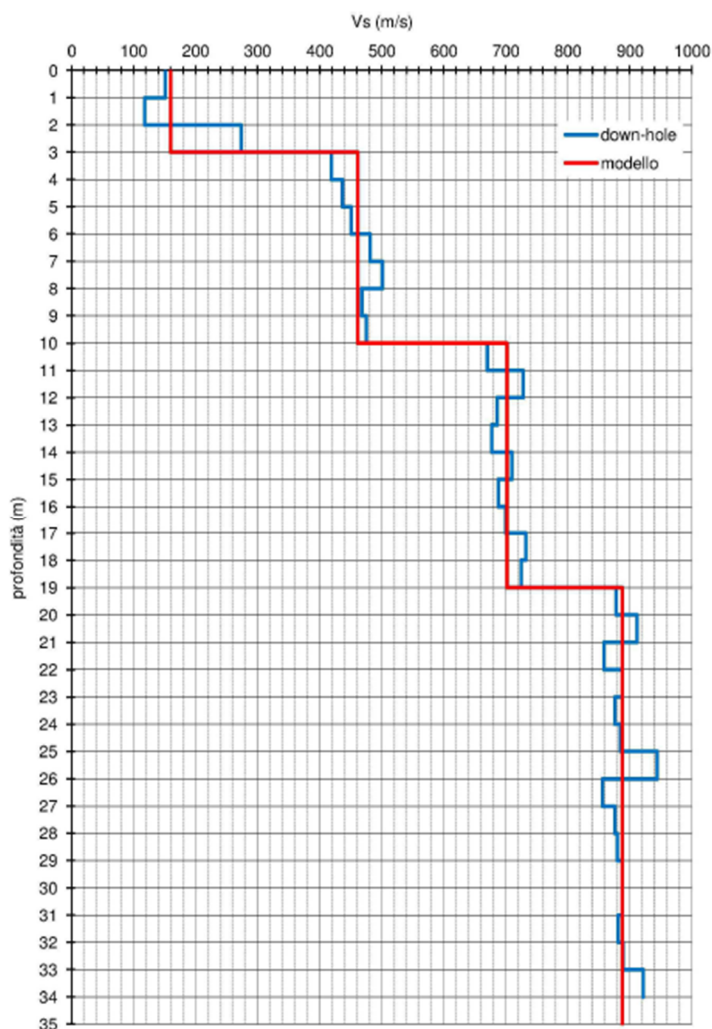


Fig. 18 – Rappresentazione grafica del modello geofisico del sottosuolo della MOPS 2002

Per la MOPS 2003 il modello sismostratigrafico è riportato in Tab. 5:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	28 di 49

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	0.00	-7.00	7.00	1900	190.00	Campione S1C1
Ghiaia 2	-7.00	-16.00	9.00	20.00	722.00	Rollins
Bedrock	-16.00	-	-	2100	871.00	-

Tab. 5 – Modello sismostratigrafico e caratteristiche meccaniche degli strati della MOPS 2003

L'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) ai singoli sismostrati è avvenuta regolarizzando il profilo di Vs ottenuto dalla prova REMI (Fig. 19).

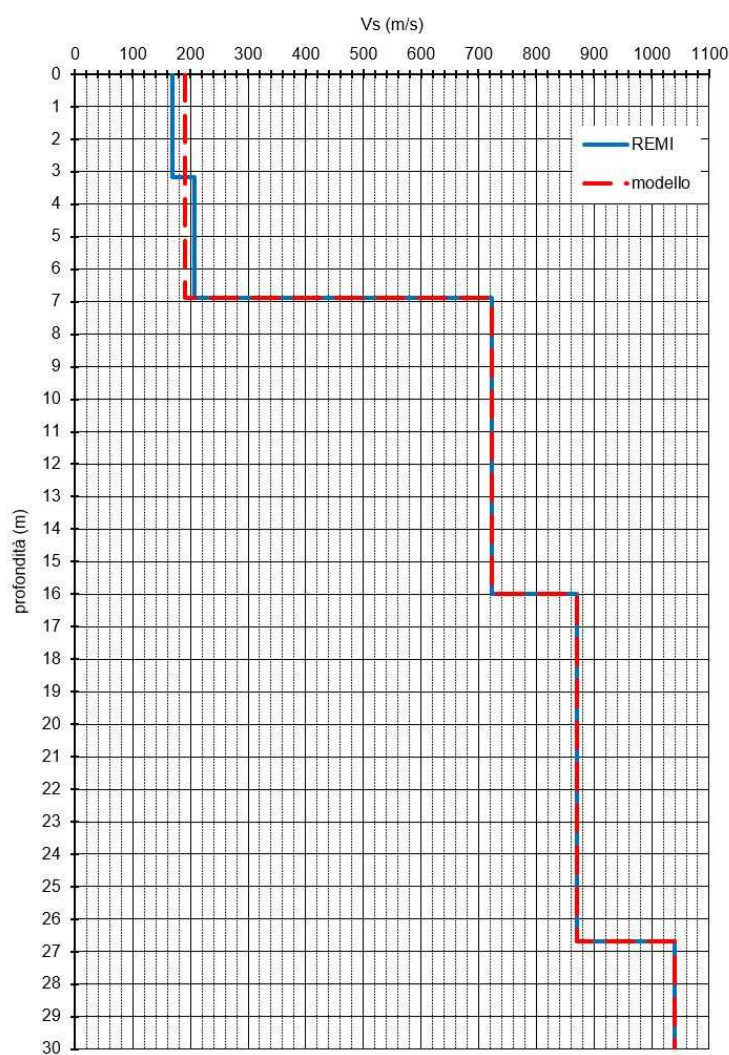


Fig. 19 – Rappresentazione grafica del modello geofisico del sottosuolo della MOPS 2003

### 6.1.5 Azioni sismiche in ingresso

Quali segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla piattaforma WebGIS sviluppata da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna nell'ambito dell'accordo "Acquisizione del servizio di rilevamento a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari e aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento"<sup>3</sup>.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati.

Il servizio fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Per il sito indagato sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino: il n° 15382.

Gli accelerogrammi sono stati estratti per tempi di ritorno di 475 anni.

Tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto per la localizzazione del sito.

M <sub>w</sub>	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6,20	29,90	2,01	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5,74	12,57	1,32	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
5,99	54,21	2,48	NGA RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
6,93	83,53	1,47	NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
6,69	38,07	1,11	NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
6,60	31,00	0,62	KiKnet SMNH100010061330.EW2
5,90	14,40	2,62	ESM IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tab. 6 – Sismi con tempo di ritorno di 475 anni

<sup>3</sup> [R.E.R. \(eucentre.it\)](http://R.E.R.(eucentre.it))

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	30 di 49



## 7.2 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 5.0.5 di STACEC.

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione monodimensionale e bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

### 6.2.1 Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	31 di 49

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 20. La tensione  $\tau$  dipende dalla deformazione  $\gamma$  e dalla sua derivata  $\dot{\gamma}$ , secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- $G$  = Modulo di taglio
- $\eta$  = viscosità del mezzo

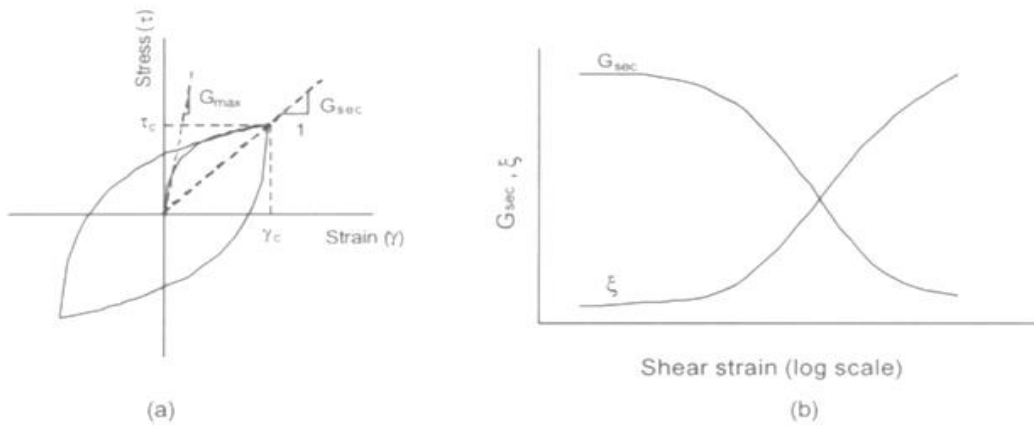


Fig. 20 – Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 20. Il modulo di taglio equivalente,  $G$ , è preso considerando il modulo di taglio secante  $G_s$ .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva  $G_s - \gamma$  non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva  $\tau - \gamma$  e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento  $D$ , definito come:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	32 di 49

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- $\Delta W^{dissp}$  = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- $W^{max}$  = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 20b).

### 6.2.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 21) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

$M$  = matrice di massa del sistema;

$C$  = matrice di smorzamento del sistema;

$K$  = matrice di rigidezza del sistema;

$\ddot{u}, \dot{u}, u$  = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;

$a_g$  = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo  $t_n$  e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni  $t_n$  viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

dove:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	33 di 49

$\Delta t$  = incremento temporale tra l'istante di tempo  $tn$  e  $tn - 1$

$\beta$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25

$\gamma$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50

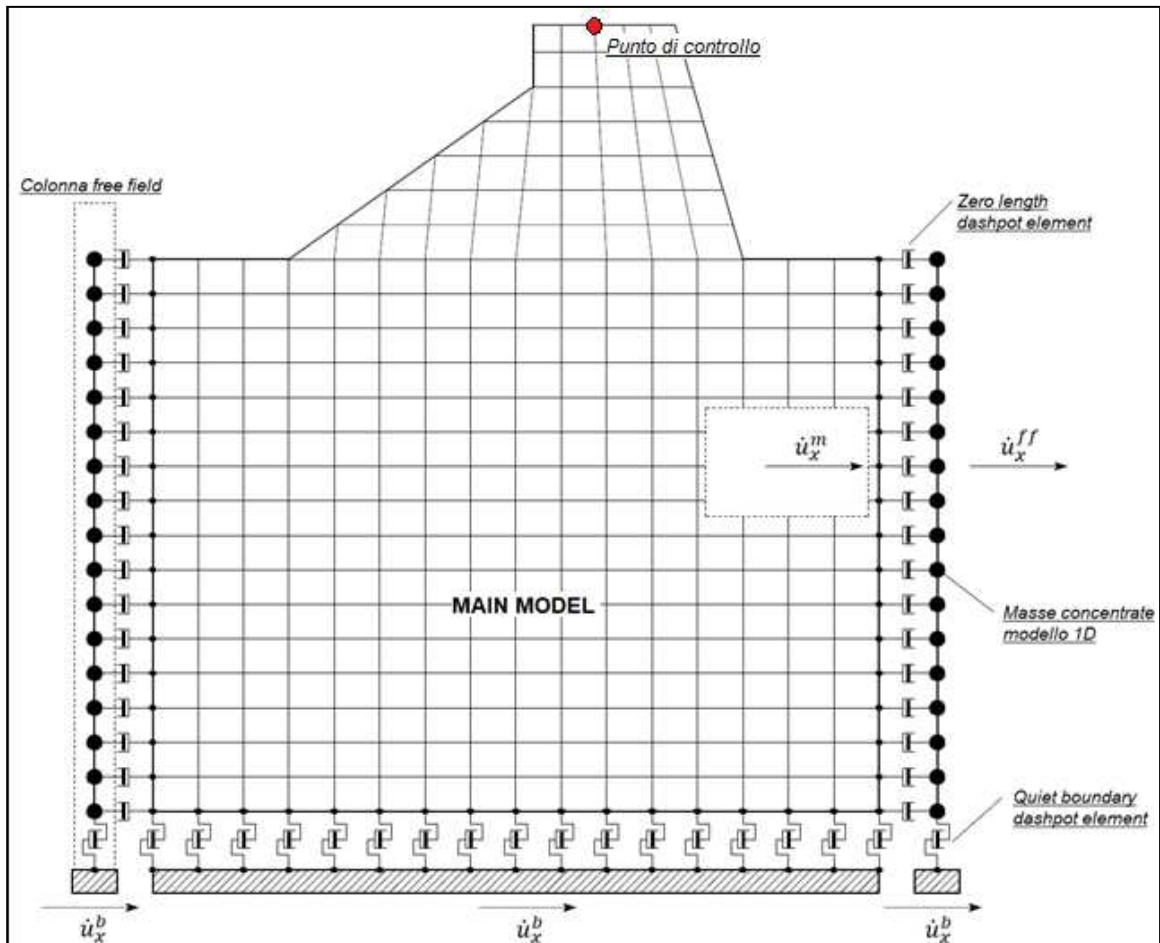


Fig. 21 – Discretizzazione FEM del terreno

### 6.2.2.1 Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$  = coefficienti di smorzamento alla Rayleigh

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$



Elaborato	Data	Agg.	Pag.
RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	34 di 49

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- $\omega_1$  = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$  con  $n = \omega_i / \omega_1$  (approssimato all'intero pari più grande) e  $\omega_i$  frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

### 6.2.3 Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

1. definizione di curve  $G = G(\gamma)$  e  $D = D(\gamma)$  per i diversi strati
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni ( $G_0$  e  $D_0$ )
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato ( $\gamma_1$ )
4. aggiornamento dei valori  $G_1 = G(\gamma_1)$  e  $D_1 = D(\gamma_1)$
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ( $\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$ )

### 6.2.4 Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM.

Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico, è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	35 di 49

### 7.3 Analisi dei risultati

I risultati della analisi condotte con il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 5.0.5 di STACEC, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire per il sito in esame:

- Gli accelerogrammi di output;
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in accelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in velocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s.

Tali fattori di amplificazione in accelerazione e velocità sono ottenuti direttamente dal programma di calcolo confrontando lo spettro medio degli accelerogrammi in input con quello ottenuto dagli accelerogrammi in output.

In Fig. 22 e 23 è riportato il grafico con gli spettri in output (in tonalità di grigio), e gli spettri medi in input (in verde) e in output (in rosso) per la MOPS 2002 e 2003.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	36 di 49

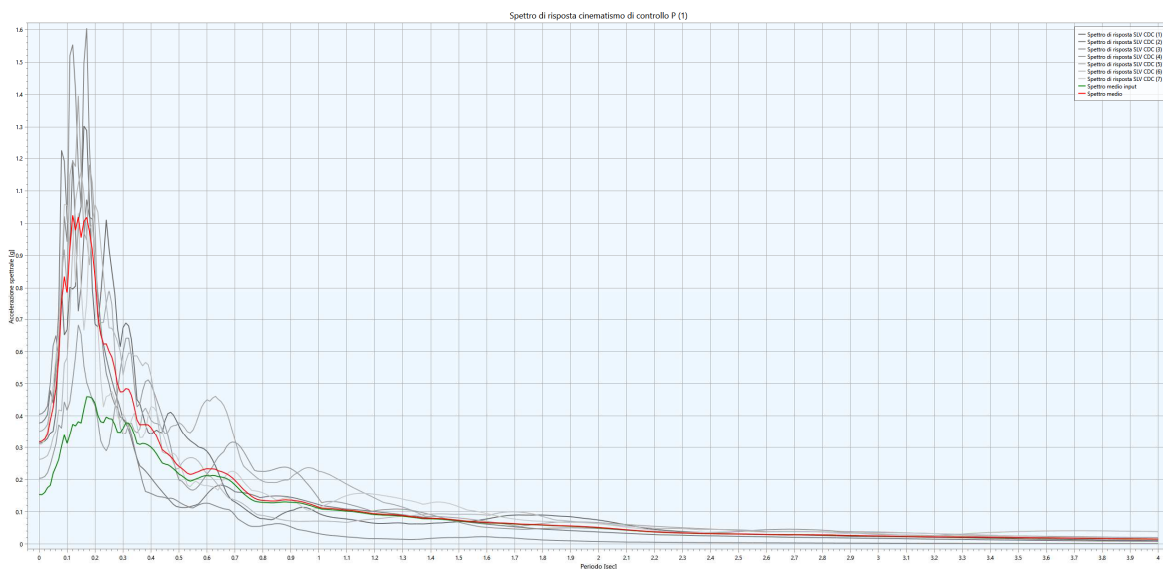


Fig. 22 – Confronto tra gli spettri in accelerazione spettro medio in accelerazione in input e lo spettro medio in accelerazione in output per la MOPS 2002

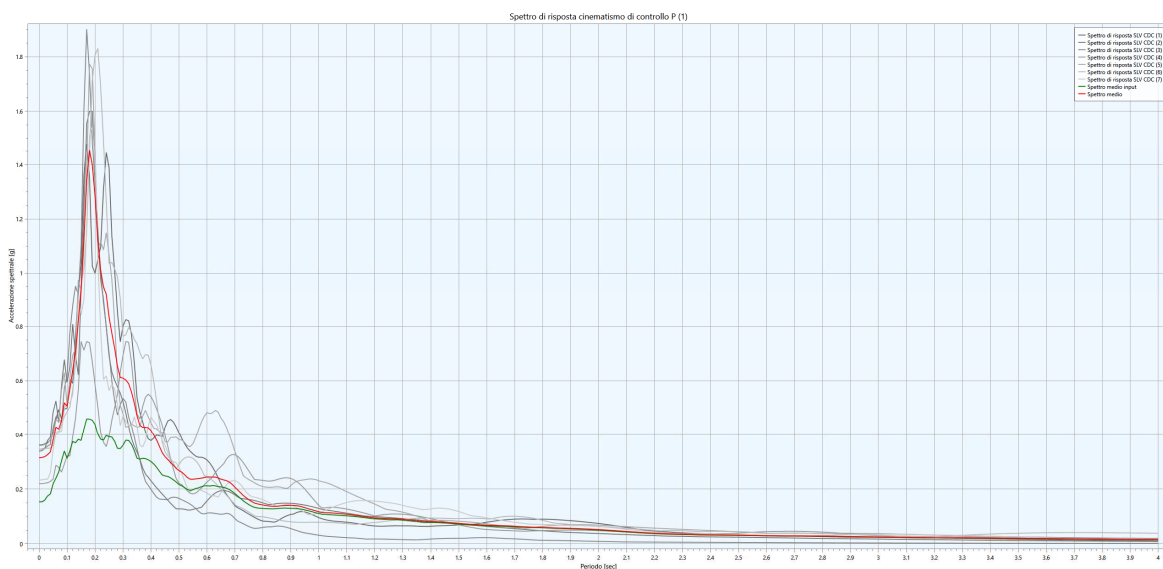


Fig. 23 – Confronto tra gli spettri in accelerazione spettro medio in accelerazione in input e lo spettro medio in accelerazione in output per la MOPS 2003

Nelle tabelle dei fattori di amplificazione, oltre a quelli ottenuti con la procedura di RSL, sono riportati, per confronto, anche i fattori di amplificazione ottenuti applicando gli abachi proposti dalla Regione Emilia Romagna per la stima semplificata dell'amplificazione e le differenze percentuali tra i valori.

In particolare per la MOPS 2002 e 2003 l'abaco di riferimento può essere considerato quello relativo alla tabella Margine tipo A.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	37 di 49

Di seguito vengono sinteticamente riportati i risultati delle analisi di risposta sismica locale per tutti i siti indagati:

- Gli accelerogrammi di output scalati sulla base del sito di indagine;
- Il grafico dello spettro elastico in accelerazione da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo corrispondente;
- Il grafico di output dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità;
- La tabella con i fattori di amplificazione calcolati, confrontati con quelli da normativa.

MOPS 2002

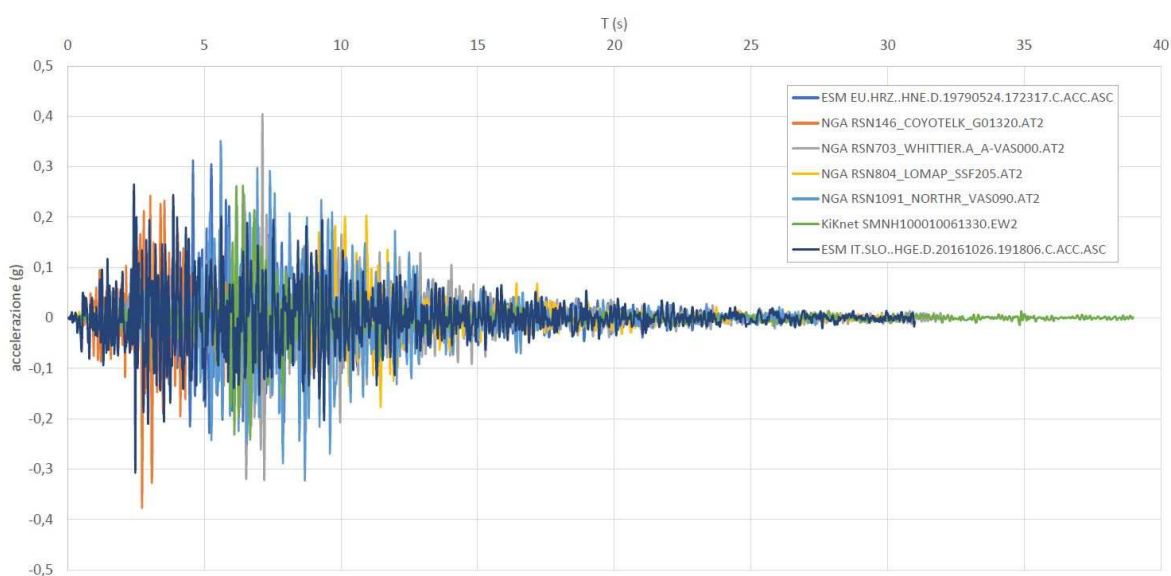


Fig. 24 – Accelerogrammi di output MOPS 2002



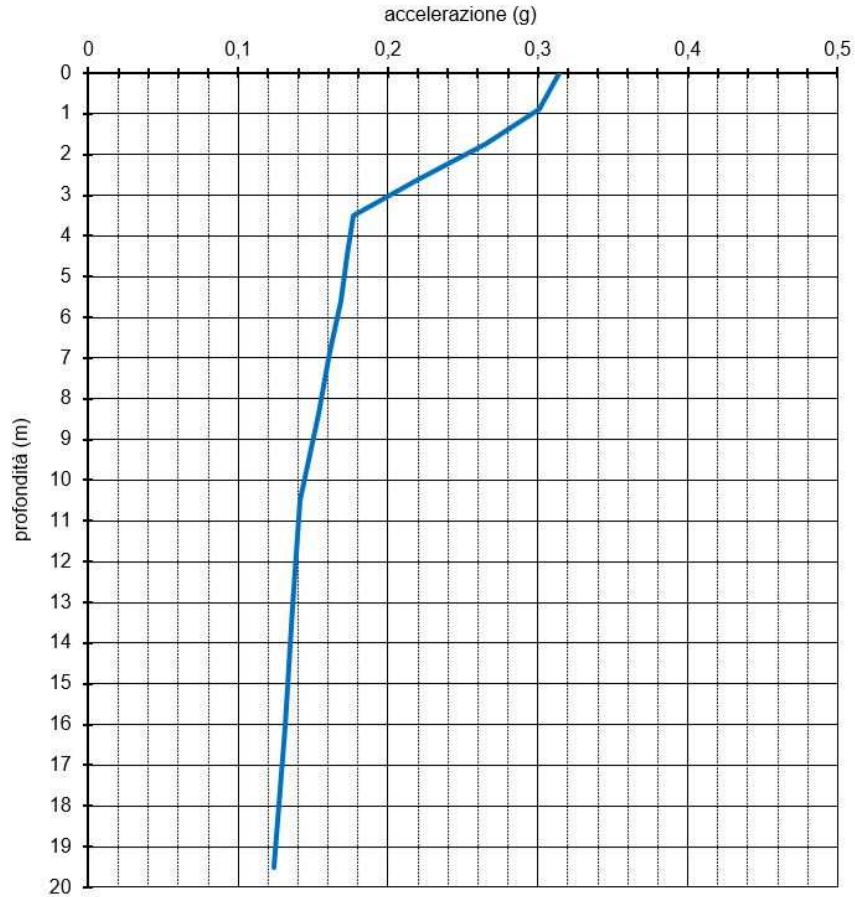


Fig. 25 – Curva di variazione dell'accelerazione con la profondità MOPS 2002

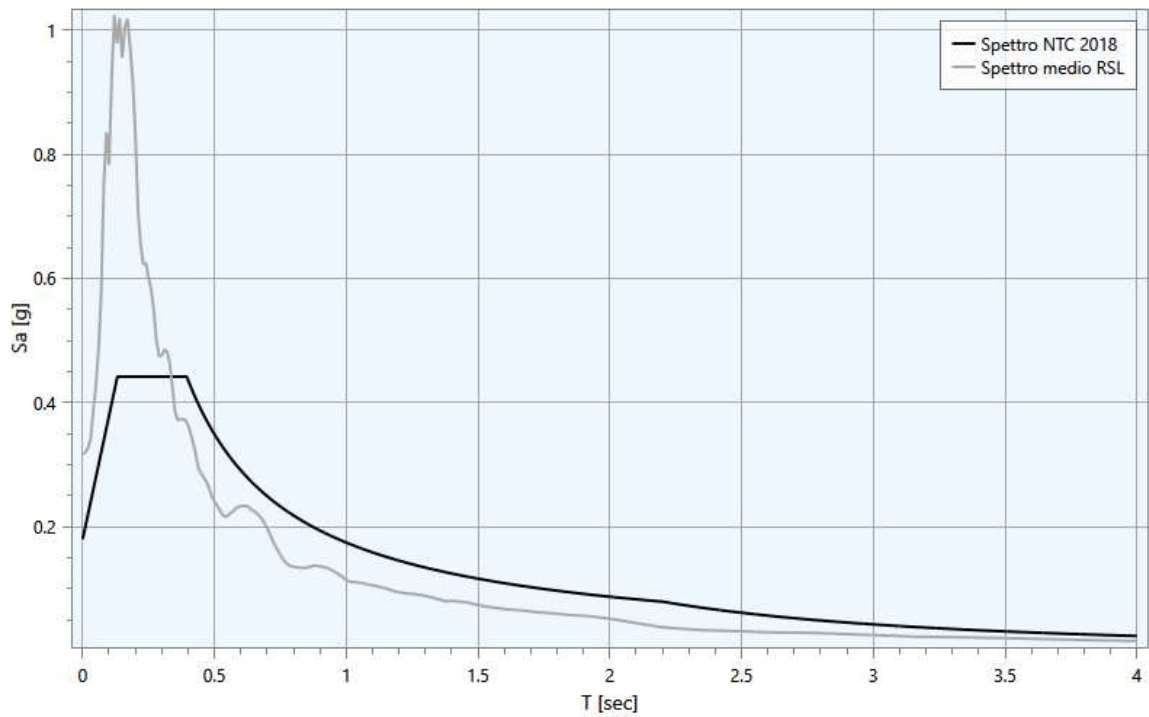


Fig. 26 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione e lo spettro di riferimento da normativa per la categoria di sottosuolo B per MOPS 2002

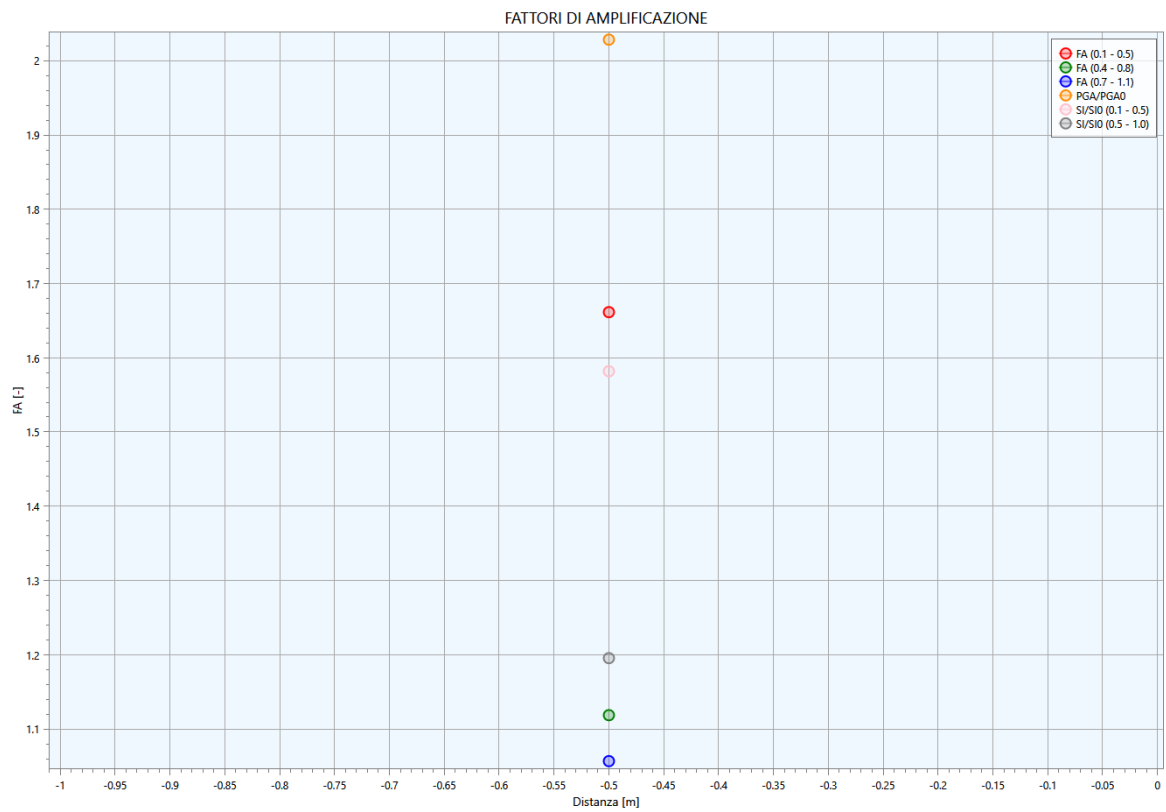


Fig. 27 – Output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità per la MOPS 2002

<b>Fattore di amplificazione</b>	<b>Valore calcolato da RSL</b>	<b>Valore da abachi RER</b>	<b>Differenza (%)</b>
<b>FA PGA</b>	2,03	2,1	-3,33
<b>FA<sub>SA</sub> 0.1-0.5</b>	1,66	2,0	-17,0
<b>FA<sub>SA</sub> 0.4-0.8</b>	1,12	1,7	-34,12
<b>FA<sub>SA</sub> 0.7-1.1</b>	1,06	1,6	-33,75
<b>FA<sub>SI</sub> 0.1-0.5</b>	1,58	1,9	-16,84
<b>FA<sub>SI</sub> 0.5-1.0</b>	1,2	1,7	-29,41

Tab. 7 – Fattori di amplificazione calcolati MOPS 2002

**MOPS 2003**

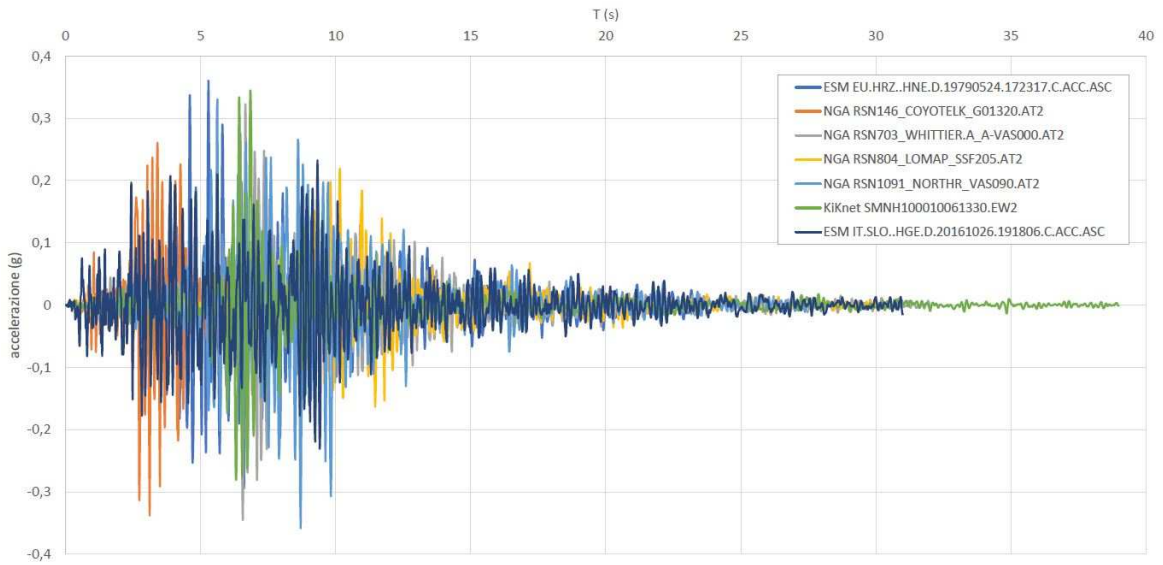


Fig. 28 – Accelerogrammi di output MOPS 2003

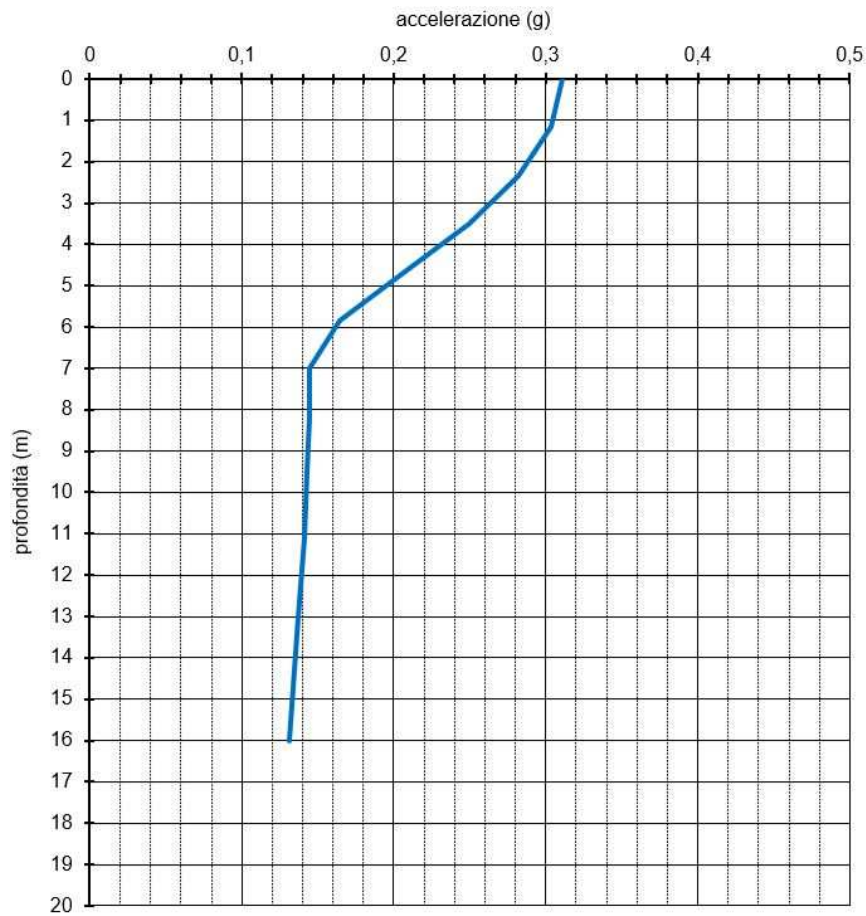


Fig. 29 – Curva di variazione dell'accelerazione con la profondità MOPS 2003

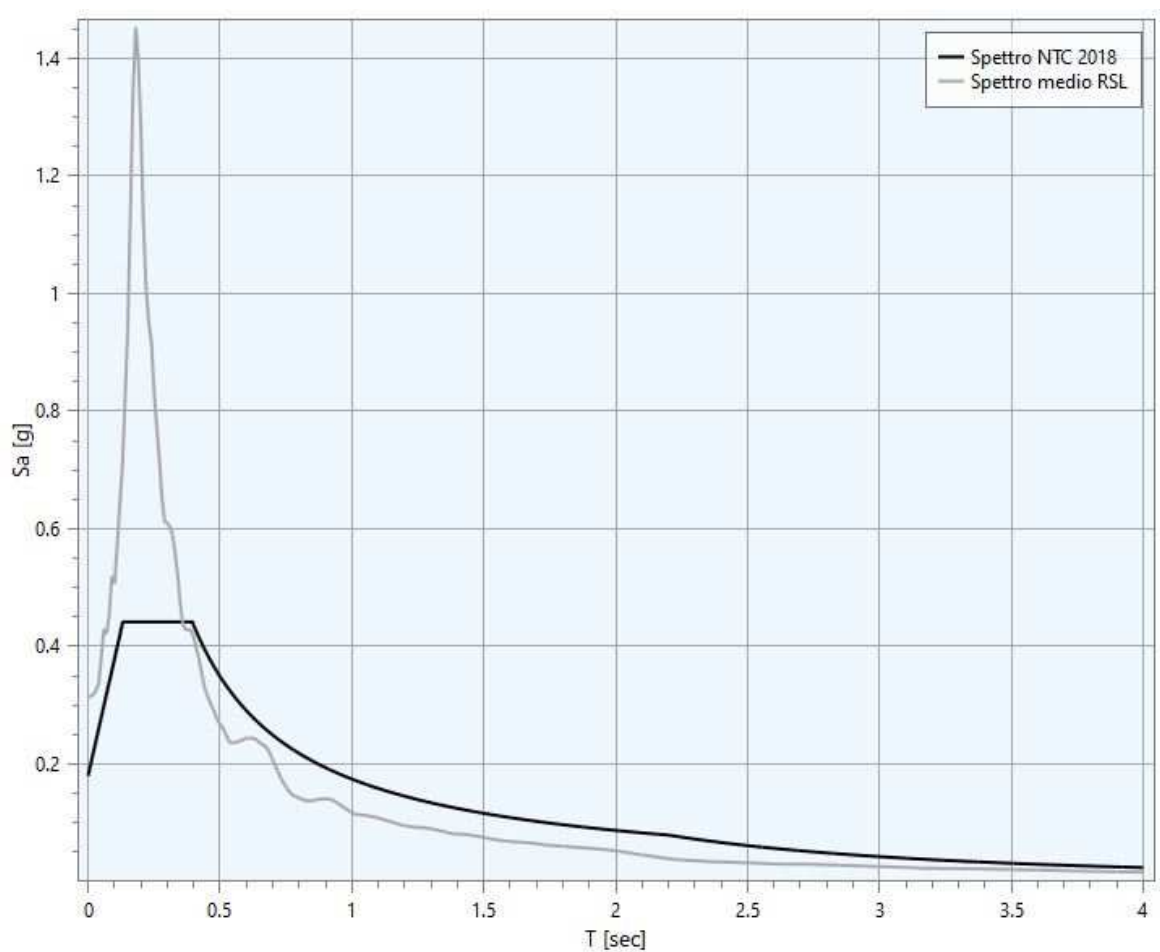


Fig. 30 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione e lo spettro di riferimento da normativa per la categoria di sottosuolo B per MOPS 2003

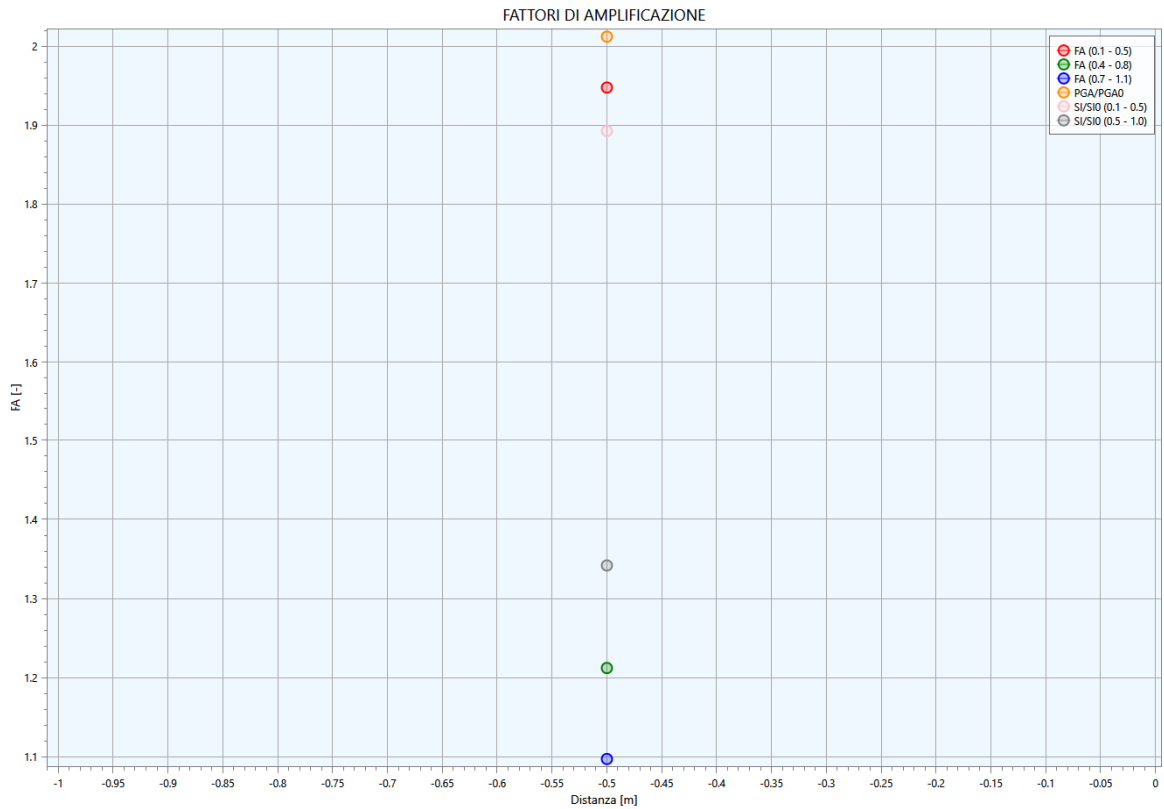


Fig. 31 – Output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità per la MOPS 2003

<b>Fattore di amplificazione</b>	<b>Valore calcolato da RSL</b>	<b>Valore da abachi RER</b>	<b>Differenza (%)</b>
<b>FA PGA</b>	2,01	2,1	-4,26
<b>FA<sub>SA</sub> 0.1-0.5</b>	1,95	2,0	-2,5
<b>FA<sub>SA</sub> 0.4-0.8</b>	1,21	1,7	-28,82
<b>FA<sub>SA</sub> 0.7-1.1</b>	1,10	1,6	-31,25
<b>FA<sub>SI</sub> 0.1-0.5</b>	1,89	1,9	-0,005
<b>FA<sub>SI</sub> 0.5-1.0</b>	1,34	1,7	-21,18

Tab. 8 – Fattori di amplificazione calcolati MOPS 2003

## 8. CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1:5.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio.

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  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ;
- $FH = SI/SI_0$ , 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  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ .

Per le aree sottoposte ad analisi di secondo livello i valori dei fattori di amplificazione (FA) sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR 12 aprile 2021, n. 476 della Regione Emilia-Romagna.

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata effettuata sulla base delle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo.

Per le zone sottoposte ad analisi di Livello 3, i fattori di amplificazione sono stati viceversa determinati attraverso l'analisi di risposta sismica locale descritta nel Cap. 6.

In Fig. 32 sono state rappresentate le Zone oggetto di studio, distinte sulla base delle tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	44 di 49

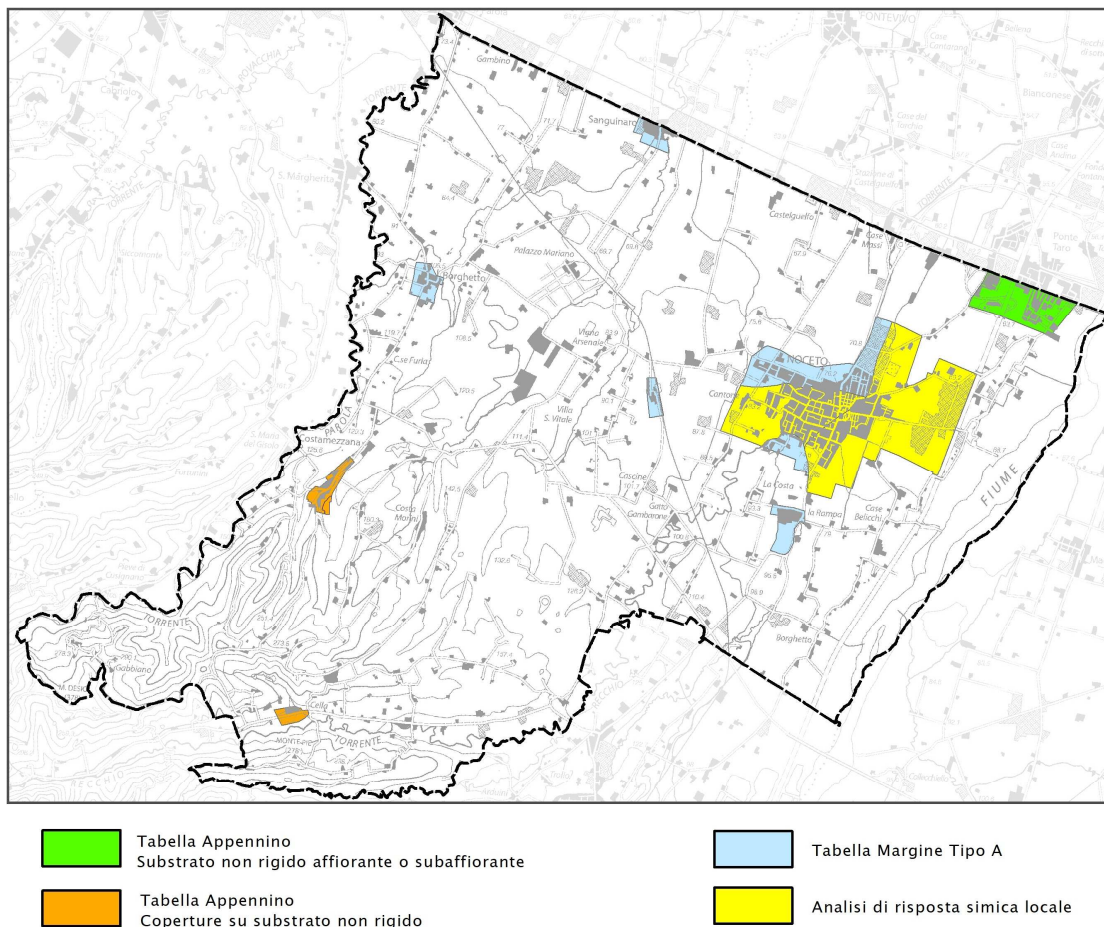


Fig. 32 - Suddivisione delle zone in base alle tabelle allegate alla DGR n. 476/2021 utilizzate per la determinazione dei fattori di amplificazione

$V_{S30}$ (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** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{S30}$ (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** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

Tab. 9 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con  $V_s \ll 800$  m/s affiorante o subaffiorante (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

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

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

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

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

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

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

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

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

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

Tab. 10 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con Vs <<800 m/s con sovrastanti depositi di copertura maggiori di 2,5 metri (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)





<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2,3</td><td>2,1</td><td>1,8</td><td>1,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,3</td><td>2,2</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2,1</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>2,1</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>2,0</td><td>2,0</td><td>2,0</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>1,9</td><td>1,9</td><td>1,9</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione PGA</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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			<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1,9</td><td>1,7</td><td>1,7</td><td>1,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,7</td><td>2,2</td><td>1,9</td><td>1,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>3,3</td><td>2,9</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>3,4</td><td>3,1</td><td>2,6</td><td>2,2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>3,3</td><td>3,2</td><td>2,8</td><td>2,4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>3,1</td><td>3,1</td><td>2,8</td><td>2,5</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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			<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2,2</td><td>1,9</td><td>1,7</td><td>1,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,6</td><td>2,4</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2,6</td><td>2,5</td><td>2,2</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>2,5</td><td>2,5</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>2,3</td><td>2,3</td><td>2,2</td><td>2,1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>2,1</td><td>2,1</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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		
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td>1,7</td><td>1,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,5</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2,4</td><td>2,4</td><td>2,1</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>2,3</td><td>2,3</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>2,2</td><td>2,2</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>2,0</td><td>2,0</td><td>2,0</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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			<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1,6</td><td>1,6</td><td>1,6</td><td>1,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td>1,7</td><td>1,7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2,9</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td>1,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>3,4</td><td>2,8</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>3,9</td><td>3,4</td><td>2,7</td><td>2,3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>3,8</td><td>3,6</td><td>3,0</td><td>2,5</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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			<table border="1"> <tr><td>V<sub>SH</sub> (m/s) →</td><td>150</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td></tr> <tr><td>H (m) ↓</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1,8</td><td>1,7</td><td>1,6</td><td>1,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,3</td><td>2,0</td><td>1,8</td><td>1,7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>3,2</td><td>2,6</td><td>2,1</td><td>2,0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>3,5</td><td>3,1</td><td>2,5</td><td>2,1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>3,7</td><td>3,4</td><td>2,8</td><td>2,4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>3,6</td><td>3,5</td><td>3,0</td><td>2,6</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)</p>	V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	H (m) ↓							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		
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						
V <sub>SH</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400																																																																																																																																																																				
H (m) ↓																																																																																																																																																																										
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																																																																																																																																																																						

Tab. 11 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, relativi a “Margine di tipo A” (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

La Tab. 12 riporta i Fattori di Amplificazione determinati secondo la DGR 12 aprile 2021, n. 476 e la Risposta Sismica Locale:

MOPS	ZONA	TABELLA F.A.	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	FH 0,1-0,5 S	FH 0,5-1,0 S
STAB	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s	Vs30 = 500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4
	2002	RSL		2,03	1,66	1,12	1,06	1,58	1,2
	2003	RSL		2,01	1,95	1,21	1,1	1,89	1,34
	2004	Margine tipo A	Vs10 = 200	2,2	2,3	2,2	1,8	2,4	2,0
	2005	Margine tipo A	Vs10 = 250	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	1,8
	2006	Margine tipo A	Vs10 = 200	2,2	2,3	2,2	1,8	2,4	2,0
	2007	Appennino – coperture su substrato con Vs <<800 m/s	Vs25 = 250	2,1	2,3	2,7	1,9	2,5	2,3
	2008	Appennino – coperture su substrato con Vs <<800 m/s	Vs25 = 300	2,0	2,2	2,0	1,5	2,3	1,7
INSTAB	2009	Appennino – coperture su substrato con Vs <<800 m/s	Vs25 = 250	2,1	2,3	2,7	1,9	2,5	2,3

Tab. 12 – Fattori di Amplificazione

Infine sono state prodotte le carte dello scuotimento in accelerazione, che rappresenta lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in unità di misura “g”).

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  $\Delta T$  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 Tr pari a 475 anni, riferiti al baricentro di ciascuna MOPS.

I periodi considerati per la determinazione dello scuotimento atteso sono i seguenti:

- $0,1s \leq T \leq 0,5s \rightarrow H_{sm}$
- $0,4s \leq T \leq 0,8s \rightarrow H_{0,4-0,8s}$
- $0,7s \leq T \leq 1,1s \rightarrow H_{0,7-1,1s}$

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	48 di 49

## 9. ELENCO ELABORATI

- Relazione illustrativa
- Carta delle indagini in scala 1:4.000
- Carta geologico-tecnica in scala 1:5.000
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:5.000
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>PGA</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>SA 0,1 - 0,5 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>SA 0,4 - 0,8 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>SA 0,7 - 1,1 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>SI 0,1 - 0,5 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – FA<sub>SI 0,5 - 1,0 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – H<sub>SM</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – H<sub>0,4 - 0,8 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica – H<sub>0,7 - 1,1 s</sub> in scala 1:5.000

---

Allegato n° 1 – Indagini integrative

 <b>Studio di geologia</b> dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Ottobre 2022	0	49 di 49