



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia – Romagna
Comune di Bore



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|----------------|--|----------------|
| Emilia Romagna | Dott. Geol. Federico Madini Collaboratori Dott. Geol. Massimiliano Trauzzi Dott. Geol. Gabriele Oppò Dott. Geol. Domenico Bianco | Settembre 2018 |

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUZIONE..... | 2 |
| 2. BREVE DESCRIZIONE DELLO STUDIO | 6 |
| 3. INDAGINI ED ANALISI..... | 8 |
| 3.1. Sondaggi a carotaggio continuo | 10 |
| 3.2. Prove di laboratorio | 11 |
| 3.3. Indagini sismiche | 11 |
| 4. APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO | 12 |
| 4.1. Carta delle indagini | 12 |
| 4.2. Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica | 14 |
| 4.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni | 17 |
| 4.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica | 20 |
| 4.5. Carte delle velocità delle onde di taglio S | 24 |
| 5. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO | 27 |
| 5.1. Analisi di risposta sismica locale | 27 |
| 5.1.1 Pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento | 27 |
| 5.1.2 Spettro di risposta rappresentativo | 29 |
| 5.1.3 Selezione dei segnali sismici di riferimento | 30 |
| 5.1.4 Modello stratigrafico e parametrizzazione sismica | 31 |
| 5.1.5 Grafici di output della RSL | 34 |
| 5.1.6 Risultati ottenuti dalla modellazione | 35 |
| 5.2. Verifica di stabilità | 50 |
| 5.2.1 Metodo di Verifica | 50 |
| 5.2.2 Le ipotesi verificate | 53 |
| 5.3. Carte di microzonazione sismica | 57 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 61 |
| 7. ALLEGATI | 62 |

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, redatto su incarico dell'*Unione dei Comuni Valli Taro e del Ceno con Determinazione n° 89 del 10/11/2017*, in seguito all'erogazione dei contributi, di cui all'*Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016* e decreto del *Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21 giugno 2016* a favore degli enti locali, riguarda gli studi di Microzonazione Sismica con approfondimenti di III° livello ed analisi della Condizione Limite per l'Emergenza del Comune di Bore, in Provincia di Parma (PR).

Questa fase di studio si prefigge di valutare gli scenari di pericolosità sismica emersi nel corso dei precedenti approfondimenti di I° e II° livello, quindi di confermare ed eventualmente ridefinire le aree perimetrate sulla base della differente risposta sismica locale, attraverso l'impiego di metodologie di tipo numerico *1d*.

Nello specifico, in accordo con l'Amministrazione Comunale le indagini in sito e le analisi di III° livello, in relazione alle risorse disponibili, sono state concentrate unicamente nell'ambito "*Capoluogo*", entro il quale ricadono gli edifici di maggior interesse strategico, nonché le aree potenzialmente interessate da nuova edificazione.

All'interno dello studio sono state riprodotte ed opportunamente modificate, laddove le nuove indagini hanno fatto emergere nuovi risultati, le cartografie fondamentali del I° livello di approfondimento, mentre quelle del II° livello sono state superate dalle corrispondenti di III° livello.

Sempre a corredo dello studio è stata predisposta un'analisi della *Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)*, che costituisce uno strumento fondamentale in sinergia con il *Piano di Protezione Civile (PPC)* comunale, per far fronte nel miglior modo possibile alle emergenze generate dagli eventi sismici.

Il documento tecnico a supporto dello studio è stato svolto in conformità alle seguenti disposizioni normative:

- *Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito agli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" approvati con Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n° 112 del 2 maggio 2007;*
- *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati in data 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e Province Autonome (da qui in avanti "ICMS").*
- *D.G.R. n° 1051 del 18 luglio 2011 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'O.P.C.M. 3907/2010 e ss.mm."*.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

- *“Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (da qui in avanti “SRAI”).*
- *Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell’atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell’Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12” (da qui in avanti “indirizzi regionali”).*
- *Allegato A2 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l’emergenza, di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015” della deliberazione di Giunta regionale n. 573 del 28/04/2016 “O.C.D.P.C. 26 Ottobre 2015, N. 293 - Annualita' 2014 - Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all'art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalità di concessione e liquidazione dei contributi (da qui in avanti “Allegato A2 della delibera regionale”)*

Si è fatto altresì riferimento alle pubblicazioni scientifiche in materia ed in particolare:

- *Ingegneria sismica - Anno XXVIII - n. 2 - 2011 “Indirizzi di microzonazione sismica”.*
- *“Microzonazione sismica” – uno strumento consolidato per la riduzione del rischio sismico. L’Esperienza della Regione Emilia-Romagna (a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2012).*

Per “Microzonazione Sismica” si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo, ovvero nell’individuazione e caratterizzazione delle zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Risulta perciò estremamente importante sviluppare gli studi di microzonazione già in fase pianificatoria, per poter indirizzare al meglio le scelte urbanistiche dell’Amministrazione al di fuori delle aree contraddistinte da elevata pericolosità sismica e, successivamente, per esercitare una funzione di supporto ai tecnici nella progettazione di nuove opere.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Contestualmente alla scala di dettaglio degli studi (*PSC, POC, PUA* ed esecutivi) e alle problematiche geologiche da affrontare, sono stati definiti 3 livelli di approfondimento, di seguito ordinati, con complessità d'analisi e costi d'esecuzione via via crescenti:

- *I° Livello di approfondimento: riguarda la raccolta e l'analisi di dati esistenti e, se possibile, la realizzazione di nuove indagini in sito. L'obiettivo finale consiste nella realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), che suddivide il territorio in microzone sismicamente omogenee;*
- *II° livello di approfondimento: oltre a correggere gli studi di I° Livello, si assegna una fattore moltiplicativo di amplificazione a ciascuna zona, attraverso l'impiego di abachi regionalizzati e formule empiriche. Il documento finale prodotto è rappresentato dalla Carta di microzonazione sismica;*
- *III° Livello di Approfondimento: viene utilizzato nei casi in cui l'opera in progetto risulti particolarmente importante oppure, nei casi in cui le condizioni geologiche si presentino estremamente complesse. Vengono sviluppate analisi di tipo numerico 1d o 2d, studi paleosismici ed analisi dinamiche. Viene prodotta una Carta di microzonazione sismica con approfondimenti.*

Come già accennato in precedenza, in funzione sia dei precedenti risultati conseguiti nel corso della redazione degli studi di I° e II° livello in corrispondenza dei centri abitati di "Bore", "Franchi-Ferrari", "Rovina" e "Zani", che degli obiettivi di carattere pianificatorio manifestati dall'Amministrazione Comunale, gli approfondimenti di III° Livello hanno riguardato unicamente l'ambito "Bore Capoluogo".

In via preliminare, è stato condotto un esame bibliografico a scala comunale, per verificare la presenza di nuove indagini, rispetto a quanto già rilevato durante gli studi pregressi.

Successivamente, sono state realizzate indagini geognostiche "ex-novo" (sondaggi a carotaggio continuo e prove sismiche di tipo puntuale e lineare) e prove di laboratorio in corrispondenza delle aree che necessitavano di approfondimenti. Le informazioni raccolte hanno consentito di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo, la cui definizione si colloca alla base degli studi di III° Livello.

A supporto delle indagini sono stati svolti sopralluoghi e i rilievi di campagna, per evidenziare tutti quegli aspetti che possono influire sul moto sismico di base oppure, dar luogo ad effetti indotti quali, instabilità dei versanti, cedimenti differenziali e/o liquefazione, aree di faglia ecc..

Una volta identificate le varie microzone presenti nell'ambito, si è proceduto al calcolo dei vari fattori di amplificazione, conseguiti tramite analisi approfondite di III° Livello, con *Risposta Sismica Locale*, mentre

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

solo per aree limitate sono state impiegate procedure semplificate (utilizzo di abachi definiti dalla *DGR 2193/2015*).

In corrispondenza di un corpo detritico quiescente sul quale ricade il campo sportivo comunale che, nell'analisi delle *Condizioni Limite per le Emergenze (CLE)*, viene classificato come un'Area di gestione delle emergenza di tipo *Ammassamento - Ricovero*, oltre alla riposta sismica locale è stata effettuata una verifica di stabilità di versante.

Nel corso dello studio, oltre alla presente relazione, sono stati redatti gli elaborati elencati nel **Capitolo 7**. I dati cartografici sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in formato digitale (pdf, con risoluzione 300 dpi). I dati vettoriali sono forniti anche in formato *shapefile*.

Per l'archiviazione dei dati e l'*editing* dei documenti sono stati seguiti gli *standard* di riferimento contenuti nell'*Allegato D* della delibera regionale e dagli *SRAI*.

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito *software*: "*MS – SoftMS*" nella versione 4.0.

Quale base cartografica, si sono utilizzati gli stralci della Carta Topografica Regionale alla scala 1:5.000 (Elementi 198061, 198062, 198063 e 198064), georeferenziati con il sistema di riferimento *WGS84-UTM 33N*, seguendo le raccomandazioni fornite dagli "*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0b)*".

2. BREVE DESCRIZIONE DELLO STUDIO

Nel presente capitolo verranno descritti in maniera sintetica le analisi condotte e i risultati raggiunti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica di III° Livello.

In accordo con l'amministrazione comunale, tali analisi hanno riguardato le aree di maggior interesse edificatorio, interamente ricomprese all'interno dell'ambito *Bore Capoluogo*.

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito pertanto nelle seguenti fasi:

1. individuazione delle microzone omogenee definite nei precedenti studi di microzonazione di I° e II° Livello;
2. realizzazione di indagini di tipo diretto (sondaggi a carotaggio continuo) spinte in profondità sino al raggiungimento del substrato roccioso e successiva valutazione dell'assetto litostratigrafico nelle differenti microzone. Considerata la limitata profondità di rinvenimento del substrato rilevata su gran parte dell'areale, si è ritenuto opportuno privilegiare l'esecuzione di un maggior numero di prove, al fine di ricostruire con un sufficiente grado di approssimazione, l'andamento spaziale del tetto della compagine rocciosa.
3. realizzazione di prove sismiche di tipo puntuale (*HVSR*) e lineare (*HoliSurface*, *MASW* e *Sismica a Rifrazione*), distribuite omogeneamente su tutto l'ambito ed, in particolare, in corrispondenza dei punti d'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo in modo tale da tarare i risultati ottenuti.
4. esecuzione di prove *HVSR* e *HS* nei pressi del campo sportivo classificato dalle *CLE* come Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero), posizionato al di sopra di un corpo detritico, pertanto è stato interessato da verifiche di stabilità
5. Aggiornamento delle cartografie di I° e II° livello elencate di seguito, con dati delle nuove indagini, adottando gli *standard* più recenti:
 - a. Carta delle indagini
 - b. Carta geologico-tecnica
 - c. Carte delle Frequenze?
 - d. Carta delle *MOPS*
 - e. Carta delle velocità delle onde di taglio *S* (*Vs*)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

6. realizzazione di prove di colonna risonante sui campioni per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione, integrate dalle curve reperite in bibliografia ed utilizzate per le differenti tipologie di terreno indagate;
7. valutazione della risposta sismica locale, per ciascuna *MOPS* individuata, mediante il programma **LSR 1D**, il quale calcola la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo;
8. calcolo dei fattori di amplificazione, per ciascuna *MOPS* individuata, 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;
9. calcolo del fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s.
10. Realizzazione di un'analisi di stabilità di versante dinamica, inserendo come input sismico gli accelerogrammi ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale, e successiva stima degli spostamenti massimi attesi.
11. redazione delle cartografie di microzonazione sismica per i diversi *FA*:
 - a. FA_{PGA}
 - b. $FA_{IS\ 0.1-0.5}$
 - c. $FA_{IS\ 0.5-1.0}$

3. INDAGINI ED ANALISI

Nel presente studio si è innanzitutto cercato di ampliare le conoscenze sulle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo, in una porzione di territorio dove il numero e la qualità delle indagini in sito risultano piuttosto modeste. Per tale motivo, in accordo con l'Amministrazione Comunale, tenendo conto delle risorse a disposizione, tutte le prove di nuova esecuzione (geognostiche, geofisiche e di laboratorio) nonché le analisi di *Risposta Sismica Locale (RSL)* previste per gli studi di III° Livello, sono state concentrate all'interno del perimetro urbanizzato/urbanizzabile dell'ambito "Bore Capoluogo". Inoltre, alcune delle suddette indagini sono state localizzate in prossimità degli edifici strategici maggiormente sensibili e di particolare interesse per la Protezione Civile (Sede Municipale, Scuole elementari e Sala Civica), anche per consentirne un utilizzo per futuri approfondimenti. Tutte le prove di nuova esecuzione sono state localizzate come raffigurato in **Fig. 1**.

La scelta di eseguire un maggior numero di indagini e quindi di caratterizzare una più vasta porzione di territorio, ha prevalso sulla necessità di ottenere un risultato maggiormente accurato, ma utilizzabile per un'area di limitata estensione. Infatti, in relazione all'assetto litostratigrafico di massima dell'ambito, ricostruito tramite le indagini pregresse e costituito da un substrato geologico non rigido stratigrafico (*Flysch di Monte Cassio*) alterato nella facies più superficiale, talora ricoperto da depositi di versante e/o di natura eluvio-colluviale con spessori variabili da 5 a 10 metri, si è ritenuto opportuno verificare in maniera diretta (tramite sondaggi a carotaggio continuo) e in più punti, la presenza e lo spessore sia dei depositi detritici sia della parte di substrato alterata.

L'esecuzione di un buon numero di prove sismiche distribuite omogeneamente su tutto l'ambito, nonché presso i punti d'esecuzione dei sondaggi ha inoltre consentito di ricostruire l'andamento delle Vs al variare della profondità. Inoltre, all'interno del sondaggio **S2** è stato prelevato un campione indisturbato sul quale è stata eseguita una prova in colonna risonante che, in aggiunta ad altre prove desunte in bibliografia per tipologie di terreno analoghe, hanno permesso di caratterizzare da un punto di vista dinamico i materiali indagati.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini in sito e di laboratorio sono state eseguite n° 2 analisi di risposta sismica locale relative alle 2 microzone omogenee in prospettiva sismica individuate.

Gli studi di Microzonazione sismica di III° Livello non hanno riguardato solamente le aree stabili, ma anche le aree contraddistinte da potenziale instabilità, come l'estremità settentrionale dell'ambito di Bore Capoluogo, interessata da una frana di tipo complesso-quiescente. Essendo presente un campo sportivo che risulta essere classificato nelle CLE come Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero) si è provveduto ad eseguire anche in questo caso approfondimenti di terzo livello. Nello specifico è stata inoltre eseguita un'analisi di risposta sismica locale e una verifica di stabilità del corpo di frana.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

L'area è stata indagata mediante la realizzazione di n° 2 stendimenti sismici tipo *HoliSurface* dai quali, si sono ottenuti profili di velocità Vs.

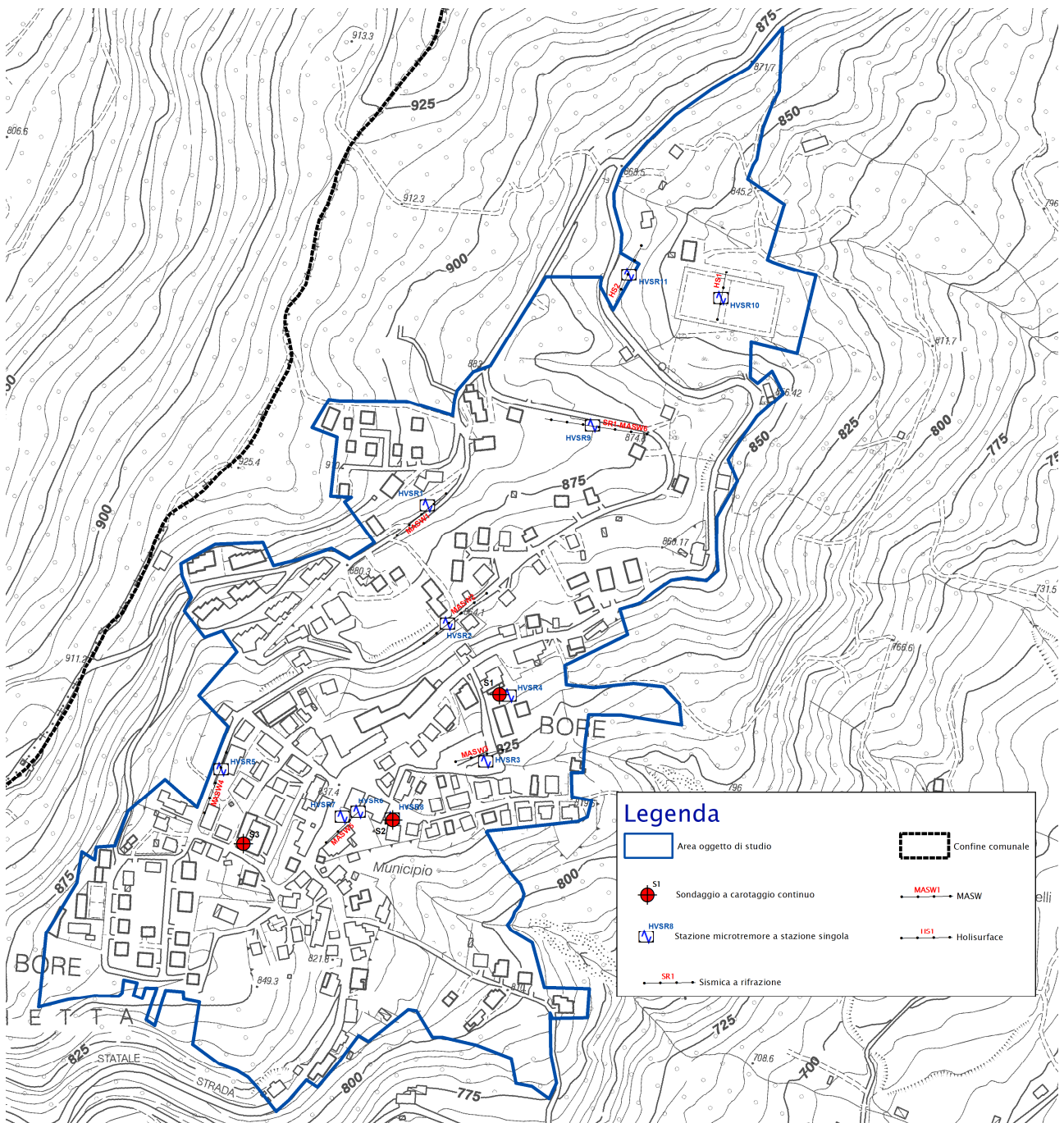


FIG. 1 – UBICAZIONE DELLE NUOVE INDAGINI NELL'AMBITO "BORE CAPOLUOGO"

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate per la microzonazione di 3° livello.

3.1. Sondaggi a carotaggio continuo

Come già accennato, a corredo delle analisi svolte nel presente studio sono stati eseguiti n° 3 sondaggi a carotaggio continuo dalla ditta *Elletipi s.r.l.* di Ferrara, approfonditi in modo tale da interessare, con un buon margine di sicurezza, il substrato geologico. In particolare, i sondaggi, numerati come raffigurato in **Fig. 1**, hanno raggiunto le seguenti profondità da piano campagna:

- Sondaggio **S1**, localizzato nei pressi della Sala Civica, spinto sino a -10,00 m da p.c.
- Sondaggio **S2**, localizzato nei pressi delle Scuole Elementari, spinto sino a -12,00 m da p.c.
- Sondaggio **S3**, localizzato nei pressi del Municipio, spinto sino a -11,00 m da p.c.

E' opportuno segnalare che in tutti i sondaggi, e in particolare, nel sondaggio **S2** nei primi metri di sottosuolo sono stati intercettati terreni di riporto di natura antropica, impiegati localmente per regolarizzare le pendenze piuttosto elevate che contraddistinguono il versante.

Per l'esecuzione delle indagini è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici. Nel corso delle operazioni di perforazione del Sondaggio **S2** è stato prelevato un campione indisturbato (usando un campionatore in acciaio a pareti sottili "*Shelby*"), successivamente inviato al Laboratorio *Elletipi* dove è stato sottoposto ad analisi di laboratorio.

Nella litostratigrafia allegata nell'**Elaborato 7**, sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- le quote di prelievo del campione indisturbato;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di *pocket penetrometer*, espressi in Kg\cm²;
- la determinazione del valore di *RQD* della roccia;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.

3.2. Prove di laboratorio

Il campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo **S2** è stato inviato al Laboratorio *Elletipi s.r.l.* di Ferrara per le analisi geotecniche.

Per il campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione del peso di volume;
- Determinazione dell'umidità naturale.

Inoltre sul campione, essendo indisturbato, è stata eseguita una prova in colonna risonante per la determinazione dei parametri G/G_0 e D necessari per la caratterizzazione dinamica del materiale.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato (**Elaborato 8**) e descritti nel paragrafo **5.1.4**.

3.3. Indagini sismiche

Per caratterizzare da un punto di vista sismico l'ambito di interesse, a corredo dello studio si sono realizzati:

- n°6 profili sismici con tecnica *MASW* - "Multichannel Analysis of Surface Waves";
- n°2 indagini con tecnica *HS* - "Holisurface";
- n°1 stendimento in sismica a rifrazioni (*SR*);
- n°11 prove di microtremore sismico *HVSR* - "Horizontal to Vertical Spectral Ratio" (*HVSR*).

Si inoltre è cercato di analizzare congiuntamente i dati acquisiti, calibrandoli in relazione ai risultati forniti dai sondaggi a carotaggio continuo di nuova esecuzione e dalle indagini geotecniche pregresse, con l'intento di definire modelli stratigrafico-sismici il più possibile rappresentativi delle aree indagate. Le elaborazioni, le rappresentazioni grafiche e i risultati delle indagini sismiche condotte sono riportate nell'**Elaborato 9**.

4. APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

4.1. Carta delle indagini

La redazione della tavola alla scala 1:5.000, ha previsto l'utilizzo di tutte le prove raccolte a corredo degli studi di microzonazione sismica di I° e II° livello (Dott. Geol. Federico Madini, 2013) a cui ha fatto seguito una ulteriore ricerca negli archivi comunali, per verificare se nell'intervallo di tempo intercorso tra lo studio citato e quello attuale fossero stati realizzati ulteriori studi ed indagini da inserire nella banca dati.

Tutte le prove, sono state opportunamente codificate, analizzate ed elaborate, secondo gli ultimi *standard* di archiviazione (*software*: "MS – SoftMS" nella versione 4.0), per consentire una corretta ricostruzione del modello geologico e dei mutui rapporti tra il substrato e la copertura.

L'ulteriore ricerca ha permesso di inserire un numero esiguo di ulteriori prove, per cui si può affermare che la gran parte delle indagini utilizzate proviene dai precedenti studi di I° e II° livello; tuttavia la campagna geognostica realizzata a corredo del presente studio, concentrata sull'ambito comunale, ha permesso di acquisire e raggiungere una conoscenza del modello geologico stratigrafico maggiormente approfondita e dettagliata.

Le indagini in sito di nuova realizzazione con le relative rappresentazioni grafiche, suddivise per tipologia in sondaggi a carotaggio continuo, prove di laboratorio, e prove sismiche tomografiche, MASW, sismiche a rifrazione e *HolySurface*, sono contenute rispettivamente all'interno degli **elaborati 7, 8 e 9**. Tutte le nuove indagini sono ubicate come raffigurato nella precedente **Fig. 1**.

All'interno della Carta delle indagini, sono state distinte le prove in base alla tipologia, in:

- sondaggio a carotaggio continuo (distinguendo se intercetta o meno il substrato)
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica pesante
- trincea o pozzetto esplorativo
- stazione microtremore a stazione singola
- Prova sismica a rifrazione

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

- MASW/SASW

come raffigurato nella legenda riportata in **Fig. 2**.

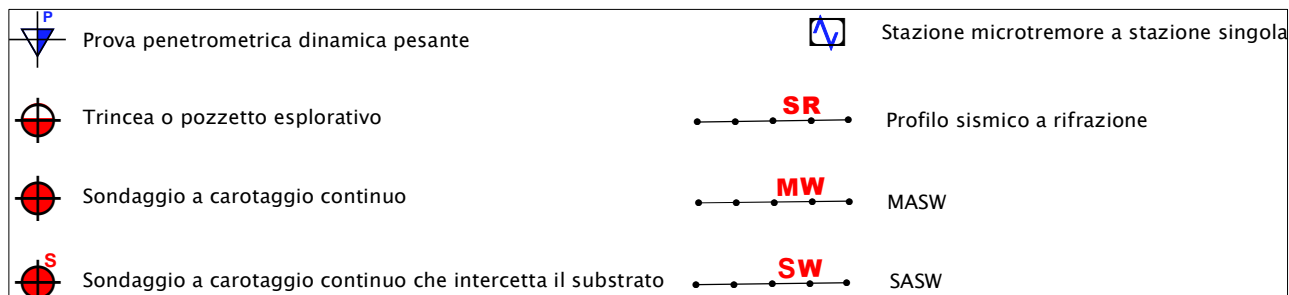


FIG. 2 – RAPPRESENTAZIONE DELLA LEGENDA DELLA CARTA DELLE INDAGINI

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne al perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definirne le caratteristiche litostratigrafiche.

In **Tab. 1** vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o riprese dal database del Servizio Geologico regionale.

| Tipologia di prova | Indagini provenienti da precedente studio di 2° livello | Indagini di nuova esecuzione | Totale |
|---|---|------------------------------|-----------|
| Prova penetrometrica dinamica pesante | 20 | 2 | 22 |
| Trincea o pozzetto esplorativo | 19 | - | 19 |
| Sondaggio a carotaggio continuo | 1 | - | 1 |
| Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato | 1 | 3 | 4 |
| Stazione microtremore a stazione singola | 22 | 11 | 33 |
| Profilo sismico a rifrazione | 2 | 1 | 3 |
| MASW | - | 6 | 6 |
| SASW | - | 2 | 2 |

TAB. 1 – RIEPILOGO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PRESENTI SUL TERRITORIO COMUNALE

4.2. Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

In tale elaborato sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti, da indagini geognostiche pregresse e di nuova realizzazione.

Questi dati hanno consentito di definire il modello geologico del sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, che sarà descritta nel successivo paragrafo **4.3**.

Per la stesura della Carta geologico-tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”. Sezione 198060 “Bore”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- “Nuova Carta del dissesto della Provincia di Parma”. Sezione 198060 “Bore”, alla scala 1:10.000, Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma (Variante Specifica: aggiornamento Carta del dissesto, 2016).
- indagini geognostiche eseguite in sito, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (**4.1**).

La carta geologico-tecnica realizzata nel presente studio costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello. La riproposizione di tale cartografia di analisi è risultata necessaria, innanzitutto a seguito delle variazioni di codifica e classificazione di categorie descrittive del substrato geologico introdotti dai più recenti *standard* di rappresentazione.

Sulla base delle nuove fonti informative, le unità geologico-litotecniche sono state distinte tra terreni di copertura (cartografati quando presentano uno spessore minimo di 3 m) e substrato geologico che, nelle zone di studio, risulta sempre non rigido (caratterizzato da $V_s \leq 800$ m/s) e stratificato. Oltre a ciò, le indicazioni ottenute attraverso l'esecuzione di nuove indagini in sito, hanno evidenziato alcune particolarità in merito alle caratteristiche geolitologiche, geotecniche e strutturali dei terreni, che non erano emerse nei precedenti studi di I° e II° Livello.

Gran parte dell'ambito, veniva classificato nel precedente lavoro con la sigla *NRS* (Substrato geologico non rigido stratificato). Sulla base degli approfondimenti conseguiti nel corso dell'esecuzione delle nuove indagini che hanno messo in luce un considerevole grado di alterazione in corrispondenza della porzione superficiale del substrato geologico, si è ritenuto opportuno conferire a tali aree il nuovo codice *SFALS*, relativo a un'alternanza di litotipi stratificati, fratturati/alterati.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Infatti, il substrato dell'area è costituito da sequenze calcarenitico-marnose e arenaceo pelitiche del *Flysch di M. Cassio*, caratterizzate da un elevato grado di alterazione che si sviluppa sino a profondità medie di circa -5,00 m da p.c.

Nel caso delle coperture, non sono state apportate modifiche, né al perimetro né al codice; è stata pertanto mantenuta la sigla *CLec*, che riassume sia le caratteristiche tessiturali che l'ambiente genetico-deposizionale. Tra di esse si rileva un corpo più sviluppato nella porzione sud-occidentale dell'area, cartografato separatamente al substrato roccioso, dato che presenta caratteristiche geotecniche distintive e spessori tali che potrebbero incidere sulla risposta sismica locale.

A parte sono raffigurate le aree interessate da instabilità di versante, con retini che ne indicano la tipologia e lo stato di attività. Trattasi generalmente di corpi arealmente limitati, ad esclusione di un fenomeno gravitativo di tipo complesso-quiescente posto verso il confine settentrionale dell'ambito, che rappresenta una piccola porzione di un più vasto movimento di versante, sul quale ricade il campo sportivo che risulta essere un'Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero).

Nelle 3 sezioni riportate in **Fig. 3** viene raffigurato l'assetto geologico di massima dell'ambito ricostruito attraverso i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse e di nuova realizzazione. La sezione posta più a nord verrà impiegata inoltre per le verifiche di stabilità richieste per gli studi di III° Livello.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

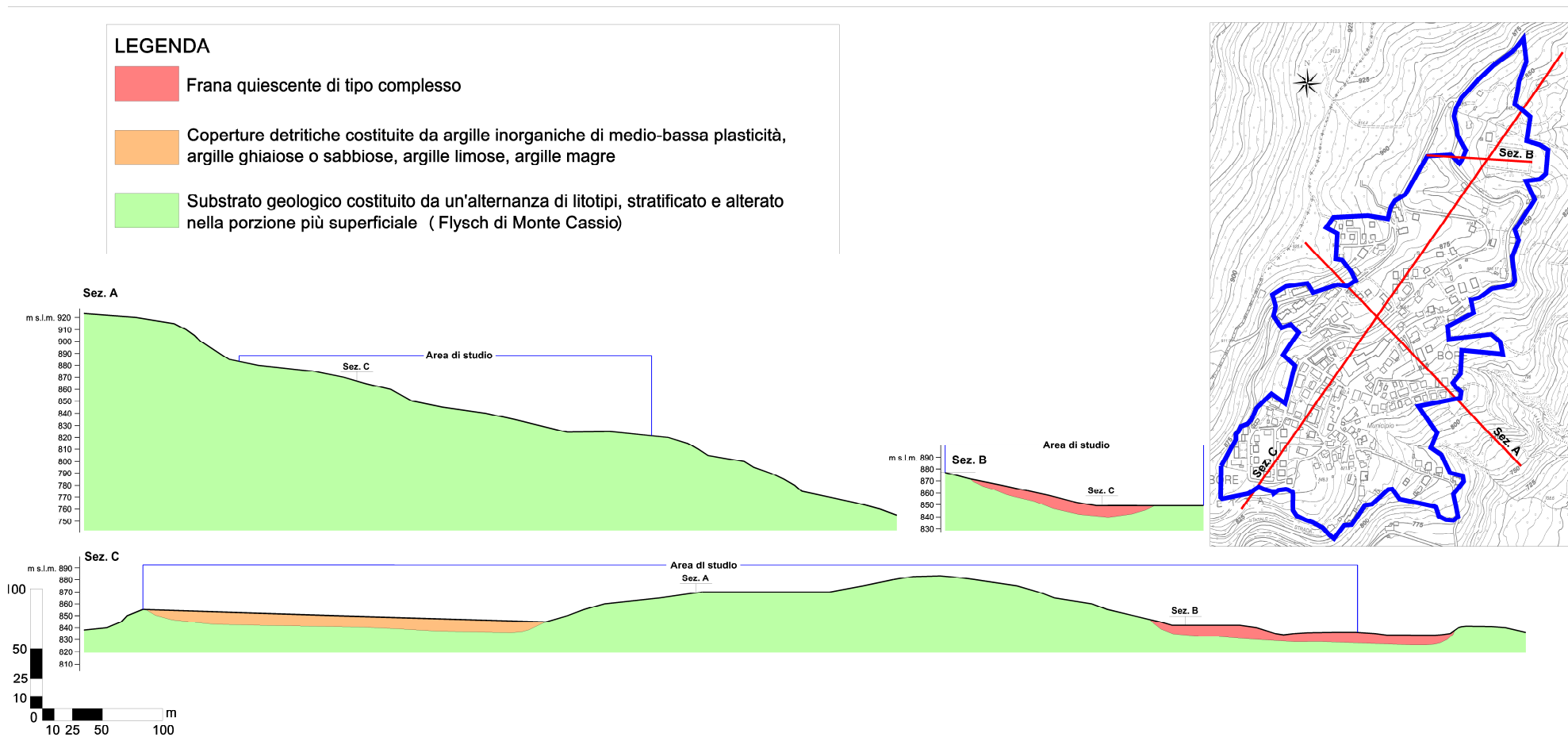


FIG. 3 – SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE DELL'AREA DI STUDIO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Altri elementi geologici rappresentati in carta sono i sondaggi con indicazione della profondità del tetto del substrato. Nello specifico, le quote annotate si riferiscono alla profondità del tetto del substrato alterato.

Sulla base degli studi e delle analisi effettuate la legenda della carta geologico-tecnica diventa la seguente (si veda anche l'**Elaborato 2** allegato al presente studio)

Legenda

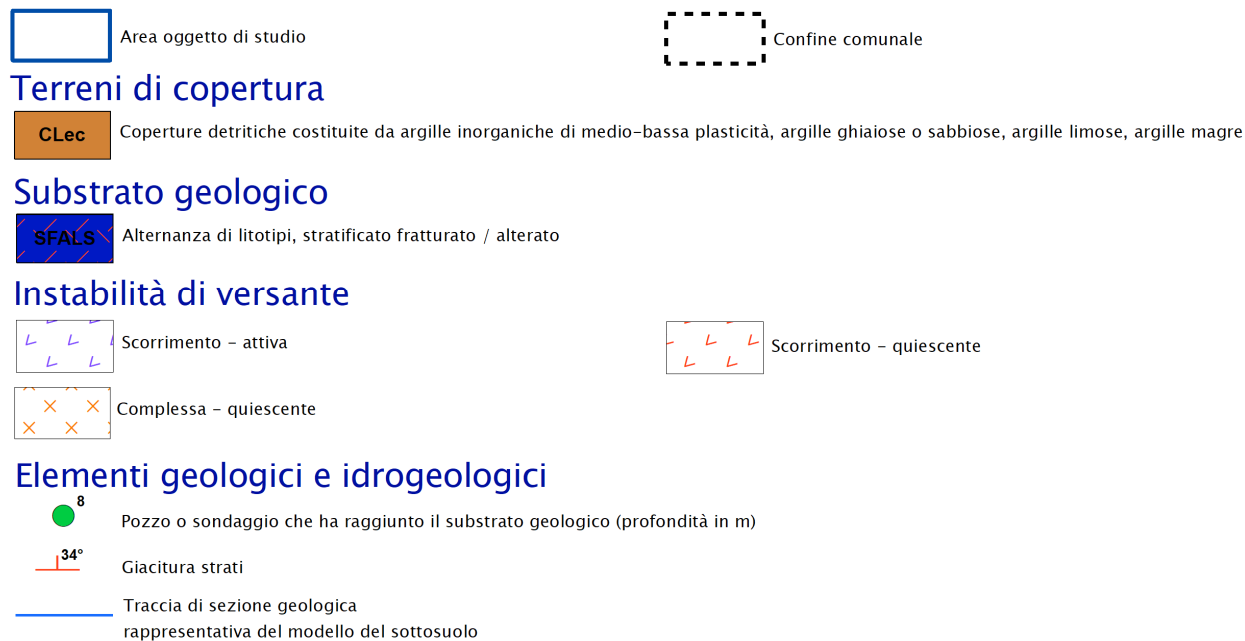


FIG. 4 – RAPPRESENTAZIONE DELLA LEGENDA DELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

4.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni

Partendo dai dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

In questa carta, sono stati riportati tutti i punti di misura ricadenti nell'ambito di studio e nelle immediate vicinanze e comunque utili a definire il modello geologico sismico dell'area di studio, 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, il 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

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

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

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

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza elevato ($H/V \geq 3$), moderato ($2 \leq H/V < 3$), basso ($1,5 \leq H/V < 2$) e assente ($H/V < 1,5$) (Cfr. **Fig. 5**).












| FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI | | FREQUENZA PRINCIPALE E RELATIVO VALORE (Hz) | |
|----------------------------------|---|---|--|
| Classi di frequenza (Hz) | |  | Ampiezza picco $HSVR \geq 3$ Contrasto impedenza elevato |
| Nessun picco significativo |  |  | Ampiezza picco $2 \leq HSVR < 3$ Contrasto impedenza moderato |
| $f_0 \leq 0,6$ Hz |  |  | Ampiezza picco $1,5 \leq HSVR < 2$ Contrasto impedenza basso |
| $0,6 \text{ Hz} < f_0 \leq 1$ Hz |  |  | Ampiezza picco $HSVR < 1,5$ Assenza significativi contrasti impedenza |
| $1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2$ Hz |  |  | FREQUENZA SECONDARIA (QUANDO PRESENTE) E RELATIVO VALORE (Hz) |
| $2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8$ Hz |  | | |
| $f_0 > 8$ Hz |  | | |

FIG. 5 - STRALCIO DA LEGENDA DELLA CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa contenente i risultati delle prove tromografiche pregresse e di nuova esecuzione eseguite nell'ambito di studio o nelle immediate vicinanze, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e frequenze dei picchi secondari, se presenti:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

| Prova | Picco principale F ₀ | | Picco secondario F ₁ |
|------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|
| | Frequenza Hz | Ampiezza H/V | Frequenza Hz |
| 034005P42HVSR42 | 1,3 | 2,1 | 7 |
| 034005P44HVSR44 | 19 | 4 | 4,7 |
| 034005P45HVSR45 | 8,8 | 3,4 | 2 |
| 034005P46HVSR46 | 17 | 3 | 7 |
| 034005P47HVSR47 | 3,4 | 2,1 | 8,5 |
| 034005P48HVSR48 | 1,5 | 2,4 | 7,8 |
| 034005P49HVSR49 | 2 | 2,8 | 3,3 |
| 034005P52HVSR52 | 3,9 | 1,9 | |
| 034005P53HVSR53 | 3,9 | 2 | |
| 034005P54HVSR54 | 19,16 | 3 | |
| 034005P55HVSR55 | 11,2 | 4,3 | 4 |
| 034005P56HVSR56 | 2,7 | 1,6 | |
| 034005P57HVSR57 | 4 | 2,5 | 5,6 |
| 034005P58HVSR58 | 4,8 | 2 | 1,7 |
| 034005P59HVSR59 | 5 | 2,7 | 2,7 |
| 034005P70HVSR71* | 9,2* | 2,8 | |
| 034005P71HVSR72* | 0,5* | 3 | 8 |
| 034005P72HVSR73* | 7,5* | 3,5 | |
| 034005P73HVSR74* | 8,7* | 2,9 | |
| 034005P74HVSR75* | 6,1* | 2,7 | 1,8 |
| 034005P75HVSR76* | 18,5* | 2,8 | 13,5 |
| 034005P76HVSR77* | 13,4* | 1,9 | |
| 034005P77HVSR78* | 1,1* | 2,2 | |
| 034005P78HVSR79* | 0,6* | 4,3 | |
| 034005P79HVSR80* | 6,2* | 3 | |
| 034005P80HVSR81* | 6,3* | 6 | |

TAB. 2 – RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLE PROVE TROMOGRAFICHE ESEGUITE NEL CAPOLUOGO
(*) PROVE REALIZZATE NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nel grafico di **Fig. 6**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

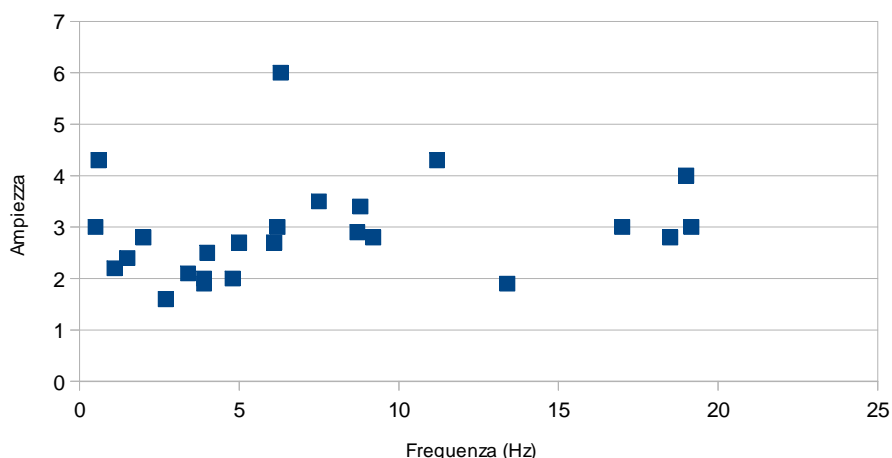


FIG. 6 – DISTRIBUZIONE DEI PICCHI DI FREQUENZA FONDAMENTALE E RELATIVE AMPIEZZE NELL'AMBITO DI STUDIO

4.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Rappresenta il documento fondamentale del I° livello di approfondimento in quanto, si ottiene mediante elaborazione dei tematismi geologico-morfologici e dei dati litostratigrafici forniti dalle indagini geognostiche e geofisiche.

L'obiettivo principale di detto elaborato, riguarda la suddivisione del territorio in aree omogenee caratterizzate da una diversa suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale indotti dal sisma. Viene predisposta con l'intento di definire, per ciascuna area, gli effetti attesi prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.) e gli eventuali approfondimenti da affrontare.

Nel presente studio viene proposta una revisione di tale cartografia alla luce delle informazioni aggiuntive ottenute nel corso della realizzazione delle nuove indagini, tenendo ben presente l'aggiornamento normativo e le variazioni che hanno subito gli *standard* di rappresentazione avvenuti in seguito all'elaborazione degli studi di I° e II° Livello.

In generale, nella cartografia delle **MOPS** il territorio può essere suddiviso nelle seguenti tre classi:

- **Zone stabili:** riguardano quelle zone che, ad esclusione dello scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento, non presentano effetti di alcuna natura. Trattasi di aree in cui il substrato roccioso, caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s > 800$ m/s, risulta affiorante o sub-affiorante (con spessori delle coperture minori di 3 m), con morfologia pianeggiante o poco inclinata (versanti con inclinazione inferiore a circa 15°). All'interno di queste aree non sono richiesti approfondimenti supplementari. Si evidenzia comunque che, in nessuna delle realtà studiate, si sono rilevate le condizioni suddette;

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** all'interno di queste aree sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Raggruppano le zone dove sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s.
- **Zone suscettibili d'instabilità:** rientrano in questa categoria le aree che, oltre ad essere soggette ad amplificazioni del moto sismico, possono dar luogo a instabilità (aree di frana attiva, aree di frana quiescente, aree soggette a cedimenti differenziali e/o liquefazione, aree di faglia, ecc..). Per tali aree sono previsti approfondimenti di III° Livello.

Ad ogni microzona, è stata associata una successione stratigrafica rappresentativa, ricostruita attraverso l'analisi dei dati forniti sia dalle indagini geognostiche preesistenti, che da quelle realizzate *ex-novo*.

Proprio la realizzazione delle nuove indagini e la successiva analisi dei dati stratigrafici, hanno permesso di rivedere la tipologia e le perimetrazioni delle microzone individuate durante gli studi pregressi.

Nel dettaglio, nei precedenti studi di I° e II° Livello, le aree contraddistinte da una successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da una coltre di alterazione di spessore medio inferiore a 3,00 m, venivano assegnate alla **Zona 1 (codice 2001)**. Con l'esecuzione dei nuovi sondaggi che hanno messo in luce un substrato non rigido stratificato caratterizzato da una coltre di alterazione di spessore medio pari a 5 metri, non risulta più possibile adottare nuovamente la **Zona 1**, per classificare tali terreni. Infatti, i nuovi *standard* propongono di attribuire al substrato alterato o fratturato una classe a parte, identificata con il codice **2099**.

Sempre in ragione delle informazioni desunte dalle nuove indagini, che hanno integrato le scarse informazioni di tipo stratigrafico reperite nell'area di interesse, sono stati ridefiniti gli spessori dei depositi detritici. Nel vecchio studio i depositi detritici localizzati verso il confine meridionale dell'ambito erano stati separati in 2 microzone differenti: **Zona 2** e **Zona 3**. La **Zona 2** veniva definita come una successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine detritica, prevalentemente argillosi e in subordine, ghiaioso-sabbiosi, di spessore medio pari a circa 5,00 m, mentre la **Zona 3** si differenziava dalla precedente unicamente per un maggiore spessore della copertura detritica, essendo mediamente pari a 10,00 metri. Attraverso gli approfondimenti effettuati, non sono state rilevate particolari discrepanze tra una microzona e l'altra in merito allo spessore dei depositi detritici, pertanto si è ritenuto opportuno unificare la **Zona 2** e **Zona 3** nella nuova classe **Zona 1**, contraddistinta da depositi detritici ed eluvio-colluviali di spessore medio pari a 8-10 metri.

Riassumendo, nell'ambito di Bore sono state identificate le seguenti due microzone omogenee in prospettiva sismica per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, ciascuna contraddistinta da un proprio profilo stratigrafico tipo:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

- **Substrato fratturato o alterato:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido con alternanza di litotipi, stratificato, ricoperto da una coltre di alterazione che si estende sino a profondità medie di circa 5 metri da p.c. Caratterizza gran parte dell'ambito di Bore Capoluogo.

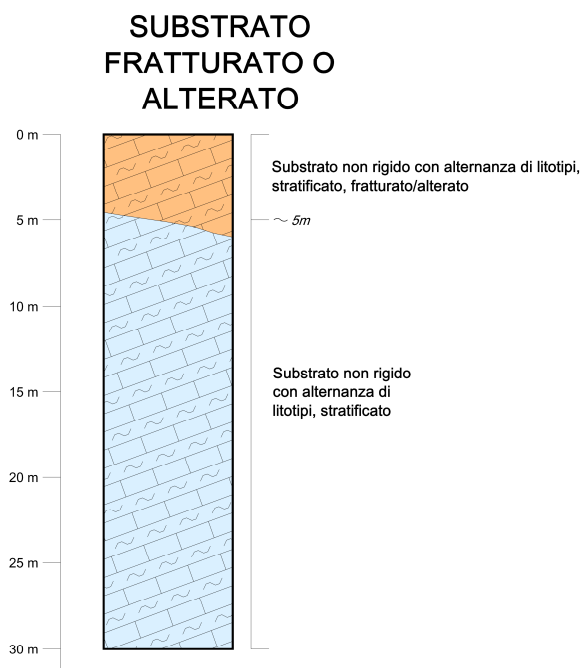


FIG. 7– PROFILO STRATIGRAFICO RAPPRESENTATIVO DELLA ZONA SUBSTRATO FRATTURATO O ALTERATO

- **Zona 1:** Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido con alternanza di litotipi, stratificato, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali e/o detrito di versante, a granulometria prevalentemente argillosa, di spessore medio pari a 8-10 m. Si inserisce nella porzione sud occidentale dell'ambito di Bore Capoluogo.

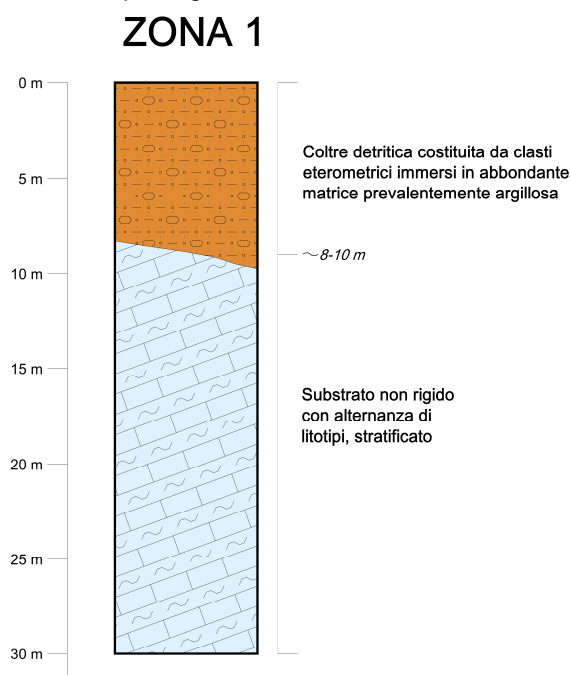


FIG. 8– PROFILO STRATIGRAFICO RAPPRESENTATIVO DELLA ZONA 1

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

In alcuni settori dell'ambito oggetto di microzonazione sismica sono state cartografate zone di attenzione per instabilità, localizzate principalmente verso il confine settentrionale. Nella maggior parte dei casi si individuano fenomeni di instabilità quiescenti e, solo in limitate circostanze e per piccole superfici, trattasi di frane di tipo attivo. Di seguito vengono brevemente descritte tutte le zone suscettibili di instabilità, ciascuna definita da un proprio profilo stratigrafico tipo:

- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 2**, corrisponde a piccoli settori nel territorio urbanizzato e urbanizzabile di Bore Capoluogo, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi di frana per scorrimento, attiva o quiescente, con spessori medi di circa 5 m, formati da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido, con alternanza di litotipi, stratificato.

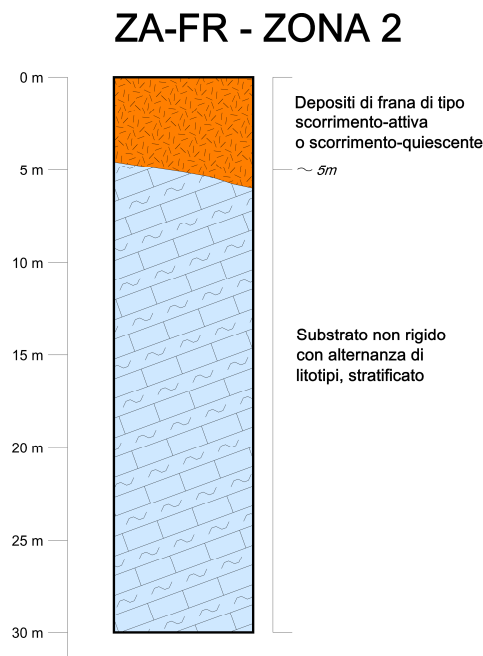


FIG. 9– PROFILO STRATIGRAFICO RAPPRESENTATIVO DELLA ZONA ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE – ZONA 2

- **ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 3**, Ricopre parzialmente il campo sportivo comunale nel settore settentrionale dell'ambito. Trattasi di una piccola porzione di un corpo franoso di più vaste dimensioni, di tipo quiescente-complesso, costituita da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido, con alternanza di litotipi, stratificato. Sulla base delle indagini realizzate, lo spessore medio di tali depositi si attesta su valori di 8-10 metri.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

ZA-FR - ZONA 3

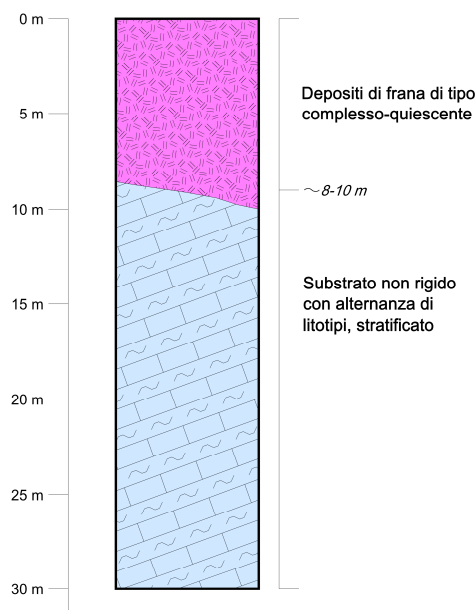


FIG. 10 – PROFILO STRATIGRAFICO RAPPRESENTATIVO DELLA ZONA ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE – ZONA 3

4.5. Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta per gli ambiti oggetto di studio la Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

Tale cartografia limitatamente all'ambito di interesse, 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 (prova tromografica *HVSR*, *MASW* e *SASW*) e indicando il corrispondente valore di V_{sH} (in m/s) (Cfr. **Fig. 11**), 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:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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).

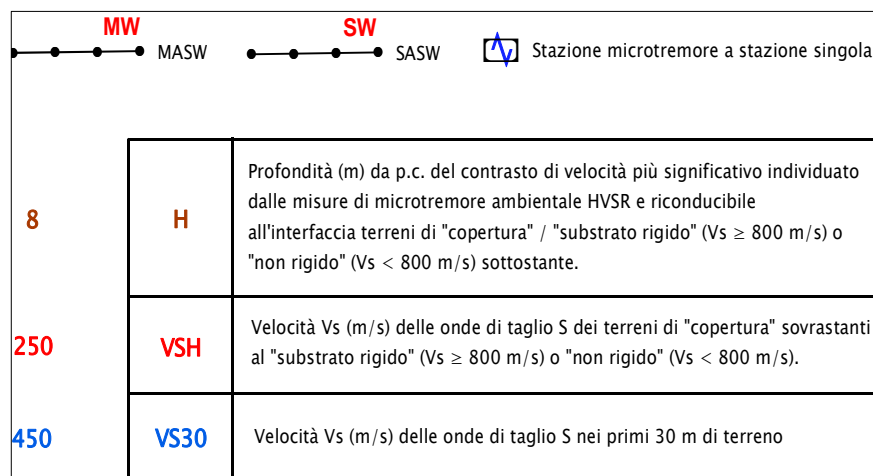


FIG. 11– STRALCIO LEGENDA DELLA CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove pregresse e di nuova esecuzione ricadenti nell'ambito di studio o nelle sue immediate vicinanze, specificando, per ciascuna di esse, la coppia di valori H e V_{sH} e in alternativa il Valore di V_{s30} , nel caso di $H < 3,00$ m:

| Prova | V_{sH} (m/s) | H (m) | V_{s30} (m/s) |
|------------------|----------------|-------|-----------------|
| 034005P42HVSR42 | 322 | 11,1 | |
| 034005P44HVSR44 | 232 | 3 | |
| 034005P45HVSR45 | 256 | 8,5 | |
| 034005P46HVSR46 | 375 | 21,2 | |
| 034005P47HVSR47 | 288 | 23,7 | |
| 034005P48HVSR48 | 298 | 13,1 | |
| 034005P52HVSR52 | 318 | 24,2 | |
| 034005P53HVSR53 | 263 | 7,5 | |
| 034005P54HVSR54 | | | 427 |
| 034005P55HVSR55 | 220 | 6,8 | |
| 034005P56HVSR56 | 299 | 8,3 | |
| 034005P57HVSR57 | 258 | 32,5 | |
| 034005P58HVSR58 | 317 | 22,8 | |
| 034005P59HVSR59 | 245 | 16,53 | |
| 034005P70HVSR71* | 277* | 8 | |

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

| Prova | VsH (m/s) | H (m) | Vs30 (m/s) |
|------------------|-----------|-------|------------|
| 034005P42HVSR42 | 322 | 11,1 | |
| 034005P71HVSR72* | 249* | 5 | |
| 034005P74HVSR75* | 276* | 9,1 | |
| 034005P75HVSR76* | 361* | 7,7 | |
| 034005P76HVSR77* | 361* | 7,7 | |
| 034005P77HVSR78* | 361* | 7,7 | |
| 034005P78HVSR79* | 230* | 4,5 | |
| 034005P79HVSR80* | 220* | 9 | |
| 034005P80HVSR81* | 222* | 6 | |
| 034005L3MASW4* | 230* | 4,5 | |
| 034005L4MASW5* | 276* | 8 | |
| 034005L5MASW6* | 238* | 5 | |
| 034005L6MASW7* | 220* | 10,8 | |
| 034005L7MASW8* | 297* | 9,1 | |
| 034005L8MASW9* | 361* | 7,7 | |
| 034005L9SASW10* | 220* | 9 | |
| 034005L10SASW11* | 222* | 6 | |

TAB. 3 – VALORI DI VS30 E VS_H RICAVALI DALLE PROVE ESEGUITE ALL'INTERNO DELL'AMBITO IN ESAME

I risultati sopraindicati, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di V_{s30} o di V_{sH} da assumere per ciascuna *MOPS*, definita nel paragrafo 4.4, e che sono serviti per calcolare i fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 5.3.

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori:

| Zona | Livello di approfondimento | Vsh | Vs30 |
|--|----------------------------|-----|------|
| Substrato alterato e fratturato | 3 | / | / |
| Zona 1 | 3 | / | / |
| Zona 2 | 2 | 250 | / |
| Zona 3 | 3 | / | / |

TAB. 4 – TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S MEDIE PER CIASCUNA ZONA DELL'AMBITO DI "BORE CAPLUOGO"

5. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

5.1. Analisi di risposta sismica locale

5.1.1 Pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento

La sismicità storica del Comune di Bore è stata estrapolata dal *Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*, redatto nell'ambito delle attività del *Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici"*, in cui sono stati classificati e catalogati 122701 dati di intensità per 3212 terremoti. I dati derivano da 185 tra studi, *data-base*, rapporti e bollettini pubblicati sino al 2016. Il numero di terremoti supportati da dati di intensità è quasi raddoppiato rispetto alla precedente versione (DBMI11) da 1681 a 3212, pari rispettivamente al 53% e al 70% dei terremoti in catalogo) che fanno parte del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (CPTI15).

La sismicità del territorio comunale di Bore è riassunta graficamente nel diagramma di **Fig. 12.a**. Nella tabella a fianco (**Fig. 12.b**) sono elencate le osservazioni, contraddistinte da maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Oltre alla stessa intensità al sito (*I_s*), sono indicati l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui si è verificato, il numero dei dati puntuali d'intensità disponibili (*N_p*), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (*I_o*), e la magnitudo momento (*M_w*).

Il primo riferimento per una stima della pericolosità sismica di base è rappresentato dalla "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (MPS04 - edizione aprile 2004). Successivamente tale Mappa è stata revisionata e quella definitiva è stata approvata con *OPCM n° 3519 del 28 aprile 2006 (all. 1b)* e pubblicata in *G.U. n° 108 del 11.05.2006*. In questa mappa sono indicati i valori di accelerazione di picco al suolo *a(g)* con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (per un Tempo di ritorno di 475 anni) riferita a suoli molto rigidi (*V_{s30} > 800 m/s, Cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005*) per l'intero territorio nazionale. L'accelerazione orizzontale massima del suolo corrisponde a quella che in ambito internazionale viene chiamata *PGA*. A questo sono seguiti altri progetti, tra cui quello che ha portato alla consultazione interattiva della *MPS04* stessa.

Consultando il sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.

Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento: *a(g)* (accelerazione orizzontale massima del suolo) e *Se(T)* (Spettro di risposta Elastico in accelerazione, in funzione del periodo *T*). Si è quindi provveduto a raffigurare le mappe relative al Comune di Bore (**Fig. 13**).

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di Bore ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) pari a $0,150 \div 0,175 g$. Tali valori sono coerenti con quanto riportato nell'Allegato A4 della D.A.L. Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2.5.2007, che attribuisce al Comune di Bore un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g a_{refg} , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) pari a **0,153 g**.

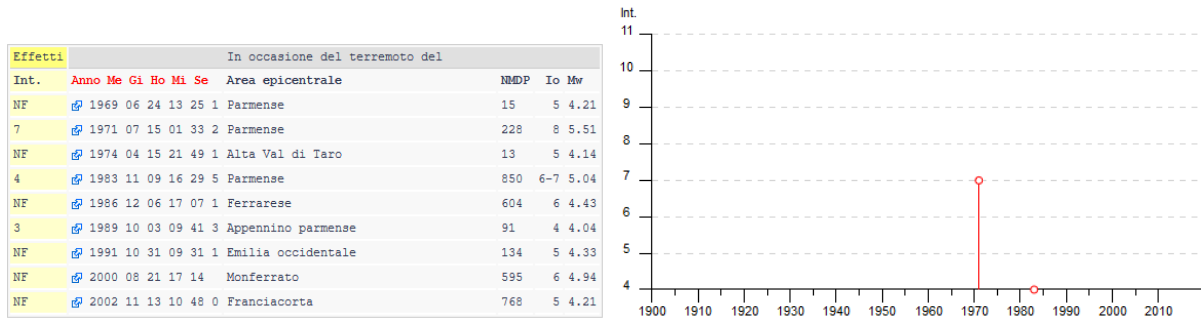


FIG. 12.A) DIAGRAMMA DELLA STORIA SISMICA DI BORE, LIMITATAMENTE AI TERREMOTI CON INTENSITÀ EPICENTRALE UGUALE O SUPERIORE A 4-5; 12.B) ELENCO DEI TERREMOTI PIÙ FORTI RISENTITI NELL'AREA DI PARMA TRA IL 1800 E IL 2018. FONTE DATI: INGV DATABASE MACROSISMICO ITALIANO 2015 - [HTTP://EMIDIUS.MI.INGV.IT/DBMI15/](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/)

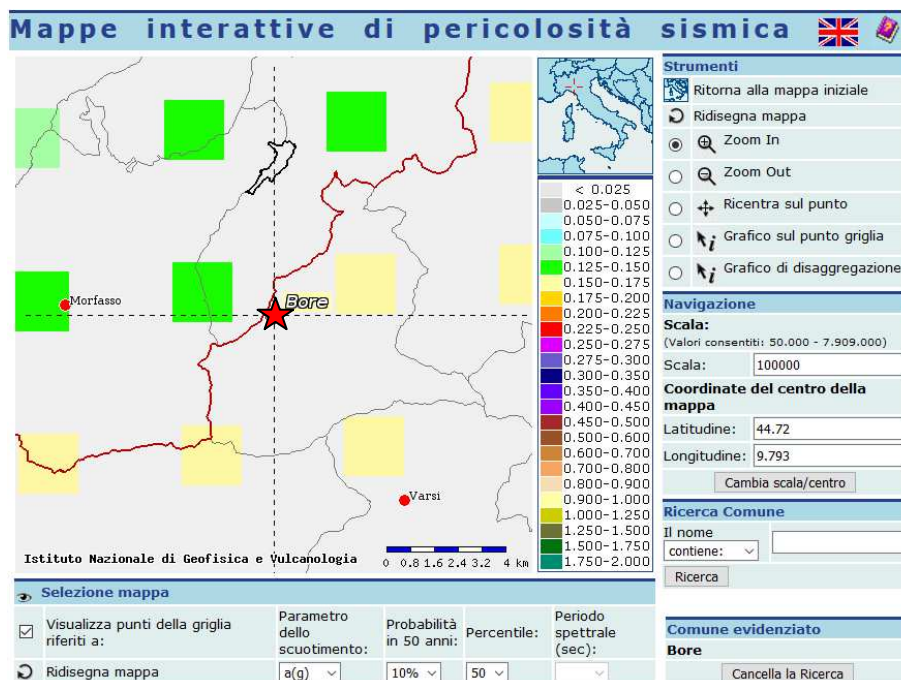


FIG. 13 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER IL TERRITORIO DEL COMUNE DI BORE ESPRESSA IN TERMINI DI A(G) E PROBABILITÀ DI ECCEDENZA DEL 10% IN 50 ANNI ($TR = 475$ ANNI) (INGV); GLI ASSI SONO CENTRATI SUL SITO DI INTERESSE.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

5.1.2 Spettro di risposta rappresentativo

Per la valutazione della pericolosità sismica di base, sono stati impiegati i risultati pubblicati dalla Regione Emilia Romagna (Cfr. *Allegato 4 - DAL 112/2007*), relativamente all'attribuzione a ciascun comune, di un valore di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido di riferimento, per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni (equivalenti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni). Tale valore, che deriva dalla media di tutti corrispondenti valori associati ai nodi del reticolo di riferimento con maglie di 0,05°, definiti dall'*Allegato B del D.M. 14/01/2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni"*, equivale a **0,153 g** nel caso del Comune di Bore.

Partendo da tale valore, corrispondente all'accelerazione massima orizzontale attesa al sito su suolo rigido al periodo $T=0$, è stato possibile ricostruire lo spettro di risposta a probabilità uniforme, semplicemente moltiplicando **0,153 g** per i valori $Se(g)/a_{ref}$ che definiscono l'equivalente spettro normalizzato previsto per l'Emilia Romagna (rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni, con smorzamento del 5%).

Lo spettro di risposta caratteristico del comune, riportato in **Fig. 14** è stato sovrapposto a quello normalizzato ricavato dal *D.M. 14/01/2008* per un suolo di tipo **A**.

Il grafico mostra un buon grado di correlazione tra i due spettri inoltre, si evidenzia come i valori di amplificazione massima si verificano per periodi (T) compresi tra 0,15 s e 0,30 s.

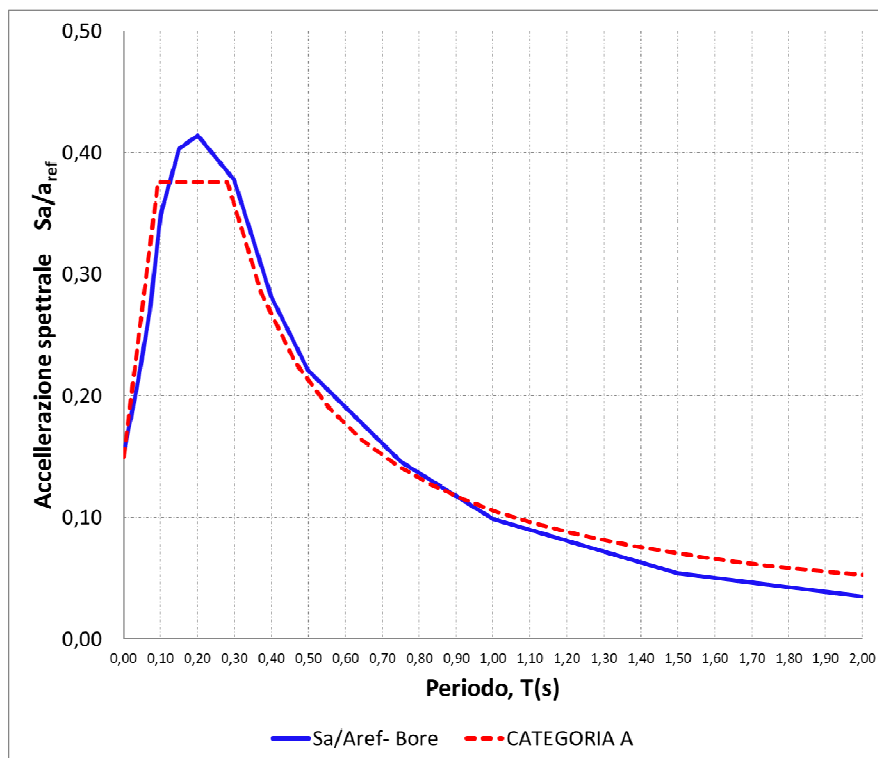


FIG. 14 – SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO (D.A.L. 112/2007 - $T_R=475$ ANNI, SMORZAMENTO= 5%) RAFFRONTATO A QUELLO DI CATEGORIA A (DA NTC 2008), PER IL COMUNE DI BORE

5.1.3 Selezione dei segnali sismici di riferimento

L'input sismico, rappresentativo del moto atteso sul sito di riferimento rigido affiorante utilizzato nelle analisi è rappresentato da n.3 "time history" dell'accelerazione, che sono state selezionate dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm, denominata anche come *ISESD*) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel caso in esame questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni di **Fig. 14**) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati *ISESD*.

I segnali di riferimento sono stati normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta fosse unitaria.

I files con i segnali di riferimento normalizzati sono stati scaricati dal sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, tema "Sismica - Microzonazione Sismica".

Nello specifico trattasi di tre files:

- **000046xa.xy**;
- **000126xa.xy**;
- **000354xa.xy**.

Il nome dei files corrisponde al codice identificativo *ISESD* delle registrazioni accelerometriche.

Ciascun file contiene due colonne: la prima corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda il valore di accelerazione normalizzata.

Gli accelerogrammi *000046xa.xy*, *000126xa.xy* e *000354xa.xy* sono stati inseriti nel software di elaborazione per il calcolo della *Risposta Sismica Locale "LSR 1D"* (Version 4.1.1 della *STACEC*, quindi sono stati opportunamente scalati, rispetto al valore della *PGA* al *bedrock* attesa in sito, considerando un substrato rigido affiorante (Cat. A) (Cfr. **Fig. 15**).

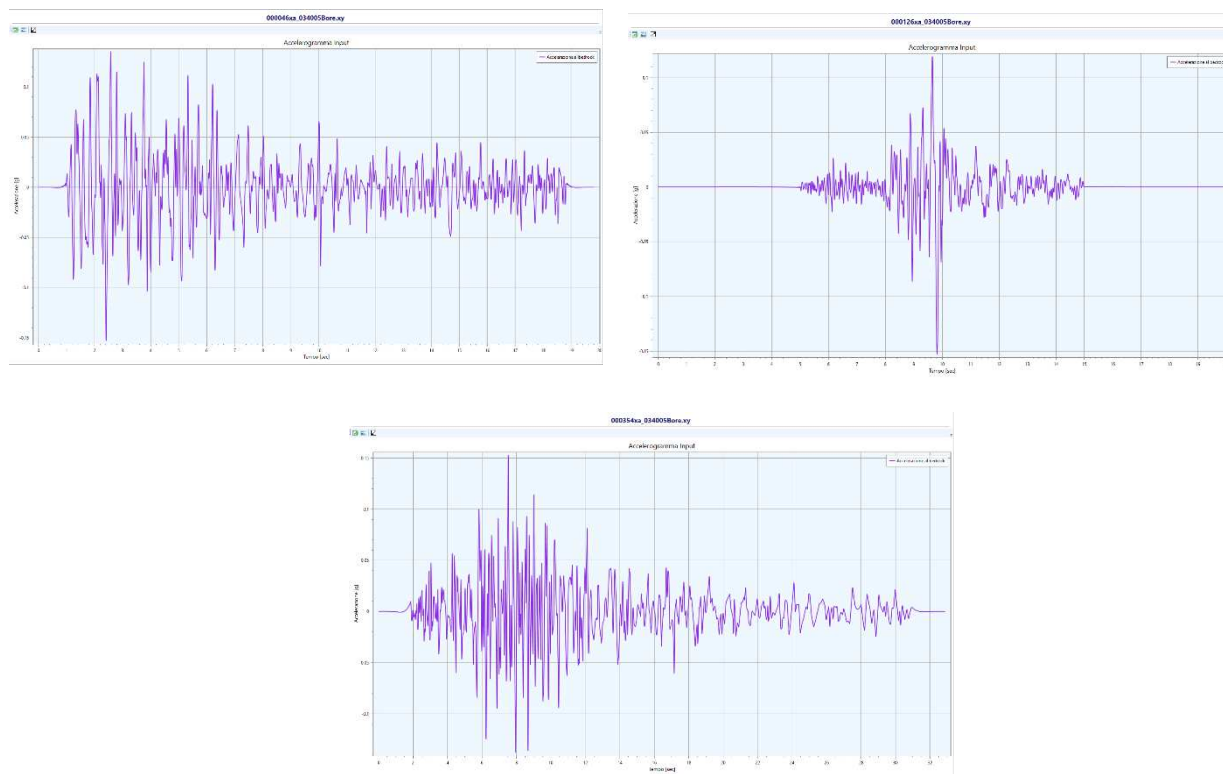
ACCELEROGRAMMI DI INPUTSCALATI $ag/g = 0,153$ 

FIG. 15 - SERIE TEMPORALI ACQUISITE E RISCALATE IN FUNZIONE DELLA P.G.A. ATTESA AL BEDROCK SISMICO (SOTTOSUOLO DI CAT. A).

5.1.4 Modello stratigrafico e parametrizzazione sismica

Attraverso un'attenta analisi delle indagini geotecniche e sismiche di nuova realizzazione eseguite in sito (vedi Elaborati **7** e **9**), a cui si aggiungono le indagini pregresse consultabili nel *data-base* a corredo di questo studio, si è cercato di ricostruire un modello sismo-stratigrafico semplificato rappresentativo di ciascuna *MOPS* di interesse.

E' stata quindi calcolata la risposta dinamica monodimensionale (*1D*), optando per un'analisi equivalente lineare (*EQL*), basata su un modello di propagazione lineare delle onde in cui le proprietà dinamiche del terreno, quali "Modulo di taglio *G*" e "Rapporto di smorzamento *D*", vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Pertanto, a ciascuno strato, come definito nel modello, è stato attribuito un valore rappresentativo del peso di volume, delle *Vs* e del Coefficiente di *Poisson Ni*. Si è poi proceduto assegnando al medesimo strato una coppia di curve che definisce il comportamento non lineare del terreno in funzione di un aumento percentuale della deformazione di taglio:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

- la curva di decadimento del Modulo di rigidezza al taglio G alle basse deformazioni, espresso come rapporto G/G_0 (Cfr. Fig. **16.a**);
- la curva di variazione dello smorzamento D (Cfr. Fig. **16.b**).

Per i casi in esame sono stati utilizzati i risultati delle prove di laboratorio, ottenuti dall'analisi secondo la metodologia della "Colonna Risonante" su:

- **n°1 campione** prelevato durante l'esecuzione del sondaggio **S2**.

Ad integrazione delle curve desunte dalla prova di laboratorio ne sono state estrapolate altre presenti in letteratura, attingendo al portale WEB-GIS <http://150.217.73.23/BancaDatiVEL/> sviluppato dalla Regione Toscana con la collaborazione tecnica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, nell'ambito del "Programma VEL" (*Valutazione Effetti Locali*). I risultati sperimentali contenuti nella banca dati VEL possono essere selezionati secondo numerosi criteri (geografico, per litologia, per formazione geologica, etc...) e direttamente tradotti in curve di decadimento scegliendo i parametri delle equazioni di *Yokota* che meglio approssimano i dati sperimentali.

Nel presente lavoro si è cercato di optare per quelle curve relative a campioni che presentavano maggiori affinità sia dal punto di vista stratigrafico sia da un punto di vista litologico con le formazioni geologiche caratterizzanti l'area di studio.

Così facendo è stato possibile valutare in maniera più accurata il comportamento deformativo dei terreni superficiali analizzati.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

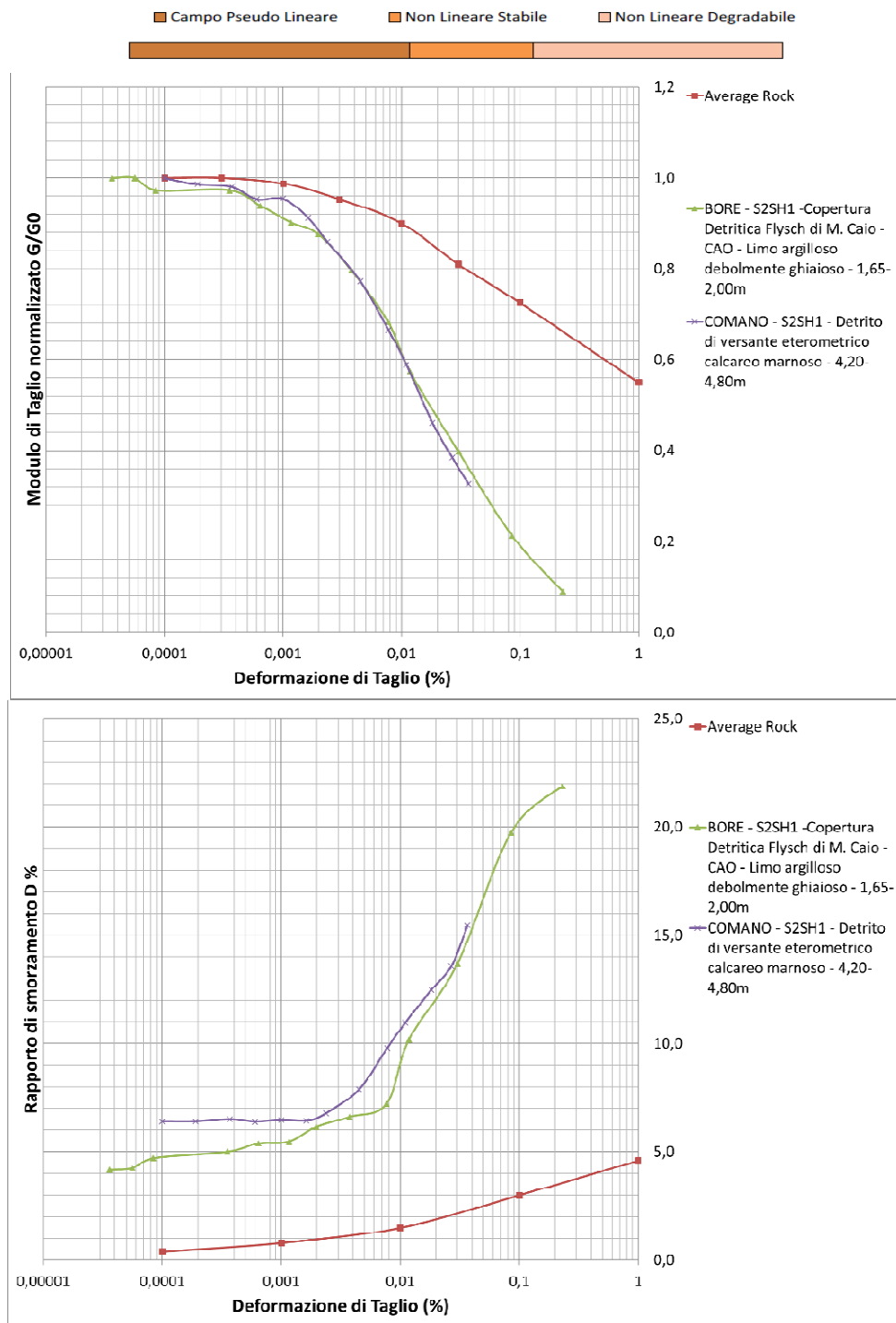


FIG. 16.A; 16.B - CURVE DI DECADIMENTO ESPRESSE COME RAPPORTO G/G_0 E CURVE DELLO SMORZAMENTO $D(\%)$ ENTRAMBE IN FUNZIONE DELLO SFORZO DI TAGLIO APPLICATO, ASSOCIATE AD OGNI SINGOLO STRATO CHE DEFINISCE IL MODELLO STRATIGRAFICO-SISMICO DI INPUT.

5.1.5 Grafici di output della RSL

A seguito della modellazione numerica e dell'ottenimento dei grafici di *output* dalla simulazione in **LSR 1D**, possono essere ricavate diverse informazioni, che permettono di descrivere in maniera dettagliata il comportamento sismico della colonna stratigrafica soprastante il *bedrock* di riferimento.

Sono state prese in considerazione soltanto alcune delle informazioni ricavate dallo studio di *RSL*, in particolare quelle che solitamente vengono richiesti in uno studio microzonazione sismica di terzo livello e che possono avere un impiego ai fini progettuali delle opere ingegneristiche.

1) **Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione**

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto per i calcoli strutturali e in "*LSR 1D*" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nei casi in esame (è stato calcolato per gli *SLV* a piano campagna, con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%).

2) **Housner Intensity - Intensità di Housner**

L'intensità spettrale è definita come:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove *PSV* è lo pseudospettro di risposta in velocità, *T₀* è il periodo proprio e ξ è lo smorzamento.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in oggetto, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0,1 e 2,5 secondi.

Si ritiene opportuno valutare un duplice intervallo di integrazione: il primo tra 0,1 e 0,5 secondi, significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio, il secondo per quelle più flessibili, ad elevato periodo proprio.

3) **P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile**

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità. Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della *P.G.A.* in superficie e il valore della *P.G.A.* al *bedrock* (sottosuolo di categoria A). Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi *input* sismici assegnati.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

5.1.6 Risultati ottenuti dalla modellazione

Nel presente studio sono stati elaborati i modelli di *input* riguardanti le seguenti microzone:

- A. Substrato alterato o fratturato;
- B. Zona 1;
- C. Zona 3.

Di seguito si riportano le risultanze per ogni modello sismo-stratigrafico considerato.

Substrato alterato o fratturato

Le indagini di riferimento utilizzate per la ricostruzione del modello geotecnico-sismico semplificato e identificate secondo il codice di archiviazione attribuito nel *data-base* a corredo dello studio, rappresentativo della *MOPS* di interesse, sono le seguenti:

- Indagine n° 034005L3SR3; 034005L3MASW4; 034005L5MASW6; 034005P71HVSR72.

Nella **Fig. 17** sono rappresentati i dati di ingresso al software **LSR 1D** impiegato per le elaborazioni di III° Livello, mentre in **Fig. 18** vengono raffigurati gli spettri di *input* adottati.

| Strato | Spessore [m] | ρ [Kg/m ³] | Vs [m/s] | Ni | Modello geotecnico | Colore |
|--------|--------------|-----------------------------|----------|------|--------------------------------|--------|
| 1 | 2.00 | 1800.00 | 170.00 | 0.45 | PIEVE SANTO STEFANO_MLL_5103 | |
| 2 | 1.00 | 1890.00 | 240.00 | 0.35 | PIEVE SANTO STEFANO_MLL_51030_ | |
| 3 | 2.00 | 1990.00 | 370.00 | 0.35 | PIEVE SANTO STEFANO_MLL_51030_ | |
| 4 | 4.00 | 2060.00 | 500.00 | 0.35 | Average Rock | |
| 5 | 10.00 | 2110.00 | 600.00 | 0.35 | Average Rock | |
| 6 | 10.00 | 2110.00 | 680.00 | 0.35 | Average Rock | |

FIG. 17 - SCHERMATA DI INPUT TRATTE DAL SOFTWARE "LSR 1D", DOVE VIENE DEFINITO IL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE: SUBSTRATO ALTERATO O FRATTURATO

SPETTRI DI INPUT

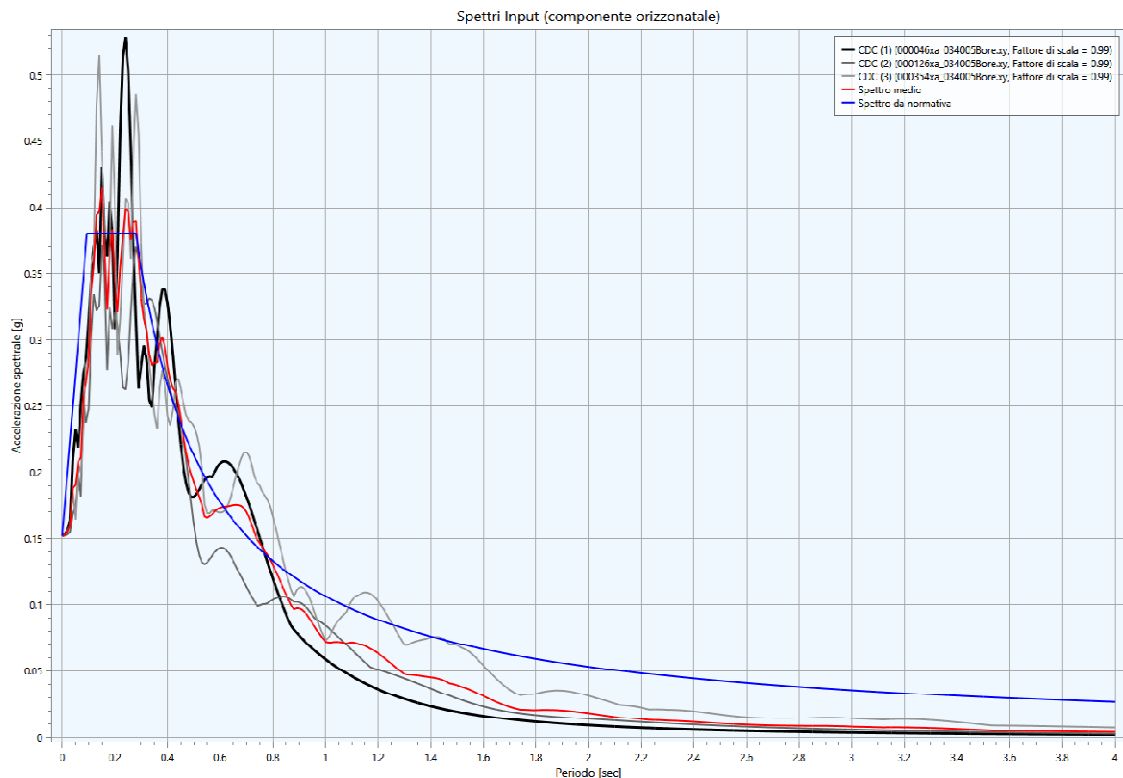


FIG. 18 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA AL BEDROCK, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.

Di seguito vengono rappresentati tutti gli spettri ottenuti per ciascun fattore amplificazione analizzato.

1A) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, si è calcolato un valore di V_{s30} pari **490 m/s**, caratteristico di un terreno di **“Categoria B”**. Osservando in dettaglio il grafico di **Fig. 19** si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di **Categoria B**; pertanto i dati emersi dallo studio di **RSL** risultano leggermente più cautelativi. Lo spettro medio è stato poi adattato alla tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della **“media”**.

Si rammenta che per il sito di interesse, il valore di ag_{max} su sottosuolo rigido (**P.G.A.0**) per gli **SLV** è di **0.153 g**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

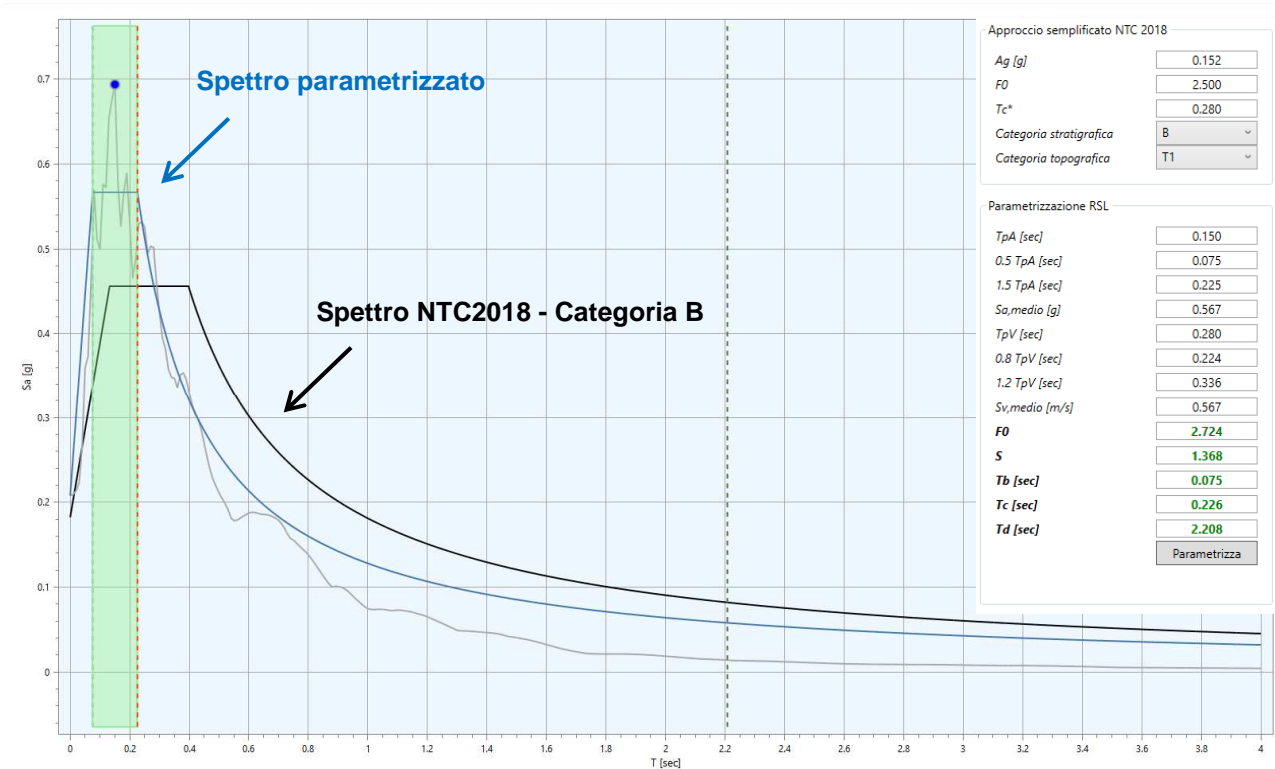
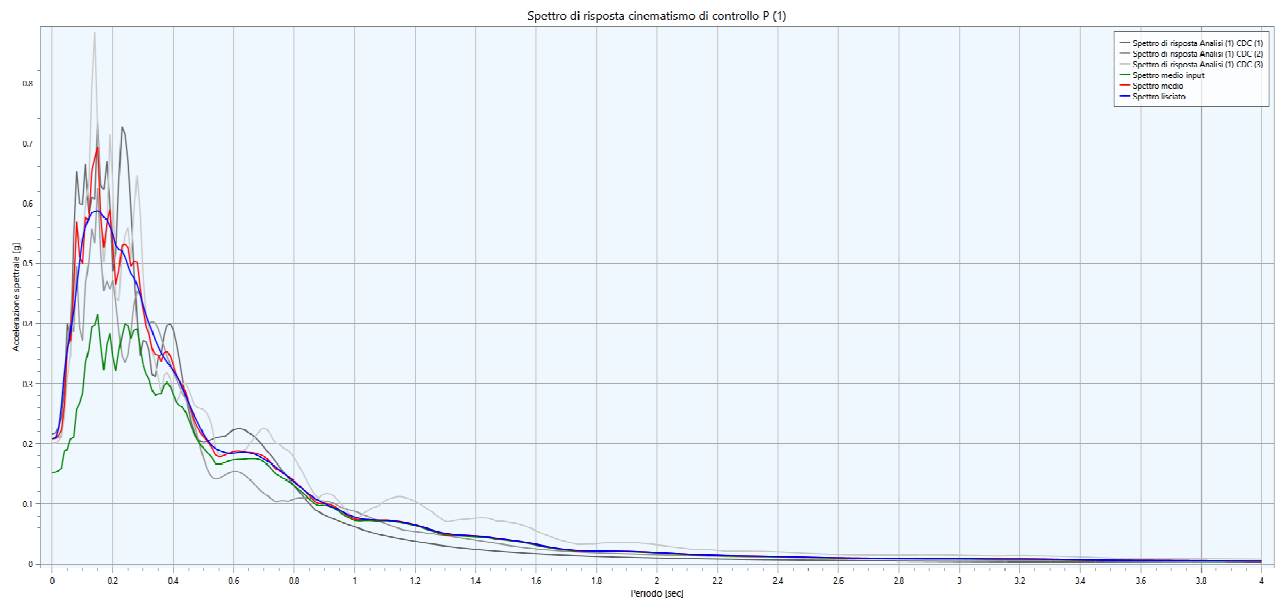


Fig. 19 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA IN SUPERFICIE, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.

SULLA DESTRA SONO INDICATI I VALORI RAPPRESENTATIVI DELLO SPETTRO MEDIO PARAMETRIZZATO SECONDO NORMATIVA (LINEA BLU), CONSIDERANDO UNO SMORZAMENTO DEL 5%; LO SPETTRO RICAVATO CON APPROCCIO SEMPLIFICATO, CHE FA RIFERIMENTO ALLA "CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO" (CATEGORIA B) DETERMINATA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN SITO, È INVECE RAPPRESENTATO CON LA LINEA NERA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

2A) Housner Intensity – Intensità di Housner

Nei due grafici raffigurati di seguito vengono rappresentati gli spettri relativi all'intensità di *Housner* negli intervalli $0,1 < SI < 0,5$ e $0,5 < SI < 1,0$.

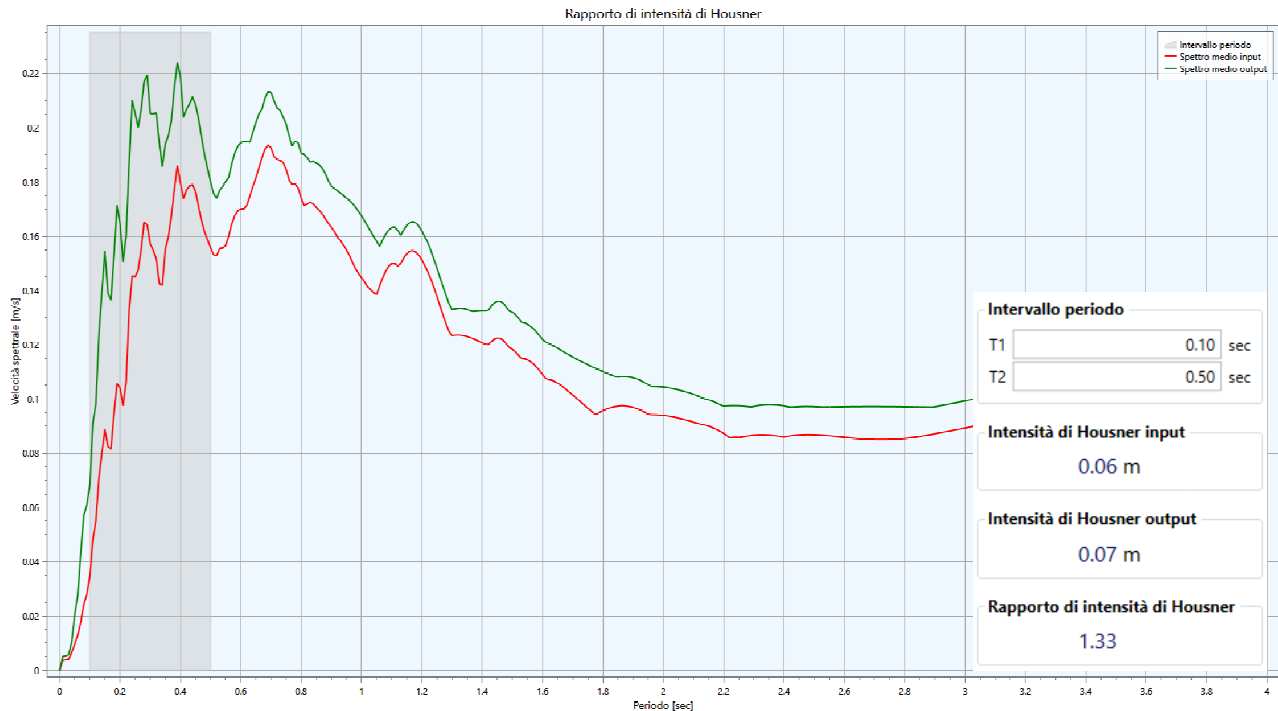


FIG. 20 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,1 < SI < 0,5$.

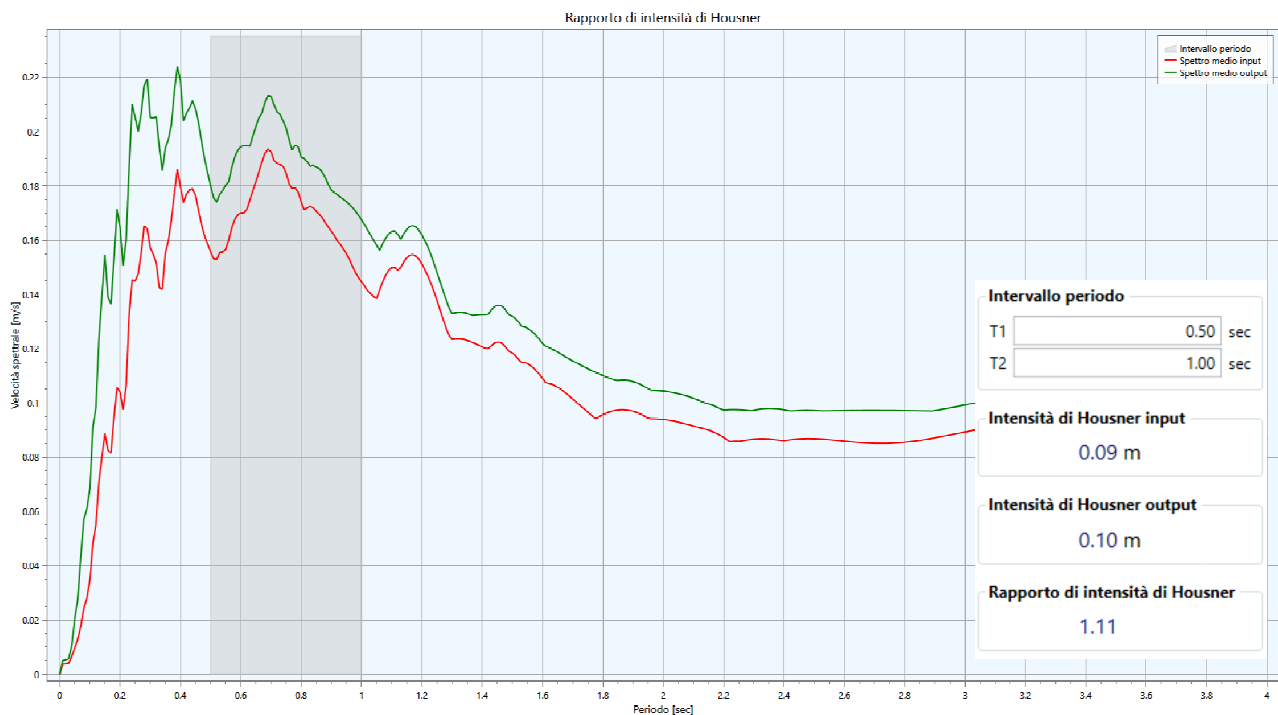


FIG. 21 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,5 < SI < 1,0$.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

3A) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profil

Nella **Fig. 22** viene rappresentata la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità (rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.₀ al bedrock).

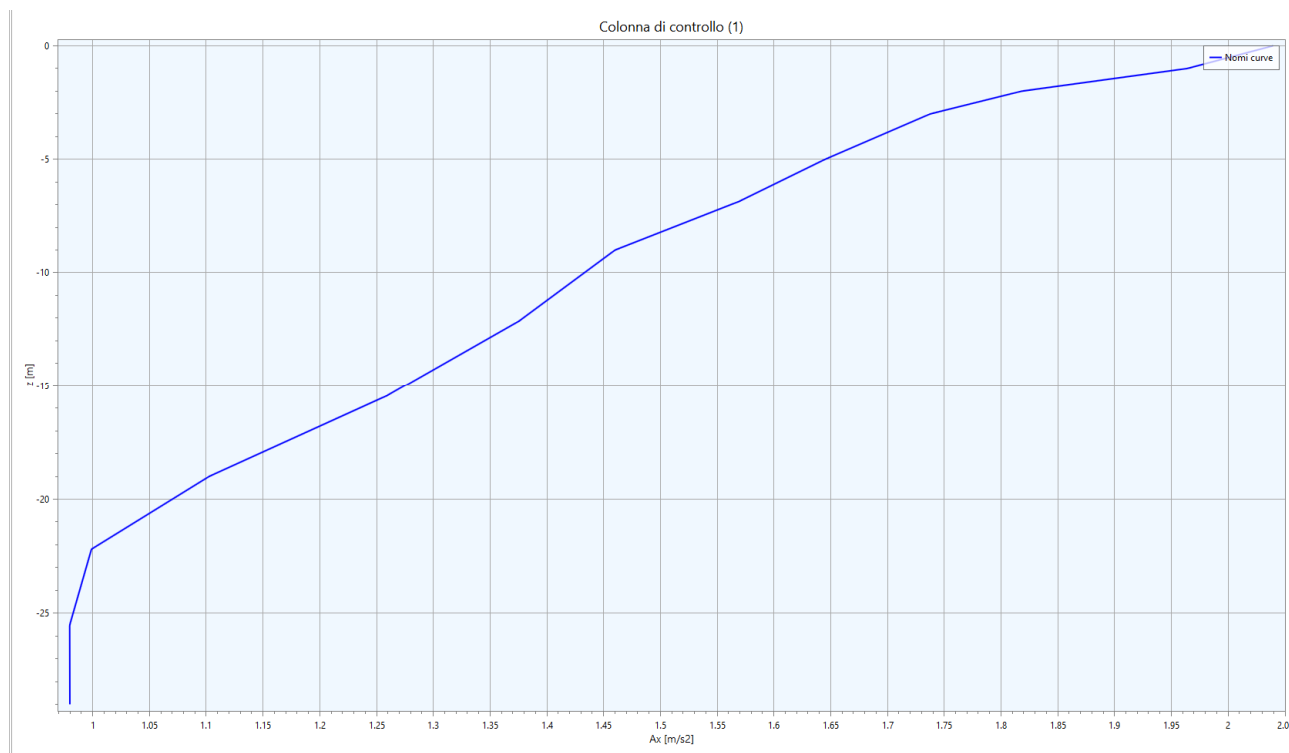


FIG. 22 - P.G.A. PROFILE: SI PUÒ NOTARE UNA MAGGIORE INCIDENZA DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE A PARTIRE DAGLI ORIZZONTI PIÙ SUPERFICIALI AVENTI VS INFERIORE (DA 0 A 5M).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i valori dei F.A. determinati con l'analisi di RSL di III° livello:

| Substrato alterato o fratturato | |
|---|------|
| Fattori di amplificazione | RSL |
| F.A. P.G.A. | 1,36 |
| F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s) | 1,33 |
| F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s) | 1,11 |

TAB. 5 – TABELLA RIASSUNTIVA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DELLA ZONA "SUBSTRATO ALTERATO O FRATTURATO"

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Zona 1

Nel caso in esame sono state analizzate ed elaborate le seguenti indagini:

- Indagine n° 034005L7MASW8; 034005P68SS68; 034005P68SC69; 034005P74HVS75.

Nella **Fig. 23** sono rappresentati i dati di ingresso al software **LSR 1D** impiegato per le elaborazioni di III° Livello, mentre in **Fig. 24** vengono raffigurati gli spettri di *input* adottati.

| Strato | Spessore [m] | ρ [Kg/m ³] | Vs [m/s] | Ni | Modello geotecnico | Colore |
|--------------|--------------|-----------------------------|----------|------|-------------------------------------|--------|
| 1 Strato (1) | 3.10 | 1850.00 | 210.00 | 0.45 | BORE -S2SH1 - Copertura Detritica | |
| 2 Strato (2) | 2.00 | 1910.00 | 260.00 | 0.35 | BORE -S2SH1 - Copertura Detritica F | |
| 3 Strato (3) | 4.00 | 1980.00 | 350.00 | 0.35 | COMANO_a1q_51030_45005_S2SH1 | |
| 4 Strato (4) | 4.00 | 2080.00 | 540.00 | 0.35 | Average Rock | |
| 5 Strato (5) | 10.00 | 2130.00 | 660.00 | 0.35 | Average Rock | |
| 6 Strato (6) | 11.00 | 2130.00 | 720.00 | 0.35 | Average Rock | |

FIG. 23 - SCHERMATA DI INPUT TRATTE DAL SOFTWARE "LSR 1D", DOVE VIENE DEFINITO IL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE: ZONA 1.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

SPETTRI DI INPUT

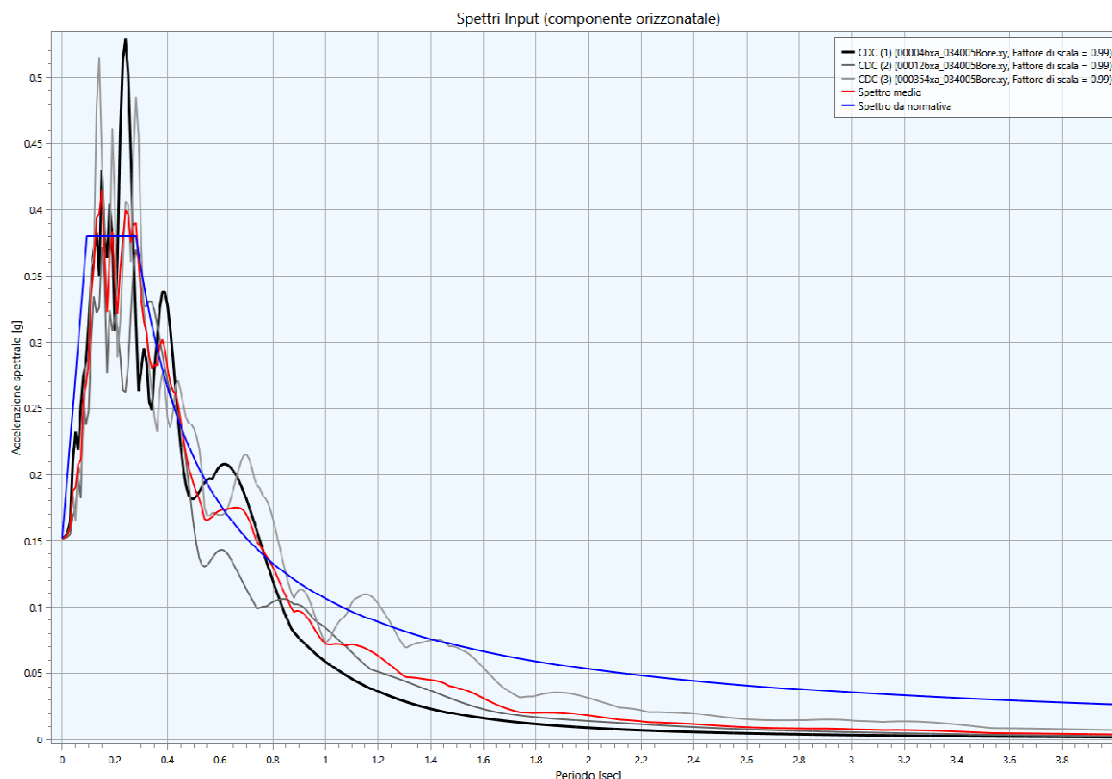


FIG. 24 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA AL BEDROCK, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.

1B) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, è stato calcolato un valore di V_{s30} di **457 m/s**, per il quale viene attribuita ai terreni in esame la "Categoria B". Osservando in dettaglio il grafico (Cfr. Fig. 25) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di categoria B; pertanto i dati emersi dallo studio di RSL risultano leggermente più cautelativi. Lo spettro medio è stato poi adattato alla tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "media".

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

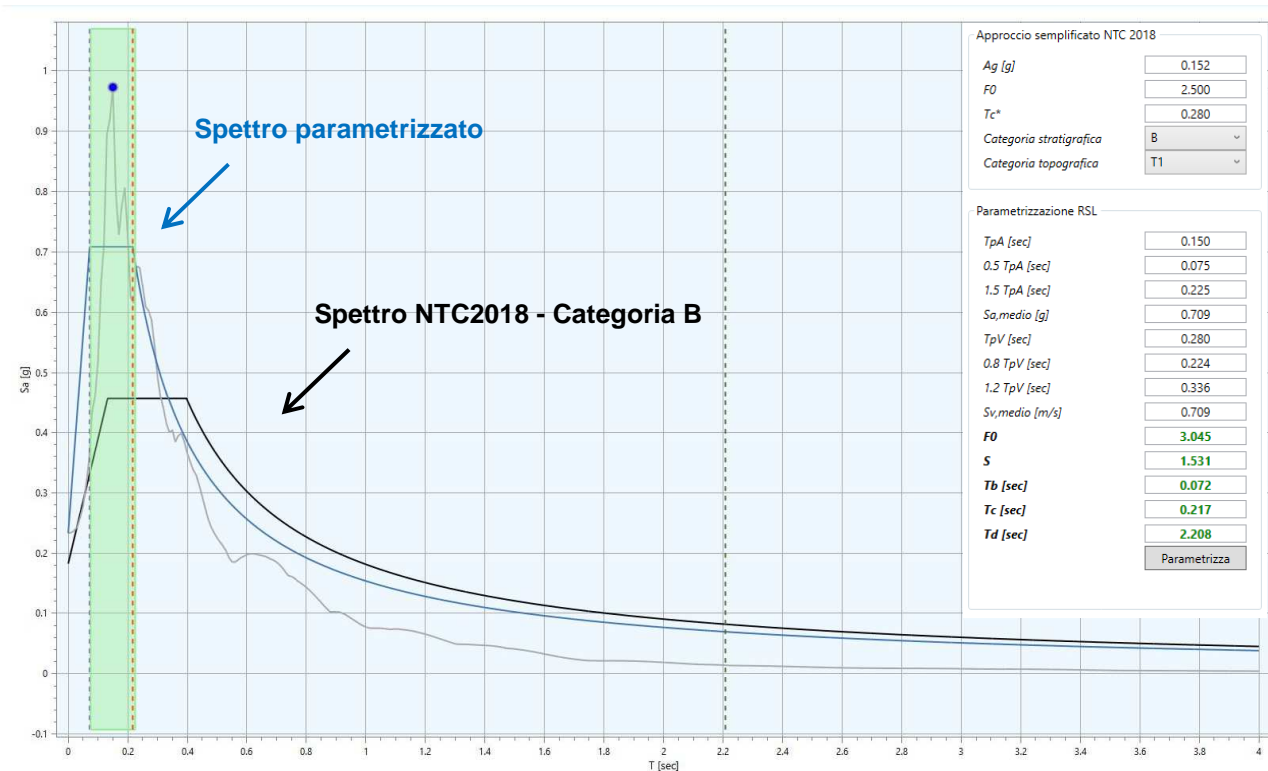
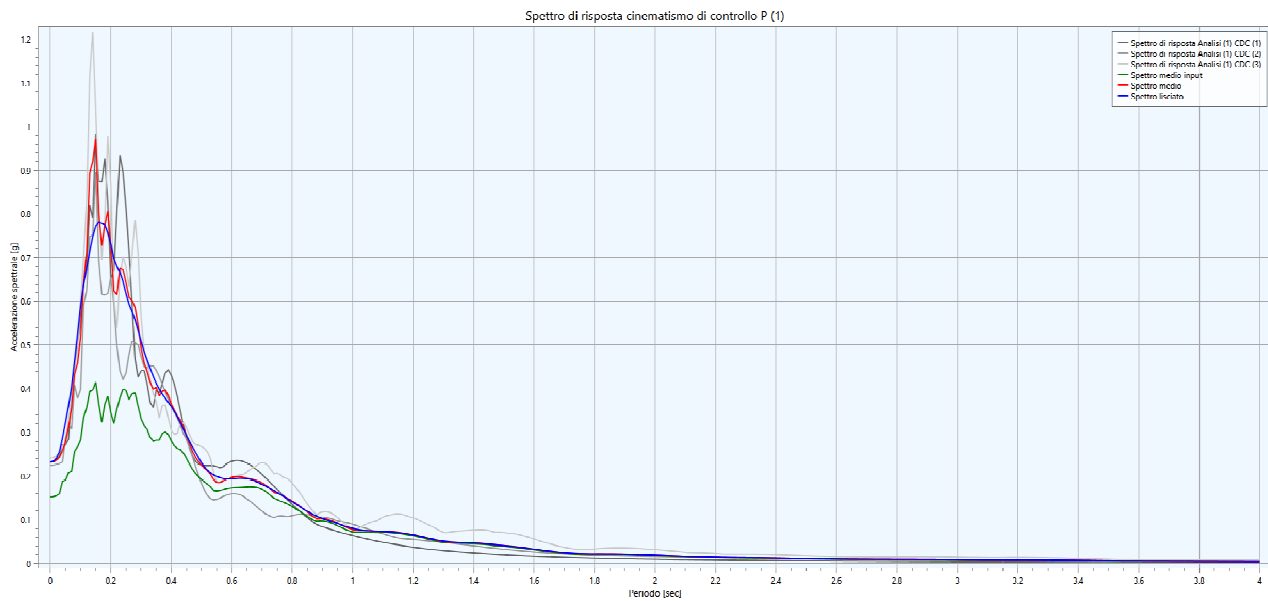


FIG. 25 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA IN SUPERFICIE, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%. SULLA DESTRA SONO INDICATI I VALORI RAPPRESENTATIVI DELLO SPETTRO MEDIO PARAMETRIZZATO SECONDO NORMATIVA (LINEA BLU), CONSIDERANDO UNO SMORZAMENTO DEL 5%; LO SPETTRO RICAVATO CON APPROCCIO SEMPLIFICATO, CHE FA RIFERIMENTO ALLA "CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO" (CATEGORIA B) DETERMINATA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN SITO, È INVECE RAPPRESENTATO CON LA LINEA NERA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

2B) Housner Intensity – Intensità di Housner

Nei due grafici raffigurati di seguito vengono rappresentati gli spettri relativi all'intensità di *Housner* negli intervalli $0,1 < SI < 0,5$ e $0,5 < SI < 1,0$.

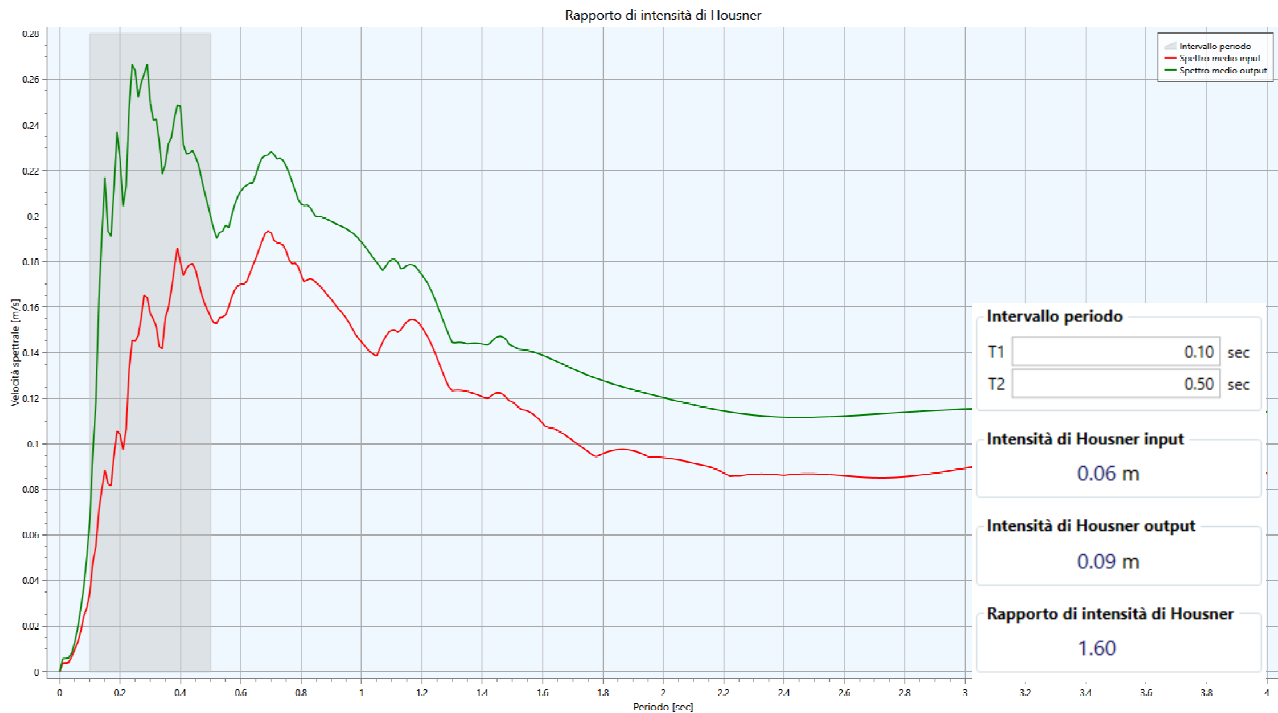


FIG. 26 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,1 < SI < 0,5$.

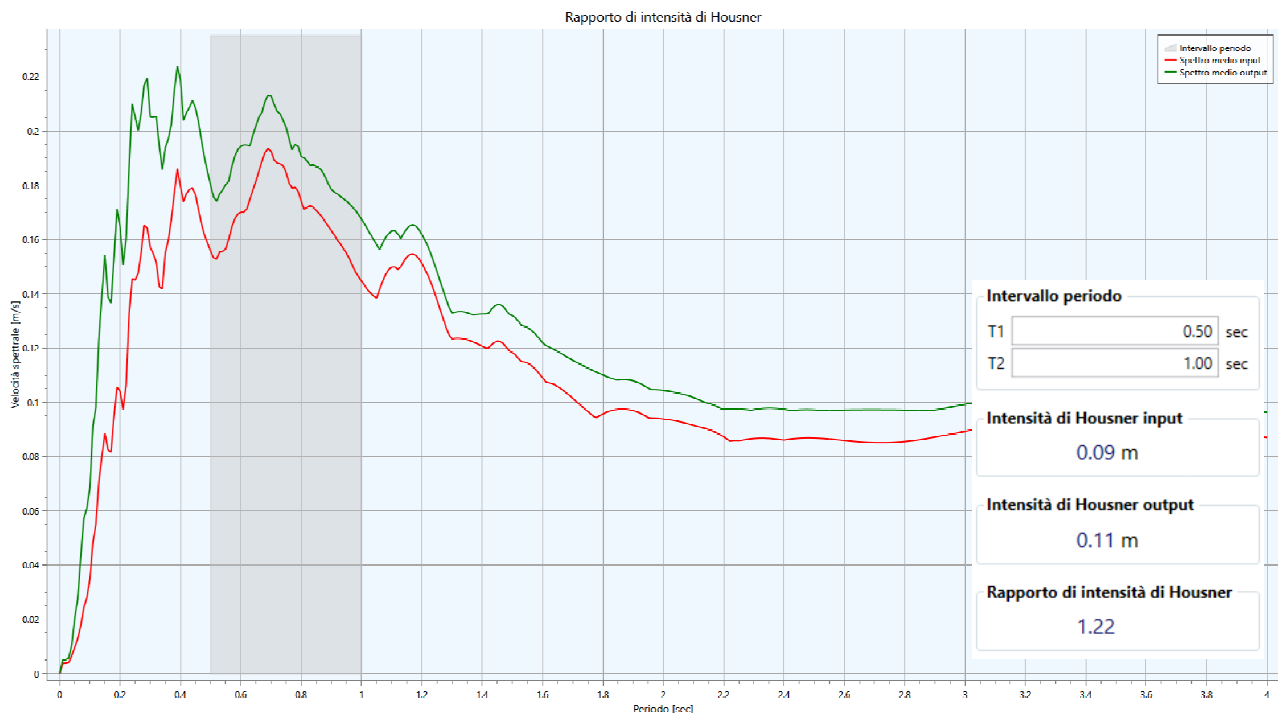


FIG. 27 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,5 < SI < 1,0$.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

3B) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Nella **Fig. 28** viene rappresentata la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità (rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.₀ al bedrock).

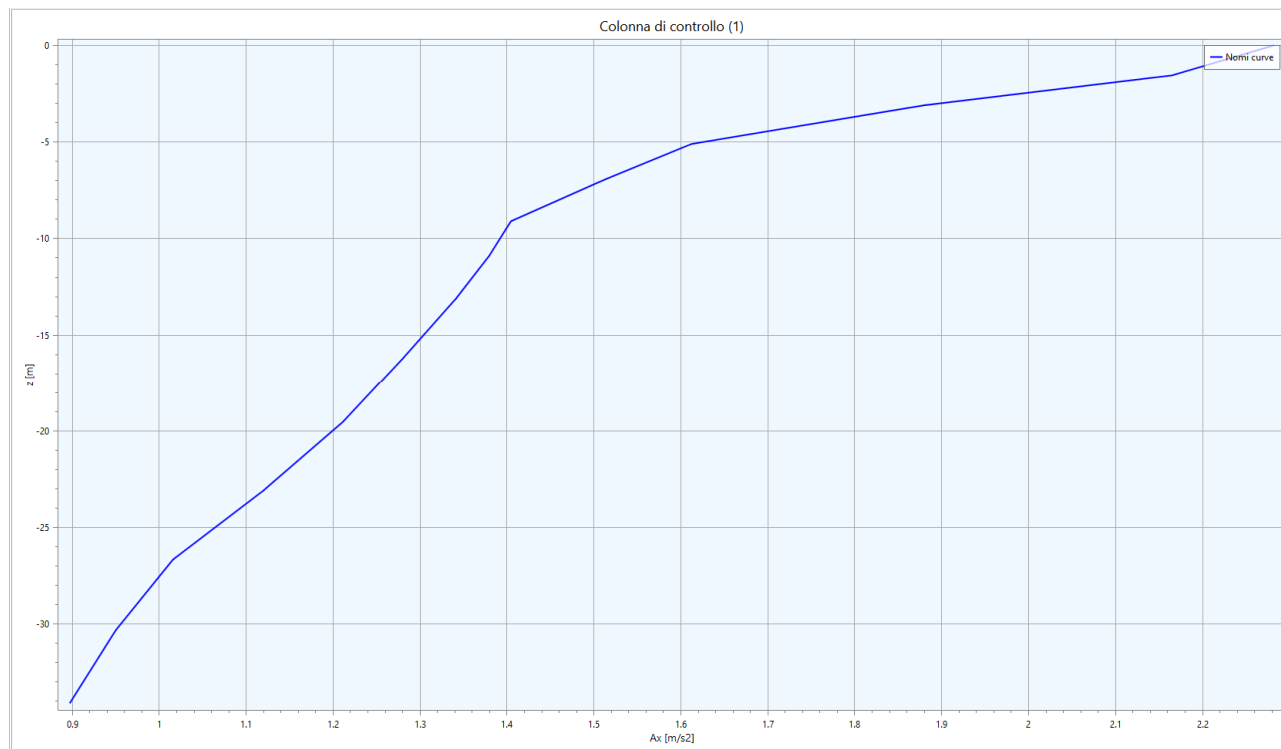


Fig. 28 - P.G.A. PROFILE: SI PUÒ NOTARE UNA MAGGIORE INCIDENZA DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE A PARTIRE DAGLI ORIZZONTI PIÙ SUPERFICIALI AVENTI VS INFERIORE (DA 0 A 9M).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i valori dei F.A. determinati con l'analisi di RSL di III° livello:

| Zona 1 | |
|---|------|
| Fattori di amplificazione | RSL |
| F.A. P.G.A. | 1,52 |
| F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s) | 1,60 |
| F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s) | 1,22 |

TAB. 6 – TABELLA RIASSUNTIVA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DELLA "ZONA 1"

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Zona 3

Le indagini di riferimento (secondo il codice identificativo di archiviazione attribuito nel database a corredo di questo studio), utilizzate per la ricostruzione del modello geotecnico-sismico semplificato, rappresentativo della MOPS di interesse, sono le seguenti:

- Indagine n° 034005L9SASW10; 034005P79HVSR80.

Nella **Fig. 29** sono rappresentati i dati di ingresso al software *LSR 1D* impiegato per le elaborazioni di III° Livello, mentre in **Fig. 30** vengono raffigurati gli spettri di *input* adottati.

| Strato | Spessore [m] | ρ [Kg/m ³] | Vs [m/s] | Ni | Modello geotecnico | Colore |
|--------------|--------------|-----------------------------|----------|------|-------------------------------------|-------------|
| 1 Strato (1) | 3.10 | 1850.00 | 210.00 | 0.45 | BORE -S2SH1 - Copertura Detritica | [Yellow] |
| 2 Strato (2) | 2.00 | 1910.00 | 260.00 | 0.35 | BORE -S2SH1 - Copertura Detritica F | [Orange] |
| 3 Strato (3) | 4.00 | 1980.00 | 350.00 | 0.35 | COMANO_a1q_51030_45005_S2SH1 | [Grey] |
| 4 Strato (4) | 4.00 | 2080.00 | 540.00 | 0.35 | Average Rock | [Dark Grey] |
| 5 Strato (5) | 10.00 | 2130.00 | 660.00 | 0.35 | Average Rock | [Dark Grey] |
| 6 Strato (6) | 11.00 | 2130.00 | 720.00 | 0.35 | Average Rock | [Dark Grey] |

FIG. 29 - SCHERMATA DI INPUT TRATTE DAL SOFTWARE "LSR 1D", DOVE VIENE DEFINITO IL MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE: ZONA 3.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

SPETTRI DI INPUT

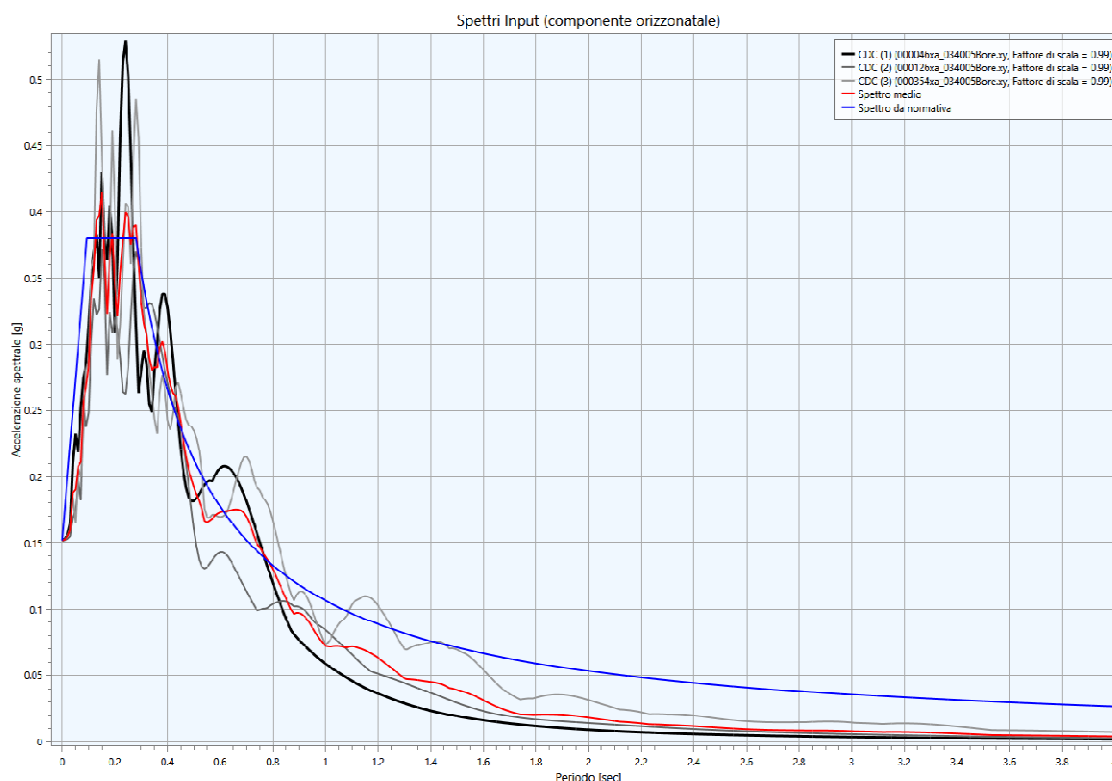


FIG. 30 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA AL BEDROCK, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.

1C) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, si è calcolato un valore di V_{s30} pari a **389 m/s**, con il quale viene attribuita ai terreni in esame la "Categoria B". Osservando in dettaglio il grafico (Cfr. Fig. 31) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di categoria B; pertanto i dati emersi dallo studio di RSL sono leggermente più cautelativi. Lo spettro medio è stato poi adattato alla tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "media".

Si rammenta che per il sito di interesse, il valore di ag_{max} su sottosuolo rigido (P.G.A.0) per gli SLV è di **0.153 g**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

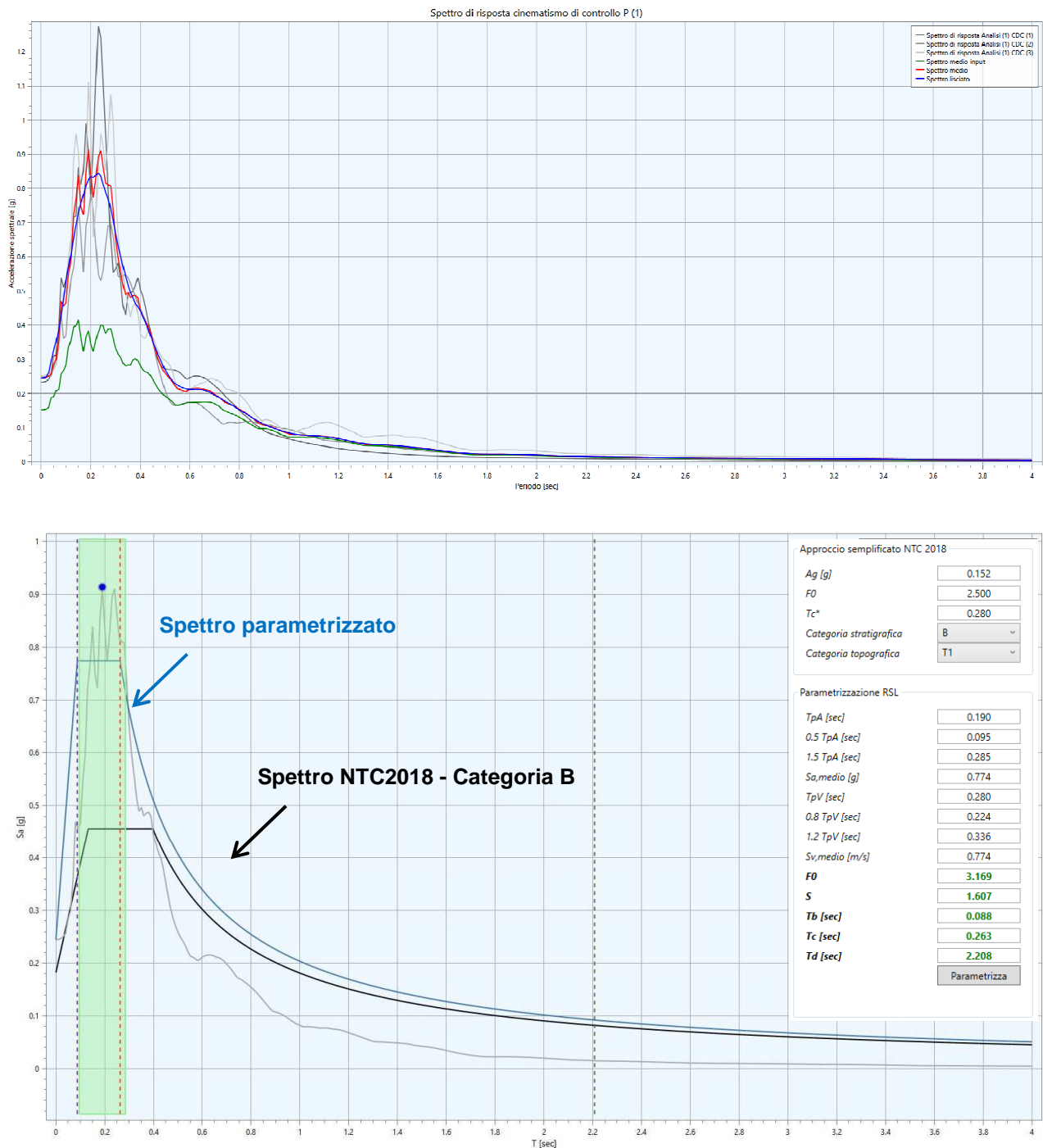


FIG. 31 - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA IN SUPERFICIE, CALCOLATI PER SLV CON SMORZAMENTO DEL 5%.
SULLA DESTRA SONO INDICATI I VALORI RAPPRESENTATIVI DELLO SPETTRO MEDIO PARAMETRIZZATO SECONDO NORMATIVA (LINEA BLU), CONSIDERANDO UNO SMORZAMENTO DEL 5%; LO SPETTRO RICAVATO CON APPROCCIO SEMPLIFICATO, CHE FA RIFERIMENTO ALLA "CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO" (CATEGORIA B) DETERMINATA SULLA BASE DELLE INDAGINI GEOFISICHE IN SITO, È INVECE RAPPRESENTATO CON LA LINEA NERA.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

2C) Housner Intensity – Intensità di Housner

Nei due grafici raffigurati di seguito vengono rappresentati gli spettri relativi all'intensità di *Housner* negli intervalli $0,1 < SI < 0,5$ e $0,5 < SI < 1,0$.

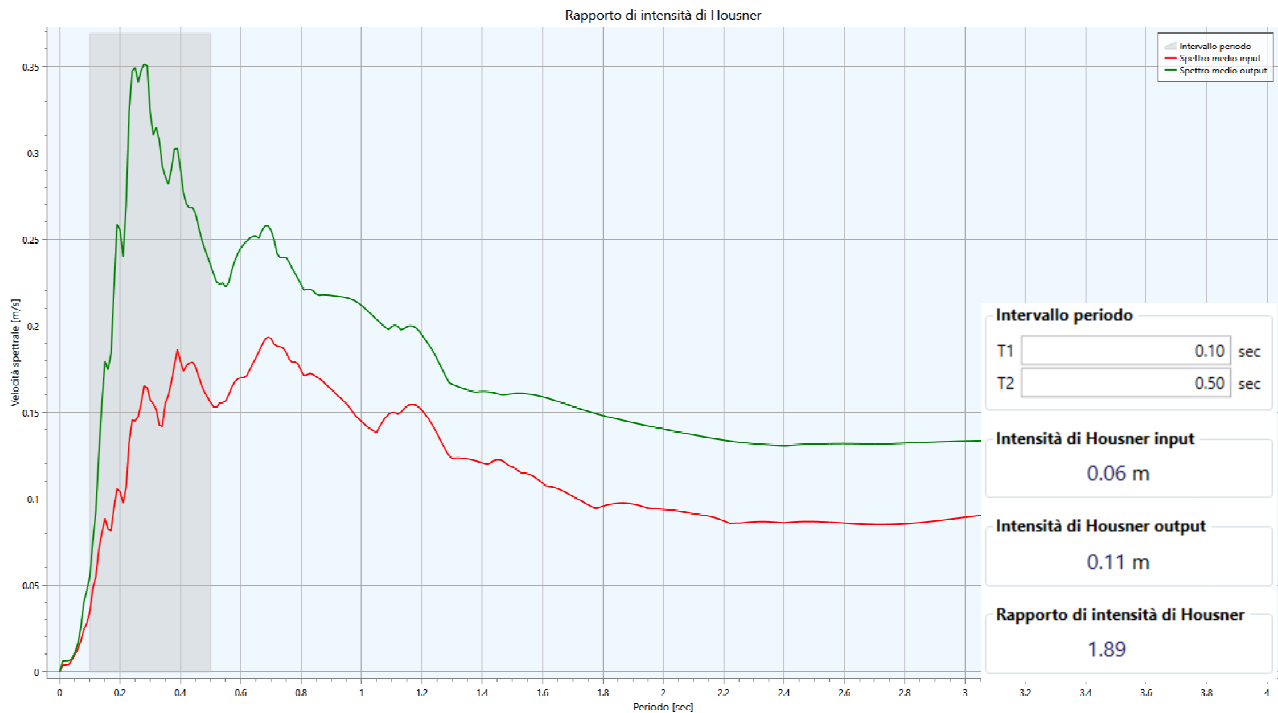


FIG. 32 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,1 < SI < 0,5$.

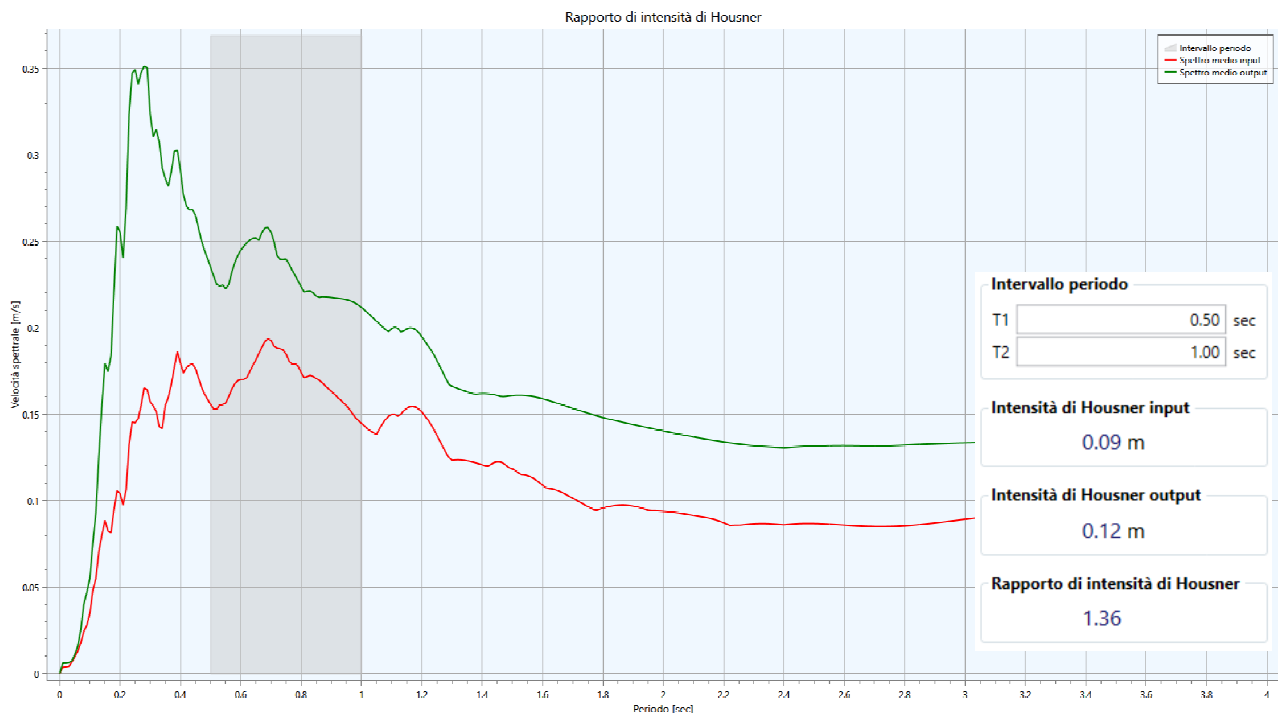


FIG. 33 - INTENSITÀ DI *HOUSNER* NELL'INTERVALLO $0,5 < SI < 1,0$.

3C) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Nella **Fig. 34** viene rappresentata la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità (rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.₀ al bedrock).

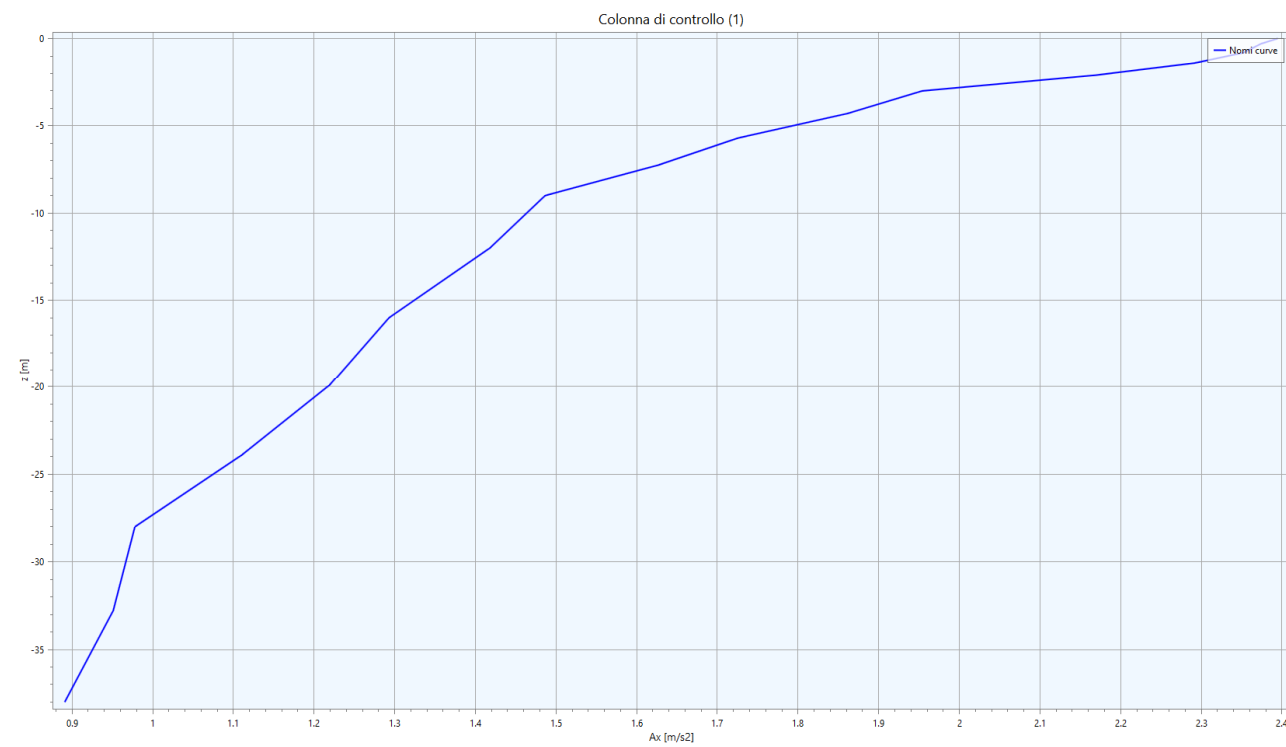


FIG. 34 - P.G.A. PROFILE: SI PUÒ NOTARE UNA MAGGIORE INCIDENZA DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE A PARTIRE DAGLI ORIZZONTI PIÙ SUPERFICIALI AVENTI VS INFERIORE (DA 0 A 9M).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i valori dei F.A. determinati con l'analisi di RSL di III° livello:

| Zona 3 | |
|---|------|
| Fattori di amplificazione | RSL |
| F.A. P.G.A. | 1,60 |
| F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s) | 1,89 |
| F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s) | 1,36 |

TAB. 7 – TABELLA RIASSUNTIVA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DELLA "ZONA 3"

5.2. Verifica di stabilità

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, dall'analisi delle condizioni limite per le emergenze (CLE), prodotta contestualmente al presente studio sismico, è emerso che il campo sportivo comunale, posto nel settore settentrionale dell'abitato di Bore, sede di un Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento – Ricovero), è parzialmente coinvolto da una frana quiescente di tipo complesso.

Pertanto su quest'area, oltre all'analisi di riposta sismica locale descritta nel capitolo precedente, è stata eseguita analisi di stabilità di versante come di seguito illustrato.

5.2.1 Metodo di Verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo *SLOPE* della *GEOSTRU*. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di *Jambu*, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di *Jambu* è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula:

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i} / F}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti in **Fig. 35**.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

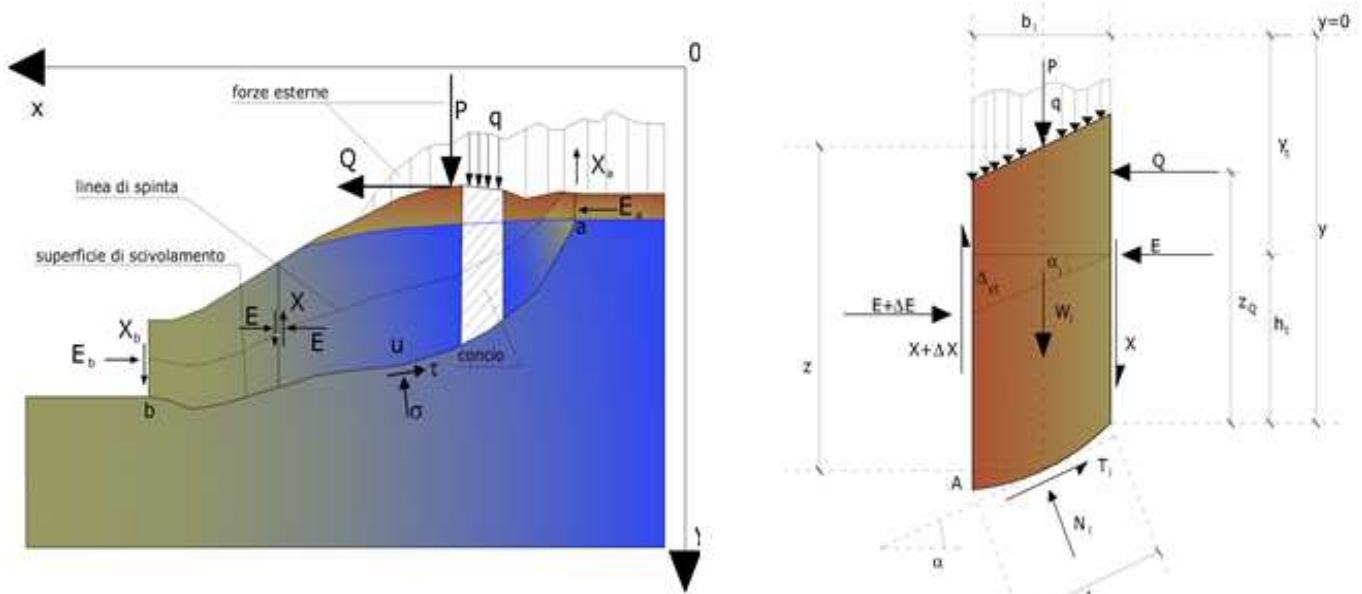


FIG. 35 - AZIONI SUL CONCIO I-ESIMO SECONDO LE IPOTESI DI JANBU E RAPPRESENTAZIONE D'INSIEME DELL'AMMASSO

Il metodo di *Janbu*, inoltre, introduce un metodo per la correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \times F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (Cfr. **Fig. 36**). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati, come quello che caratterizza l'area di interesse.

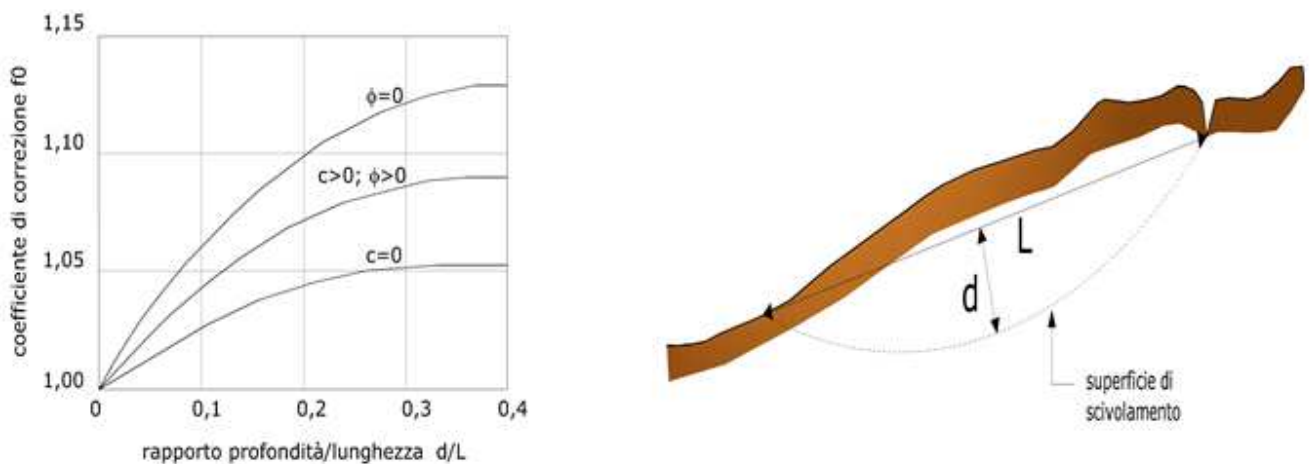


FIG. 36 - CORREZIONE DEL FATTORE DI SICUREZZA IN FUNZIONE DELLA FORMA DELLA FRANA E DEI PARAMETRI GEOTECNICI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudostatico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità g e i coefficienti moltiplicatori di g (K_x e K_y) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio, W il peso del concio e K_x e K_y i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di *Newmark*.

L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (Cfr. **Fig. 37**).

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (*QSIM* della *GEOSTRU*) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (Cfr. **Fig. 38**).

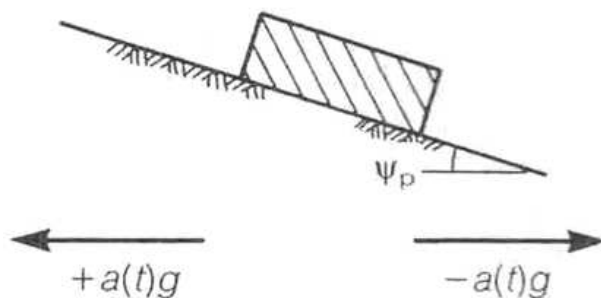


FIG. 37 - SCHEMATIZZAZIONE DEL METODO DI NEWMARK

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione>>velocità>>spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

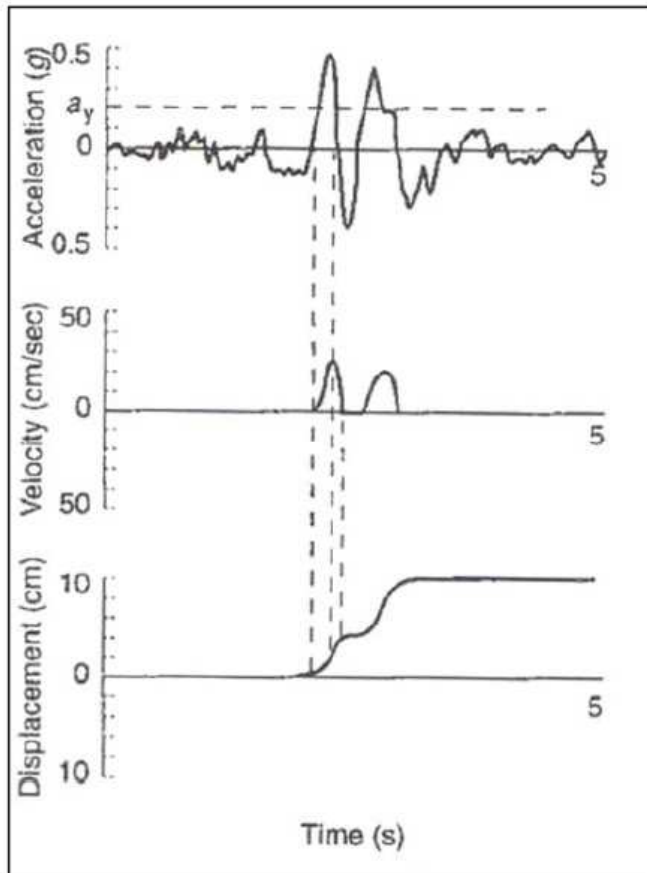


FIG. 38 - ESEMPLIFICAZIONE DELLA METODOLOGIA DI NEWMARK, CON DOPPIA INTEGRAZIONE DELL'ACCELEROGRAMMA

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

5.2.2 Le ipotesi verificate

La verifica è stata effettuata sulla zona di attenzione per instabilità di versante presente nel settore settentrionale di Bore Capoluogo, presso il Campo sportivo e individuata nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Le dimensioni del corpo di frana ed il suo sviluppo per ampia parte all'esterno dell'ambito di studio e quindi non interessato da prove ed indagini, non hanno consentito, anche in relazione alle risorse disponibili, di effettuare le indagini che l'Allegato 3 punto C) della DGR 2193/2015 indica come opportune per la verifica di stabilità in condizioni sismiche. In particolare, non sono disponibili dati affidabili relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana.

Per questo motivo si è preferito procedere con una metodologia di verifica mediante *back analysis*: definita la superficie di scorrimento della frana ed il suo spessore, sulla base di indagini sismiche tipo *holysurface* eseguite nell'ambito del presente lavoro, si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche, che ha fornito

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

le coppie dei parametri geotecnici ϕ' e c' che determinano un coefficiente di sicurezza $F_s=1$ (Cfr. **Fig. 39**), imponendo una falda a circa -3,00 m dal piano campagna, ipotesi a favore di sicurezza.

Considerato che si tratta di una frana quiescente, il cui coefficiente di sicurezza non è noto, ma che deve risultare $F_s \geq 1$, si è quindi proceduto con successive verifiche, aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

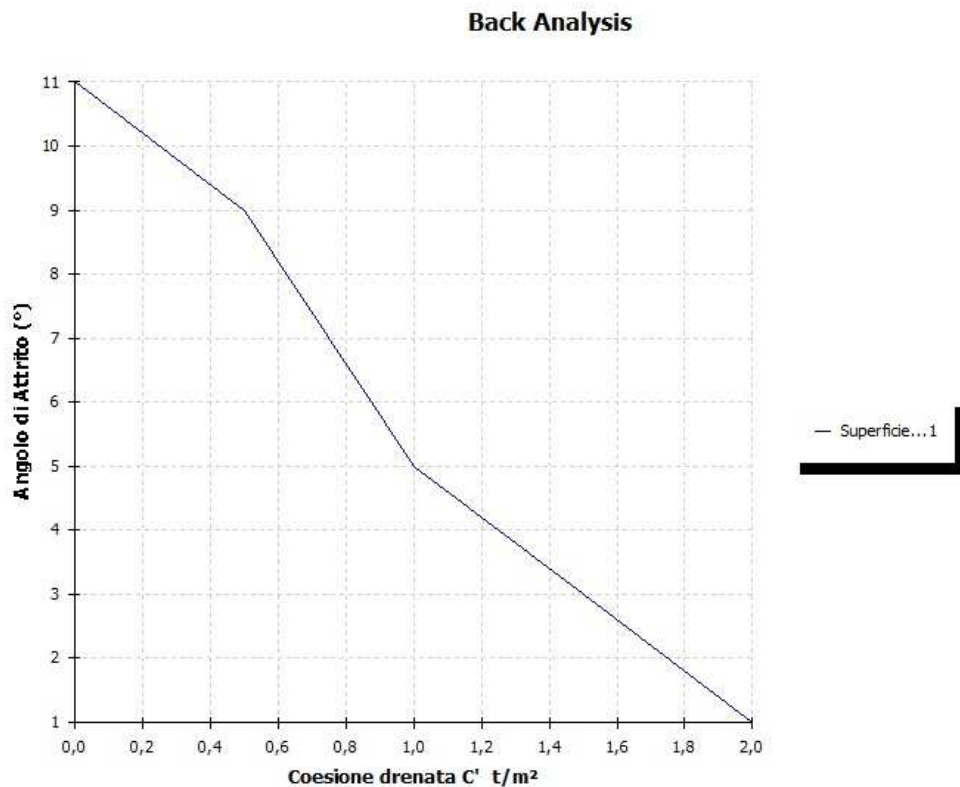


FIG. 39 – BACK ANALYSIS: GRAFICO ANGOLO DI ATTRITO – COESIONE DRENATA BORE. $F_s=1$

Successivamente è stata calcolata l'accelerazione critica risultata pari a $0,098 \text{ m/s}^2$ ed è quindi stata effettuata l'analisi dinamica.

La verifica dinamica è stata effettuata per i tre accelerogrammi forniti dalla regione Emilia Romagna, già descritti nel paragrafo **5.1.3**, opportunamente scalati mediante i metodi della risposta sismica locale (accelerogrammi di output ottenuti dal programma **LSR 1D**).

Gli spostamenti del corpo di frana calcolati con il software *Qsim* di *GEOSTRU*, per ciascuno dei sismi della regione opportunamente scalati e corretti sulla base della Risposta sismica locale, hanno fornito i seguenti valori: *M1* 5,89 cm; *M2* 1,24 cm e *M3* 9,07 cm

Nella Carta di microzonazione sismica che saranno descritte nel paragrafo 5.3 il valore di spostamento riportato è quello massimo registrato (9,07 cm) con $F_s=1$.

Di seguito si riportano in modo sintetico i risultati delle verifiche eseguite.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

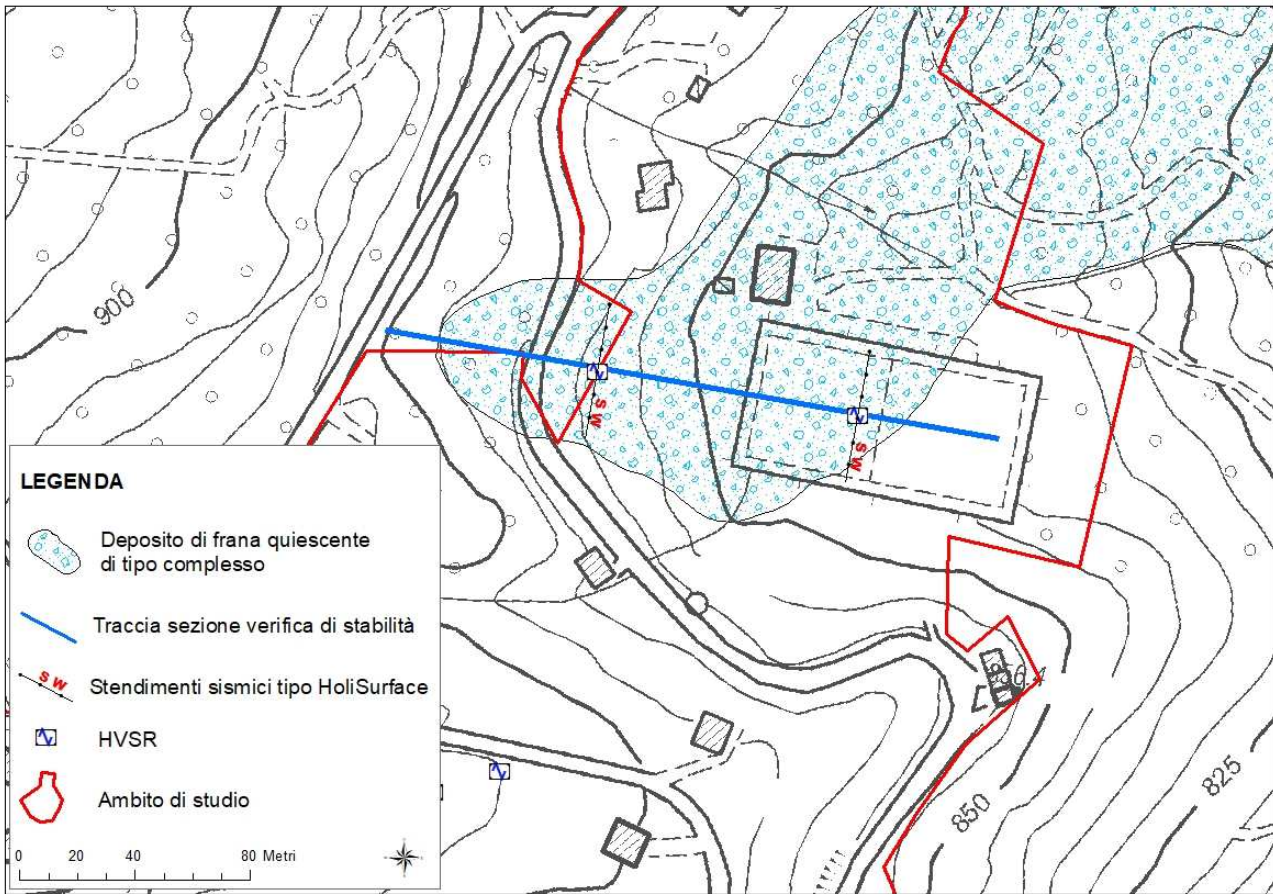


FIG. 40 – UBICAZIONE DELLA SEZIONE ANALIZZATA

Fs=0,99 Sup...1

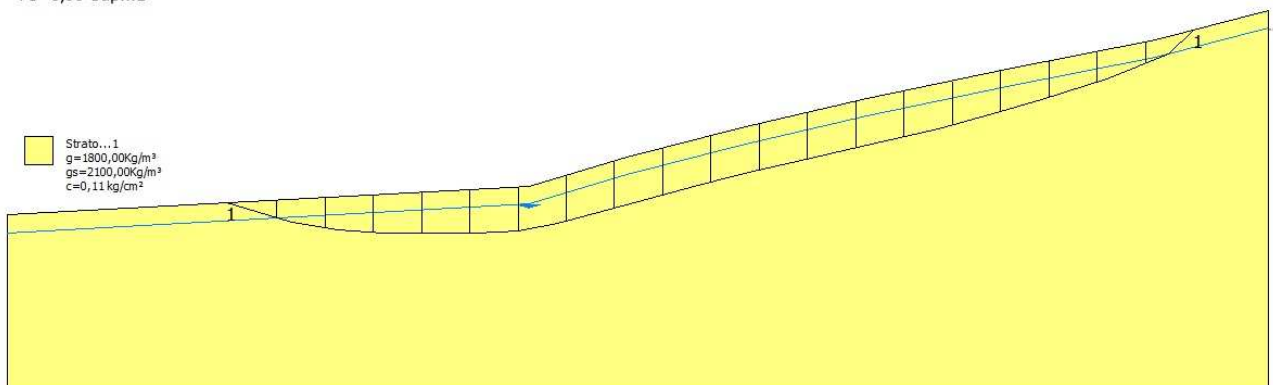


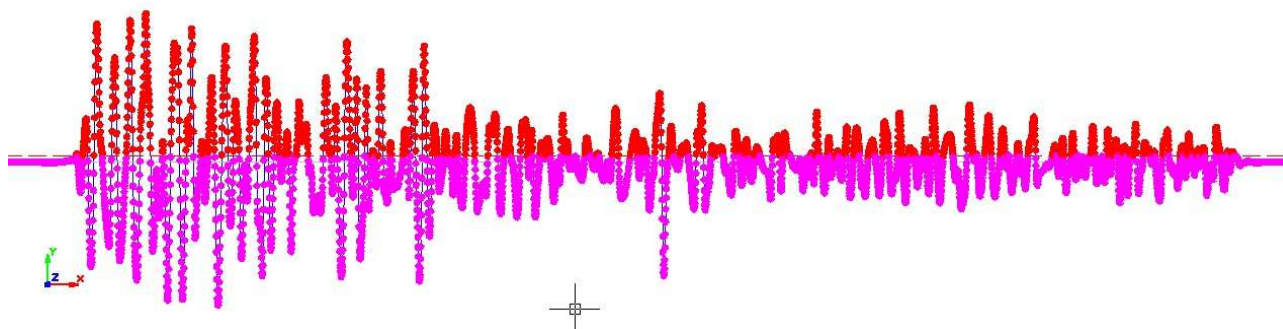
FIG. 41 - SEZIONE ANALIZZATA CON SUDDIVISIONE IN CONCI DEL CORPO DELLA FRANA "CAMPO SPORTIVO"

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

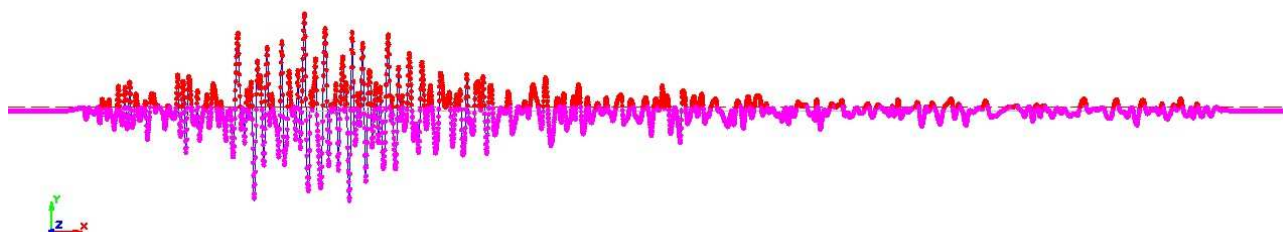
Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Sisma M1 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M2 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M3 da Regione Emilia-Romagna

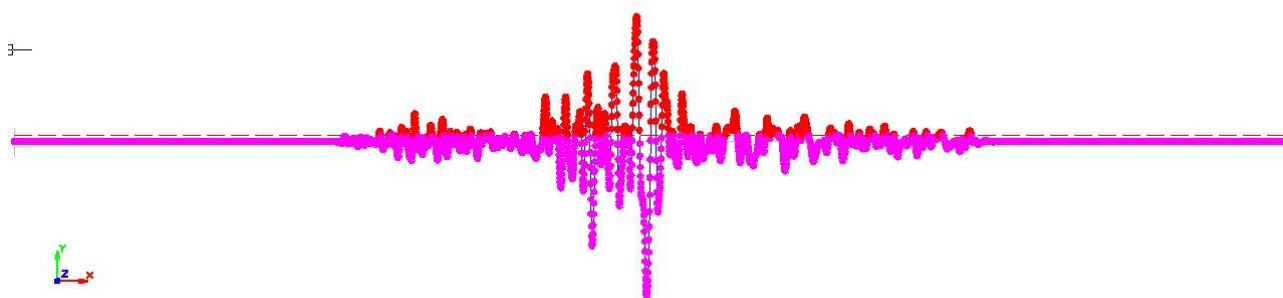


FIG. 42 - ANALISI DINAMICA: ACCELEROGRAMMI (IN ROSSO I PUNTI CON ACCELERAZIONE SUPERIORE ALL'ACCELERAZIONE CRITICA CHE DETERMINA SPOSTAMENTO)

5.3. Carte di microzonazione sismica

Gli elaborati conclusivi del presente studio sono rappresentati dalle Carte di microzonazione sismica, anch'esse redatte alla scala 1:5.000, nelle quali sono raffigurate le amplificazioni sismiche stimate, le zone di attenzione e quelle suscettibili di instabilità, presenti all'interno dell'ambito di studio. Inoltre, negli elaborati vengono indicati gli spostamenti massimi attesi (*FRT*) calcolati per la frana oggetto di approfondimenti di III° Livello.

L'amplificazione è stata calcolata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (*PGA/PGA0*) sia di rapporto di Intensità di *Housner* (*SI/SI0*) per prefissati intervalli di periodi.

In generale, sono stati attribuiti a ciascuna microzona omogenea i fattori desunti con l'analisi approfondita di terzo livello descritta nel paragrafo **5.1.6**, inserendo all'interno del *data-base* i vari spettri rappresentativi, in accelerazione e in velocità.

Solo per limitate aree corrispondenti a fenomeni gravitativi di modeste dimensioni, identificate nella carta delle *MOPS* come **Zona 2**, la stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi definiti dalla *DGR 2193/2015*).

Nel dettaglio, in relazione alle caratteristiche stratigrafiche riscontrate nel sottosuolo dell'area di studio, sono state impiegate unicamente le seguenti tabelle, contenute nell'*Allegato 2* degli indirizzi regionali:

- Tabelle riportate in **Tab. 8**, rappresentative di un profilo stratigrafico di tipo APPENNINO costituito da depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da $V_s < 800\text{m/s}$).

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

Tabella 4: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800\text{m/s}$. Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

| | 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 |

Tabella 5: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$. Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

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

Tabella 6: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$. Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

TAB. 8 – TABELLE UTILIZZATE PER LA STIMA DI F.A. PER APPENNINO CARATTERIZZATO DA DEPOSITI DI COPERTURA, CON SPESSORI FINO A 50 METRI, SOVRASTANTI IL SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO (DEPOSITI MARINI CARATTERIZZATI DA $V_s < 800m/s$)

Per la determinazione dei fattori di amplificazione attraverso procedure semplificate impiegate per la **Zona 2** si sono considerati valori delle Velocità V_{sH} di 250 m/s, in funzione dei risultati ottenuti dalle prove sismiche di nuova realizzazione eseguite sui corpi di frana. Inoltre, ad esse è stato attribuito uno spessore medio H pari a 5 metri.

Riassumendo e conseguentemente a quanto appena detto, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati calcolati i valori riportati nella seguente tabella (Cfr. **Tab. 9**):

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

| Fattori di amplificazione | Aree con approfondimenti di III° Livello da RSL | | | Aree con approfondimenti di II° da abachi (DGR 2193/2015) |
|---|---|-------------|-------------|---|
| | Substrato alterato o fratturato | Zona 1 | Zona 3 | Zona 2 |
| F.A. P.G.A. | 1,36 | 1,52 | 1,60 | 1,60 |
| F.A. Is ($0.1s < T_0 < 0.5s$) | 1,33 | 1,60 | 1,89 | 1,50 |
| F.A. Is ($0.5s < T_0 < 1.0s$) | 1,10 | 1,22 | 1,36 | 1,40 |

TAB. 9 – VALORI DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA ATTRIBUITI ALLE DIVERSE MICROZONE

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











| Parametro di amplificazione ²⁹ | Simbolo |
|---|---|
| 1.1 - 1.2 |  |
| 1.3 - 1.4 |  |
| 1.5 - 1.6 |  |
| 1.7 - 1.8 |  |
| 1.9 - 2.0 |  |
| 2.1 - 2.2 |  |
| 2.3 - 2.4 |  |
| 2.5 - 3.0 |  |
| 3.1 - 3.5 |  |
| >3.5 |  |

FIG. 43 – LEGENDA ADOTTATA PER L'ACCORPAMENTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE NELLE ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Nelle stesse carte sono state raffigurate anche le zone di attenzione per instabilità di versante, rappresentate da un retino con righe oblique di colore nero sovrapposto a un colore di fondo derivante dal fattore di amplificazione calcolato con gli abachi; inoltre nell'area sulla quale sono stati effettuati approfondimenti di III°

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

Livello (zone suscettibili di instabilità di versante) è stato indicato il parametro che quantifica tali fenomeni: ovvero, il massimo movimento (*FRT*, in centimetri).

Questo è stato assunto, cautelativamente, uguale al massimo tra i valori calcolati come descritto nel paragrafo **5.2.2**. In funzione del valore dello spostamento massimo calcolato pari a 9,07 cm, in legenda è stato indicato un retino con triangoli pieni posto al di sopra a un colore di fondo dato dal fattore di amplificazione determinato con *Risposta Sismica Locale*.

6. BIBLIOGRAFIA

- *PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI PARMA - VARIANTE DI ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA SISMICA REGIONALE (L.R. n.19/2008 "Norme per la Riduzione dei Rischio Sismico"). Variante approvata dal Consiglio Provinciale con delibera n.23 del 17.04.2013.*
- *PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI PARMA - VARIANTE SPECIFICA - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DEL DISSESTO (ai sensi dell'art.27bis della L.R. 20/2000 e s.m.i.). Variante approvata dal Consiglio Provinciale con delibera n. 41 del 25.07.2016*
- *MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*
- *Ingegneria sismica - Anno XXVIII - n. 2 - 2011 "INDIRIZZI DI MICROZONAZIONE SISMICA"*
- *Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (2011) BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano,Bologna, <http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>*
- *Albarello D., Castellaro S. (2011) - TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62*
- *Marcellini A., Martelli L, Tenta A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)*
- *Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*
- *Meletti C. e Valensise G., (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004*
- *CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – PROGETTO CARG (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – Regione Emilia Romagna)*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Studio di Microzonazione sismica (III° Livello di approfondimento con analisi CLE)

Comune di Bore (PR)

7. ALLEGATI

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

| | | |
|---------------|--|---------------|
| Elaborato 1 | Carta delle indagini | scala 1:5.000 |
| Elaborato 2 | Carta geologico - tecnica per la microzonazione sismica | scala 1:5.000 |
| Elaborato 3 | Carta delle frequenze | scala 1:5.000 |
| Elaborato 4 | Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica | scala 1:5.000 |
| Elaborato 5 | Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) | scala 1:5.000 |
| Elaborato 6.a | Carta delle microzonazione sismica FA_{PGA} | scala 1:5.000 |
| Elaborato 6.b | Carta delle microzonazione sismica $FA_{Is\ 0,1s < T0 < 0,5\ s}$ | scala 1:5.000 |
| Elaborato 6.c | Carta delle microzonazione sismica $FA_{Is\ 0,5s < T0 < 1,0\ s}$ | scala 1:5.000 |
| Elaborato 7 | Sondaggi a carotaggio continuo | |
| Elaborato 8 | Analisi di laboratorio | |
| Elaborato 9 | Prove sismiche | |

Fidenza, 15/09/2018

Il tecnico incaricato

Dott. Geol. Federico Madini