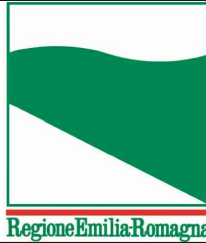




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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 Canossa




<p>Regione Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore Mandatario: ENGEО S.r.l.</p>  <p>Mandanti: Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS – Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli</p>	<p>Data Marzo 2021</p> <p>MS3</p>
-----------------------------------	--	--

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

INDICE

1.	Introduzione	2
1.1	Articolazione dello studio	4
2.	Indagini e analisi	6
2.1	Sondaggio a carotaggio continuo	6
2.2	Prova Down-Hole.....	7
2.3	Prove sismiche di tipo MASW	8
2.4	Prove sismiche di tipo ReMi	10
2.5	Prove sismiche di tipo HVSR	12
2.6	Tomografie elettriche.....	12
3.	Analisi di risposta sismica locale.....	15
3.1	Pericolosità sismica di base	16
3.2	Segnali in input	17
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	18
3.3.1	Litologia	19
3.3.2	Determinazione della Vs e del bedrock sismico	19
3.3.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G0) in funzione della deformazione.....	19
3.4	Procedura di analisi RSL.....	22
3.4.1	Metodo lineare equivalente	23
3.4.2	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM.....	25
3.4.3	Procedimento iterativo	28
3.4.4	Interpretazione dei risultati	28
3.5	Analisi dei risultati.....	28
3.5.1	Risposta sismica locale monodimensionale	30
3.5.2	Risposta sismica bidimensionale	42
3.6	Considerazioni sui risultati delle analisi di terzo livello	50
4.	Stabilità di versante	52
4.1	Metodo di verifica	53
4.2	Le ipotesi verificate.....	57
4.2.1	Verifica di stabilità “Ciano – Sud”	59
4.2.2	Verifica di stabilità “Cerezzola”	60
5.	Elaborati cartografici	61
5.1	Carte delle indagini	61
5.2	Carte geologico-tecniche per la microzonazione sismica.....	63
5.3	Carte delle frequenze naturali dei terreni	69
5.4	Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	73
5.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S	79
5.6	Carte di microzonazione sismica	81
5.7	Carte dello scuotimento atteso.....	86
6.	Bibliografia	88
7.	Allegati	91

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	1 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

1. INTRODUZIONE


Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Canossa*, effettuato su incarico dell'Unione Val d'Enza (cfr. Contratto d'affidamento n° 0012218/2019 del 5 agosto 2019) e finanziato con 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 (cfr. delibera di giunta della Regione Emilia-Romagna n. 2188/2016).

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

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

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

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.1.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti “SRAI”)
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti “ICMS”)
- Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, così come modificati dalle deliberazioni di Giunta regionale n. 2193 del 21.12.2015 e n. 630 del 29.04.2019

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	2 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Nella prima fase l'analisi ha riguardato l'intero Comune. Quindi, per i successivi livelli di approfondimento, ci si è concentrati sul territorio urbanizzato e urbanizzabile, definito in accordo con l'Amministrazione Comunale e già oggetto di zonazione, dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, ovvero:

- Ciano d'Enza
- Cerezzola
- Selvapiana
- Casalino
- Cavandola
- Currada
- Monchio dell'Olle
- Albareto
- Compiano
- Borzano
- Vedriano

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 7.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dpi*).


I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica).

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 4.1.1.

Va chiarito che gli standard e, in generale, i riferimenti tecnici sopra indicati, negli anni, sono stati soggetti a vari aggiornamenti che hanno portato a profonde modifiche, non solo nella metodologia di archiviazione dei dati e nella rappresentazione grafica dei differenti tematismi, ma anche di natura concettuale.

Per tale motivo, il presente lavoro ha previsto anche la revisione dei precedenti studi di primo e secondo livello, seppure già certificati, creando un nuovo database e rieditando i relativi elaborati cartografici alla luce degli ultimi riferimenti normativi.


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	3 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

1.1 Articolazione dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è stato articolato nelle seguenti fasi:


1. raccolta e analisi critica di ulteriori dati pregressi rispetto a quelli già inseriti nello studio di secondo livello;
2. individuazione di un'area rappresentativa di una situazione stratigrafica tipo definita nell'analisi precedente;
3. realizzazione per tale area di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m, con prova Down-Hole in foro per la misura delle Vs e di una misura sismica di microtremori (HVSr);
4. aggiornamento con i dati delle nuove indagini e secondo gli indirizzi tecnici e gli standard più recenti delle seguenti cartografie:
 - Carta delle indagini
 - Carta geologico-tecnica
 - Carte delle frequenze naturali dei terreni
 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
5. valutazione della risposta sismica locale, per i siti indagati, mediante codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC;
6. calcolo dei fattori di amplificazione, per i siti indagati, per un tempo di ritorno $T_R=475$ anni, con smorzamento $\zeta =5\%$, relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:
 - $F_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
 - $F_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,
 - SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
 - $F_{SI} = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	4 di 92

risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:

- SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
- SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
- SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

7. 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, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.
8. stima dei fattori di amplificazione mediante le ultime tabelle regionali per le aree a cui non è possibile assegnare i valori ottenuti mediante risposta sismica locale, a causa del differente assetto sismo-stratigrafico.
9. realizzazione di un'analisi di stabilità di versante dinamica, inserendo come input sismico gli accelerogrammi ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale e stima degli spostamenti massimi attesi.
10. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA indicati al punto 6.
11. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 relative agli 8 parametri indicati al punto 6, oltre che allo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi:
 - $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
 - $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\ s}$),
 - $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\ s}$),
 - $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$),

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	5 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

2. INDAGINI E ANALISI

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

Le aree di indagine per lo studio di risposta sismica locale e instabilità di versante sono state individuate, in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale, principalmente sulla base degli studi di secondo livello e le informazioni fornite dall'analisi delle condizioni limite per le emergenze (CLE), realizzate durante il progetto di "Piano Comunale di Protezione Civile" con aggiornamento a Giugno 2018.

Le prime tre aree individuate sono ubicate a Ciano d'Enza, due nei pressi del centro della frazione ed una a Sud di questa, in prossimità di una frana attiva a ridosso di un'area CM4 (Area di attesa, vedi Tav.05a - Carta del modello di intervento - Piano comunale di protezione civile). Per ciascuno dei due siti d'indagine nel centro di Ciano d'Enza sono state previste, per la caratterizzazione delle onde sismiche, una prova MASW ed una prova REMI. A differenza, per l'area di frana a Sud della località, è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di prova Down-Hole, integrato con due prove geofisiche (MASW e REMI) effettuate in prossimità. La seconda area si trova a Cerezzola, appena più a Sud della frazione di Ciano; in tale area sono state realizzate una prova MASW ed una prova REMI.

Inoltre, in ogni sito è stata effettuata una prova sismica di tipo HVSR, per l'individuazione della frequenza caratteristica.

2.1 Sondaggio a carotaggio continuo


Durante la campagna indagine è stato eseguito, da parte della ditta Socotec Italia, di Ferrara, un sondaggio verticale a carotaggio continuo spinto a una profondità di 30.0 metri dal piano campagna.

Il sondaggio è stato attrezzato con un tubo in PVC per l'esecuzione della prova Down-Hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione un carotiere semplice fino a 24 m di profondità e un carotiere doppio con corona diamantata da 24 a 30 m di profondità.

Nella litostratigrafia allegata sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di pocket penetrometer, espressi in Kg/cm²;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	6 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.
- la determinazione speditiva del parametro R.Q.D. nelle porzioni rocciose.

2.2 Prova Down-Hole

Per misurare la velocità delle onde S nel terreno, nel sito di Canossa è stata eseguita un'indagine sismica tipo Down-Hole.

A tale scopo il sondaggio, al termine della perforazione, è stato attrezzato con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici. Tale tubo è stato reso solidale con il terreno tramite cementazione con boiaccia di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione.

Una volta che il cemento ha fatto presa, si è proceduto all'esecuzione della prova sismica del tipo Down-Hole.

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo sondaggio, utilizzando un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e su memoria di massa.

Gli impulsi sismici sono stati originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 e del Modulo di Young E .


La prova sismica Down-Hole, è eseguita con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).

Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde SH) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	7 di 92

trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire, sulla base dei tempi di tragitto, l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

In Fig. 1 viene riportato il grafico di elaborazione della prova.

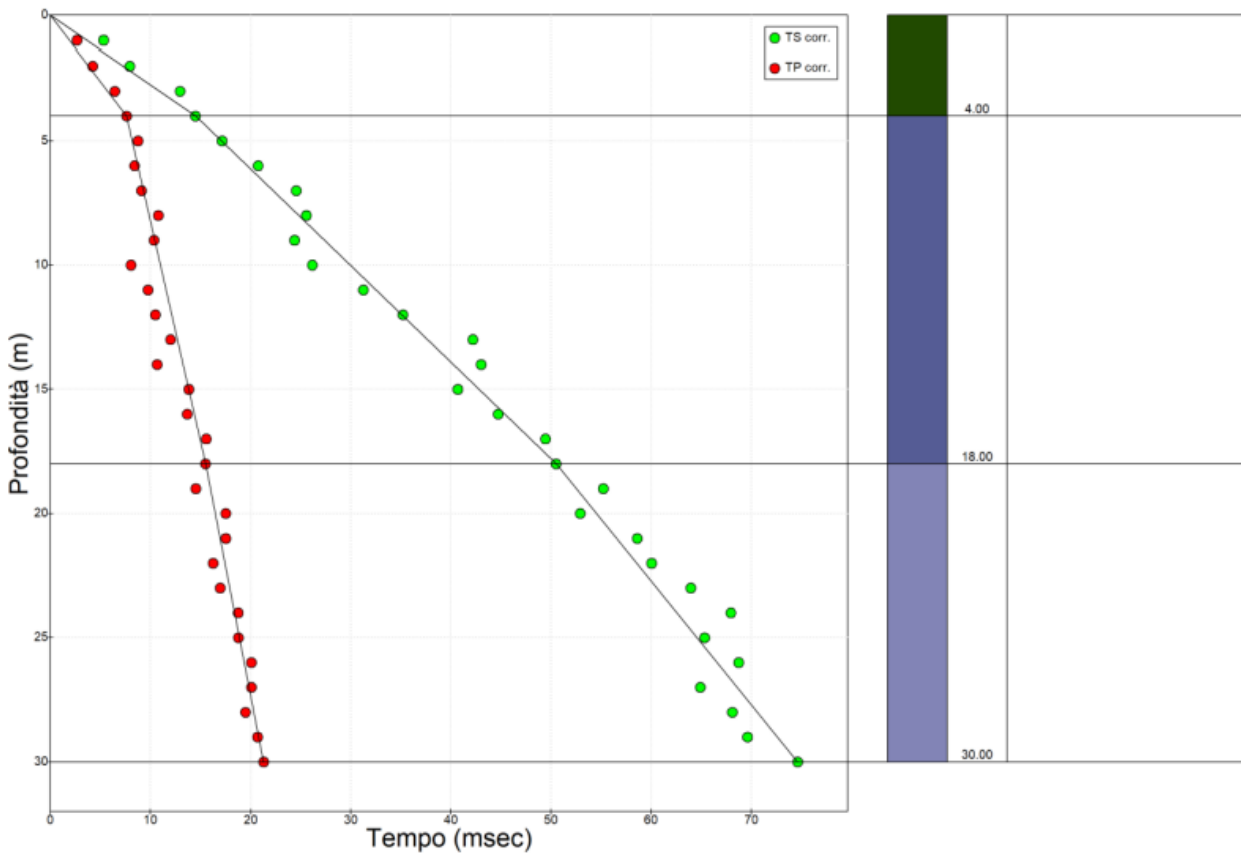



Fig. 1 - Valori dei tempi di tragitto delle onde in funzione della profondità misurati con la prova Down-Hole e relativa individuazione degli strati

2.3 Prove sismiche di tipo MASW

In 40 punti la cui individuazione è stata condivisa col Comune, sono state svolte indagini sismiche di tipo MASW per misurare la velocità delle onde S nel terreno.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	8 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S del sottosuolo, portano quindi a determinare anche il parametro V_{s30} (velocità media delle onde S nei primi 30 m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.


Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70 Hz, fornendo informazioni sino alla profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati con distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione effettuata tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

Nel dettaglio, l'indagine è stata realizzata con un sismografo a massimo 16 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a un'interdistanza compresa tra 2 e 5 m l'uno dall'altro; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 kg battente su piastra, a varie distanze dai geofoni e in entrambi gli estremi del profilo.

L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel presente studio), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra - martello).

In Fig. 2 viene riportato (a titolo esemplificativo) uno dei grafici, in funzione della profondità, delle velocità delle onde S degli strati individuati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	9 di 92

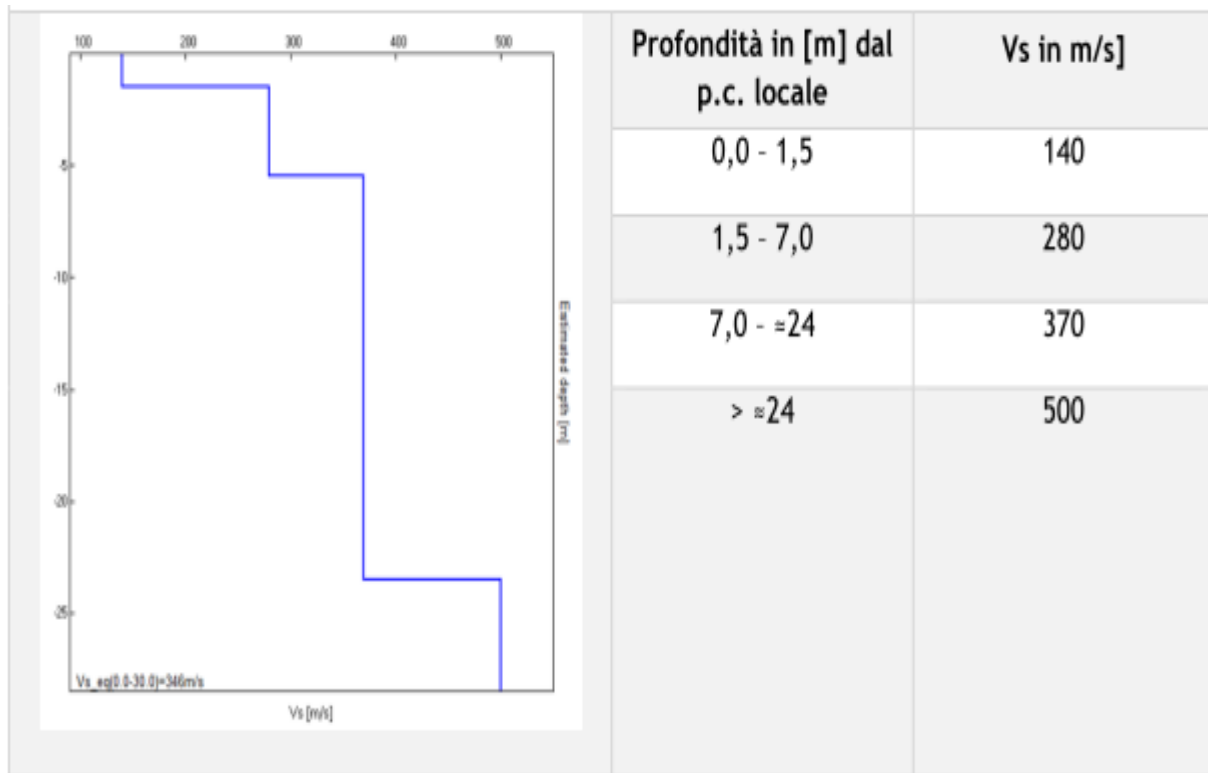


Fig. 2 - Profilo delle velocità delle onde S da prova MASW


2.4 Prove sismiche di tipo ReMi

La procedura ReMi è un metodo di prospezione sismica classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale che, oltre ad avere come caratteristiche semplicità ed immediatezza di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine permettendo di ottenere risultati buoni in ambienti urbanizzati.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta la fonte di segnale utile che si vuole registrare.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo, la registrazione viene analizzata in finestre temporali che variano da 10 a 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica, che agisce sul segnale come una specie di filtro di frequenza (maggiore è la spaziatura, minore è la profondità di indagine).

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità delle onde di *Rayleigh*, correlabile con le velocità Vs; le varie tecniche trasformano l'informazione registrata nel dominio spazio-tempo, in un dominio in cui l'energia è funzione della frequenza e di altre variabili, allo scopo di localizzare, attraverso lo spettro, la densità di maggiore energia alle quali sono

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	10 di 92

associate le onde. Tale passaggio è possibile anche con procedura manuale, la scelta dei valori prende il nome di *picking*.

Nel dettaglio, per gli stendimenti nel Comune di Bibbiano, il *sampling* rate utilizzato è stato 512 Hz e la durata del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.7.4 - 2018.

I report completi sono riportati nell'*Elaborato 7- Nuove indagini*, mentre nella sottostante Fig. 3 si riporta uno spettro esemplificativo ottenuto da indagine Re.Mi. e il relativo profilo sismostratigrafico.

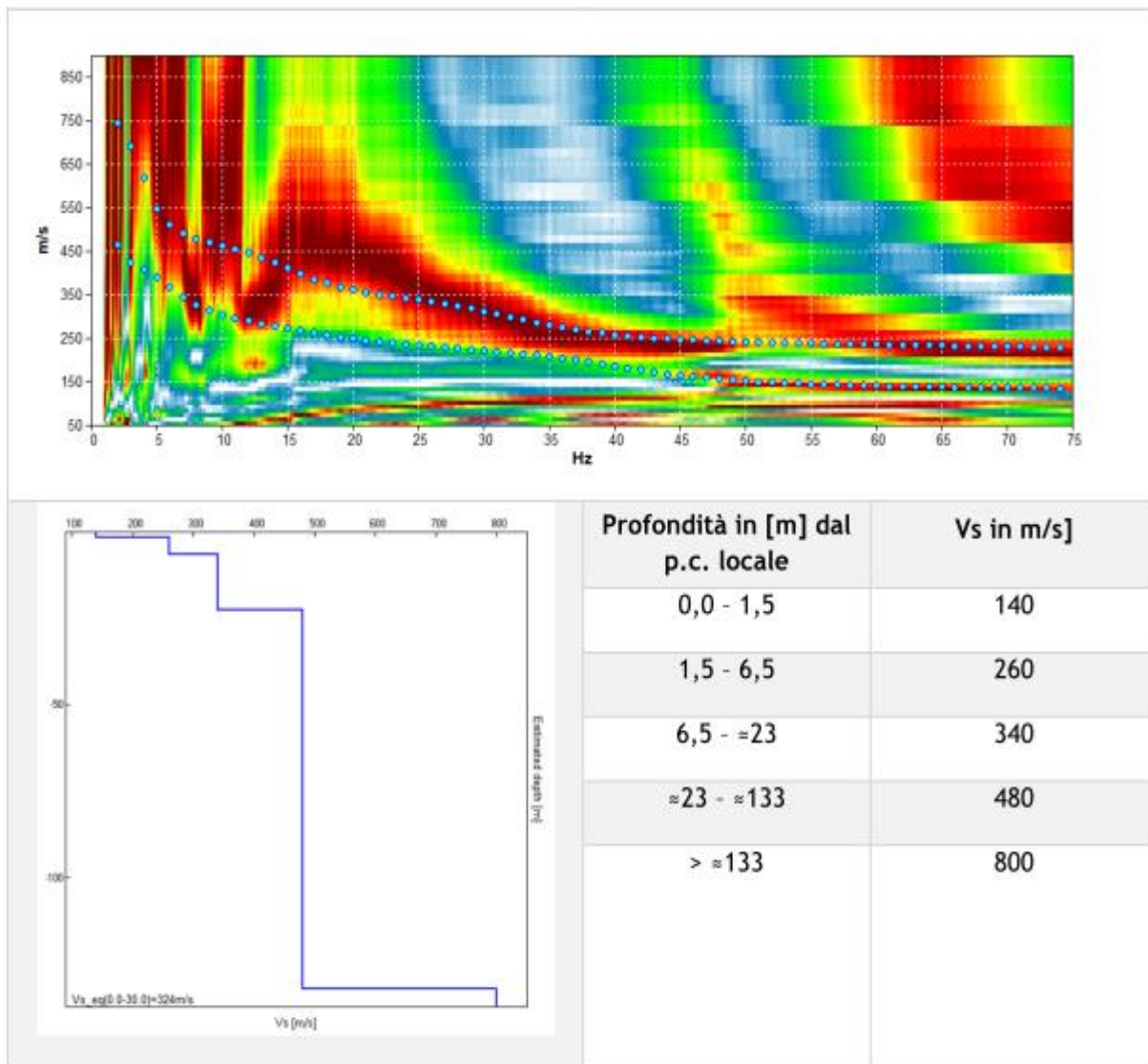


Fig. 3 - Profilo delle velocità delle onde S da prova REMI

2.5 Prove sismiche di tipo HVSR

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

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello “Tromino - *engy-plus*”, in grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-256 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (16 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).

A riguardo, nell’elaborato 7 - *Nuove indagini* per ciascuna prova è riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 4).

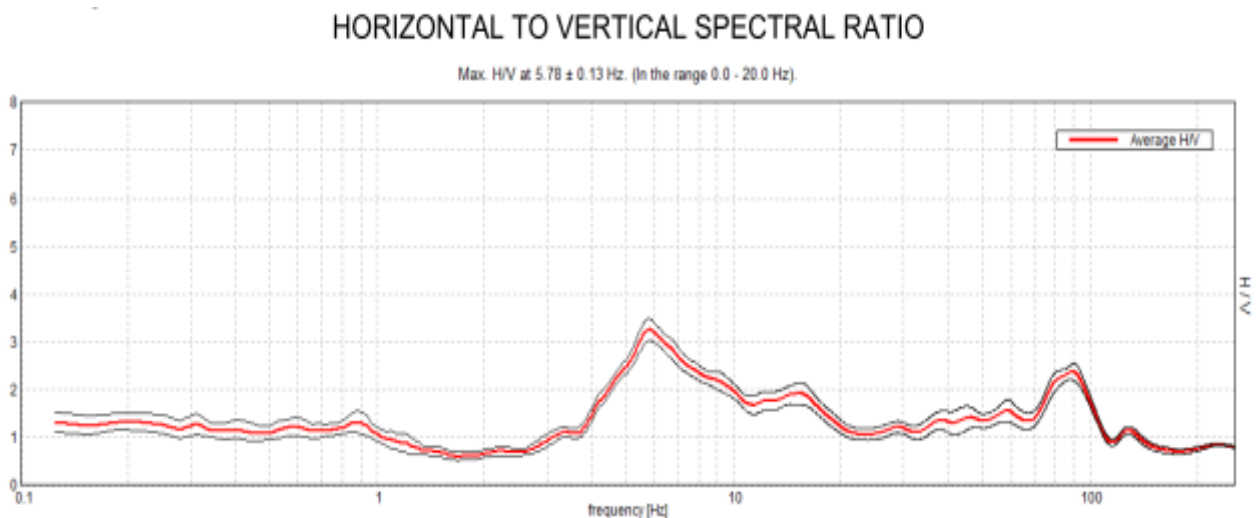



Fig. 4 - Esempio di curva H/V naturale

2.6 Tomografie elettriche

L’analisi delle caratteristiche geoelettriche dei primi 8/10 m del sottosuolo, in 7 siti indagati per lo studio di Microzonazione Sismica di terzo livello, è stata effettuata mediante prospezioni con metodo geoelettrico multielettrodo in tomografia elettrica (ERT).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	12 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Tale metodologia consente di identificare la tipologia dei materiali indagati in funzione della differenza di resistenza da essi opposta al passaggio delle linee di flusso elettriche.

In particolare, l'indagine è stata effettuata utilizzando il georesistivimetro della *Moho Srl* modello ELECTRA in configurazione *Wenner* con un *array* geometrico come riportato in Tab. 1.


Nome Linea	N° elettrodi	Interdistanza degli elettrodi [m]	Lunghezza [m]
ERT 1	24	2,0	46
ERT 2	24	2,0	46
ERT 3	24	2,0	46
ERT 4	24	2,0	46
ERT 5	24	3,0	69
ERT 6	24	2,0	46
ERT 7	24	2,0	46

Tab. 1 - Array geometrico adottato

L'arrangiamento *Wenner* è tale per cui gli elettrodi di potenziale sono posti al centro degli elettrodi di corrente e la distanza tra i vari elettrodi è sempre la stessa e pari a x . Questo metodo, presenta il fattore geometrico più basso tra i dispositivi utilizzati, quindi permette di ottenere la massima intensità del segnale. La "*sensitivity*" con configurazione *Wenner* presenta un andamento quasi orizzontale al di sotto del centro del dispositivo permettendo maggiore sensibilità ai cambiamenti verticali di resistività rispetto a quelli orizzontali.

Attraverso l'applicazione del software Res2Dinv v 4.01 prodotto dalla Geotomo (Malesia) è stata inoltre applicata l'inversione di *Loke & Barker* per definire le geometrie dei corpi sepolti.

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione ha restituito la definizione della distribuzione di resistività elettrica del mezzo investigato mediante visualizzazione grafica in 2D in cui i colori corrispondono a determinati valori di resistività reale (cfr. Fig. 5).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	13 di 92

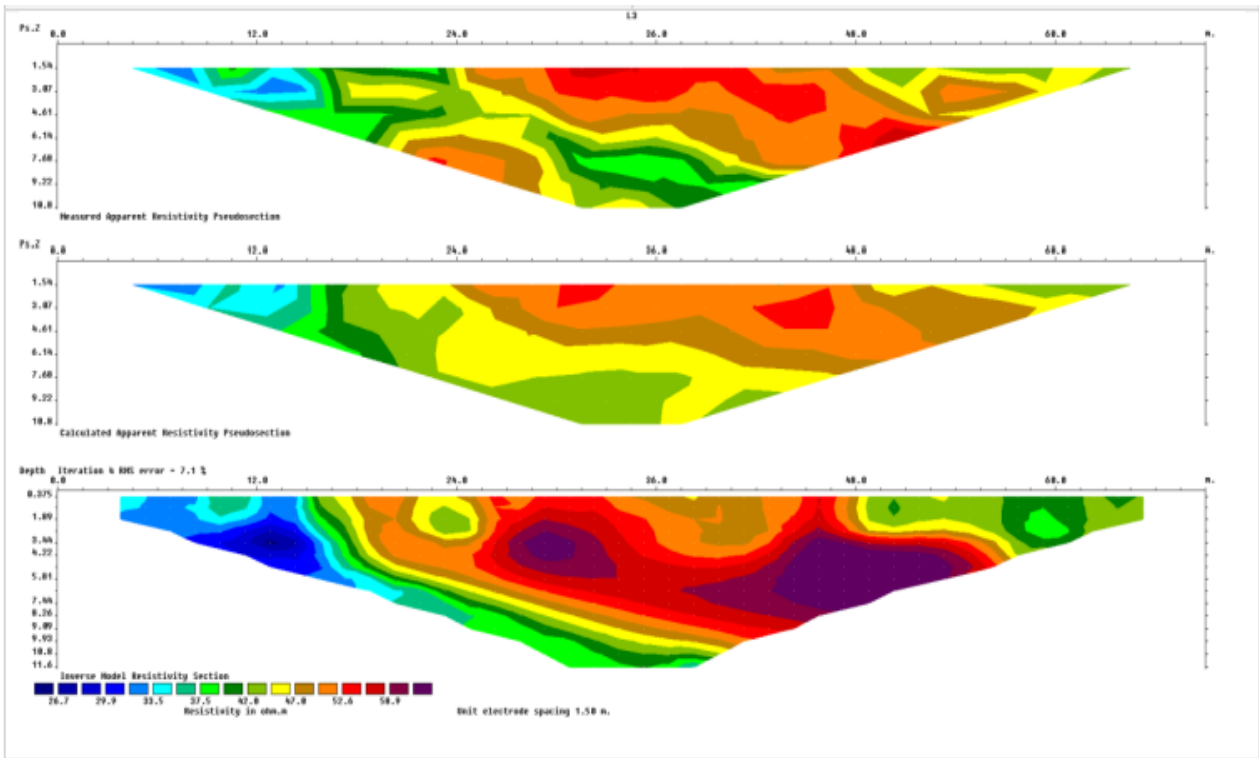



Fig. 5 - Esempio profili di tomografia elettrica ottenuti

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	14 di 92

3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi di terzo livello, per il Comune di Canossa, è stata realizzata su quattro siti in cui si disponevano informazioni sufficientemente affidabili almeno in termini di stratigrafia e Vs, tre presso l'abitato di Ciano d'Enza (Fig. 6) ed uno presso Cerezzola (Fig. 7).

In prima fase vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale monodimensionale (punti - Fig. 6 e Fig. 7) e bidimensionale (linea in Fig. 6) valide per tutti i siti indagati, in seguito si analizzano i risultati della RSL.

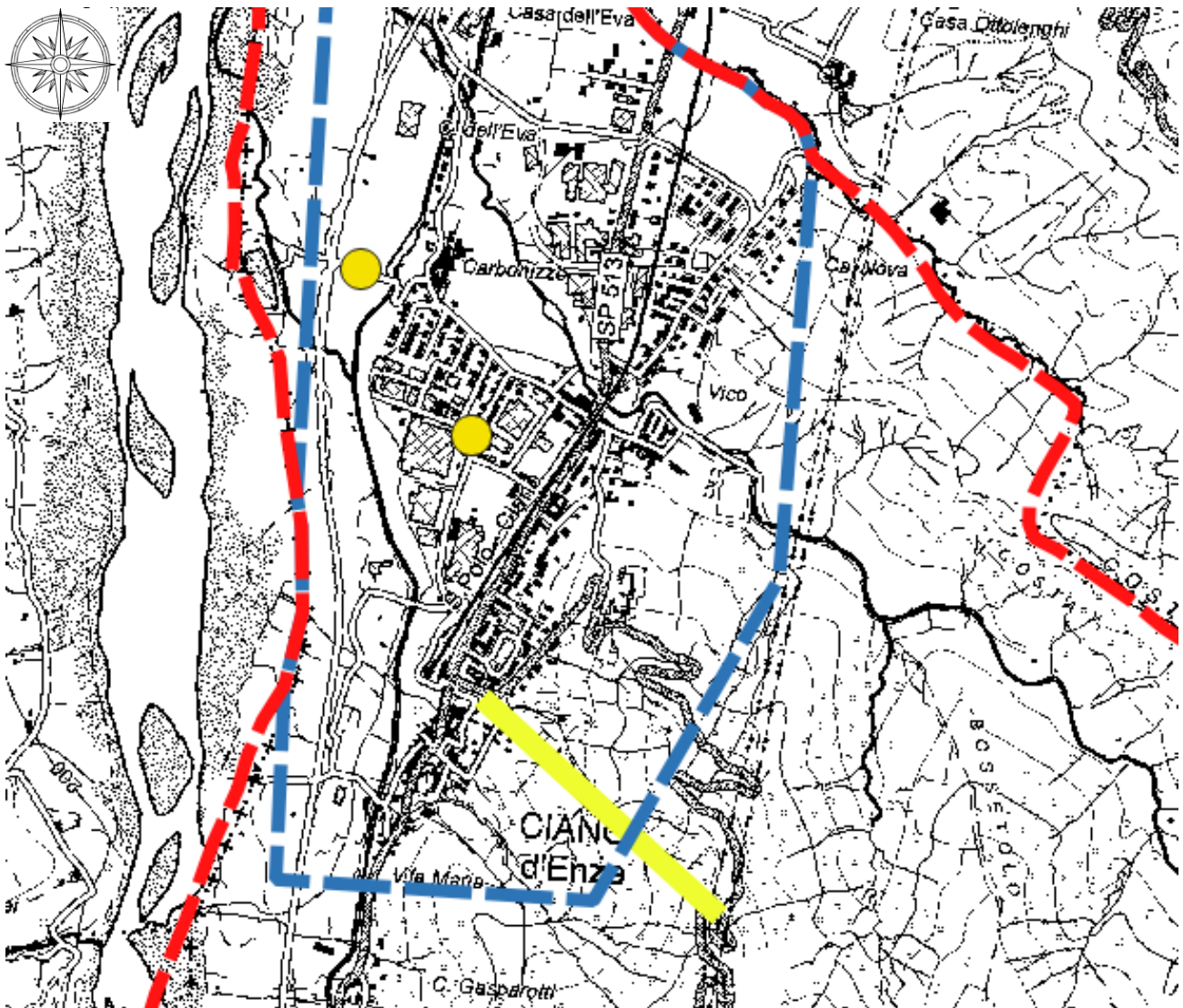



Fig. 6 - Ubicazione siti oggetto di analisi di risposta sismica locale nell'abitato di Ciano d'Enza

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	15 di 92

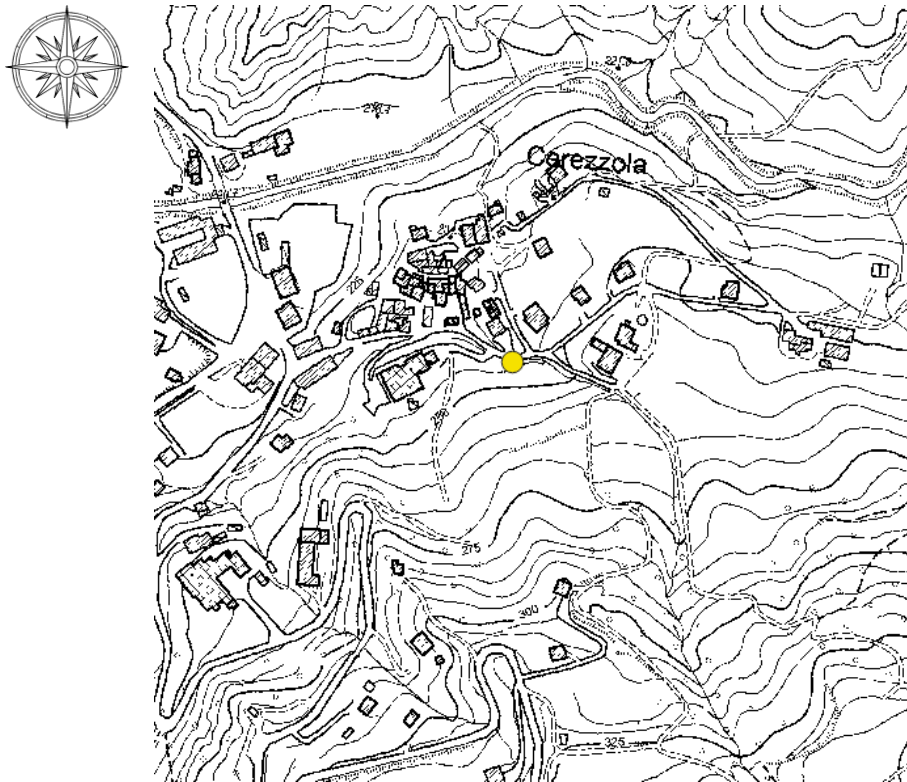


Fig. 7 - Ubicazione del sito oggetto di analisi di risposta sismica locale nell’abitato di Cerezzola


3.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell’ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall’Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna e confermati nella nuova DGR 630/2019.

In particolare, l’Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l’utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.
- Le indicazioni per il calcolo dei valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni sito indagato;

Per i due abitati analizzati il parametro a_{refg} (a_g/g) risulta uguale e pari a 0.158.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	16 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

3.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dal software SEISM-HOME¹ di Eucentre.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati. Il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2018, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il software SEISM-HOME fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.


Per i siti indagati in Comune di Canossa sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino ossia il 16495.

Nel complesso, quindi, per ogni sito, sono stati utilizzati 7 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 8). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER. In Tab. 2 è riportato l'elenco dei diversi accelerogrammi utilizzati.

<i>Segnali Seism-Home</i>
<i>SLV1_TR475_ID16495_ESD_000764xa.cor</i>
<i>SLV2_TR475_ID16495_ESD_000182xa.cor</i>
<i>SLV3_TR475_ID16495_ESD_000234ya.cor</i>
<i>SLV4_TR475_ID16495_NGA_0455y.txt</i>
<i>SLV5_TR475_ID16495_NGA_1033y.txt</i>
<i>SLV6_TR475_ID16495_KNET1_SAG0010503201053.NS</i>
<i>SLV7_TR475_ID16495_ITACA_20090406_013239ITDPC ASS_NSC.DAT</i>

Tab. 2 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL

¹ Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	17 di 92

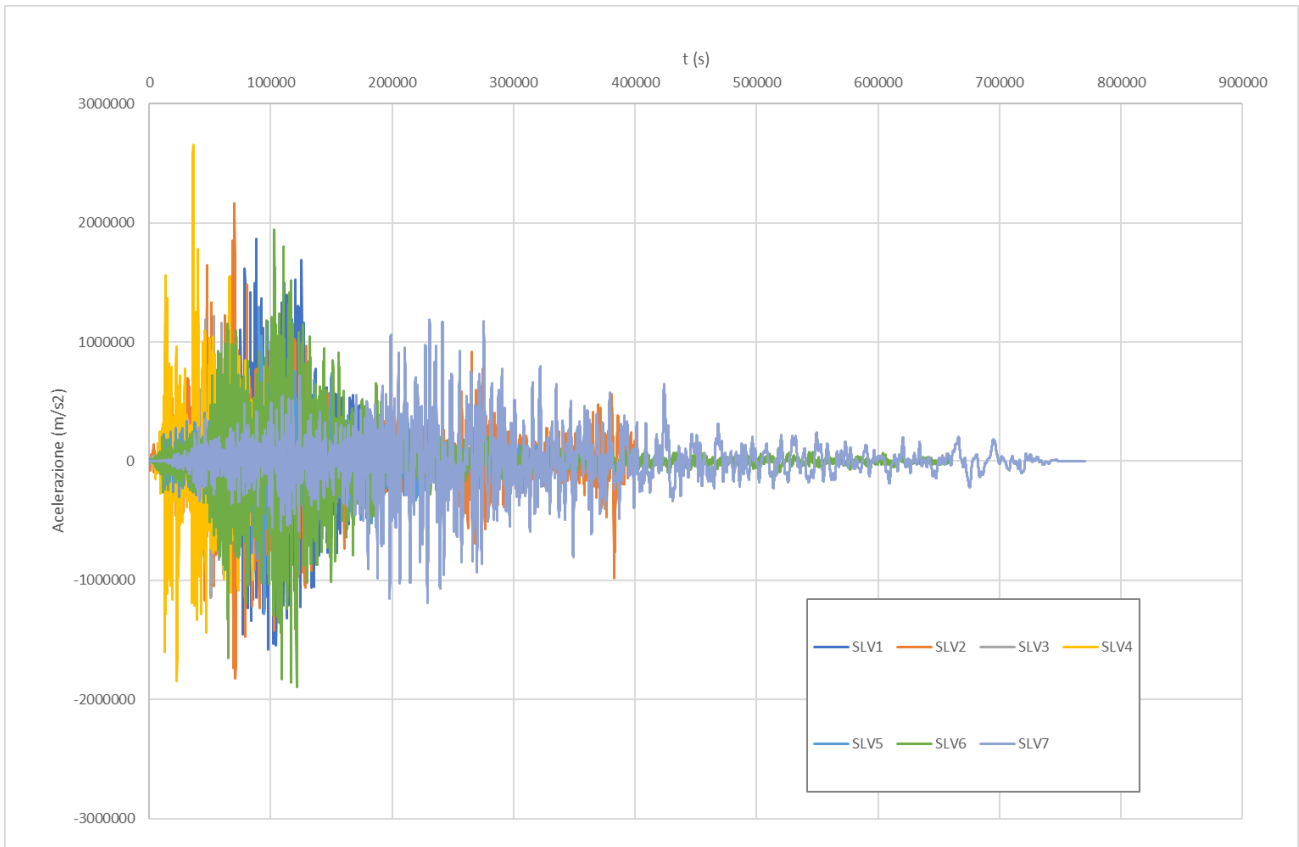



Fig. 8 – Segnali di input nell’analisi di RSL

3.3 Modello geofisico del sottosuolo

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

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ.

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	18 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

3.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati disponibili dalle prove appositamente realizzate in sito durante il presente studio. In particolare, per quanto riguarda ogni sito, si è fatto riferimento a:

Sito	Prova
Ciano – via Carbonizzo	035018L61
Ciano – via Cavandoli	035018L62
Ciano - Sud	035018L64, 035018P190
Cerezzola	035018L67

Tab. 3 – Prove di riferimento per l'analisi di risposta sismica locale

In prossimità di tutti i siti indagati sono state effettuate prove sismiche di tipo MASW e REMI, integrate nella sola località di “Ciano – Sud” con la stratigrafia di un sondaggio a carotaggio continuo (035018P190), finalizzato all'individuazione della stratigrafia della frana.

3.3.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico


Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità per le diverse aree d'indagine si è ricorsi alle prove sismiche effettuate durante la campagna indagine 2020 e riportate in Tab. 3.

Nella località di “Ciano – Sud”, inoltre, si sono utilizzati i dati relativi alla prova DH (035018P190) spinta fino alla profondità di 30 m.

Le Vs registrate nel corso delle prove sono state discretizzate nel numero di orizzonti presenti in sito, attribuendo ad ogni strato una corrispondente velocità media.

3.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G0) in funzione della deformazione

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidità, G/G0) in funzione della deformazione di taglio, laddove non fossero a disposizione colonne risonanti di campioni prelevati in sito, sono state utilizzate curve da letteratura per terreni consimili, i cui parametri sono riportati in Tab. 4.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	19 di 92

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Nome curva e Litologia	Parametri curve G/G ₀ e D			
	α	β	η	λ
<i>EPR PI=10 - Argilla</i>	29.96	0.98	23.27	2.47
<i>EPRI 20-50 ft - Argillite</i>	15	0.84	29.30	2.57
<i>EPRI 50-120 ft - Argillite</i>	10.53	0.93	29.22	2.64
<i>Rollins - Ghiaia</i>	15.34	0.87	20.10	2.19

Tab. 4 – Riepilogo dei parametri da curve di letteratura

Inoltre, durante l'esecuzione del sondaggio 035018P190, nell'area di frana "Ciano Sud" è stato prelevato il campione S1CR1 nei terreni di frana, sottoposto a prova in colonna risonante.

Tale prova ha fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G₀ mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione di Yokota son le seguenti:

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

$$D = \eta e^{(-\lambda \frac{G}{G_0})}$$

Dove:

G/G₀ = modulo di taglio normalizzato


D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

$\alpha, \beta, \eta, \lambda$ = parametri sperimentali del modello

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

In Fig. 9 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione S1CR1.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	20 di 92

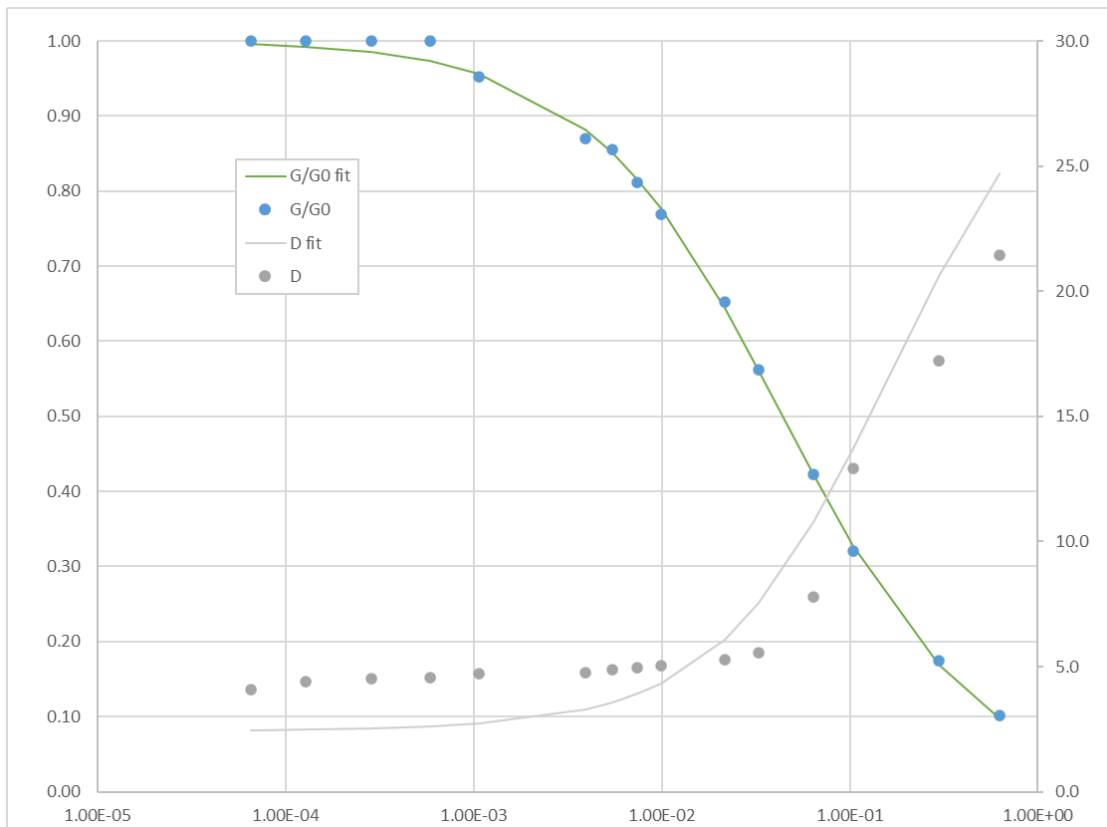


Fig. 9 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione S1CR1

In **Tab. 5** sono riportati schematicamente i risultati relativi ai parametri sperimentali del campione S1CR1, utilizzati nell'analisi di risposta sismica locale per la località "Ciano - Sud".

Nome curva e Litologia	Parametri curve G/G0 e D			
	α	β	η	λ
S1CR1 - Argilla	13.54	0.83	31.78	2.57

Tab. 5 - Riepilogo parametri campione S1CR1

Di seguito si riportano le rappresentazioni del modulo di taglio normalizzato e del rapporto di smorzamento per tutte le curve utilizzate in questa analisi di risposta sismica locale.

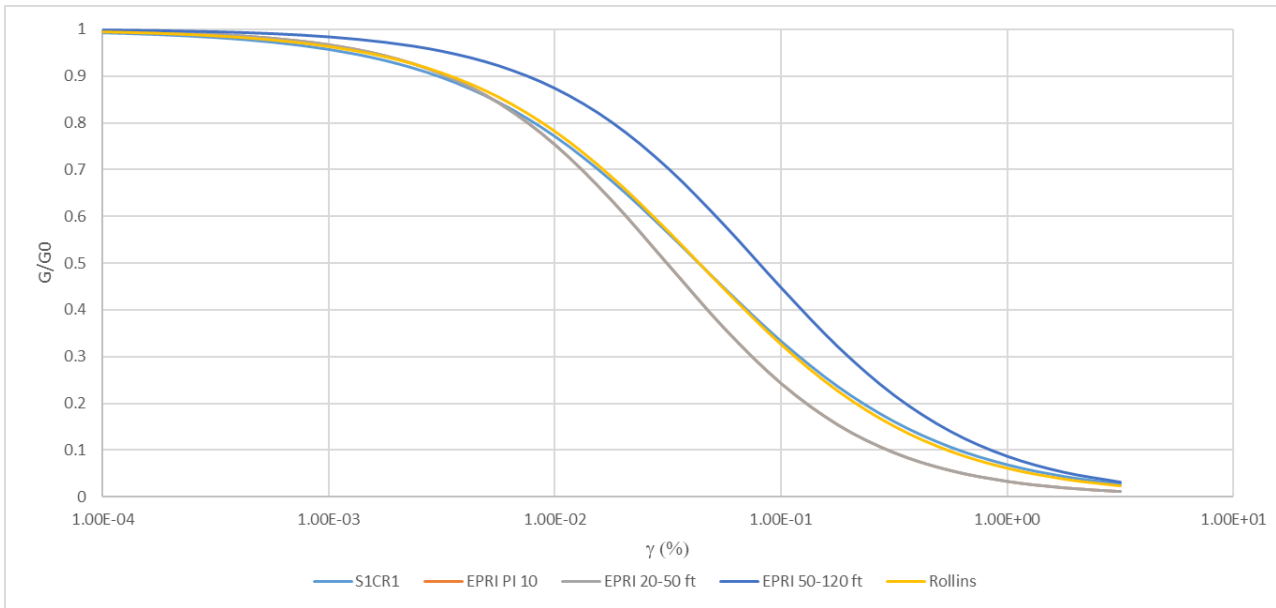


Fig. 10 - Grafico delle curve di interpolazione di G/G_0 per tutti i terreni

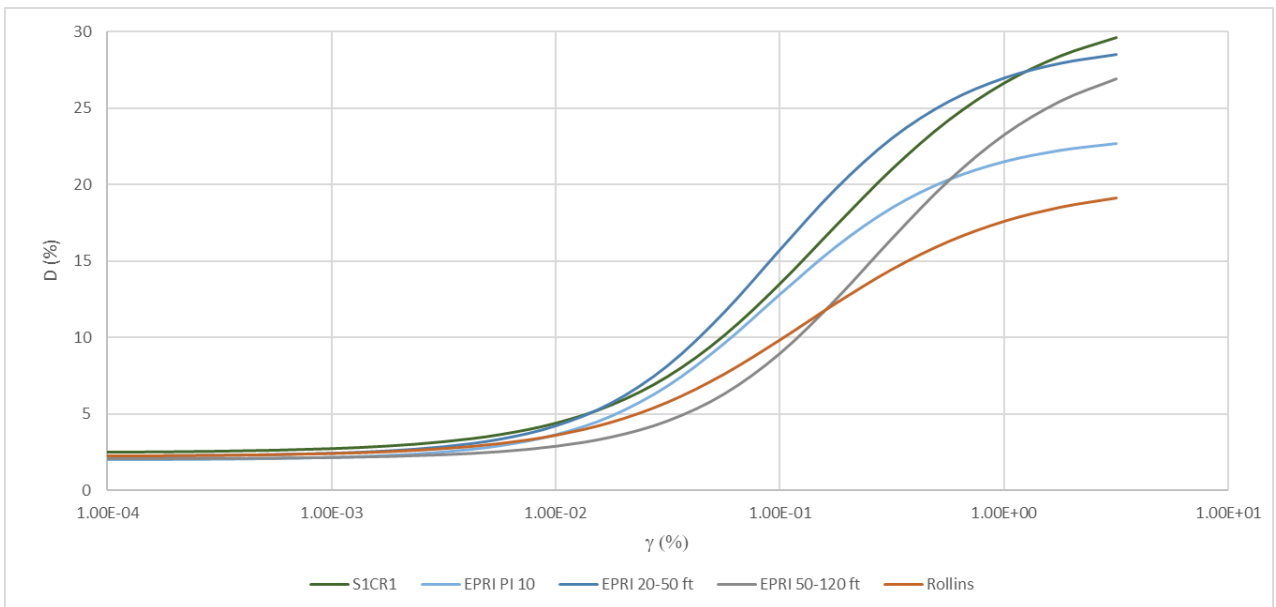



Fig. 11 - Grafico delle curve di interpolazione di D per tutti i terreni

3.4 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STAGEC.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	22 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

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

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come in tutti i casi in esame esclusa la località “Ciano – Sud”, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all’applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

3.4.1 Metodo lineare equivalente


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

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

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

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 12. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	23 di 92

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

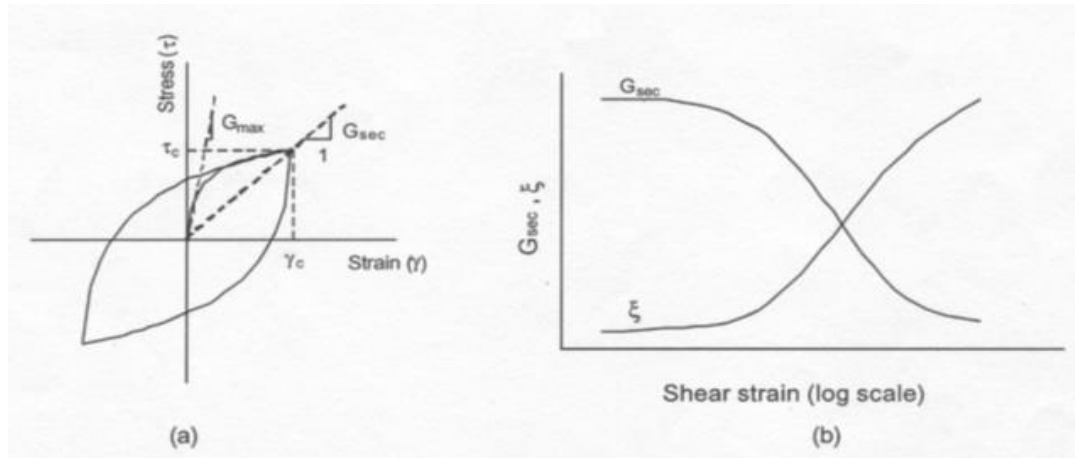


Fig. 12 - Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 12. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

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

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


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

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

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

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

dove:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	24 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

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

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 12b).

3.4.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell' i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 13) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

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

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidità del sistema;

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


a_g = vettore di accelerazione alla base;

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

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

dove:

Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo t_n e $t_n - 1$;

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	25 di 92

β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;

γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

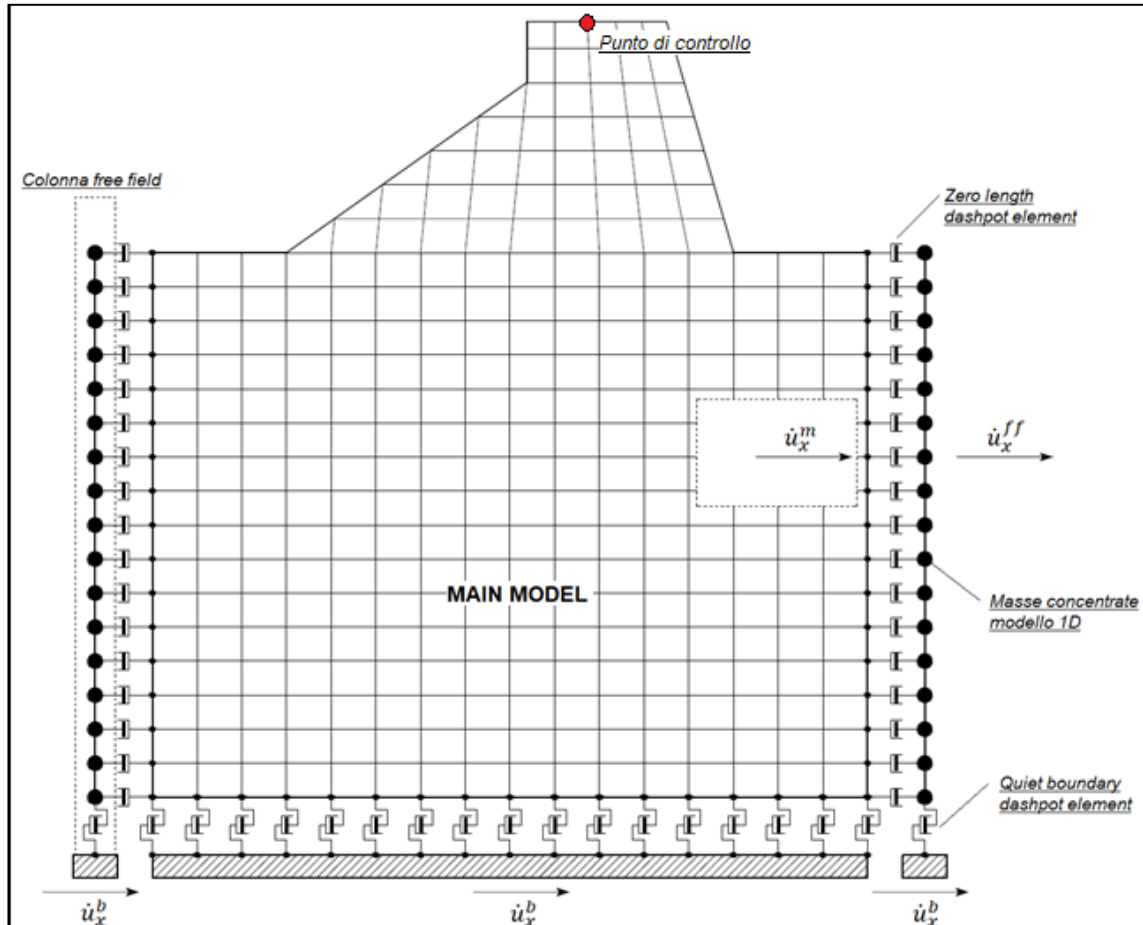


Fig. 13 - Discretizzazione FEM del terreno.

3.4.2.1 Smorzamento


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

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

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Rayleigh;

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	26 di 92

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

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

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

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

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

3.4.2.2 Free-field boundaries

Le condizioni di free-field, applicate solo in caso di analisi bidimensionale, sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:


$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A$$

$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A$$

dove:

- ρ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- A : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- \dot{u}_x^m : velocità del nodo del modello in direzione x;
- \dot{u}_y^m : velocità del nodo del modello in direzione y;
- \dot{u}_x^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x;
- \dot{u}_y^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y.

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un

 EN GEO s.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	27 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni precedenti.

3.4.3 Procedimento iterativo

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

1. definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1);
4. aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

3.4.4 Interpretazione dei risultati


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

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

3.5 Analisi dei risultati

I risultati delle analisi condotte con il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5.1 di STACEC, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire per il sito in esame:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- Gli accelerogrammi di output

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	28 di 92

- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output.
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in accelerazione (FA_{SA}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.5-1.5 e 0.7-1.1 s.
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in velocità (FH_{SI}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.

Tali fattori di amplificazione in accelerazione e velocità sono ottenuti direttamente dal programma di calcolo confrontando lo spettro medio degli accelerogrammi in input con quello ottenuto dagli accelerogrammi in output (Fig. 14 e Fig. 15).

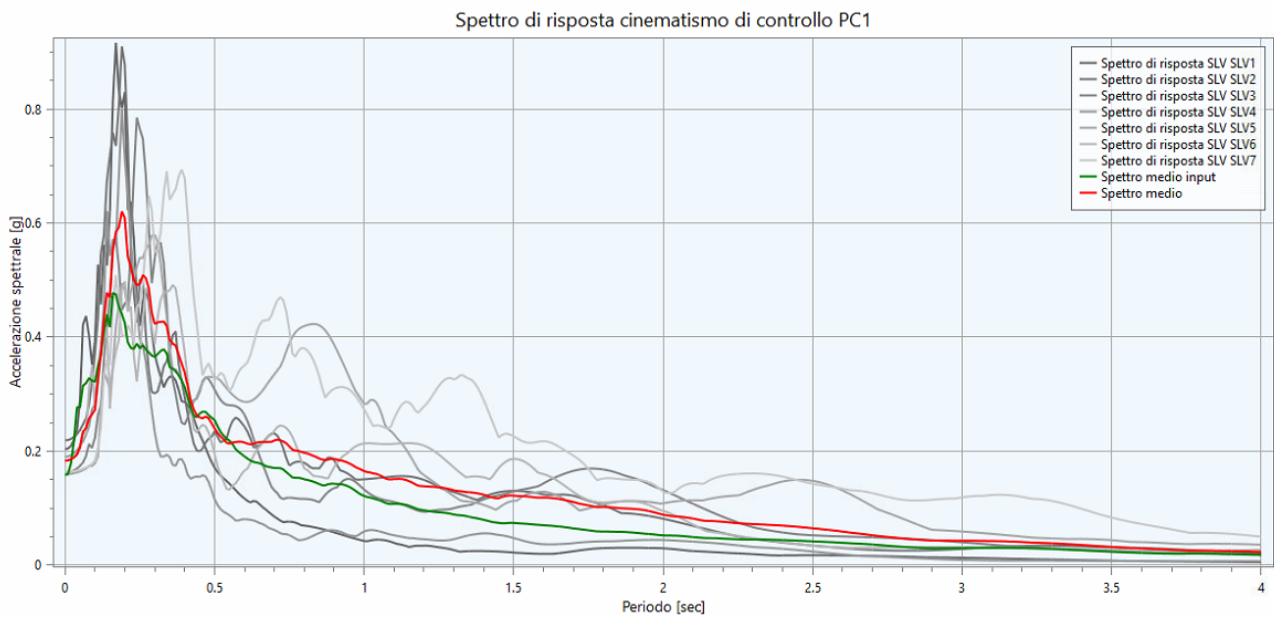



Fig. 14 - Esempio di output di confronto tra lo spettro medio in accelerazione in input (verde) e lo spettro medio in accelerazione in output (rosso)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	29 di 92

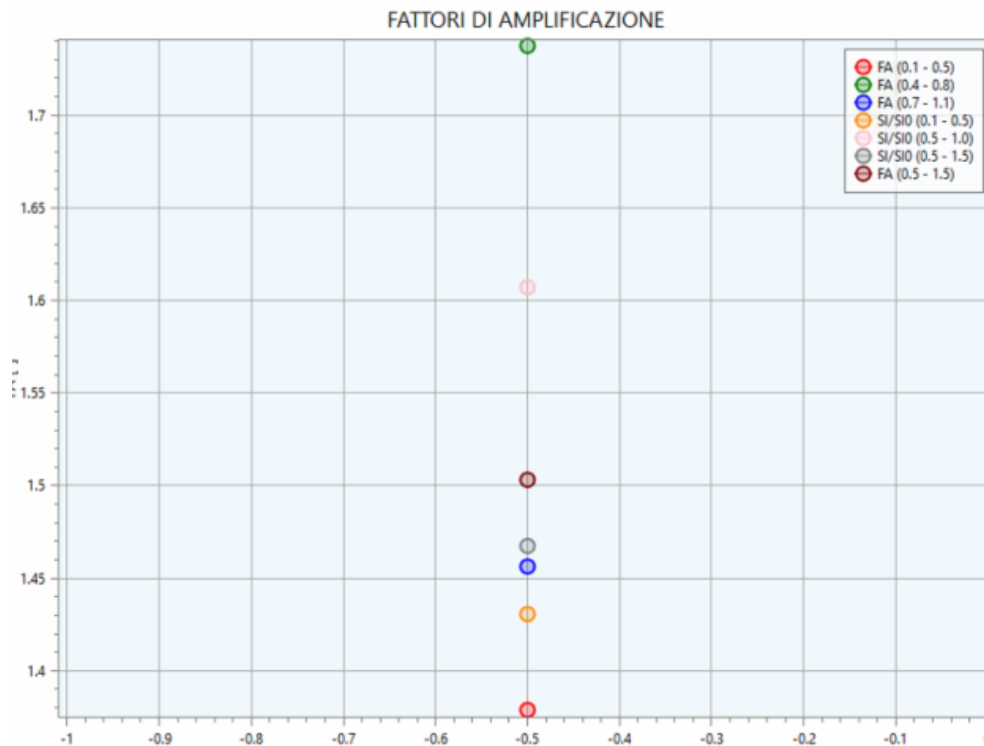


Fig. 15 – Esempio output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità ottenuti dal confronto di Fig. 14

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

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


Dapprima si fornisce la rappresentazione sintetica del modello sismostratigrafico adottato e quindi vengono rappresentati:

- Il grafico dello spettro elastico in accelerazione da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo corrispondente e con lo spettro su suolo rigido fornito dalla Regione Emilia Romagna.
- Il grafico della variazione dell’accelerazione con la profondità.
- La tabella con i vari fattori di amplificazione calcolati.

3.5.1 Risposta sismica locale monodimensionale

3.5.1.1 Risposta sismica locale “Ciano – via Carbonizzo”

Le prove in prossimità dello stendimento lineare 035018L62 hanno permesso di discretizzare le Vs in funzione della profondità considerando il bedrock a 47 m con una velocità pari a 580 m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	30 di 92

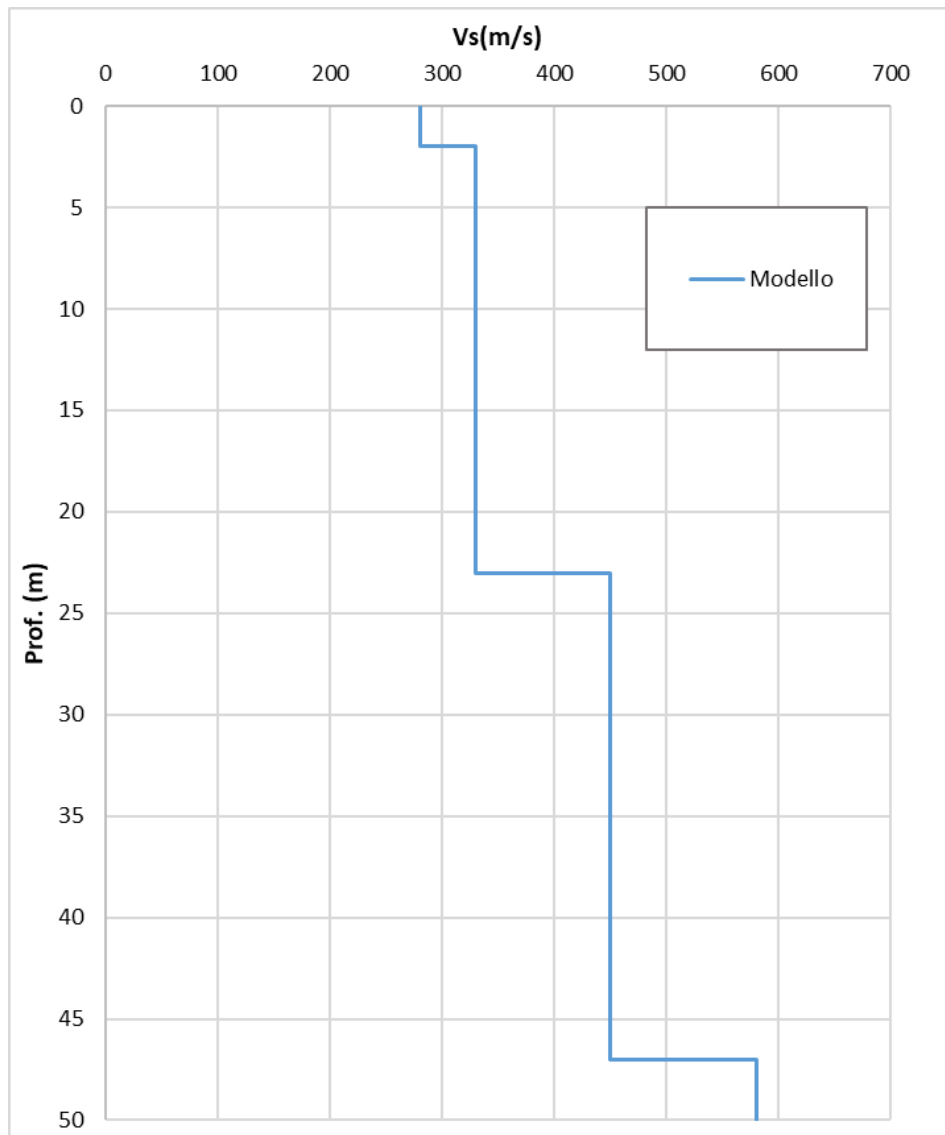


Fig. 16 - Discretizzazione della Vs per il sito "Ciano - via Carbonizzo"

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Curve G/G ₀ e D	γ	Vs
	(m)		(kN/m ³)	(m/s)
Argilla	2.00	EPRI PI = 10	18	280
Ghiaia	21.00	Rollins	18	340
Argillite	24.00	EPRI 20 – 50 ft	18	450
Bedrock			22	580

Tab. 6 - Modello geofisico

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

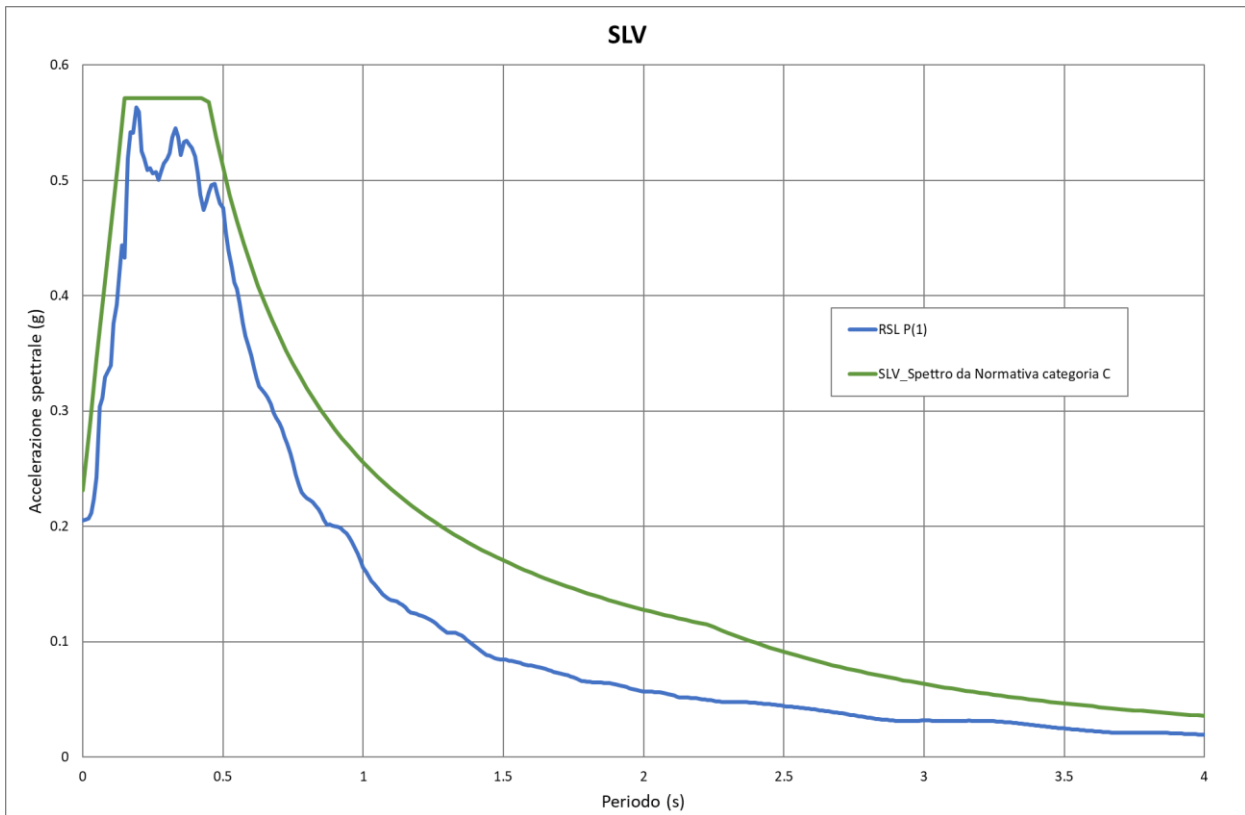



Fig. 17 - Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e lo spettro di riferimento da normativa

Nel grafico il confronto dello spettro di RSL viene effettuato con lo spettro semplificato di categoria C.

Lo spettro di categoria C da normativa risulta più cautelativo rispetto a quello di RSL.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	32 di 92

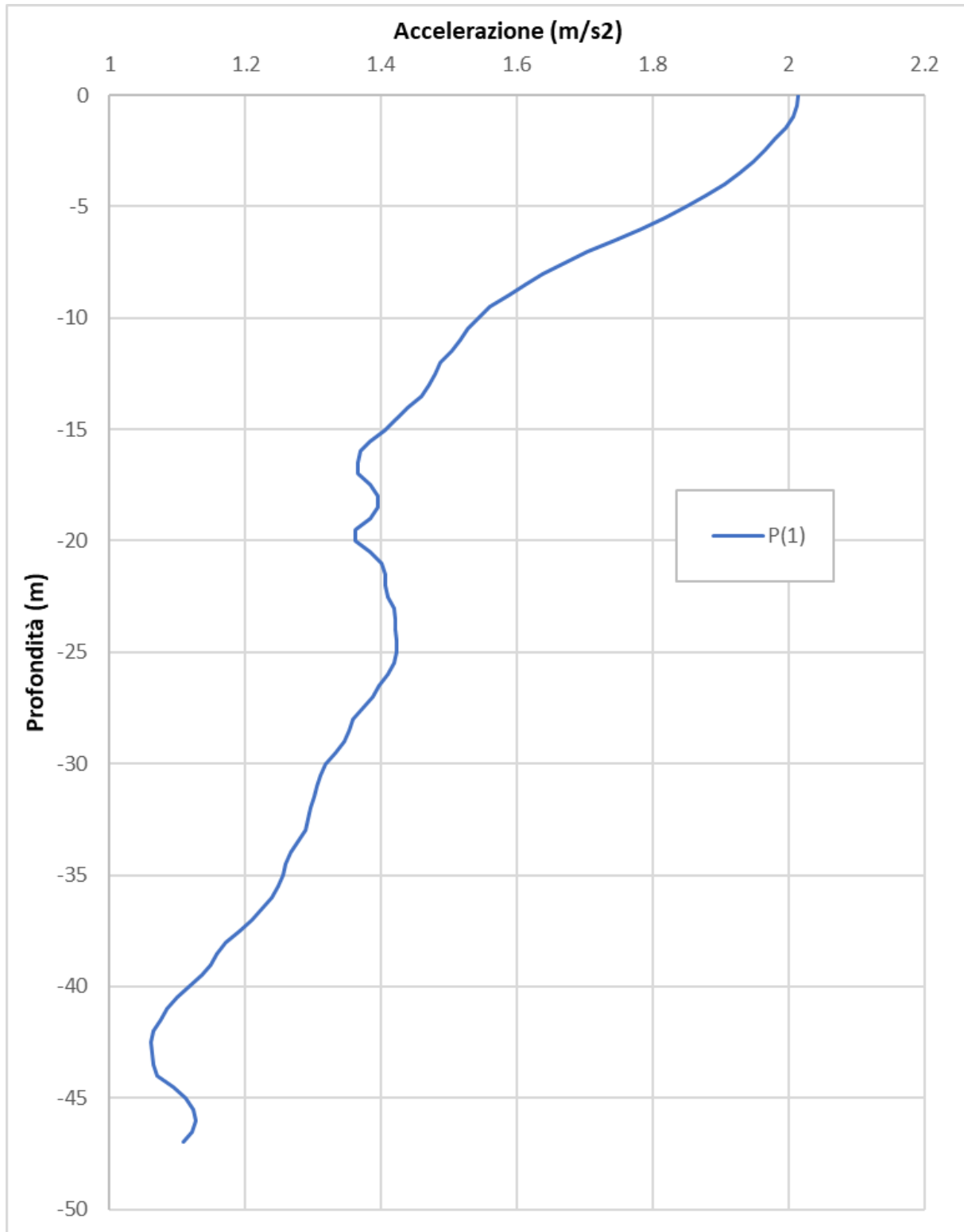



Fig. 18 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	33 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

In Tab. 7 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo messi a confronto con i fattori ottenuti in caso di Microzonazione sismica di secondo livello, secondo la procedura semplificata (DGR 630/2019). L'abaco di ingresso è quello corrispondente al settore "Appennino – coperture su substrato non rigido" con V_{sH} pari a 250m/s e H di 10m.


	<i>RSL</i>	<i>Abachi RER</i>	diff %
FA_{PGA}	1.28	2	-36.0
FA_{SA1 0.1-0.5}	1.41	1.9	-25.8
FA_{SA2 0.4-0.8}	1.77	1.5	18.0
FA_{SA3 0.7-1.1}	1.45	1.4	3.6
FA_{SA4 0.5-1.5}	1.51		
FH_{SI1 0.1-0.5}	1.46	1.9	-23.2
FH_{SI 0.5-1.0}	1.62	1.4	15.7
FH_{SI 0.5-1.5}	1.48		

Tab. 7 - Fattori di amplificazione "Ciano - via Carbonizzo"

3.5.1.2 Risposta sismica locale "Ciano - via Cavandoli"

Nel sito in esame la risposta sismica locale è stata interamente basata sulle prove effettuate sullo stendimento lineare 035018L61 (MASW e REMI), effettuate durante la campagna indagini 2020.

Le prove hanno permesso di discretizzare le V_s in funzione della profondità considerando il bedrock a 50 m con una velocità pari a 520 m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	34 di 92

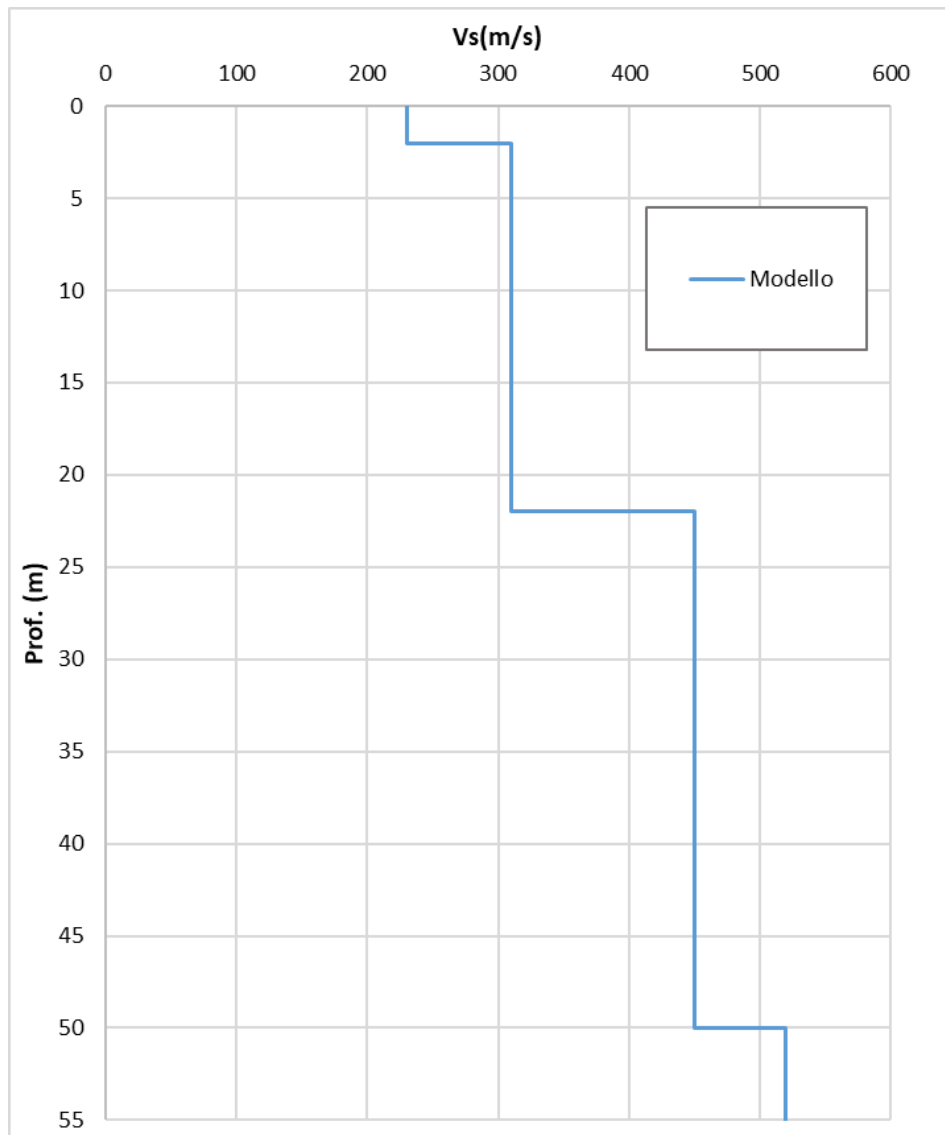



Fig. 19 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Curve G/G ₀ e D	γ	Vs
	(m)		(kN/m ³)	(m/s)
Argilla	2.00	EPRI PI = 10	18	230
Ghiaia	20.00	Rollins	18	310
Argillite	28.00	EPRI 20 – 50 ft	18	450
Bedrock				520

Tab. 8 - Modello geofisico

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	35 di 92

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

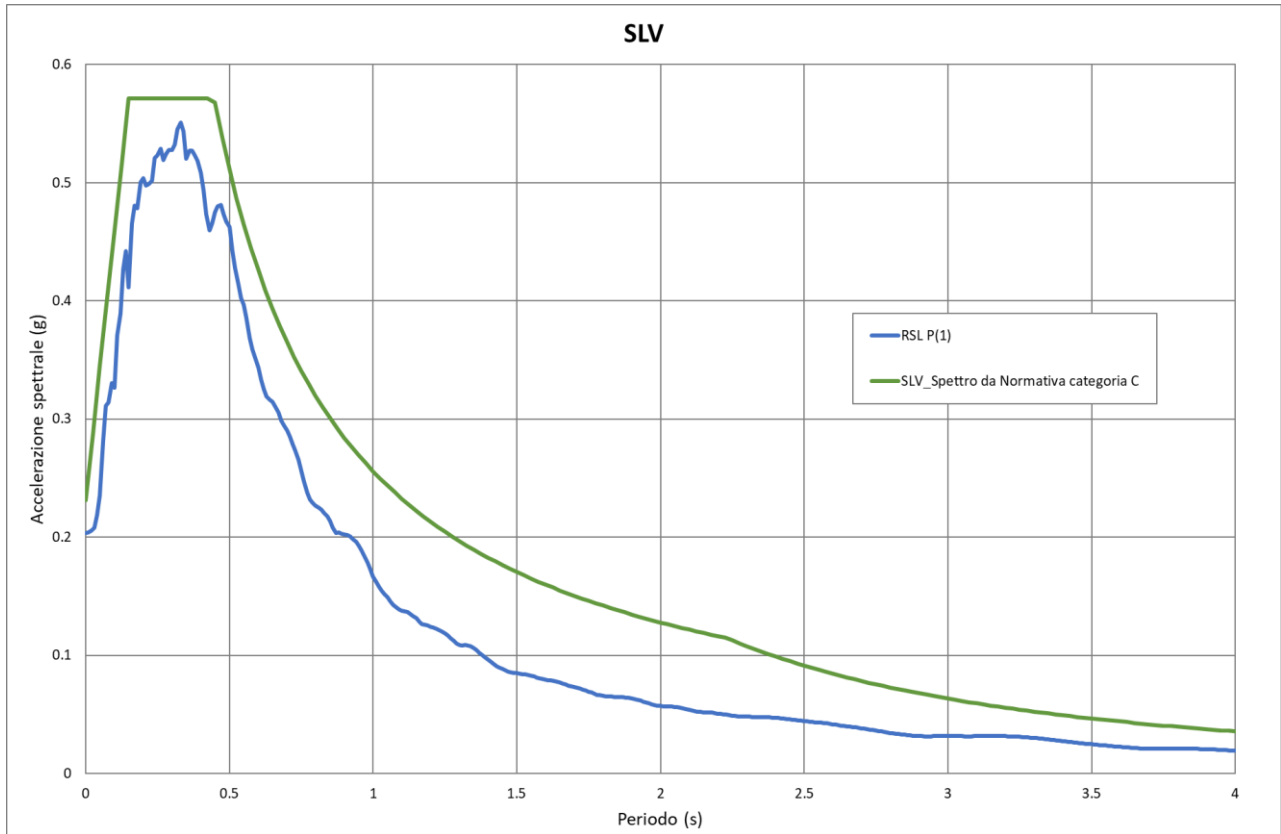



Fig. 20 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e gli spettri di riferimento da normativa

Nel grafico il confronto dello spettro di RSL viene effettuato con lo spettro semplificato di categoria C.

Anche in questo caso, come nel precedente, lo spettro da normativa risulta più cautelativo rispetto a quello ottenuto da analisi RSL.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	36 di 92

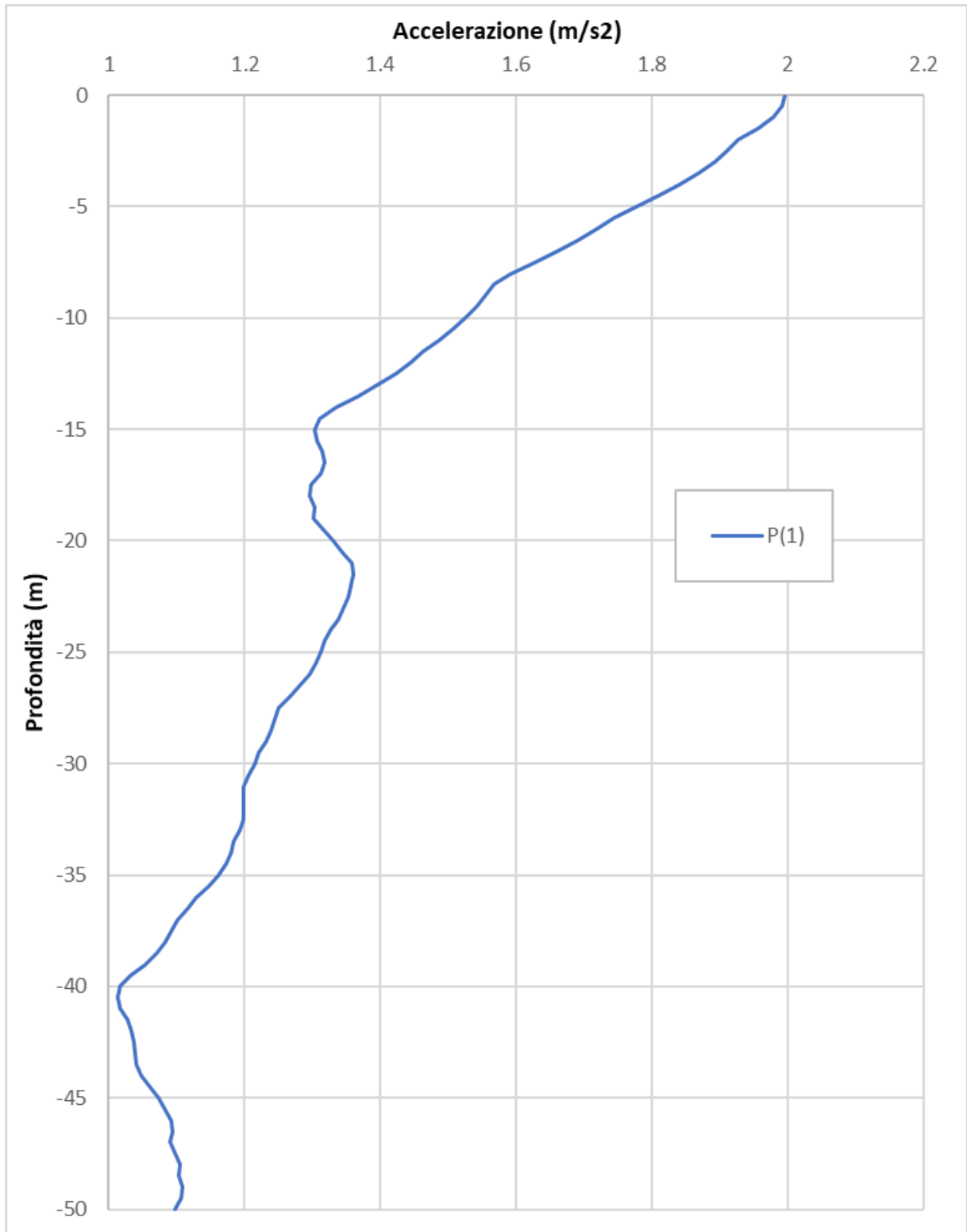



Fig. 21 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	37 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

In Tab. 9 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo messi a confronto con i fattori ottenuti in caso di Microzonazione sismica di secondo livello, secondo la procedura semplificata (DGR 630/2019). L'abaco di ingresso è quello corrispondente al settore "Appennino – coperture su substrato non rigido" con V_{sH} pari a 250m/s e H di 10m.

	<i>RSL</i>	<i>Abachi RER</i>	diff%
FA_{PGA}	1.27	2	-36.5
FA_{SA1} 0.1-0.5	1.38	1.9	-27.4
FA_{SA2} 0.4-0.8	1.74	1.5	16.0
FA_{SA3} 0.7-1.1	1.46	1.4	4.3
FA_{SA4} 0.5-1.5	1.5		
FH_{SI1} 0.1-0.5	1.43	1.9	-24.7
FH_{SI} 0.5-1.0	1.61	1.4	15.0
FH_{SI} 0.5-1.5	1.47		


Tab. 9 – Fattori di amplificazione “Ciano – via Cavandoli”

Il sito di “Ciano – Carbonizzo” ed il sito di “Ciano – Cavandoli” ricadono entrambi all'interno della stessa MOPS 2001; come risulta evidente dalle tabelle precedenti, i relativi fattori di amplificazione risultano molto simili. Per tale motivo nella redazione delle tavole di microzonazione, si è deciso di adottare esclusivamente i fattori del sito “Ciano – Carbonizzo”, leggermente più cautelativi di quelli del sito di via Cavandoli.

3.5.1.3 Risposta sismica locale “Cerezzola”

Nel sito in esame la risposta sismica locale è stata interamente basata sulle prove effettuate durante la campagna indagini 2020; in particolare sullo stendimento lineare 035018L67 (MASW e REMI) e sulla prova penetrometrica 035018P193.

Le prove hanno permesso di discretizzare le V_s in funzione della profondità considerando il bedrock a 43 m con una velocità pari a 540 m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	38 di 92

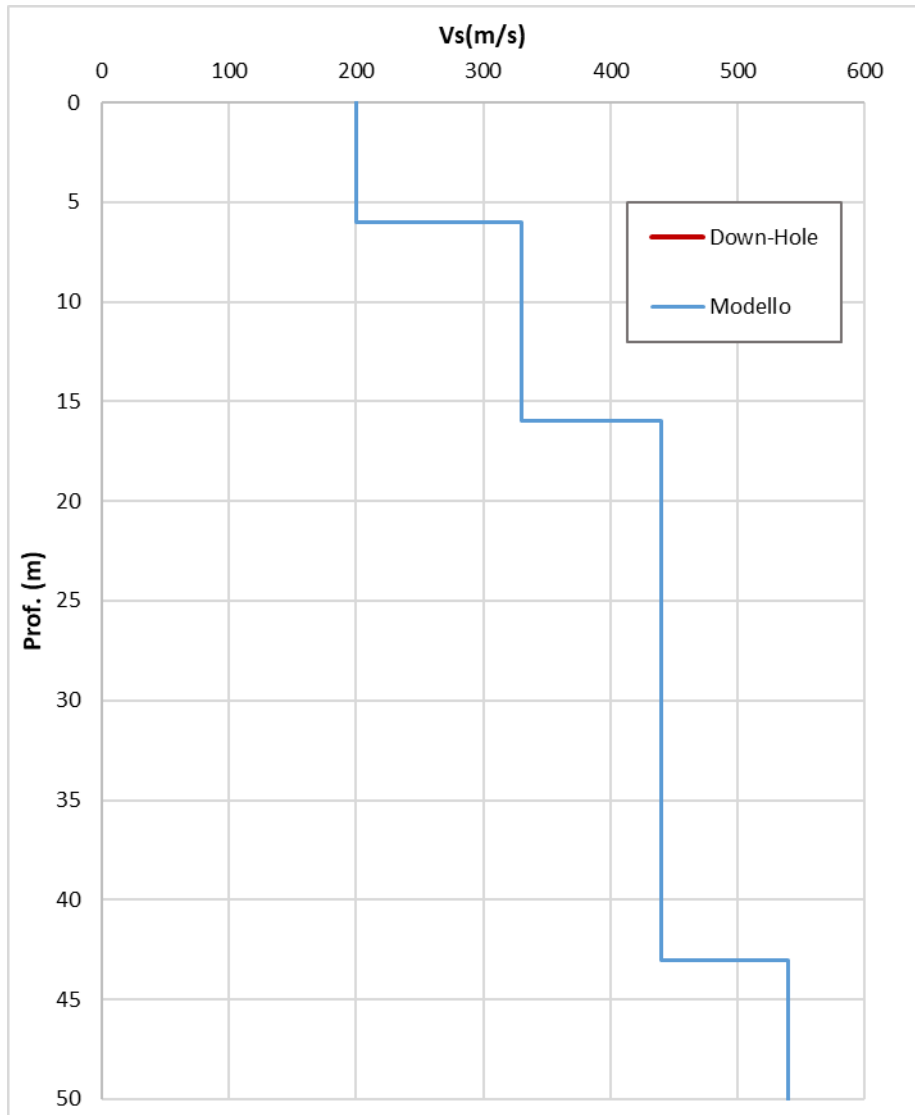



Fig. 22 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Curve G/G ₀ e D	γ	Vs
	(m)		(kN/m ³)	(m/s)
Argilla	6.00	EPRI PI = 10	18	200
Argillite	10.00	EPRI 20 – 50 ft	18	300
Argillite	27.00	EPRI 20 – 50 ft	18	440
Bedrock				540

Tab. 10 - Modello geofisico

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	39 di 92

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

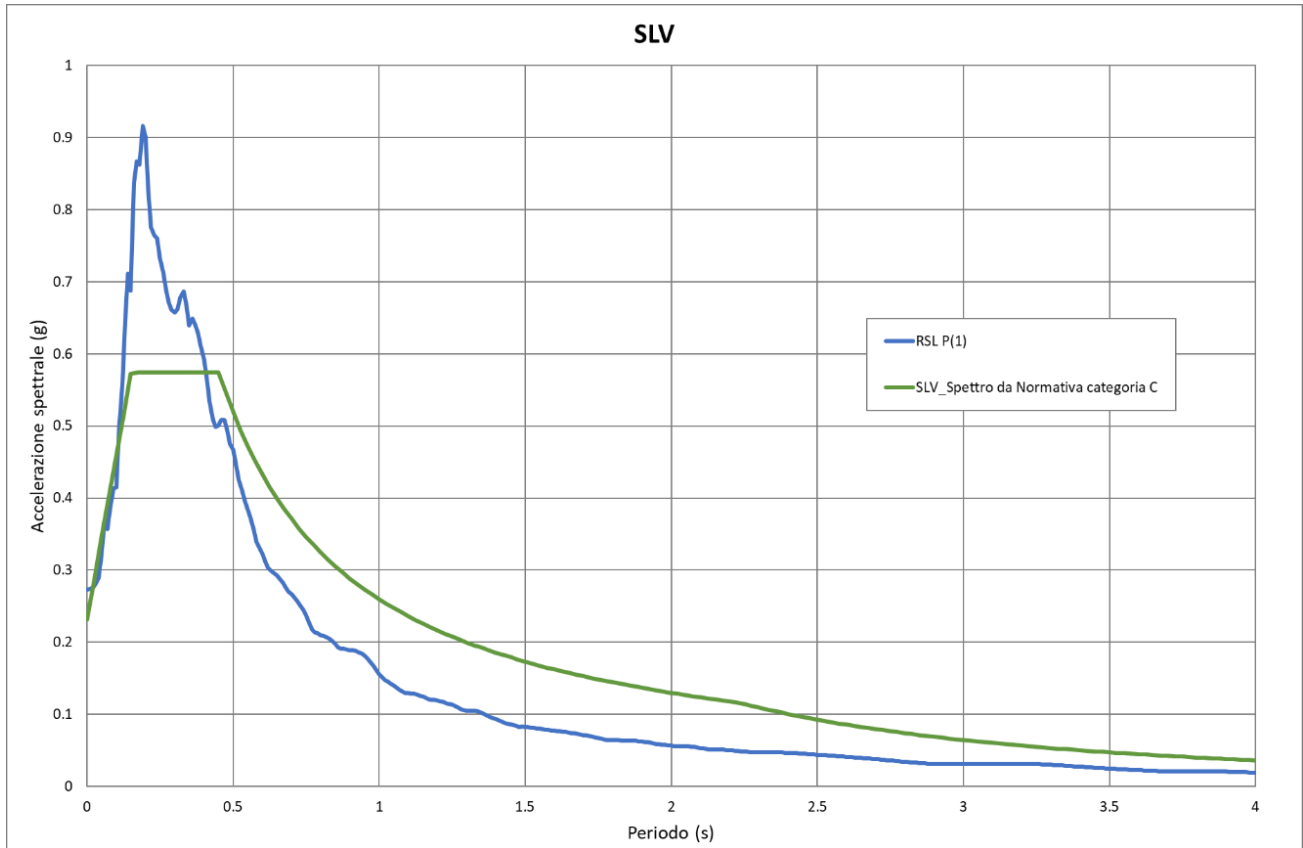



Fig. 23 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e gli spettri di riferimento da normativa

Nel grafico il confronto dello spettro di RSL viene effettuato con lo spettro semplificato di categoria C.

In questo caso, a differenza dei precedenti, fino a 0.43 s lo spettro da RSL risulta molto superiore allo spettro da normativa.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	40 di 92

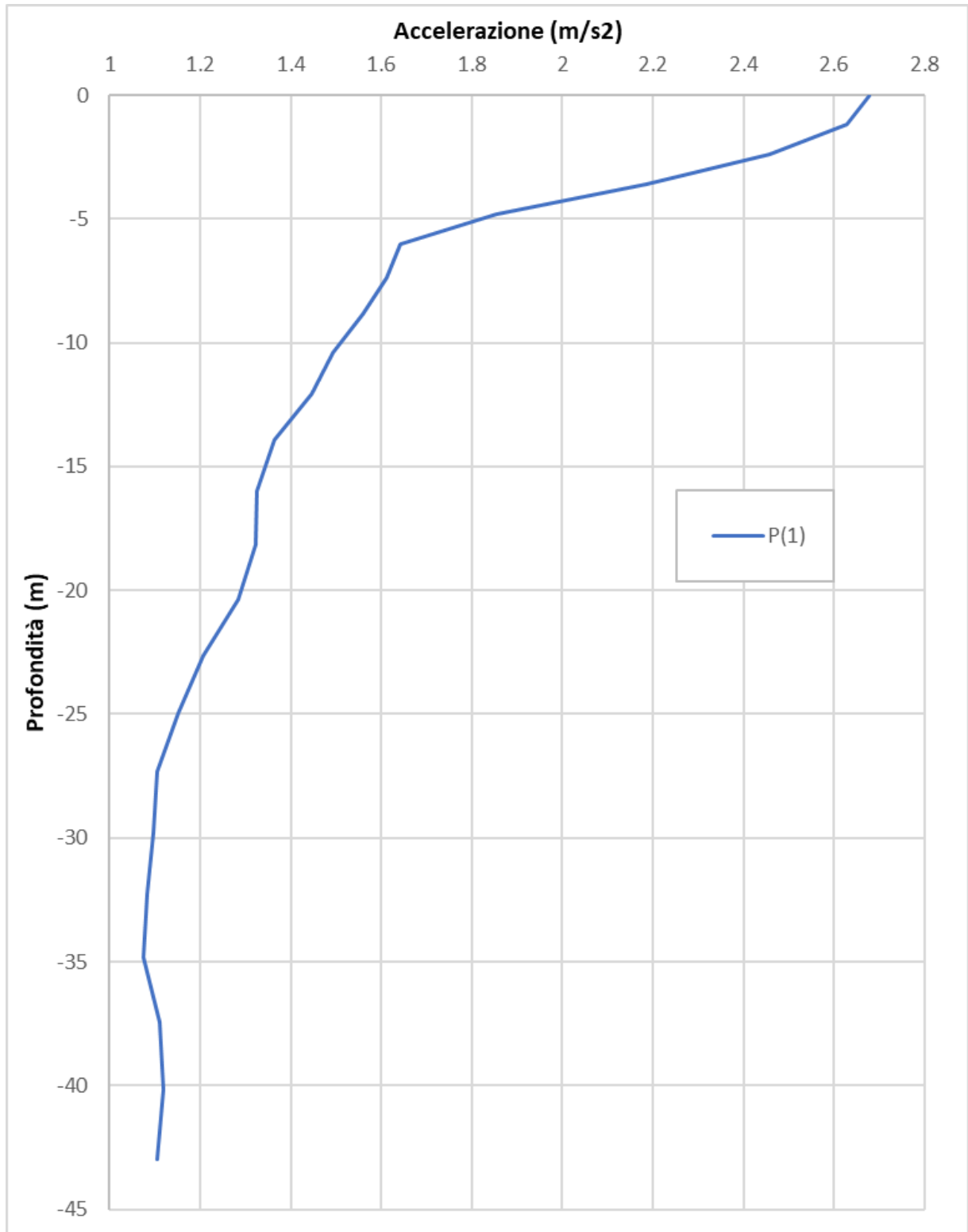



Fig. 24 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	41 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

In Tab. 11 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo messi a confronto con i fattori ottenuti in caso di Microzonazione sismica di secondo livello, secondo la procedura semplificata (DGR 630/2019). L'abaco di ingresso è quello corrispondente al settore "Appennino – coperture su substrato non rigido" con V_{SH} pari a 200m/s e H di 10m.

FA_{PGA}	1.71	2.2	-22.3
$FA_{SA1\ 0.1-0.5}$	1.85	2.3	-19.6
$FA_{SA2\ 0.4-0.8}$	1.73	1.8	-3.9
$FA_{SA3\ 0.7-1.1}$	1.38	1.5	-8.0
$FA_{SA4\ 0.5-1.5}$	1.44		
$FH_{SI1\ 0.1-0.5}$	1.88	2.3	-18.3
$FH_{SI\ 0.5-1.0}$	1.63	1.6	1.9
$FH_{SI\ 0.5-1.5}$	1.5		

Tab. 11 – Fattori di amplificazione “Cerezzola”

3.5.2 Risposta sismica bidimensionale

3.5.2.1 Risposta sismica locale “Ciano – Sud”


Considerato il notevole sviluppo della frana oggetto dello studio, si è ritenuto preferibile effettuare uno studio di tipo bidimensionale, onde verificare la variazione dei fattori di amplificazione lungo il pendio

1. Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche del profilo litologico su cui effettuare l'analisi (Fig. 25), sono stati utilizzati i dati stratigrafici ottenuti dal sondaggio a carotaggio continuo e dalle prove sismiche effettuati durante la campagna indagini 2020 nel sito oggetto di studio.

In particolare, sono state consultate la prova puntuale 035018P190 e le prove MASW e REMI realizzate sullo stesso stendimento sismico 035018L64.

La stratigrafia del sondaggio evidenzia che superficialmente, fino alla profondità di 9 m circa, sono presenti depositi costituiti da frammenti litici subangolari, prevalentemente marnosi, in matrice limoso sabbiosa (ghiaie nel modello). Tale deposito, anche sulla base di considerazioni di carattere geomorfologico, è stato ritenuto attribuibile alla frana. Al di sotto si rinvennero dapprima depositi argilloso limosi e quindi vere e proprie argilliti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	42 di 92

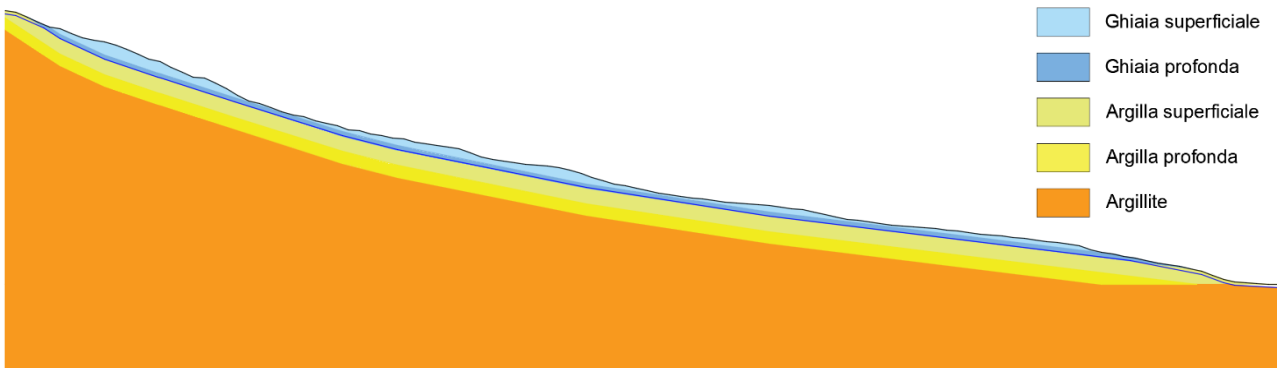


Fig. 25 - Modello geofisico

2. Determinazione della Vs e del *bedrock* sismico

Per quanto riguarda la velocità delle onde S si è fatto riferimento alle misure della prova Down-Hole 035018P190 integrata alle prove sismiche realizzate sullo stendimento 035018L64.

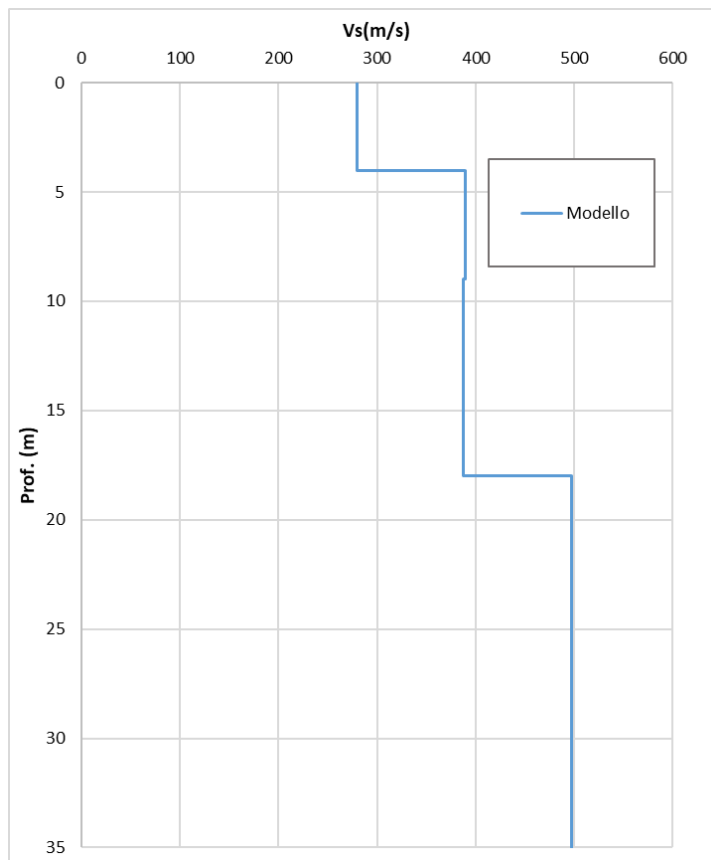



Fig. 26 - Discretizzazione della Vs

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	43 di 92

3. Descrizione del modello

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e geofisiche dei terreni descritte in precedenza è stato costruito il modello LSR2D, la cui rappresentazione è riportata in Fig. 27.

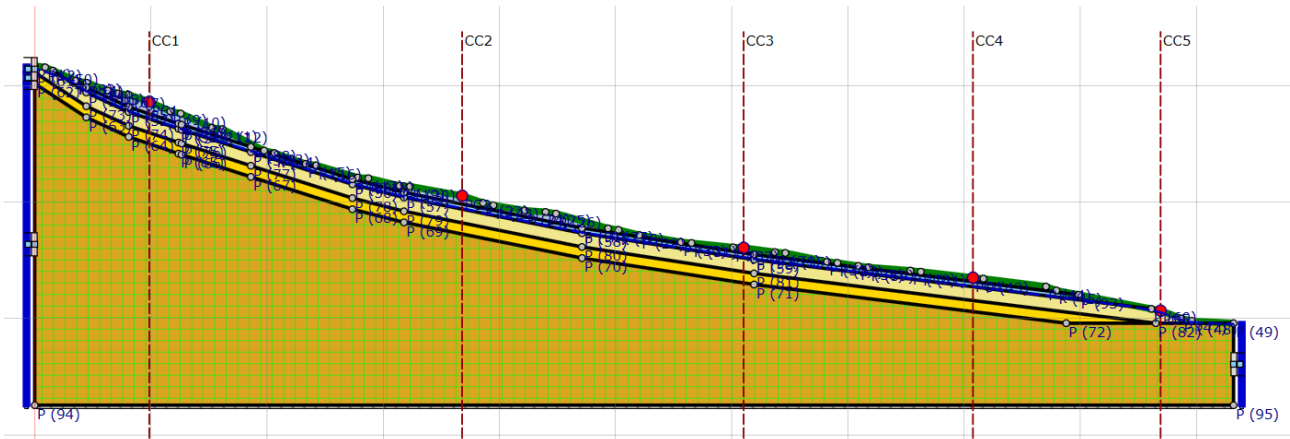



Fig. 27 - Modello sismostratigrafico

Di seguito si riporta la Tab. 12 contenente le caratteristiche sismostratigrafiche dei singoli strati:

Litologia	Spess.	Curva	γ	Vs
	(m)			
Ghiaia superficiale (frana)	4.00	Rollins	18	280
Ghiaia profonda (frana)	5.00	Rollins	18	390
Argilla superficiale	9.00	S1CR1	18	388
Argilla profonda	6.00	S1CR1	18	497
Argillite	7.00	EPRI 50 – 120 ft	18	497
Bedrock				497

Tab. 12 - Caratteristiche sismostratigrafiche “Ciano - Sud”

Come si può constatare esiste una certa discordanza tra la litologia e le misure di Vs, infatti, mentre è presente un modesto contrasto di impedenza tra alla profondità di

 EN GEO s.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	44 di 92

circa 4 m, all'interno dei depositi di frana, non si registrano ulteriori significativi incrementi di Vs fino a circa 18 m di profondità, presumibilmente già all'interno del substrato.

Il modello geofisico utilizzato (Tab. 12), pertanto ha cercato di integrare entrambi i tipi di informazione, con la formazione di ben sette sismostrati diversi.

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a quattro nodi del dominio. Il passo della mesh adottato è stato di solo 3 m, per poter meglio conformarsi alla complessa stratigrafia.

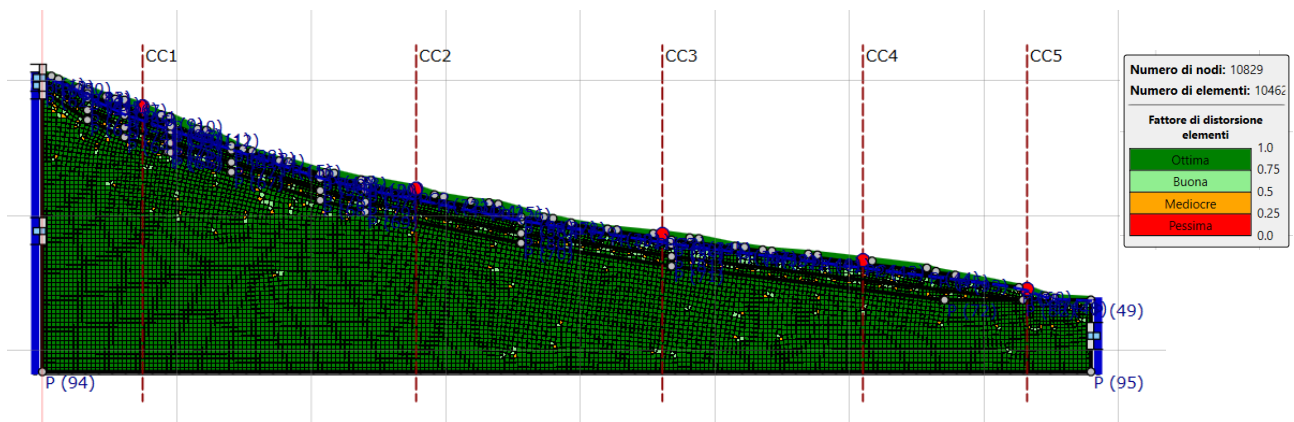


Fig. 28 - Mesh di calcolo

Vista la complessità del modello, la risposta sismica locale è stata valutata per 5 diversi punti ritenuti significativi ai fini ingegneristici, la cui ubicazione (rappresentata con punti rossi) è evidenziata in Fig. 29.

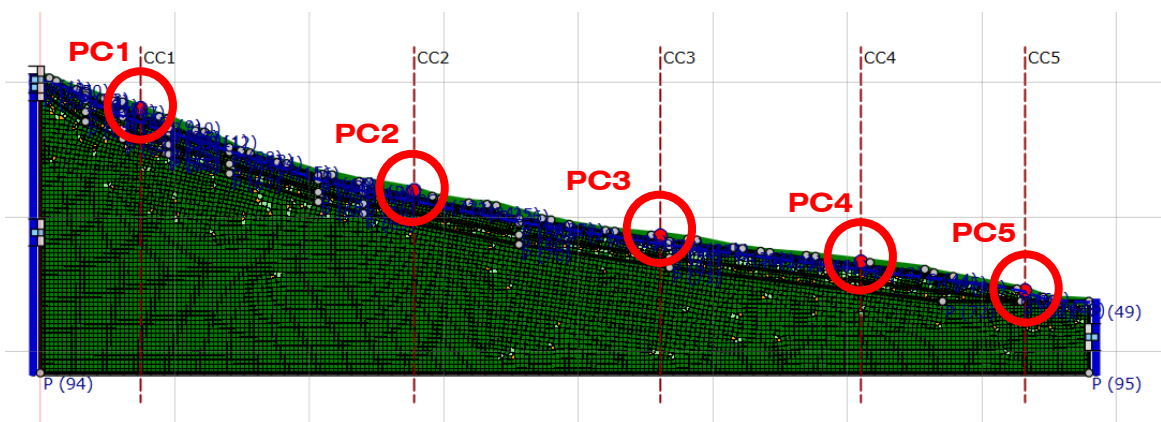


Fig. 29 - Punti di controllo della risposta sismica locale

4. Analisi dei risultati

- Spettri di risposta elastici in superficie

Come si può constatare dalla Fig. 30, mediamente gli spettri ottenuti nei primi 0.3 s presentano accelerazioni superiori rispetto allo spettro semplificato di categoria C da normativa. Questo non succede per lo spettro semplificato ottenuto in prossimità del punto di controllo 4, dove tale intervallo si estende fino a 0.35 s.

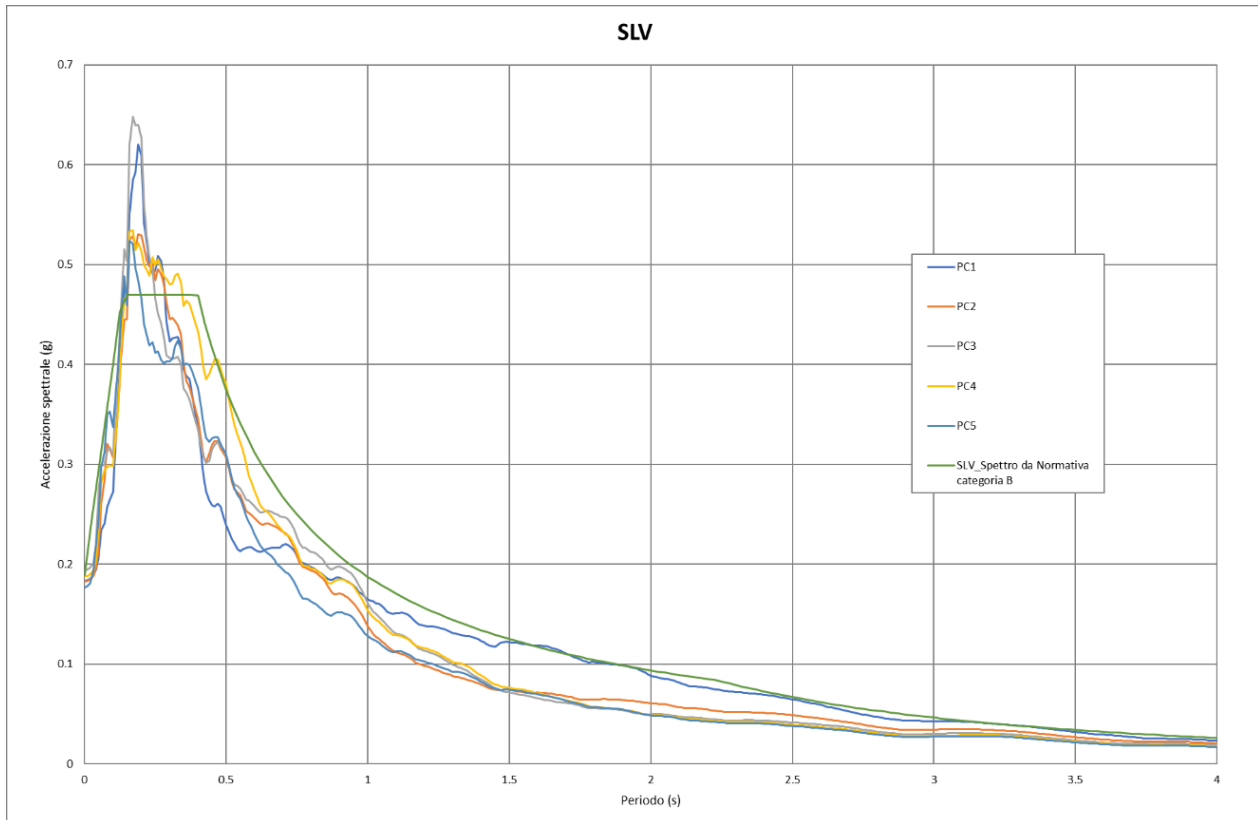



Fig. 30 - Confronto tra gli spettri medi in output in accelerazione per i 5 punti di controllo e gli spettri di riferimento da normativa

- Profilo della PGA in funzione della profondità

La variazione della PGA all'interno del modello è sintetizzata nella figura seguente (Fig. 31) mentre per verificare l'andamento della PGA con le profondità lungo la verticale dei diversi punti di controllo è stato realizzato il grafico Fig. 32.

Come si può constatare il massimo valore della PGA in superficie viene registrato in prossimità del punto PC3 ed è pari a circa 1.899 m/s². Inoltre, è interessante valutare l'andamento dell'accelerazione: in tutti e cinque i casi, fatta eccezione per i per i primi 15 m circa, l'andamento risulta molto simile e tende a diminuire bruscamente con la profondità.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	46 di 92

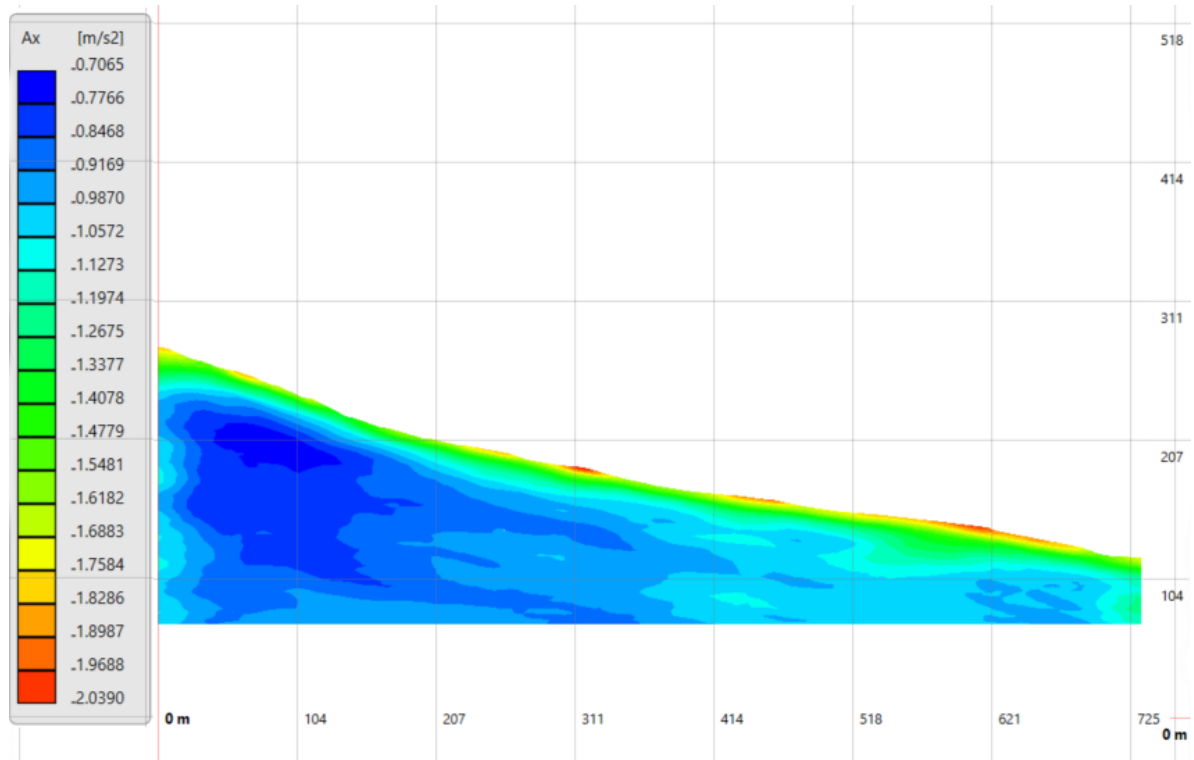



Fig. 31 - Distribuzione delle accelerazioni nel modello

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	47 di 92

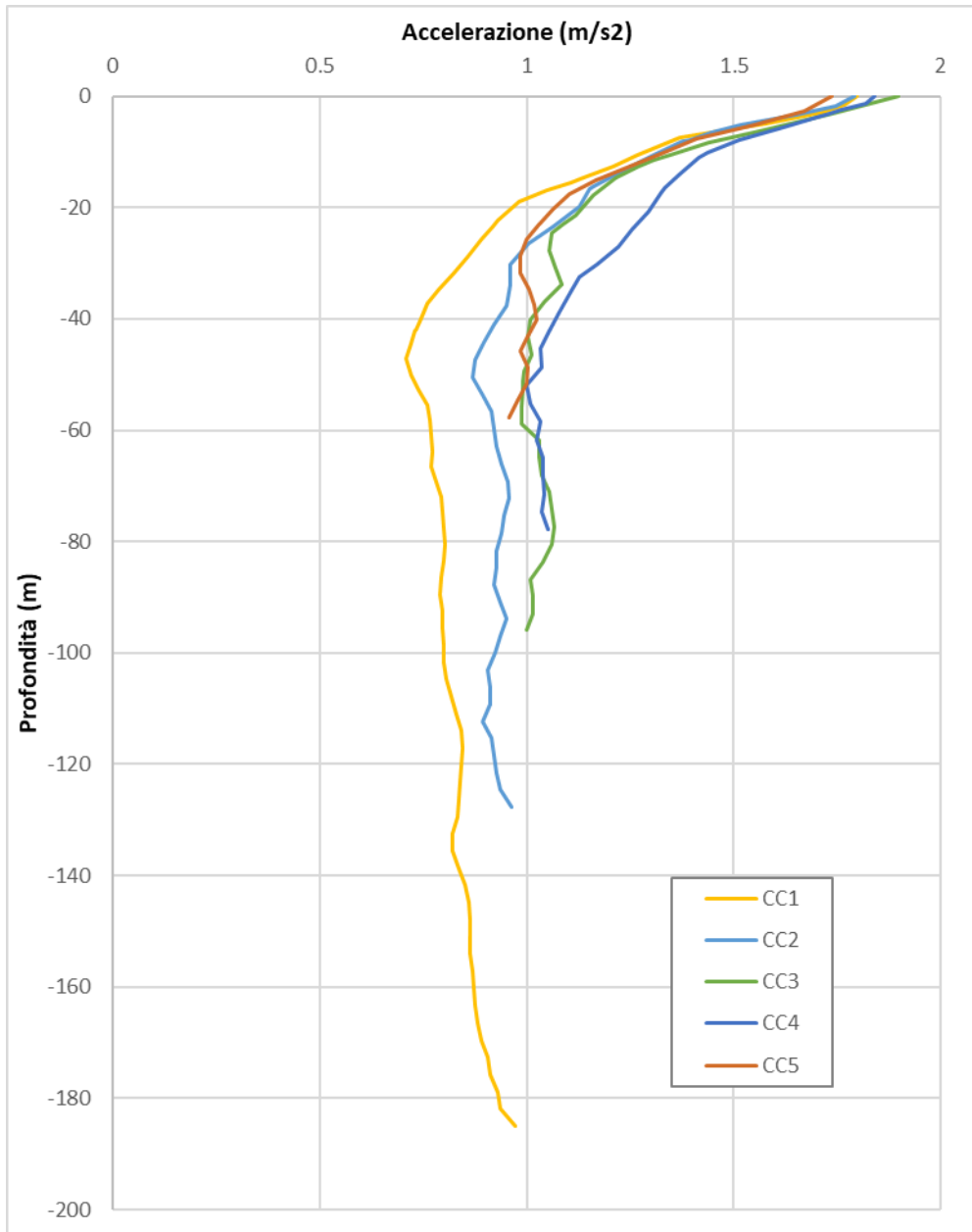


Fig. 32 - Variazione dell'accelerazione con la profondità lungo le cinque verticali delle colonne di controllo

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- Fattori di amplificazione

In Tab. 13 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per i diversi intervalli di periodo e per i diversi punti di controllo considerati. Nella tabella, inoltre vengono riportati i valori massimi e minimi registrati lungo il pendio e la relativa variazione percentuale.


	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>	<i>PC3</i>	<i>PC4</i>	<i>PC5</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Variazione % min/max</i>
FA_{PGA}	1.15	1.15	1.22	1.18	1.11	1.11	1.22	9.02%
FA_{SA1 0.1-0.5}	1.18	1.18	1.21	1.28	1.14	1.14	1.28	10.94%
FA_{SA2 0.4-0.8}	1.1	1.25	1.29	1.44	1.19	1.1	1.44	23.61%
FA_{SA3 0.7-1.1}	1.32	1.2	1.34	1.3	1.08	1.08	1.34	19.40%
FA_{SA4 0.5-1.5}	1.29	1.18	1.27	1.31	1.11	1.11	1.31	15.27%
FH_{SI1 0.1-0.5}	1.17	1.18	1.18	1.31	1.14	1.14	1.31	12.98%
FH_{SI 0.5-1.0}	1.23	1.27	1.34	1.37	1.14	1.14	1.37	16.79%
FH_{SI 0.5-1.5}	1.32	1.18	1.27	1.3	1.11	1.11	1.32	15.91%

Tab. 13 - Fattori di amplificazione "Ciano - Sud"

Nel complesso la variazione è poco significativa tra i punti 1 e 4, che presentano spessori del corpo di frana relativamente simili, mentre i fattori di amplificazione si riducono significativamente nel punto 5, dove lo spessore di frana si riduce.

Dopo un'attenta analisi, si è deciso di adottare nelle carte di Microzonazione Sismica i valori corrispondenti al punto di controllo 4, più cautelativi.

In Tab. 14 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per i diversi intervalli di periodo per il punto di osservazione considerato, confrontandoli con i fattori ottenuti in caso di Microzonazione sismica di secondo livello, secondo la procedura semplificata (DGR 630/2019). L'abaco di ingresso è quello corrispondente al settore "Appennino - coperture su substrato non rigido" con V_{sH} pari a 200m/s e H di 15m.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	49 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	<i>RSL</i>	<i>Abachi RER</i>	diff%
FA_{PGA}	1.18	2.2	-46.4
FA_{SA1 0.1-0.5}	1.28	2.5	-48.8
FA_{SA2 0.4-0.8}	1.44	2.3	-37.4
FA_{SA3 0.7-1.1}	1.3	1.7	-23.5
FA_{SA4 0.5-1.5}	1.31		
FH_{SI1 0.1-0.5}	1.31	2.6	-49.6
FH_{SI 0.5-1.0}	1.37	1.9	-27.9
FH_{SI 0.5-1.5}	1.3		

Tab. 14 – Confronto tra fattori di amplificazione di MS2 e MS3

3.6 Considerazioni sui risultati delle analisi di terzo livello


Nella successiva tabella vengono presentati in sintesi i raffronti (in percentuale) tra i valori dei fattori di amplificazione calcolati con la RSL e quelli derivanti dall'applicazione dagli abachi RER.

Le differenze percentuali positive indicano valori più alti per i fattori da RSL rispetto a quelli degli abachi, mentre differenze negative il contrario. In sostanza le differenze percentuali negative indicano che gli abachi risultano più cautelativi della RSL.

	Ciano via Carbonizzo	Ciano via Cavandoli	Cerezzola	Ciano Sud
FA_{PGA}	-36.0	-36.5	-22.3	-46.4
FA_{SA1 0.1-0.5}	-25.8	-27.4	-19.6	-48.8
FA_{SA2 0.4-0.8}	18.0	16.0	-3.9	-37.4
FA_{SA3 0.7-1.1}	3.6	4.3	-8.0	-23.5
FH_{SI1 0.1-0.5}	-23.2	-24.7	-18.3	-49.6
FH_{SI 0.5-1.0}	15.7	15.0	1.9	-27.9

Tab. 15 – Raffronto tra i risultati delle analisi di secondo livello e terzo livello

L'analisi della Tab. 15 evidenzia che gli abachi sovrastimano (e quindi sono a favore di sicurezza), talora anche significativamente, lo scuotimento in tutti periodi, con la sola eccezione dei siti di via Carbonizzo e via Cavandoli (che peraltro, come evidenziato in


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	50 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

precedenza, sono siti sostanzialmente omogenei,) in cui si ha una sovrastima per gli alti periodi ($0,5 < T < 1,0$).

Un ulteriore confronto può essere effettuato a livello di spettri di risposta in pseudoaccelerazione.

Le figure precedentemente illustrate (Fig. 17, Fig. 20, Fig. 23 e Fig. 30), in cui viene proposto il confronto tra gli spettri di risposta in pseudoaccelerazione da RSL e lo spettro semplificato per la categoria di sottosuolo C da NTC 2018, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), evidenziano che gli spettri semplificati raramente risultano adatti a descrivere il reale scuotimento del sito. Spesso, infatti, trascurano importanti sollecitazioni nei periodi più bassi (in genere fino a 0.4 s) e sempre risultano eccessivamente cautelativi per periodi superiori a 1 secondo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	51 di 92

4. STABILITÀ DI VERSANTE

Le analisi di stabilità in condizioni sismiche sono state effettuate su due frange, oggetto delle analisi di risposta sismica locale, ritenute significative, una, attiva, a Ciano (Fig. 33) e una, quiescente, a Cerezzola (Fig. 34).

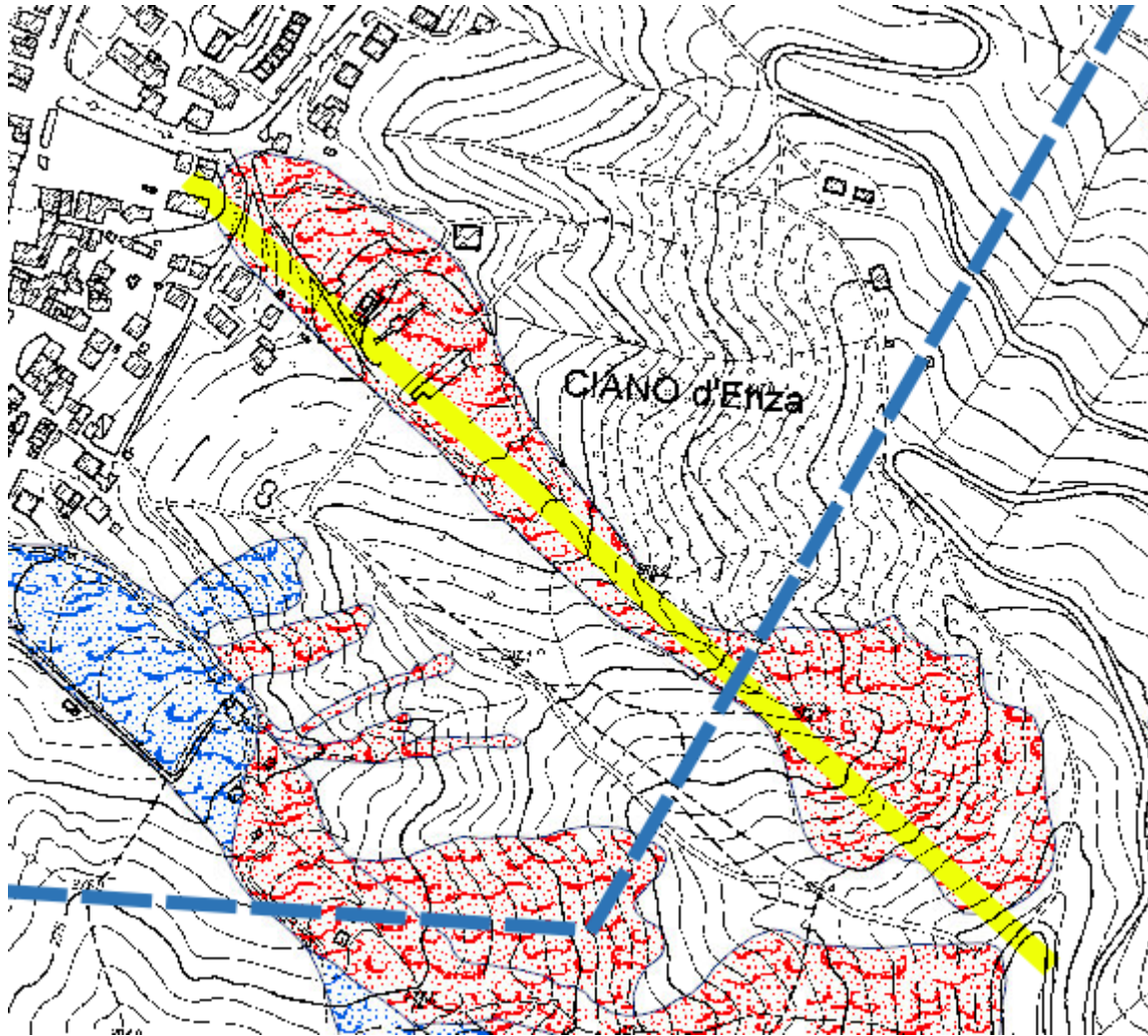



Fig. 33 - Inquadramento della frana di Ciano con traccia della sezione esaminata (in giallo)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	52 di 92

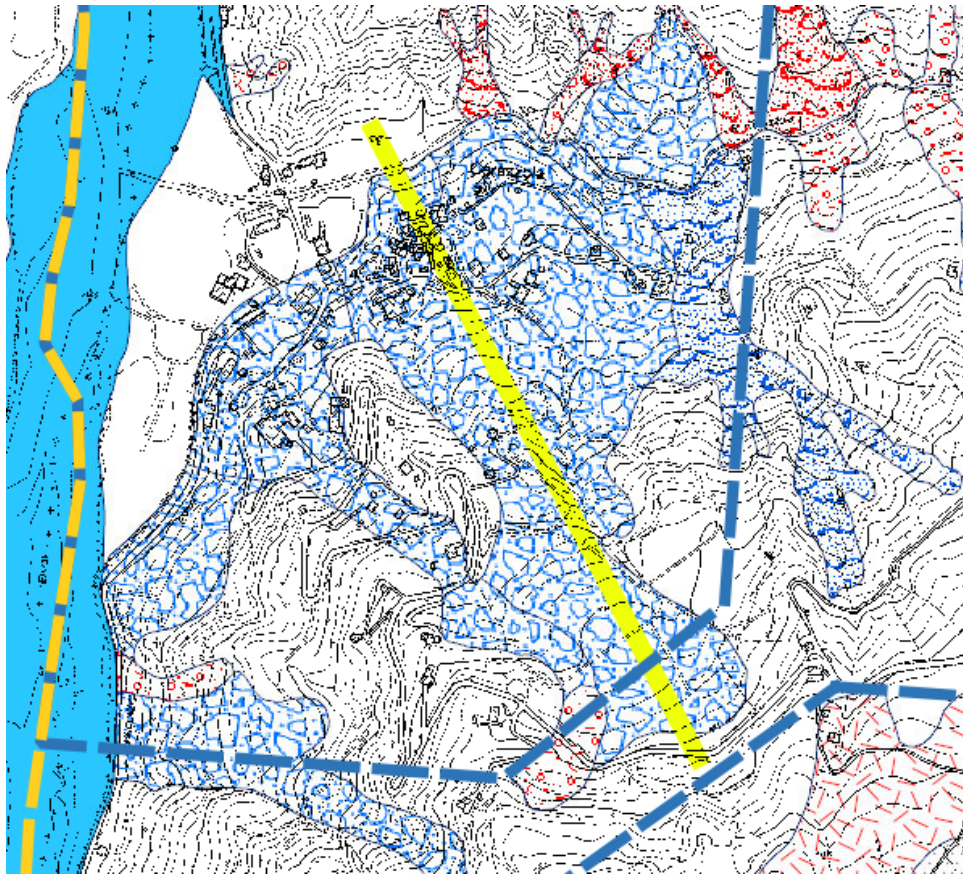


Fig. 34 - Inquadramento della frana di Cerezzola con traccia della sezione esaminata (in giallo)


4.1 Metodo di verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo SLOPE v.2021 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_j agisca 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;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	53 di 92

- 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**.

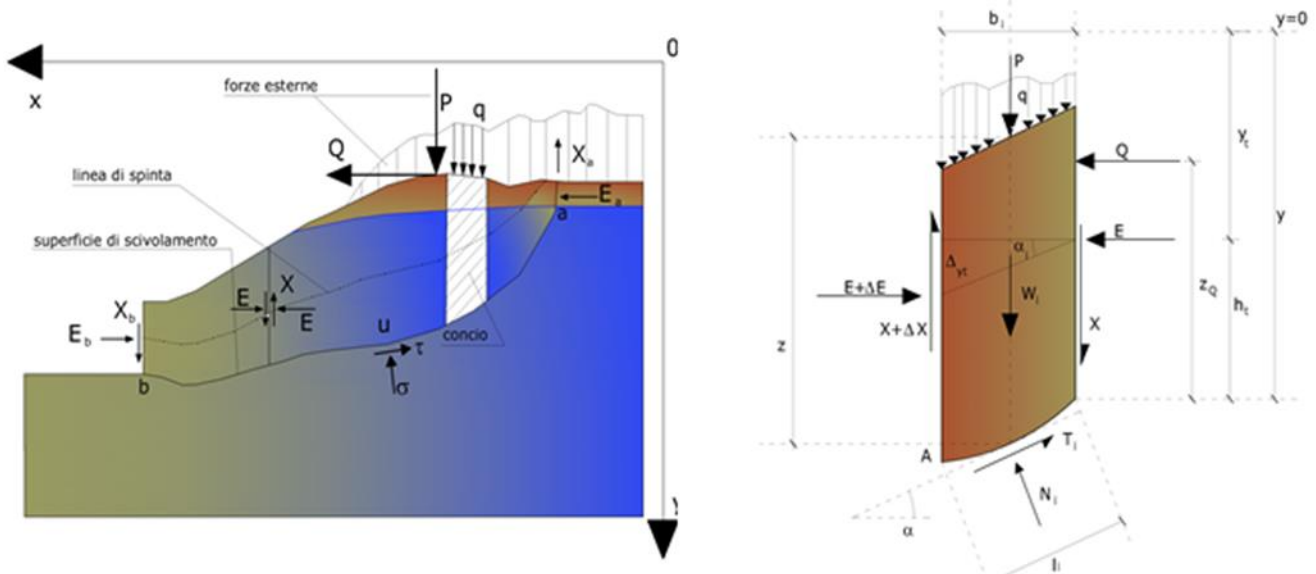


Fig. 35 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Janbu, inoltre, propone un metodo per la correzione del fattore di sicurezza che tiene conto della forma della frana e dei parametri geotecnici:

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

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (**Fig. 36**). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

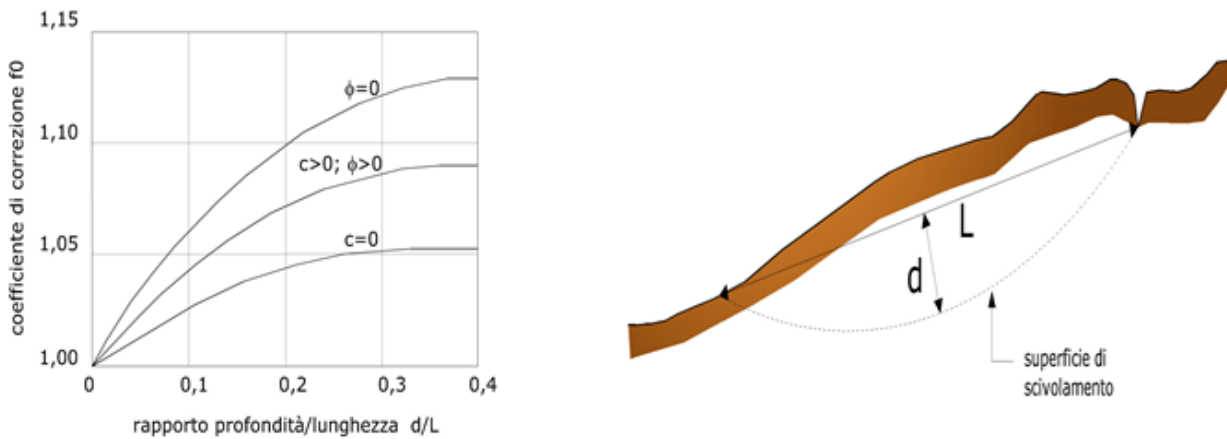


Fig. 36 – Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

La stabilità nei confronti dell’azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico 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).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	55 di 92

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).

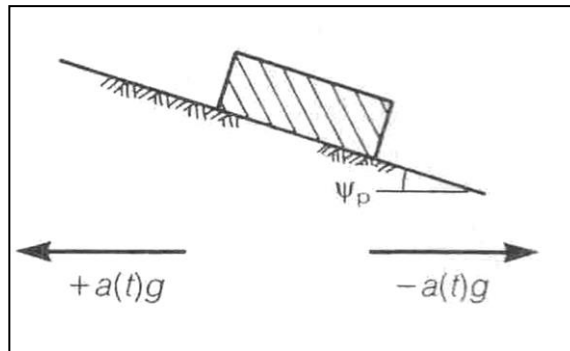


Fig. 37 - Schematizzazione del metodo di Newmark

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).

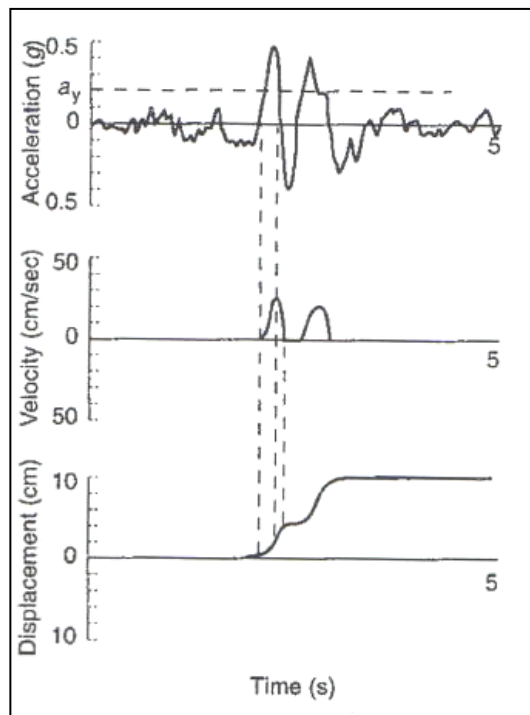



Fig. 38 - Esempificazione della metodologia di Newmark, con doppia integrazione dell'accelerogramma

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	56 di 92

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.

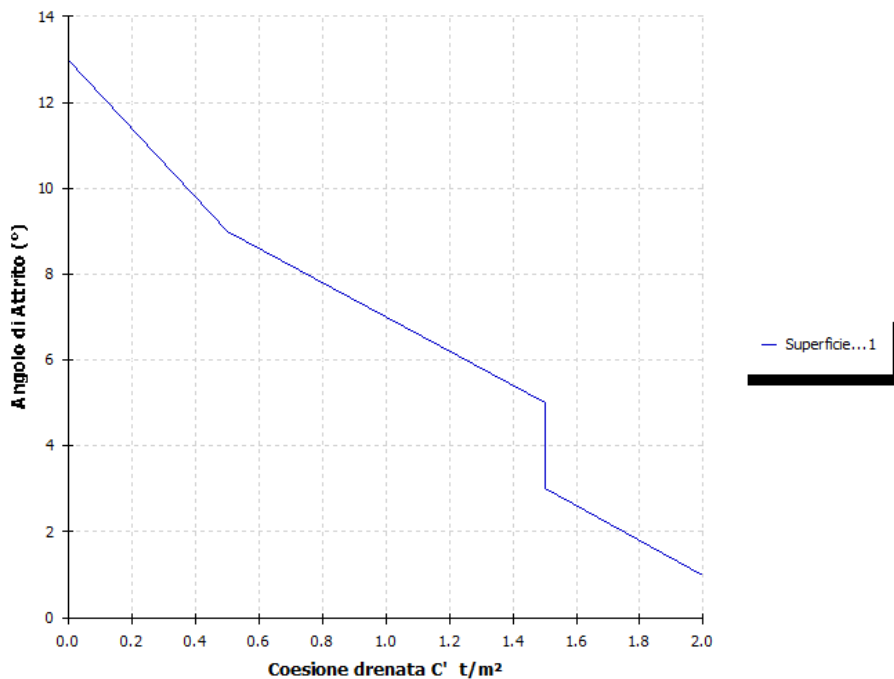
4.2 Le ipotesi verificate

La verifica è stata effettuata sulle zone di attenzione per instabilità di versante presenti nelle località di Ciano d'Enza e Cerezzola e identificate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Le dimensioni degli ammassi franosi non hanno consentito, anche in relazione ai fondi 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 si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche che ha fornito le coppie dei parametri geotecnici ϕ' e c' che determinano un coefficiente di sicurezza $F_s=1$ (cfr. Fig. 39).

Back Analysis Ciano Sud



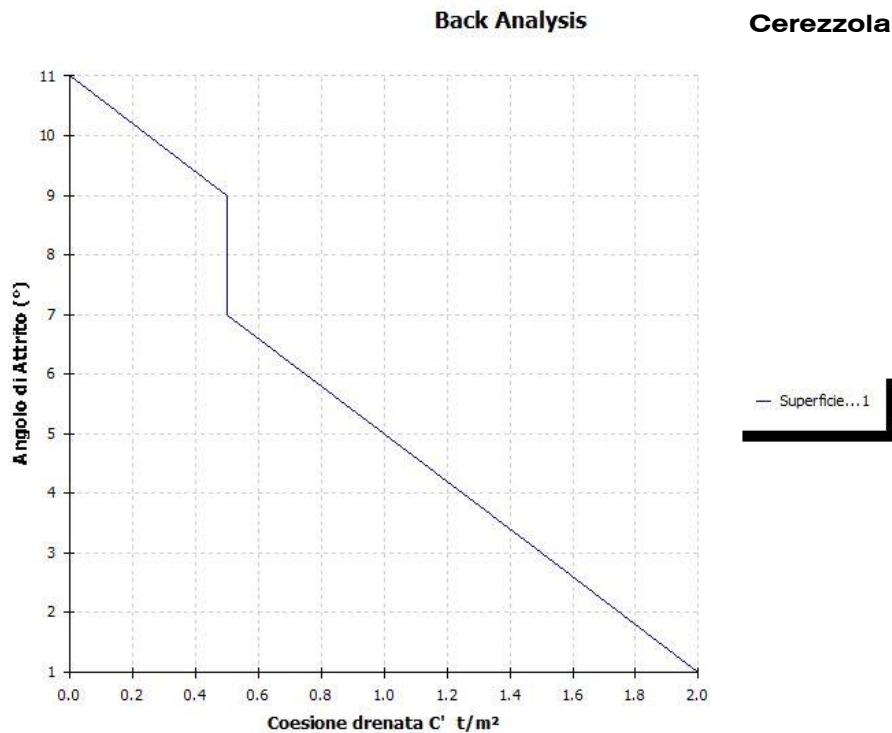


Fig. 39 - Output di *Back analysis* per entrambi i siti indagati

Successivamente è stata calcolata l’accelerazione critica ed è quindi stata effettuata l’analisi dinamica.

La verifica dinamica, per i due differenti siti, è stata effettuata per l’accelerogramma fornito dal software SEISM-HOME² di Eucentre maggiormente rappresentativo di ciò che si verifica in sito, opportunamente scalato mediante i metodi della risposta sismica locale illustrati nel capitolo precedente (accelerogrammi di output di LSR 2D - Local Sismic Response 2D Ver. 4.5 di STACEC). Nella tabella che segue sono stati riportati gli spostamenti calcolati in funzione del coefficiente di sicurezza $F_s \sim 1$ sulla base di una delle coppie di parametri ϕ' e c' ottenute con back analysis (cfr. Tab. 16).

Sito	Phi	c'	Fs	Ac	Spostamento SLV7
	°	kg/cm ²	-	a _g /g	cm
Ciano - Sud	9	0.07	1.0043	0.01	171.93
Cerezzola	7	0.06	1.0239	0.01	333.73

Tab. 16 - Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per i due siti oggetto di studio

² Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] “Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms”, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

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

4.2.1 Verifica di stabilità “Ciano - Sud”

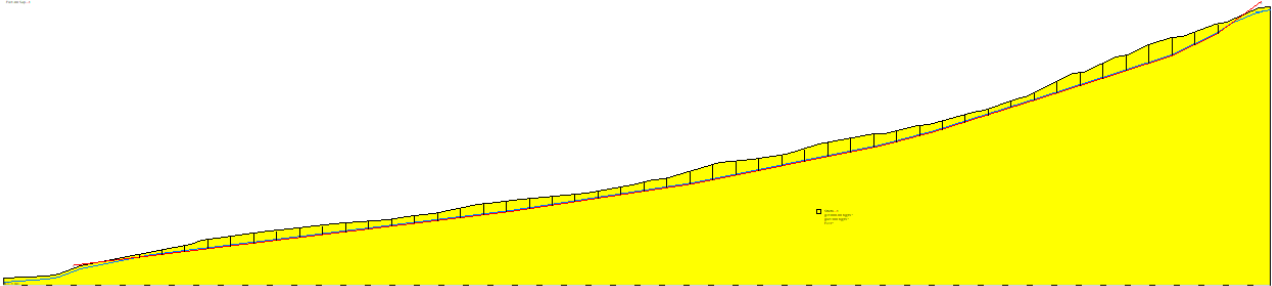


Fig. 22 – Sezione analizzata con suddivisione in concetti del corpo della frana “Ciano - Sud”

Coerentemente con la scelta effettuata durante l’analisi di risosta sismica locale, si è deciso di studiare la situazione nel punto più sfavorevole, in prossimità del punto di controllo 4. L’accelerogramma SLV7 (Fig. 40) risulta essere quello che ha riscontrato maggiori spostamenti che, come riportato in Tab. 16, sono pari a 171.93 cm.

Accelerogramma SLV7 – “Ciano - Sud”

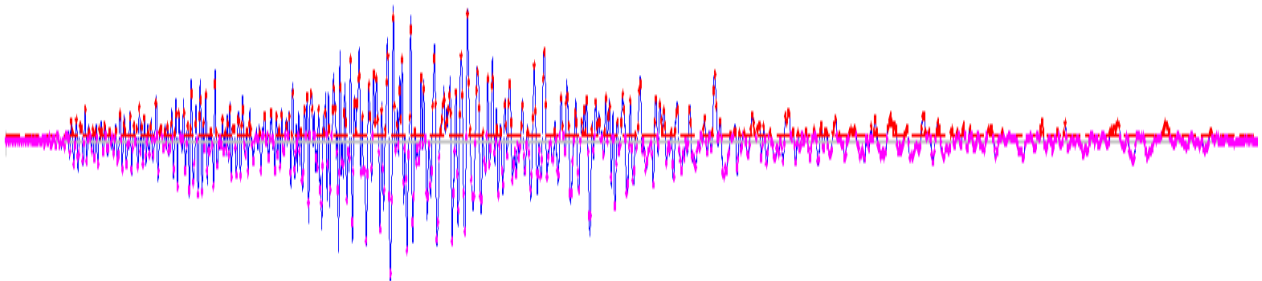



Fig. 40 – Analisi dinamica: accelerogramma (in rosso i punti con accelerazione superiore all’accelerazione critica che determinano spostamento) – “Ciano - Sud”

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	59 di 92

4.2.2 Verifica di stabilità “Cerezzola”

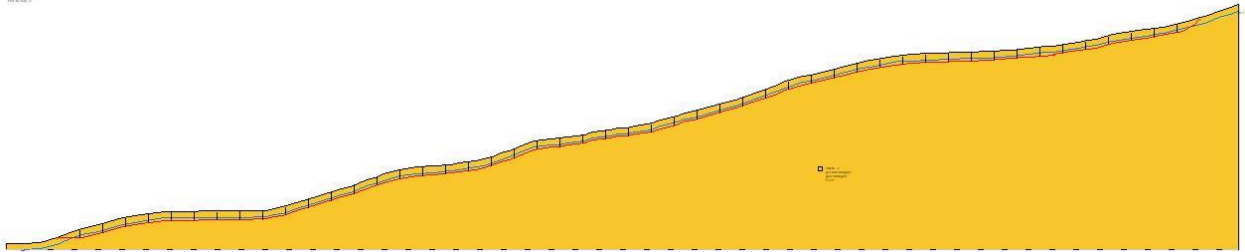


Fig. 22 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo della frana “Cerezzola”

L’accelerogramma SLV7 (Fig. 41) risulta essere uno di quelli che ha riscontrato maggiori spostamenti, registrando un valore pari a 333.73 cm (Tab. 16).

Accelerogramma SLV7 - “Cerezzola”

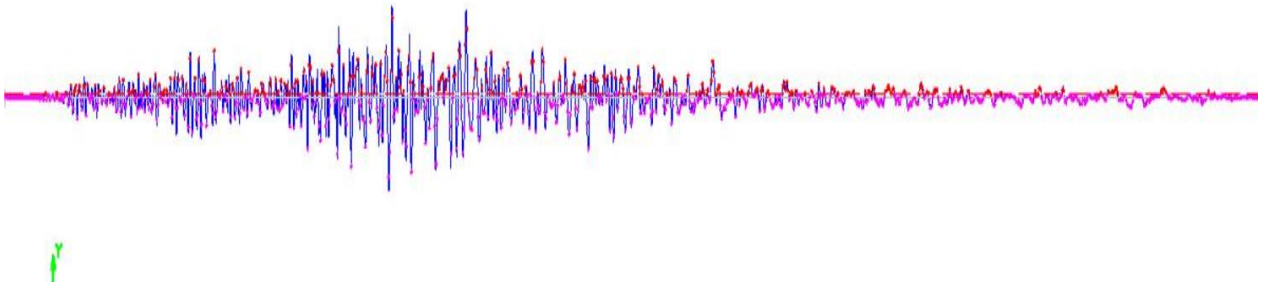



Fig. 41 - Analisi dinamica: accelerogramma (in rosso i punti con accelerazione superiore all’accelerazione critica che determinano spostamento)- “Cerezzola”

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	60 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

5. ELABORATI CARTOGRAFICI

5.1 Carte delle indagini

Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove eseguite nell'ambito del presente lavoro (per i cui report si faccia riferimento all'Elaborato 7) e dei dati pregressi relativi a indagini geognostiche e/o sismiche, sia già inserite nel precedente studio di secondo livello che di nuova acquisizione.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di secondo livello prendendo in esame l'intero territorio comunale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:


- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio a distruzione di nucleo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- prova penetrometrica dinamica pesante
- prova penetrometrica dinamica media
- trincea o pozzetto esplorativo
- prova sismica in foro tipo Downhole
- stazione microtremore a stazione singola
- MASW
- REMI
- ERT
- SR

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 42³.

Complessivamente, presso l'Ufficio Tecnico Comunale e dal database fornito dal Servizio Geologico Regionale, sono state acquisite le seguenti indagini:

- N° 9 sondaggio a carotaggio continuo
- N° 1 sondaggio a distruzione di nucleo
- N° 23 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- N° 23 prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- N° 1 prove penetrometriche dinamiche pesanti
- N° 25 prove penetrometriche dinamiche medie
- N° 20 trincee o pozzetti esplorativi

³ Figura in cui si osserva come siano riportate anche le stratigrafie "tipo" delle singole zone omogenee, non corrispondenti ad indagini reali).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	61 di 92

- N° 57 stazioni di microtremore a stazione singola
- N° 20 MASW
- N° 29 REMI
- N° 7 profili sismici a rifrazione (SR)
- N° 2 tomografie elettriche

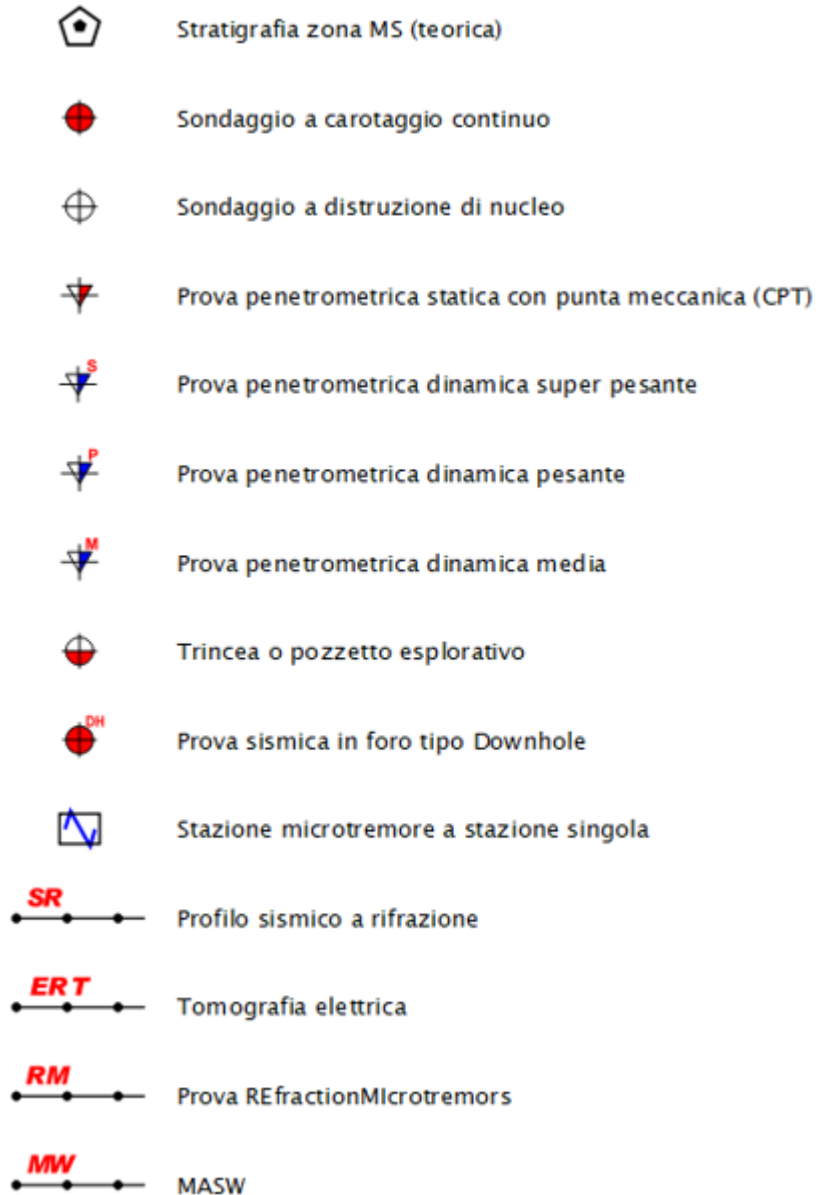



Fig. 42 – Legenda delle Carte delle indagini

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 30 prove MASW
- N° 30 prove *REfractionMicrotremors* (REMI)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	62 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- N° 30 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)
- N° 7 tomografie elettriche ERT
- N° 1 sondaggio a carotaggio continuo
- N° 1 prova sismica in foro tipo Downhole
- N° 5 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

5.2 Carte geologico-tecniche per la microzonazione sismica

Nelle Carte geologico-tecniche sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici locali d'interesse per l'analisi della pericolosità sismica (in particolare quelli che possono modificare il moto sismico in superficie), quali: le tipologie delle coperture e del substrato geologico, le aree instabili e quelle potenzialmente soggette a dissesti e gli elementi tettonico-strutturali.

Anche questa cartografia rappresenta revisione di quella redatta per gli studi di secondo livello e prende in esame l'intero territorio comunale (suddiviso in 2 tavole: una per il settore nord e una per il sud), come esplicitamente raccomandato al punto 3.1.1 dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla DGR 630/2019.


Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultati funzionali alla realizzazione delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 5.4.

Nel presente studio, per la stesura delle Carte geologico-tecniche, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”. Sezioni 200130, 20140, 218010, 218020, 218050 e 218060 alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- indagini puntuali e lineari, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (5.1).

Nelle Carte-geologico tecniche, come si osserva in Fig. 43, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sulla base delle caratteristiche tessiturali e degli ambienti genetico-deposizionali, sono state distinte le seguenti tipologie di terreni di copertura:

- RI - Terreni contenenti resti di attività antropica
- GWes - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di Argini/barre/canali

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	63 di 92

- GMes - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di Argini/barre/canali
- GMpd - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di Piana pedemontana
- GMfg - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di deposito fluvio glaciale
- MLec - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di Eluvi/colluvi
- MLpa - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità palustri
- MLIs - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità loess
- MLfd - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di falda detritica

Terreni di copertura



Terreni contenenti resti di attività antropica



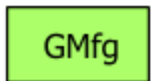
Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di Argini/barre/canali



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di Argini/barre/canali



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di Piana pedemontana



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di deposito fluvio glaciale



Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di Eluvi/colluvi




Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità palustri




Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità loess









Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di falda detritica


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	64 di 92

Substrato geologico

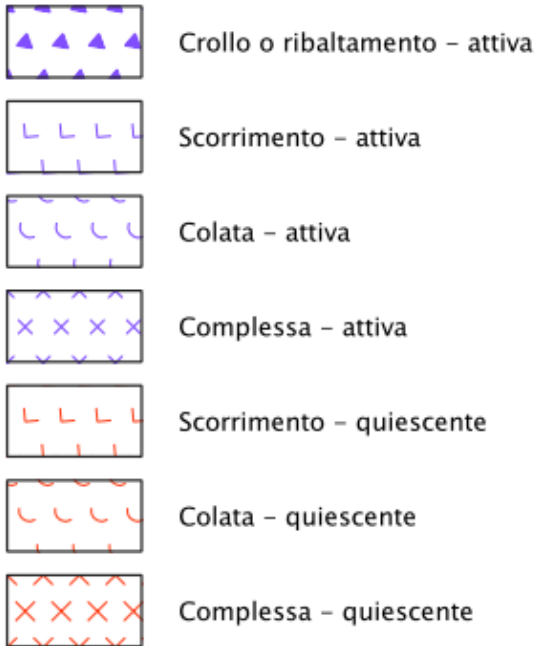
	LP	Lapideo non stratificato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	LPS	Lapideo stratificato
	GRS	Granulare cementato stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi stratificato

Forme di superficie sepolte

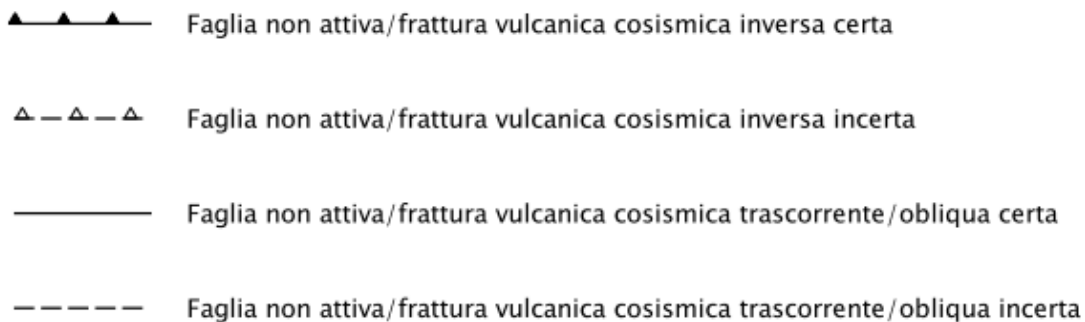
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
	Cresta
	Picco isolato
	Conoide alluvionale
	Falda detritica

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	65 di 92

Instabilità di versante



Elementi tettonico strutturali



Elementi geologici e idrogeologici

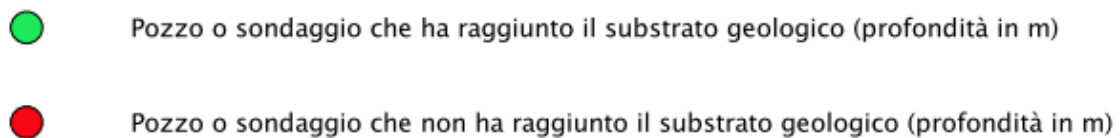



Fig. 43 – Stralcio da legenda delle Carte geologico – tecniche

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	66 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

A parte sono state rappresentate le aree in frana, distinte sia in base alla tipologia (crollo o ribaltamento, scorrimento, colata e complessa) che in base allo stato di attività (attiva e quiescente).

Quanto ai substrati geologici sono stati effettuati degli accorpamenti, definendoli:

LP – Lapideo non stratificato dove sono presenti le unità:

- Bb – Basalti brecciati
- Gr – Rocce granitoidi
- Serpentine

LPS Lapideo stratificato, dove sono presenti le unità:

- PAT – Formazione di Pantano
- PAT4 – Formazione di Pantano – membro di Santa Maria
- PAT6 – Formazione di Pantano – membro di Monte Castellaro
- CCL – Calcari a Calpionelle
- CSD – Conglomerati dei Salti del Diavolo
- DSD – Diaspri

CO Coesivo sovraconsolidato, dove sono presenti le unità:

- BAI5 – Breccie argillose di Baiso – membro di Pietra Nera
- bp1 – Breccie poligeniche
- MVT – Breccie argillose della Val Tiepido - Canossa
- MVTa - Breccie argillose della Val Tiepido – Canossa litofacies argillitica
- MVTb - Breccie argillose della Val Tiepido – Canossa litofacies calcarea

COS Coesivo sovraconsolidato e stratificato, dove sono presenti le unità:


- MMP – Marne di Monte Piano
- CTG – Formazione di Contignaco

AL Alternanza di litotipi, in corrispondenza dell'unità:

- CCVb – Complesso di Casanova – litofacies a breccie argillose

ALS Alternanza di litotipi, stratificato, dove sono presenti le unità:

- SCB – Arenarie di Scabiazza
- CIG4 – Formazione di Cigarello – membro delle Arenarie di Marola

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	67 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


- MRO1 – Marne Rosate di Tizzano – membro di Bersatico
- MCS – Flysch di Monte Cassio
- RAN2a – Formazione di Ranzano – membro della Val Pessola
- RAN3 – Formazione di Ranzano – membro di Varano dè Melegari

GRS Granulare cementato stratificato, in corrispondenza dell'unità:

- LOI – Formazione di Loiano

Sempre in Fig. 43, si osserva che nelle Carte-geologico tecniche sono stati indicati anche:

- Forme di superficie sepolte
 - Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10 – 20 m)
 - Orlo di terrazzo fluviale (10 – 20 m)
 - Cresta
 - Picco isolato
 - Conoide alluvionale
 - Falda detritica
- Elementi tettonico-strutturali
 - Faglia non attiva/frattura vulcanica cosismica inversa certa
 - Faglia non attiva/frattura vulcanica cosismica inversa incerta
 - Faglia non attiva/frattura vulcanica cosismica trascorrente/obliqua certa
 - Faglia non attiva/frattura vulcanica cosismica trascorrente/obliqua incerta
- Elementi geologici e idrogeologici
 - Pozzo sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
 - Pozzo sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	68 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

5.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni

L'acquisizione di nuovi dati tomografici disponibili, ha comportato la necessità di aggiornare anche le Carte delle frequenze naturali dei terreni, anch'esse già redatte nell'ambito degli studi di microzonazione di secondo livello.

Sono state prodotte 3 tavole alla scala 1:5.000, in modo da rappresentare l'intero Comune.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (30 rispetto ai 57 del precedente 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, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

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


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

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

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza:

- elevato (ampiezza picco HVSR ≥ 3)
- moderato (ampiezza picco $2 \leq \text{HVSR} < 3$)
- basso (ampiezza picco $1,5 \leq \text{HVSR} < 2$)
- non significativo (ampiezza picco HVSR $< 1,5$)

In Fig. 44 si riporta uno stralcio della legenda dei suddetti elaborati cartografici.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	69 di 92

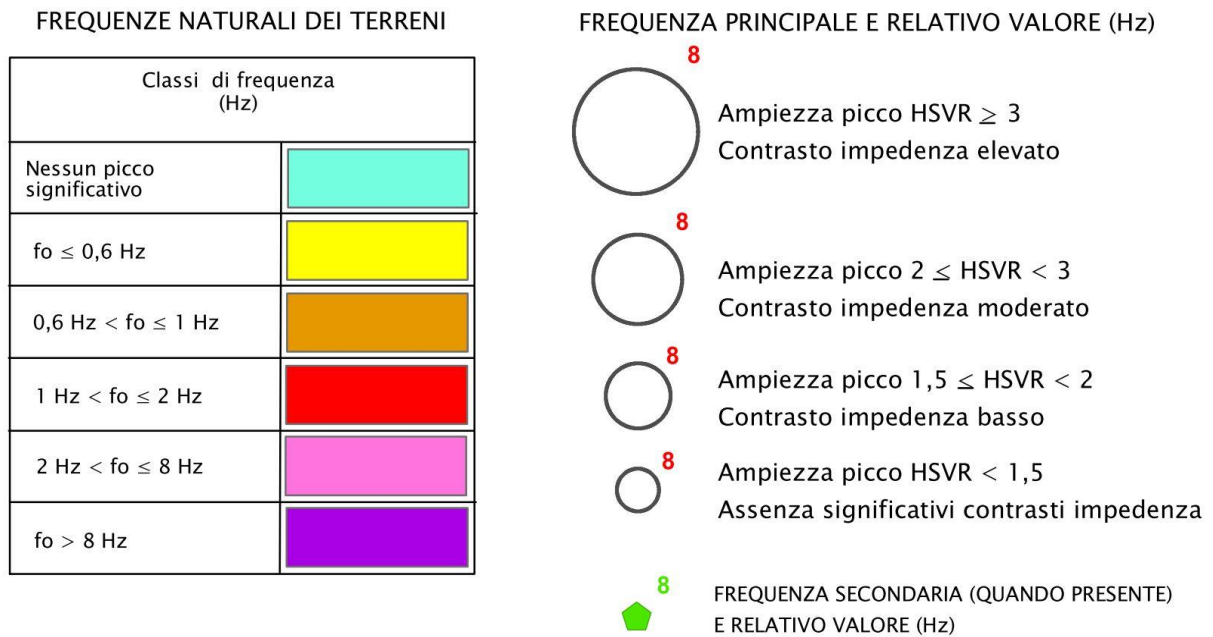


Fig. 44 - Stralcio da legenda delle Carte delle frequenze naturali dei terreni


Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche eseguite in Comune di Canossa, specificando, per ciascuna di esse frequenza e ampiezza dei picchi principali e secondari.

PROVA	MOPS	Picco principale F_0		Picco secondario F_1	
		F_0	A_0	F_1	A_1
035018P100	30242012	0.88	2.60		
035018P101	30242010	2.95	2.20	15.10	1.90
035018P102	2004	2.20	2.10	1.05	1.80
035018P103	2004	18.20	2.90	1.80	2.20
035018P104	2004	3.05	3.70	0.69	3.42
035018P105	2001	1.10	2.30	16.50	2.10
035018P106	2002	3.10	3.41	14.50	2.30
035018P107	30242012	0.58	3.10		
035018P108	2004	19.90	2.10	7.80	2.00
035018P109	2001	9.00	3.40	1.00	1.65
035018P120	2002	16.50	2.58	0.88	2.50
035018P121	2002	1.35	1.82	0.20	1.20
035018P122	2005	14.50	3.50	1.50	2.10
035018P123	2005	13.20	2.05	5.00	1.95
035018P124	2004	1.05	4.10		
035018P125	2002	1.00	2.18	17.00	1.55
035018P126	30132013	16.00	1.60		
035018P127	30132013	1.30	2.78	7.90	1.90

PROVA	MOPS	Picco principale F_0		Picco secondario F_1	
		F_0	A_0	F_1	A_1
035018P128	2004	2.60	1.70	0.32	1.50
035018P129	2004	9.10	2.30	2.20	1.90
035018P130	2005	1.50	2.20	0.49	2.10
035018P138	2004	0.90	2.10	0.52	1.65
035018P139	2004	1.70	2.20	3.80	2.10
035018P140	2004	1.60	2.30		
035018P141	2002	1.00	3.05		
035018P142	2002	1.00	4.30		
035018P143	2004	0.96	2.50	9.00	1.90
035018P144	2001	1.95	1.40	1.02	1.35
035018P145	2001	4.90	1.78	2.30	1.70
035018P146	2002	4.10	2.08	2.00	1.30
035018P147	2004	0.85	2.80	2.60	2.70
035018P148	2004	2.10	2.20	1.60	2.05
035018P149	2004	2.30	4.40	5.90	2.78
035018P150	2002	0.90	2.10		
035018P151	2006	2.60	3.10	5.00	2.20
035018P152	2004	18.00	2.30	2.70	2.05
035018P153	2004	19.90	2.40	8.00	2.30
035018P154	2004	2.50	2.70		
035018P157	2005	1.70	2.80		
035018P158	2002	2.50	2.30		
035018P159	2002	2.30	3.50	1.20	2.50
035018P160	2001	2.03	1.95		
035018P161	2001	17.90	2.05	3.90	1.90
035018P162	2001	4.50	2.50	1.70	1.90
035018P163	2001	2.30	1.90	9.50	1.80
035018P164	30132011	6.30	2.90	3.20	2.80
035018P165	30132011	4.20	2.05		
035018P166	2001	10.70	2.05		
035018P167	2001	19.20	1.85		
035018P168	30242012	4.70	2.00		
035018P169	30242012	5.60	1.80		
035018P170	2002	3.20	2.20	1.90	1.95
035018P171	2002	3.50	1.60		
035018P172	2002	0.44	2.90		
035018P173	2004	19.90	1.95	2.90	1.95
035018P174	2004	7.20	2.85		

PROVA	MOPS	Picco principale F_0		Picco secondario F_1	
		F_0	A_0	F_1	A_1
035018P175	2002	5.80	2.80	10.30	2.00
035018P176	2004	7.70	2.40		
035018P177	30242013	19.98	1.95		
035018P178	2005	0.36	2.90	5.90	2.20
035018P179	30242013	5.95	2.20		
035018P18	2009	19.20	2.15		
035018P180	2004	4.80	2.40		
035018P181	2004	5.20	2.00	0.56	1.45
035018P182	2002	1.70	1.85		
035018P183	2004	3.80	2.70		
035018P184	2002	19.98	2.00	2.20	2.00
035018P185	2004	19.98	2.30	2.15	1.90
035018P186	2004	3.85	2.90		
035018P187	2004	4.90	1.95		
035018P188	2001	13.80	2.30	4.20	2.30
035018P189	2001	17.60	1.30		
035018P23	2004	8.22	3.00		
035018P25	2002	6.40	1.80		
035018P30	2004	17.60	1.65		
035018P42	2001	3.10	1.90		
035018P45	2009	15.50	1.80		
035018P56	2004	3.50	2.30		
035018P73	2001	0.83	2.80		
035018P74	2001	1.65	2.40		
035018P75	2001	18.50	3.50		
035018P76	2005	0.90	1.95		
035018P77	2001	1.30	1.75		
035018P78	2001	1.30	1.50		
035018P79	2001	1.25	2.15		
035018P87	2001	16.20	3.25	0.85	1.78
035018P99	2004	2.50	3.80	10.00	2.45

Tab. 17 - Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche in Comune di Canossa

 EN GEO s.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	72 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

5.4 Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Le Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresentano il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.


Nel presente lavoro è stato necessario effettuare una revisione delle tavole facenti parte dello studio conforme agli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” e agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” (cfr. verbali della riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del 19 luglio 2018), soprattutto, per ottemperare a quanto raccomandato al punto 3.1.1 dell’Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla DGR 630/2019: ovvero di redigere tali cartografie per l’intero territorio comunale.

Anche in questo caso sono stati prodotti 2 elaborati cartografici: uno per il settore nord e uno per il sud.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell’appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

1. *zone stabili*. Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
2. *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall’assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.
3. *zone di attenzione per instabilità*. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in Comune di Canossa, è presente una sola zona ricadente in categoria 1 – zone stabili. In tale zona, identificata come zona 9, abbiamo substrato rigido con velocità $V_s \geq 800$ m/s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	73 di 92

ZONA STABILE

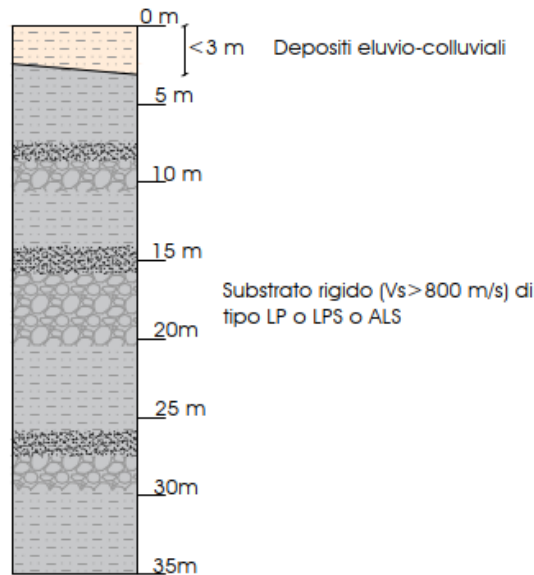



Fig. 45 - Colonna litostratigrafica sintetica, rappresentativa della microzona stabile

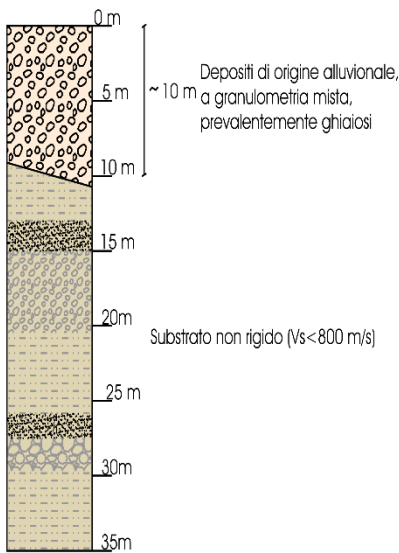
Invece, sono state individuate le seguenti 8 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (cfr. Fig. 46):

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi di spessore indicativamente pari a 10 m
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore generalmente compreso tra 3 m e 15 m, di depositi di origine alluvionale e/o palustri e/o loess, fini, a tessitura prevalentemente limosa, sotto la quale si rinviene un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo LPS o ALS o CO o COS.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore generalmente compreso tra 3 m e 15 m, di depositi di falda detritica, fini, a tessitura prevalentemente limosa sotto la quale si rinviene un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo LP o LPS o ALS.
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo LP o LPS o ALS ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m

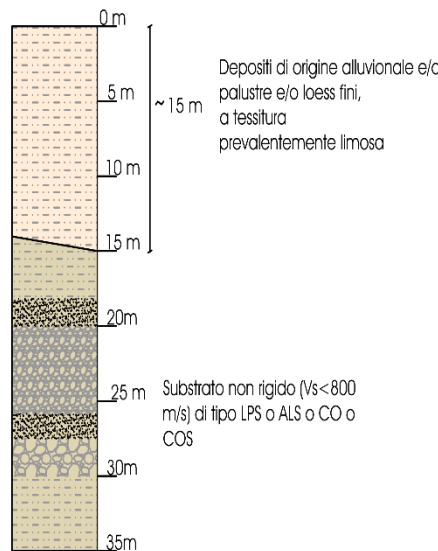
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	74 di 92

- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo CO o COS ricoperto da. una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m
- Zona 6 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo AL ricoperto da. una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m
- Zona 7 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo GRS ricoperto da. una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m
- Zona 8 - 2008 - Successione stratigrafica costituita da substrato rigido ($V_s > 800$ m/s) di tipo LPS ricoperto da. una coltre di depositi eluvio colluviali di spessore medio superiore a 3 m

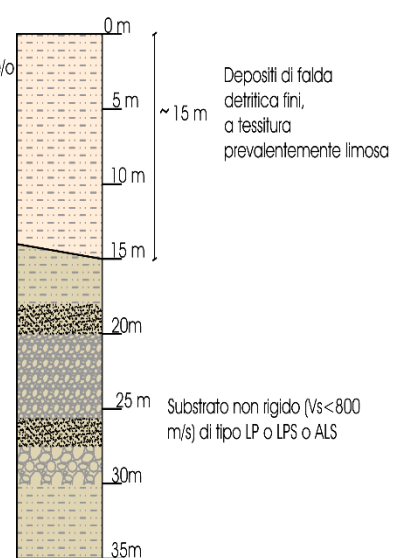
ZONA 1



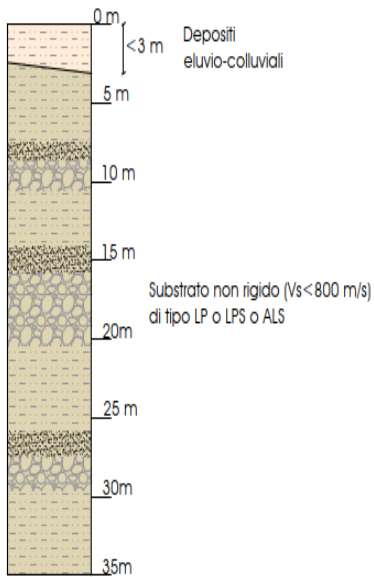
ZONA 2



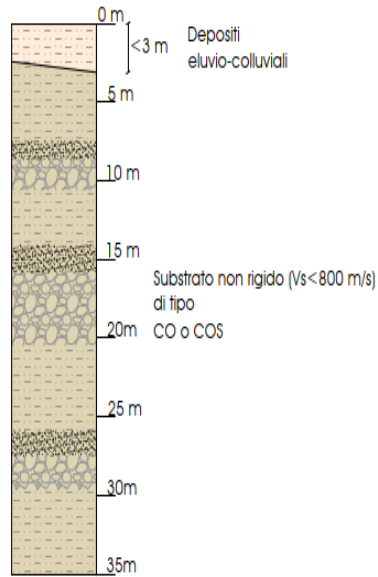
ZONA 3



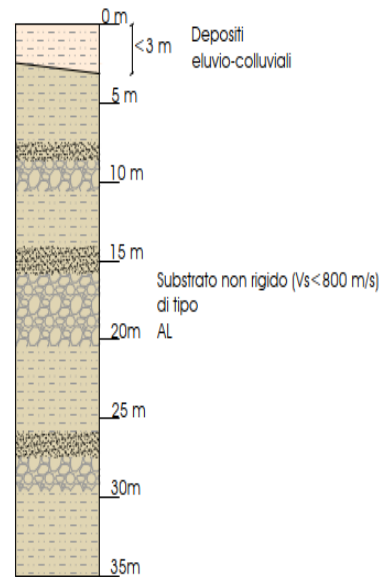
ZONA 4



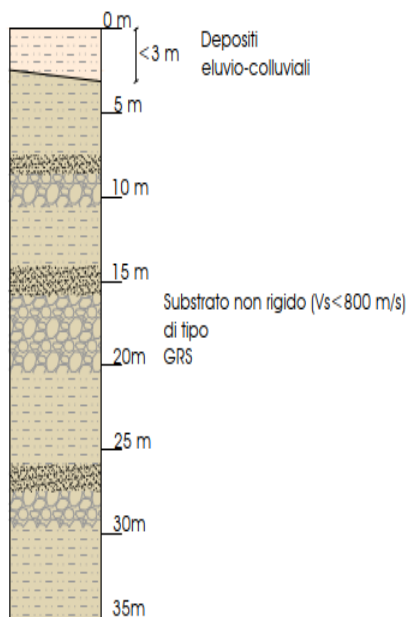
ZONA 5



ZONA 6



ZONA 7



ZONA 8

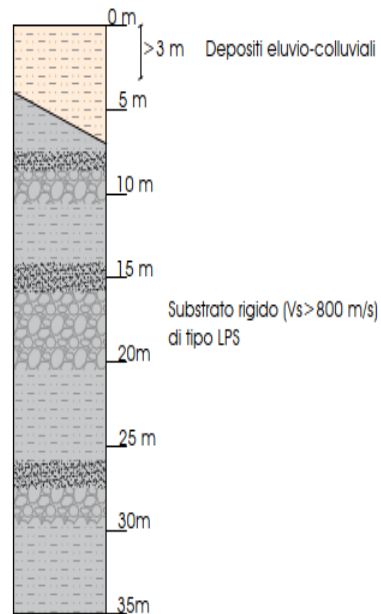



Fig. 46 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	76 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

e le seguenti 5 Zone di attenzione per instabilità di versante (cfr. Fig. 47):


- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 10.
Corpo di frana di spessore medio pari a circa 5 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi. impostato su un substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 11.
Corpo di frana di spessore medio pari a circa 10 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi. impostato su un substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

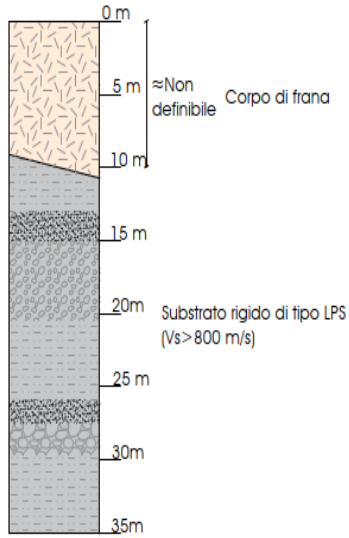
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 12.
Corpo di frana di spessore medio pari a circa 15 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi, impostato su un substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 13.
Corpo di frana di spessore non definibile per mancanza di dati litostratimetrici,. impostato su un substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

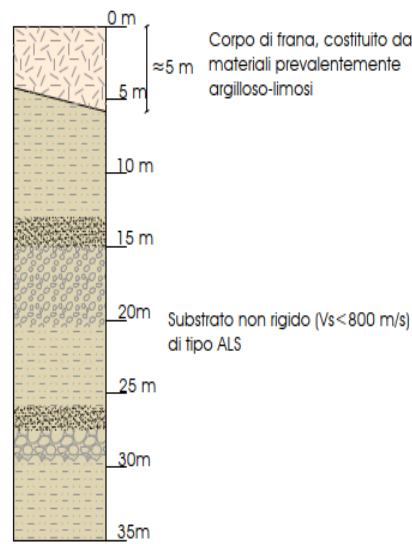
- ZA-FR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 14.
Corpo di frana di spessore non definibile per mancanza di dati litostratimetrici,. impostato su un substrato rigido ($V_s > 800$ m/s)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	77 di 92

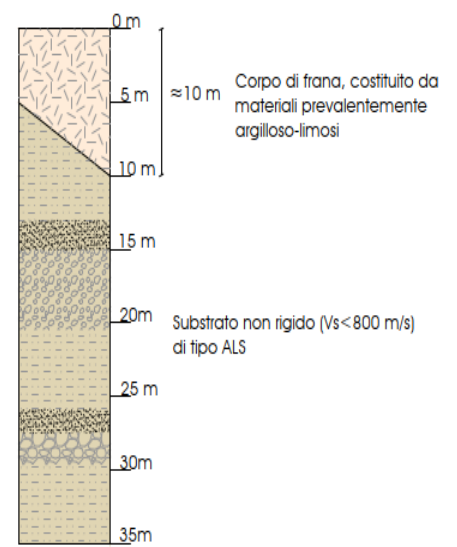
ZONA 9



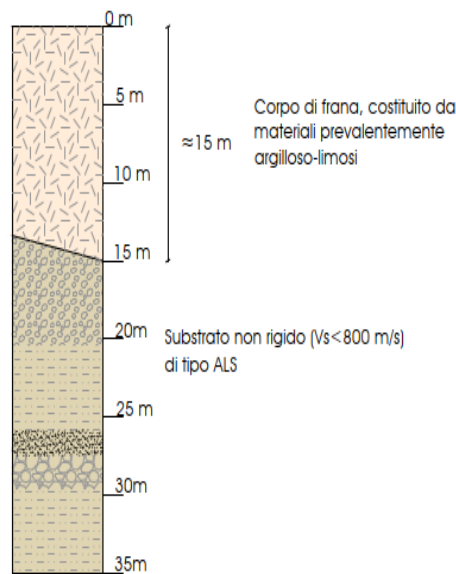
ZONA 10



ZONA 11



ZONA 12



ZONA 13

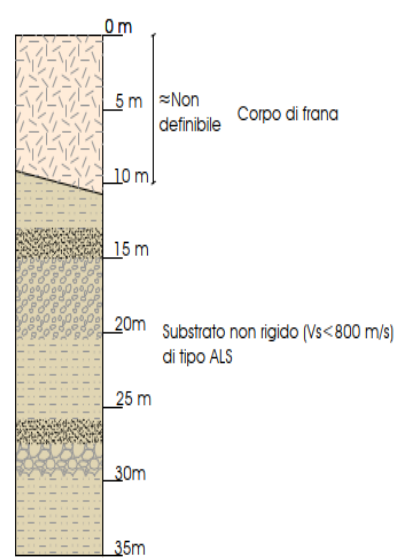


Fig. 47 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone di attenzione per instabilità di versante

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

5.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, considerata l'acquisizione di nuovi valori di V_s è stato necessario redigere le 2 Carte delle velocità delle onde di taglio S (sempre una per il settore nord e una per il settore sud) che costituiscono un aggiornamento di quelle allegate agli studi di microzonazione di secondo livello già certificati.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSR o MASW, indicate come tali anche quando accoppiate con le ReMi, e DH) e indicando il corrispondente valore di V_{s30} o di V_{sH} (in m/s), dove:

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

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

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

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


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

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).

A riguardo, va chiarito che, sulla base della MOPS in cui ricadeva la prova, è stata riportata la relativa V_{s30} o V_{sH} (con relativa profondità H) utilizzata secondo la procedura semplificata (DGR 630/2019). Dati riepilogativi nella seguente Tab. 18.

STENDIMENTO	Prova puntuale	MOPS	Vs30	H	VsH
035018L11		2001		1.00	100.00
035018L16		2004	402.00		
035018L19		2004	481.31		
035018L20		2004	377.16		
035018L24		2001		1.00	125.00
035018L25		2004	299.00		
035018L26		2001		4.70	188.00

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	79 di 92

STENDIMENTO	Prova puntuale	MOPS	Vs30	H	VsH
035018L3		2004	418.16		
035018L59		2001		2.00	170.00
035018L60		2001		2.00	160.00
035018L61		2001		2.00	230.00
035018L62		2001		2.00	280.00
035018L63		30132011		6.00	190.00
035018L64		30132011		8.00	210.00
035018L65		2001		2.50	200.00
035018L66		2001		2.50	200.00
035018L67		30242012		6.00	209.72
035018L68		30242012		13.00	276.77
035018L69		2002		3.00	130.00
035018L70		2002		2.50	140.00
035018L71		2002		2.50	140.00
035018L72		2004	335.42		
035018L73		30242012		6.00	230.00
035018L74		2002		3.00	130.00
035018L75		2004	356.83		
035018L76		30242013		5.00	210.00
035018L77		2005	381.13		
035018L78		2004	376.80		
035018L79		2004	346.46		
035018L80		2004	312.30		
035018L81		2002		14.00	230.77
035018L82		2004	314.06		
035018L83		2002		1.80	120.00
035018L84		2004	333.48		
035018L85		2004	335.79		
035018L86		2004	376.15		
035018L87		2001		1.80	150.00
035018L88		2001		1.50	220.00
	035018P106	2002		2.70	150.00
	035018P107	30242012		2.40	150.00
	035018P108	2004	376.71		
	035018P109	2001		7.90	226.43
	035018P129	2004	408.26		
	035018P145	2001		2.00	150.00
	035018P146	2002		0.40	120.00
	035018P149	2004	332.10		
	035018P150	2002		0.60	120.00
	035018P151	2006	408.00		
	035018P153	2004	352.64		

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

STENDIMENTO	Prova puntuale	MOPS	Vs30	H	VsH
	035018P159	2002		6.50	250.00
	035018P23	2004	464		
	035018P30	2004	273		

Tab. 18 – Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S in Comune di Canossa


5.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1: 5.000 sono state realizzate facendo riferimento, dove possibile, ai locali approfondimenti di terzo livello e ad approfondimenti di secondo livello, mediante utilizzo di abachi, nelle altre zone.

Dette carte sono riferite al solo territorio urbanizzato e urbanizzabile, definito in accordo con l'Amministrazione Comunale e già oggetto di zonazione, dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione.

Come precedentemente indicato, l'amplificazione è stata calcolata per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta =5\%$, relativamente ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,
 - SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- $FH_{SI} = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
 - SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	81 di 92


<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Per le zona di suscettibilità per instabilità di “Ciano – Sud” e “Cerezzola” oltre ai fattori di amplificazione viene indicato lo spostamento massimo atteso (FRT) stimato come illustrato nel capitolo 4 (Stabilità di versante).

Nelle aree in cui non sono stati effettuati approfondimenti di terzo livello o con analoghe caratteristiche geologico-sismiche i fattori di amplificazione sono stati valutati sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, utilizzando le seguenti tabelle, proposte nell’Allegato A2 dell’Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (di cui alla DGR 630/2019), paragrafo A2.1.1 – APPENNINO.

In particolare, come rappresentato in Fig. 48, sono stati utilizzati:

- Per le Zone 2, 10, 11, 12 le tabelle relative a APPENNINO – COPERTURE SU SUBSTRATO NON RIGIDO, vale a dire caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s
- Per le zone 4, 5, 6 le tabelle relative a APPENNINO – SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO, cioè caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s. affiorante o subaffiorante (copertura di spessore inferiore a 3 m)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	82 di 92

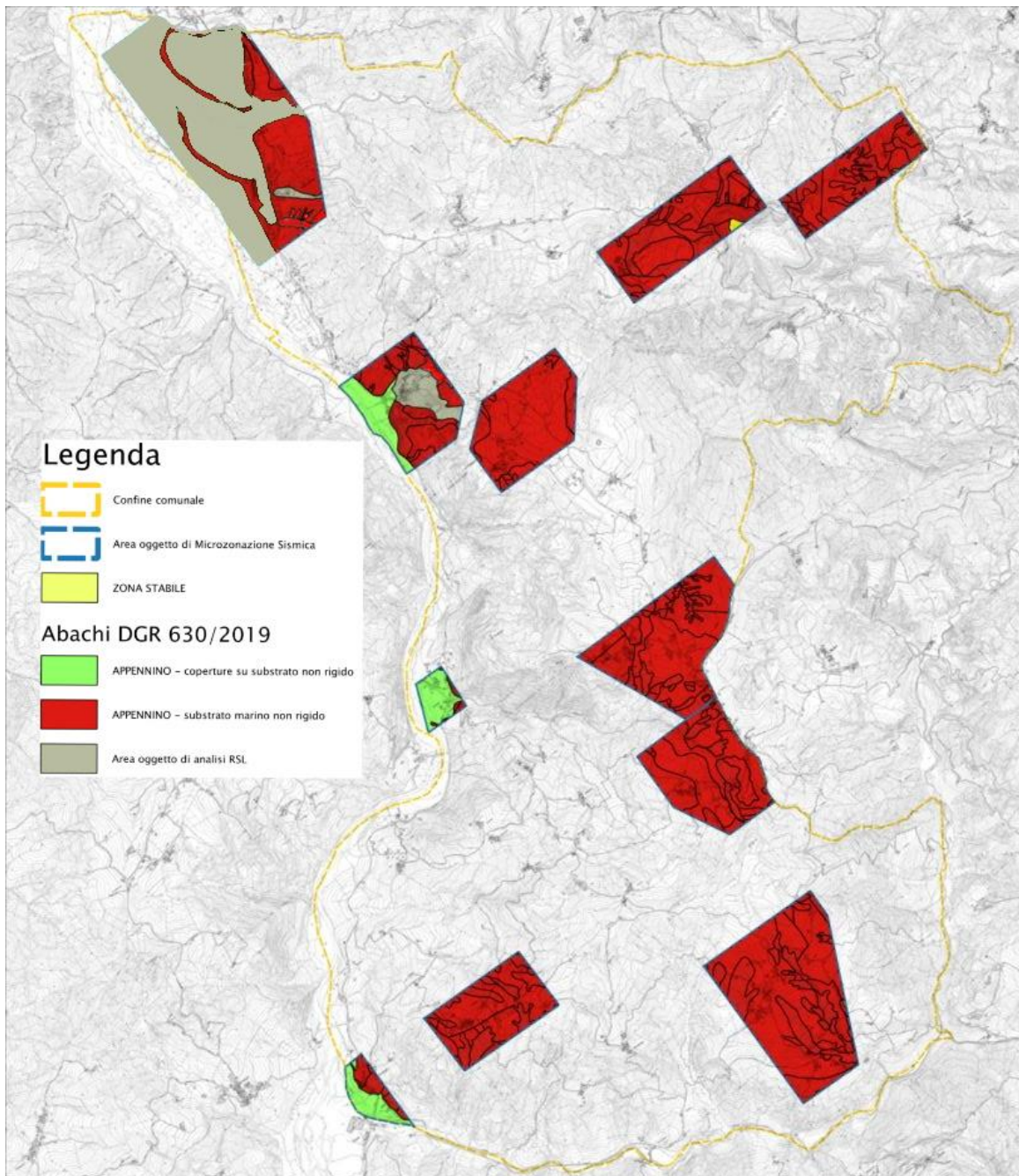



Fig. 48 – Zonizzazione delle aree urbanizzate ed urbanizzabili sulla base del tipo di abaco utilizzato per il calcolo dei fattori di amplificazione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	83 di 92

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

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

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

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

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

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

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


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

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

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

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

Fig. 49 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso di coperture poggianti su substrato non rigido

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	84 di 92

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

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

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

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

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


Fig. 50 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso di substrato marino non rigido

Quali dati di ingresso, per le aree ricadenti nel settore appennino, sono state definite le seguenti velocità e, laddove necessario, le H:

	Velocità (m/s)		H (m)
	V _{S30}	V _{sH}	
Zona 2		150	5
Zona 2 (Monchio dell'Olle)		250	15
Zona 4	350		
Zona 5	350		
Zona 6	350		
Zona 10		200	5
Zona 11		200	10
Zona 12		200	15

Tab. 19 - Velocità e profondità di ingresso per la definizione dei fattori di amplificazione (DGR 630/2019)

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	85 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

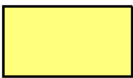









	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5


Fig. 51 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nelle stesse carte le zone di attenzione per instabilità di versante, per le quali sono richiesti approfondimenti di terzo livello, sono state cartografate a parte, contrassegnandole con l'apposito retino, ma con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con le procedure di risposta sismica locale.

5.7 Carte dello scuotimento atteso

Quali ultimi elaborati grafici, come prescritto dalla DGR 630/2019, sono state redatte delle carte della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2).

Tale parametro è definito come il prodotto dell'*Acceleration Spectrum Intensity* ($AS_{I_{UHS}}$), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un determinato intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	86 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

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

Gli intervalli di periodi considerati sono:

- $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
- $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\ s}$),
- $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\ s}$),
- $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$),


I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, per i punti della griglia INGV, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), sono forniti dal file *all_4_coord.kmz*, nella cartella *Allegato_4.zip*, disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

Per gli altri intervalli di periodo sono, invece, stati calcolati, sempre per $T_R=475$ anni, dallo spettro su suolo A utilizzando i dati di accelerazione spettrale ($Se(T)$) forniti da INGV⁴ nell'ambito degli studi per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274.

In particolare, considerato che i dati di accelerazione spettrale vengono forniti per periodi di 0.10, 0.15, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00 secondi, per valutare i valori di ASI negli intervalli di periodo sopra citati è stato necessario procedere a interpolazioni, per ottenere i valori a 0.7, 0.8 e 1.1 secondi.

Una volta calcolati, i valori di H_{SM} sono stati riportati nelle varie carte di scuotimento atteso, grazie a un'etichetta riferita a ciascun poligono esaminato; mentre il colore indica l'appartenenza dello stesso a una delle classi con intervallo pari a 100 definite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.


⁴ Montaldo V., Meletti C., 2007. Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	87 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


6. BIBLIOGRAFIA

- Albarelo 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
- CENTROGEO SURVEY s.r.l. (2012): PIANO STRUTTURALE COMUNALE - MICROZONAZIONE SISMICA ED ANALISI GEOLOGICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI CANOSSA, con dichiarazione di conformità da parte della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica in data 20 MARZO 2013
- CTMS, 2015: Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC). Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Gruppo di lavoro FAC. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome.
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf
- 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
http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- ICMS, 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Gruppo di lavoro MS. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- Idriss I.M., Sun J.I. (1992) - SHAKE91 - a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits. University of California, Davis.
- ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Lanzo G., Tallini M., Milana G., Di Capua G., Del Monaco F., Pagliaroli A., Peppoloni S. (2011) - The Aterno Valley strong-motion array: seismic characterization and determination of subsoil model. BEE, 9, 1855-1875
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Madiai C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) - in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	88 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento


- Marcellini A., Martelli L., Tento A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche – Rapporto conclusivo
- Meletti C., Montaldo V., 2007: Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>
- 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, 65 pp. + 5 appendici
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile
- Montaldo V., Meletti C., 2007. Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>
- Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): Maps for land management: from geology to seismic hazard. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263
- Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily W.D. (1998) – Shear modulus and damping relationships for gravels. JGGE, 124, 396-405
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPT115, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT115>
- Seed H.B., Idriss I.M. (1970) - Soil Moduli and damping factors for dynamic response analysis. EERC-Report 70-10, Berkeley, California
- Seed H.B., Sun J.H. (1989) - Implication of site effects in the Mexico City earthquake of September 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in the San Francisco

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	89 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Bay Area of California. Report No. UCB/ EERC-89/03, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. Sezioni 200130, 20140, 218010, 218020, 218050 e 218060, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE – Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse –Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTIONSTR-102293s-V1-V5 EPRI (1993)
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- 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
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO 200 “REGGIO NELL'EMILIA”, APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO 218 “CASTELNOVO NE' MONTI” APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	90 di 92

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

7. ALLEGATI

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


Elaborato 1	Carta delle indagini	
<i>Elaborato 1 1/3</i>	<i>Carta delle indagini</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 1 2/3</i>	<i>Carta delle indagini</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 1 3/3</i>	<i>Carta delle indagini</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	
<i>Elaborato 2 1/2</i>	<i>Carta geologico-tecnica</i>	<i>scala 1:10.000</i>
<i>Elaborato 2 2/2</i>	<i>Carta geologico-tecnica</i>	<i>scala 1:10.000</i>
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	
<i>Elaborato 3 1/3</i>	<i>Carta delle frequenze naturali dei terreni</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 3 2/3</i>	<i>Carta delle frequenze naturali dei terreni</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 3 3/3</i>	<i>Carta delle frequenze naturali dei terreni</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	
<i>Elaborato 4 1/2</i>	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)</i>	<i>scala 1:10.000</i>
<i>Elaborato 4 2/2</i>	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)</i>	<i>scala 1:10.000</i>
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	
<i>Elaborato 5 1/3</i>	<i>Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 5 2/3</i>	<i>Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 5 3/3</i>	<i>Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	
<i>Elaborato 6.a 1/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.a 2/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.a 3/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.b.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5 s}$	
<i>Elaborato 6.b.1 1/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.1 2/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.1 3/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.b.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8 s}$	
<i>Elaborato 6.b.2 1/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.2 2/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.2 3/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.b.3	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1 s}$	
<i>Elaborato 6.b.3 1/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.3 2/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
<i>Elaborato 6.b.3 3/3</i>	<i>Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1 s}$</i>	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.b.4	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,5-1,5 s}$	
		<i>scala 1:5.000</i>

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	91 di 92

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CANOSSA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Elaborato 6.c.1	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1-0,5\ s}$	
Elaborato 6.c.1 1/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1-0,5\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.1 2/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1-0,5\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.1 3/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1-0,5\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,0\ s}$	
Elaborato 6.c.2 1/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,0\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.2 2/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,0\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.2 3/3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,0\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.c.3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,5\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.d	Carta di microzonazione sismica - H_{SM}	
Elaborato 6.d 1/3	Carta di microzonazione sismica - H_{SM}	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.d 2/3	Carta di microzonazione sismica - H_{SM}	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.d 3/3	Carta di microzonazione sismica - H_{SM}	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.e.1	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.e.2	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>
Elaborato 6.e.3	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$	<i>scala 1:5.000</i>

Inoltre, alla presente relazione, è allegato l'Elaborato 7 – Nuove indagini

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	92 di 92