



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 Langhirano




<p>Regione Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore  EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it</p> <p>Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti</p> <p>Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott. Geol. Domenico Bianco Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Giulia Mainardi Dott. Geol. Massimiliano Trauzzi</p>	<p>Data Gennaio 2020</p> <p>MS3</p>
-----------------------------------	--	--

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

INDICE

1.	Introduzione	2
1.1	Motivazione dello studio di terzo livello	4
1.2	Articolazione dello studio	5
2.	Indagini e analisi	7
2.1	Sondaggio a carotaggio continuo	8
2.2	Prova Down-Hole.....	8
2.3	Prove sismiche di tipo HVSR	11
2.4	Tomografia elettrica bidimensionale	12
2.5	Prova sismica di tipo MASW	14
2.6	Prova sismica a rifrazione	16
3.	Analisi di risposta sismica locale.....	19
3.1	Pericolosità sismica di base	20
3.2	Segnali in input	21
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	23
	3.3.1 Litologia.....	23
	3.3.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico	23
	3.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G0) in funzione della deformazione.....	23
3.4	Procedura di analisi RSL.....	25
	3.4.1 Metodo lineare equivalente	25
	3.4.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM.....	27
	3.4.3 Procedimento iterativo.....	30
	3.4.4 Interpretazione dei risultati	30
3.5	Analisi dei risultati.....	31
	3.5.1 Risposta sismica locale Langhirano - Paese	33
	3.5.2 Risposta sismica locale Riano	37
3.6	Considerazioni sui risultati delle analisi di terzo livello	41
4.	Stabilità di versante	43
4.1	Metodo di verifica.....	43
4.2	Le ipotesi verificate.....	47
5.	Elaborati cartografici.....	50
5.1	Carte delle indagini.....	50
5.2	Carte geologico-tecniche per la microzonazione sismica.....	52
5.3	Carte delle frequenze naturali dei terreni	55
5.4	Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	56
5.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S	60
5.6	Carte di microzonazione sismica	61
5.7	Carte dello scuotimento atteso.....	65
6.	Bibliografia	67
7.	Allegati	70

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	1 di 70

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI LANGHIRANO 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 Langhirano*, effettuato su incarico dell'Unione Montana Appennino Parma Est (cfr. Determinazione n° 280 del 18/07/2019) e finanziato con contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 532/2018 e alla Delibera di Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 2047/2018.

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:

- Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con $a_g < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 2245 del 27/12/2018 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da a_g inferiore a $0,125g$ in attuazione all'art. 8 della L.R. n. 19/2008. Approvazione allegati A1 e A2" (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- "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")

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	2 di 70

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

- 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

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 (cfr. paragrafo 1.1), dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, ovvero:

- Langhirano
- Casatico
- Giarreto e Pastorello
- Pilastro
- Riano e Le Bore
- Strognano
- Tabbiano e Costa di Castrignano
- Torrechiara

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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	3 di 70

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

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.

1.1 Motivazione dello studio di terzo livello

Il Comune di Langhirano è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento, conforme agli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” e agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”, secondo quanto previsto dall’OCDPC 293/2015, come indicato nei verbali della riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (ai sensi dell’OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7) del 19 luglio 2018.


Nell’ambito di tale studio, per il territorio urbanizzato e urbanizzabile, definito in accordo con l’Amministrazione Comunale dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto dal secondo livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Si era, d’altra parte, evidenziato come l’assetto geologico delle aree fosse tale per cui la risposta sismica locale risultasse condizionata da vari fattori, spesso di difficile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche raccolte.

Infatti, anche l’interpretazione delle indagini tomografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui generalmente sono presenti più picchi, con contrasti di impedenza bassi e simili tra loro, a frequenze associabili a differenti profondità, anche tali da non trovare un riscontro stratigrafico attendibile.

Conseguentemente, per migliorare il quadro delle conoscenze locali, si è richiesto di effettuare, all’interno del territorio comunale, sempre utilizzando il cofinanziamento della Protezione Civile, anche uno studio con approfondimento di terzo livello e poter svolgere un’analisi della risposta sismica locale, almeno in corrispondenza di una situazione stratigrafica tipo.

Inoltre, dall’analisi delle condizioni limite per le emergenze (CLE), realizzata contestualmente allo studio di microzonazione di secondo livello, è emerso che parte dell’abitato di Riano è interessato da una frana su cui ricade un’area da destinare, in caso di emergenza, al ricovero della popolazione.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	4 di 70


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

Pertanto, anche su quest'area sono stati realizzati approfondimenti di terzo livello cioè l'analisi di riposta sismica locale e un'analisi di stabilità di versante.


1.2 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. realizzazione sul sito di Riano:
 - n° 1 prova sismica di tipo HVSr
 - n° 1 prova sismica di tipo MASW
 - n° 1 prova sismica a rifrazione
 - n° 1 tomografia elettrica bidimensionale
5. 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)
6. valutazione della riposta sismica locale, per i due siti indagati, mediante codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC;
7. calcolo dei fattori di amplificazione, per i due 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;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	5 di 70

- $FA_{SA} = SA/SA_0$, 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 $0,5s \leq T \leq 1,5s$.
8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA indicati al punto 6.
 12. 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 - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$),

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
		MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0

2. INDAGINI E ANALISI

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

Le due aree di indagine sono state individuate, in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale, principalmente sulla base degli studi di secondo livello.

La prima area è ubicata a Langhirano, nei pressi della Casa della Salute; qui è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo, una prova sismica di tipo downhole e una misura di microtremori (HVSr). La seconda area si trova a Riano, appena a monte del campo da calcio e è stata realizzata una tomografia elettrica (ERT), una tomografia sismica a rifrazione, una prova sismica di tipo MASW e una misura di microtremori (HVSr). Nella sottostante Fig. 1 si riportano le ubicazioni su base CTR.

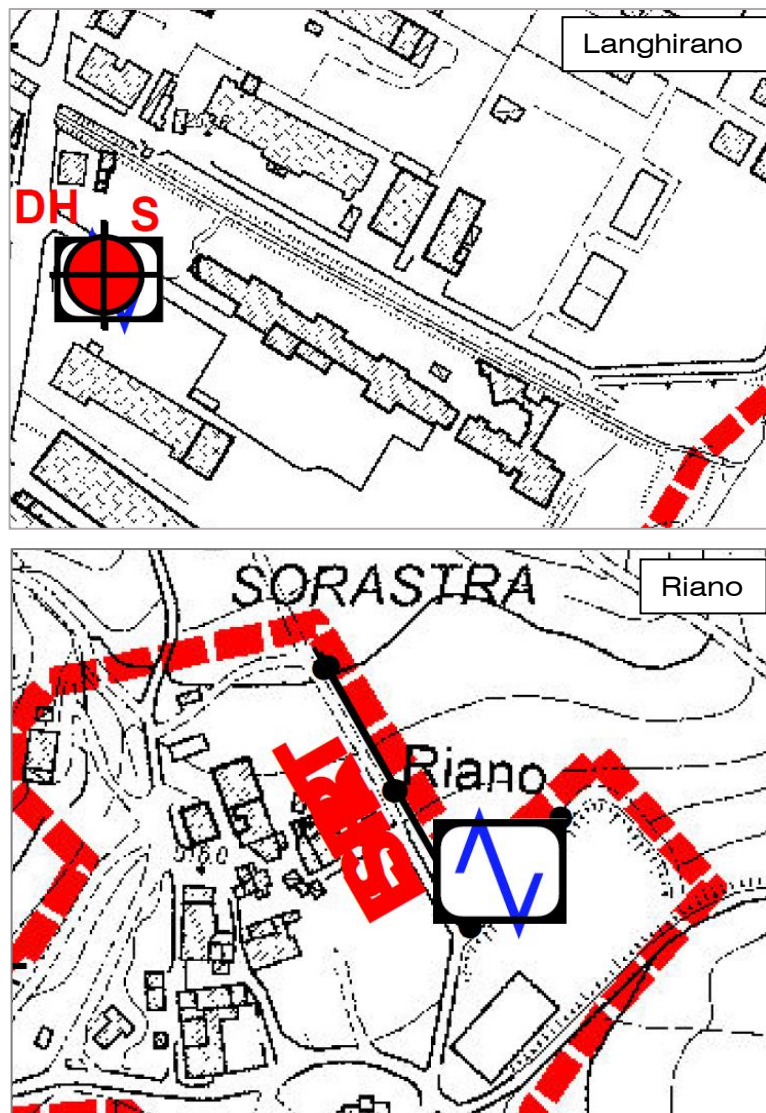



Fig. 1 - Ubicazione dei punti di indagine

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	7 di 70

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

2.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Nella 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;
- 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 Langhirano 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, si segnala che il foro è risultato ostruito a 29 m, utilizzando il sismografo digitale DoReMi della Sara Eletronic Instruments collegato ad un geofono da foro tridimensionale Sara SS-BH con 5 canali di cui uno Verticale e quattro orizzontali da 10 Hz.

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	8 di 70

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

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 trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

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 l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

In Fig. 2 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle onde P e S, quest'ultime necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	9 di 70

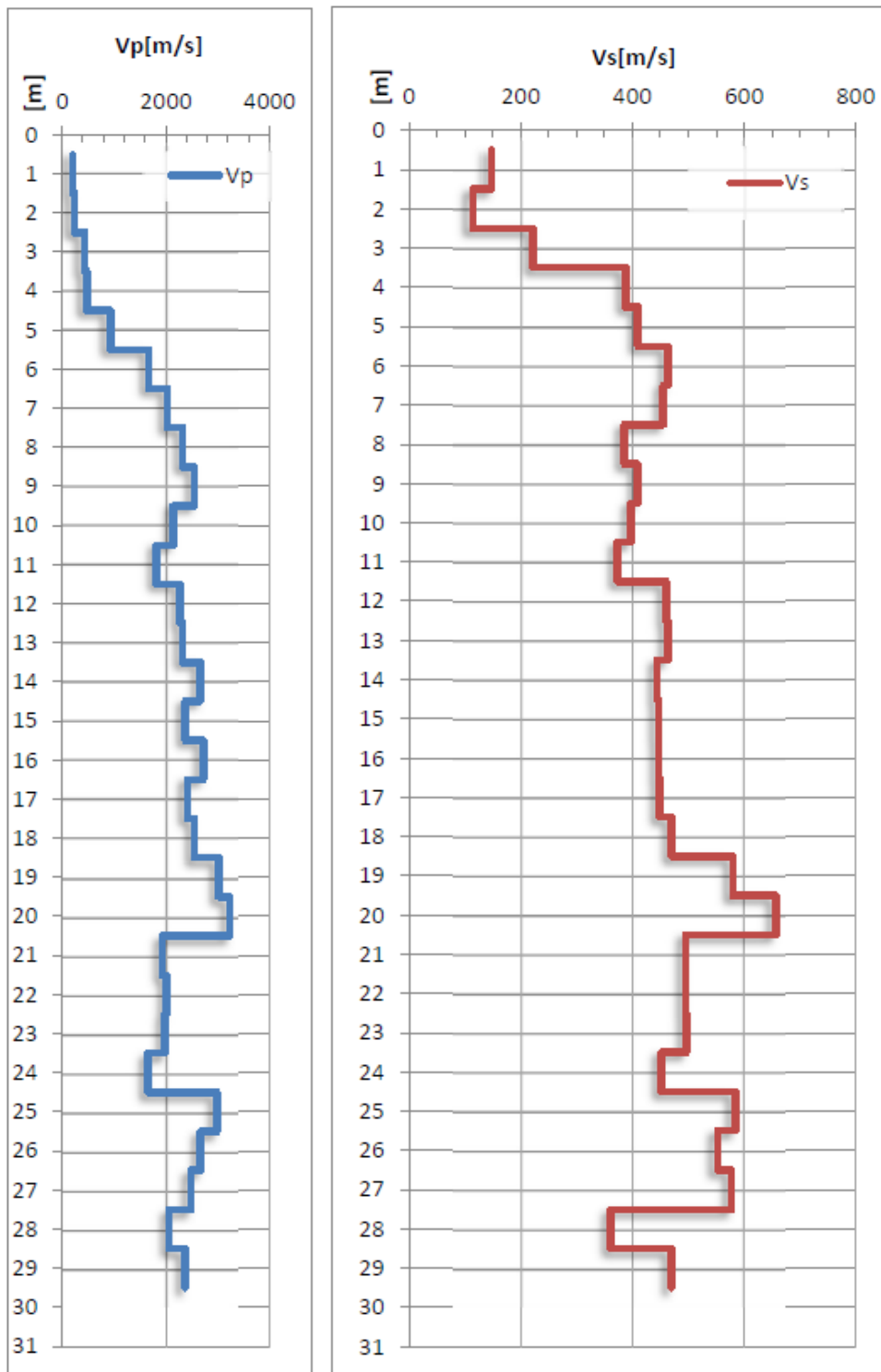



Fig. 2 - Valori di Vp e Vs in funzione della profondità misurati con la prova Down-Hole

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	10 di 70

2.3 Prove sismiche di tipo HVSR

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

A riguardo, l'Elaborato 7 - Nuove indagini, per ciascuna prova è riportato il grafico rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 3).

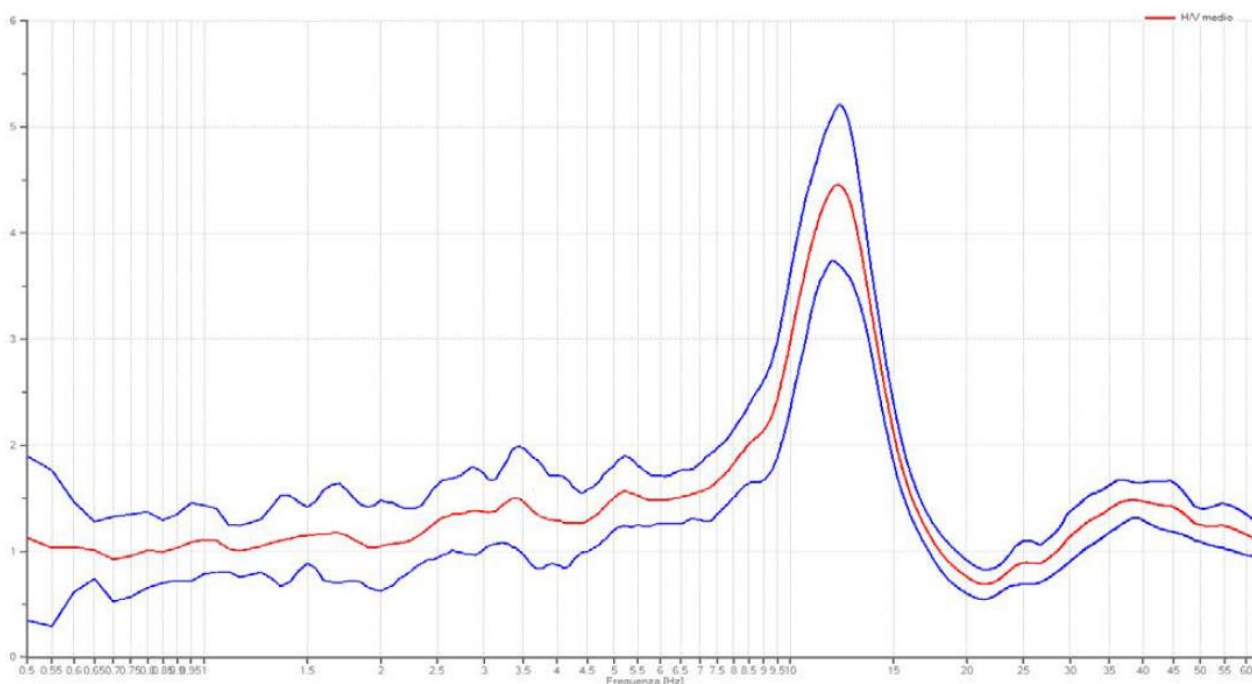



Fig. 3 - Esempio di curva H/V naturale

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

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	11 di 70

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

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

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, essi risultano non soddisfatti a Riano ciò è dovuto alle caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve H/V, siano generalmente presenti più picchi, con contrasti d’impedenza bassi e simili tra loro).

2.4 Tomografia elettrica bidimensionale

L’analisi delle caratteristiche geoelettriche dei primi 8/10 m del sottosuolo, in corrispondenza dell’area dove andrà realizzato l’impianto di depurazione, è stata effettuata mediante una prospezione con metodo geoelettrico multielettrodo in tomografia elettrica (ERT).

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, tale indagine è stata effettuata con acquisizione multielettrodo utilizzando 48 elettrodi di misura disposti ad interasse di 2 m, in configurazione *Wenner – Schlumberger* e *Dipolo Dipolo*.

Sono state acquisite 776 misure con *Wenner – Schlumberger* e 840 misure con *Dipolo-Dipolo*, per un totale di 1616 punti di rilevamento distribuiti uniformemente lungo lo stendimento di lunghezza pari a 117.5 m.

Nella sottostante Fig. 4 si riporta una fotografia della stessa geoelettrica.


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	12 di 70



Fig. 4 - Fotografia eseguita durante la stesa dei cavi geoelettrici

Dette indagini sono state effettuate con GEORESISTIVIMETRO MAE X612EM+ (<http://www.mae-srl.com>), acquirettore digitale modulare per prospezione geoelettrica multielettrodo. Il Georesistivimetro è dotato di un sistema di gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi di immissione di corrente (punti di energizzazione del terreno) e in elettrodi di misura del potenziale elettrico con tutte le possibili combinazioni quadripolari.

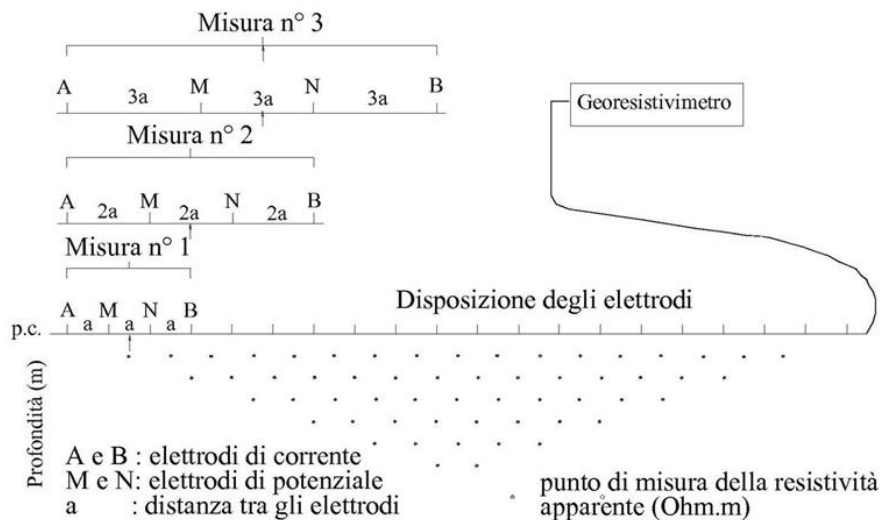



Fig. 5 - schema della procedura di acquisizione automatica multielettrodo

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	13 di 70

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante software ERTLab64 della GEOSTUDI ASTIER (<http://www.geostudias-tier.it/>), 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. 6).

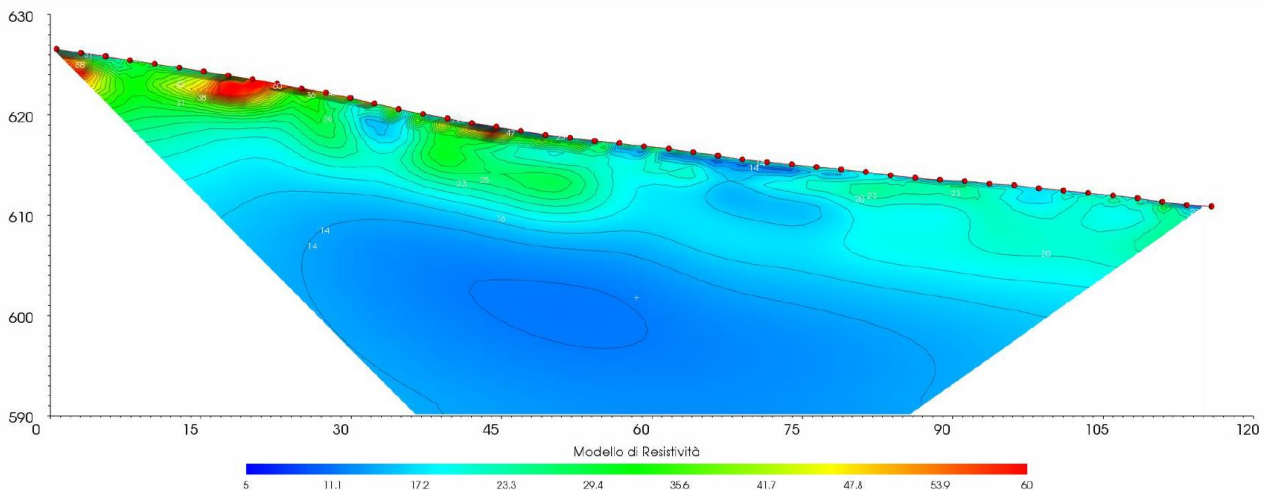


Fig. 6 - Profilo di tomografia elettrica ottenuto

L'esame della sezione tomografica evidenzia variazioni di resistività da circa 5 a circa 60 Ohm × m.


In particolare, si nota, fino a circa -8 m da p.c., la presenza di un deposito con valori di resistività maggiori di 20 Ohm × m (colori da verde acqua a rosso), mentre, oltre tale profondità si abbassano notevolmente (colori da azzurro a blu corrispondenti a resistività inferiori a 20 Ohm × m).

Per ulteriori informazioni sul metodo si rimanda al relativo report riportato nell'Elaborato 7 - Nuove indagini .

2.5 Prova sismica di tipo MASW

A Riano, per misurare la velocità delle onde S nel terreno è stata eseguita una indagine sismica tipo MASW.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro V_{s30} (velocità media delle onde S nei primi 30m).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	14 di 70

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

In un mezzo stratificato le onde di superficie (*Rayleigh*) 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 superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche 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 70Hz, fornendo informazioni sino a 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 24 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a 2 m l'uno dall'altro; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 Kg battente su piastra metallica.

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

Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato allegato.

In Fig. 7 viene riportato il grafico, in funzione della profondità, della velocità delle sole onde S degli strati individuati.

Mentre il report completo è riportato nell'Elaborato 7.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	15 di 70

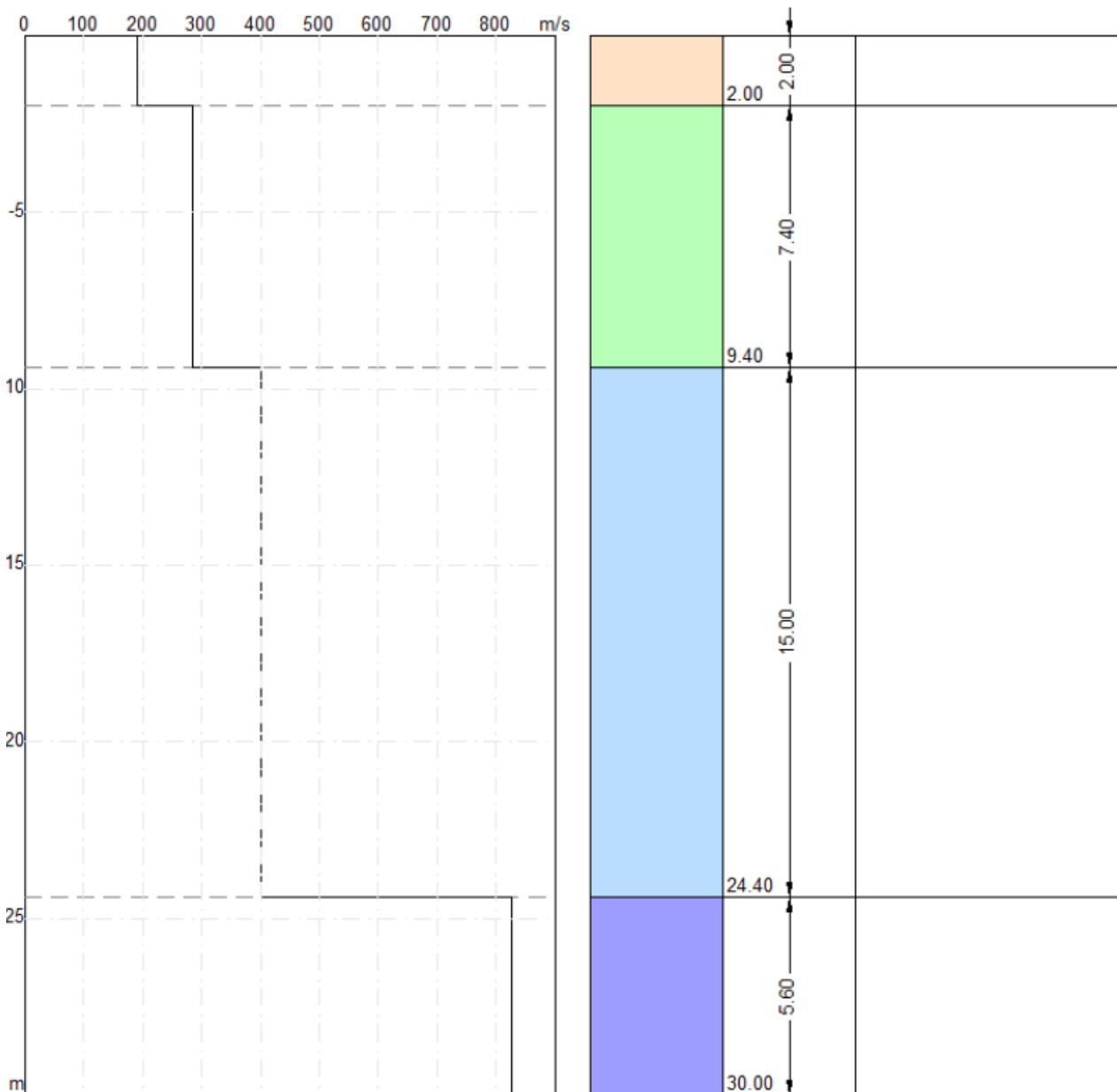



Fig. 7 - Profilo delle velocità delle onde S da prova MASW - Riano

2.6 Prova sismica a rifrazione

Per l'individuazione delle principali variazioni geometriche laterali e verticali delle unità litotecniche che costituiscono il settore di intervento è stata effettuata 1 base sismica a rifrazione elaborata con metodologia tomografica 2D.

Lungo lo stendimento sismico sono state generate onde sismiche di compressione (onde P), le onde generate sono state registrate utilizzando sensori verticali.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	16 di 70

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

Lo stendimento sismico a rifrazione è stato effettuato utilizzando un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica modello DoReMi della Sara Eletronic Instruments, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interassi di 5 m, per lunghezza totale di indagine di 115 m.

L'energizzazione sul terreno delle onde di compressione è stata effettuata con mazza da 10 kg battente su piastra in PVC. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni per ogni punto di battuta generando 9 impulsi totali di cui 7 interni e 2 esterni alla base.


I sismogrammi registrati su memoria di massa, sono stati oggetto di picking, determinando i primi arrivi (ritardo tra il momento di energizzazione e l'arrivo del treno d'onda generato a ciascun geofono) con un'approssimazione soggettiva di ± 1 millisec.

Mediante la relazione tra il ritardo e la distanza tra la sorgente ed il singolo geofono, per ogni energizzazione effettuata, è stato definito il grafico delle dromocrone. Da queste, mediante l'ausilio di uno specifico software, basato sul metodo di inversione pseudo 2D denominato "Delta-t-v method" (Gebrande e Miller, 1985), è stata ottenuta una pseudosezione 2D velocità - profondità.

Il "Delta-t-v method" non richiede la mappatura dei rifrattori: i dati utilizzati sono i parametri sismici, la geometria dell'acquisizione ed il picking dei primi arrivi.

Successivamente i risultati sono stati elaborati con la tecnica WET (wavepath eikonal travelttime - Schuster, 1993; Watanable, 1999), che utilizza il concetto del "volume di Fresnel", definito come l'insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per un massimo di mezzo periodo. In questo volume i tempi di percorso sono calcolati dalla sorgente al ricevitore e viceversa. Infatti, avendo le onde sismiche una frequenza abbastanza definita, la loro propagazione è influenzata non solo dalle strutture attraversate ma anche da quelle circostanti il loro tragitto, che determinano effetti di diffrazione o formazione di zone d'ombra.

I risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati acquisiti sono riportati nell'Elaborato 7 mentre nella sottostante Fig. 8 si riporta il profilo tomografico ottenuto e il relativo gradiente Laplaciano, da quest'ultimo risulta ben evidente un passaggio stratigrafico netto a circa 20 m di profondità.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	17 di 70

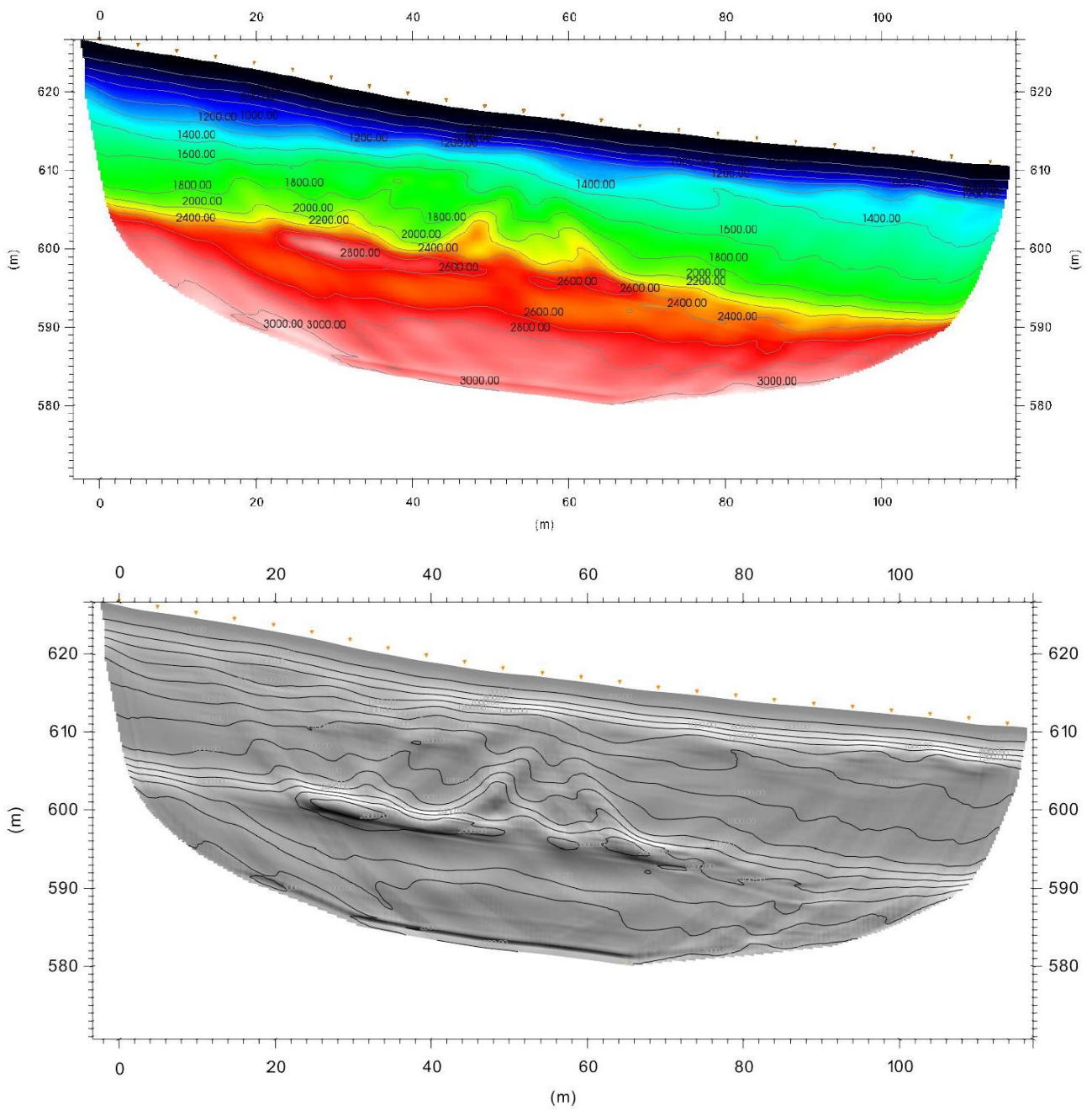


Fig. 8 - Profilo tomografico e gradiente Laplaciano


3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi di terzo livello, per il Comune di Langhirano, è stata realizzata su due siti in cui si disponevano informazioni sufficientemente affidabili almeno in termini di stratigrafia e Vs.

Di seguito vengono dapprima fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale, valide per i due siti indagati nel comune di Langhirano (Fig. 9 e Fig. 10) ed in seguito si analizzano i risultati della RSL.



Fig. 9 - Ubicazione sito Langhirano capoluogo, oggetto di analisi di risposta sismica locale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	19 di 70

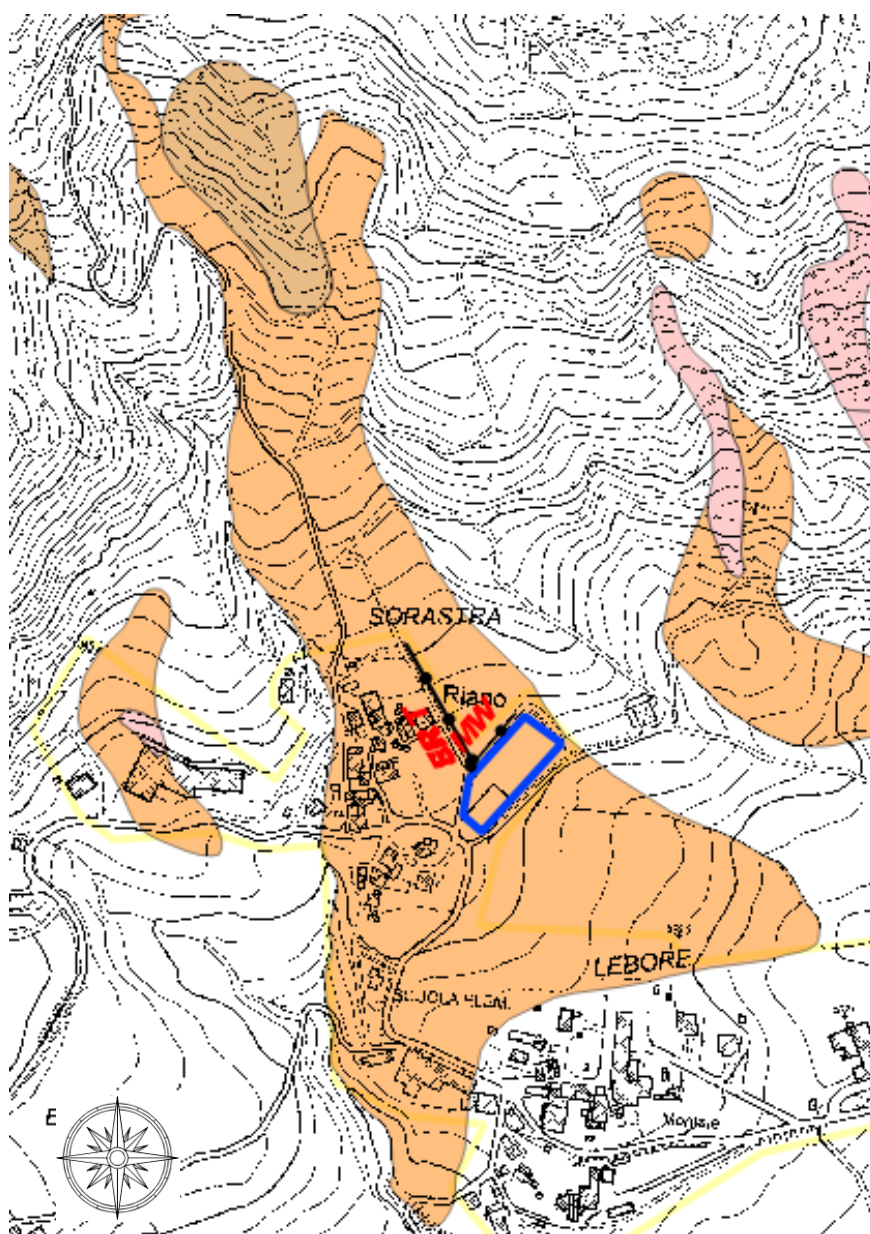



Fig. 10 - Ubicazione sito Riano, oggetto di analisi di risposta sismica locale

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:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	20 di 70

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

- 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 punti di indagine il parametro a_{refg} risulta (Tab. 1)

Sito	$a_{refg} (a_g/g)$
Riano	0.158
Langhirano capoluogo	0.157

Tab. 1 - Valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni)

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 due siti indagati in Comune di Langhirano sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino ossia il 16049 per l'analisi di risposta sismica nel capoluogo, e il 16270 per l'analisi nella località di Riano.

Nel complesso, quindi, per ogni sito, sono stati utilizzati 7 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 11). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER. In Tab. 1 è riportato l'elenco dei diversi accelerogrammi

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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	21 di 70

utilizzati. Si evidenzia che, nonostante i due siti siano stati associati a due differenti nodi, i sismi risultano i medesimi.

Segnali Seism-Home
SLV1_TR475_ID17157_ESD_000764xa.cor
SLV2_TR475_ID17157_ESD_000182xa.cor
SLV3_TR475_ID17157_ESD_000234ya.cor
SLV4_TR475_ID17157_NGA_0455X.txt
SLV5_TR475_ID17157_NGA_1033y.txt
SLV6_TR475_ID17157_KNET1_SAG0010503201053.NS
SLV7_TR475_ID17157_ITACA_20090406_013239IT DPC ASS NSC.DAT

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

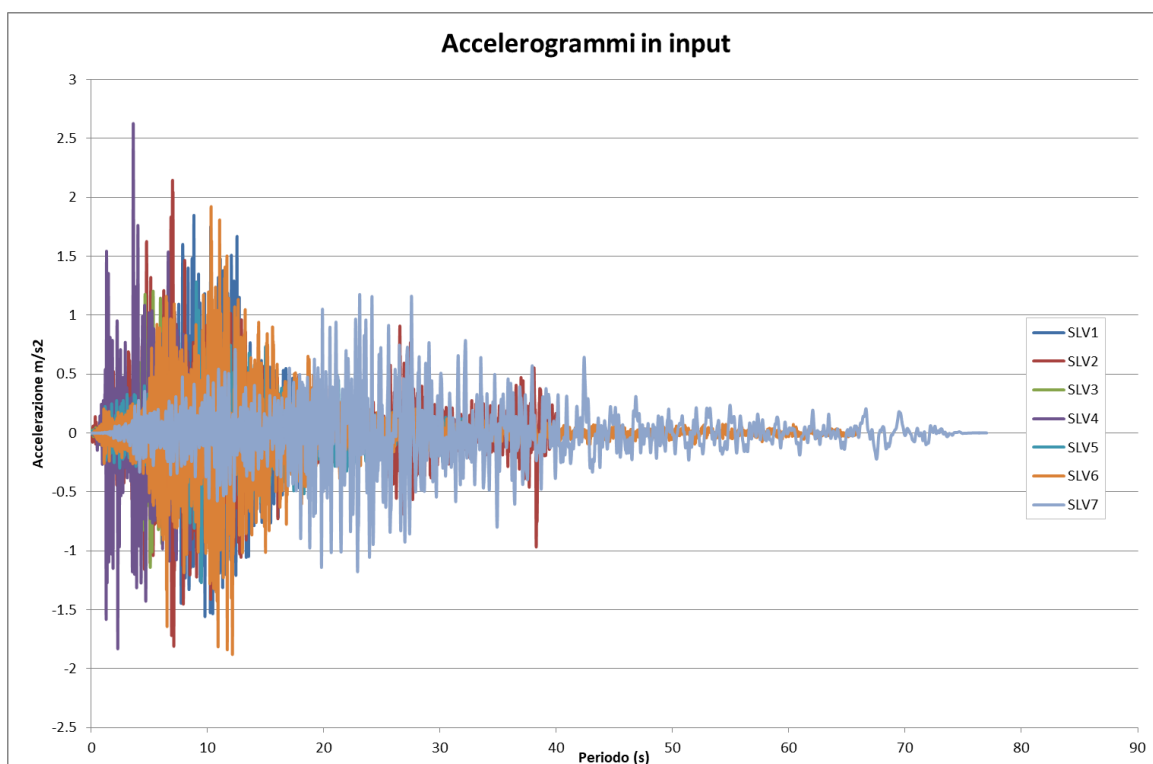


Fig. 11 - Segnali di input nell'analisi di RSL

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

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 rigidità (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ.

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che dovrebbe essere uno strato con velocità $V_s > 800$ m/s.

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 l'analisi per il sito nel centro di Langhirano è interamente basata sulla stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo 034018P435SS537, mentre per la località di Riano lo studio è stato effettuato integrando i risultati della prova MASW (034018L58MASW58) con la tomografia sismica e la sismica a rifrazione (034018L57ERT57 e 034018L59SR59).

3.3.2 Determinazione della V_s e del bedrock sismico


Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità per i diversi siti si è fatto riferimento alle prove effettuate durante la campagna indagini 2020.

Nel centro di Langhirano si è ricorsi alle misure ottenute dalla prova DH fino alla massima profondità indagata, integrata con i risultati della prova HVSR 034018P436HVSR539. A differenza, per Riano si è fatto riferimento alle velocità della prova MASW.

Le V_s 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/G_0) 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/G_0) in funzione della

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	23 di 70

deformazione di taglio, sono state utilizzate curve da letteratura per terreni consimili a quelli in sito i cui parametri sono riportati in Tab. 3.

Nome curva e Litologia	Parametri curve G/G0 e D			
	α	β	η	λ
<i>Frana</i>	24.48	1.36	25.03	1.86
<i>Vucetic & Dobry PI=30 - Argilla</i>	5.12	0.81	30.24	3.06
<i>Vucetic & Dobry PI=0 - Argillite</i>	23.21	0.88	28.39	3.04
<i>Rollins - Ghiaia</i>	15.34	0.87	20.10	2.19

Tab. 3 - Riepilogo dei parametri

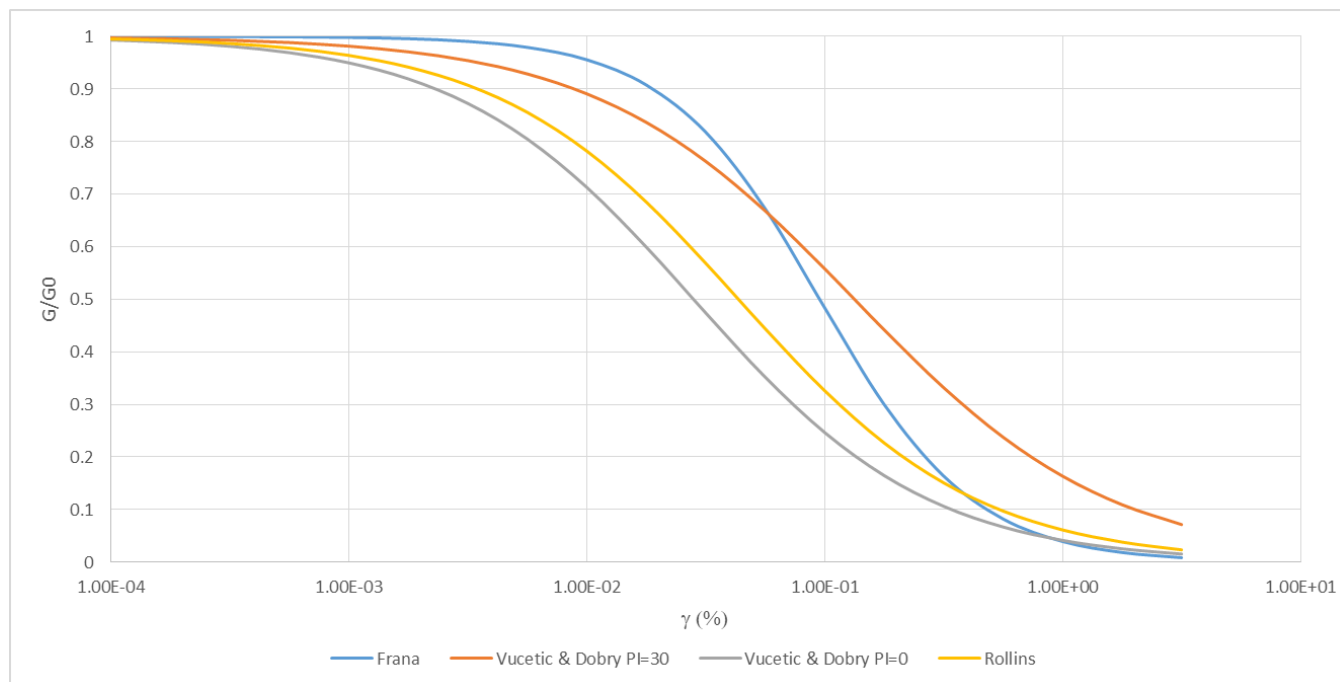


Fig. 12 - Grafico delle curve di interpolazione di G/G0

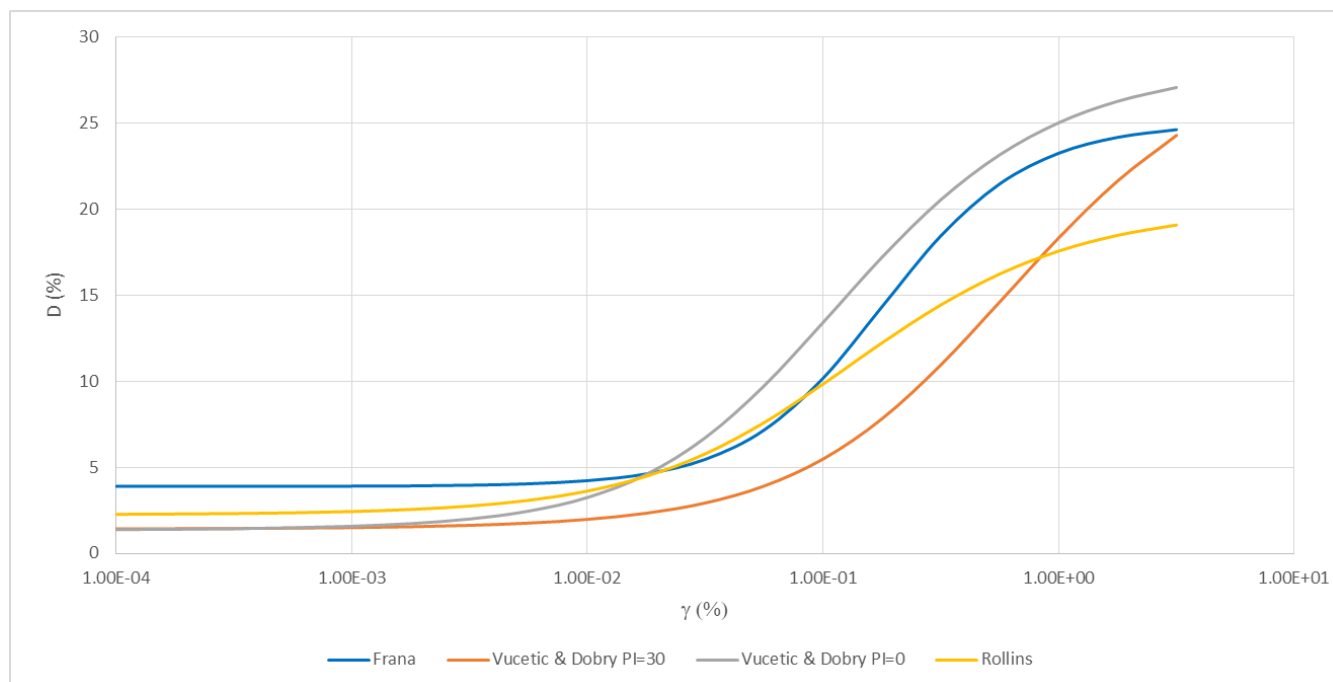


Fig. 13 - Grafico delle curve di interpolazione di D

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.

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

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	25 di 70

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. 14. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

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

dove:

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

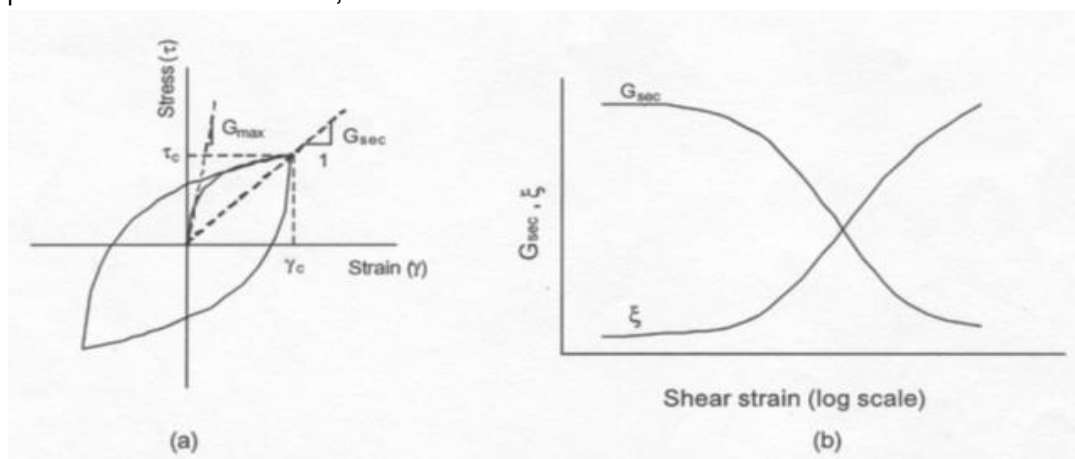



Fig. 14 - Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	26 di 70

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 14. 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:

- 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. 14b).

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	27 di 70

viene discretizzato mediante una “mesh” di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 15) e caricato mediante un’accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell’equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

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

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidezza del sistema;

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

a_g = vettore di accelerazione alla base;

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


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

dove:

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

β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25

γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	28 di 70

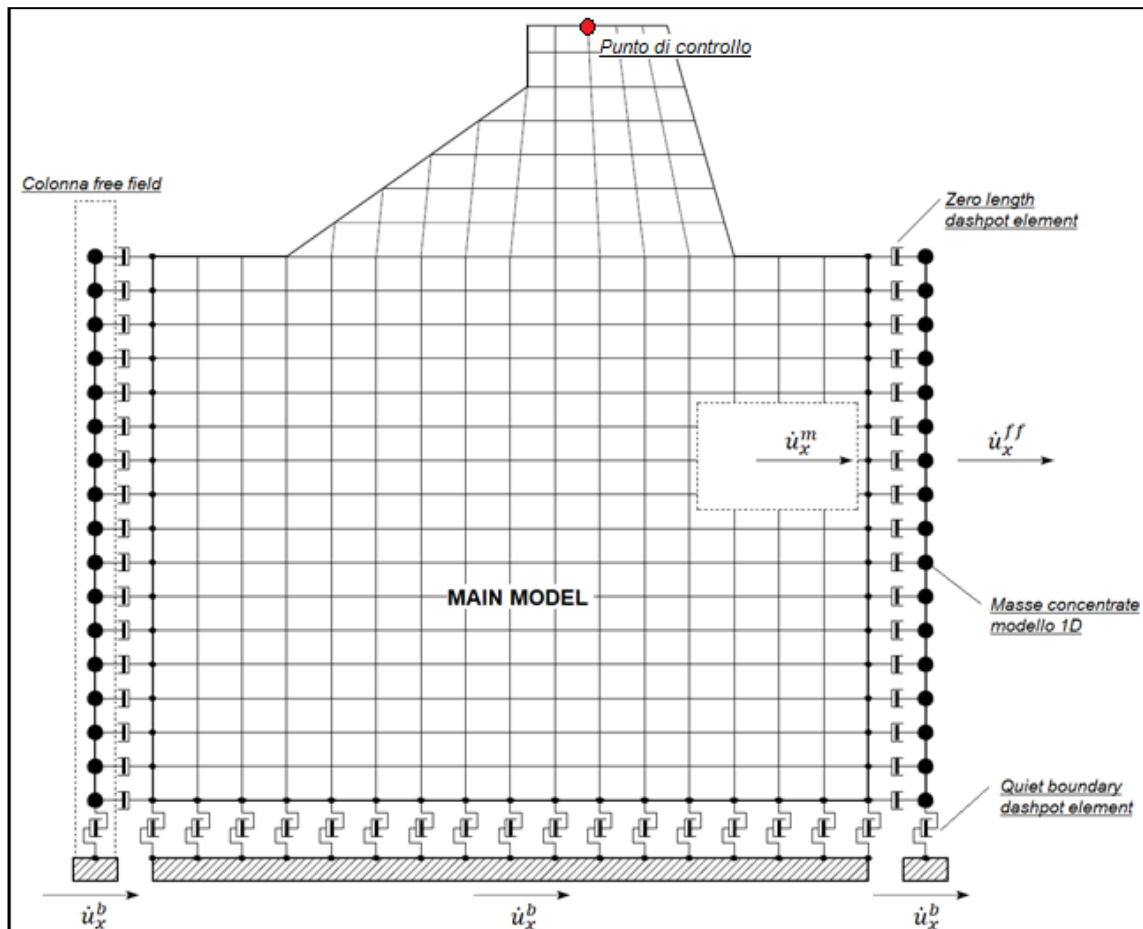


Fig. 15 - Discretizzazione FEM del terreno.

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 Reyleigh;

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

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

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

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;

3.4.3 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.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	30 di 70

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


3.5 Analisi dei risultati

I risultati della analisi condotte con il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 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
- 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. 16 e Fig. 17).

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 (abaco Appennino $V_{sH} < 800$ m/s per il sito di Langhirano e Appennino $V_{sH} < 800$ m/s per il sito di Riano) e le differenze percentuali tra i valori.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	31 di 70

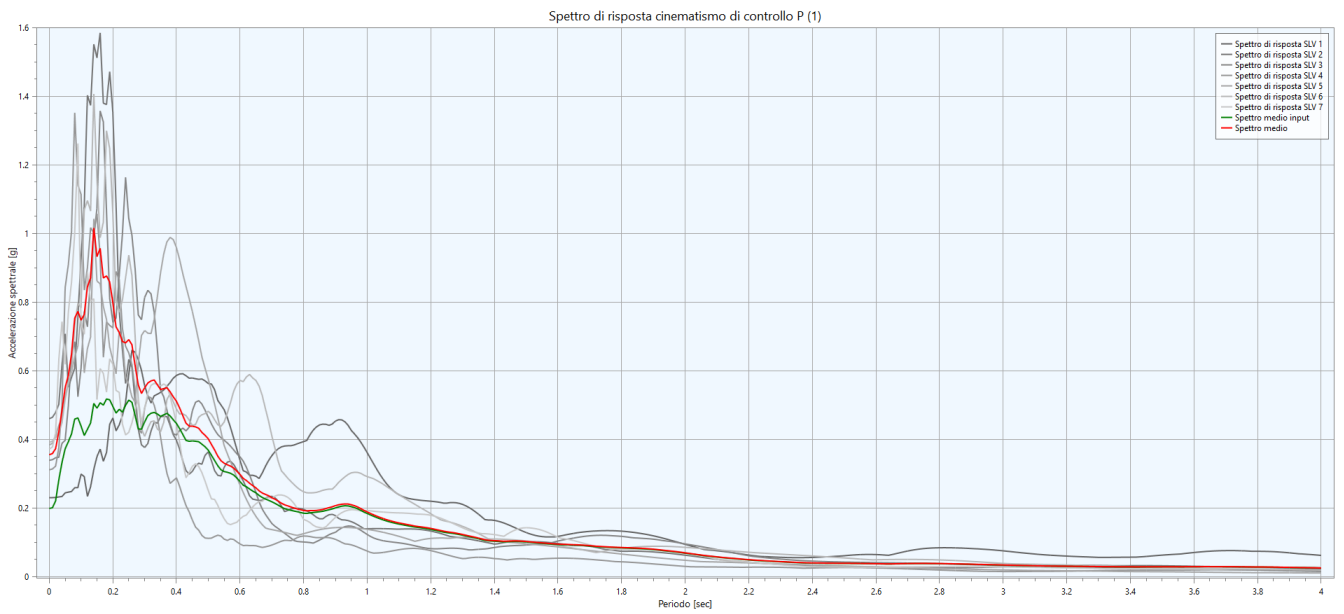


Fig. 16 - Esempio output di confronto tra lo spettro medio in accelerazione in input (verde) e lo spettro medio in accelerazione in output (rosso)

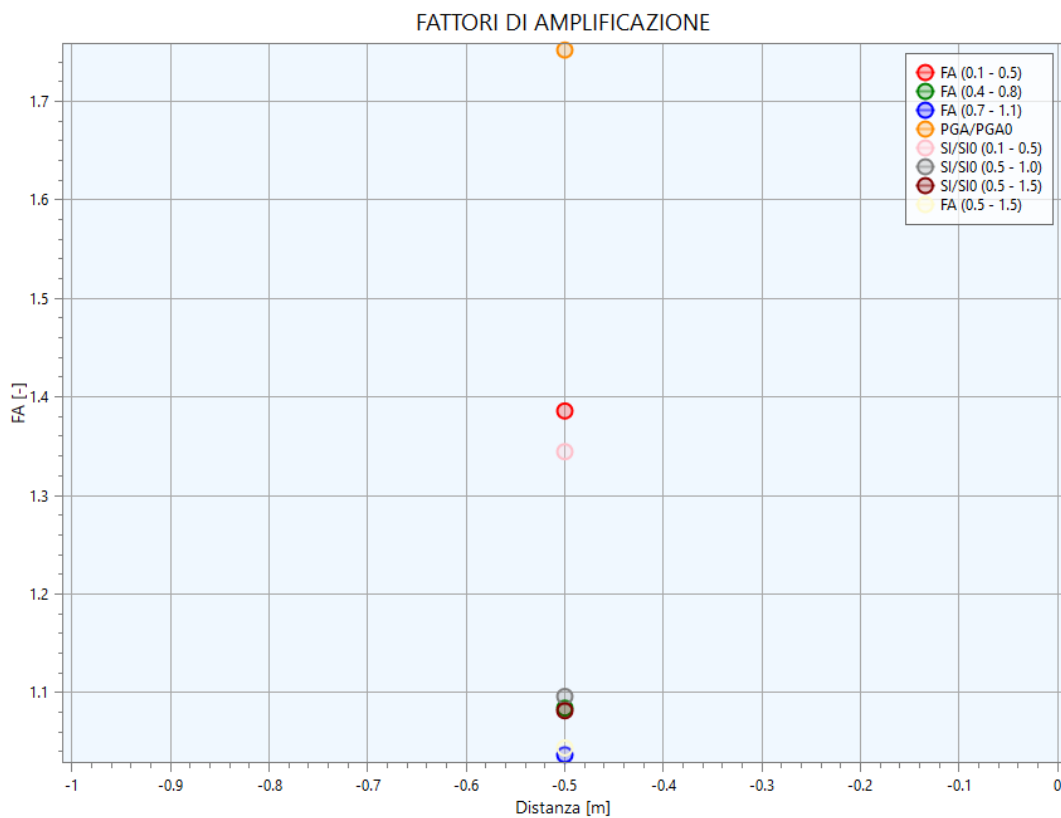



Fig. 17 - Esempio output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità ottenuti dal confronto di Fig. 16

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	32 di 70

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

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 Langhirano - Paese


I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Curva	γ	Vs
	(m)		(kN/m ³)	(m/s)
Argilla	2.10	Vucetic & Dobry PI=30	18	180
Ghiaia	6.80	Rollins	18	390
Argilla marnosa	10.10	Vucetic & Dobry PI=0	18	440
Argilla marnosa 2	10.00	Vucetic & Dobry PI=0	18	510
Bedrock			22	850

Tab. 4 - Modello geofisico

Come si evince dalla prova DH 034018P435SS537 riportata in Fig. 18, il bedrock sismico non è stato individuato. Tuttavia, da stratigrafia rilevata nel sondaggio 034018P435SS537 che individua i calcari a 29 m e da prova HVSR, è stato possibile definire, sulla base delle velocità degli strati rilevate nel corso della DH, la velocità del bedrock sismico.

Tale approccio ha permesso di discretizzare il problema considerando il bedrock a 29 m con una velocità pari a 850 m/s.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	33 di 70

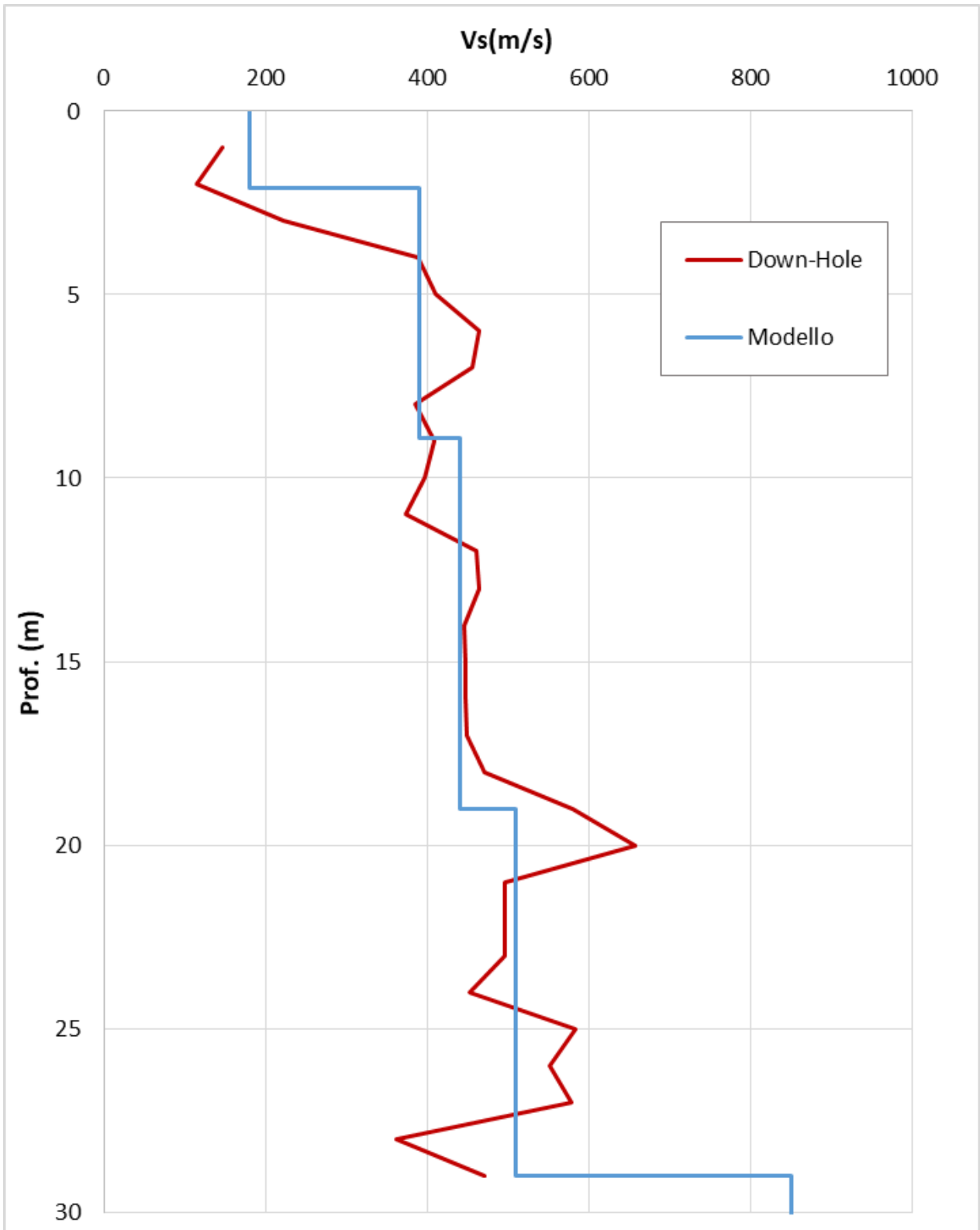


Fig. 18 - Discretizzazione della Vs da prova DH 034018P435SS537

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

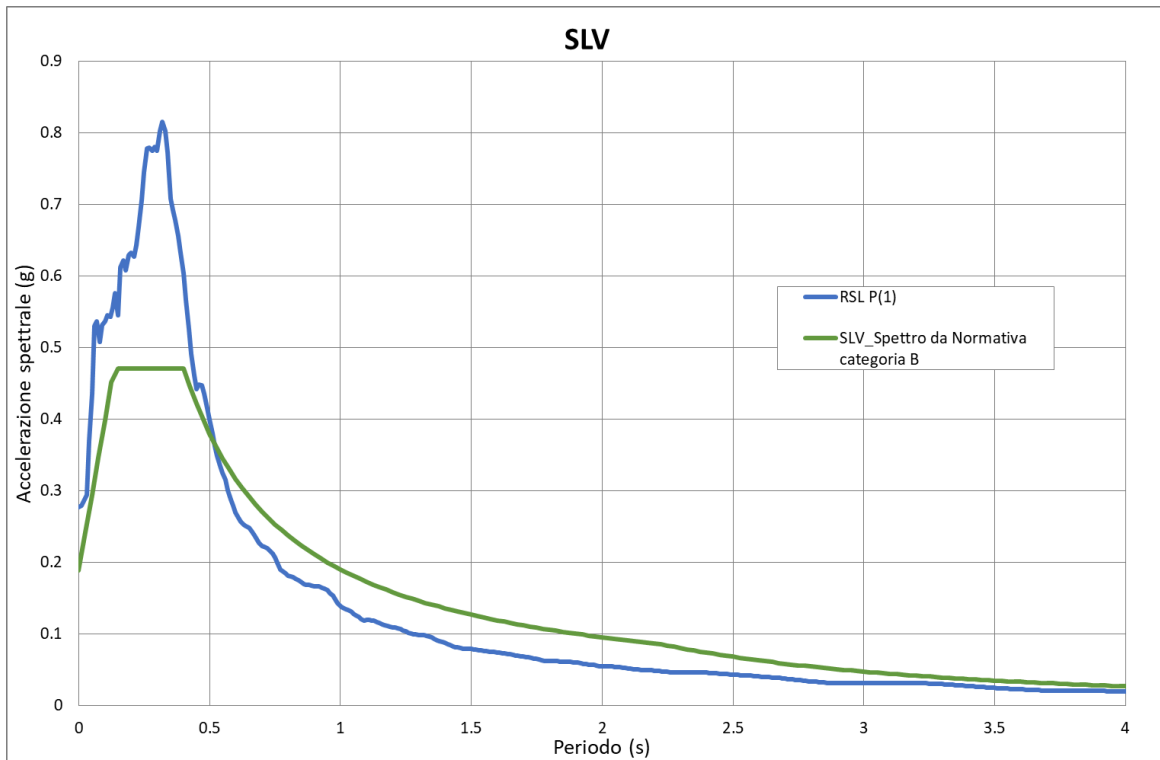



Fig. 19 - Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e lo spettro di riferimento da normativa

Lo spettro di RSL risulta molto superiore a quello di categoria B fino a circa 0.5 secondi, per poi invertire la tendenza e risultare decisamente inferiore.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	35 di 70

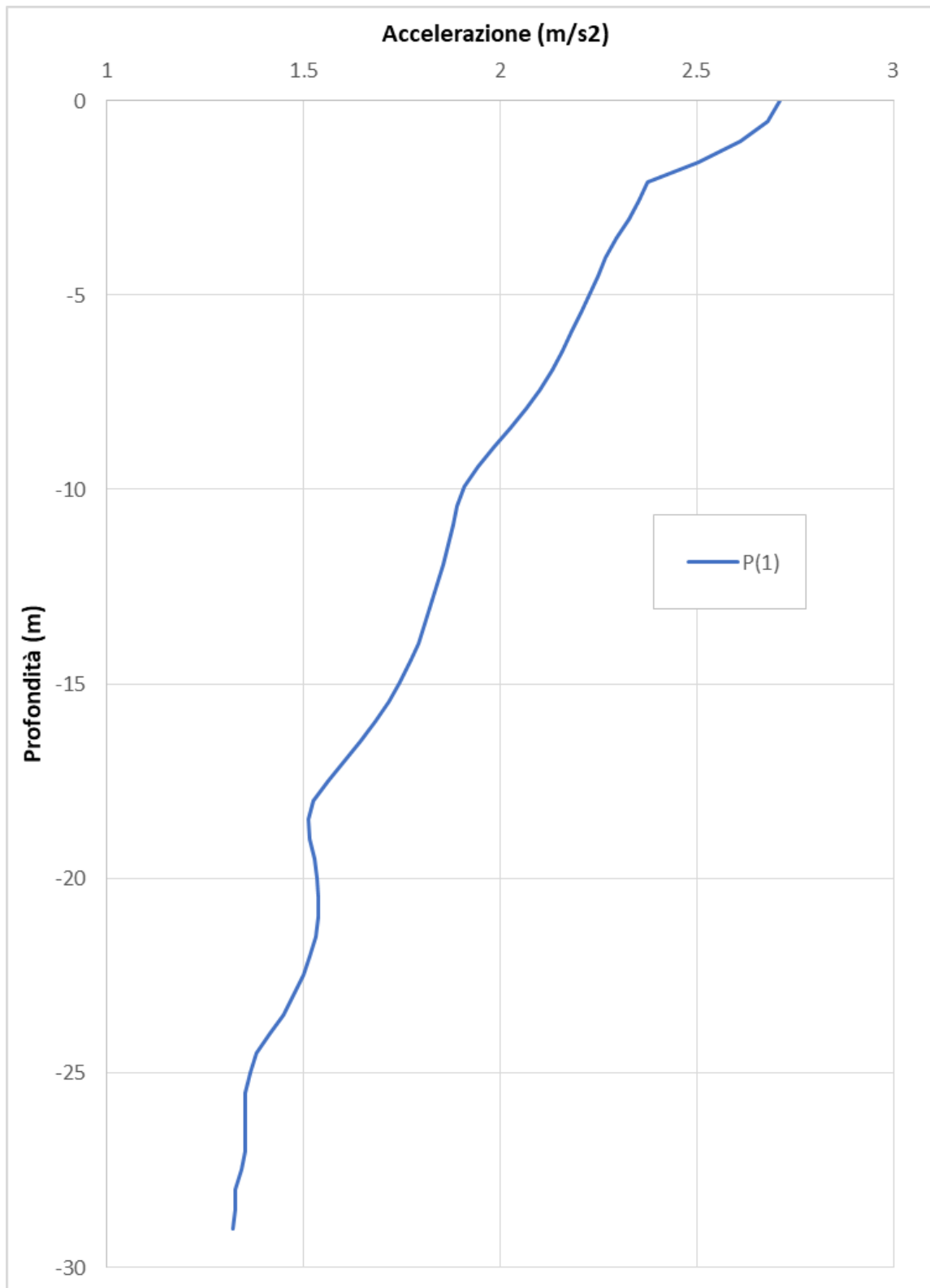



Fig. 20 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	36 di 70

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

In Tab. 5 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo.

	RSL	RER App<<800	diff. %
FA_{PGA}	1.73	1.8	-3.9
FA_{SA1 0.1-0.5}	1.76	1.7	3.5
FA_{SA2 0.4-0.8}	1.52	1.6	-5.0
FA_{SA3 0.7-1.1}	1.22	1.4	-12.9
FA_{SA4 0.5-1.5}	1.28	-	-
FH_{SI1 0.1-0.5}	1.85	1.7	8.8
FH_{SI 0.5-1.0}	1.47	1.5	-2.0
FH_{SI 0.5-1.5}	1.37	-	-

Tab. 5 - Fattori di amplificazione Langhirano capoluogo


3.5.2 Risposta sismica locale Riano

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Curva	γ	Vs
	(m)		(kN/m ³)	(m/s)
Frana	9.40	Frana	18	280
Frana_2	15.00	Frana	18	400
Bedrock			22	830

Tab. 6 - Modello geofisico

Come si può constatare dalla Fig. 21, la risposta sismica locale è stata interamente basata sulla prova MASW 034018L58MASW58 effettuata durante la campagna indagini 2020, verificata con le indagini al contorno realizzate durante lo stesso studio.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	37 di 70

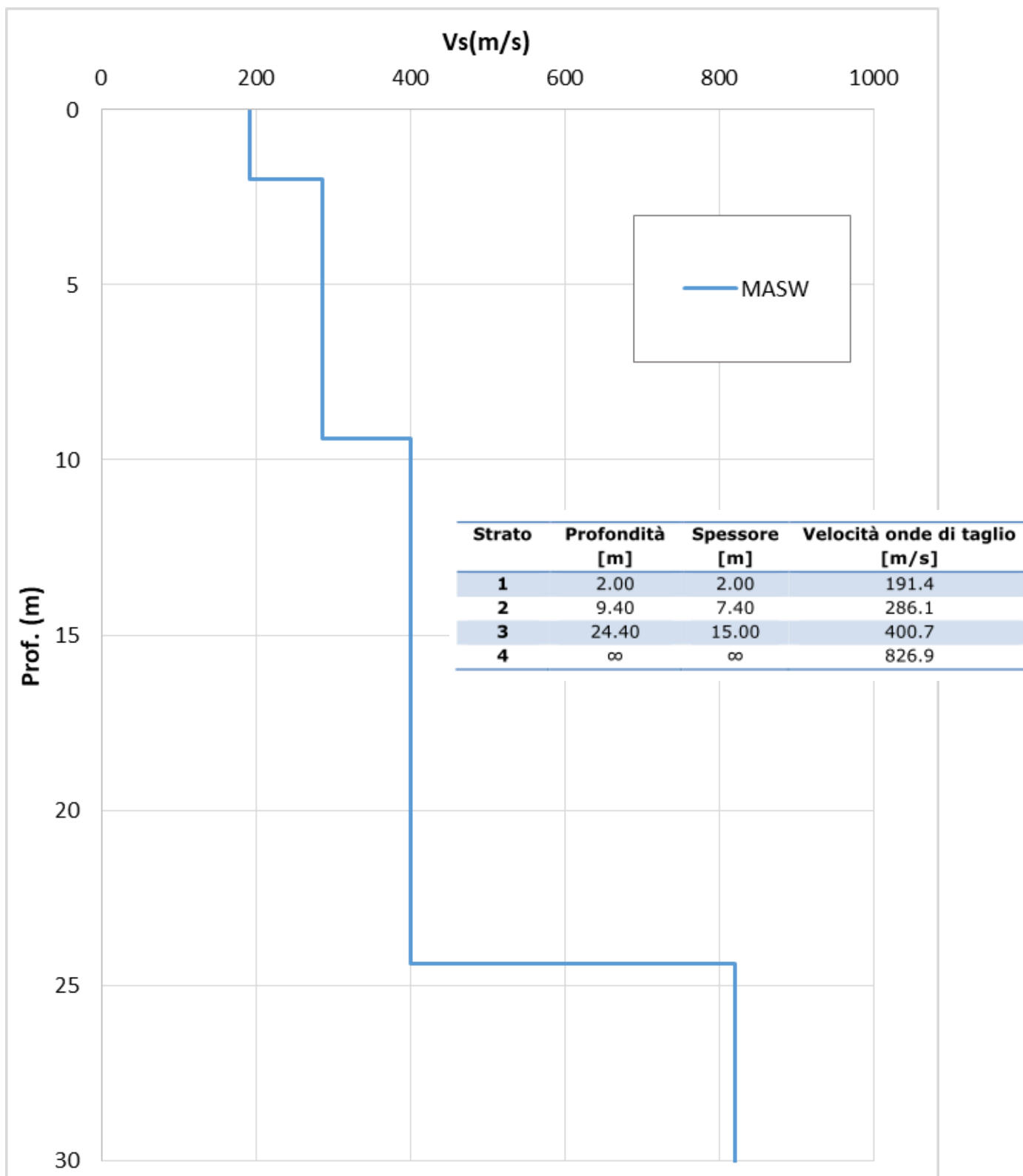


Fig. 21 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

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

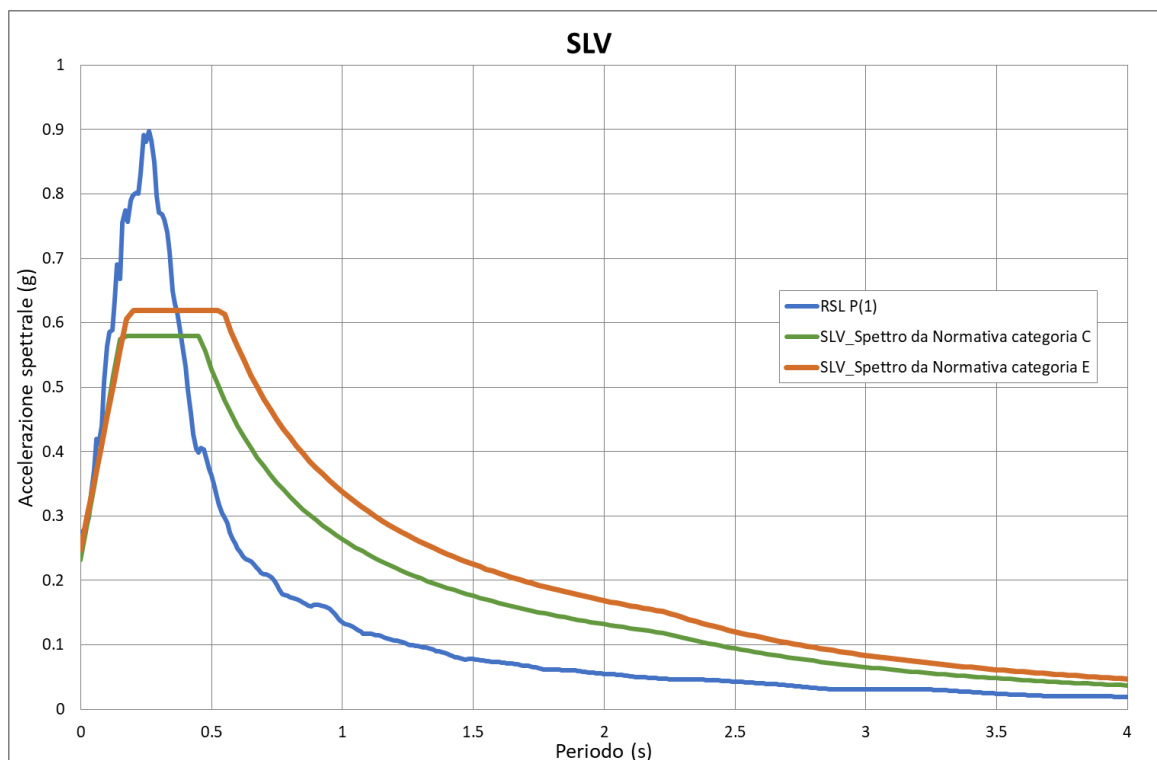



Fig. 22 - Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e gli spettri di riferimento da normativa

Nel grafico precedente il confronto dello spettro di RSL viene effettuato sia con lo spettro semplificato di categoria E, che è quello di riferimento secondo le NTC2018, che con lo spettro di categoria C.

Anche in questo caso, come nel precedente lo spettro di RSL risulta superiore a quelli semplificati soltanto fino a circa 0.4 s.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	39 di 70

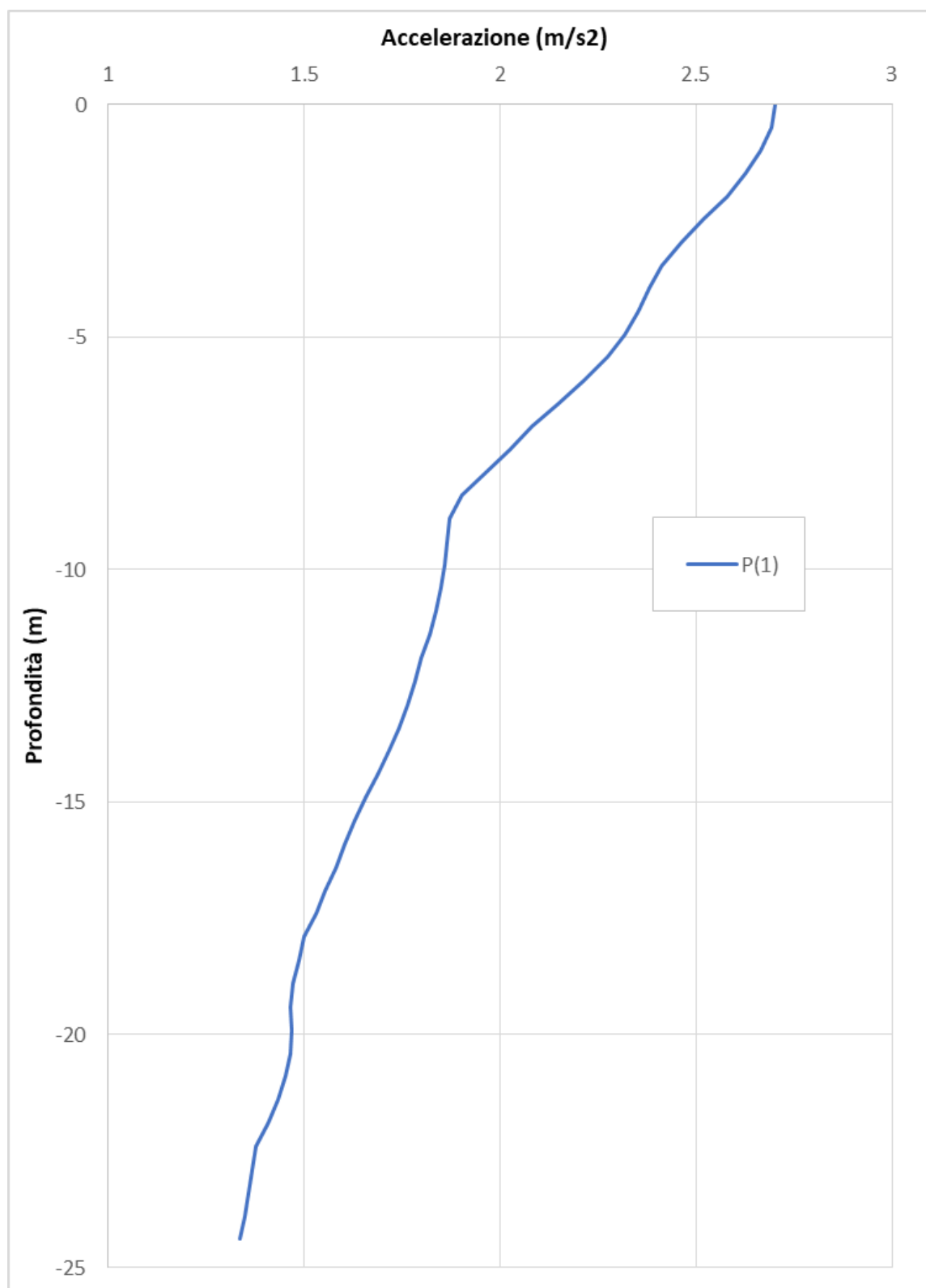



Fig. 23 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	40 di 70

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

In Tab. 5 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo.

	RSL	RER App>800	diff. %
FA_{PGA}	1.72	1.8	-4.4
FA_{SA1 0.1-0.5}	1.84	1.9	-3.2
FA_{SA2 0.4-0.8}	1.39	1.4	-0.7
FA_{SA3 0.7-1.1}	1.17	1.1	6.4
FA_{SA4 0.5-1.5}	1.21	-	-
FH_{SI1 0.1-0.5}	1.88	1.7	10.6
FH_{SI 0.5-1.0}	1.41	1.2	17.5
FH_{SI 0.5-1.5}	1.33	-	-

Tab. 7 - Fattori di amplificazione Langhirano - Riano

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.

	Langhirano capoluogo	Riano
FA_{PGA}	-9.5	-4.4
FA_{SA1 0.1-0.5}	-8.0	-3.2
FA_{SA2 0.4-0.8}	-18.2	-0.7
FA_{SA3 0.7-1.1}	-16.4	6.4
FH_{SI1 0.1-0.5}	-6.0	10.6
FH_{SI 0.5-1.0}	-6.0	17.5

Tab. 8 - Raffronto tra i risultati delle analisi di secondo livello e terzo livello


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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	41 di 70

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

Nelle precedenti Fig. 19 e Fig. 22 è stato proposto il confronto tra gli spettri di risposta in pseudoaccelerazione da RSL e lo spettro semplificato per la categoria di corrispondente (B per Langhirano e C o E per Riano) 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).

Anche in questo caso è evidente che l'amplificazione locale determina una considerevole picco tra 0.1 e 0.4-0.5 s circa, con valori di accelerazione spettrale molto più elevati di quelli dello spettro semplificato, mentre oltre tale periodo, in generale, lo spettro semplificato sovrastima le accelerazioni.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	42 di 70

4. STABILITÀ DI VERSANTE

Come già anticipato nelle premesse, dell'analisi delle condizioni limite per le emergenze (CLE), realizzata durante lo studio di secondo livello, è emerso che nell'abitato di Riano è presente un'area di emergenza (RICOVERO - cod. 0000000003) interessata da una frana quiescente (colata).

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

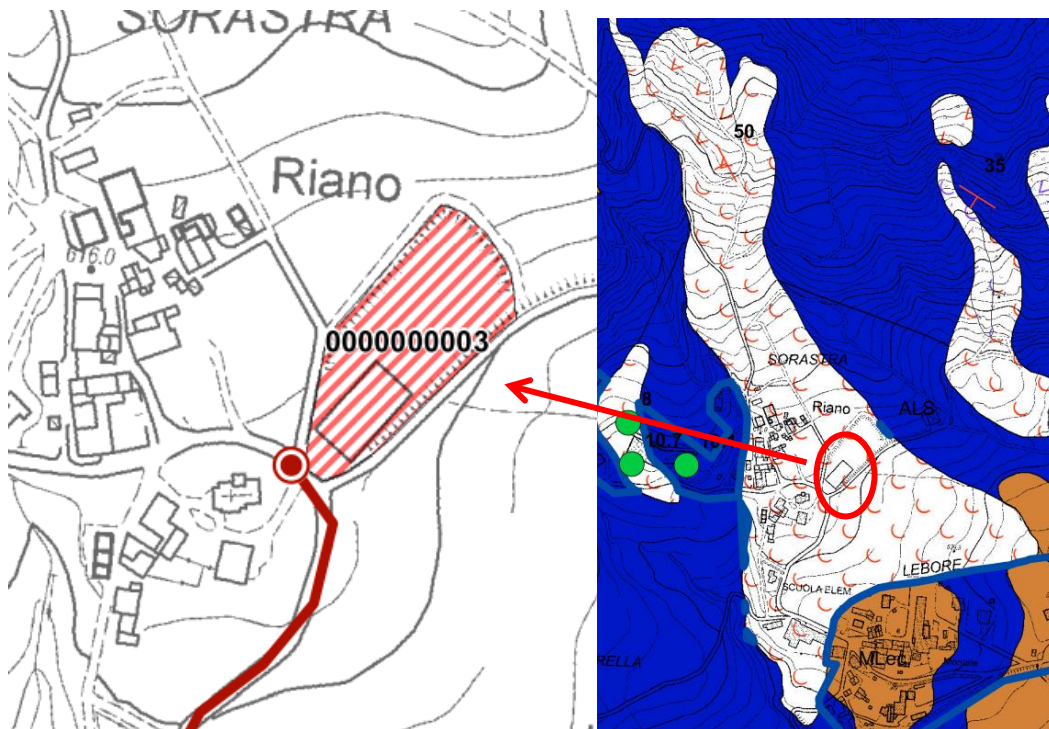



Fig. 24 - Inquadramento area soggetta ad analisi di stabilità

4.1 Metodo di verifica

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

Il metodo di *Jambu* è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	43 di 70

strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

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

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula

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

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti in Fig. 25.

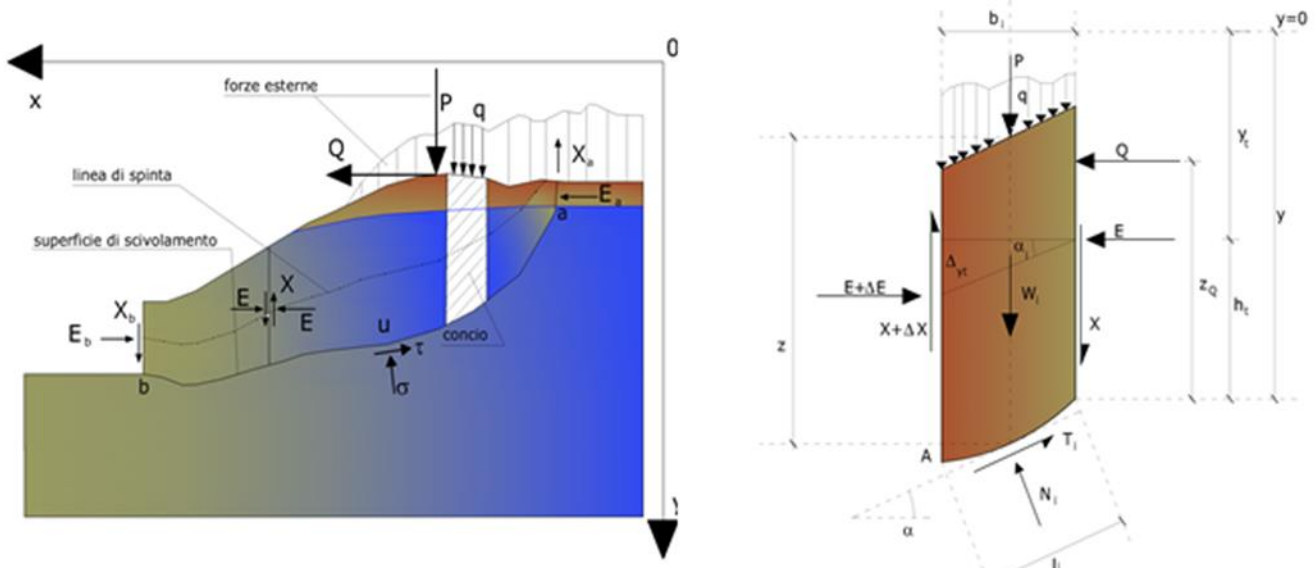


Fig. 25 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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. 26). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

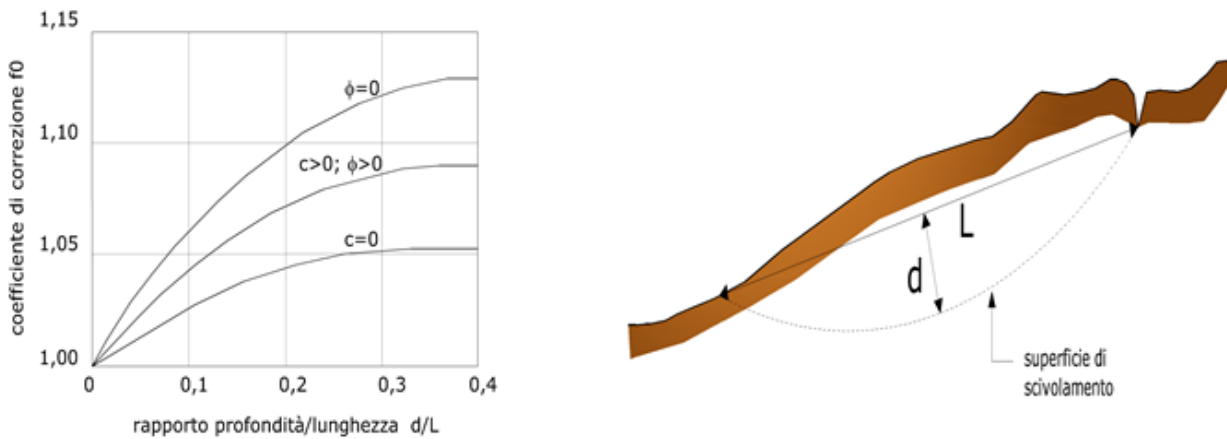


Fig. 26 – Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

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_v) 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. 27).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	45 di 70

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. 28).

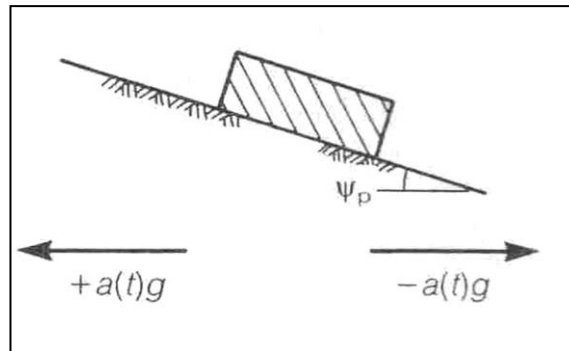


Fig. 27 - Schematizzazione del metodo di Newmark

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).

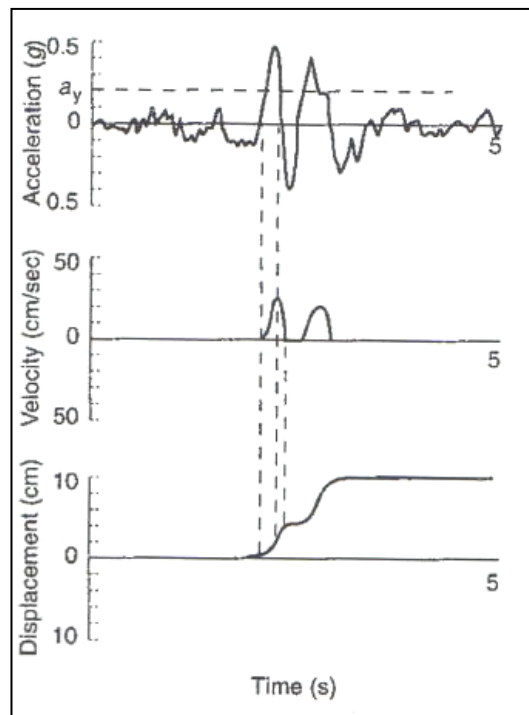



Fig. 28 - Esempificazione della metodologia di Newmark, con doppia integrazione dell'accelerogramma

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	46 di 70

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


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 sulla zona di attenzione per instabilità di versante presente a Riano e identificata nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Le dimensioni dell'ammasso franoso 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. 29).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	47 di 70

Back Analysis

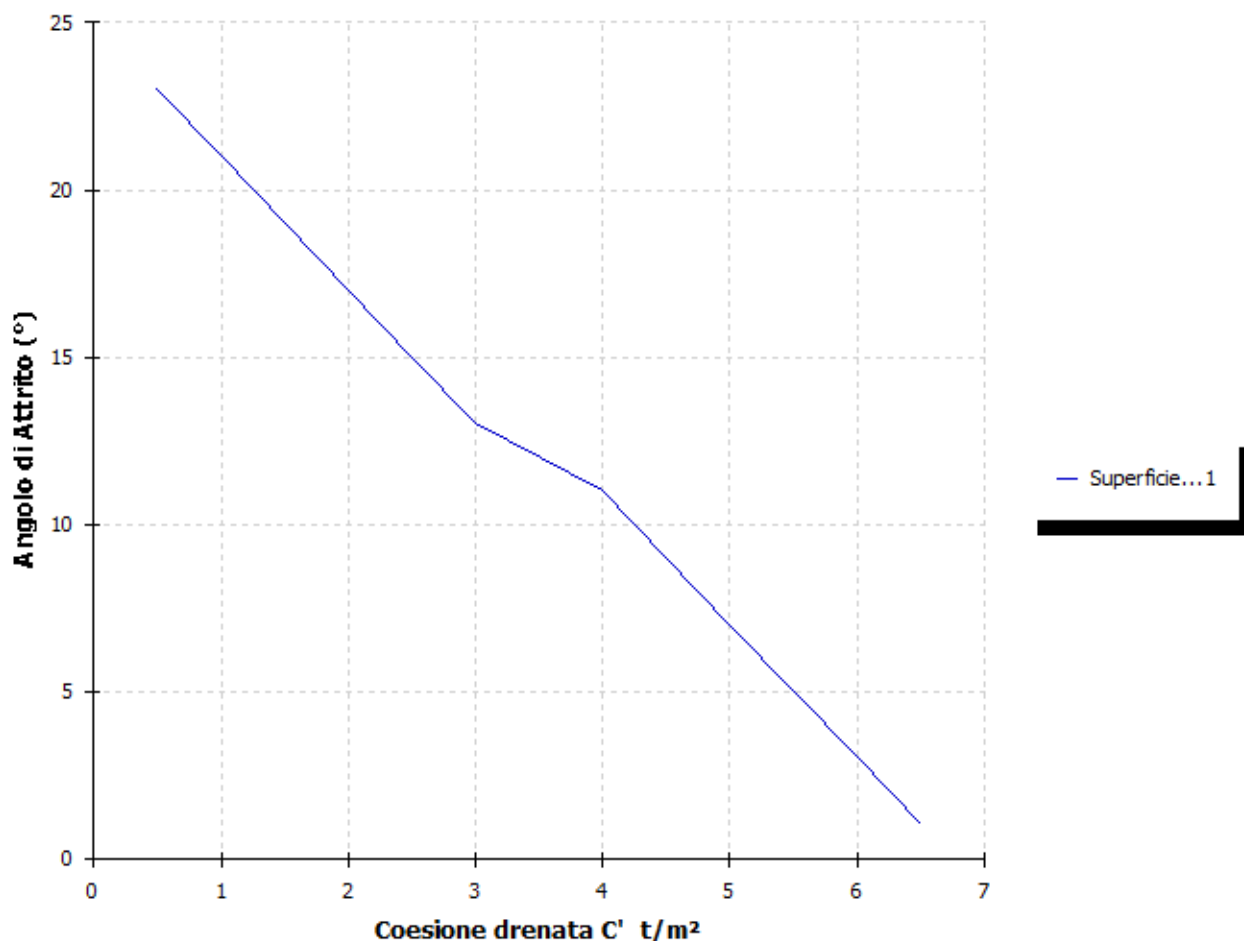



Fig. 29 -Esempio di output di *Back analysis*

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

La verifica dinamica, per il sito, 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. 9).

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	48 di 70

<i>Phi</i>	<i>c'</i>	<i>Fs</i>	<i>Ac</i>	<i>Spostamento SLV4</i>
°	t/m ²	-	a _g /g	cm
13	3	1.015	0.01	20.01

Tab. 9 - Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per la frana di Langhirano - Riano

Di seguito si riportano in modo sintetico i risultati della verifica eseguita.

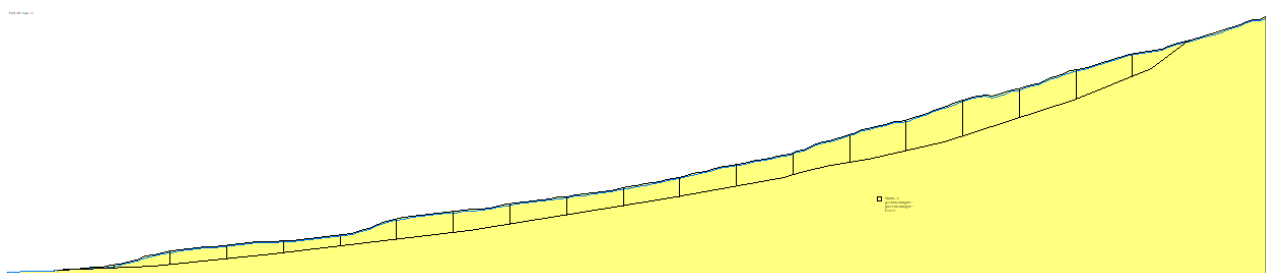


Fig. 22 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo della frana Langhirano - Riano

Sisma SLV4

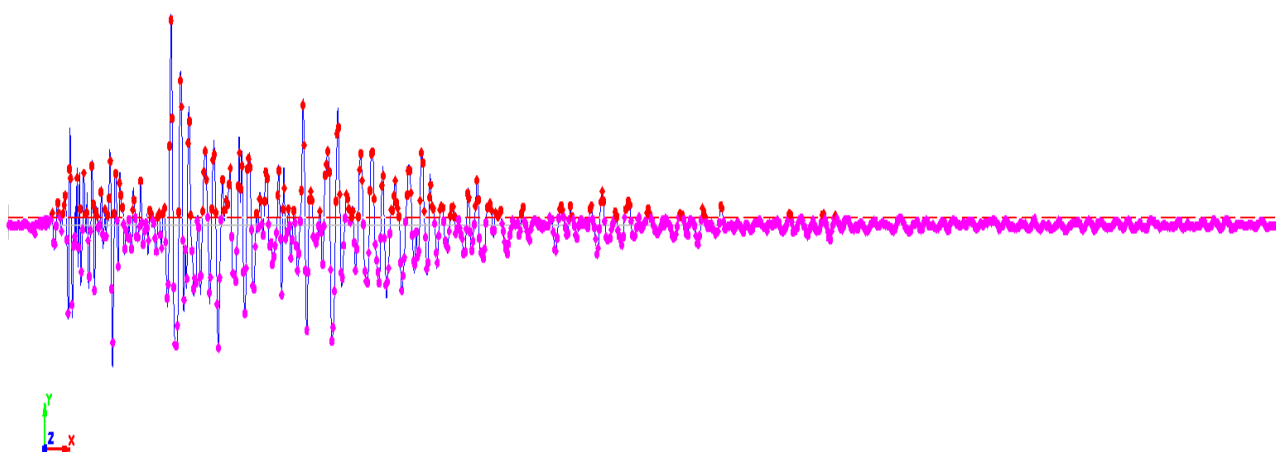


Fig. 23 - Analisi dinamica: accelerogramma (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)

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

5. ELABORATI CARTOGRAFICI

5.1 Carte delle indagini

Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:10.000, 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 ma, diversamente dalla precedente, prende in esame l'intero territorio comunale (suddiviso in 2 tavole: una per il settore nord e una per il sud), anziché le sole aree oggetto di microzonazione.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 30. Il relativo numero è riportato nella seguente Tab. 10

Tipo di indagine	n°
Trincea o pozzetto esplorativo	110
Sondaggio a carotaggio continuo	14
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	51
Sondaggio a distruzione di nucleo	1
Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato	7
Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni	16
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	88
Prova penetrometrica dinamica leggera	7
Prova penetrometrica dinamica media	12
Prova penetrometrica dinamica pesante	5
Prova penetrometrica dinamica super pesante	70
Prova sismica in foro tipo Downhole	1
Prova MASW	42
Prova REfractionMicrotremors	2
Prova sismica a rifrazione	9
Tomografia elettrica	5
Stazione microtremore a stazione singola	62

Tab. 10 - Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale



	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	50 di 70



Fig. 30 - Legenda delle Carte delle indagini

Nella Carta delle indagini è stato creato anche un elemento puntuale per ciascuna delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), che saranno trattate nel

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	51 di 70

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

paragrafo 5.4, cui viene fatta corrispondere la relativa colonna stratigrafica definita nello stesso paragrafo.

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 (sempre 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 4.4.

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 199110, 199120, 199150, 199160, 217030 e 217040, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- “Carta del dissesto” da Variante Specifica al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Parma, approvata con Delibera C.P. n. 41 del 25.07.2016. sempre Sezioni 199110, 199120, 199150, 199160, 217030 e 217040, alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma.
- 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. 31, 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:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	52 di 70

- GPes - Depositi fluviali costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaie e sabbie, corrispondenti con i depositi alluvionali in evoluzione del torrente Parma
- GCtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla, che coincidono con il Subsistema di Ravenna
- GMtf - Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, cartografati dove affiorano sintemi e subsintemi più antichi appartenenti sia all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES) che a quella Inferiore (AEI).
- MLec - Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità, indicate per i depositi di versante del settore collinare.



Terreni di copertura

- GPes** Depositi fluviali costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaie e sabbie
- GCtf** Depositi terrazzati costituiti da ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
- GMtf** Depositi terrazzati costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- MLec** Coperture detritiche costituite da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

Substrato geologico

- ALS** Alternanza di litotipi, stratificato
- COS** Coesivo sovraconsolidato, stratificato
- SFCO** Coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato

Elementi geologici e idrogeologici

-  Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
-  Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

Instabilità di versante

-  Scorrimento - attiva
-  Colata - attiva
-  Complessa - attiva
-  Non definito - attiva
-  Scorrimento - quiescente
-  Colata - quiescente
-  Complessa - quiescente
-  Non definita - quiescente

Elementi tettonico-strutturali








-  Faglia non attiva inversa certa
-  Sinclinale
-  Anticlinale
-  Faglia non attiva a cinematismo non definito certa
-  Faglia non attiva a cinematismo non definito incerta
-  Giacitura strati

Fig. 31 - Stralcio da legenda delle Carte geologico - tecniche

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	53 di 70

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

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

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

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

- CAO - Flysch di Monte Caio
- CMZ - Sintema di Costamezzana
- FCOB - Formazione a Colombacci - litofacies conglomeratica
- FYS2 - Flysch di Monte Sporno - membro di Armorano
- FYS3 - Flysch di Monte Sporno - membro di Calestano
- MCS - Flysch di Monte Cassio
- MMP - Marne di Monte Piano
- MRO1 - Marne Rosate di Tizzano - Membro di Bersatico
- RAN - Formazione di Ranzano

COS Coesivo sovraconsolidato, stratificato dove sono presenti le unità:


- ANT - Marne di Antognola
- ATSa - Sintema del Torrente Stirone - litofacies pelitica
- AVV - Argille Varicolori di Cassio
- CIG - Formazione di Cigarello
- CTG - Formazione di Contignaco
- FAA - Argille Azzurre
- PAT - Formazione di Pantano
- TER - Formazione del Termina

SFCO Coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato in corrispondenza dell'unità:

- ACR - Argille Varicolori di Case Crovini

Sempre in Fig. 31, si osserva che nelle Carte-geologico tecniche sono stati indicati anche:

- Elementi tettonico-strutturali
 - Sinclinale
 - Anticlinale
 - Faglia non attiva inversa certa
 - Faglia non attiva a cinematismo non definito certa
 - Faglia non attiva a cinematismo non definito incerta
 - Giacitura strati

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	54 di 70

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

- Elementi geologici e idrogeologici
 - Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
 - Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico

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.

Come per le altre cartografie già descritte sono state prodotte 2 tavole alla scala 1:10.000: una per il settore meridionale e una per il settore settentrionale, in modo da rappresentare l'intero Comune.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (60 rispetto ai 33 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 $HVSR \geq 3$)
- moderato (ampiezza picco $2 \leq HVSR < 3$)
- basso (ampiezza picco $1,5 \leq HVSR < 2$)
- non significativo (ampiezza picco $HVSR < 1,5$)

In Fig. 32 si riporta uno stralcio della legenda dei suddetti elaborati cartografici.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	55 di 70

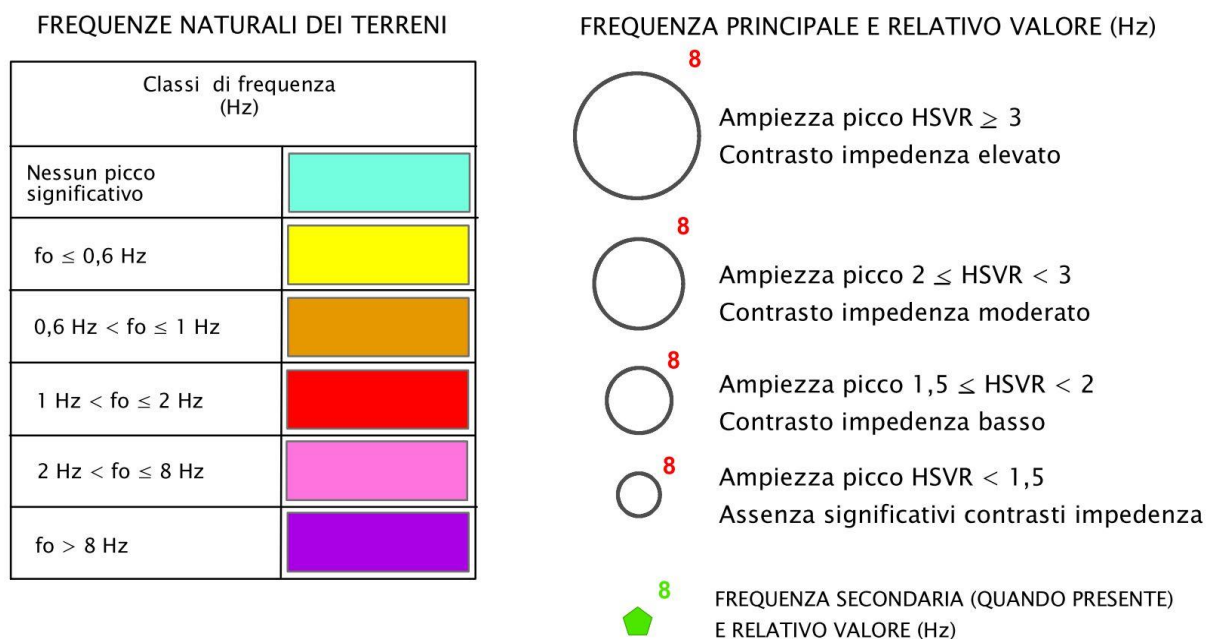


Fig. 32 – Stralcio da legenda delle Carte delle frequenze naturali dei terreni

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.

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

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 Langhirano, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, sono state individuate le seguenti 9 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (cfr. Fig. 33):

- Zona 1 - 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 3,00 m
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) di tipo COS o SFCO ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) ricoperto da una coltre da depositi di versante, a granulometria prevalentemente argillosa di spessore medio pari a circa 5,00 m
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi di spessore medio pari a 5 m
- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi di spessore medio pari a 10 m
- Zona 6 - Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore inferiore a 3 m, di depositi di origine alluvionale, fini, a tessitura 2006 prevalentemente argilloso-limosa sotto la quale si rinvengono dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati
- Zona 7 - Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore medio pari a circa 5 m, di depositi di origine alluvionale, fini, a tessitura prevalentemente limosa sotto la quale si rinvengono dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati
- Zona 8 - Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore medio pari a circa 10 m, di depositi di origine alluvionale, fini, a tessitura prevalentemente

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	57 di 70

limosa sotto la quale si rinvencono dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati

- Zona 9 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi di spessore non definibile

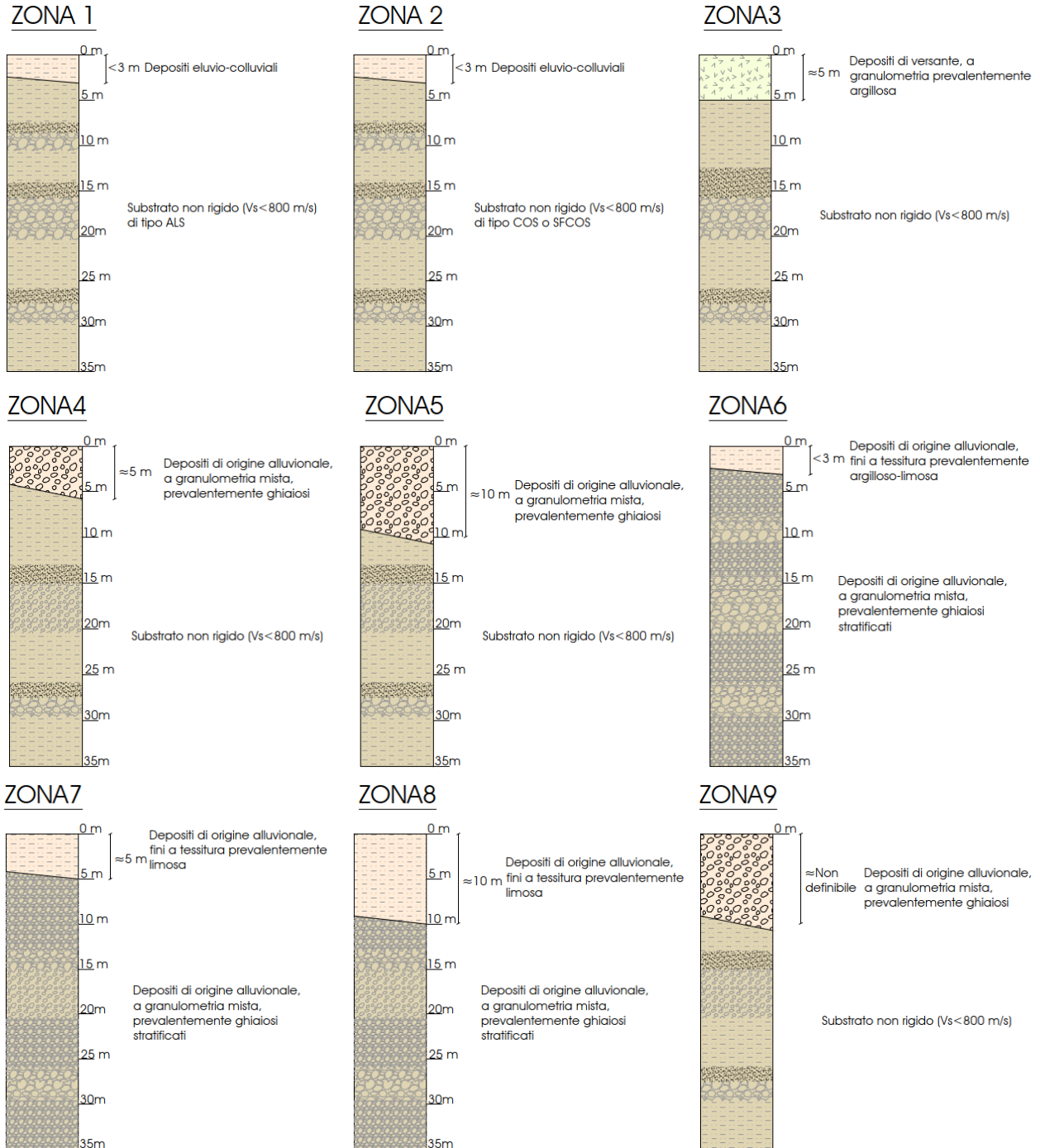



Fig. 33 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	58 di 70

e le seguenti 6 Zone di attenzione per instabilità di versante (cfr. Fig. 34):

- 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 substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

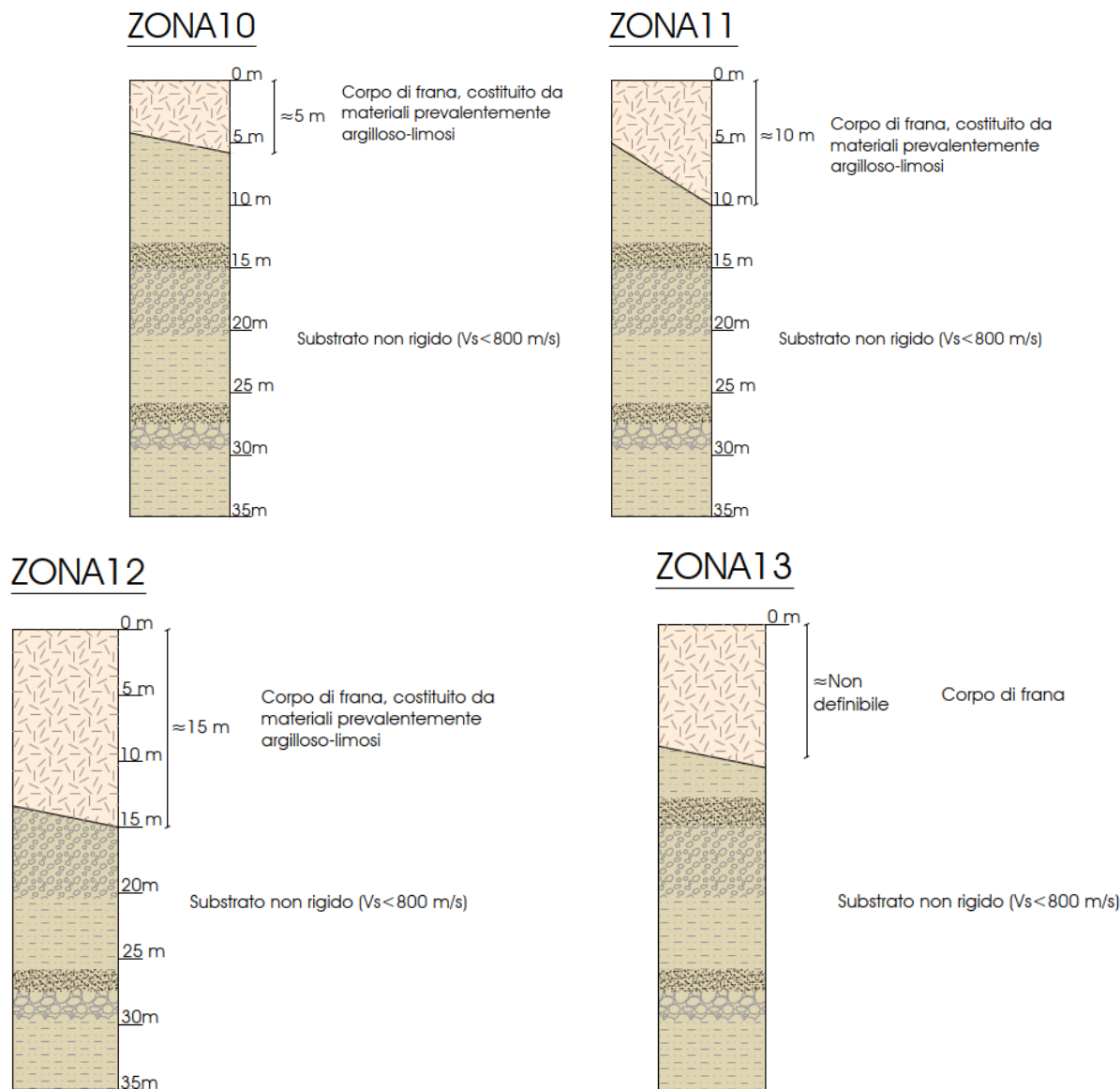



Fig. 34 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzone di attenzione per instabilità di versante

- 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 substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	59 di 70

- 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 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 substrato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s)

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 (prova tomografica, MASW o ReMi) 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, con eccezione di alcune prove pregresse che non consentivano di ricavare uno dei 2 dati, si è indicata la V_{s30} per le indagini effettuate all'interno della zone 1, 2 o 6, in quanto, presumibilmente, il contrasto di velocità più

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	60 di 70

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

significativo si rinviene a una profondità inferiore a 3 m o superiore a 50 m, mentre, per tutte le altre zone definite nel paragrafo 5.4, è stata riportata la V_{sH} e la relativa profondità H.

I risultati ottenuti, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di V_{s30} o di V_{sH} da assumere per il calcolo dei fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 5.6.


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 (cfr. paragrafo 1.1), dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, ovvero: Langhirano (al quale è dedicata una tavola) e le frazioni di Casatico, Giarreto e Pastorello, Pilastro, Riano e Le Bore, Strognano, Tabbiano e Costa di Castrignano Torrechia (rappresentate su una seconda tavola).

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:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	61 di 70

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

Per la zona di suscettibilità per instabilità di Riano 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 (ci cui alla DGR 630/2019), paragrafo A2.1.1 - APPENNINO, in caso di substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s:

- Tabelle riportate in Tab. 11, quando il substrato sismico risulta affiorante o sub-affiorante, (cfr. Zona 1, 2 e 6)
- Tabelle riportate in Tab. 12, quando il substrato sismico non risulta affiorante o sub-affiorante (cfr. Zone 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 nel paragrafo)

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione PGA

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

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

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

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

Tab. 11 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso substrato marino non rigido, caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s, affiorante o subaffiorante (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

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 SAI ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)


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	1,4	1,3	1,3
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	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 ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

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 ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

Tab. 12 – Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso di coperture su substrato non rigido caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	64 di 70

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

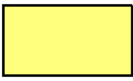









	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Fig. 35 – 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 gli Abachi.

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* (ASl_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un

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

determinato intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

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 INGV³ 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.


³ 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>

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	66 di 70

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI LANGHIRANO 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
- 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
- Engeo s.r.l. (2017): STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA CON APPROFONDIMENTI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO DEL COMUNE DI LANGHIRANO, con dichiarazione di conformità da parte della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica in data 19 luglio 2018
- 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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	67 di 70

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


- Marcellini A., Martelli L., Tenta A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- 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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	68 di 70

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI LANGHIRANO 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 DEL DISSESTO DA PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE DI PARMA. Sezioni 199110, 199120, 199150, 199160, 217030 e 217040, alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. Sezioni 199110, 199120, 199150, 199160, 217030 e 217040, 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 199 APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO 217 APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	69 di 70


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

7. ALLEGATI

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

Elaborato 1.a	Carta delle indagini – Settore Sud	scala 1:10.000
Elaborato 1.b	Carta delle indagini – Settore Nord	scala 1:10.000
Elaborato 2.a	Carta geologico-tecnica – Settore Sud	scala 1:10.000
Elaborato 2.b	Carta geologico-tecnica – Settore Nord	scala 1:10.000
Elaborato 3.a	Carta delle frequenze naturali dei terreni – Settore Sud	scala 1:10.000
Elaborato 3.b	Carta delle frequenze naturali dei terreni – Settore Nord	scala 1:10.000
Elaborato 4.a	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Settore Sud	scala 1:10.000
Elaborato 4.b	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Settore Nord	scala 1:10.000
Elaborato 5.a	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) – Settore Sud	scala 1:10.000
Elaborato 5.b	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) – Settore Nord	scala 1:10.000
Elaborato 6.a.1	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA} – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.a.2	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA} – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.1.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5}$ – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.1.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5}$ – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.2.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8}$ – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.2.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8}$ – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.3.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1}$ – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.3.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1}$ – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.4	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,5-1,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.1.1	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,1-0,5}$ – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.1.2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,1-0,5}$ – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.2.1	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,5-1,0}$ – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.2.2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,5-1,0}$ – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,5-1,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.d.1	Carta di microzonazione sismica - H_{SM} – Capoluogo	scala 1:5.000
Elaborato 6.d.2	Carta di microzonazione sismica - H_{SM} – Frazioni	scala 1:5.000
Elaborato 6.e.1	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,4-0,8 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.e.2	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,7-1,1 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.e.3	Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,5-1,5 s}$	scala 1:5.000

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Gennaio 2020	0	70 di 70