



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 Calestano



<p>Regione Emilia–Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Giulia Mainardi</p>	<p>Data Marzo 2018</p>
-----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------

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

INDICE

1.	Introduzione	2
1.1	Motivazione dello studio di 3° livello	3
1.2	Articolazione dello studio	4
2.	Indagini ed analisi	6
2.1	Sondaggio a carotaggio continuo	8
2.2	Prove di laboratorio	8
2.3	Prova Down-Hole	9
2.4	Misure di rumore sismico - HVSR	11
3.	Analisi di risposta sismica locale	13
3.1	Pericolosità sismica di base	13
3.2	Segnali in input	16
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	17
3.3.1	Litologia	17
3.3.2	Determinazione della Vs e del bedrock sismico	18
3.3.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G0) in funzione della deformazione	19
3.3.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL	22
3.3.5	Risultati della modellazione numerica	22
3.3.6	Risposta sismica locale Calestano	24
3.3.7	Risposta sismica locale Ravarano	27
3.4	Considerazioni sul metodo utilizzato	30
4.	Stabilità di versante	32
4.1	Metodo di verifica	32
4.2	Le ipotesi verificate	35
4.3	Frana di Ravarano	37
5.	Elaborati cartografici	41
5.1	Carte delle indagini	41
5.1	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	42
5.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	43
5.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	45
5.4	Carte delle velocità delle onde di taglio S	48
5.5	Carte di microzonazione sismica	49
5.5.1	Attribuzione dei fattori di amplificazione	49
6.	Bibliografia	55
7.	Allegati	57

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	1 di 57

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CALESTANO 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 III livello del Comune di Calestano*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° 226 del 25/08/2017) e finanziato con contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016 e decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21 giugno.

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

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale è stato preso in esame l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	2 di 57

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

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 6.

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 4.0.

1.1 Motivazione dello studio di 3° livello

Il Comune di Calestano è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di 2° livello, certificato dalla Regione Emilia Romagna nel gennaio 2015 (prot. PG.2015.0033658).

Nell'ambito di tale studio, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto dal 2° livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Durante tale studio si era, però, 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 al presente studio sismico, è emerso che parte dell'abitato di Ravarano è interessato da una frana quiescente per scorrimento su cui ricade un Area di gestione delle emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	3 di 57

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CALESTANO 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 consistito pertanto nelle seguenti fasi:

1. individuazione di un'area rappresentativa di una situazione stratigrafica tipo definita nell'analisi precedente;
2. realizzazione per tale area di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m con prelievo di campioni e realizzazione di prova Down-hole per la misura in foro delle Vs;
3. realizzazione sul sito di Ravarano quattro misure sismiche di microtremori (HVSJ);
4. Aggiornamento delle cartografie di primo livello con dati delle nuove indagini e secondo gli standard più recenti:
 - a. Carta delle indagini
 - b. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
 - c. Carta geologico-tecnica
 - d. Carte delle Frequenze?
 - e. Carta delle MOPS
5. realizzazione di prove di colonna risonante sui campioni per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G₀) in funzione della deformazione;
6. valutazione della riposta sismica locale, per i due siti indagati, mediante il programma Strata che calcola la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo;
7. calcolo dei fattori di amplificazione, per i due siti indagati, 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;
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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	4 di 57

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:

- a. FA_{PGA}
- b. $FA_{IS\ 0.1-0.5}$
- c. $FA_{IS\ 0.5-1.0}$
- d. $FA_{IS\ 0.5-1.5}$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	5 di 57

2. INDAGINI ED ANALISI

La prima area di indagine è stata individuata, in accordo con i Tecnici del Comune, principalmente sulla base degli studi di secondo livello.

Si tratta della zona inserita nel centro di Calestano, nella cosiddetta "Zona 5" secondo la classificazione delle microzone omogenee in prospettiva sismica, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi, di spessore medio pari a circa 15.00 m.

Nella sottostante Fig. 1 si riporta l'ubicazione su base CTR.

In tale punto d'indagine è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo, dal quale è stato prelevato un campione indisturbato su cui è stata eseguita una prova in colonna risonante. Successivamente nel foro di sondaggio, opportunamente attrezzato, è stata fatta una prova sismica di tipo Down-Hole.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle suddette indagini è stata eseguita un'analisi di risposta sismica locale.



Fig. 1 - Ubicazione del punto di indagine a Calestano

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

La seconda area di indagine è ubicata a Ravarano nel settore nord-ovest dell'abitato, tale area è interessata da una frana per scorrimento quiescente.

Essendo presente un campo da calcio che risulta essere un'Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero) si è provveduto ad eseguire anche qui approfondimenti di terzo livello.

Nello specifico è stata eseguita un'analisi di risposta sismica locale e una verifica di stabilità del corpo di frana.

L'area è stata indagata mediante la realizzazione di quattro misure di rumore sismico (HVSR) dalle quali, oltre ai valori di frequenza fondamentale del sito, si sono ottenuti profili di velocità Vs.

Nella sottostante Fig. 2 si riporta l'ubicazione su base CTR.

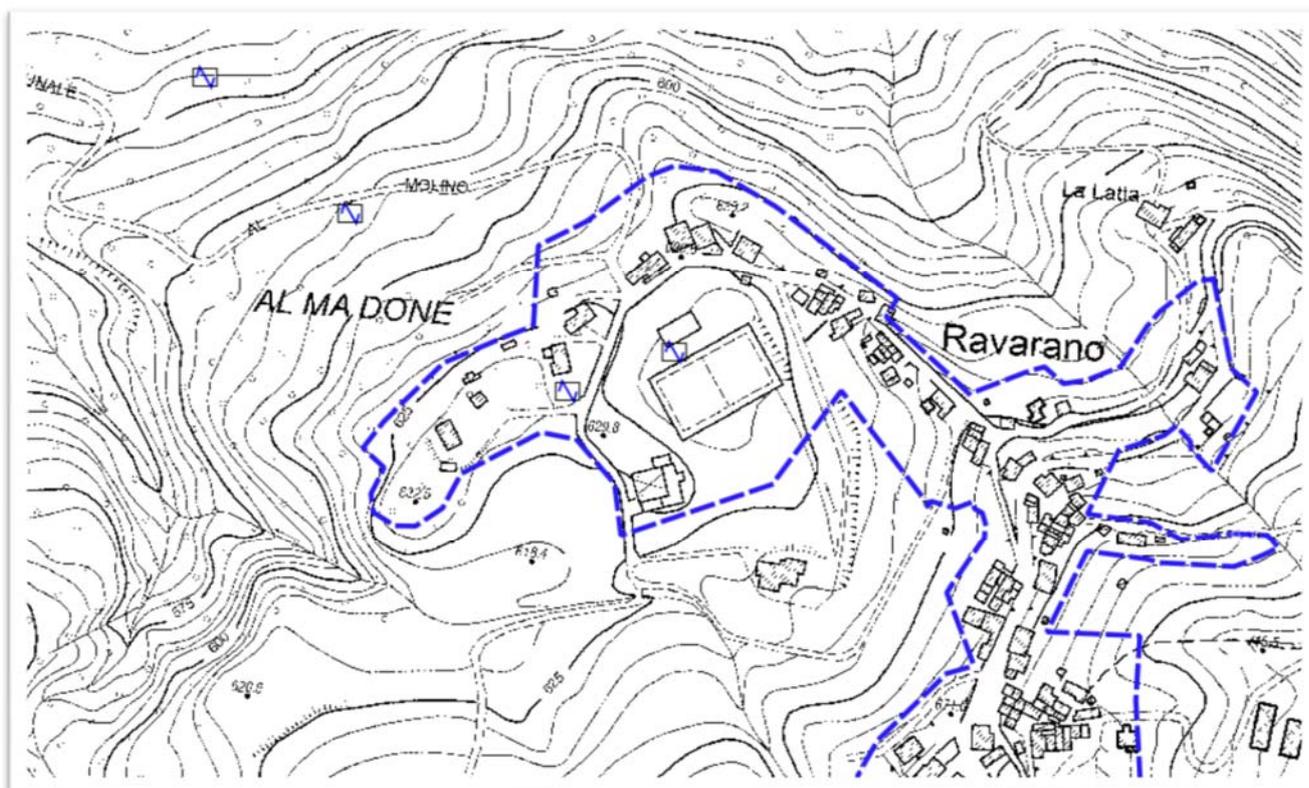


Fig. 2 - Ubicazione dei punti di indagine a Ravavrano

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	7 di 57

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

2.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Nella campagna d'indagine è stato eseguito, da parte della ditta Elletipi s.r.l. di Ferrara, un sondaggio verticale a carotaggio continuo (S1) spinto ad una profondità di 30.0 metri dal piano campagna.

Il sondaggio è stato poi attrezzato con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici per l'esecuzione della prova Down-hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici. Nel corso delle operazioni di perforazione è stato prelevato un campione indisturbato (usando un campionatore in acciaio a pareti sottili "Shelby"), successivamente inviato al Laboratorio Elletipi per le analisi.

Nella litostratigrafia allegata sono riportate:

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

2.2 Prove di laboratorio

Il campione prelevato durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo è stato inviato al Laboratorio Elletipi srl di Ferrara per le analisi geotecniche.

Per il campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione dei limiti di Atterberg;
- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume;
- Determinazione dell'umidità naturale.

Inoltre sul campione, essendo indisturbato, è stata eseguita una prova in colonna risonante per la determinazione dei parametri G/G₀ e D.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato e descritti nel paragrafo 3.3.3.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	8 di 57

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

2.3 Prova Down-Hole

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

Il tubo in PVC, inserito appositamente per permettere la prova, è stato reso solidale con il terreno mediante 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, ad una profondità di 30 metri, 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 orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 e del Modulo di Young E.

Le prove sismiche Down-Hole, sono eseguite 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 S) 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	9 di 57

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. 3 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S, necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.

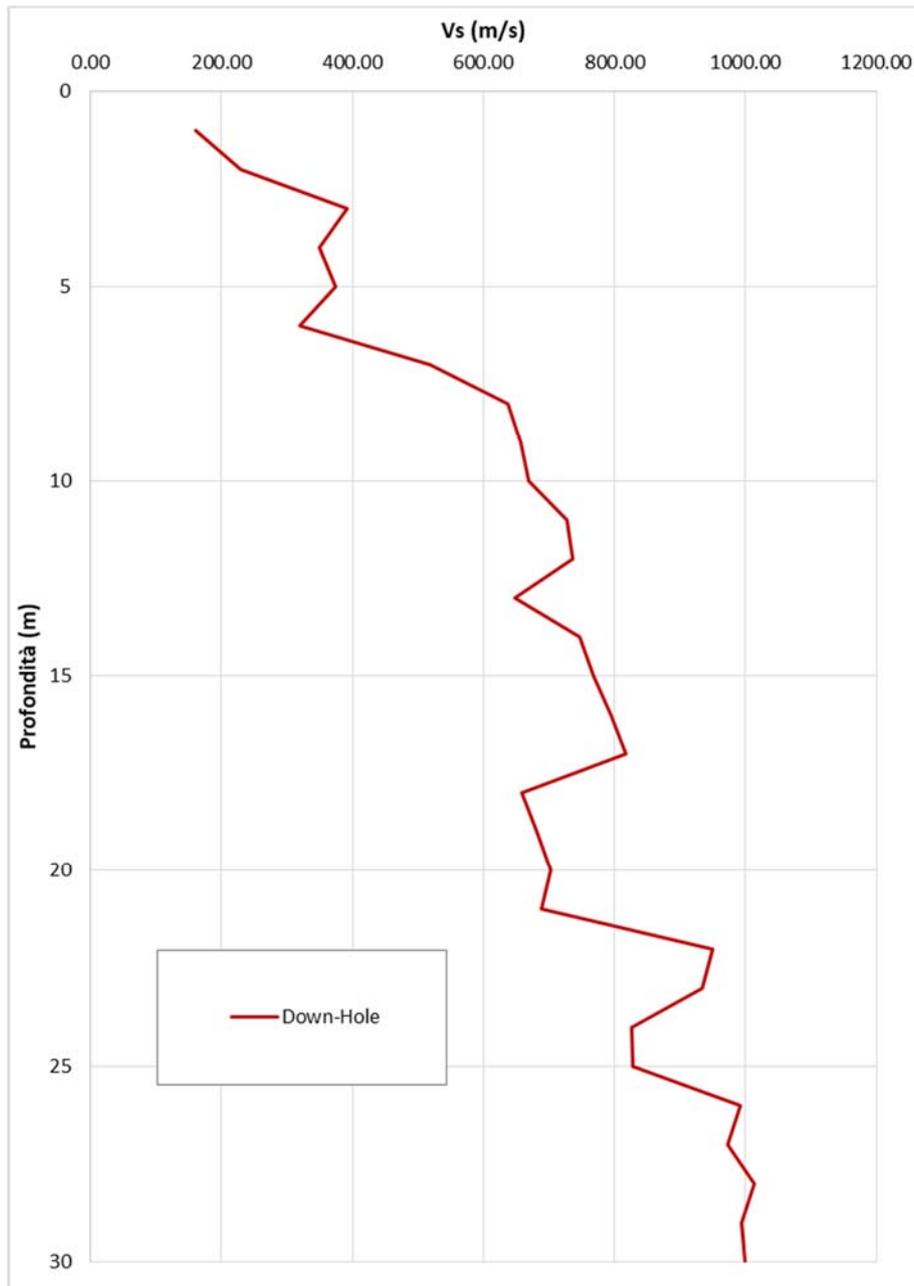


Fig. 3 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati con la prova Down-hole

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	10 di 57

2.4 Misure di rumore sismico - HVSR

Per gli approfondimenti di 3° livello sul sito di Ravarno sono state realizzate n. 4 misure di microtremore a stazione sismica (HVSR) allineate secondo una sezione caratteristica del corpo di frana.

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 20 minuti).

Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, di cui si riporta un'immagine esemplificativa in Fig. 4) e spettri delle singole componenti (componente verticale del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni, esempio in Fig. 5).

A riguardo, va sottolineato come il confronto fra questi due tipi di grafici consenta di distinguere i picchi di frequenza dovuti a disturbi nel corso della misurazione, in cui tutte le componenti hanno lo stesso andamento, da quelli dovuti a motivi stratigrafici, in cui la componente verticale, a differenza delle altre due, presenta un minimo locale .

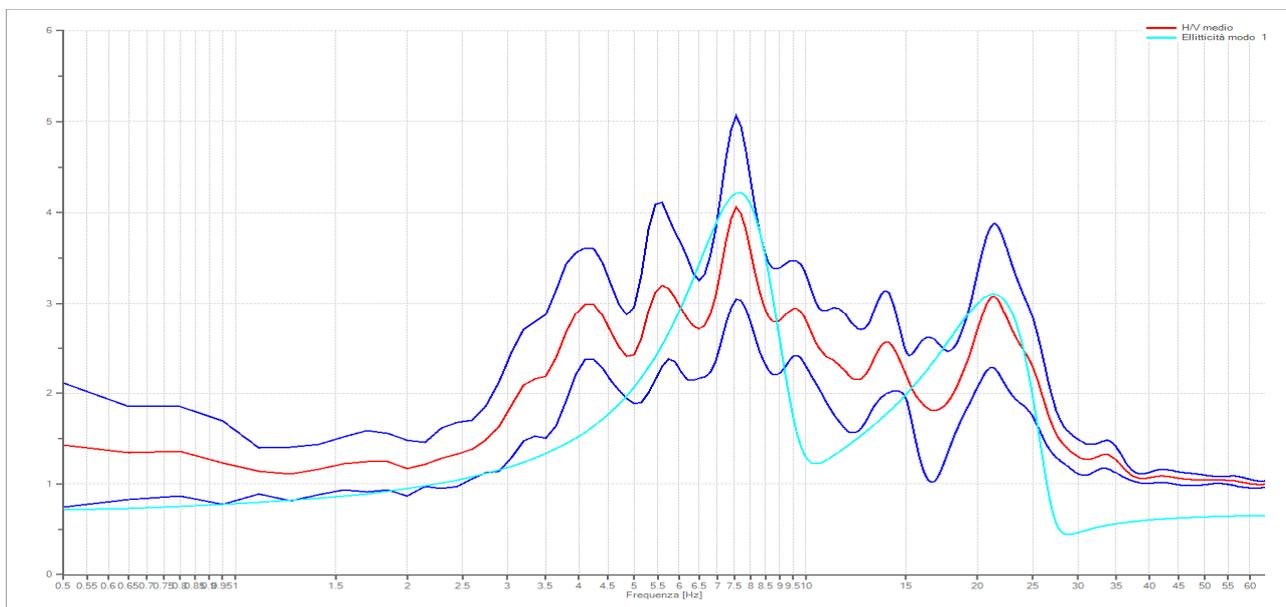


Fig. 4 - Elaborazione delle misure registrate dal tromografo: rapporto spettrale orizzontale su verticale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	11 di 57

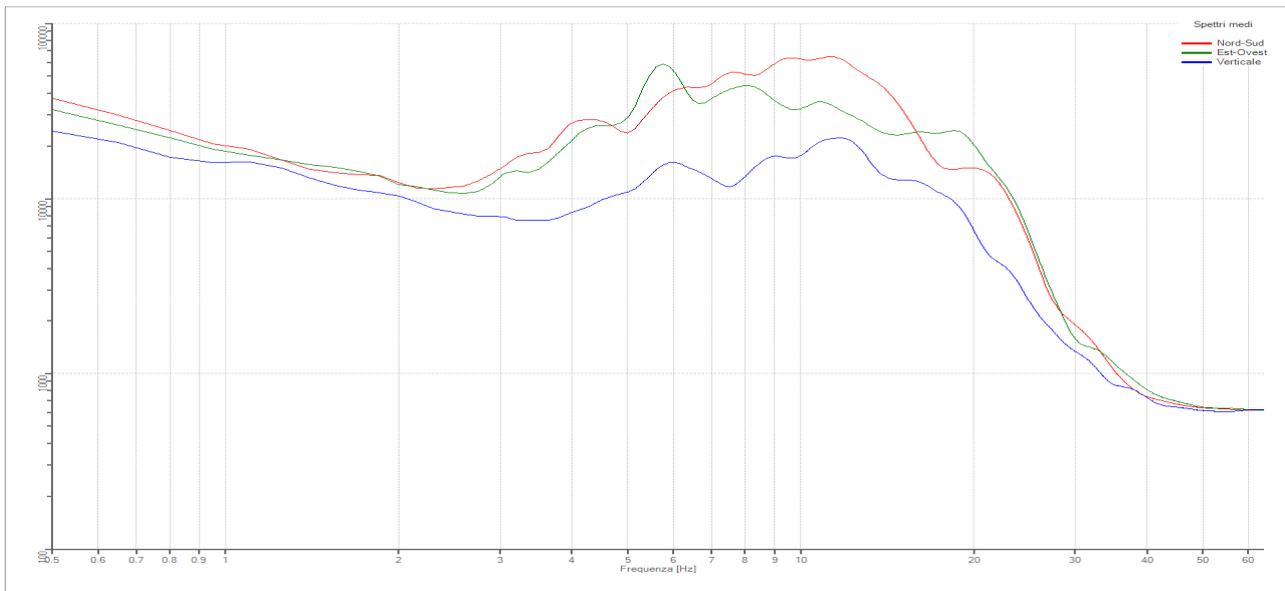


Fig. 5 - Grafico con spettri delle singole componenti

Dalla prova tomografica è possibile ottenere due informazioni: la frequenza di risonanza caratteristica del sito (Nakamura Y., 1989) e la velocità media delle onde di taglio Vs (Castellaro S e Mulargia F., 2009).

Per determinare la velocità delle onde di taglio Vs è stata utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavato attraverso il rilievo tomografico.

La relazione seguente lega tra di loro parametri quali la frequenza di risonanza del terreno (f), la velocità delle onde S (Vs) e la profondità della base dello strato (H):

$$f(Hz) = \frac{Vs}{4H}$$

Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, ottenuta, per esempio, attraverso l'esecuzione di un sondaggio, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando una curva sintetica la quale ha la funzione di approssimare, nel miglior modo possibile, i picchi di frequenza registrati dal tomografo, in modo da ricavare la Vs media per ogni singolo strato.

I report completi sono riportati nell'Elaborato 13.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	12 di 57

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

3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale, valide per il due siti indagati.

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.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

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

Per i punti di indagine il parametro a_{refg} risultano i seguenti (Tab. 1)

<i>Sito</i>	<i>$a_{refg} (a_g/g)$</i>
Calestano	0.159
Ravarano	0.164

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

Di conseguenza, gli spettri elastici di risposta in accelerazione (Fig. 6) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, e i conseguenti spettri di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 7), sono rappresentati nella pagina successiva.

Come si può facilmente constatare, essendo le accelerazioni su suolo di tipo A (suolo rigido) molto simili tra loro, i grafici si differenziano di poco.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	13 di 57

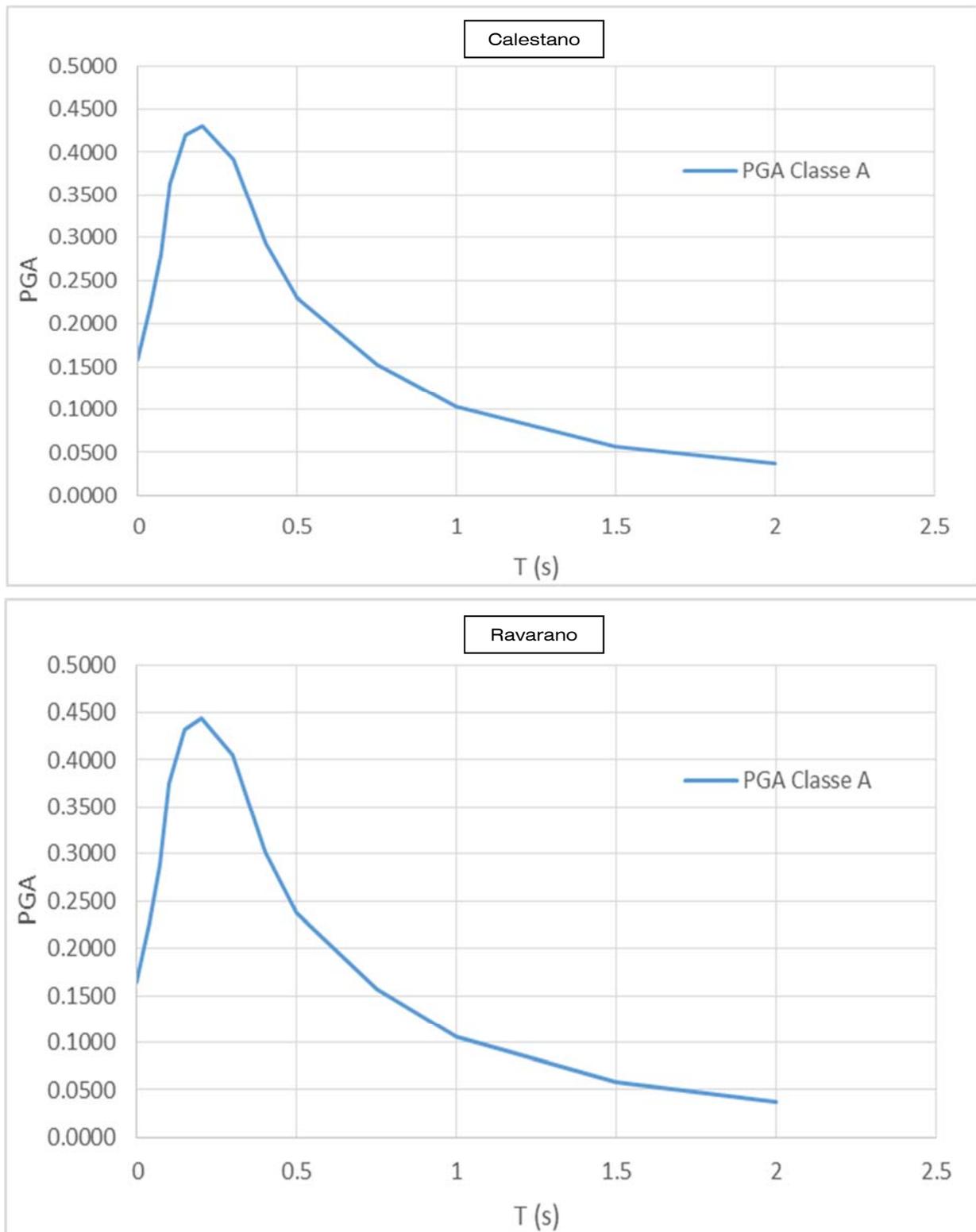


Fig. 6 - Spettro di risposta elastici in accelerazione su suolo A (475Y)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	14 di 57

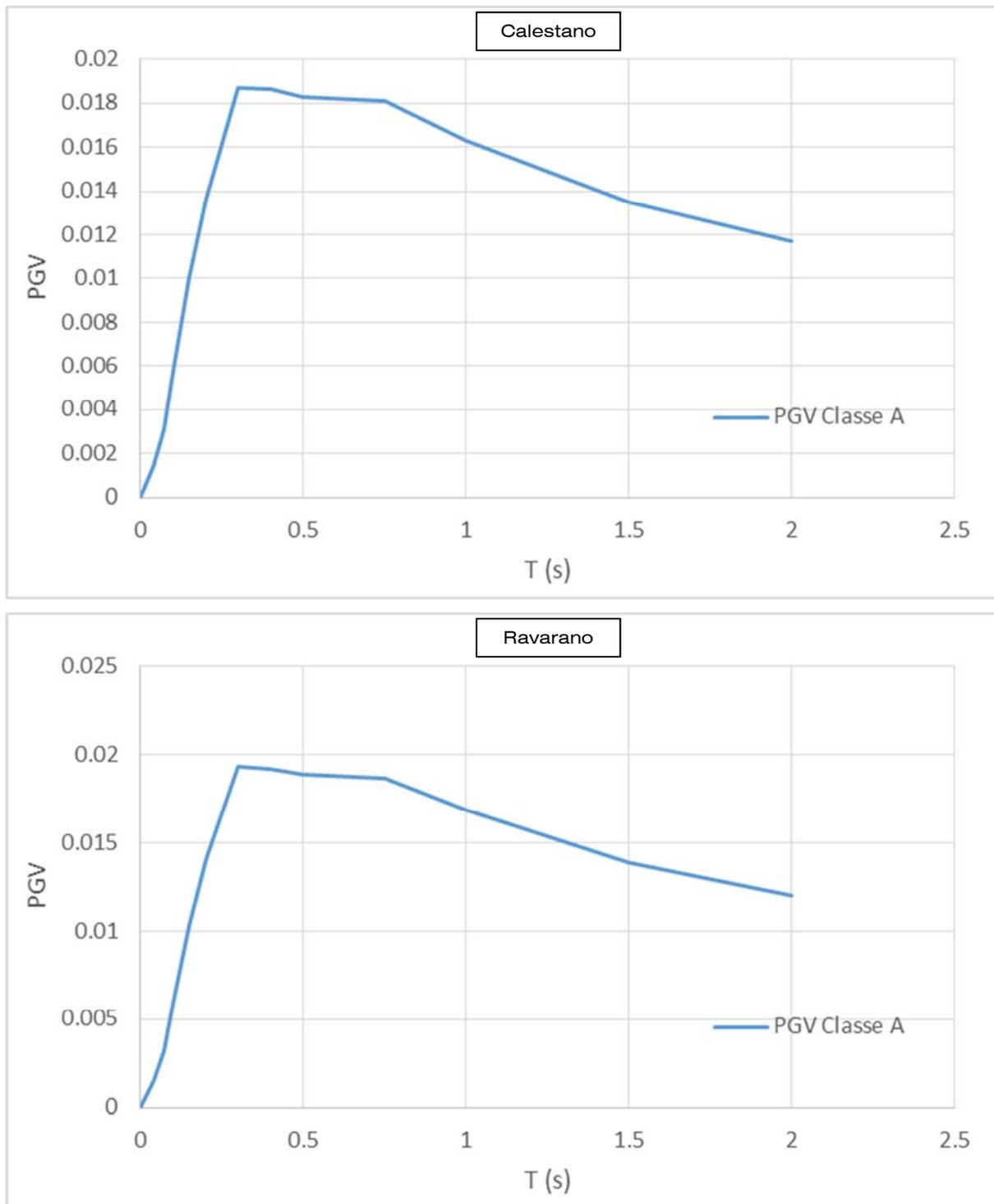


Fig. 7 - Spettro di risposta elastici in velocità su suolo rigido (475Y)

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

3.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015¹, anche quelli forniti dal software SEISM-HOME² 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 nella banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 6, mentre, nel caso di SEISM_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; SEISM-HOME, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.

Per i siti indagati sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino ossia il (16269) per Calestano e il nodo (16269) per Ravarano, nonostante si tratti di nodi differenti i sismi forniti risultano i medesimi.

Nel complesso, quindi, per il sito, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 8). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER e indicato in Tab. 1.

Segnali RER	Segnali Seism-Home
000046xa	ESD 000764xa
000126xa	ESD 000182xa
000354xa	ESD 000234ya
	NGA 0455y
	NGA 1033y
	KNET1 SAG0010503201053
	ITACA 20090406_013239ITDPC_ASS__NSC

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

¹ disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica

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	Marzo 2018	0	16 di 57

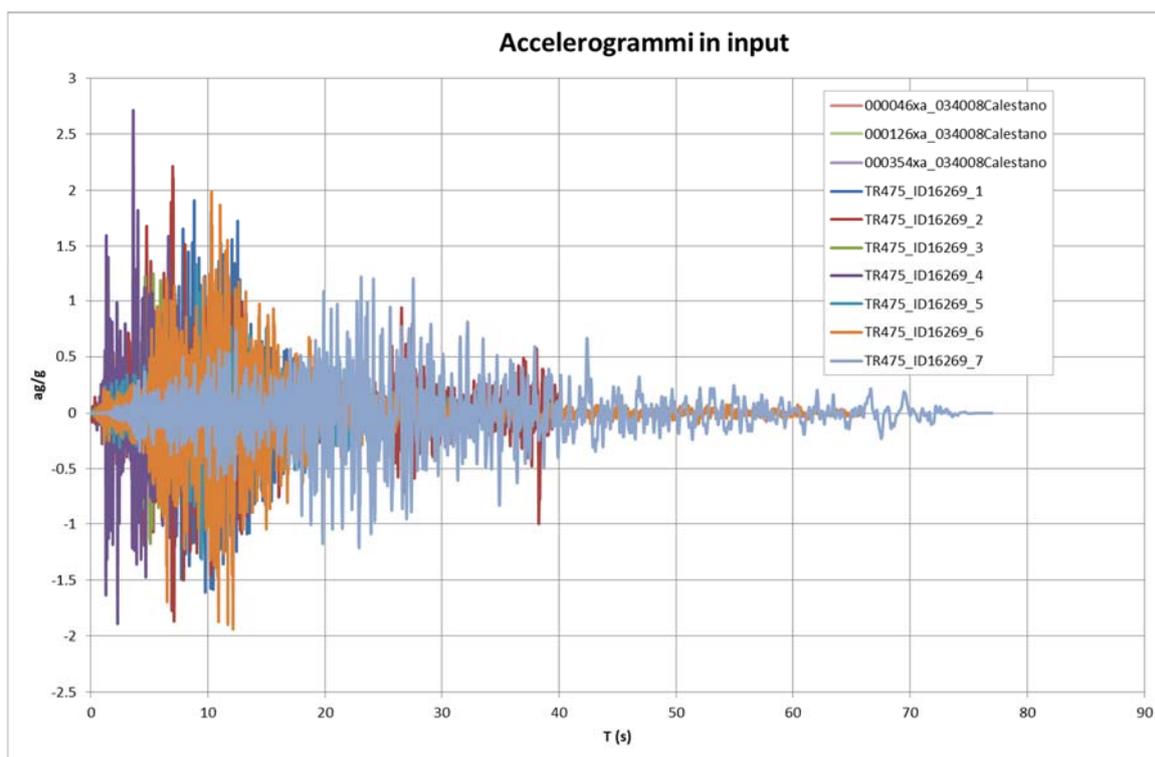


Fig. 8 - Segnali di input nell'analisi di RSL

3.3 Modello geofisico del sottosuolo

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

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

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

3.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, per quanto riguarda il sito di Calestano, i dati della stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo appositamente realizzato in sito (cfr. § 2.1); per il sito di Ravarano sono stati utilizzati i risultati di indagini pregresse e le sismostratigrafie ottenute dalle prove HVSR realizzate.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	17 di 57

3.3.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico

Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità per il sito di Calestano si è fatto riferimento alle misure della prova Down-Hole fino alla massima profondità indagata (cfr. § 2.3), mentre per il sito di Ravarano il profilo di Vs e l'identificazione del bedrock derivano dai risultati delle misure di rumore sismico (HVSR) realizzate.

I dati di Vs registrati nel corso della prova down-hole sono stati discretizzati per ottenere un modello semplificato, necessario per l'utilizzo nel codice di calcolo.

Ovviamente, per semplificare il modello da adottare nell'elaborazione di RSL, la curva di Vs con la profondità, misurata per ogni metro nella prova DH, è stata discretizzata in strati sufficientemente omogenei, come illustrato nella Fig. 9.

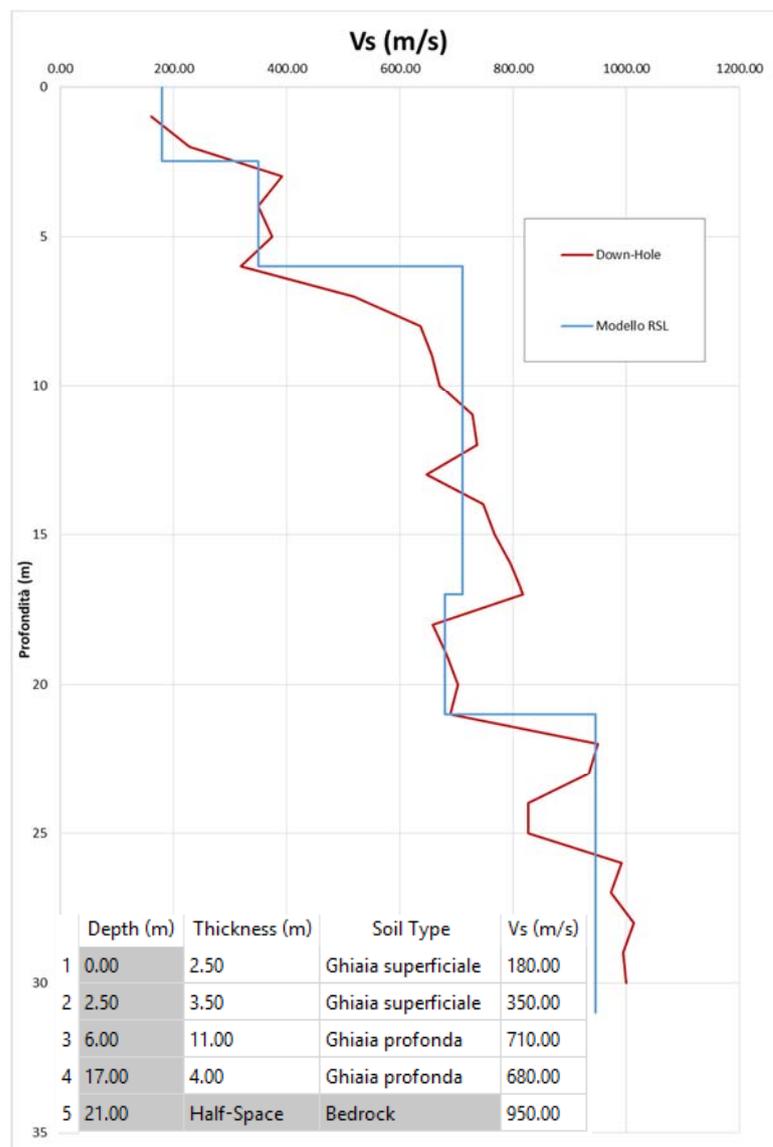


Fig. 9 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico con codice di calcolo

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

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

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G₀) in funzione della deformazione di taglio, è stata realizzata, per quanto riguarda l'argilla marnosa in profondità, una prova di laboratorio in colonna risonante sul campione DH1SH1 prelevato nel corso del sondaggio (Calestano).

I parametri sismici per le ghiaie, invece, sono stati desunti da letteratura (Rollins³).

Per quanto riguarda il sito di Ravarano, per i terreni di frana, si è fatto riferimento ai dati pubblicati da Madiai⁴, relativamente alla frana di Spinello; per la copertura fine superficiale sono state utilizzate le curve di EPRI⁵ per i terreni coesivi, variabili in funzione dell'Indice di Plasticità, nello specifico si è usato una curva relativa a un PI=50.

Le curve ottenute dal campione prelevato nel foro di sondaggio sono state ricostruite, partendo da dati di laboratorio, applicando le leggi di variazione dei parametri D e G/G₀ mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

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

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

Dove:

G/G₀ = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

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

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

³ Rollins, K.M., Evans, M.D., Diehl, N.B. & Daily, W.D. (1998) "Shear modulus and damping relationships for gravels". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*. 124(5): 396-405.

⁴ 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.

⁵ EPRI (1993) – Guidelines for determining design basis ground motions TR-102293s-V1-V5

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	19 di 57

In Fig. 10 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione DH1SH1.

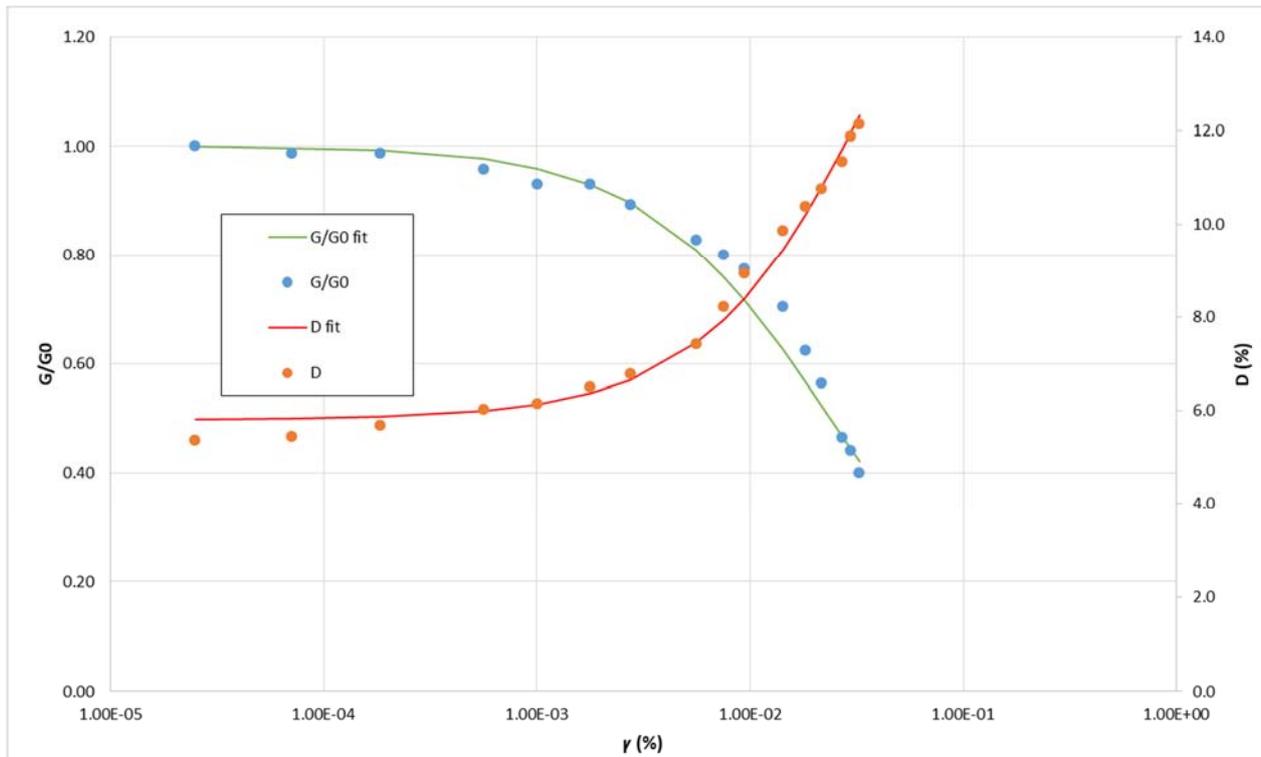


Fig. 10 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione DH1SH1

I grafici di G/G_0 e D , per tutti i tipi di terreno utilizzati, diagrammati in funzione dello sforzo sono riportati in Fig. 11, mentre i fattori caratteristici α , β , η e λ ottenute dall'applicazione delle formule espresse sopra sono riportati in Tab. 3.

Litologia	Parametri curve G/G_0 e D			
	α	β	η	λ
DH1SH1	41.86	1.00	21.30	1.30

Tab. 3 - Riepilogo dei parametri

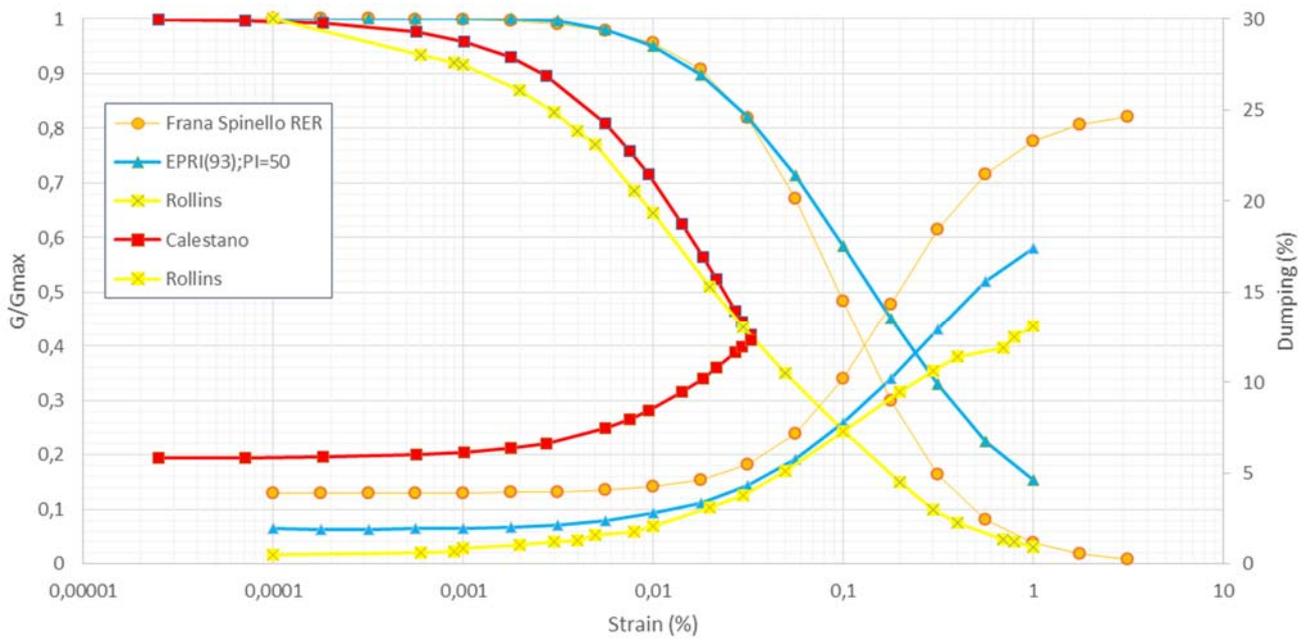


Fig. 11 - Grafico delle curve di interpolazione di G/G_0 e di D

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

3.3.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata⁶ sviluppato da A. Kottke e E. Rathje⁷. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer⁸, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidità e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

3.3.5 Risultati della modellazione numerica

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, 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;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula $PSV(T_i) = T_i * PSA(T_i) / 2\pi$, lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); 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;

⁶ Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

⁷ Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

⁸ Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	22 di 57

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

- 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;
- Il 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 (cfr. Fig. 7). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

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 dello spettro elastico in velocità da RSL confrontato con quello su suolo rigido fornito dalla Regione Emilia Romagna. Da tale grafico vengono calcolati, per integrazione, negli intervalli indicati i fattori di amplificazione $FA_{IS0,1-0,5\ s}$, $FA_{IS0,5-1,0\ s}$, $FA_{IS0,5-1,5\ s}$.
- Il grafico della variazione dell'accelerazione con la profondità.
- La tabella con i vari fattori di amplificazione calcolati.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	23 di 57

3.3.6 Risposta sismica locale Calestano

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)
Ghiaia superficiale	2.50	0.00	21.0	180.00
Ghiaia superficiale	3.50	2.50	21.0	350.00
Ghiaia profonda	11.00	6.00	21.0	710.00
Ghiaia profonda	4.00	17.00	21.0	680.00
Bedrock		21.00	22.0	950.00

Tab. 4 – Modello geofisico

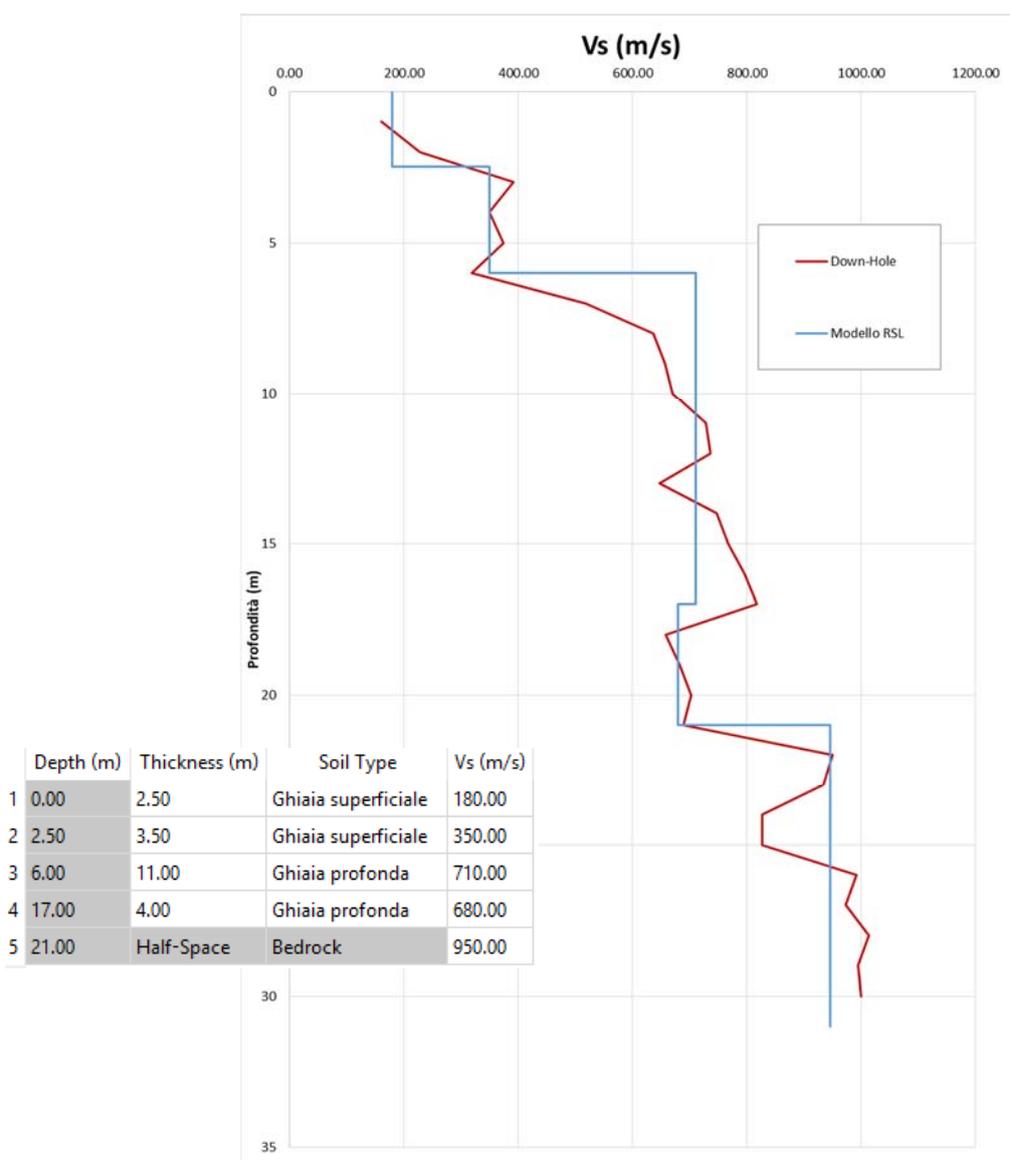


Fig. 12 – Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

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

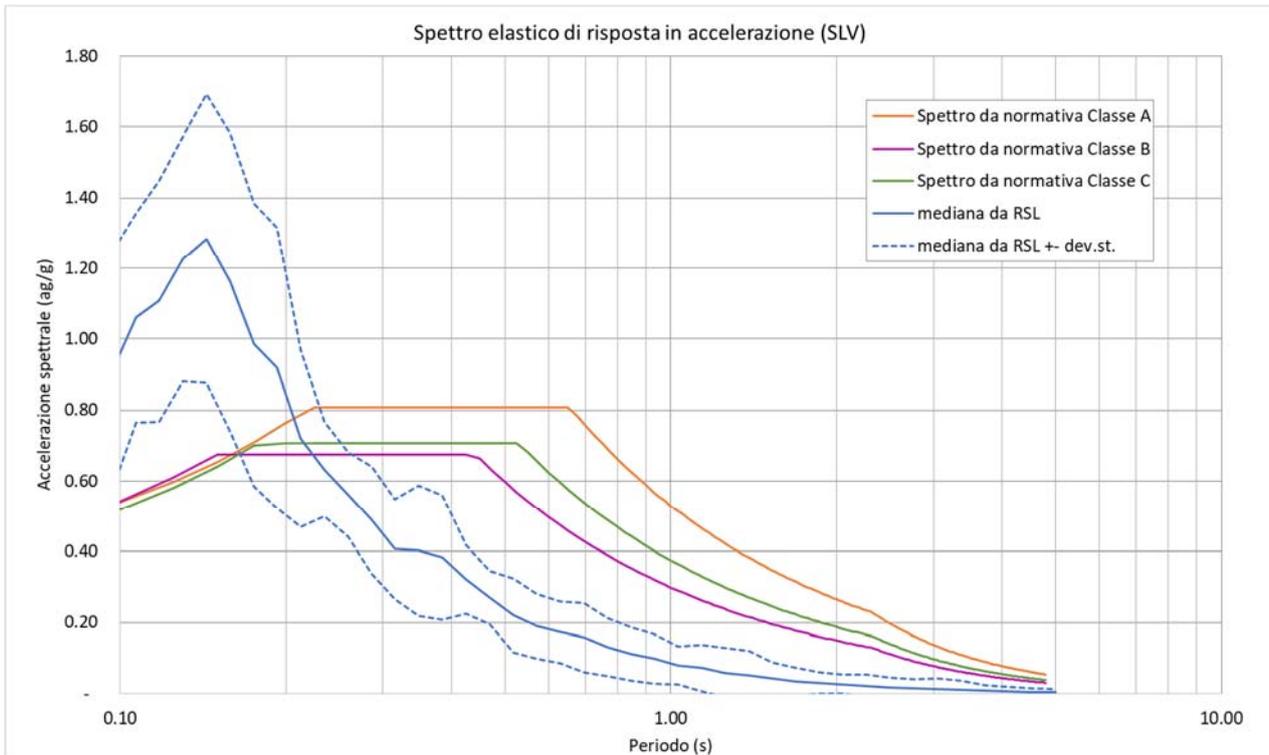


Fig. 13 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione per S1

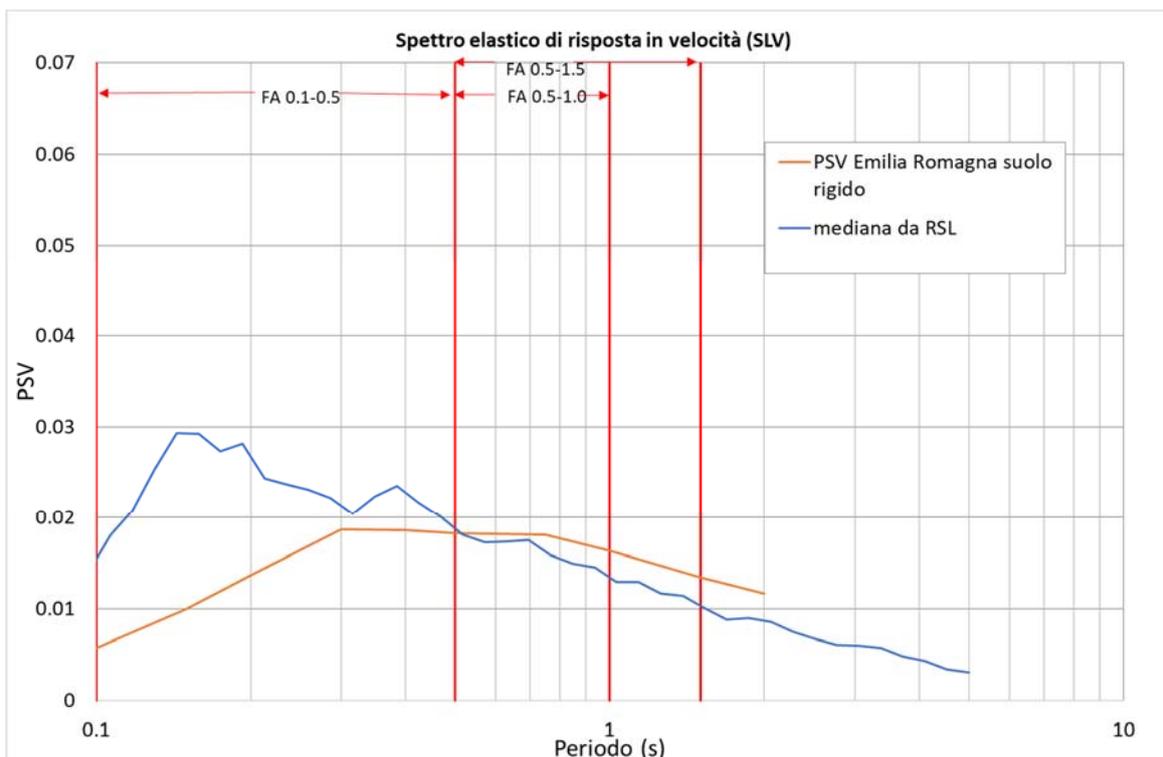


Fig. 14 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	25 di 57

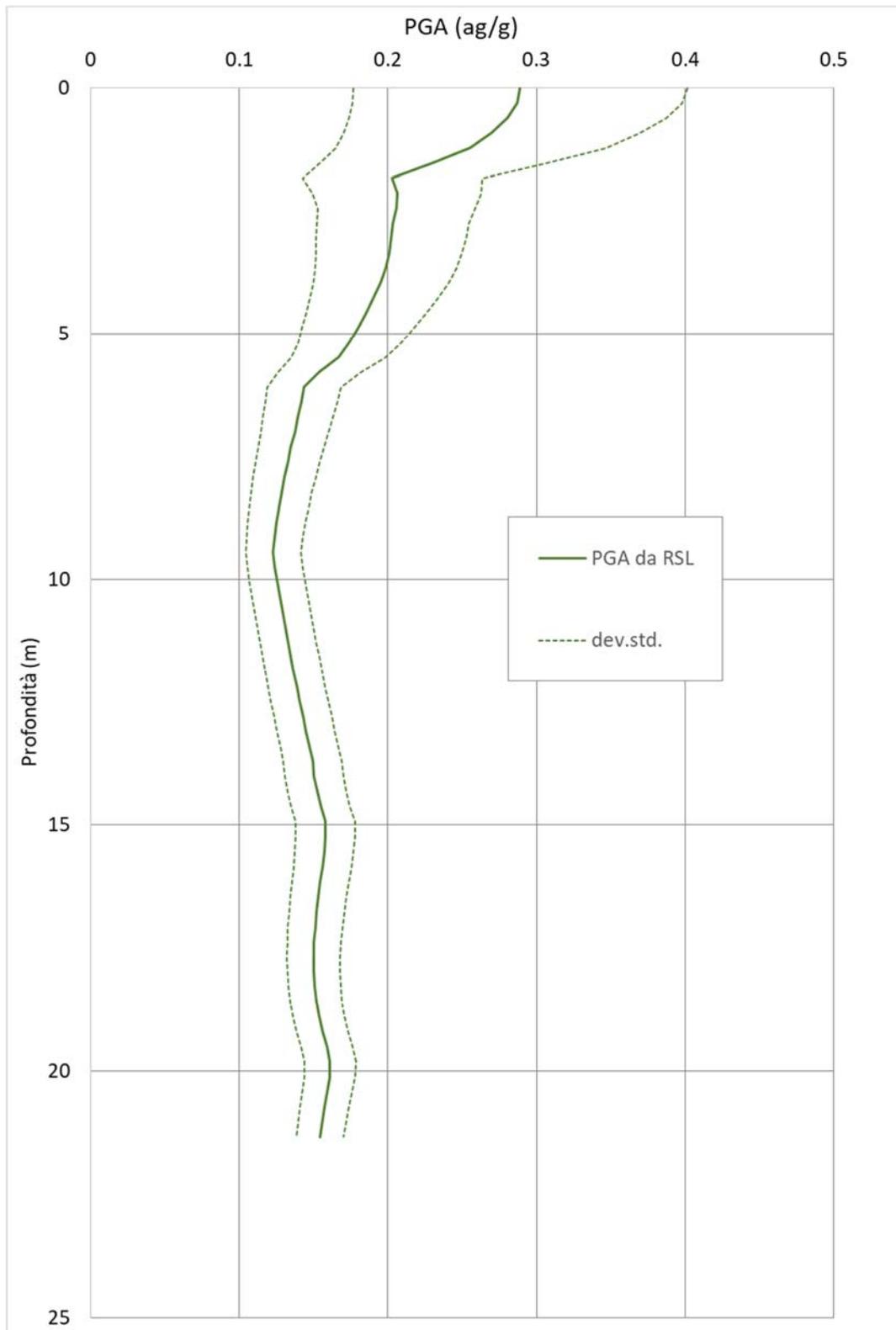


Fig. 15 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	26 di 57

	RSL
FA_{PGA}	2.35
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.55
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	0.89
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	0.84

Tab. 5 - S1 - Fattori di amplificazione

3.3.7 Risposta sismica locale Ravarano

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)
Copertura fine	1.20	0.00	18.0	110.00
Frana	12.20	1.20	20.0	410.00
Bedrock		13.40		900.00

Tab. 6 - Modello geofisico

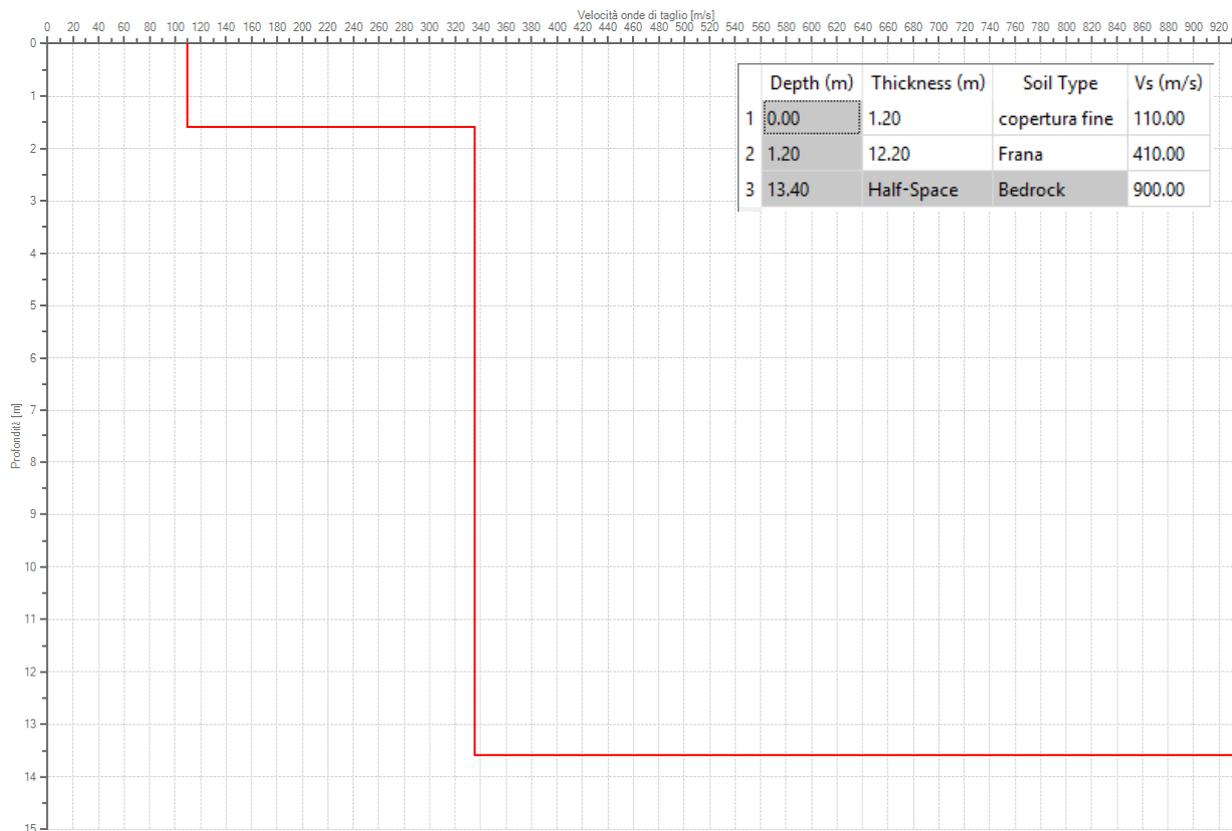


Fig. 16 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

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

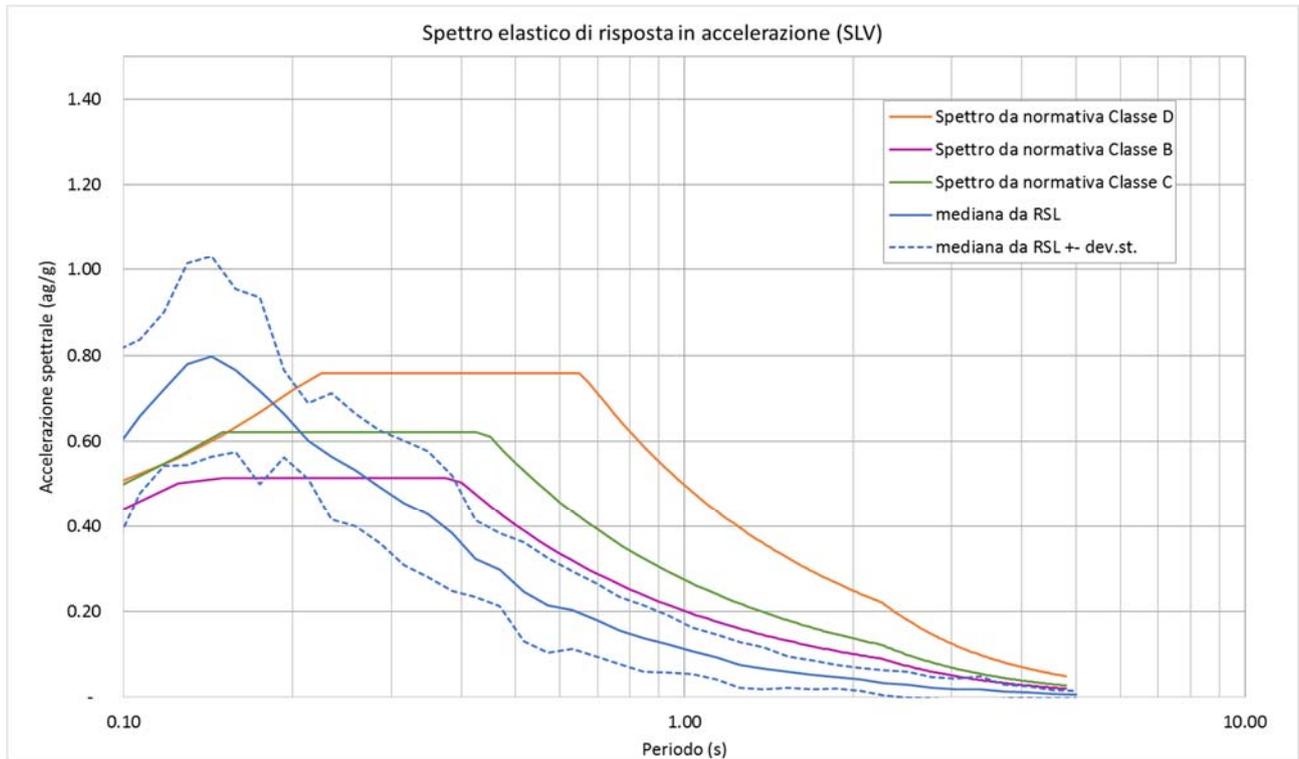


Fig. 17 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione per il sito di Ravavrano

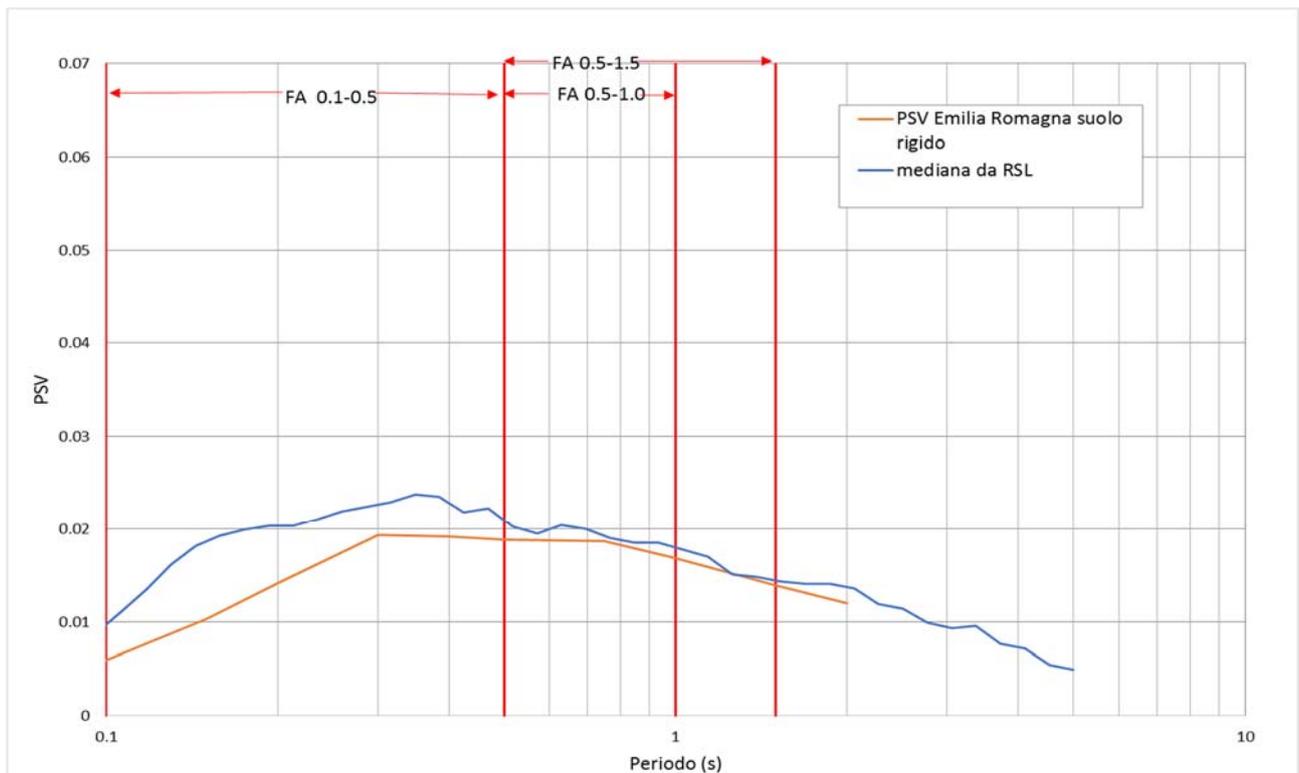


Fig. 18 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	28 di 57

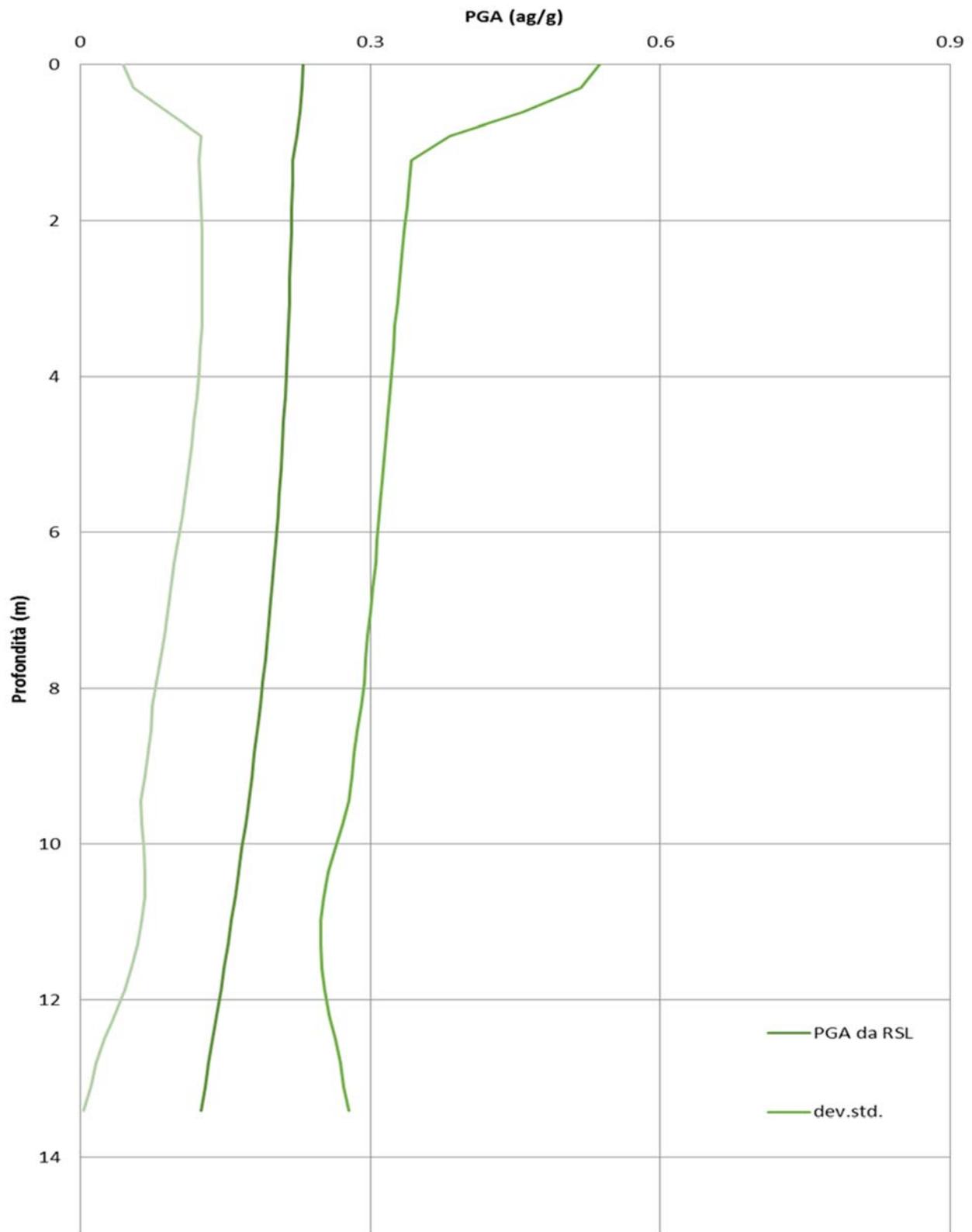


Fig. 19 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	29 di 57

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

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

	RSL
FA_{PGA}	1.82
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.32
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.05
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.04

Tab. 7 - S1 - Fattori di amplificazione

3.4 Considerazioni sul metodo utilizzato

La definizione del *bedrock* sismico, cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s, costituisce un elemento di notevole importanza nell'ambito delle valutazioni di risposta sismica locale.

Calestano (come discusso nello studio di 1° e 2° livello) interessa principalmente una superficie terrazzata, costituita da depositi alluvionali a differente tessitura, soprattutto ghiaiosa, con spessori variabili, stimati mediamente pari a 20 m in adiacenza al torrente e a 5 m in vicinanza del versante al di sotto dei quali è presente il substrato roccioso (come riportato in Fig. 20). Tale assetto stratigrafico è stato rinvenuto anche con il sondaggio a carotaggio continuo effettuato per lo studio di microzonazione sismica di 3° livello.

Infatti, al di sotto dei 21 m di depositi alluvionali è presente il substrato roccioso coincidente con la marna. Detto *bedrock*, costituito dalla formazione del Flysch di Monte Sporno (membro di Calestano e membro di Armorano), presenta una velocità superiore ai 900 m/s, ma il contrasto di impedenza con le ghiaie soprastanti è modesto, visto che queste ultime presentano velocità V_s di circa 700 m/s.

Per la risposta sismica del sito indagato sono risultate più significative, in termini di amplificazione locale, le differenze di velocità all'interno delle ghiaie. Il primo banco ghiaioso, infatti, con spessore di 2.50 m presenta velocità V_s di soli 180 m/s. La velocità V_s aumenta poi a circa 350 m/s fino circa 6 m di profondità, per poi passare improvvisamente a 710 m/s. E' evidente che è questo contrasto a risultare particolarmente significativo.

E' altrettanto evidente che anche le misure delle prove HVSR tendono a segnalare tale contrasto e non il vero e proprio *bedrock* sismico, che è posto alla profondità di 21 m da p.c.

Per quanto riguarda Ravarano, le indagini HVSR hanno evidenziato la presenza del *bedrock* alla base della frana.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	30 di 57

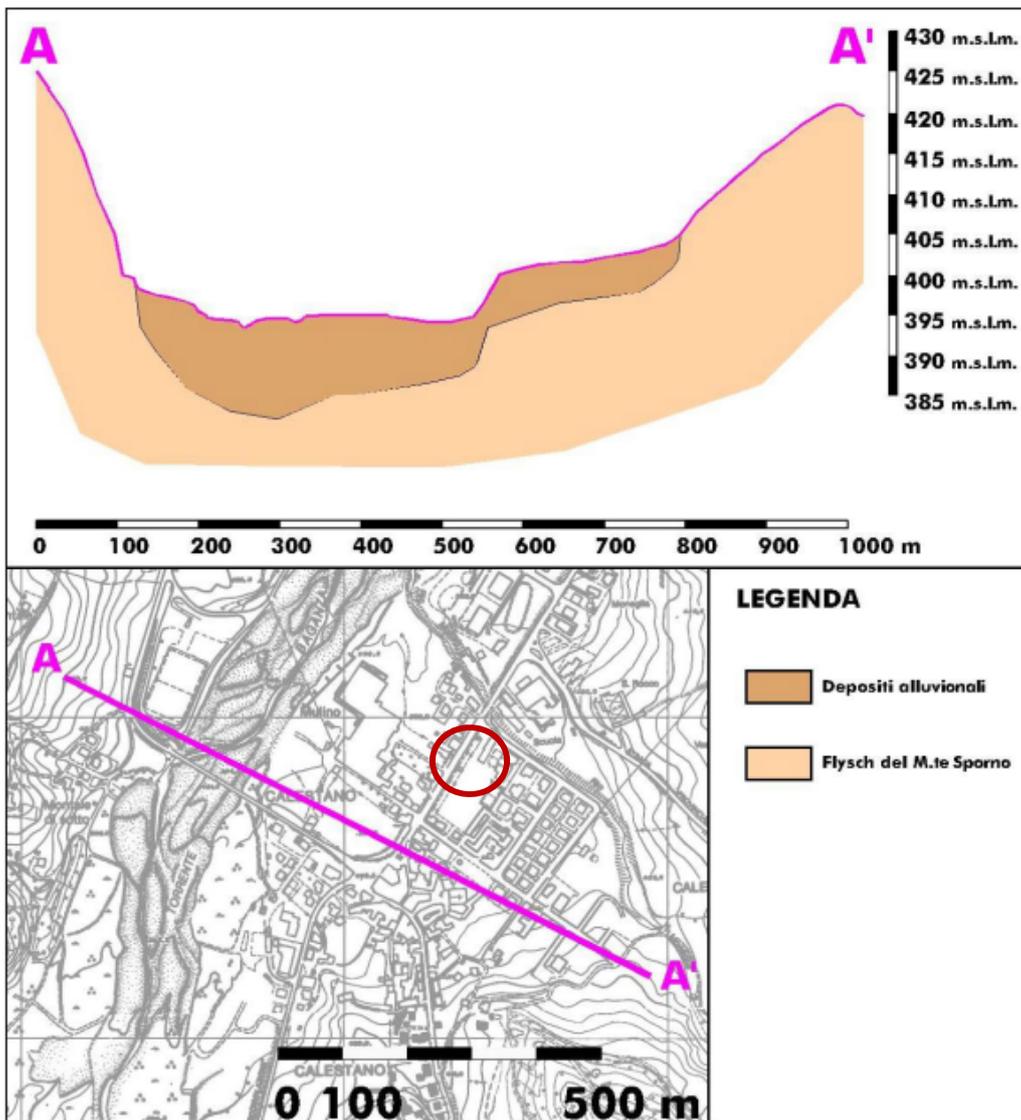


Fig. 20 - Sezione geologica Calestano

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	31 di 57

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

4. STABILITÀ DI VERSANTE

Come già anticipato nelle premesse, dell'analisi delle condizioni limite per le emergenze (CLE), realizzata contestualmente al presente studio sismico, è emerso che parte dell'abitato di Ravarano è interessato da una frana quiescente per scorrimento su cui ricade un Area di gestione dell'emergenza (di tipo Ammassamento - Ricovero).

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

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 strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_j 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. 21.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	32 di 57

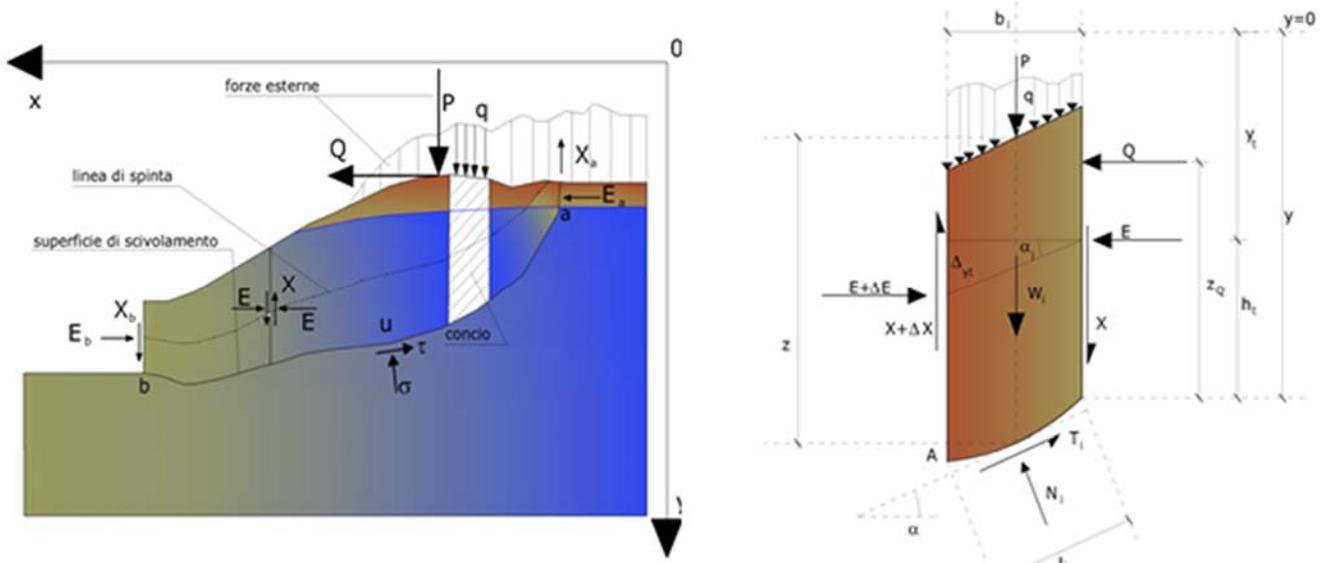


Fig. 21 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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

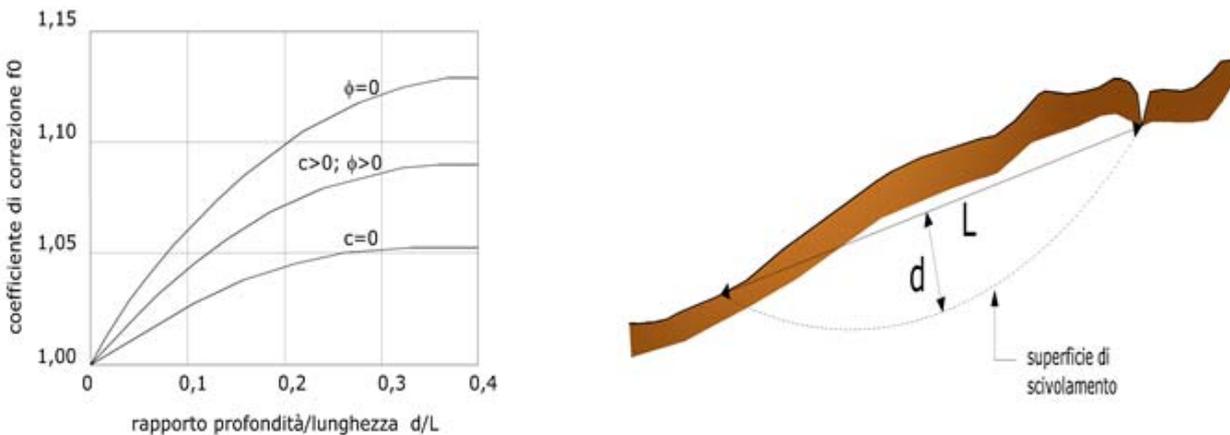


Fig. 22 - Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	33 di 57

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

all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità g e i coefficienti moltiplicatori di g (K_x e K_y) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

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

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

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

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

L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (cfr. Fig. 23).

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. 24).

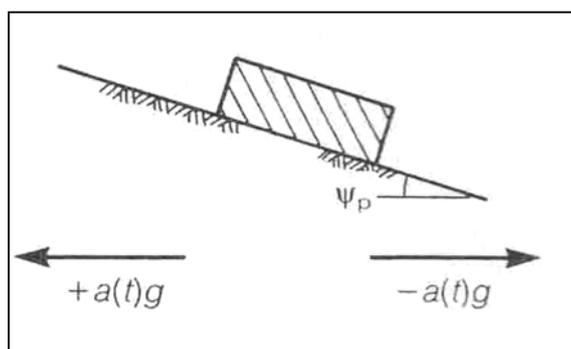


Fig. 23 - Schematizzazione del metodo di *Newmark*

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	34 di 57

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).

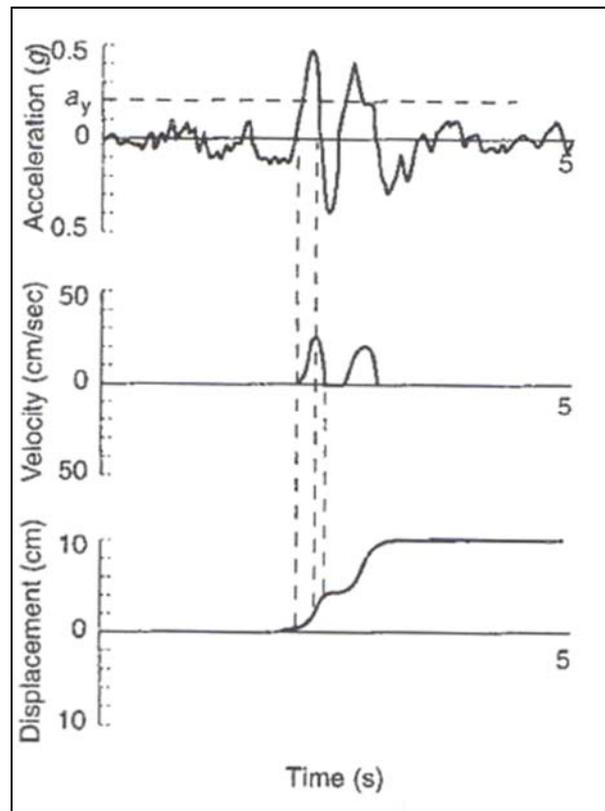


Fig. 24 - Esempificazione della metodologia di *Newmark*, con doppia integrazione dell'accelerogramma

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

4.2 Le ipotesi verificate

La verifica è stata effettuata sulla zona di attenzione per instabilità di versante presente a Ravarano 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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	35 di 57

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. 25).

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

Back Analysis

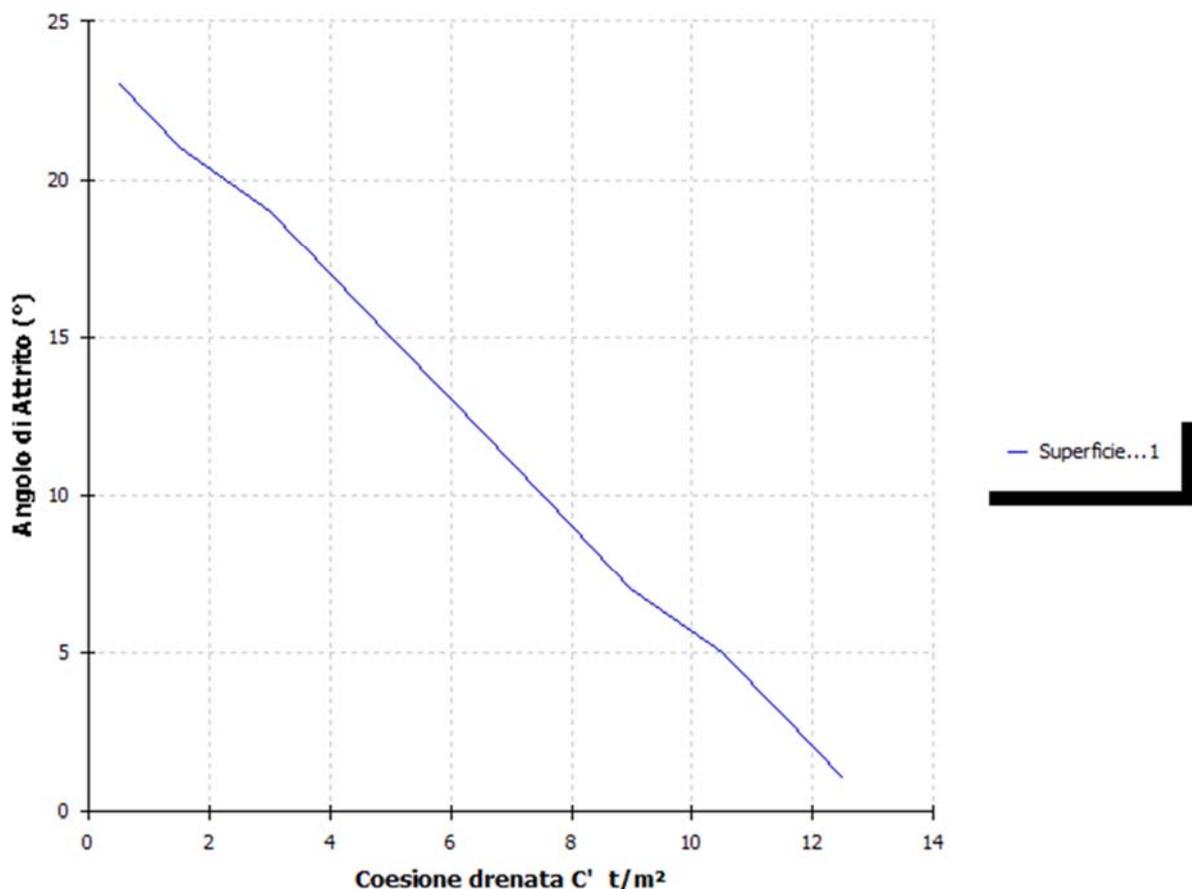


Fig. 25 -back analysis per la frana di Ravarano

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

La verifica dinamica è stata effettuata per i tre accelerogrammi forniti dalla regione Emilia Romagna, già descritti nel paragrafo 3.2, opportunamente scalati mediante i

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	36 di 57

metodi della risposta sismica locale (accelerogrammi di output di Strata). In questo modo si è ottenuta una tabella in cui vengono riportati gli spostamenti calcolati in funzione del coefficiente di sicurezza crescente (cfr. Tab. 8)

Phi	c'	Fs	Ac	Sisma (RER)		
				M1	M2	M3
°	KN/m ²	-	a _g /g	cm	cm	cm
0	11900	1	0,01	11,98	2,918	18,873
0	13100	1,1	0,03	2,93	0,68	4,58
0	14300	1,2	0,05	1,27	0,28	1,97
0	15500	1,3	0,07	0,64	0,13	0,99
0	16700	1,4	0,09	0,34	0,06	0,51

Tab. 8 - Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per la frana di Ravarano

Nella Carta di microzonazione sismica che saranno descritte nel paragrafo 9.4 il valore di spostamento riportato di III livello è quello massimo registrato con Fs=1.

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

4.3 Frana di Ravarano

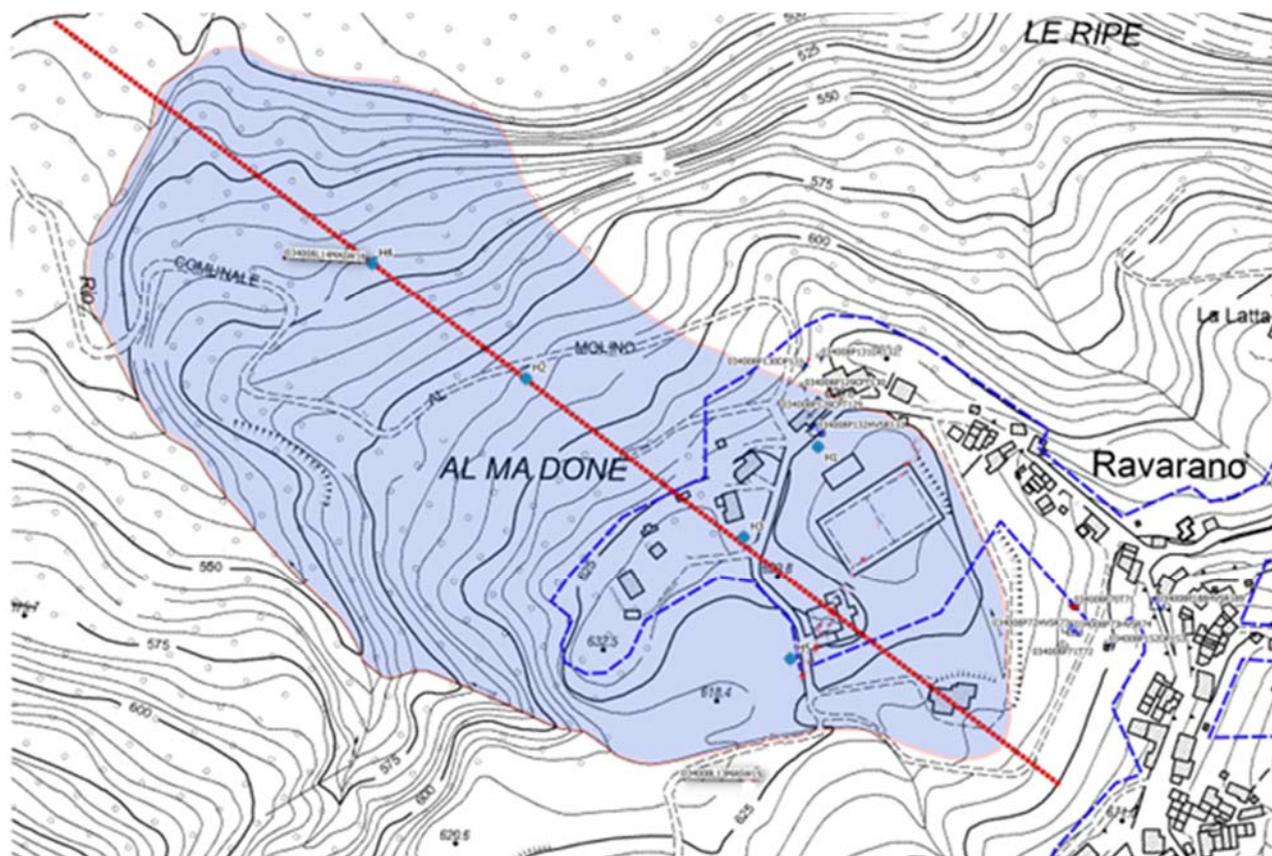
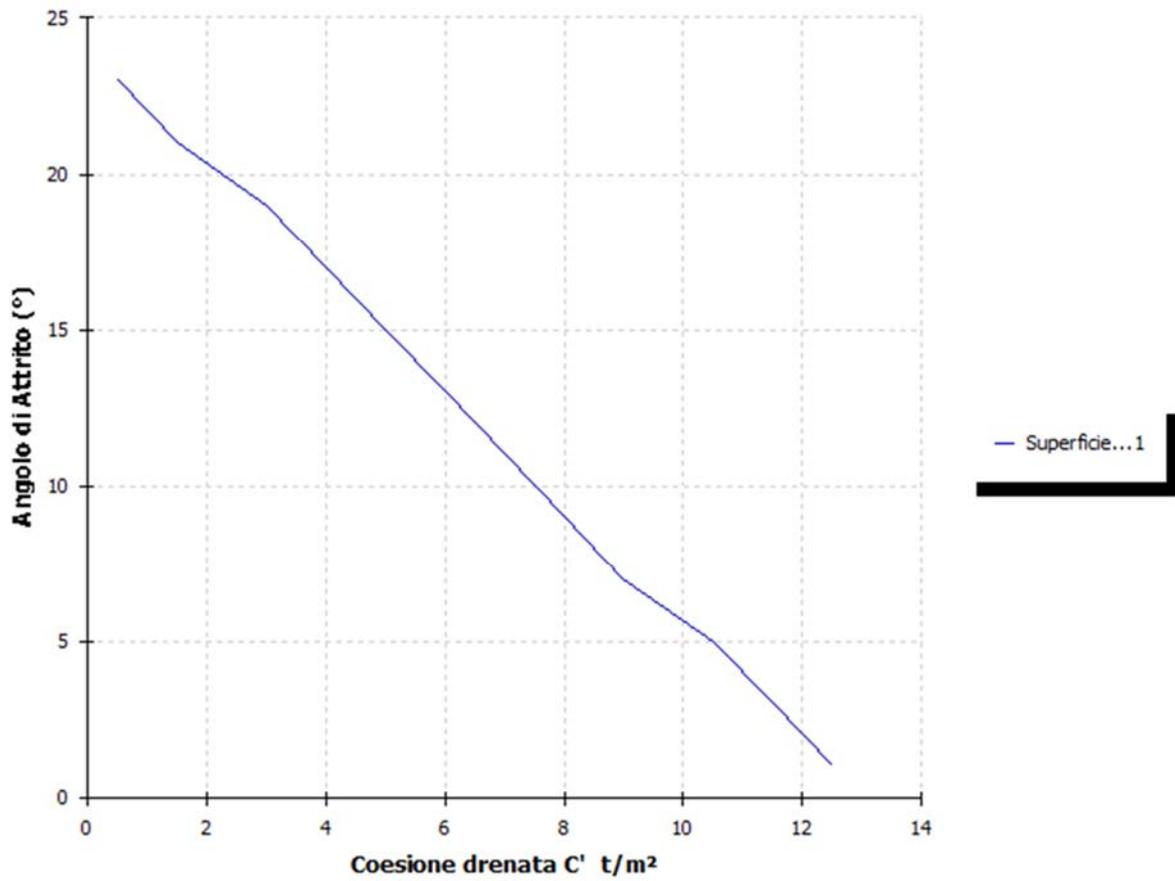


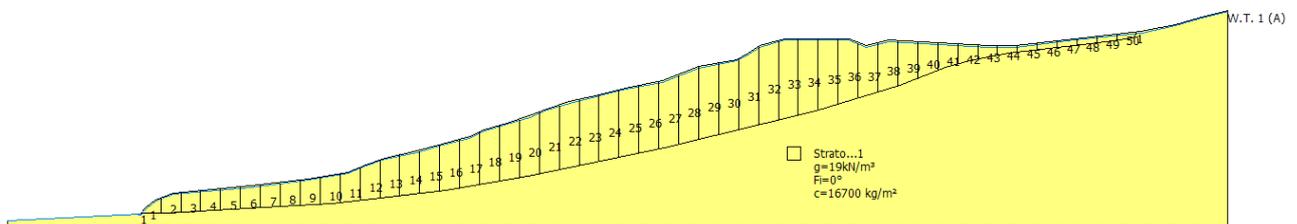
Fig. 20 - Ubicazione delle sezioni analizzate Ravarano

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	37 di 57

Back Analysis



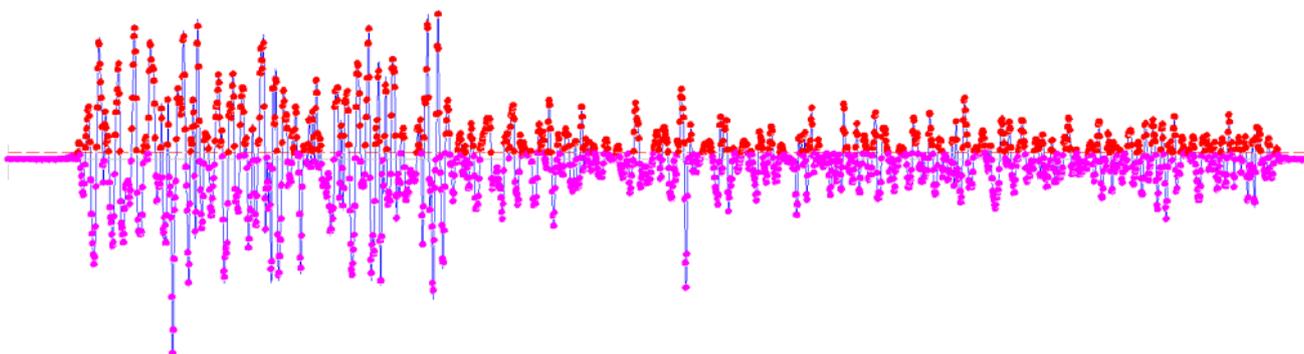
**Fig. 21 - Back Analysis: grafico angolo di attrito - coesione drenata Ravarano
FS=1**



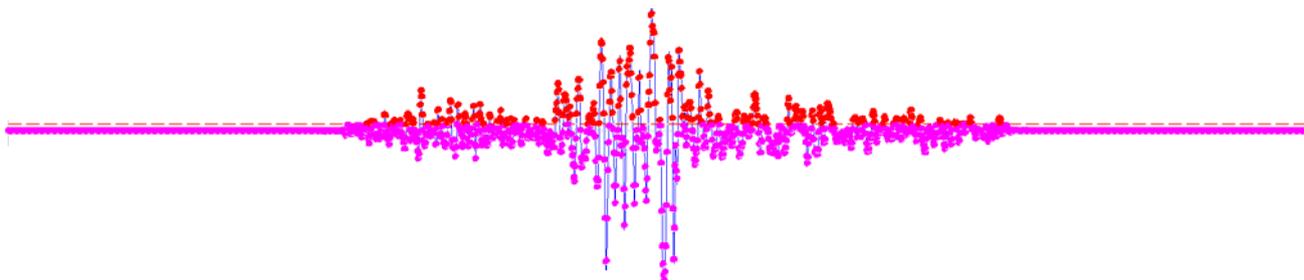
**Fig. 22 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo della frana
Ravarano**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	38 di 57

Sisma M1 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M2 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M3 da Regione Emilia-Romagna

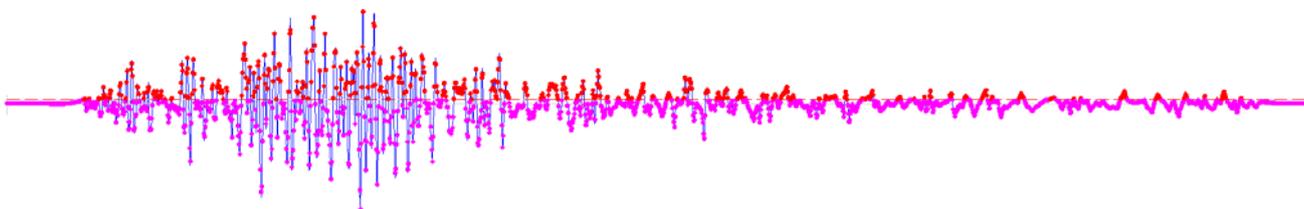


Fig. 23 - Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)

Phi	c'	Fs	Ac	Sisma (RER)		
				M1	M2	M3
°	KN/m ²	-	a _g /g	cm	cm	cm
0	11900	1	0,01	11,98	2,918	18,873
0	13100	1,1	0,03	2,93	0,68	4,58
0	14300	1,2	0,05	1,27	0,28	1,97
0	15500	1,3	0,07	0,64	0,13	0,99
0	16700	1,4	0,09	0,34	0,06	0,51

Tab. 9 - Analisi dinamica: tabella riassuntiva

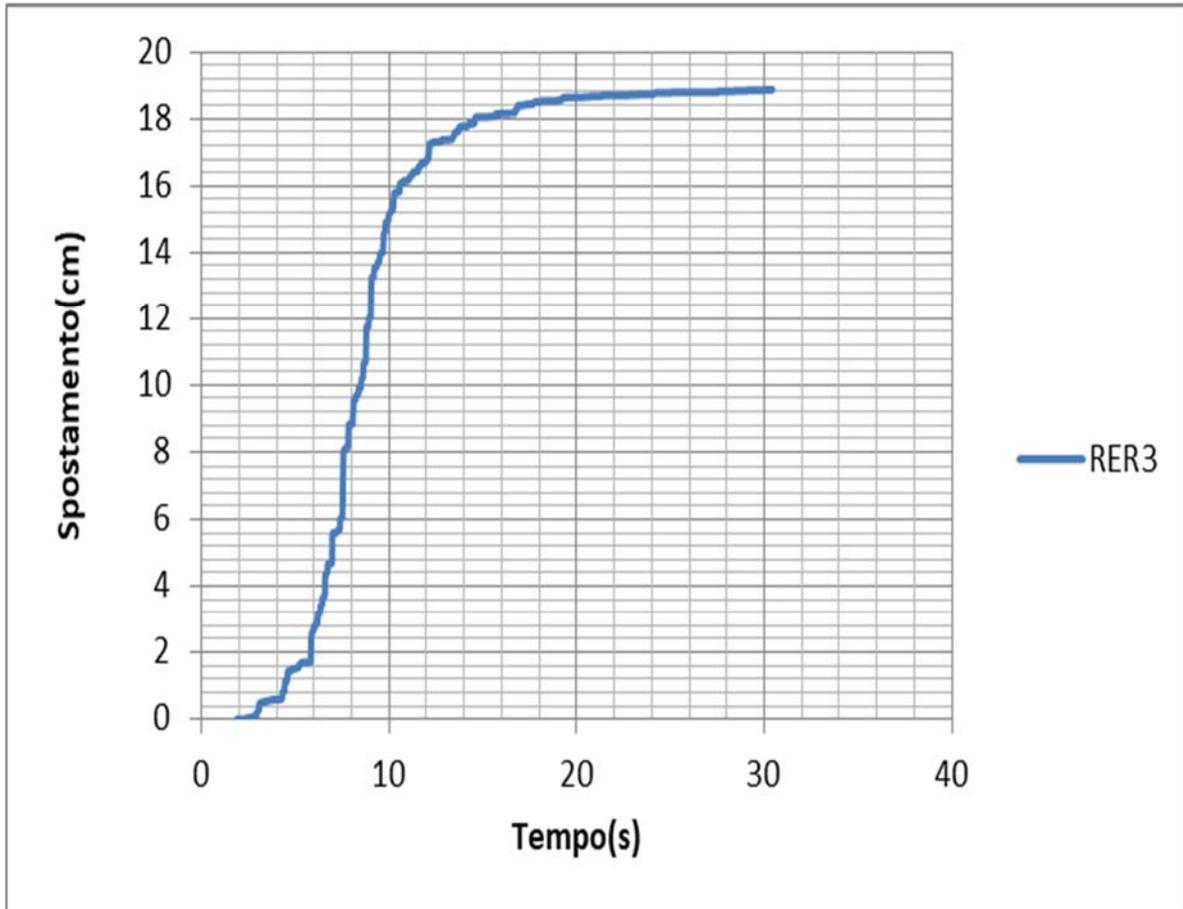


Fig.24- Analisi dinamica: grafico tempo - spostamento per il caso più critico

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

5. ELABORATI CARTOGRAFICI

5.1 Carte delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento agli *Elaborati 10, 11 e 12*) oltre che i dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale e già inserite nel precedente Studio di microzonazione di II livello, nonché le indagini realizzate appositamente per il detto studio.

Si precisa che essendo state effettuate nuove indagini esclusivamente nell'abitato di Calestano e Ravarano sono stati aggiornati l'*Elaborato 1a* e l'*Elaborato 1c* che sostituisce quello già redatto per gli studi di microzonazione di 2° livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia in:

- prova penetrometrica statica (CPT)
- prova sismica in foro tipo Downhole
- stazione microtremore a stazione singola
- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- MASW
- Profilo sismico a rifrazione
- Prova REfraction Microtremors

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 26.

Legenda

	Confine comunale		Trincea o pozzetto esplorativo
	Area oggetto di Microzonazione Sismica		Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
Indagini			Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Prova penetrometrica statica CPT		Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova sismica in foro tipo Downhole		MASW
	Stazione microtremore a stazione singola		Prova REfraction Microtremors
	Sondaggio a carotaggio continuo		Sismica a Rifrazione

Fig. 26 – Legenda delle Carte delle indagini

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	41 di 57

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

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

In Tab. 10 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o riprese dal database del Servizio Geologico regionale.

TIPO PROVA	<u>Provenienti da databasestudio di microzonazione sismica di 2° livello</u>	<u>Indagini per il 3° livello MS</u>	<u>TOTALE</u>
Prova penetrometrica statica (CPT)	16		16
Prova sismica in foro tipo Downhole		1	1
Stazione microtremore a stazione singola	53	4	57
Sondaggio a carotaggio continuo	12	1	13
Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substarto	2		2
Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni	2		2
Prova penetrometrica dinamica super pesante	54		54
MASW	9		9
Profilo sismico a rifrazione	2		2
Prova REfraction Microtremors	9		9

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

5.1 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello, la motivazione dell'aggiornamento deriva dal fatto che alcune categorie descrittive del substrato geologico sono variate con i più recenti standard.

Pertanto la sigla NRS (Substrato geologico non rigido stratificato) e la sigla NR (substrato geologico non rigido) sono state sostituite rispettivamente con le sigle ALS (alternanza di litotipi stratificati) e AL (alternanza di litotipi).

Pertanto la legenda della carta geologico-tecnica diventa la seguente (si veda Fig. 27):

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	42 di 57

Terreni di copertura

CLec	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
GCTf	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
GPes	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia

Substrato geologico

ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
AL	Alternanza di litotipi

Instabilità di versante

	Indeterminato - attiva		Indeterminato - quiescente
	Scorrimento - attiva		Scorrimento - quiescente
	Colata - attiva		Colata - quiescente
	Complessa - attiva		Complessa - quiescente

Elementi tettonico-strutturali

	Orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)
	Faglia non attiva diretta - certa

Fig. 27 - Stralcio da legenda della Carta geologico-tecnica

5.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'Archivio Comunale, sia di nuova acquisizione, sono state redatte le Carte delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello. L'aggiornamento deriva dal fatto che sono state realizzate quattro nuove misure di rumore sismico, inoltre secondo le ultime linee guida sono cambiati gli standard rappresentativi di tale cartografia.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	43 di 57

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

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

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

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

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto d'impedenza più o meno alto.

In Fig. 28 si riporta uno stralcio della legenda del suddetto elaborato cartografico.

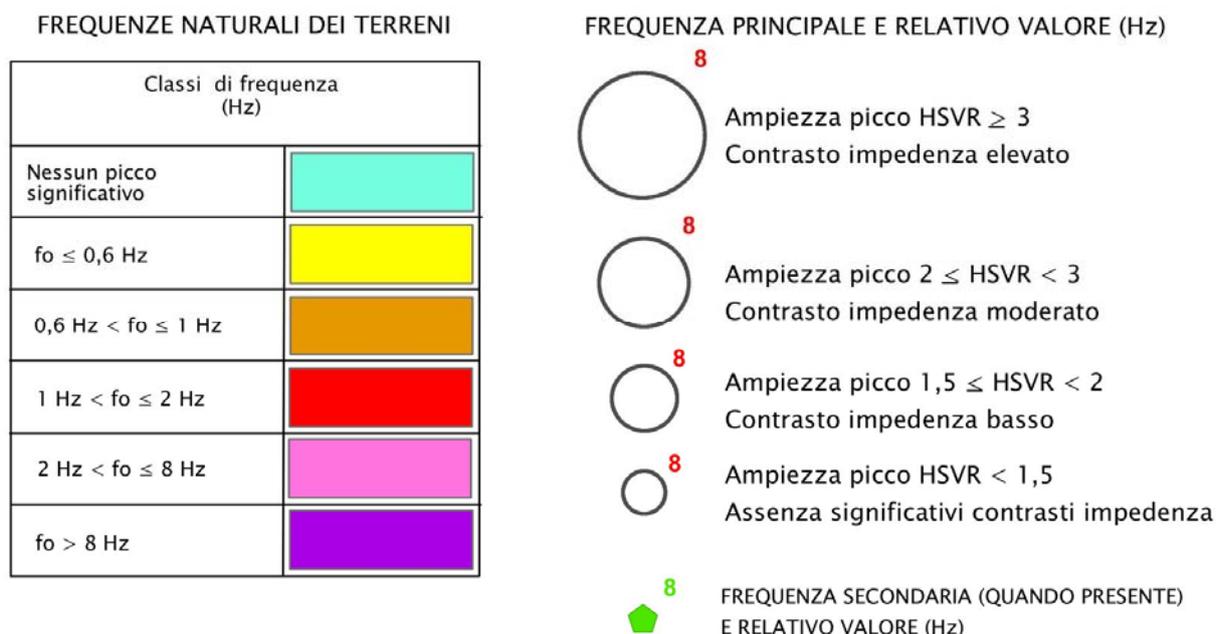


Fig. 28 – Stralcio da legenda della Carta delle frequenze naturali dei terreni

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

5.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. Nel presente studio viene proposta una revisione di tale cartografia alla luce dell'aggiornamento normativo e delle variazioni che hanno subito gli standard di rappresentazione.

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

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

La categoria dominante all'interno delle aree urbanizzate e urbanizzabili è la 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono stati identificate 5 microzone omogenee ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo (cfr. Fig. 29):

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore inferiore a 3,00 m. Si rinviene diffusamente a Ravarano, Montale e San Remigio; a Marzolaro interessa la sola porzione centrale, mentre a Calestano è presente alle quote più elevate, nel settore meridionale e su gran parte del confine orientale del territorio urbanizzato e urbanizzabile.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine detritica, costituiti da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa di spessore medio pari a circa 5,00 m. Si rinviene solo in due limitate zone all'interno del territorio urbanizzato e urbanizzabile di Ravarano.
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	45 di 57

- ghiaiosi, di spessore medio pari a circa 5,00 m. Si rinviene solo a Calestano in corrispondenza della fascia di alluvioni terrazzate più distante dal torrente Baganza.
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi, di spessore medio pari a circa 10,00 m. Si rinviene solo a Marzolarà in corrispondenza della fascia di alluvioni terrazzate più distante dal torrente Baganza.
 - Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi, di spessore medio pari a circa 15,00 m. Si rinviene a Calestano e Marzolarà in corrispondenza della fascia di alluvioni terrazzate più prossima al torrente Baganza.

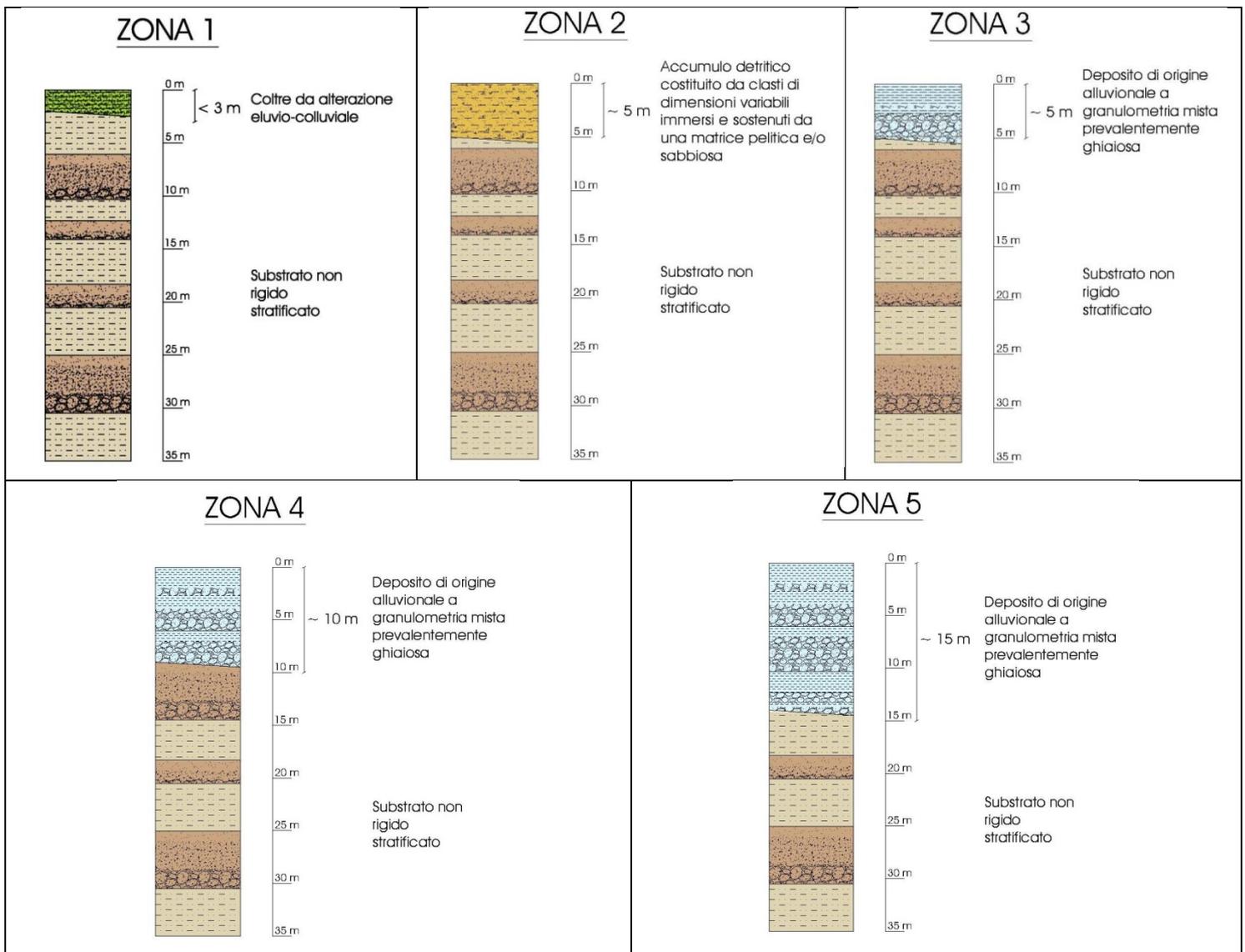


Fig. 29 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzone

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	46 di 57

In alcuni settori delle aree oggetto di microzonazione sismica sono state cartografate zone suscettibili di instabilità, sempre riconducibili a fenomeni di instabilità di versante quiescenti come di seguito descritte (cfr. Fig. 30):

- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 6, corrisponde a piccoli settori nel territorio urbanizzato e urbanizzabile di Calestano, Ravarano e Marzolaro, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore di 10 - 15 m di depositi di frana per scorrimento, quiescente, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido stratificato.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 7, corrisponde a piccoli settori nel territorio urbanizzato e urbanizzabile di Calestano, Montale di Sotto e in minima parte a Marzolaro, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore tra 5 e 10 m depositi di frana di tipo complessa, costituiti da elementi litoidi eterometrici immersi in una matrice prevalentemente argilloso-limosa, poggianti su substrato non rigido stratificato.
- ZA_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 8, presente nel settore sud ovest del territorio urbanizzato e urbanizzabile di Calestano è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio pari a circa 10 m di depositi di frana di tipo non definito quiescente, costituiti da miscela di granulometrie differenti, poggianti su substrato non rigido stratificato.

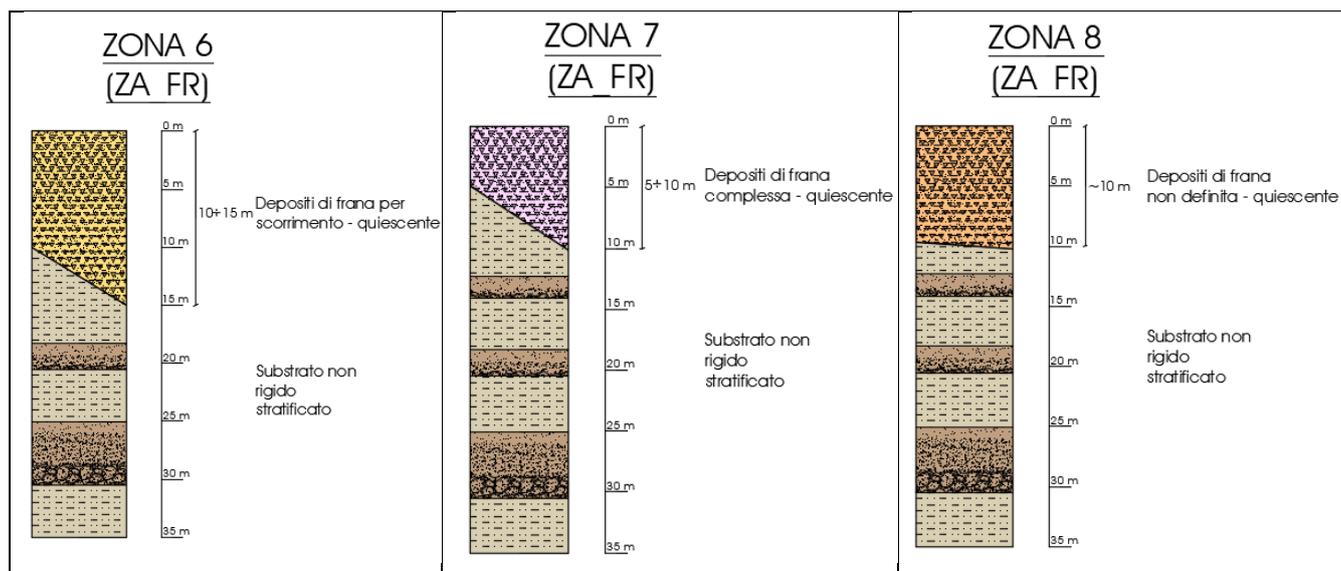


Fig. 30 – Colonna litostratigrafica sintetica, rappresentativa della microzona attenzione per instabilità di versante

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	47 di 57

5.4 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento, anche alla luce delle nuove indagini, di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tomografica, prova Down-Hole, MASW o ReMi) e indicando il corrispondente valore di V_{sH} (in m/s), dove:

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

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

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

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

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

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

h_i = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m);

V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	48 di 57

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

5.5 Carte di microzonazione sismica

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

L'amplificazione è stata calcolata, per il settore occidentale del Capoluogo e per la porzione nord ovest di Ravavrano, sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI₀) per prefissati intervalli di periodi, attraverso l'analisi approfondita, descritta nel capitolo 3 (Analisi di risposta sismica locale) della presente relazione.

Per la zona di suscettibilità per instabilità di Ravarano oltre ai fattori di amplificazione viene inoltre indicato lo spostamento massimo atteso (FRT) stimato come illustrato nel capitolo 4 (Stabilità di versante).

Nelle zone in cui non è stato effettuato l'approfondimento di 3° livello, i fattori di amplificazione sono stati valutati sulla base degli abachi definiti dalla DGR 2193/2015.

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA PGA (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA IS 0,1 - 0,5 s (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA IS 0,5 - 1,0 s (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA IS 0,5 - 1,5 s (scala 1:5.000).

5.5.1 Attribuzione dei fattori di amplificazione

Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello, i fattori di amplificazione sono stati valutati sulla base degli abachi definiti dalla DGR 2193/2015.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. In Comune di Calestano, si sono usate le seguenti tabelle, proposte nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali:

- Tabelle riportate in Tab. 11, rappresentative di un profilo stratigrafico di tipo APPENNINO caratterizzato da depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da Vs < 800m/s); Utilizzate per lo più nei settori più a valle costituiti da terrazzi fluviali oppure caratterizzati da accumulo di deposito di versante.
- Tabella riportata in Tab. 12 relativa ad un profilo stratigrafico tipo APPENNINO, caso substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da Vs < 800m/s, con spessore della copertura o della coltre di

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	49 di 57

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

alterazione inferiore a 2.5 m); utilizzata per le porzioni più a monte del territorio oppure lungo le aree di versante.

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

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

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

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

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

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

Tab. 11 – Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per APPENNINO caratterizzato da depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da $V_s < 800m/s$)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	50 di 57

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

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Tabella 7: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800m/s$ affiorante. Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1** e **SI2**

Tab. 12 – Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per APPENNINO, caso substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da $V_s < 800m/s$, con spessore della copertura o della coltre di alterazione inferiore a 2.5 m

Il calcolo dei singoli fattori di amplificazione è stato effettuato considerando la profondità del substrato marino già definita nello studio di microzonazione di secondo livello; mentre, per quanto concerne le velocità, alla luce dei valori desunti dalle indagini sismiche, si è optato per assumere cautelativamente un valore di V_{sH} pari a 300 m/s nel caso di substrato non affiorante e uso delle tabelle riportate in Tab. 11 e un valore di V_{s30} pari a 350, 400, 450 e 500 m/s (a seconda del settore) nel caso di substrato affiorante e uso della tabella riportate in Tab. 12.

Riassumendo e conseguentemente a quanto appena detto, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tab. 13):

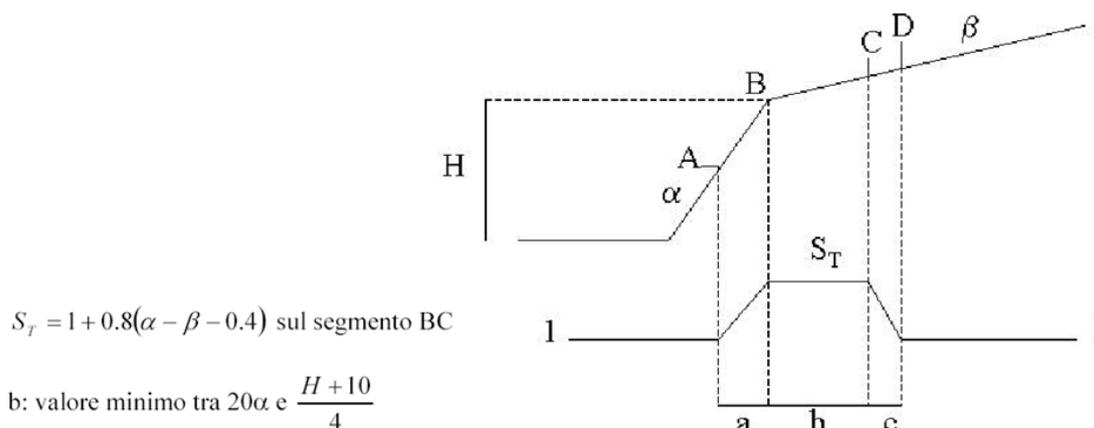
Area con approfondimenti di 3° livello - FA da RSL					
	Calestano			Ravavrano	
<u>F.A. P.G.A.</u>	2.35			1.82	
<u>F.A. Is (0.1s < T₀ < 0.5s)</u>	1.55			1.32	
<u>F.A. Is (0.5s < T₀ < 1.0s)</u>	0.89			1.05	
<u>F.A. Is (0.5s < T₀ < 1.5s)</u>	0.84			1.04	
Area con approfondimenti di 2° livello					
Substrato <u>non</u> affiorante: FA da tabelle riportate in Tab. 7					
	ZONE				
	2	3	4	5	6
<u>F.A. P.G.A.</u>	1.5	1.5	1.8	2.0	1.5
<u>F.A. Is (0.1s < T₀ < 0.5s)</u>	1.4	1.4	1.6	1.9	1.4
<u>F.A. Is (0.5s < T₀ < 1.0s)</u>	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3

Area con approfondimenti di 2° livello				
Substrato <u>affiorante</u> : FA da tabelle riportate in Tab. 8				
	Vs30			
	350 San Remigio e Calestano nord	400 Montale di sotto e Ravarano sud	450 Ravarano nord	500 Calestano sud e Marzolarà
F.A. P.G.A.	1.9	1.8	1.6	1.4
F.A. Is (0.1s < T ₀ < 0.5s)	1.9	1.7	1.6	1.4
F.A. Is (0.5s < T ₀ < 1.0s)	1.5	1.5	1.4	1.4

Tab. 13 – Valori dei fattori di amplificazione sismica

Ai valori sopra riportati fa eccezione una piccola porzione dell’abitato di Ravarano in qui è stata valutata anche l’amplificazione dell’impulso sismico generata dalle condizioni topografiche, risultata significativa solo in corrispondenza del profilo 3.

Anche in questo caso, per il calcolo del Fattore di Amplificazione topografica S_T dettagliatamente descritto nella Fig. 31, sono state seguite le disposizioni e i suggerimenti contenuti nell’Allegato 2 degli indirizzi regionali.



$$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4) \text{ sul segmento BC}$$

$$b: \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } \frac{H+10}{4}$$

α e β sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$$S_T = 1 \text{ in A (a = H/3)}$$

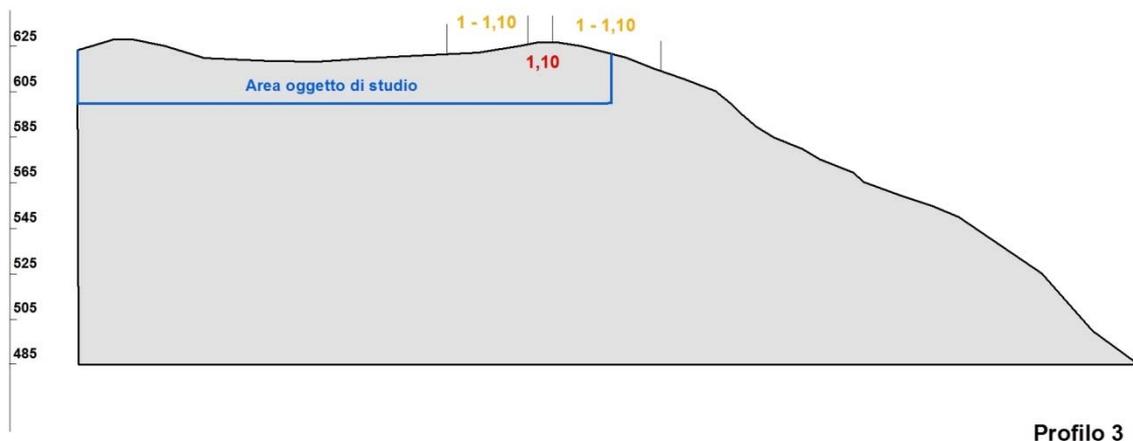
$$S_T = 1 \text{ in D (c = H/4)}$$

S_T: si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4

Fig. 31 – Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali

All’interno di Fig. 32 e Fig. 33 vengono rispettivamente raffigurati, la sezione topografica n° 3 con indicazione delle aree soggette ad amplificazione topografica significativa, quindi la rappresentazione in pianta dei tratti di profilo contraddistinti da valori di S_T differente.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	52 di 57



Profilo 3

Fig. 32 – Rappresentazione del profilo n° 3 con indicazione dei settori a differente S_T

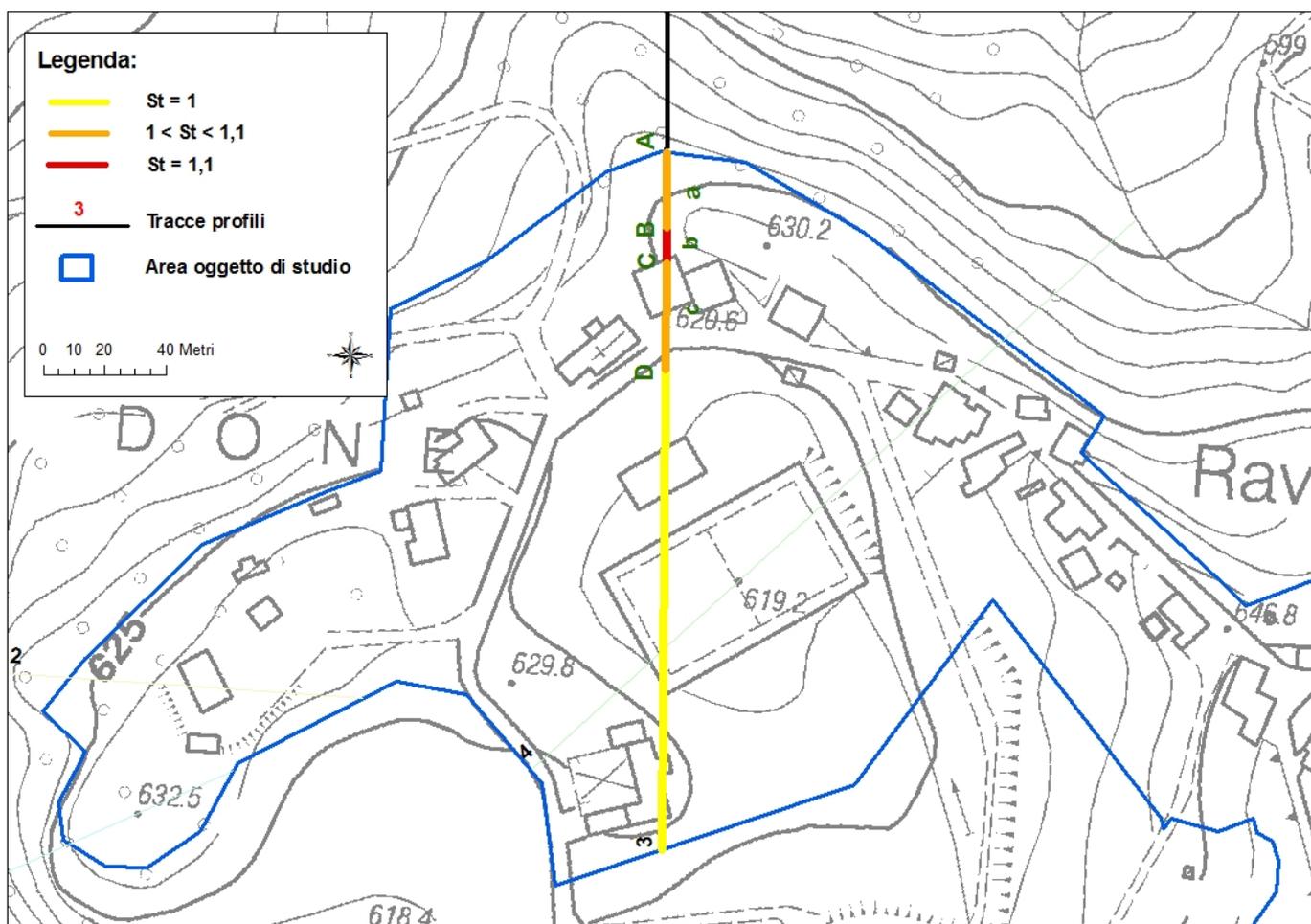


Fig. 33 – Stralcio dell'ambito A_2 Ravarano con indicata la traccia di profilo sulla quale si è proceduto al calcolo del coefficiente di amplificazione topografica S_T . Le lettere utilizzate fanno riferimento allo schema della Fig. 31

Ne consegue che l'amplificazione sismica complessiva, limitatamente al settore più settentrionale dell'abitato di Ravarano, in cui è stato evidenziato un $S_T > 1$, è determinata dal prodotto tra il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. per lo stesso fattore di amplificazione topografica S_T (preso uguale a 1.1, tra B e C, e a 1.05 tra A e B e C e D).

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

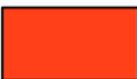
Parametro di amplificazione ²⁹	Simbolo
1.1 - 1.2	
1.3 - 1.4	
1.5 - 1.6	
1.7 - 1.8	
1.9 - 2.0	
2.1 - 2.2	
2.3 - 2.4	
2.5 - 3.0	
3.1 - 3.5	
>3.5	

Fig. 34 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

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

6. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011): TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A. (2010): UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato
- Castagnetti S. (2010): VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA a corredo del P.S.C. del Comune di Fontanellato (PR)
- Di Dio G. (2007): STUDIO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL FIUME TARO PER LA REALIZZAZIONE DI UN MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE
- Engeo s.r.l. (2011): ELABORATI DEL QUADRO CONOSCITIVO - AMBIENTE SUOLO E SOTTOSUOLO E AMBIENTE IDRICO SOTTERRANEO, Piano Strutturale Comunale di Calestano (PR), approvato con delibera di C.C. n. 56 del 20/12/2012
- 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
- Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011): BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano, Bologna
<http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. (2009): L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"
- Meletti C. e Valensise G., (2004): ZONAZIONE SIMMOGENETICA 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
- CARTA SIMMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	55 di 57

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

- 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 alla scala 1:50.000 - FOGLIO 181, Parma Nord - REGIONE EMILIA-ROMAGNA, S.EL.CA. s.r.l., Firenze 2009

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	56 di 57

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

7. ALLEGATI

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

Elaborato 1a	Carta delle indagini – Calestano	scala 1:5.000
Elaborato 1b	Carta delle indagini – Ravarano	scala 1:5.000
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	scala 1:5.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	scala 1:5.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 6	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - F_{aPGA}	scala 1:5.000
Elaborato 7	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.1s < T_0 < 0.5s$	scala 1:5.000
Elaborato 8	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_0 < 1.0s$	scala 1:5.000
Elaborato 9	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{aIS} 0.5s < T_0 < 1.5s$	scala 1:5.000

Inoltre, internamente alla struttura dati, vengono riproposte le carte redatte durante lo Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello che non hanno subito modifiche in quest'ultima fase di approfondimento. Tali elaborati vengono di seguito elencati:

Elaborato 1c	Carta delle indagini – Marzolaro	scala 1:5.000
--------------	----------------------------------	---------------

Alla presente relazione, sono allegati i seguenti elaborati:

- Elaborato 10 – Stratigrafia sondaggio: con la stratigrafia del sondaggio realizzato specificamente per il presente studio;
- Elaborato 11 – Prova Down-Hole: contenente i risultati della prova Down-Hole effettuata nel foro di sondaggio;
- Elaborato 12 – Analisi di laboratorio: contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nel sondaggio.
- Elaborato 13 – Prove tomografiche HVSR.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Marzo 2018	0	57 di 57