



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

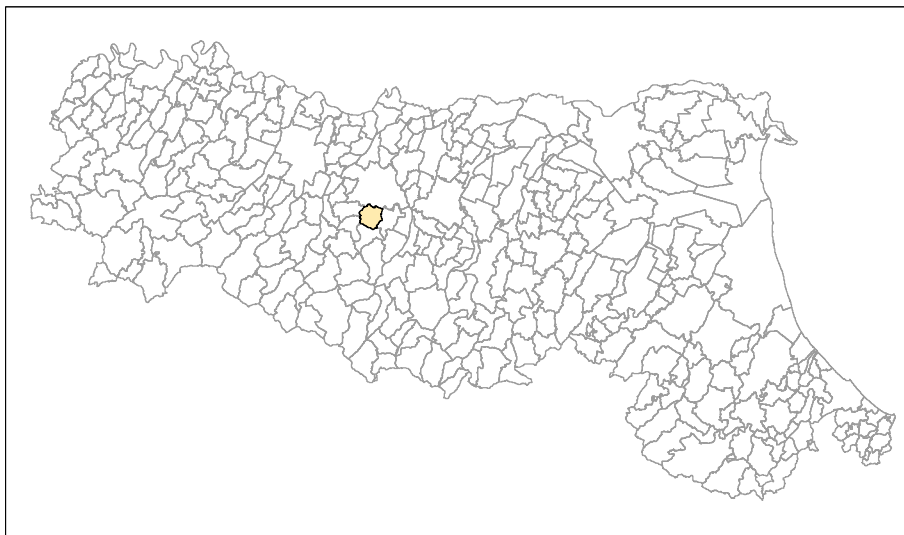
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009. n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Albinea



Regione	Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore  Con la collaborazione di: 	R.T.I.:	Data Marzo 2017
---------	----------------	--	---------	--------------------

REDAZIONE DELL'ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (CLE) E DI LOCALI APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3 DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI QUATTRO CASTELLA E ALBINEA

COMUNE DI ALBINEA

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

<p>approvato</p> <p style="text-align: center;">Ing. Ivo Fresia</p>
<p>verificato</p> <p style="text-align: center;">Dott. Giovanni Carra</p>
<p>elaborato</p> <p style="text-align: center;">Dott. Mattia Galletti</p>

0	MG	GV	FR	Marzo 2017
rev.	sigle			data

codice elaborato 0641-01-01-01R-00

SISTEMA CERTIFICATO
ISO 9001:2008



Cert. N. 01296

Mod. PO01/06

Rev. 1

Data emissione: 02.2014

Indice

1	Introduzione	1
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	2
2.1	Sismicità storica dell'area	3
2.2	Sorgenti sismogenetiche	5
2.3	Zonazione Sismogenetica	7
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	9
3.1	Aspetti tettonici generali	11
3.2	Assetto stratigrafico	13
3.2.1.	Successione neogenico-quadernaria di margine – Depositi quadernari continentali	13
3.2.2.	Successione neogenica quadernaria di margine – Substrato geologico marino	14
3.2.3.	Successione neogenica quadernaria di margine	14
3.2.4.	Successione Epiligure	14
3.2.5.	Successione Ligure	15
3.3	Contestualizzazione delle aree in studio	15
3.3.1.	Albinea	16
3.3.2.	Area industriale – Botteghe	17
3.3.3.	Broletto	18
3.3.4.	Montericco	19
3.3.5.	Borzano	19
3.3.6.	Area industriale Borzano	21
4	Dati geotecnici e geofisici	22
4.1	HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	22
4.2	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	23
4.3	Profilo sismico a rifrazione	24
5	Modello del sottosuolo	25
6	Interpretazioni e incertezze	27
7	Metodologie ed elaborazione dati	28
7.1	Analisi di RSL con metodi numerici monodimensionali (EERA)	28
7.1.1.	Risultati	34
7.1.1.1	Borzano – Gameda	34
7.1.1.2	Albinea	37
7.1.1.3	Montericco	40
7.1.1.4	Botteghe	42
7.2	Studio della stabilità di versante in condizioni dinamiche	44
7.2.1.	Cenni teorici	44
7.2.1.1	Metodo di Janbu (1967)	45

7.2.1.2	Metodo degli spostamenti (Newmark, 1965)	47
7.2.2.	Risultati	48
7.3	Coefficiente topografico.....	52
8	Elaborati cartografici	55
8.1	Carta delle indagini.....	55
	Broletto	57
	Montericco	58
	Borzano	59
	Area industriale Borzano	61
8.2	Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica	61
8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.....	62
	8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione locali	63
	8.3.2. Zone di attenzione per le instabilità.....	65
8.4	Carta di Microzonazione Sismica.....	66
	8.4.1. Zone suscettibili di instabilità.....	67
8.5	Carta delle frequenze naturali dei terreni	67
8.6	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	68
8.7	Carta delle sezioni	68
9	Bibliografia.....	69

1 Introduzione

Il presente lavoro è stato condotto su incarico dell'Unione Colline Matildiche, ed è stato finalizzato, secondo i contenuti del disciplinare di incarico, allo studio di microzonazione sismica di livello 2, con locali approfondimenti di livello 3 - C.U.P C82F14000330006 – CIG Z221657E46 dei Comuni di Quattro Castella e di Albinea.

Le finalità dello studio di terzo livello consistono essenzialmente nella:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica;
- valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione e/o stima degli indici di rischio, nelle seguenti situazioni:
 - a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
 - b) aree instabili e potenzialmente instabili;
 - c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
 - d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Oltre agli elaborati dei livelli di approfondimento precedenti per le aree in cui viene effettuato il terzo livello di approfondimento dovranno essere realizzati:

- la perimetrazione dettagliata delle aree indagate e i valori indicativi della pericolosità locale (indice di liquefazione, grado di stabilità, cedimenti attesi, ...);
- nel caso di analisi di risposta sismica locale, gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento $\zeta = 5\%$ e le mappe di amplificazione in termini di:
 - 1. PGA/PGA0;
 - 2. SI/ SIO

I principali riferimenti tecnici e normativi seguiti nel corso dello svolgimento dell'incarico sono i seguenti:

- Deliberazione di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1919 del 16/12/2013,
- Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007 e relativo Allegato,
- DGR 2193/2015 Aggiornamento dell'atto di coordinamento di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007,
- Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52 del 20 Febbraio 2013
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 15 Aprile 2013 e relativi Allegati,
- "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione civile e dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome, nonché della normativa Nazionale di settore vigente.
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la microzonazione sismica di riferimento sono quelli pubblicati dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica nell'ottobre 2015 nella versione 4.0b.

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Il territorio nazionale è stato suddiviso, in base a differenti valori di accelerazione orizzontale al suolo (a_g), in quattro zone a pericolosità decrescente. L'OPCM n. 3274 del 2003, che prevedeva questa suddivisione è stata poi aggiornata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 il quale ha fornito alle Regioni uno strumento che ha permesso di introdurre intervalli di accelerazione massima del suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat A), da attribuire alle 4 zone sismiche.

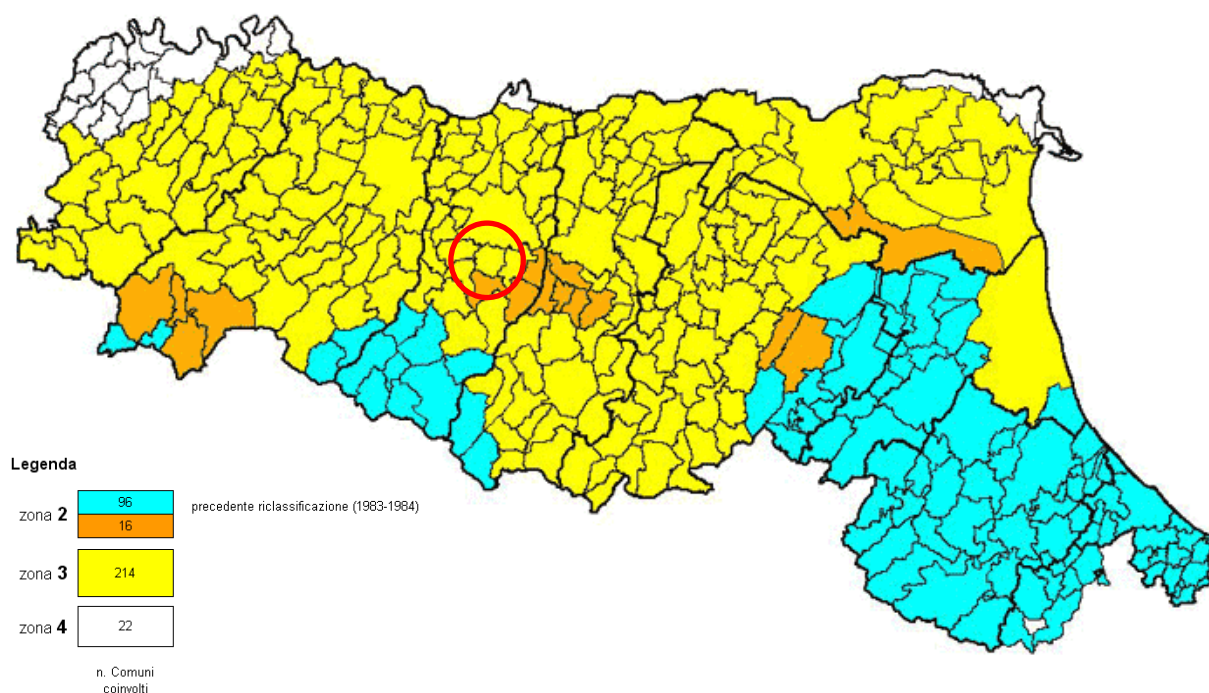


Fig. 1 Classificazione sismica della regione Emilia-Romagna in base all'OPCM n. 3274/2003

Come indicato in Fig. 1 e in Tab. 1, le aree in esame si trovano comprese in Zona 3, quindi si attendono valori di pericolosità compresi tra 0,05 e 0,15 con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. In questa area quindi solo raramente si possono verificare terremoti di forte intensità.

Tab. 1 Classificazione delle zone sismiche in base al valore di accelerazione massima del suolo a_g .

Zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % i 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Con l'entrata in vigore successiva delle NTC08, la pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

ag = accelerazione orizzontale massima;

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi parametri vengono definiti in corrispondenza di un reticolo di riferimento nelle mappe interattive della pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). Sempre in questa mappa è possibile ottenere i grafici di disaggregazione in termini di Magnitudo-Distanza che mettono in evidenza la pericolosità sismica di eventi sismici limitrofi.

2.1 Sismicità storica dell'area

Il Comune di Albinea è contraddistinto da una storia sismica in cui si sono susseguiti terremoti con intensità da media a forte. Il più influente è stato individuato nell'area Parmense nel 1971 con il 7° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (la quale considera gli effetti distruttivi su persone e cose per misurare l'intensità del sisma).

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nelle aree in esame sono state ricavate dal database delle osservazioni macrosismiche dei territori italiani "DBMI11" (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

Nelle figure successive sarà rappresentata la storia sismica delle singole zone oggetto di studio, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale (MCS) uguale o superiore a 4-5.

Storia sismica di Albinea

[44.620, 10.602]

Numero di eventi: 10

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
7	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
5	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4-5	1988 03 15 12:03:18	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
1-2	1995 10 10 06:54:23	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
5-6	1996 10 15 09:56:02	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
4	1997 05 12 22:13:51	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
4-5	1998 02 21 02:21:13	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17
5	2000 06 18 07:42:08	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

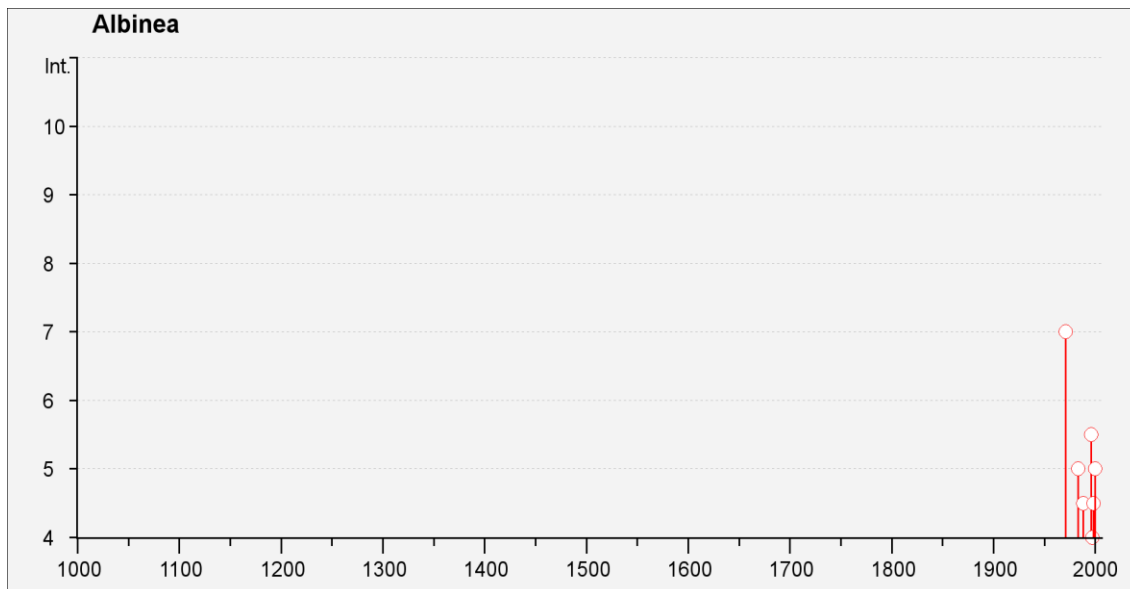
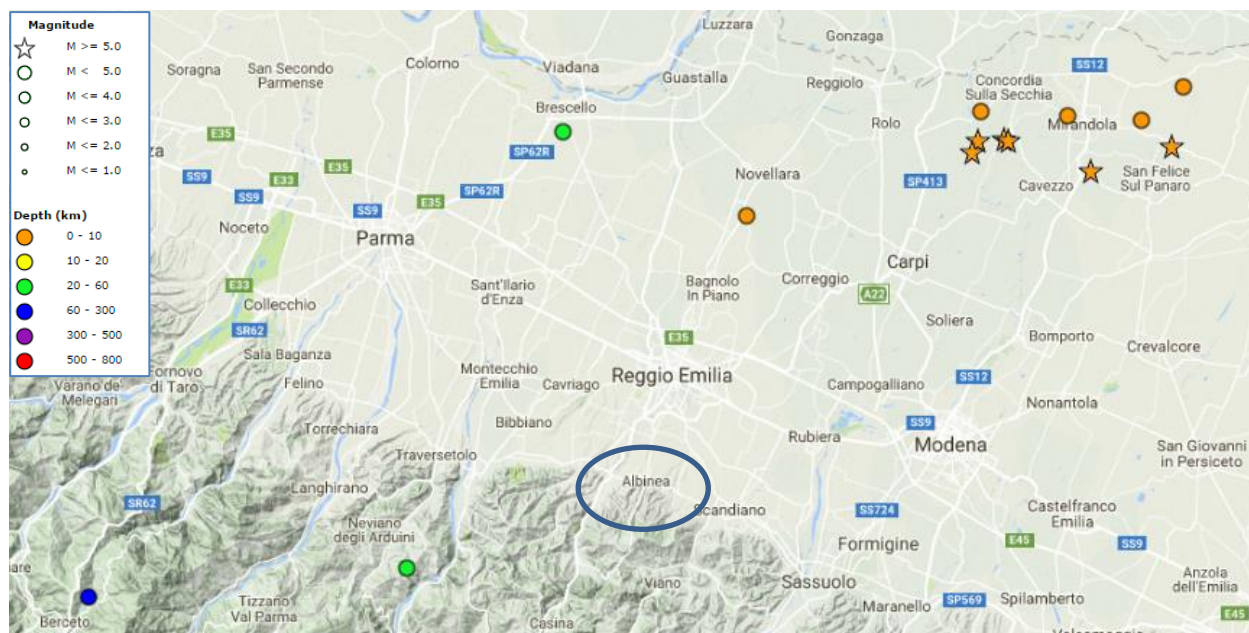


Fig. 2 Rappresentazione degli eventi sismici significativi che hanno interessato il territorio comunale di Albinea

Nelle tabelle il termine “Is” è riferito all’intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l’ora, il giorno, l’area e l’intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest’ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

Nella prima colonna, in alcuni casi, è presente la sigla “NF” ovvero “non segnalato”, quindi non esprimibile in termini di intensità macrosismica.

In Fig. 3 invece sono rappresentati i terremoti recenti (dal 2000 ad oggi) con magnitudo superiore a 4,5 e avvenuti entro un raggio di 50 km dall’abitato di Quattro Castella. Come si evince in figura i più rappresentativi risultano essere quelli avvenuti nel 2012 in provincia di Modena.



Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità (km)	Magnitudo	Fonte
03/06/2012 19:20	44.886	10.95	8.7	4.7--Mw	REMO
29/05/2012 11:00	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
29/05/2012 11:00	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
29/05/2012 10:55	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO

29/05/2012 08:27	44.883	11.042	6	4.6--ML	REMO
29/05/2012 08:25	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
29/05/2012 07:00	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
20/05/2012 03:02	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
20/05/2012 02:06	44.905	11.165	4.3	4.8--ML	BULLETIN
20/05/2012 02:06	44.879	11.12	5	4.8--ML	BULLETIN
27/01/2012 14:53	44.523	10.009	72.4	4.9--Mw	BULLETIN
25/01/2012 08:06	44.871	10.51	29	4.9--Mw	BULLETIN
23/12/2008 15:24	44.544	10.345	22.9	4.9--Mw	BULLETIN
18/06/2000 07:42	44.808	10.703	5	4.5--Md	BULLETIN

Fig. 3 Ubicazione dei principali eventi sismici recenti (Magnitudo > 4,5) nelle aree entro 50 Km dall'abitato di Albinea con la relativa tabella (fonte: ISIDe)

2.2 Sorgenti sismogenetiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Le aree oggetto di studio nel comune di Albinea si trovano nei pressi della sorgente sismogenetica composita classificata come "ITCS046: Langhirano-Sassuolo" (Fig. 4) a partire della quale possono svilupparsi sismi di magnitudo massima (Mw) pari a 5,9. La sorgente sismogenetica composita rappresenta da un punto di vista geometrico la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia.

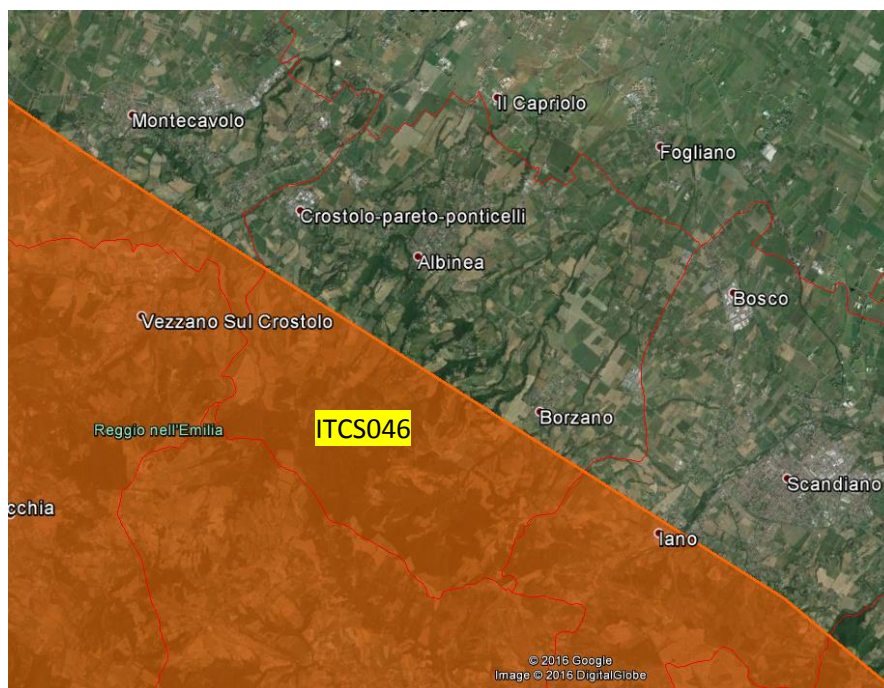


Fig. 4 Foto aerea con l'ubicazione delle Zone e delle Sorgenti sismogenetiche (Google Earth)

La sorgente sismogenetica composita è essenzialmente una struttura identificata sulla base dell'analisi di dati geologici di superficie e sotterranei, ed in particolare sulla base dell'identificazione delle tracce e

delle caratteristiche delle faglie attive. La lunghezza della rottura attesa in conseguenza del terremoto, tuttavia, è scarsamente definibile in quanto, normalmente, le sorgenti sismogenetiche composite derivano da un numero imprecisato di singole fonti vicine tra loro ma sostanzialmente discontinue. Ad una CSS non è possibile attribuire una specifica dimensione del terremoto atteso per il futuro, ma il loro potenziale sismico è stimato dai cataloghi terremoto esistenti.

Da un punto di vista geometrico rappresenta la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia. Nella Fig. 5 è riportato uno schema di lettura delle caratteristiche geometriche della CSS mentre in Fig. 6 quello di una ISS.

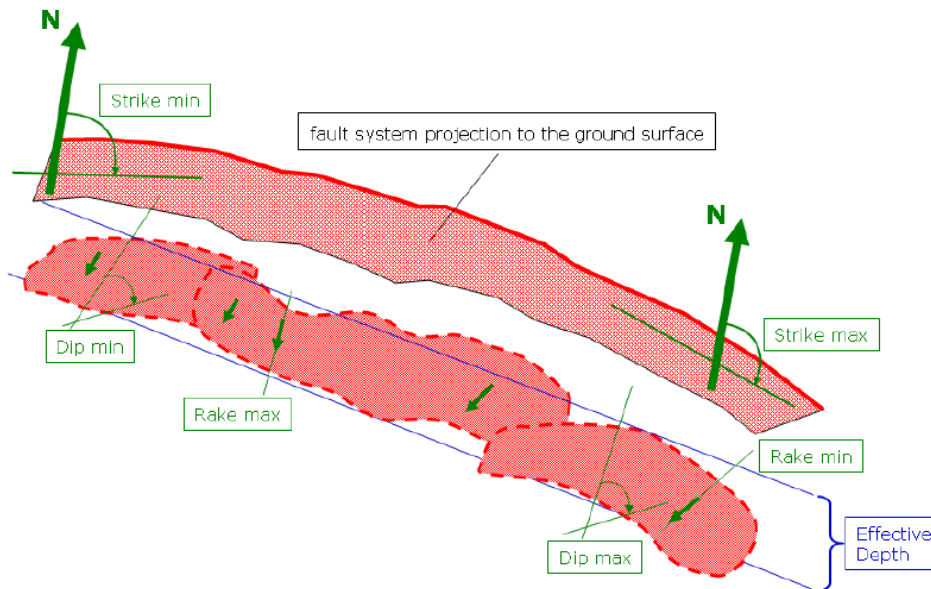


Fig. 5 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

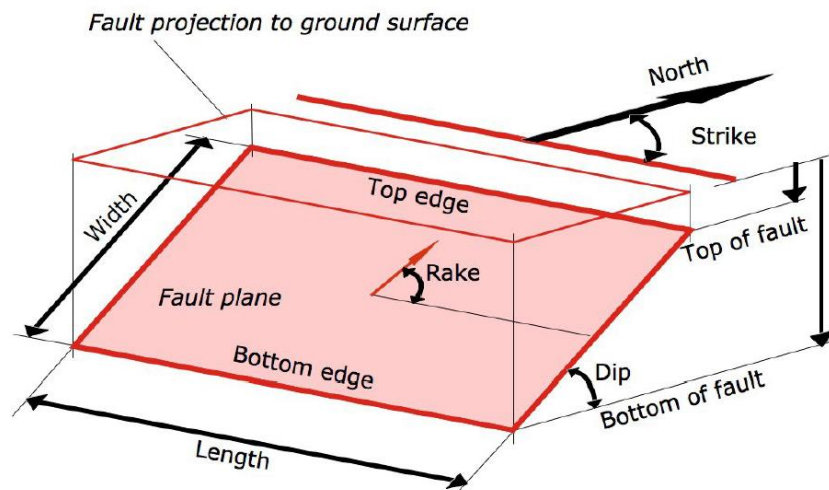


Fig. 6 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica individuale (ISS)

La ISS è basata su osservazioni geologiche, geomorfologiche, geofisiche e vincoli storici e può essere vista come una porzione di faglia che si muove rilasciando la deformazione dinamica durante il terremoto.

2.3 Zonazione Sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per soddisfare diversi requisiti, ed in particolare per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervento di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI11) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel dicembre 2011 (CPT11). Questi dati sono stati considerati insieme all'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari, interessati dalle dinamiche delle strutture litosferiche profonde e superficiali.

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni (vedi Fig. 7):

- Arco alpino: 901 ÷ 910
- Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
- Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
- Calabria: 929 ÷ 930
- Sicilia: 932 ÷ 936

Se si osserva Fig. 8 l'area in esame ricade completamente all'interno della zona 913 nel settore dell'Appennino settentrionale. Insieme alle zone 914 e 918 rappresenta una fascia in cui si verificano terremoti prevalentemente compressivi nel settore in esame e distensivi nella porzione più sud-orientale. Le profondità ipocentrali sono mediamente superiori rispetto alla fascia più esterna e le magnitudo raggiunte presentano di rado valori elevati.

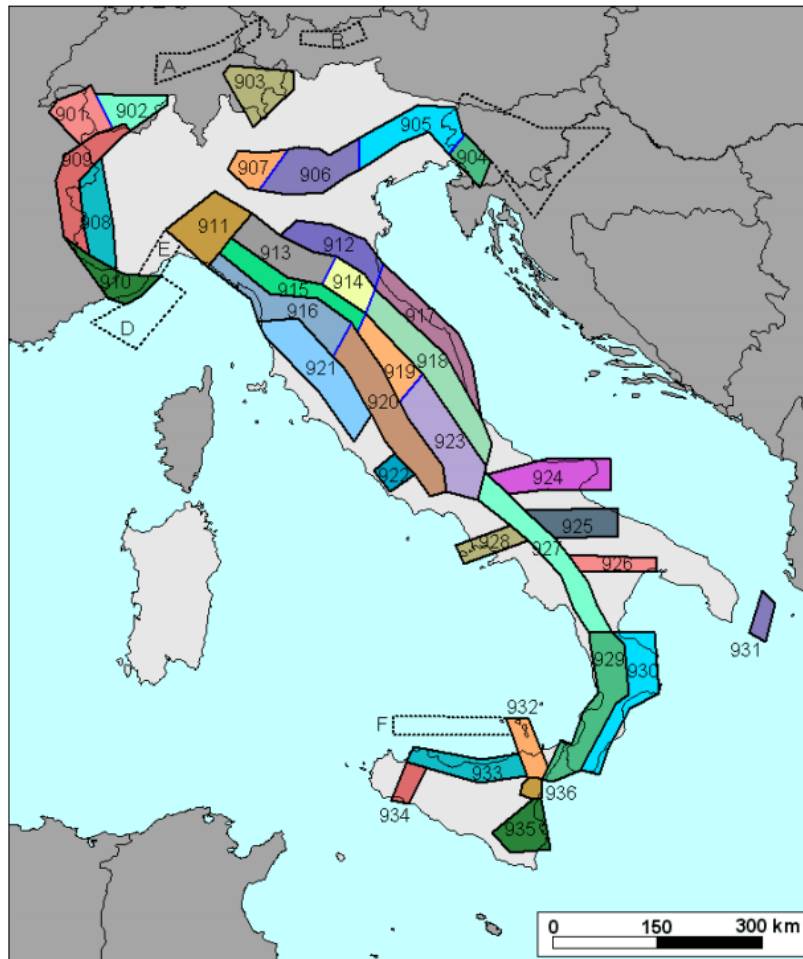


Fig. 7 Zonazione simogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

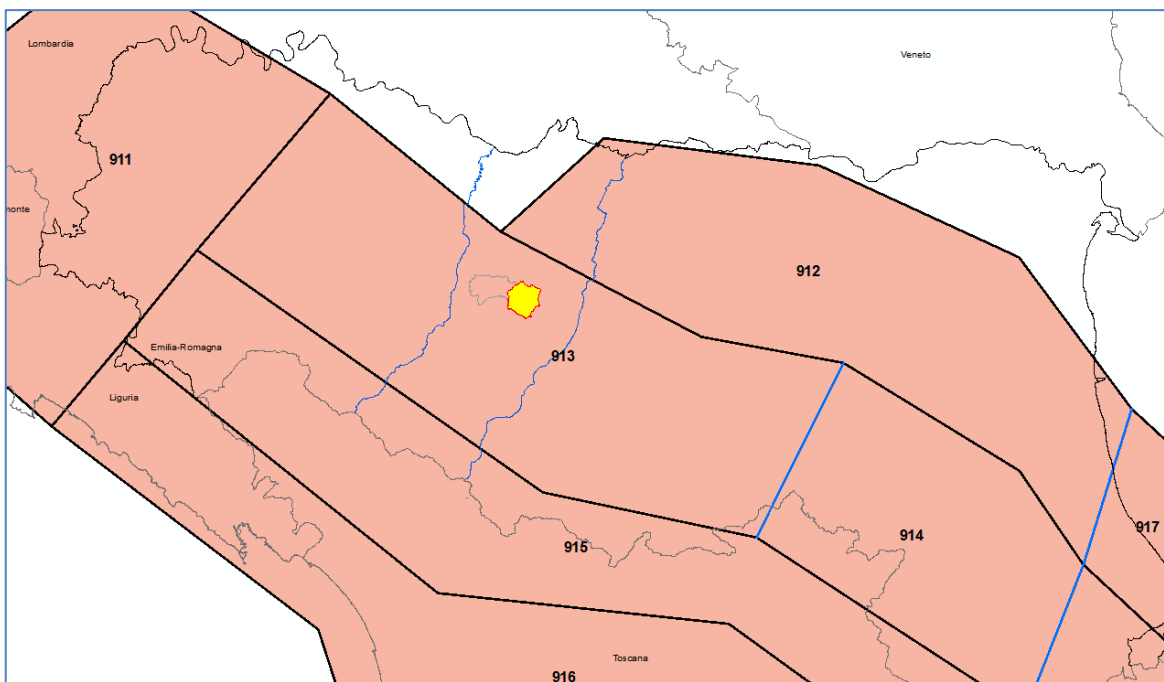


Fig. 8 Particolare di Fig. 7 in cui ricade il comune di Albinea all'interno della provincia di Reggio Emilia

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

L'inquadramento geologico descritto nel seguito è stato redatto sulla base delle informazioni contenute nelle sezioni e nelle note illustrative dei fogli CARG 200 Reggio nell'Emilia (M. Pizziolo, S. Segadelli, S.C. Vaiani et alii, 2010), 218 Castelnuovo ne' Monti (G. Papani, M,T. De Nardo, G. Bettelli, D. Rio, C. Tellini, L. Vernia et alii, 2002) e nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 consultabile sul sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Il territorio comunale di Albinea occupa una porzione di territorio pedecollinare di circa 44 Km² compreso fra il Torrente Crostolo a ovest e Lodola a est. All'interno i corsi d'acqua maggiori sono rappresentati dal Torrente Lavezza, che scorre nei pressi di Albinea e dal Torrente Groppo.

La morfologia si presenta particolarmente articolata, con una differenziazione del territorio comunale in due settori, ben distinti fra loro e con differenti caratteristiche. La parte nord è caratterizzata da una morfologia pianeggiante con la presenza di depositi alluvionali, mentre le porzioni sud si trovano a quote più elevate e sono presenti affioramenti delle successioni liguri, epiliguri e delle evaporiti messiniane.

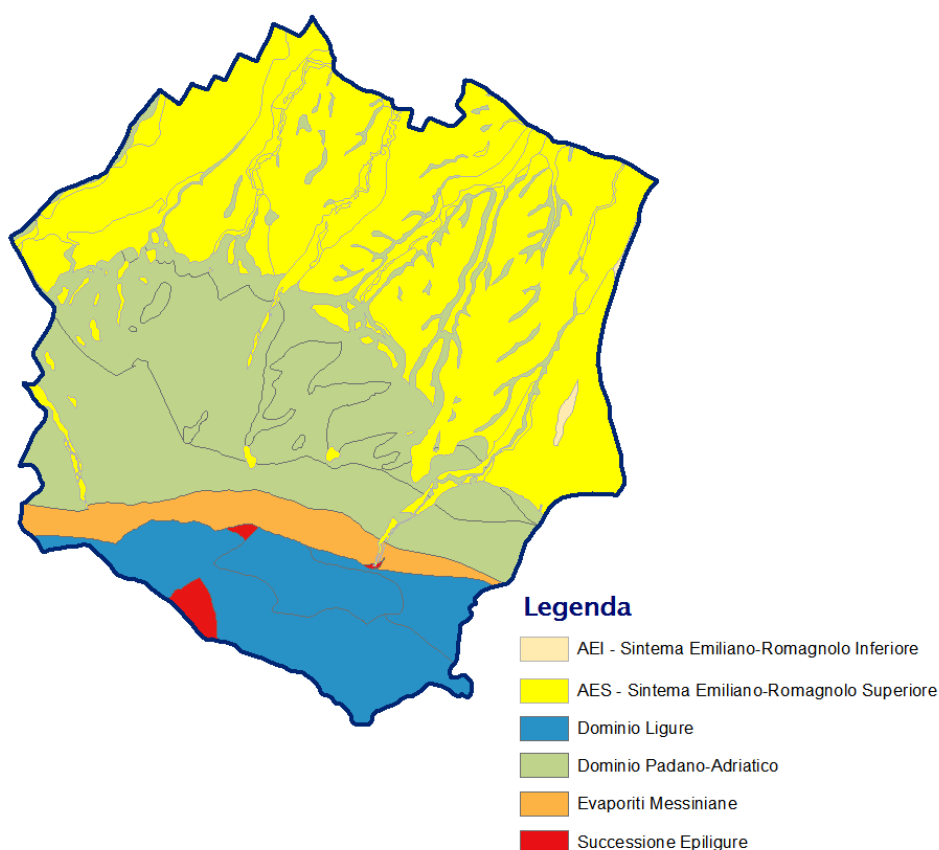


Fig. 9 Rappresentazione dei domini affioranti nel comune di Albinea

In Fig. 9 sono presenti le unità affioranti nel territorio di riferimento le quali possono essere raggruppate in tre insiemi distinti:

- Successione Neogenica Quaternaria di margine la quale comprende il Supersistema Emiliano-Romagnolo, il Dominio Padano-Adriatico e le Evaporiti Messiniane.
- Successione Epiligure
- Dominio Ligure

Nel suo complesso il primo raggruppamento è rappresentato alla base da depositi evaporitici e continentali, seguiti da depositi marini e con al tetto ancora depositi continentali più recenti. Questo si può riassumere come un ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo.

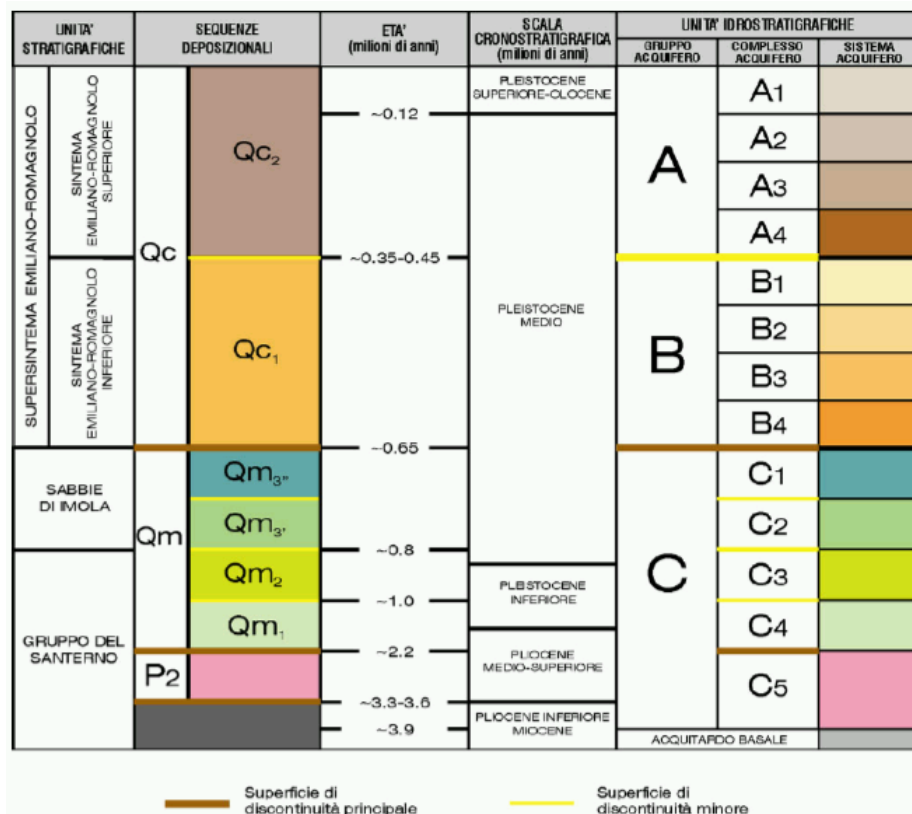


Fig. 10 Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola. Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi (fonte: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

In Fig. 10 è rappresentata, da un punto di vista gerarchico, lo schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola in cui si distinguono due Sequenze Principali (Supersistemi secondo la terminologia delle U.B.S.U. - Unconformity-Bounded Stratigraphic Units) denominate come segue:

- Supersistema o Allogruppo del Quaternario Marino (Qm)
- Supersistema o Allogruppo Emiliano-Romagnolo (depositi Pleistocenici continentali, corrispondenti al ciclo Qc di Ricci Lucchi et al. (1982)) a sua volta suddiviso in Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI o SERI), compreso tra 0,65 e 0,45 Ma, e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES o SERS) compreso tra 0,45 Ma e il presente, separati, appunto, dalla discontinuità tarata a 0,45 Ma.

Il Quaternario Marino è stato deposto al di sopra di una estesa superficie di discontinuità al termine di un evento di sollevamento tettonico di importanza regionale. È costituito da terreni di ambiente paralico e marino. All'interno di questi depositi sono individuabili due unità, separate da una discontinuità stratigrafica, di cui una inferiore denominata Sintema del Torrente Stirone (Qm1 di Fig. 10) ed una superiore detta Sintema di Costamezzana (Qm2 e Qm3) che affiora lungo il margine appenninico lungo le incisioni fluviali.

Le Evaporiti Messiniane (Formazione Gessoso Solifera - GES) affiorano per quasi tutto il territorio parallelamente al margine appenninico e sono la manifestazione della crisi di salinità messiniana. L'ambiente deposizionale risulta appunto evaporitico e lagunare caratterizzati da una notevole variabilità verticale e laterale di litofacies. Questi sedimenti si trovano incuneati tettonicamente fra le formazioni cretache e plioceniche. In alcuni casi questa formazione nasconde morfologie carsiche di superficie come doline e valli cieche.

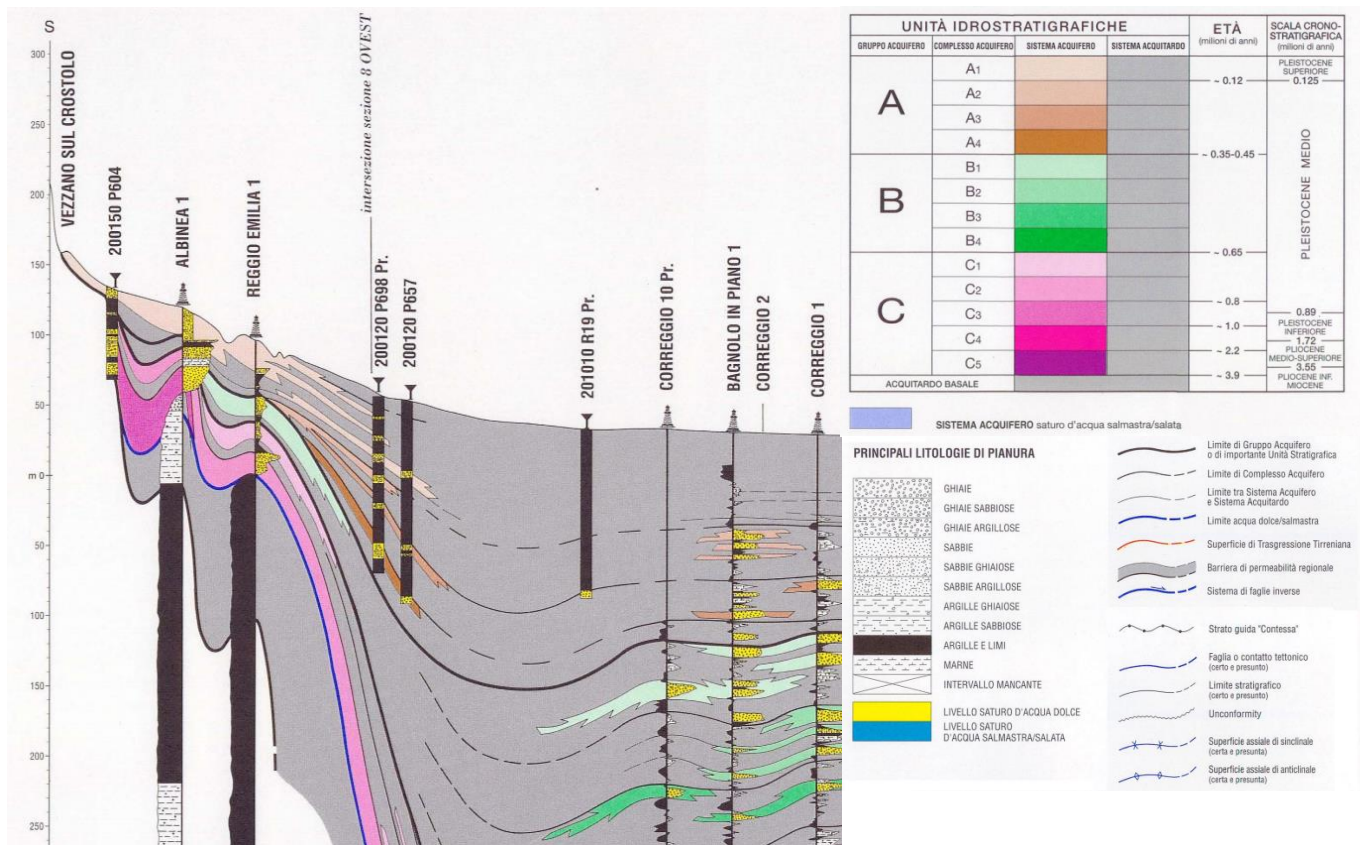


Fig. 11 Suddivisione del sottosuolo nei diversi Gruppi Acquiferi e i rispettivi Complessi (fonte: Regione ER, ENI-AGIP, 1998)

La Successione Epiligure invece costituisce il riempimento di bacini episuturali impostati dall'Eocene Medio al Miocene Superiore nel corso dell'orogenesi appenninica sulle coltri alloctone (Liguridi). La sua sedimentazione ha registrato indirettamente gli eventi tettonici e deposizionali significativi che hanno riguardato il cuneo orogenico durante la traslazione sulla placca Adria. Sono costituite alla base da depositi di mare profondo, seguiti da depositi di mare basso.

In Fig. 11 sono presenti le unità idrostratigrafiche ricavate dalla carta delle risorse idriche della Regione ER. L'abitato di Albinea ricade sui depositi alluvionali di ricarica del Gruppo Acquifero A, caratterizzati da tessiture grossolane, ghiaie e ghiaie sabbiose come confermato dai sondaggi ENI effettuati per le indagini petrolifere. Questi terreni sono riconducibili a depositi alluvionali e in particolare a ghiaie delle conoidi alluvionali.

3.1 Aspetti tettonici generali

Dal punto di vista tettonico l'Appennino settentrionale rappresenta una catena a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di porzioni di elementi di differente origine paleogeografica. Nelle aree in studio si possono descrivere due differenti zone delimitate dal margine appenninico. La porzione meridionale è costituita dai primi rilievi appenninici originatisi in seguito allo scontro tra la placca Africana e quella Euroasiatica. Queste unità tettoniche sono rappresentate dalle unità liguri ed epiliguri formati tra il cretacico e il miocene.

La zona di margine appenninico, in cui affiorano prevalentemente terreni appartenenti alla successione post-evaporitica, è caratterizzata dalla presenza di una fascia di strutture embricate sepolte appartenenti al Pede-Appenninic Thrust Front (PTF – Boccaletti et alii, 1985). Il PTF rappresenta una serie di faglie inverse e sovrascorrimenti lungo il fronte appenninico che separa questa fascia con quella più

esterna del bacino della Pianura Padana. Il fronte è caratterizzato da stress di tipo compressivo e a valle di esso sono presenti sistemi di thrust ad embrice ciechi a causa del loro seppellimento al di sotto dei depositi alluvionali della Pianura Padana. Si tratta quindi di un arco di accavallamento composto da sistemi di thrust e strutture anticlinali immergenti verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra 20° e 30°.

Inoltre la presenza di depositi alluvionali a quote più elevate rispetto all'alveo attuale indicano che questa zona dell'Appennino è stata interessata recentemente da importanti sollevamenti.

La figura sotto raffigura una visione d'insieme dell'assetto strutturale della pianura padana in cui sono rappresentati i thrust principali.

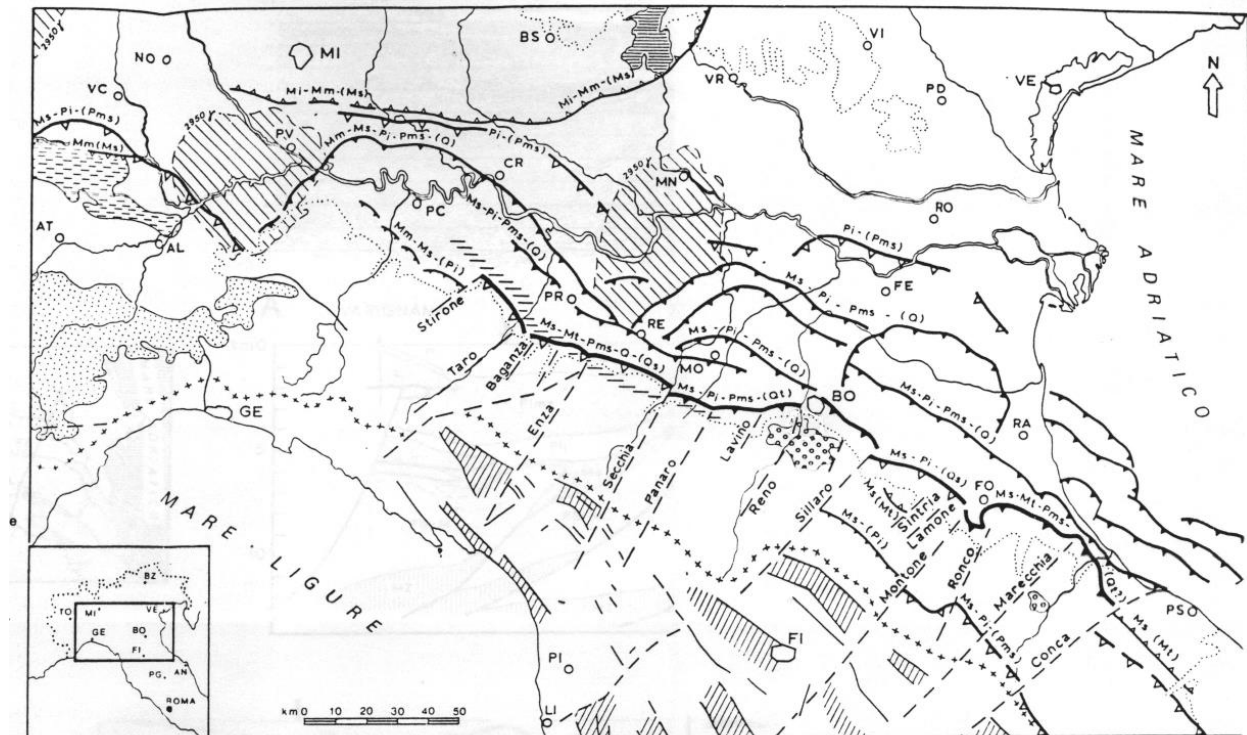


Fig. 12 Mappa strutturale dei fronti nord appenninici (fonte: Catellarin et al., 1985)

Oltre al PTF è presente più a nord l'arco di accavallamenti denominato ETF (External Thrust Front) che costituisce l'arco di accavallamenti sepolti attualmente attivi nel bacino padano che definisce il limite dell'appennino sepolto.

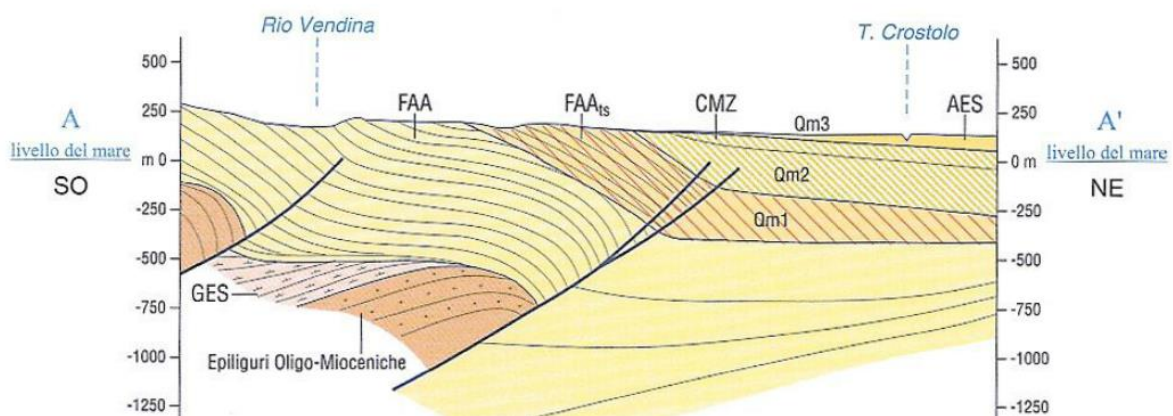


Fig. 13 Sezione geologica a ovest dell'abitato di Albinea (fonte: Foglio 200 – Reggio nell'Emilia)

La Fig. 13 rappresenta una sezione eseguita nei pressi di Albinea in cui si riconoscono i thrust sepolti e le forme anticlinali derivate per il regime compressivo al quale è sottoposta l'area.

La figura sottostante invece mostra, attraverso un modello altimetrico, la presenza del Pedeappennic Thrust Front lungo il margine appenninico. Morfologicamente si riconoscono in superficie le faccette triangolari le quali mettono in evidenza l'attività della faglia presente.

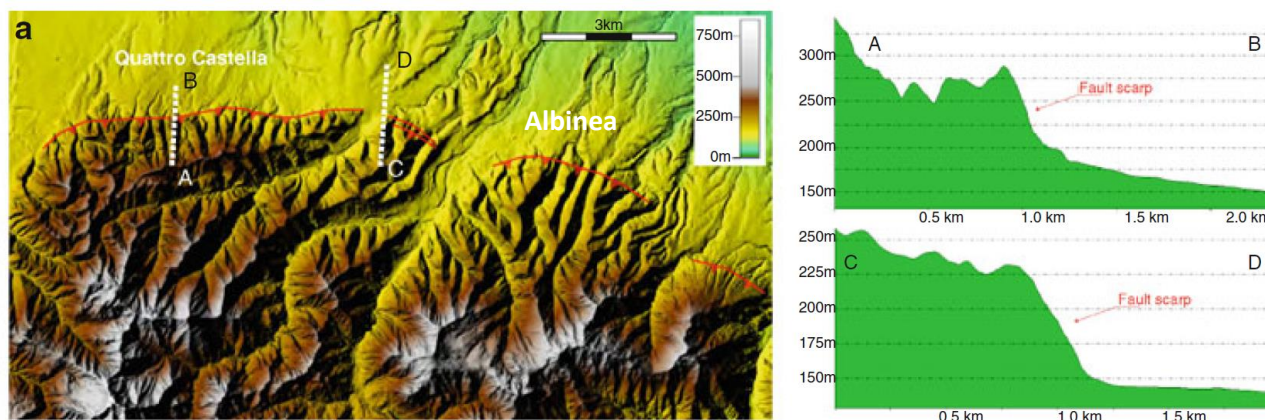


Fig. 14 Modello altimetrico in cui è rappresentato l'andamento del PTF nei pressi di Quattro Castella e Albinea e due sezioni in cui si evidenzia il salto topografico nei pressi del thrust (fonte: Boccaletti M, Corti G., Martelli L., 2011)

3.2 Assetto stratigrafico

3.2.1. Successione neogenico-quadernaria di margine – Depositi quadernari continentali

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES): Rappresenta un'unità alluvionale terrazzata costituita prevalentemente da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. È suddivisibile in diversi subsintemi tra i quali nelle aree in esame si riscontrano:

- AES8 – “Subsintema di Ravenna” (Pleistocene sup. - Olocene) *“In contesto intravallivo e in pianura e l'unità è rappresentata da depositi di conoide alluvionale, terrazzati, costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose, con locali intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi, ricoperte da una coltre limoso-argillosa di spessore variabile. Localmente sono prevalenti limi e limi sabbiosi nei depositi di interconoide e del reticolo idrografico minore. Il contatto di base è erosivo e discordante con tutte le altre unità, mentre il limite di tetto è una superficie, per gran parte relitta corrispondente alla superficie topografica”*. È presente inoltre l'ordine di terrazzo di rango inferiore AES8a “Unità di Modena” (Olocene - Attuale) *“Consiste di depositi di riempimento di canale fluviale e di depositi di tracimazione fluviale costituiti da: - depositi, grossolani, ghiaiosi, presso le aste fluviali e da alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale in corpi topograficamente ben rilevati a geometria nastriforme; - argille e limi di piana inondabile in corpi topograficamente depressi interposti ai depositi di argine. Corrisponde al primo ordine di terrazzi nelle zone intravallive.”*
- AES7 – “Subsintema di Villa Verucchio” – Affiorano le due unità in cui è suddiviso le quali sono separate in affioramento da scarpate fluviali: AES7a – Unità di Niviano (Pleistocene superiore) *“costituita da limi, limi argillosi, limi sabbiosi con intercalati livelli di sabbia in strati sottili legati ad eventi di tracimazione fluviale. Lo spessore in affioramento non supera i 15 m.”*; AES7b – Unità di Vignola (Pleistocene superiore) *“depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e ghiaie a matrice limoso-sabbiosa di conoide e più a valle da limi e limi argillosi di piana alluvionale. Spessore massimi inferiore a 15m.”*

Sono inoltre presenti depositi di versante e depositi eluvio-colluviali. I primi sono costituiti materiale lapideo immerso in matrice sabbiosa mentre i depositi eluvio-colluviali da materiale eterogeneo prevalentemente fine originato da alterazione in sito o ruscellamento.

Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI): Caratterizzato dalla presenza di limi, limi argillosi intercalati da livelli ghiaiosi deposti in un'ambiente di piana inondabile. Il contatto basale con il Qm è netto o erosivo e discordante. Lo spessore massimo è di circa 250 m. (età: Pleistocene Medio).

3.2.2. Successione neogenica quaternaria di margine – Substrato geologico marino

Costituito da due sequenze deposizionali corrispondenti ad unità UBSU:

- CMZ – “Sintema di Costamezzana” (Pleistocene inferiore) Deposto in ambienti di sedimentazione da continentale a marino marginale e “costituito nell’area in esame da sabbie medie o fini bene selezionate con localmente sviluppo di stratificazione obliqua, laminazione piano-parallela. Sono inoltre presenti argille e limi grigio-nerastri fossiliferi e bioturbati, con resti vegetali e intercalazioni lenticolari di ghiaie fini e medie in matrice sabbiosa.” Il contatto basale è erosivo o netto e discordante.
- ATS – “Sintema del Torrente Stirone” (Pliocene Superiore-Pleistocene Inferiore) Costituita da argille, argille marnose e argille siltose stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici. È suddivisibile in base alla successione di facies tra cui quella affiorante nell’area in esame è rappresentata dalla litofacies (prevalentemente) sabbiosa ATsb costituita da depositi di fronte deltizio e formata da sabbie, sabbie ghiaiose intervallate a facies pelitiche. Nell’area è in contatto erosivo e discordante con le unità sottostanti.

3.2.3. Successione neogenica quaternaria di margine

- FAA – “Argille Azzurre” (Pliocene Inferiore – Pleistocene Inferiore, Zancleano - Calabrian) “Costituita da argille marnose, parzialmente siltose, talora sabbiose, grigie, grigio-azzurre e talora grigio plumbeo, spesso con stratificazione poco o per nulla evidente per bioturbazione. Il contatto inferiore è netto e trasgressivo, localmente tettonico sulle unità sottostanti. L’ambiente di sedimentazione è principalmente di scarpata o di piattaforma esterna per la parte inferiore dell’unità, mentre nella parte alta si osserva un graduale passaggio verso batimetrie più superficiali”. Nell’area affiora lungo tutto il margine anche la litofacies pelitico sabbiosa FAAps costituita da peliti siltose e peliti sabbiose in strati da millimetrici a decimetrici con laminazione ondulata, piano parallela e incrociata a scala plurimetrica. Si possono inoltre trovare lenti decimetriche di argille massive e corpi arenacei stratificati.
- FCO – “Formazione a Colombacci” (Miocene Superiore - Messiniano) In questa area è “prevalentemente composta da argille marnose e marne argillose laminate, grigio-verdi con rari microfossili, subordinatamente livelli di sabbie fini o finissime grigie e conglomerati; stratificazione da sottile a media. Nel suo insieme l’unità mostra una tendenza trasgressiva, con approfondimento relativo di un bacino di tipo ipoialino, rappresentata dalla sequenza conglomerati-sabbie-argille.” I sistemi deposizionali possono essere riconducibili a quello di conoide, barre, canali e pianura per le granulometrie maggiori mentre le argille ad un ambiente subacqueo poco profondo, da lacustre a lagunare con eventuali episodi deltizi. Il suo limite inferiore è discordante sulle altre unità e presenta uno spessore massimo di circa 60 m.

3.2.4. Successione Epiligure

- PAT – “Formazione di Pantano” (Miocene Medio - Langhiano). Appartiene al Gruppo di Bismantova istituito da Amorosi et alii (1996c). “Sono presenti alternanze di areniti fini siltose, siltiti e marne siltose di colore grigio chiaro, ocraceo se alterate, organizzate in strati medi a molto spessi, talora gradati. Il rapporto a/p risulta molto variabile, da ≈ 1 a >5 , con una generale diminuzione verso l’alto”. La stratificazione è in genere piano parallela ma risulta poco riconoscibile a causa della bioturbazione. L’ambiente deposizionale passa da uno profondo a sedimentazione mista torbidity-epipelagica di scarpata-bacino ad un ambiente di piattaforma a sedimentazione mista terrigeno-carbonatica, con sviluppo di facies indicative di

basse profondità. Questa transizione è la manifestazione dei movimenti tettonici avvenuti nel Burdigaliano. La base di questi depositi è netta, in discordanza sulla Formazione di Contignaco (CTG).

- CTG – “Formazione di Contignaco” (Miocene Inferiore, Aquitaniano – Burdigaliano Inferiore) *“Costituita da marne localmente siltose di colore grigio cenere, in cui è caratteristica la presenza di livelli fortemente arricchiti in silice di origine sia vulcanica che bioclastica. Sono presenti localmente intercalazioni di areniti fini grigie-verdastre in livelli da sottili a spessi”*. Questi tipi di depositi sono riconducibili ad ambienti di mare profondo a sedimentazione emipelagica con correnti torbiditiche.
- ANT – “Formazione di Antognola” (Oligocene Inferiore – Miocene Inferiore, Rupeliano – Aquitaniano) Unità che affiora in piccole porzioni dell’area in esame e *“costituita da marne siltose grigio-verdi, localmente debolmente arenacee, a frattura da scheggiata a concoide, con sporadici livelletti arenitici fini o siltitici di spessore da sottile a medio”*. L’ambiente di deposizione è di tipo profondo con moderati apporti torbiditici. Il suo contatto superiore è graduale con la CTG.
- MVT – “Brecce Argillose della Val Tiepido – Canossa” (Oligocene Superiore – Miocene Inferiore, Chattiano – Aquitaniano) *“Costituita da brecce poligeniche a matrice argillosa grigio scura, qualitativamente prevalente sui clasti litoidi.”* Sono presenti nell’area inoltre le litofacies MVTa e MVTb differenziate in base all’origine degli inclusi metrici. Questi depositi sono stati messi in posto da colate sottomarine multiple di fango e detrito. Lo spessore è di circa 250 m e il suo contatto basale rappresenta una discontinuità di importanza regionale entro la successione epiligure.

3.2.5. Successione Ligure

- MCS – “Flysch di Monte Cassio” (Campaniano sup. - Maastrichtiano) *“Torbiditi, prevalentemente in banchi e strati spessi costituiti da areniti brune a grana medio fine e marne calcaree biancastre. Il rapporto arenite/marna è sempre inferiore all’unità variando da 1/3 a 1/5 o minore. Le areniti presentano lamine piano parallele fin dalla base dello strato, passanti a rippels e lamine convolute.”* Questi tipi di depositi sono attribuibili ad un ambiente deposizionale di piana abissale.
- AVV – “Argille varicolori di Cassio” (Cenomaniano sup. - Campaniano) *“Argille e argilliti varicolorate a bande rosse, rosso vinate, verdi, grigio scure, nocciola, più o meno siltose e solo raramente marnose.”* Questa formazione risulta spesso tettonizzata con diverse pieghe a tutte le scale. L’ambiente deposizionale è attribuibibile a un bacino di mare profondo con limitati apporti torbiditici.
- APA – “Argille a Palombini” (Aptiano - Albiano) *“Argilliti di colore grigio scuro, localmente con deboli focature verdastre o rosso scure, che inglobano blocchi di calcilutiti, aventi dimensioni variabili da decimetriche a metriche. Le argilliti presentano le tipiche superfici di clivaggio scaglioso, che ne condizionano la fratturazione.”* L’ambiente riconducibile a questo tipo di depositi è di tipo pelagico con eventi di risedimentazione di fanghi carbonatici.

3.3 Contestualizzazione delle aree in studio

In Tab. 2 sono indicate le aree prese in considerazione per le analisi di microzonazione sismica.

Tab. 2 Elenco delle aree considerate nello studio di microzonazione sismica

Codice	Comune	Zona	Area (Km ²)
01	Albinea	Albinea	1,726
02 03	Albinea	Area industriale - Botteghe	0,266 – 0,361

Codice	Comune	Zona	Area (Km ²)
04	Albinea	Broletto	0,144
05	Albinea	Montericco	0,261
06 - 08	Albinea	Borzano - Gameda	0,646
07	Albinea	Area industriale Borzano	0,241

3.3.1. Albinea

L'area di interesse si estende dai primi rilievi collinari a monte del capoluogo, fino al limite comunale nord ed è caratterizzata da un lieve pendio che degrada verso nord tra quote comprese tra 200 e 100 sul livello del mare.

Essa è impostata su un'ampia superficie terrazzata incisa e delimitata da due corsi d'acqua, nello specifico il Rio Arianna a ovest e Torrente Lavezza a est, i quali hanno contribuito in maniera determinante alla definizione dell'attuale assetto geomorfologico del territorio. La cartografia geologica regionale attribuisce i depositi affioranti all'unità alluvionale AES7a (Unità di Niviano) appartenente al subsistema di Villa Verucchio. Si tratta di sedimenti della fase pluvio-fluvioglaciale Rissiana costituiti da materiali eterometrici più o meno pedogenizzati, con presenza di paleosuoli argillosi giallo-bruni. Nei primi metri sono quindi predominanti le argille e le argille limose. Analizzando inoltre le indagini geognostiche pregresse disponibili nell'area, all'aumentare della profondità il deposito diventa sempre più eterogeneo con un aumento sensibile della frazione granulare. È inoltre ben visibile lungo i margini del territorio la scarpata di erosione fluviale con il terrazzo di rango inferiore AES8 Subsistema di Ravenna e AES8a Unità di Modena.

L'Unità di Niviano ricopre a sua volta depositi attribuibili al Sintema di Costamezzana (CMZ), il quale si trova in affioramento nella porzione sud del territorio in esame (Fig. 15) ed è prevalentemente composto da sabbie medio fini ben selezionate. Il suo contatto basale è discordante sulle unità sottostanti appartenenti alla litofacies pelitico sabbiosa (FAAps) della Formazione delle Argille Azzurre.

Queste ultime, affioranti più a sud, sono composte da peliti siltose e peliti sabbiose riconducibili ad un ambiente di piattaforma.

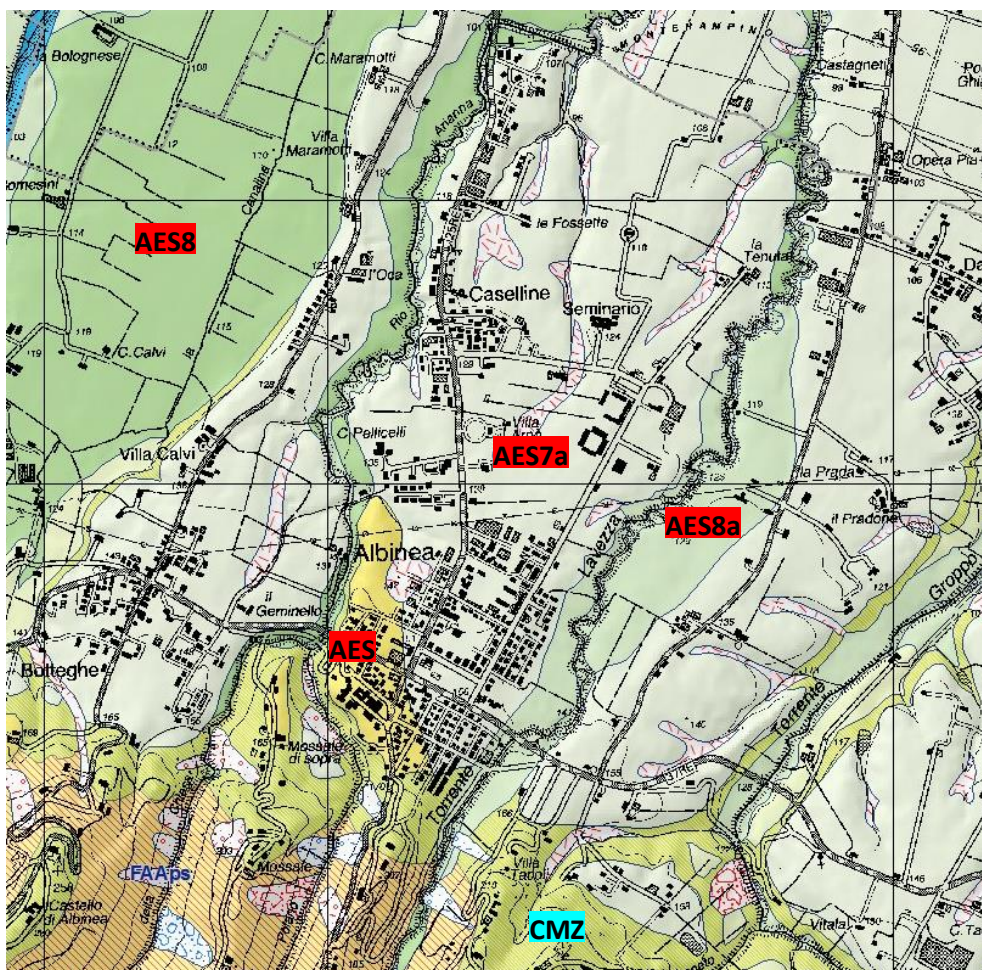


Fig. 15 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi di Albinea (modificata)

3.3.2. Area industriale – Botteghe

L'abitato di Botteghe si trova a ridosso del margine appenninico, nella fascia terrazzata di transizione con l'alta pianura. Il terreno degrada dolcemente in direzione SW-NE con una pendenza decrescente da monte verso valle.

A est il lembo di terrazzo è delimitato da una scarpata di erosione fluviale ben visibile con il terrazzo di rango inferiore AES7b, mentre a ovest da un piccolo corso d'acqua denominato Rio della Chiesa, il quale unendosi con il Rio Poiano dà origine al già citato Rio Arianna che scorre di poco a ovest dal capoluogo.

L'area si estende su di una superficie riconducibile all'unità di Niviano AES7a, e come confermato da prove eseguite in precedenti studi, è costituito in prevalenza da argille ed argille limose intervallate da lenti composte da miscele di ghiaia e sabbia.

L'area industriale si trova sul limite comunale ovest di Albinea in destra idrografica del Torrente Crostolo. Come indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna affiorano prevalentemente terreni appartenenti al Subsistema di Ravenna AES8, mentre le abitazioni a monte della strada provinciale n. 21 si trovano al di sopra del terrazzo di rango superiore AES7b Unità di Vignola. Il contatto tra i due terrazzi risulta poco distinguibile a causa dei numerosi interventi antropici. Entrambe le unità sono costituite nei primi metri da materiale fine coesivo, e con l'aumentare della profondità si trovano livelli di ghiaie, ghiaie sabbiose con struttura lenticolare, riconducibili al tracciato dei paleoalvei.

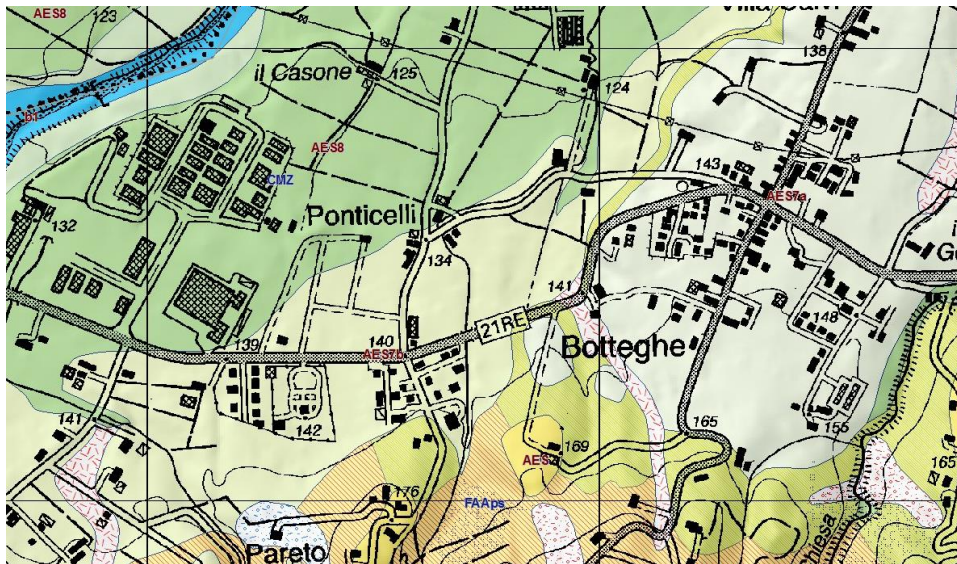


Fig. 16 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi di Botteghe

3.3.3. Broletto

L'area di interesse si estende dal Castello di Albinea fino alla porzione meridionale di Broletto; è posta lungo un crinale originato dalla profonda incisione causata dal Rio della Chiesa, a est, e il Rio Monteatico, a ovest.

Sono due le unità litostratigrafiche affioranti: la facies pelitico-sabbiosa della Formazione delle Argille Azzurre nell'abitato di Broletto, e il Sintema di Costamezzana (CMZ) nei pressi del Castello di Albinea. La prima è costituita da argille, argille marnose di colore grigio azzurro, mentre le seconde da sabbie e ghiaie intercalate a livelli argillosi di età pliocenica.

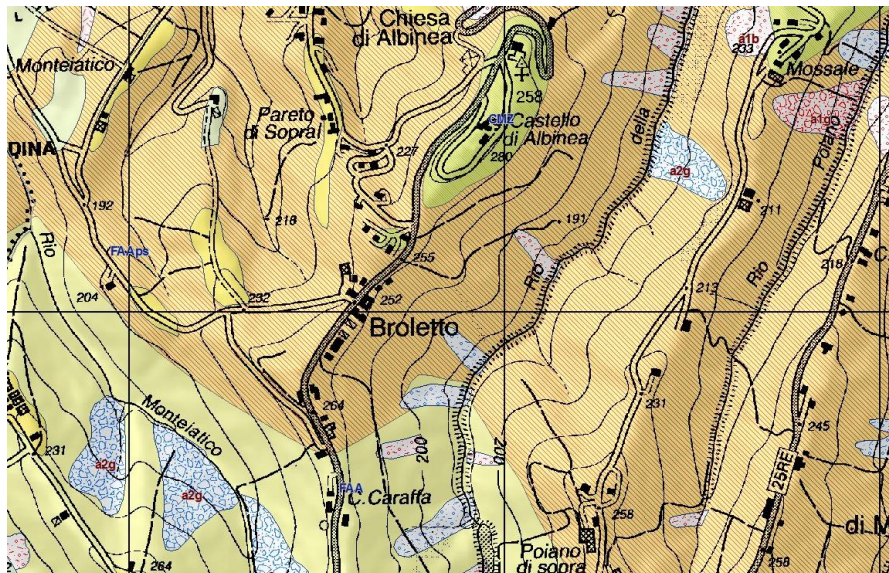


Fig. 17 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi di Broletto

Nell'intorno dell'area in esame ed in particolare alla base dei versanti sono riconoscibili alcuni piccoli dissesti gravitativi sotto forma di scivolamenti e di colate ai danni delle coperture detritiche. Nella zona in esame non sono state osservate forme di instabilità attive e o quiescenti.

3.3.4. Montericco

L'abitato di Montericco si sviluppa lungo una stretta linea di cresta ad andamento meridiano delimitata sui due lati dal Torrente Lavezza e dal più piccolo Rio Caneto. Le quote vanno dai 280 m s.l.m. nella porzione sud (oltre il Castello) fino ai 210 m più a nord, in località Montericco.

I terreni presenti sono prevalentemente riconducibili al sintema di Costamezzana, costituito da sabbie fini di colore giallastro, localmente in strati sottili e medi intercalate a limi argillosi, con livelli di sabbie e sabbie ghiaiose e ciottolose. Sono caratterizzate inoltre da una diffusa cementazione che conferisce una buona resistenza.

Il contatto basale è discordante con l'unità plio-pleistocenica delle Argille Azzurre, nello specifico la sua litofacies pelitico-sabbiosa FAAs, costituita appunto da peliti siltose e peliti-sabbiose. Questa unità affiora lungo i versanti ovest ed est della cresta ed è interessata, limitatamente alla base dei versanti in corrispondenza dei corsi d'acqua da limitate forme di instabilità di versante dovute prevalentemente all'infiltrazione delle acque piovane. L'abitato di Montericco non appare in ogni caso interessato da forme di instabilità attive e o quiescenti.

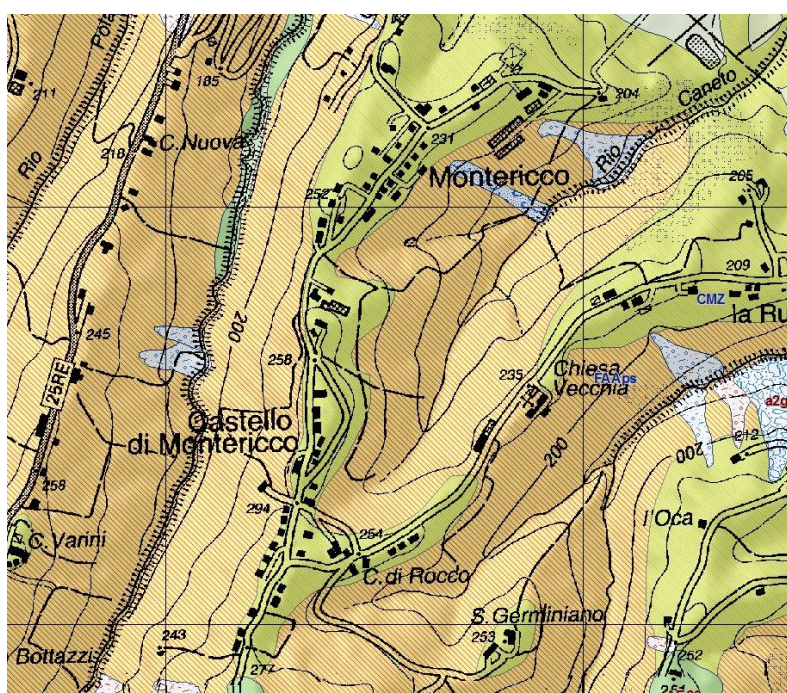


Fig. 18 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi di Montericco

3.3.5. Borzano

La zona in esame è suddivisibile in due sotto aree che comprendono l'abitato di Borzano in sinistra idrografica del Torrente Lodola e la frazione di Gameda sul il versante che degrada verso la sponda destra del corso d'acqua.

La prima si estende dalla sponda sinistra del torrente ad una quota massima di circa 184 m. fino alla Strada Provinciale SP37 a circa 145 m s.l.m..

Come si può notare in Fig. 19 l'abitato è posto sul terrazzo alluvionale identificato dalla carta geologica dell'Emilia-Romagna come AES7a - Unità di Niviano. Nei primi metri, come confermato dalle indagini geognostiche eseguite, è caratterizzato dalla presenza di materiali di natura argillosa, in alcuni casi con una componente organica e torbosa, mentre a profondità maggiori sono presenti livelli a granulometria maggiore che comprendono sabbie e ghiaie ad elevato addensamento che hanno impedito la prosecuzione delle indagini statiche CPT.

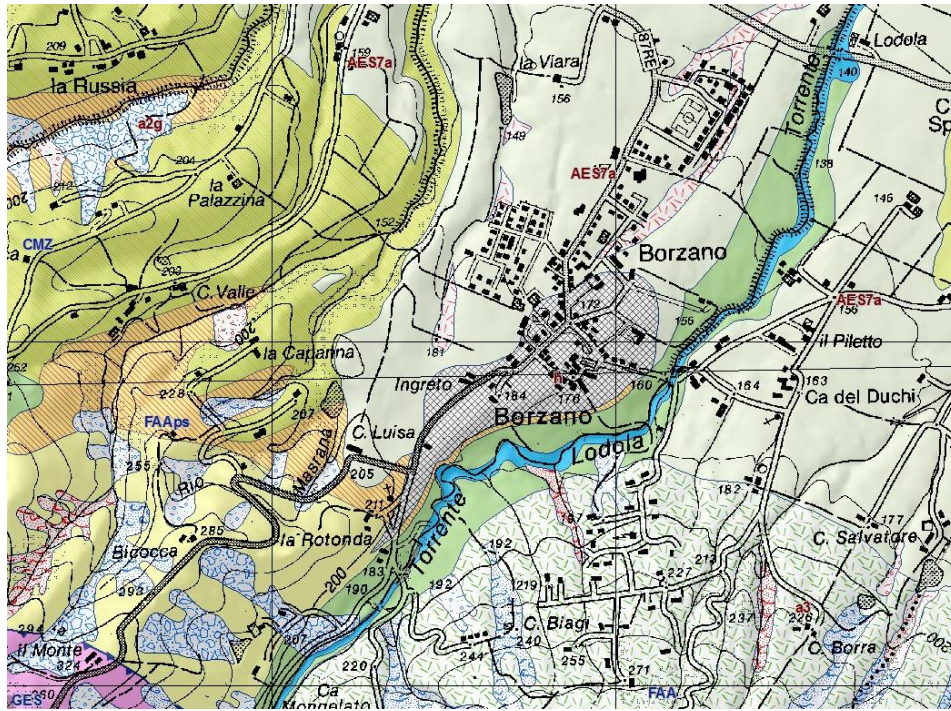


Fig. 19 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi di Borzano

La frazione di Gameda si trova come già ricordato più a sud, e si colloca su un versante leggermente acclive (10°) che termina nel fondovalle del Torrente Lodola.

La recente “Carta Inventario del Dissesto” pubblicata dal portale cartografico regionale classifica l’area come “a3 – Depositi di versante”, ossia materiali eterogenei ed eterometrici in matrice pelitica originati dall’alterazione delle formazioni sottostanti. Questo deposito, infatti, in corrispondenza dell’abitato di Gameda poggia al di sopra della litofacies pelitico-sabbiosa della Formazione delle Argille Azzurre (FAAps). Verso monte il substrato passa prima alle Argille Azzurre (FAA), poi ai Gessi Messiniani (GES) ed infine alle Argille Varicolori (AVV).

Sull’ampia superficie del deposito detritico sono riconoscibili gli effetti di alcuni movimenti gravitativi superficiali, concentrati lungo le deboli incisioni del reticolo idrico superficiale.

I materiali classificati come a3 – Depositi di versante presentano una genesi incerta. Non si esclude che essi siano realmente attribuibili a una frana, tuttavia mancano, almeno in parte, i caratteri morfologici tipici delle frane stesse. Per quanto riguarda più in dettaglio le condizioni di stabilità dell’accumulo detritico evidenziato ed in particolare per “chiarire la natura dei processi che hanno generato l’accumulo e la sua attribuzione a altre categorie (oltre a depositi di frana anche, eolici, glaciali o periglaciali e soprattutto eluvio-colluviali)” sono quindi stati eseguiti specifici approfondimenti.

In primo luogo sono stati analizzati i dati geognostici disponibili, sono stati acquisiti ulteriori dati sismici, ricostruiti gli eccelerogrammi ed è quindi stata eseguita una verifica di stabilità in condizioni sismiche per l’individuazione delle superfici critiche e per la stima degli spostamenti.

3.3.6. Area industriale Borzano

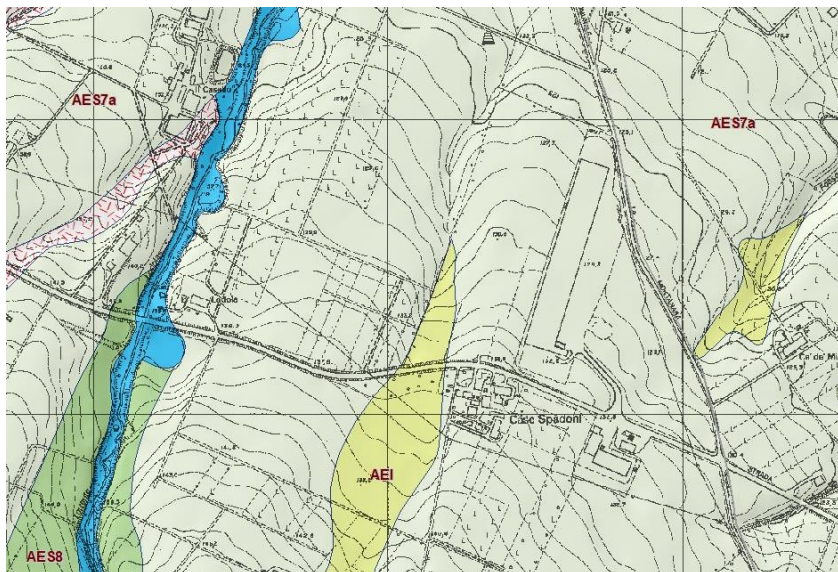


Fig. 20 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna nei pressi dell'area industriale di Borzano

Si tratta di un'area pianeggiante, ad una quota media di 126 m s.l.m. al confine comunale ovest di Albinea a cavallo della strada provinciale SP37.

L'intera area, come si evince dalla carta geologica dell'Emilia-Romagna ricade al di sopra di depositi alluvionali recenti appartenenti al Subsistema di Villa Verucchio, in particolare all'Unità di Niviano AES7a (pleistocene superiore). Questa superficie terrazzata è situata su depositi alluvionali composti da ghiaie sabbiose, limose o argillose ricoperte da limi argillosi.

In Fig. 20 risulta cartografato anche il Sistema ER Inferiore AEI, il quale presenta composizione del tutto simile ma databile intorno al Pleistocene medio. Il suo contatto basale è netto o erosivo e discordante con i depositi di marini (Qm).

4 Dati geotecnici e geofisici

E' stata condotta un'approfondita indagine d'archivio presso l'ufficio tecnico del Comune di Quattro Castella per individuare i dati geognostici di interesse ai fini del presente studio. Contemporaneamente sono state analizzate anche le informazioni contenute nel web gis del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna SGSS.

Complessivamente sono state cartografate e analizzate per il comune in esame 110 indagini così suddivise in base alla tipologia:

- n. 4 misura con microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 71 prove penetrometriche statiche
- n. 20 prove penetrometriche dinamiche
- n. 2 stendimenti geofisici tipo Re.Mi.
- n. 8 Prove REMI
- n. 5 sondaggi geognostici

Sono state inoltre eseguite ulteriori prove per caratterizzare il territorio anche dal punto di vista dinamico. Nello specifico sono state effettuate prove per determinare le proprietà geofisiche (andamento delle Vs con la profondità), per caratterizzare il tipo di bedrock e gli spessori delle coperture quaternarie.

Le prove eseguite sono le seguenti:

- n. 33 misure con microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 15 stendimenti geofisici MASW
- n. 3 profili sismici a rifrazione

4.1 HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

È una tecnica di sismica passiva che si basa sulla misura delle vibrazioni ambientali con lo scopo di determinare le caratteristiche del terreno al di sotto del punto indagato. In sostanza è utilizzata con lo scopo di individuare le frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa dei fenomeni di risonanza, fornendo indicazioni qualitative sull'entità delle risonanze attese.

La procedura di acquisizione si articola in diversi passaggi:

- Fase 1: Ciascuna traccia viene suddivisa in finestre di uguale dimensione e per ciascuna viene calcolato lo spettro (eliminazione componenti nel lungo periodo; tapering; trasformata di Fourier e lisciamento dello stesso per ridurre la variabilità);
- Fase2: Viene valutata la persistenza delle funzioni HVSr nelle diverse finestre spettrali e vengono successivamente calcolati i rapporti spettrali medi nel relativo intervallo di confidenza.

La curva che viene determinata dal dispositivo rappresenta quindi il rapporto tra lo spettro di ampiezza media della componente orizzontale e quello verticale (H/V) in cui si evidenziano maggiormente le frequenze fondamentali (F_0) di risonanza. Questo perché i microtremori sono causati principalmente da onde superficiali (onde di Rayleigh) in cui la componente verticale del moto non risente dei fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza, mentre avviene per le componenti orizzontali.

In generale, maggiore sarà il contrasto di impedenza, responsabile del fenomeno, e più precisa sarà la misura della frequenza di risonanza. In Fig. 21 sono rappresentati esempi di curve ottenute da diverse analisi di rumore ambientale che hanno individuato dei contrasti di impedenza a diverse profondità.

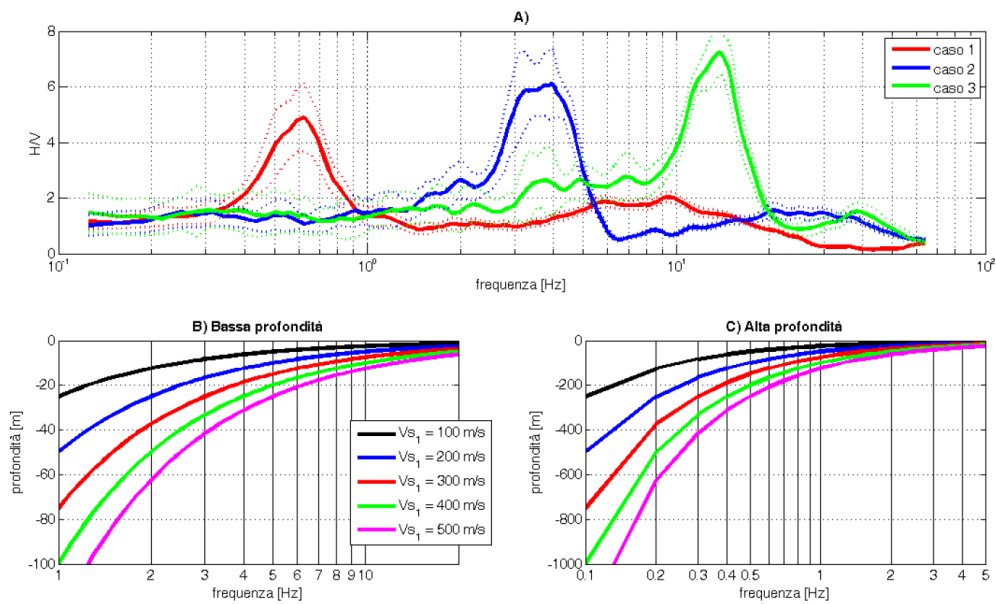


Fig. 21 A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione $V-F_0-H$ alle medio-alte frequenze; C) relazione $V-F_0-H$ alle medio-basse frequenze (fonte: D. Albarello e S. Castellaro, 2011)

Per analisi svolte direttamente sul substrato (condizione di bedrock affiorante) la curva non presenterà massimi significativi e quindi non sono attesi effetti di risonanza. Il rapporto H/V sarà all'incirca unitario.

La durata di acquisizione deve essere tale da garantire un campionamento statisticamente adeguato. Se si vuole investigare un campo di frequenze compreso nell'intervallo $0,1 \div 20$ Hz, il campionamento deve durare $15 \div 40$ min in modo tale da analizzare finestre da 30 s di lunghezza e avere così almeno 20-30 su cui effettuare una media.

Per differenziare i picchi di natura stratigrafica da quelli generati da fonti di disturbo si può osservare nella componente spettrale verticale un minimo locale con una forma "a ogiva" che è indicativa di risonanza stratigrafiche.

4.2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La tecnica MASW (Park et al., 1999) prevede la registrazione simultanea di 12 o più canali (separati da 0,5m a 10m), fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità (l'energizzazione è prodotta da una massa battente di almeno 8-10 Kg).

Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, "overtone analysis", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle V_s per successiva inversione 1-D.

La tecnica permette inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento per risalire ad un profilo bidimensionale che evidenzia le variazioni laterali delle V_s .

Per le indagini di nuova realizzazione, l'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 12 canali (PASI 16SG12) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4,5 Hz, con spaziatura tra i geofoni di 4 m., durata di acquisizione di 1 sec. Con passo di campionamento di 0,25 ms.

Dato l'utilizzo di un sismografo a 12 canali è stata effettuata una doppia acquisizione e i due dataset (da 12 tracce ciascuna) sono stati sommati per ottenere un unico dataset che "simula" un'acquisizione a 24 tracce.

Per ottenere questo risultato la sorgente è stata spostata (allontanata) di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (ed i geofoni restano immobili), come riportato in Fig. 22.

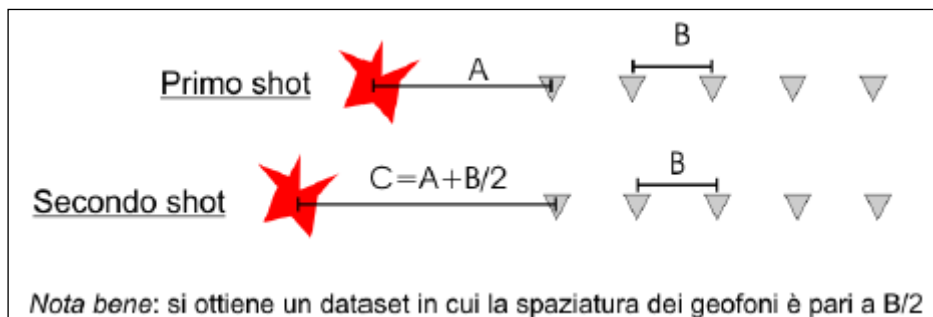


Fig. 22 Metodo per la somma di un dataset

L'energizzazione, realizzata a distanze di 6, 8, 10, 12 e 16, 18 m. dal primo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 kg.

4.3 Profilo sismico a rifrazione

Le prove sismiche a rifrazione sono composte anche in questo caso da: una sorgente, un sistema di ricezione composto da un gruppo di geofoni, da un sistema di acquisizione dati e da un trigger.

L'indagine consiste nel misurare il tempo impiegato dalla perturbazione sismica indotta nel terreno dalla sorgente, a percorrere la distanza tra quest'ultima e ciascun geofono opportunamente spaziato lungo il profilo indagato. Nello specifico le onde che arrivano al geofono sono onde dirette, riflesse e onde coniche o birifratte, queste ultime sono quelle analizzate perché incontrano la superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico venendo così rifratte parallelamente alla stessa e successivamente vengono nuovamente rifratte con lo stesso angolo verso la superficie.

Attraverso la relazione che lega la velocità d'onda e la distanza sorgente-geofono (dromocrona) è possibile, applicando determinate formule matematiche, risalire agli spessori degli strati e quindi alla stratigrafia della zona in esame.

5 Modello del sottosuolo

Le indagini effettuate nel corso del presente studio di microzonazione sismica, l'analisi del patrimonio informativo preesistente, integrati al rilievo e alla cartografia regionale, hanno permesso una più chiara caratterizzazione del sottosuolo delle aree di interesse.

Albinea

L'area comprendente il capoluogo comunale è interessata da elevata variabilità dello spessore delle coperture alluvionali così come testimoniato dalle indagini geofisiche realizzate nel presente studio di microzonazione. Queste infatti evidenziano spessori dei depositi quaternari via via maggiori spostandosi verso monte.

Queste caratteristiche non sempre trovano conferma nei risultati delle indagini HVSR. Infatti queste ultime evidenziano di norma bassi contrasti di impedenza per frequenze elevate. Questo è presumibilmente da ricondurre alla presenza di corpi ghiaiosi a pochi metri di profondità dalla superficie topografica.

La zona sud del capoluogo è caratterizzata dall'affioramento della porzione alterata del substrato riconducibile in parte al Sintema di Costamezzana e in parte alla Formazione delle Argille Azzurre, in particolare alla litofacies pelitico/sabbiosa. Le Vs30 calcolate risultano piuttosto basse intorno ai 250 m/s e inoltre sono stati effettuate analisi per la determinazione del fattore topografico per l'acclività dell'area (>15°).

Area industriale – Botteghe

Si trova di poco a ovest l'abitato di Albinea lungo il margine appenninico. Anche in questo caso le registrazioni dei microtremori a stazione singola (HVSR) non hanno evidenziato alti contrasti di impedenza come si evince anche dalla carta delle frequenze naturali. I valori significativi sono piuttosto eterogenei, ed evidenziano l'influenza di corpi ghiaiosi superficiali.

Tuttavia attraverso gli stendimenti geofisici si è potuto ricostruire il modello del sottosuolo dell'area. Gli spessori dei depositi alluvionali, comprendenti le lenti di materiale grossolano, presentano spessori compresi tra i 15 e 25 m evidenziati da un aumento delle Vs anche fino a 600 m/s. Queste velocità confermano la presenza di un bedrock non rigido, a causa della forte alterazione e tettonizzazione, riconducibile alla Formazione di Costamezzana.

In quest'area si riscontrano inoltre corpi sabbiosi in cui sono state eseguite specifiche analisi (pregresse) del potenziale di liquefazione che non hanno però riscontrato suscettibilità a questo fenomeno per il limitato spessore dei depositi in esame.

Broletto – Montericco

Queste due aree si trovano in un contesto collinare di cresta morfologica in cui sono stati eseguite specifiche analisi per la determinazione del coefficiente topografico.

Le prove HVSR effettuate non individuano forti contrasti di impedenza in quanto il bedrock alterato non rigido risulta sostanzialmente affiorante.

Nonostante questo, le frequenze di risonanza registrate, considerando anche gli stendimenti geofisici MASW, testimoniano un passaggio graduale dalla coltre di alterazione fino al bedrock non rigido.

Borzano – Gameda

L'abitato di Gameda si trova in un contesto caratterizzato dall'estesa presenza di depositi detritici classificati come deposito di versante "a3", costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici immersi in matrice fine.

In corrispondenza dell'abitato, questo corpo detritico è stato analizzato attraverso un sondaggio a carotaggio continuo (035001P102) e prove geofisiche.

Il sondaggio ha evidenziato nei primi metri una prevalenza di materiale fine argilloso particolarmente alterato con la presenza di clasti millimetrici spigolosi. Con la profondità aumenta la consistenza del materiale argilloso e si trovano cristalli di gesso (riconducibili alla Formazione Gessoso Solfifera affiorante nelle porzioni sommitali del versante) e clasti calcarei e calcarenitici. La presenza di clasti e materiale più grossolano termina entro i 12 m dal piano campagna; a profondità maggiori sono riconoscibili depositi argillitici e siltitici.

Per un maggior dettaglio è stata elaborata una tavola allegata al presente documento in cui è presente una sezione dell'area in esame.

L'area di Borzano si sviluppa invece su depositi terrazzati dove le indagini geofisiche effettuate testimoniano spessori delle coperture alluvionali di circa 15 metri per le porzioni settentrionali e un tendenziale aumento fino a 20 m verso sud.

Le prove HVSR realizzate hanno individuato blande amplificazioni per frequenze piuttosto elevate, testimoniando la presenza di corpi ghiaiosi nei primi metri di profondità.

Area industriale Borzano

Si trova in una area pianeggiante terrazzata in cui le indagini geofisiche hanno registrato un aumento delle velocità di taglio fino a 500 m/s alla profondità di circa 15 m testimoniando la presenza di un bedrock non rigido.

In alcuni sondaggi pregressi effettuati nell'area si riscontrano, a profondità leggermente superiori, sabbie limose con inclusi di marna ed arenaria riconducibili al substrato alterato (Sintema di Costamezzana).

6 Interpretazioni e incertezze

Il programma delle indagini geognostiche e geofisiche è stato in larga parte finalizzato allo studio della profondità del bedrock o dello pseudo bedrock sismico ed alla conseguente definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Nelle aree di margine appenninico le indagini HVSR hanno individuato bassi contrasti di impedenza e picchi ad elevate frequenze testimoniando la presenza di corpi ghiaiosi nei primi metri del sottosuolo. Per lo stesso motivo gli stendimenti geofisici hanno individuato aumenti improvvisi delle Vs non sempre a velocità riconducibili allo pseudo-bedrock (350 m/s).

Per questi motivi si è deciso di considerare l'informazione dell'aumento di Vs (> 400 m/s) come l'inizio del substrato alterato. Lo spessore dei depositi considerato comprende quindi oltre il materiale fine anche i corpi ghiaiosi caratteristici delle zone in esame.

7 Metodologie ed elaborazione dati

7.1 Analisi di RSL con metodi numerici monodimensionali (EERA)

Considerando le NTC 2008 paragrafo 3.2.2 “*Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.*” in questo studio di microzonazione sismica di terzo livello sono state effettuate analisi numeriche della RSL con un codice di calcolo che simula la propagazione (e l’amplificazione) delle onde sismiche all’interno dei depositi di terreno presenti al di sopra del substrato rigido.

Lo scopo del presente studio è infatti quello di determinare le modifiche che un segnale sismico $u_B(t)$ partendo dalla base (B) di un deposito subisce fino a raggiungere la superficie, S, trasformandosi in un segnale, amplificato o deamplificato, $u_S(t)$. Nel modello vengono inseriti ed analizzati uno o più sismi in input $u_R(t)$.

Per spiegare questo è necessario parlare della *funzione di trasferimento* (o impropriamente funzione di amplificazione), la quale rappresenta una funzione complessa nel dominio della frequenza, ed esprime il rapporto tra la trasformata di Fourier del moto sismico in superficie al deposito e la trasformata del moto su roccia affiorante, per cui l’ampiezza, o modulo, della funzione di trasferimento è pari al rapporto tra le ampiezze degli spettri di Fourier rispettivamente in superficie e su roccia affiorante.

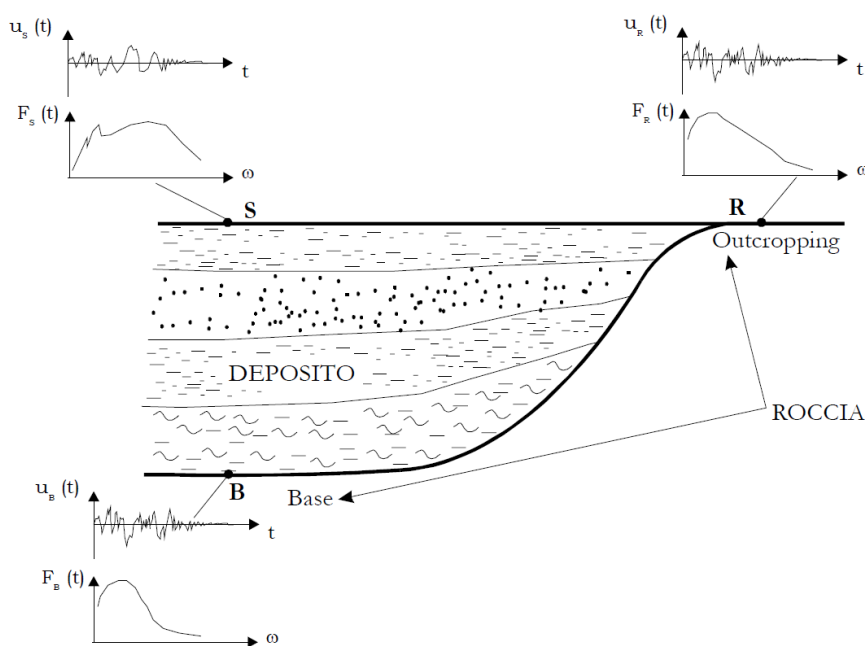


Fig. 23 Rappresentazione tipo per la determinazione della risposta sismica locale (fonte: J. Facciorusso)

Studiare la risposta sismica locale quindi vuol dire definire la funzione di trasferimento o la funzione di amplificazione rappresentativa della situazione geologico strutturale al di sotto del sito in esame. Bisogna dunque stabilire una relazione fra la struttura del sottosuolo e la funzione di amplificazione o di trasferimento. Si presume che la forma di queste due funzioni sia legata alle modalità di trasmissione delle onde all’interno dello strato superficiale ed in particolare alle interferenze che si generano fra queste onde. Le caratteristiche del processo sono controllate dall’impedenza sismica (Fig. 24).

Una tipica situazione capace di amplificare il moto del suolo è quella di un basamento rigido coperta da sedimenti soffici. In questo caso, l’onda emergente dal basso rimane intrappolata all’interno dello strato

sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza sismica sia alla base che in superficie. Se il contrasto alla base è molto grande, l'intrappolamento è perfetto e tutta l'energia rimane all'interno del sedimento. Le onde all'interno interferendo tra loro possono generare amplificazioni.

In un intrappolamento perfetto delle onde, l'amplificazione è massima per certe frequenze (chiamate Frequenze di risonanza) che dipendono dallo spessore dello strato e dalle velocità delle onde al suo interno. Per minori contrasti di impedenza, parte dell'energia intrappolata riesce ad uscire dal sistema. L'entità di amplificazione dipende dunque dal contrasto alla base del sistema.

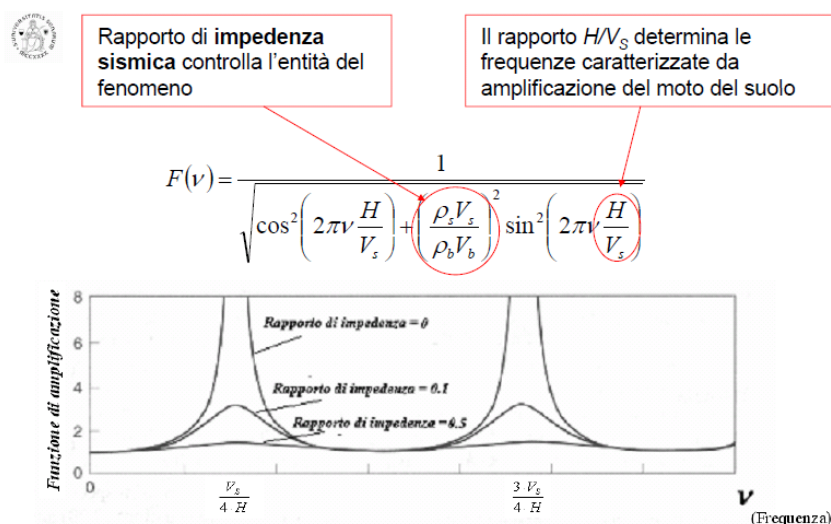


Fig. 24 Rappresentazione della funzione di amplificazione in cui compaiono i parametri chiave del rapporto di impedenza sismica e il rapporto dello spessore e la velocità delle onde di taglio (fonte: D. Albarello, 2013)

La valutazione della RSL solo in termini di ampiezze massime è poco significativa. La funzione di trasferimento infatti indica quali sono le componenti del moto sismico che, attraversando il deposito, vengono maggiormente modificate (amplificandole o attenuandole). Il deposito agisce quindi da filtro smorzante o amplificante per determinate frequenze, con un valore massimo corrispondente alla frequenza caratteristica del deposito.

In un sistema monodimensionale e in campo lineare la funzione di trasferimento rappresenta la proprietà intrinseca del deposito, legata alle sue caratteristiche geometriche e meccaniche, in grado di fornire informazioni di tipo qualitativo. Nella maggior parte dei casi, la risposta sismica, a causa della non linearità del terreno, è funzione delle specifiche caratteristiche dell'input sismico e non si può definire una funzione di trasferimento.

Il codice di calcolo utilizzato per il presente studio è EERA (Equivalent –linear Earthquake Response Analysis) sviluppato da J.P. Bardet, K. Ichii e C.H. Lin nel 2000, e costruito con lo stesso concetto del precedente SHAKE. I programmi monodimensionali 1D si basano su un serie di ipotesi e principalmente si assume che:

- il bedrock sia orizzontale e indefinitamente esteso
- il deposito sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente
- la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

Adotta il modello fisico a strati continui ed omogenei a comportamento viscoelastico linearizzato di Kelvin-Voigt in cui ogni strato è omogeneo, isotropo, ed è caratterizzato da uno spessore h , densità ρ , dal modulo di taglio G e dal rapporto di smorzamento D .

Lavora inoltre nel campo delle tensioni totali e quindi non tiene conto delle sovrappressioni interstiziali generate dal sisma che possono influenzare direttamente le caratteristiche di rigidità dei terreni.

Il calcolo della RSL viene effettuato dal codice di calcolo attraverso il metodo della funzione di trasferimento e si articola in quattro fasi (vedi Fig. 25):

- 1 : Calcolo della trasformata di Fourier dell'accelerogramma di input al bedrock attraverso la quale quest'ultimo è trasformato in una somma infinita di armoniche;
- 2 : Calcolo della funzione di amplificazione tra il basamento e la superficie del deposito;
- 3 : Calcolo della trasformata di Fourier della risposta in accelerazione alla superficie del deposito come prodotto della funzione di amplificazione per la trasformata di Fourier dell'input;
- 4 : Calcolo della trasformata inversa di Fourier della trasformata ottenuta al punto 3, ottenendo l'accelerogramma in superficie.

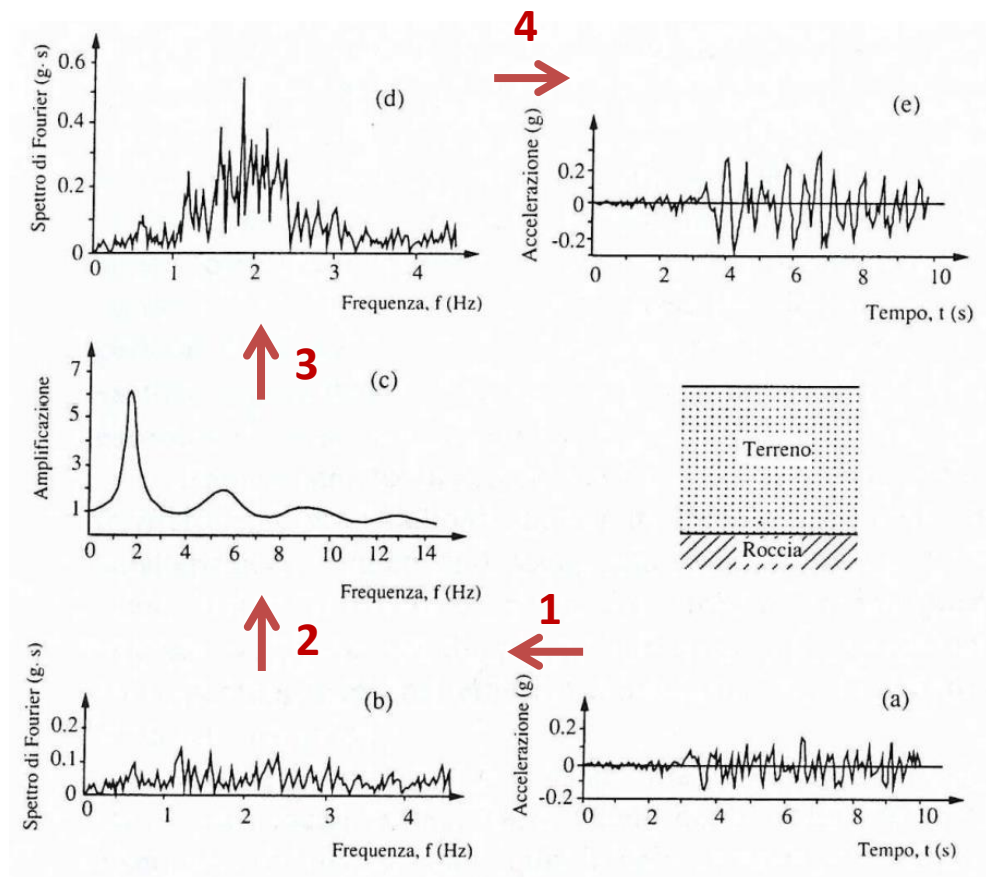


Fig. 25 Schema riassuntivo delle fasi di calcolo usate dal codice di calcolo EERA

Il comportamento del terreno risulta però spesso non lineare, e per ovviare a questo problema (pur mantenendo un'impostazione lineare delle equazioni del moto, applicando il metodo della trasformata di Fourier) si applica una procedura iterativa (modello lineare equivalente), ovvero: nel programma di calcolo i moduli G e D si ottengono da iterazioni che sono funzione del livello di deformazione " γ " indotto in tutti gli strati; quindi, non essendo costanti, variano fino a raggiungere un valore uguale al livello di deformazione indotto dal sisma. Il processo termina quando i valori di γ , G e D trovati all'iesima iterazione e quelli trovati all'iterazione precedente sono trascurabili.

I valori in input richiesti da EERA sono:

1. stratigrafia dell'area in analisi (numero e spessore strati, e peso di volume)
2. modulo di taglio G e rapporto di smorzamento D per ciascun materiale considerato

3. profondità del bedrock
4. velocità delle onde S per ciascuno strato
5. accelerogrammi di riferimento

La maggior parte di questi dati in ingresso sono ottenuti dalle prove in campagna (n. 1, 3, 4) mentre per quanto riguarda il modulo di taglio e il fattore di smorzamento, sono stati considerati le curve proposte da Vucetic (P.I. = 50 %) per le argille, Seed e Idriss per sabbie e Rollins et al. (1998) per le ghiaie.

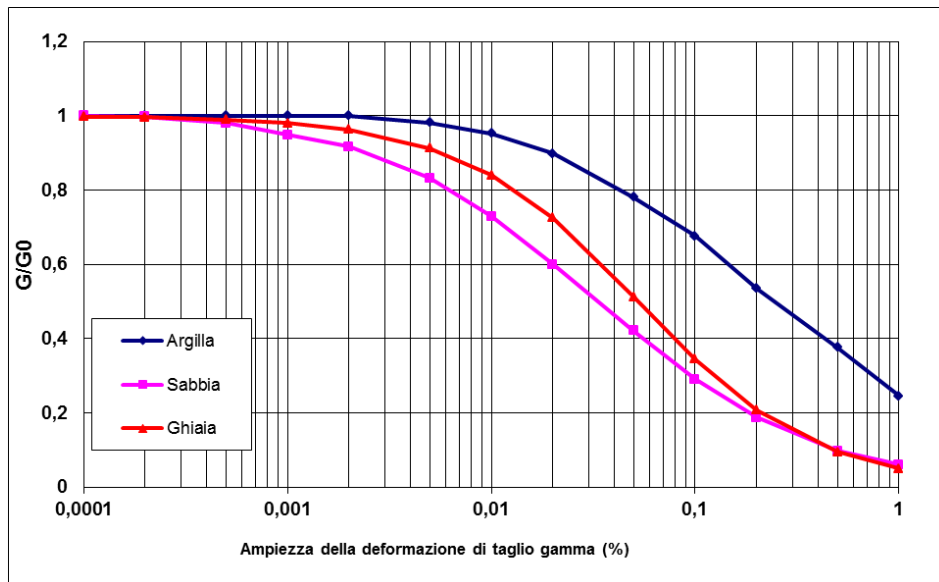


Fig. 26 Curve di decadimento normalizzate del rapporto dei moduli di taglio con γ per determinati terreni

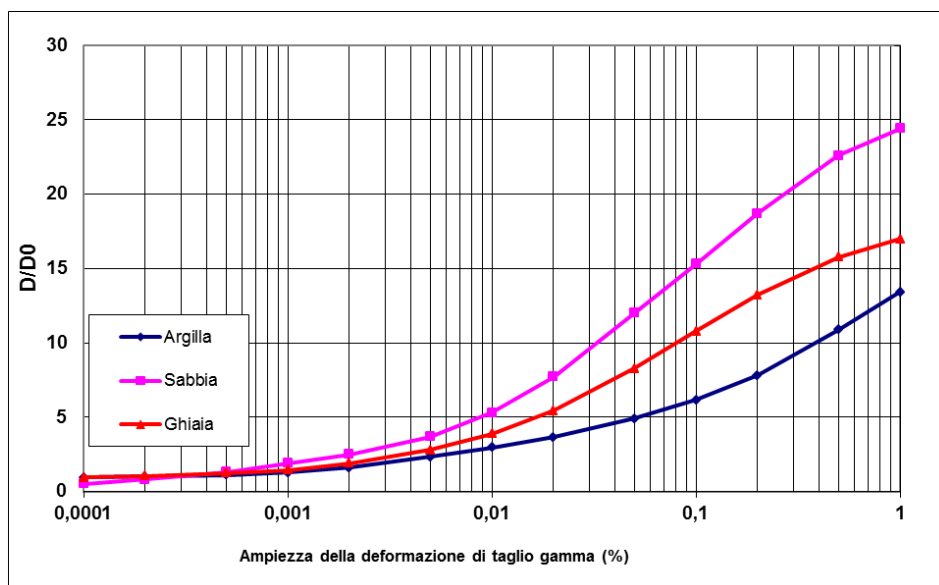


Fig. 27 Curve del rapporto di smorzamento con γ per determinati terreni

Gli accelerogrammi di riferimento normalizzati sono stati reperiti nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, e si riferiscono all'ultimo aggiornamento del DAL n.112/2007 dalla Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015. Questi segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A ($V_s > 800$ m/s) definita dalla NTC08.

Per la determinazione della RSL, la Regione fornisce inoltre gli spettri rappresentativi della zona in esame da utilizzare come riferimento. Per la definizione del moto di riferimento vengono infatti forniti: la forma dello spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) normalizzato, e mediato sul territorio regionale, rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni in Emilia-Romagna e i valori di accelerazione massima orizzontale a_{refg} , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g , con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Entrambi i dati sono stati elaborati e calcolati da INGV.

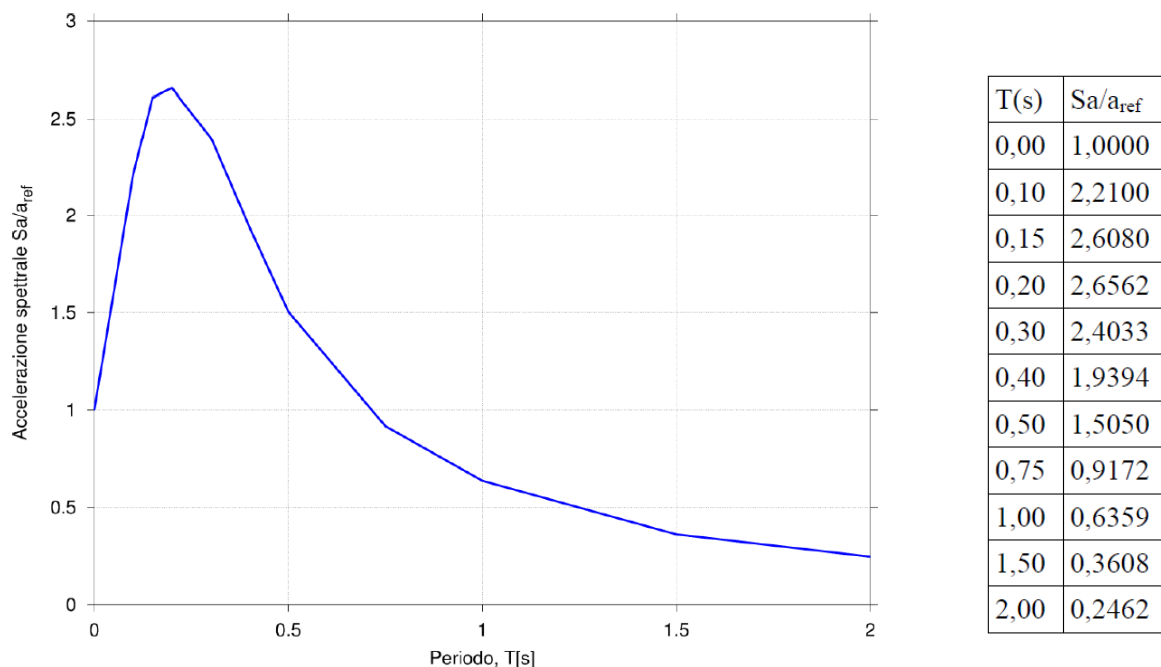


Fig. 28 Spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna con i relativi valori in tabella (fonte: DGR n.2193/2015)

Per ottenere lo spettro di risposta in accelerazione a probabilità uniforme (con smorzamento di 5%) che si riferisce al moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni nel sito in esame, si moltiplica i valori proposti dalla Regione nella tabella in Fig. 28 per il valore di a_{refg} . I valori di a_{refg} sono forniti in una maglia a punti con passo 0,05 gradi e sono stati scelti in base alla vicinanza al sito in esame:

- $a_{refg} = 0,1606$ Borzano

Il vantaggio dato da un'analisi numerica della RSL attraverso codici di calcolo monodimensionale è dato dalle informazioni in output:

1. variazione con la profondità dei valori massimi dell'accelerazione massima, della tensione e della deformazione di taglio;
2. la storia temporale dell'accelerazione, spostamento e velocità relativa, delle tensioni e delle deformazioni di taglio per ciascuno strato e per il bedrock;
3. la funzione di trasferimento del deposito;
4. lo spettro di Fourier;
5. lo spettro di risposta in termini di accelerazione, velocità e spostamento per ciascuno strato e per il bedrock.

Grazie ai valori ottenuti possiamo così ottenere i fattori di amplificazione sismica necessari per la costruzione della carta di microzonazione sismica di terzo livello. Questi sono espressi in termini di

rapporto di accelerazione massima orizzontale FA_{PGA} e rapporto di Intensità di Housner per prefissati intervalli di periodi:

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$
$$FA_{T1-T2} = \frac{SI}{SI_0}$$

PGA_0 , SI_0 rappresentano rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento ricavati dal sito della regione;

PGA (Peak Ground Acceleration) e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati;

L'Intensità di Housner è definita da:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV(\xi, T) dT$$

Dove PSV è lo pseudo-spettro di risposta in velocità, ξ è lo smorzamento e T il periodo proprio.

Nei calcoli è stato impostato uno smorzamento del 5% e tre intervalli di periodi ottenendo tre valori di intensità spettrale:

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

7.1.1. Risultati

Per ciascuna area sono state effettuate simulazioni con riferimento alle stratigrafie derivanti dalle differenti prove geofisiche disponibili. Per ogni area sono stati comunque selezionati, ai fini della redazione delle carte di microzonazione, i parametri di amplificazione più cautelativi (valori più elevati).

7.1.1.1 Borzano – Gameda

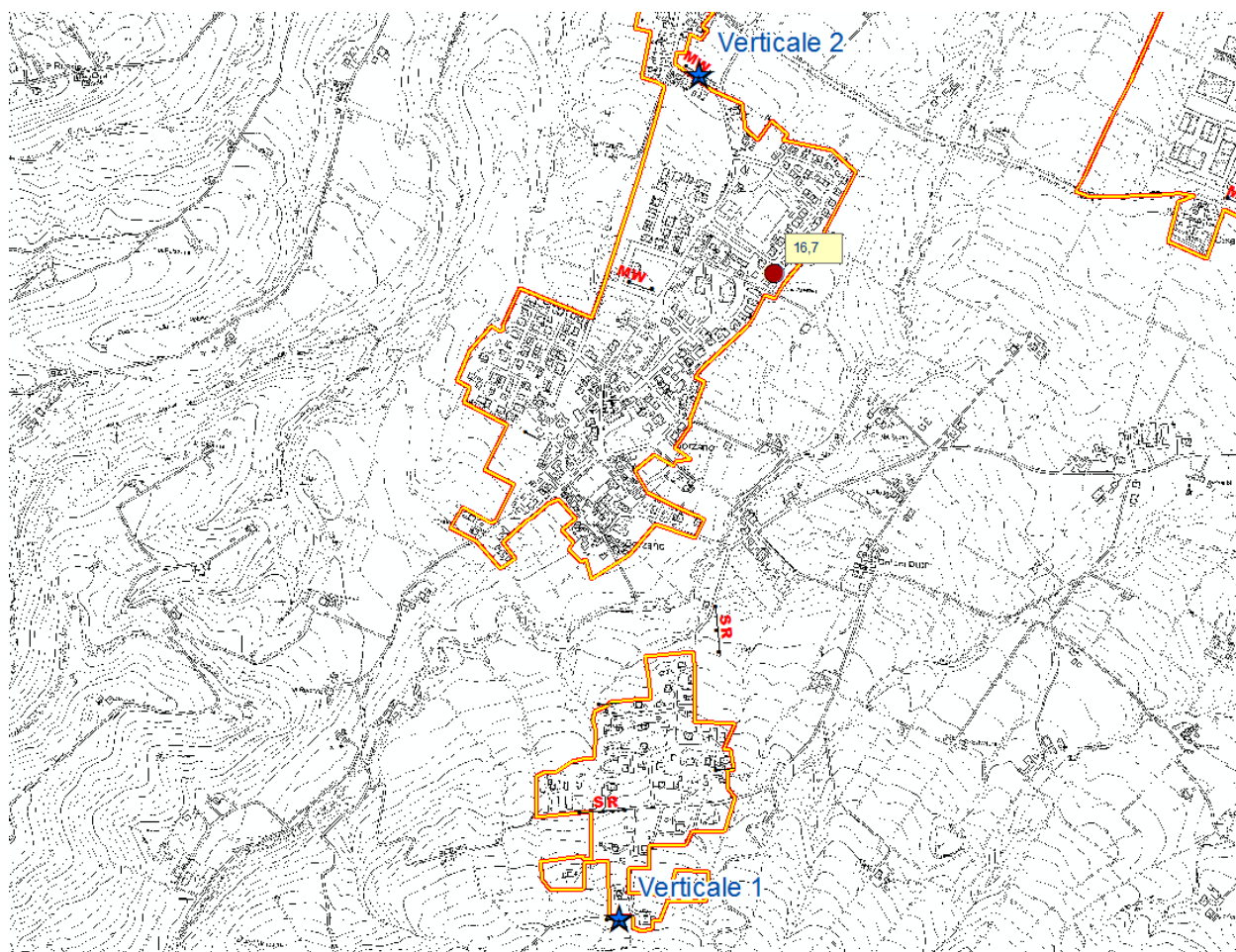


Fig. 29 Ubicazione delle verticali di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

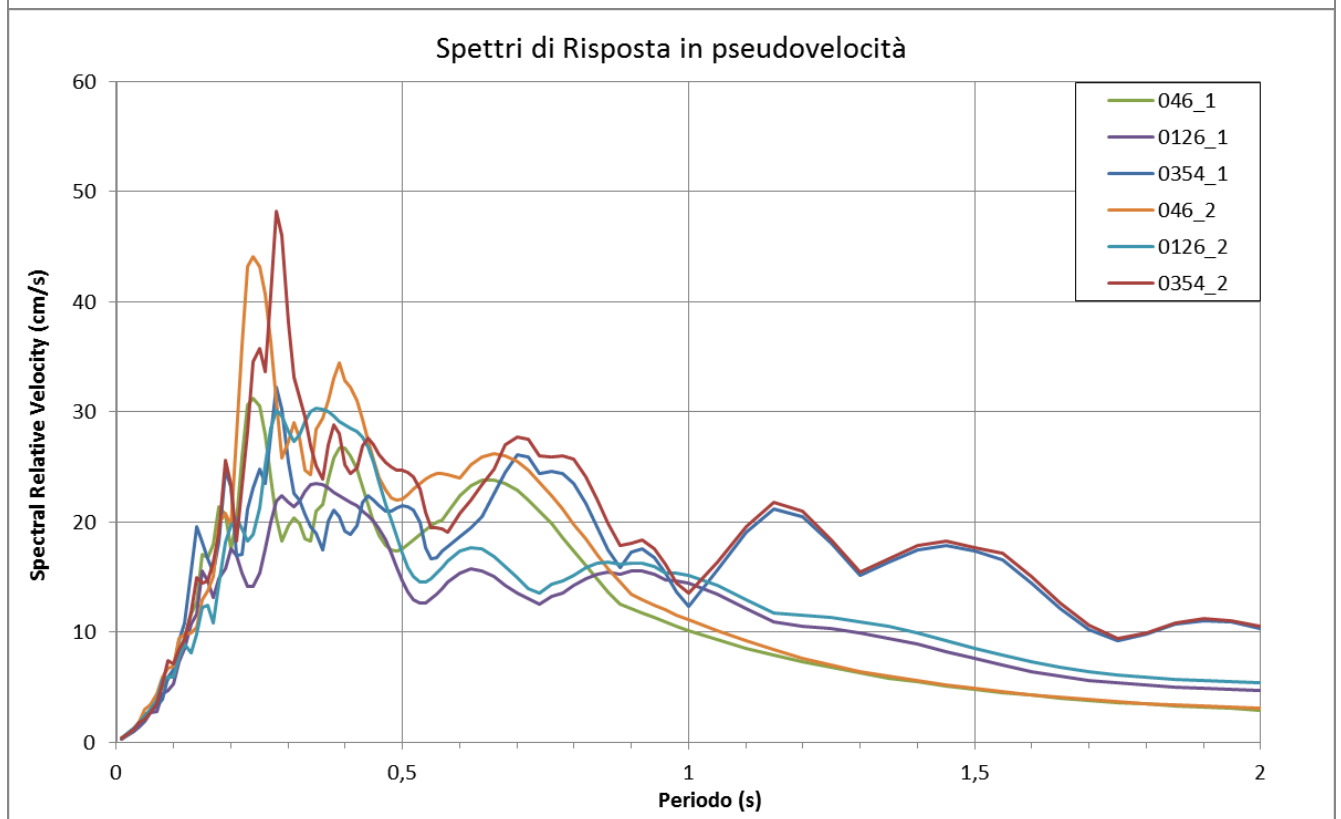
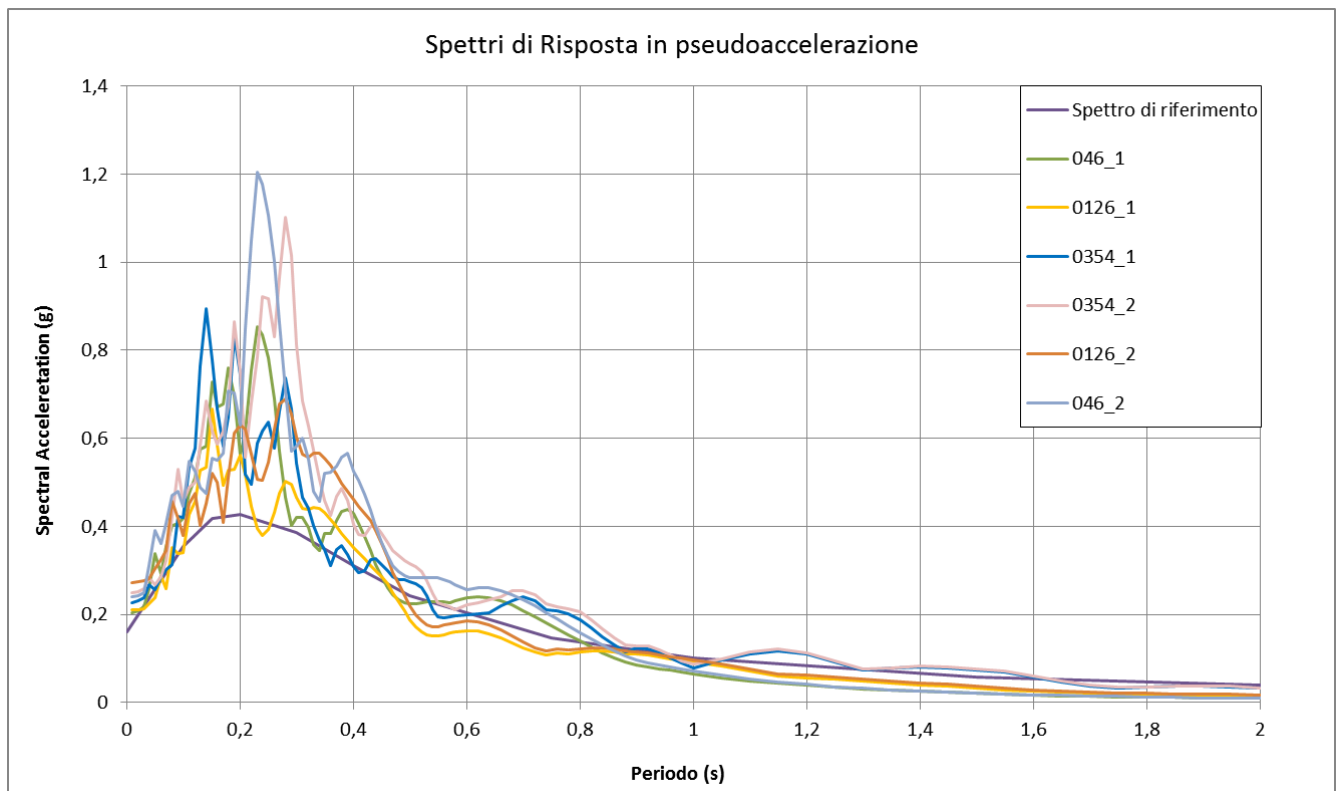
Le tabelle seguenti sono state ricavate da indagini MASW e rappresentano la stratigrafia sismica/geologica delle verticali in analisi.

Tab. 3 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 1 (0046_1, 0126_1, 0354_1)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	2	1,0	61,45	18,00	183	0,5	9,00				
	1	1,3	65,54	18,00	189	1,6	29,70				
	1	1,2	92,04	19,00	218	2,9	52,80				
	1	1,1	64,85	18,00	188	4,1	74,10				
	1	1,4	105,15	19,00	233	5,3	97,30				
	1	1,0	88,70	19,00	214	6,5	120,10				
	1	1,9	147,54	19,00	276	7,9	147,65				
	1	1,1	167,41	19,00	294	9,4	176,15				
	1	2,5	202,29	20,00	315	11,3	211,60				
Bedrock	0	317,30	1	21,00	385	12,5	236,60	Outcrop			

Tab. 4 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 2 (0046_2, 0126_2, 0354_2)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		1,0	71,21		18,00	197			0,5	9,00
	2	1		1,2	84,60		19,00	209			1,6	29,40
	3	1		1,3	92,89		19,00	219			2,8	53,15
	4	1		1,8	76,36		18,00	204			4,4	81,70
	5	1		2,5	111,56		19,00	240			6,5	121,65
	6	1		1,7	108,79		19,00	237			8,6	161,55
	7	1		1,4	115,31		19,00	244			10,2	191,00
	8	1		1,3	97,18		19,00	224			11,6	216,65
	9	1		2,2	142,24		19,00	271			13,3	249,90
Bedrock	10	0			617,30	1	21,00	537	Outcrop		14,4	270,80



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2010	0,1606	0,205	1,28	1,4	1,1	1,1
0126_1	2010	0,1606	0,210	1,31	1,3	1,1	1,1
0354_1	2010	0,1606	0,227	1,41	1,4	1,1	1
0046_2	2005	0,1606	0,241	1,50	1,7	1,2	1,2
0126_2	2005	0,1606	0,272	1,70(2,1)	1,6(2,3)	1,2(1,6)	1,2

0354_2	2005	0,1606	0,248	1,55	1,7	1,2	1,1
--------	------	--------	-------	------	-----	-----	-----

Fig. 30 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

In tabella sono riassunti i valori determinati dalla analisi di risposta sismica locale. In rosso vengono indicati i fattori di amplificazione ottenuti dagli abachi proposti dalla Regione Emilia-Romagna (in questo caso è stata considerata la tabella “APPENNINO Vs<<800m/s”) i quali risultano più cautelativi rispetto a quelli ricavati dall’analisi numerica 1D.

L’amplificazione ottenuta lungo la Verticale1 ha un valore massimo dell’FA PGA di 1,41 e dell’intensità spettrale (FA SI) di 1,4 mentre per la Verticale2 di 1,7 (FAPGA e FASI).

7.1.1.2 Albinea

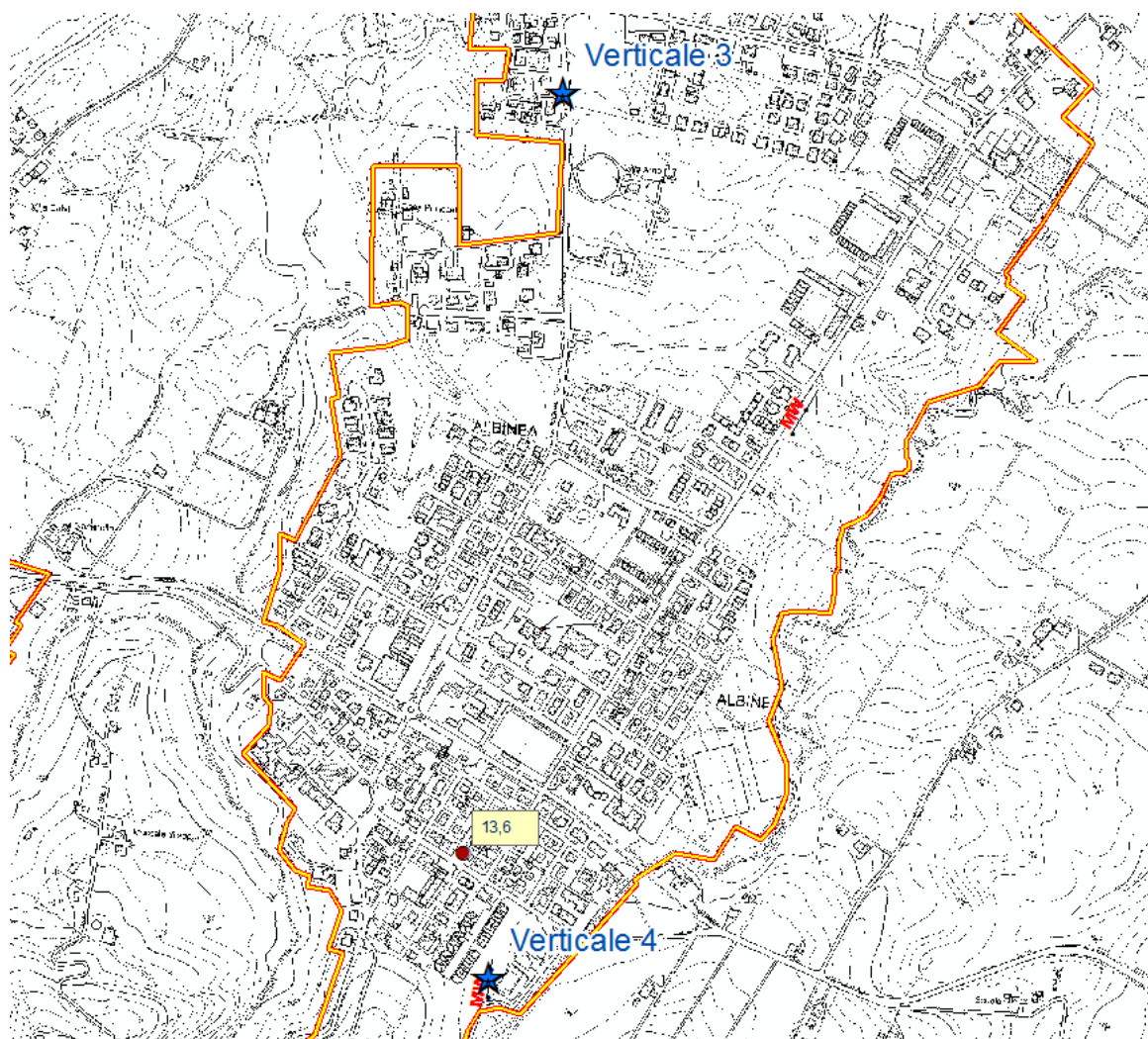


Fig. 31 Ubicazione delle verticali di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

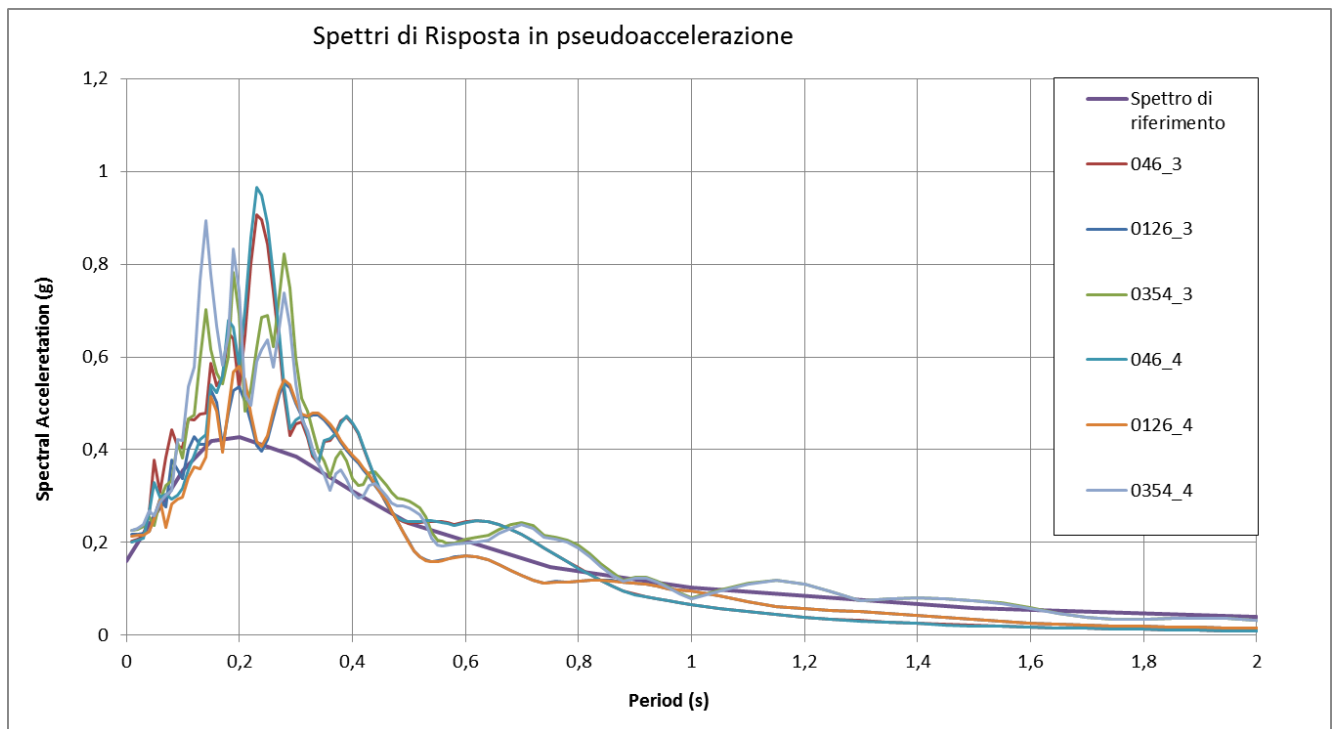
Le tabelle seguenti sono state ricavate da indagini MASW e rappresentano la stratigrafia sismica/geologica delle verticali in analisi.

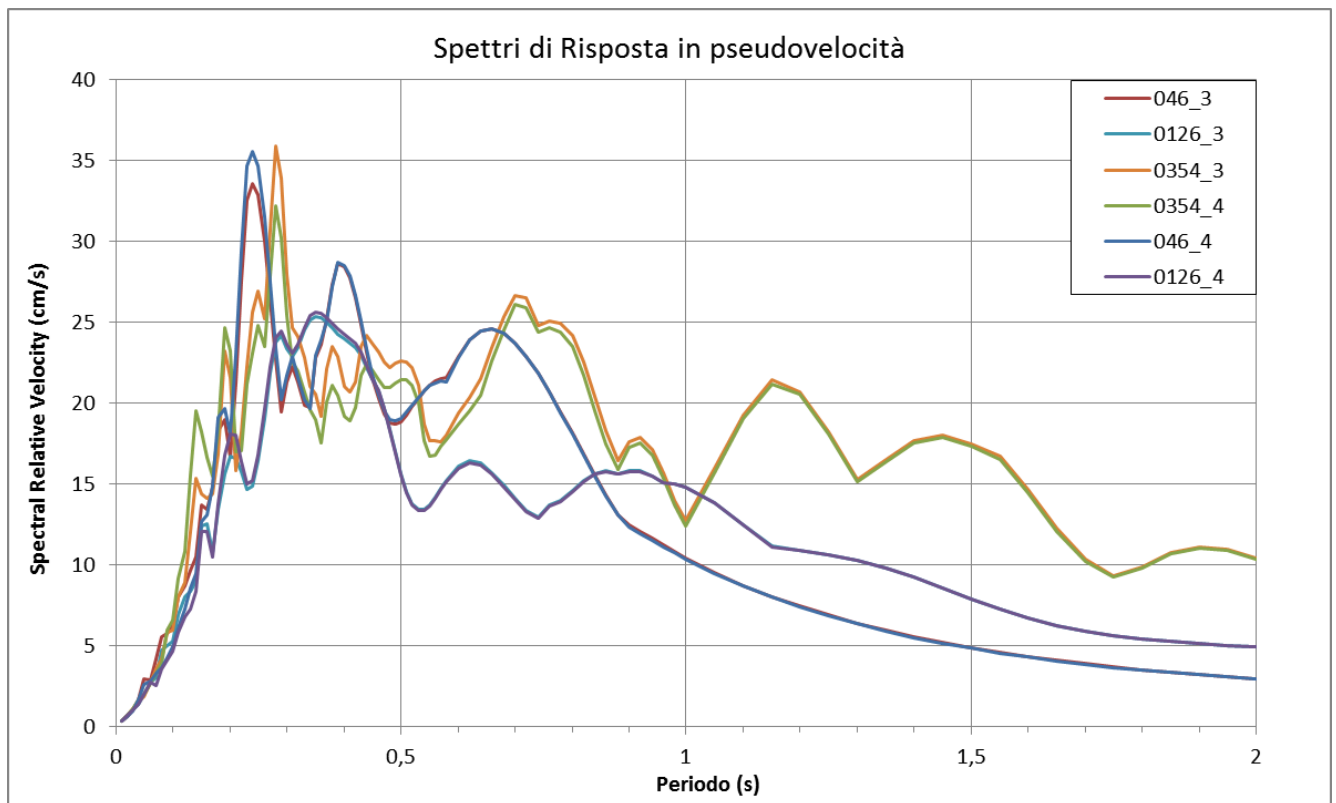
Tab. 5 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 3 (0046_3, 0126_3, 0354_3)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0,5	61,45		19,00	222			0,5	9,00
	2	1	1,6	65,54		19,00	242			1,6	29,70
	3	1	1,9	92,04		20,00	337			2,9	52,80
	4	1	1,4	64,85		20,00	359			4,1	74,10
	5	1	0,9	105,15		20,00	342			5,3	97,30
	6	1	1,6	88,70		20,00	315			6,5	120,10
	7	1	2,8	147,54		19,00	228			7,9	147,65
	8	1	1,5	167,41		19,00	256			9,4	176,15
	9	1	1,7	202,29		20,00	339			11,3	211,60
Bedrock	10	0		309,75	1	21,00	531	Outcrop		12,5	236,60

Tab. 6 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 4 (0046_4, 0126_4, 0354_4)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1,3	63,48		18,00	186			0,6	11,70
	2	1	1,2	95,45		19,00	222			1,9	34,80
	3	1	1,1	133,97		19,00	263			3,0	56,65
	4	1	1,9	152,93		19,00	281			4,6	85,15
	5	1	2,4	170,84		19,00	297			6,7	126,00
	6	1	2,6	139,11		19,00	268			9,2	173,50
	7	1	1,4	157,32		19,00	285			11,2	211,50
	8	1	3,1	226,07		20,00	333			13,5	255,80
	9	1	2,6	227,43		20,00	334			16,3	312,80
Bedrock	10	0		507,65	1	20,00	499	Outcrop		17,6	338,80





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_3	2006	0,1606	0,203	1,27	1,4	1,1	1,1
0126_3	2006	0,1606	0,218	1,36	1,3	1,1	1,1
0354_3	2006	0,1606	0,225	1,40(2)	1,4(2,1)	1,1(1,6)	1,1
0046_4	2099	0,1606	0,201	1,25	1,4	1,1	1,1
0126_4	2099	0,1606	0,214	1,33	1,4	1,1	1,1
0354_4	2099	0,1606	0,227	1,41(1,9)	1,4(1,9)	1,1(1,5)	1

Fig. 32 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

I fattori di amplificazione ottenuti dagli abachi proposti dalla Regione Emilia-Romagna (in questo caso è stata considerata la tabella “APPENNINO Vs<<800m/s” per la Verticale3 e il caso di “substrato affiorante VS<<800m/s” per le Verticale4) come si osserva, risultano più cautelativi rispetto a quelli ricavati dall’analisi numerica 1D.

In entrambi i casi comunque i valori massimi calcolati sono di 1,4 per la FA PGA e la FA SI per bassi periodi. A periodi superiori, i fattori di amplificazione dell’intensità spettrale risultano nel complesso inferiori a causa di una limitata copertura del materiale alluvionale.

7.1.1.3 Montericco

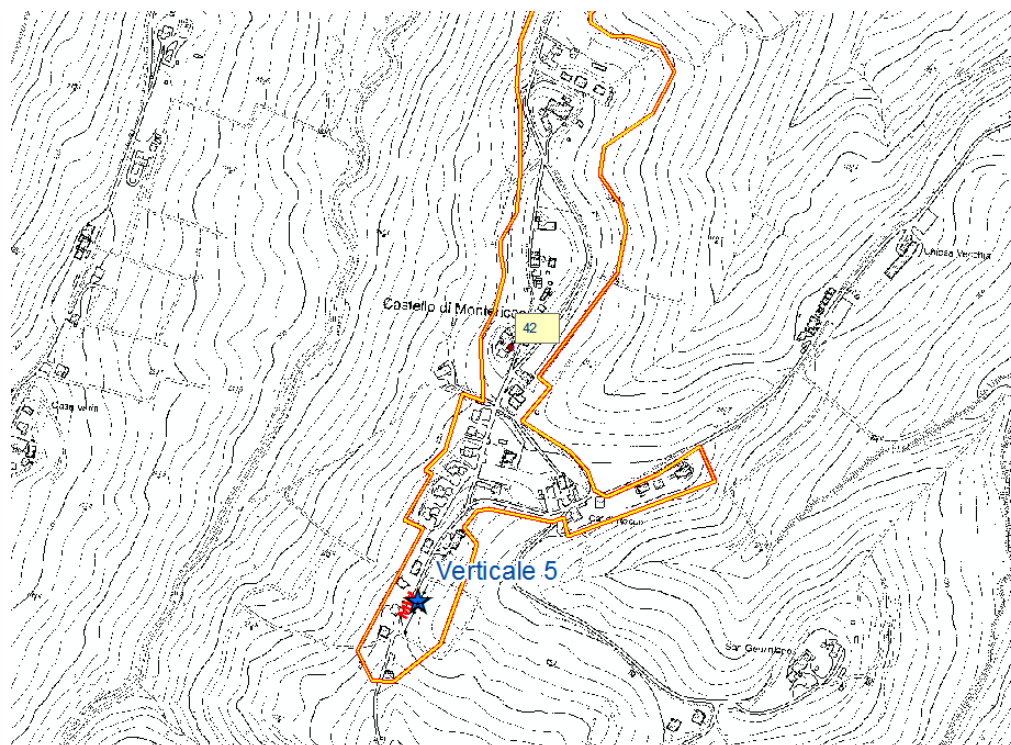
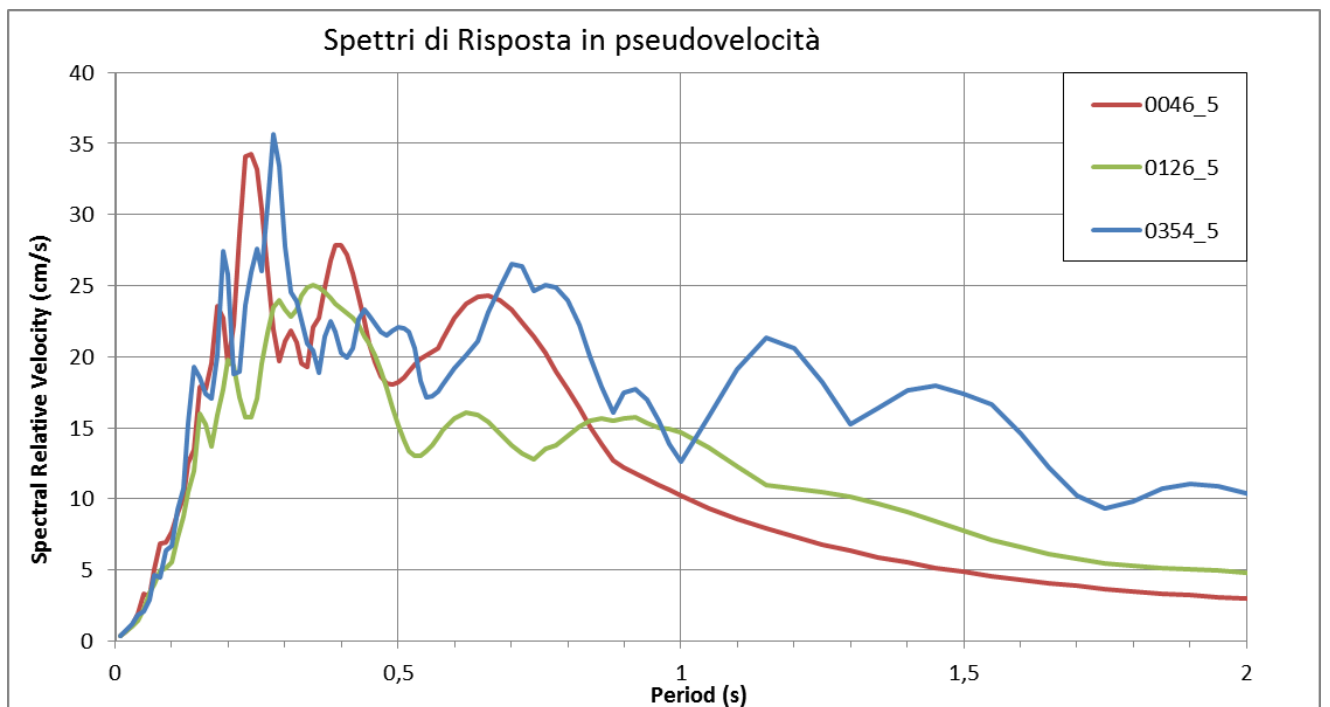
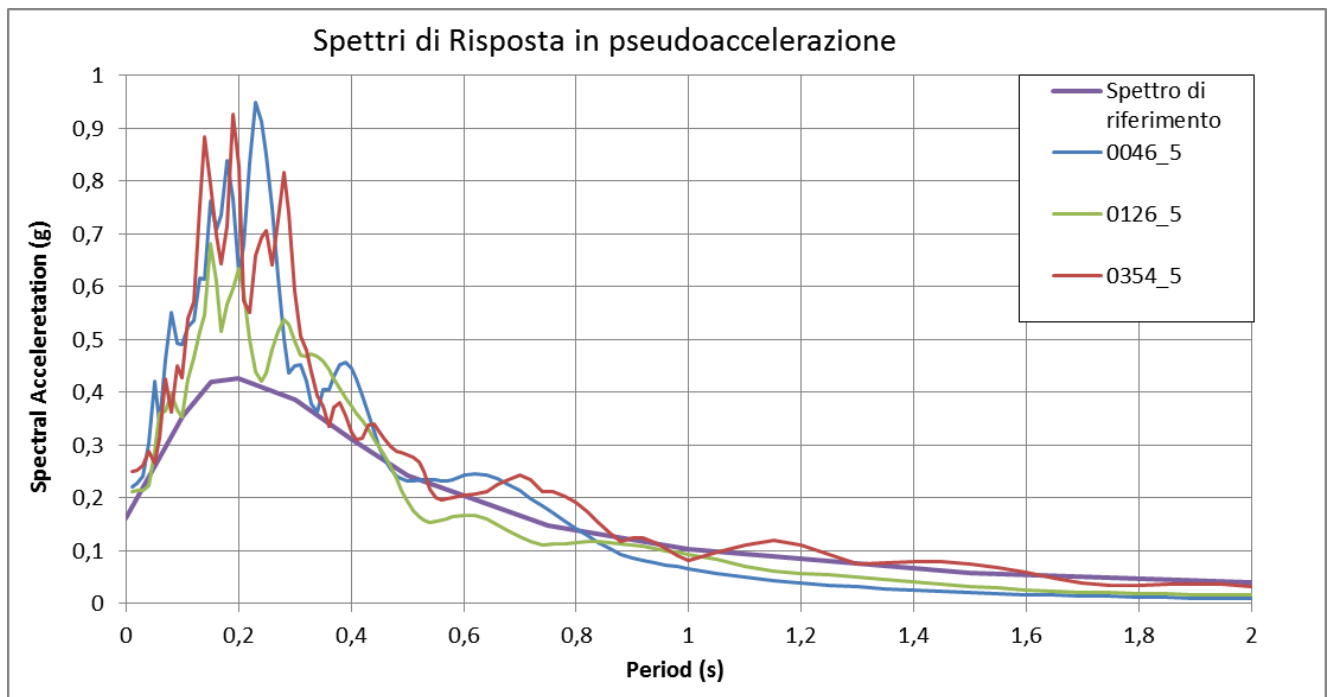


Fig. 33 Ubicazione della verticale di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

Le tabelle seguenti sono state ricavate da indagini MASW e rappresentano la stratigrafia sismica/geologica delle verticali in analisi.

Tab. 7 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 5 (0046_5, 0126_5, 0354_5)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		0,5	69,77		18,00	195			0,3	4,68
	2	1		1,9	51,79		18,00	168			1,5	26,46
	3	1		0,9	106,96		19,00	235			2,9	52,30
	4	1		1,1	131,94		19,00	261			3,9	71,49
	5	1		2,2	148,61		19,00	277			5,5	102,84
	6	1		1,7	114,37		19,00	243			7,5	139,89
	7	1		1,4	202,29		20,00	315			9,0	170,04
	8	1		2,1	151,85		19,00	280			10,8	203,99
	9	1		1,6	208,77		20,00	320			12,6	239,94
Bedrock	10	0			551,27	1	20,00	520	Outcrop		13,4	255,94



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_5	2099	0,1606	0,222	1,38	1,5	1,1	1,1
0126_5	2099	0,1606	0,213	1,33	1,4	1,1	1,1
0354_5	2099	0,1606	0,249	1,55(1,9)	1,4(1,9)	1,1(1,5)	1,1

Fig. 34 Spettri di risposta in pseudo-accellerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

I fattori di amplificazione ottenuti dagli abachi proposti dalla Regione Emilia-Romagna (in questo caso è stata considerata la tabella "substrato affiorante VS<<800m/s") come si osserva, risultano più cautelativi rispetto a quelli ricavati dall'analisi numerica 1D.

L'amplificazione ottenuta ha un valore massimo dell'FA PGA di 1,55 e dell'intensità spettrale (FA SI) di 1,5 a bassi periodi, mentre ad altri periodi risulta inferiore (1,1).

7.1.1.4 Botteghe

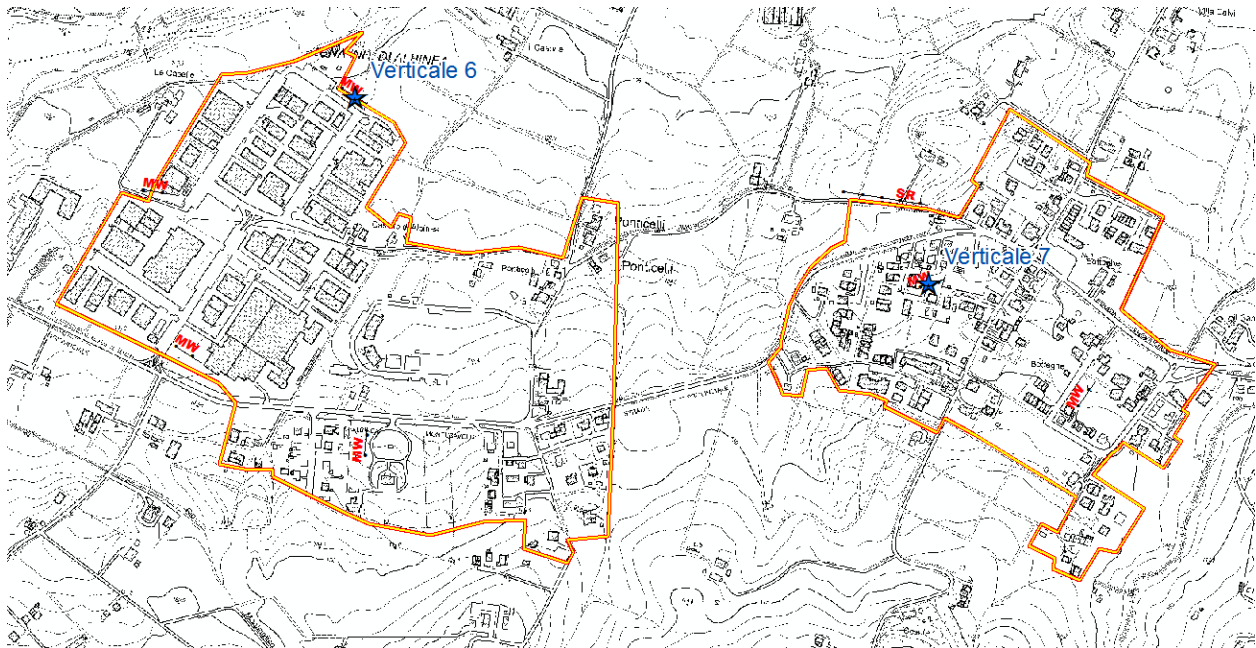


Fig. 35 Ubicazione delle verticali di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

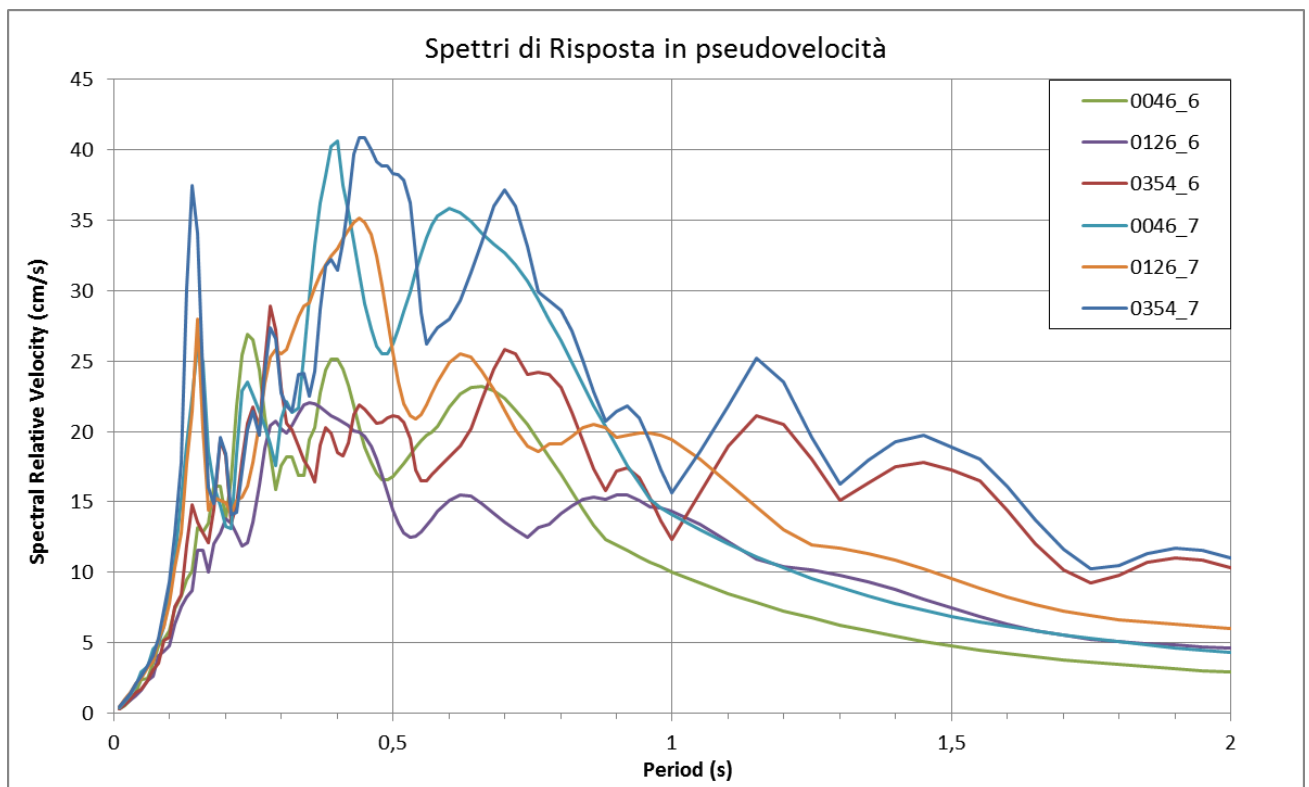
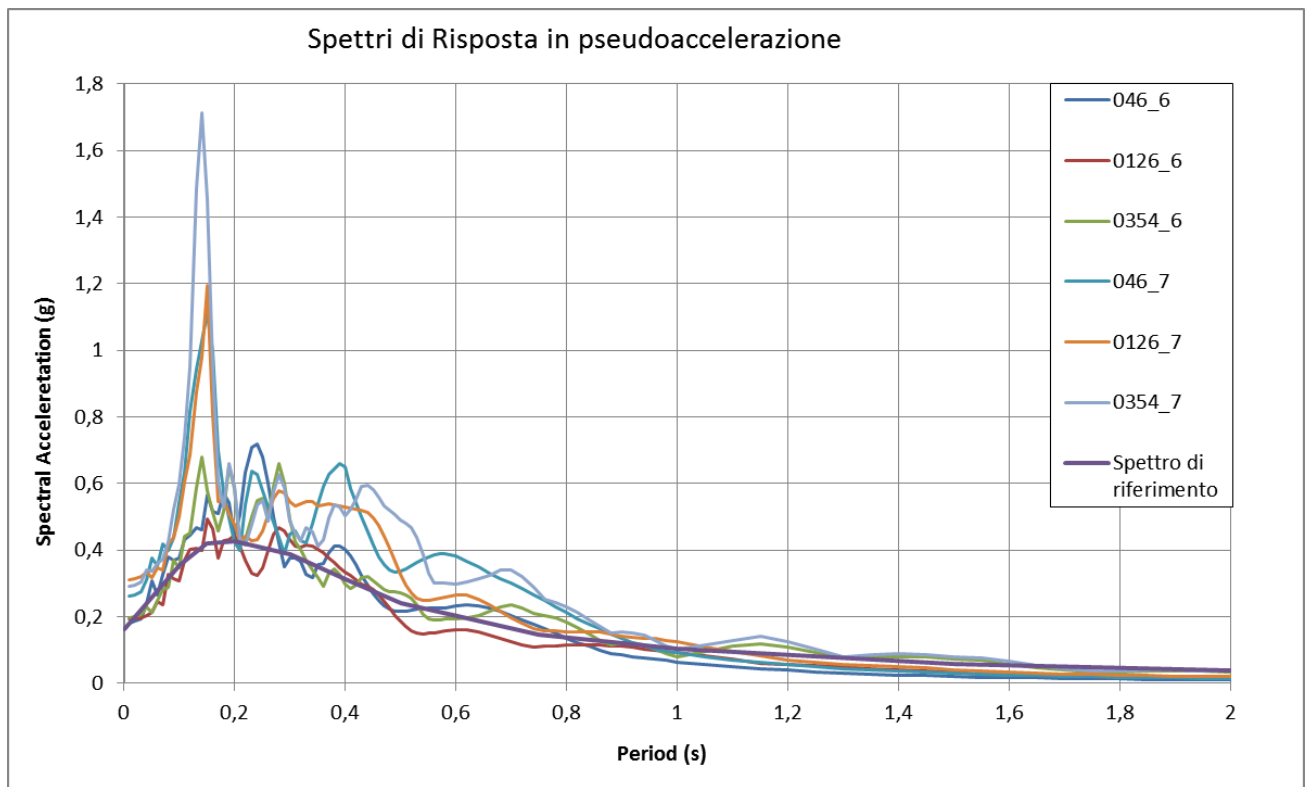
Le tabelle seguenti sono state ricavate da indagini MASW e rappresentano la stratigrafia sismica/geologica delle verticali in analisi.

Tab. 8 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 6 (0046_6, 0126_6, 0354_6)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0,6	56,19		18,00	175			0,3	5,58
	2	1	1,6	100,68		19,00	228			1,4	26,36
	3	1	1,5	115,31		19,00	244			3,0	55,81
	4	1	2,9	147,54		19,00	276			5,2	97,61
	5	1	2,4	175,48		19,00	301			7,8	147,96
	6	1	1,3	156,21		19,00	284			9,7	183,11
	7	1	1,4	184,93		19,00	309			11,0	208,76
	8	1	2,5	183,73		19,00	308			13,0	245,81
	9	1	3,5	270,12		20,00	364			16,0	304,56
Bedrock	10	0		308,50	1	20,00	389	Outcrop		17,7	339,56

Tab. 9 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 7 (0046_7, 0126_7, 0354_7)

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0,7	69,77		18,00	195			0,3	5,85
	2	1	3,1	26,22		17,00	123			2,2	38,05
	3	1	1,5	108,35		18,00	243			4,5	77,90
	4	1	8,8	238,46		20,00	342			9,6	179,40
	5	1	11,0	99,80		19,00	227			19,5	371,90
Bedrock	6	0		601,31	1	21,00	530	Outcrop		25,0	476,40



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_6	2001	0,1606	0,182	1,13	1,2	1,1	1,1
0126_6	2001	0,1606	0,192	1,20	1,2	1,1	1
0354_6	2001	0,1606	0,198	1,23(2)	1,2(1,9)	1,1(1,4)	1
0046_7	2007	0,1606	0,261	1,63	1,6	1,7	1,6
0126_7	2007	0,1606	0,312	1,94(2,1)	1,8(2,5)	1,5(2,3)	1,5
0354_7	2007	0,1606	0,289	1,80	1,8	1,5	1,3

Fig. 36 Spettri di risposta in pseudo-accelerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

I fattori di amplificazione ottenuti dagli abachi proposti dalla Regione Emilia-Romagna (in questo caso è stata considerata la tabella "APPENNINO Vs<<800m/s) come si osserva, risultano più cautelativi rispetto a quelli ricavati dall'analisi numerica 1D.

L'amplificazione della PGA è massima lungo la Verticale7 (1,94) così come i valori dell'intensità spettrale di Housner (1,8 tra 0,1-0,5 secondi e 1,7 tra 0,5-1 s).

I valori di amplificazione ottenuti sulla Verticale6 risultano inferiori rispetto al caso precedente poiché risultano "viziati" da una velocità dello pseudo-bedrock molto bassa 389 m/s.

7.2 Studio della stabilità di versante in condizioni dinamiche

Come già anticipato, in corrispondenza dell'abitato di Gameda, in cui la cartografia delle coperture quaternarie della Regione Emilia Romagna individuava un esteso corpo detritico di versante, è stata eseguita una verifica di stabilità ed una stima degli spostamenti, allo scopo di procedere, qualora necessario alla individuazione delle porzioni di territorio a differente grado di rischio legato all'instabilità di versante. Come evidenziato nei paragrafi che seguono la verifica di stabilità ha permesso di individuare valori del fattore di sicurezza soddisfacenti e l'applicazione del metodo di Newmark alla superficie di scorrimento più critica ha evidenziato valori di spostamento nulli.

7.2.1. Cenni teorici

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb;
- in alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Quando si verifica la stabilità di un rilevato o pendio, si possono considerare diversi tipi di superfici di rottura. Queste ultime possono avere forme diverse: circolare, piana e forme più complesse. Nel caso in cui il terreno sia relativamente omogeneo e isotropo nei riguardi della resistenza, è di solito sufficiente considerare superfici di rottura circolari. In terreni molto stratificati invece, con notevoli variazioni delle caratteristiche geotecniche, va data particolare attenzione agli strati con resistenza al taglio più bassa, e quindi è necessario considerare superfici di rottura non circolari. In sostanza quindi le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per determinare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale (NTC08).

L'analisi di stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo Geostru - Slope , basato sulla teoria dell'equilibrio limite, che effettua la ricerca automatica delle superfici di rottura con coefficiente di sicurezza minimo. Questa teoria studia l'equilibrio di un corpo rigido (pendio e superficie di

scorrimento) calcolandone le tensioni di taglio τ e la resistenza disponibile τ_f , valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb. Quindi il fattore di sicurezza F_s è espresso da:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau}$$

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti su due ipotesi fondamentali:

- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è definito come rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio mobilitato lungo un'ipotetica superficie di scorrimento;
- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è considerato costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;

Nel nostro caso di studio il fattore di sicurezza viene calcolato utilizzando il metodo di Janbu, il quale estese il metodo di Bishop, valido solamente per superfici di scorrimento circolare, a superfici di forma qualsiasi.

Considerando il nostro caso di studio in cui è presente un corpo detritico, le analisi per la determinazione del fattore di sicurezza sono state eseguite in condizioni drenate. Tali valori sono stati desunti dai risultati delle prove di laboratorio realizzate su campioni prelevati in sito.

Tab. 10 Parametri geotecnici utilizzati per la caratterizzazione dei corpi di frana

	Peso di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)
Corpo detritico	2000	2100	21	30
Pseudo-Bedrock	2100	2200	30	40

7.2.1.1 Metodo di Janbu (1967)

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

Con il metodo di Janbu si tiene conto delle forze di interazione tra i conci, ma si considera che esse agiscono lungo una linea di spinta prefissata. La soluzione si ottiene per successive iterazioni.

$$F = \frac{f_0 \sum \{c' b_i (W_i - u_i b_i + \Delta X_i) \tan \varphi_i\}}{\sum W_i \tan \alpha_i} \frac{F}{\cos^2 \alpha_i (1 + \tan \alpha_i \tan \varphi_i)}$$

In cui:

c' = coesione efficace

b_i = larghezza della base del concio i-esimo

W_i = peso del concio i-esimo

α_i = inclinazione della base del concio

u_i = pressione interstiziale agente alla base del concio i-esimo

φ_i = angolo di resistenza al taglio

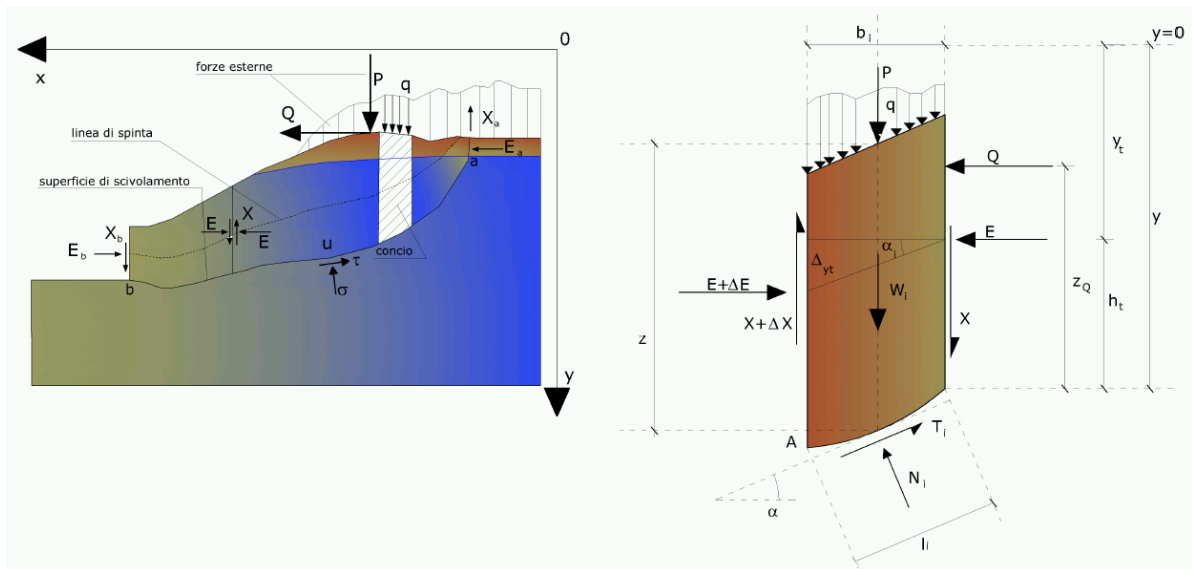


Fig. 37 Rappresentazione d'insieme dell'ammasso e azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu.

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente: $F_{corretto} = f_0 F$

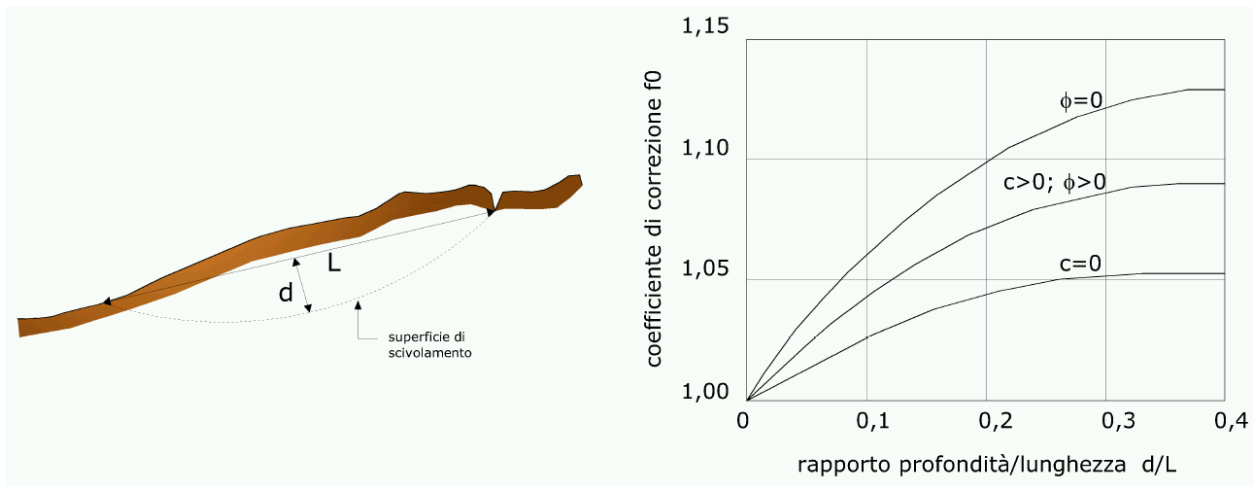


Fig. 38 Calcolo del fattore correttivo f_0

dove f_0 , fattore di correzione empirico, dipende dalla forma della superficie di scivolamento e dai parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Il metodo di Janbu è definito pseudostatico in quanto utilizza sollecitazioni statiche, costanti nel tempo in modulo, direzione e verso per la determinazione della stabilità dei pendii in presenza di sisma.

$$K_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

Dove a_{max} rappresenta l'accelerazione massima al sito di riferimento (nel nostro caso ricavata dalle analisi di risposta sismica locale), mentre β_s dipende dal tipo di suolo e dalla stessa a_{max} .

Categoria di sottosuolo		
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Considerando quindi Fig. 37, l'azione del terremoto è rappresentata da una forza di inerzia statica equivalente, proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile:

$$F_h = K_h \cdot W$$

$$F_v = K_v \cdot W$$

La metodologia rappresenta quindi un limite in quanto i segnali sismici hanno carattere ciclico e transitorio.

Per ovviare a questo problema viene utilizzato nel presente studio il metodo degli spostamenti derivati dal modello di blocco rigido di Newmark (1965) in cui l'azione sismica è considerata applicando un accelerogramma e la risposta del terreno a tale azione è valutata in termini di spostamenti accumulati.

7.2.1.2 Metodo degli spostamenti (Newmark, 1965)

Le assunzioni che prevedono l'applicazione di questo procedimento sono:

- applicazione dello stesso accelerogramma per tutto il corpo di frana;
- uguale resistenza al taglio del terreno in condizioni statiche e dinamiche;
- non sono ammessi spostamenti della massa verso monte.

Tale metodo considera la massa di terreno potenzialmente instabile come un corpo rigido poggiante su una base inclinata che si muove sotto la sollecitazione di una azione sismica. Il blocco si muoverà lungo la superficie di scorrimento ogni qual volta l'accelerazione indotta dal sisma $a(t)$ supera un determinato valore di soglia chiamato accelerazione critica a_c , caratteristico delle condizioni di equilibrio limite ($F_s=1$) e definita come:

$$a_c = K_c g$$

dove g è l'accelerazione di gravità e K_c rappresenta il fattore di accelerazione critica. Questo termine è pari al coefficiente sismico orizzontale in grado di produrre un coefficiente di sicurezza pari a 1 in un'analisi pseudostatica di stabilità di pendio.

Lo spostamento continua fino a quando l'accelerazione, cambiando di segno, è tale da annullare la velocità relativa tra la massa in frana e il terreno stabile. Questo dipende sostanzialmente dalla durata, dall'ampiezza e dal contenuto in frequenza del sisma $a(t)$, e dalle caratteristiche geotecniche e geomorfologiche del pendio a_c .

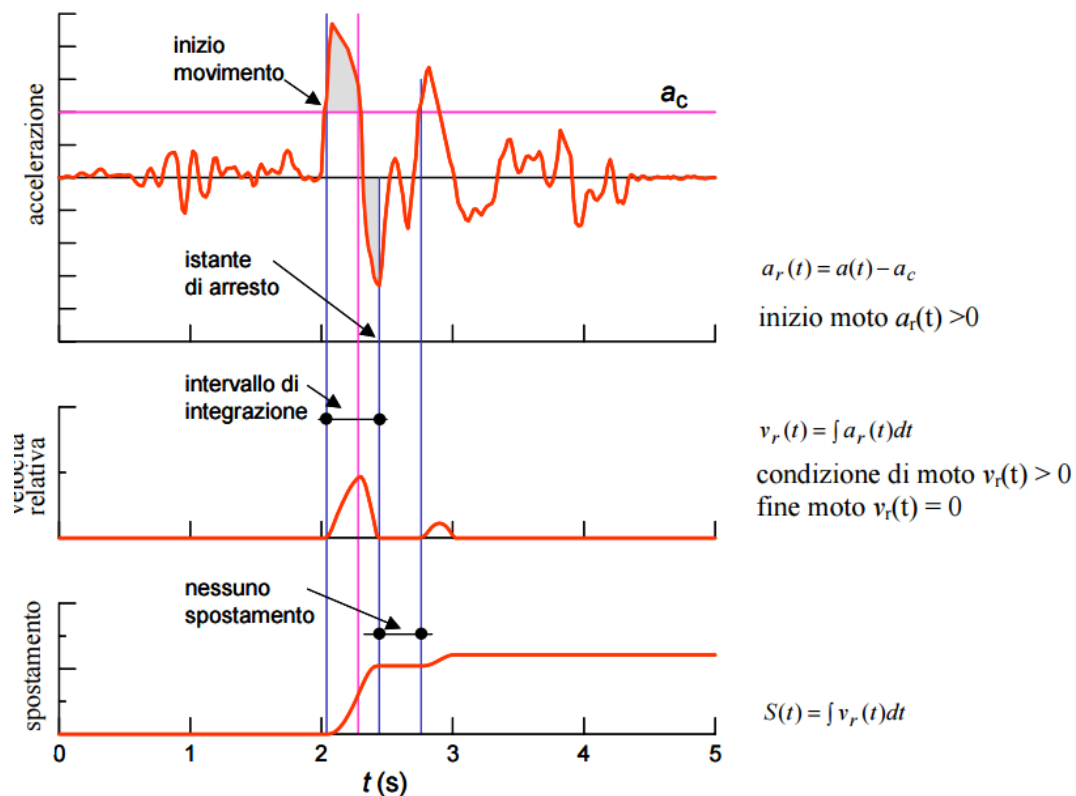


Fig. 39 Schema di calcolo degli spostamenti per doppia integrazione del moto relativo (fonte: AGI, 2005)

7.2.2. Risultati

Le analisi di Newmark sono state effettuate con il codice di calcolo Geostru – Slope-QSIM.

Il profilo preso in esame è quello riportato sulla tavola “Carta delle sezioni” (Fig. 40).

Prima di procedere alla verifica in condizioni sismiche sono state considerate diverse superfici di scorrimento lungo tutto il profilo considerando alla fine quella a minor fattore di sicurezza. Una volta ottenuta la superficie critica a minor F_s si è proceduto alla verifica degli spostamenti in condizioni sismiche.

Per le analisi è stato utilizzato un accelerogramma ottenuto attraverso l’analisi di risposta sismica locale, calcolato ad una profondità pari alla metà dello spessore del corpo franoso.

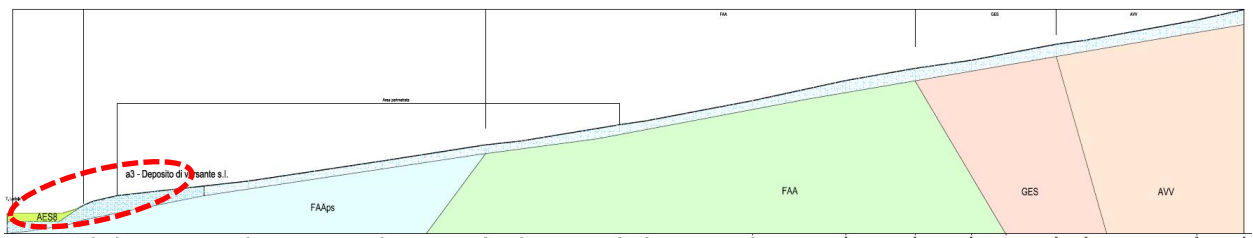
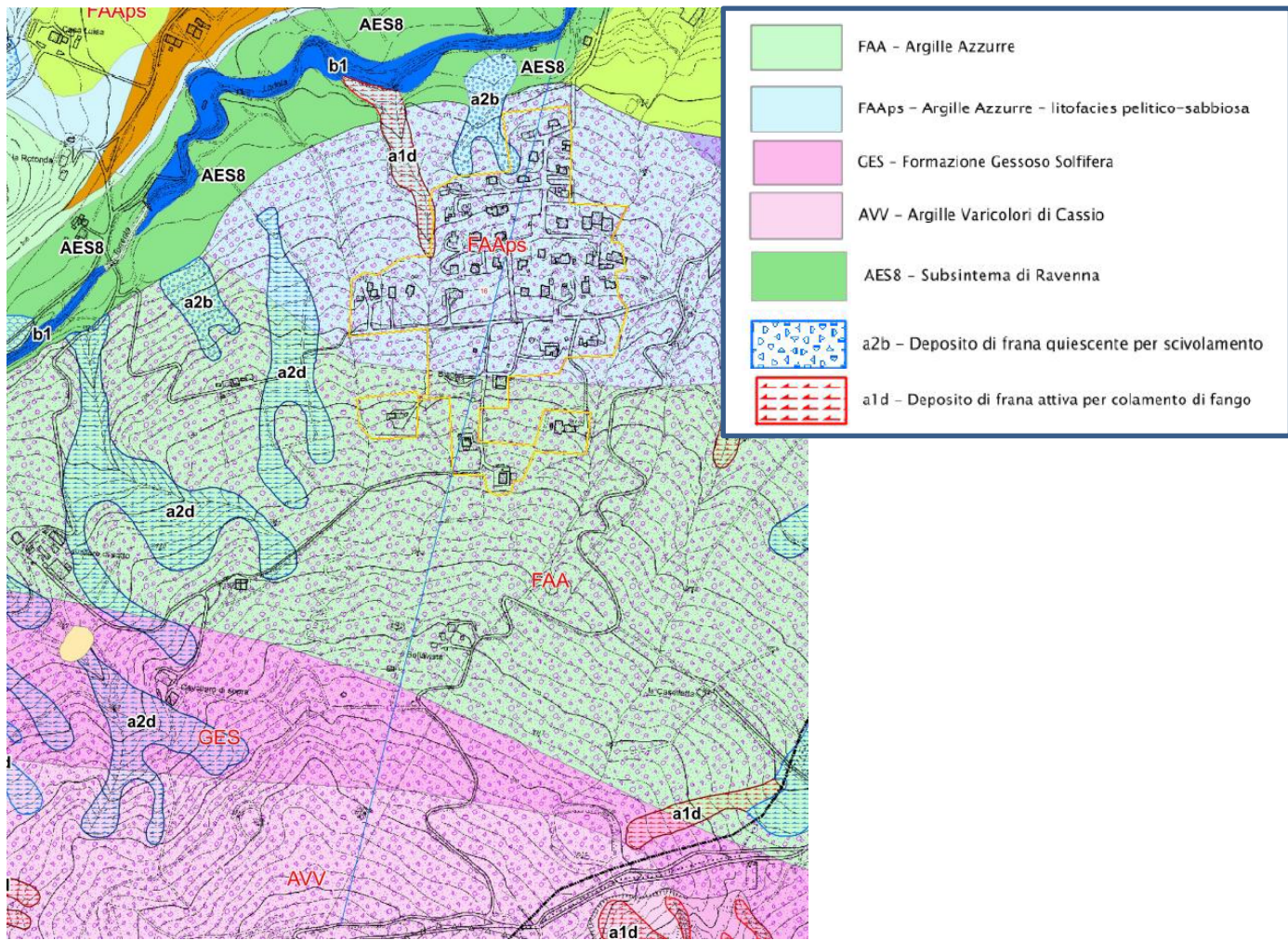


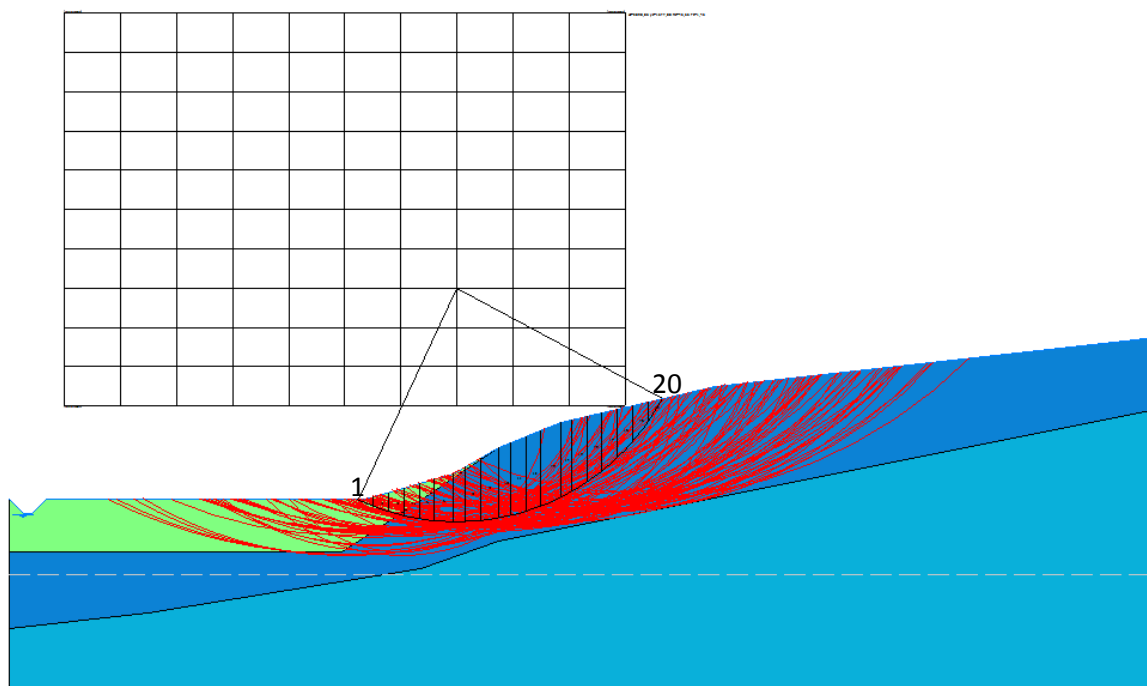
Fig. 40 Profilo geologico considerato per le verifiche sismiche di stabilità nell'area di Borzano. In rosso è evidenziata l'area in cui è stato riscontrato il fattore di sicurezza inferiore

Nella tabella sottostante sono indicati, i valori ottenuti con i metodi descritti nei capitoli precedenti.

Tab. 11 Parametri sismici ricavati dalla risposta sismica locale (A_{max} , K_h , K_v) con i risultati ottenuti dalle analisi pseudostatiche e con il metodo degli spostamenti

	Profondità accelerogramma (m)	A_{max} (g)	K_h	K_v	F_s	a_c (g)	Spostamento atteso (cm)
Borzano	6	0,227	0,057	0,028	1,45	0,240	0

Come si evince in tabella, gli spostamenti accumulati risultano nulli.



B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$x_c = 2898,853$ $y_c = 1577,082$ $R_c = 45,352$ $F_s = 1,449$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh*Wi (kN)	Kv*Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	Ni (kN)	Ti (kN)
1	2,96	-23,2	3,22	43,16	2,46	1,21	32,0	24,8	20,3	73,3	123,2
2	2,96	-18,9	3,13	165,33	9,42	4,63	32,0	24,8	78,5	138,4	143,5
3	2,96	-15,1	3,07	273,25	15,58	7,65	32,0	24,8	129,9	190,1	159,4
4	2,96	-11,2	3,02	368,73	21,02	10,32	24,0	17,1	0,0	408,2	166,9
5	2,96	-7,7	2,99	451,42	25,73	12,64	24,0	17,1	0,0	480,1	183,0
6	3,56	-3,2	3,57	636,63	36,29	17,83	24,0	17,1	0,0	650,8	236,7
7	2,36	0,3	2,36	482,26	27,49	13,5	24,0	17,1	0,0	481,5	169,2
8	2,96	3,8	2,97	688,64	39,25	19,28	24,0	17,1	0,0	674,7	231,0
9	3,68	7,9	3,72	970,79	55,33	27,18	24,0	17,1	0,0	936,7	315,0
10	2,24	11,7	2,28	635,17	36,2	17,78	24,0	17,1	0,0	607,3	203,9
11	2,96	15,3	3,07	867,33	49,44	24,29	24,0	17,1	0,0	825,1	280,7
12	2,96	19,1	3,13	886,87	50,55	24,83	24,0	17,1	0,0	842,8	292,7
13	3,85	23,7	4,2	1159,76	66,11	32,47	24,0	17,1	0,0	1106,5	398,3
14	2,07	27,6	2,34	608,37	34,68	17,03	24,0	17,1	0,0	584,6	220,2
15	2,96	31,7	3,48	817,65	46,61	22,89	24,0	17,1	0,0	793,6	318,2
16	2,96	36,3	3,67	739,22	42,14	20,7	24,0	17,1	0,0	727,6	319,7
17	2,96	40,6	3,9	638,89	36,42	17,89	24,0	17,1	0,0	636,5	315,2
18	2,96	46,0	4,26	509,9	29,06	14,28	24,0	17,1	0,0	511,7	309,2
19	2,96	51,8	4,78	347,89	19,83	9,74	24,0	17,1	0,0	333,9	290,9
20	2,96	58,0	5,59	132,97	7,58	3,72	24,0	17,1	0,0	52,1	234,5

Fig. 41 La figura in alto rappresenta il dettaglio dell'analisi di stabilità, effettuata con metodi pseudostatici, lungo tutto il profilo; sono inoltre rappresentate diverse superfici con un F_s superiore. La tabella sottostante elenca i parametri di ogni concio considerato della superficie a minor fattore di sicurezza

Borzano ($a_c = 0,240$)

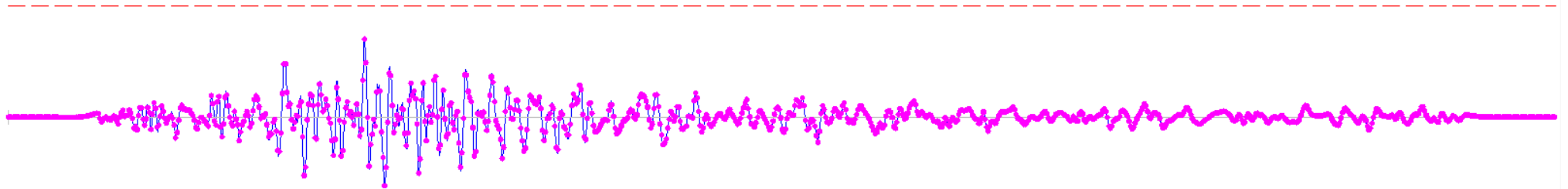
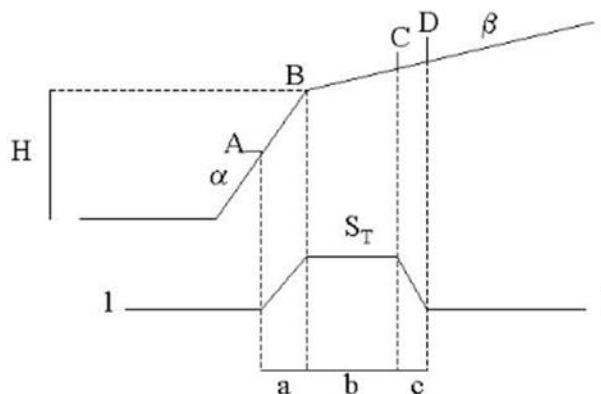


Fig. 42 Rappresentazione grafica dei profili di riferimento nell'abitato di Borzano per il calcolo dei degli spostamenti. La linea rossa tratteggiata rappresenta il valore di accelerazione critica a_c

7.3 Coefficiente topografico

Secondo la Delibera dell'Assemblea legislativa n° 112 del 2007 (e confermata poi dalla DGR n.2193/2015) gli effetti di amplificazione topografica devono essere considerati per pendii con inclinazione media superiore ai 15° e possono essere trascurati per quelli con inclinazione media inferiore. La risposta sismica locale quindi, determinata con analisi specifiche a seconda del livello di dettaglio, dovrà essere moltiplicata per un coefficiente di amplificazione topografica S_T calcolato in base all'andamento morfologico del sito in esame attraverso il seguente metodo (Fig. 43)



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

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

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

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

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

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

Fig. 43 Schema esemplificativo per il calcolo del coefficiente S_T (D.A.L. 112/2007)

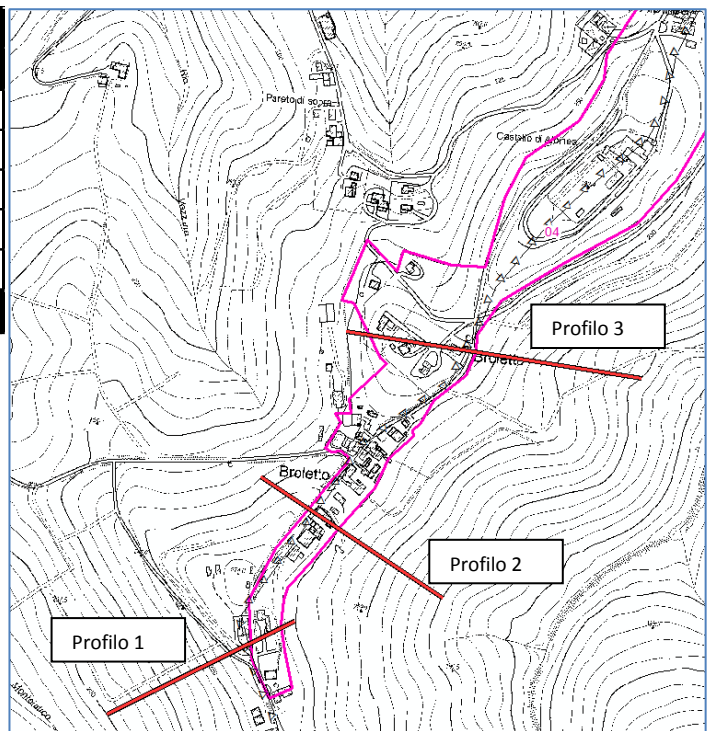
Per determinare questo fattore si opera semplificando la topografia considerando evidenti irregolarità morfologiche in modo tale da applicare la metodologia sopra descritta.

In base alle informazioni fornite dalla Carta Tecnica Regionale sono state quindi tracciate due sezioni topografiche di dettaglio in cui successivamente si sono verificate le effettive amplificazioni.

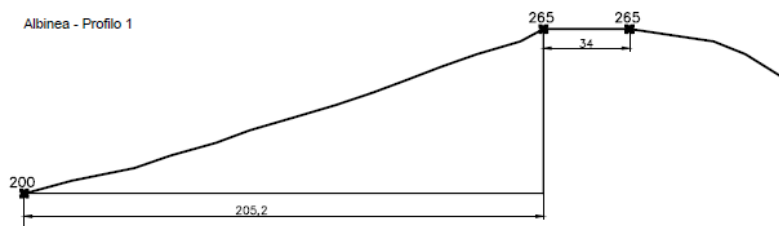
Le aree scelte per la determinazione del coefficiente topografico si trovano generalmente lungo creste morfologiche, con pendii compresi tra i 15° e 30° di inclinazione media e quindi potenzialmente soggetti ad amplificazioni di carattere topografico. Nelle figure sottostanti sono rappresentate le sezioni analizzate ed i risultati ottenuti (i valori di quota sono espressi in metri sul livello del mare).

Profilo 1		Profilo 2	
H=	65	H=	55
L α	205,2	L α	192,4
h α	65	h α	55
L β	34	L β	34
h β	0	h β	0
St	0,93	St	0,91

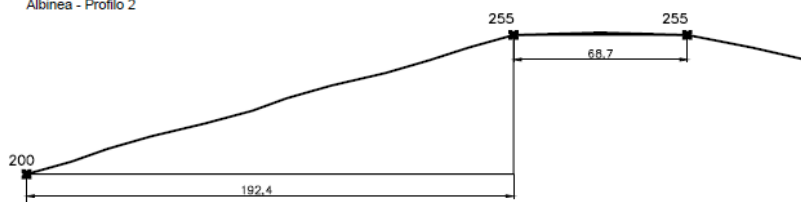
Profilo 3	
H=	65
L α	307,1
h α	65
L β	71,3
h β	0
St	0,85



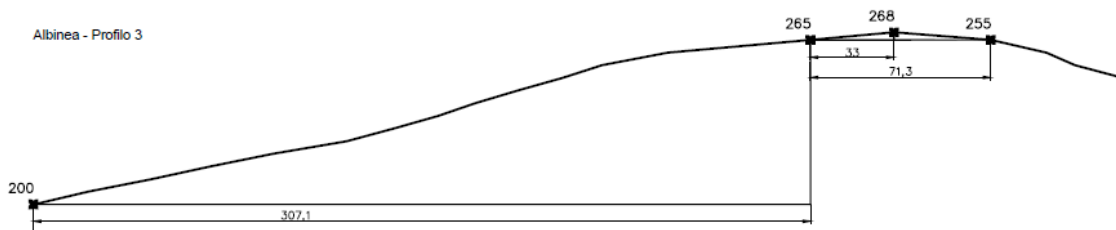
Albinea - Profilo 1

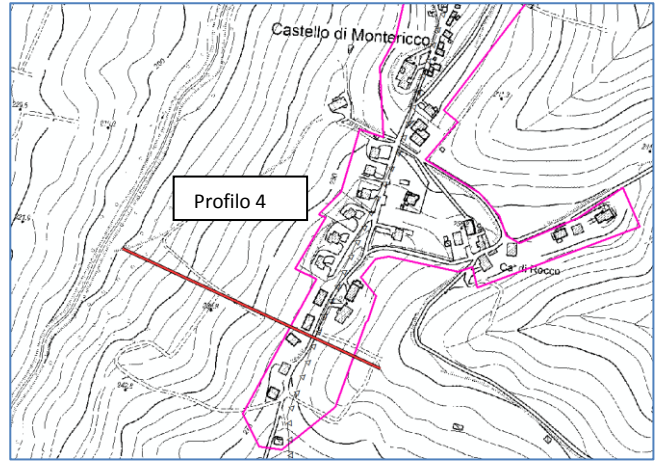
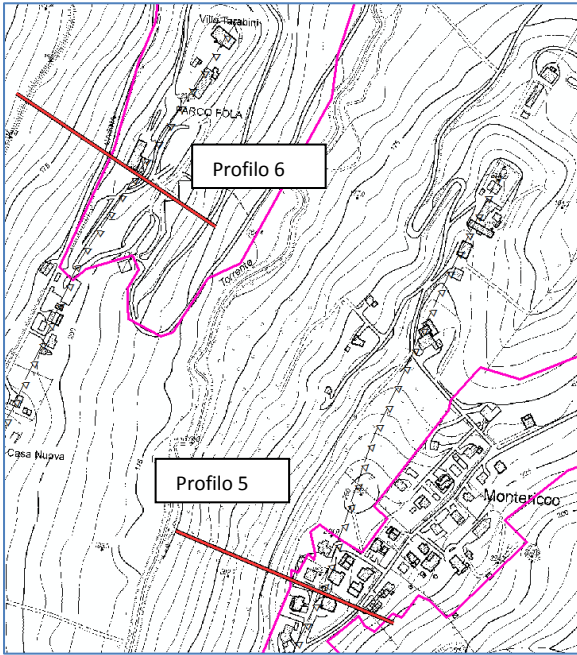


Albinea - Profilo 2

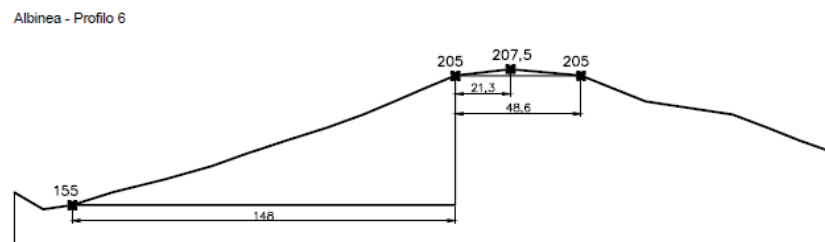
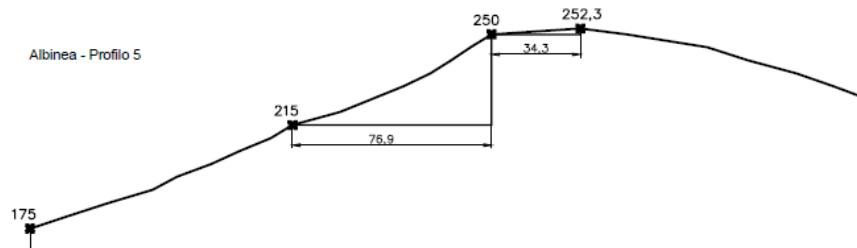
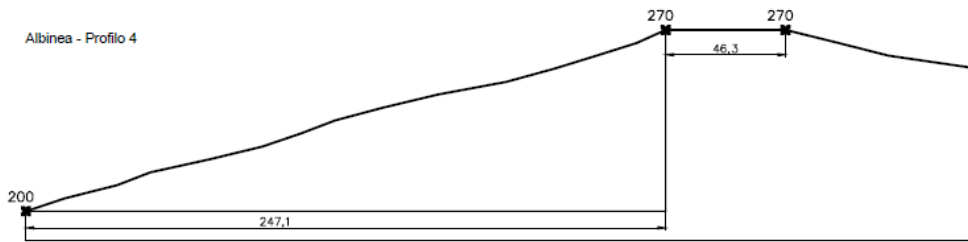


Albinea - Profilo 3





Profilo 4		Profilo 5		Profilo 6	
H=	70	H=	35	H=	50
L α	247,1	L α	76,9	L α	148
h α	70	h α	35	h α	50
L β	46,3	L β	34,3	L β	48,6
h β	0	h β	2,3	h β	0
St	0,91	St	0,99	St	0,95



I calcoli effettuati hanno individuato un valore di S_T tale da non determinare amplificazioni di carattere topografico.

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

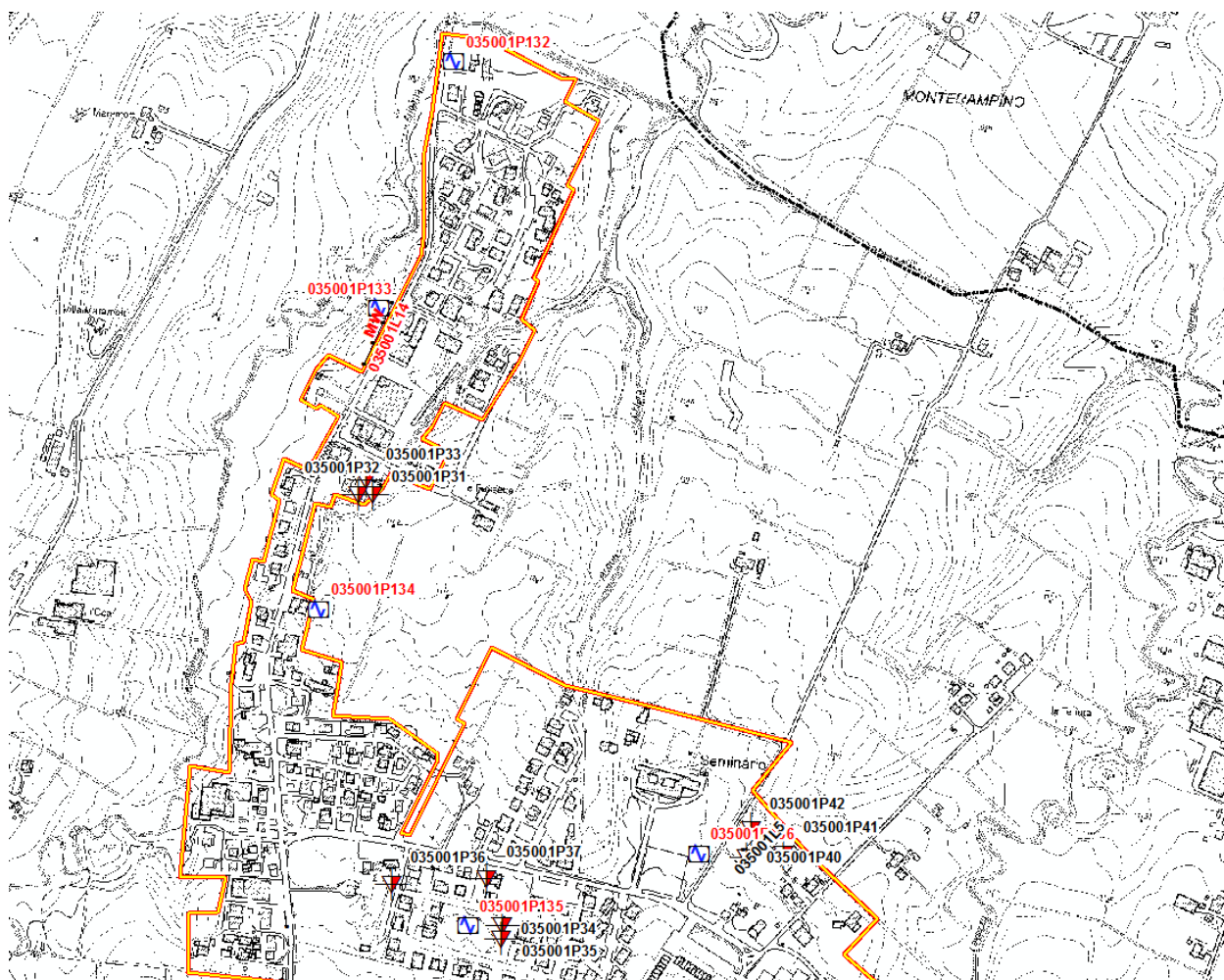
Questa carta descrive l'ubicazione delle indagini geognostiche pregresse e di quelle realizzate ex-novo nelle aree in esame. Le prime sono state reperite negli archivi dell'Ufficio Tecnico del Comune di Quattro Castella e del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna SGSS, mentre quelle più recenti sono state programmate ed eseguite in base alle caratteristiche del territorio.

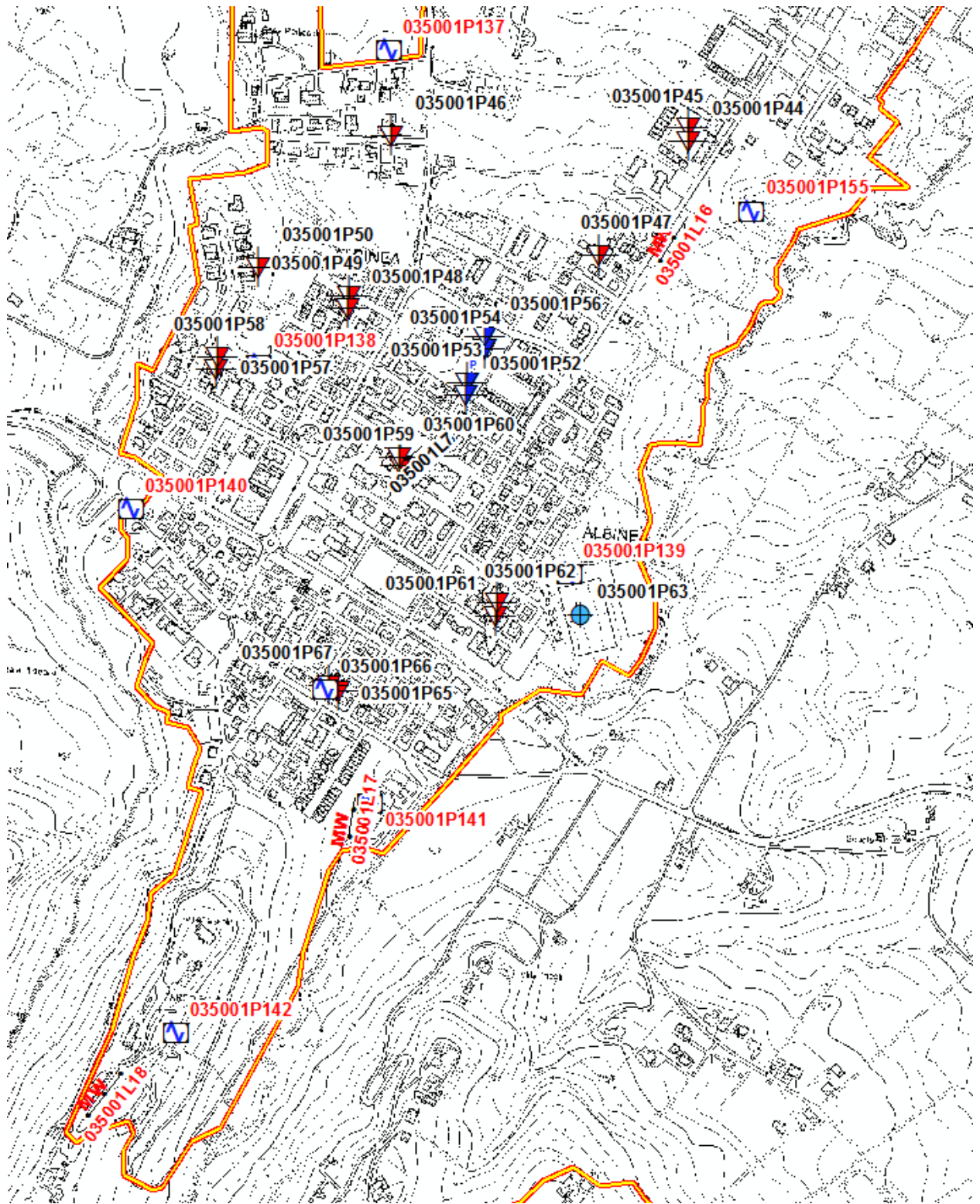
La simbologia utilizzata si riferisce agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b"

Le prove considerate sono state successivamente inserite nello specifico database attraverso il software "SoftMS" versione 4.0.1 sviluppato dalla Protezione Civile.

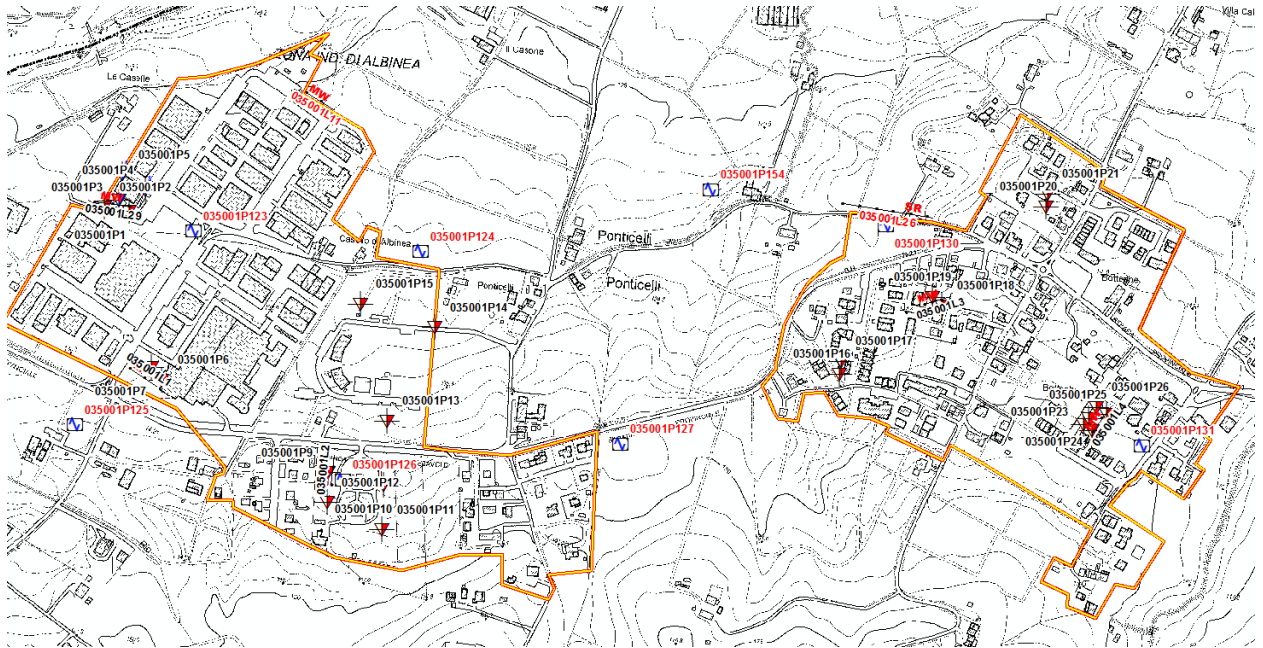
Nelle figure sottostanti sono indicati i codici di ogni prova estratti dal software di archiviazione. In rosso sono indicate le prove realizzate ex novo mentre in nero quelle pregresse.

Albinea

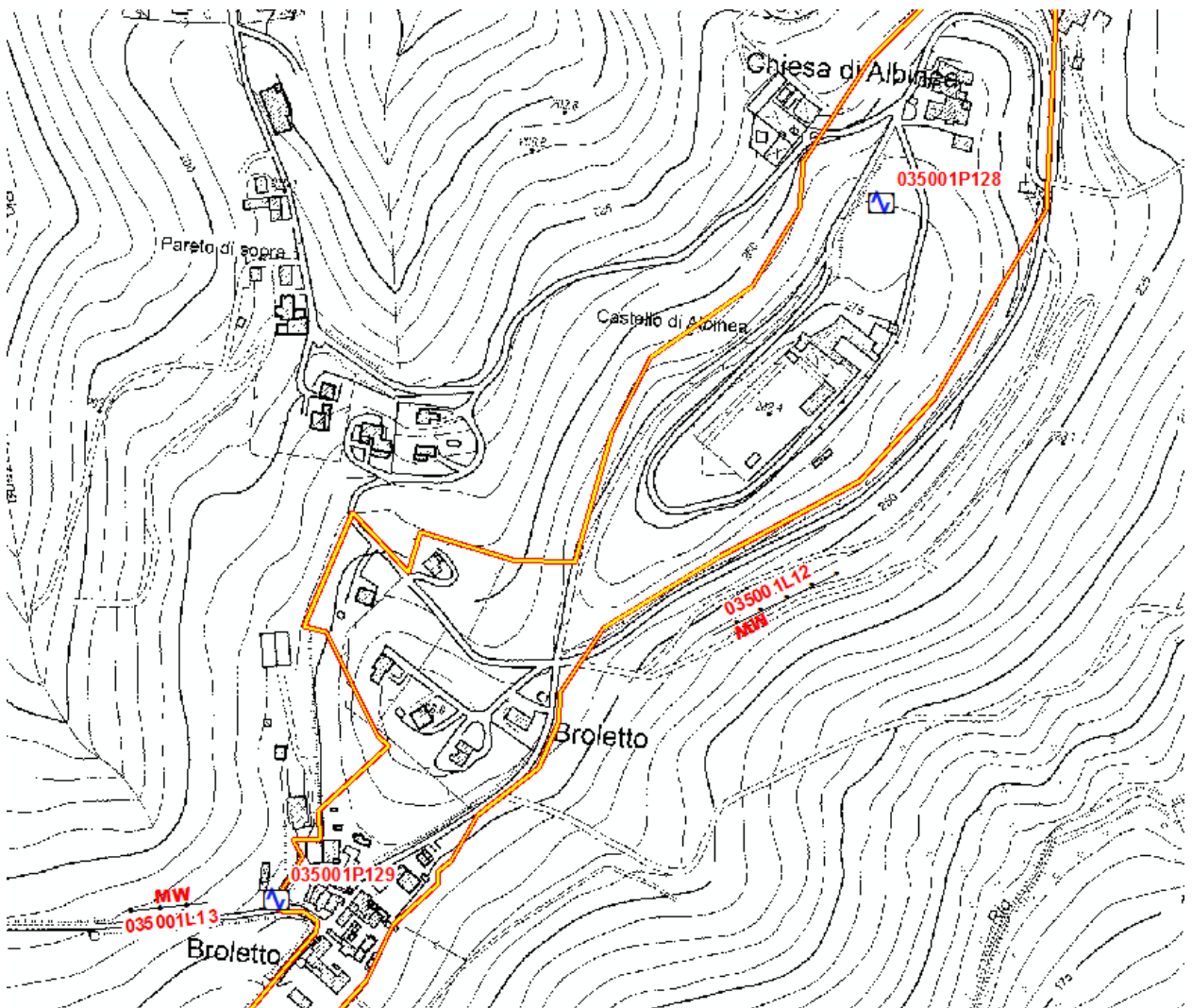




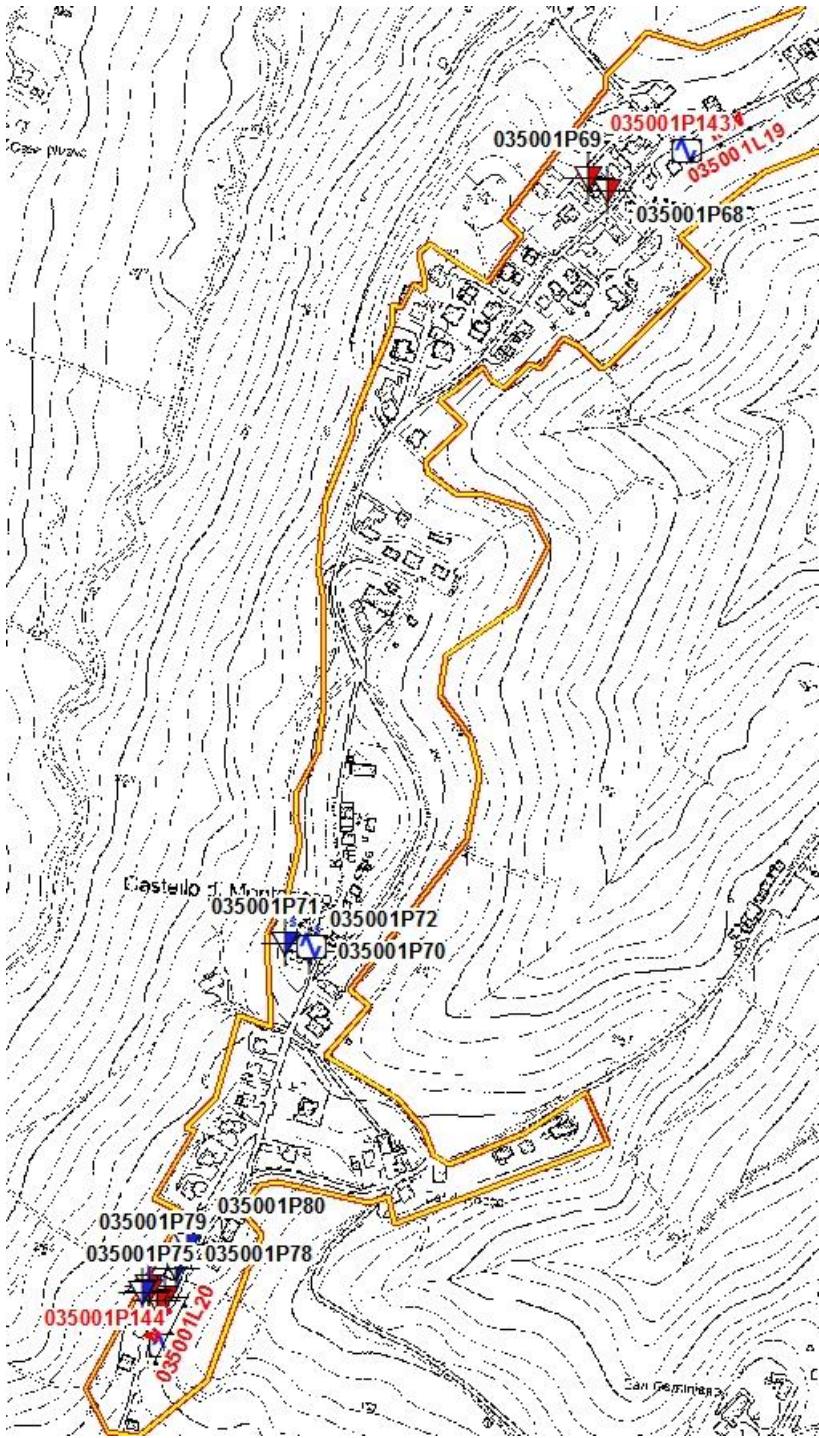
Area industriale – Botteghe



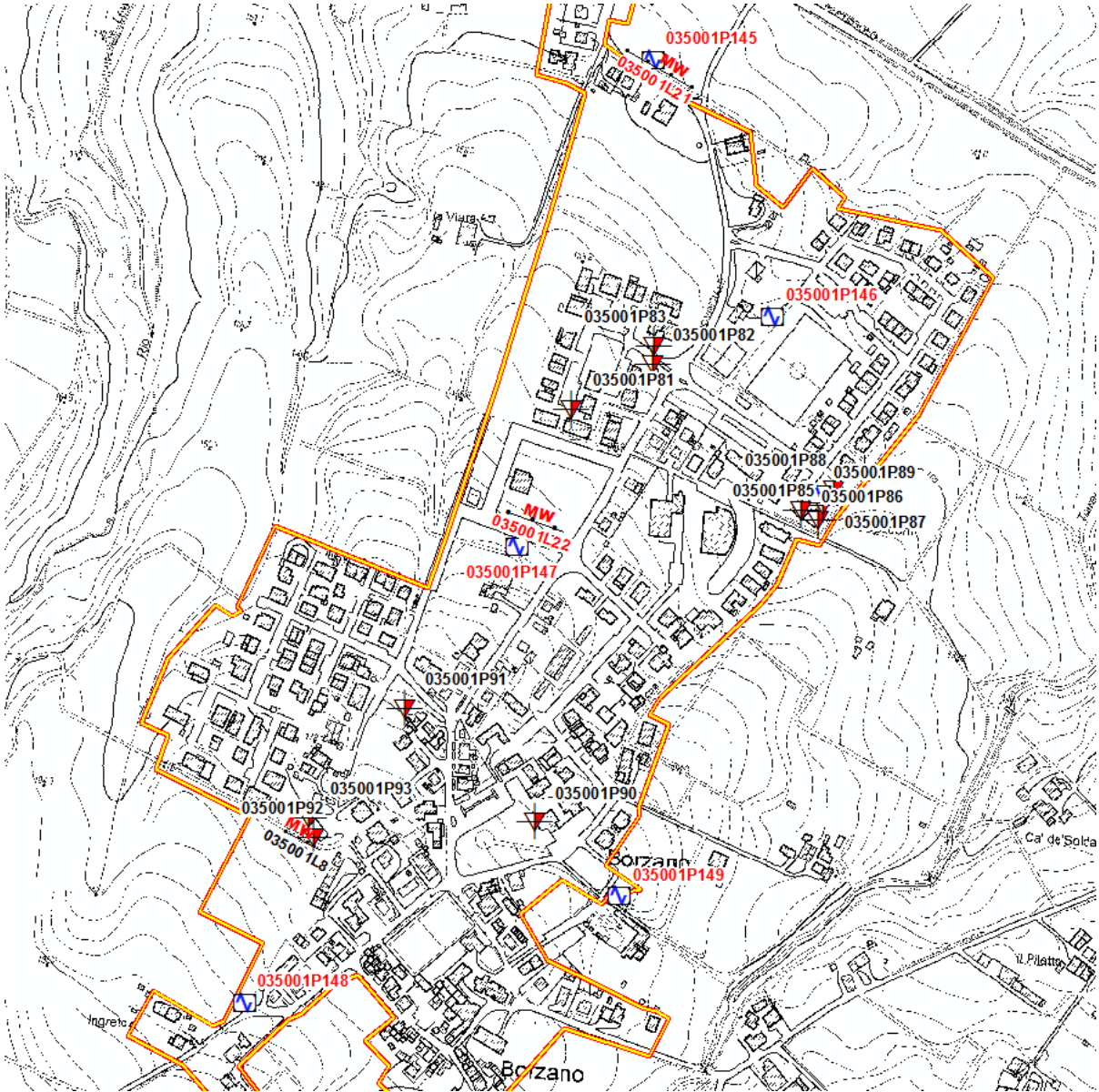
Broletto



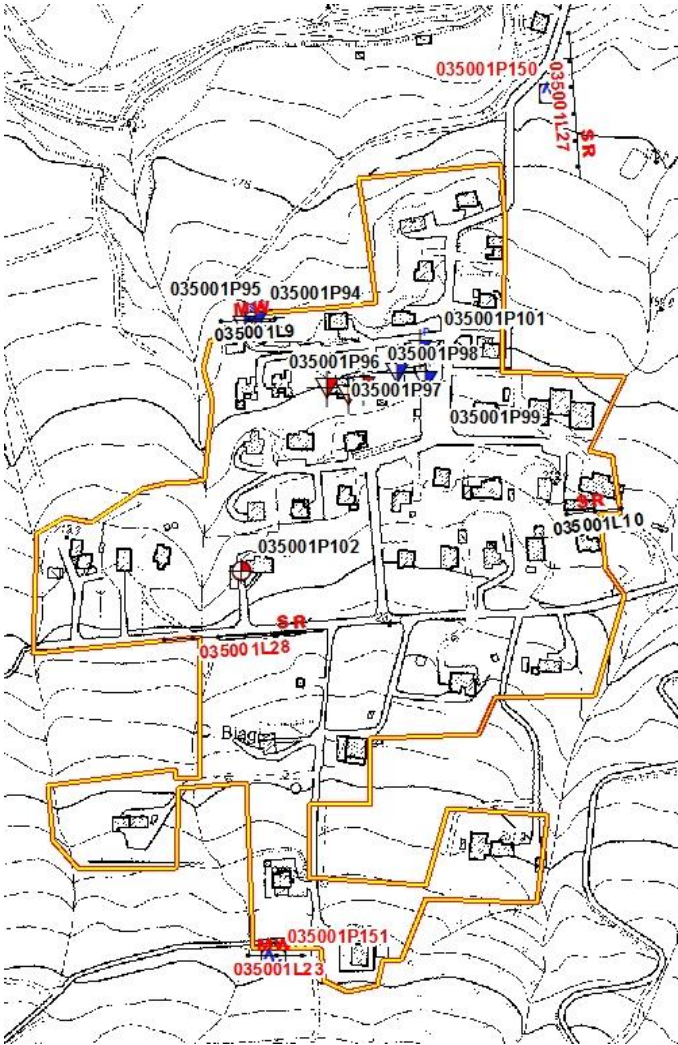
Montericco



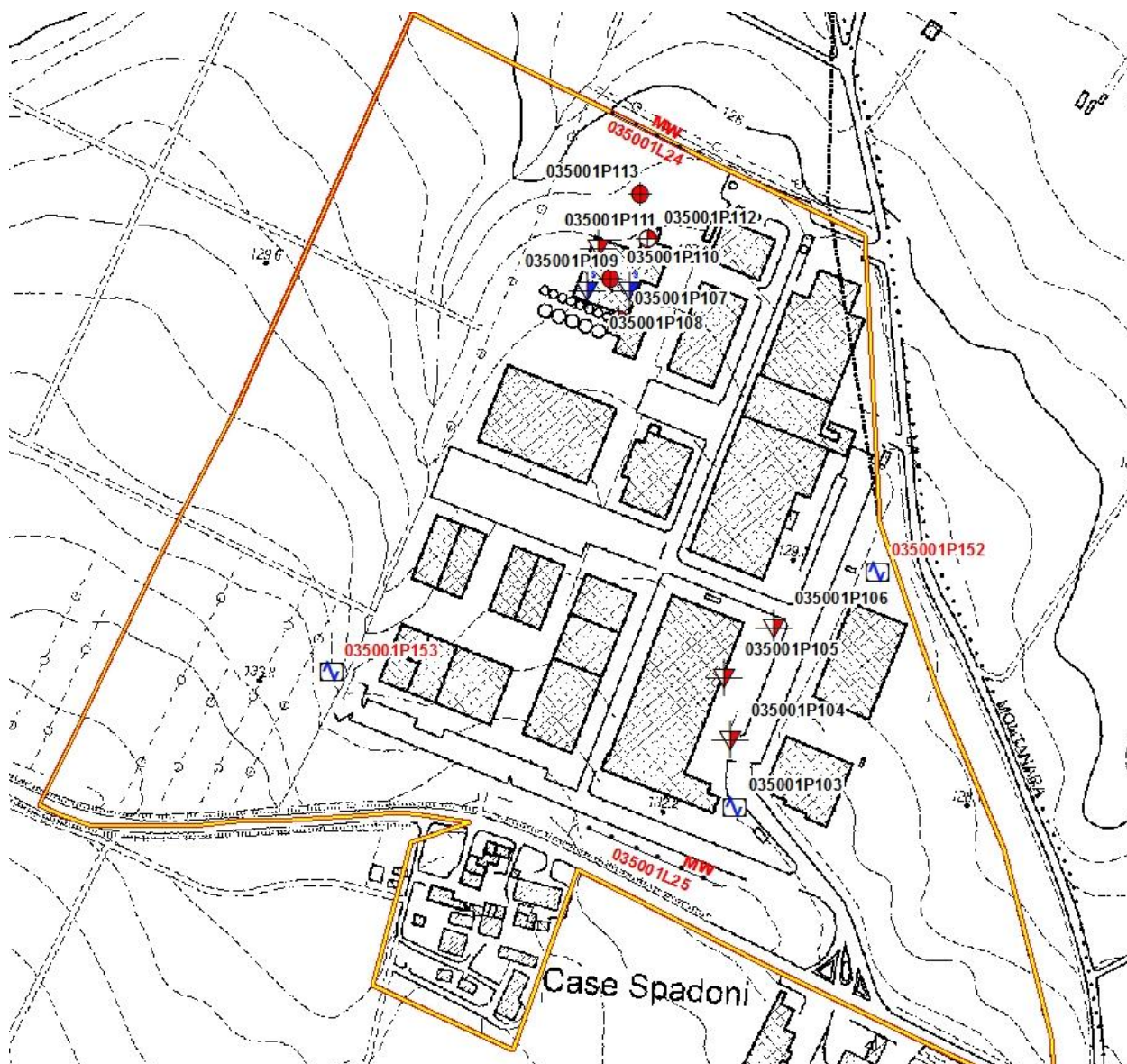
Borzano



Gameda



Area industriale Borzano



8.2 Carta Geologica Tecnica per la microzonazione sismica




È il risultato dell'attività di rilievo geologico, geotecnico, morfologico e idrogeologico effettuato. I dati in essa contenuti costituiscono il riferimento per la costruzione del modello del sottosuolo e per lo sviluppo della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Le unità geologico-litotecniche sono distinte in carta tra terreni di copertura e substrato geologico affiorante. Per i terreni di copertura è stata rappresentata la litologia prevalente presente dalla superficie fino al contatto di base.




La suddivisione delle suddette unità è stata fatta in base alla possibilità di definire e caratterizzare un numero non troppo esteso di classi, ma sufficientemente rappresentativo dei depositi presenti. Per la loro descrizione è stato utilizzato l'Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985) che è costituito da una sigla a due lettere minuscole, riferito al tipo di terreno di copertura, alle quali seguono due lettere minuscole riferite all'ambiente di possibile genesi e deposizione (es. "Gctf" *Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla –Terrazzo fluviale*).

Legenda




Terreni di copertura

 CLec	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Eluvi/Colluvi
 CLes	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Argine/barre/canali
 CLtf	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Terrazzo fluviale







Instabilità di versante (tipologia - stato attività)

	colata - attiva
	scorrimento - quiescente
	non definito - non definita


Substrato geologico

	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato
	Coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato
	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato/alterato

Forme di superficie e sepolti

	Cresta
	Asse di paleovalve
	Picco isolato
	Traccia di sezione geologica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo
	Area oggetto di approfondimento di 3° livello
	Limite comunale

Elementi tettonico strutturali

	Faglia inversa potenzialmente attiva e capace - certa
---	---

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)

Fig. 44 Stralcio della carta geologico-tecnica in cui è rappresentata la legenda

La simbologia utilizzata si riferisce agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b”; la scala di rappresentazione della Carta Geologico-Tecnica è 1:5.000.

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Questo elaborato costituisce il documento fondamentale del primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica e contiene una suddivisione dettagliata del territorio in zone a comportamento equivalente al verificarsi di sollecitazioni sismiche.

Per caratterizzare queste aree sono stati presi in considerazione gli elaborati sviluppati in questo studio di MS (Carta Geologico Tecnica e Carta delle Indagini), le informazioni bibliografiche e tutti i dati acquisiti nel corso della campagna di indagine.

Scopo del lavoro è stato quello di individuare, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, geotecniche e dei dati geognostici, le microzone dove possono così verificarsi effetti locali dovuti all'azione sismica.

La legenda della carta, redatta sulla base delle indicazioni fornite dagli standard di rappresentazione, prevede la suddivisione del territorio in tre aree differenti:

- **Zone stabili:** in cui non si ipotizzano effetti locali di nessuna natura (condizione verificata quando il substrato risulta rigido e in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco inclinata);
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** sono attese amplificazioni del moto sismico a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche;

- **Zone di attenzione per le instabilità:** gli effetti sismici attesi, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazione, cedimenti differenziali e indurre instabilità di versante.

La scala di rappresentazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è 1:5.000.

8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

Queste aree, sono state codificate in modo progressivo sulla base delle successione litostratigrafica (da ICMS 2008 – formato numerico: "20xy").

Nel territorio comunale sono state identificate le seguenti zone:

- **Zona 1:** (Botteghe - 2001) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a e AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato riconducibile a CMZ e FAAs. Le prove geofisiche individuano alla profondità di 15 metri un sostanziale aumento delle velocità ma non per questo riconducibile a bedrock che risulta comunque non rigido ($V_s \cong 500$ m/s). Le V_{s15} del deposito alluvionale variano da circa 200 a 350 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- **Zona 2:** (Botteghe - 2002) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a e AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato riconducibile a CMZ e FAAs e hanno uno spessore di circa 20 metri. Il bedrock è considerato, in analogia con la Zona 1, non rigido.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- **Zona 3:** (Botteghe - 2003) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a e AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato riconducibile come CMZ e FAAs e hanno uno spessore di circa 25 metri. Lo spessore è confermato da un indagine sismica pregressa che mostra un netto aumento della velocità a quella profondità ($V_s \cong 600$ m/s) riconducibile ad un bedrock non rigido.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- **Zona 4:** (Albinea - 2004) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose che poggiano su un substrato non rigido attribuibile a CMZ. Lo spessore delle coperture è di circa 10 m e le V_{s10} di questi depositi si aggirano intorno ai 250 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- **Zona 5:** (Albinea – 2005) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Poggiano su un substrato non rigido attribuibile al Sintema di Costamezzana (CMZ), hanno uno spessore di circa 15 m e in analogia con la Zona 4 hanno una V_{s15} circa uguale a 250 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

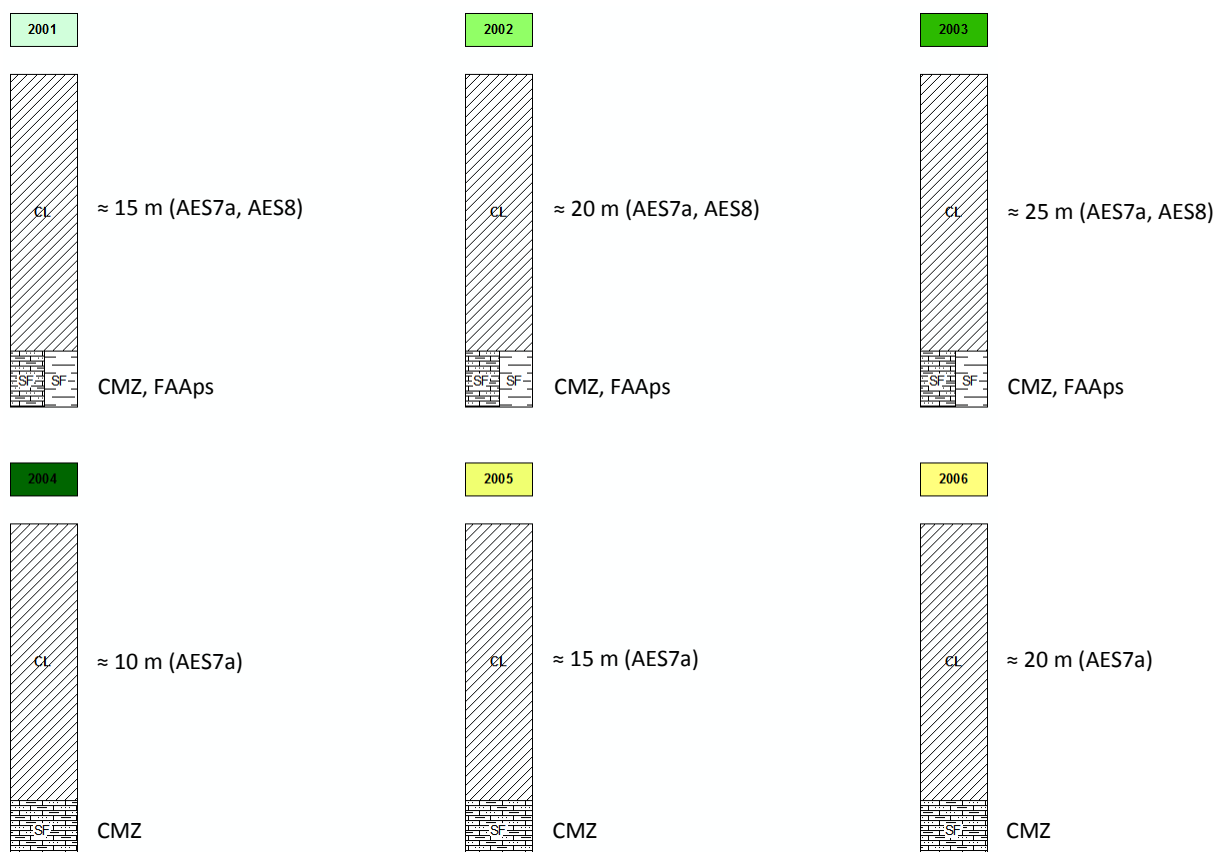


Fig. 45 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 6: (Albinea, Botteghe – 2006) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Le prove geofisiche individuano alla profondità di 20 metri un sostanziale aumento delle velocità ma non per questo riconducibile a bedrock che risulta comunque non rigido ($V_s \cong 500$ m/s). Le V_{s20} del deposito alluvionale variano da circa 250 a 300 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- Zona 7: (Botteghe – 2007) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Lo spessore di questi depositi è di circa 25 m sopra ad un substrato non rigido con velocità intorno ai 500 m/s e riconducibile a CMZ. La V_{s25} è di circa 250 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- Zona 8: (Albinea – 2008) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES, AES7a e AES8a, prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie e limi. Le prove geofisiche individuano alla profondità di 15 metri un sostanziale aumento delle velocità ma non per questo riconducibile a bedrock che risulta comunque non rigido e riconducibile al Sintema di Costamezzana. Le V_{s15} del deposito alluvionale variano da circa 200 a 250 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- Zona 9: (Albinea – 2009) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES e AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie e limi poggianti su un substrato attribuibile a CMZ e considerato non rigido ($V_s \ll 800$ m/s). Lo spessore di questi depositi è di circa 10 m e la rispettiva V_s è, per analogia con la Zona limitrofa, di circa 250 m/s.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

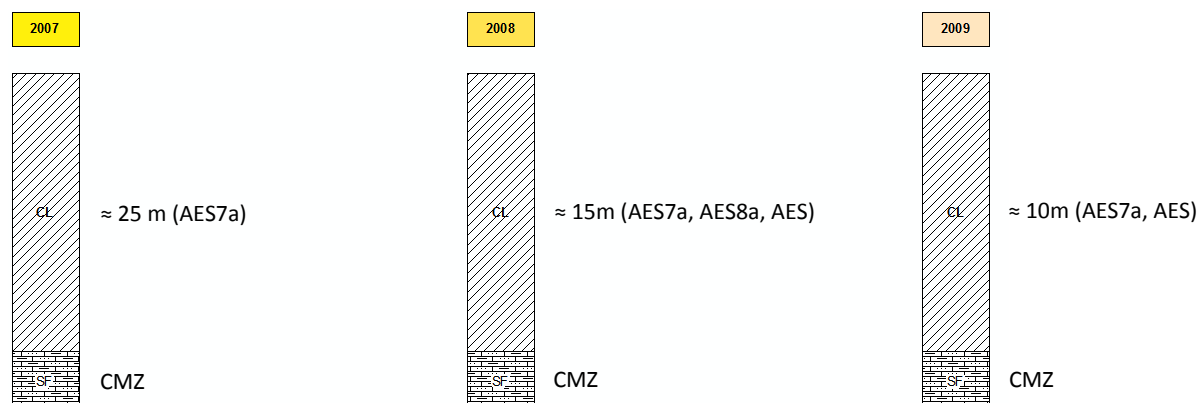


Fig. 46 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 2099 (Montericco – Broletto - Albinea) caratterizzata da coperture attribuibili a bedrock alterato costituito in parte dal Sintema di Costamezzana e dalle Argille Azzurre (litofacies pelitico sabbiosa FAAps). Hanno uno spessore variabile da 10 a 15 m. A causa dello spessore di questa porzione alterata è da considerare potenzialmente suscettibile di amplificazione locale. Queste aree si trovano spesso lungo creste morfologiche con un’acclività media superiore ai 15°. Per quest’ultimo motivo è stato necessario determinare l’eventuale coefficiente di amplificazione topografica.

Per questo motivo si ritiene sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato affiorante non rigido – DGR 2193/2015);

8.3.2. Zone di attenzione per le instabilità

Le Zone di Attenzione (ZA) per le instabilità (le quali corrispondono alle “zone suscettibili di instabilità” previste dagli ICMS 2008) sono state introdotte nel recente standard di rappresentazione (Giugno 2015) perché nella carta delle MOPS, queste zone hanno il medesimo livello di approfondimento di altre aree e quindi non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili fintanto che non vengano eseguite analisi più dettagliate (di tipo quantitativo) consone alla carta di Microzonazione Sismica.

Per ogni zona è assegnato un codice di 8 cifre di cui le prime 4 si riferiscono al tipo di instabilità e le ultime 4 riferite alla tipologia di zona stabile suscettibile di amplificazione.

Di seguito verranno descritte in dettaglio le zone di attenzione per instabilità di versante (ZA_{FR}) che corrisponderanno alle aree cartografate in frana nella Carta Geologico Tecnica.

- Zona 30452010: (Gameda) caratterizzata da coperture detritiche di versante, riconducibili ad un deposito di paleofrana, sovrastanti un bedrock non rigido attribuibile alle Argille Azzurre (nello specifico anche la sua facies pelitica sabbiosa FAAps) e al Sintema di Costamezzana (CMZ). Lo spessore è compreso tra i 10 e i 15 metri ed composto principalmente da materiale a matrice argillosa con clasti di gesso. Le indagini individuano uno spessore di questi depositi di circa 12 metri ($Vs_{12} \cong 250$ m/s) e comprende anche la parte superficiale del substrato alterato. La morfologia è collinare con inclinazione media $< 15^\circ$.

Per questi motivi si ritiene necessario un’indagine approfondita della zona con analisi di dettaglio e una valutazione della risposta sismica locale con metodi numerici 1D.

- Zona 30222011: (Gameda) corpo di frana quiescente per scorrimento composto da materiale prevalentemente fine (argille limose) con clasti di diversa natura, e con spessore di circa 12 m. Si trova al di sopra di un substrato non rigido attribuibile alle Argille Azzurre (nello specifico la sua facies pelitica sabbiosa FAAps). La velocità di questi depositi è stata assunta uguale a 250 m/s tenendo in considerazione l'indagine MASW 035001L23 ($V_{s12} \cong 236$ m/s).

Vista la limitata influenza nell'area di analisi e sui centri abitati si è ritenuto sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

- Zona 30132012: (Gameda) corpo di frana attiva messo in posto per un fenomeno di colata. Ha uno spessore di circa 10 metri ed è composto da materiale prevalentemente argilloso con clasti eterometrici. Si trova al di sopra di un substrato non rigido attribuibile alle Argille Azzurre (nello specifico la sua facies pelitica sabbiosa FAAps). La velocità di questi depositi è stata assunta uguale a 250 m/s tenendo in considerazione l'indagine MASW 035001L23 ($V_{s12} \cong 236$ m/s).

Vista la limitata influenza nell'area di analisi e sui centri abitati si è ritenuto sufficiente la stima del fattore di amplificazione con metodi semplificati (attribuibile al contesto di Appennino, substrato non rigido – DGR 2193/2015);

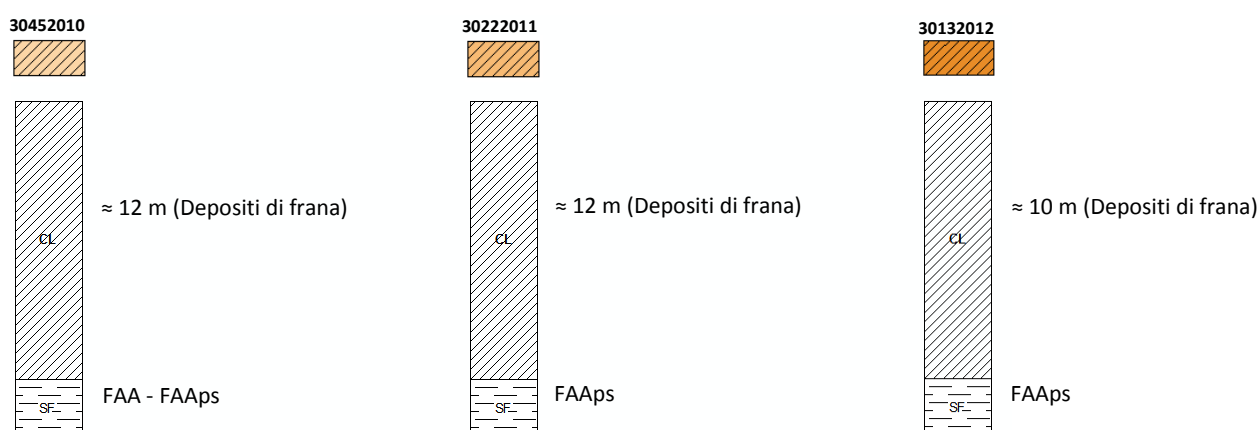


Fig. 47 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

8.4 Carta di Microzonazione Sismica

Rappresenta la carta in cui sono riportati i risultati dell'applicazione degli abachi forniti dalla Regione Emilia-Romagna e dalle elaborazioni con i codici di calcolo monodimensionali e le eventuali analisi approfondite (analisi degli spostamenti su frane) effettuate nelle aree in esame. Nel dettaglio riporta la suddivisione in aree a comportamento sismico equivalente in base alle caratteristiche litostratigrafiche e topografiche.

Secondo le disposizioni indicate nel DGR n. 2193/2015 sono state quindi elaborate le 3 carte differenti in cui sono indicati i fattori di amplificazione relativi a:

- FA_{PGA}
- $FA_{SI} (0,1s \leq T \leq 0,5s)$
- $FA_{SI} (0,5s \leq T \leq 1,0s)$
- $FA_{SI} (0,5s \leq T \leq 1,5s)$

Per il tipo di rappresentazione è stata scelta quella proposta dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b".

La scala di rappresentazione delle Carte di Microzonazione sismica è 1:5.000.

8.4.1. Zone suscettibili di instabilità

Sono state rappresentate in carta alcune aree suscettibili di instabilità, conservando l'informazione proveniente dalla cartografia geologica e delle coperture quaternarie della Regione Emilia Romagna. I dissesti a cui fanno riferimento non sono ritenuti attualmente in grado di minacciare le aree oggetto di studio e pertanto non sono stati eseguiti in generale approfondimenti analitici.

Di seguito sono elencate le aree classificate.

- Zona 30452010: (Gameda) Dopo aver effettuato analisi di terzo livello con il metodo di Newmark, senza aver riscontrato spostamenti in presenza di moto sismico, è stata riconosciuta come area suscettibile di instabilità allo scopo di conservare l'informazione che la zona in questione è potenzialmente suscettibile a instabilità.

8.5 Carta delle frequenze naturali dei terreni

In questo elaborato sono rappresentati i punti di misura ed i valori di frequenza di risonanza fondamentale (F_0) del terreno, la quale corrisponde al valore di picco alla più bassa frequenza. In alcuni casi sono state indicate fino a tre frequenze di risonanza corrispondenti ad ulteriori amplificazioni del segnale passivo registrato.

Per la rappresentazione di queste informazioni geofisiche è stata considerata la proposta del DGR 2193/2015 che aggiorna l'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" – DAL 112/2007. Essa prevede una classificazione in termini di classi di frequenza:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| – $F_0 \leq 0,6$ Hz | spessori attesi maggiori di 200 m |
| – $0,6 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 1$ Hz | spessori compresi tra 200 e 100 m |
| – $1 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 2$ Hz | spessori compresi tra 100 e 30 m |
| – $2 \text{ Hz} \leq F_0 \leq 8$ Hz | spessori compresi tra 30 e 10 m |
| – $F_0 > 8$ Hz | spessori inferiori a 10 m |
| – Nessun massimo relativo significativo | |

Gli spessori sono stimati attraverso la relazione fra la frequenza di risonanza fondamentale dello strato la velocità media delle onde S all'interno del deposito indagato:

$$F_0 = \frac{V_s}{4h}$$

Questa relazione è però valida solo nei "casi semplici" ovvero quando le coperture alluvionali mantengono un certo spessore e stanno al di sopra di un basamento sismico rigido, quindi risulta approssimativa ma utile per una prima stima della potenza dei depositi indagati.

Per una maggiore leggibilità delle caratteristiche acquisite attraverso le registrazioni tomografiche, la carta permette di distinguere i punti in base anche al rapporto spettrale H/V riferito all'entità del contrasto di impedenza tra le unità geologiche.

Rapporto H / V

- $H/V < 1,5$ ASSENZA di significativi contrasti di impedenza
- $1,5 \leq H/V < 2$ BASSI contrasti di impedenza
- $2 \leq H/V < 3$ MODERATI contrasti di impedenza
- $H/V \geq 3$ ELEVATI contrasti di impedenza

Fig. 48 Simbologia utilizzata per rappresentare il rapporto spettrale H/V. Estratto della legenda della carta delle frequenze

La scala di rappresentazione della Carta delle frequenze naturali del terreno è 1:5.000.

8.6 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

In questa carta sono indicate le velocità delle onde di taglio (Vs) ottenute con prove pregresse e quelle realizzate appositamente per il presente studio di microzonazione. All'interno di ogni etichetta è indicata la tipologia utilizzata per determinare il valore Vs, l'eventuale profondità del bedrock e l'effettiva velocità in metri/secondo dello strato analizzato che poggia sul substrato.

La scala di rappresentazione della Carta delle velocità delle onde di taglio S è 1:5.000.

8.7 Carta delle sezioni

La carta è stata elaborata con lo scopo di definire un modello del sottosuolo dettagliato e completo, così da supportare le analisi di stabilità e amplificazione sismica.

In legenda sono elencate le formazioni e le coperture quaternarie presenti nelle zone in esame; per la loro rappresentazione si sono adottati i tematismi della carta geologica alla scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.

La stratigrafia delle sezioni è stata desunta dai risultati delle prove geofisiche (sismica a rifrazione e HVSR) e dai sondaggi geognostici effettuati in sito.

Le scale di rappresentazione sono differenti in base ad esigenze cartografiche: la sezione è in scala 1:2.000 mentre in pianta di 1:10.000.

9 Bibliografia

- AA.VV., (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D., (2013) – La Risposta Sismica Locale. Seminario ODG – Vicenza, 8 Novembre 2013. Università degli Studi di Siena.
- Albarello D., Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica*. Pàtron, Bologna.
- Amorosi A., Colagongo M.L. & Vaiani S.C. (1996c) – Revisione litostratigrafica dell'unità Bismantova (Miocene, Epiligure, Appennino Settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 115 (96): 355-367.
- Bardet J.P., Ichii K. e Lin C.H. (2000) – EERA: a computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits. University of Southern California, Los Angeles.
- Boccaletti, M., Corti G., Martelli L., 2010 – Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines. *Int. Journ. Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, DOI 10.1007/s00531-010-0545-y
- Castellarin, A., C. Eva, G. Giglia, G. B. Vai, E. Rabbi, G. A. Pini and G. Crestana (1985) - Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. *Giorn. Geol.*, 3a, 47/1-2
- Crespellani T., Ghinelli A., Madiati C., Vannucchi G. – Analisi di stabilità in pendii naturali in condizioni sismiche.
- Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. +5 appendici.
- 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.
- INGV - DISS Working Group (2010) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M., (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>
- Meletti, Valensise (2004) – Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Papani G., De Nardo M.T., Bettelli G., Rio D., Tellini C. & Vernia L. (2002) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 218 Castelnovo ne' Monti. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS.
- Pieri M. e Groppi G. (1981) – Subsurface geological structure of the Po Plan (Italy). C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n 414: pp. 23.
- Pizzolo M., Segadelli S., Vaiani S.C. (2010) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 220 Reggio Emilia. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS.
- Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998) – Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. Selca Firenze