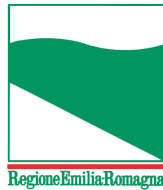




PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

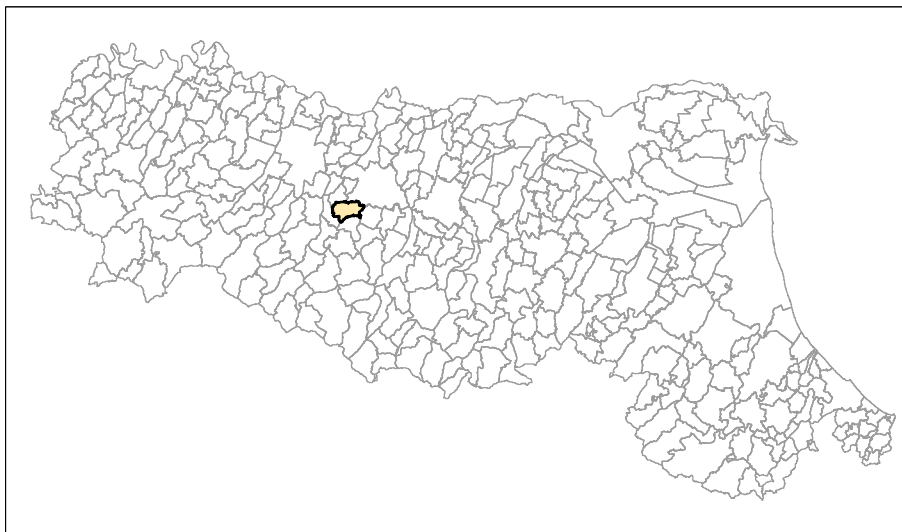
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009. n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Quattro Castella



Regione	Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore  INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI Con la collaborazione di:  ambiente risorse territorio	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 QUATTRO CASTELLA

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

approvato
Ing. Ivo Fresia
verificato
Dott. Giovanni Carra
elaborato
Dott. Mattia Galletti

0	MG	GV	FR	Marzo 2017
rev.	sigle			data

codice elaborato 0641-01-01-02R-00



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 e recente dell'area	3
2.2	Sorgenti sismogenetiche	6
2.3	Zonazione Sismogenetica	7
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	10
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	15
3.3	Contestualizzazione delle aree in studio	15
3.3.1.	Capoluogo e loc. Fornace	16
3.3.2.	Roncolo e loc. Tripoli	17
3.3.3.	Bergonzano	18
3.3.4.	Case Valle	19
3.3.5.	Salvarano	20
3.3.6.	Montecavolo	21
3.3.7.	Puianello	24
4	Dati geotecnici e geofisici	25
4.1	HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	25
4.2	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	26
5	Modello del sottosuolo	28
6	Interpretazioni e incertezze	31
7	Metodologie ed elaborazione dati	32
7.1	Analisi di RSL con metodi numerici monodimensionali (EERA)	32
7.1.1.	Quattro Castella	37
7.1.2.	Salvarano	40
7.1.3.	Montecavolo	42
7.1.4.	Puianello	45
7.2	Coefficiente topografico	47
8	Elaborati cartografici	51
8.1	Carta delle indagini	51
8.2	Carta Geologica Tecnica per la microzonazione sismica	57
8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	58

8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione locali	59
8.3.2. Zone di attenzione per le instabilità.....	63
8.4 Carta di Microzonazione Sismica.....	64
8.5 Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	64
8.6 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	65
9 Bibliografia.....	66

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.

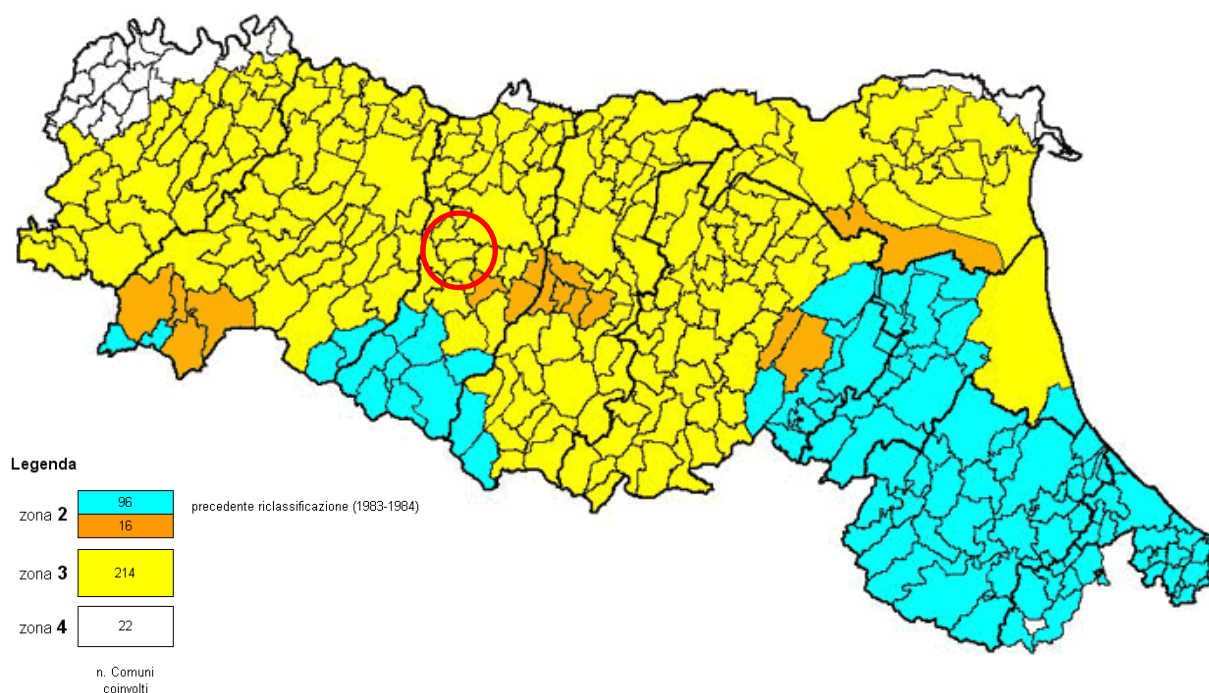


Fig. 1 Classificazione sismica della regione Emilia-Romagna in base all'OPCM n. 3274/2003

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 e recente dell'area

Il comune di Quattro Castella è contraddistinto da una storia sismica in cui si sono susseguiti terremoti con intensità da media a forte. In alcune zone infatti si è raggiunto 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/>) e dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (<http://iside.rm.ingv.it/>).

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. Saranno quindi elencati i terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio.

Storia sismica di Quattro Castella

[44.636, 10.473]

Numero di eventi: 14

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
7	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
6	1831 09 13 05:30	Reggiano	7		
6-7	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
5	1967 04 03 16:36:18	Reggiano	47	5-6	4.69 ±0.19
7	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
5-6	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	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
5	1988 03 15 12:03:18	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
2	1995 10 10 06:54:23	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
6	1996 10 15 09:56:02	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
NF	1997 05 12 22:13:51	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
2-3	1998 02 21 02:21:13	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17
4-5	2000 06 18 07:42:08	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

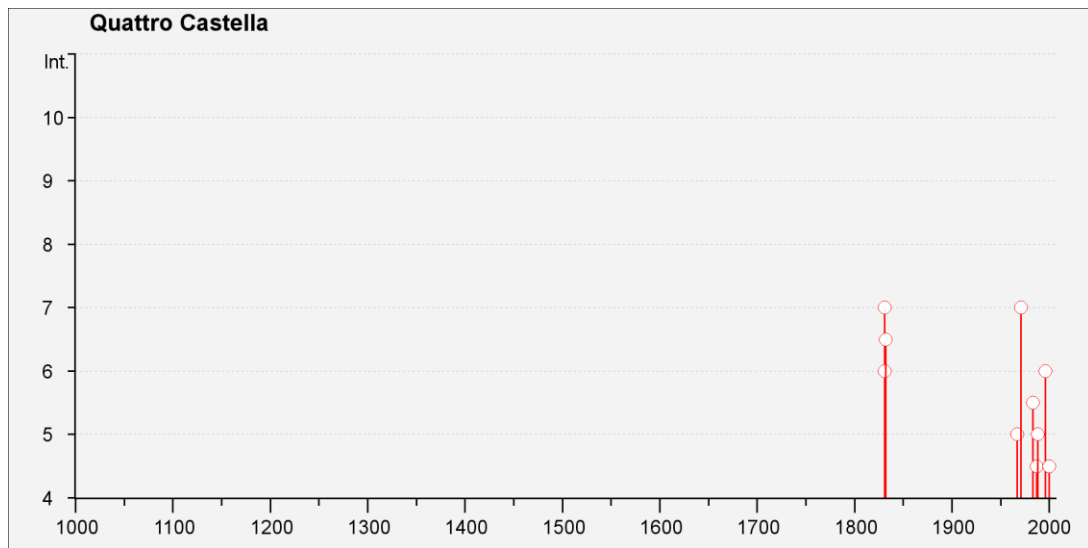


Fig. 2 Rappresentazione degli eventi sismici significativi che hanno interessato il territorio comunale di Quattro Castella

In Fig. 2 si può osservare che il terremoto con gli effetti più significativi risulta essere quello avvenuto nel 1971 nell'area epicentrale Parmense con una magnitudo momento pari a 5,64. Negli ultimi vent'anni il più gravoso si è manifestato a Correggio effetti fino al 6° della scala MCS.

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. 4 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.

Storia sismica di Puianello [44.625, 10.563]

Numero di eventi: 3

Effetti	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
Is (MCS)					
6	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	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09

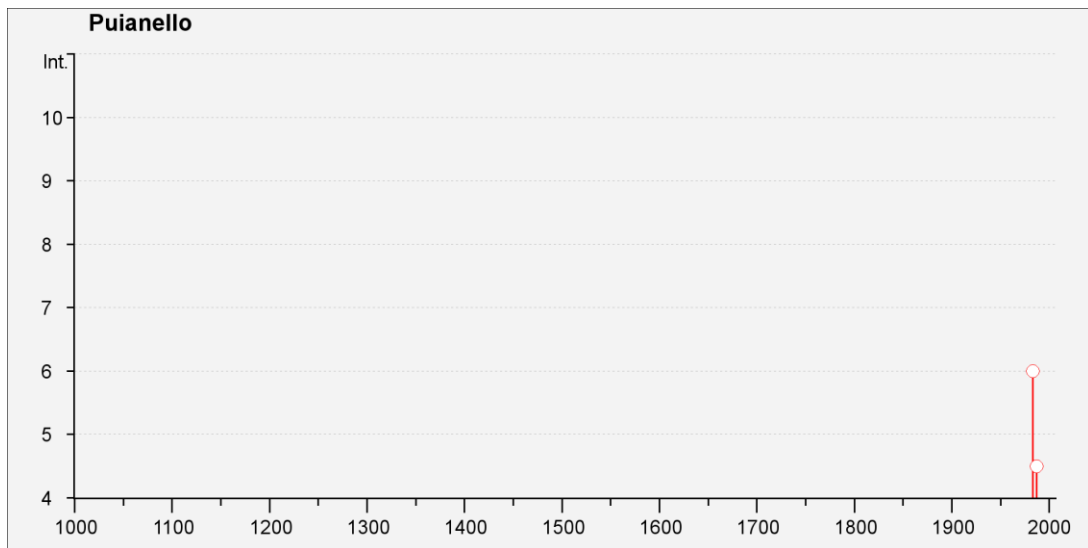
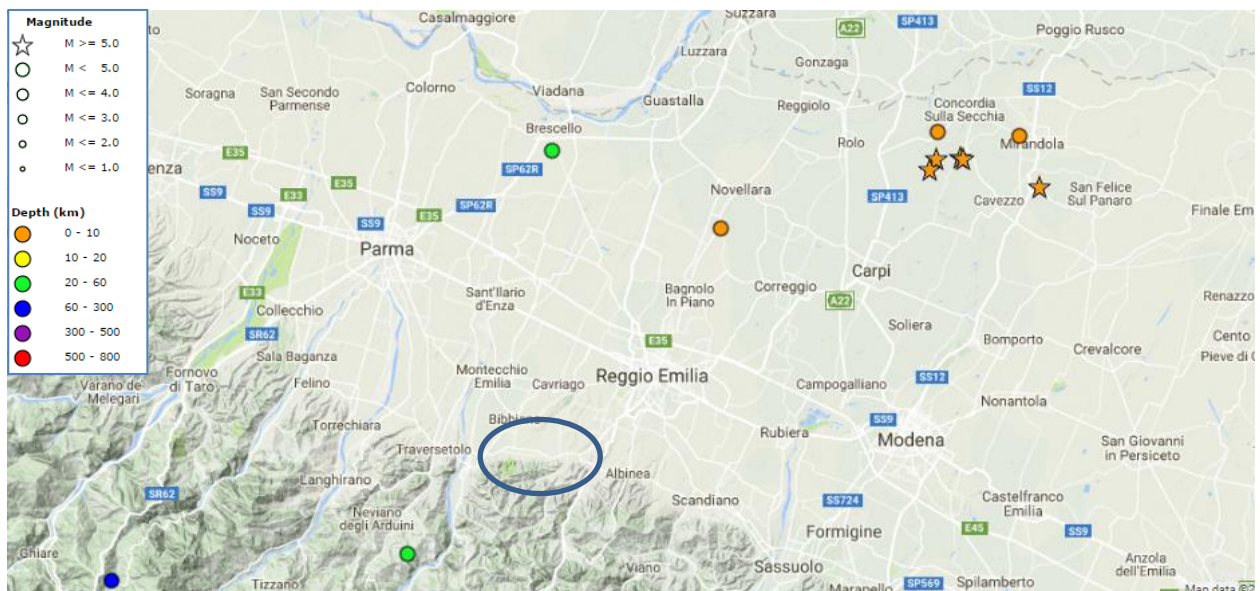


Fig. 3 Rappresentazione degli eventi sismici significativi nell'abitato di Puianello, all'interno del comune di Quattro Castella



#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
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. 4 Ubicazione dei principali eventi sismici recenti (Magnitudo > 4,5) nelle aree entro 50 Km dall'abitato di Quattro Castella 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 in oggetto di studio nel comune di Quattro Castella si trovano nei pressi di due sorgenti sismogenetiche composite classificate come "ITCS046: Langhirano-Sassuolo" e "ITCS009: Busseto-Cavriago" (Fig. 5). Nella prima si sono sviluppati sismi di magnitudo massima (M_w) pari a 5,9, mentre nella seconda (ITCS009) la magnitudo massima registrata in queste aree è di 5,6. La sorgente sismogenetica composta rappresenta da un punto di vista geometrico la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia.

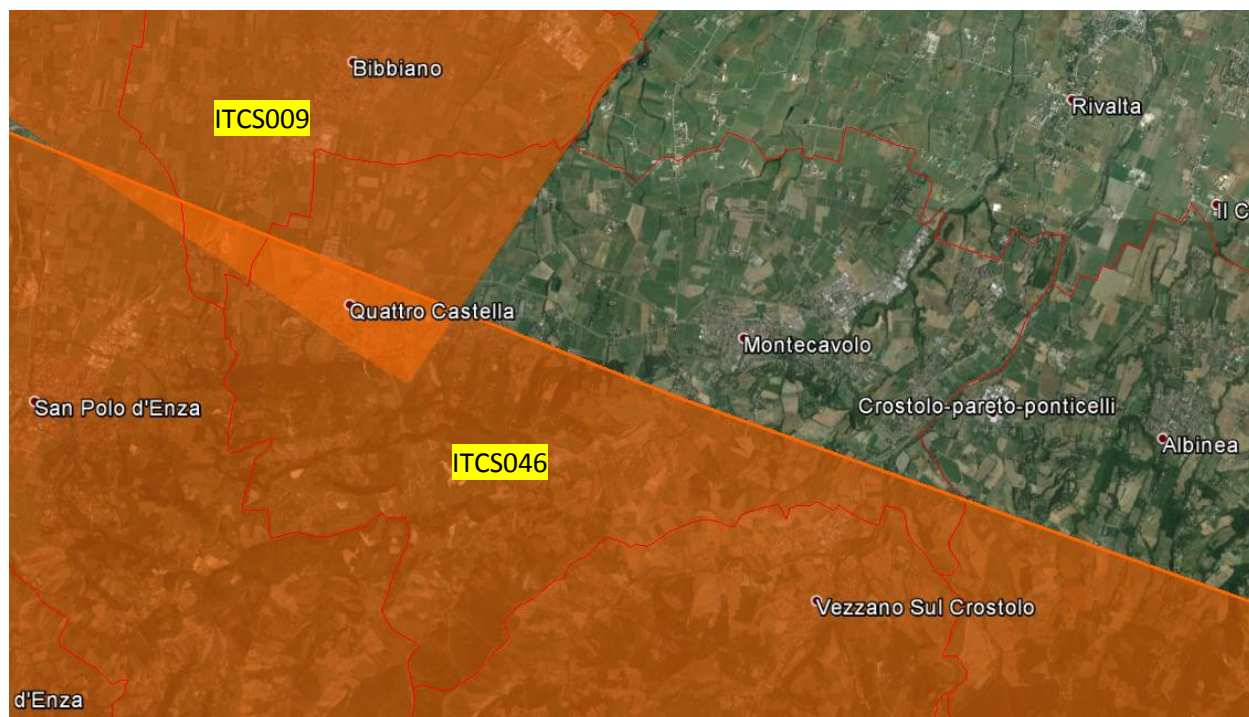


Fig. 5 Foto aeree con l'ubicazione delle Zone e delle Sorgenti sismogenetiche (Google Earth)

La sorgente sismogenetica composta 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. 6 è riportato uno schema di lettura delle caratteristiche geometriche della CSS mentre in Fig. 7 quello di una ISS.

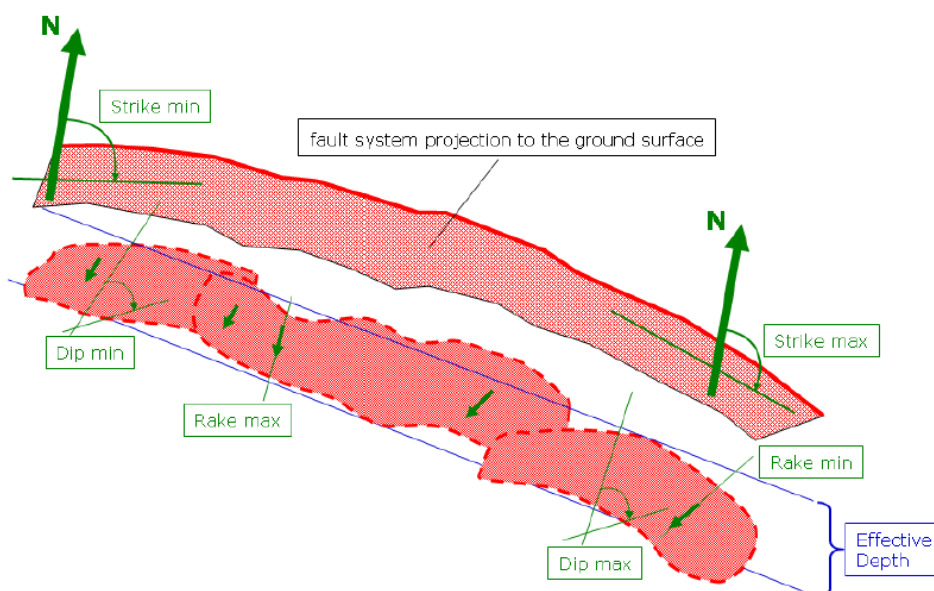


Fig. 6 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

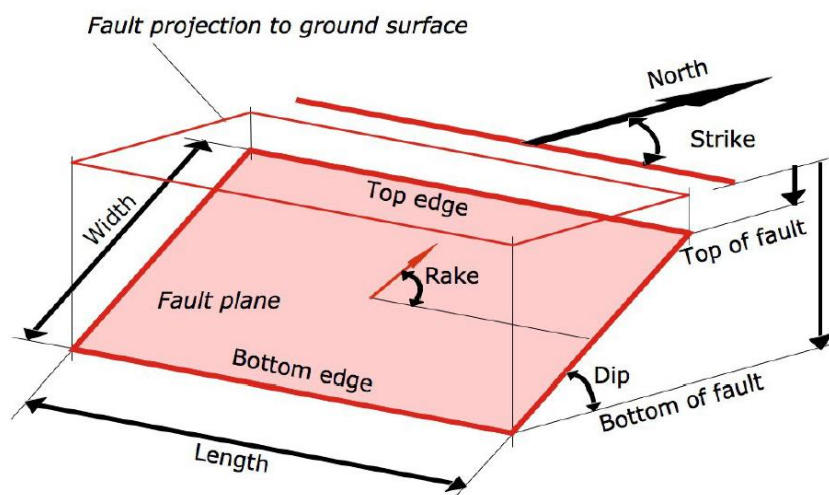


Fig. 7 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica individuale (ISS)

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).

Le ZS9 rappresenta la più recente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui territori: 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. 8):

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

Se si osserva Fig. 9 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.

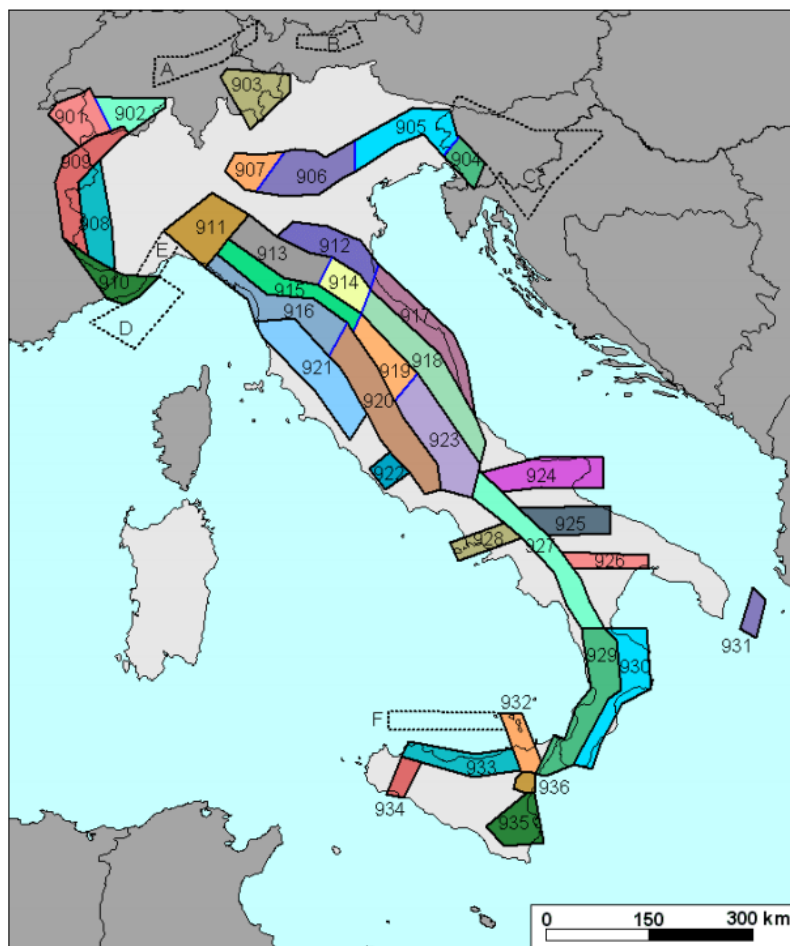


Fig. 8 Zonazione simogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

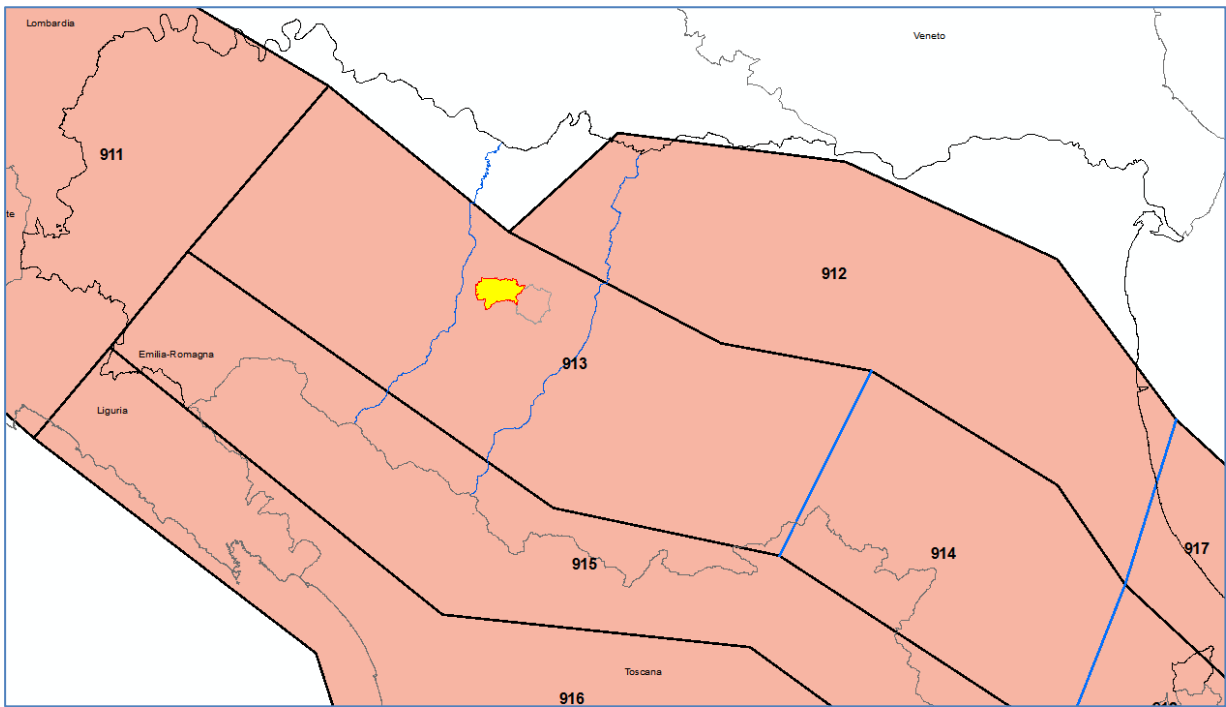


Fig. 9 Particolare di Fig. 8 in cui è evidenziata la posizione del comune di Quattro Castella nella provincia di Reggio Emilia

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 Quattro Castella occupa una porzione di territorio pedecollinare di cui fanno parte alcuni rilievi ubicati sul margine appenninico che danno il nome al comune stesso (da ovest: Monte Lucio, Monte Zagno, Monte Bianello e Monte Vetro). L'altitudine media è di circa 160 m s.l.m. e le quote maggiori si raggiungono nel margine sud del comune dove possono arrivare a quasi 400 m.

I corsi d'acqua presenti, i quali hanno condizionato la morfologia dell'area originando conoidi e terrazzi alluvionali, sono rappresentati dai principali Torrenti Crostolo a est e del suo affluente Modolena nella porzione centrale, e dai numerosi Rii secondari.

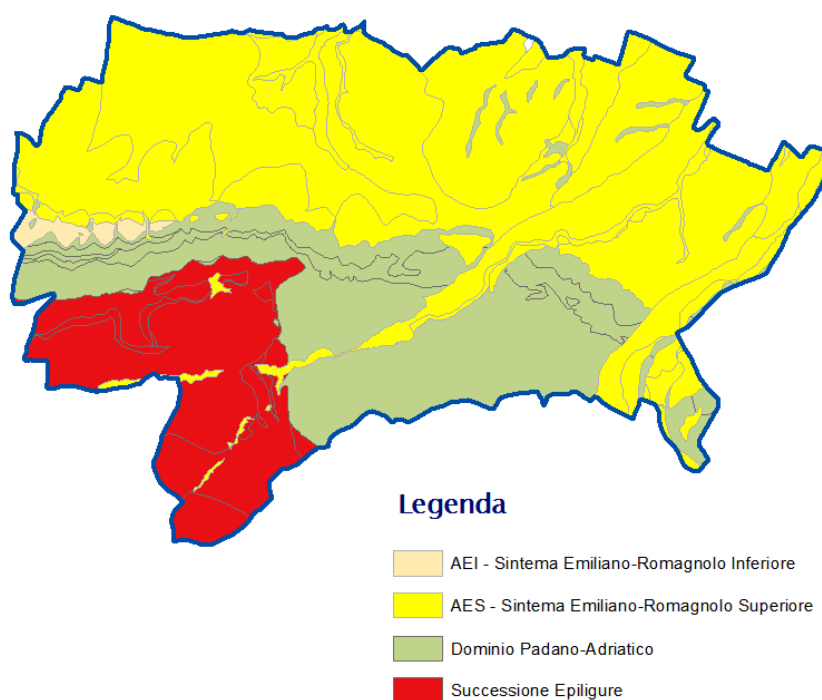


Fig. 10 Rappresentazione dei domini affioranti nel comune di Quattro Castella

Nella Fig. 10 sono rappresentate le unità affioranti nel territorio di riferimento le quali possono essere raggruppate in due grandi insiemi:

- Successione neogenico-quadernaria del margine appenninico-padano (Dominio Padano-Adriatico; AEI e AES)
- Successione Epiligure

La prima è rappresentata 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.

La Successione Epiligure invece costituisce il riempimento di bacini episeturali impostatisi 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.

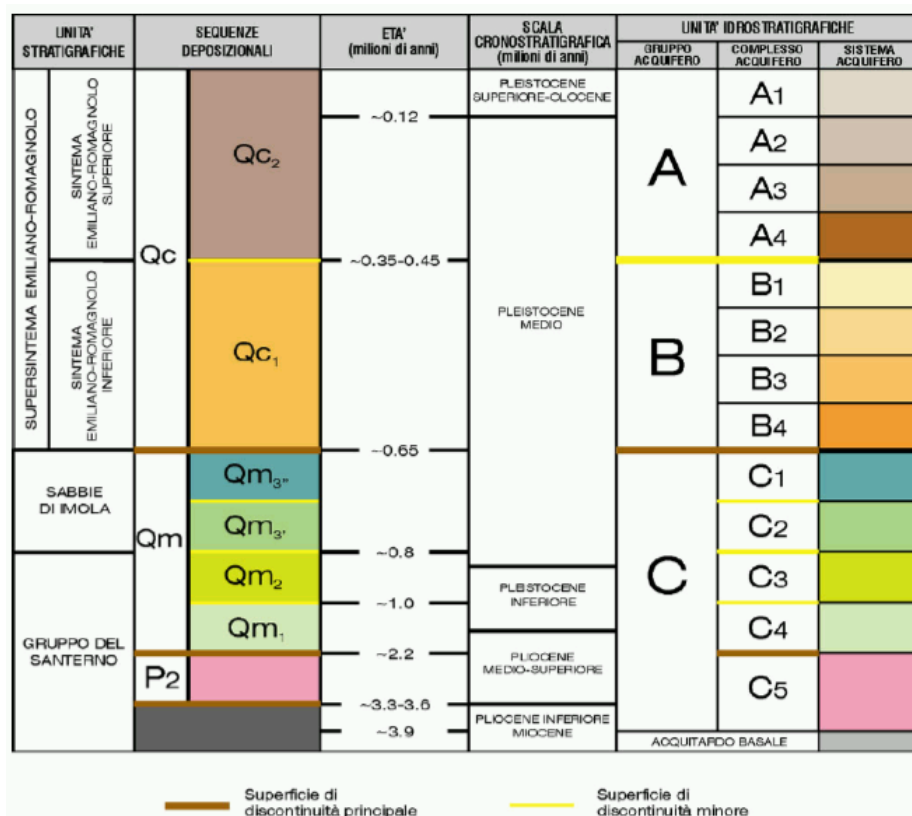


Fig. 11 Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi

In Fig. 11 è rappresentata, da un punto di vista gerarchico, lo schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnoli in cui si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U. - Unconformity-Bounded Stratigraphic Units) denominate come segue:

- Supersintema o Allogruppo del Quaternario Marino (Qm)
- Supersintema 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 Qm è costituito prevalentemente da terreni paralici e marini che si sono depositi su una superficie di discontinuità al termine di un sollevamento tettonico che ha portato ad un'importante regressione forzata in tutta l'area emiliana. 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. 11) ed una superiore detta Sintema di Costamezzana (Qm2 e Qm3) che affiora lungo il margine appenninico lungo le incisioni fluviali.

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 mentre la strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che hanno coinvolto l'Appennino e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (Pieri e Groppi, 1981).

Come si può notare dalla Fig. 12, l'assetto strutturale delle successioni plio-pleistoceniche è rappresentato da un serie di pieghe e thrust ciechi ad andamento parallelo con una orientazione NO-SE ed immergenti verso SO con inclinazioni comprese tra i 20°-30°.

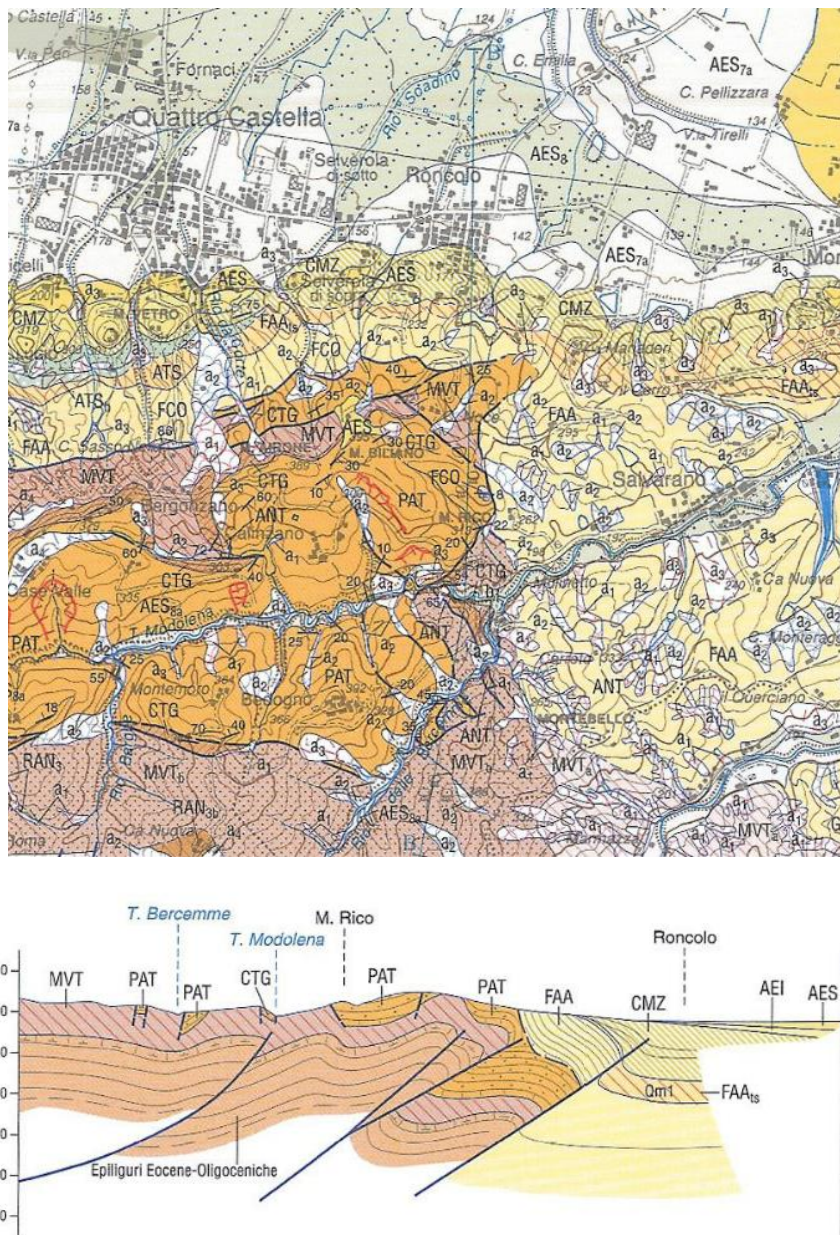


Fig. 12 Sezione sviluppata a est di Quattro Castella in cui sono rappresentati i le pieghe e i thrust sepolti (fonte: Foglio 200 – Reggio Emilia)

Lungo il margine Appenninico, appena a sud dell'abitato di Quattro Castella, sono presenti elementi morfologici prodotti dall'azione del thrust frontale pede-appenninico. È evidente innanzitutto una netta rottura del pendio continua per diversi chilometri che divide la porzione sud da quella del centro abitato in cui sono presenti depositi alluvionali quaternari. Riconoscibili anche in carta un allineamento di faccette triangolari (circa 50 m di altezza) separate da una forte incisione fluviale (Fig. 13).

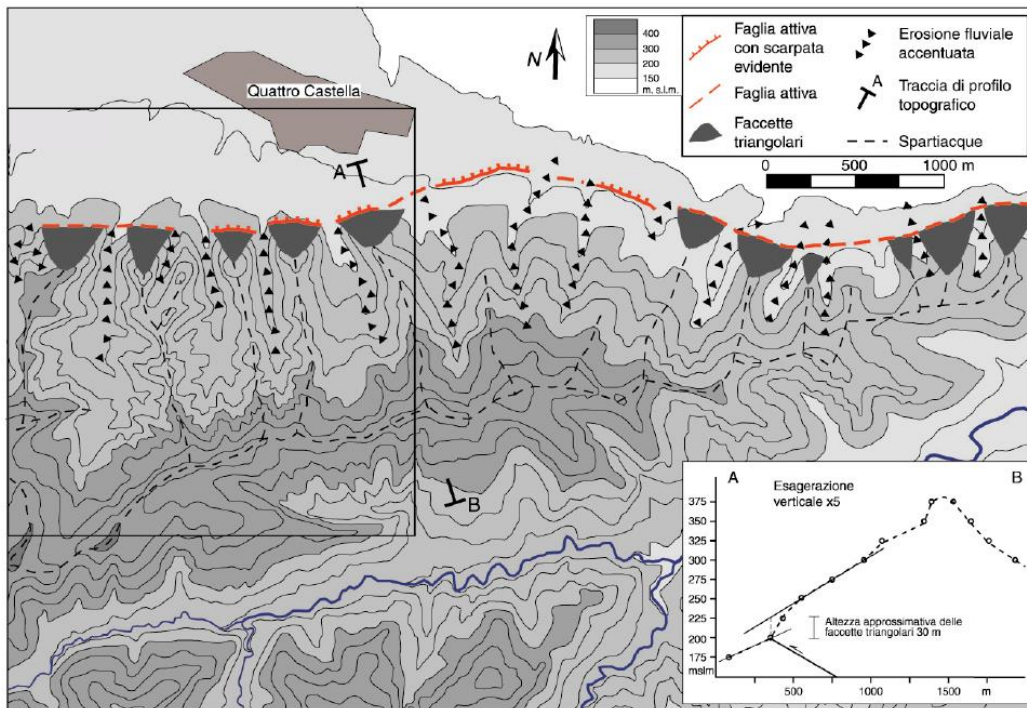


Fig. 13 Disposizione spaziale del thrust e riquadro con altezza media delle faccette triangolari (fonte: Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna)

3.2 Assetto stratigrafico

Le unità in affioramento nel comune di Quattro Castella, secondo le Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 200 Reggio nell'Emilia, possono essere suddivise e descritte come segue:

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

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

- AES8 – “Subsistema 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 – “Subsistema 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 torbiditica-emipelagica 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 scheggiosa a concoide, con sporadici livelletti arenitici fini o siltitici di spessore da sottile a medio”*. L’ambiente di deposizionale 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.

3.3 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	Quattro Castella	Capoluogo e Fornace	1,486
02	Quattro Castella	Roncolo e loc. Tripoli	0,376
03	Quattro Castella	Bergonzano	0,048
04	Quattro Castella	Case Valle	0,014
05	Quattro Castella	Salvarano	0,168
06	Quattro Castella	Montecavolo	2,072
07	Quattro Castella	Puianello	1,124

3.3.1. Capoluogo e loc. Fornace

Il capoluogo comunale è situato in corrispondenza del margine dell'alta pianura al di sopra di depositi alluvionali terrazzati. Per quanto concerne in particolare le coperture quaternarie, le unità affioranti sono costituite essenzialmente dall'Unità di Niviano (AES7a in carta) e dal più recente Subsistema di Ravenna (AES8) che domina la porzione più settentrionale del territorio. I primi rilievi collinari sono impostati sui sintemi più antichi che appaiono deformati e sollevati a causa delle spinte tettoniche. Il substrato comune a tutta l'area, visibile in affioramento in corrispondenza dei colli, è il Sintema di Costamezzana.

Dal punto di vista geomorfologico questa zona risente direttamente degli effetti subiti dal sollevamento determinato dallo sviluppo del thrust descritto nei precedenti paragrafi ed in particolare degli effetti che ciò ha comportato sullo sviluppo della rete di drenaggio. In corrispondenza del capoluogo si sono infatti sviluppati assi di drenaggio ad andamento sw – ne alimentati da bacini di piccole dimensioni che hanno progressivamente delineato, attraverso l'incisione dei depositi alluvionali poco cementati, i rilievi collinari. I corsi d'acqua, nonostante le modeste portate proseguono anche attualmente nell'attività erosiva anche dei depositi terrazzati dell'alta pianura, delineando dossi allungati nella stessa direzione.

Sono osservabili localmente fenomeni di instabilità superficiale delle coperture detritiche in corrispondenza dei pendii più pronunciati ma nessun fenomeno franoso importante.

Dal punto di vista litologico l' Unità di Niviano (AES7a) è costituita localmente da depositi continentali limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto sono presenti suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Il contatto inferiore avviene in discontinuità sulle unità più antiche. Il contatto superiore coincide con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari, e risulta sepolto da AES8 nell'alta pianura. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile.

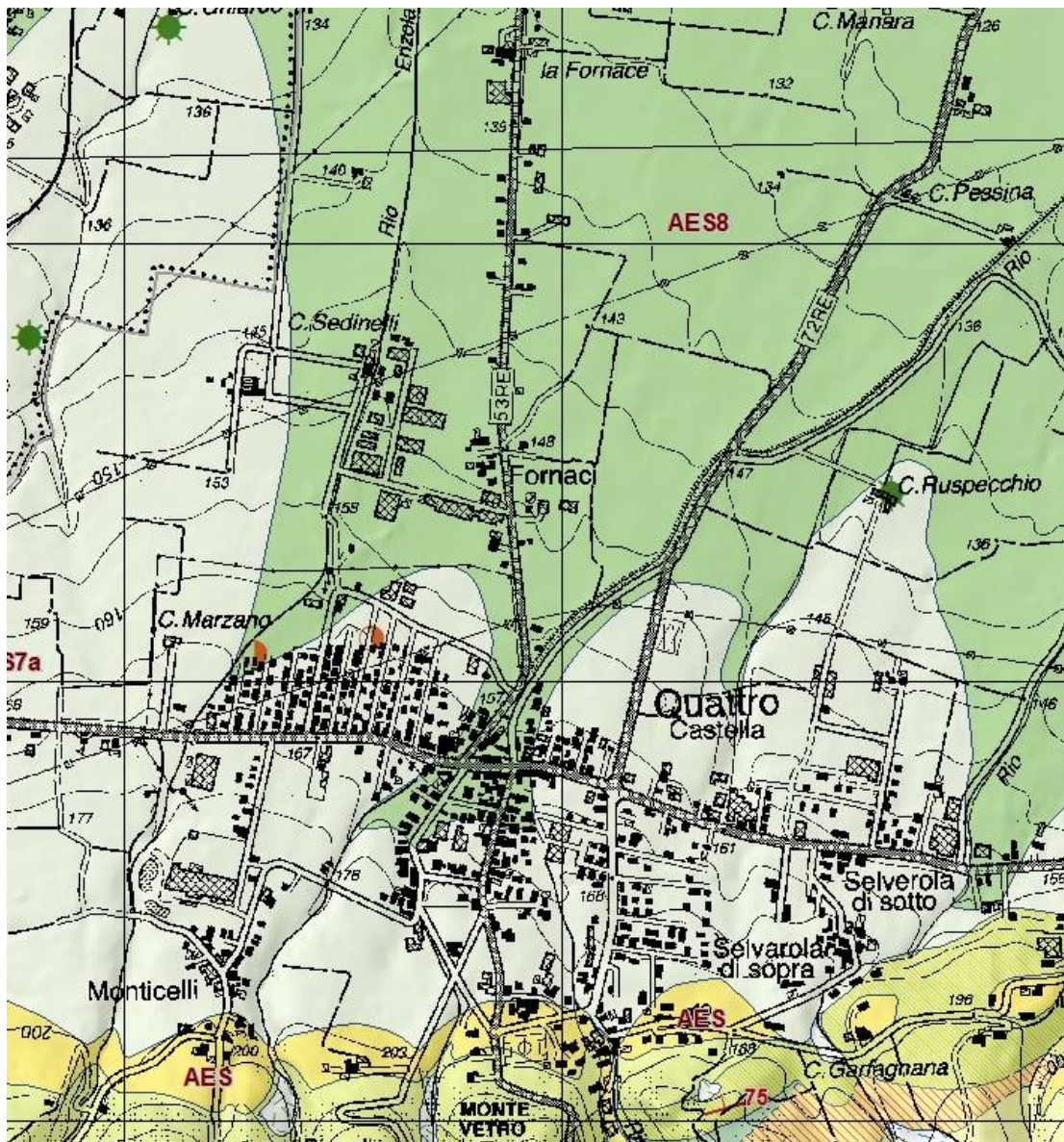


Fig. 14 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Quattro Castella

Il Subsistema di Ravenna AES8 si differenzia per la presenza di limi sabbiosi e limi argillosi in prevalenza e di ghiaie in lenti entro limi, subordinate a ghiaie e ghiaie sabbiose nelle zone limitrofe ai torrenti e fiumi principali. Sono ricoperti da suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; sono presenti anche orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Lo spessore complessivo dell'unità può superare i 20 m.

Il substrato esteso a tutta l'area considerata, come già detto, è rappresentato dal Sistema di Costamezzana (CMZ) composto essenzialmente da Sabbie e Arenite stratificate con eventuale rara presenza di livelli pelitici, poco cementate.

3.3.2. Roncolo e loc. Tripoli

Le caratteristiche dell'area poco si discostano da quelle relative al capoluogo. Il margine collinare risulta a maggiore distanza e le incisioni dei corsi d'acqua minori risultano più marcate.

Per quanto concerne in particolare le coperture quaternarie, le unità affioranti sono costituite essenzialmente dall'Unità di Niviano (AES7a in carta) e dal più recente Subsistema di Ravenna (AES8) che domina la porzione più settentrionale del territorio. I primi rilievi collinari sono impostati sui sistemi

più antichi che appaiono deformati e sollevati a causa delle spinte tettoniche. Il substrato comune a tutta l'area, visibile in affioramento in corrispondenza dei colli, è il Sintema di Costamezzana.

Non risultano osservabili localmente fenomeni di instabilità significativi nemmeno ai danni delle coperture detritiche.

Dal punto di vista litologico l'Unità di Niviano (AES7a) è costituita localmente dai depositi continentali limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto sono presenti suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri. Gli orizzonti superficiali presentano colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Il contatto inferiore avviene in discontinuità su unità più antiche mentre il superiore coincide con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari ed è sepolto da AES8 nell'alta pianura. La potenza affiorante è minore di 10 m e talvolta non valutabile.

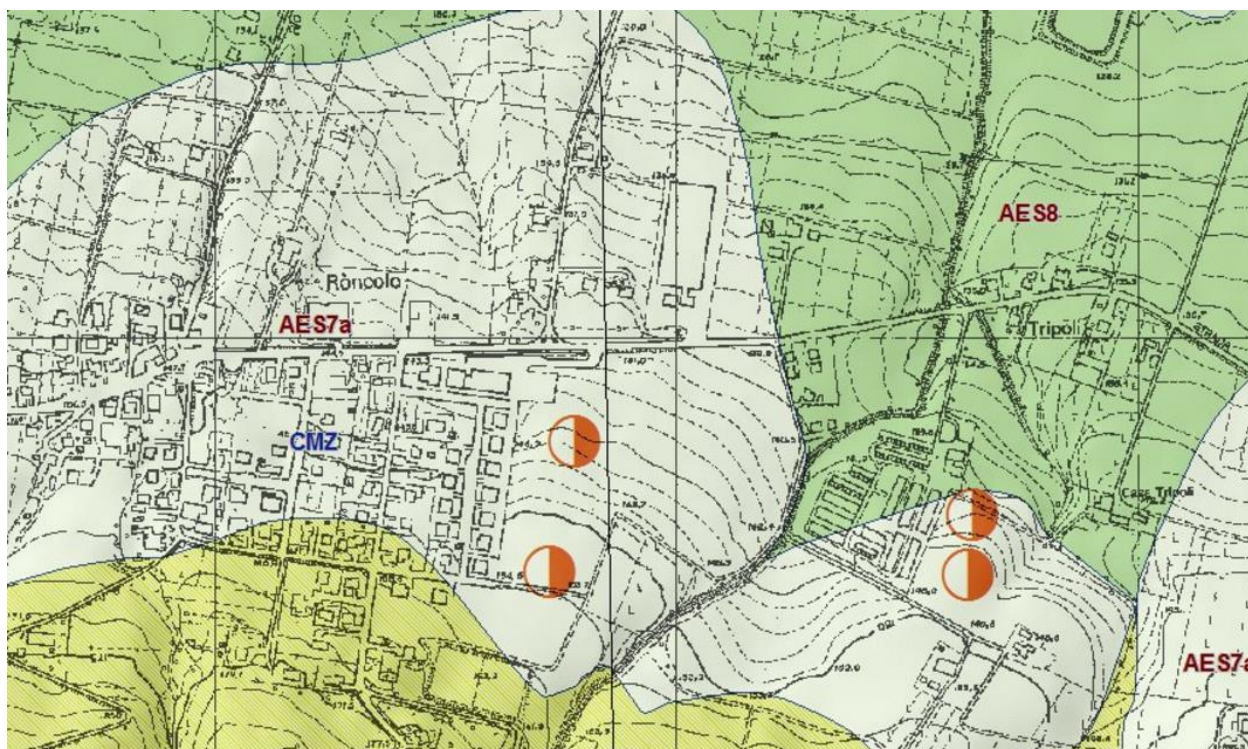


Fig. 15 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Roncolo e loc. Tripoli

Il Subsistema di Ravenna AES8 si differenzia per la presenza di limi sabbiosi e limi argillosi in prevalenza e di ghiaie in lenti entro limi, subordinate a ghiaie e ghiaie sabbiose nelle zone limitrofe ai torrenti e fiumi principali. Sono ricoperti da suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione. Sono presenti talvolta orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Lo spessore complessivo dell'unità può superare i 20 m.

Il substrato esteso a tutta l'area considerata, come già detto, è rappresentato dal Sintema di Costamezzana (CMZ) composto essenzialmente da Sabbie e Arenite stratificate con eventuale rara presenza di livelli pelitici, poco cementati.

3.3.3. Bergonzano

L'area di Bergonzano si sviluppa lungo una stretta linea di crinale ad andamento e-w- posta a quota 350 m s.l.m. nell'ambito di un esteso affioramento di unità attribuibili alla Successione Epiligure. I contatti tra le unità non appaiono mai netti e le estese coperture detritiche mascherano i caratteri tipici delle formazioni che risultano visibili solo in limitati affioramenti.

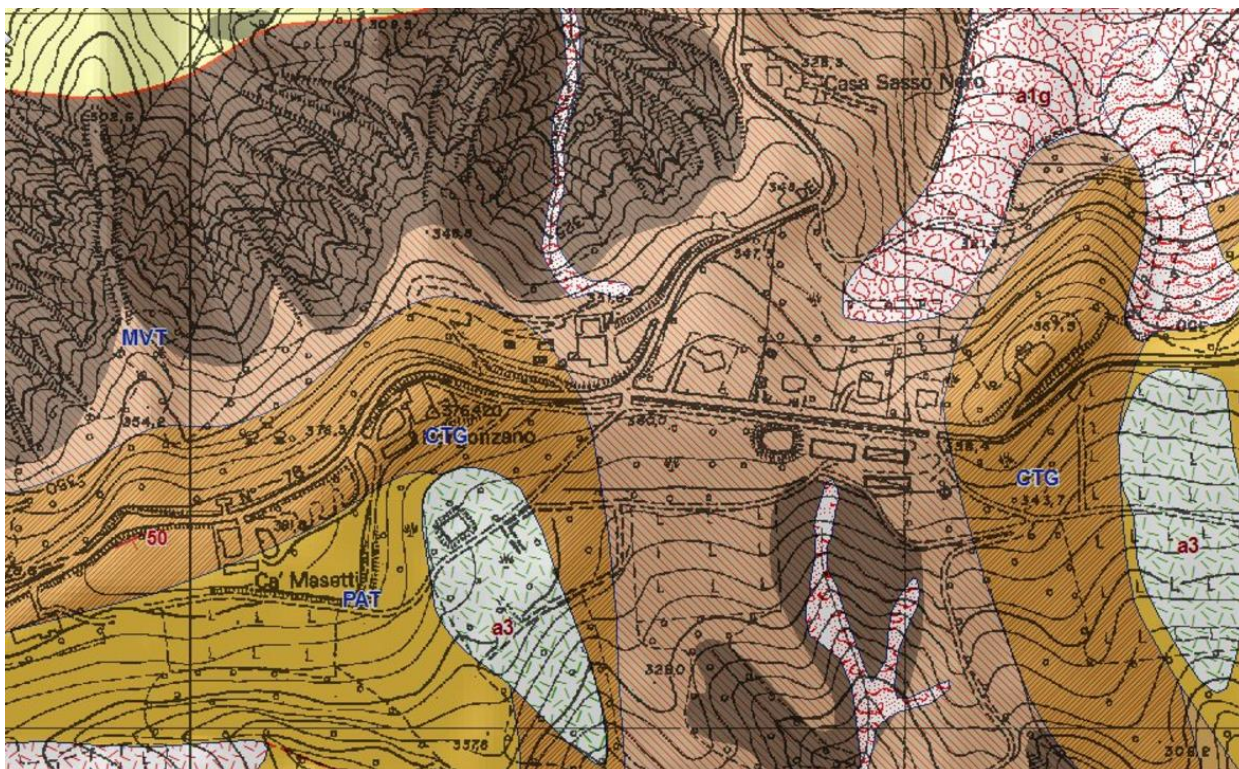


Fig. 16 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Bergonzano

La parte occidentale dell'abitato insiste direttamente sulla formazione di Contignaco (CTG in carta) caratterizzata da Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici. La zona orientale insiste invece sulla formazione delle Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa (MVT). Si tratta di argille a struttura primaria caotica (debris flow e mud flow) - con inclusi lapidei che determinano una tessitura clastica, dalla scala dell'affioramento (tipo blocchi in matrice fino alla scala microscopica, originata dalla messa in posto di colate sottomarine di fango e detrito. In funzione dell'energia del rilievo e dell'esposizione sono sede di sviluppo di forme erosive a calanchi, ben visibili sul versante esposto a nord verso la pianura. Localmente gli assi di drenaggio sono sede di colate detritiche

Dal punto di vista geomorfologico oltre alle citate forme di erosione nell'area è riconoscibile un esteso corpo di frana complessa attiva che si sviluppa a quota più basse dell'abitato di Bergonzano sul versante nord. Attualmente la parte alta del dissesto si manifesta come colata e si mantiene a sufficiente distanza del limite dell'abitato senza minacciare la stabilità della zona di crinale.

3.3.4. Case Valle

L'abitato di Case Valle occupa un'ampia fascia di altopiano di larghezza di poco superiore ai 200 metri allungata in senso sw – ne delimitata sui fianchi da pendii anche piuttosto ripidi, localmente sede di forme erosive a calchi. L'unità geologica è la Formazione Epiligure di Pantano composta da materiale lapideo stratificato ad elevato grado di alterazione.

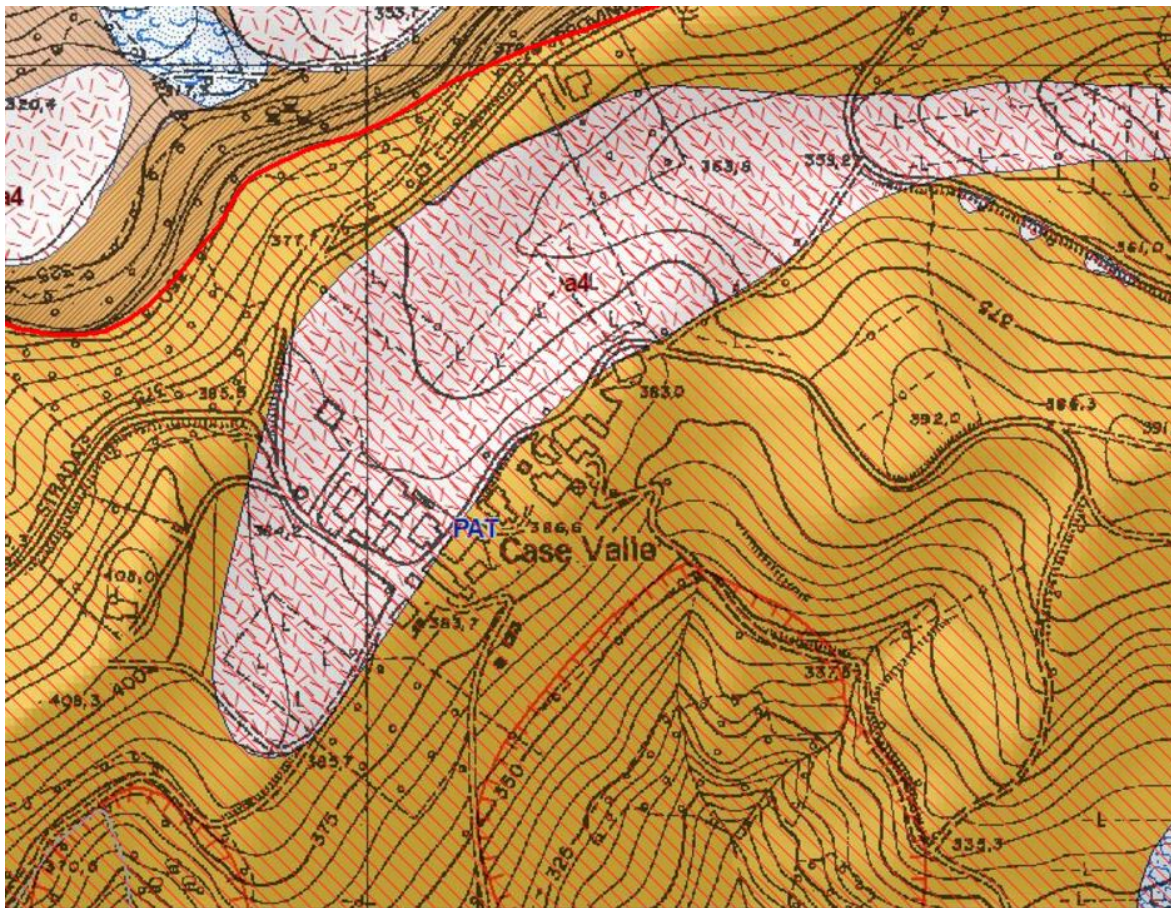


Fig. 17 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Case Valle

La carta geologica al 10.00 classifica tale zona come Deposito eluvio-colluviale, nonostante non siano presenti le condizioni per una genesi gravitativa del deposito stesso. L'elevata degradabilità della formazione è probabilmente all'origine dell'elevato spessore del detrito che non appare in ogni caso mobilizzato rispetto alla zona di origine.

3.3.5. Salvarano

L'area di Salvarano occupa l'area di fondovalle del torrente Modolena in un tratto dove la sua ampiezza passa rapidamente da 20 – 30 metri ad oltre 200. Gli edifici risultano concentrati alla base del versante settentrionale ad una quota abbondantemente superiore al corso d'acqua mentre gli impianti sportivi e gli edifici produttivi occupano la parte più prossima al corso d'acqua.

L'unità alluvionale è attribuibile al Subsistema di Ravenna (AES8) ed è costituita in prevalenza da limi sabbiosi e limi argillosi e ghiaie in lenti entro limi. L'unità è ricoperta da suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Lo spessore localmente non supera i 20 m.

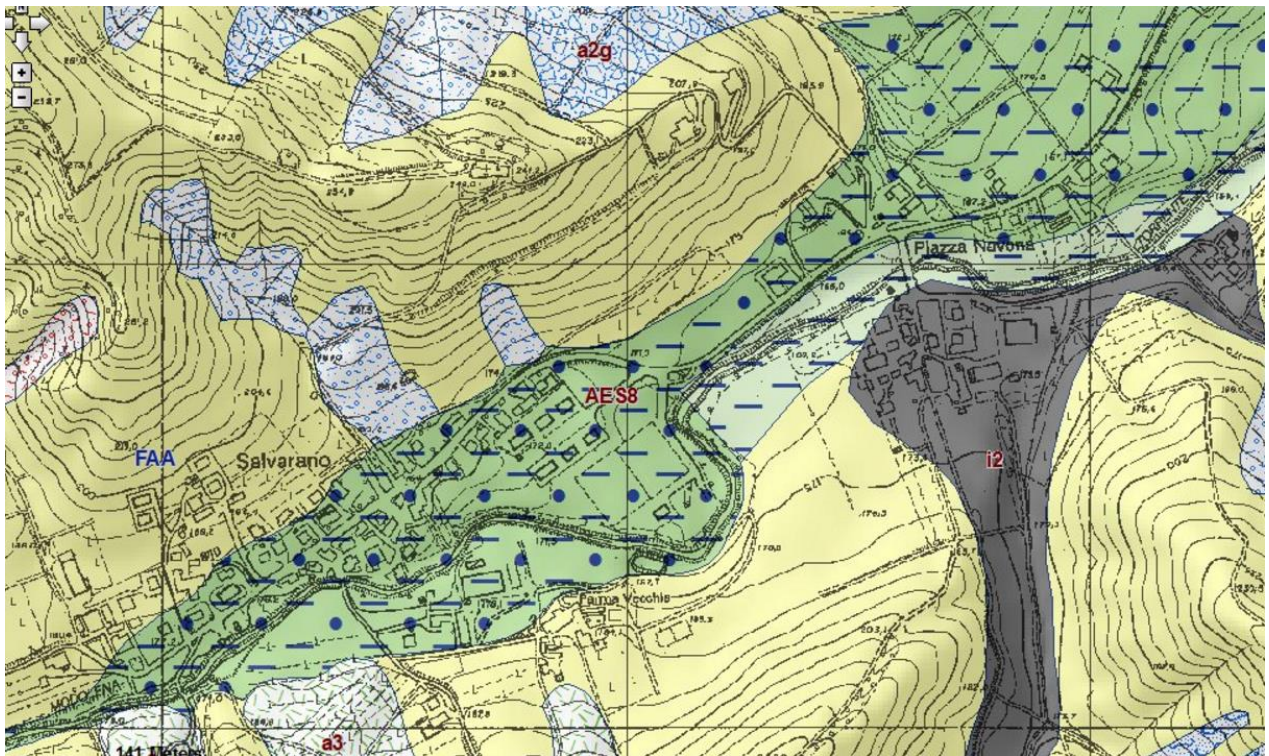


Fig. 18 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Salvarano

L'unità geologica che costituisce sia il substrato che i versanti che degradano con elevata pendenza sul fondovalle sono le Argille Azzurre (FAA) del Dominio Padano-Adriatico contenenti argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici.

I versanti che degradano verso sud sono caratterizzati dalla presenza di due corpi di frana di scivolamento classificati come quiescenti anche se le loro caratteristiche morfologiche attuali evidenziano una profonda rielaborazione da parte degli agenti esogeni e non risultano interferire con l'abitato.

In corrispondenza della località Piazza Navona è inoltre individuabile una forma relitta di conoide torrentizia (classificata inattiva dalla carta al 10.000) a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di una vallecchia trasversale presente sul versante sud. Il corso d'acqua in esame attraversa un'area di affioramento delle Formazione delle argille azzurre e pertanto il deposito alluvionale è dominato dalle granulometrie fini e finissime.

In corrispondenza del campo sportivo sono visibili sulla superficie tracce dell'evoluzione del meandro che ha progressivamente spostato l'alveo verso la destra idrografica fino a raggiungere la base del versante.

3.3.6. Montecavolo

L'abitato di Montecavolo è situato allo sbocco in pianura del torrente Modolena. La parte più meridionale della frazione risulta ancora inserita nella fascia di fondovalle ed è cinta dai versanti che degradano con debole pendenza verso il torrente. L'unità affiorante è costituita dalle Argille azzurre in litofacies pelitico sabbiosa (FAAps in carta) presto ricoperta dai depositi quaternari dei sistemi emiliano inferiore e superiore che caratterizzano la propaggine più settentrionale dei rilievi collinari. La fascia di territorio pianeggiante che si sviluppa lungo la strada provinciale 23 insiste su depositi del Subsistema di Ravenna (AES8) ed è costituita in prevalenza da limi sabbiosi e limi argillosi e ghiaie in lenti entro limi. L'unità è ricoperta da suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Lo spessore localmente non

supera i 20 m. Verso ovest, allontanandosi dal Modolena ed acquisendo quote leggermente superiori si osserva il passaggio all' Unità di Niviano (AES7a), costituita localmente da depositi continentali limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto sono presenti suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno; lo spessore risulta di norma inferiore ai 10 metri. Ancora più esternamente, a quote maggiori si osservano le unità quaternarie più antiche costituite in prevalenza dai depositi del Sintema Emiliano Superiore (AES in carta), unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità su AEI.

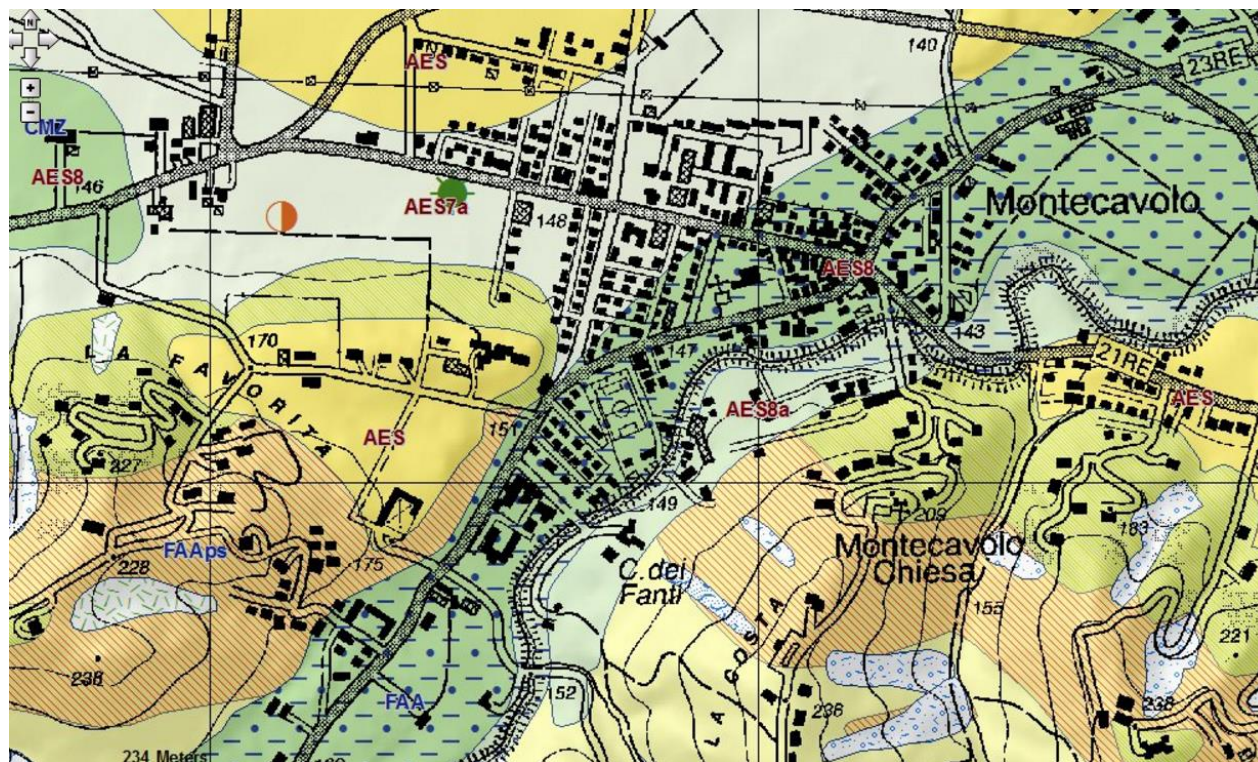


Fig. 19 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Montecavolo

Anche l'insediamento produttivo presente fino al confine del territorio comunale lungo la SP23 pur appartenendo completamente all'alta pianura manifesta caratteristiche sostanzialmente analoghe a quelle della località Montecavolo. Delimitata, infatti, dall'alveo del Modolena a est, essa insiste sui depositi del Subsistema di Ravenna (AES8) ed è costituita in prevalenza da limi sabbiosi e limi argillosi e ghiaie in lenti entro limi. Lo spessore in questo caso risulta probabilmente superiore, a causa del progressivo approfondimento della formazione del substrato, costituito dal Sintema di Costamezzana. Ai lati della fascia di affioramento dei depositi dell'unità AES8, in corrispondenza dei dossi presenti sia ad est che a ovest della piana sono riconoscibili i depositi del Sintema Emiliano Superiore (AES in carta), unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità su AEI.

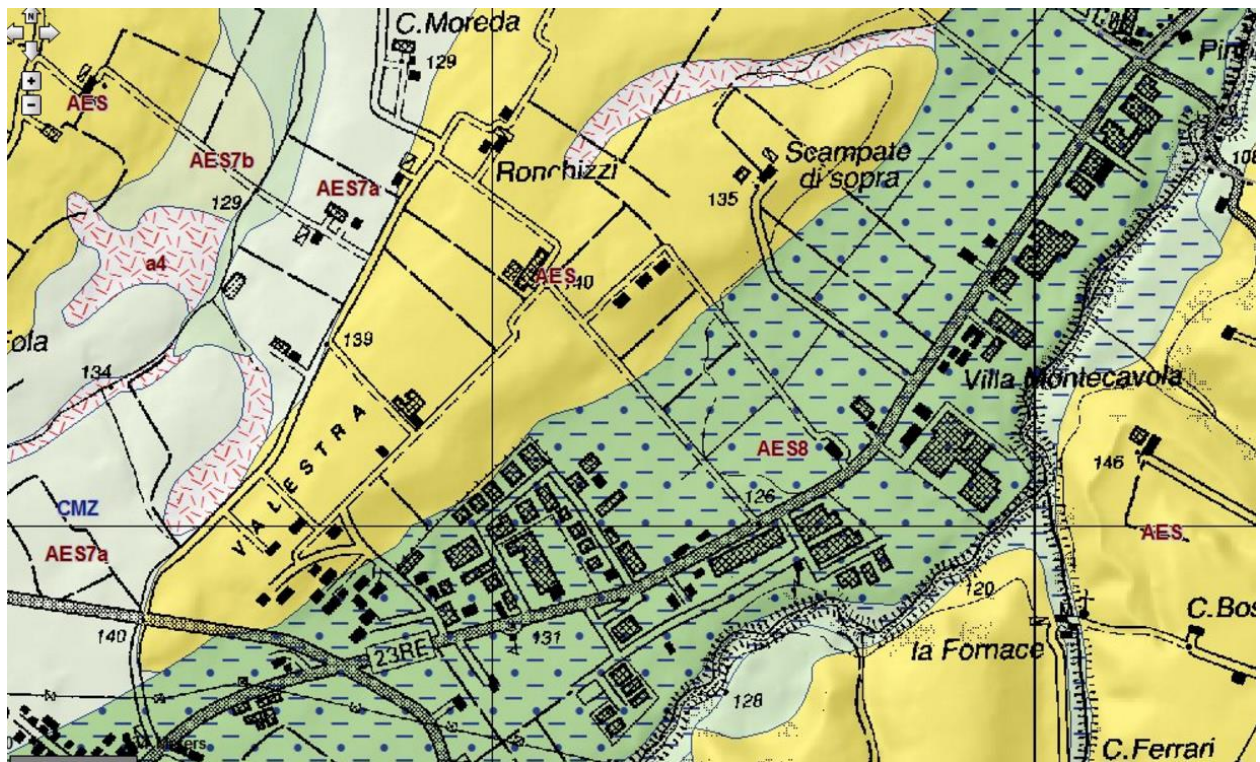


Fig. 20 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza dell'area produttiva di Montecavolo

3.3.7. Puianello

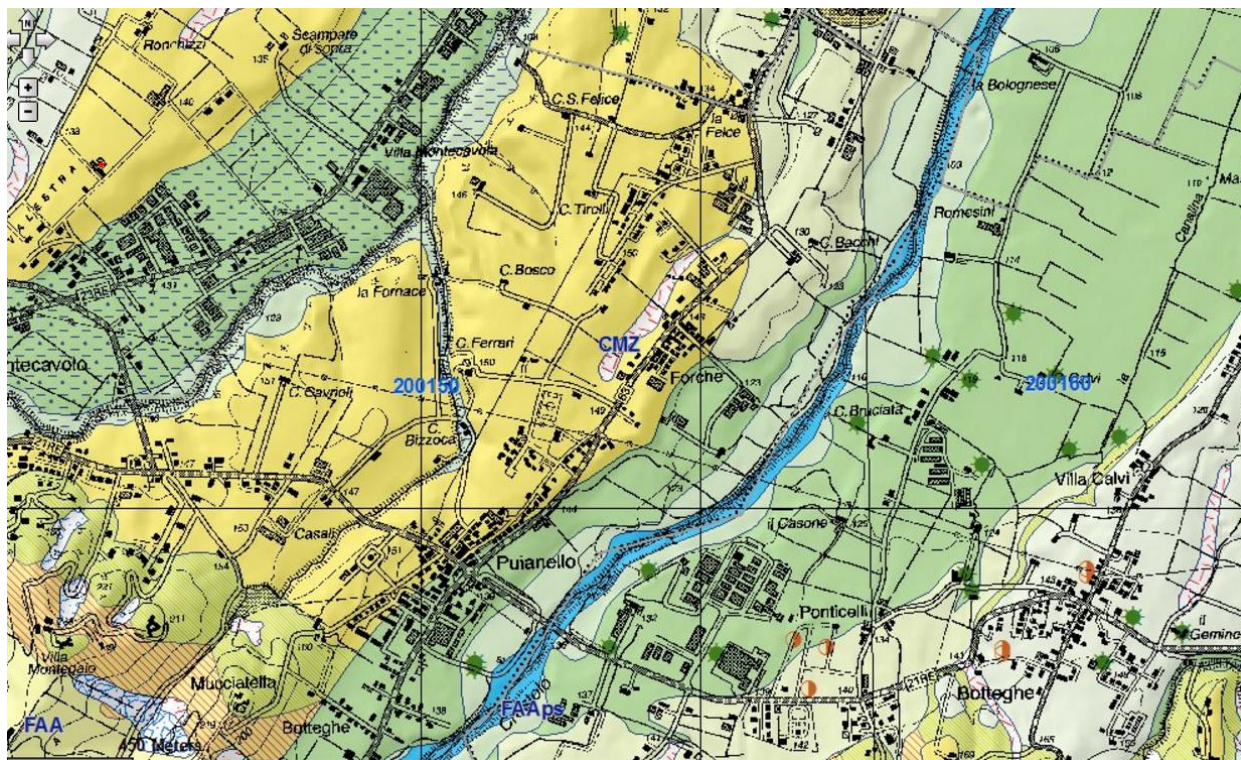


Fig. 21 Stralcio della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna in corrispondenza di Puianello

L'abitato di Puianello domina la sponda sinistra del Torrente Crostolo sviluppandosi lungo la SS63. Tra la località Botteghe e il ponte l'unità affiorante è costituita dal Subsistema di Ravenna (AES8) ed è costituita in prevalenza da limi sabbiosi e limi argillosi e ghiaie in lenti entro limi. Verso l'alveo del Torrente è osservabile una transizione abbastanza netta verso l'unità quaternaria più recente, costituita dall'Unità di Modena (AES8a). Questa unità è costituita da depositi ghiaiosi e fini con presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Questa corrisponde al primo ordine dei terrazzi e ha una potenza massima di alcuni metri (< 10 m). Verso nord, a quote leggermente superiori, si osserva il passaggio all'unità quaternaria più antica cioè ai depositi del Sintema Emiliano Superiore (AES in carta), unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità su AEI. Il substrato si differenzia piuttosto nettamente. Nella zona sud, in corrispondenza della località Botteghe il substrato è costituito dall'unità delle argille azzurre, mentre più a nord dal Sintema di Costamezzana e pertanto da sabbie poco cementate.

I contatti tra le diverse unità individuate sono stratigrafici e non sono individuate forme gravitative di dissesto.

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 catalogate e analizzate per il comune in esame 96 prove di interesse così suddivise in base alla tipologia:

- n. 1 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 62 prove penetrometriche statiche
- n. 2 stendimenti geofisici tipo MASW
- n. 7 profili sismici a rifrazione
- n. 2 Prove REMI
- n. 1 tomografia elettrica
- n.1 prova sismica in foro tipo Downhole
- n. 20 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. 53 misure con microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 25 stendimenti geofisici MASW

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. 22 sono rappresentati esempi di curve ottenute da diverse analisi di rumore ambientale che hanno individuato dei contrasti di impedenza a diverse profondità.

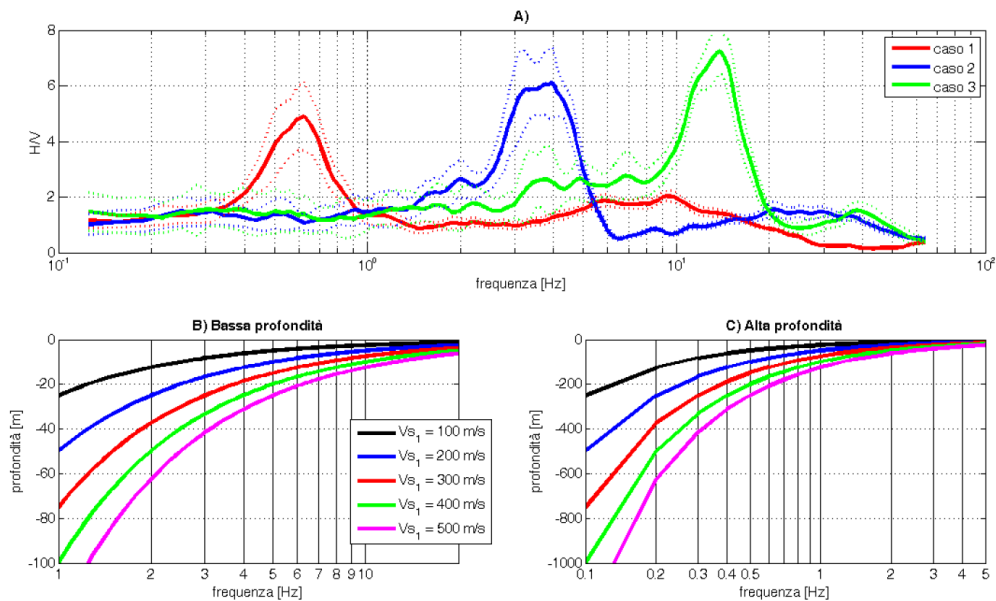


Fig. 22 A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione $V-F_0-H$ alle medio-alte frequenze; C) relazione $V-F_0-H$ alle medio-basse frequenze (fonte: D. Albarello e S.Castellaro, 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÷20 Hz, il campionamento deve durare 15÷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 risonanze 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. 23.

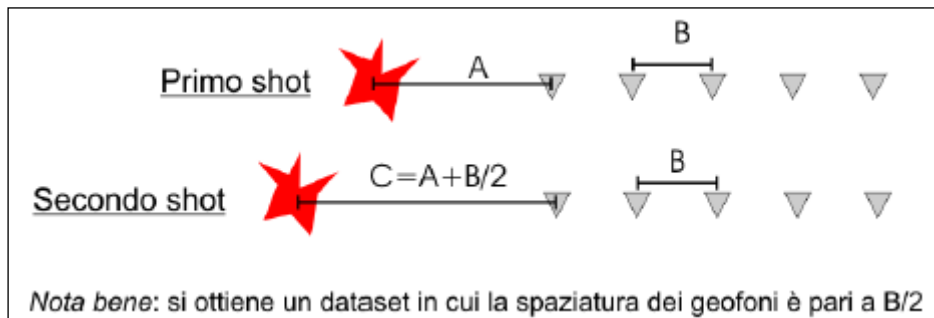


Fig. 23 Metodo per la somma di un dataset

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.

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.

Quattro Castella

Il capoluogo di Quattro Castella è situato sul raccordo morfologico tra la collina e l'alta pianura, dove i terreni alluvionali assumono spessori elevati e sono ricoperti da un paleosuolo giallo-ocra. La morfologia complessiva si caratterizza per la presenza di incisioni fluviali isolate da dossi residuali.

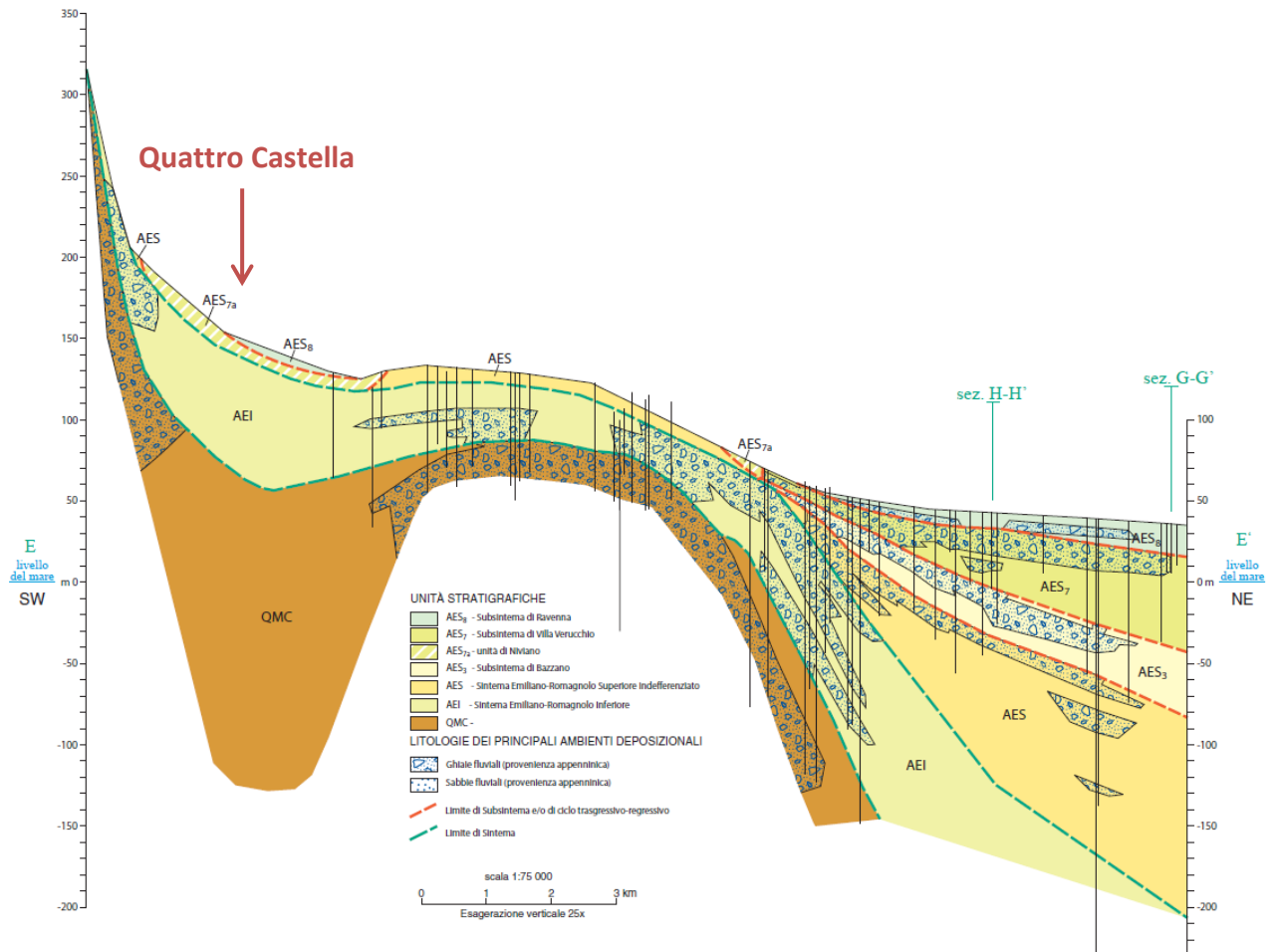


Fig. 24 Sezione geologica nei pressi di Quattro Castella (fonte: Progetto CARG)

La Fig. 24 fornisce una sintesi delle osservazioni effettuate sulla base dei dati rilevati ed in particolare evidenzia come a partire dal margine collinare, verso la pianura, si osservi dapprima un approfondimento e poi un assottigliamento dello spessore complessivo del corpo sedimentario quaternario.

Gli stendimenti geofisici, in un'area del centro abitato hanno registrato aumenti della V_s fino a 600 m/s (prova con codice 035030L4) intorno ai 20 m ($V_s \cong 279$ m/s); le indagini HVSR effettuate nelle vicinanze dello stendimento evidenziano un'amplificazione del segnale sismico alla frequenza di 3,41 Hz a dimostrare un riflettore sismico la cui profondità è stimata a circa 20 metri. Infatti, considerando la relazione:

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

conferma quanto è stato determinato dalle prove geofisiche in sito. Il riflettore a 600 m/s costituisce un pseudobedrock in quanto non è individuabile un riflettore più profondo caratterizzato da velocità maggiori.

Roncolo e loc. Tripoli

Si trovano subito a est dell'abitato di Quattro Castella e presentano spessori delle coperture alluvionali, comprendenti i corpi ghiaiosi, compresi tra 25 e 30 metri.

Questi spessori sono confermati dalle prove HVSR le quali hanno registrato contrasti di impedenza moderati a frequenze comprese tra 1,8 e 3 Hz.

Gli stendimenti geofisici hanno registrato aumenti delle Vs a circa 600 m/s confermando la presenza di un bedrock non rigido.

A sud dell'area in esame è presente inoltre l'affioramento di bedrock fortemente alterato e riconducibile al Sintema di Costamezzana.

Bergonzano – Case Valle

Gli abitati in esame si trovano in un contesto collinare di cresta morfologica; il substrato alterato è affiorante e le registrazioni HVSR effettuate non mostrano evidenti contrasti di impedenza

Lo spessore della coltre di alterazione rimane comunque rilevante, in quanto, considerando la prova 035030L20 effettuata a Case Valle, si può notare un aumento delle Vs fino a 700 m/s ad una profondità di circa 15 m testimoniando la presenza del bedrock meno alterato.

Salvarano

Le indagini tomografiche HVSR effettuate in quest'area non hanno evidenziato picchi di ampiezza significativi, mentre gli stendimenti geofisici hanno permesso di determinare uno spessore di deposito (riconducibile in gran parte al bedrock alterato) in grado di amplificare il moto sismico, di 15 metri. La Vs15 è uguale a 209 m/s.

In località Piazza Navona invece le prove individuano un aumento di velocità a profondità superiori (circa 25 m) e velocità di tali depositi fino a 300 m/s.

Montecavolo

Le numerose prove effettuate hanno permesso di costruire un modello dettagliato del sottosuolo.

Allo sbocco del Torrente Modolena con la pianura, la coltre alluvionale, comprendente i corpi ghiaiosi, raggiunge spessori di oltre 30 metri. Ciò è testimoniato da un'indagine pregressa down-hole che non riscontra aumenti delle Vs lungo questa profondità.

Spostandosi verso valle gli spessori dei depositi recenti tende a diminuire fino a 15 m. Questa diminuzione è confermata anche dalle registrazioni HVSR che individuano blandi contrasti di impedenza a frequenze di circa 5 Hz.

Le porzioni sud-ovest e sud-est si trovano in un contesto più collinare in cui affiora il Sintema di Costamezzana e la Formazione delle Argille Azzurre. Il bedrock è comunque non rigido e alterato in analogia con le aree precedentemente descritte.

Puianello

L'area si estende per circa tre chilometri in direzione sud-ovest - nord-est parallelamente al Torrente Crostolo. I depositi alluvionali presenti sono prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie già a pochi metri dal piano campagna. Questi depositi grossolani influenzano le registrazioni HVSR effettuate che non individuano forti contrasti di impedenza.

Lo spessore di questi depositi è stato valutato attraverso i numerosi stendimenti MASW effettuati in questa area. Le prove infatti registrano aumenti delle Vs a circa 20 metri di profondità per la porzioni sud mentre a 15 m lungo tutta la parte nord dell'area in esame. Solo in un caso specifico la Vs raggiunge circa i 1000 m/s (prova 035030L26) mentre in tutti gli altri punti risulta inferiore agli 800 m/s, confermando la presenza di un bedrock non rigido (Sintema di Costamezzana - CMZ).

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 il tetto del substrato non rigido o 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)

In questo studio di microzonazione sismica sono state effettuate analisi numeriche della Risposta Sismica Locale con un codice di calcolo in grado di simulare 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.

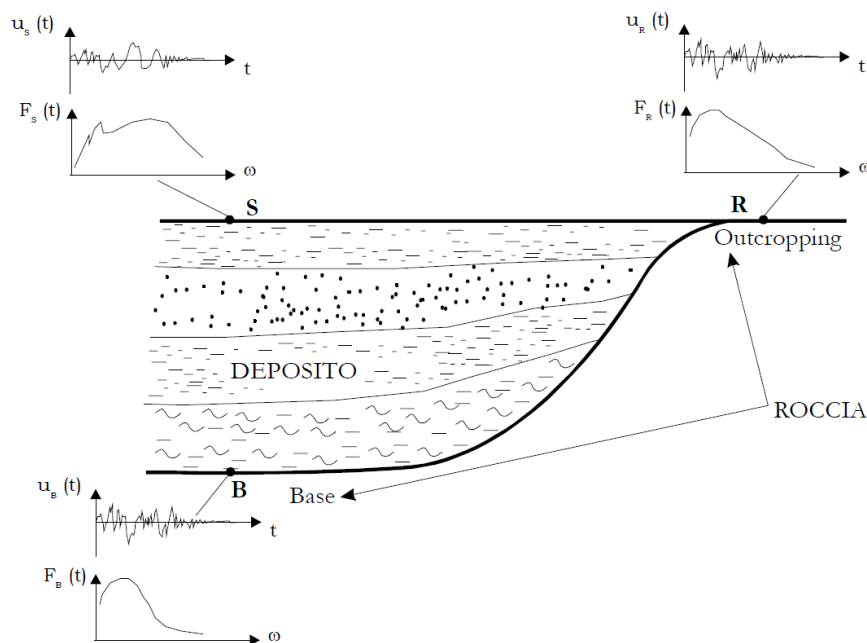


Fig. 25 Rappresentazione tipo per la determinazione della risposta sismica locale (fonte: J. Facciorusso)

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. 26).

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.

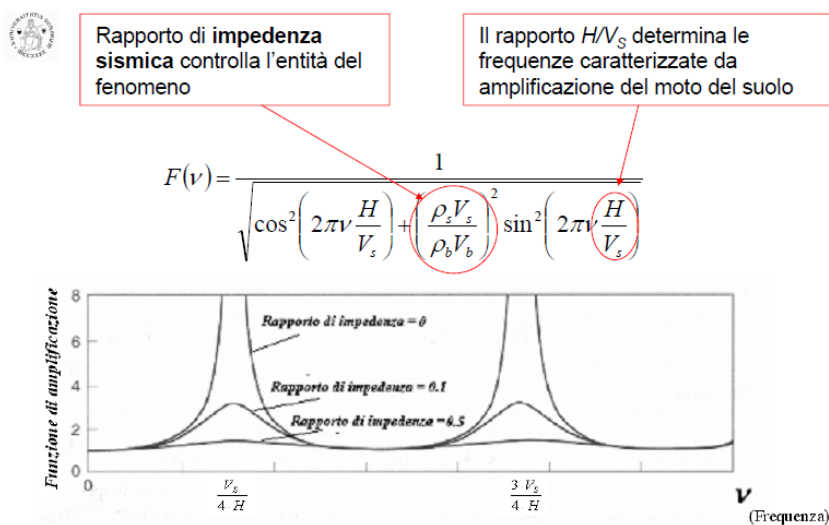


Fig. 26 Rappresentazione della funzione di amplificazione in cui compaiono i parametri chiave del rapporto di impedenza sismica e il rapporto dello spessore e la velocità delle onde di taglio (fonte: D. Albarello, 2013)

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. 27):

- 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.

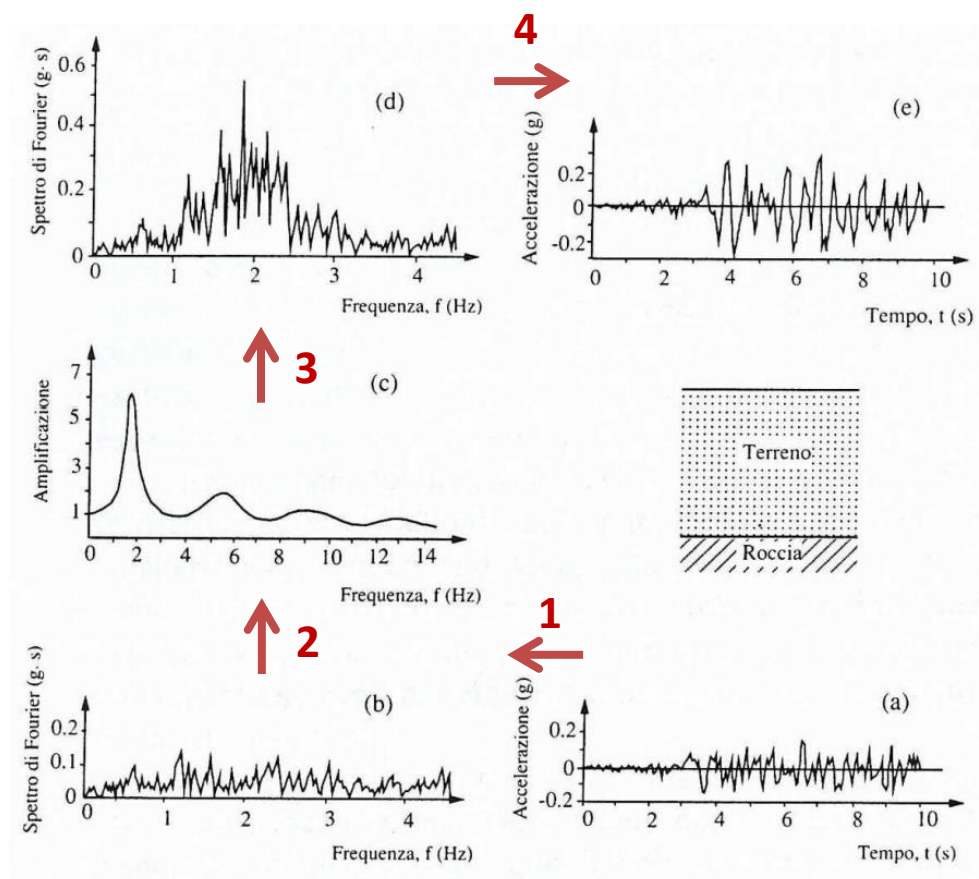


Fig. 27 Schema riassuntivo delle fasi di calcolo usate dal codice di calcolo EERA

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' i -esima 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.

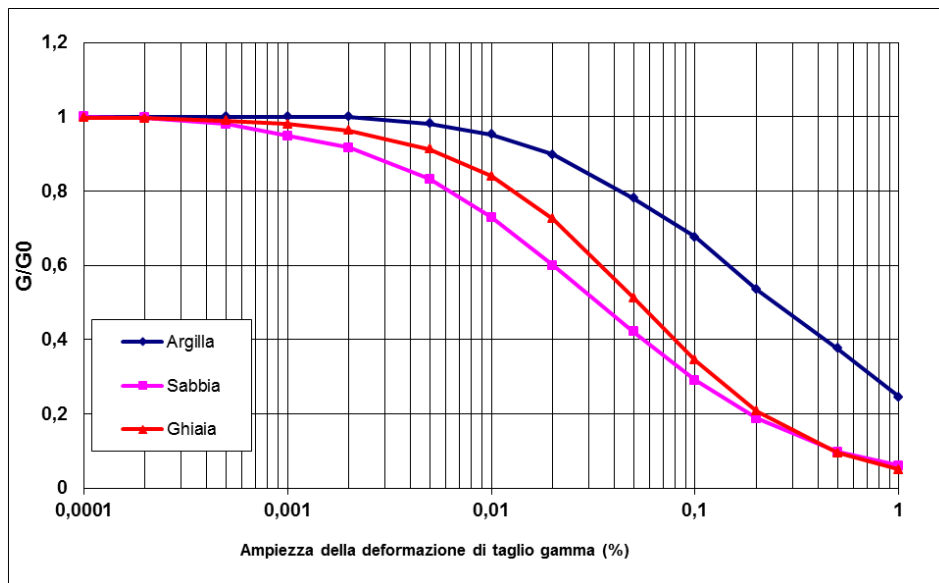


Fig. 28 Curve di decadimento normalizzate del rapporto dei moduli di taglio con γ per determinati terreni

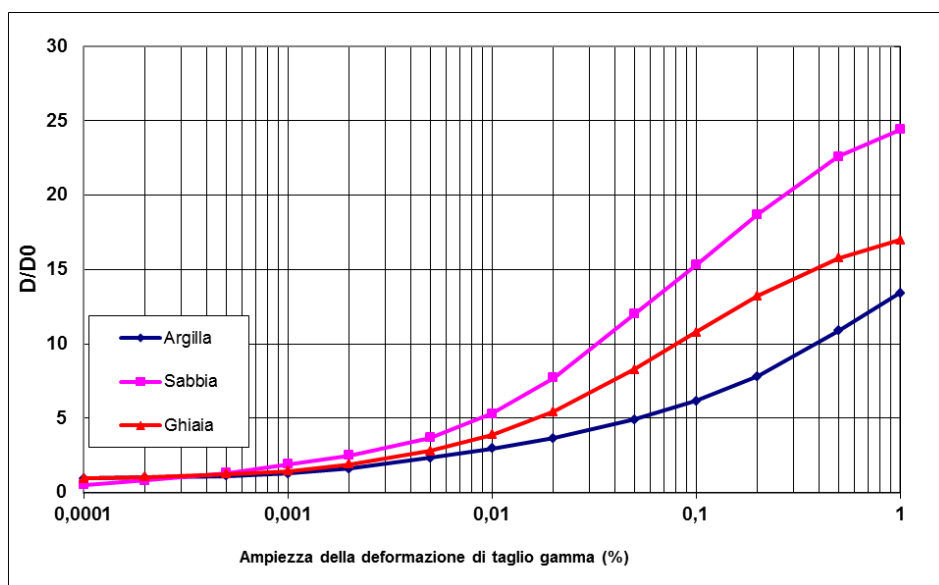


Fig. 29 Curve del rapporto di smorzamento con γ per determinati terreni

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.

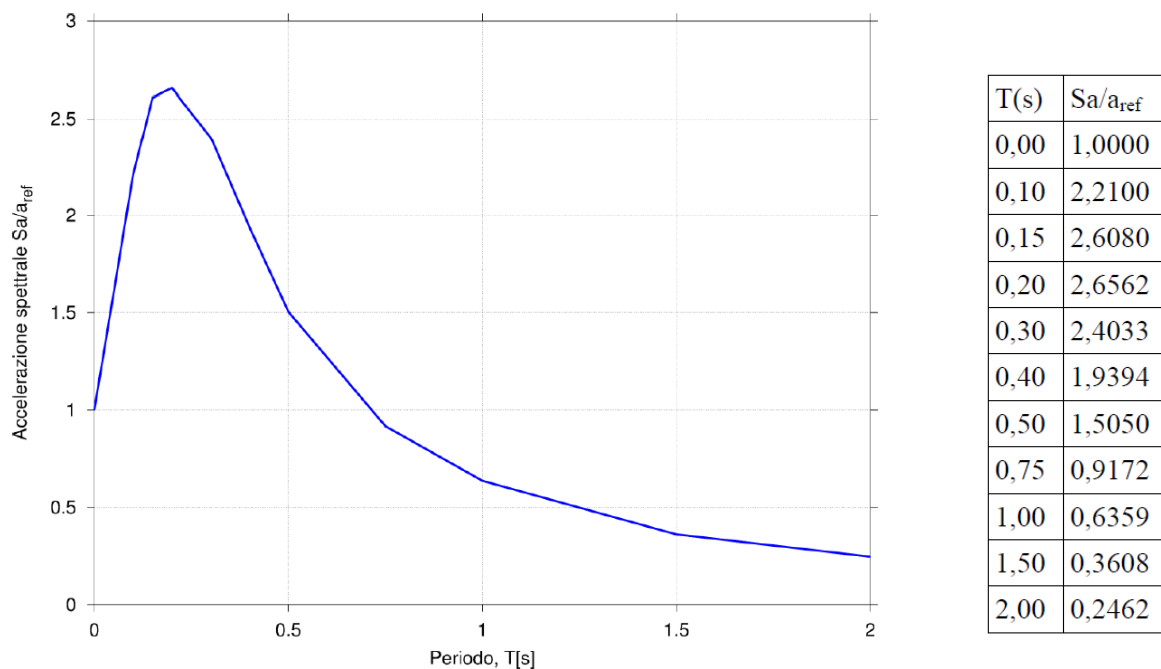


Fig. 30 Spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna con i relativi valori in tabella (fonte: DGR n.2193/2015)

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 moltiplicano i valori proposti dalla Regione nella tabella in Fig. 30 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:

- $a_{refg} = 0,1577$ Quattro Castella
- $a_{refg} = 0,1587$ Montecavolo

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.

Possono essere così individuati 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 F_{PGA} e rapporto di Intensità di Housner per prefissati intervalli di periodi:

$$F_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$

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

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: $0,5s \leq T \leq 1,5s$

Per ciascuna area di indagine sono state effettuate simulazioni con riferimento alle singole microzone individuate. Sono stati poi selezionati, ai fini della redazione delle carte di microzonazione, i parametri di amplificazione più cautelativi (valori più elevati).

Di seguito si riassumono i risultati ottenuti dalle elaborazioni numeriche monodimensionali.

7.1.1. Quattro Castella

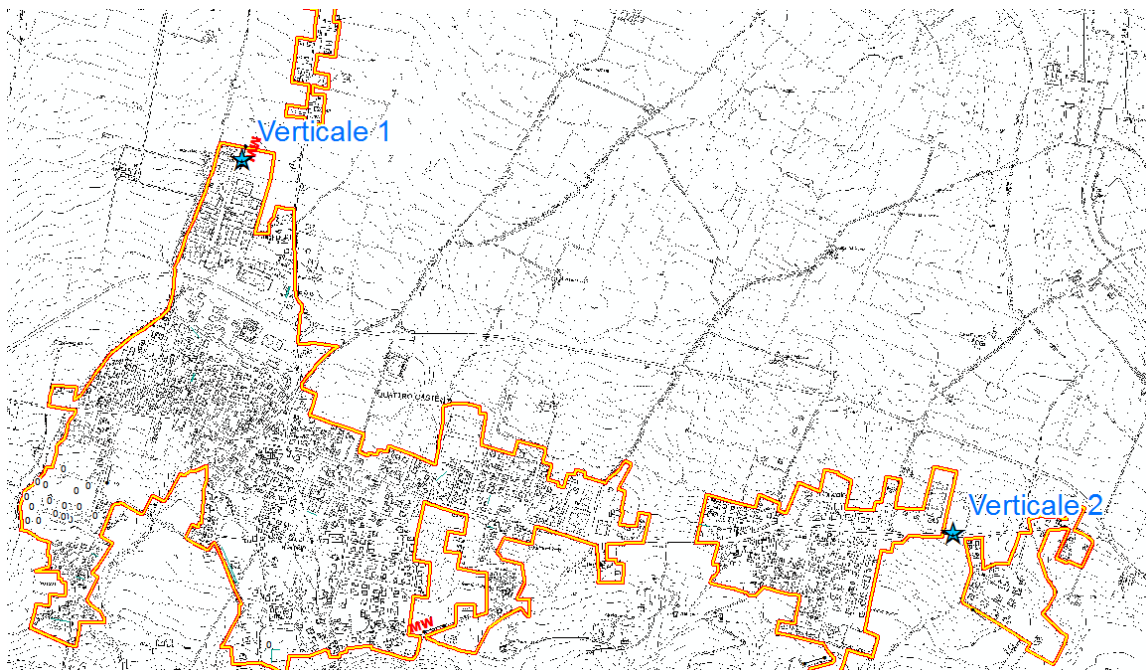


Fig. 31 Ubicazione delle verticali di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

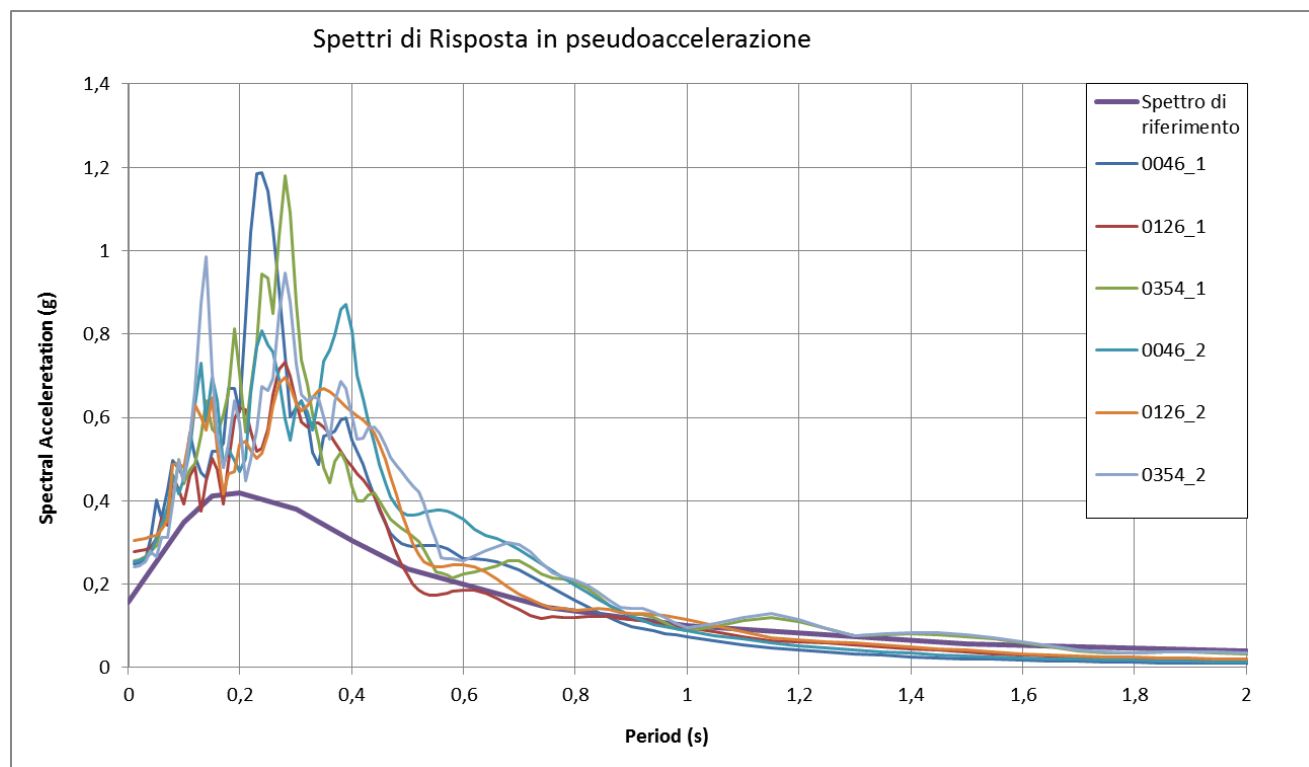
Le tabelle seguenti sono state ricavate da indagini MASW e rappresentano la stratigrafia sismica/geologica delle verticali in analisi.

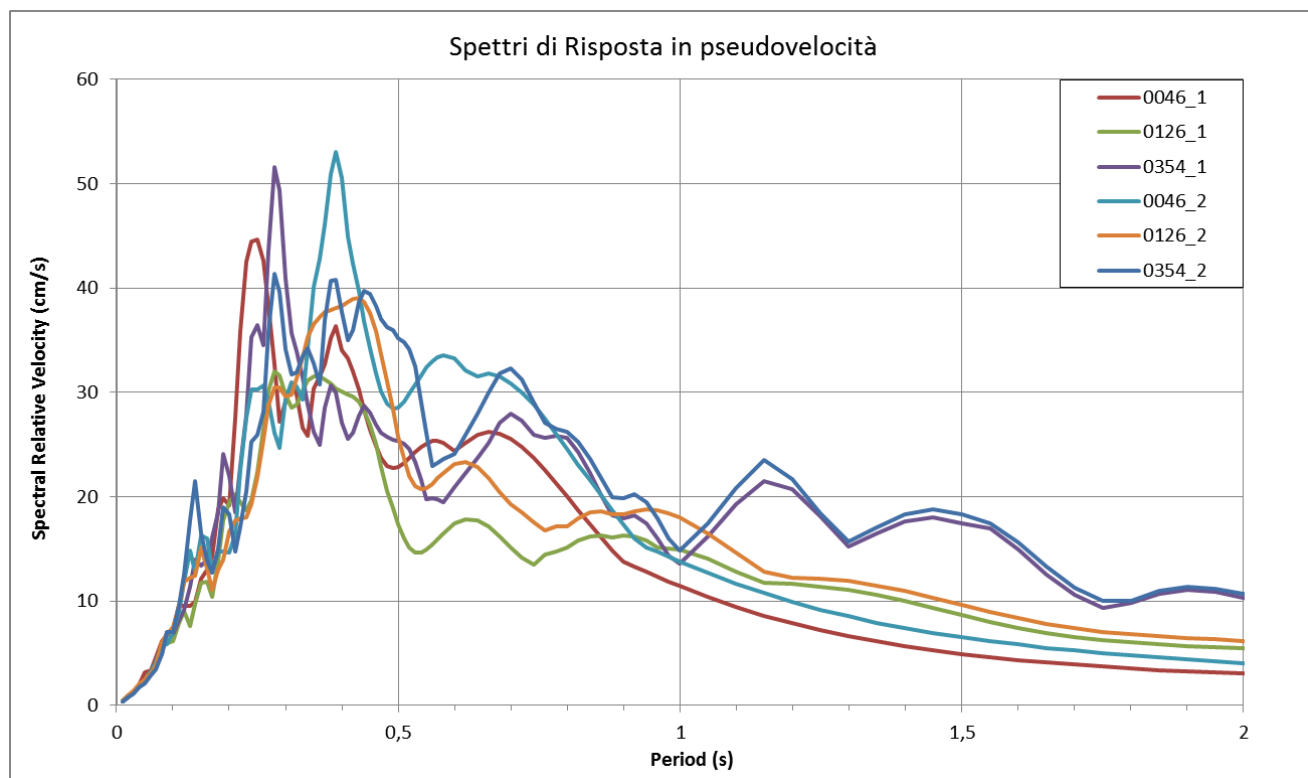
Tab. 3 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 1 (0046_1, 0126_1, 0354_1)

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	1	1	0,7	64,85		18,00	188			0,4	6,66
	2	1	2,1	48,75		18,00	163			1,8	32,22
	3	1	1,2	91,20		19,00	217			3,4	62,52
	4	1	1,6	75,61		18,00	203			4,8	88,32
	5	1	1,6	54,28		18,00	172			6,4	117,12
	6	1	1,4	71,93		18,00	198			7,9	144,12
	7	1	2,1	84,60		19,00	209			9,7	176,67
	8	1	1,1	86,23		19,00	211			11,3	207,07
	9	1	2,1	226,07		20,00	333			12,9	238,52
Bedrock	10	0		509,68	1	20,00	500	Outcrop		13,9	259,52

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	58,14		18,00	178			0,5	8,73
	2	1	3,4	72,66		18,00	199			2,7	48,06
	3	1	2,1	92,89		19,00	219			5,4	98,61
	4	1	2,0	92,04		19,00	218			7,5	137,56
	5	1	1,7	103,35		19,00	231			9,3	172,71
	6	1	3,2	86,23		19,00	211			11,8	219,26
	7	1	3,3	167,41		19,00	294			15,0	281,01
	8	1	1,6	82,99		19,00	207			17,5	327,56
	9	1	4,2	207,46		20,00	319			20,4	384,76
Bedrock	10	0		778,37	1	21,00	603	Outcrop		22,5	426,76





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_1	2001	0,1577	0,249	1,58	1,8	1,3	1,2
0126_1	2001	0,1577	0,278	1,76 (2,2)	1,7 (2,6)	1,2 (1,9)	1,2
0354_1	2001	0,1577	0,256	1,63	1,8	1,2	1,1
0046_2	2004	0,1577	0,253	1,61	2	1,6	1,6
0126_2	2004	0,1577	0,305	1,94 (2,1)	1,9 (2,5)	1,5 (2,5)	1,4
0354_2	2004	0,1577	0,241	1,53	1,9	1,4	1,2

Fig. 32 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 1,76 e dell'intensità spettrale (FA SI) di 1,8 mentre per la Verticale2 di 1,94 e 1,9 rispettivamente per FAPGA e FASI.

7.1.2. Salvarano

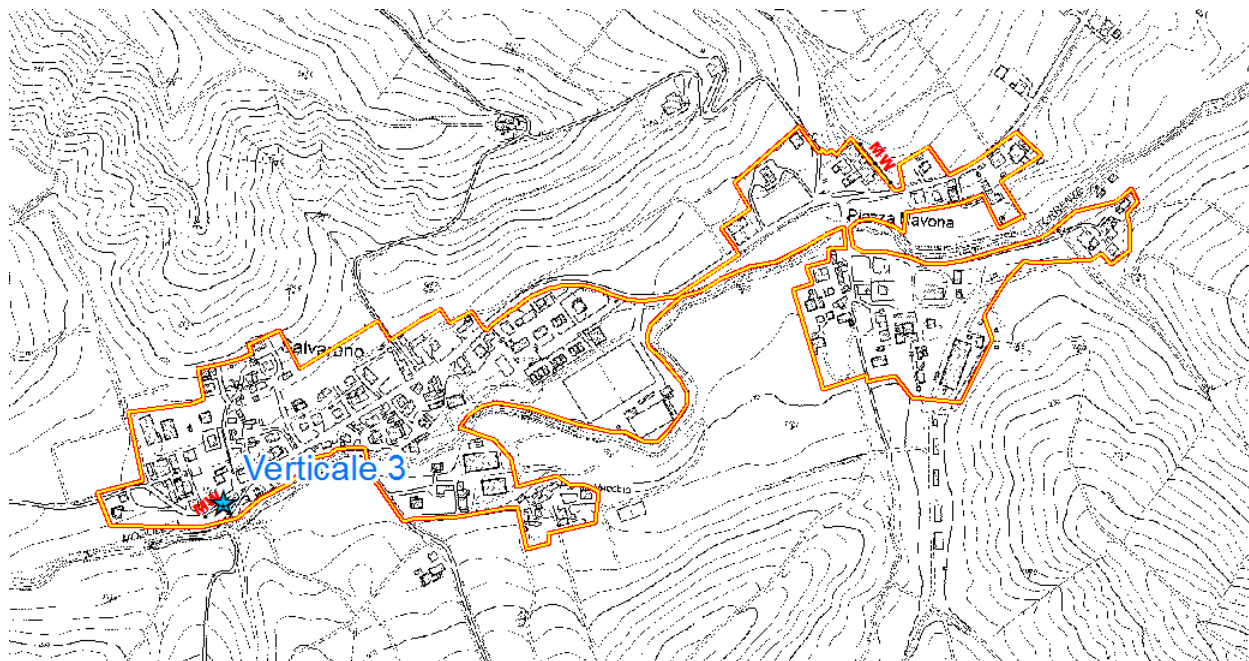
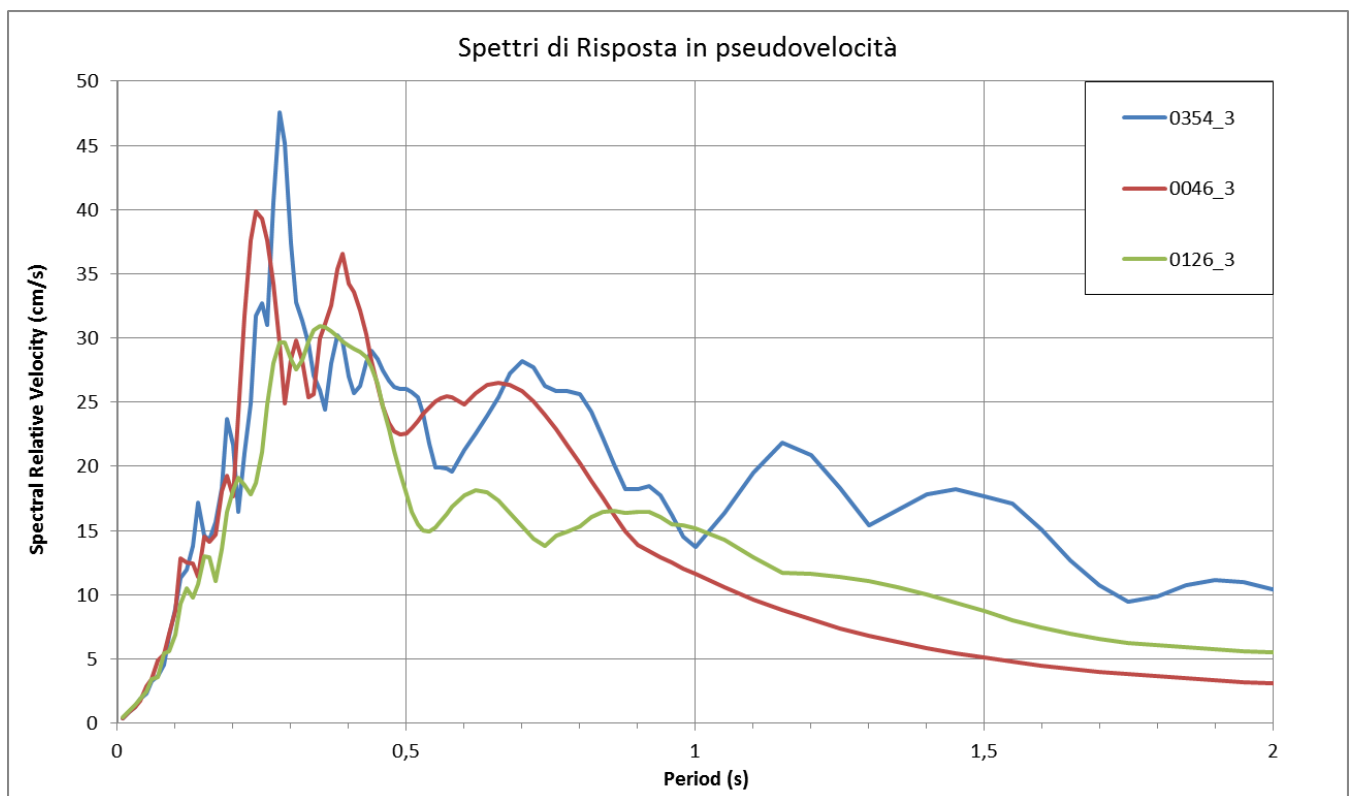
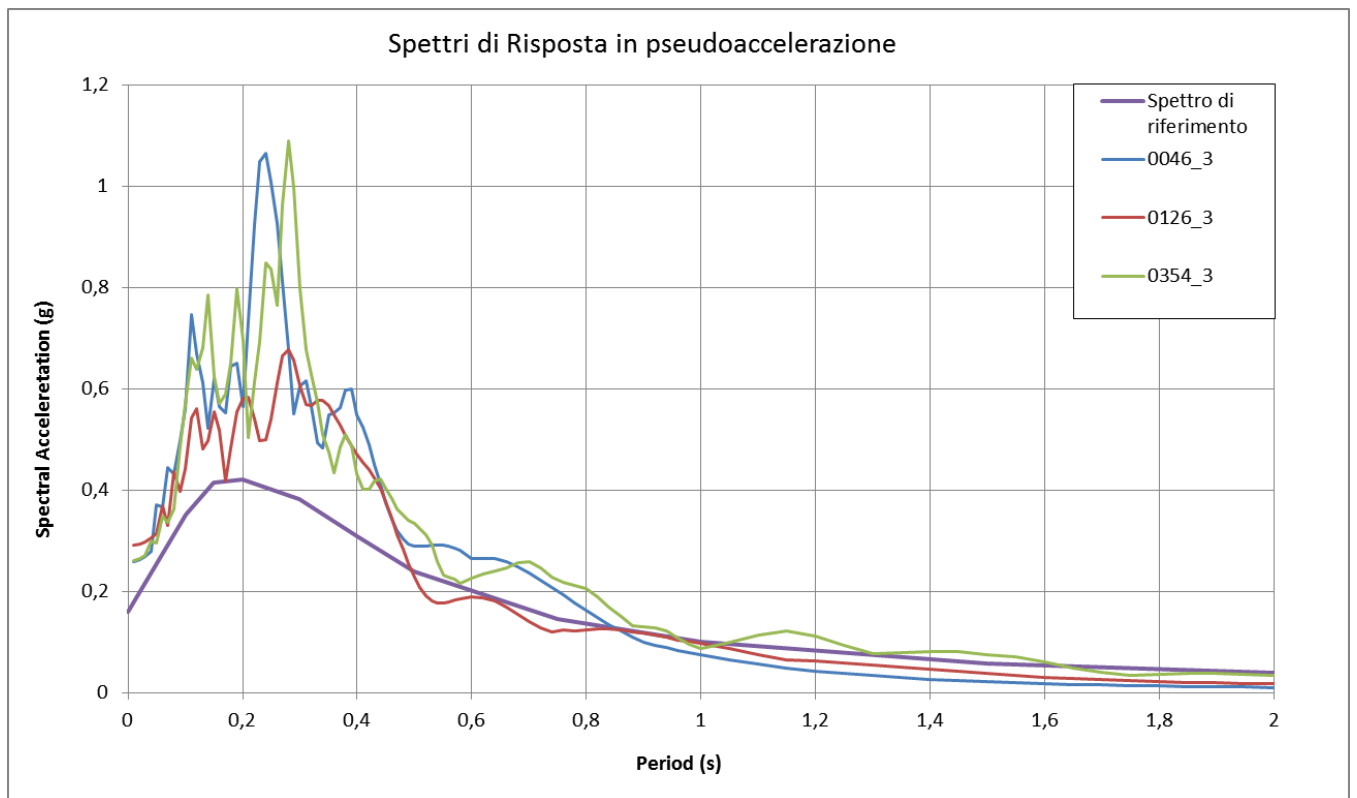


Fig. 33 Ubicazione della verticale di indagine in cui sono stati effettuate le analisi di risposta sismica locale

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		1,5	53,65		18,00	171			0,8	13,50
	2	1		1,9	40,74		18,00	149			2,5	44,10
	3	1		1,6	69,06		18,00	194			4,2	75,60
	4	1		1,6	83,79		19,00	208			5,8	105,20
	5	1		1,7	89,53		19,00	215			7,4	136,55
	6	1		2,2	120,08		19,00	249			9,4	173,60
	7	1		1,8	77,86		18,00	206			11,4	210,70
	8	1		0,9	111,56		19,00	240			12,7	235,36
	9	1		2,5	159,53		19,00	287			14,4	267,56
Bedrock	10	0			429,52	1	20,00	459	Outcrop		15,7	291,31



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_3	2006	0,1587	0,258	1,63	1,8	1,3	1,3
0126_3	2006	0,1587	0,291	1,84 (2,2)	1,6 (2,6)	1,2 (1,9)	1,2
0354_3	2006	0,1587	0,261	1,64	1,7	1,2	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 dalle tabelle proposte 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 massima di PGA è di 1,84 così come i valori dell'intensità spettrale di Housner (1,8 tra 0,1-0,5 secondi e 1,3 tra 0,5-1 s).

7.1.3. Montecavolo

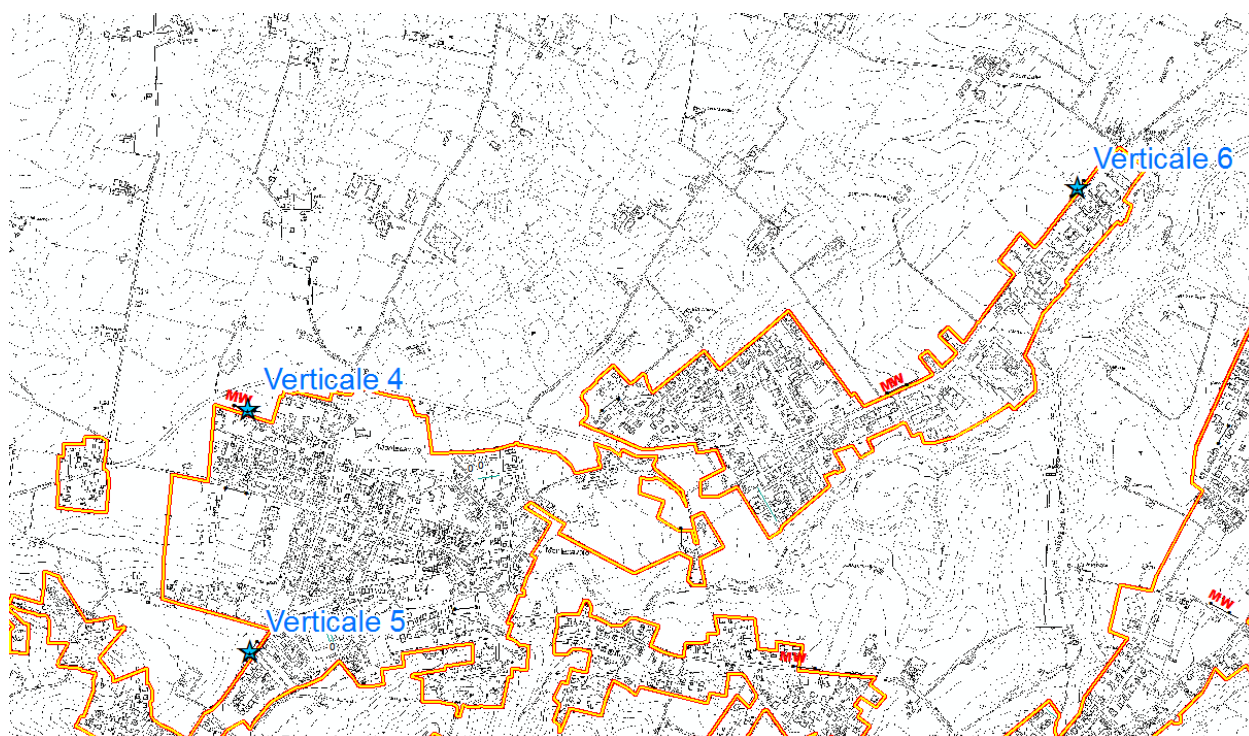


Fig. 35 Ubicazione delle verticali di indagine in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche di risposta sismica locale

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

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

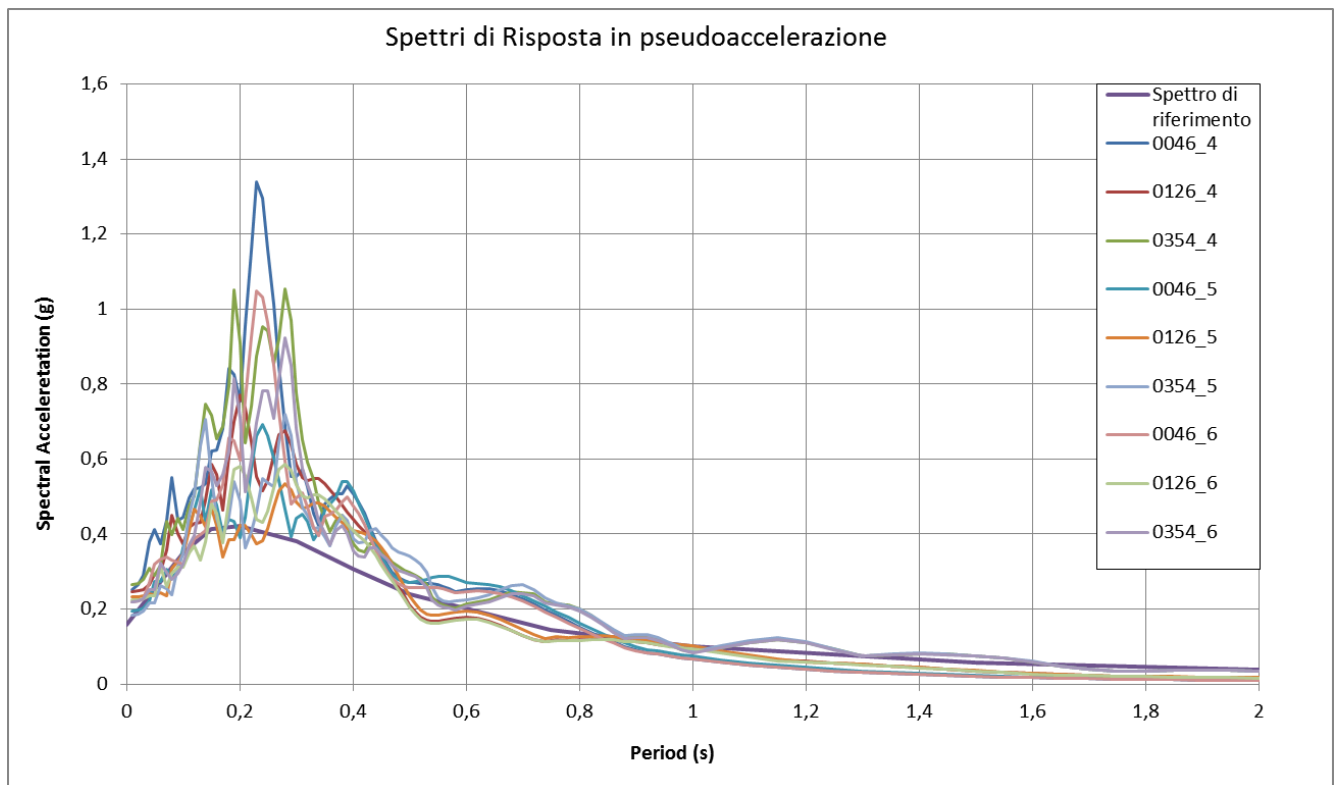
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0,9	36,48		18,00	141			0,5	8,19
	2	1	1,3	42,39		18,00	152			1,6	28,08
	3	1	1,5	69,77		18,00	195			3,0	53,28
	4	1	1,2	66,94		18,00	191			4,3	77,58
	5	1	1,3	74,87		18,00	202			5,6	100,08
	6	1	1,3	85,41		19,00	210			6,9	124,13
	7	1	1,1	42,39		18,00	152			8,1	146,38
	8	1	1,2	121,05		19,00	250			9,2	167,68
	9	1	1,3	231,54		20,00	337			10,5	192,08
Bedrock	10	0		544,93	1	20,00	517	Outcrop		11,1	205,08

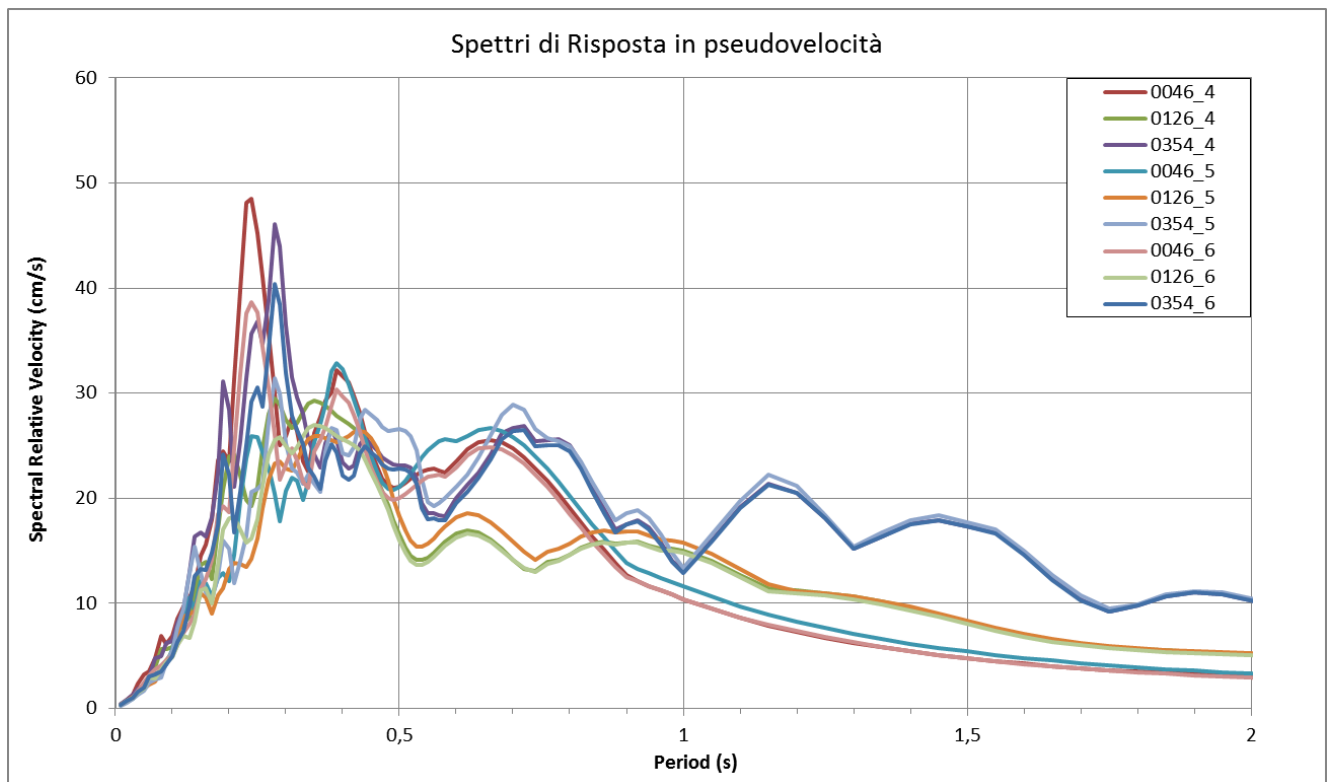
Tab. 7 Stratigrafia utilizzata per la Verticale 5 (0046_5, 0126_5, 0354_5)

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	2,2	169,69		19,00	296			1,1	20,90
	2	1	2,9	123,97		19,00	253			3,7	69,35
	3	1	2,7	151,85		19,00	280			6,5	122,55
	4	1	2,3	121,05		19,00	250			9,0	170,05
	5	1	2,1	148,61		19,00	277			11,2	211,85
	6	1	3,0	166,27		19,00	293			13,7	260,30
	7	1	3,3	203,58		20,00	316			16,9	321,80
	8	1	2,7	124,95		19,00	254			19,9	380,45
	9	1	2,3	154,02		19,00	282			22,4	427,95
Bedrock	10	0		416,52	1	20,00	452	Outcrop		23,5	449,80

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	0,7	58,79		18,00	179			0,3	5,94
	2	1	1,0	121,05		19,00	250			1,2	21,38
	3	1	2,1	143,29		19,00	272			2,7	50,83
	4	1	1,5	150,76		19,00	279			4,5	85,03
	5	1	1,4	165,14		19,00	292			6,0	112,58
	6	1	1,2	86,23		19,00	211			7,3	137,28
	7	1	2,6	73,39		18,00	200			9,2	172,08
	8	1	0,9	145,41		19,00	274			10,9	203,84
	9	1	1,4	166,27		19,00	293			12,0	225,50
Bedrock	10	0		519,93	1	20,00	505	Outcrop		12,7	238,80





n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_4	2013	0,1587	0,252	1,59	1,8	1,2	1,2
0126_4	2013	0,1587	0,248	1,56	1,6	1,1	1,1
0354_4	2013	0,1587	0,265	1,67(2,2)	1,7(2,3)	1,1(1,6)	1,1
0046_5	2011	0,1587	0,194	1,22	1,4	1,3	1,3
0126_5	2011	0,1587	0,232	1,46(2)	1,4(2,3)	1,2(1,7)	1,2
0354_5	2011	0,1587	0,184	1,16	1,4	1,2	1,2
0046_6	2013	0,1587	0,219	1,38	1,5	1,2	1,1
0126_6	2013	0,1587	0,225	1,42(2,1)	1,4(2,3)	1,1(1,6)	1,1
0354_6	2013	0,1587	0,219	1,38	1,5	1,1	1,1

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 dalle tabelle proposte 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.

Lungo le verticali 5 e 6 i fattori di amplificazione risultano simili con una FA PGA massima di 1,5, mentre la FA SI è di 1,5 per il periodo 0,1-0,5 secondi e di 1,2 per 0,5-1 s.

La Verticale4, nonostante presenti caratteristiche stratigrafiche del tutto simili alla 6 ha dei valori di amplificazione superiori a causa di depositi sismicamente più lenti (VsH inferiore).

7.1.4. Puianello

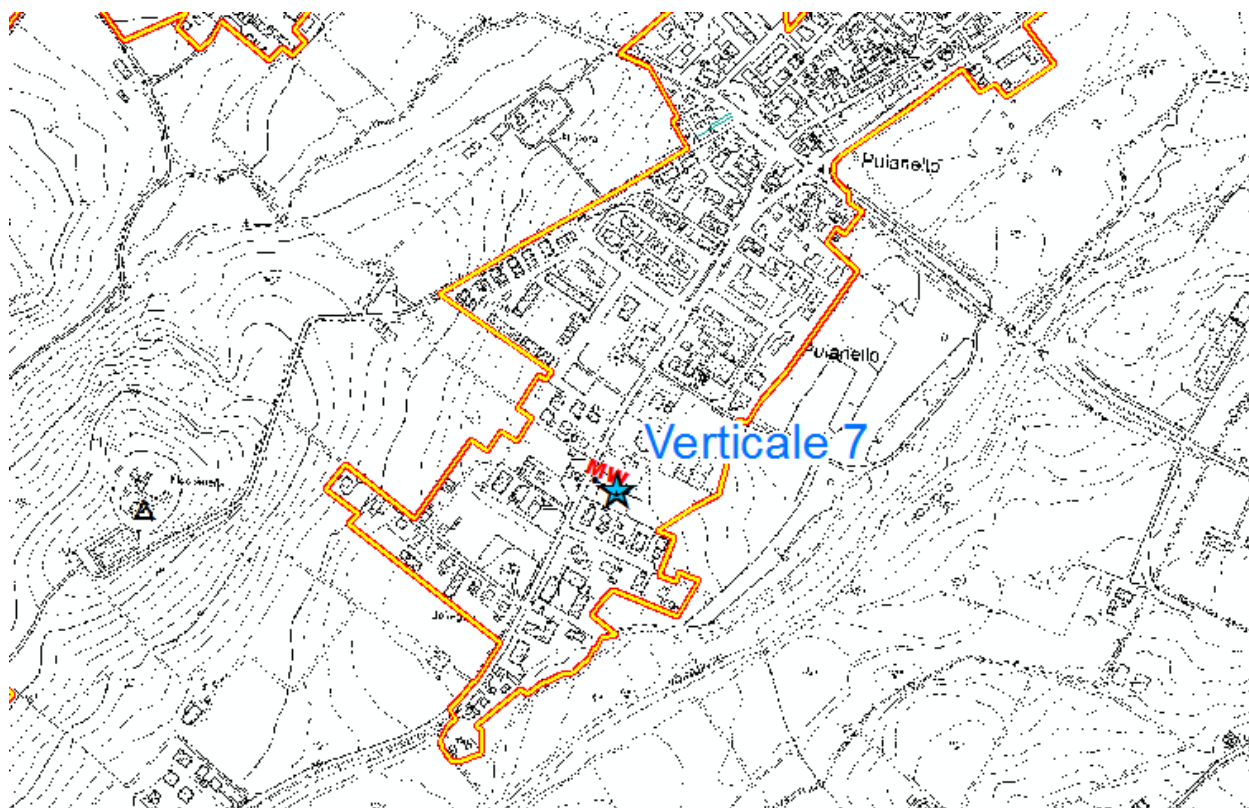
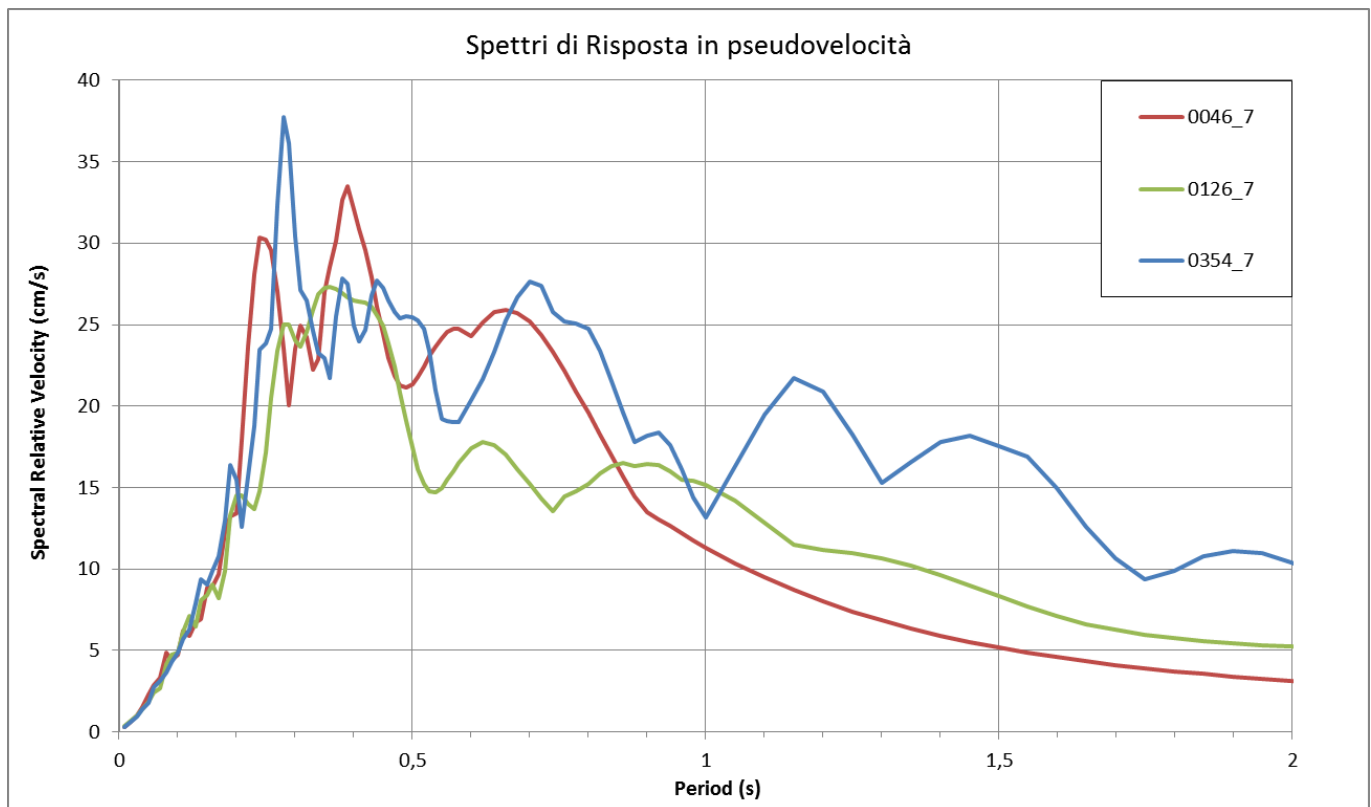
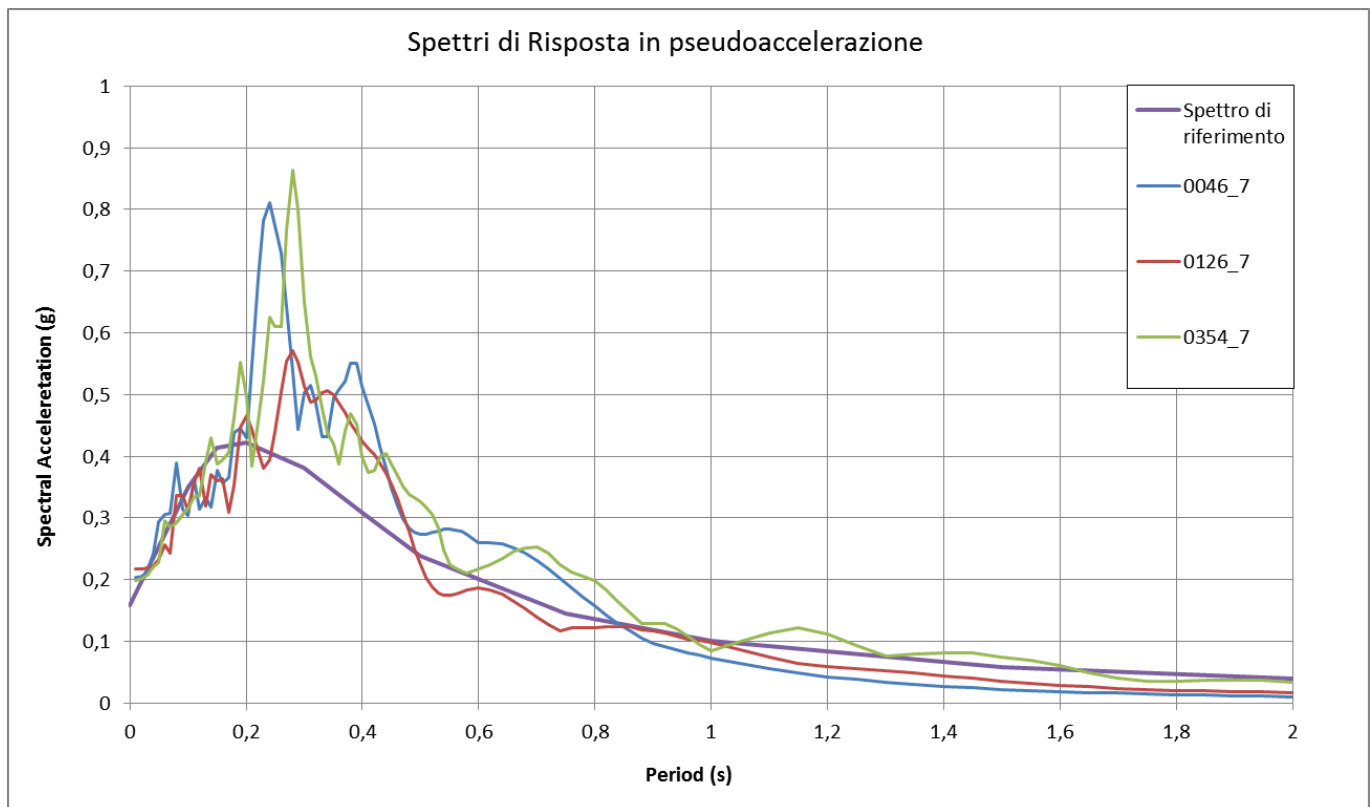


Fig. 37 Ubicazione della verticale di indagine in cui sono stati effettuate le analisi di risposta sismica locale

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

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		1,9	99,80		19,00	227			0,9	18,05
	2	1		1,1	154,02		19,00	282			2,5	46,55
	3	1		3,2	216,67		20,00	326			4,6	89,00
	4	1		3,0	215,34		20,00	325			7,7	151,00
	5	1		1,5	97,18		19,00	224			9,9	195,25
	6	1		3,1	95,45		19,00	222			12,3	238,95
	7	1		1,5	127,92		19,00	257			14,6	282,65
	8	1		1,4	168,55		19,00	295			16,0	310,20
	9	1		1,9	228,80		20,00	335			17,6	342,50
Bedrock	10	0			501,56	1	20,00	496	Outcrop		18,6	361,50



n.	MOPS	agref	PGA	FA PGA	FA SI		
					0,1-0,5	0,5-1	0,5-1,5
0046_7	2014	0,1587	0,203	1,28	1,5	1,3	1,2
0126_7	2014	0,1587	0,218	1,37 (2,1)	1,4 (2,4)	1,2 (1,9)	1,2
0354_7	2014	0,1587	0,199	1,25	1,4	1,2	1,1

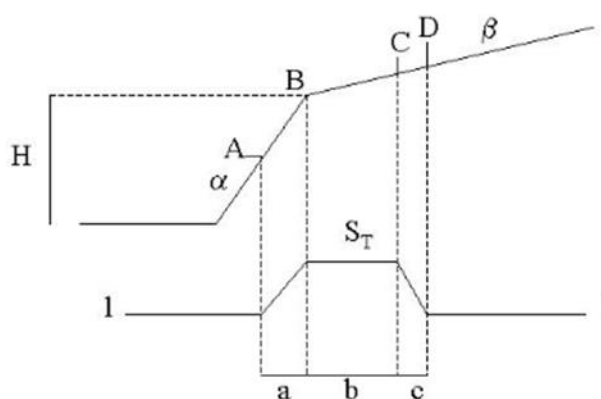
Fig. 38 Spettri di risposta in pseudo-accellerazione e pseudo-velocità per la determinazione dei fattori di amplificazione inseriti in tabella.

I fattori di amplificazione ottenuti dalle tabelle proposte 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 massima calcolata risulta essere di 1,37 per la PGA mentre per l'intensità spettrale di Housner i valori vanno da 1,5 nel periodo 0,1-0,5 s e 1,3 da 0,5-1 secondo.

7.2 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. 39)



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

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

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

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

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

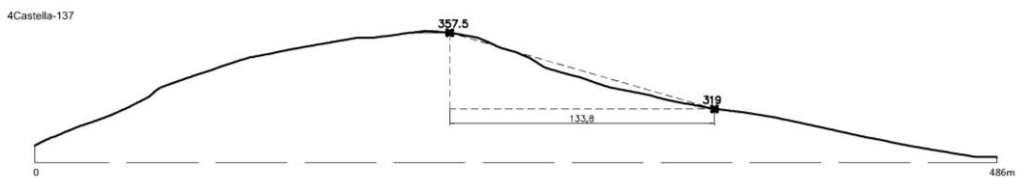
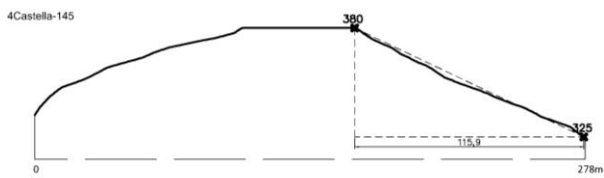
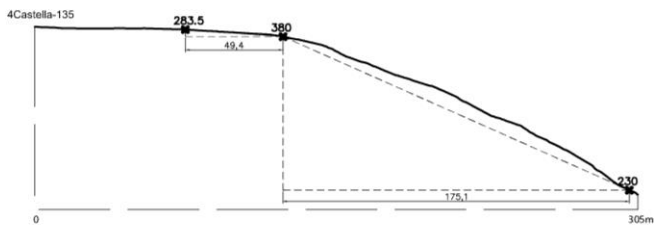
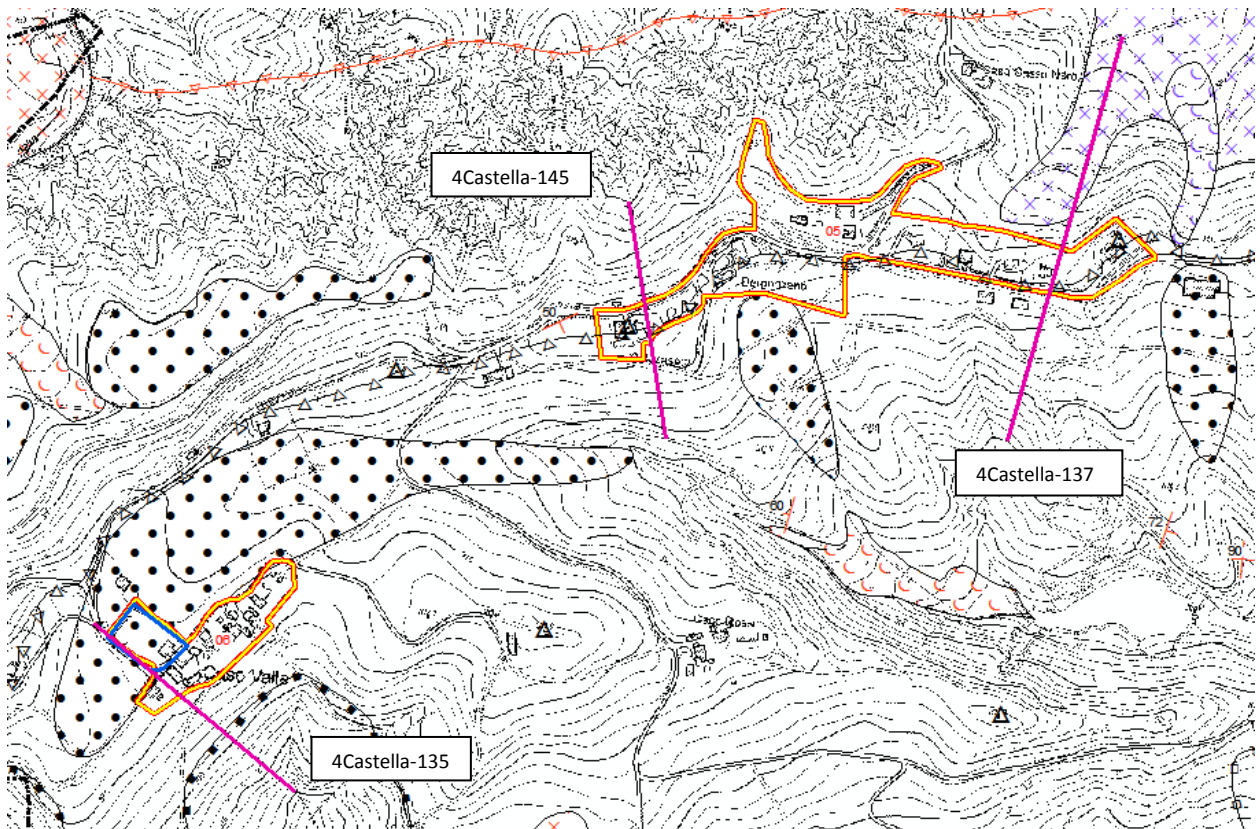
S_T : si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4

Fig. 39 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.

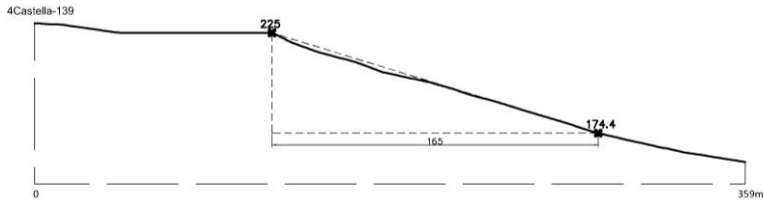
Le aree scelte per la determinazione del coefficiente topografico si trovano generalmente lungo creste morfologiche, con pendii compresi tra i 15° e 30° di inclinazione media e quindi potenzialmente soggetti ad amplificazioni di carattere topografico. Nelle figure sottostanti sono rappresentate le sezioni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



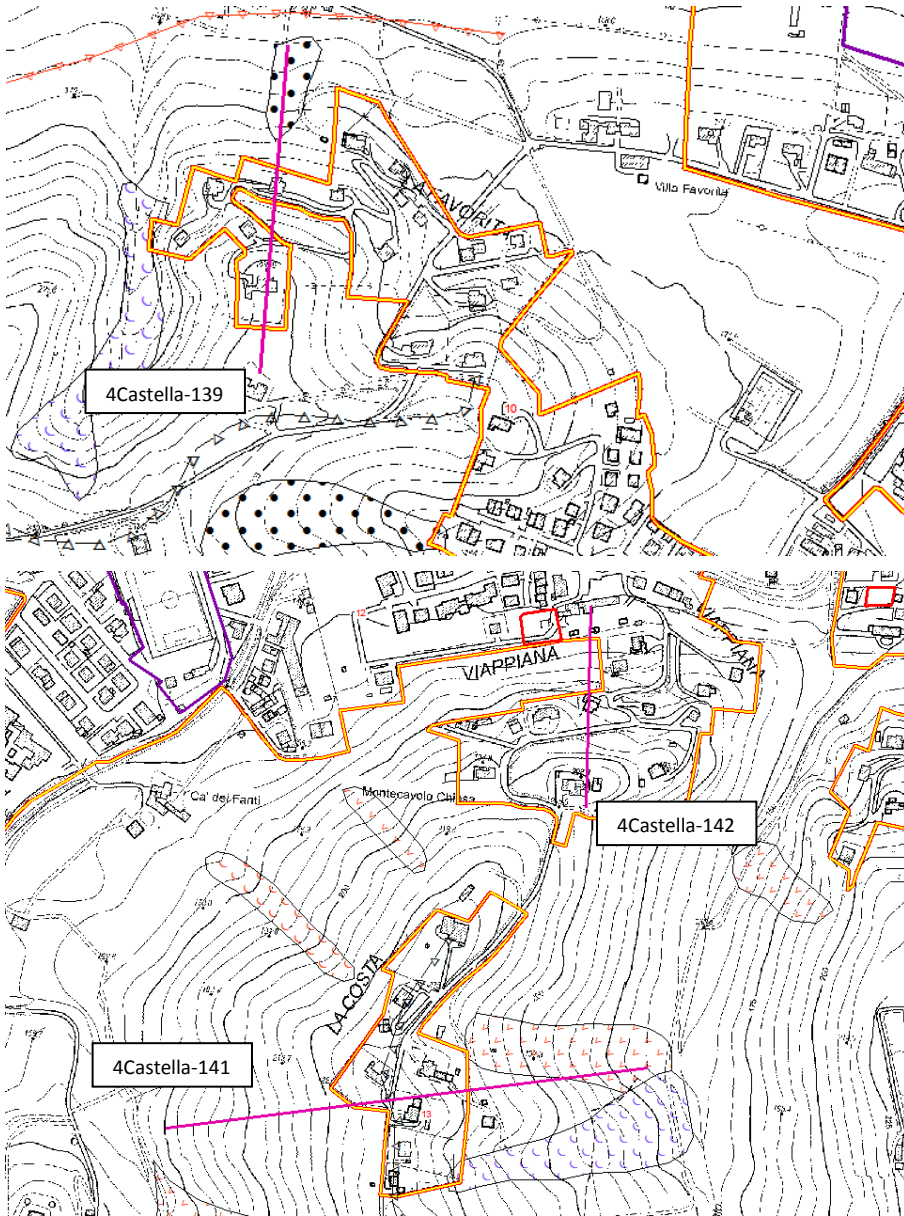
4Castella-135	
H=	77.5
L α	175
h α	77.5
L β	99.3
h β	3.5
St	1.01

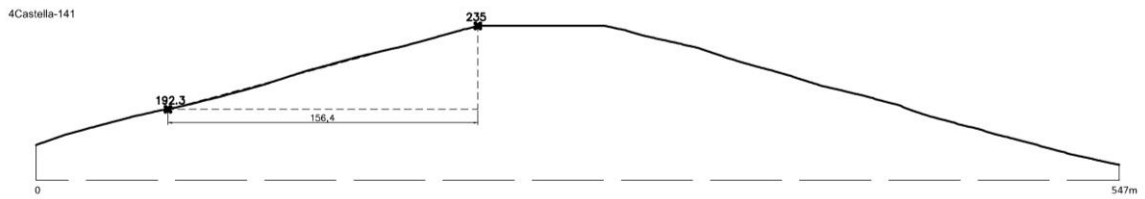
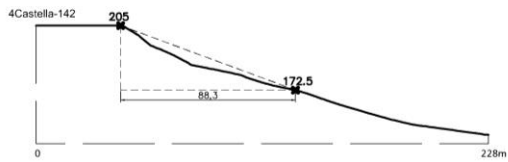
4Castella-145	
H=	55
L α	116
h α	77.5
L β	55.5
h β	0
St	1.21

4Castella-137	
H=	38.4
L α	133.8
h α	38.4
L β	1
h β	0
St	0.91



4Castella-139	
H=	50.6
L α	165
h α	50.6
L β	1
h β	0
St	0.93





4Castella-142	
H=	32.5
L α	88.2
h α	32.5
L β	1
h β	0
St	0.97

4Castella-141	
H=	42.7
L α	156.4
h α	42.7
L β	1
h β	0
St	0.90

Come si può notare dalle tabelle in figura i valore di amplificazione topografica S_T più alto si riscontra lungo la sezione "4Castella-145" e risulta pari a 1,2. Questi valori saranno poi considerati come ulteriore amplificazione oltre a quelle determinate dalle Risposta Sismica Locale di 2° livello.

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

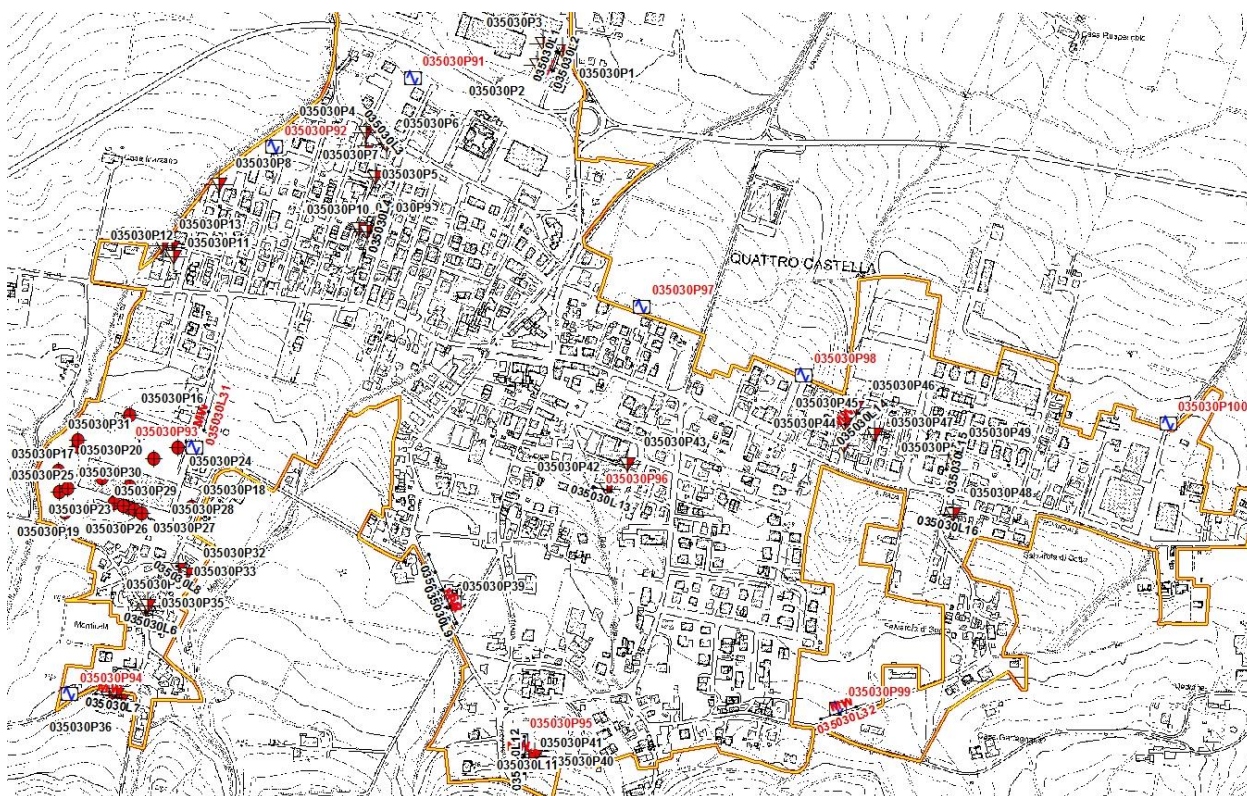
Questa carta descrive l'ubicazione delle indagini geognostiche pregresse e di quelle realizzate ex-novo nelle aree in esame. Le prime sono state reperite negli archivi dell'Ufficio Tecnico del Comune di Quattro Castella e del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna SGSS, mentre quelle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

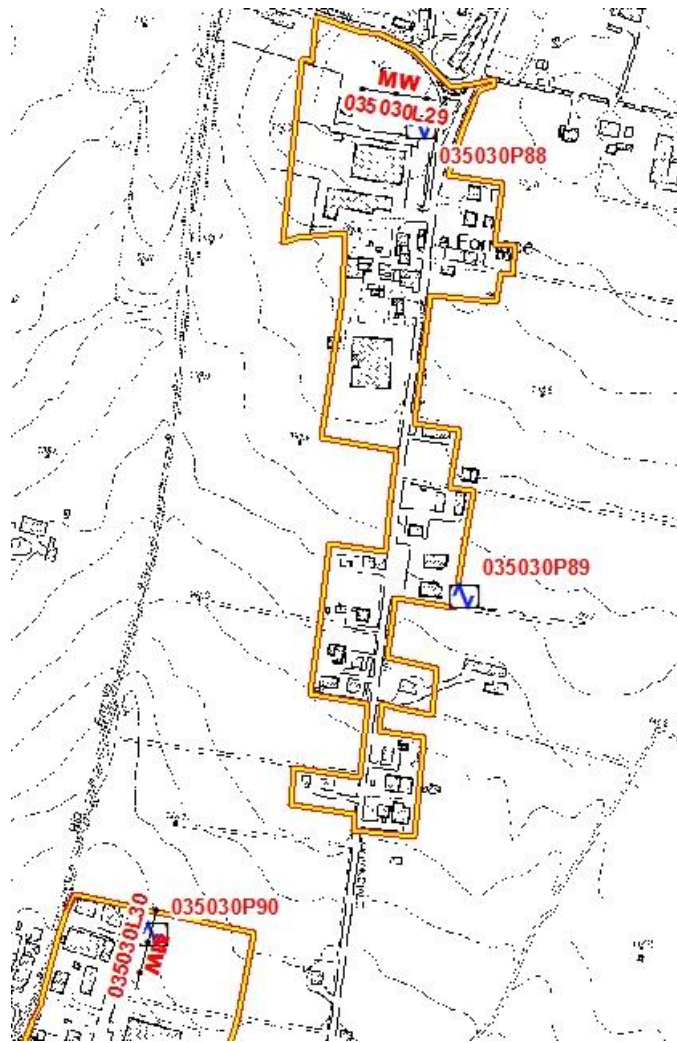
La simbologia utilizzata si riferisce agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b"

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

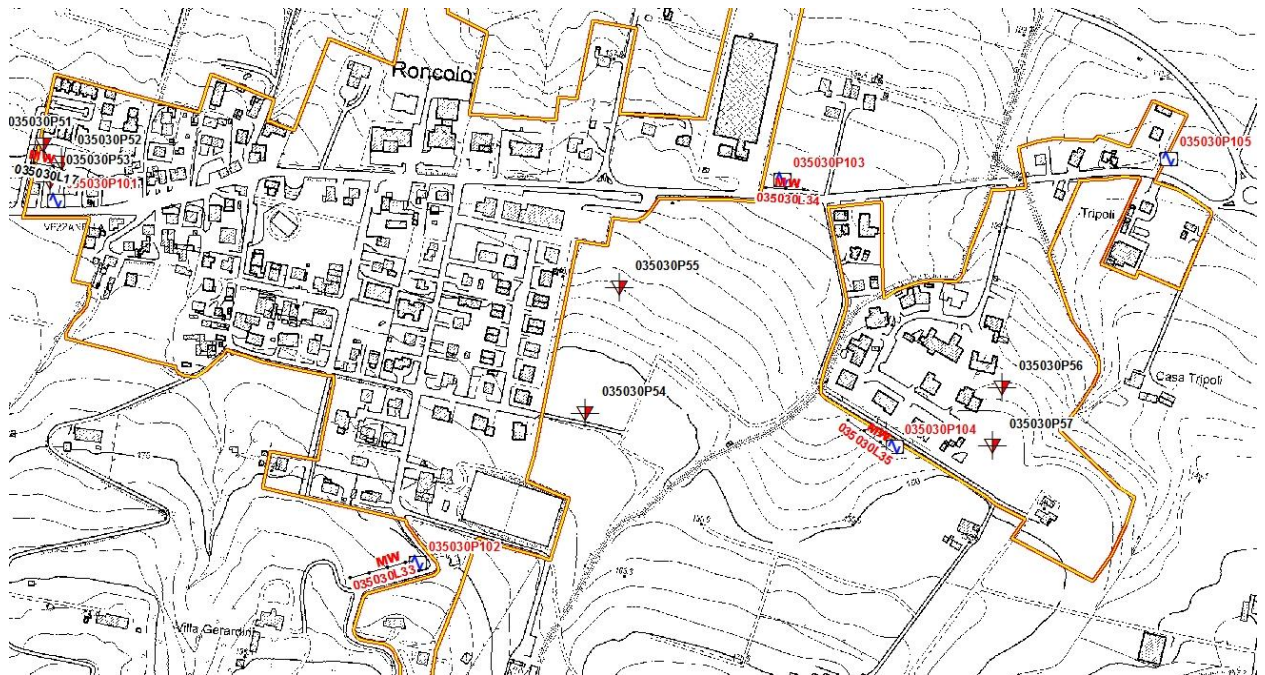
Nelle figure sottostanti sono indicati i codici di ogni prova estratti dal software di archiviazione. In rosso sono indicate le prove realizzate ex novo mentre in nero quelle pregresse.

Capoluogo e Fornace

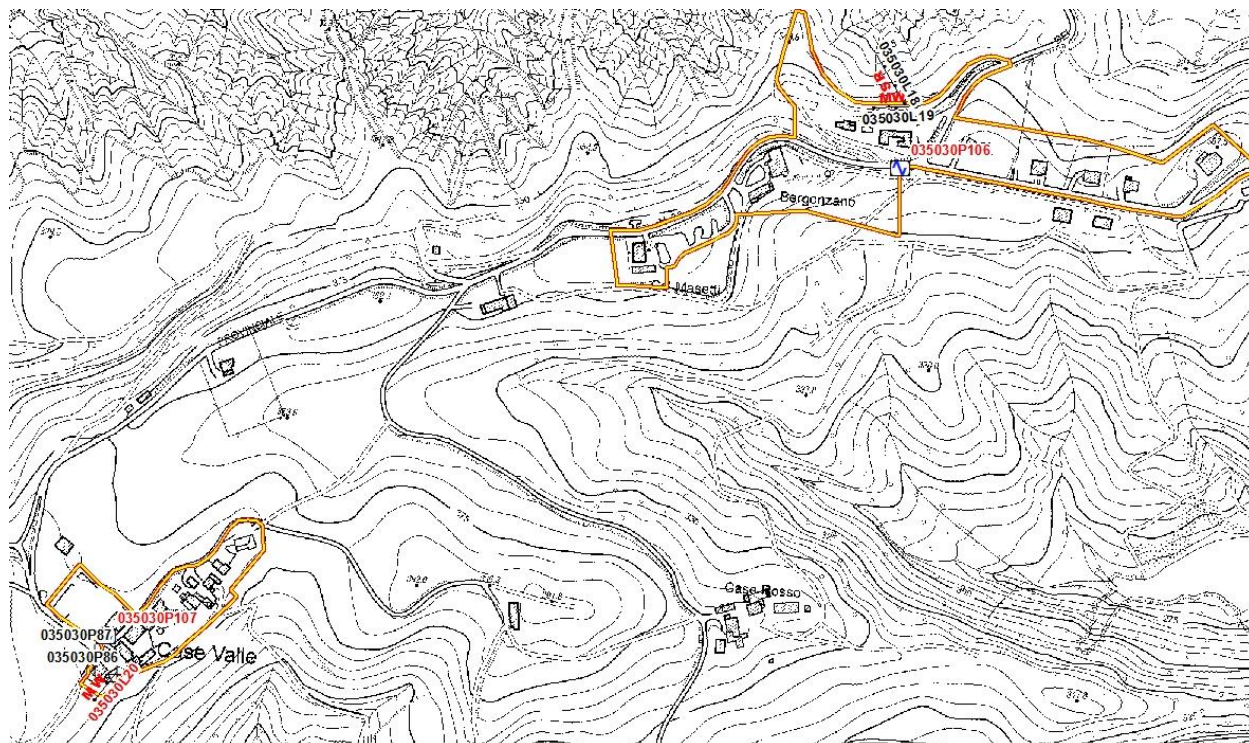




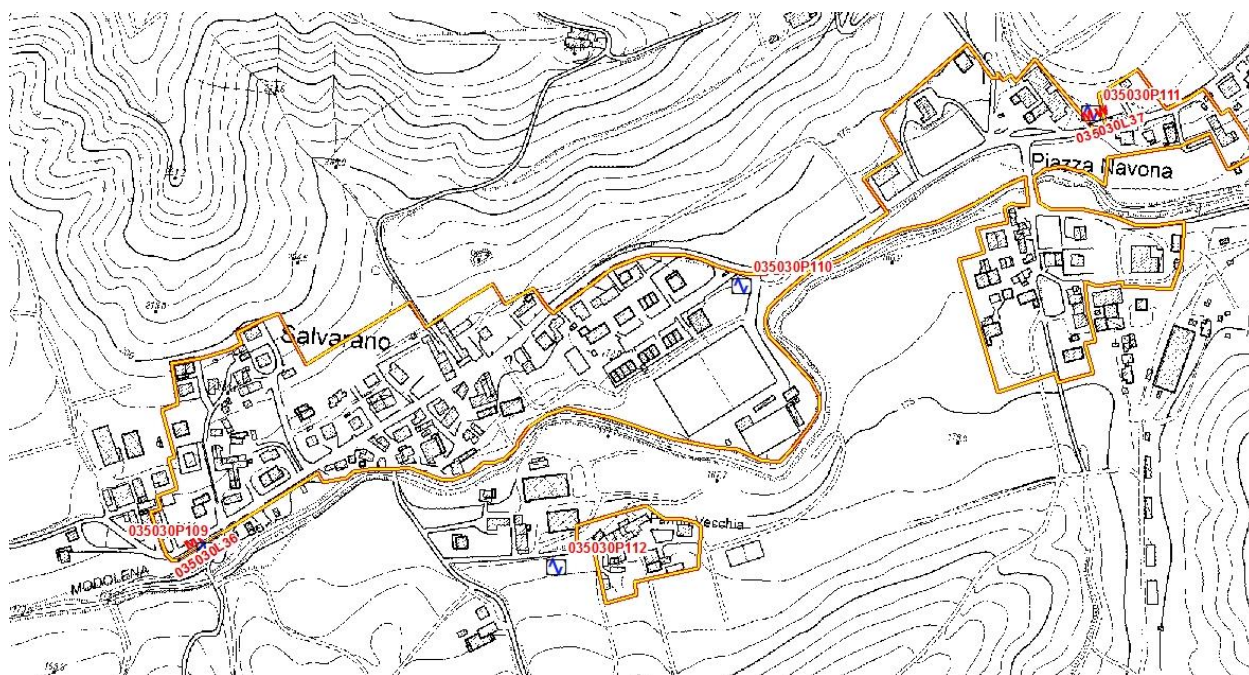
Roncolo e loc. Tripoli



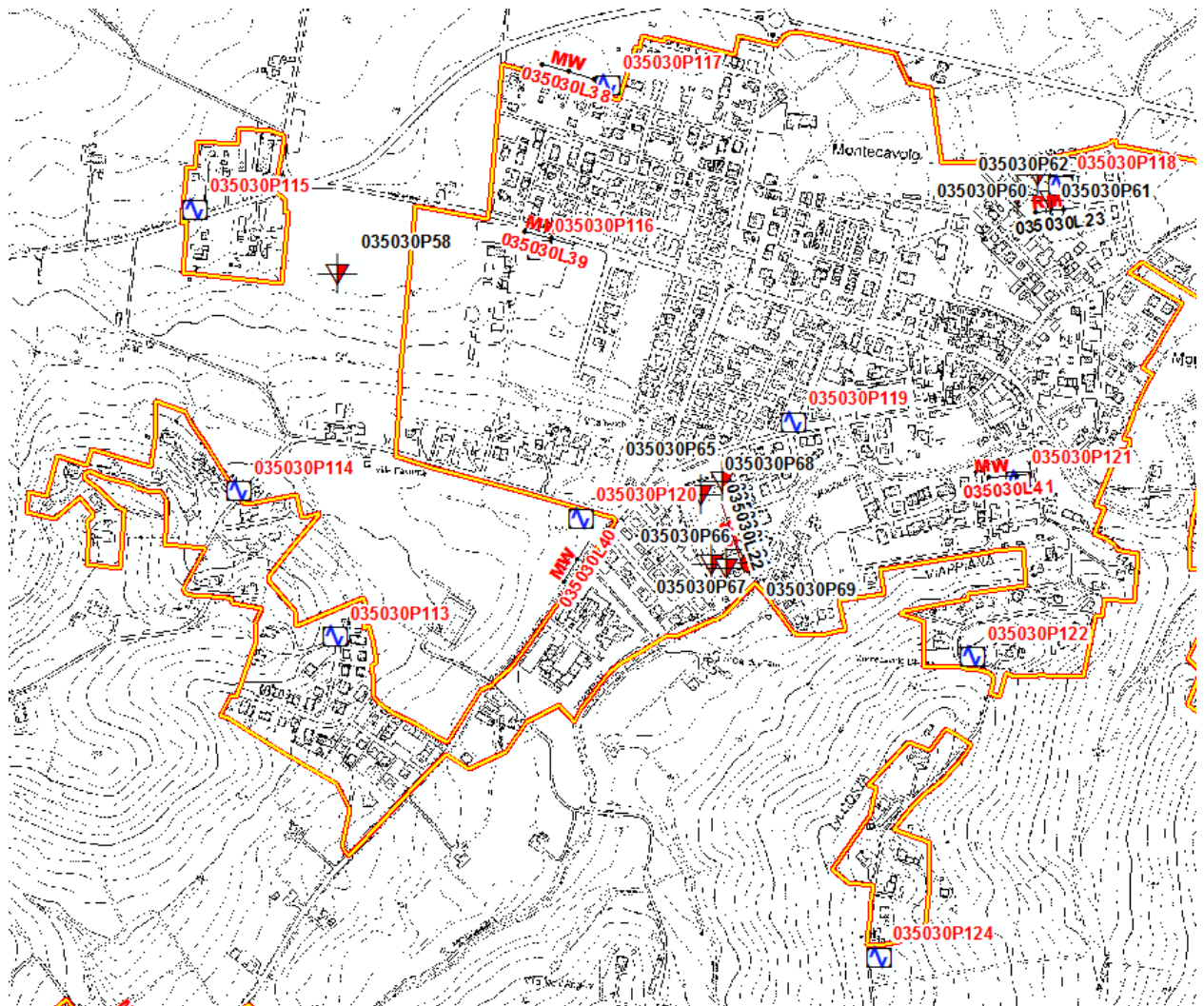
Bergonzano e Case Valle

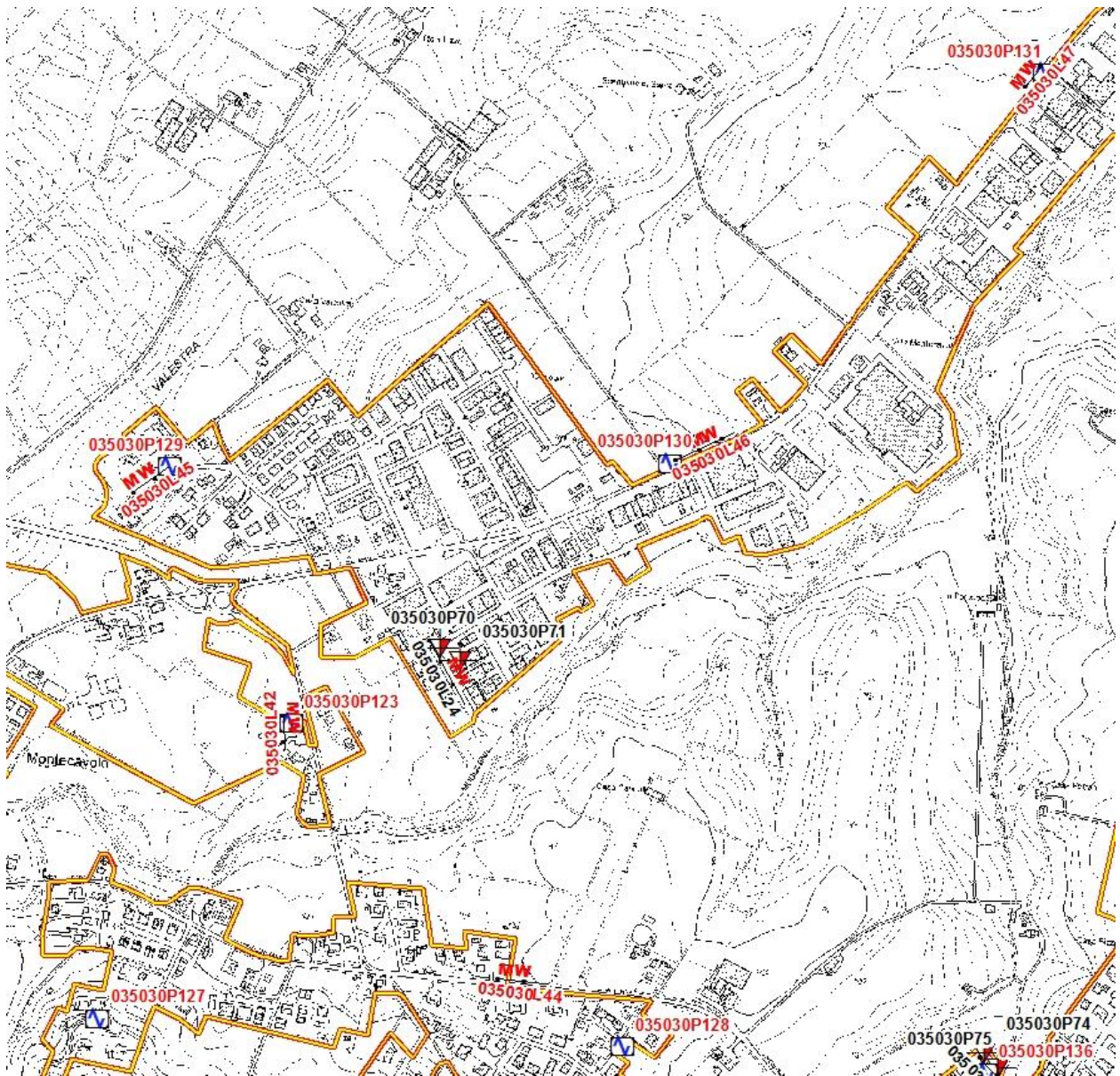


Salvarano

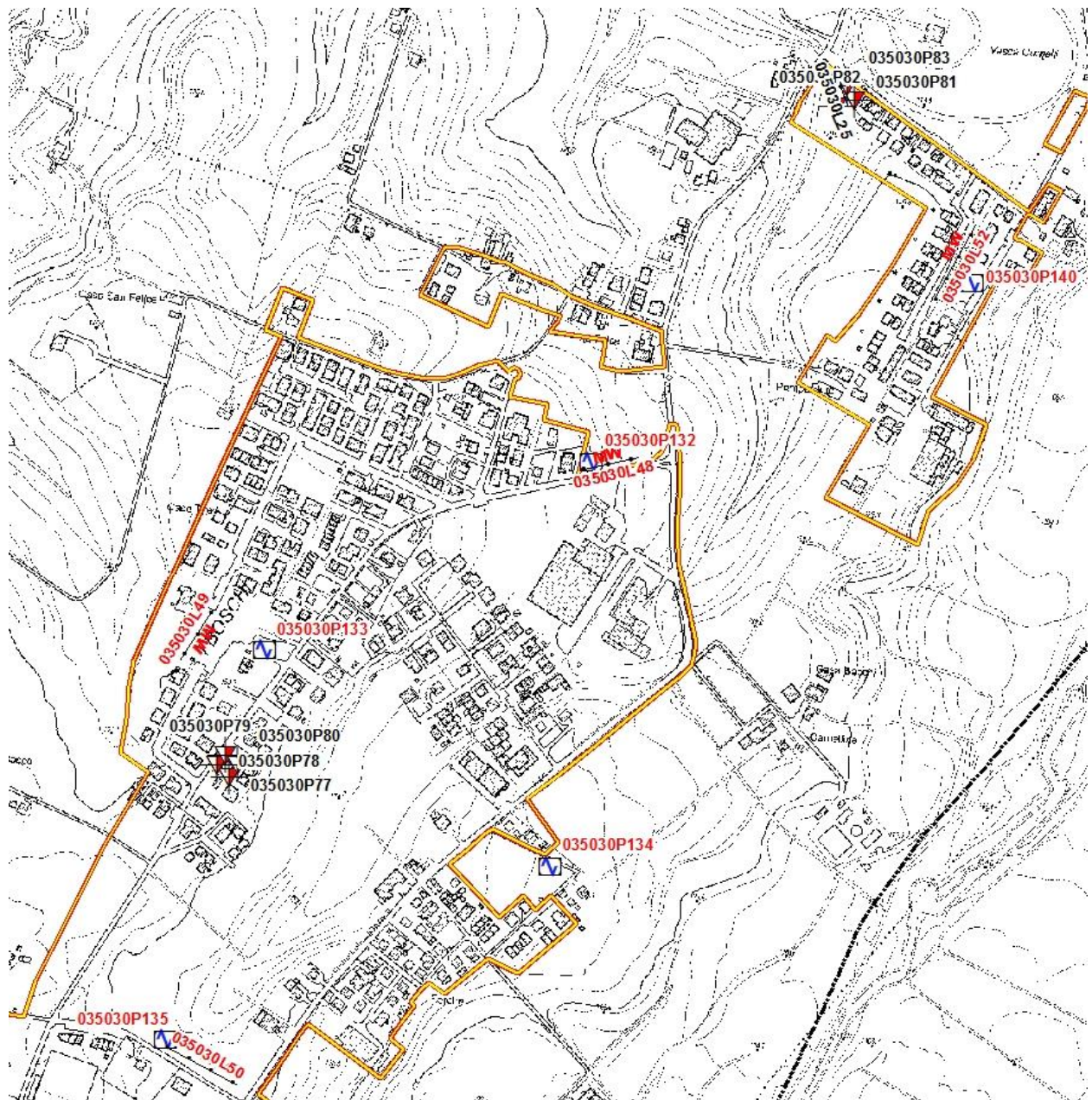


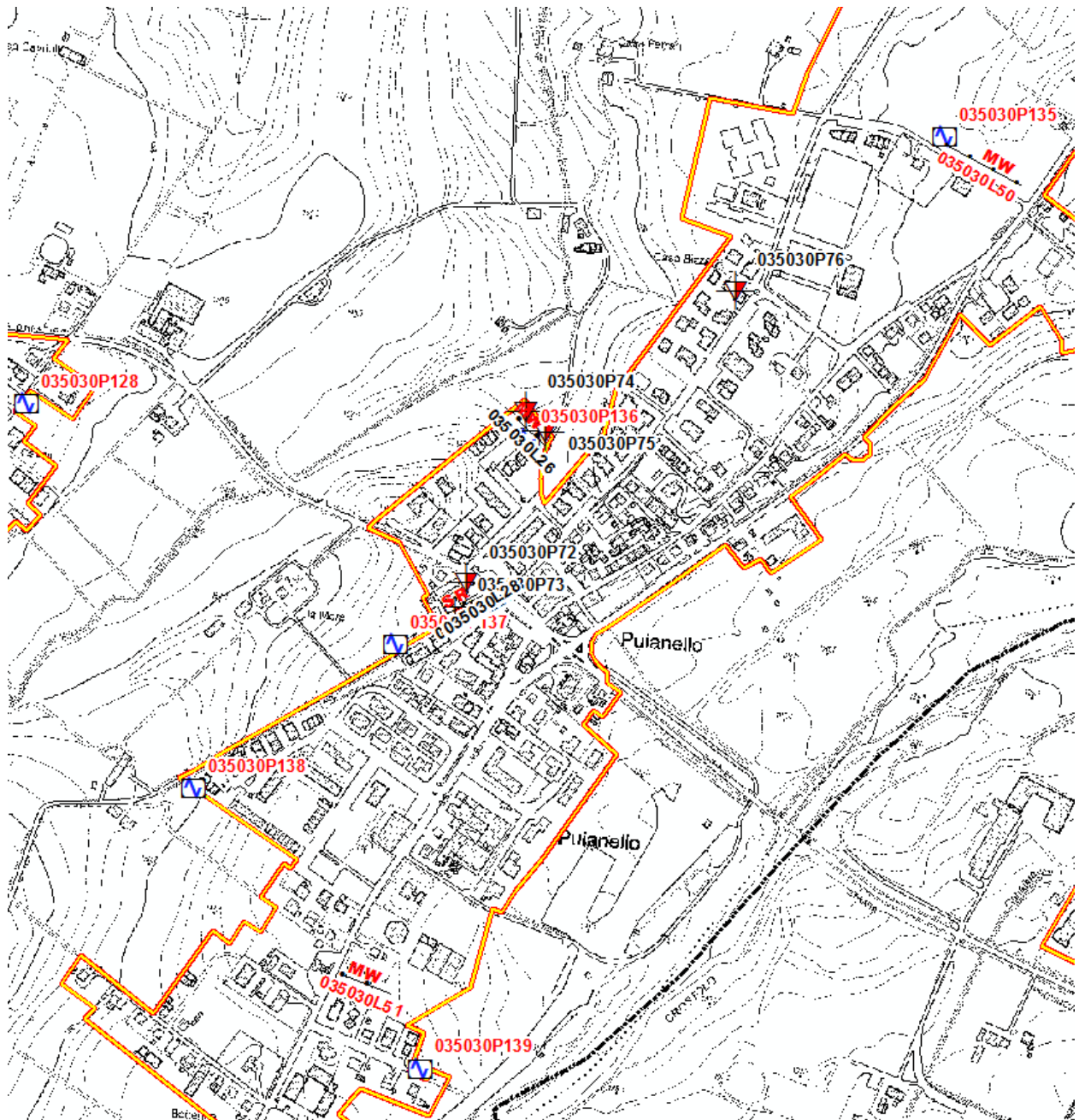
Montecavolo





Puianello





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

CLca	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Conoide alluvionale
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
GCes	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla. Argine/barre/canali
GCtf	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla. Terrazzo fluviale
MLpi	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Piana inondabile

Substrato geologico

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

Elementi tettonico strutturali

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

Elementi geologici e idrogeologici

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

Instabilità di versante

(tipologia - stato attività)

	scorrimento - quiescente
--	--------------------------

Forme di superficie e sepolti

	Conoide alluvionale
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)
	Cresta
	Asse di paleovalve
	Picco isolato
	Area oggetto di approfondimento di 3° livello
	Limite comunale

Fig. 40 Stralcio della carta geologico-tecnica rappresentante 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 della successione litostratigrafica (da ICMS 2008 – formato numerico: "20xy").

Nel territorio comunale sono state identificate le seguenti zone:

- **Zona 1:** (Quattro Castella - 2001) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato riconducibile come al Sintema di Costamezzana - CMZ. Dalle prove geofisiche si può osservare uno spessore di queste coperture di circa 15 m al di sopra di un bedrock non rigido ($V_s \ll 800$ m/s). Le V_{s15} determinate sono di 200 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:** (Quattro Castella – 2002) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti e antiche AES7a, AES e AEI prevalentemente fini con intercalazioni di argille sabbiose e sabbie limose. Lo spessore di questi sedimenti è di circa 20 m i quali poggiano su un substrato non rigido attribuibile a CMZ. Le V_{s20} determinate sono di 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 3:** (Quattro Castella – 2003) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose e con uno spessore di circa 20 metri. Il substrato su cui poggiano è riconducibile al Sintema di Costamezzana ed è da considerarsi non rigido nonostante una prova pregressa considerata nel presente studio indichi valori intorno agli 800 m/s. Le V_{s20} determinate sono di 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 4:** (Quattro Castella – 2004) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Le numerose prove geofisiche hanno individuato uno spessore di questi sedimenti di circa 25 m poggianti su un substrato (CMZ) non rigido ($V_s \ll 800$ m/s). Le V_s in questi spessori sono comprese tra i 200 e i 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:** (Quattro Castella – 2005) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti e antiche (AES7a, AES e AEI) prevalentemente fini, con intercalazioni di sabbie limose, e aventi uno spessore di 30 m. Lo spessore del deposito è confermato dalle prove geofisiche pregresse che individuano a tale profondità un aumento delle V_s fino a circa 600 m/s; per questo motivo possiamo ricondurre questo aumento 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);

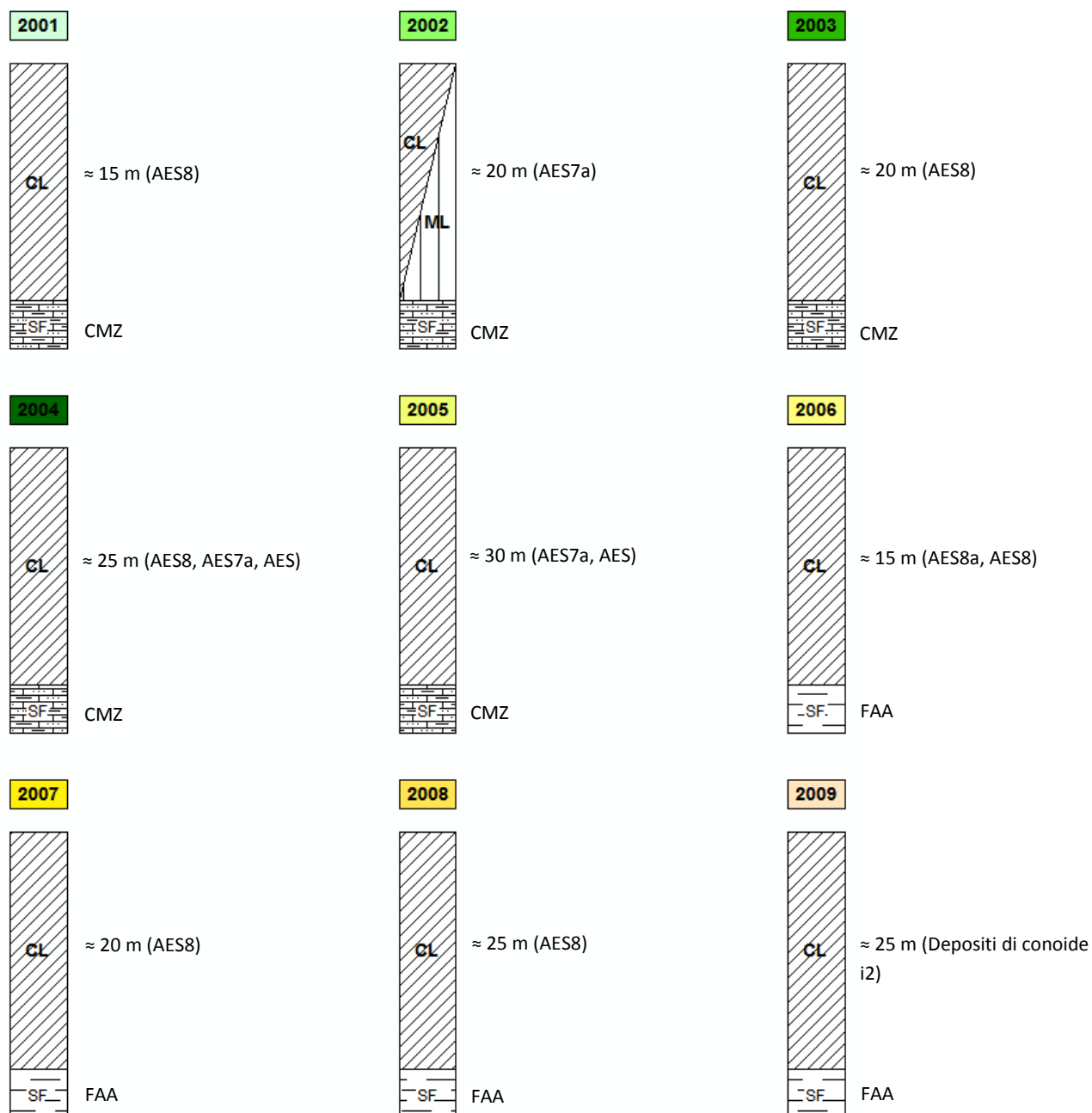


Fig. 41 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 6: (Salvarano – 2006) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 e AES8a prevalentemente fini che poggiano su un bedrock non rigido riconducibile alle Formazione delle Argille Azzurre FAA. 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 ($V_s \cong 450$ m/s). La V_{s15} è circa uguale a 200 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: (Salvarano – 2007) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 poggianti su un substrato non rigido attribuibile a FAA. Lo spessore degli stessi depositi è di circa 20 metri. La morfologia dell'area è sub-pianeggiante con inclinazione media $<15^\circ$.

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: (Salvarano – 2008) caratterizzata dalla presenza di sedimenti alluvionali prevalentemente fini AES8 con intercalazioni di ghiaie argillose. Grazie alle prove geofisiche è stato possibile determinare uno spessore di questi depositi di circa 25 m i quali poggiano su un bedrock non rigido ($V_s \cong 450$ m/s) riconducibile a FAA. La V_{s25} calcolata è di circa 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 9: (Salvarano - 2009) caratterizzata da depositi di conoide torrentizia inattiva riconducibili all'attività di un corso d'acqua secondario. Si trovano al di sopra di un substrato (FAA), che per analogia con le zone limitrofe, è possibile considerare come non rigido. La morfologia collinare presenta inclinazioni medie inferiori a 15°.

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 10: (Montecavolo - 2010) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 e AES8a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato non rigido riconducibile a CMZ, a FAA e anche alla sua litofacies pelitico-sabbiosa FAAs. Lo spessore dei depositi è di circa 35 m con una $V_{s30} \cong 300$ 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 11: (Montecavolo - 2011) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8a e AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Grazie alle prove geofisiche è stato possibile determinare uno spessore di questi depositi di circa 25 m i quali poggiano su un bedrock non rigido ($V_s \cong 450$ m/s) riconducibile a FAAs e CMZ.

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 12: (Montecavolo – 2012) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 e AES7a prevalentemente fini con intercalazioni di ghiaie argillose/sabbiose. Poggiano su un substrato non rigido riconducibile a CMZ e FAAs. Lo spessore dei depositi è di circa 20 m con una $V_{s20} \cong 200$ 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 13: (Montecavolo - 2013) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8, AES8a e AES7a con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Le numerose prove geofisiche effettuate hanno permesso di determinare uno spessore di questi depositi di circa 15 metri con velocità comprese tra i 200 e 350 m/s. Poggiano su un bedrock non rigido attribuibile a CMZ e FAAs.

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 14: (Puianello - 2014) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 e AES8a con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Lo spessore di questi depositi è di circa 20 m e si trovano al di sopra di un bedrock non rigido riconducibile al Sintema di Costamezzana (CMZ) e alle Argille Azzurre (FAA e FAAs). La V_{s20} calcolata 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 15: (Puianello – 2015) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Una prova pregressa individua alla profondità di 20 metri un sostanziale aumento delle velocità fino a circa 1000 m/s. La V_{s20} estrapolata è uguale a circa 250 m/s. Il bedrock incontrato è attribuibile a CMZ.

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);

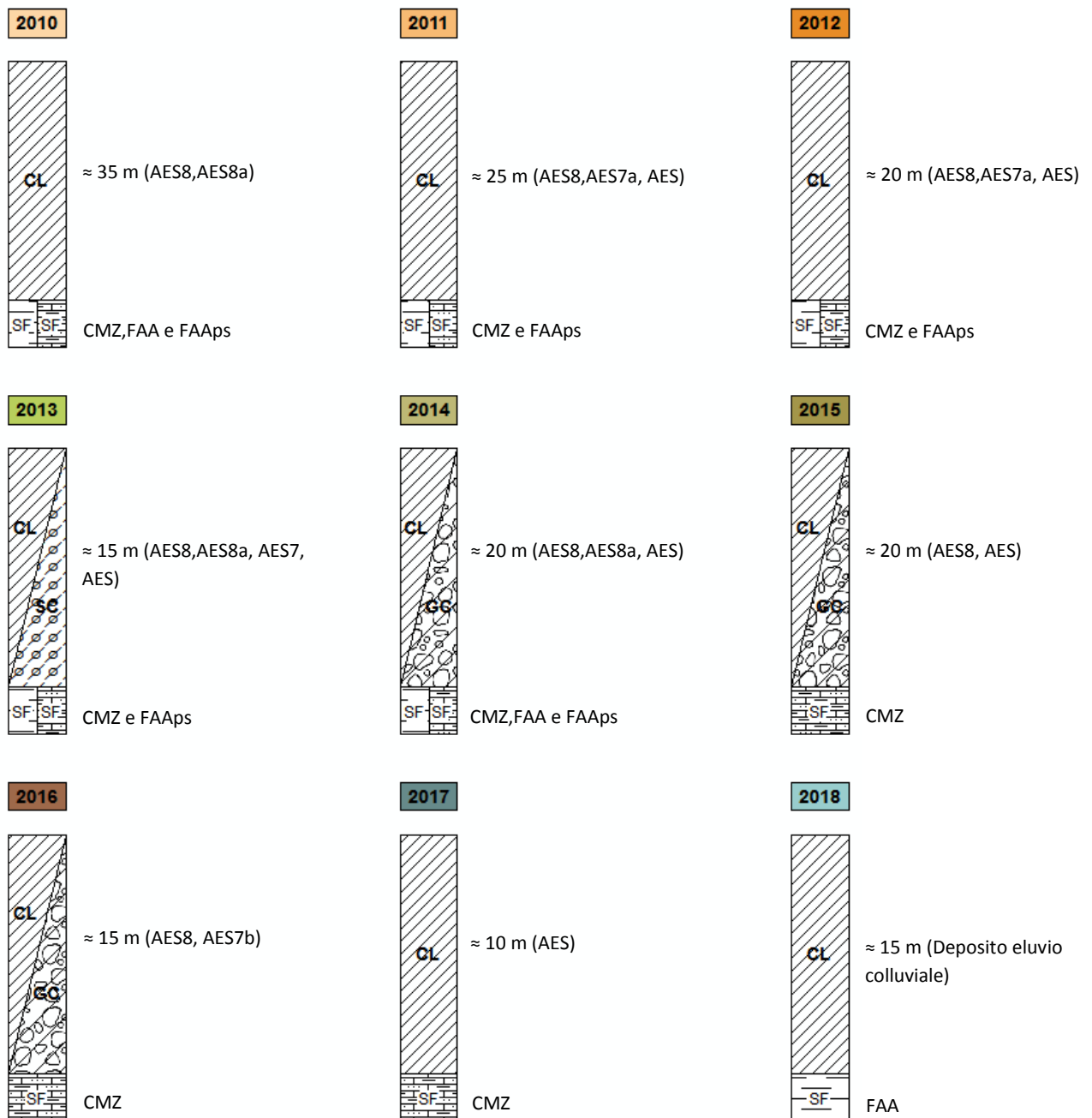


Fig. 42 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

- Zona 16: (Puianello – 2016) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES8 e AES7b con intercalazioni di ghiaie. Poggiano su un substrato non rigido attribuibile a CMZ e hanno uno spessore di circa 15 m con una $Vs_{15} \cong 250$ 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 17: (Puianello - 2017) caratterizzata dalla presenza di coperture alluvionali recenti AES con intercalazioni di ghiaie sabbiose. Hanno uno spessore di circa 10 m e poggiano al di sopra di un substrato non rigido riconducibile a CMZ. La Vs_{10} calcolata è $\cong 200$ 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 18: (Puianello - 2018) caratterizzata da depositi eluvio/colluviali prevalentemente fini aventi uno spessore di circa 15 m. Poggiano su un bedrock non rigido riconducibile alla Formazione delle

Argille Azzurre FAA. Si trova in un'area collinare con inclinazione di circa 15° e in cui è stato necessario il calcolo del fattore di amplificazione topografico.

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 2099: (Bergonzano, Case Valle) caratterizzata da coperture attribuibili a bedrock alterato costituito da formazioni della successione epiligure, in particolare: dalla Formazione di Contignaco (CTG), dalle Breccie Argillose della Val Tiepido – Canossa (MVT) e dalla Formazione di Pantano – (PAT). 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);

- Zona 2099: (Roncolo, Montecavolo) caratterizzata da coperture attribuibili a bedrock alterato costituito dal Sintema di Costamezzana e alle Argille Azzurre FAAs. A causa dello spessore di questa porzione alterata è da considerare potenzialmente suscettibile di amplificazione locale.

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 saranno descritte in dettaglio le zone di attenzione per instabilità di versante (ZA_{FR}) che corrispondono alle aree cartografate nella Carta Geologico Tecnica come soggette a frana. Si precisa che corrispondono generalmente a limitati lembi marginali delle aree in esame ed in nessun caso rappresentano forme di instabilità in grado di minacciare i centri abitati o le infrastrutture.

- Zona 30222019 (Salvarano) corpo di frana quiescente messa in posto per un fenomeno di scorrimento e composta da materiali prevalentemente fini (argille e argille limose). Lo spessore è di circa 5 m e si trova al di sopra di un substrato non rigido attribuibile a FAA. La velocità delle onde di taglio, considerando le prove effettuate nelle aree limitrofe, è stata impostata $\cong 200$ m/s.

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

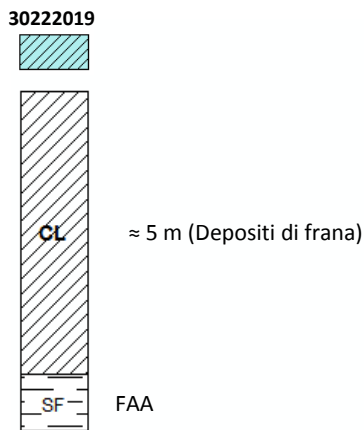


Fig. 43 Colonnine stratigrafiche riferite ad ogni singola MOPS

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

La rappresentazione è stata effettuata sulla base degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b”.

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

8.5 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

- $F_0 > 8\text{Hz}$ 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 della caratteristiche acquisite attraverso le registrazioni tromografiche, 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. 44 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 (V_s)

In questa carta sono indicate le velocità delle onde di taglio (V_s) 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 V_s , 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.

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