

Febbraio
2012

 Regione Emilia-Romagna



Provincia di Parma



Comune di Montechiarugolo

**Studio di microzonazione sismica
di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm.
Deliberazione della Giunta regionale n. 1051 del
18.7.2011**

**Elaborato 0
Relazione illustrativa**

Direzione Tecnica:

**Dr. Geol Carlo Caleffi
Dr. Geol. Francesco Cerutti**

Collaboratori:

**Dr. Geol. Alessandro Ferrari
Dr. Geol. Matteo Baisi**



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY

Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma

Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181

Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN

Tel-Fax 0376 467967

email info@engeo.it - www.engeo.it

INDICE

1. Premesse..... 2

2. Inquadramento geologico geomorfologico e idrogeologico 6

 2.1 Geologia 6

 2.2 Geomorfologia..... 10

 2.3 Idrogeologia 12

3. Inquadramento sismico..... 16

 3.1 Storia sismica del territorio comunale 16

 3.2 Zonizzazione sismogenetica 17

 3.3 Riferimenti normativi 18

 3.4 Studio sismico per la Variante 5 al PSC 20

4. Raccolta dati e Carte delle indagini 22

5. Modello geologico 24

6. Campagna d’indagini 27

7. Carte delle frequenze naturali dei terreni..... 29

8. Carte delle aree suscettibili di effetti locali 33

9. Carte delle velocità delle onde di taglio S 35

10. Carte dei fattori di amplificazione..... 35

11. Indicazioni per i successivi approfondimenti 37

1. PREMESSE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica del Comune di Montechiarugolo*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° 464/2011) e finanziato con OPCM 3907/2010.

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento, è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.

Costituisce, quindi, un supporto fondamentale ai pianificatori per indirizzare le scelte verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

Il Comune di Montechiarugolo è già dotato di una Carta delle aree suscettibili di effetti locali, redatta dal Dott. Geol. Francesco Cerutti, nell'ambito degli studi per la Variante 5 al PSC, che ha costituito una prima valutazione del rischio sismico, effettuata con la supervisione tecnica della Provincia e basata sui dati fino a quel momento raccolti.

Il nuovo studio, partendo da tale base informativa, ha comportato l'acquisizione di ulteriori dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini, costituita da 51 prove tomografiche.

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

- Allegato B della deliberazione di Giunta regionale n. 1051 del 18.7.2011 (da qui in avanti "delibera regionale")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2.5.2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (da qui in avanti "indirizzi regionali")
- Allegato C "Criteri per la rappresentazione e l'archiviazione dei dati degli studi di microzonazione sismica (secondo livello di approfondimento), di cui all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907/2010, e s.m.i., e decreto n. 8422 del 10.12.2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile"

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	2 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Nel rispetto dei riferimenti tecnici sopramenzionati, lo studio è stato articolato in due differenti fasi di approfondimento:

PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, avente le seguenti finalità:

- Individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica.
- Definire il tipo di effetti attesi.
- Indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.
- Definire il modello geologico, in termini di caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo che costituirà la base per la microzonazione sismica.

SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, avente le seguenti finalità:

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.
- Suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica.
- Conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale è stato preso in esame il territorio urbanizzato e urbanizzabile, raffigurato in Tav. 1 "Zonizzazione del territorio" del Vigente P.S.C., in corrispondenza dei principali centri abitati, ovvero:

- Monticelli Terme
- Basilicogioiano
- Montechiarugolo
- Tortiano
- Basilicanova
- Piazza

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

Elaborato 1.a	Carta delle indagini - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 1.b	Carta delle indagini- Basilicogioiano	scala 1:5.000
Elaborato 1.c	Carta delle indagini- Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 1.d	Carta delle indagini - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 1.e	Carta delle indagini - Basilicanova e Piazza	scala 1:5.000

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	3 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Elaborato 2.a	Carta lito-morfologica - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 2.b	Carta lito-morfologica - Basilicagoiano	scala 1:5.000
Elaborato 2.c	Carta lito-morfologica - Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 2.d	Carta lito-morfologica - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 2.e	Carta lito-morfologica - Basilicanova e Piazza	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 3.a	Sezioni litostratimetriche - Monticelli Terme	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 3.b	Sezioni litostratimetriche - Basilicagoiano	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 3.c	Sezioni litostratimetriche - Montechiarugolo	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 3.d	Sezioni litostratimetriche - Tortiano	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 3.e	Sezioni litostratimetriche - Basilicanova e Piazza	scala 1:20.000/1:800
Elaborato 4.a	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 4.b	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Basilicagoiano	scala 1:5.000
Elaborato 4.c	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 4.d	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 4.e	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Basilicanova e Piazza	scala 1:5.000
Elaborato 5.a	Carta delle aree suscettibili di effetti locali o MOPS - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 5.b	Carta delle aree suscettibili di effetti locali o MOPS - Basilicagoiano	scala 1:5.000
Elaborato 5.c	Carta delle aree suscettibili di effetti locali o MOPS - Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 5.d	Carta delle aree suscettibili di effetti locali o MOPS - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 5.e	Carta delle aree suscettibili di effetti locali o MOPS - Basilicanova e Piazza	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta delle velocità delle onde di taglio S - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 6.b	Carta delle velocità delle onde di taglio S - Basilicagoiano	scala 1:5.000
Elaborato 6.c	Carta delle velocità delle onde di taglio S - Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 6.d	Carta delle velocità delle onde di taglio S - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 6.e	Carta delle velocità delle onde di taglio S - Basilicanova e Piazza	scala 1:5.000
Elaborato 7.a	Carta dei fattori di amplificazione - Monticelli Terme	scala 1:5.000
Elaborato 7.b	Carta dei fattori di amplificazione - Basilicagoiano	scala 1:5.000
Elaborato 7.c	Carta dei fattori di amplificazione - Montechiarugolo	scala 1:5.000
Elaborato 7.d	Carta dei fattori di amplificazione - Tortiano	scala 1:5.000
Elaborato 7.e	Carta dei fattori di amplificazione - Basilicanova e Piazza	scala 1:5.000

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	4 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Inoltre, alla presente relazione, è allegato l'*Elaborato 8 - Prove tromografiche*, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini sismiche effettuate.

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

I dati vettoriali sono forniti anche in formato *shapefile*, georeferenziato nel sistema regionale *European datum 1950 UTM32Nord** (*false north = -4000000*), mentre quelli geognostici e geofisici sono stati inseriti in un file *Access*, con le scansioni delle prove raccolte in file *pdf* (uno per ogni studio consultato).

Le differenti attività sono state effettuate sfruttando il prezioso supporto tecnico della Provincia, in particolare, del dott. geol. Andrea Ruffini, oltre al confronto periodico con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regionali, nella persona del dott. geol. Luca Martelli.

Particolarmente utili per la definizione del modello geologico del sottosuolo sono state le indicazioni fornite dai dott. geol. Paolo Severi e Venusia Ferrari, sempre del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	5 di 38

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1 Geologia

Il Comune di Montechiarugolo ricade nella Pianura dell'Emilia-Romagna la quale costituisce il settore meridionale della Pianura Padana, la più grande pianura alluvionale d'Italia, formata dai depositi del fiume Po e dei suoi affluenti.

La Pianura dell'Emilia-Romagna ha cominciato a formarsi nel Pleistocene medio, circa 500.000 anni fa, quando, a seguito dei sollevamenti in atto, il mare si è spostato dal margine appenninico, via via sempre più verso est, sino alla sua attuale posizione.

Il sottosuolo è contraddistinto da un forte accumulo di sedimenti alluvionali quaternari che appoggiano, con discontinuità a discordanza semplice, sul substrato di sedimenti marini del pliocene superiore e del pleistocene inferiore.

L'assetto di tale corpo sedimentario è il risultato dell'evoluzione deposizionale dei corsi d'acqua, legata sia alle variazioni climatiche pleistoceniche sia ai recenti movimenti tettonici della zona di margine, vale a dire di quella fascia interposta tra la Pianura s.l. in abbassamento e l'Appennino in sollevamento.

E' possibile riconoscere nella Pianura dell'Emilia-Romagna alcuni ambienti deposizionali: le conoidi alluvionali sono tipiche della zona pedeappenninica, ad esse fa seguito la piana alluvionale, che passa verso costa alla piana deltizia del fiume Po ed alla piana costiera.

I sedimenti di questi ambienti deposizionali sono costituiti prevalentemente da: ghiaie nelle conoidi alluvionali; sabbie, limi ed argille nella piana alluvionale; sabbie nella piana deltizia e costiera.

Nel sottosuolo i depositi della pianura costituiscono un cuneo che si allarga velocemente procedendo dal margine appenninico verso nord; lo spessore massimo di questi depositi arriva ad oltre 600 metri.

L'assetto geostrutturale delle formazioni prequaternarie è caratterizzato da una successione plicativa ad anticlinali e sinclinali spesso fagliate e sovrascorse, con assi a vergenze appenniniche (cfr. Fig. 1).

In tale schema la pianura parmense è compresa nell'arco delle pieghe emiliane caratterizzate da due distinti fasci di *thrust*: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F), definisce il limite dell'appennino sepolto, rappresentato, nell'area in questione, dalle strutture anticlinali di Busseto e di Brè, che proseguono verso SE nelle strutture di Collecchio e Parma.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	6 di 38

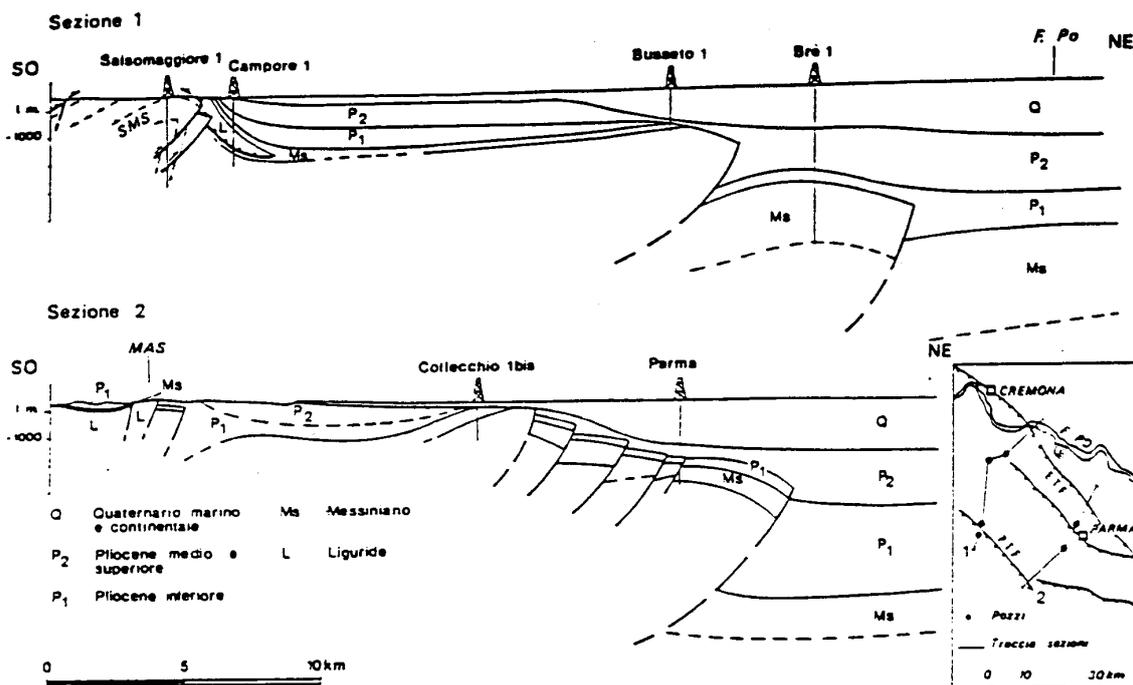


Fig. 1 - Sezioni geologiche dal Fronte di accavallamento pedeappenninico (PTF) al Fronte di accavallamento esterno (ETF) (da Bernini e Papani, 1987)

In particolare, in Comune di Montechiarugolo è presente un “alto” strutturale (che in letteratura viene identificato come anticlinale di Monticelli-Montecchio-Ghiardo), corrispondente con una fascia orientata in direzione SE-NO, riconducibile al fronte di accavallamento esterno (E.T.F), articolata in grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, dislocate e deformate da faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso SSO con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

A scala padana la successione terrigena quaternaria ha un forte carattere regressivo con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

In conformità con quanto assunto dal Servizio Geologico e cartografico della Regione Emilia-Romagna, le unità stratigrafiche definite ed utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle Sequenze Deposizionali *sensu Mitchum et Al.* (1977).

Dal punto di vista gerarchico di distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da terreni paralici e marini depositi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	7 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- Supersistema Emiliano-Romagnolo, costituito da depositi di ambiente continentale depositi a partire da 800.000 anni BP, a sua volta suddiviso in 2 sistemi: l'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore (LES) databile tra gli 800.000 e i 450.000 anni BP (Pleistocene medio) e quella Emiliano-Romagnola Superiore (UES), di età Pleistocene medio-Olocene.

L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal fiume Po; la seconda, trasversale, nordest-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

Sulla base delle direzioni di progradazione possono essere individuate le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- pianura pedemontana ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale di alimentazione assiale (paleo Po)

L'intera area in esame ricade all'interno del sistema deposizionale di pianura pedemontana ad alimentazione appenninica.

Il sistema deposizionale della Pianura pedemontana è caratterizzato da depositi prevalentemente ghiaiosi nelle aree attigue e contigue dei corsi d'acqua principali e limi e/o argille prevalenti o, comunque, più abbondanti nelle aree perfluviali d'interconoide.

Il rapporto tra materiali grossolani e fini, elevato nella zona di alta pianura, decresce linearmente procedendo verso valle e verso le zone più interne delle aree perfluviali (zone d'interconoide), fino a valori medi, generalmente superiori all'unità.

I sedimenti sono organizzati in grandi sistemi di conoide alluvionale, dove le litologie grossolane (ghiaie e sabbie) costituiscono estesi corpi tabulari, interdigitati da cunei di materiali essenzialmente fini (limi e argille).

In altri termini la "Pianura pedemontana" è il frutto della coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale e delle zone d'interconoide.

Nel complesso i depositi superficiali, nel territorio comunale di Montechiarugolo, sono relativi all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore e, in particolare, ai seguenti tre Subsistemi (dal più antico al più recente):

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	8 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Subsistema di Agazzano (Pleistocene medio)

Ghiaie e ghiaie sabbioso-argillose prevalenti: depositi alluvionali di conoide ghiaiosa; sabbie e limi argillosi, con subordinati livelli di ghiaie, localmente stratificati: depositi di interconoide. Presentano comunemente un livello fine di spessore metrico alla base dell'unità. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 6÷7 m di profondità. Alla sommità dell'intervallo fine delle aree terrazzate si rinvencono manufatti del Paleolitico medio. Il contatto di base è erosivo e discordante. Lo spessore è variabile da alcuni metri a 55 metri circa.

Subsistema di Villa Verucchio (pleistocene superiore)

Vengono distinte 2 unità:

Unità di Vignola

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi del reticolo idrografico secondario. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino ad 1.5÷2.0 m. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 30 m.

Unità di Niviano

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e può raggiungere i 4÷5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Lo spessore massimo è di circa 15 metri.

Subsistema di Ravenna (pleistocene superiore-olocene)

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica, all'interno del Subsistema di Ravenna, viene distinta l'unità di Modena.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	9 di 38

Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. L'unità di Modena è sedimentata nell'intervallo temporale costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di centimetri).

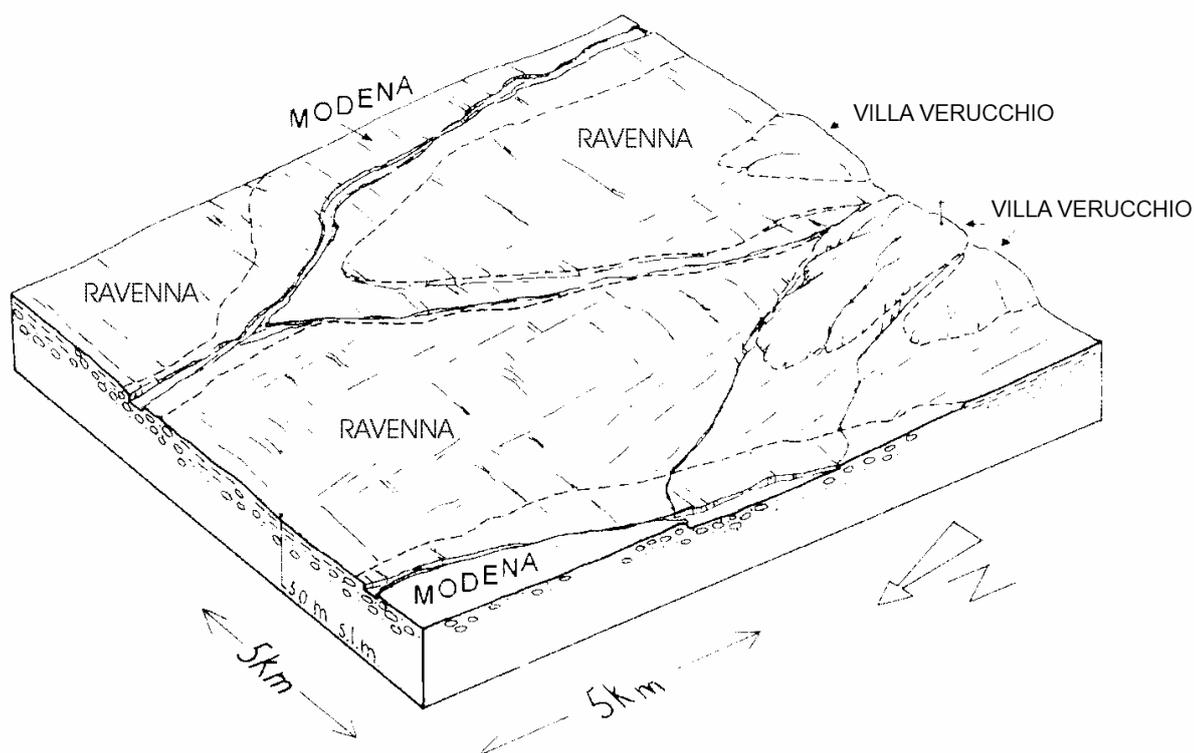


Fig. 2 - Conformazione del rilievo del sistema deposizionale della Pianura Pedemontana ad alimentazione appenninica

2.2 Geomorfologia

Il Comune di Montechiarugolo è ubicato in corrispondenza della pianura pedemontana parmense (alta pianura) che comprende quella fascia di territorio che borda il margine appenninico estendendosi in direzione Nord fino alla Via Emilia e poco oltre.

Questo ambiente è formato dalla coalescenza delle conoidi fluviali e dei terrazzi alluvionali intravallivi raccordandosi alla bassa pianura con un passaggio graduale ed eteropico.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	10 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Le caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche sono tipiche dei corsi d'acqua con canali intrecciati a bassa sinuosità e ad alta energia, dove la sedimentazione all'interno dell'alveo è prevalentemente grossolana (ghiaie), mentre nelle aree perifluviali essenzialmente fine (argille, limi).

Il paesaggio della pianura pedemontana è contraddistinto da corsi d'acqua ad andamento rettilineo che scorrono nelle aree topograficamente inferiori e da zone perifluviali pianeggianti e terrazzate.

Allontanandosi dai corsi d'acqua verso le porzioni più interne delle zone perifluviali si possono infatti individuare vari ordini di terrazzi, impostati a quote progressivamente superiori e caratterizzati da superfici pianeggianti, degradanti verso N-NE, interrotte lateralmente da scarpate di alcuni metri (orli di terrazzi fluviali).

Gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio, sono riconducibili essenzialmente all'attività tettonica e alla dinamica fluviale manifestatasi nel periodo pleistocenico ed olocenico. Nel periodo storico si è sovrapposta anche l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Le interazioni tra i vari fattori dinamici hanno condizionato un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord/nord-est con gradiente topografico molto basso, compreso tra lo 0,5 e il 2%.

I torrenti (Parma ed Enza) sono rimaste le uniche zone che mantengono ancora, nonostante i massicci interventi di regimazione (arginature, pennelli, traverse, ecc.), un alto grado di naturalità con frequenti emergenze morfologiche.

Al contrario le aree perifluviali esprimono il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione e insediamento hanno conferito al rilievo un assetto costante ed uniforme livellando molte asperità del terreno.

Le superfici del suolo conservano tuttavia, anche se in forma relittuale, ancora le tipiche geometrie dell'ambiente fluviale.

Oltre agli orli di terrazzo sopraccitati, tra le forme più caratteristiche di questa porzione di territorio vi sono i paleoalvei, testimonianze di antichi percorsi dei corsi d'acqua. Essi non si presentano in modo omogeneo ma derivano da indizi geomorfologici differenti: possono corrispondere, infatti, a dossi più o meno pronunciati, ma vi sono anche tracce di corsi fluviali estinti a livello di pianura o leggermente incassati.

Tra gli elementi morfologici dovuti ad attività antropica, invece, meritano di essere citati gli argini e le casse d'espansione dei torrenti Parma ed Enza e le numerose aree soggette ad attività estrattive, in attività e/o pregresse.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	11 di 38

2.3 Idrogeologia

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame vanno inquadrare nel modello evolutivo tridimensionale, sia idrogeologico che stratigrafico, dell'intera Pianura Padana emiliano-romagnola.

Secondo gli studi di Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip (1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo, 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi (cfr. Fig. 3). Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal fiume Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale).

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO- STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUITARDO		
A	A1			~ 0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE 0.125 PLEISTOCENE MEDIO 0.94 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INF. MIOCENE
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			0.45	
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			~ 0.80	
	C2				
	C3				
	C4				
	C5				
ACQUITARDO BASALE				~ 3.9	

Fig. 3 - Schema idrostratigrafico della Pianura Emiliano-Romagnola (da Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998)

Ciascun Gruppo Acquifero risulta idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie a livelli argillosi di spessore plurimetrico sviluppati a scala regionale.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	12 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Al suo interno ogni Gruppo è composto da serbatoi acquiferi sovrapposti e giustapposti, parzialmente o totalmente isolati tra loro, suddivisi, in senso orizzontale, in Complessi Acquiferi, da barriere di permeabilità costituite da corpi geologici decametrici, a prevalente granulometria fine.

Secondo l'attuale quadro delle conoscenze, i serbatoi acquiferi della Pianura Padana Parmense si sono formati, a partire da circa 1 milione di anni fa, dapprima all'interno di un sistema deposizionale di delta-conoide attribuibili ad un Paleo-Fiume Taro (Gruppo Acquifero C3), e poi, nel Pleistocene Medio e Superiore, all'interno delle Piane e delle Conoidi Alluvionali dei fiumi Po, Taro, Parma, Enza, Baganza e Stirone, elencati in ordine di importanza per dimensione dei serbatoi (Gruppi Acquiferi B e A).

La ricostruzione geometrica dei corpi acquiferi ha consentito di distinguere nella Pianura Parmense tre aree di ricarica diretta:

- un'area pedecollinare, relativamente ristretta, di ricarica dell'intero serbatoio acquifero ed in particolare del Gruppo Acquifero C;
- un'area intermedia, corrispondente all'incirca all'alta pianura dove avviene la ricarica degli acquiferi superficiali e dell'acquifero cosiddetto "principale" (Gruppi di Acquiferi A-B), attualmente sfruttato ad uso idropotabile;
- un'area più settentrionale di possibile alimentazione dei soli acquiferi più superficiali.

Il Comune di Montechiarugolo ricade interamente nell'area intermedia.

Ai fini del presente studio risulta di particolare interesse esaminare la circolazione delle acque sotterranee nel Gruppo Acquifero A, il più superficiale.

I corpi geologici che, nel Gruppo Acquifero A, fungono da acquiferi sono costituiti da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi d'origine alluvionale. Essi, come sopra indicato, costituiscono delle Unità Idrostratigrafiche-Sequenziali di rango inferiore idraulicamente separate, almeno per buona parte della loro estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie alle cosiddette Barriere di Permeabilità Regionali.

Tali barriere di permeabilità, estese in senso orizzontale, si presentano, nel territorio in esame, discontinue e di scarsa potenza.

Di conseguenza, il Gruppo Acquifero A si configura un serbatoio idrico monostrato, con livelli di ghiaia e sabbia amalgamati tra di loro, in cui il comportamento idraulico del flusso idrico sotterraneo, contraddistinto da falde a pelo libero, è omogeneo dalla base dell'Unità Idrostratigrafica-Sequenziale fino alla superficie topografica.

Per valutare la dinamica delle acque nel primo acquifero, si è fatto riferimento al monitoraggio effettuato a scala comunale, nel corso degli studi geologici a supporto del

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	13 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

PRG approvato nel 1999, i cui risultati sono riportati sulle due tavole “Carta delle isopieze al maggio 1994” e “Carta della soggiacenza al maggio 1994”.

Le misure rappresentate, se confrontate con altri studi, condotti sia a minore che a maggiore scala, sembrano relative ad un periodo di alto piezometrico.

L'andamento delle isopieze risulta in sostanziale accordo con le caratteristiche generali dell'unità idrogeologica: la direzione del flusso idrico sotterraneo, sempre ortogonale all'andamento delle isopieze, presenta direzione prevalentemente verso nord-norddest.

Il gradiente idraulico si mantiene generalmente su valori medi dell'ordine dello 0,5÷1%.

I rapporti idrici tra i torrenti Parma ed Enza e la falda sembrano essere in apparente equilibrio. Va però segnalato che, nelle zone perfluviali l'influenza dei corsi d'acqua è importante in quanto essi costituiscono un limite a potenziale imposto ai cui livelli si deve sempre ricordare la superficie della falda.

Normalmente, nei periodi di abbassamento e di stazionarietà prolungata delle quote idrometriche, il torrente rappresenta un asse di drenaggio: i livelli freatici sono costantemente ad una quota superiore ai livelli idrometrici, per cui si ha un flusso dalla falda al torrente.

Viceversa, in occasione degli eventi di piena, si assiste all'inversione del flusso: infatti, all'innalzamento dei livelli idrometrici corrispondono, a causa della perdita di carico indotta dalla filtrazione nei depositi permeabili, incrementi dei livelli freatici di ampiezza minore e sfasati nel tempo, in funzione della distanza dal corso d'acqua.

Osservazioni di serie storiche mostrano che la falda presenta un regime piezometrico di tipo unimodale, caratterizzato, normalmente, da un massimo primaverile e un minimo autunnale. Tale regime risulta poco correlabile sia con quelli idrometrici, dei corsi d'acqua che attraversano il territorio in esame, che con quello pluviometrico. Ne consegue che l'alimentazione delle unità idrogeologica captate è da ricondurre principalmente agli apporti idrici forniti dai corpi acquiferi sotterranei dell'Alta Pianura.

Altri elementi da tenere in conto sono le risorgive presenti nell'area in esame, ovvero i punti in cui si verifica una risalienza naturale delle acque di falda.

Tali risorgive sono legate a fattori tettonici e morfologico-sedimentologici, ovvero, la struttura anticlinale sepolta che crea uno sbarramento trasversale alla direzione dei flussi che impone alle acque di transitare a piccola profondità o di tracimare in superficie.

A riguardo, va segnalato che delle risorgive presenti nelle cartografie storiche solo una piccola parte risulta effettivamente attiva: infatti, gli abbassamenti della falda che si sono avuti a partire dagli anni '70 hanno determinato dapprima l'instaurazione di un

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	14 di 38

regime irregolare o effimero, e successivamente la completa scomparsa delle emergenze idriche. Tuttavia occasionalmente, in coincidenza di periodi particolarmente piovosi, la falda può recuperare i livelli precedenti, con innalzamenti di qualche metro e conseguente rimessa in funzione di alcune risorgive.

Un altro aspetto che caratterizza l'idrogeologia del Comune di Montechiarugolo sono le manifestazioni termali nella zona di Monticelli, legate alla particolare situazione geologico strutturale con presenza di una struttura antiforme marina che è sede di acque salse.

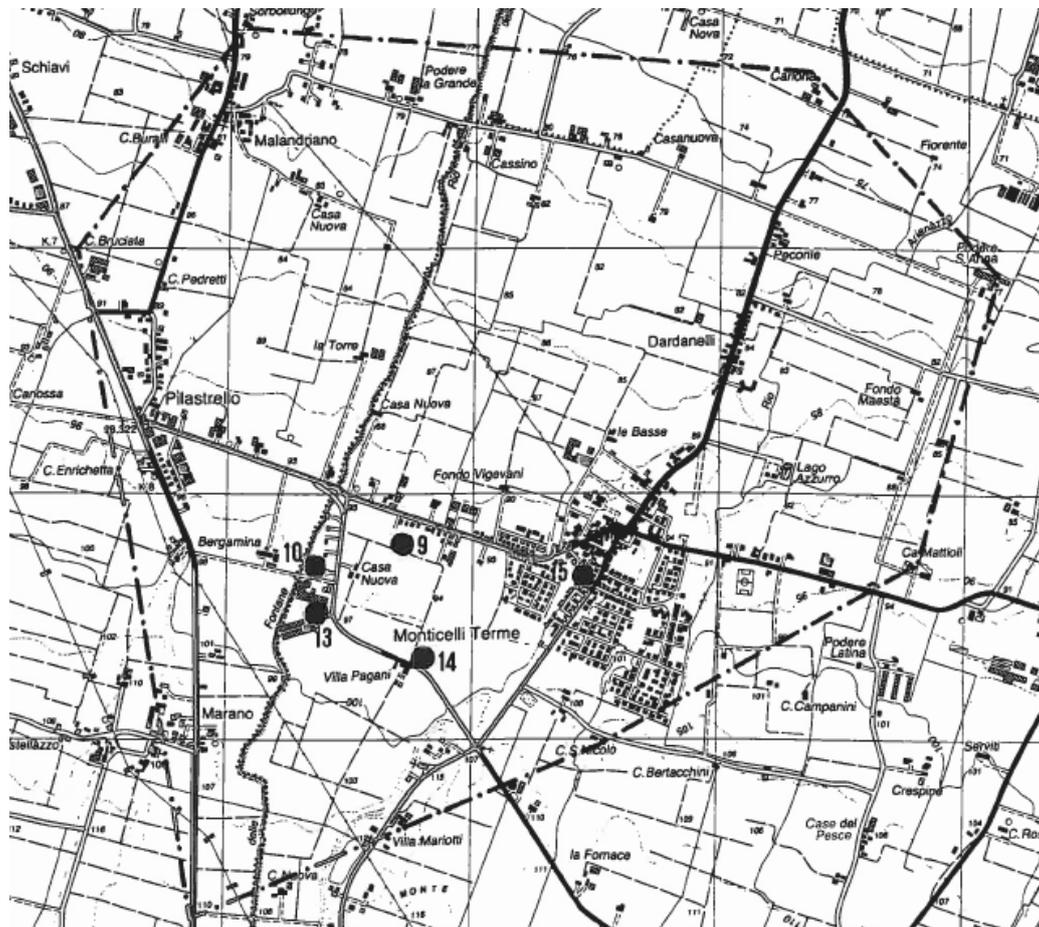


Fig. 4 - Delimitazione del bacino idrominerario di Monticelli

Si tratta di acque salsoiodiche fredde ad elevato contenuto salino, particolarmente ricche in bromo, associate alle quali si rinvencono anche acque sulfuree.

La risalita delle acque avviene lungo vie preferenziali di deflusso determinate dalle faglie che interessano la struttura. Queste ultime tagliando i depositi continentali consentono all'acqua di accumularsi in prossimità della superficie, pur restando sempre al di sotto del complesso idrogeologico delle acque dolci.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	15 di 38

La scoperta delle prime manifestazioni di acque salse nella zona di Monticelli risale ai primi decenni di questo secolo. Allo sfruttamento termale seguì dal 1930 fino al 1953 l'estrazione industriale del bromo e dello iodio tra notevoli difficoltà di ordine burocratico.

Attualmente, il limite della concessione mineraria interessa un'area con una serie di pozzi salsobromoiodici attivi a servizio delle Terme di Monticelli S.p.A.

3. INQUADRAMENTO SISMICO

3.1 Storia sismica del territorio comunale

La storia sismica del comune di Montechiarugolo è stata desunta da "*DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana sopra la soglia del danno*", database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

Essa è riassunta graficamente nel diagramma di Fig. 5, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggior intensità al sito ($I_s > VI$ grado della scala MCS).

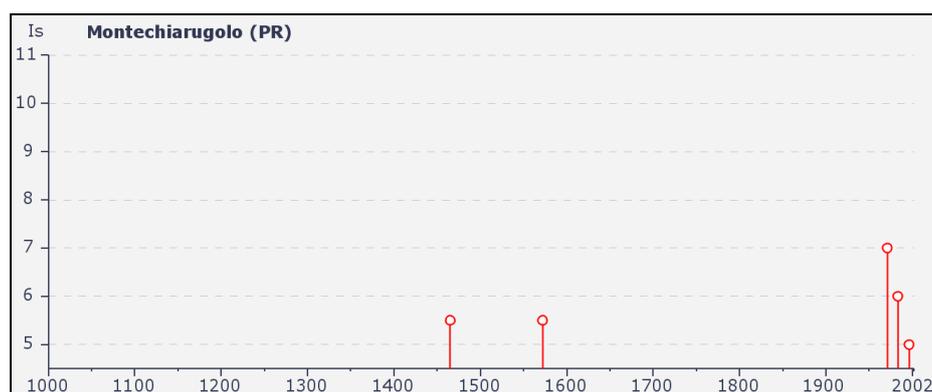


Fig. 5 - Grafico rappresentante la storia sismica del comune di Montechiarugolo

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Intensità di sito	Intensità epicentrale	Magnitudo momento
1465	4	6	VERONA	11	5-6	4.63
1474	3	11	MODENA	12	6	4.89
1572	6	4	PARMA	8	7	5.13
1886	10	15	COLLECCHIO	44	6	4.83
1971	7	15	Parmense	228	7-8	5.61
1983	11	9	Parmense	835	6-7	5.10
1986	12	6	BONDENO	604	6	4.56
1995	8	24	APPENNINO BOLOGNESE	56	6	4.67
1995	10	10	LUNIGIANA	341	7	5.04
1996	10	15	CORREGGIO	135	7	5.44

Tab. 1 - Eventi sismici i cui effetti si sono risentiti nel territorio di Montechiarugolo

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che nessuno tra gli eventi censiti si è manifestato un con epicentro all'interno del comune di Montechiarugolo. Sono state però registrate alcune scosse sismiche sul territorio, delle quali il massimo evento si è verificato il 15 luglio 1971 con un'intensità dell'VIII grado della scala MCS.

L'epicentro è indicato in provincia di Parma. Il terremoto è stato caratterizzato da una magnitudo calcolata sulle onde di superficie (Ms) pari a 5.61.

3.2 Zonizzazione sismogenetica

Nel Rapporto Conclusivo relativo alla Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è contenuta la nuova zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale, denominata ZS9.

Detta zonizzazione si è basata sull'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il particolare, è stato effettuato il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata.

Il territorio nazionale, secondo la zonizzazione ZS9, risulta suddiviso in 36 Macrozone. T

Tra queste il Comune di Montechiarugolo ricade all'interno della Zona Sismogenetica 913 (cfr. Fig. 6).

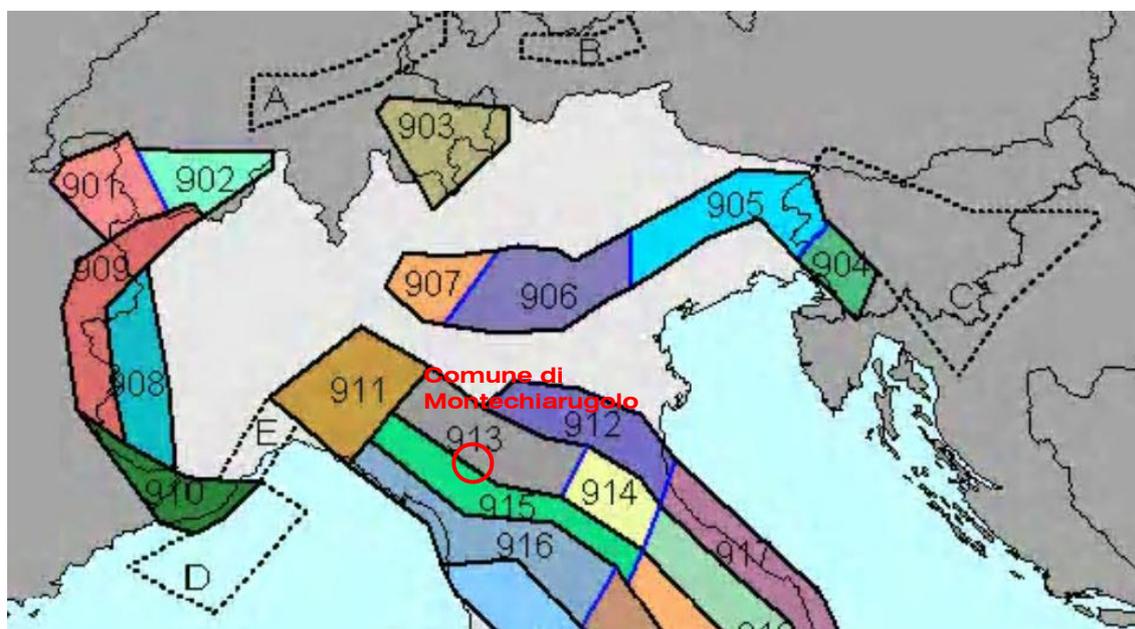


Fig. 6 - Zonizzazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	17 di 38

Nella zona 913 si verificano terremoti originati da movimenti prevalentemente compressivi, a direzione NW, con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

I terremoti storici raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo; la massima magnitudo rilevata è $M_d = 4,8$. Le zone ipocentrali si hanno generalmente a profondità comprese tra 12 e 20 Km, con profondità efficace di 13 km.

Nella Zona Sismogenetica 913, sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori “cautelativi” di massima magnitudo ($M_{wmax2,}$) pari a = 6,14.

3.3 Riferimenti normativi

L’Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale ordinanza, come indicato in Fig. 7, il Comune di Montechiarugolo, che prima risultava “non classificato”, nella sopra citata classificazione è stato identificato in zona 3 (a sismicità medio-bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra $0,05 \cdot g$ e $0,15 \cdot g$ (dove g è l’accelerazione di gravità).

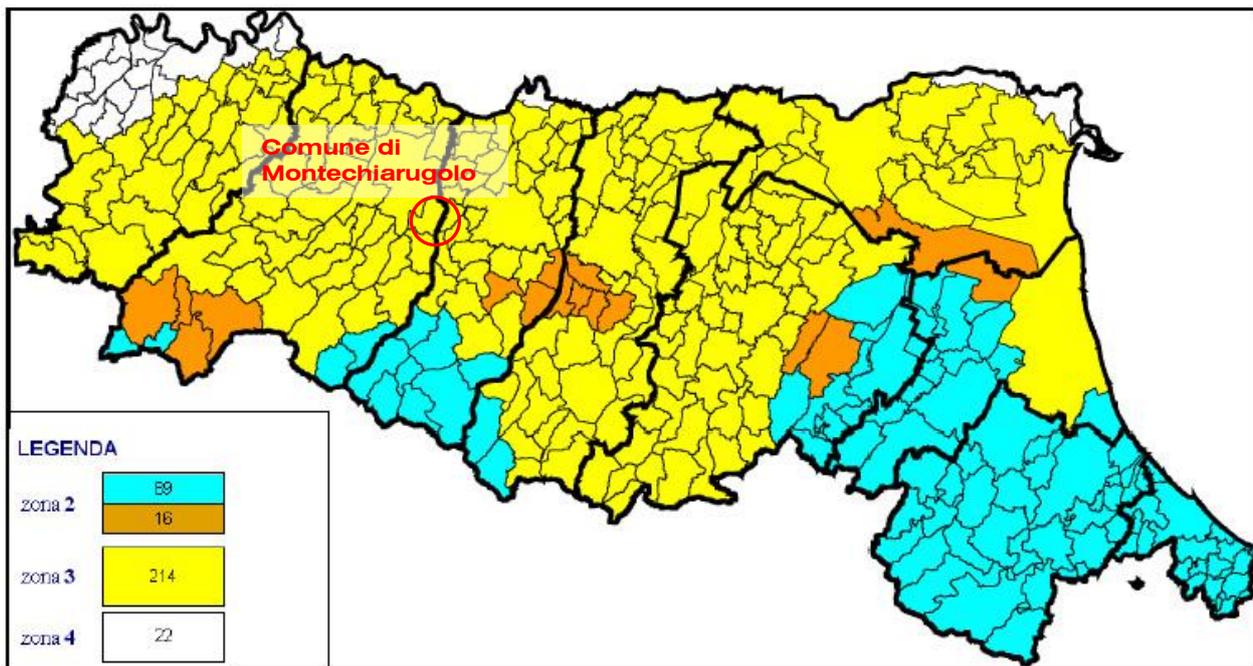


Fig. 7 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Successivamente, con l’Ordinanza n° 3519 del 28 aprile 2006 sono stati approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, riportata nell’allegato 1b dell’Ordinanza stessa e la normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, ovvero, il d.m. 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	18 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Norme Tecniche per le costruzioni”, pubblicato sulla G. U. n. 29 del 4 febbraio 2008, che sostituisce il precedente d.m. 14 settembre 2005.

Alle NTC 2008 è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in quanto l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

In base a quanto disposto nel sopraccitato Allegato A, l'accelerazione sismica massima del terreno (a_g) è definita in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

Se il sito in esame non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, il valore del parametro a_g può essere ricavato come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico in adempimento agli obblighi della normativa nazionale, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 112 del 2 maggio 2007, ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

Scopo di tale documento è quello di fornire i criteri per la individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

In esso si afferma che la componente pericolosità del rischio sismico dipende sia dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (aspetti comunemente indicati come “pericolosità sismica di base”) sia dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (aspetti comunemente indicati come “pericolosità sismica locale”).

Conseguentemente gli studi della pericolosità sismica hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	19 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine ("Analisi della Risposta Sismica Locale", RSL);
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale ("Microzonazione Sismica", MZS).

Detti studi vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

3.4 Studio sismico per la Variante 5 al PSC

Nel corso dello studio per la Variante 5 al PSC di Montechiarugolo, effettuato dal dott. geol. Francesco Cerutti, quale primo livello di approfondimento nell'individuazione delle aree soggette ad effetti locali, è stata redatta, nel rispetto di quanto indicato nell'Allegato A1 dell'atto d'indirizzo tecnico regionale, una Carta delle aree suscettibili di effetti locali, alla scala 1:5.000.

In tale cartografia, sono state evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi.

Quale ambito indagato è stato considerato l'intero territorio comunale.

Allo scopo sono state esaminate dettagliatamente le numerose informazioni esistenti relative alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio di Montechiarugolo.

In particolare, si è fatto riferimento cartografia topografica di dettaglio (CTR 1:5.000), a quelle geologica e geotematica di pianura, reperibili presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e presso l'Archivio Cartografico regionale, alla banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna e ai risultati di indagini geognostiche, geofisiche e

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	20 di 38

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

geotecniche reperite grazie ad un'attività di ricerca presso l'archivio l'Ufficio Tecnico Comunale. Inoltre si sono utilizzati i risultati dell'indagine geognostica e sismica effettuata per lo stesso studio nel luglio 2010.

Gli studi effettuati hanno subito evidenziato che, in Comune di Montechiarugolo, le uniche caratteristiche fisiche che possono determinare effetti locali sono quelle stratigrafiche del sottosuolo: ovunque, sono, infatti, presenti depositi alluvionali che possono determinare amplificazione sismica.

L'analisi della superficie topografica ha, invece, consentito di escludere la presenza di effetti locali legati ad elementi morfologici, in quanto i pendii con inclinazione media superiore a 15° (scarpate che delimitano i terrazzi) presentano sempre dislivelli di quota inferiori a 30 m. Inoltre, non sono presenti aree instabili.

Alla luce di quanto emerso, al fine di cercare di zonizzare le caratteristiche sismiche del territorio, sono state prese in esame criticamente le singole verticali stratigrafiche disponibili (fino alla profondità di 30), correlandole tra loro, anche in considerazione dell'unità di appartenenza e tenendo presente i risultati delle prove sismiche e geotecniche effettuate.

Purtroppo, pur avendo a disposizione una grande quantità di dati, si è dovuto prendere atto della grande variabilità litologica che contraddistingue il sottosuolo in esame: la presenza di tessiture grossolane (ghiaiose) è certamente dominante ma esse risultano frequentemente e irregolarmente alternate a lenti di depositi più fini (limi e argille), fatto che rende molto problematico definire una "stratigrafia tipo" valida per una determinata area.

In conclusione nella Carta delle aree suscettibili di effetti locali è stato possibile distinguere solo le seguenti due classi:

Area a basso rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche

Corrisponde al settore di territorio in cui, nei primi 30 m, sono presenti, in gran prevalenza, depositi ghiaiosi, solo localmente interrotti da sedimenti più fini.

Con riferimento alle categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ($V_{s,30}$), definite dal D.M. del 14 gennaio 2008, essi appartengono presumibilmente alla *categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Interessa solo una limitate porzioni del Comune di Montechiarugolo: l'estremità sud-orientale, un ridotto appezzamento nel settore centrale del Comune in adiacenza al

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	21 di 38

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

torrente Enza e, con ampiezza variabile, tutta la fascia, lungo il torrente Parma, lungo il confine occidentale.

Area a rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche da basso a moderato

Occupava tutta la restante parte del territorio comunale in cui, nei primi 30 m, si registra una forte variabilità litologica pur con dominanza di depositi ghiaiosi.

Con riferimento alle categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ($V_{s,30}$), definite dal D.M. del 14 gennaio 2008, essi appartengono presumibilmente ad una delle seguenti 2 categorie:

- *categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)*
- *categoria C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*

Entrambe le classi sopra descritte, come stabilisce l'Atto di indirizzo regionale, corrispondono ad aree che necessitano di una seconda fase di approfondimento tramite analisi semplificata (secondo livello di approfondimento).

Per tale motivo, sono state rappresentate con colore giallo: più intenso l'"Area a rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche da basso a moderato", più tenue, l'"Area a basso rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche".

4. RACCOLTA DATI E CARTE DELLE INDAGINI

La prima fase del presente studio è stata contraddistinta dall'acquisizione di ulteriori dati pregressi.

Allo scopo è stato effettuata, presso l'Ufficio Tecnico Comunale, una scrupolosa ricerca d'archivio, consultando tutti gli studi geologici allegati alle pratiche edilizie istruite tra il 2008 e il 2011.

Complessivamente sono state visionate 52 relazioni e raccolti i risultati delle seguenti indagini geognostiche:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	22 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- 5 sondaggi a carotaggio continuo
- 80 saggi con escavatore
- 160 prove penetrometriche (tra CPT, SCPT, DPC e DPSH)

e delle seguenti indagini sismiche:

- 18 MASW
- 9 ReMi
- 20 prove tomografiche

Come anticipato nelle premesse, tutti i nuovi dati raccolti sono stati inseriti in un file mdb *Access*, mentre le scansioni delle prove sono state raccolte in file pdf (uno per ogni studio consultato).

La loro ubicazione, unitamente a quella delle prove già contenute nel *data-base* fornito da Servizio Geologico Regionale e a quella delle prove tomografiche eseguite per il presente studio e descritta nel successivo capitolo 6, è stata rappresentata, alla scala 1:5.000, nelle Carte delle indagini.

In tali elaborati la legenda è stata articolata in modo da distinguere le prove in base alla provenienza, appunto:

- Archivio prove geognostiche Comune di Montechiarugolo
- Archivio prove geognostiche Regione Emilia-Romagna
- Nuove prove tomografiche

e alla tipologia:

- affioramento naturale o scavo
- carotaggio continuo
- perforazione AGIP
- pozzo per acqua
- sondaggio a distruzione
- prova penetrometrica statica
- prova penetrometrica dinamica
- sondaggio elettrico verticale
- prova MASW
- prova ReMi
- prova sismica a rifrazione
- prova tomografica

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	23 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

5. MODELLO GEOLOGICO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici descritti nel capitolo precedente oltre ai differenti livelli informativi, forniti come *shapefile* dal Servizio Geologico Regionale.

Sulla base delle informazioni geologiche e morfologiche disponibili sono state predisposte, per le differenti porzioni di territorio comunale prese in esame, delle Carte lito-morfologiche alla scala 1:5.000.

In questa cartografia sono stati rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie, determinando effetti locali.

In particolare, in accordo con i riferimenti tecnici ai quali si è ispirati, sono state distinte, innanzitutto, le unità geologiche affioranti, già descritte nel paragrafo 2.1, ovvero:

- Subsistema di Ravenna
 - Unità di Modena
- Subsistema di Villa Verucchio
 - Unità di Niviano
 - Unità di Vignola
- Subsistema di Agazzano

Quindi, è stata proposta una zonazione della litologia di superficie, con raffigurazione delle seguenti classi:

- argilla
- limo
- limo sabbioso
- ghiaia

Infine, sono stati raffigurati i principali elementi geomorfologici:

- orlo di terrazzo fluviale
- paleoalveo

e strutturali:

- faglia profonda indeterminata
- sovrascorrimento profondo
- asse di anticlinale

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	24 di 38

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale vengono proposte anche delle sezioni geologiche orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente ai principali elementi strutturali.

A riguardo si è ritenuto indispensabile avvalersi della preziosa collaborazione e della grande disponibilità di un esperto di stratigrafia della Pianura Emiliana, quale il dott. geol. Paolo Severi del Servizio Geologico Regionale, che, oltre a contribuire nella ricerca di sezioni pregresse (pubblicate e non) si è prestato, insieme alla dott.ssa Venusia Ferrari, per disegnarne delle nuove, appositamente per il presente studio.

Per maggiore chiarezza, di seguito, vengono elencate le fonti delle singole sezioni proposte nelle relative tavole:

- Elaborato 3.a: Sezioni geologiche - Monticelli Terme
 - Sezione A-A': da sezione n 31 scaricata dal Sito del Servizio Geologico Regionale
 - Sezione B-B': da sezione non pubblicata A-A' fornita dal dott. Paolo Severi
- Elaborato 3.b: Sezioni geologiche - Basilicogiano
 - Sezione C-C': da bozza di sezione redatta dai dott. Paolo Severi e Venusia Ferrari
 - Sezione D-D': da sezione n 134 scaricata dal Sito del Servizio Geologico Regionale
- Elaborato 3.c: Sezioni geologiche - Montechiarugolo
 - Sezione E-E': da bozza di sezione redatta dai dott. Paolo Severi e Venusia Ferrari
 - Sezione F-F': da sezione n 133 scaricata dal Sito del Servizio Geologico Regionale
- Elaborato 3.d: Sezioni geologiche - Tortiano
 - Sezione G-G': da bozza di sezione redatta dai dott. Paolo Severi e Venusia Ferrari
 - Sezione H-H': da sezione n 133 scaricata dal Sito del Servizio Geologico Regionale
- Elaborato 3.e: Sezioni geologiche - Basilicanova e Piazza
 - Sezione I-I': da bozza di sezione redatta dai dott. Paolo Severi e Venusia Ferrari
 - Sezione L-L': da sezione non pubblicata A-A' fornita dal dott. geol. Paolo Severi

Nel ridisegnare le sezioni sopraelencate, quando si sono riscontrate delle incongruenze, in corrispondenza delle intersezioni, si è assunta come corretta la ricostruzione stratigrafica più recente.

Esaminando gli elaborati prodotti, va subito evidenziata la grande difficoltà che sussiste, in un territorio quale quello del Comune di Montechiarugolo, nel definire delle successioni stratigrafiche tipo e nell'ipotizzare quale orizzonte possa rappresentare il substrato rigido.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	25 di 38

Nel primo sottosuolo sono, infatti, presenti depositi del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore che in zona pedemontana possono presentare tessiture molto differenti (dalle argille alle ghiaie) e con una grande variabilità sia in senso orizzontale che verticale.

A maggiori profondità, passando al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, si riscontra una generale diminuzione delle dimensioni granulometriche dei sedimenti, in quanto dominano i limi e i limi argillosi; tuttavia, sono presenti intercalazioni ghiaiose le quali, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali possono diventare predominanti.

Ancora più in basso, si rinvia il Sintema di Costamezzana costituito grossolanamente da 3 associazioni di *facies*, sovrapposte ciclicamente e giustapposte, che individuano, nel complesso, un prisma sedimentario costiero con tendenza regressiva e progradante verso nord, nord-ovest:

1. sabbie e ghiaie argillose in strati spessi, frequentemente gradati e amalgamati, con intercalati livelli argillosi sottili, discontinui, biancastri, sterili, alternate a banconi argilloso-limosi con livelli ricchi in resti vegetali lignitizzati: depositi prossimali di delta-conoide;
2. sabbie medio-fini in strati sottili e medi con laminazione piano-parallela oppure di tipo *hummocky*, intercalate a limi argillosi verdi, debolmente bioturbati, contenenti talora macrofaune oligotipiche: depositi lagunari.
3. sabbie, sabbie ghiaiose e subordinatamente ghiaie ciottolose in strati massivi o con una gradazione diretta poco sviluppata e comunque sovente mascherata dalle frequenti amalgamazioni tra strati successivi che possono inglobare clasti pelitici di dimensioni anche metriche. Frequenti anche la stratificazione obliqua a grande scala e le laminazioni trattive. La matrice delle ghiaie è costituita sempre da sabbia medio grossolana: depositi di delta-conoide ad alta energia fluviale e marina.

Alla base del Sintema di Costamezzana, il passaggio al substrato marino normalmente coincide con la presenza dell'Unità delle Argille Azzurre, ovvero di peliti marnose, grigio-azzurre massive a frattura concoide, in genere a stratificazione poco evidente, con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore.

Bisogna, inoltre, considerare che il quadro geologico è complicato dall'attività tettonica recente, particolarmente attiva in questa zona, che ha comportato la deformazione e parziale erosione delle unità sopradescritte.

Ad esempio, si osserva che lo spessore dei sedimenti di origine continentale (ovvero il dislivello tra l'attuale piano campagna e la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore) è elevato (oltre i 100 m) alle estremità meridionale e settentrionale del Comune,

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	26 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

mentre si riduce a poche decine di metri in corrispondenza dell'asse dell'anticlinale, posto all'incirca lungo l'allineamento Monticelli-Basilicagoiano-Montechiarugolo.

Certamente, più si va in profondità più si rinvergono depositi addensati con relativo aumento delle Vs; tuttavia, è evidente che i profili di Vs, in ciascuna verticale, risentono fortemente anche del tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre ad una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

Le indagini, normalmente, consentono di individuare la prima superficie di discontinuità, dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul livello granulare più superficiale; quanto alle discontinuità più profonde, si hanno informazioni molto meno attendibili.

Inoltre, trattandosi sempre di terreni sciolti risulta complicato associare delle velocità delle onde di taglio ai vari orizzonti, soprattutto a quelli posti alle profondità maggiori.

In un tale contesto il *bedrock* potrebbe coincidere con il substrato dei depositi continentali costituito dai sedimenti costieri e lagunari, riferibili al Sintema di Costamezzana, ma potrebbe essere anche costituito da uno dei potenti livelli ghiaiosi, raffigurati nelle sezioni geologiche all'interno del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore o inferiore.

Alla luce di queste valutazioni, nel presente studio la profondità del substrato sismico è sempre stata assunta prudenzialmente inferiore a 100 m, limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e un profilo stratigrafico tipo PIANURA 2.

6. CAMPAGNA D'INDAGINI

Come anticipato nelle premesse il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

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

Le prove sono state condotte utilizzando di un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 14 minuti).

Sono state eseguite complessivamente 51 prove, ubicate tenendo in considerazione sia le aree da indagare che gli altri dati già disponibili.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	27 di 38

Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).

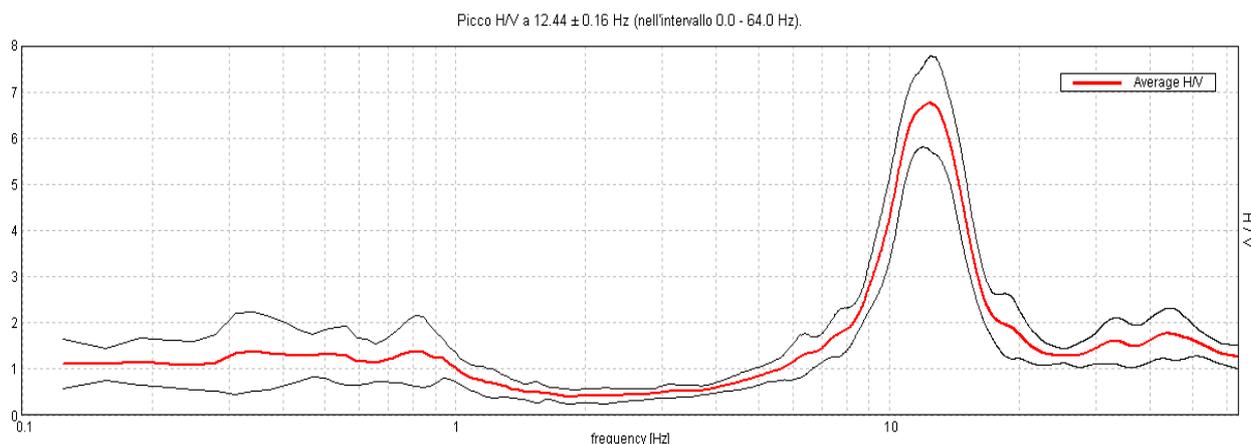


Fig. 8 - Esempio di rapporto spettrale orizzontale su verticale

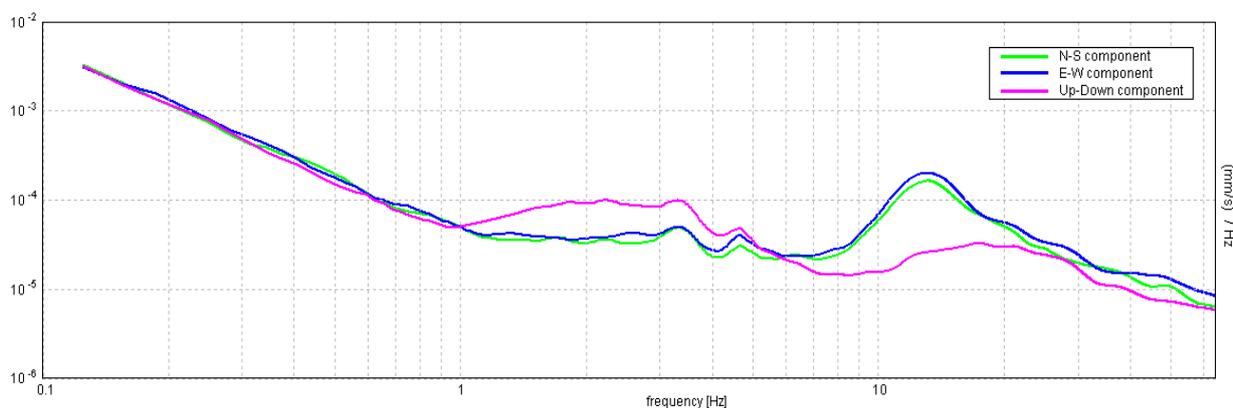


Fig. 9 - Esempio di spettro delle singole componenti

I risultati ottenuti per ciascuna prova, riportati nell' *Elaborato 8 - Prove tomografiche*, sono:

1. *La curva H/V sperimentale vs. la curva H/V sintetica*
2. *La velocità media delle onde di taglio Vs*

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	28 di 38

La relazione seguente lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S (V_s) e alla profondità della base dello strato (H):

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

Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V , modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata, per poi ricavare la V_s media per ogni singolo strato.

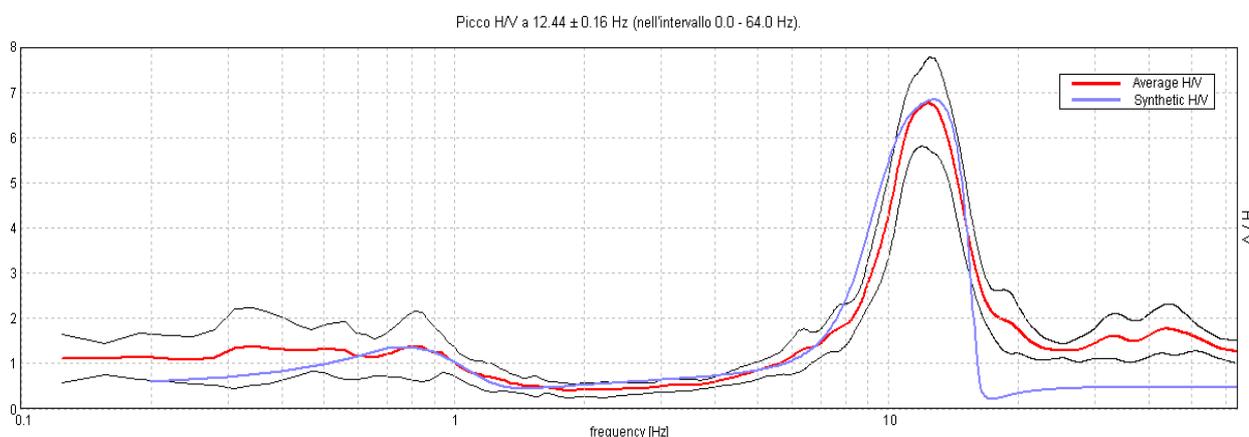


Fig. 10 - Esempio di curva H/V sperimentale vs. curva H/V sintetica

Sulla base di tali elaborazioni viene ottenuta la curva della V_s con la profondità.

7. CARTE DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

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

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (71), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo.

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	29 di 38

- $F_0 \leq 0,5$ Hz
- $0,5 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 3$ Hz
- $3 \text{ Hz} < F_0 \leq 5$ Hz
- $5 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ($H/V > 3$) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza $H/V \leq 3$).

Con l'obbiettivo di fornire un'indicazione immediata circa la qualità della singola misura è stata ad essa associata anche la lettera che indica a quale classe di qualità appartenga, applicando il metodo proposto da *Albarello D. e Castellaro S. (2011)* nell'articolo "*Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*", ovvero:

- classe A: curva H/V affidabile ed interpretabile, che può essere usata anche da sola;
- classe B: curva H/V sospetta (da interpretare), va usata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze;
- classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione, che non può essere usata.

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche con indicazione degli stessi dati.

Prova	Attendibilità	Frequenza principale	Ampiezza H/V	Frequenza secondaria
MNT16TR1	B	18.00	2.90	0.75
MNT21TR1	B	32.00	2.80	14.00
MNT25TR1	B	30.00	1.80	22.00
MNT26TR1	B	18.00	5.50	18.00
MNT27TR1	B	30.00	1.50	1.00
MNT28TR1	B	17.00	2.90	1.00
MNT38TR1	C	1.00	1.50	0.00
MNT40TR1	B	34.00	2.60	0.90
MNT49TR5	B	30.00	1.40	0.80
MNT49TR6	B	17.00	2.20	1.00
MNT49TR4	B	20.00	5.00	0.90
MNT49TR7	B	19.00	1.40	8.00
MNT49TR10	B	15.00	3.50	3.50
MNT49TR9	B	21.00	2.60	0.80
MNT49TR1	B	14.00	2.70	4.00
MNT49TR2	B	10.00	3.20	10.00
MNT49TR3	B	25.00	2.40	17.00

Prova	Attendibilità	Frequenza principale	Ampiezza H/V	Frequenza secondaria
MNT49TR8	B	20.00	2.40	0.60
MNT50TR1	A	29.00	5.10	1.20
MNT52TR1	B	15.00	1.70	0.70
MNT100TR45	A	24.31	2.10	0.95
MNT100TR44	A	23.51	3.20	0.93
MNT100TR43	B	23.30	1.30	0.81
MNT100TR41	B	20.00	1.30	0.70
MNT100TR40	B	22.37	1.20	4.06
MNT100TR42	B	28.20	2.00	13.75
MNT100TR39	B	23.78	2.20	0.96
MNT100TR36	B	21.17	2.80	0.91
MNT100TR37	A	18.85	2.00	0.73
MNT100TR38	B	34.00	2.05	1.00
MNT100TR35	B	18.95	1.50	0.50
MNT100TR34	B	22.05	2.10	0.97
MNT100TR33	B	22.13	2.90	1.04
MNT100TR32	A	25.69	4.20	0.71
MNT100TR25	A	33.50	2.40	1.00
MNT100TR26	B	27.30	3.20	1.46
MNT100TR27	A	25.98	3.90	1.06
MNT100TR28	A	24.85	3.40	1.00
MNT100TR29	A	19.48	2.80	1.20
MNT100TR31	B	23.50	3.20	0.95
MNT100TR30	A	21.76	2.10	1.00
MNT100TR13	B	12.17	3.30	1.30
MNT100TR14	B	22.13	2.10	8.00
MNT100TR22	B	27.15	2.20	11.58
MNT100TR21	B	30.05	3.10	14.00
MNT100TR20	A	18.33	4.00	0.90
MNT100TR23	B	20.93	2.90	4.28
MNT100TR24	B	27.76	3.50	4.00
MNT100TR18	B	22.62	2.50	4.83
MNT100TR16	A	18.85	3.30	3.98
MNT100TR17	A	35.41	3.10	1.80
MNT100TR15	B	16.97	2.00	0.80
MNT100TR19	B	22.20	2.10	0.63
MNT100TR9	B	11.33	2.20	0.80
MNT100TR10	B	15.55	2.00	1.00
MNT100TR8	B	12.50	3.60	0.80
MNT100TR12	A	20.48	2.80	0.78
MNT100TR11	B	16.16	2.10	0.93
MNT100TR7	A	12.31	6.50	0.83
MNT100TR1	B	9.40	2.30	0.70
MNT100TR2	B	36.40	3.20	5.63
MNT100TR3	B	5.94	5.20	11.92
MNT100TR4	B	10.48	2.90	5.08
MNT100TR5	B	14.37	3.50	7.68
MNT100TR6	B	14.94	4.10	6.48

Prova	Attendibilità	Frequenza principale	Ampiezza H/V	Frequenza secondaria
MNT100TR46	B	13.66	3.00	4.00
MNT100TR47	A	44.00	1.70	1.00
MNT100TR48	A	32.00	1.80	1.15
MNT100TR49	A	26.40	2.50	0.97
MNT100TR50	A	31.00	1.70	0.93
MNT100TR51	B	31.00	2.90	0.96

Tab. 2 - Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche

In Fig. 11 viene, invece, proposto un diagramma che rappresenta la distribuzione delle frequenze principali.

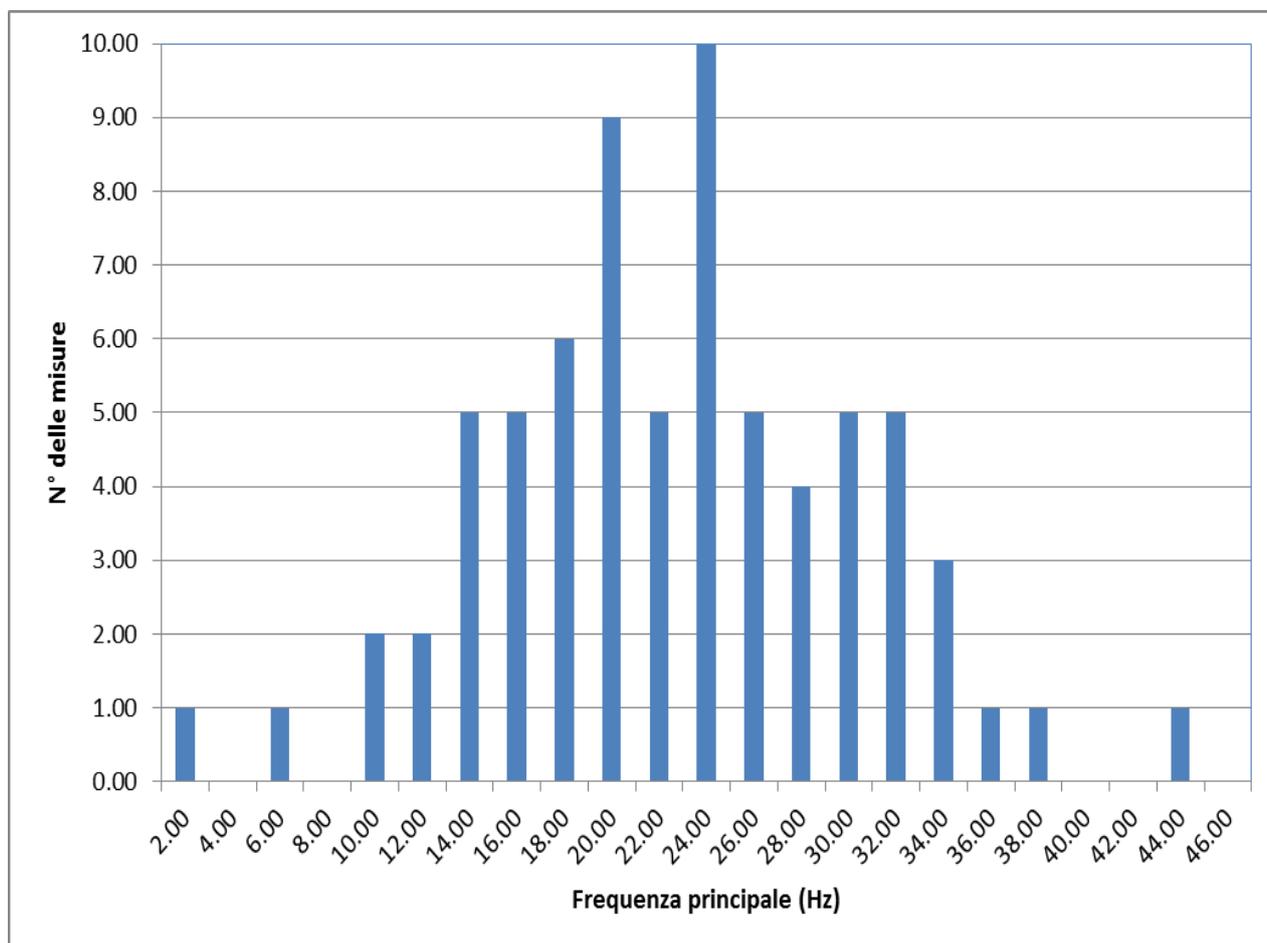


Fig. 11 - Distribuzione delle frequenze principali

Esaminando tale figura, ma anche Tab. 2 e le cartografie che affrontano questo tematismo, si osserva come le analisi tromografiche effettuate in Comune di Montechiarugolo, presentino, quasi sempre, un picco a frequenza elevata. Infatti, delle 71 prove considerate solo 2 hanno frequenza principale minore di 8 Hz: la MNT38TR1, che, alla fine, non è stata considerata perché in classe di affidabilità C (vedi sotto) e la MNT100TR3 che, comunque, ha una frequenza principale pari a 5.94 Hz.

Il contrasto d'impedenza è mediamente alto. Infatti, si hanno:

- 13 casi con ampiezza $1.2 \leq H/V < 2$
- 34 casi con ampiezza $2 \leq H/V \leq 3$
- 24 casi con ampiezza $3 < H/V$

Questi picchi sono dovuti a superfici di discontinuità aventi bassa soggiacenza da piano campagna (dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul primo orizzonte di ghiaie) e presentano, con ogni probabilità, frequenze differenti da quelle proprie degli edifici che dovranno essere realizzati in zona.

Nelle frequenze secondarie troviamo, sempre, una certa variabilità, anche se frequentemente presentano valori prossimi ad 1 Hz, associabili a fenomeni di risonanza che coinvolgono uno spessore di terreno nell'ordine dei 100 m.

Bisogna segnalare che nessuna prova ha dato come risultato uno spettro con assenza di picchi.

Inoltre, andando ad esaminare i singoli spettri emerge un altro aspetto che non può essere trascurato: normalmente, nel tratto tra la frequenza principale e quella secondaria è presente una prolungata inversione del rapporto H/V, che potrebbe mascherare le superfici di discontinuità che si potrebbero rinvenire alle profondità intermedie (vedi alternanze stratigrafiche descritte nel capitolo 5).

Tali risultati sono giustificati dalla conformazione geologica del territorio indagato, descritta nel capitolo 5: l'unica superficie di discontinuità che si individua chiaramente è quella più superficiale, posta a pochi metri da piano campagna, dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul primo orizzonte di ghiaie. Più in profondità, si osservano, quasi sempre, inversioni di velocità, che tendono a mascherare i contrasti d'impedenza sottostanti.

Quanto all'affidabilità delle prove è risultata essere discreta: infatti, a parte la prova MNT38TR1 già citata, o sono state classificate in Classe A o risultano in Classe B ma coerenti con altre misure ottenute nelle vicinanze.

8. CARTE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

La Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

In questa cartografia devono essere chiaramente indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	33 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Come anticipato nel paragrafo 3.4, in Comune di Montechiarugolo, era già stata redatta una Carta delle aree suscettibili di effetti locali, in occasione dello studio sismico per la Variante 5 al P.S.C.

Tale elaborato è stato verificato alla luce dei nuovi dati disponibili ed è servito come base per disegnare le tavole allegate alla presente relazione.

Sostanzialmente le considerazioni che si possono fare, a seguito della lettura di queste nuove cartografie, sono le stesse già precedentemente proposte, ovvero:

- in tutto il territorio indagato, le uniche caratteristiche fisiche che determinano effetti locali sono quelle stratigrafiche del sottosuolo: infatti, sono sempre presenti depositi che possono determinare amplificazione sismica;
- in base alla successione stratigrafica, è possibile distinguere solo 2 tipologie di aree: area a basso rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche, corrispondente al settore di territorio in cui, nei primi 30 m, sono presenti, in gran prevalenza, depositi ghiaiosi, solo localmente interrotti da sedimenti più fini (presumibilmente associabile alla categoria sismica di terreni d'imposta B e che interessa solo limitate porzioni del Comune, al centro del settore meridionale e in adiacenza ai torrenti Enza e Parma) e area a rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche da basso a moderato che occupa tutta la restante parte del territorio in esame e dove, nei primi 30 m, si registra una forte variabilità litologica pur con dominanza di depositi ghiaiosi (queste aree possono presumibilmente appartenere alla categoria sismica B come alla categoria sismica C)
- Entrambe le classi descritte al punto precedente corrispondono ad aree che necessitano di una seconda fase di approfondimento tramite analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) e, quindi, sono state rappresentate con colore giallo: più intenso l' "Area a rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche da basso a moderato", più tenue, l' "Area a basso rischio di amplificazione per caratteristiche litologiche".

Nelle Carte delle aree suscettibili di effetti locali vengono riproposti anche alcuni tematismi già rappresentati nelle altre tavole, quali

- le indagini geognostiche e sismiche
- gli elementi strutturali
- la litologia di superficie

Inoltre, vengono proposti degli stralci a scala minore (1:10.000) con raffigurazione delle curve che indicano la profondità del tetto delle ghiaie e la profondità del tetto del Pliocene.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	34 di 38

9. CARTE DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S

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

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica, MASW o ReMi) e indicando il corrispondente valore di V_{s30} (in m/s).

A riguardo, va chiarito che, in nessuna delle misure effettuate, la profondità del substrato sismico (H) è risultata essere inferiore a 30 m (caso in cui si sarebbe dovuto considerare V_{sH} al posto di V_{s30}).

In accordo con quanto indicato nel capitolo precedente, dalla lettura delle Carte delle velocità delle onde di taglio S, si osserva che i valori di V_{s30} misurati sono compresi tra un minimo di 188 m/s e un massimo di 680 m/s.

Dunque viene confermata l'appartenenza a una delle due categorie sotto descritte:

- *categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)*
- *categoria C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*

Confrontando i dati risultati relativi a prove di tipo differente realizzate in uno stesso contesto territoriale, si ha l'impressione che le prove tromografiche siano un po' più cautelative, sia delle MASW che delle ReMi, nel definire la velocità delle onde di taglio S.

10. CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Gli ultimi elaborati in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione. In esse viene raffigurata la stima dell'amplificazione effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi. Dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	35 di 38

l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato rigido che, in Comune di Montechiarugolo, per i motivi indicati nel capitolo 5 è sempre stata assunta inferiore a 100 m, limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e un profilo stratigrafico tipo PIANURA 2.

Quindi, i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento sono stati ottenuti impiegando la tabella riportata in

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

semplificata, accorpendo le classi, come di seguito descritto:

1. per $V_{s30} < 300$ m/s
 - F.A. P.G.A. = 1.7
 - F.A. Intensità spettrale $0.1s < T_0 < 0.5s$ = 1.9
 - F.A. Intensità spettrale $0.5s < T_0 < 1.0s$ = 2.6
2. per 300 m/s $\leq V_{s30} < 450$ m/s
 - F.A. P.G.A. = 1.6
 - F.A. Intensità spettrale $0.1s < T_0 < 0.5s$ = 1.8
 - F.A. Intensità spettrale $0.5s < T_0 < 1.0s$ = 2.4

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

3. per $450 \text{ m/s} \leq V_{s30}$

- F.A. P.G.A. = 1.5
- F.A. Intensità spettrale $0.1\text{s} < T_0 < 0.5\text{s} = 1.6$
- F.A. Intensità spettrale $0.5\text{s} < T_0 < 1.0\text{s} = 1.7$

La redazione degli elaborati grafici è stata effettuata attribuendo, innanzitutto, la classe corrispondente al punto d'indagine; quindi, si è passati alla zonazione del territorio, disegnando i limiti esclusivamente con un criterio geometrico, collegando i punti medi tra le prove appartenenti a classi differenti, in quanto non è stato possibile trovare degli elementi o delle caratteristiche geologiche tali da giustificare la variabilità riscontrata.

In conclusione si è visto che:

- Monticelli Terme è in classe 1 e 2
- Basilicogiano ricade, per lo più, nelle classi 2 e 3; mentre la classe 1 riguarda solo l'estremità nord-occidentale dell'abitato
- Montechiarugolo risulta interamente in classe 3
- Tortiano ricade nelle classi 1 e 2
- Basilicanova è in classe 2 e 3
- a Piazza troviamo tutte 1 le classi

11. INDICAZIONI PER I SUCCESSIVI APPROFONDIMENTI

Il presente studio presenta carattere sperimentale, trattandosi di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e negli indirizzi regionali.

Ne consegue che le indicazioni per i successivi approfondimenti, espressamente previste dalla delibera regionale, non possono che presentare due diversi approcci: uno di carattere scientifico, e uno rivolto alla successiva pianificazione comunale.

Dal punto di vista scientifico si evidenzia quanto segue:

- la considerevole variabilità litologica (costituita da fitte alternanze sia laterali che verticali di ghiaie e depositi fini) si riflette sulla variabilità dei risultati delle indagini, rendendo complessa, e talora poco significativa, la correlazione spaziale dei dati.
- le analisi tomografiche, presentano spesso un picco a frequenza elevata (tipicamente compresa tra 14 e 32 Hz), con rapporto di amplificazione H/V spesso superiore a 3. A frequenze inferiori, tipicamente fino a circa 1.0-1.5 Hz, è presente una prolungata inversione del rapporto H/V. E' solo a frequenze ancora inferiori che è possibile individuare altri picchi a frequenza

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	37 di 38

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI MONTECHIARUGOLO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

minore. Considerazioni stratigrafiche farebbero invece supporre che siano presenti altri picchi in posizioni intermedie.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte si ritiene opportuno che successivi approfondimenti possano consentire di valutare l'effettiva presenza di ulteriori superfici a rapporto di impedenza elevato e di definirne il ruolo nella RSL.

Tali indagini inoltre potrebbero contribuire a fare chiarezza sull'effettiva posizione del substrato rigido, per il quale, come detto (cfr. capitolo 5) non è affatto chiaro se geologicamente sia da attribuire al Sintema di Costamezzana o a uno dei potenti livelli ghiaiosi più superficiali.

Per quanto riguarda gli effetti sulla pianificazione comunale, si evidenzia che, vista la variabilità spaziale riscontrata, nelle fasi successive, gli studi di carattere sismico dovranno integrare le indagini per le aree di competenza, raffittendo la maglia esistente.

In ogni caso, considerato l'effettivo grado di pericolosità sismica locale, si è valutato che nessuno degli ambiti di nuovo insediamento debba essere subordinato allo svolgimento di indagini di terzo livello, fatto salvo che non sia prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Quanto appena affermato, ovviamente, non vuol dire che non debbano essere effettuate le indagini e dagli studi integrativi richiesti dalla normativa vigente, per i successivi livelli pianificatori, oltre che per la progettazione e la realizzazione delle opere.

Inoltre, considerato che i valori riportati nelle singole schede risultano cautelativi e portano, quasi certamente, ad una sovrastima del rischio sismico possono essere sostituiti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale ottenuti con le procedure previste dal terzo livello di approfondimento.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Febbraio 2012	0	38 di 38