
Comune di MONTICELLI BRUSATI
Provincia di BRESCIA



**PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO:
STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO**

Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12
D.G.R. n. 2616/2011

RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE

Ottobre 2012

dott. Marco Daguati
GEOLOGO

via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)
tel e fax 0377.433021 – portatile 335.6785021
e-mail: marco.daguati@geolambda.it

SOMMARIO

OBIETTIVI e METODO DI STUDIO	3
INQUADRAMENTO GEOLOGICO e STRUTTURALE	4
CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE	12
INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA	18
Caratterizzazione litologica	18
RETICOLATO IDROGRAFICO	21
IDROGEOLOGIA	23
Caratteristiche idrogeologiche generali	23
Caratterizzazione idrogeologica delle unità pre-quadernarie	23
Le unità idrogeologiche quadernarie	25
Le principali manifestazioni idrogeologiche	27
PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	28
Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Monticelli Brusati	28
Descrizione della sismicità	33
Pericolosità sismica	39
Valutazione degli effetti sismici di sito: analisi sismica di secondo livello	44
CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI	52
CARTA DI SINTESI	53
CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL PAI	56
ALLEGATO 1: Trincee esplorative	58
ALLEGATO 2: Stratigrafie dei pozzi acquedottistici	62
ALLEGATO 3: Valutazione degli effetti sismici di sito – Indagini geofisiche con la metodologia MASW	65

TAVOLE ALLEGATE

- **Tavola 1:** Carta geologica
- **Tavola 2:** Carta geomorfologica
- **Tavola 3:** Carta di prima caratterizzazione litotecnica
- **Tavola 4:** Carta del reticolo idrico
- **Tavola 5:** Carta idrogeologica
- **Tavola 6:** Carta degli scenari di pericolosità sismica locale
- **Tavola 7:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 8:** Carta di sintesi
- **Tavola 9:** Carta del dissesto con legenda uniformata al PAI
- **Tavola 10:** Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (scala 1:5.000)

OBIETTIVI e METODO DI STUDIO

Nella stesura del proprio Piano di Governo del Territorio, il Comune di Monticelli Brusati ha affidato allo scrivente l'incarico di redigere lo studio geologico, idrogeologico e sismico ai sensi dell'art. 57 della L.R. 12/05 e della D.G.R. n. 8/7374/2008 (successivamente sostituita dalla D.G.R. 9/2616/2011).

Secondo quanto previsto dalla disciplina regionale, lo studio è stato articolato in tre fasi:

- La prima fase (o fase di analisi) si è concretizzata con la raccolta dei dati bibliografici e delle informazioni necessarie alla definizione delle principali caratteristiche geologiche, litologiche, geomorfologiche, sismiche, idrogeologiche ed idrografiche del territorio.

Durante la fase di analisi è stata prodotta la cartografia di base e di inquadramento (scala 1:10.000) costituita dalla Carta geologica (Tavola 1), dalla Carta geomorfologica (Tavola 2), dalla Carta di prima caratterizzazione litotecnica (Tavola 3), dalla Carta del Reticolo Idrico (Tavola 4) e dalla Carta Idrogeologica (Tavola 5). In questa fase è stata analizzata anche la sismicità del territorio e prodotta, quale elaborato sintetico, la Carta degli scenari di pericolosità sismica locale (Tavola 6).

- Durante la seconda fase sono stati interpretati e correlati i dati raccolti in precedenza con l'obiettivo di formulare proposte attraverso una lettura del territorio in chiave sia geologico-ambientale, sia delle vocazioni d'uso. A tale scopo è stata prodotta la Carta di Sintesi (Tavola 7) e la Carta dei Vincoli Geologici (Tavola 8) (entrambe alla scala 1:10.000), nelle quali vengono evidenziati gli aspetti più significativi emersi dalla fase di analisi e gli elementi normativi vincolanti sotto il profilo geologico. Lo scopo della cartografia è stato quello di definire le limitazioni d'uso e proporre una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologica. Viene anche proposta, in tavola 9, la carta del dissesto aggiornata sulla base delle tavole di analisi.

- Quale strumento finale vengono proposte le Norme Geologiche di Attuazione e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Tavola 10).

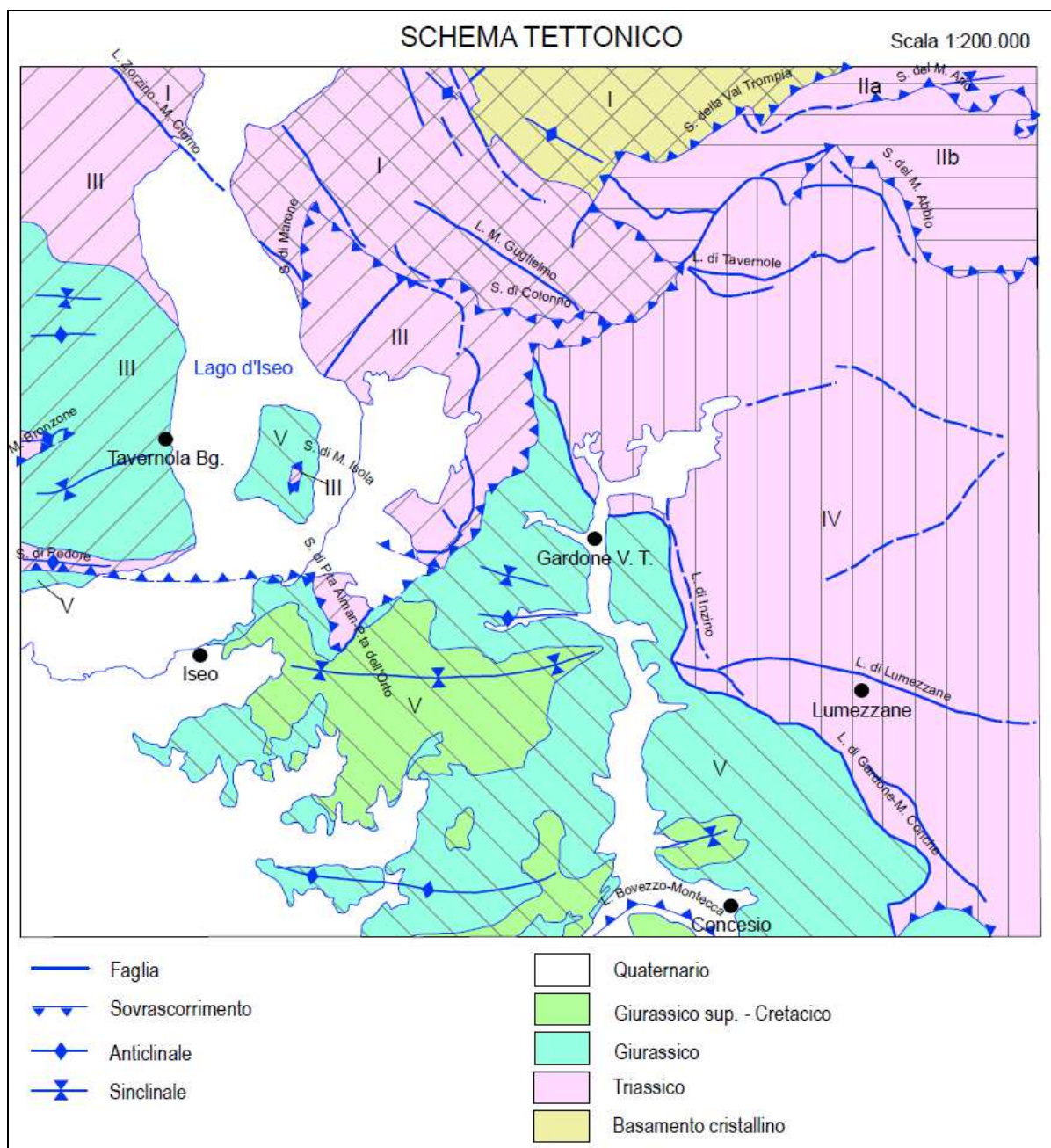
L'intero studio, infine, viene illustrato dal presente rapporto finale nel quale, oltre a descrivere il metodo seguito, viene dato spazio al commento dei diversi elaborati prodotti, motivando la classificazione proposta.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO e STRUTTURALE

L'area di studio appartiene alle Alpi Meridionali, il settore della catena alpina compreso tra la Linea Insubrica a N e la Pianura Padana a S. In particolare, il territorio in questione si inserisce ai margini meridionali del settore Sud-alpino, delimitato a W dal Lago d'Iseo e ad E dalla Val Trompia, modellato nelle successioni mesozoiche Giurassiche e Cretaciche poggianti verso N sulle più antiche unità del Triassico con un contatto di tipo tettonico.

L'assetto strutturale dell'area è il risultato di importanti fenomeni tettonici che si sono manifestati durante l'orogenesi alpina a partire dal Cretacico superiore e prolungati nel Neogene. In questo periodo, infatti, tutta la regione fu interessata da un regime geodinamico compressivo, dovuto alla collisione fra placca europea e placca Adria, con asse di massima compressione regionale a direzione N-S; tutte le linee tettoniche e le strutture perpendicolari (direzione W-E) corrispondono a faglie inverse, sovrascorrimenti e pieghe ad esso associate. Tuttavia, la storia tettonica di questo settore alpino è stata sensibilmente influenzata anche dall'evoluzione geodinamica pre-terziaria, in particolare permiana e mesozoica.

Il Foglio 99 "Iseo" del Progetto CARG evidenzia i rapporti fra le unità tettoniche, il cui contatto avviene lungo superfici di sovrascorrimento e faglie inverse immergenti verso N. Oltre a questi elementi strutturali, in tutta l'area e in territorio comunale di Monticelli Brusati sono presenti pieghe anticlinali e sinclinali di scala sovracomunale che interessano soprattutto la successione giurassico-cretacica. Le caratteristiche reologiche e il comportamento meccanico di queste formazioni non è stato omogeneo durante la loro tettonogenesi, motivo per il quale si trovano formazioni rigide a elevata resistenza e competenza (con deformazioni di tipo fragile) accanto a quelle a carattere più plastico (con deformazioni di tipo plicativo).

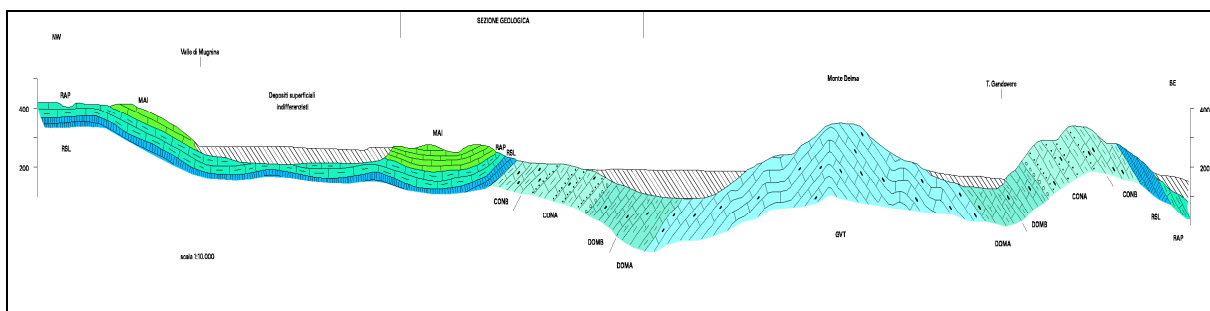


Schema strutturale dell'area, (Foglio 99 "Iseo" del Progetto CARG).

A scala locale si segnala come in corrispondenza del Monte Delma (ai margini meridionali del territorio comunale) corra l'asse di una struttura anticlinale al cui nucleo affiora il "Calcere di Gardone Val Trompia", erosa e sigillata sul fianco settentrionale (in chiara discontinuità stratigrafica) da depositi quaternari. Più a N la sezione Dosso Angelini-Madonna della Rosa corrisponde all'asse di una struttura sinclinale, anch'essa erosa e successivamente sigillata dai depositi quaternari. Si giunge così al settore più settentrionale del territorio, marcato da una struttura sinclinale nel cui nucleo si è modellata la Valle del Torrente Gaina,

evidenziando didatticamente come gli assi strutturali del substrato abbiano condizionato la morfogenesi quaternaria.

Nella seguente figura viene mostrata una sezione geologica dell'area, tratta in stralcio della cartografia geologica del progetto CARG alla scala 1:10.000.



I principali assi strutturali si sviluppano quindi secondo una direzione E-W mentre una serie di strutture fragili (faglie), disposte circa perpendicolarmente e obliquamente ai primi, ha svolto la funzione di svincolo cinematico in un quadro tettonico compressivo con vergenze S-N.

Nella Tavola 1 "Carta geologica" sono stati rappresentati sia i principali lineamenti tettonico-strutturali, così come descritti dalla cartografia geologica regionale (progetto CARG scala 1:10.000), sia le unità affioranti sul territorio comunale, tutte interamente appartenenti al dominio paleo-geografico e strutturale del Sudalpino. Nel dettaglio dell'area di studio, le successioni mesozoiche giurassiche e cretache sono costituite prevalentemente da calcari, marne e calcari marnosi con subordinate argilliti e calcari selciferi. Nel Giurassico inferiore l'area fu caratterizzata da depositi di piattaforma carbonatica, il cui smembramento e annegamento portò allo sviluppo, a partire dall'Hettangiano, del Bacino Triumplino-Sebino, con diffusi e potenti depositi pelagici ed emipelagici a facies di Medolo (Calcere di Gardone Val Trompia e Calcere di Domaro) e del Gruppo di Concesio (Formazione di Villa Carcina e Formazione dei calcari medoloidi). Alla fase di rifting seguì un periodo di calma tettonica, testimoniata dalla deposizione relativamente uniforme delle Radiolariti del Selcifero Lombardo.

Nel Giurassico superiore e nel Cretacico inferiore si verificarono nuove condizioni di bacino, testimoniate dalla deposizione del Rosso ad Aptici e della Maiolica. Seguono le formazioni pre-quadernarie, costituite dalla Marna di Bruntino e dal Sass de la Luna. A quest'ultima unità vengono attribuite le torbiditi pelagiche, che segnarono probabilmente l'inizio della subduzione dell'oceano tetideo, a cui seguì infine la deposizione dei sedimenti quadernari. Tale successione si presenta intensamente tettonizzata, con i terreni più antichi affioranti in corrispondenza dei rilievi, mentre quelli più recenti (quadernario) in corrispondenza delle aree pianeggianti. Quest'ultime sono il risultato del riempimento di originarie depressioni morfologiche (derivanti dall'erosione dei rilievi) e/o di tipo strutturale (strutture sinclinaliche).

Come evidenziato in Tavola 1 (tratta dalla cartografia geologica del progetto CARG alla scala 1:10.000), tutte le unità affioranti sono di età compresa tra l'Hettangiano e l'Olocene; in particolare, dalla più recente alla più antica, esse sono:

DEPOSITI SUPERFICIALI

- **Unità ubiquitarie**, a loro volta suddivise in:

- ***Postglaciale (Pg) (Pleistocene superiore – Olocene)***

Massi e ghiaie da massive a gradate, a supporto clastico o di matrice sabbiosa calcarea; clasti da spigolosi a subspigolosi; litotipi derivanti dai versanti adiacenti (depositi di versante s.l. a falde detritiche). Diamicton da massivi a gradati, a supporto di matrice limosa, calcarea, clasti da subspigolosi ad arrotondati; clasti derivanti dai depositi superficiali affioranti localmente (depositi di debris-flow e depositi colluviali). Sabbie a limi sabbiosi, calcarei; ghiaie stratificate, a supporto di matrice sabbiosa, clasti sub-arrotondati; petrografia a forte dominante locale: depositi alluvionali s.l. e di conoide alluvionale. Limi e sabbie, da massivi a laminati, torbe (depositi palustri e di torbiera). Superficie limite superiore caratterizzata da profilo di alterazione con profondità inferiore a 50 cm; colore 10 YR, litotipi non o poco alterati (solo cortex); morfologie ben conservate o ancora in evoluzione.

Area di affioramento: località Stalla Bruciata (confine settentrionale) e a E di località Fontana (confine S-orientale).

- ***Allogruppo di Palazzago (indistinto) (PPI) (Pliocene superiore? - Pleistocene superiore)***

Depositi colluviali. Superficiale limite superiore poligenica o polibasica, con morfologia da ben conservata ad erosa, profilo di alterazione con profondità molto variabile. Dell'Allogruppo citato, in Comune di Monticelli Brusati, affiora l'***Unità di Parmazzana (PPr)***: si tratta di limi argillosi massivi, con clasti millimetrici, spigolosi; diamicton gradati, a supporto di matrice argilloso-limosa, clasti derivanti dalla serie locali (depositi di versante tipo soliflusso o mud-flow). Superficie limite superiore con morfologia spesso erosa; profilo di alterazione con profondità superiore a 4 m.

Area di affioramento: zone a morfologia pianeggiante in corrispondenza dei principali centri abitati (porzione centro-meridionale del territorio comunale).

SUCCESSIONE MESOZOICA

▪ ***Sass de la Luna (SDL) (Albiano superiore)***

Alternanze di torbiditi pelagiche calcareo-marnose, fino ad argillose, di colore prevalentemente grigio azzurrognolo e di marne friabili emipelagiche, intervallate ciclicamente da strati spessi a base grossolana, gradati. Microflora a nannofossili calcarei (zona a Eifallithus turrissiffelii, sottozone CCSa-b indistinta).

Spessore: da 350 a 400 m.

Area di affioramento: limitata porzione di territorio al confine settentrionale comunale.

▪ ***Marna di Bruntino (BRU) (Appiano p.p. – base dell'Albiano superiore)***

Marne ad argilliti emipelagiche talora debolmente arenacee, policrome, localmente fossili, con intercalazioni di straterelli calcarei prevalentemente alla base. Macrofauna Heobargalla trachaldea e microflora a nannofossili calcarei.

Spessore: inferiore a 100 m.

Area di affioramento: due ristrette fasce di territorio lungo il confine settentrionale comunale.

▪ ***Maiolica (MAI) (Titoniano superiore – Aptiano inferiore)***

Calcari pelagici (calcilutiti) biancastri e grigio chiari, in strati ben definiti di spessore da centimetrico a decimetrico, a frattura concoide, attraversati da frequenti e minute stiloliti. Noduli a liste di selce, prevalentemente bionda alla base e grigio-nera verso l'alto. Nella porzione superiore sono presenti interstrati di shales nere, livelli intraformazionali risedimentati a slumpings. La comparsa di questa unità è spesso annunciata da calcari marnosi rosati e verdognoli in strati da centimetrici a decimetrici (calcari variegati) che segnano la transizione al sottostante Rosso ad Aptici. Il contenuto fossilifero è costituito da calpionelle, aptici, foraminiferi, radiolari e frequenti associazioni a nannofossili calcarei. Alla base dell'unità si rinvengono talora breccie disorganizzate (MAIO1), in corpi lentiformi di estensione limitata.

Spessore: 200-250 m.

Area di affioramento: vasta porzione settentrionale e centro-orientale di territorio comunale.

GRUPPO DEL “SELCIFERO LOMBARDO”

▪ ***Rosso ad aptici (RAP) (Kimmeridgiano superiore – Titoniano inferiore)***

Calcari marnosi, marne calcaree e marne, spesso silicei, di colore prevalentemente rosso, in banchi e strati, con selce rossastra o talora verdognola per lo più disposta in listarelle. Il passaggio alla soprastante Maiolica è di norma caratterizzato dalla presenza di “calcari variegati”, con tonalità di colore che varia dal rossiccio al verdino e localmente da facies brecciate (riferibili presso Polaveno al Valanginiano inferiore). Sono presenti aptici, belemniti, radiolariti, rare spicole di spugna e lamellibranchi pelagici. Calcitorbiditi a Saccocoma sono presenti nei livelli del Kimmeridgiano superiore.

Spessore: 35-65 m.

Area di affioramento: porzione N-occidentale del territorio e una fascia ristretta tra Parmezzana e Fontana.

▪ ***Radiolariti del Selcifero Lombardo (RSL) (Batoniano inferiore – Kimmeridgiano inferiore)***

Selci policrome in strati centimetrici, di colore prevalentemente verdastro nella parte inferiore e rosso nella parte superiore. Localmente si osservano intercalazioni di marne ed argilliti.

Spessore: 35-65 m.

Area di affioramento: tre ristrette fasce di territorio, la prima a N di località Torre, la seconda nella porzione N-occidentale del territorio, la terza tra Parmezzana e Fontana.

GRUPPO DI CONCESIO

▪ ***Formazione dei Calcari medoloidi (CONB) (Aaleniano – Batoniano inferiore)***

Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi grigi, bioturbati e attraversati da sottili listarelle centimetriche di selce, in banchi e strati separati da marna. Si alternano anche strati calcarenitici gradati e corpi ruditici. Alla sommità si riconosce una litozona caratterizzata da strati sottili di calcare marnoso siliceo, di colore variegato tendente al rossastro, ricco di lamellibranchi pelagici orientati. Sono presenti ammoniti riferibili alla Z. *Opelinum* dell'Aaleniano e associazioni a nannofossili calcarei.

Spessore: 70-130 m.

Area di affioramento: ristrette fasce di territorio, nella porzione N-occidentale del territorio e tra Parmezzana e Fontana.

▪ ***Formazione di Villa Carcina (CONA) (Toarciano inferiore – Aaleniano p.p.?)***

Calciruditi fini e calcareniti di colore bruno-nocciola, riccamente selciose, in banchi e/o strati gradati e laminati di natura torbidityca, frammenti sia litici che biogeni (abbondanti resti di crinoidi, echinidi e brachiopodi), intercalati a peliti e calcari marnosi. La base della formazione è caratterizzata localmente da una litozona marnosa basale cui fa seguito un potente corpo ruditico (Slump del Caricatore) esteso tra il Lago d'Iseo e la Val Trompia. Si rinvencono ammoniti e nannofossili calcarei.

Spessore: 230 a 270 m.

Area di affioramento: due ristrette aree, la prima tra Parmezzana e Villa, la seconda a W di Fontana.

GRUPPO DEL MEDOLO

- ***Calccare di Domaro (DOMB) (Domeriano inferiore p.p. – Toarciano basale)***

Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi di colore beige chiaro, biancastri all'alterazione, poco bioturbati e con rare liste di selce bionda, organizzati in una ciclica alternanza di banchi metrici, generati dal rinsaldamento di più strati e di orizzonti marnosi di spessore decimetrico. Nei calcari sono presenti noduli ferruginosi. Si rinvencono numerose ammoniti.

Spessore=150-180 m

Area di affioramento: una ristretta area lungo il confine comunale S-occidentale.

- ***Calccare di Gardone Val Trompia (GVT) (Hettangiano p.p.? – Carixiano superiore)***

Calcari (calcilutiti) grigio-nocciola in strati decimetrici, talora bioturbati, alternati a calcareniti fini e calcisiltiti spongolitiche laminate, di natura torbidityca, ricche di liste e noduli di selce da marroncina a grigio-bluastro. Alla base dell'unità Breccie Basali del Calccare di Gardone val Trompia (GVTA): breccie e megabreccie generatesi per lo più a spese dei calcari di piattaforma della Corna; localmente dolomitizzate.

Spessore: oltre 400 m.

Area di affioramento: ristretta fascia di territorio lungo il confine meridionale del territorio (pendici del Monte Delma).

CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE

Il Comune di Monticelli Brusati si inserisce in una regione principalmente montuosa e solcata in senso N-S dalle depressioni della Val Camonica (Lago d'Iseo) a W e della Val Trompia verso E. L'orografia locale presenta rilievi più elevati a settentrione con pianure estese nel settore centro-meridionale del territorio; quest'ultime sono modellate in massima parte nei depositi provenienti dal disfacimento e dall'erosione dei rilievi montani ad opera delle acque superficiali, oltre che a forme testimoni del glacialismo pleistocenico del vicino anfiteatro morenico sebino.

Il reticolo idrografico presenta una struttura piuttosto organizzata, sviluppata secondo due direzioni prevalenti: N-S e W-E, frequentemente condizionata dagli assi strutturali dei principali lineamenti tettonici: mentre la direzione N-S corrisponde alle principali strutture fragili (faglie), la direzione E-W è quella degli assi delle strutture plicative (anticlinali e sinclinali), come nel caso del T. Gaina nel suo tratto più settentrionale e del T. Gandovere ai piedi del Monte Delma.

Le caratteristiche morfologiche del territorio comunale di Monticelli Brusati dipendono dal condizionamento litologico e tettonico delle unità di substrato: ogni gruppo litologico determina morfologie caratteristiche in funzione della resistenza offerta dalle rocce all'erosione. La marcata erosione dei rilievi montuosi di questa regione è stata infine favorita dal sollevamento tettonico indotto dall'orogenesi alpina, che, dal Cretacico, si è manifestata con fasi di intensità variabile fino ad oggi.

Un importante agente morfologico, seppur marginale per il territorio di Monticelli Brusati, è costituito dal modellamento glaciale: il settore S-occidentale, a confine con il Comune di Iseo, è interessata dal lobo più orientale dell'Anfiteatro morenico sebino (Anfiteatro della Franciacorta), come testimoniato dalla presenza di cordoni morenici di poco rilevati rispetto ai terreni circostanti (ondulazioni fino a 10 m), da cui deriva anche la toponomastica locale (es. C.na Dosso Badino).

Nella carta geomorfologica di Tavola 2 sono stati rappresentati sia le forme e i depositi più significativi, distinti in base all'agente morfogenetico che li ha generati, sia il loro stato di attività. In questo contesto e date le finalità applicative della cartografia da produrre, invece,

gli elementi geologico-strutturali e le unità pre-quadernarie sono state considerate unicamente come base su cui si sono modellate le forme superficiali.

La cartografia di Tavola 2 evidenzia innanzitutto le UNITA' morfologiche riconosciute sul territorio, in particolare:

- la serie di ripiani sfalsati di altezza variabile, frequentemente rimaneggiati dall'intervento antropico e modellati nei depositi di versante successivamente incisi dal reticolo idrografico (essi occupano un ampio areale allo sbocco delle principali incisioni vallive montane);
- le superfici sub-pianeggianti modellate nei depositi fluvioglaciali, alluvionali e colluviali colmanti originarie depressioni morfologiche e/o strutturali pre-esistenti (Valle Delma e zona di Torre);
- i cordoni morenici presenti nel settore S-occidentale del territorio comunale;
- le falde di detrito ai piedi dei principali versanti rocciosi;
- l'ambito morfologico complesso costituito da rilievi montuosi, modellati in formazioni litoidi.

I principali ELEMENTI morfologici, invece, sono stati distinti in base alla loro origine; in particolare:

1. I fenomeni gravitativi (tratti dalla banca dati della Regione Lombardia e parzialmente aggiornati), cartografando tra essi:
 - la parete rocciosa caratterizzata da fenomeni di crollo a N di Baiana, sul versante sinistro della Val Gaina (già oggetto di intervento attraverso barriere paramassi);
 - le aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi;
 - le aree a pericolosità superficiale diffusa;
 - le frane per colamento rapido;
 - i movimenti gravitativi per scivolamento rotazionale/traslativo;
 - i solchi vallivi interessati da forme di erosione ad opera delle acque incanalate.

A integrazione delle informazioni censite nella banca dati della Regione Lombardia è stato evidenziato il movimento franoso che coinvolge la strada comunale nei pressi di C. del Cucco

(a N di Baiana), innescato dal ruscellamento/infiltrazione di acque provenienti da un'area oggetto di recente rimodellamento morfologico.

2. Le forme derivanti dall'azione delle acque correnti superficiali:

- gli orli di terrazzo derivanti da fenomeni di erosione ad opera delle acque superficiali;
- il reticolo idrografico;
- le aree morfologicamente depresse in corrispondenza delle quali si sono manifestati fenomeni di alluvionamento da parte del reticolo idrografico in occasione di fenomeni meteorici intensi, causa anche l'inadeguatezza delle sezioni di deflusso nell'attraversamento di aree urbanizzate.

3. Le forme e i processi antropici, tra cui:

- le cave di pietre ornamentali presenti sul territorio comunale;
- l'area con matrici ambientali contaminate ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. (a SW del cimitero);
- la zona di potenziale debri-flow derivante dalla eventuale destabilizzazione di depositi antropici nella Valle Sotto dei Dossi riportati a scopi di sistemazione agronomica. I depositi, presenti in quantità ingenti (migliaia di metri cubi), hanno già manifestato una certa instabilità, causa l'erosione ad opera delle acque superficiali. Vista la loro posizione (i depositi sovrastano il capoluogo in corrispondenza della testata della Valle Sotto dei Dossi), essi sono ritenuti una potenziale minaccia per il centro abitato nel caso di franamento (in condizioni di sovrasaturazione e/o di perdita dei profili di equilibrio causa l'erosione delle acque superficiali e/o per azione sismica). Sulla base di considerazioni preliminari (di tipo puramente morfologico-topografico), ritenendo possibile un movimento gravitativo secondo un meccanismo di debri-flow, sono state individuate le aree potenzialmente minacciate dal movimento franoso, ipotizzando una zona di scorrimento, una di primo accumulo (deposito dei materiali più grossolani) e una di alluvionamento (deposito di terreni fini in corrispondenza delle aree più depresse). Considerata la pericolosità insita nel fenomeno, tuttavia, una migliore definizione delle superfici e/o relativo svincolo delle aree potenzialmente

interessate dovranno essere subordinati all'esecuzione di uno studio di dettaglio che esamini nel suo complesso la stabilità dei materiali antropici riportati, del versante su cui giacciono, e della possibile evoluzione del fenomeno gravitativo nonchè degli interventi necessari a garantire la sicurezza del versante.



La testata della valle sulla quale è avvenuto il riporto a scopi agronomici: si noti il solco erosivo generato dalle acque superficiali.



Il cono di depositi ai piedi del riporto antropico, sospeso sulla Valle Sotto dei Dossi a minaccia del sottostante centro abitato



A valle del cono di depositi il corso d'acqua si incassa nelle formazioni rocciose e riduce notevolmente le sue dimensioni fino a giungere alla tombinatura a monte del capoluogo (sottodimensionata nei confronti di eventi meteorici intensi). Si notino nel talweg i depositi clastici trasportati dalle acque sino all'imbocco della successiva tombinatura.



La tombinatura (sottodimensionata) a monte dell'abitato e il potenziale movimento franoso dei terreni a monte determinano una situazione di rischio per il centro abitato.

INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA

Caratterizzazione litologica

La natura litologica dei depositi quaternari è stata definita attraverso una serie di trincee esplorative che hanno consentito di trarre considerazioni sui primi metri di suolo e sottosuolo. Tutti i dati disponibili (ubicati in Tavola 3), che ricordiamo costituire notizie puntiformi, sono poi stati oggetto di una attenta revisione critica durante il processo di interpretazione, correlando fra loro anche le informazioni dedotte attraverso l'esecuzione di alcune indagini puntuali in pozzetti esplorativi (Allegato 1), geotecnico e pedologico disponibili nell'archivio comunale, in quello dello scrivente e in letteratura.

La natura litologica delle unità rocciose pre-quaternarie invece è stata tratta integralmente dallo studio CARG e da osservazioni dirette delle successioni affioranti in corrispondenza dei spaccati rocciosi.

DEPOSITI QUATERNARI

- **Depositi di versante**, sono caratterizzati da terreni coesivi (argilla e limo), all'interno dei quali si sviluppano lenti di depositi più grossolani (ghiaia e ciottoli) poco selezionati, talora sede di effimere falde sospese.
- **Depositi fluvioglaciali, alluvionali e colluviali**, sono costituiti da limi argillosi generalmente consistenti e poco plastici con clasti millimetrici e spigolosi. Nelle zone maggiormente depresse o in corrispondenza di discontinuità morfologiche sono presenti manifestazioni sorgentizie, alimentate da esili falde sub-superficiali.
- **Cordoni morenici**, sono caratterizzati dalla presenza di depositi non selezionati con una diffusa matrice limosa.
- **Detriti di falda**, sono costituiti da depositi eterometrici non selezionati, nei quali sono frequenti ghiaie/blocchi spigolosi immersi in una matrice limo-argillosa diffusa.

UNITA' ROCCIOSE PRE-QUATERNARIE

In questo raggruppamento rientrano le formazioni litoidi dei rilievi montani con coperture eluviali/colluviali variabili e orizzonte pedogenizzato di spessore debole o assente. Si riconoscono le seguenti facies litologiche (caratteristiche di ciascuna unità stratigrafica):

- **Sass Della Luna:** Alternanze di torbiditi pelagiche calcareo-marnose, fino ad argillose, di colore prevalentemente grigio azzurrognolo e di marne friabili emipelagiche, intervallate ciclicamente da strati spessi a base grossolana, gradati.
- **Marna di Bruntino:** Marne ad argilliti emipelagiche talora debolmente arenacee, policrome, localmente fissili, con intercalazioni di straterelli calcarei prevalentemente alla base dell'unità.
- **Maiolica:** Calcari pelagici (calcilutiti) biancastri e grigio chiari, in strati ben definiti di spessore da centimetrico a decimetrico, a frattura concoide, attraversati da frequenti e minute stiloliti. Noduli a liste di selce, prevalentemente bionda alla base e grigio nera verso l'alto dell'unità.
- **Rosso ad Aptici:** Calcari marnosi, marne calcaree e marne, spesso silicei, di colore prevalentemente rosso, in banchi e strati, con selce rossastra e talora verdognola per lo più disposta in listarelle.
- **Radiolariti del Selcifero Lombardo:** Selci policrome in strati centimetrici, di colore prevalentemente verdastro nella parte inferiore e rosso nella parte superiore. Localmente si osservano intercalazioni di marne e argilliti.
- **Formazione dei calcarei medoloidi:** Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi grigi, bioturbati e attraversati da sottili listarelle centimetriche di selce, in banchi e strati separati da marna. Si alternano anche strati calcarenitici gradati e corpi ruditici. Alla sommità si riconosce una litozona caratterizzata da strati sottili di calcare marnoso siliceo, di colore variegato tendente al rossastro, ricco di lamellibranchi pelagici orientati.
- **Formazione di Villa Carcina:** Calciruditi fini e calcareniti di colore bruno-nocciola, riccamente selciosa, in banchi e/o strati gradati e laminati di natura torbiditica, contenenti frammenti sia litici che biogeni (abbondanti resti di crinoidi, echinidi e brachiopodi), intercalate a peliti e calcari marnosi.

- **Calccare di Domaro**: Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi di colore beige chiaro, biancastri all'alterazione, poco bioturbati e con rare liste di selce bionda, organizzata in una ciclica alternanza di banchi metrici, generati dal rinsaldamento di più strati, e di orizzonti marnosi di spessore decimetrico.
- **Calccare di Gardone Val Trompia**: Calcari (calcilutiti) grigio nocciola in strati decimetrici, talora bioturbati, alternati a calcareniti fini e calcisiltiti spongolitiche laminate, di natura torbidityca, ricche di liste e noduli di selce da marroncina a grigio - bluastra. Alla base dell'unità Breccie Basali del Calccare di Gardone val Trompia (GVTA): si tratta di breccie e megabreccie generatesi per lo più a spese dei calcari di piattaforma della Corna; localmente dolomitizzate.

RETICOLATO IDROGRAFICO

Per effetto dell'art. 1 della L. 36/94 e del successivo regolamento di applicazione (DPR 238/99), il concetto di acqua pubblica è stato modificato rispetto al vecchio T.U. n. 1775/1933, introducendo nell'ordinamento il principio di pubblicità di tutte le acque superficiali e sotterranee. La L.R. 1/2000, in attuazione del D.Lgs. n. 112/98, ha previsto l'obbligo per la Regione di individuare il reticolo principale sul quale la Regione stessa continuerà a svolgere le funzioni di polizia idraulica (ex R.D. n. 523/1904), trasferendo ai comuni o ai consorzi le competenze sul reticolo idrico minore e su quello principale di bonifica.

Nel corso del presente lavoro, pertanto, è stato cartografato l'intero reticolo idrografico come individuato da specifico studio redatto ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 "Determinazione del reticolo idrico principale..." e dell'ultima modifica di cui alla D.G.R. n. 9/2762/2011.

L'analisi del territorio comunale di Monticelli Brusati ha condotto all'individuazione dei seguenti tre ambiti topograficamente, morfologicamente e idraulicamente distinti:

1. **L'ambito dei rilievi montuosi** modellati in formazioni litoidi, caratterizzato da una rete idrografica sviluppata con direzione prevalente N-S e, in subordine, E-W. I corsi d'acqua, caratterizzati da pendenze elevate, sono alimentati:

- dalla raccolta delle acque meteoriche (dalle quali dipendono i picchi di portata) e da quella di scioglimento nivale nel periodo tardo invernale e primaverile;
- da fenomeni sorgentizi connessi a un circuito idrogeologico di tipo prevalentemente carsico.

In ambito montano prevalgono fenomeni erosivi che agiscono sugli stessi versanti rocciosi, causando talora fenomeni di instabilità gravitativa. Per tale ragione, nel settore montano non è stato evidenziato soltanto l'asta principale di ciascun corso d'acqua bensì anche gli affluenti secondari.

2. **L'ambito dei ripiani pedemontani**, costituito da una serie di superfici terrazzate, frequentemente rimaneggiate dall'intervento antropico e modellate nei depositi di versante

(poco selezionati e poco permeabili). In questo settore i corsi d'acqua diminuiscono la loro pendenza e sono spesso condizionati dall'intervento antropico (rettificazione, impermeabilizzazione, influenza delle rete di drenaggio urbano ecc.); il reticolo è alimentato:

- dal sovrastante settore montano (da cui i corsi d'acqua prendono origine);
- dal drenaggio delle circostanti superfici terrazzate, per la maggior parte rimaneggiate dall'intervento antropico.

3. La **piana meridionale** allungata E-W (modellata entro depositi fluvioglaciali, alluvionali e colluviali colmanti una originaria depressione morfologico-strutturale), sviluppata tra C.na Dosso Badino a W e Molino Pino a E. In questo settore si riconoscono tre modalità di alimentazione del reticolo idrografico:

- dagli afflussi provenienti dai settori montani (T. Gandovere; Fosso Valle dei Dossi);
- da sorgenti carsiche/di contatto al piede dei rilievi montuosi (in località Fontana);
- da fenomeni sorgentizi connessi a esili falde sospese (sorgive a N e a E di C.na Faustino)

Nella Carta del Reticolo Idrografico di Tavola 3, estratta dallo specifico studio, è stato individuato l'intero reticolato idrografico (sul territorio è presente solo il reticolo idrico minore di competenza comunale), sintetizzato nel seguente elenco:

Codice	Denominazione
MBR01	Fosso Valle Carrerola
MBR02	Fosso Valle dei Dossi
MBR03	Torrente Gaina e affluenti secondari
MBR04	Torrente Gandovere e affluenti secondari
MBR05	Fosso Valle dei Mulini
MBR06	Torrente Livorna o Lavorna
MBR07	Sorgiva di S. Faustino
MBR08	Fosso Valle Sotto dei Dossi
MBR09	Torrente Valle di Ri

IDROGEOLOGIA

Caratteristiche idrogeologiche generali

L'assetto idrogeologico del territorio comunale è strettamente dipendente dalle unità che compongono il sottosuolo nelle prime centinaia di metri; per tale ragione, l'analisi idrogeologica del territorio è stata svolta individuando due settori di caratteristiche differenti: il settore montuoso, dominato dalle unità pre-quadernarie che costituiscono il substrato roccioso calcareo e calcareo-marnoso, e il settore morenico e di pianura, caratterizzato dalla presenza di depositi quadernari sciolti sulla cui origine si è discusso nei capitoli precedenti.

Nella carta idrogeologica di Tavola 5 il territorio comunale è stato suddiviso, in base alla natura litologica e al grado di permeabilità, in unità idrogeologiche, a cui corrispondono classi di permeabilità/trasmissività. Per la caratterizzazione idrogeologica delle unità pre-quadernarie è stata utilizzata come riferimento la "Carta idrogeologica della parte meridionale delle prealpi bresciane" (Avanzini M. et al., 1991).

Caratterizzazione idrogeologica delle unità pre-quadernarie

In questa unità rientrano le formazioni che costituiscono il substrato roccioso (calcari, calcari marnosi, calcari selciosi, marne e arenarie), caratterizzate da permeabilità primaria nulla: la circolazione idrica sotterranea avviene all'interno di discontinuità stratigrafico-strutturali.

La maggior parte dei sovrascorrimenti che interessano il substrato profondo è legato a fasi tettoniche molto antiche, probabilmente mesozoiche, mentre nel Terziario si verificarono tre episodi compressivi di grande rilevanza (fase Dinarica, della Val Trompia e Giudicariense) ciascuno dei quali ha determinato specifici sistemi di discontinuità, rappresentati in modo diverso sul territorio e con differente significato dal punto di vista idrogeologico.

Il primo di essi (denominato Dinarico) ha prodotto sistemi di pieghe con asse diretto da 70° a 250° e discontinuità subverticali con direzione analoga e immersione a 160° e a 340°.

Il successivo evento (denominato "della Val Trompia") ha portato alla formazione di discontinuità subverticali con direzione E-O e N-S.

L'ultimo evento deformativo (“delle Giudicarie”) ha portato alla genesi di sistemi di fratture subverticali con immersione verso 60° e 240° (discontinuità normali al sistema giudicariense) o verso 150° e 330° (discontinuità parallela al sistema giudicariense).

L'area prossima al lago d'Iseo vede predominare il sistema giudicariense, con faglie e fratture molto estese e continue, oltre che dal sistema della Valtrompia, riconoscibile in discontinuità di estensione rilevante (comunque subordinato a quello giudicariense). Nel territorio di Monticelli Brusati, invece, è il sistema della Valtrompia ad essere meglio rappresentato nelle strutture di grande estensione, in particolare nelle pieghe; sono qui frequenti lineazioni di buona estensione, ortogonali alla direzione di sviluppo preferenziale del sistema dinarico, la cui presenza non comporta peraltro un sensibile incremento della circolazione idrica sotterranea.

Nella Tav. 4 sono state cartografate le seguenti unità idrogeologiche come riconosciute in “Avanzini et al. (1991)”:

Unità Idrogeologica della Marna di Bruntino e del Sass de la Luna – Le caratteristiche litologiche dell'unità favoriscono una sua facile disgregazione ad opera degli agenti atmosferici che contribuisce ad aumentare localmente le condizioni di permeabilità, con valori variabili da medi a medio-ridotti. L'unità idrogeologica presenta una permeabilità per fessurazione da medio-ridotta ($10^{-4} < k < 10^{-5}$ cm/s) a molto ridotta ($k < 10^{-5}$ cm/s) e limita la sottostante “Maiolica” avente caratteristiche idrogeologiche migliori. La sua estensione è molto limitata e la potenza generalmente ridotta.

Unità idrogeologica della Maiolica – L'unità è molto estesa ed è interessata da fenomeni carsici diffusi. Le caratteristiche litologiche, l'assetto strutturale e lo stato di fratturazione delle rocce, nonché manifestazioni del fenomeno carsico piuttosto sviluppate, evidenziano l'importanza di questa unità idrogeologica, sede di buoni acquiferi. La permeabilità media della formazione è valutabile intorno a 10^{-4} cm/s, mentre dove prevale la componente calcarea e la fratturazione, essa può raggiungere localmente valori intorno a 10^{-3} cm/s.

Unità idrogeologica della Formazione di Concesio e del Selcifero Lombardo – Questa unità comprende tre formazioni che per le loro caratteristiche litologiche fungono da limite pressoché impermeabile alla sovrastante “Maiolica”. I valori di permeabilità per fessurazione variano generalmente da medi a ridotti nella Formazione di Concesio fino a diventare molto ridotti nella Formazione del Selcifero Lombardo ($k < 10^{-5}$ cm/s).

Unità idrogeologica del Medolo – L'unità idrogeologica è generalmente caratterizzata da valori medi di permeabilità ($k=10^{-4}$ cm/s) dovuta soprattutto alla fessurazione. La presenza di intercalazioni, talora anche potenti, di marne e secondariamente di argilliti, riducono localmente la permeabilità a valori medio-ridotti. La circolazione idrica è comunque strettamente legata al grado di fratturazione delle rocce.

Le unità idrogeologiche quaternarie

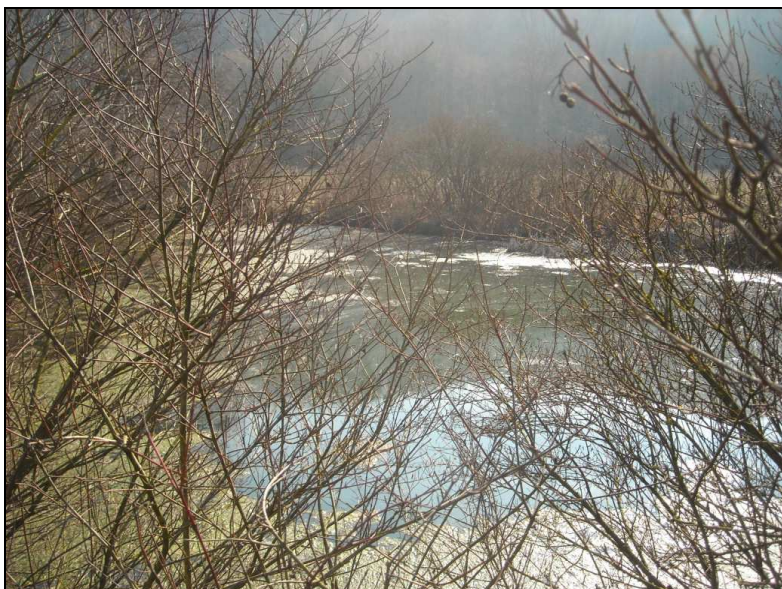
Mentre l'ambito dei rilievi è caratterizzato da circuiti idrogeologici condizionati essenzialmente da discontinuità stratigrafico-strutturali, le condizioni favorevoli per l'instaurarsi di acquiferi e di una superficie piezometrica si verificano esclusivamente in corrispondenza delle aree di pianura, caratterizzate da sedimenti di natura continentale del Pleistocene superiore e medio, depositi durante la fase regressiva che ha portato al riempimento del Bacino Padano.

A scala sovracomunale la presenza di depositi glaciali (porzione esterna dell'Anfiteatro Sebino, che tuttavia interessa solo marginalmente il territorio comunale) rende più articolata la superficie piezometrica, per la presenza di letti di argilla più o meno continui all'interno dei depositi glacigenici, i quali sono favorevoli alla formazione di falde locali, rimanendo però indipendenti rispetto all'andamento generale della tavola d'acqua e rappresentando dei sistemi isolati e limitati per estensione. Queste falde sospese si concentrano soprattutto in prossimità dei cordoni morenici, con dati piezometrici che contrastano con l'andamento generale, proprio perché si riferiscono a falde sospese di carattere locale.

Alla scala di osservazione comunale è presente un modesto e discontinuo circuito idrogeologico nei depositi di versante, in quelli fluvioglaciali, alluvionali e colluviali, nei cordoni morenici e nei detriti di falda, anche se fra loro raramente interconnessi. Dal punto di vista litologico si tratta di terreni fini (limo-argillosi), al cui interno si sviluppano depositi granulari eterometrici (ghiaia, ciottoli, clasti) generalmente non selezionati, con una diffusa matrice limosa o limo-argillosa.

L'eventuale circolazione idrica è quindi limitata a corpi più permeabili (depositi ghiaioso-ciottolosi mal selezionati) presenti in giacitura lenticolare e di scarsa continuità laterale.

Va inoltre segnalata una fascia ai piedi del Monte Delma caratterizzata da diffuse manifestazioni sorgentizie, caratteristiche di una significativa circuitazione sub-superficiale che, incontrando il substrato impermeabile del Monte Delma (che funge da barriera), viene a giorno e alimenta un fitto reticolo idrografico secondario; quest'ultimo, in modo singolare rispetto al resto del territorio, assolve proprio la funzione di drenaggio e smaltimento delle acque superficiali e sotterranee.



I caratteristici fenomeni sorgentizi al piede del Monte Delma

Le principali manifestazioni idrogeologiche

Il sottosuolo del territorio comunale di Monticelli Brusati appare, per quanto descritto nei capitoli precedenti, caratterizzato da particolari strutture tettoniche e stratigrafico-deposizionali che governano l'accumulo ed il transito delle acque sotterranee.

Nel corso della stesura della cartografia sono stati censiti i principali elementi sorgentizi, così come dettagliato nella Tavola 5; in particolare:

- le sorgenti in ambito montano sul fianco settentrionale della sinclinale che ospita la valle del T. Gaina, al limite N del territorio comunale (le sorgenti sono utilizzate anche a scopi acquedottistici);
- i fenomeni sorgentizi alle pendici settentrionali del Monte Delma.
- il fenomeno sorgentizio a E di Madonna della Rosa e quello spettacolare (anche se svilito dalle strutture del centro abitato) nei pressi di Fontana (ai piedi del Dosso Angelini), da cui nasce il Rio Valle Mulini.



La sorgente del Fosso Valle dei Mulini e il corso d'acqua da essa alimentata

Nella cartografia di Tavola 5, infine, sono stati evidenziati 3 pozzi utilizzati a scopi acquedottistici.

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Monticelli Brusati

L'Ordinanza 3274/2003 stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio italiano, in risposta sia alle nuove conoscenze scientifiche in materia sismica (acquisite dopo la precedente legge di indirizzo sismico del '74), sia al ripetersi di eventi calamitosi che hanno interessato anche zone precedentemente non classificate come sismiche (sempre facendo riferimento alla Legge 64/74). La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione sismica proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

In linea generale, la valutazione del rischio sismico deriva da una stima delle conseguenze al sistema socio-economico locale potenzialmente derivanti dal terremoto considerato "probabile" nell'area di riferimento. Nella valutazione del rischio sismico, pertanto, l'aspetto principale consiste nella definizione della pericolosità sismica, ovvero la descrizione della possibile attività sismica ottenuta assegnando, in ogni area, le grandezze rappresentative del moto del suolo.

Come innanzi premesso, una prima classificazione della pericolosità sismica è stata ottenuta a scala nazionale suddividendo il territorio in zone sismiche: tale semplificazione, sebbene riduttiva, è risultata necessaria per l'applicazione di norme tecniche aventi come obiettivo un adeguato livello di protezione sismica.

Il primo atto formale di classificazione del territorio nazionale risale al 1909 (dopo il forte terremoto che investì l'area calabro-messinese il 28 dicembre 1908), con il quale vennero definite le norme tecniche per la ricostruzione nelle aree colpite dal sisma e individuate le zone nelle quali tali norme dovevano applicarsi in ambito edilizio.

L'aspetto più significativo dal punto di vista della zonazione sismica era rappresentato dall'estensione della zona interessata dal Decreto del 1909: oltre all'area dello Stretto di Messina, che presentava i maggiori danni, vi erano incluse parte della provincia di Messina e tutta la Calabria. Tale strumento derivava anche dal ricordo del terremoto che aveva colpito il

golfo di Santa Eufemia nel 1905 e, soprattutto, dei terremoti che avevano sconvolto la Calabria nel 1783.

La normativa sismica non vide sostanziali novità fino al 1925, quando un forte terremoto investì un tratto della costa marchigiana, a nord di Ancona, successivamente classificata a rischio sismico.

Al Decreto del 1925 fece seguito nel 1927 un nuovo Decreto di notevole ampiezza, il quale classificava tutte le località colpite da terremoti in due categorie distinte in relazione al loro grado di sismicità ed alle loro caratteristiche geologiche.

Risale al 1962 la Legge che, per la prima volta, dettò le “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” le quali, contrariamente alle precedenti finalizzate alla ricostruzione delle zone colpite da terremoto, assunsero un significato di prevenzione sismica.

Il terremoto nel Belice del 1968 e quello nel Friuli del 1976 condussero ad una classificazione con l'introduzione di un elemento di novità, costituito dal criterio utilizzato per distinguere le zone di prima e di seconda categoria. In precedenza, infatti, tale distinzione era abbastanza casuale, basata su un giudizio di gravità del danno; nei decreti del 1976 e 1979, invece, la classificazione si basava sul valore della probabilità di superamento di assegnate soglie dell'accelerazione del suolo in un prefissato intervallo di tempo.

Il terremoto Irpino-Lucano del 1980 segnò la svolta decisiva nella storia della classificazione sismica in Italia: il grande impatto sull'opinione pubblica e la constatazione che le zone colpite dal terremoto erano in gran parte non classificate, condussero il Ministero dei Lavori Pubblici alla proposta di riclassificazione elaborata nell'ambito del Progetto finalizzato geodinamica del CNR attraverso una serie di Decreti emanati tra il 1981 ed il 1984. La nuova classificazione si basò per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale, come la soglia di sismicità, l'intensità risentita e la scuotibilità, e prevede la suddivisione in tre categorie con grado di severità sismica decrescente dalla prima alla terza.

Nell'aprile 1997, la Commissione per la previsione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile decise di istituire un gruppo di lavoro con l'obiettivo di formulare una proposta di aggiornamento della classificazione sismica nazionale, anche alla luce di nuove ricerche e dell'esperienza di altri paesi.

La nuova classificazione, denominata “Proposta 98”, determinò la suddivisione del territorio nazionale sempre nelle tre categorie sismiche a cui si aggiunse una categoria ulteriore per i

comuni non classificati; l'appartenenza di un'area ad una particolare categoria sismica avvenne sulla base di parametri quantitativi legati al moto del suolo previsto (approccio probabilistico):

1. l'accelerazione massima del terreno a_{max} (detta anche PGA) con il 10% di probabilità di essere superata in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata nella carta della pericolosità sismica (Slejko et al. 1998);
2. l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità, detto "intensità di Housner";
3. il valore della massima intensità sperimentata nell'ultimo millennio.

In seguito al terremoto del 31 ottobre 2002 che provocò a San Giuliano di Puglia il crollo di una scuola e al verificarsi di eventi sismici calamitosi in zone non classificate sismiche (il Comune di San Giuliano di Puglia era classificato come non sismico) sono stati emanati i "Criteri per l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche" e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica (OPCM 3274 del 20 marzo 2003).

Rispetto alle classificazioni precedenti, l'O.P.C.M. 3274/2003 stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio nazionale utilizzando e aggiornando la classificazione sismica proposta nel 1998. La nuova classificazione è articolata in 4 zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (si veda la tabella 8.1), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, a ciascuna area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di protezione sismica.

In ottemperanza all'art. 2 della OPCM 3274 e s.m.i. e secondo quanto disposto dal D.Lgs n. 112/1988 che attribuiva alle Regioni la competenza di classificare il territorio secondo criteri generali, la Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto ad aggiornare i propri elenchi delle zone sismiche.

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in coincidenza con quella delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005).

A far tempo da tale data è quindi vigente la classificazione sismica del territorio nazionale; per la Regione Lombardia la classificazione sismica è mostrata in figura 1:

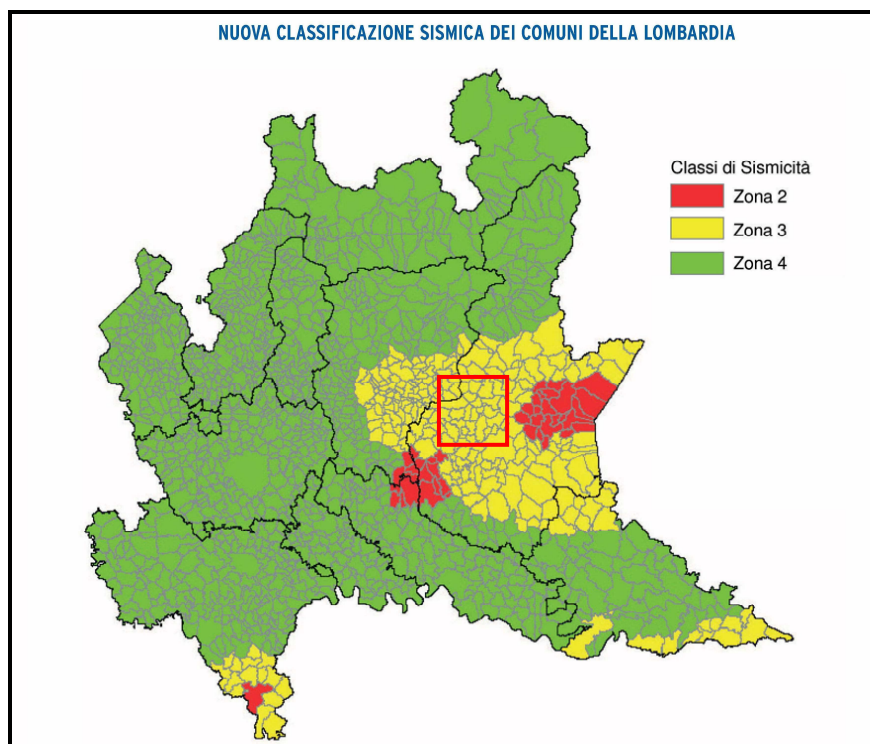


Figura 1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di Monticelli Brusati appartiene alla **zona sismica 3** e risulta identificato da un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento con la probabilità del 10% di essere superato nei prossimi 50 anni (periodo di ritorno uguale a 475 anni) pari a 0.15g.

Zona	Valori di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tabella 1: valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica.

Sebbene la nuova classificazione preveda che ogni area del territorio nazionale sia classificata e identificata da un valore soglia di pericolosità sismica, si delineano alcune criticità:

- le Regioni sollecitate dalla O.P.C.M. 3274 hanno classificato il proprio territorio basandosi su precedenti studi di pericolosità sismica (soprattutto quelli prodotti nell'ambito del gruppo di lavoro del 1998) e hanno inserito i comuni non classificati in zona 4 senza valutare i livelli di accelerazione attesi;
- come disposto dalla O.P.C.M. 3274/2003 e dal D.M. 14.09.2005, la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale è stata aggiornata sulla base di nuovi dati utilizzando approcci leggermente differenti rispetto a quelli utilizzati per la redazione della mappa elaborata nel 1998 (INGV, 2006 – OPCM 351/06); questo ha determinato, per alcune aree, la presenza di valori di a_g diversi rispetto a quelli previsti dalla classe sismica di appartenenza.

Sulla base di quanto sopra riportato, è chiaro come la classificazione sismica del territorio nazionale derivi da una semplificazione nella valutazione dei livelli di pericolosità sismica che, seppur necessaria per l'applicazione di una normativa di primo riferimento, deve essere considerata come punto di partenza per la realizzazione di studi sismici a maggior dettaglio e a minor scala (*microzonazione sismica*), soprattutto in fase di pianificazione urbanistica. In questo modo si può indirizzare lo sviluppo edificatorio e, in determinate situazioni, aumentare i livelli di protezione sismica previsti dalla normativa (livello minimo).

Le “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” di cui al D.M. 14.01.2008 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base, la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio zona dipendente ex D.M. 14.09.2005) ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica ad uno specifico sito (criterio sito dipendente).

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento. Esistono tuttavia alcune problematiche insite nella distribuzione dei vertici della griglia di riferimento dei valori di accelerazione e l'ubicazione dell'area d'indagine.

Un'ulteriore novità, sempre introdotta dal D.M. 14.01.2008, è la formulazione dello spettro di risposta differente per ciascuna categoria di suolo di fondazione non accorpendo più, come in precedenza, la categoria di suolo di fondazione B e C.

Descrizione della sismicità

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

Il territorio di Monticelli Brusati rientra nella zona sismogenetica 907 (zonazione ZS9, figura 2), che include le parti più basse delle provincie di Bergamo e Brescia, caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa.

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

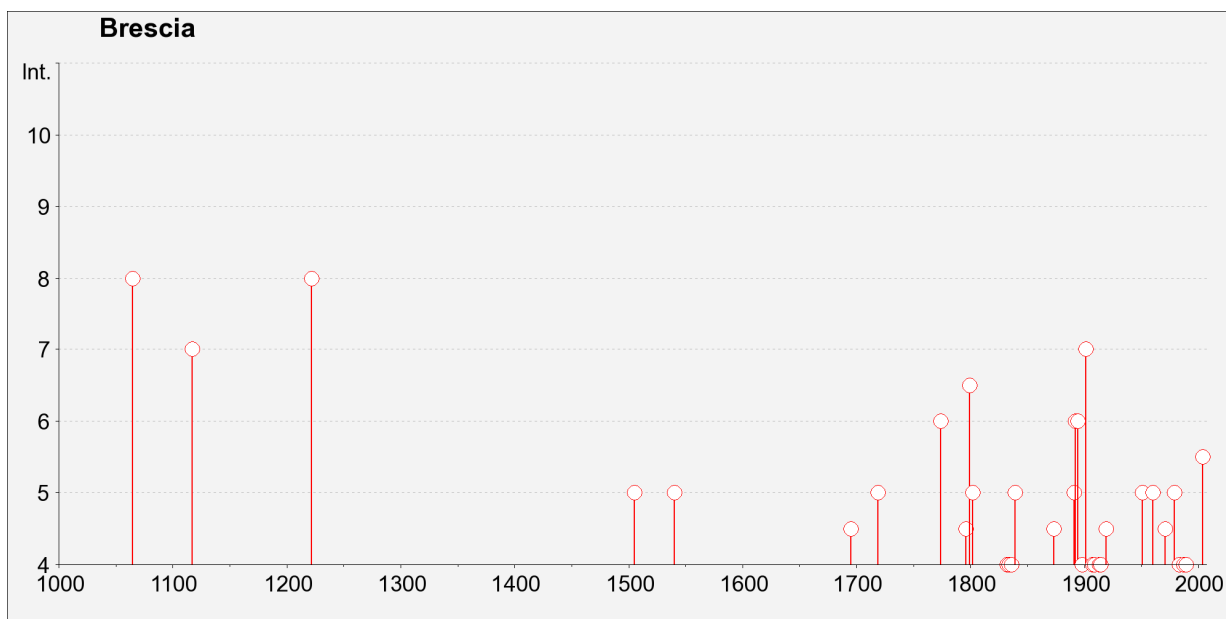
- l'area comunale e quella sebina, nel loro complesso, sono caratterizzate da eventi sismici di magnitudo M_w intorno al VI grado;
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono, oltre che dalla zona sebina e benacense, anche da aree esterne (quali il Veronese e l'area Emiliano-Romagnola).

Tale fatto è compatibile con la storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI11, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani aggiornato al dicembre 2011 (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative a Brescia e Iseo (i centri più vicini fra quelli catalogati).

Storia sismica di Brescia - Osservazioni disponibili: 72

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
8	1065 03 27 11:25	Brescia	6	7 5.14 ±0.34	
7	1117 01 03 15:15	Veronese	55	9-10 6.69 ±0.20	
NC	1197	Brescia	3		
8	1222 12 25 12:30	Basso Bresciano	18	7-8 5.84 ±0.56	
NR	1410 06 10 21:00	Verona	9		
F	1471	BRESCIA	1		
5	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25	
F	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7 5.29 ±0.56	
5	1540 09 01 08:10	BRESCIA	1	5 4.30 ±0.34	
4-5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18	
5	1719 12 12 19:00	Trento	2		
6	1774 03 31 15:10	Bresciano	5	6 4.72 ±0.34	
4-5	1796 10 22 04:00	Emilia orientale	27	7 5.61 ±0.36	
6-7	1799 05 29 19:00	CASTENEDOLO	12	6-7 5.01 ±0.51	
5	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGLIO	85	8 5.64 ±0.22	
F	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22	
3	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7 5.28 ±0.35	
3	1826 06 24 12:15	SALO'	19		
3	1828 10 09 02:20	Valle Staffora	114	8 5.76 ±0.15	
4	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8 5.53 ±0.18	
4	1834 07 04 00:45	Lunigiana-Parmense	24		
4	1836 06 12 02:30	BASSANO	26	8 5.50 ±0.32	
5	1839 08 09 08:45	BRESCIA	1	5 4.30 ±0.34	
F	1857 02 01	PARMENSE	22	6-7 5.09 ±0.25	
4-5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11	
3-4	1877 10 01 07:20	Monte Baldo	6	6 4.56 ±0.64	
3	1879 02 14	GARGNANO	6	5 4.83 ±0.63	
3	1882 02 27 06:30	ROVETTA	37	6-7 4.91 ±0.32	
3	1882 09 18 19:25	Monte Baldo	7	7 4.99 ±0.72	
3-4	1884 09 12 07:23	Bassa valle del Serio	34	6 4.85 ±0.35	
3	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6 5.19 ±0.15	
3	1887 02 23 05:2	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15	
5	1891 06 07 01:0	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06	
6	1892 01 05	GARDA OCC.	100	6-7 5.02 ±0.15	
3	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91 ±0.11	
F	1894 02 09 12:4	Valle d'Illasi	116	6 4.77 ±0.15	
6	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6 5.07 ±0.10	
3-4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08	
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09	

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1898 11 16	SALO'	23	5 4.45 ±0.37
7	1901 10 30 14:4	Salò	190	8 5.70 ±0.10
4	1907 04 25 04:52	Veronese	122	6 4.91 ±0.15
4	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
4	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5 4.84 ±0.20
4	1914 10 27 09:2	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
2	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6 5.02 ±0.22
3	1916 05 17 12:4	Alto Adriatico	132	5.95 ±0.14
3-4	1918 04 24 14:2	LECCHESE	34	6 4.97 ±0.21
3-4	1918 07 19 19:03	SALO'	8	4 4.62 ±0.28
NF	1919 06 29 15:0	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
4-5	1919 11 23 01:50	BRESCIANO	9	4-5 4.80 ±0.28
3	1920 09 07 05:5	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
2	1926 01 01 18:0	Slovenia	63	7-8 5.85 ±0.18
2-3	1928 03 27 08:32	Carnia	359	9 5.84 ±0.09
3	1929 04 19 04:1	Bolognese	82	
3-4	1929 04 20 01:0	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
F	1930 07 23 00:0	Irpinia	547	10 6.62 ±0.09
2-3	1931 04 14 22:13	GIUDICARIE	160	6 4.92 ±0.10
3	1932 02 19 12:5	Monte Baldo	21	7-8 5.02 ±0.28
5	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
5	1960 02 19 02:30	GIUDICARIE	50	6 4.91 ±0.22
4-5	1971 07 15 01:3	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
3	1975 01 11 15:5	GARDA OR.	13	5-6 4.45 ±0.25
2	1976 12 13 05:24	RIVA DEL GARDA	128	7 4.97 ±0.12
5	1979 02 09 14:4	CAPRIATE S. GERVASIO	73	6 4.85 ±0.13
F	1980 12 23 12:0	Piacentino	38	6-7 4.60 ±0.09
4	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1987 05 02 20:4	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4	1989 09 13 21:5	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
NF	1995 10 29 13:0	BRESCIA-BERGAMO	408	5-6 4.54 ±0.09
3-4	1996 10 15 09:5	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
5-6	2004 11 24 22:5	Lago di Garda	176	7-8 5.06 ±0.09



Storia sismica di Iseo (BS) - Osservazioni disponibili: 14

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4-5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
4	1892 01 05	GARDA OCC.	100	6-7 5.02 ±0.15
NF	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91 ±0.11
2-3	1894 02 09 12:4	Valle d'Illasi	116	6 4.77 ±0.15
6	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6 5.07 ±0.10
NF	1905 04 29 01:46	Alta Savoia	267	7-8 5.63 ±0.09
NF	1907 04 25 04:52	Veronese	122	6 4.91 ±0.15
NF	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5 4.84 ±0.20
5	1914 10 27 09:2	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
2	1918 07 19 19:03	SALO'	8	4 4.62 ±0.28
4	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1989 09 13 21:5	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
4-5	1995 10 29 13:0	BRESCIA-BERGAMO	408	5-6 4.54 ±0.09
5	2002 11 13 10:4	Franciacorta	770	5-6 4.29 ±0.09

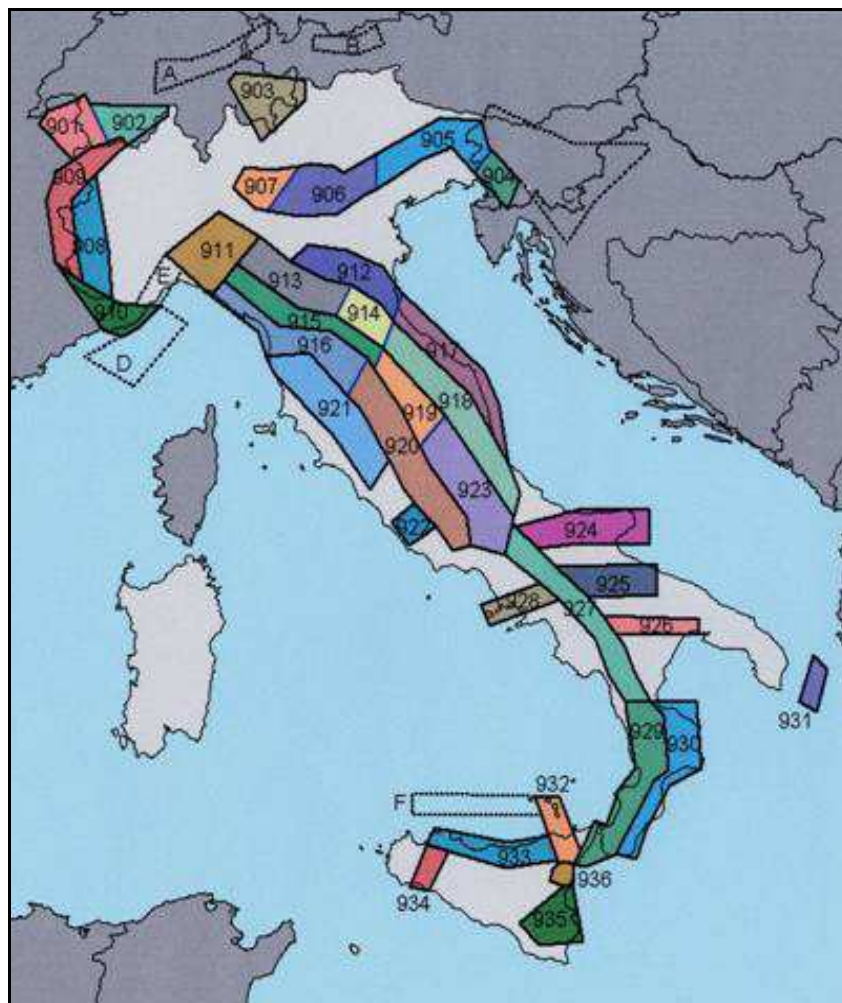
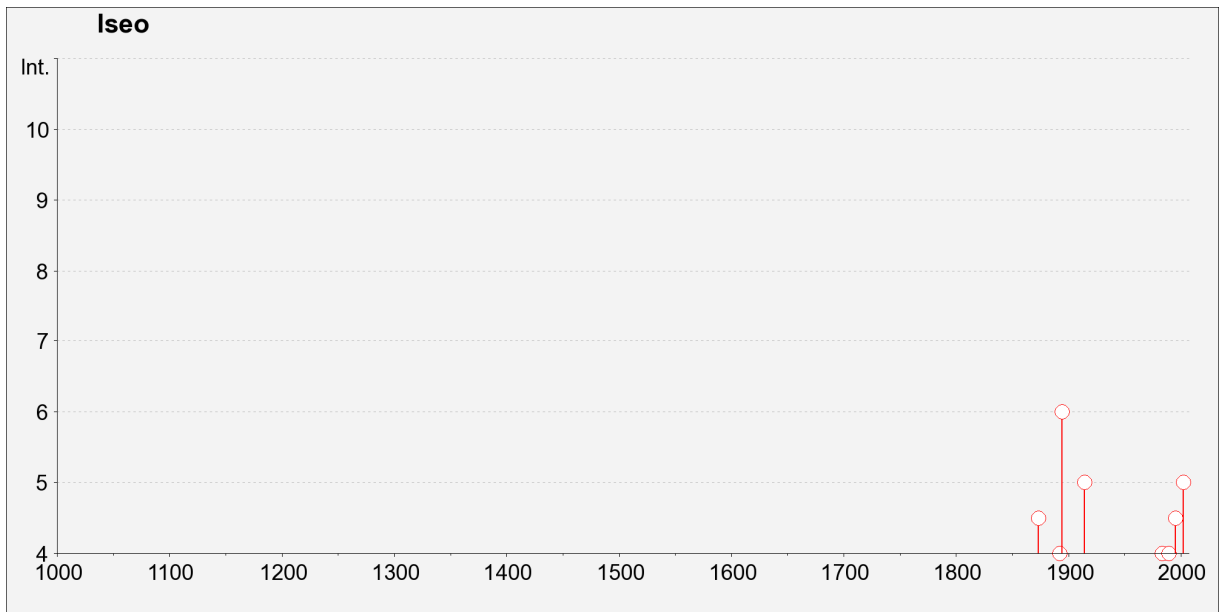


Figura 2: Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

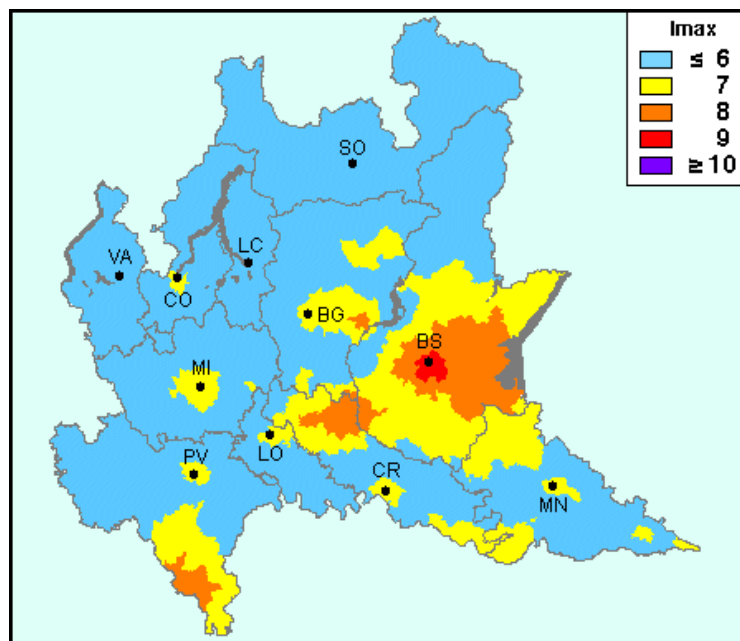


Figura 3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

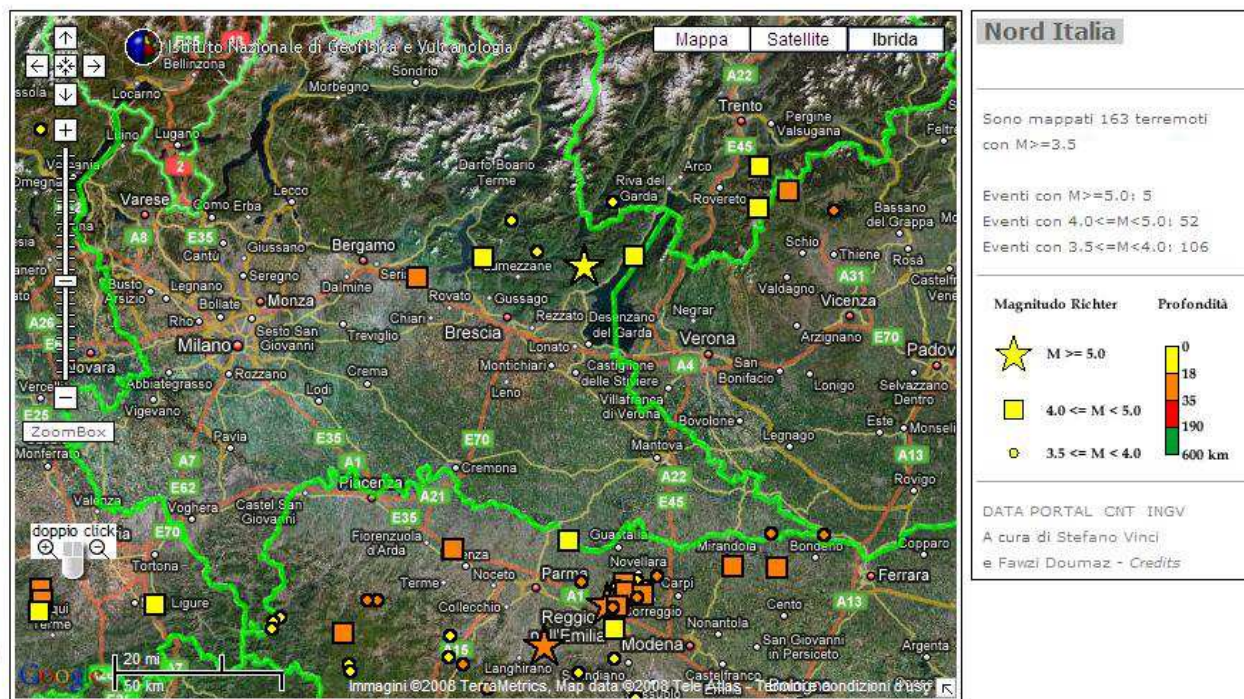


Figura 4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

Pericolosità sismica

Come accennato nel paragrafo precedente, in seguito all'emanazione della O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14.09.2005, è stata prodotta una nuova versione della Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV anno 2004 e 2006).

La mappa riporta il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella figura seguente si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di Monticelli Brusati il valore di a_g atteso risulta compreso tra **0.125 e 0.150 g**, concorde a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 3 (D.M. 14.09.2005, tabella 8.1).

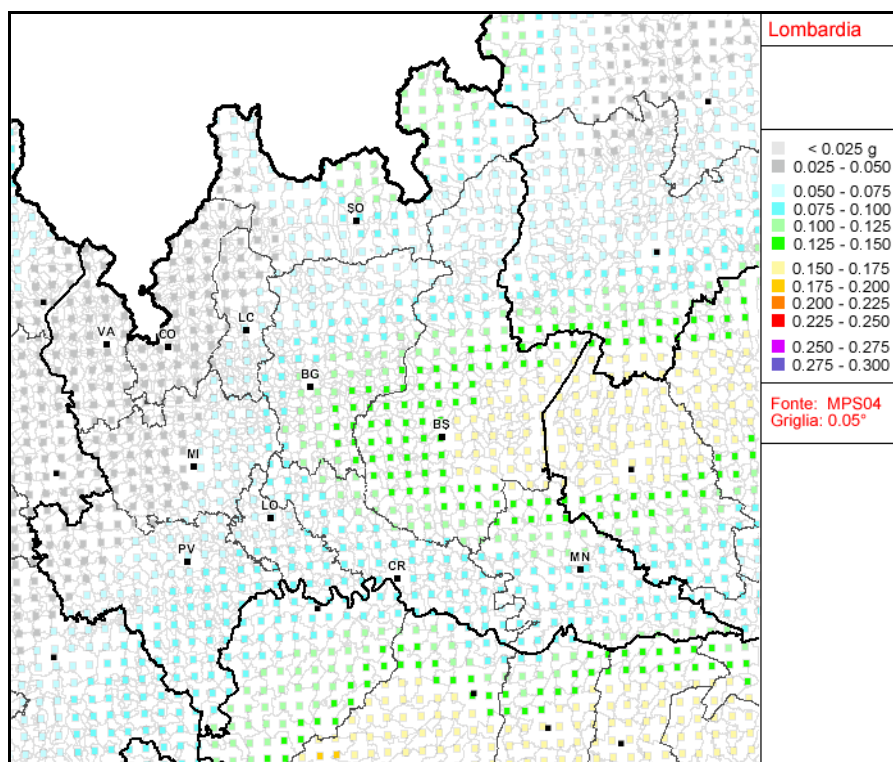


Figura 5: Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

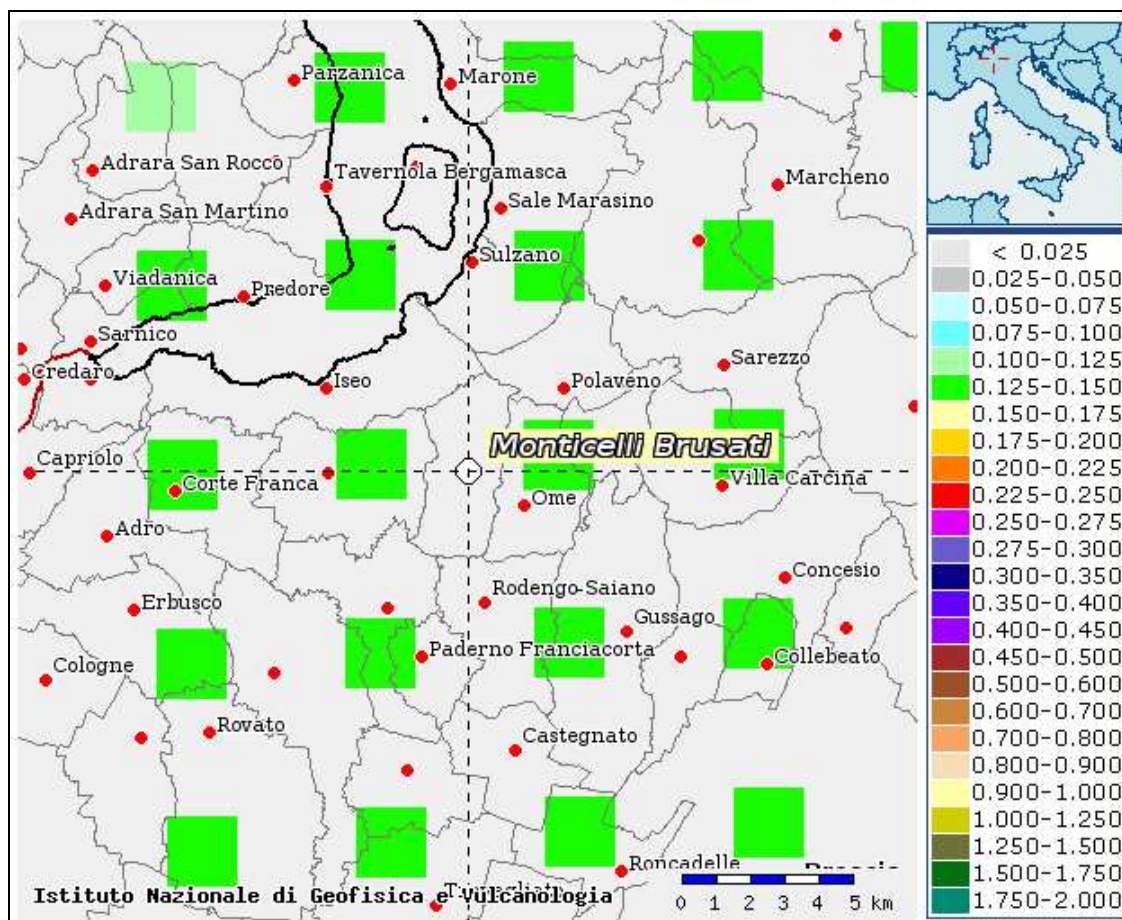


Figura 6: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Monticelli Brusati.

Tuttavia, i soli valori di a_g non sono sufficienti a descrivere le caratteristiche del moto atteso in un sito: le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i

terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area:

- *gli effetti di amplificazione topografica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello difratto. Se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi, l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;
- *gli effetti di amplificazione litologica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche. Tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Al fine di individuare gli effetti di sito locali, la D.G.R. 2616/2011 prevede che, in fase di pianificazione urbanistica, venga affrontata l'analisi della pericolosità sismica del territorio secondo livelli di approfondimento successivi.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di

progettazione; nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza:

	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE <i>PSL= Pericolosità sismica locale</i>		
	<i>1° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>2° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>3° Livello</i> <i>Fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Per il Comune di Monticelli Brusati, l'analisi territoriale (basata sui dati innanzi acquisiti) ha definito i seguenti scenari di Pericolosità Sismica Locale (Tavola 6):

ZONE PER LE QUALI SONO ATTESI EFFETTI DI INSTABILITA'

- Z1a – Zone caratterizzate da movimenti franosi attivi
- Z1b – Zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti
- Z1 c – Zone potenzialmente franose o esposte a rischio di frana

ZONE PER LE SONO ATTESI EFFETTI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

- Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi (ripianti modellati nei depositi quaternari)
- Z4b – Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre

E' inoltre stato genericamente indicato l'ambito montano, caratterizzato da morfologia complessa, per il quale sussiste il rischio potenziale di fenomeni di amplificazione topografica.

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

La carta della pericolosità sismica locale costituisce il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, come mostrato nella tabella seguente:

<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>Classe di Pericolosità Sismica</i>
Z1a	H3
Z1b	H2- livello di approfondimento 3°
Z1c	
Z3a	H2- livello di approfondimento 2°
Z3b	
Z4a	H2- livello di approfondimento 2°
Z4b	
Z5	H2- livello di approfondimento 3°

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di Monticelli Brusati, in corrispondenza degli ambiti di trasformazione previsti dal Documento di Piano si è proceduto ad eseguire l'analisi di II livello secondo i disposti della D.G.R. n. 2616/2011.

Valutazione degli effetti sismici di sito: analisi sismica di secondo livello

Per il Comune di Monticelli Brusati i valori di F_a di soglia (stabiliti con D.G.R. 8/7374/2008 e D.G.R. n. IX/2616/2011), riferiti all'intervallo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D e E), sono i seguenti:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Monticelli Brusati	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Monticelli Brusati	1.7	2.4	4.2	3.1

Tabella 1a: valori di soglia del fattore di amplificazione F_a per il comune di Monticelli Brusati.

I due intervalli per i quali viene calcolato il valore di F_a derivano dal periodo proprio delle tipologie costruttive che costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio: in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e rigide, mentre l'intervallo 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Il periodo proprio di un edificio può essere in prima analisi definito utilizzando la seguente espressione semplificata $T_0=C_1H^{3/4}$ dove H è l'altezza dell'edificio in metri dal piano fondazionale mentre C_1 è un fattore che dipende dal tipo di struttura portante dell'edificio (D.M. 14.01.2008).

AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Lo **scenario Z4a** (l'unico identificato per gli ambiti di trasformazione previsti dal Piano di Governo del Territorio) identifica la possibilità che si verifichino effetti di amplificazione sismica legati alle caratteristiche lito-stratigrafiche e meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo (amplificazione di tipo litologico). Per effettuare l'analisi di 2° livello con uno scenario Z4a è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità e spessore e velocità di ciascuno strato.

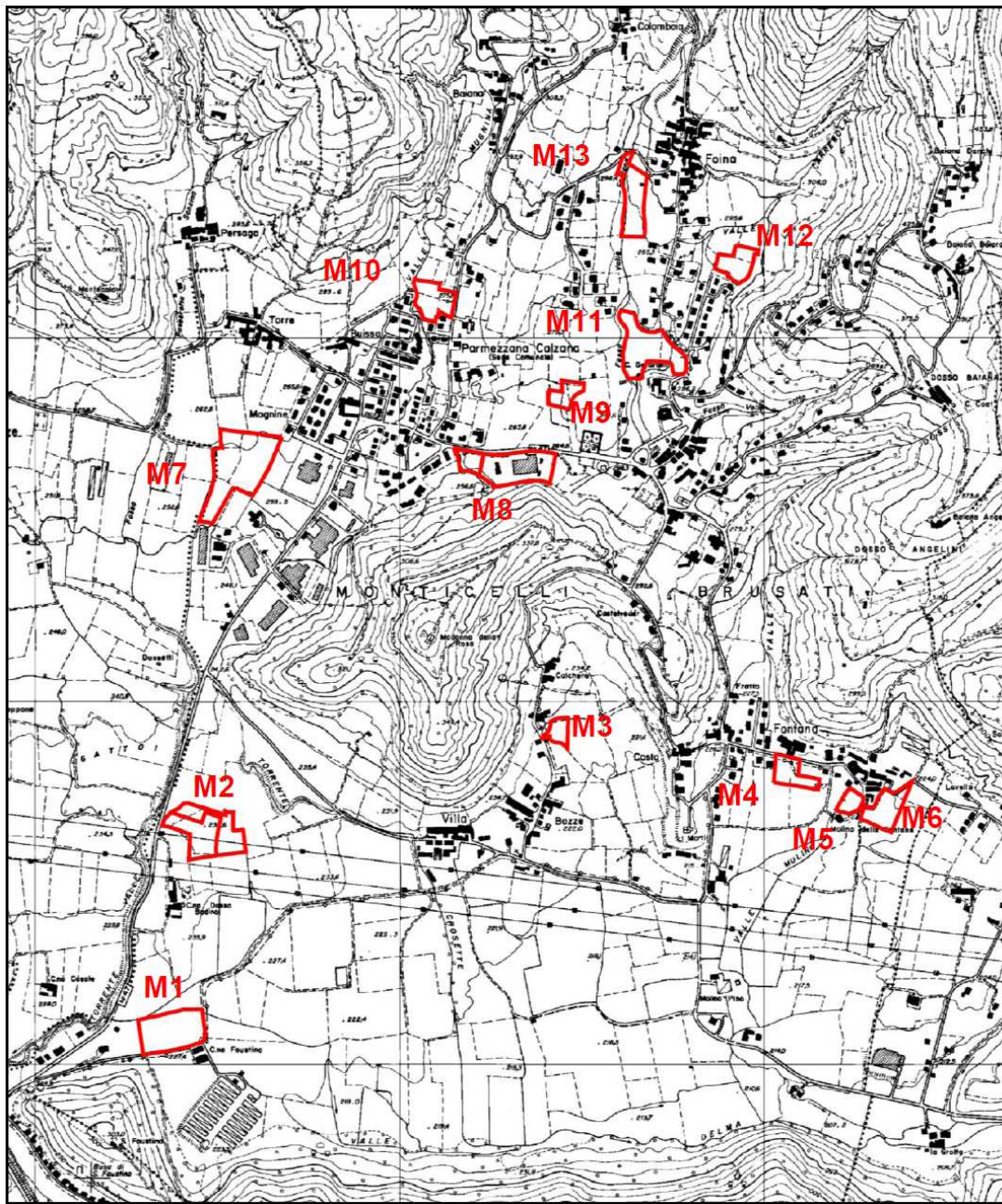
Tali parametri possono essere ricavati con metodi differenti, ciascuno contraddistinto da un diverso grado di attendibilità, così come riportato nella tabella seguente.

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 2a: Livelli di attendibilità per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito.

Per ciascun ambito di trasformazione previsto dal Documento di Piano (immagine seguente) si è proceduto quindi all'esecuzione di un'apposita indagine geofisica tipo MASW, attraverso la quale è stato ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la

profondità (V_s -z): ciò consente di valutare le possibili modifiche della pericolosità sismica di base (accelerazione attesa su suolo rigido o suolo A) dovute alle proprietà litotecniche dei terreni che costituiscono l'area stessa.



Individuazione di ciascuna area sulla quale è stata eseguita un'indagine MASW finalizzata all'approfondimento di II livello

Stima degli effetti litologici

Secondo la procedura prevista per il 2° livello di approfondimento, il primo passo consiste nell'individuare la scheda litologica di riferimento che meglio approssima l'andamento del profilo Vs-z proprio del sito in esame (andamento Vs-z posto all'interno del "campo di validità" della scheda).

All'interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa, calcolando successivamente il periodo proprio del sito con la seguente espressione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al bedrock sismico (strato con $V_s > 800$ m/s).

Per le aree in cui non è stato rilevato direttamente, la profondità del bedrock sismico è stata ricavata assegnando un gradiente di tipo logaritmico alla velocità delle onde S con la profondità.

In questo modo, utilizzando l'equazione propria della curva stabilita, è stato possibile determinare il fattore di amplificazione Fa. Sulla base dei modelli monodimensionali ricostruiti, si ottengono i seguenti risultati:

Area	Curva	Scheda	Periodo T_0	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
1	3	Ghiaiosa	0.13 s	1.23	1.04
2	3	Ghiaiosa	0.16 s	1.28	1.06
3	3	Limoso-Sabbiosa2	0.38 s	1.82	1.37
4	2	Limoso-Sabbiosa2	0.43 s	2.09	1.41
5	2	Limoso-Sabbiosa2	0.42	2.09	1.41
6	2	Limoso-Sabbiosa2	0.36	2.10	1.35
7	2	Limo-Sabbioso1	0.23 s	1.68	1.19

8	1	Limo-Sabbioso2	0.40 s	2.39	1.39
9	1	Limo-Sabbioso2	0.36 s	2.40	1.35
10	2	Limo-Argilloso2	0.31 s	2.10	1.24
11	2	Limo-Sabbioso2	0.38 s	2.13	1.36
12	3	Limo-Sabbioso2	0.43 s	1.78	1.41
13	2	Limo-Sabbioso2	0.36 s	2.13	1.34

Valutazione dei fattori di amplificazione per le aree indagate.

Analisi dei dati e considerazioni

I valori di F_a proprio del sito sono stati confrontati con il valore F_a di soglia (tabella 1), differente per le diverse categorie di suolo. Le categorie di sottosuolo, secondo l'OPCM 3274 e il DM 14.01.2008, risultano così identificate:

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m</i>	> 800	-	-
B	<i>Rocce tenere e da 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</i>	360-800	>50	>250
C	<i>Depositi 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</i>	180-360	15-50	70-250
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	<180	<15	<70
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>			

in cui $V_{s,30}$ è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m più superficiali.

A partire dai profili V_s -profondità ricostruiti per le aree esaminate è stato possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di $V_{s,30}$ (i 30 m di profondità sono stati misurati convenzionalmente dal piano campagna), ottenendo i seguenti risultati:

Area	V_{s30} [m/s]	Categoria di suolo
1	604.5	B
2	556.8	B
3	339.1	C
4	285.9	C
5	285.1	C
6	306.8	C
7	386.3	B
8	306.7	C
9	302.3	C
10	361.2	B
11	310.7	C
12	292.0	C
13	303.4	C

e confrontando i valori del fattore di amplificazione del sito con quelli di soglia risulta che

Area	Intervallo $0.1 < T_0 < 0.5$ s	Note	Intervallo $0.5 < T_0 < 1.5$ s	Note
1	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
2	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
3	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
4	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
5	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
6	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
7	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
8	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
9	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
10	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
11	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
12	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti
13	$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC non sufficienti	$F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$	NTC sufficienti

La condizione $F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$ (NTC non sufficienti) implica che l'utilizzo della categoria di sottosuolo stabilita secondo la normativa antisismica (D.M. 14.01.2008) non considera adeguatamente i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito; diversamente la condizione $F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$ (NTC sufficienti) implica la possibilità di utilizzare la categoria di sottosuolo stabilita secondo le NTC08 nella definizione dell'azione sismica di progetto. Tale considerazione supporta la necessità (già imposta dalla D.G.R. 8/7374/2008 e dalla DGR IX/2616) che, per qualsiasi trasformazione d'uso del suolo legata alla realizzazione di nuovi edifici, il cui periodo proprio sia contenuto nell'intervallo tra 0.1 s e 0.5 s, venga preventivamente valutata la pericolosità sismica locale attraverso il 2° livello di approfondimento; qualora venisse confermato il superamento del F_a di soglia, si dovrà procedere alla definizione dell'azione sismica di progetto attraverso l'analisi di 3° livello

oppure utilizzando la categoria di suolo successiva fino alla verifica della condizione $F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$, così come previsto dalla DGR 8/7374 e dalla DGR IX/2616.

Per le costruzioni con periodo proprio compreso tra 0.5-1.5s (strutture con più di 5 piani e flessibili) sarà invece possibile utilizzare la categoria di sottosuolo ottenuta applicando quanto riportato nel capitolo 3.2.2 delle NTC08.

CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 7 sono stati cartografati i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica, limitanti nella fattibilità geologica delle azioni di piano; in particolare:

1. **Le aree vulnerabili dal punto di vista idraulico e idrogeologico:**

- i pozzi e le sorgenti captate a scopo acquedottistico e le relative fasce di tutela assoluta e di rispetto (D. Lgs. 152/2006);
- le aree a vulnerabilità estremamente alta delle acque sotterranee per la presenza di circuiti idrici di tipo carsico ben sviluppati (come individuato dal PTCP).

2. **Le aree per le quali vigono le salvaguardie di cui all'art. 9 delle N.T.A. del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.),** ovvero:

- le frane, tra cui si distinguono le aree interessate da frane attive (Fa) a pericolosità molto elevata, le aree interessate da frane quiescenti (Fq) a pericolosità elevata, le aree interessate da frane stabilizzate (Fs) a pericolosità media o moderata;
- esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua, in particolare aree coinvolgibili da fenomeni con pericolosità molto elevata (Eb).

3. Il **reticolato idrografico** (definito sulla base della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.); le attività consentite e quelle vietate, così come le fasce di rispetto, sono normate da specifico regolamento di polizia idraulica.

4. Le **componenti del paesaggio fisico e naturale** e, in particolare, i crinali e loro ambiti di tutela (artt. 90 e 128 del P.T.C.P.).

5. Fra le **aree tutelate dalla pianificazione del settore estrattivo**, sono stati cartografati due ambiti territoriali estrattivi (Ate 011 e Ate 012) del Piano Cave provinciale per i settori argille, pietre ornamentali e calcari della Provincia di Brescia, approvato con d.c.r. del 21/12/2000 n. VI/120 e variato e rettificato con d.c.r. n. VIII/582 del 19/03/2008.

CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi (Tavola 8) costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche: realizzata alla scala 1:10.000, l'elaborato contiene gli elementi più significativi emersi nella fase di analisi.

Nella cartografia di sintesi di Tavola 8 sono stati rappresentati i lineamenti più significativi dopo aver individuato sull'intero territorio comunale le seguenti aree, individuate per tipologia di substrato e per una omogeneità morfologica, litotecnica e idrogeologica.

1. DEPOSITI DI VERSANTE

- caratteristiche morfologiche: serie di ripiani sfalsati di altezza variabile, frequentemente rimaneggiati dall'intervento antropico e modellati nei depositi di versante incisi dal reticolo idrografico;
- caratteristiche litotecniche: terreni coesivi (argilla e limo), all'interno dei quali si sviluppano lenti di depositi più grossolani (ghiaia e ciottoli) poco selezionati;
- permeabilità dei terreni: bassa.

2. DEPOSITI FLUVIOGLACIALI, ALLUVIONALI E COLLUVIALI

- caratteristiche morfologiche: superfici sub-pianeggianti modellate nei depositi fluvio-glaciali, alluvionali e colluviali colmanti originarie depressioni morfologiche e/o strutturali;
- caratteristiche litotecniche: limi argillosi generalmente consistenti e poco plastici con clasti millimetrici e spigolosi;
- permeabilità dei terreni: bassa.

3. CORDONI MORENICI

- caratteristiche morfologiche: forme allungate e rilevate rispetto alle superfici adiacenti;
- caratteristiche litotecniche: depositi non selezionati con una dominante matrice limosa;
- permeabilità dei terreni: bassa.

4. **DETRITI DI FALDA**

- caratteristiche morfologiche: superfici modellate in depositi detritici ai piedi dei principali versanti rocciosi;
- caratteristiche litotecniche: depositi eterometrici non selezionati, nei quali sono frequenti ghiaie/blocchi spigolosi immersi in una matrice limo-argillosa diffusa.;
- permeabilità dei terreni: bassa.

5. **AMBITO MONTANO**

- caratteristiche morfologiche: ambito morfologico complesso relativo ai rilievi montuosi modellati in formazioni litoidi;
- trasmissività delle unità idrogeologiche: da bassa a media.

Nella carta di Tavola 7, inoltre sono stati individuati i seguenti elementi, sui quali gravano, nella successiva Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, specifiche limitazioni.

- Il **reticolo idrografico**, già assoggettato a specifico regolamento di polizia idraulica.
- Le **aree morfologicamente depresse alluvionabili** in caso di eventi meteorici intensi.
- I **fenomeni gravitativi** e, in particolare:
 - le aree soggette a crolli/ribaltamenti (attivi o quiescenti);
 - le aree a franosità superficiale diffusa (quiescente);
 - i colamenti rapidi (quiescenti);
 - gli scivolamenti rotazionali/traslativi (quiescenti o stabili);
 - i solchi vallivi interessati da forme di erosione ad opera delle acque incanalate (comprende anche le aree Eb di cui alla carta dei vincoli);
 - la zona di potenziale debris flow derivante dalla destabilizzazione di depositi antropici di versante nei pressi di Dosso Baiana.
- I principali ***elementi idrogeologici***, tra cui:
 - i pozzi e le sorgenti captate a scopo acquedottistico e relative fasce di tutela assoluta e di rispetto;
 - i fenomeni sorgentizi e le sorgenti non captate a scopo acquedottistico;

- Le **forme e i processi di origine antropica**, ovvero:
- le cave per estrazione di pietre ornamentali (ATE 011 e ATE 012) rispettivamente nei pressi di Foina e di Gaiana;
 - l'area nei pressi del capoluogo con matrici ambientali contaminate e/o soggette a verifica e/o a procedimento di bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06.

CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL PAI

La carta del dissesto con legenda uniformata al PAI rappresentata in tavola 9 è stata redatta in scala 1:10.000 utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale e contiene una rappresentazione delle aree in dissesto classificate conformemente alle Tavole di delimitazione delle aree in dissesto del PAI.

I dissesti evidenziati derivano dalle risultanze emerse dalla cartografia di analisi (in parte dalla carta geomorfologica), successivamente rielaborata nella carta di sintesi.

Il dissesto (rappresentato come da legenda PAI con specifico retino) è quello estratto dal database della Regione Lombardia; in particolare:

- le frane attive (Fa) a pericolosità molto elevata
- le frane quiescenti (Fq) a pericolosità elevata;
- le frane stabilizzate (Fs) a pericolosità media o moderata;
- le aree di esondazione e i dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua (solchi vallivi interessati da forme di erosione ad opera delle acque incanalate), in particolare le aree coinvolgibili da fenomeni con pericolosità molto elevata (Eb).

Oltre ad aggiornare il tematismo relativo alle aree di tipo Eb (evidenziando tutti i solchi vallivi all'interno dei quali sono presenti puntuali fenomeni di dissesto), la Tavola 9 delinea tre nuove aree (tutti gli aggiornamenti sono rappresentati mediante simbolo grafico colorato):

- la zona soggetta a crolli a N di Gaiana (fenomeno contrastato efficacemente dalla realizzazione di barriere paramassi);
- la frana attiva (Fa) che coinvolge la strada comunale nei pressi di Casa Cucca (a N di Baiana), innescata dal ruscellamento/infiltrazione di acque provenienti da un'area oggetto di recente rimodellamento morfologico (movimento tipo scivolamento);
- la zona di potenziale debri-flow (frana potenziale o quiescente - Fq) derivante dalla eventuale destabilizzazione di depositi antropici nella Valle Sotto dei Dossi riportati a scopi di sistemazione agronomica. Sulla base di considerazioni preliminari (di tipo puramente morfologico-topografico), ritenendo possibile un movimento gravitativo secondo un meccanismo di debri-flow, sono state individuate le aree potenzialmente minacciate dal movimento franoso, ipotizzando una zona di scorrimento, una di primo accumulo (deposito dei materiali più grossolani) e una di alluvionamento (deposito di

terreni fini in corrispondenza delle aree più depresse). Considerata la pericolosità insita nel fenomeno, tuttavia, una migliore definizione delle superfici e/o relativo svincolo delle aree potenzialmente interessate non può prescindere da uno studio di dettaglio che esamini nel suo complesso la stabilità dei materiali antropici riportati, del versante su cui giacciono e della possibile evoluzione del fenomeno gravitativo.

ALLEGATO 1: Trincee esplorative

T1:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	1.10	CL	Argilla con limo molto consistente plastica di colore nocciola
Da	1.10	a	1.80	CL	Argilla con limo molto consistente plastica di colore grigio
Da	1.80	a	2.70	ML	Limo argilloso con frustoli vegetali
<i>falda: assenza</i>					

T2:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	1.00	CL	Argilla con limo con ciottoli da millimetrici a centimetrici di colore rossiccio
Da	1.00	a	1.30	CL	Argilla con limo e ciottoli decimetrici
Da	1.30	a	2.10	CL	Argilla con limo e ciottoli da millimetrici a centimetrici di colore rossiccio
Da	2.10	a	2.30	GW	Ghiaia costituita da ciottoli da centimetrici a decimetrici
<i>falda: assente</i>					

T3:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	0.80	ML	Limo argilloso di colore marrone con poca ghiaia
Da	0.80	a	2.00	ML	Limo argilloso di colore rossastro
Da	2.00	a	2.70	ML	Limo con argilla molto consistente poco plastico di colore nocciola
<i>falda: assente</i>					

T4:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	1.50	CL	Argilla con limo molto consistente plastica di colore nocciola
Da	1.50	a	2.50	ML	Limo con argilla molto consistente poco plastico di colore marrone
<i>falda: assente</i>					

T5:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.10		Riporto costituito da materiale di demolizione di piccola pezzatura con matrice limosa
Da	0.10	a	1.00	CL	Argilla limosa consistente plastico di colore nocciola
Da	1.00	a	2.30	CL	Argilla con limo molto consistente plastica di colore grigio chiaro
<i>falda: assente</i>					

T6:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	0.80	ML	Limo con argilla consistente plastica di colore marrone
Da	0.80	a	1.80	ML	Limo con argilla di colore grigio chiaro e ciottoli centimetrici marnosi
Da	1.80	a	2.70	ML	Limo con argilla di colore rossastro e ciottoli centimetrici marnosi
<i>falda: assente</i>					

T7:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	2.80	SM	Limo con argilla consistente poco plastico di colore nocciola
<i>falda: assente</i>					

T8:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	0.70	ML	Limo consistente plastico di colore marrone con ciottoli centimetrici
Da	0.70	a	2.40	CL	Argilla limosa consistente plastica di colore grigio
<i>falda: assente</i>					

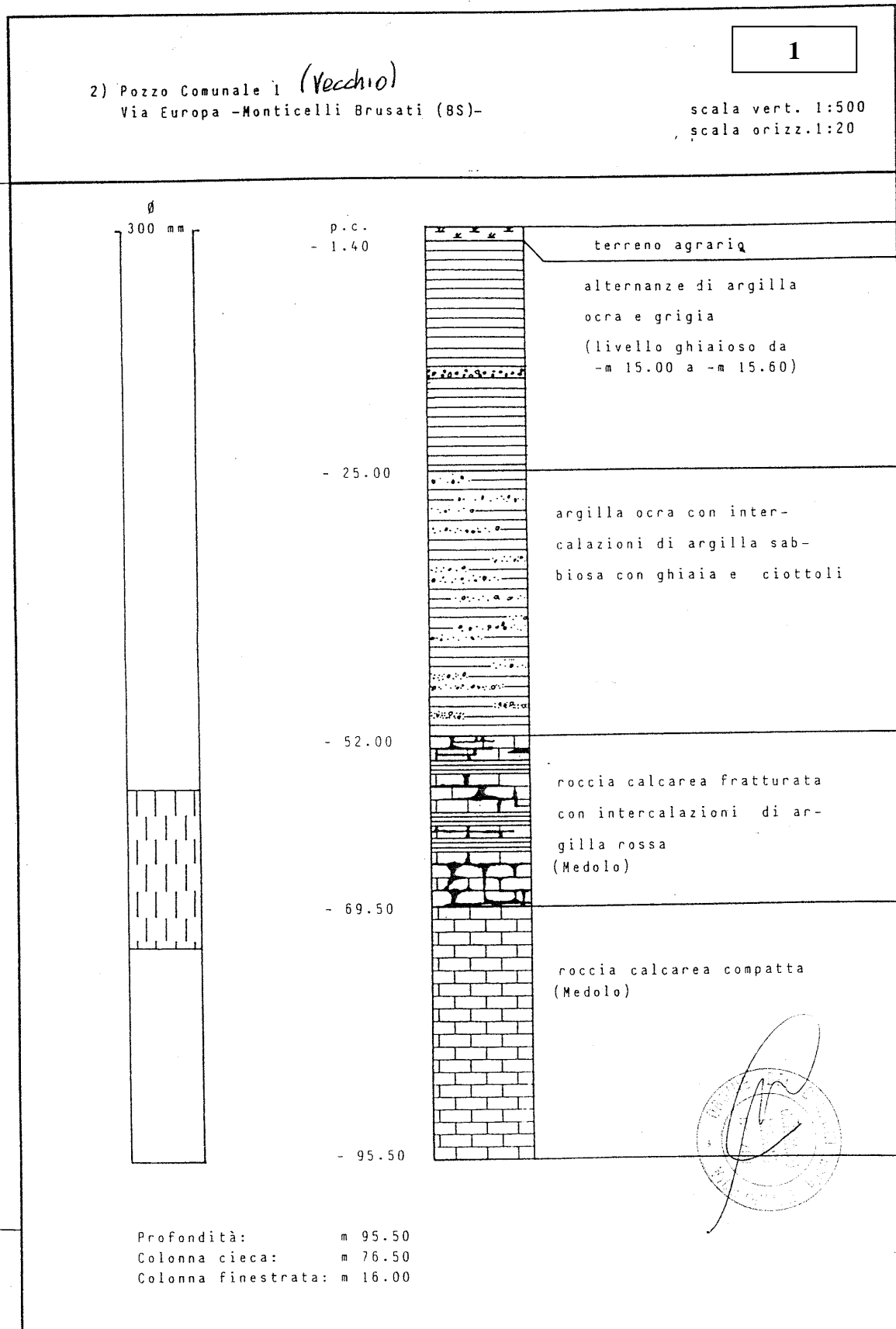
T9:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	1.30	ML	Ghiaia (ciottoli decimetrici) limosa
Da	1.30	a	2.50	GW	Ghiaia in matrice limosa
<i>falda: assente</i>					

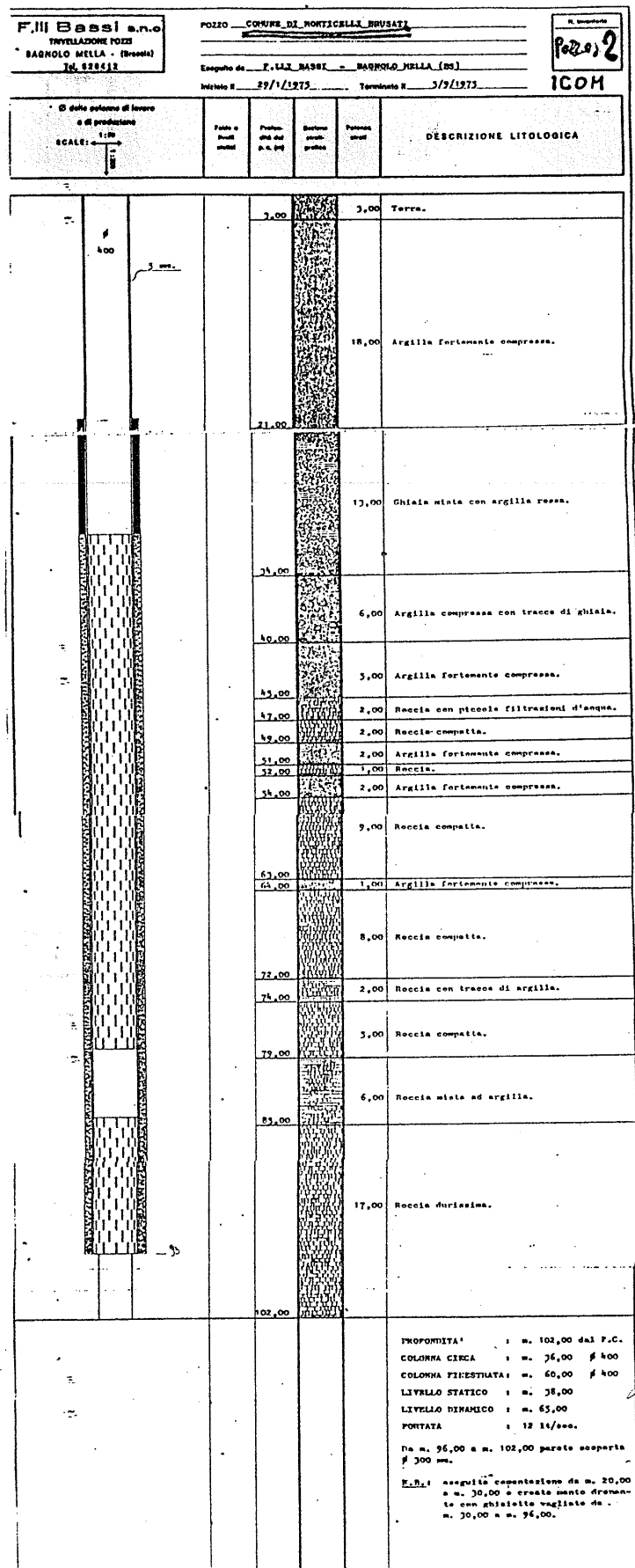
T10:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.70	GW	Ghiaia con ciottoli da centimetrici a decimetrici in matrice limosa
Da	0.70	a	1.30	ML	Limo argilloso poco consistente plastico di colore nocciola
Da	1.30	a	1.50	ML	Limo argilloso poco consistente plastico con sostanza organica
Da	1.50	a	2.30	ML	Limo argilloso poco consistente plastico di colore nocciola
Da	2.30	a	2.50	SM	Limo sabbioso fine di colore nocciola
<i>falda: -1.40 m da p.c.</i>					

T11:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.90	ML	Limo con argilla consistente plastico di colore marrone e sporadici ciottoli
Da	0.90	a	3.10	GM	Ghiaia (ciottoli millimetrici) in matrice sabbioso-limosa
<i>falda: -2.30 m da p.c.</i>					

T12:					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	1.20	ML	Limo con argilla consistente plastico di colore marrone
Da	1.20	a	1.20	ML	Limo molto consistente poco plastico di colore grigio
Da	1.20	a	1.80	ML	Limo con argilla molto consistente plastico di colore marrone con torba
Da	1.80	a	2.70	ML	Limo con argilla molto consistente plastico di colore marrone con ghiaia (ciottoli centimetrici)
Da	2.70	a	3.20	ML	Limo con argilla molto consistente plastico con sostanza organica
<i>falda: assente</i>					

ALLEGATO 2: Stratigrafie dei pozzi acquedottistici





ALLEGATO 3: Valutazione degli effetti sismici di sito – Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Signa srl

INDAGINI GEOFISICHE

Committente: dott. geol. Daguati Marco.

Località: Comune di Monticelli Brusati (Bs).

Indagine: Indagini geofisiche con la metodologia MASW.

RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 57-12			Numero pagine: 22		
A	14/09/12	EMISSIONE	DG	DG	DG
<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Redatto</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>



SIGNA srl
Via G. Donizetti, 7 – 24040 Boltiere (BG)
Tel/Fax 035-806318 – Cell. 331-8218021
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967
www.signasrl.it; e-mail: info@signasrl.it



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
3. ELABORAZIONE DATI	10

ALLEGATO 1 – Ubicazione delle aree di indagine

ALLEGATO 2 – Curve di dispersione

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche consistita nella realizzazione di n. 13 profili sismici con la metodologia MASW effettuati in corrispondenza di altrettante aree situate nel territorio comunale di Monticelli Brusati (BS).

Nell'allegato 1 si riporta l'ubicazione delle aree (M1-M13) all'interno delle quali sono state effettuate le prove sismiche tipo MASW.

La campagna di indagini è stata eseguita su incarico del dott. geol. Marco Daguati nell'ambito della predisposizione dello studio geologico comunale ai sensi della nuova Legge per il Governo del Territorio (D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 "*Criteria ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12*).

Scopo delle indagini è quello di ricostruire, per le aree indagate e oggetto di trasformazione urbanistica, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z): i modelli sismici monodimensionali costituiscono infatti la base di partenza per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale (analisi sismica di II° livello ai sensi dell'allegato 5 della DGR 8/7374 e DGR IX/2616).

Le particolari condizioni sito specifiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base: tali effetti devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica di un'area, soprattutto in fase pianificatoria.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura compresa tra 1.0 e 1.5 m (la configurazione geometrica adottata è stata dettata dalle condizioni logistiche e/o dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh)..

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Tutte le indagini MASW eseguite sono state effettuate con il solo metodo attivo: la generazione delle onde superficiali è stata effettuata utilizzando come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 4 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti (*“Optimum Field Parameters of an MASW Survey”*, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008, Dal Moro 2012).

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata nell’esecuzione delle prove MASW:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS “GEODE” a 24 bit
24	Geofoni verticali	“Geospace” con $f_0 = 4.5$ Hz
2	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico



Figura 1: Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche



Figura 2: Area M1 - vista dello stendimento MASW1.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

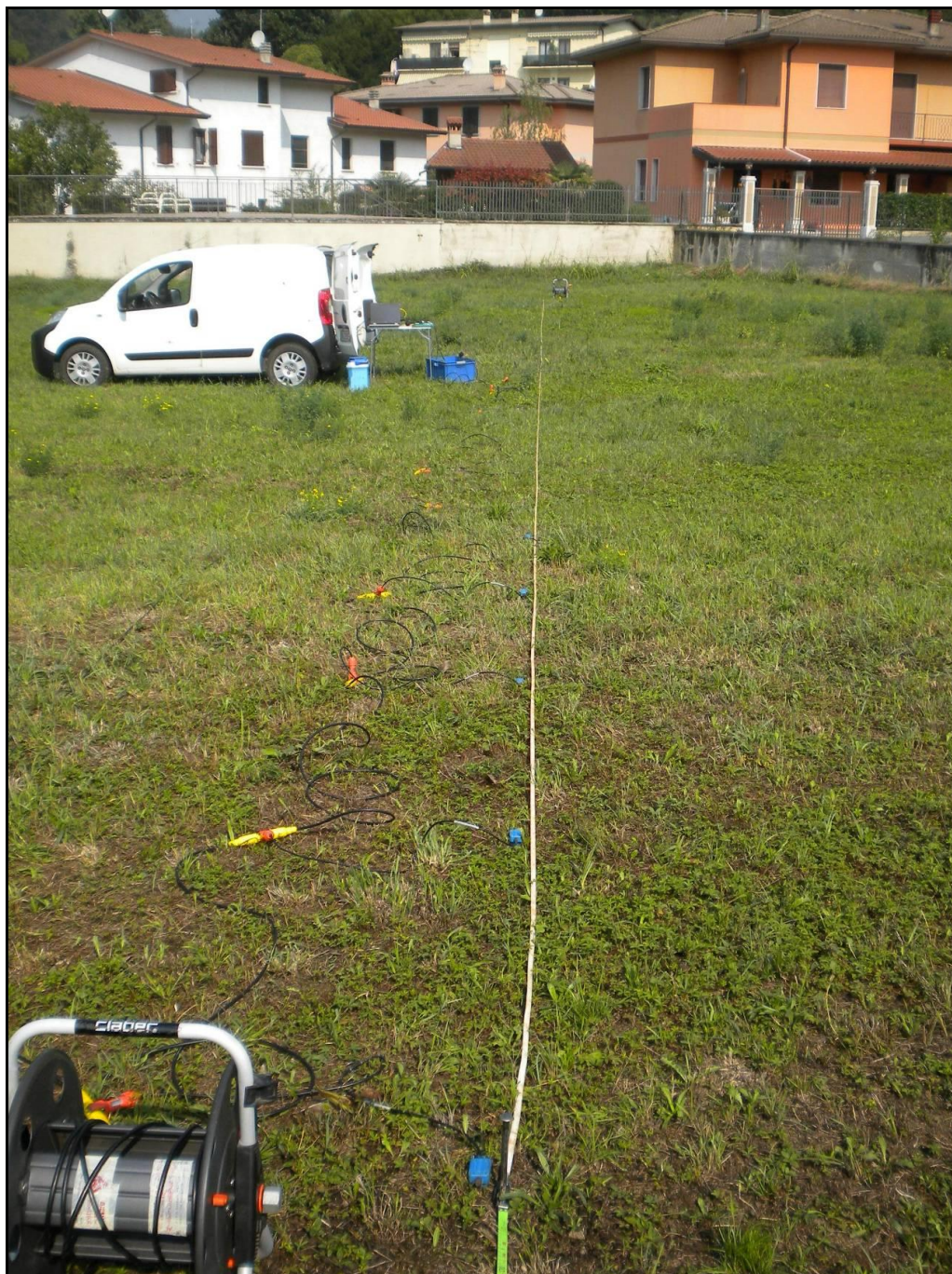


Figura 3: Area M5- vista dello stendimento MASW5.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche



Figura 4: Area M11- vista dello stendimento MASW11.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche



Figura 5: Area M13- vista dello stendimento MASW13.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 2.0** della Kansas University).

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi le curve di dispersione presentate nell'allegato 2).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione delle curve di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell'area investigata.

Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

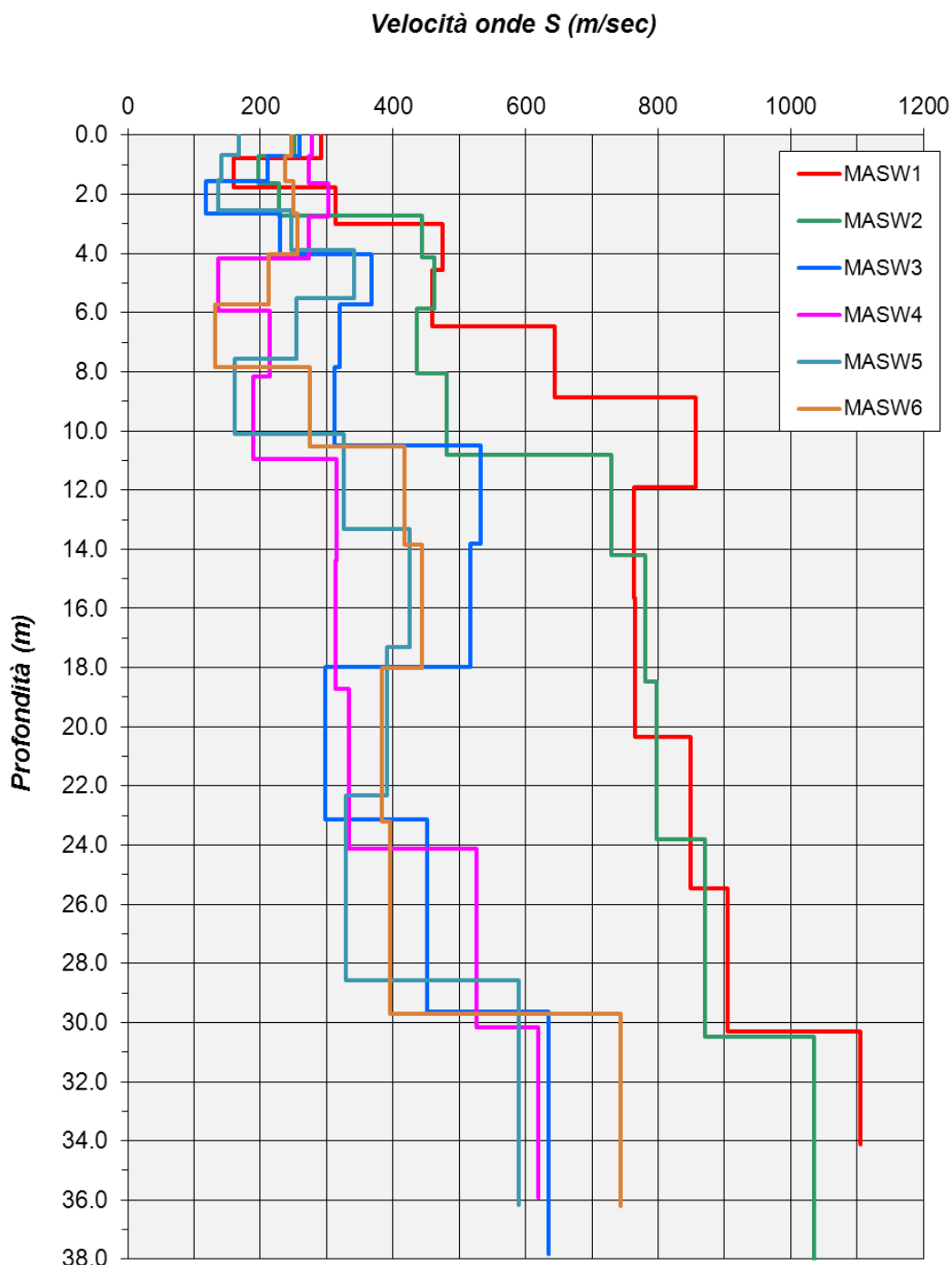


Figura 6: andamento con la profondità della velocità delle onde sismiche di taglio per le aree M1-M6.

Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

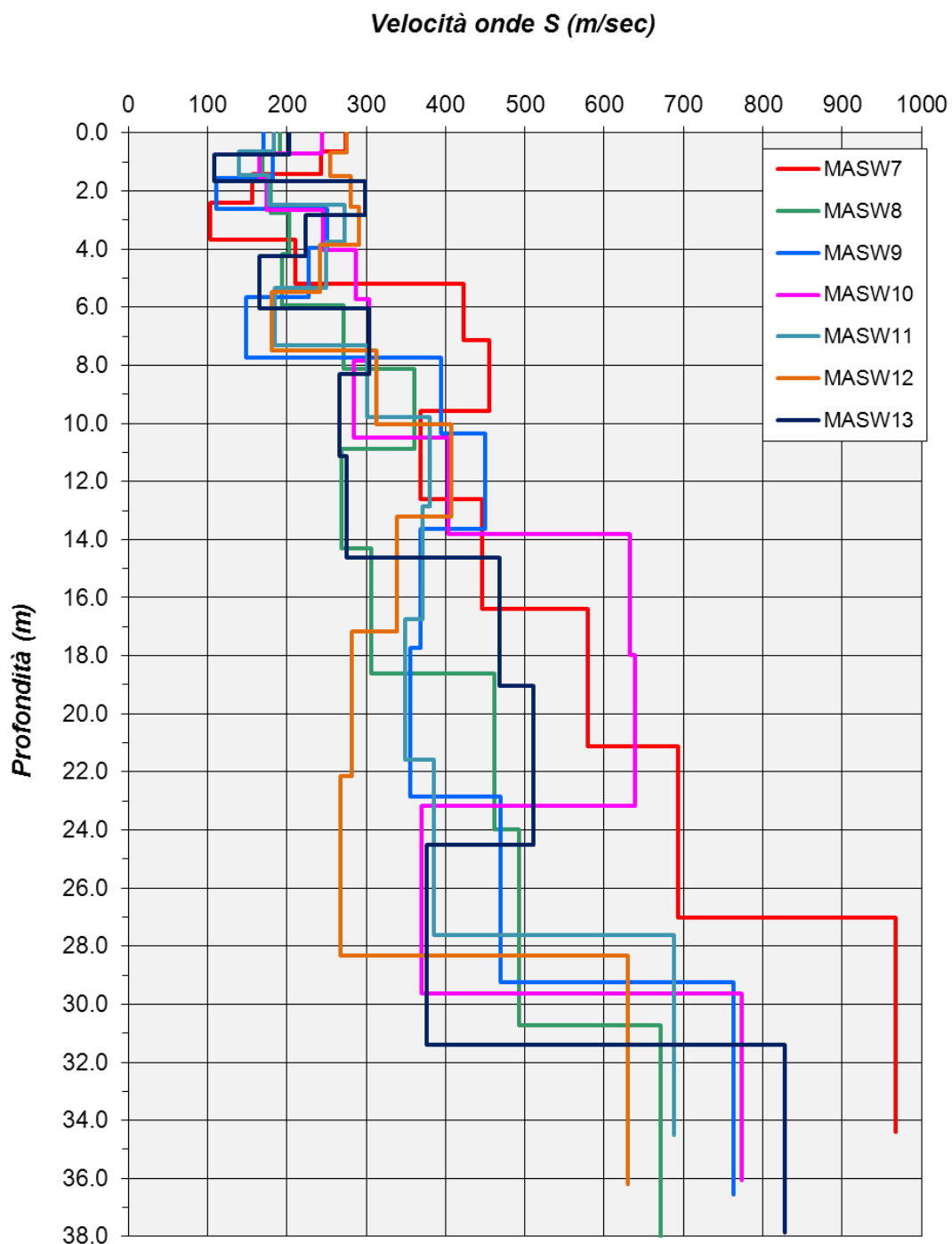


Figura 7: andamento con la profondità della velocità delle onde sismiche di taglio per le aree M7-M13.

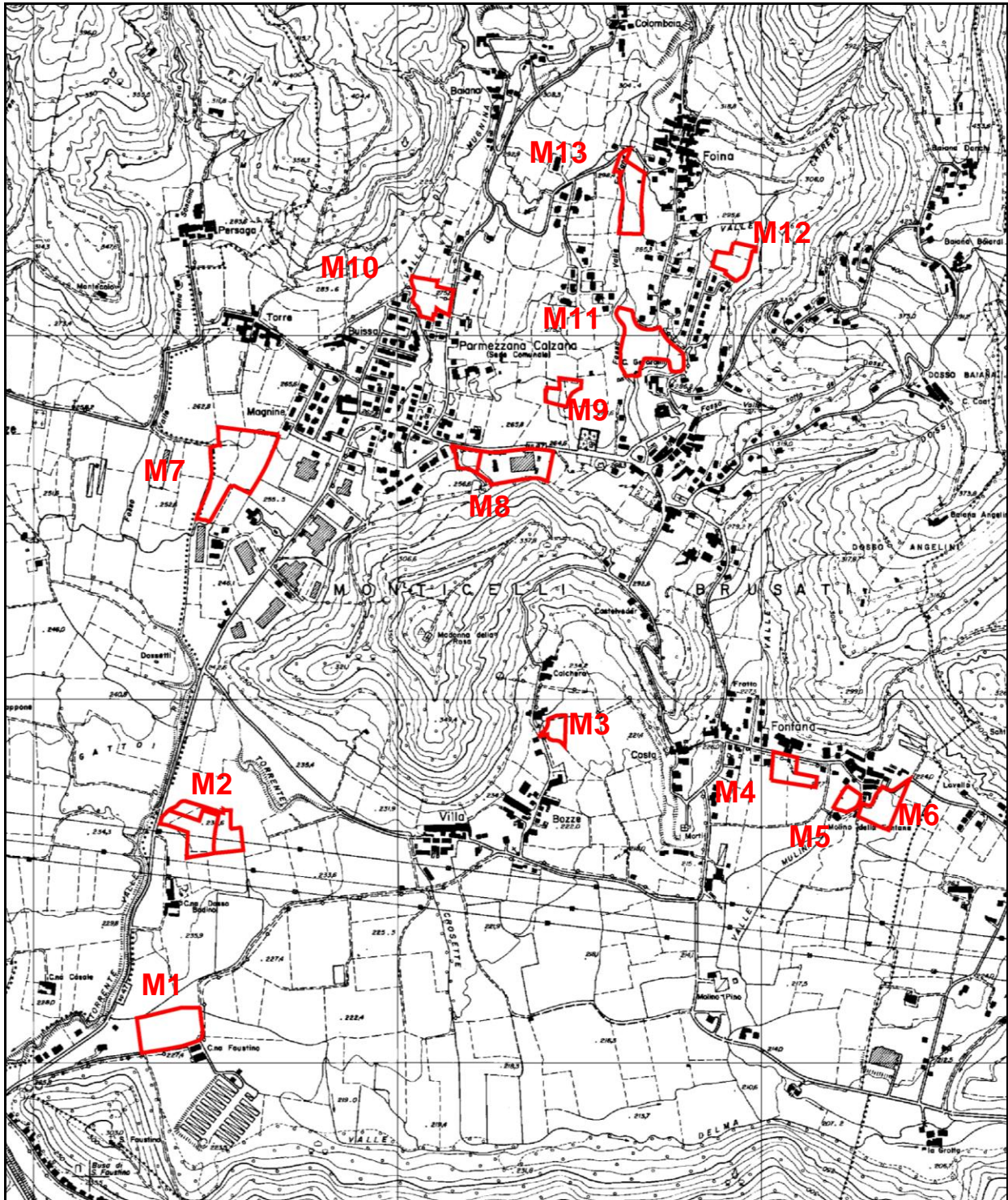
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

ALLEGATO 1

Ubicazione delle aree di indagine

Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW



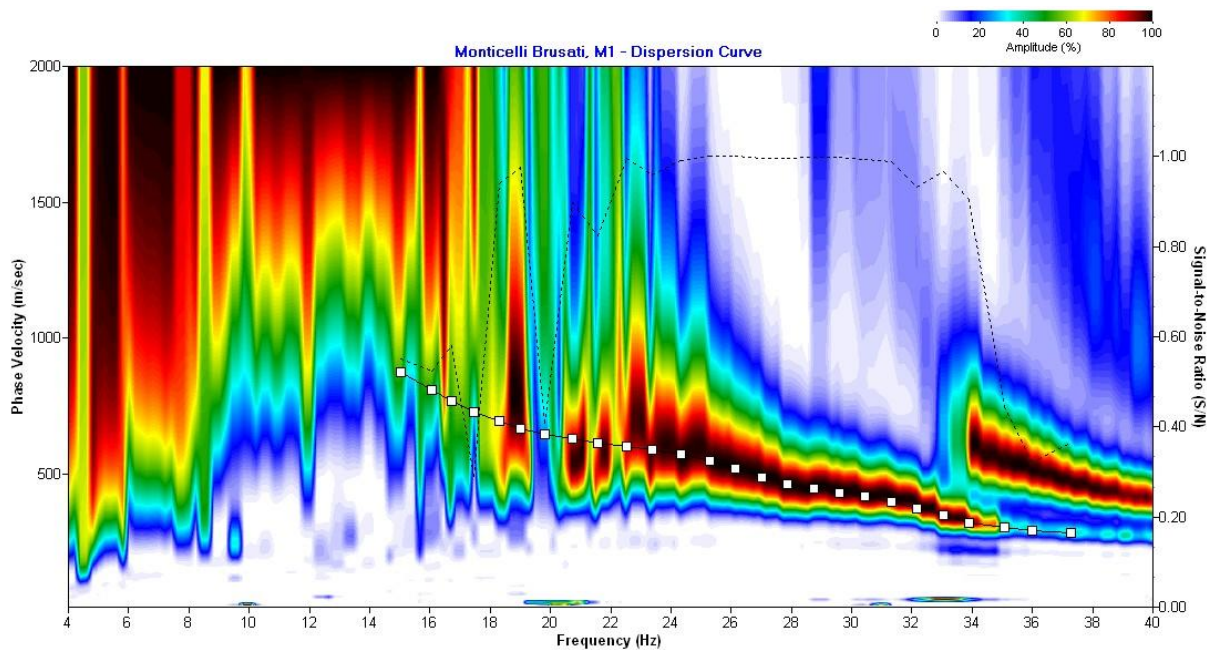
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	14/09/12
	N. Commessa	57-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

ALLEGATO 2
Curve di dispersione

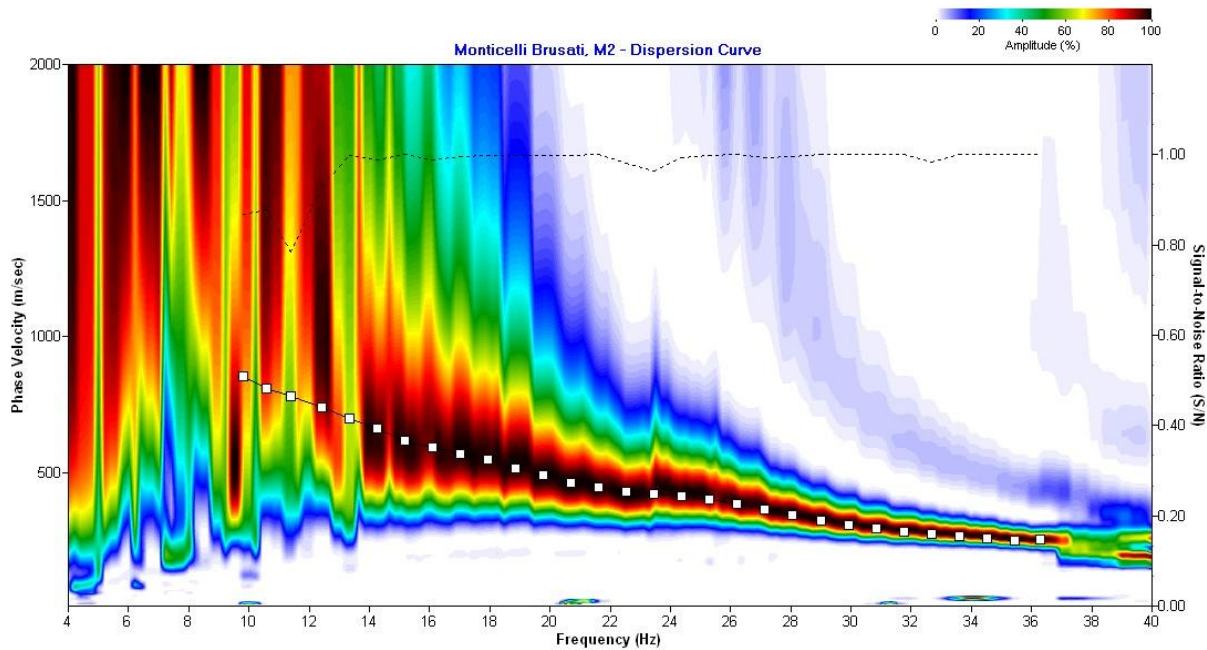
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW1



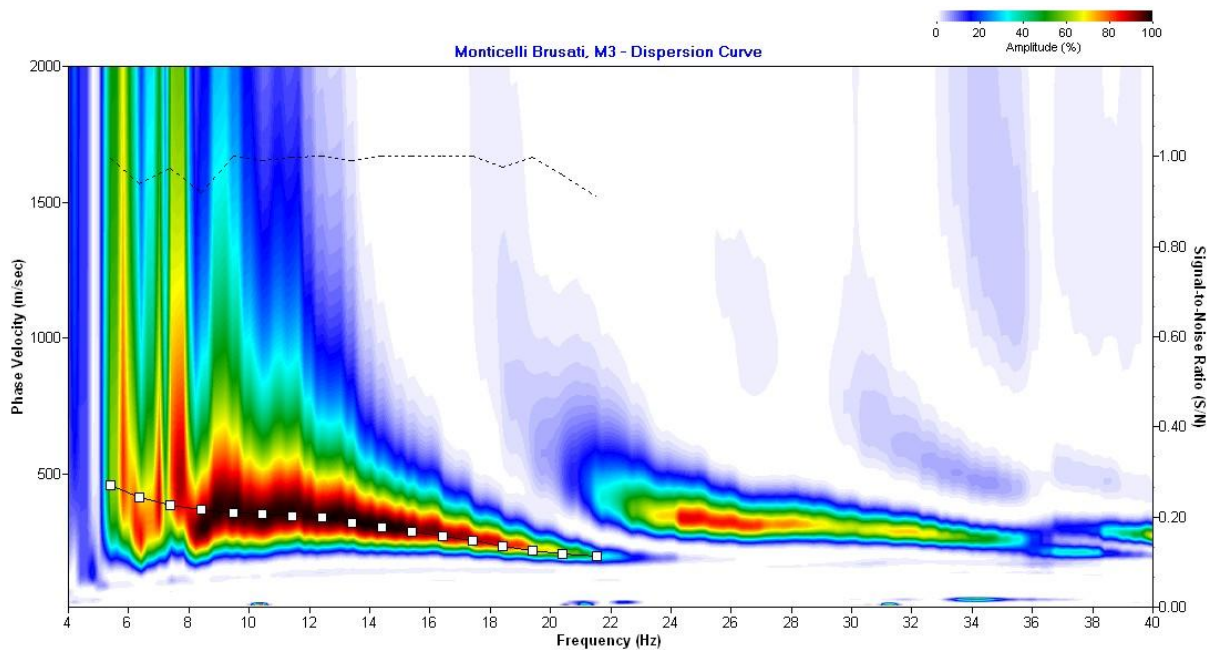
MASW2



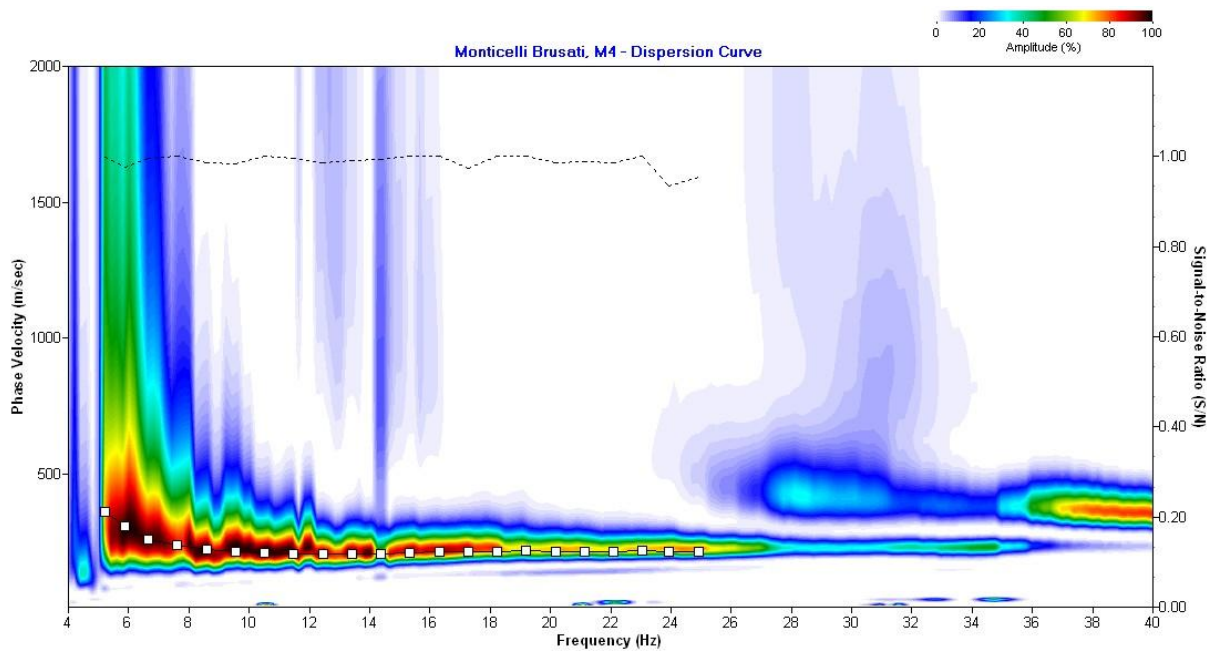
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW3



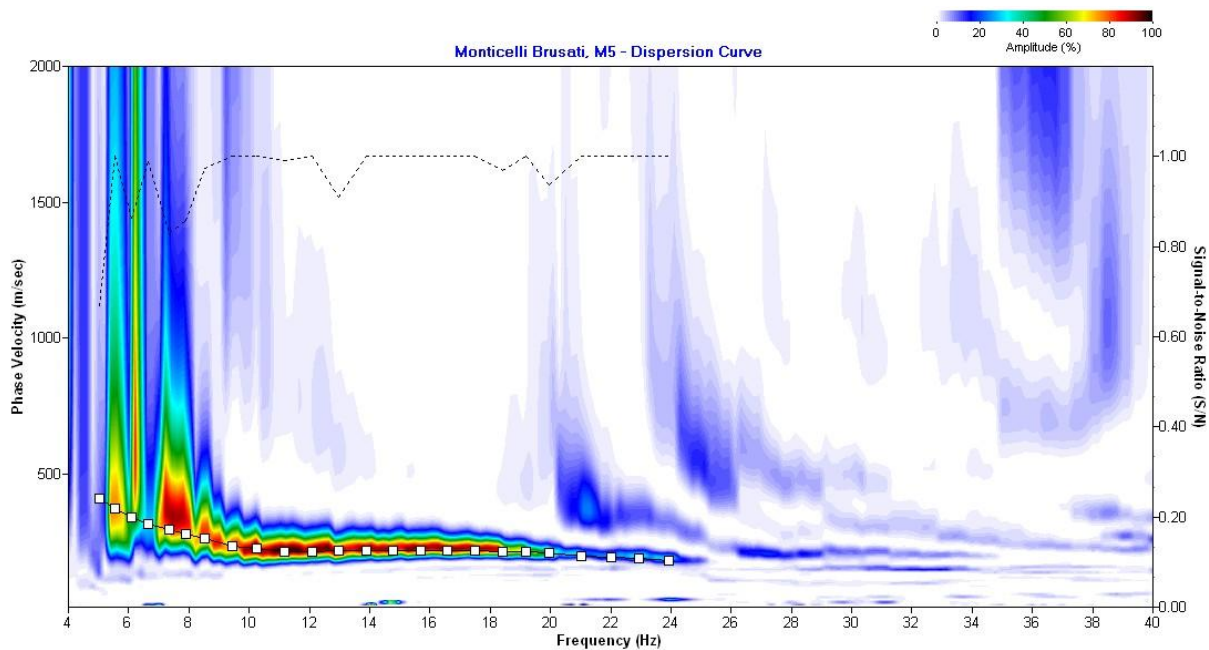
MASW4



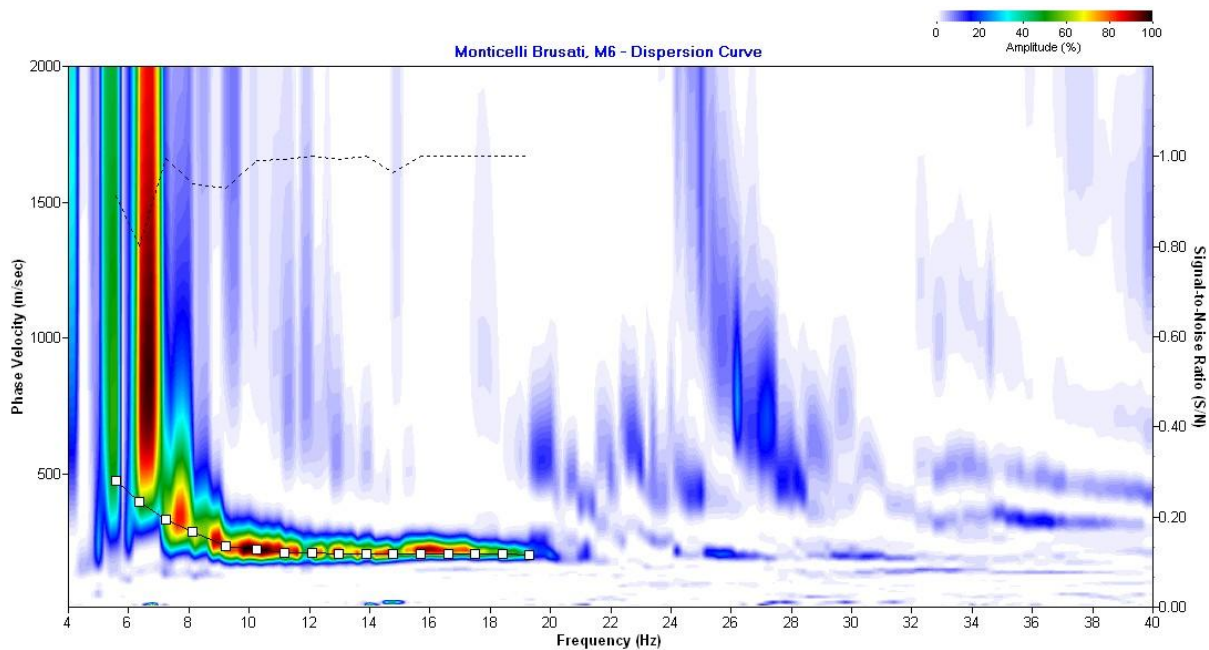
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW5



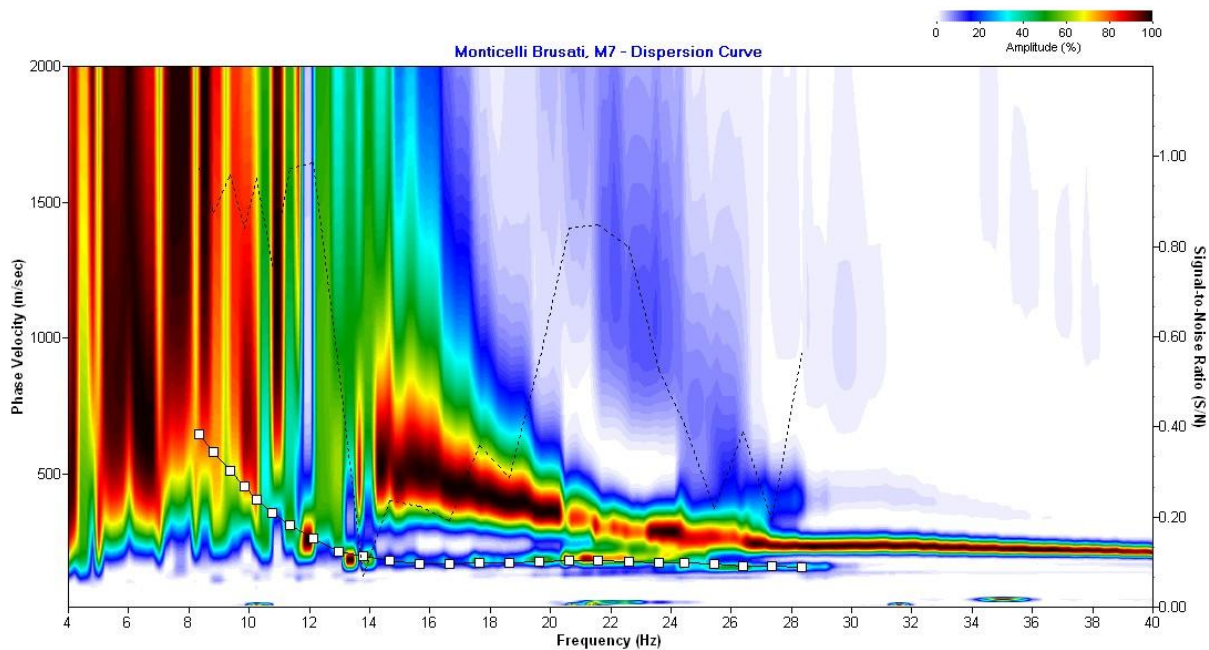
MASW6



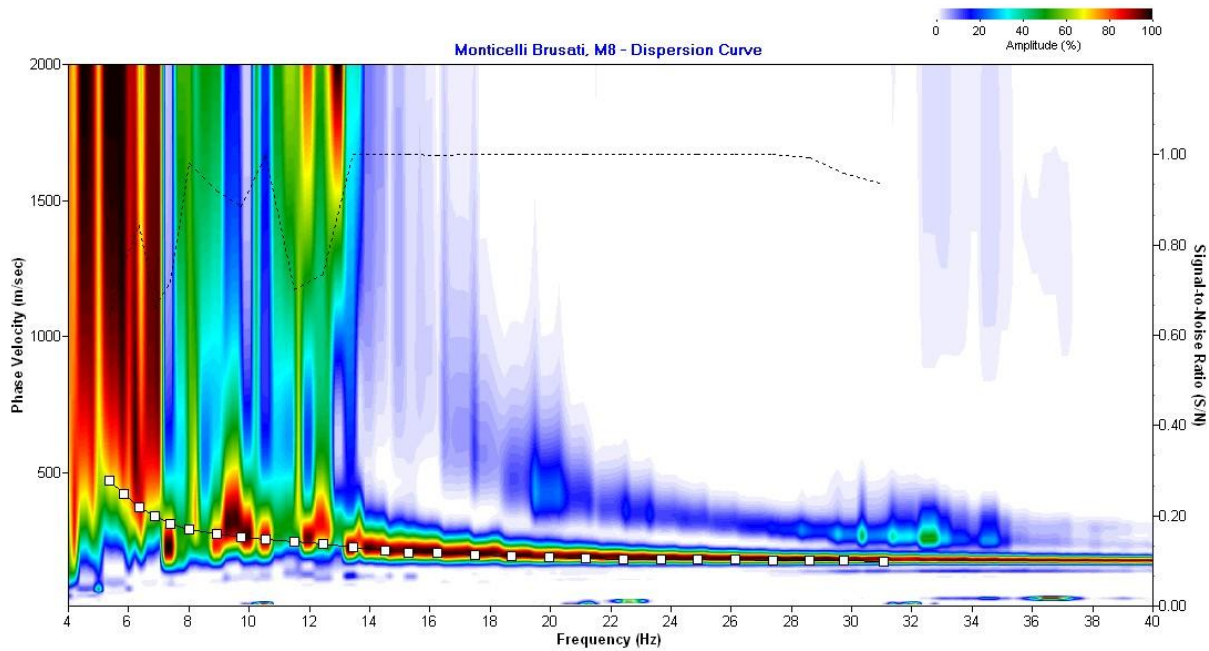
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW7



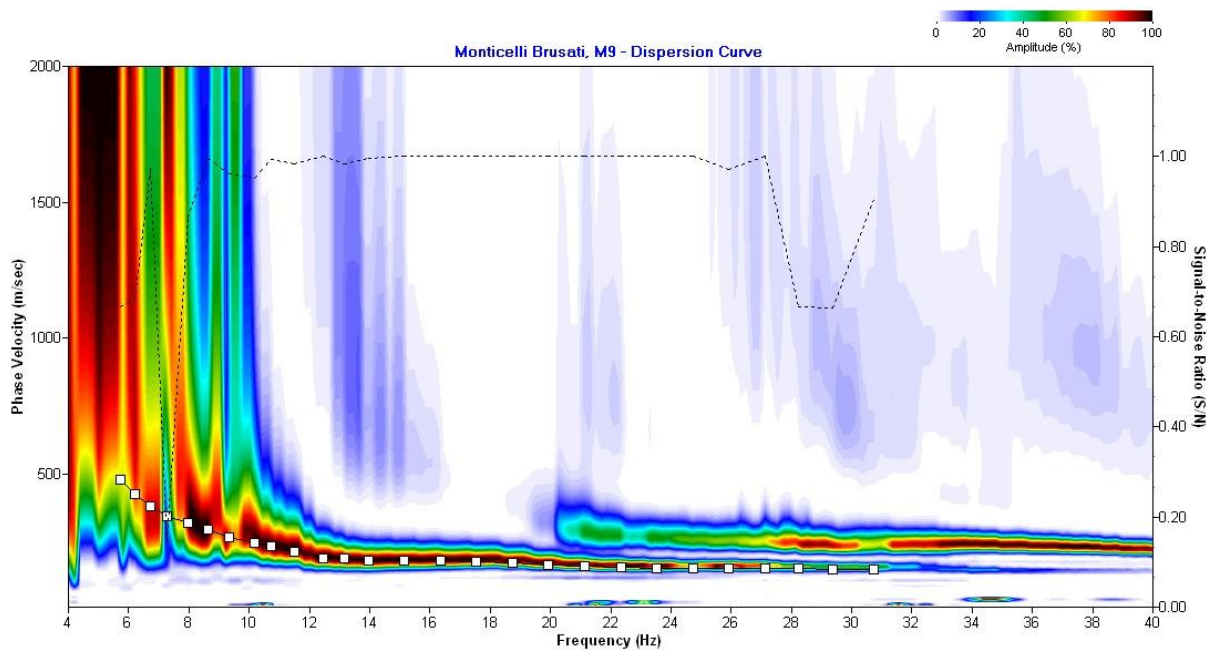
MASW8



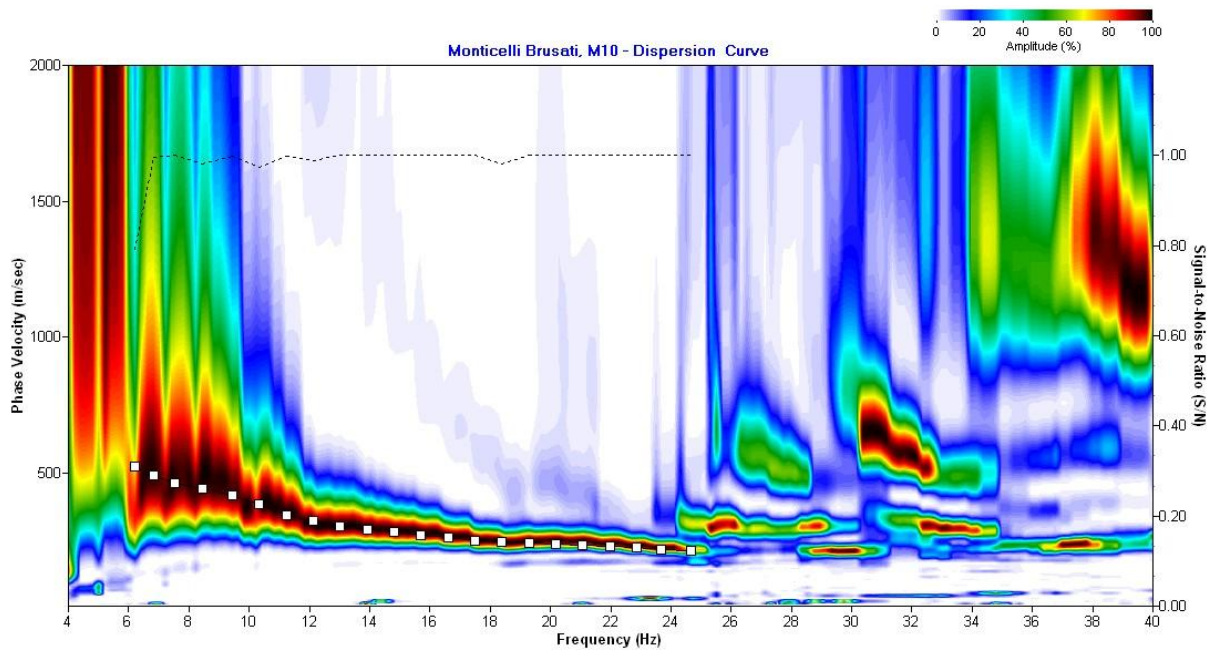
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW9



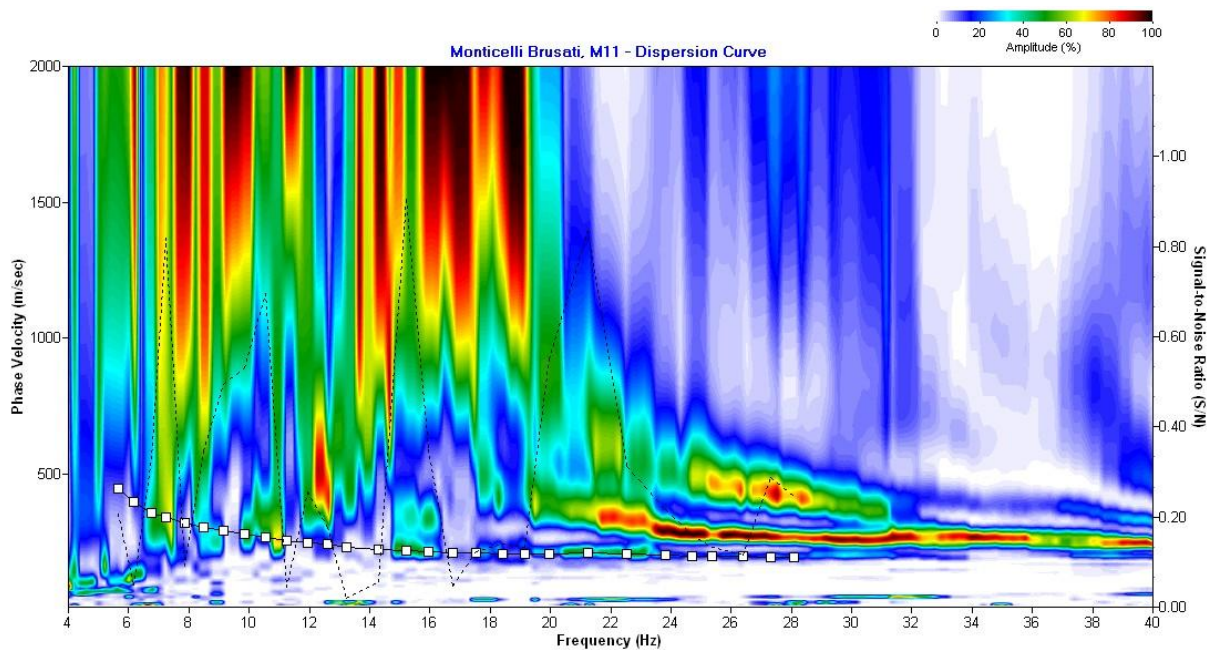
MASW10



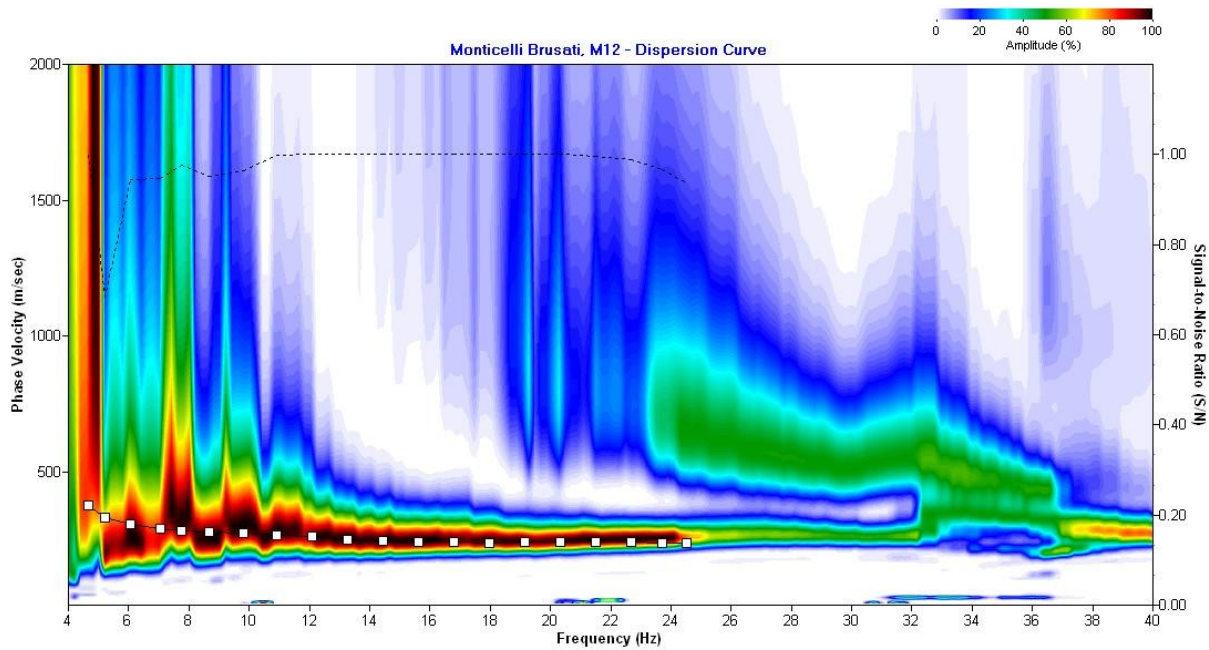
Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW11



MASW12



Data	14/09/12
N. Commessa	57-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MonticelliBrusati_PGT_ind_sismiche

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW13

