



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

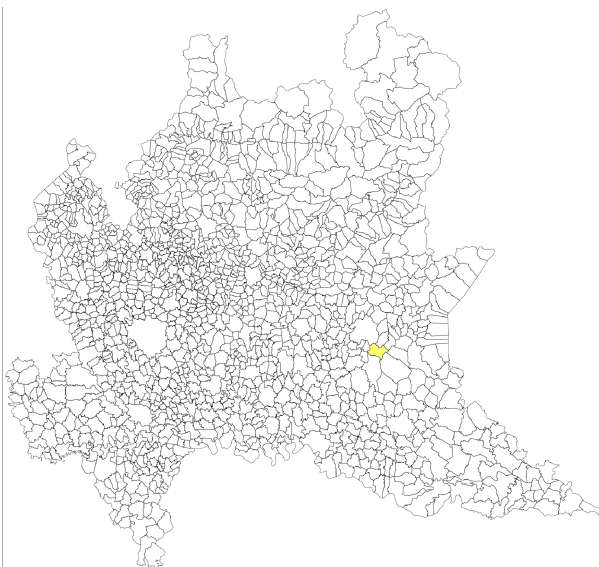
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Lombardia

Comune di Castenedolo



Comune di Castenedolo



Via XV Giugno 1859, 1
25014 CASTENEDOLO (BS)

Soggetto realizzatore

Dott. Geol. Laura Ziliani

Dott. Geol. Gianantonio Quassoli

Dott. Ing. Massimo Pilati

Data

Luglio 2018

R.T.P.

Dott. Geol. LAURA ZILIANI

Dott. Geol. GIANANTONIO QUASSOLI

Dott. Ing. MASSIMO PILATI

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE**DI CUI ALL'ORDINANZA C.D.P.C. N. 344 DEL 09/05/2016****INDICE**

1. INTRODUZIONE.....	4
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1. Inquadramento strutturale.....	6
2.2. Inquadramento sismotettonico	8
2.3. Sismicità storica.....	14
2.4. Faglie sismogenetiche- faglie capaci	19
2.5. Normative sismiche - valori di a_g	23
2.6. Risposta sismica di sito ai sensi del D.M. 17/01/2018.....	26
2.6.1. Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica.....	26
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	29
3.1. Inquadramento geologico	29
3.2. Descrizione delle unità geologiche.....	30
3.2.1. Collina di Castenedolo	31

RTP:

Dott. Geol. Laura Ziliani

Dott. Geol. Gianantonio Quassoli

Dott. Ing. Massimo Pilati

3.2.1.	Pianura	34
3.3.	Caratteristiche geotecniche dei terreni.....	35
3.4.	Elementi di dinamica geomorfologica	36
3.5.	Caratteristiche idrogeologiche	38
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	42
5.	MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	43
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	45
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI.....	46
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	49
8.1.	Carta delle indagini.....	49
8.2.	Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica	49
8.2.1.	Unità litologiche	50
8.2.2.	Elementi tettonico-strutturali.....	51
8.2.3.	Instabilità di versante	51
8.2.4.	Forme di superficie e sepolte	51
8.2.5.	Elementi geologici e idrogeologici	52
8.3.	Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) - Livello 1 (ai sensi della D.G.R. 9/2616/2011).....	52
8.3.1.	Effetti di instabilità.....	53
8.3.2.	Effetti di cedimenti e/o liquefazione	53
8.3.3.	Effetti di sito o di amplificazione sismica locale	54
8.4.	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - Livello 1...	55
8.4.1.	Zone stabili	56
8.4.2.	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	57

8.4.3.	Zone di attenzione per instabilità.....	59
8.4.4.	Forme di superficie e sepolte	59
8.5.	Carta dei Fattori di Amplificazione derivante dall'Applicazione del livello 2 ai sensi dei criteri regionali	60
8.5.1.	Effetti litologici - Stima del Fattore di Amplificazione (Fa) di sito.....	60
9.	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ.....	66
10.	BIBLIOGRAFIA	68
11.	ALLEGATI	70

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Castenedolo è stato eseguito uno studio di Microzonazione Sismica di cui all'Ordinanza C.D.P.C n. 344 del 9 maggio 2016.

Il presente studio prevede l'applicazione al territorio di Castenedolo della procedura sperimentale contenuta negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS - Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 Vol. e DVD, Gruppo di Lavoro MS, 2008) e degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di microzonazione sismica (vers. 4.0b)", nonché delle specifiche definite da Regione Lombardia nell'Allegato 1 alla nota trasmessa al comune nel 2017 (Allegato 1 alla Nota n. Z1.2017.0008854).

La stesura del presente lavoro è stata effettuata con la collaborazione del personale dell'Ufficio Edilizi Privata e Urbanistica del Comune di Castenedolo.

Elaborati tecnici

- All. 1: Sezioni Litotecniche;
- All. 2: Dati sismostratigrafici - Nuove acquisizioni;
- All. 3: Schede di verifica dell'Amplificazione Litologica ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011;

Elaborati cartografici

- Carta delle indagini (scala 1:7'500);
- Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (scala 1: 7'500);
- Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) - Livello 1 (ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011) (scala 1: 7'500);
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - Livello 1 (scala 1: 7'500);

- Carta di Microzonazione Sismica - Livello 2 - FH0105 (scala 1: 7'500);
- Carta di Microzonazione Sismica - Livello 2 - FH0515 (scala 1: 7'500).

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Per pericolosità sismica di base si intende quella *"componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica"* (definizione tratta dal glossario presente sul sito istituzionale del Dipartimento della Protezione Civile).

La pericolosità sismica di base è definita per tutto il territorio nazionale dall'INGV che in collaborazione con il DPC ha redatto mappa della pericolosità sismica di base, che riporta i campi dei valori di A_g (accelerazione orizzontale di picco attesa su suolo rigido con superficie topografica orizzontale) sul territorio nazionale per un T_r di 475 anni in riferimento alla OPCM del 28 aprile 2006 n 3519.

2.1. INQUADRAMENTO STRUTTURALE

A livello inquadramento strutturale la zona di Castenedolo, localizzata all'interno della cintura di deformazione dei sistemi della Valsugana e Val Trompia (circa E-W) e delle Giudicarie (NNE-SSW), si differenzia nettamente dall'area veronese, collocata all'esterno della stessa cintura sul bordo di una zona più rigida, tabulare e omoclinale.

Tuttavia, sebbene siano aree inserite in un contesto "strutturale" differente, l'attività sismica storica sia attorno a Verona che a Brescia documenta un legame tra i due settori, in quanto afferente ad un contesto "sismotettonico" maggiormente omogeneo.

La grande depressione del Lago di Garda rappresenta un'area "chiave" per l'interpretazione dell'assetto e dell'evoluzione tettonica di gran parte della regione alpina. Il

territorio montano dell'Alto Garda, compreso nel settore prealpino bresciano orientale, è caratterizzato da una successione stratigrafica con formazioni di età compresa tra il Trias ed il Miocene, sovrapposte stratigraficamente e tettonicamente, costituendo sistemi di *thrust* embricati riconducibili strutturalmente alle direttrici regionali, identificabili con il Sistema Orobico o della Val Trompia, il Sistema Giudicariense e il Sistema Dinarico.

La fascia strutturale arcuata definita da questi sistemi rappresenta una cintura tettonica molto pronunciata determinatasi a seguito di meccanismi di inversione strutturale degli elementi tettonici distensivi del *rifting* mesozoico ad opera delle intense compressioni neogeniche. Tale cintura si sviluppa sui margini Est e Sud del massiccio dell'Adamello e si propaga ampiamente sia verso Sud che verso Est, incorporando al suo interno la regione del Lago di Garda.

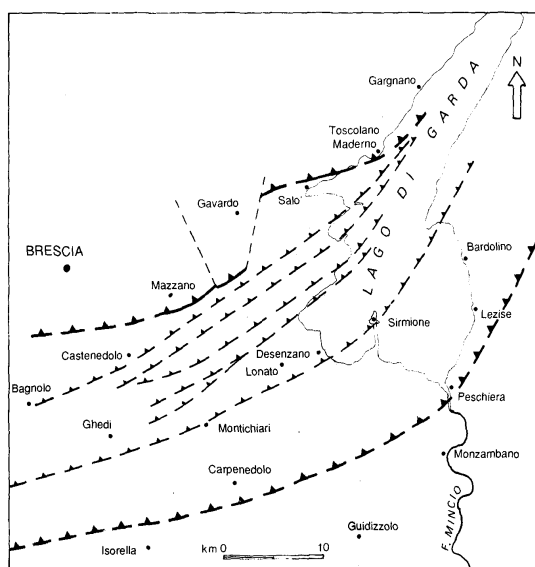


Fig. 7 - Sistema di embricazione nell'area del sottosuolo attorno alla sponda meridionale del Garda.

L'orientazione delle strutture risulta in primo luogo secondo la direzione NNE-SSW e NE-SW (Sistema Giudicariense) ed in subordine E-W (Linea della Val Trompia).

Il sistema giudicariense è dominato da accavallamenti a vergenza orientale e sud-orientale, con presenza diffusa di faglie trasversali di trasferimento. Ciò determina un assetto irregolare di *tipo en echelon*.

Figura 1 – “Sistema di embricazione nell'area del sottosuolo attorno alla sponda meridionale del Garda.

L'area risulta fortemente influenzata dalla tettonica compressiva attiva lungo il margine meridionale del Sudalpino Lombardo con i principali sistemi tettonici della Prealpi Bresciane che proseguono al di sotto della pianura.

Studi recenti evidenziano la presenza di lineamenti sepolti dovuti alla dinamica compressiva quaternaria interpretati come retroscorrimenti, associati alle strutture anticlinali del Monte Netto e delle colline di Castenedolo e Ciliverghe, le cui fasi

deformative sono ascrivibili al Pleistocene medio e riattivatesi successivamente (A.M. Michetti 2014 – Tettonica quaternaria e rischio di fagliazione superficiale).

2.2. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

La sismicità del territorio è legata alla presenza di attività neotettonica, intendendo con questo termine i movimenti tetto-genetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l'attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni). Si possono distinguere movimenti neotettonici lineari che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) e movimenti neotettonici areali che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali.

Le conoscenze di carattere morfo-neotettonico del territorio di Castenedolo sono piuttosto scarse a causa della mancanza di studi e di dati specifici relativi al territorio in esame. Nella Carta neotettonica dell'Italia (Ambrosetti ed altri, 1987) il territorio di Castenedolo appartiene ad una fascia che è indicata in sollevamento con zone stabili o in abbassamento durante il Pliocene inferiore e forte sollevamento durante il Pliocene medio-superiore e il Quaternario.

La sismicità di questa zona della pianura è legata alla tettonica molto complessa del margine padano settentrionale. Le sorgenti sismogenetiche dovrebbero trovarsi ad una profondità compresa tra 5 e 15 km, in corrispondenza dello scollamento tra il basamento cristallino e la sovrastante copertura sedimentaria.

Un recente studio pubblicato su *Pure and Applied Geophysics* (03 Jul 2014 - *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise) censisce e classifica le faglie sismogenetiche cieche in Pianura Padana, riorganizzando le conoscenze esistenti alla luce dei terremoti emiliani del Maggio 2012 e prendendo in esame anche il margine prealpino.

Nel periodo di tempo considerato ed in un contesto di riferimento sufficientemente ampio, che per quanto concerne l'area gardesana ed il bordo sudalpino centrale coincide con l'intera regione padana compresa tra il margine alpino e quello appenninico, i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali.

Nel settore settentrionale della pianura è presente il sistema di sovrascorrimenti S-vergenti che costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde. Nella fascia

meridionale della pianura si ha invece un pronunciato sistema di embricazione N-vergente che costituisce l'avanfossa essenzialmente pliocenica dell'Appennino settentrionale.

I due sistemi entrano in collisione nella parte mediana della pianura; il fronte settentrionale è inquadrabile all'interno dei sistemi di deformazione del Miocene medio-superiore, quello meridionale è essenzialmente pliocenico. A partire dalla fine del Pleistocene inf. entrambi i margini del Bacino Padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico.

Pertanto, attraverso alcuni milioni di anni, il progressivo moto di avvicinamento della Placca Africana e della Placca Europea ha determinato prima la nascita delle Alpi e degli Appennini e poi ne ha sollevato le porzioni assiali creando il paesaggio montuoso che oggi conosciamo, secondo un meccanismo ancora attivo alla velocità di 1-3 metri per millennio. L'avvicinamento di Alpi e Appennini secondo una direttrice circa N-S, e quindi il raccorciamento della Pianura Padana, è tuttora in atto, come mostrano i dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale.

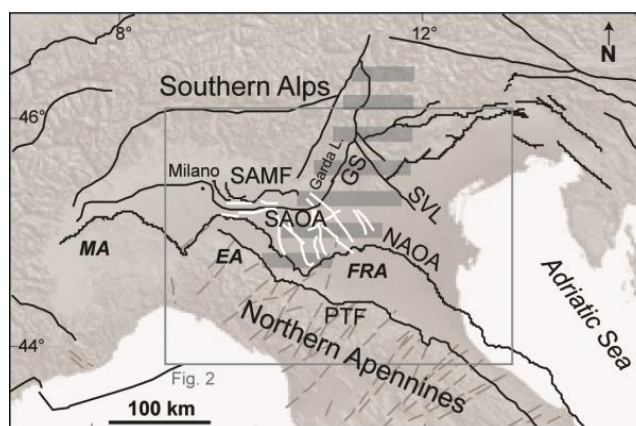


Figura 2 - (tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise): Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana. Linee nere: principali elementi tettonici; linee bianche: faglie ereditate; SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; NAOA: arco esterno dell'Appennino Settentrionale; PTF: fronte pedeappenninico; MA: arco del Monferrato; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.

Nel bresciano, dalla sponda occidentale del Garda fino ai dintorni di Brescia, le strutture di maggiore risalto morfo-strutturale sono quelle NNE-SSW del Sistema delle Giudicarie, nonché le più antiche linee ad orientamento dinarico (NW-SE) e valsuganese/valtriumplino (circa E-W), talora riattivate. Le strutture distensive più recenti sembrano essere attribuibili in ogni caso alle fasi di sollevamento plio-pleistocenico, con direzioni prevalenti NE-SW e NW-SE.

La localizzazione dell'attività sismica nelle Prealpi si concentra lungo il margine della pianura e nelle fasce immediatamente adiacenti la zona pedemontana (vedi Figura 3).

Al contrario, la zona del nucleo della catena, del massiccio dell'Adamello, la zona del Lineamento Insubrico sono totalmente prive di attività sismica significativa e ancor meno sono attivi i nuclei strutturali più interni della catena nordalpina adiacente.

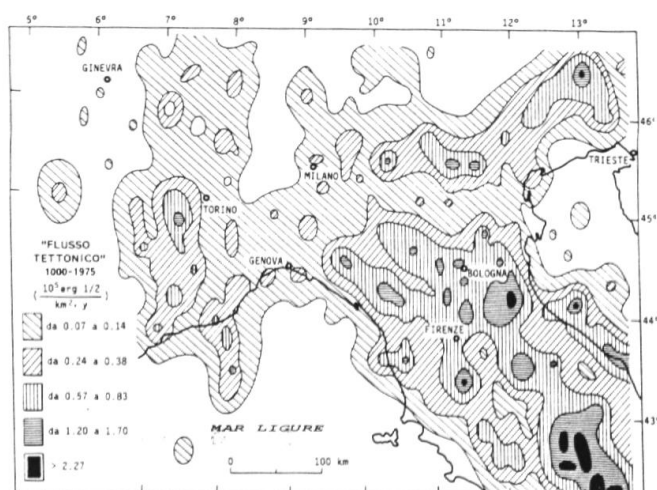


Figura 3 – “Flusso tettonico” medio (energia prodotta dai terremoti che attraversa l'unità di superficie nell'unità di tempo), valutato per gli ultimi 1000 anni nell'Italia settentrionale e in Lombardia. (Cattaneo et al., 1978)

La più importante area tettonica “sorgente” è rappresentata dall'area tirrenica e dalla zona appenninica interna, che sono state sottoposte a processi distensivi dal Miocene superiore in poi. A questa si associa lo spostamento della placca africana verso N al ritmo di circa 1 cm/anno.

L'effetto di questi due meccanismi si esprime soprattutto lungo i limiti dei grandi domini morfostrutturali, come la zona pedemontana compresa tra la Pianura Padana e le Prealpi ed anche la giunzione Alpi-Dinaridi (sistema Friulano).

Secondo alcuni autori la localizzazione comune dell'area di Verona e di Brescia, e più in generale di questa porzione dell'area padana, rispetto al campo tensionale residuo in atto sarebbe dunque la causa principale della loro sismicità.

Più recentemente la relativamente elevata sismicità del territorio bresciano è stata interpretata come indicativa di una consistente attività neotettonica nella zona.

Pur mancando uno studio che ricostruisca su vasta scala e in maniera soddisfacente i movimenti neotettonici nell'area bresciana, alcuni lavori di dettaglio permettono di delineare un primo quadro interpretativo. In particolare la corrispondenza e la connessione tra le strutture geologiche e le zone sismicamente attive dimostrerebbero come siano ancora in atto movimenti tettonici connessi all'orogenesi alpina. Molti autori ritengono infatti che la maggior parte delle superfici tettoniche segnalate nella letteratura geologica rivestano un'elevata e significativa importanza nel quadro sismotettonico generale. Ciò è confermato dall'ubicazione degli ipocentri sismici del bresciano, posti in corrispondenza della parte più pellicolare della crosta (tra i 5 e i 15 km). Oltre ai movimenti lineari che si possono verificare lungo superfici di discontinuità preesistenti e che portano a classificare le faglie e le superfici tettoniche come attive, si sviluppano anche movimenti areali di carattere neotettonico. A tal proposito le strutture delineatesi a partire dal Pleistocene inf. possono costituire una sorgente sismogenetica, lungo le più recenti direzioni NE-SW e NW-SE o riattivando i sistemi già delineatisi nel neogene (E-W), riutilizzando le antiche superfici di sovrascorrimento e i loro frequenti svincoli trasversali.

I dati di letteratura attribuiscono ai sistemi distensivi descritti una valenza superficiale, non superando i 10 km di profondità. È possibile che a livelli strutturali più profondi l'edificio della catena sia ancora influenzato da processi collisionali subduttivi. Sebbene sia ritenuta possibile la coesistenza di eventi sismici con caratteri compressivi in profondità che passino a sismi legati a distensione in superficie, non è stato tuttora elaborato un modello geodinamico che tenga conto in modo soddisfacente della coesistenza tra contrazione e distensione.

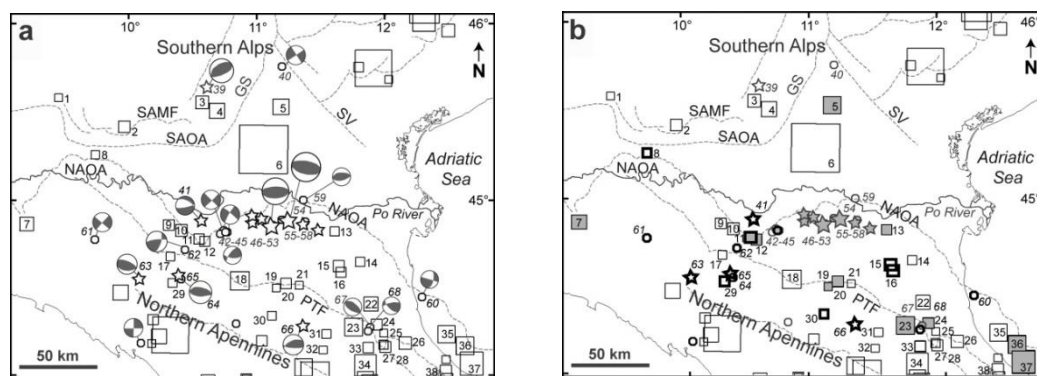


Figura 4 - (tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*-Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise): Terremoti storici e strumentali (CPTI11, Bollettino Sismico Italiano e ISIDe). I terremoti storici con $M \geq 5.3$ sono rappresentati con quadrati. I terremoti strumentali con $M \geq 5.0$ sono rappresentati con stelle; quelli con $4.5 \leq M \leq 4.9$ sono rappresentati con pallini. Tutti i terremoti sono collegati alle [tabelle 1](#) e [2](#) attraverso il loro ID. a) Sismicità e meccanismi focali disponibili (Pondrelli et al., 2006; [TDMT database](#)). b) Terremoti multipli e terremoti profondi (i terremoti multipli sono rappresentati con pattern grigio; i terremoti profondi in grassetto).

Al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici (Figura 4). Recentemente, i thrust sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati durante la sequenza dell'Emilia del 2012. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del 1570, 1929 e 2012 è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi. Ma il più forte terremoto di cui si ha notizia nell'area padana è quello che il 3 gennaio del 1117 ha duramente colpito Verona e le aree poste a sud di essa (magnitudo stimata 6.7). La precisazione "di cui si ha notizia" è doverosa perché per molti secoli la Pianura Padana è stata sede di ampie aree paludose e di fitte e impraticabili foreste con sporadici nuclei abitati; esiste quindi la possibilità che altri forti terremoti accaduti nell'area siano stati poco risentiti dall'uomo o non siano stati risentiti affatto, e quindi che non siano stati adeguatamente documentati, apparendo come terremoti minori o scomparendo del tutto dalle fonti storiche.

Si vuole infine sottolineare come la distribuzione dell'intensità sismica (Figura 2) e l'andamento delle "zone sismiche" (Figura 5 – "Mappa di Pericolosità Sismica – Ord. P.C.M. 3519/2006) e "sismogenetiche" (Fig. 6 tratta da App. 2 al "Rapporto Conclusivo" – Marzo 2004" a cura di C. Meletti e G. Valensise; Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV) testimoniano un legame tra l'attività sismotettonica del margine prealpino ed il settore di giunzione Alpi-Dinaridi.

L'andamento delle aree sismiche cui afferisce il territorio in esame pur seguendo l'andamento del margine prealpino, possiede infatti massima intensità in corrispondenza del Sistema Friulano.

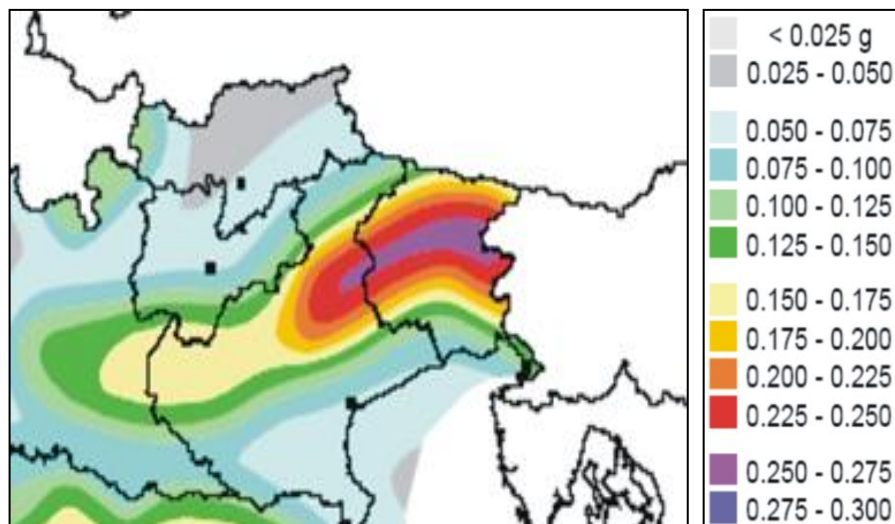


Figura 5 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza P.C.M. n° 3519 del 27/04/06)

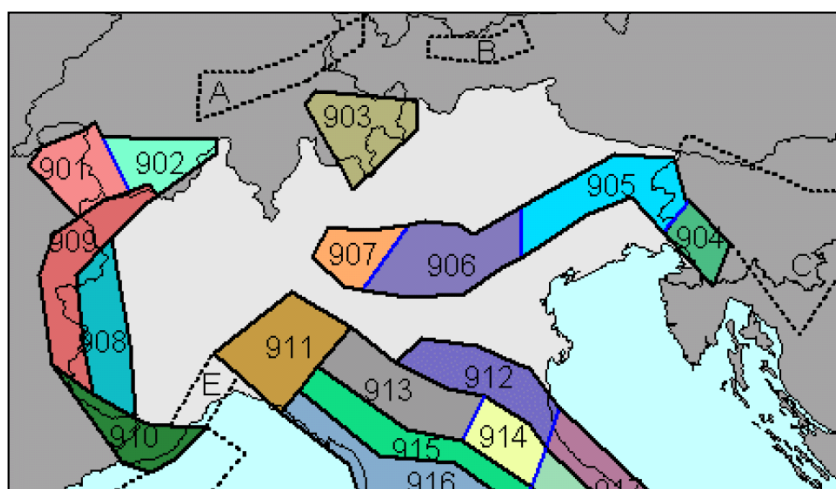


Figura 6 – Schema Zonazione Sismogenetica ZS9 tratta da “App. 2 al Rapporto Conclusivo – Marzo 2004” a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (OPCM 3274/2003 - INGV).

Si rileva inoltre una sostanziale continuità tra le aree sismogenetiche del Sistema Dinarico-Friulano (zone ZS9 904-905) e quelle del margine prealpino veronese-bresciano-bergamasco (Zone ZS9 906-907) (Figura 6).

2.3. SISMICITÀ STORICA

L'area bresciana è stata interessata in epoca storica a partire dall'anno 1000 da eventi sismici inseriti già nei Cataloghi CNR risalenti agli anni '80-'90 (Figura 7) e nei successivi Cataloghi dei terremoti italiani la cui versione più recente è il "*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15*" che riporta dati dall'anno 1000 al 2014 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

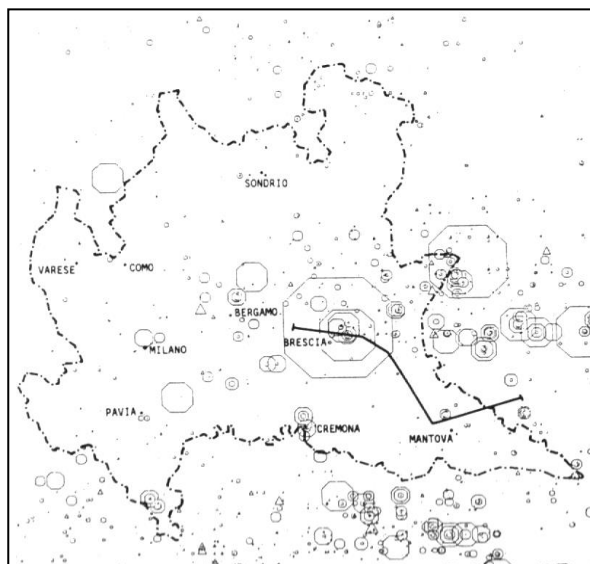


Figura 7 – Terremoti segnalati in Lombardia dall'anno 1000 al 1984. La dimensione dei poligoni è proporzionale alla magnitudo dei sismi. (tratto da A.A.V.V. "Guide Geologiche Regionali -Alpi e Prealpi Lombarde-11 itinerari", 1990)

Nella tabella 1 riportata di seguito si fa riferimento alla storia sismica di Castenedolo tratta dal Catalogo da "Database Macrosismico Italiano – DBMI15".

Tabella 1 – Storia sismica di Castenedolo tratta da “Database Macrosismico Italiano – DBMI15” (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

File downloaded from CPTI15 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of	Castenedolo
PlaceID	IT_15967
Coordinates (lat, lon)	45.470, 10.300
Municipality (ISTAT 2015)	Castenedolo
Province	Brescia
Region	Lombardia
No. of reported earthquakes	12

Intensity	Data	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
	Year Mo Da Ho Mi Se				
6-7	1799 05 29 19	Bresciano	12	6-7	5,04
NF	1898 11 16	Garda occidentale	43	6	4,63
6	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
2-3	1906 08 02 03 48	Bresciano	16	4	3,76
5	1960 02 19 02 30	Valli Giudicarie	50	6	4,81
4	1961 11 23 01 12 05.00	Prealpi bergamasche	119	6-7	4,86
NF	1976 12 13 05 24	Garda settentrionale	128	7	4,9
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
3-4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85
NF	1993 12 09 18 16 50.88	Lago d'Iseo	175	5	4,11
3	1995 10 29 13 00 27.69	Lago d'Iseo	408	5-6	4,35
5-6	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4,99

Per quanto concerne la definizione delle zone sorgente si fa riferimento a “*Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo – Marzo 2004*” a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV).

Il territorio di Castenedolo ricade quasi completamente in ZS9 906 e solo una piccola porzione nord-occidentale in ZS9 907.

La zona 907 è caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 a cui venne assegnata una Magnitudo Mw intorno a 5.9 (Albini et al., 2002).

La zona 906 interessa l'area che va da Bassano del Grappa fino a Verona e prosegue fino ad interessare la porzione orientale della Provincia di Brescia.

Per la zona sismogenetica ZS9 906 i terremoti di magnitudo più elevata ($M > 5$), avvenuti in epoca antica, sono segnalati nel 1117 ($M_w=6.69$) con epicentro nel veronese, nel 1222 ($M_w=6.05$) con epicentro nel Basso Bresciano, nel 1491 ($M_w=5.27$) con epicentro a Verona, nel 1693 ($M_w=5.13$) con epicentro a Goito e nel 1891 ($M_w=5.61$) con epicentro in Valle d'Illasi.

Anche l'evento sismico localizzato in Friuli ($M=5.8$ e 6.6 del 1976) ed i sismi di magnitudo maggiore avvenuti nel recente passato nella Regione Dinarica hanno prodotto un certo risentimento nell'area bresciana e bergamasca.

Negli ultimi anni si sono verificati altri eventi, seppure di magnitudo non elevata, con epicentro nel Bresciano (area sebina e area gardesana meridionale). Si segnala invece per intensità l'evento sismico verificatosi il 24/11/04, con magnitudo 5.2 e con epicentro nell'immediato entroterra di Salò (Figura 8).



Figura 8: Area epicentrale del sisma del 24/11/2004

L'epicentro del sisma si colloca in corrispondenza dei *thrust* del Sistema delle Giudicarie (Figura 9), affioranti nel settore montano prealpino (dove generano i sismi gardesani) e sepolti in corrispondenza della Pianura Padana (dove generano i sismi di Brescia, nel 1222, e della Valle dell'Oglio, nel 1802). Si noti il generale accordo tra la localizzazione degli eventi sismici e l'andamento delle strutture tettoniche.

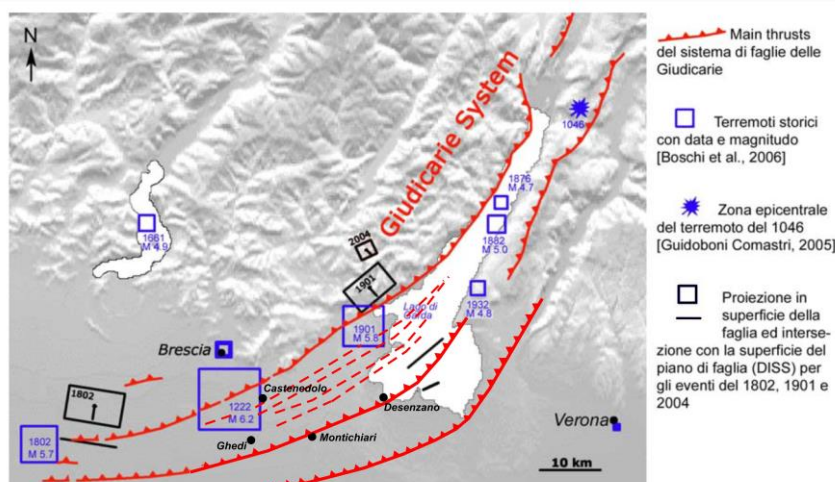


Figura 9: Schema sismotettonico dell'area Gardesana con proiezione dei principali sismi storici dell'area (modificato da "Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico - F. Pacor e M. Mucciarelli - Luglio 2007)

Si segnalano infine nel 2011 e nel 2012 due “crisi sismiche” che hanno interessato il nord Italia con terremoti che hanno quasi raggiunto o superato magnitudo 5.



Figura 10: Localizzazione del sisma principale dello sciame sismico dell'estate 2011 (stella rossa) e della serie di sismi verificatisi nell'inverno 2012 (stelle bianche).

Lo **sciame sismico dell'estate 2011** ha avuto come scossa più significativa il terremoto del 17 Luglio 2011 di magnitudo 4.7, con area epicentrale a ridosso dei confini provinciali di Mantova e Rovigo, nel distretto sismico denominato *Pianura Padana Lombarda* dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Tali sismi così come quelli con le massime intensità storiche riscontrate nei comuni del sud-ovest della Provincia di Mantova, sono da collegarsi con la vicinanza all'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense (zone sismogenetiche ZS9 → 912-913, Figura 4) e con la presenza dell'edificio appenninico (*thrust* nord-vergenti) sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.

Lo **sciame sismico dell'inverno-primavera 2012** è stato caratterizzato da una serie di sismi le cui scosse più intense sono avvenute con il terremoto del 25 Gennaio 2012 di magnitudo 4.2 (area epicentrale posta a circa 10 km dalla città di Verona nel distretto sismico *Prealpi Venete*) e con i terremoti del 25 e 27 Gennaio 2012 rispettivamente di magnitudo 4.9 e 5.0 (area epicentrale tra Parma e Reggio Emilia nel distretto sismico denominato *Pianura Padana Emiliana* il primo e nel distretto sismico denominato *Frignano* il secondo). Il 18 Marzo è stato registrato il sisma di magnitudo inferiore ($M=3.1$), che ha avuto luogo con area epicentrale nei pressi di Ala (TN), nel distretto sismico denominato *Lago di Garda*.

In primavera si è attivata la sequenza sismica di Modena-Ferrara del Maggio 2012 che ha compreso il terremoto del 20 Maggio 2012 di magnitudo 5.9, avvenuto alle ore 04:03:52 italiane, con area epicentrale posta presso Finale Emilia-Mirandola (MO), nel distretto sismico *Pianura Padana Emiliana*. Seguono nella stessa area, nelle giornate del 20-21 Maggio, oltre 190 repliche tra cui un sisma di magnitudo 5.1 e ben dieci sismi con magnitudo compresa tra 4 e 5 (Figura 11).

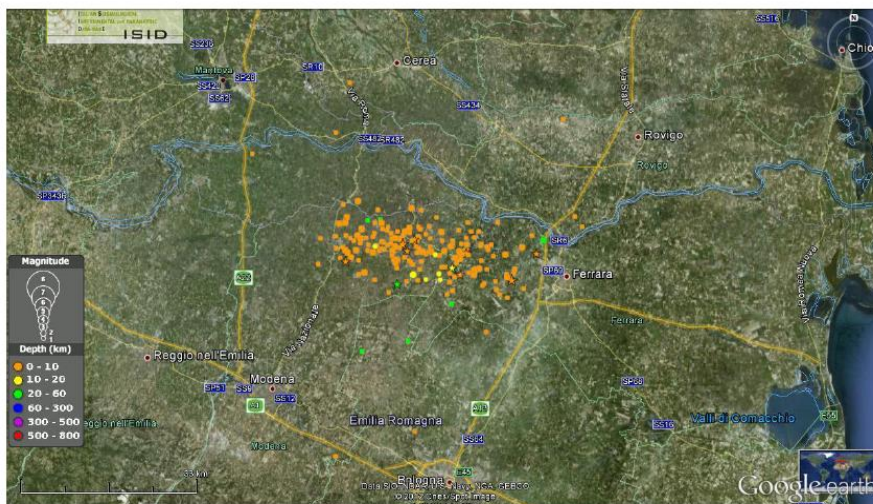


Figura 11: Mappa epicentrale aggiornata alle 19 del 21 Maggio 2012. Le stelle indicano i terremoti di magnitudo maggiore di 4. L'intera struttura delineata dalle repliche si estende per quasi 40 km in senso Est-Ovest tra la bassa modenese e la periferia Ovest di Ferrara (fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Comunicato del 21/05/2012).

Durante la stagione estiva ed autunnale 2012 l'attività sismica in queste aree è proseguita seppure con sismi di intensità minore, con un numero complessivo di eventi registrati alla data del 1 Ottobre pari a 2466 sismi (di cui 2241 con $M < 3$, 189 con $3 < M < 4$; 27 con $4 < M < 5$, e 7 con $M > 5$); si segnala un terremoto avvenuto il giorno 3 Ottobre c.a. di Magnitudo pari a 4.5, avvenuto alle ore 16:41 italiane, con area epicentrale posta in prossimità dei Comuni Bettola-Farini-Morfasso (PC), nel distretto sismico denominato *Valle del Trebbia*, alle medesime latitudini dei terremoti parmensi-ferraresi ma verso quadranti più occidentali; le strutture tettoniche attivate mostrano meccanismi di attivazione trascorrenti.

2.4. FAGLIE SISMOGENETICHE- FAGLIE CAPACI

Sulla base dei dati raccolti, tra i quali in particolare si segnalano studi prodotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) tra cui il recente *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain* (Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise, Pure and Applied Geophysics Luglio 2014) non appare probabile che la faglia cartografata in territorio di Castenedolo ad andamento WSW-ENE possa essere stata attiva in età più recente rispetto ai 40.000 anni indicati negli ICMS al fine di individuare le cosiddette “Faglie Capaci”.

Tenendo conto di tutto quanto illustrato in riferimento all'ambito sismotettonico ed alla sismicità storica che caratterizza il territorio di Castenedolo e dell'assetto geologico-

strutturale regionale e locale si è proceduto a consultare i cataloghi ed i data base dedicati (Progetto ITHACA) seppure essi siano tutt'ora in fase di "implementazione", nonché le nuove interpretazioni dei sistemi di faglie proposti negli studi di neotettonica recenti.

Il database ITHACA, sulla base degli studi disponibili (*Baroni, C., Cremaschi, M., Geologia e pedostratigrafia della Collina di Ciliverghe (Brescia). Nat. Brescia., Ann. Mus. Civ. Sci. Nat. 23, 55–78.1986*), fornisce per tale lineamento sepolto una data di ultima attività che risale al Pleistocene medio (125.000-700.000 anni)

Un'importante caratteristica che accomuna i terremoti della Pianura Padana e dei margini prealpini è che, in virtù della loro cinematica e del loro contesto geologico, anche i più superficiali tra essi non producono fagliazione della superficie topografica, o comunque non sono noti effetti di terremoti del passato che potrebbero essere ricondotti a fagliazione superficiale. In altre parole, le faglie della Pianura Padana non arrivano a tagliare la superficie terrestre ma si fermano in profondità, e prendono per questo il nome di faglie cieche. Ne consegue che le faglie padane possono essere investigate solo tramite metodi indiretti.

Lo studio dell'INGV, appena pubblicato su *Pure and Applied Geophysics*, ha ripreso in esame e riorganizzato tutte le conoscenze sulla geologia, sulla tettonica e sulla sismicità della Pianura Padana. Le faglie cieche della Pianura Padana sono state suddivise in quattro gruppi principali (Figure 12 e 13):

- Gruppo #1: i *thrust* superficiali delle Alpi e degli Appennini, che includono sia i sistemi di faglie che corrono ai piedi dei rispettivi rilievi sia i fronti più esterni in pianura;
- Gruppo #2: i *thrust* profondi dell'Appennino settentrionale;
- Gruppo #3: le strutture "ereditate";
- Gruppo #4: le strutture trasversali alle catene delle Alpi e dell'Appennino.

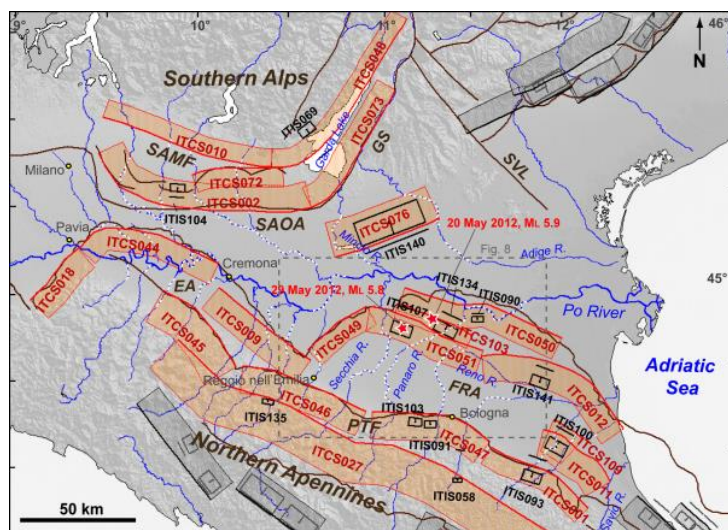


Figura 12 - (tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise): Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS) e Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) della Pianura Padana (rappresentate rispettivamente con rettangoli neri e fasce rosse; per le definizioni si vedano Basili et al., 2008; DISS v. 3.2). Le anomalie della rete di drenaggio sono evidenziate in tratteggio bianco. SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; PTF: fronte pedeappenninico; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.

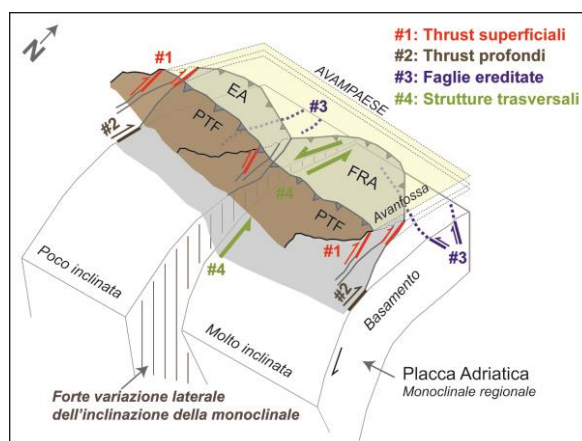


Figura 13 - (tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise): Schema semplificato che illustra i quattro gruppi di sorgente sismogenetica identificati in Pianura Padana nel recente studio. Oltre ai thrust superficiali e profondi, sono presenti le faglie ereditate che tagliano l'avampaese e le strutture trasversali. Queste ultime sono state interpretate, in questo studio, come la risposta fragile della litosfera superiore alla variazione dell'inclinazione della monoclinale regionale. EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo; PTF: fronte pedeappenninico.

Nello stesso studio si elabora una tabella (Tabella 1) che rappresenta un primo tentativo di attribuire ogni forte terremoto storico Pianura Padana a questi quattro grandi gruppi di faglie ed a singole strutture tettoniche note.

Tabella 1

ID	Data	Località	Intensità	M _w	Multiplo	Profondo	Sorgente(I)	Gruppo	Struttura tettonica
----	------	----------	-----------	----------------	----------	----------	-------------	--------	---------------------

Tabella 1: Parametri dei maggiori terremoti storici dell'area di studio (CPTI11 e Boschi e Guidoboni, 2003). Ogni terremoto è stato, in via preliminare, assegnato ad un gruppo e, quando possibile, ad una struttura tettonica. S: Sì; N: No; N/A: Non applicabile. EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo; PTF: fronte pedeappenninico; SAMF: fronte delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; DR: rampa profonda; SVL: Schio-Vicenza; AVML: Arbia- Val Marecchia; PSL: Prato-Sillaro; VVL: Viareggio-Val di Lima-Bologna; EL: Enza; ML: Montone; UDS: struttura tettonica ignota.

3	30 ott 1901	Salò	VIII	5.7	N/A	N	ITIS069; ITCS048	#1	SAMF
---	-------------	------	------	-----	-----	---	---------------------	----	------

Il terremoto di Salò storico (ID 3) del 30 ottobre 1901 di M 5.7 viene attribuito a sistemi di faglie superficiali (#1) (ITIS069 in Fig. 12) ed in particolare ad un *thrust* (faglia inversa) cieco, lungo circa 7 km a direzione N231 immergente verso NW.

Per la cosiddetta Sorgente di Salò gli Autori propongono una collocazione su una *deep ramp* afferente al Sistema delle Giudicarie; la geometria ed il cinematismo della sorgente sono state scelte seguendo le considerazioni geodinamiche e di geologia regionale come ricostruite nella letteratura geologica ed illustrate ampiamente nei paragrafi precedenti. La soluzione focale del recente terremoto del 24 novembre 2004 di M 5.2, avvenuto pochi km a Nord della Sorgente di Salò, ha permesso di affinare ulteriormente i dati sismogenetici.

La profondità della Sorgente di Salò, oltreché essere stata indirizzata dalla profondità del sisma del 2004 (8 km) è stata scelta seguendo l'analisi del risentimento macrosismico del terremoto del 1901; si ha infatti una vasta area danneggiata con una massima intensità I pari a 8 MCS nella città di Salò.

Gli Autori riportano alcune ipotesi, lasciando nel contempo aperte alcune questioni interpretative, che mettono in relazione la Sorgente di Salò con i sistemi tettonici e sismogenetici delle aree adiacenti e geologicamente correlabili.

In primo luogo, con la configurazione geometrica proposta la faglia inversa di Salò si potrebbe connettere con il sistema di *thrust* superficiale della catena del Monte Baldo, seppure non siano ancora definite in maniera univoca le relazioni strutturali tra i vari

elementi. Rimane inoltre da chiarire se la porzione profonda del *thrust* del Monte Baldo sia ugualmente sismogenetica (come proposto da Galadini et al. [2001]).

Ad Ovest della Sorgente di Salò, la continuità laterale del fronte attivo del *thrust* può essere provata dalle evidenze geomorfologiche e sismologiche: 1) a sud di Brescia, nell'area epicentrale del terremoto del 1222 (M 6.2), la superficie di aggradazione sedimentaria riferibile al LGM (Livello di Massimo Glaciale) è deformata e le colline di Castenedolo e Ciliverghe potrebbero rappresentare l'espressione morfologica di un *thrust* ramp superficiale; 2) più verso Ovest la Sorgente di Orzinuovi, responsabile del terremoto del 12 Maggio 1802 (M 5.7), controlla localmente l'andamento delle linee di drenaggio dei corsi d'acqua. Pertanto il *thrust* e la sorgente di Salò potrebbero essere connessi con le strutture responsabili del recente sollevamento delle colline di Castenedolo and Ciliverghe a Sud di Brescia.

2.5. NORMATIVE SISMICHE - VALORI DI a_g

Negli ultimi anni si è avuta una notevole crescita nelle conoscenze relative al rischio sismico per molte zone d'Italia e nella conseguente classificazione del territorio.

La zona nella quale ricade il Comune di Castenedolo è stata oggetto di cambiamenti notevoli nella classificazione sismica nazionale.

Nel D.M. 05/03/1984 "*Dichiarazione di sismicità di alcune zone della Lombardia*" il territorio comunale di Castenedolo non rientrava tra quelli considerati sismici e assoggettati, ai sensi della L. 64/74, a specifica normativa nazionale per le costruzioni antisismiche.

Le normative sismiche (l'ultima è rappresentata dal D.M. 16 Gennaio 1996) in Italia, anteriormente al Marzo 2003, suddividevano il territorio nazionale in tre categorie di pericolosità (elevata, media e bassa). Per ciascuna categoria erano assegnati un grado di sismicità (S) ed un coefficiente di intensità sismica [$C=(S-2)/100$]. Lo spettro di progetto $S_a(T)$ si otteneva moltiplicando il coefficiente C (pari a 0.10g - 0.07g - 0.04g in ordine decrescente di pericolosità sismica) per una forma spettrale $R(T)$ indipendente dalle condizioni del sottosuolo. Queste normative sismiche non tenevano conto del ruolo del terreno sulla modifica di forme ed ordinate spettrali, se non con la moltiplicazione dello spettro per il coefficiente di fondazione e che di regola è unitario, salvo che per "terreni particolarmente compressibili" per i quali si consigliava un incremento di e fino a 1.3.

L'Ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/03 e Norme Tecniche allegate, che inserisce il territorio di Castenedolo in zona sismica 3, fa riferimento a metodologie più recenti in cui il moto sismico è caratterizzato anche in relazione alle condizioni litologiche e morfologiche locali. In tale direzione si è già mosso l'Eurocodice 8 (EC8) che stabilisce le regole per il progetto e la costruzione di strutture in zona sismica per i paesi membri della Comunità Europea. Secondo l'EC8, come anche secondo l'OPCM 3274/03, i territori nazionali vengono suddivisi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, descritta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa alla superficie di un sito rigido di riferimento (a_g). I valori di accelerazione massima fissati nella nuova ordinanza del 2003 per le zone 1, 2, 3 e 4 (rispettivamente 0.35g - 0.25g - 0.15g - 0.05g) recepiscono la proposta del G.N.D.T. (1985) e risultano maggiori di quelli della precedente normativa. La normativa allegata all'OPCM 3274/03 richiede alle Regioni di eseguire la valutazione di a_g sul proprio territorio e quindi di assegnarli ad una delle zone della nuova classificazione.

La Regione Lombardia con D.G.R. 7/14964 del 7/11/03 ha fornito alcune disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM 3274/03, confermando la classificazione dei territori comunali lombardi riportata nell'Ordinanza e l'adeguamento alle norme tecniche allegate.

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'OPCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di a_g sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di Castenedolo in zona sismica 3, ed in particolare nelle sottozone caratterizzate da valori di a_g compresi tra 0.150 e 0.175 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

Nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa.

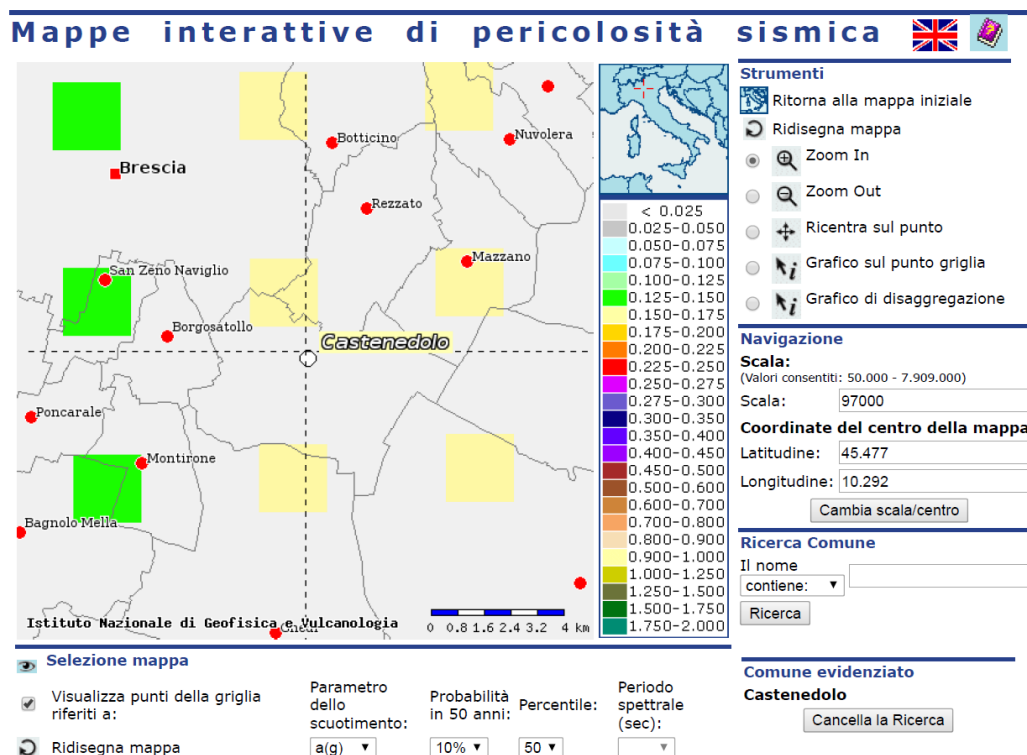
Con la D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. D)" viene proposta la revisione delle zone sismiche con lo scopo principale di armonizzare le stesse mediante l'utilizzo dei parametri fisici di

riferimento derivanti dalle NTC 2008 per la progettazione antisismica. Tale aggiornamento, sulla base di valori di a_g desumibili dalla carta della pericolosità sismica di cui alla OPCM 3519 del 27/04/06, modifica la classificazione del comune di Castenedolo che viene classificato in Zona 2 con un valore di riferimento di a_{gmax} pari a 0.156342.

La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011 (punto 1.4.3) che *“la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell’OPCM 3274/03) individua unicamente l’ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria” e specifica altresì che “ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell’All. B al citato D.M.”.*

I dati riportati nell’All. B del D.M. 14/01/2008 coincidono per lo più con quelli riportati nell’Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l’utilizzo di programmi applicativi, quali “Spettri-NTC ver.1.0.3”(redatto a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

Si forniscono in proposito i dati di pericolosità sismica riportati sul link <http://zonesismiche.mi.ingv.it> relative al territorio comunale d’interesse:



2.6. RISPOSTA SISMICA DI SITO AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

Per la valutazione dell'Azione Sismica di un sito il Testo Unico (D.M. 17/01/18) richiede l'utilizzo dei metodi, delle formule e delle tabelle in esso riportate, nonché l'applicazione di quanto previsto ai paragrafi 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.3.4 e 3.2.3.5. Nel caso in cui non siano state condotte specifiche analisi di Risposta Sismica Locale, la normativa prevede che possano venire utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/78. Il Modello Geologico-Geotecnico e Geofisico e le Caratteristiche Geomorfologiche del sito (Categoria di Sottosuolo e la Categoria Topografica) dovranno, in tal caso, essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere.

Mediante il programma "Spettri-NTC-ver. 1.0.3" (foglio di Excel), messo a punto da Consiglio Superiore dei LLPP, è possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica definiti per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV (Fase 1).

Lo sviluppo delle Fasi 2 e 3, per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, necessita la conoscenza e/o la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti delle opere.

2.6.1. Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

Viene di seguito riepilogata la modalità di classificazione e caratterizzazione dei terreni secondo quanto indicato dalle norme tecniche per il progetto sismico allegate al D.M. 17/01/88.

Il sottosuolo deve essere classificato secondo le tabelle allegate al D.M. 17/01/18 e riportate di seguito:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Il valore di $V_{S,eq}$ viene stimato utilizzando l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Secondo il D.M.17/01/18 ed in base ai dati sismostratigrafici esaminati (vedi paragrafi successivi) nel territorio di Castenedolo sono state riconosciute le seguenti categorie di sottosuolo:

Ambito Geologico	Categoria di Sottosuolo
Settore collinare e pedecollinare	B
	C
Settore fondovalle	B

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche si potrà fare riferimento alla tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/18.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per il territorio di Castenedolo, a causa dell'assetto morfologico e litologico, non si riconoscono scenari riferibili a possibili amplificazioni di tipo topografico.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per la descrizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio di Castenedolo si è fatto riferimento alla "*Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT*" redatto nel 2009 (Dott. Geol. Laura Ziliani e Dott. Geol. G. Quassoli).

3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio di Castenedolo è situato nell'Alta Pianura bresciana orientale ed occupa una superficie di 25,47 Km².

Il territorio pianeggiante di Castenedolo appartiene alla **piana di alluvionamento fluvioglaciale** generata dalle acque di scioglimento del ghiacciaio che ha prodotto l'anfiteatro morenico del Garda. I terreni sono costituiti da sedimenti alluvionali ghiaioso-sabbiosi che sono stati depositi nel Pleistocene superiore dagli scaricatori fluvioglaciali nord-occidentali dell'anfiteatro morenico gardesano.

Le acque di scioglimento del ghiacciaio benacense hanno formato un vasto e piatto conoide che con vertice a valle di Gavardo si estende fino a Ghedi, oltrepassando la collina di Castenedolo, e che costituisce una unità geomorfologica denominata "Sandur di Molinetto" (figura 1, tratta da BARONI & CREMASCHI, 1987).

Questa unità geomorfologica è delimitata a nord dal "terrazzo di Prevalle" e dal margine pedemontano, ad est dalle scarpate erosive prodotte dal Fiume Chiese e a sud e a sud-ovest dalla fascia dei fontanili.

La morfologia è subpianeggiante e risulta nell'insieme debolmente convessa e immergente verso sud-ovest (a nord del colle) e verso sud (a sud del colle). I suoli sono ben drenati e contengono frequentemente ghiaia e ciottoli.

La superficie topografica presenta deboli ondulazioni allungate prevalentemente in direzione NNE-SSW legate all'attività delle acque che in passato hanno depositato, rielaborato ed eroso i materiali di superficie presenti in questo tratto di pianura, modellandone le forme. Tali ondulazioni corrispondono ad una rete di canali intrecciati (braided) generata dalle acque di un corso d'acqua di tipo torrentizio, con trasporto abbondante di detrito che ha costretto la corrente a deviare e a dividersi frequentemente.

Tale morfologia è ben visibile in foto aerea ed è facilmente osservabile anche in campagna, soprattutto all'esterno dell'area in esame, in territorio di Montichiari. Infatti i canali, laddove non spianati o colmati dall'uomo, risultano leggermente depressi rispetto alle aree che li delimitano e si distinguono per il colore leggermente più scuro, dovuto ad un arricchimento in matrice fine dei depositi ghiaioso-sabbiosi.

Si tratta di forme non più attive, riferibili a condizioni climatiche e morfodinamiche diverse dalle attuali, in quanto la piana alluvionale oggetto di studio non può più essere raggiunta dalle acque superficiali che hanno prodotto tali forme.

La morfologia piuttosto monotona del territorio di pianura è interrotta localmente dalle numerose cave a "fossa", prodotte dall'attività estrattiva di ghiaia, che talora hanno raggiunto la falda acquifera.

Dalla piana alluvionale emerge la **collina di Castenedolo**, costituita da depositi più antichi della pianura circostante, conservati a causa di un sollevamento del substrato, come la collina di Ciliverghe, il Monte Netto ed il dosso di Pievedizio.

La collina di Castenedolo si innalza di una ventina di metri rispetto alla pianura e risulta allungata in senso ENE-WSW. Il margine settentrionale e quello sud-orientale sono delimitati da una scarpata morfologica ben sviluppata, mentre quello meridionale si raccorda più dolcemente con la pianura.

La morfologia originaria di questo rilievo è stata in parte modificata dall'attività estrattiva di materiale argilloso, dallo sviluppo dell'abitato e dall'attività agricola; tuttavia la collina di Castenedolo è caratterizzata da un paesaggio geomorfologico unitario di grande valore, i cui elementi strutturanti sono ancora oggi ben leggibili e riconoscibili.

3.2. DESCRIZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE

Le formazioni geologiche affioranti nel territorio di Castenedolo sono descritte nei prossimi paragrafi, ad iniziare da quelle più antiche. La loro distribuzione areale è rappresentata sulla CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA (TAV.1) realizzata in scala 1:5.000 allegata allo studio della "*Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT*" (Ziliani L. e Quassoli G., 2009) a cui fanno riferimento anche le sigle riportate nelle descrizioni.

3.2.1. Collina di Castenedolo

La peculiarità geologica dei rilievi isolati nella pianura, rappresentati dalle colline di Castenedolo, Ciliverghe e Monte Netto, consiste nel fatto che essi sono costituiti da depositi più antichi di quelli che affiorano nella pianura circostante e che gli stessi depositi antichi nel territorio circostante sono situati in profondità e non sono osservabili se non mediante la perforazione di pozzi.

I lineamenti geologici della collina di Castenedolo sono stati descritti in dettaglio da RAGAZZONI (1880) e CACCIAMALI (1896). Alla fine dell' '800 la collina di Castenedolo fu oggetto di studi e di accesi dibattiti in seguito al ritrovamento, in momenti diversi dal 1860 fino al 1889, di resti umani riferibili a sei individui ("uomo di Castenedolo") allora attribuiti al Pliocene in quanto rinvenuti all'interno di depositi marini ritenuti di questo periodo. Studi più recenti dimostrarono che i resti umani erano stati inumati in età storica (forse in epoca tardoantica o altomedievale) e che non erano contemporanei dei sedimenti marini.

In seguito alla perforazione effettuata nel 1953 nei pressi del rilievo collinare di un sondaggio stratigrafico profondo 959 m da parte di AGIP, l'interpretazione cronostratigrafica della geologia della collina è stata rivista (CITA, 1955; PERCONIG, 1956; VENZO, 1965; BONI et al., 1970; BARONI, CREMASCHI e FEDOROFF, 1988).

Alla base della successione stratigrafica del colle di Castenedolo si trovano depositi marini di ambiente litorale che in passato erano stati ritenuti pliocenici (RAGAZZONI, 1880; CORTI, 1892; CACCIAMALI, 1896), mentre nei lavori più recenti essi sono attribuiti al Pleistocene inferiore (VENZO, 1965; BONI et al., 1970; BRAMBILLA et al., 1990; BARONI & CREMASCHI, 1987).

I depositi marini sono ricoperti da depositi continentali di ambiente prima lacustre e fluviale e poi fluvioglaciale. Questi ultimi sono profondamente alterati da un paleosuolo che ha iniziato ad evolversi nel Pleistocene medio.

La serie stratigrafica è coperta da coltri di loess. Il ritrovamento in posto nel loess di manufatti paleolitici riferibili alla cultura musteriana consente di attribuire, per lo meno la coltre più alta di loess, al Pleistocene superiore (BARONI & CREMASCHI, 1987; BARONI, CREMASCHI e FEDOROFF, 1988).

Di seguito si descrivono le formazioni geologiche affioranti sulla collina di Castenedolo, ad iniziare dalla più antica. Le sigle utilizzate sono tratte dal lavoro di BARONI, CREMASCHI e FEDOROFF (1988).

Depositi di ambiente litorale: argille, argille sabbiose, sabbie cementate, calcari e marne - Formazione di Castenedolo (CAST 1) - Pleistocene inf. (Emiliano-Calabriano)

Questa formazione affiora lungo il bordo nord-orientale del colle di Castenedolo. Attualmente, a causa della copertura vegetale, è riconoscibile solo una porzione della successione stratigrafica descritta dagli autori.

Si riporta di seguito ed in modo sintetico, la successione litologica rilevata da VENZO (1965) che comprende, a partire dal basso:

1. argille micacee sterili;
2. argille sabbiose azzurre a Lamellibranche e Gasteropodi;
3. sabbie marnose micacee;
4. banco ad ostreidi con altri Lamellibranchi e Gasteropodi;
5. livello a *Cladocora cespitosa* (Lamellibranco) con argilla sabbiosa a Lamellibranchi e Gasteropodi;
6. alternanza di "argille variegate" a Foraminiferi e Diatomee;
7. marne argillose fluvio-lacustri a Diatomee.

L'attento esame faunistico effettuato da BRAMBILLA, GALLI e SANTI (1990) ha evidenziato che la serie è tutta sicuramente quaternaria (in particolare è attribuibile alla parte alta del Pleistocene inferiore) e che i fossili pliocenici presenti nei primi due livelli sono rimaneggiati.

Dal punto di vista ambientale i depositi sono tipici di un bacino marino poco profondo (max. prof. 15 m circa), limitato da una spiaggia bassa a granulometria medio-fine, e testimoniano le ultime fasi marine in questa zona. La presenza di un corso d'acqua, la cui foce sarebbe variata di posizione nel tempo, modificando quindi l'apporto di materiale terrigeno (argilla) e di molluschi non marini, spiegherebbe la variabilità litologica dei livelli che costituiscono la Formazione di Castenedolo. Nella fase finale della sedimentazione della Formazione di Castenedolo le acque marine si ritirarono e si instaurò un ambiente di transizione (stagno costiero) che da salmastro passò successivamente a dulcicolo, testimone della chiusura del ciclo marino in questa parte della pianura Padana.

La Formazione di Castenedolo è stata incontrata a 150 m di profondità nel sondaggio stratigrafico effettuato da AGIP nel 1953 a N della collina (CITA, 1955; PERCONIG, 1956). Anche in alcuni pozzi idrici perforati in zona sono stati incontrati depositi marini o presunti tali.

Paleosuolo evoluto sulla Formazione di Castenedolo, fortemente rubefatto e argillificato (CAST 2) - Pleistocene inf.

Affioramenti di questo paleosuolo sono segnalati sia a valle del cimitero che nella cava Italcementi, dove il paleosuolo è interessato da un sistema di faglie dirette, il cui piano immerge verso ESE, inclinate di circa 60-70°, con un rigetto di circa un metro (BARONI & CREMASCHI, 1987).

Considerato che dal punto di vista paleomagnetico il paleosuolo, come la sottostante Formazione di Castenedolo, è caratterizzato da polarità inversa, esso è attribuibile al Pleistocene inferiore (CREMASCHI, 1987).

Argille fluviolacustri limose e limoso-sabbiose laminate di colore giallastro con intercalazioni arenacee (CAST 3b).

Affioramenti di questa unità sono segnalati nella cava Italcementi e lungo il margine settentrionale della collina. In questi sedimenti Corti (in CACCIAMALI, 1896) ha riconosciuto numerose specie di Diatomee di origine continentale "villafranchiane".

Queste argille passano lateralmente o verticalmente all'unità successiva (Ceppo).

Conglomerati fluviali ("Ceppo"): ghiaie molto cementate costituite prevalentemente da ciottoli calcarei e prealpini minuti, con intercalazioni sabbiose a laminazione incrociata (CAST 3a) - Pleistocene medio.

Questa unità, dello spessore di una decina di metri, affiora principalmente sul versante orientale del colle. In passato è stata utilizzata come materiale da costruzione.

Cacciamali (1896) ne segnala ulteriori affioramenti: all'estrema punta nord-orientale del colle (all'interno di due cave già allora abbandonate), sotto la strada che da Castenedolo scende al "Molino Nuovo", a sinistra della rampa per Montichiari, nei pressi del Borgo dell'Ora, di fronte alla C.na Subiolo e nel Rio Vallone.

La stessa unità affiora anche sul colle di Ciliverghe.

Ghiaie fluvioglaciali fortemente alterate (CAST 4) - Pleistocene medio.

Le ghiaie sono alterate per il loro intero spessore da un suolo policiclico il cui inizio di evoluzione è fatto risalire all'antico Pleistocene medio (CREMASCHI, 1987). L'alterazione pedogenetica ha dissolto tutti i clasti calcarei che sono riconoscibili come tali solo nella porzione inferiore del paleosuolo. Gli orizzonti superiori sono completamente argillificati.

La stessa unità affiora anche sul colle di Ciliverghe.

Coltre policiclica di loess (CAST 5) - Tardo Pleistocene medio e Pleistocene superiore

Si tratta di coltri sovrapposte costituite principalmente da materiale fine, trasportato e deposto dal vento. Gli affioramenti di questa unità (che raggiunge uno spessore massimo di quattro metri) si trovano concentrati prevalentemente nella porzione centrale del colle, dove il loess ha colmato depressioni e/o vallecicole incise nelle sottostanti unità.

L'unità affiora in lembi discontinui e di spessore variabile, essendo stata oggetto di intensa attività estrattiva, insieme al paleosuolo della precedente unità.

In passato il materiale veniva utilizzato nella fornace "Quadri", situata in località Fornaci, e nella fornace "Belpietro", ubicata sulla strada per il cimitero.

Nelle coltri più superficiali di loess sono stati rinvenuti manufatti paleolitici, probabilmente riferibili alla cultura musteriana, che consentono di datare l'unità, almeno per le coltri più alte, al Pleistocene superiore (BARONI & CREMASCHI, 1987; BARONI, CREMASCHI e FEDOROFF, 1988).

Depositi colluviali (Co) - Olocene

Ai piedi della collina e nelle vallecicole si sono accumulati depositi colluviali prevalentemente costituiti da limi e limi argillosi.

3.2.1. Pianura**Depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi costituenti il livello fondamentale della pianura (Fg) - Pleistocene superiore**

Si tratta di ghiaie poligeniche e sabbie grossolane con ciottoli. Sono presenti intercalazioni lenticolari di limi sabbiosi o di sabbie. Questa unità costituisce il livello fondamentale della pianura.

Questi materiali sono stati localmente oggetto di attività estrattiva. Attualmente l'estrazione di ghiaia e sabbia viene effettuata all'interno dell'Ambito Territoriale Estrattivo ATEg21.

L'emergenza dal livello fondamentale della pianura della collina di Castenedolo, insieme ai rilievi di Ciliverghe, Monte Netto e Pievedizio, è legata alla presenza di una struttura anticlinale sepolta, denominata "anticlinale di Pievedizio-Ciliverghe" ed è dovuta ad un lento sollevamento del substrato roccioso sepolto, riferibile al Pleistocene medio antico per Ciliverghe e Castenedolo, ad una più recente fase del Pleistocene medio per il Monte Netto e per il dosso di Pievedizio. A partire da questi periodi le colline sono sottoposte a processi di evoluzione dei suoli e di sedimentazione eolica di loess.

BARONI e CREMASCHI (1987) ipotizzano, sulla base dei caratteri morfostrutturali del colle e dei dati stratigrafici del pozzo AGIP, la presenza di una faglia con direzione OSO-ENE, parallela al colle, appena a nord dello stesso. Essa avrebbe interessato anche i depositi fluviali e fluvioglaciali del Pleistocene medio. Ipotizzano inoltre la presenza di una faglia avente direzione SSO-NNE, sviluppata lungo la vallecchia rettilinea che dal centro di Castenedolo margina il Borgo dell'Ora. Tale lineamento sarebbe responsabile del sollevamento del settore orientale del colle.

3.3. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per una prima caratterizzazione geotecnica del territorio comunale sono stati raccolti i dati relativi ad indagini geognostiche effettuate all'interno del comune.

I terreni presenti nel territorio di pianura sono rappresentati da alluvioni fluvioglaciali costituite da ghiaia con sabbia limosa con ciottoli; generalmente questi depositi, al di sotto della copertura pedologica, presentano caratteristiche geotecniche da discrete a buone.

I depositi colluviali, presenti nella fascia pedemontana, possiedono caratteristiche geotecniche variabili da mediocri a scarse in relazione alla granulometria dei depositi e alla loro consolidazione.

In corrispondenza del colle di Castenedolo sono presenti materiali a granulometria fine (depositi colluviali, coperture loessiche, paleosuolo delle ghiaie fluviali intensamente pedogenizzate) che possiedono caratteristiche variabili da mediocri a buone dal punto di vista geotecnico. Sono inoltre presenti vaste aree con terreno rimaneggiato.

Su tutto il territorio non sono presenti terreni dotati di caratteristiche granulometriche tali da essere soggetti a fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici.

3.4. ELEMENTI DI DINAMICA GEOMORFOLOGICA

Gli elementi morfologici di seguito descritti sono riportati sulla CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA (Tav.1) (*Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT* - Ziliani L. e Quassoli G., 2009).

Nel territorio di Castenedolo non sono presenti fenomeni di dissesto di rilievo. Anche la *Carta inventario dei fenomeni franosi*, redatta dalla Regione Lombardia (SIT - Dissesto idrogeologico) non ne evidenzia. Solamente lungo i tratti più acclivi della scarpata che delimita il margine settentrionale e quello sud-orientale del colle sono localmente presenti piccoli dissesti superficiali di dimensioni tali da non essere cartografabili.

La rete idrografica e di drenaggio è ben sviluppata, sia sul colle che nella fascia pedecollinare. Considerata la bassa permeabilità dei depositi che affiorano sul colle e lungo il pedemonte, è fondamentale che tale rete sia mantenuta sempre efficiente.

La morfologia del colle di Castenedolo è caratterizzata da blande ondulazioni. In particolare si possono riconoscere alcune aree sommitali arrotondate che fungono da spartiacque, definite sulla Tav. 1 “culminazioni” ed alcune vallecole “a conca”.

Ben riconoscibile è la culminazione che, traendo origine dalla punta nord-orientale del colle, attraversa il centro storico grosso modo lungo via XV Giugno. Più ad est si riconosce un'altra culminazione in località “I Dossi”. Tra le due è presente una debole depressione denominata “La Valle”.

Un'altra culminazione ben evidente è quella situata lungo il margine nord-occidentale del colle, tra via del Maglio e Capodimonte. L'area di spartiacque costituisce il fianco settentrionale di una vallecchia a conca nella quale scorre il Rio delle Coste.

Tra via Garibaldi ed il cimitero è presente una vallecchia che si è sviluppata presumibilmente in corrispondenza di una faglia che interessa il "Ceppo".

Il Rio del Vallone attraversa centralmente il colle, dall'abitato di Castenedolo fino ad oltre l'area dell'ex cava Italcementi. L'alveo è profondamente inciso nei depositi argillosi fino a C.na Colombera, dove esso termina in corrispondenza della strada vicinale delle Stradelle.

Il margine settentrionale e quello sud-orientale del rilievo di Castenedolo sono delimitati da una scarpata morfologica ben evidente. La scarpata, spesso boscata, costituisce un elemento di rilievo nella struttura del paesaggio. Considerata la pendenza del versante, sono possibili fenomeni di dissesto in occasione di precipitazioni particolarmente intense o in seguito ad interventi antropici errati. Inoltre, a seguito di un terremoto potrebbero verificarsi fenomeni di instabilità dinamica, in particolare nei tratti più acclivi.

La pendenza della scarpata varia in relazione al tipo di roccia che la sostiene; è molto acclive, ad esempio, in corrispondenza dell'affioramento del "Ceppo". Localmente la pendenza originaria è stata modificata dagli interventi antropici (attività agricola, strade, ecc.).

Nel territorio di pianura sono state cartografate alcune scarpate antropiche che delimitano aree depresse interessate da attività estrattiva di ghiaia e sabbia.

Parte di esse ospitano cave ancora attive, altre sono state abbandonate e, talora, riempite. Con apposito simbolo sono indicate due aree depresse, situate una ad est e l'altra ad ovest dell'ATEg21, riempite con materiale inerte. Quella situata ad est è stata recuperata a piano campagna recentemente, mentre quella situata ad ovest è stata colmata negli anni '60.

Alcune depressioni di cava hanno raggiunto la falda acquifera.

Di particolare interesse morfologico-storico l'area depressa di forma allungata della Fontana Prandoni, occupata in passato da acque di fontanile, situata nella porzione orientale del territorio comunale. Si segnala la situazione di degrado di questa depressione nella quale, localmente, è stato scaricato abusivamente materiale di varia origine.

Il colle di Castenedolo presenta un notevole interesse paesistico e geostorico come le colline di Ciliverghe e di Capriano del Colle, il debole rilievo di Pievedizio, le "mottelle" e il terrazzo di Prevalle.

Il valore paesistico di questi bassi rilievi è dovuto innanzitutto al fatto che all'interno di una superficie monotona come la pianura essi costituiscono un punto di vista privilegiato, così come un punto di riferimento geografico, ed anche l'unico elemento di variabilità inserito nel paesaggio nel raggio di alcuni chilometri, con effetti sicuramente diversi da quelli prodotti dall'ergersi delle colline calcaree.

Inoltre la collina di Castenedolo è caratterizzata da un paesaggio geomorfologico unitario di grande valore, i cui elementi strutturanti sono ancora oggi ben leggibili e riconoscibili.

Al valore geomorfologico-paesistico si aggiunge il valore testimoniale e quale palestra di studio per molteplici campi delle scienze, quali la geologia del Quaternario (stratigrafia, neotettonica), la pedologia, l'archeologia etc, con possibilità di sviluppo di nuove indagini. Infatti il rilievo collinare di Castenedolo costituisce un lembo relitto di un'antica pianura e sulla sua superficie affiorano unità stratigrafiche che consentono una ricostruzione particolareggiata delle fasi evolutive di questa porzione del territorio bresciano verificatesi all'incirca negli ultimi 2 milioni di anni. La coltre di loess che localmente ricopre il colle contiene localmente manufatti paleolitici.

3.5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio sono riportate sulla CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO (Tav.2) (*Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT* - Ziliani L. e Quassoli G., 2009).

Settore di pianura

I depositi alluvionali che caratterizzano il territorio pianeggiante sono costituiti prevalentemente da ghiaie con ciottoli di diversa natura immersi in una matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, piuttosto addensata e talora debolmente cementata. Sono presenti livelli sabbiosi e trovanti, nonché orizzonti argillosi.

Questa unità idrogeologica, denominata "**ghiaioso-sabbiosa**" (Denti, Lauzi, Sala, Scesi, 1988) è caratterizzata da valori di permeabilità piuttosto alti.

Lo spessore dei depositi ghiaioso-sabbiosi risente della presenza di una struttura anticlinale sepolta, denominata "anticlinale di Pievedizio-Ciliverghe" che è dovuta ad un lento sollevamento del substrato roccioso sepolto, già citato in precedenza, responsabile dell'emergenza del colle di Castenedolo, insieme ai rilievi di Ciliverghe, Monte Netto e Pievedizio.

La struttura anticlinale sepolta determina l'avvicinamento alla superficie topografica di sedimenti più antichi caratterizzati da bassa permeabilità. Inferiormente all'unità ghiaioso-sabbiosa è infatti presente l'"**unità villafranchiana**", rappresentata da argille e argille limose grigio-azzurre con intercalazioni ghiaiose o ghiaioso-sabbiose e rare lenti torbose.

L'unità ghiaioso-sabbiosa presente in superficie contiene una falda libera, mentre le intercalazioni ghiaioso-sabbiose contenute all'interno dell'unità villafranchiana contengono una falda confinata o semiconfinata.

La falda libera situata a nord della struttura anticlinale non è direttamente in comunicazione con quella a sud, poiché esse sono separate dalla struttura sommersa, praticamente impermeabile, che collega le colline di Ciliverghe e Castenedolo. Il livello piezometrico a nord è situato a circa 28-30 m di profondità dal piano campagna, mentre a sud a circa 35-40 m.

Probabilmente in passato la falda era più alta, come dimostra la presenza di numerosi pozzi in corrispondenza della struttura anticlinale, ormai chiusi perché asciutti.

Per meglio chiarire la struttura idrogeologica del territorio, è stata effettuata una elaborazione dei dati stratigrafici dei pozzi al fine di ricostruire l'andamento del "tetto" dell'unità villafranchiana che condiziona sensibilmente l'idrogeologia della zona. Tale struttura sommersa che collega le colline di Ciliverghe e di Castenedolo è rappresentata nella figura seguente. Le isopache riportate definiscono il tetto dell'unità villafranchiana che corrisponde alla base dell'acquifero freatico.

Come evidenziato in carta, la struttura a bassa permeabilità separa la falda libera presente a nord da quella situata a sud, condizionandone il deflusso.

La falda libera situata a nord della discarica presenta una direzione di deflusso verso SW.

Il flusso delle acque della falda libera situata a sud della discarica è diretto verso SSE.

I pozzi situati nei pressi della struttura sepolta che collega le colline di Castenedolo e Ciliverghe captano la falda confinata o semiconfinata contenuta nei livelli ghiaioso-sabbiosi compresi nei depositi argilloso-limosi dell'unità Villafranchiana. Alcuni pozzi captano sia la falda libera che quella sottostante confinata o semiconfinata.

Tra i colli di Castenedolo e di Ciliverghe la struttura sepolta caratterizzata da bassa permeabilità può sostenere localmente una falda sospesa di esigua entità.

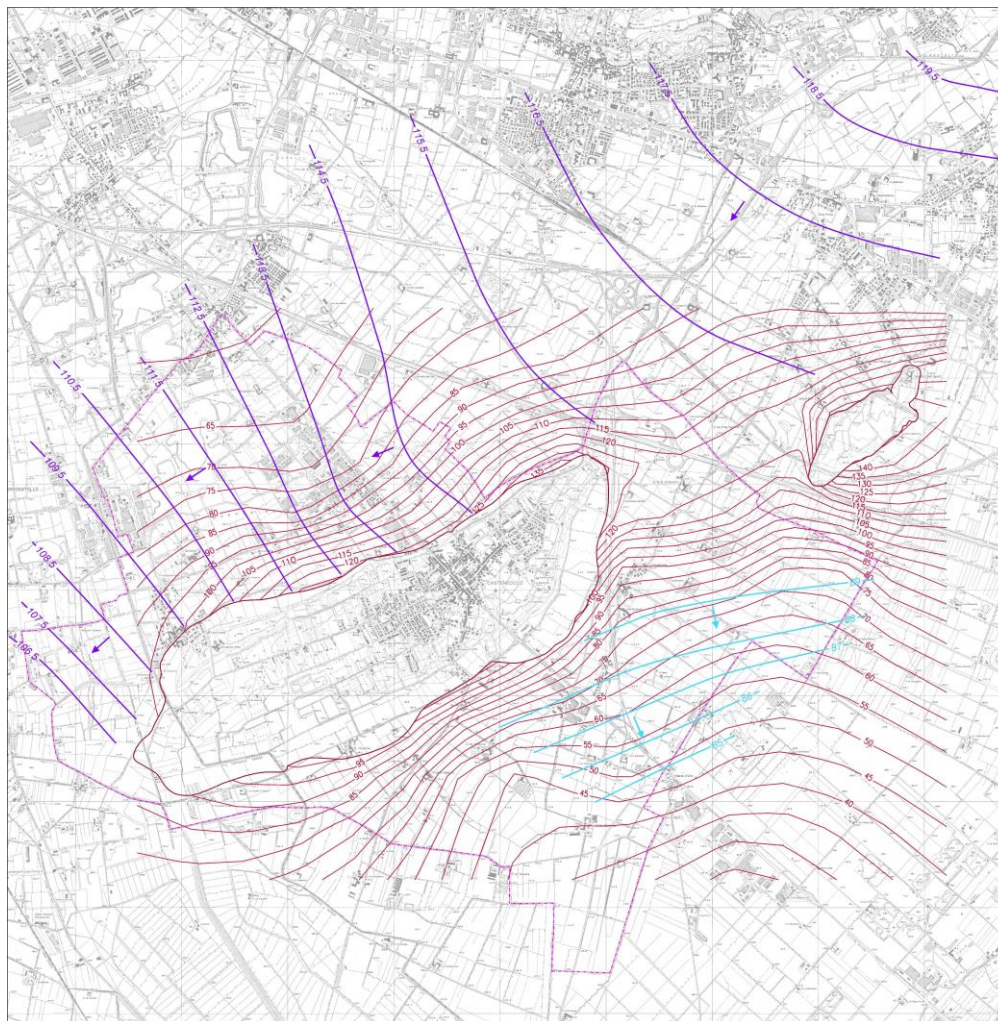


Figura 5 - BASE DELL'ACQUIFERO FREATICO E PIEZOMETRIA

Scala 1:50.000

-  Limite dei colli di Castenedolo e di Ciliverghe.
-  40 Isopache che definiscono il tetto dell'Unità Villafranchiana che corrisponde alla base dell'acquifero freatico e relativa quota in m s.l.m.
-  106.5 Piezometria a nord del colle di Castenedolo e del colle di Ciliverghe (marzo 2008).
-  85 Piezometria a sud del colle di Castenedolo e del colle di Ciliverghe (marzo 2008).

STUDIO GEOLOGIA AMBIENTE

Colle di Castenedolo

Il colle di Castenedolo è costituito da materiali caratterizzati da permeabilità mediamente bassa, contenenti livelli poroso-permeabili, costituiti da sabbie o ghiaie, caratterizzati da uno spessore piuttosto ridotto e variabile lateralmente.

I livelli sabbiosi o ghiaiosi situati nei primi 10-12 metri a partire dal piano campagna contengono falde acquifere di scarsa potenzialità e discontinue che in passato erano captate da diversi pozzi fatti a mano. Cacciamali scrive nel suo lavoro *La collina di Castenedolo* (1896) che in paese queste falde acquifere di ridotta portata, sporadiche e discontinue venivano chiamate "lacrime d'acqua".

Queste faldine superficiali sono alimentate dalle precipitazioni che, nonostante la collina sia coperta da materiale argilloso-limoso a bassa permeabilità, riescono ad infiltrarsi in corrispondenza degli impluvi e delle depressioni, raggiungendo gli strati sabbiosi o ghiaiosi che poggiano su materiali limoso-argillosi impermeabili. Questi ultimi si trovano generalmente a profondità di 10-12 m nelle zone sommitali del colle e a 6-7 m nelle zone più basse del paese. Generalmente, infatti, i pozzi vecchi diffusi in buona parte del paese raggiungono tali profondità.

In corrispondenza dell'intersezione tra la superficie di queste faldine e quella topografica si hanno manifestazioni sorgentizie caratterizzate da portate esigue, anche se costanti; esse sono situate soprattutto alla base della scarpata che delimita il colle, in particolare quella settentrionale, oppure nelle vallette, dove alimentano la rete idrografica.

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica presente in corrispondenza del colle, a profondità maggiori, i dati disponibili sono molto scarsi. Consentono comunque di affermare che in profondità sono presenti materiali prevalentemente fini e perciò caratterizzati da bassi valori di permeabilità e trasmissività. Le lenti di materiali sabbioso-ghiaiosi talora presenti non hanno in genere una continuità laterale sufficiente a garantire quantità d'acqua di una certa consistenza. A ciò si sommano anche i problemi derivanti dalla lentezza dei moti di filtrazione all'interno degli orizzonti circostanti che determinano elevati tempi di ricarica dei livelli più permeabili; si tratta quindi di acquiferi che, se sottoposti ad emungimento, si prosciugano rapidamente. Da ultimo va sottolineato che presumibilmente le acque presenti in queste falde confinate possiedono una qualità scadente, in quanto il loro chimismo è caratterizzato dalla presenza di parametri tipici di scarsa ossigenazione delle acque e dell'azione di sostanze riducenti quali la torba (ferro, manganese, ammoniaca e idrogeno solforato).

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Al fine di implementare un database geologico e di poter sviluppare le successive fasi di Microzonazione Sismica, si è proceduto alla raccolta del maggior numero possibile di Dati geotecnici e geofisici che abbiano interessato il territorio comunale di Castenedolo.

Inizialmente sono stati recepiti tutti i dati già riportati negli studi geologici redatti per la pianificazione comunale.

Successivamente si è proceduto ad integrare tali dati mediante la raccolta presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico Comunale delle indagini esperite nel territorio per le pratiche edilizie, con particolare riferimento agli ultimi anni e agli interventi di grande impatto sul territorio.

Sono stati inoltre raccolti anche i dati stratigrafici relativi ai pozzi pubblici e privati.

Per le specifiche finalità del presente studio sono state, infine, eseguite nuove indagini sismiche; in particolare sono stati predisposti n. 5 stendimenti di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie con elaborazione dei dati secondo la procedura MASW (vedi "Dati Sismostratigrafici - Nuove acquisizioni", All. 2).

Ogni punto d'indagine, raccolto secondo le modalità descritte, è stato idoneamente georeferenziato ed inserito in ambiente GIS; inoltre tutti i dati raccolti sono stati informatizzati mediante scansione in formato PDF dei tabulati di prova/report di campo ed i punti sono stati riportati in planimetria mediante idoneo segno grafico, in accordo con quanto previsto negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione Sismica" (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 4.0b).

A seguito della raccolta dei dati è stata prodotta la "CARTA DELLE INDAGINI" (scala 1:7.500), realizzata in ambiente GIS, per la quale verranno forniti anche i relativi shapefile, a corredo e completamento del database.

Nel complesso, nel territorio comunale di Castenedolo sono stati censiti n° 94 siti di indagine che hanno fornito dati relativi a quasi 200 indagini puntuali e/o lineari. Le indagini presentano una peculiare distribuzione nelle aree maggiormente interessate dall'espansione urbanistica.

5. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

La copertura dei dati geofisici e geotecnici relativi alle aree di maggiore interesse urbanistico ed i rilievi geologici e geomorfologici esistenti sul territorio e di nuova realizzazione hanno permesso di definire un Modello del Sottosuolo soddisfacente e di individuare n° 2 sezioni stratigrafiche tipo (All. 1 Sezioni litotecniche) descrittive del territorio ed a cui sono stati correlati elementi geologici (ambiente deposizionale dei terreni di copertura), litologici (denominazione litologica prevalente dei terreni di copertura) e geotecnici (grado di consistenza o di addensamento dei terreni di copertura).

Si è pertanto proceduto alla predisposizione della “CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA” (scala 1:7.500), realizzata in ambiente GIS, con relativi shapefile.

Rimandando ai capitoli precedenti per la descrizione dell'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico, di seguito si procede a descrivere il modello geologico del sottosuolo come sintesi dei dati raccolti identificando le sezioni tipo rappresentative delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti a Castenedolo.

Il settore di pianura caratterizzato è dalla presenza dei depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbioso il cui spessore è influenzato dalle radici sepolte dei colli di Castenedolo e Ciliverghe di natura prevalentemente argilloso-limosa.

A tratti, soprattutto alla base dell'orizzonte ghiaioso, si ritrovano conglomerati più o meno fratturati.

Tale assetto ha consentito di individuare, per il settore di pianura, tre principali unità che si differenziano per il diverso spessore di queste litologie in profondità.

Per quanto riguarda il colle, i dati disponibili non hanno consentito di ricostruire un modello geologico-geofisico del sottosuolo affidabile, per cui si è preferito definire un'unica unità prevalentemente argilloso-limosa.

Viene distinta, nelle zone sommitali, solamente l'area caratterizzata dalla presenza in superficie delle coltri loessiche, che in base ai dati geofisici hanno anche un'influenza dal punto di vista del comportamento dei terreni sottoposti all'impulso sismico.

La fascia di raccordo tra la pianura e il colle è caratterizzata dalla presenza di depositi prevalentemente colluviali limoso-sabbiosi debolmente argillosi che poggiano

alternativamente sulle unità del colle o sui depositi fluvioglaciali con i quali presumibilmente spesso di interdigitano.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Uno studio di microzonazione sismica a scala comunale comporta necessariamente una serie di approssimazioni e compromessi legati sostanzialmente alla necessità di "spalmare" dati puntuali sull'intero territorio di interesse.

Il territorio di Castenedolo risulta caratterizzato da un settore di pianura urbanizzato soprattutto nel settore nord-occidentale e lungo l'asse viario della S.P. 236.

Il principale nucleo dell'abitato residenziale si è invece sviluppato sul colle, nella porzione nord-orientale.

Naturalmente la distribuzione dei dati geologici, geotecnici e geofisici è influenzata dalla distribuzione del tessuto urbano.

I dati stratigrafici e geofisici raccolti non sempre hanno consentito di individuare il bedrock sismico (orizzonte litologico caratterizzato da una velocità delle onde di taglio Vs maggiore o uguale a 800 m/s).

Presumibilmente questo può localmente coincidere con gli orizzonti conglomeratici, dove si presentano maggiormente continui e compatti. Probabilmente anche i depositi più antichi del colle di Castenedolo presentano velocità delle onde di taglio Vs caratteristiche di un bedrock sismico.

La discontinuità dei dati disponibili non ha consentito di ricostruire con un grado di precisione affidabile, l'andamento del substrato sismico.

Di conseguenza non è stato possibile compilare il file *isosub.shp*.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI

Lo studio di Microzonazione Sismica è stato eseguito ai sensi degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - ICMS" (Conferenza delle Regioni e Provincie Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 Vol. e DVD, Gruppo di Lavoro MS, 2008) e degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di microzonazione sismica (vers. 4.0b)", nonché delle specifiche definite da Regione Lombardia nell'Allegato 1 alla nota trasmessa al comune nel 2017 (Allegato 1 alla Nota n. Z1.2017.0008854).

Lo studio ha quindi previsto l'applicazione del Livello 1 dei Criteri Regionali Lombardi e del livello 1 previsto dagli ICMS; successivamente è stato applicato in maniera "mista" il livello 2 previsto dagli ICMS e dai Criteri Regionali Lombardi.

È stata dapprima proposta una trattazione inerente la Pericolosità di Base e gli Eventi di Riferimento per il territorio d'interesse; si è proceduto alla descrizione della Sismicità Storica dell'area in stretta correlazione con la ricostruzione del Contesto Geologico-Strutturale e Sismotettonico.

Per quanto concerne l'applicazione del 1° e 2° livello dei Criteri Regionali si è partiti dalla analisi sismica contenuta nella Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, opportunamente integrata tramite l'acquisizione di nuovi dati geofisici di caratterizzazione del territorio.

Il passo successivo ha previsto il reperimento e l'analisi dei dati geotecnici e geofisici disponibili attraverso la consultazione presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico Comunale delle pratiche per cementi armati, con particolare riguardo per le principali opere sia pubbliche, sia private realizzate negli ultimi anni sul territorio.

Tali dati sono stati integrati tramite l'esecuzione di n. 5 nuove indagini geofisiche opportunamente distribuite sul territorio comunale (vedi all. 2).

Tutti i siti oggetto di indagine sono stati inseriti nel database *Indagini.mdb* e sono state compilate le relative tabelle per i siti puntuali e per i siti lineari (*Cdl_tabelle_017043.mdb*) tramite il software messo a disposizione dal Dipartimento di Protezione Civile (SoftMS vers. 4.0.1).

Si è quindi proceduto alla redazione della "**CARTA DELLE INDAGINI**" (scala 1:7.500) e della "**CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**" (Scala

1:7.500). I dati sono stati inoltre inseriti in un archivio informatico predisposto in conformità agli standard richiesti ("Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica" – Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - vers. 4.0b); per la consultazione dei dati geognostici si fa pertanto riferimento al data base allegato.

Nello studio della "Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT", redatto nel 2009 ai sensi della D.G.R. n°8/1566 del 22/12/2005 e della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, è stata predisposta la valutazione della **pericolosità sismica** applicando le procedure regionali contenute nell'All. 5 "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T." della suddetta delibera.

Nel presente studio è stata rivalutata la risposta sismica locale in relazione alle condizioni geologiche e geomorfologiche riconosciute che possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base dell'area (ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011 e alla luce delle nuove indagini eseguite). Si è quindi proceduto all'analisi della sismicità del territorio ed alla redazione della "**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) - Livello 1**" (scala 1:7.500), applicando la procedura di 1° livello, secondo le metodologie indicate nell'allegato 5 della D.G.R. n°9/2616 del 30/11/2011.

E' stata quindi predisposta, in parallelo e quale sintesi di tutti i dati raccolti di tipo geologico-tecnico e geofisico, l'analisi di Livello 1 ai sensi dei criteri nazionali (ICMS); è stata così redatta la "**CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) - LIVELLO 1**" (MS1) (scala 1:7.500). Per la sua elaborazione ci si è basati sulle "sezioni stratigrafiche tipo" ricostruite per il territorio d'interesse e si è tenuto conto del riconoscimento sul territorio delle Zone Stabili, con o senza suscettibilità all'amplificazione locale, delle Zone suscettibili di Instabilità e delle Forme di superficie e sepolte. Sono state predisposte n° 2 Sezioni Litotecniche (All. 1) al fine di esemplificare in maniera più chiara i rapporti tra le unità riconosciute.

Successivamente è stata applicata, laddove necessario, la procedura di 2° livello della normativa regionale. Per la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione litologica degli eventi sismici attesi, secondo le metodologie indicate per l'analisi di 2° livello, e per la definizione di un modello geofisico e geotecnico affidabile, in accordo con quanto prescritto dall'All. 5 della D.G.R. n°9/2616 del 30/11/2011, sono state eseguite nuove indagini geofisiche. In particolare sono state eseguite n. 5 nuove indagini lineari di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali con elaborazione dei dati secondo la procedura tipo MASW (vedi "Dati Sismostratigrafici - Nuove acquisizioni", All. 2)

La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla morfologia non si è resa necessaria in quanto sul territorio non sono state individuate le combinazioni geometriche e litologiche indispensabili per la formazione di fenomeni di amplificazione morfologica (scarpate e/o creste e cocuzzoli riocciosi).

Sono state pertanto predisposte le **"CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DERIVANTE DALL'APPLICAZIONE DEL LIVELLO 2 AI SENSI DEI CRITERI REGIONALI"** (MS2)" (scala 1:7.500) relative rispettivamente a periodi pari a 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. CARTA DELLE INDAGINI

Ogni punto d'indagine, raccolto secondo le modalità descritte, è stato idoneamente geo-referenziato secondo il sistema di riferimento "WGS_1984_UTM_Zone_33N" ed inserito in ambiente GIS; inoltre tutti i dati raccolti sono stati informatizzati mediante scansione in formato PDF dei tabulati di prova/report di campo ed i punti sono stati riportati in planimetria mediante idoneo segno grafico, in accordo con quanto previsto negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione Sismica" (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica - Versione 4.0b - ottobre 2015). Tali dati saranno consultabili quale database dei territori comunali d'interesse e ne viene fornito relativo formato shapefile.

È stata quindi elaborata la **Carta delle Indagini** (scala 1:7.500) utilizzando la simbologia proposta in "Figura 1.1.1-1 Legenda della Carta delle Indagini" e applicando la metodologia riportata nell'appendice 2 degli Standard già citati.

8.2. CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Attraverso l'analisi del materiale bibliografico disponibile e la raccolta di nuovi dati è stato possibile procedere alla redazione della **Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica** (scala 1:7.500) in formato digitale, realizzata in ambiente GIS e CAD, con relativi shapefile.

Si rimanda ai relativi capitoli e al materiale bibliografico per la descrizione dell'assetto geologico, stratigrafico e litologico del territorio comunale e di seguito si descrivono in dettaglio le unità litologiche identificate e gli elementi lineari e puntuali utili allo studio di microzonazione sismica.

8.2.1. Unità litologiche**AMBITO FLUVIALE E FLUVIOGLACIALE**

GWfg	Ghiaia con sabbia limosa con ciottoli e trovanti da mediamente addensate ad addensate. <i>Depositi fluvioglaciali (Pleistocene sup.)</i>
-------------	--

La porzione pianeggiante del territorio è impostata nei depositi fluvioglaciali caratterizzati da ghiaie e sabbie variamente limose con ciottoli e trovanti e un grado di addensamento generalmente da medio ad elevato.

Tali depositi costituiscono quella che in letteratura è definita l'unità ghiaioso-sabbiosa e che presenta spessori variabili tra 20 e 60 m, con gli spessori minori rilevabili nei settori di territori prossimi ai rilievi di Castenedolo e Ciliverghe.

AMBITO DEL COLLE DI CASTENEDOLO

CLpl	Argille, argille sabbiose, sabbie cementate, calcari e marne. <i>Formazione di Castenedolo (Emiliano-Calabriano)</i>
CLec	Paleosuolo fortemente rubefatto e argillificato <i>Paleosuolo evoluto sulla Fm di Castenedolo (Pleistocene inf.)</i>
CLlc	Argille fluviolacustri limose e limoso-sabbiose fossilifere. <i>Argille fluviolacustri ("Villafranchiano")</i>
SFGR	Conglomerati poligenici ad elementi prevalentemente calcarei e prealpini, con intercalazioni sabbiose a laminazione incrociata <i>Ceppo (Pleistocene medio)</i>
CLec	Ghiaie fluvioglaciali fortemente alterate da un suolo policiclico con orizzonti superiori completamente argillificati <i>Depositi fluvioglaciali (Pleistocene medio)</i>
CLls	Coltre policiclica di loess <i>Loess (Trado Pleistocene medio - Pleistocene sup.)</i>
MLec	Argille ghiaiose o sabbiose da mediamente a scarsamente consistenti. <i>Depositi eluvio-colluviali (Olocene)</i>

Tutte le unità che caratterizzano il colle di Castenedolo presentano una predominanza delle litologie fini argilloso-limose. Gli orizzonti granulari e/o conglomeratici rilevati presentano discontinuità sia orizzontale, sia verticale tale da rendere difficoltosa una loro chiara individuazione cartografica.

8.2.2. Elementi tettonico-strutturali

È segnalato un elemento tettonico, con asse ad andamento WSW-ENE, che rappresenta la proiezione in superficie di una struttura sepolta costituita dal fronte di sovrascorrimento delle unità calcaree mesozoiche prealpine verso la pianura.

Si tratta di un lineamento riportato in bibliografia e ripreso anche dal "Catalogo delle faglie capaci" (Progetto ITHACA). Tuttavia i dati riportati nel catalogo di ITHACA per questo lineamento risultano avere una bassa affidabilità e in assenza di studi scientifici specifici e/o recenti si è preferito inserire la struttura come "Faglia potenzialmente attiva inversa - tratto incerto".

8.2.3. Instabilità di versante

La collina di Castenedolo è delimitata, lungo il margine settentrionale e quello sud-orientale, da una scarpata morfologica. L'area cartografata comprende, oltre alla scarpata, una fascia a monte del ciglio superiore di ampiezza pari a 10 m (misurata dal ciglio superiore). Lungo la scarpata a seguito di un terremoto potrebbero verificarsi fenomeni di instabilità dinamica, in particolare nei tratti più acclivi.

8.2.4. Forme di superficie e sepolte

Sotto questa voce sono raggruppati quegli elementi morfologici che possono influire sulla risposta di un territorio agli scuotimenti dovuti a un sisma provocando, ad esempio, fenomeni locali amplificazione o fenomeni di cedimenti del suolo.

Sono state cartografate le principali scarpate originate da più fenomeni concomitanti, compresi quelli di natura antropica (orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale - 10-20 m).

8.2.5. Elementi geologici e idrogeologici

Sono rappresentati i pozzi o i sondaggi che hanno raggiunto o meno il substrato rigido e la profondità della falda dove è stata rilevata.

8.3. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) - LIVELLO 1 (AI SENSI DELLA D.G.R. 9/2616/2011)

Per l'intero territorio comunale di Castenedolo è stata eseguita la valutazione dell'amplificazione sismica locale in relazione alle condizioni geologiche e geomorfologiche secondo la metodologia e le procedure indicate da Regione Lombardia (All. 5 della D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011).

Le condizioni locali possono infatti influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

La procedura prevede quindi la valutazione di diversi gruppi di effetti locali:

- Effetti di instabilità;
- Effetti di cedimenti e/o liquefazioni;
- Effetti di sito o di amplificazione sismica locale.

I risultati dell'analisi e le relative aree di pericolosità sismica locale (PSL) sono state riportate nella "Carta di Pericolosità Sismica (PSL) - Livello 1" redatta ai sensi della D.G.R. 9/2616/2011" (scala 1:7.500).

8.3.1. Effetti di instabilità

Gli scenari di pericolosità sismica locale cui si correlano effetti di instabilità sono riportati nella Tab. 1 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011:

Sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
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	

Le aree in corrispondenza delle scarpate del colle sono state inserite nello scenario "Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana".

Ai sensi della normativa regionale, entro queste aree, per eventuali interventi, in fase progettuale, dovrà essere applicato uno studio di 3° livello, secondo le procedure indicate nel paragrafo 2.3.1 dell'All.5 della D.G.R. n°9/2616/2011.

8.3.2. Effetti di cedimenti e/o liquefazione

Gli scenari di pericolosità sismica locale cui si correlano effetti di cedimento e/o liquefazione sono riportati nella Tab. 1 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011:

Sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
Z2a	Zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni

Nel territorio di Castenedolo, sulla base di quanto riportato nella "Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica" non sono state riconosciute aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

Per quanto riguarda i cedimenti, le aree individuate corrispondono a ex depressioni di cava riempite o parzialmente riempite con materiali di varia natura.

8.3.3. Effetti di sito o di amplificazione sismica locale

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica, nonché effetti di comportamenti differenziali.

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 dell'orlo di scarpata o della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

Gli scenari di pericolosità sismica locale cui si correlano effetti di amplificazione topografica sono riportati nella Tab. 1 dell'All.5 della D.G. 9/2616/2011:

Sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo: appuntite - arrotondate	

Sul territorio di Castenedolo non si rilevano situazioni che possano generare scenari riferibili ad effetti di amplificazione topografica del moto del suolo in caso di sisma.

Gli effetti di amplificazione litologica o geometrica 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.

Gli scenari di pericolosità sismica locale cui si correlano effetti di amplificazione litologica sono riportati nella Tab. 1 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011:

Sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali 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 (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

Il territorio di pianura fluvioglaciale e fluviale ricade nello scenario Z4a, mentre le aree che costituiscono il rilievo del colle di Castenedolo sono state inserite nello scenario Z4d per la diffusa presenza di coltri di alterazione, paleosuoli e loess.

8.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) - LIVELLO 1

Per l'intero territorio comunale di Castenedolo, in adempimento all'Ordinanza C.D.P.C n. 52/2013, è stata applicata la procedura prevista dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS - Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 Vol. e DVD, Gruppo di Lavoro MS, 2008).

In particolare è stato applicato il 1° Livello di analisi che ha portato alla redazione della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Livello 1" (scala 1:7.500).

La procedura si prefigge di classificare il territorio in funzione delle condizioni locali che possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area.

Il territorio è stato pertanto suddiviso in diverse zone omogenee:

- Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zone di Attenzione per Instabilità.

La procedura prevede, inoltre, il riconoscimento di:

- Forme di superficie
- Forme ed elementi sepolti

Al fine di definire le zone e le forme richieste si è tenuto conto di tutti i dati raccolti ed in particolare dei risultati delle indagini geognostiche e sismiche e dei rilievi geologici e geomorfologici eseguiti, nonché del Modello del Sottosuolo definito.

Si rimanda agli specifici capitoli della presente relazione per quanto concerne la dettagliata descrizione delle singole tematiche; per la consultazione dei dati geotecnici e geofisici e della cartografia si fa riferimento al data base in allegato al presente studio. I dati sismici di nuova acquisizione sono rappresentati nell'apposito allegato (All. 2).

I risultati dell'analisi di 1° Livello ICMS sono stati riportati nella "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Livello 1" (scala 1:7.500), di seguito richiamata sinteticamente come Carta MOPS.

Per la predisposizione della Carta MOPS sono state utilizzate anche le sezioni litotecniche (All. 1) esemplificative del territorio studiato riguardo ai rapporti tra le unità litologiche riconosciute e la loro natura.

Si descrivono di seguito le caratteristiche principali di ciascuna zona omogenea e delle forme riconosciute.

8.4.1. Zone stabili

Non sono state riconosciute aree inserite in questa categoria sul territorio di Castenedolo.

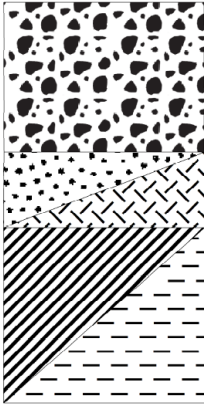
Si è ritenuto che gli esigui affioramenti di conglomerati riferibili al Pleistocene medio non possiedano distribuzione areale e caratteristiche tali da considerarli come substrato sismico stabile.

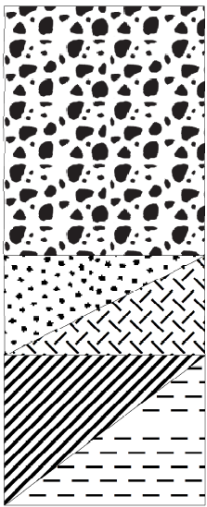
8.4.2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

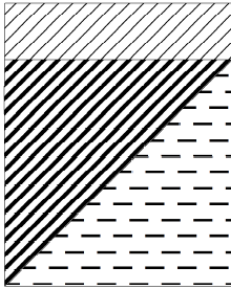
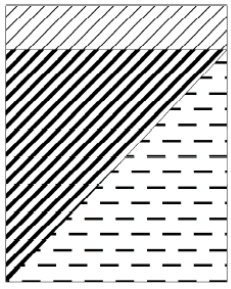
Tutto territorio di pianura e le aree del colle ricadono entro “*zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*”.

È stato possibile individuare sulla base dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici n. 6 zone con successioni stratigrafiche/geotecniche peculiari dell’ambito geologico di riferimento.

Si rimanda per ogni dettaglio inerente le caratteristiche geologico-tecniche ed il modello di sottosuolo di questi ambiti ai capitoli precedenti.

ZONA 1  GWfg - 20/40 m GR/SFGR - 10/20 m CH/OL > 50 m	L’ambito rappresentato dalla sezione “zona 1” è stato cartografato nella porzione della piana fluvioglaciale a nord, a ovest e parzialmente a sud del colle. L’unità superficiale è rappresentata omogeneamente da ghiaie, ghiaie e sabbie limose da mediamente addensate ad addensate (depositi fluvioglaciali). Al di sotto si ritrova, con distribuzione discontinua, un orizzonte costituito da conglomerati spesso fratturati o alterati che passa inferiormente ad argille, argille limo e argille sabbiose. Sulla base dei dati geofisici si osserva generalmente la presenza del bedrock sismico in corrispondenza della comparsa dei conglomerati. È possibile, dato l’aumento del grado addensamento dei depositi ghiaiosi con la profondità, che questo abbiamo velocità da bedrock sismico a profondità anche inferiori.
---	---

ZONA 2  GWfg - 40/60 m GR/SFGR - 20/40 m CH/OL > 50 m	L'ambito rappresentato dalla sezione "zona 2" è stato cartografato nel settore sud-orientale della pianura. Si differenzia dal precedente sostanzialmente per lo spessore delle singole unità rinvenute Sulla base dei dati geofisici si osserva generalmente la presenza del bedrock sismico in corrispondenza della comparsa dei conglomerati. È possibile, dato l'aumento del grado addensamento dei depositi ghiaiosi con la profondità, che questo abbiamo velocità da bedrock sismico a profondità anche inferiori.
ZONA 3  GWfg - 15/20 m CH/OL > 50 m	La "zona 3" rappresenta la porzione di pianura prossima ai rilievi dei Colli di Castenedolo e di Ciliverghe. È caratterizzata dalla presenza in superficie di depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi che poggiano direttamente sulle argille, argille limo e argille sabbiose che costituiscono la parte sepolta dei rilievi. Visto il grado di consistenza di queste argille antiche è possibile che localmente costituiscano il bedrock sismico.
ZONA 4  MLec- 10/15 m CH/GW - 15/20 m CH/OL > 50 m	La sezione "zona 4" rappresenta la porzione di territorio interessata dai depositi colluviali lungo le pendici del colle. È costituita da limi argillosi e sabbiosi con spessori variabili, ma sempre abbastanza ridotti che posso poggiare sia sui depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi, sia sulle argille limose del colle. I dati geofisici identificano il bedrock sismico a profondità variabili tra 35 e 45 m.

ZONA 5  CLec - 5/15 m CH/OL > 50 m	La sezione "zona 5" rappresenta la porzione sommitale del colle caratterizzata dalla presenza in superficie di spessori non trascurabili di depositi fini derivanti dall'alterazione e argillificazione delle ghiaie fluvioglaciali del Pleistocene medio. I dati geofisici identificano il bedrock sismico a profondità variabili tra 35 e 45 m.
ZONA 6  CLIs - 5/8 m CH/OL > 50 m	La sezione "zona 6" rappresenta la porzione del colle interessata dalla presenza dei depositi loessici a copertura del fluvioglaciale alterato del Pleistocene medio.. Il bedrock sismico è stato individuato approssimativamente intorno ai 35 e 45 m di profondità.

8.4.3. Zone di attenzione per instabilità

I dissesti riportati sulla Carta MOPS derivano direttamente dalla "Carta Geologico-tecnica per la microzonazione" e sono riconducibili a fenomeni di potenziale collasso dei depositi sciolti che costituiscono le scarpate più acclivi che delimitano il colle.

Sono state inserite tra le zone di attenzione per instabilità per cedimenti differenziali anche le aree con riporti di origine antropica.

Si rimanda ai capitoli precedenti per una più approfondita trattazione dei fenomeni di instabilità.

8.4.4. Forme di superficie e sepolte

Anche questi elementi derivano direttamente dalla "Carta Geologico-tecnica per la microzonazione".

Sono state cartografate le principali scarpate originate da più fenomeni concomitanti, compresi quelli di natura antropica (orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale - 10-20 m).

8.5. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE DERIVANTE DALL'APPLICAZIONE DEL LIVELLO 2 AI SENSI DEI CRITERI REGIONALI

La "*Carta dei fattori di amplificazione derivante dall'Applicazione del livello 2 ai sensi dei criteri regionali*" corrisponde alla "*Carta di microzonazione sismica (livello 2)*" degli ICMS 2008.

Per le **zone stabili suscettibili di amplificazioni morfologiche e litologiche** è stata eseguita l'analisi di 2° Livello mediante il calcolo del valore dei fattori di amplificazione con applicazione della procedura individuata dai Criteri Regionali (Livello 2 ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).

Nella "*Carta di microzonazione sismica (livello 2)*" sono riportate anche le **zone di attenzione per instabilità** all'interno delle quali si applica direttamente il livello 3 ai sensi dei criteri regionali (All. 5 della D.G.R. 9/2616/2001).

La carta è stata redatta per i due diversi intervalli di periodo di riferimento del sito che nella procedura regionale sono pari a 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.

Come già riferito in precedenza la valutazione è stata condotta per i soli effetti di amplificazione litologici.

8.5.1. Effetti litologici - Stima del Fattore di Amplificazione (Fa) di sito

La procedura prevista dalla normativa regionale fornisce la stima in termini di contenuti energetici della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattore di Amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati e sono utilizzati per zonare le aree di studio in funzione del valore di Fa.

Nella normativa regionale il valore di Fa calcolato è definito come il rapporto tra le intensità spettrali *SI* (*Housner, 1965*) calcolate sugli spettri di risposta in pseudovelocità al

5% dello smorzamento critico del moto in superficie e del moto di input, calcolati per 2 diversi intervalli di periodo, in funzione delle diverse tipologie di edifici.

Gli intervalli di periodo considerati sono quelli compresi tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e a strutture alte e flessibili.

Per quel che riguarda la valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia la procedura semplificata di 2° livello richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- Sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico e identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi stratigrafica del sito;
- Andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- Spessore e velocità di ciascuno strato.

Parametri litologici e stratigrafici – modello geofisico e geotecnico

La litologia prevalente dei materiali presenti e la stratigrafia dei terreni nei siti di analisi sono state ricostruite mediante tutti i dati geotecnici e stratigrafici raccolti che comprendono sia sondaggi/prove geotecniche che stratigrafie di pozzi con un grado di attendibilità rispettivamente alto e medio.

Le sezioni geologiche e quindi il modello geofisico-geotecnico possono essere esemplificate dalle “Sezioni litotecniche” elaborate per il presente studio (All. 1).

Modello Geofisico - Metodi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismostratigrafici

L'andamento delle onde Vs lungo la verticale, è stato determinato mediante la raccolta dei dati di tipo geofisico disponibili presso gli archivi comunali e l'esecuzione di n. 5 stendimenti

di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie, con elaborazione dei dati secondo la procedura MASW.

Gli stendimenti sismici di nuova realizzazione sono stati ubicati in modo da caratterizzare gli scenari di pericolosità sismica individuati e da integrare quelli esistenti al fine di coprire in maniera più possibile omogenea il territorio comunale e gli ambiti di maggiore interesse ai fini della pianificazione/espansione urbanistica e della prevenzione civile.

Nell'All. 2 "Dati Sismostratigrafici – Nuove Acquisizioni" vengono riportati le procedure ed i risultati relativi a tutti i nuovi stendimenti sismici predisposti in comune di Castenedolo, nonché estesi cenni metodologici rispetto alle tecniche di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici.

In totale sono stati raccolti dati relativi a n. 10 indagini geofisiche acquisite nel territorio comunale, reperiti nella fase di raccolta dati o di nuova realizzazione. Sono stati inoltre consultati i dati relativi ad indagini sismiche realizzate nei territori comunali contermini.

Ai dati geofisici raccolti, derivando da indagini dirette di sismica superficiale, può essere assegnato un grado di affidabilità alto.

Ambito Fluvioglaciale/fluviale

Criteri regionali	ICMS 2008
Scenario di PSL Z4a Scenario di PSL Z4d	zone stabili suscettibili di amplificazioni litologiche

Stima degli effetti litologici e del relativo Fattore Fa di amplificazione di sito.

Tenuto conto del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico e dei relativi parametri, definiti secondo quanto specificato ai punti precedenti, possono essere applicate le procedure dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo fattore Fa di amplificazione di sito.

In primo luogo si è proceduto a definire la categoria di sottosuolo attribuibile a ciascun sito, tendo conto della normativa vigente (D.M. 17/01/18).

La tabella seguente riporta le categorie di sottosuolo individuate e ritenute rappresentative di ogni scenario di PSL:

Indagine	Scenario PSL	Categoria di sottosuolo
L1MASW1	Z4d	B
L2MASW2	Z4d	B
L3MASW3	Z4a	B
L4MASW4	Z4a	B
L5MASW5	Z4a	C
L6MASW6	Z4d	C
L7MASW7	Z4d	C
L8MASW8	Z4d	B
L9MASW9	Z4a	B
L10MASW10	Z4a	B

In accordo con la procedura, per i siti esaminati, la successione stratigrafica di riferimento e lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti mediante le linee sismiche, sono stati riportati nelle “*Schede di Verifica dell’Amplificazione Litologica*” (vedi All. 3 “Schede di verifica dell’Amplificazione Litologica ai sensi dell’All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).

Il primo passo della procedura prevede la definizione della scheda di valutazione (All. 5 D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011) più idonea alla stima degli effetti litologici. Per l’elaborazione dei dati sono state prescelte le schede normative tenendo conto in via prioritaria delle descrizioni litologiche solo se compatibili con i campi di validità riportati nei diagrammi Z-Vs. Il passo successivo permette la definizione della curva caratteristica da utilizzare per la stima del valore di F_a di sito. La profondità del primo strato o del primo strato equivalente (spessore > 4 m) e la relativa velocità V_s , definiscono la curva caratteristica da utilizzare ai fini dei calcoli. È stato quindi calcolato il valore del periodo del sito (T), riportato nelle schede in allegato e sotto riassunto in tabella, ottenuto considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore è uguale o superiore a 800 m/sec ed utilizzando la formula riportata nell’All.5 della D.G.R. 9/2616/2011.

Si è quindi proceduto alla stima del fattore di amplificazione di sito (F_a di sito); i valori ottenuti sono di seguito riassunti:

Scenario PSL	Indagine	Periodo (T)	Fa di sito	Fa di sito
			Intervallo 0.1-0.5 s	Intervallo 0.5-1.5 s
Z4d	L1MASW1	0.326	1.8	1.3
Z4d	L2MASW2	0.268	1.7	1.3
Z4a	L3MASW3	0.205	1.3	1.1
Z4a	L4MASW4	0.174	1.3	1.1
Z4a	L5MASW5	0.308	2.1	1.4
Z4d	L6MASW6	0.458	2.1	1.4
Z4d	L7MASW7	0.537	1.7	1.5
Z4d	L8MASW8	0.306	1.8	1.4
Z4a	L9MASW9	0.151	1.3	1.1
Z4a	L10MASW10	0.167	1.3	1.1

Tenendo conto delle considerazioni sopraesposte i dati elaborati rispetto ai siti-campione sono stati estesi agli ambiti con caratteristiche geologico-geotecniche-geofisiche omologhe e sono stati riportati nella “*Carta di microzonazione sismica (livello 2)*”.

Infine, in adempimento alla normativa regionale, è stato eseguito il confronto tra i valori di Fa di sito ed i valori Fa di soglia comunale, come definito dalla D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011, per le diverse categorie di sottosuolo.

Scenario PSL	Indagine	Categoria di sottosuolo	Intervallo 0.1-0.5 s		Intervallo 0.5-1.5 s	
			Fa di sito	Fa di soglia	Fa di sito	Fa di soglia
Z4d	L1MASW1	B	1.8	1.5	1.3	1.7
Z4d	L2MASW2	B	1.7	1.5	1.3	1.7
Z4a	L3MASW3	B	1.3	1.5	1.1	1.7
Z4a	L4MASW4	B	1.3	1.5	1.1	1.7
Z4a	L5MASW5	C	2.1	1.9	1.4	2.4
Z4d	L6MASW6	C	2.1	1.9	1.4	2.4
Z4d	L7MASW7	C	1.7	1.9	1.5	2.4
Z4d	L8MASW8	B	1.8	1.5	1.4	1.7
Z4a	L9MASW9	B	1.3	1.5	1.1	1.7
Z4a	L10MASW10	B	1.3	1.5	1.1	1.7

In relazione a quanto previsto nel par. 2.2.2. dell'All. 5 alla D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011 il confronto tra i valori di F_a di sito ottenuti e i valori di F_a di soglia comunale va effettuato considerando una variabilità di $+0.1$.

Sulla base dei risultati cui si è pervenuti sono stati definiti i fattori di amplificazione (FH0105 e FH0510) da riportare nella "*Carta di microzonazione sismica (livello 2)*" redatta per i due intervalli di periodo T (0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s). Il fattore di amplificazione a cui si fa riferimento viene definito "FH0105" e "FH0515" anziché F_a , come previsto dagli Standard di Microzonazione Sismica (ver. 4.0b), in quanto stimato non con la metodologia ICMS, ma applicando i criteri regionali (D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011 - All. 5).

Per quanto concerne l'andamento delle aree di amplificazione litologica è stato utilizzato un criterio "geologico"; i limiti sono stati infatti tracciati tenendo conto delle indagini sismiche ma seguendo gli andamenti degli ambiti geologico-geotecnici riconosciuti sul territorio.

Zone di attenzione per instabilità

Sono cartografate, come per la carta "*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Livello 1*", le aree instabili o potenzialmente instabili già identificate, riconducibili a potenziali fenomeni collasso in corrispondenza delle porzioni più acclivi delle scarpate in terreni sciolti che delimitano il colle.

Sono state inserite tra le zone di attenzione per instabilità per cedimenti differenziali anche le aree con riporti di origine antropica.

9. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Lo studio di microzonazione sismica ha consentito di ricostruire l'assetto geologico del territorio con particolare attenzione verso quegli elementi litologici e morfologici specificatamente sensibili in termini di amplificazione locale degli effetti di un sisma.

Lo studio ha comportato la raccolta e la catalogazione di un elevato numero di dati di carattere geologico, geotecnico, geomorfologico e idrogeologico.

Attraverso l'applicazione delle procedure sperimentali previste dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica (2008) e dai Criteri Regionali (D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011), è stato possibile valutare, qualitativamente e semi-quantitativamente, i fenomeni di amplificazione sismica locali che costituiscono il quadro della Microzonazione Sismica.

La "*Carta di Microzonazione sismica Livello 2*" (redatta per i due diversi periodi di riferimento) evidenzia le porzioni di territorio caratterizzate da maggiori criticità in prospettiva sismica attraverso la rappresentazione di fattori di amplificazione che gli elementi locali, sia litologici, sia morfologici, producono rispetto ad una sismicità di base attesa.

L'osservazione della cartografia e dei dati consente di esprimere le seguenti considerazioni:

- il settore di pianura (Zona 1, 2 e 3) presenta fattori di amplificazione litologica ridotti, inferiori a 1.3 (FH0105) e 1.1 (FH0515). Fa eccezione uno stendimento (017043L5) che ha fornito valori anomali per la pianura, ma per il quale le indagini contestuali riportano la presenza localizzata di materiali di riporto nei primi metri che quindi alterano il risultato;
- per quanto riguarda la zona pedecollinare (Zona 4), la presenza dei depositi colluviali provoca un fenomeno di amplificazione locale valutabile in Fa 1.8 () e Fa 1.3-1.4 (FH0515);
- sul colle si riconoscono due grandi gruppi litologici (Zona 5 e Zona 6) che si differenziano sostanzialmente per la presenza delle coperture leossiche alla sommità della seconda. Per entrambe si segnala la possibilità di fenomeni di amplificazione

mediamente elevati pari a 1.7 (FH0105) e 13-1.5 (FH0515) per la Zona 5 e pari a 2.1 (FH0105) e 1.4 (FH0515) per la Zona 6.

Le risultanze del presente studio dovranno essere recepite all'interno degli strumenti di pianificazione urbanistica attraverso un aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT con una traduzione in normativa delle criticità emerse.

10. BIBLIOGRAFIA

Lo studio di microzonazione sismica è stato preceduto da una ricerca bibliografica, finalizzata al reperimento di informazioni e documenti utili a migliorare la conoscenza del territorio in esame.

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico e geomorfologico, sono stati consultati: il Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia, gli studi di tipo geologico presenti presso l'Ufficio Tecnico Comunale, le cartografie disponibili al momento della stesura della presente relazione, le pubblicazioni effettuate dai vari Enti Territoriali. In particolare si è fatto riferimento ai foglio 47 - *Brescia* della Carta geologica d'Italia (scala 1:100.000), alla *Carta geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello* (A Boni & G. Cassinis - Atti Ist. Geol. Univ. Pavia - 1973) allo Studio geologico del territorio predisposto dal Prof. Geol. P.L. Vercesi nel 1996 e aggiornato nel 2008.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla pericolosità sismica i principali lavori consultati sono:

- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (1987) - *Neotectonic Map of Italy*. Prog. Fin. Geodin. Sottoptr. Neotettonica. Carte scala 1:500.000.
- A.A.V.V. (1989) - *Il rischio sismico nel bresciano. Elementi per una valutazione*. Fondazione Bresciana per la Ricerca Scientifica, Ed. Ramperto, Brescia.
- BARONI C. & VERCESI P.L. (1989) - *Neotettonica del territorio bresciano: stato delle conoscenze*. In: FONDAZIONE BRESCIANA PER LA RICERCA SCIENTIFICA: "Il rischio sismico nel bresciano. Elementi per una valutazione". Ed. Ramperto, Brescia.
- BONI A., PELOSO G.F. (1982) - *Dati sulla neotettonica dei fogli 34 "Breno", 47 "Brescia", di parte dei fogli 35 "Riva" e 48 "Peschiera del Garda"*. In: C.N.R. - "Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta neotettonica d'Italia", pubbl.506 P.F. Geodinamica.
- FACCIOLI E. (1986) - *Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione sismica*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica" n.114. C.N.R., Roma.

- GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*, INGV, Bologna. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI04 - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>
- INGV - DPC (2007) - *Progetto S1 - Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274/2003 e progettazione di ulteriori sviluppi.*
- ISIDe Working Group (INGV, 2010), *Italian Seismological Instrumental and parametric database*: <http://iside.rm.ingv.it>
- ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (2004) - *Mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n.3274, All.1.*
- LANZO G., SILVESTRI F. (1999) - *Risposta sismica locale: Teoria ed esperienze.* Argomenti di ingegneria geotecnica, Hevelius Edizioni.
- PERGALANI F., COMPAGNONI M. (2005) - *Metodi di valutazione della risposta sismica locale con particolare riferimento alla modellazione numerica: alcuni casi reali.* Contributo al Corso "Geologia e geotecnica in prospettiva sismica", Pavia 10 novembre 2005.
- 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>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI113
- SERVIZIO GEOLOGICO DELLA REGIONE LOMBARDIA e ISTITUTO DI RICERCA SUL RISCHIO SISMICO DEL C.N.R. (1996) - *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia.* Milano.
- SERVIZIO SISMICO NAZIONALE - Rischio sismico 2001.
- VANNOLI P., BURRATO P. E VALENSISE G. (2014), *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain* in [Pure and Applied Geophysics](#).
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.

11. ALLEGATI

Elaborati tecnici

- All. 1: Sezioni Litotecniche;
- All. 2: Dati sismostratigrafici - Nuove acquisizioni;
- All. 3: Schede di verifica dell'Amplificazione Litologica ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011;

Elaborati cartografici

- Carta delle indagini (scala 1:7'500);
- Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (scala 1: 7'500);
- Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) - Livello 1 (ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011) (scala 1: 7'500);
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - Livello 1 (scala 1: 7'500);
- Carta di Microzonazione Sismica - Livello 2 - FH0105 (scala 1: 7'500);
- Carta di Microzonazione Sismica - Livello 2 - FH0515 (scala 1: 7'500).

Brescia, luglio 2018

Dott. Geol. Laura Ziliani

Dott. Geol. Gianantonio Quassoli