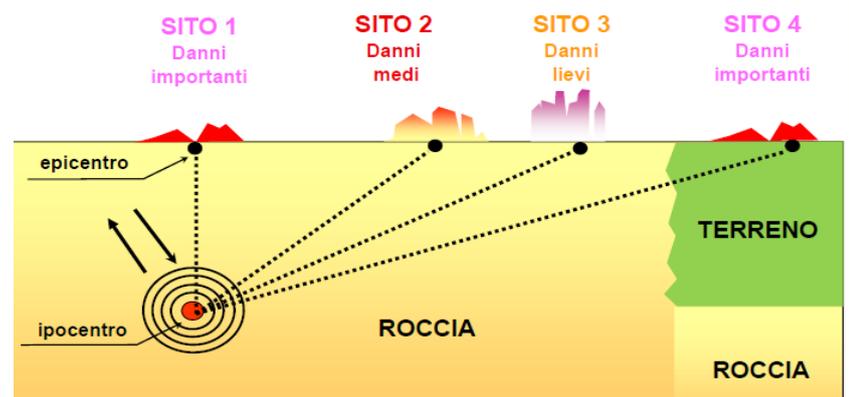
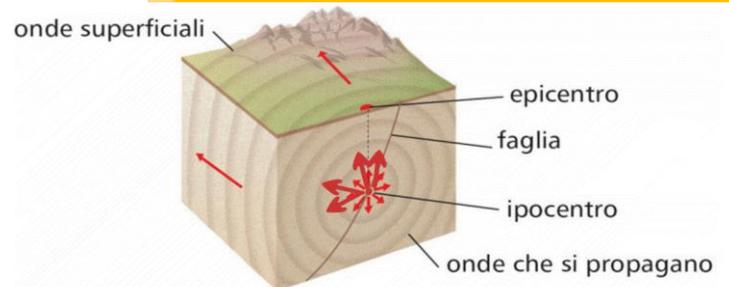
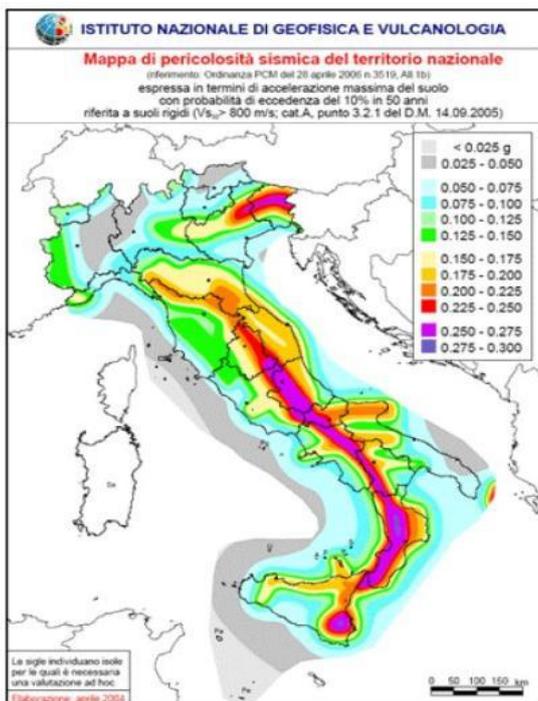




Regione Veneto
Provincia di Vicenza
COMUNE DI BRENDOLA



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA di Livello 1 e 2
RELAZIONE ILLUSTRATIVA



Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2 e
Analisi delle Condizioni Limite per l'Emergenza
del territorio del Comune di Brendola

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	4
1.1.	Premesse.....	4
1.2.	Normativa di riferimento	7
1.3.	Inquadramento generale dell'area	8
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	10
2.1.	Sismicità storica	10
2.2.	Magnitudo attesa.....	13
2.3.	Pericolosità di base	15
2.4.	Pericolosità sismica di riferimento.....	17
2.5.	Faglie attive e capaci	18
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	19
3.1.	Assetto litostratigrafico e geologico – strutturale	19
3.2.	Assetto strutturale	22
3.3.	Assetto geomorfologico	24
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	25
4.1.	Dati pregressi ed ex novo – Fonti dei dati.....	25
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	26
5.1.	Unità geotecniche e geofisiche	26
5.2.	Parametri geotecnici	28
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	30
6.1.	Interpretazione indagini geofisiche	30
6.1.1.	Indagini geofisiche HVSR	30
6.1.2.	Stendimento sismico	30
6.1.3.	Carta delle frequenze naturali dei depositi	32
6.2.	Sezioni geologiche.....	33
6.3.	Rappresentatività dei dati.....	33
6.4.	Programmazione future indagini	34
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	35
7.1.	Amplificazioni.....	36
7.2.	Instabilità di versante.....	37
7.3.	Liquefazioni	39
7.4.	Cedimenti differenziali	42
7.5.	Faglie attive e capaci	42
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	44
8.1.	Carta delle indagini	44
8.2.	Carta Geologico – Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS).....	45

8.3.	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS).....	48
8.4.	Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)	55
8.5.	Ulteriori elaborati cartografici specifici.....	59
8.5.1.	Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.....	59
8.5.2.	Carta delle pendenze del terreno	60
8.5.3.	Carta del Fattore di amplificazione	61
8.5.4.	Carta delle Velocità delle onde S (Vs30).....	61
9.	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI.....	62

ALLEGATI ALLA RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Allegato 1: Grafici indagini geofisiche *ex-novo*

Allegato 2: Carta delle frequenze fondamentale dei depositi

Allegato 3: Sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo

Allegato 4: Profili topografici

Allegato 5 : Carta della quota del substrato roccioso

Allegato 6: Carta delle pendenze del rilievo

Allegato 7: Carta del fattore di amplificazione

Allegato 8: Carta dei depositi suscettibili di liquefazione

Allegato 9: Verticali d'indagine in zona di attenzione per liquefazioni

Allegato 10: Carta delle velocità delle onde S

Allegato 11: Studio del potenziale di innesco sismico dei dissesti idrogeologici

ELABORATI CARTOGRAFICI

Carta delle indagini, scala 1:10.000 (formato A0)

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, scala 1:10.000 (formato A0)

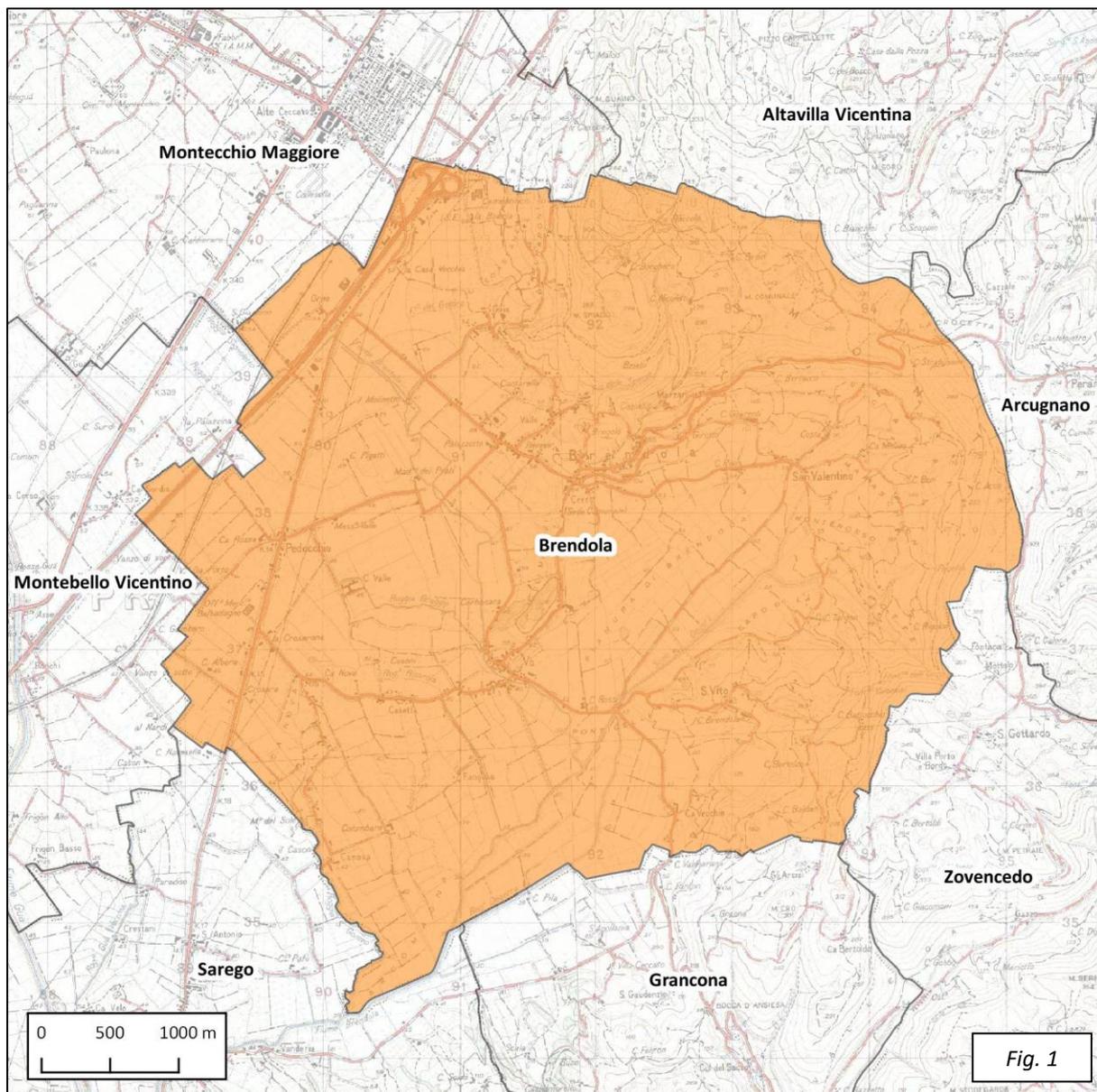
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, scala 1:10.000 (formato A0)

Carta di microzonazione sismica di livello 2, scala 1:10.000 (formato A0)

1. INTRODUZIONE

1.1. Premesse

Su incarico e per conto dell'Amministrazione Comunale di Brendola è stato redatto il presente studio di **Microzonazione Sismica (MS) di LIVELLO 1 e LIVELLO 2** in ottemperanza a quanto previsto dal "Piano nazionale per la prevenzione sismica", art.11 del Decreto legge n. 39/2009, "legge Abruzzo" (convertito con la legge n. 77/2009), primo piano a carattere nazionale che prevede una programmazione pluriennale degli interventi, disciplinando l'utilizzo del fondo stanziato attraverso specifiche ordinanze (Fig.1 – Corografia generale: estratto da IGM alla scala 1:50.000).



Per la realizzazione del presente rapporto tecnico si è fatto diretto riferimento al documento "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

Dal punto di vista generale la microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala comunale le *condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture*; lo studio quindi costituisce una base conoscitiva della pericolosità sismica locale delle diverse zone e consente di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico, a varie scale.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 e livello 2, caratteristici del presente studio, fino al livello ultimo (livello 3) ed in particolare:

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee;
- il livello 2 ed il livello 3 vengono realizzati solamente su alcune zone, in funzione della complessità geologico tecnica del territorio, con lo scopo di definire i fattori di amplificazione, anche attraverso analisi numeriche 1D e 2D.

Lo studio di MS di Livello 1 viene sintetizzato in una carta del territorio definita “CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA” nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base – ZONE STABILI;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato, rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio – ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.) – ZONE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITA’.

Nella stessa carta delle MOPS sono inoltre rappresentati altri elementi conoscitivi quali: faglie attive e capaci/fratture vulcaniche cosismiche, forme di superficie e sepolte, tracce di sezioni topografiche e ubicazione delle eventuali misure di rumore ambientale.

Nello studio di microzonazione sismica di livello 1 sono inclusi inoltre n.2 elaborati cartografici in cui sono indicati gli elementi del quadro conoscitivo necessari alla definizione del modello di sottosuolo e quindi indispensabili alla realizzazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ovvero la CARTA DELLE INDAGINI e la CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.

Lo studio di MS di Livello 2 viene invece sintetizzato in una carta del territorio definita “CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2” nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base – ZONE STABILI;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o topografiche del territorio – ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.) – ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA’.

Lo studio di microzonazione sismica di livello 2 si pone come obiettivi di compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e di fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi

e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali).

La presente relazione espone i dati, le metodologie e le elaborazioni che conducono ai risultati riportati nelle cartografie descritte.

Dal punto di vista operativo, in accordo con le indicazioni della pubblicazione “*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*”, l’impostazione metodologica adottata per il presente studio di microzonazione sismica di livello 1 e di livello 2 è stata articolata come di seguito esposto:

- Acquisizione di documenti cartografici esistenti a livello comunale quali la cartografia aerofotogrammetrica ed i documenti relativi al Piano di Assetto Territoriale (PAT) per quanto riguarda la cartografia del quadro conoscitivo e le indagini geognostiche allegate;
- Acquisizione di documenti cartografici esistenti a livello sovracomunale ed a scala di bacino quali il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale ed il *Piano Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico, Bacino Brenta Bacchiglione*;
- Rilevamento geologico e geomorfologico speditivo dell’intero territorio comunale per la verifica, il riscontro e le integrazioni dei dati cartografici comunali e sovra comunali;
- Realizzazione di misure di microtremori basate su tecnica di sismica passiva a stazione singola per la definizione delle frequenze naturali dei terreni affioranti presenti sull’intero territorio comunale: esecuzione di **n°50 Prospezioni Geofisiche ex - novo**, tramite la metodologia **HVSR (Metodo di Nakamura)** con la strumentazione *Tromino*® per la verifica della frequenza di risonanza caratteristica del terreno;
- Realizzazione di **n° 15 MASW** ex – novo (Multichannel Analysis of Surface Waves), per l’individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs con metodo attivo;
- Realizzazione di **n° 15 Re.Mi.** ex – novo (Refraction Microtremor), per l’individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs con metodo passivo;
- Analisi critica del materiale acquisito con attento esame del contenuto al fine di appurarne l’idoneità all’utilizzo nel presente studio;
- Stesura della Carta delle indagini alla scala di 1:10.000 in formato vettoriale, ove sono ubicato i punti di indagine con relative indicazioni tipologiche;
- Realizzazione della Carta geologico - tecnica in prospettiva sismica alla scala di 1:10.000 in formato vettoriale, ove sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da carte ed elaborati esistenti, necessari alla definizione del modello di sottosuolo;
- Realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica alla scala di 1:10.000 in formato vettoriale, che costituisce l’elaborato fondamentale dello studio di microzonazione di livello 1, ed indica le aree suscettibili di eventuali problematiche a seguito di un evento sismico, dove sono individuate le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l’ambiente;
- Realizzazione della Carta di Microzonazione sismica di livello 2 alla scala di 1:10.000 in formato vettoriale, che costituisce l’elaborato fondamentale dello studio di microzonazione di livello 2, e rappresenta un approfondimento delle microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali attribuendo a queste zone un fattore di amplificazione (FA e FV) e /o fattore di amplificazione topografica (Ft);
- Redazione della relazione illustrativa degli aspetti cartografici.

Tutte le cartografie sono state prodotte sia informato cartaceo sia digitale, seguendo le indicazioni fornite dal documento “**Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica**”, approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, e dalle linee guida “**Standard di rappresentazione e archiviazione**”

informatica - Versione 4.0b", redatte dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nell'ottobre 2015 e "**Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) – Versione 1.0**", del 2015.

1.2. Normativa di riferimento

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche tecniche contenute dei seguenti testi di riferimento normativo e tecnico:

- OPCM n. 4007 del 29.02.2012, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall'Art. 11 della Legge n. 77 del 24/06/2009 relativamente ai fondi disponibili per l'annualità 2011.
- OPCM n. 3907 del 13.11.2010, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall'Art. 11 della Legge n. 77 del 24/06/2009 relativamente ai fondi disponibili per l'annualità 2010.
- Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 - sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*" del Ministro delle infrastrutture, di concerto con il Ministro dell'interno e con il Capo Dipartimento della protezione civile.
- OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".
- L. 9 novembre 2001, n. 401 conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.
- Dpr n. 380 del 6 giugno 2001 Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112 Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti Locali, in attuazione del capo I della Legge 15 marzo 1997, n. 59.
- L.15 marzo 1997, n. 59 Delega al Governo per il conferimento di funzioni e compiti alle Regioni ed Enti Locali, per la riforma della Pubblica Amministrazione e per la semplificazione amministrativa.

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con cui è stato condotto lo studio di MS di livello 1 e 2, sono le seguenti:

- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale(ICMS)approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome;
- Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica dell'ottobre 2015, versione 4.0b.
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2015, versione 1.0.

1.3. Inquadramento generale dell'area

Il comune di Brendola si estende nella porzione centro-meridionale del territorio provinciale di Vicenza; è caratterizzato ad est dalle propaggini vicentine dei rilievi collinari dei Berici, mentre nella porzione centro orientale è interessato da una vasta area valliva pianeggiante, solcata dal Fiumicello Brendola e da una serie di altri corsi d'acqua e scoli di minore importanza.

Il territorio comunale si presenta come morfologicamente variabile: l'altitudine media è di circa 200 m s.l.m., con una quota minima di 39 m s.l.m. ed una quota massima di 315 m s.l.m.

L'estensione complessiva del territorio comunale è di circa 25,5 Km²; Brendola confina a nord con i comuni di Montecchio Maggiore ed Altavilla Vicentina, ad ovest con Montebello Vicentino, a sud con i comuni di Sarego e Grancona, ad est con i comuni di Zovencedo e Arcugnano (Fig. 2).

Dal punto di vista idrografico il territorio in esame rientra all'interno di un unico bacino idrografico, denominato Bacino del Fiumicello Brendola; questa condizione è dovuta al fatto che le porzioni di territorio collinare, pedecollinare e di media bassa pianura scaricano tutti gli apporti superficiali all'interno di affluenti afferenti al Fiumicello Brendola stesso.

(Fig. 3 – Corografia generale: elaborazione hillshade, con isoipse del rilievo, idrografia principale, limiti comunali in evidenza).

Dal punto di vista morfologico, il territorio comunale di Brendola può essere distinto in tre unità: fondovalle, versante collinare ed altopiano collinare.

- ⇒ **Pianura**: il settore pianeggiante occupa la porzione occidentale del territorio comunale e risulta costituito dal passaggio tra i depositi detritici eluvio-colluviali delle pendici sub-collinari ed i depositi alluvionali prevalentemente fini argilloso – torbosi; le quote dei terreni sono compresi tra 50 100 m s.l.m. Questa zona risulta percorsa da numerose rogge e corsi d'acqua con direttrice di deflusso principale da NordEst a SudOvest. Il settore nord ovest è caratterizzato dalle principali infrastrutture, lungo le quali hanno sede numerose attività industriali; la porzione centro meridionale è caratterizzata dai centri residenziali (Brendola e Vò di Brendola) oltre al nucleo di Pedocchio ed il filamento insediativo di contrà Casetta Canova, immersi nella campagna, in gran parte integra.
- ⇒ **Versante collinare**: la zona che raccorda la pianura con la parte sommitale dell'altopiano collinare si imposta in prevalenza su litotipi più o meno compatti calcarei e calcareo - marnosi che danno luogo ad un'acclività nel complesso elevata, condizionata solo in parte dalla presenza di presunte faglie riferibili al regime tettonico distensivo paleogenico caratterizzante i Colli Berici. La morfologia delle basse pendici del versante, conseguentemente all'affioramento di litotipi calcarei, risulta nel complesso molto acclive; nelle porzioni di affioramento del substrato vulcanico o vulcanoclastico od in corrispondenza di litotipi calcareo – arenaceo, la pendenza risulta più dolce ed uniforme, anche in funzione della presenza di una fascia di colluvi derivante dalla degradazione ed alterazione delle formazioni rocciose descritte. Stratigraficamente al di sopra di queste formazioni che presentano un discreto grado di degradabilità si trovano invece litotipi calcarei più compatti, in corrispondenza dei quali l'acclività aumenta nuovamente e costantemente verso la sommità dell'altopiano berico. Tale particolare morfologia è da ricondurre alla natura litologica del substrato che caratterizza questo tratto di versante: affiorano infatti calcari e calcari debolmente marnosi più o meno compatti, caratterizzati da una variabile resistenza all'erosione.

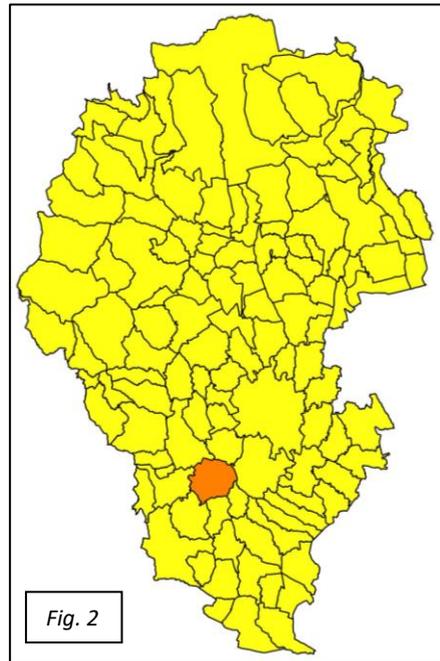


Fig. 2

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1. Sismicità storica

La pericolosità sismica del Veneto è in parte legata all'attività dei distretti sismici del Friuli centrale e, in minor misura, dell'Alpago e del Garda.

Data	Area epicentrale	I MCS MAGNITUDO	Descrizione
3 gennaio 1117	Veronese	IX-X Mw=6.7	I danni maggiori si registrarono a Verona, ma interessarono anche la valle dell'Adige e, verso Sud, il territorio fino ai primi rilievi emiliani.
4 novembre 1268	Trevigiano	VII-VIII Mw=5.4	Colpita la provincia di Treviso. Danni gravi a Treviso, Feltre, Asolo. La scossa fu fortemente risentita a Padova.
25 febbraio 1695	Asolano	X Mw=6.5	Gravi danni in larga parte del Veneto in particolare nell'alto trevigiano, a sud del Monte Grappa. Colpita la città di Asolo. Centinaia le vittime
12 giugno 1836	Bassano	VIII Mw=5.5	Le località più danneggiate furono Liedolo, Fonte, Sant'Eulalia: Complessivamente crollarono un centinaio di case. Sentita fortemente anche a Venezia.
11 agosto 1866	Monte Baldo	VII Mw=4.9	Danni nelle località poste sulla riva orientale del Lago di Garda, in particolare ad Assenza, Cassone, Castelletto, Malcesine.
29 giugno 1873	Bellunese	IX-X Mw=6.3	L'area più colpita dalla scossa fu il bellunese, ma gravi danni subirono gli edifici dei paesi compresi tra Belluno, Pordenone e Conegliano Veneto (TV). Il centro più danneggiato fu Belluno e si osservarono lesioni anche a Gorizia, Pordenone, Trieste, Udine, Verona e Vicenza. 80 le vittime
29 aprile 1876	Monte Baldo	VII Mw=4.9	La scossa provocò danni a Cassone, Malcesine, Ferrara di Monte Baldo
18 settembre 1882	Monte Baldo	VII Mw=5.0	Interessati i paesi della costa orientale del Lago di Garda, con danni lievi nei paesi di Cassone e Castelletto di Brenzone. Risentita a Verona.
7 giugno 1891	Valle d'Illyasi	VIII-IX Mw=5.9	I danni più gravi a Castelvero, Badia Calavena, Marzemigo. Una ventina i paesi danneggiati in modo significativo (superiore o pari al VII MCS). La scossa fu risentita fino a Trieste, Auronzo, Bormio, Chiavenna, Domodossola, Torino, Asti, Genova
19 febbraio 1932	Monte Baldo	VII-VIII Mw=5.0	La scossa provocò danni a diverse località della sponda veronese del Lago di Garda, tra le quali Albisano, S. Zeno, Garda.
18 ottobre 1936	Alpago-Cansiglio (BL-PN)	IX Mw=6.1	Colpita la zona di confine fra le attuali province di Belluno, Treviso e Pordenone con i massimi effetti a sud dell'altopiano del Cansiglio nei paesi di Fiaschetti, Stevenà e Villa di Villa. Gravissimi danni anche a nord del Cansiglio, nella conca d'Alpago in particolare nelle località di Puos d'Alpago, Cornei e Villa.

Il territorio regionale, allo stato attuale, è interessato da una sismicità di magnitudo medio-bassa, messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica; nel periodo 1977-2006 la rete gestita dall'OGS - Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste ha registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0. La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al Monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra 7 e 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella tabella seguente vengono elencati i terremoti storici che hanno colpito il Veneto con effetti pari superiori al VII grado della scala proposta da *Mercalli, Cancani e Sieberg* (MSC); la scheda tecnica è stata aggiornata con le più recenti elaborazioni contenute nel *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15*.

Per la ricostruzione della sismicità storica del Comune di Brendola, si fa riferimento al Database Macrosismico Italiano, versione 2015 (*DBMI 2015* - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) dell'INGV; il catalogo, per 15213 località italiane, individua gli eventi di maggiore rilevanza verificatisi in tempi storici (dopo l'anno 1000).

Nel caso di Brendola, sono stati registrati n. 3 eventi. Di seguito si riportano gli eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (Int.), la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) in cui si è verificato l'evento, l'area epicentrale, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Brendola

PlaceID IT_24104
 Coordinate (lat, lon) 45.472, 11.450
 Comune (ISTAT 2015) Brendola
 Provincia Vicenza
 Regione Veneto
 Numero di eventi riportati 3

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
4-5	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
3	2002	02	14	03	18	0	Carnia	338	5-6	4.67	
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21	



Il grafico sopra riportato ricostruisce la storia sismica del comune (per terremoti con intensità al sito superiore o uguale a 4) tra gli anni 1000 e fino al 2014, mentre la tabella successiva riporta l'elenco dei comuni limitrofi, con numero di eventi sismici registrati in ognuno di essi.

Il Database Macrosismico è utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione CPTI15 (a cura di A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, P. Gasperini), del luglio 2016, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Località	EQs	Distanza (km)
San Valentino	1	2
San Vito	1	2
Altavilla Vicentina	6	4
Montecchio Maggiore	11	4
Fimon	4	5
Meledo	1	5
Montebello Vicentino	3	5
Sovizzo	6	6
Creazzo	2	7
Montorso Vicentino	3	7
Arcugnano	3	7
Valverde	1	8
Sarego	2	8
San Germano dei Berici	2	8
Gambellara	1	8
Tezze	2	9
San Bortolo	1	10
Monteviale	3	10
Barbarano Vicentino [Barbarano]	25	10

Per quanto riguarda il grado di sismicità recente della zona, si riporta in Fig. 4 uno stralcio della *Carta della Sismicità in Italia dal 2000 al 2012* (INGV): la carta illustra la distribuzione degli ipocentri di circa 50.000 terremoti avvenuti in Italia, nel periodo sopra indicato, e registrati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV, classificati e tematizzati in base alla magnitudo (4 classi) ed alla profondità ipocentrale (5 classi).

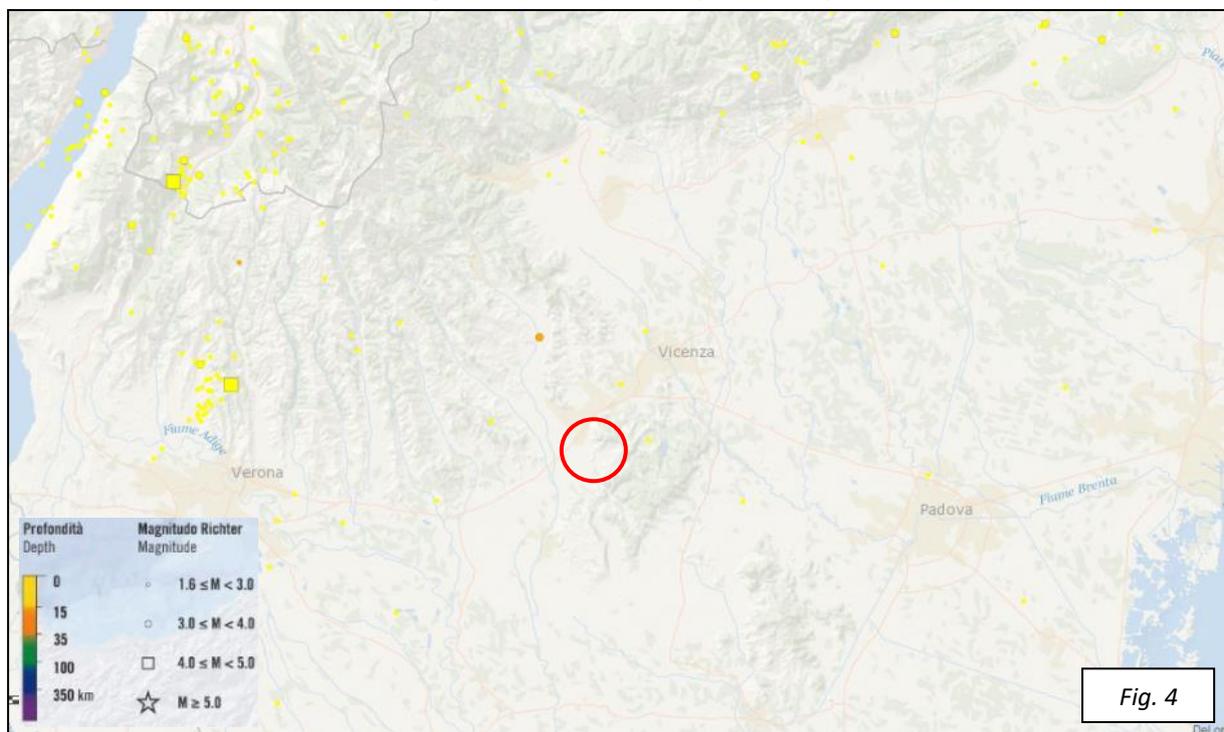


Fig. 4

2.2. *Magnitudo attesa*

Per la definizione della pericolosità sismica di base per il territorio in esame è necessario considerare la magnitudo attesa, valutando le zone nelle quali vengono generati i terremoti, e caratterizzare le zone stesse dal punto di vista sismico, cioè definendo la magnitudo massima ed il numero medio di terremoti annui.

Il sito di Brendola è situato nella fascia pedemontana alpina: le principali strutture tettoniche nel Veneto orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione NE-SW, tagliati talvolta da faglie trascorrenti.

Il catalogo *Database of Individual Seismogenic Sources, a compilation of potential sources for earthquakes larger than M5.5 in Italy and surrounding areas* (DISS versione 3.2.0, giugno 2015, Fig. 5) recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane.

Una prima interpretazione della sismicità in chiave sismogenetica è stata presentata da Slejko et al. (1989) nell'ambito di un modello sismotettonico che interessa il territorio italiano dal lago di Garda al confine con la Slovenia.

Successivamente, nell'ambito di un progetto sviluppato negli anni Novanta nell'ambito del GNDT, Meletti et al. (2000) hanno formulato un modello sismogenetico per l'Italia che consta di 80 zone sismogenetiche (ZS). Queste strutture sismogenetiche risultano omogenee sia dal punto di vista tettonico che da quello sismico; la zonizzazione sismogenetica più recente, alla quale si fa riferimento, è la ZS9 (Fig. 5).

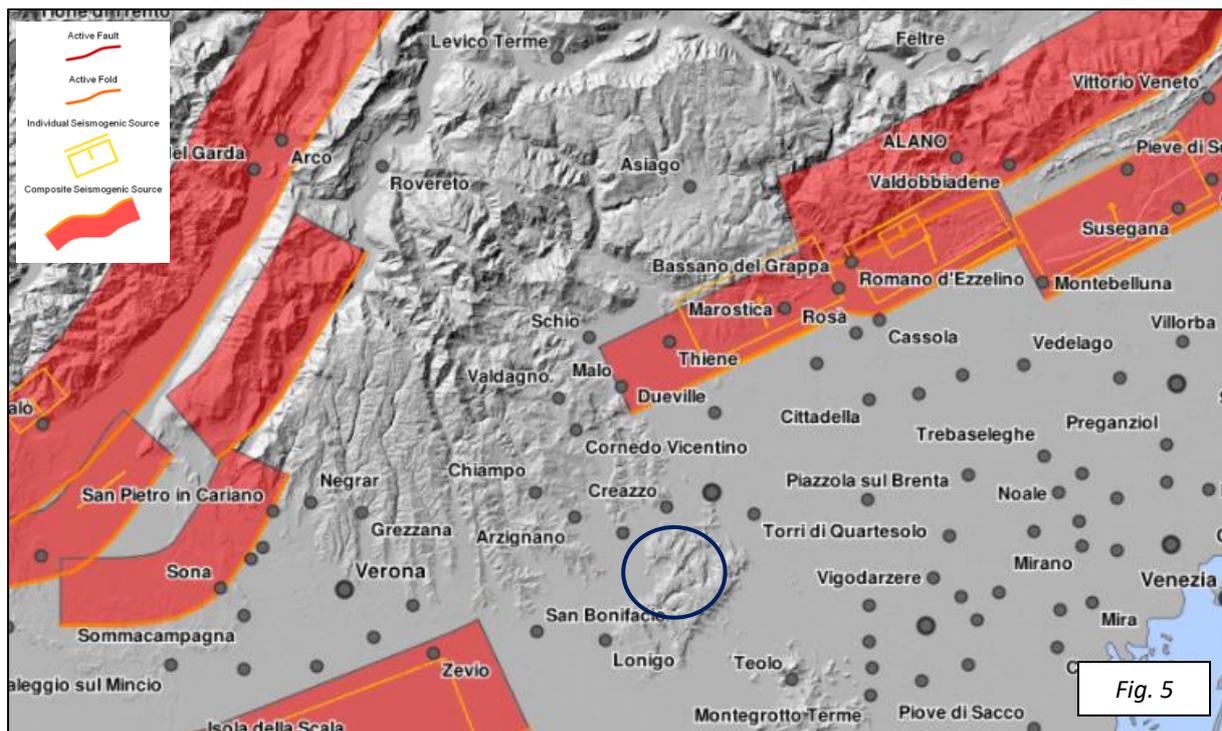


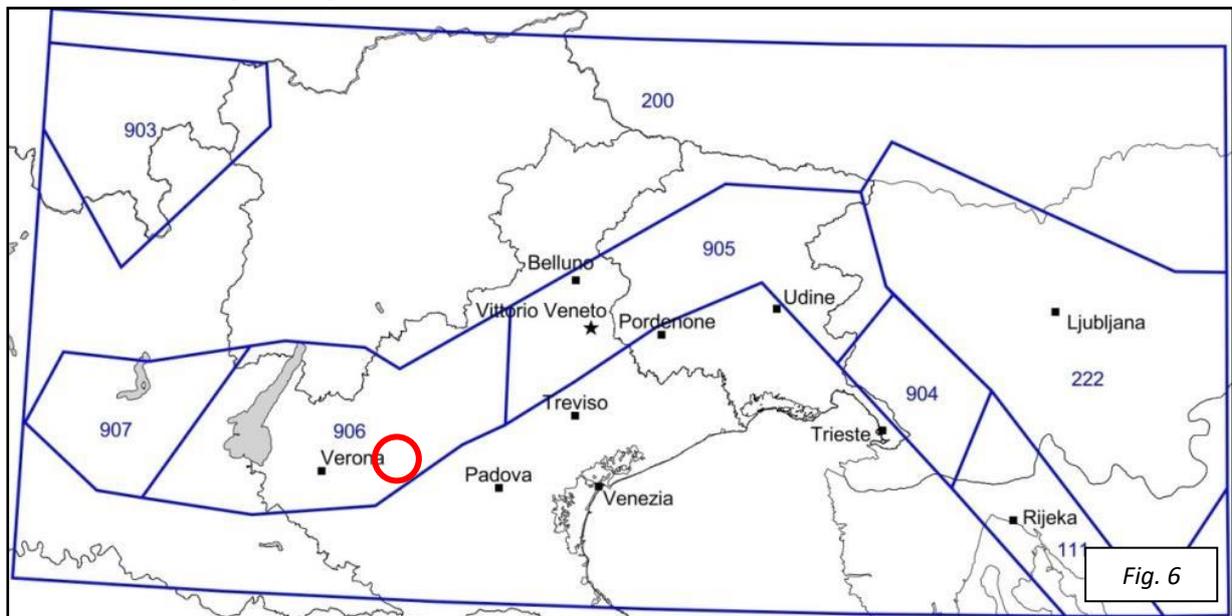
Fig. 5

Il comune di Brendola è compreso nella ZS906: tutto il settore dell'arco Alpino è legato in linea di massima all'interazione tra la placca adriatica e quella europea: tale zona è caratterizzata da strutture a pieghe sud vergenti e faglie inverse associate. L'individuazione di tale zona, insieme alla 904 ed alla 905, deriva sia dall'osservazione delle caratteristiche della sismicità (massima magnitudo, numero di eventi in catalogo, loro distribuzione nelle diverse classi di magnitudo) sia dalla geometria delle sorgenti sismogenetiche. La zona 906 interessa l'area che va da Bassano a Verona. Per ogni zona sismogenetica sono stati definiti i parametri che

descrivono la relativa sismicità, ovvero il numero medio di terremoti nelle diverse classi di magnitudo e la magnitudo massima attesa:

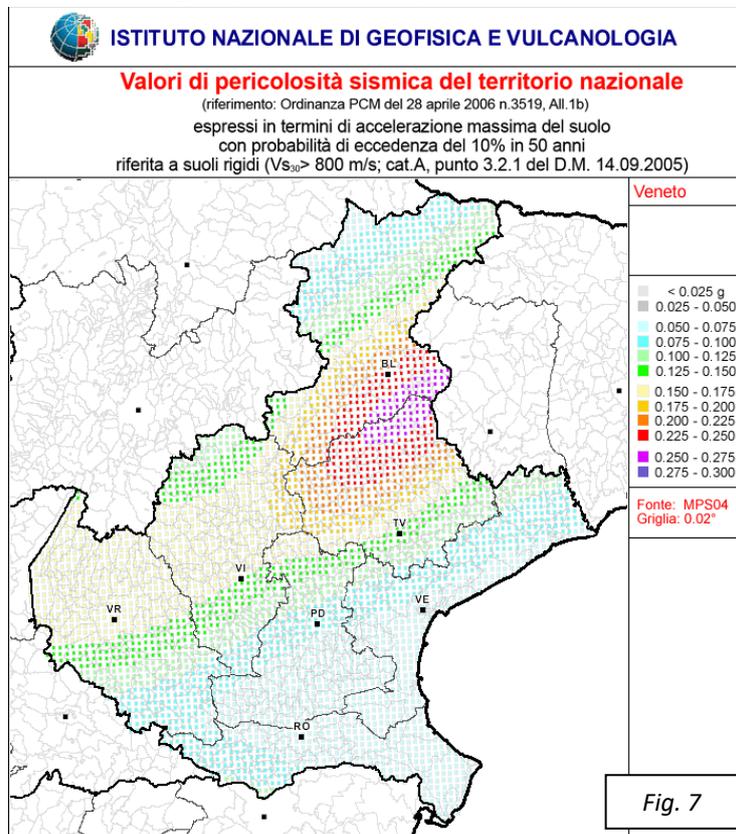
Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *

Nella zona sismogenetica n. 906 “Garda – Veronese” si prevede una **Mmax= 4,7**; gli indirizzi della Protezione Civile, ai quali è necessario far riferimento per la stesura della presente relazione di MS, assumono come valore di magnitudo attesa la magnitudo momento massima della zona sismogenetica di appartenenza che per il territorio di Brendola vale **Mwmax= 6,60**; tale valore si riferisce al terremoto veronese di Belfiore-Zevio (Io = 9-10 MCS) avvenuto il giorno 3 gennaio dell’anno 1117 (Bramerini et al., 2008).



2.3. Pericolosità di base

La pericolosità sismica è definita come la probabilità di superare un fissato scuotimento del terreno in un periodo di tempo definito; questa grandezza viene rappresentata dal valore del picco orizzontale di accelerazione che si prevede non venga superato al 90% di probabilità in 50 anni.



La pericolosità sismica si calcola mediante l'approccio del probabilismo sismotettonico: utilizzando, cioè, le conoscenze sia geologiche che sismiche della regione studiata.

Studi effettuati sulla base del metodo probabilistico hanno permesso di elaborare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale italiano: tali mappe evidenziano il diverso grado di pericolosità sismica, espressa con diversi parametri dello scuotimento su griglia regolare a passo 0,05°.

Fino al 2003 il territorio italiano era suddiviso in una zona sismica, a sua volta frazionata in tre categorie di pericolo, ed una non sismica.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, la prima mappatura sismica viene sostituita da una nuova mappa in cui tutto il territorio italiano viene considerato a rischio sismico, individuando 4 tipologie di Zone Sismiche; il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni hanno compilato l'elenco dei comuni (per il Veneto D.C.R. n° 67 del 3 dicembre 2003) con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone previste (da 1 a 4, a pericolosità decrescente), nelle quali è stato classificato il territorio nazionale; a ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica espresso in termini di accelerazione massima su roccia.

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 che ha introdotto degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008), entrate in vigore il 1 luglio 2009, la classificazione sismica descritta rimane valida per la gestione della pianificazione a livello comunale; ai fini progettuali infatti, per la definizione dell'azione sismica nella fase di progettazione dei fabbricati e delle opere edili, per ogni sito si considera una accelerazione di riferimento individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto (reticolo di riferimento) e sulla base della tipologia di opera che corrisponde quindi ad un valore di pericolosità di base definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Il Comune di Brendola è stato classificato sismico in Zona 3 dalla Deliberazione n. 67 del 03.12.2003 del Consiglio Regionale del Veneto, in applicazione del disposto dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003.

In Fig. 7 è riportato uno stralcio della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dalla Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", estratta dal sito INGV.

Al fine di acquisire i dati corretti della sismicità di base di uno specifico sito, in termini sito specifici e riferiti alla localizzazione di progetto, è possibile con le coordinate dello stesso accedere al sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Da questo possono essere tratti i due parametri dello scuotimento: $a(g)$, accelerazione orizzontale massima del suolo – PGA – e $Se(T)$, spettro di risposta elastico in funzione del periodo T , in accelerazione.

L'azione sismica di base così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie (amplificazione stratigrafica e topografica). Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica di sito.

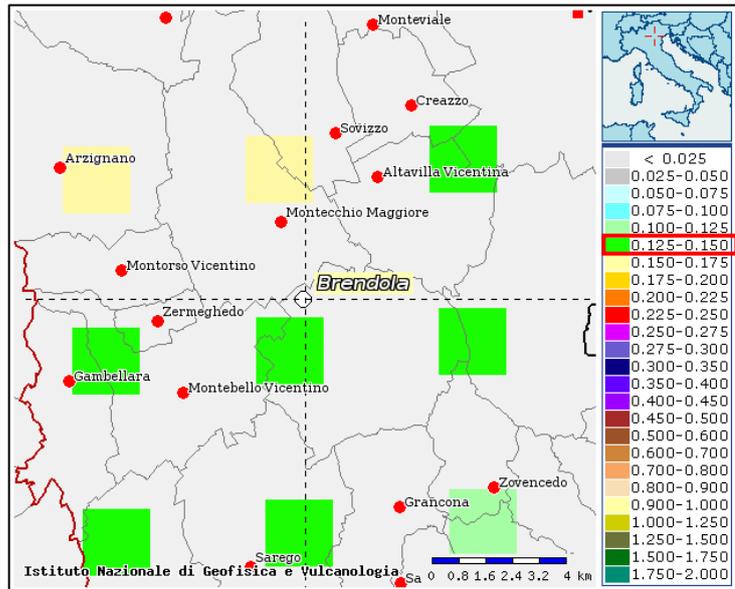
Si riportano alcune precisazioni dell'Allegato A alle Norme Tecniche per le Costruzioni "Pericolosità Sismica":

- "Le Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C.) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove ed alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle N.T.C.)"
- "Le valutazioni della "sismica di base" debbono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo"
- "La "Pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; le sue attuali fonti di riferimento sono indicate nel seguito del presente paragrafo"
- "La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le N.T.C. e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti: in termini di valori di accelerazione orizzontale massima ag e dei parametriche permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle N.T.C., nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite; in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km); per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi"

- "L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle N.T.C., per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale".

2.4. Pericolosità sismica di riferimento

Sulla base dell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", per il **Comune di Brendola** sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi subpianeggianti di Categoria A. Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n°3519 del 28/04/2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n°71 del 22/01/2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 14/01/2008, il territorio oggetto dello



studio di Microzonazione Sismica è inseribile interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,125g e 0,150g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile), ovvero in **Zona 3**, come classifica la tabella riportata sotto, estratta dall'O.P.C.M. n° 3519 stessa.

ZONA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITA' DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI [a_g]	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA CONVENZIONALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO [a_g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	$\leq 0,05$ g	0,05 g

Per gli aspetti amministrativi, il comune di Brendola rientra in Zona 3, come classificato nell'elenco (allegato I) della Delibera di Consiglio Regionale n° 67/03 (cfr. D.G.R.V. n° 71 del 22/01/2008).

2.5. *Faglie attive e capaci*

In relazione alla presenza di faglie attive e capaci in corrispondenza del territorio di Brendola è stata presa visione del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from CApablefaults*), sviluppato dall'ISPRA – Servizio Geologico Italiano: ITHACA è un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. La prima versione del database ITHACA è stata presentata durante il 31° International Geological Congress di Rio de Janeiro nel 2000; da allora l'ISPRA ha condotto un costante lavoro di implementazione del database. Il lavoro di revisione è tuttora in atto.



Si riporta in Fig. 8 un estratto della cartografia dal servizio *GeoMapView* del portale, che permette l'interrogazione della banca dati sia geografica che alfanumerica delle faglie capaci.

Nel comune di Brendola si individua una faglia attiva e capace appartenente al sistema della Schio-Vicenza, con direzione NO-SE. In particolare, la bibliografia individua il sistema della Schio-Vicenza come un fascio di faglie a rigetto sia orizzontale che verticale, con abbassamento del lato orientale che raggiunge anche i 200 m; le lineazioni si presentano con immersione prossima alla verticalità, nel settore di interesse presentano immersione verso NE, comunque con forte inclinazione.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1. Assetto litostratigrafico e geologico – strutturale

FONTI: NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOMORFOLOGICA DELLA PIANURA PADANA (A CURA DI) G.B. CASTIGLIONI & G.B. PELLEGRINI, COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, TORINO, 2001/CARTA GEOLOGICA DEL VENETO, UNA STORIA DI CINQUECENTO MILIONI DI ANNI, S.E.L.C.A., FIRENZE. PAT DEL COMUNE DI BRENDOLA.

Le rocce più antiche affioranti nei Monti Berici, e nel territorio in esame, risalgono alla fine del Cretaceo, quando il grande bacino veneto viene smembrato in alti e bassi strutturali; questa situazione paleoambientale coincide con l'inizio del vulcanesimo lessineo e lo sviluppo di una struttura vulcano – tettonica, il *semigraben* Alpone – Agno (G. Barbieri *et al.*, 1991). L'attività non continua della faglia di Castelvevo (direzione NNO – SSE), che delimita la depressione ad occidente, determina l'abbassamento progressivo della parte orientale di questa struttura in cui si sono accumulati di preferenza i prodotti vulcanici, lavici e piroclastici a partire dalla fine del Paleocene. Le vulcaniti raggiungono il loro maggior spessore nella Val d'Alpone, e si riducono gradualmente verso Est fino ad intercettare la soglia orientale della depressione, corrispondente ad una faglia parallela all'andamento della Schio – Vicenza. I prodotti vulcanodetritici si spingono anche a Sud, in forma di correnti torbiditiche, dando luogo a depositi di tufiti e marne tufitiche, interessando anche l'area degli attuali Monti Berici, dove si depositano in alternanza a calcari marnosi arenacei che verso l'alto divengono predominanti. A partire dall'Eocene medio diviene attiva un'importante soglia tettonica (direzione NE - SO), nella parte sud orientale del *semigraben* Alpone – Agno (Fig.9), forse coincidente con la linea della Riviera Berica; questa separa l'area berico – lessinea, caratterizzata da ambiente neritico e da deposizione di prodotti vulcanici, dal bacino euganeo (comprendente anche la parte orientale degli attuali Monti Berici) dove si depositano sedimenti bacinali. In particolare nell' Eocene medio l'area dei Colli Berici è interessata dalla sedimentazione in un mare tropicale poco profondo del complesso carbonatico dei Calcari Nummulitici, conosciuti anche con il termine estrattivo di Marmi del Chiampo, al quale si intercalano livelli e lenti di rocce vulcanodetritiche.

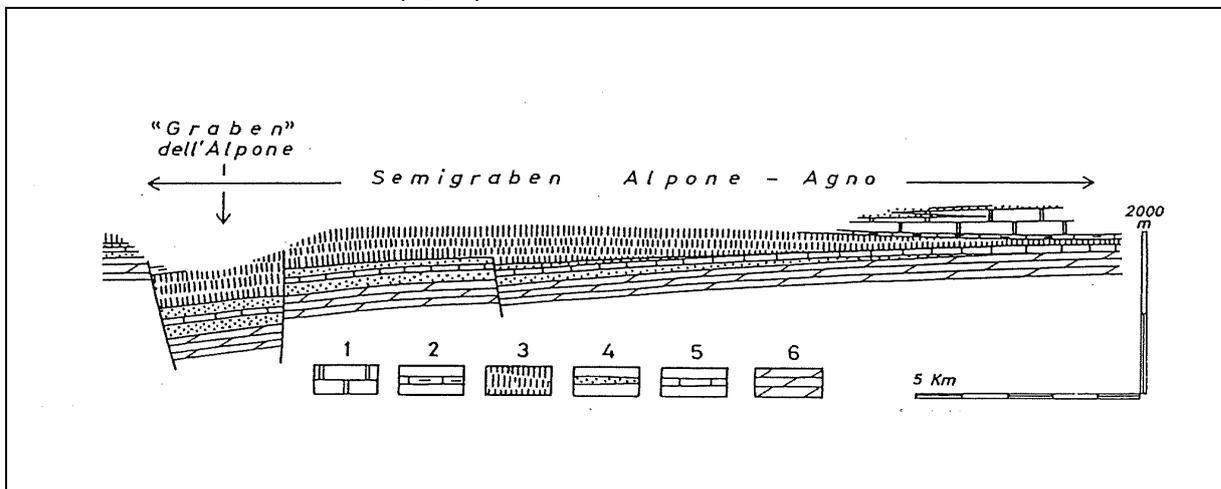


Fig. 9 – Sezione geologica schematica del semigraben Alpone – Agno (Barbieri *et al.*, 1991 modificato): 1) Calcareni di Castelgomberto; 2) Formazione di Priabona; 3) colate basaltiche; 4) vulcanoclastiti; 5) Calcari Nummulitici; 6) Scaglia Rossa

All'inizio del Bartoniano (Eocene medio superiore) il parossismo dell'attività vulcanica porta al colmamento del *semigraben* ed ad un rapido passaggio da condizioni sottomarine a paraliiche, fino a continentali, con la formazione di una dorsale vulcanica; segue poi l'arresto momentaneo del vulcanesimo. Il mare riconquista successivamente la dorsale emersa e si vanno così a depositare le Unità riferibili alla importante trasgressione priaboniana, che segnano il tetto dell'Eocene superiore: si tratta di prodotti sedimentari caratterizzati da

apporti terrigeni più o meno abbondanti, derivanti dallo smantellamento della dorsale, depositatisi in un ambiente di mare poco profondo; la successione stratigrafica si articola in *facies* arenacee via via passanti a marne e calcari marnosi ricchissimi di foraminiferi (Formazione di Priabona).

La parte sommitale della formazione è caratterizzata da un complesso di argille e argille marnose (marne a briozoi). Nei Berici Orientali, al di fuori del *semigraben*, la sequenza priaboniana è in continuità di sedimentazione con i Calcari Nummulitici bartoniani.

L'Oligocene vede l'instaurarsi di condizioni ambientali in clima tropicale che favoriscono l'attecchimento e lo sviluppo di comunità organogene a coralli, alghe rosse e briozoi in corrispondenza della soglia che separa i Berici dagli Euganei (linea della Riviera Berica); tale contropendenza, su cui si accresce progressivamente una scogliera, delimita verso Nord una laguna ben ossigenata (*Fig. 10 - Shelflagoon*, Frost, 1981) dove si depositano le Calcareni di Castelgomberto.

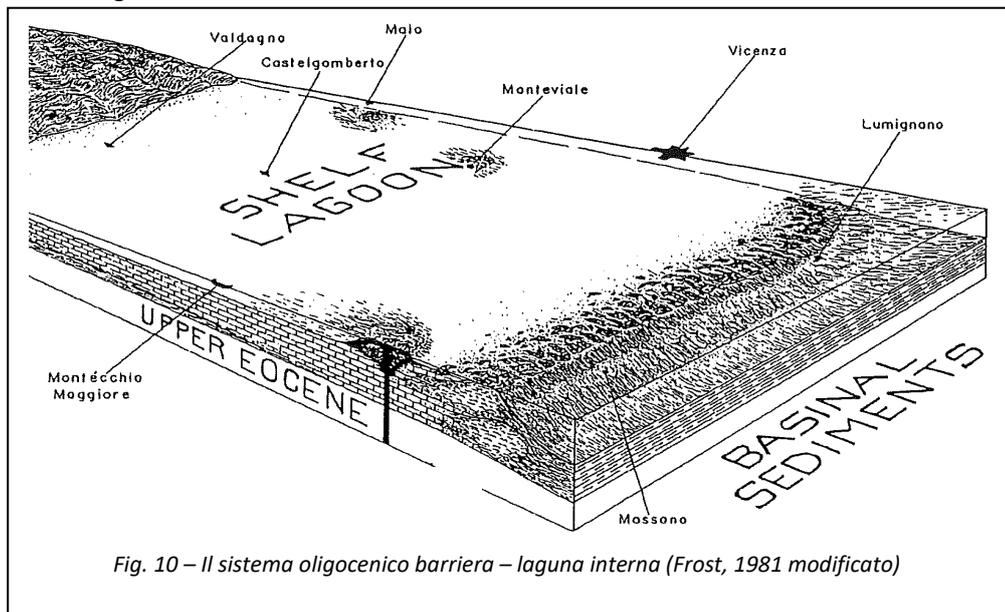


Fig. 10 – Il sistema oligocenico barriera – laguna interna (Frost, 1981 modificato)

Nell'Oligocene superiore questa laguna che comprende l'area degli attuali Berici e Lessini vicentini tende al progressivo colmamento e localmente sviluppa lagune costiere riparate dal moto ondoso (i.e. Calcilutiti di Perarolo, famose per il contenuto fossilifero eccezionalmente conservato). La modesta ripresa dell'attività vulcanica testimoniata da *necks* che attraversano i depositi lagunari interni porta al blocco definitivo della crescita della scogliera. L'emersione successiva provoca l'erosione e l'incarsimento della parte sommitale della successione stratigrafica oligocenica delle Calcareni di Castelgomberto (l'Unità è interessata da una lacuna stratigrafica non definita dal punto di vista temporale che da luogo a incertezze nella definizione dell'età della stessa formazione rocciosa), con la formazione di cavità carsiche (sono state osservate doline profonde fino a 40,0 m). All'interno di queste cavità si possono oggi rinvenire sabbie quarzifere sciolte (saldame) probabilmente mioceniche.

Questo livello discontinuo fa da transizione ad arenarie più o meno calcaree riferibili alle Arenarie di S. Urbano (Miocene inferiore), depositatesi in un ambiente costiero che si evolve verso condizioni marine, anche se di bassa profondità; esse rappresentano l'unità rocciosa più recente fra quelle conservate nei Colli Berici (*Fig. 11*). Alla fine del Miocene, l'intero comparto Berico è portato, sotto la spinta del sollevamento alpino, in definitiva emersione dal mare. Il successivo carsismo, dalla fine del Miocene alla fine del Pleistocene e fino ai giorni nostri, lascia un'impronta determinante e caratteristica nel territorio.

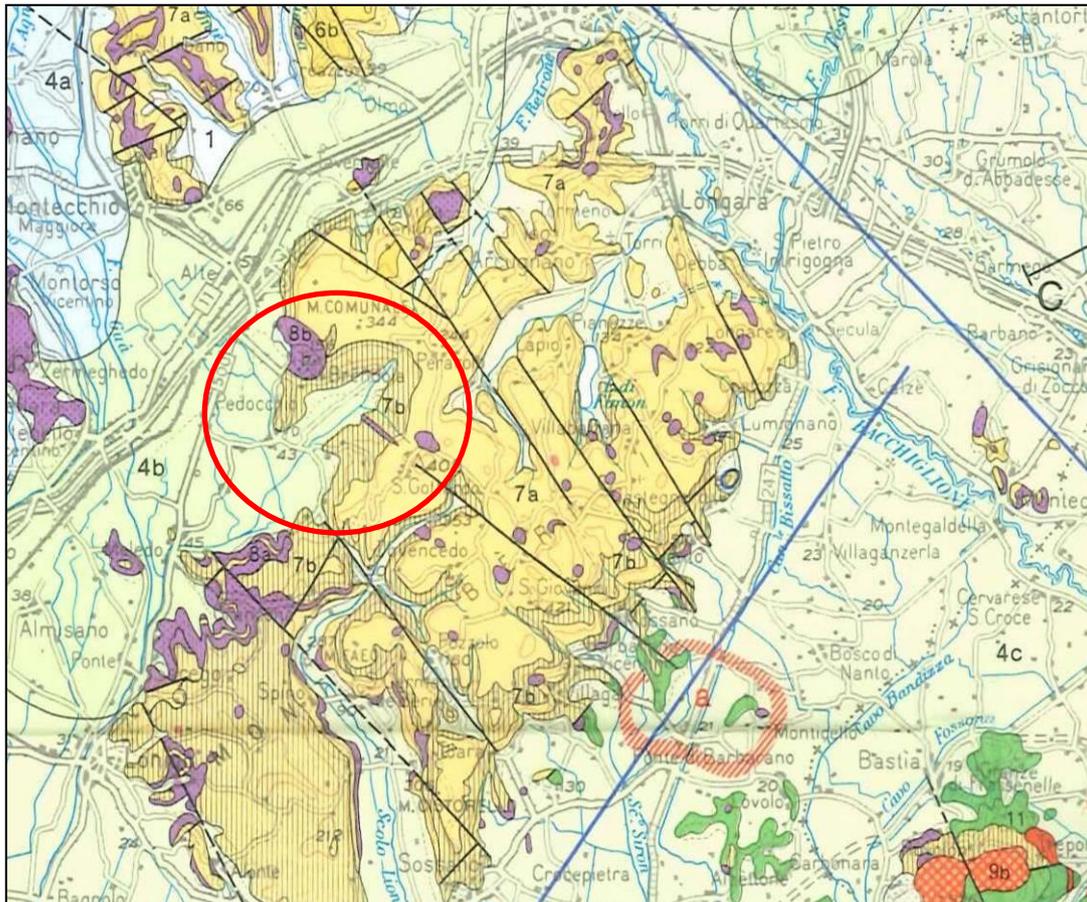
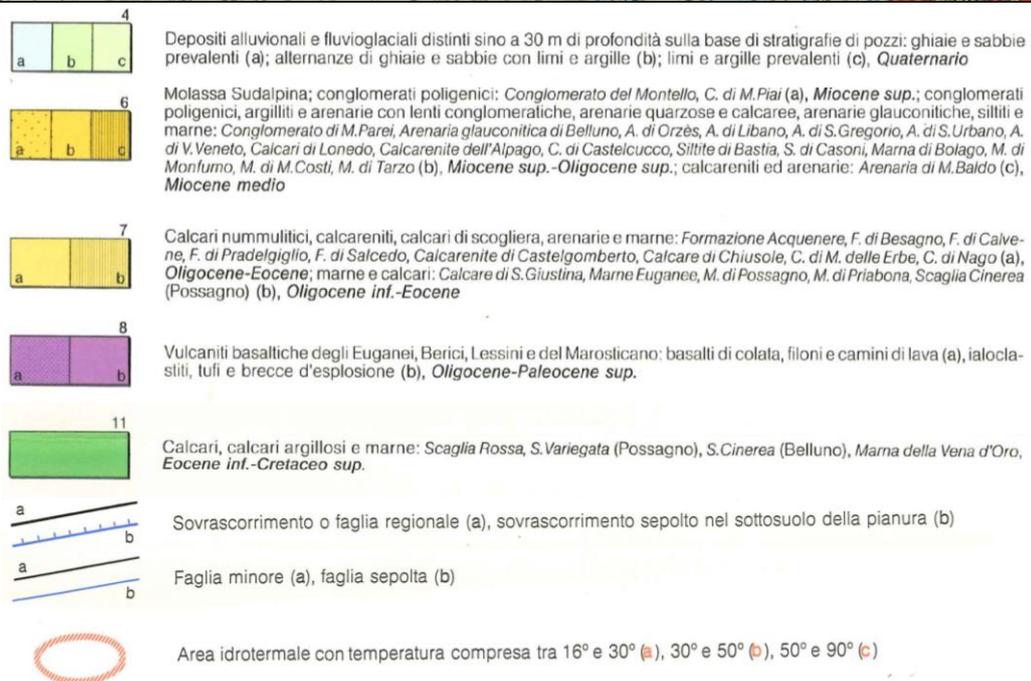


Fig. 11 - Estratto della Carta Geologica del Veneto scala 1:25.000 relativo all'area dei Monti Berici



Nel Comune di Brendola la successione stratigrafica affiorante si estende per azione della tettonica terziaria esclusivamente dall'Eocene Medio all'Oligocene.

In particolare alla base del rilievo collinare sono presenti i termini più antichi della serie, rappresentati dai Calcari di Priabona, come in tutto il versante collinare. La sommità del rilievo collinare è dominata dalle Calcareniti di Castelgomberto sicuramente riferibili all'Oligocene inferiore (vedi lacuna stratigrafica che interessa la parte sommitale dell'Unità), nelle varie associazioni di *facies* di laguna interna tropicale.

Nel territorio comunale affiorano anche formazioni basaltiche e vulcanoclastiche, prodotti del vulcanesimo esplosivo che ha interessato la laguna tropicale oligocenica, e vulcanoclastiti paleogeniche da smantellamento ed erosione di colate laviche sottomarine.

Pianura

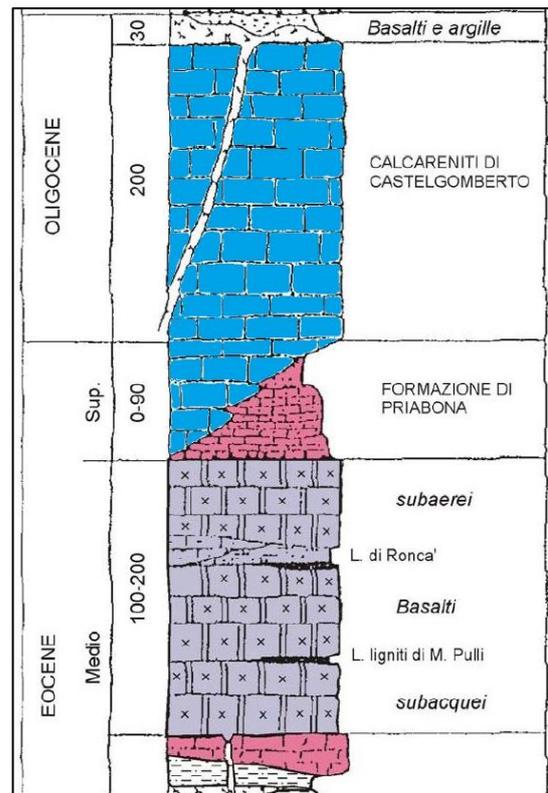
L'area pianeggiante, nel settore orientale, è rappresentata una porzione di bassa pianura infravalliva. Dal punto di vista stratigrafico generale la "pianura veneta" risulta infatti essere costituita dal rimaneggiamento fluviale dei prodotti di disfacimento delle Prealpi ed Alpi Venete. Questi sono stati trasportati in pianura, a partire da circa 25000 anni fa, dai complessi sistemi fluviali che in quel periodo rispecchiavano a grandi linee l'idrografia attuale; i grandi corsi d'acqua, alimentati dai ghiacciai alpini in scioglimento, hanno portato in questo ultimo periodo dell'era Quaternaria alla deposizione degli ultimi metri di sedimenti della pianura.

La natura dei processi che hanno portato alla formazione della pianura e l'uniformità spaziale e temporale della loro azione hanno permesso la definizione di un modello stratigrafico valido per tutta la pianura veneta.

Nel territorio in oggetto il sottosuolo risulta costituito da depositi detritici continentali formati durante tutto il quaternario, rappresentati principalmente da depositi alluvionali il cui sottosuolo rappresenta il risultato della deposizione operata dai corsi d'acqua, che hanno solcato tale zona in tempi protostorici, in particolare l'Agno – Guà. Tale materasso alluvionale, in prossimità dei versanti collinari, viene sempre più ad interagire con i depositi detritici di versante, prevalentemente di natura argillosa, accumulati ai fianchi ed ai piedi della dorsale collinare vulcanica; poiché la natura litologica che li contraddistingue è legata alla composizione petrografica delle rocce da cui provengono. L'ambiente paleogeografico era caratterizzato da energia deposizionale variabile da bassa a media, con conseguente deposizione di litotipi dalle argille fino alle ghiaie sabbiose.

3.2. Assetto strutturale

Da un punto di vista tettonico i Monti Berici si presentano come un complesso sedimentario caratterizzato da strati debolmente inclinati, coinvolti in debolissime pieghe ad ampio raggio con l'asse NNE - SSO. Tali motivi plicativi sono poi stati articolati da due sistemi di dislocazione tettonica (Fig. 12), che mostrano movimenti di tipo trascorrente (prevalentemente sinistrorsi) associati a deboli o nulli rigetti verticali.



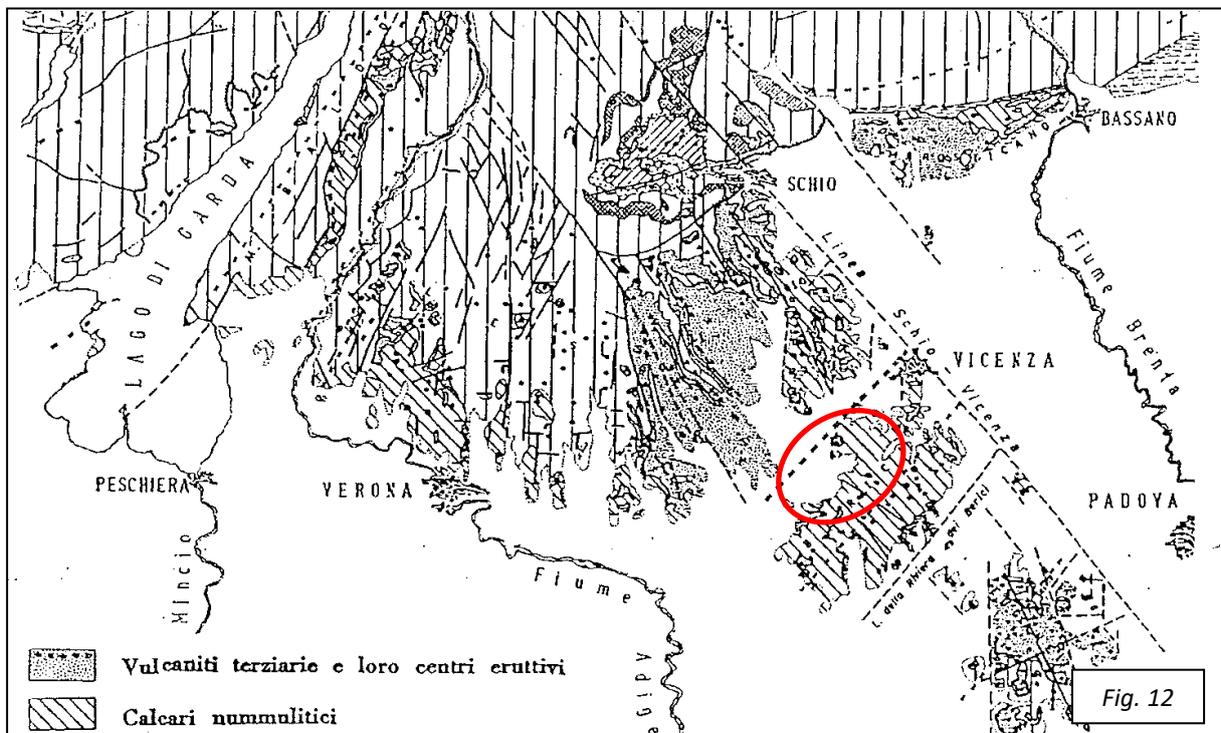
Il primo sistema tettonico - strutturale, detto Scledense, che presenta orientamento NNO - SSE, influenza i caratteri del margine nord occidentale del Gruppo Berico e vari segmenti della rete idrografica interna; l'elemento più importante di tale sistema (e da cui prende il nome) è la già citata faglia denominata Schio - Vicenza. Questo lineamento tettonico subverticale di importanza regionale e dal movimento prevalentemente trascorrente sinistrorso, pur sepolto sotto le alluvioni, delimita i rilievi collinari in oggetto verso oriente. Faglie minori prodotte in concomitanza della stessa fase tettonica si sviluppano nei Colli Berici, influenzando anche processi successivi come l'impostazione della rete idrografica.

L'altro sistema, ad orientamento NNE - SSO (sistema giudicariense), è composto da faglie a prevalente rigetto verticale. La principale di queste, la già citata Linea della Riviera Berica, è sepolta anch'essa sotto le alluvioni padane (la sua presenza è stata accertata sulla base di dati geofisici, come riportato in Benvenuti e Norinelli, 1967) ed è evidenziata dalla lunga scarpata sud orientale dei Colli Berici, un tratto della quale è compreso nel territorio comunale in analisi ed è rappresentato dallo sviluppo del versante collinare.

Questo importante lineamento tettonico ed il suo coniugato in corrispondenza dei Colli Euganei, delimitano il *graben berico - euganeo* che separa i due gruppi di rilievi.

L'interazione fra i sistemi tettonico - strutturali Scledense e Berico determina nel complesso un assetto strutturale dell'area interessata tale per cui il settore di SE si presenta sollevato rispetto a quello di NO: i termini più antichi della successione stratigrafica si rinvergono pertanto nel primo settore citato, che corrisponde nel Distretto Berico all'area sud orientale. Lungo il versante compreso tra Sossano e Nanto si possono osservare infatti affioramenti di Scaglia Rossa (Cretaceo superiore) in limitati lembi ai piedi del pendio, mentre i termini più recenti della successione stratigrafica sono riconoscibili nel versante opposto, ovvero nei dintorni di Altavilla Vicentina e Valmarana.

L'interferenza dei due sopracitati sistemi di faglie, a sviluppo in prima approssimazione ortogonale, condiziona inoltre l'impostazione e la reciproca orientazione della rete idrografica e dei solchi vallivi in tutta l'area Berica (i.e. Valle del Liona con andamento NS).



3.3. Assetto geomorfologico

Il rilievo dei Colli Berici sorge a ridosso della porzione di pianura che si estende a sud - sudovest di Vicenza; i Colli hanno forma allungata, con l'asse maggiore nella direttrice Vicenza - Orgiano (sviluppo 25 km c.a.) e l'asse minore nella direttrice Barbarano - Brendola (sviluppo 10-12 km c.a.). Il rilievo collinare appare molto frastagliato a nord, più regolare a sud. Le quote massime superano di poco i 400 mt.

I sistemi vallivi principali sono due: il primo è percorso dallo Scolo Liona, che presenta direttrice di deflusso principale da Nord verso Sud, il secondo è occupato dal Lago di Fimon.

La porzione orientale dei Berici, più vasta rispetto a quella occidentale, è costituita da un altopiano fortemente degradante verso sud - est; la zona occidentale presenta rilievi meno marcati e degradanti dolcemente verso la pianura veronese (Cologna Veneta - Spessa) e verso il basso vicentino (Poiana Maggiore - Noventa).

L'aspetto morfologico attuale del rilievo berico è direttamente correlabile con la tettonica regionale; la zona è stata oggetto di sollevamento tettonico durante l'ultima fase dell'orogenesi alpina (anticlinale berica), che ha sollevato di alcune centinaia di metri, determinandone la definitiva emersione, le successioni sedimentarie depositatesi, esponendole di fatto agli effetti degli agenti esogeni.

L'evoluzione morfologica complessiva si è sviluppata in diverse fasi, che comprende lo spianamento del rilievo nelle porzioni sommitali dovuto a fenomeni prevalentemente carsici, l'incisione di valli da parte di torrenti erosivi e la conseguente formazione di terrazzi e brusche variazioni di pendenze, anche nelle valli interne, lo sbarramento delle valli e il loro successivo rapido colmamento.

Data la netta prevalenza di rocce carbonatiche, il rilievo dei Colli Berici presenta intensi e diffusi fenomeni carsici; la porzione sommitale berica appare disseminata di doline e depressioni assorbenti che convogliano rapidamente nel sottosuolo le acque meteoriche. Il versante orientale del rilievo è invece caratterizzato da un'alta concentrazione di cavità naturali denominate "covoli".

La formazione calcarea risulta così attraversata da acque sotterranee, che vengono alla luce solamente se arrestate da livelli calcareo marnosi non fratturati dell'Oligocene inferiore o dai livelli marnosi dell'Eocene superiore. Il rilievo è caratterizzato dall'assenza di corsi d'acqua significativi. Nelle zone pedecollinari e infravallive sono presenti canali e scoli artificiali di cui il più importante è la Roggia Degora.

La morfologia attuale dell'area berica è stata definita in tempi storici anche dall'attività estrattiva, fin dall'età romana. Oltre a una fitta rete di cave in galleria che mirava all'estrazione di calcare organogeno bioclastico noto come "Pietra di Vicenza", la recente attività estrattiva è indirizzata in maniera massiccia all'estrazione dei calcari fossiliferi dell'Eocene e dell'Oligocene, delle sabbie silicee e delle argille refrattarie e ferrifere.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1. Dati pregressi ed ex novo – Fonti dei dati

La finalità delle indagini geotecniche negli studi di microzonazione sismica è quella di pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato dell'area e dei terreni presenti nel territorio prima, durante e dopo il terremoto di riferimento attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante sondaggi, prove geotecniche di tipo corrente (CPT, SPT, DMT, ecc...) e prove dinamiche (CH, DH, SAS W, ecc...) e mediante la riproduzione in laboratorio delle condizioni di sollecitazione e deformazione più prossime a quelle che possono aversi in occasione del terremoto di riferimento. Si tratta quindi di indagini estremamente mirate, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche e che, soprattutto, identificano il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

Il programma delle indagini geotecniche è stato comunque commisurato ai livelli di approfondimento degli studi di MS: in relazione allo studio di microzonazione sismica di livello 1 e livello 2 condotto nell'ambito del presente lavoro, è stata reperita tutta la possibile documentazione utile relativa ad indagini geognostiche.

E' stata quindi acquisita la Relazione Geologica del P.A.T. del comune di Brendola, redatto dallo Studio Rech nel maggio 2012, nonché le cartografie relative rappresentate da carta Geolitologica, Carta Geomorfologica, Carta Idrogeologica ed indagini allegate.

Sono state inoltre reperite le indagini relative a numerosi punti d'indagine, sparsi sull'intero territorio comunale, relativi a progetti edilizi ed urbanistici, eseguiti per conto sia di privati sia per l'amministrazione pubblica, costituite dalle seguenti tipologie di prove: indagini sismiche, prove penetrometriche dinamiche, prove penetrometriche statiche, trincee e sondaggi.

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite inoltre n. 50 misure di frequenza naturale, finalizzate a fornire elementi utili per una valutazione riguardante la verifica dell'assetto litostratigrafico ricostruito: tali misure di microtremore ambientale sono basate su tecnica di sismica passiva a stazione singola ed avvengono per mezzo di idonea strumentazione geofisica. L'indagine geofisica realizzata consente, attraverso l'interpretazione delle misure con il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), di definire la frequenza propria naturale dei depositi affioranti e fornire utili indicazioni circa l'azione sismica di progetto e la valutazione della risposta sismica locale in corrispondenza della verticale indagata. Inoltre è possibile individuare le discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione compatta (bedrock geofisico) ed effettuare anche una stima della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}).

Inoltre sono state eseguite n. 15 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali effettuata per mezzo di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel caso specifico è stato utilizzato il metodo attivo: le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, nell'intorno dei primi 30 m - 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

Infine sono state eseguite n. 15 Re.Mi. (Refraction Microtremor), una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali effettuata per mezzo di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una

buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati. Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

La totalità delle indagini raccolte è stata sottoposta ad opportune analisi critiche ed a riscontri operati sia in campagna, sia per confronto tra risultati di indagini diverse ma omologhe. Tali dati conoscitivi dell'assetto geologico e geomorfologico hanno permesso quindi di procedere alle successive elaborazioni dello studio di microzonazione sismica di livello 1 e livello 2.

In accordo con quanto indicato in "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica", la Carta delle indagini riporta l'esatta ubicazione di ciascuna indagine, sia quelle reperite sia quelle effettuate *ex novo* nel corso del presente studio; come sarà più compiutamente esposto nel paragrafo 8, dedicato all'informatizzazione dell'elaborato e dei dati in esso contenuti, tutti i punti di indagine sono rappresentati con simbologia apposita, che permette di distinguere tra loro i diversi tipi di indagine.

La tavola in allegato alla presente relazione (*Carta delle indagini, scala 1:10.000*) illustra la totalità delle indagini puntuali considerate, come sopra descritto; viene inoltre riportato, in corrispondenza di ciascun simbolo, il corrispondente codice identificativo "sito_puntuale" o "sito_lineare", in riferimento alle specifiche informatiche di archiviazione previste (cfr. paragrafo 8.1).

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1. Unità geotecniche e geofisiche

La caratterizzazione generale del territorio in termini di unità litotecniche è stata desunta dai documenti del Piano di Assetto Territoriale (PAT), ed in particolare dalla *Carta Geolitologica*: nel documento del piano le formazioni geologiche sono state suddivise in diversi raggruppamenti in funzione della litologia, dello stato di aggregazione e del grado di alterazione delle formazioni.

Tali informazioni sono state quindi integrate con dati ricavati dalla bibliografia consultata nel corso del presente lavoro (cartografia geologica allegata al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale), nonché dai rilievi effettuati in campagna.

In particolare, le unità del substrato sono distinguibili sulla base della compattezza, del grado di suddivisione dell'ammasso roccioso, del grado di alterazione, della presenza di alternanze di materiali a diverso grado di resistenza o coesione, della tessitura e del grado di cementazione delle singole formazioni, mentre i materiali delle coperture si suddividono in base al processo di messa in posto del deposito o dell'accumulo, allo stato di addensamento, alla tessitura dei materiali costituenti.

Nel territorio di Brendola, compatibilmente con la scala di rappresentazione del presente lavoro, si riconoscono le seguenti formazioni rocciose e tipologia di terreni di copertura, per ciascuna delle quali si riporta una descrizione sintetica:

- **Rocce compatte stratificate**: in questa classe ricadono le Calcareni di Castelvetro. Si tratta di calcari e calcareniti bioclastici e nulliporici compatti, a stratificazione per lo più irregolare o indistinta, spesso in banchi. La giacitura è suborizzontale ed il disturbo tettonico molto limitato. Nella porzione basale della serie stratigrafica sono presenti frequenti intercalazioni marnoso-arenacee mentre nella parte sommitale della formazione, ricompaiono intercalazioni marnose nodulari. Si tratta di rocce calcarenitiche ed arenacee a stratificazione da media a sottile talora in banchi, localmente irregolare o maldistinta, contenenti numerosi frammenti di fossili di scogliera e di ambiente lagunare. Le caratteristiche

geomeccaniche di questa formazione sono buone, diventano tuttavia mediocri dove l'ammasso roccioso risulta molto fratturato. Le scarpate in roccia sono stabili anche in parete verticale; la presenza di superfici di discontinuità come fratture o piani di strato può essere causa di distacco e caduta di massi dal pendio.

- **Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto:** rientrano in questa classe le vulcaniti. Si tratta di basalti, e lave a cuscini, filoni e neck. Sono costituite da basalti di colata lavica prevalentemente compatti, solo localmente interessati da fenomeni di fessurazione colonnare; sono rappresentati da prodotti effusivi basaltici, costituiti sia da colate subaeree che subacquee compatte. Normalmente lo spessore delle singole unità di colata varia da pochi metri a 20-30 m. La potenza massima dei singoli complessi lavici si rileva sulle dorsali che fiancheggiano la Valle del Chiampo dove possono raggiungere 300-400 m. Rocce laviche possono costituire anche il riempimento di antichi camini vulcanici che tagliano le rocce preesistenti. Si tratta in genere di camini di dimensioni modeste; sono stati segnalati solo i riempimenti dei camini di diametro maggiore. Spesso le superfici delle antiche unità di colata sono alterate in senso argilloso; solo localmente le rocce laviche si presentano totalmente argillificate.
- **Rocce compatte prevalenti alterate a strati o interposizioni tenere:** in questa classe ricadono i Calcari marnosi di Priabona. Caratterizzata in prevalenza da rocce tenere quali marne, siltiti e argilliti in cui gli strati compatti calcarei, calcareo marnosi o arenacei sono subordinati. In particolare, su di un livello basale conglomeratico poggiano arenarie fini in strati medio-sottili più o meno carbonatiche che passano gradualmente da marne grigiastre a foraminiferi. Seguono quindi argille fittamente fogliettate di color azzurro al di sopra delle quali sono presenti calcari marnosi nodulari fossiliferi. Le caratteristiche geomeccaniche di questo litotipo si possono considerare scadenti in relazione all'erosibilità ed alla facile degradabilità delle superfici esposte ed alle scadenti condizioni di stabilità su pendii acclivi.
- **Materiali della copertura detritica eluviale e/o colluviale:** si tratta di materiali della copertura detritica eluviale e/o colluviale poco addensati e costituiti da terreni prevalentemente fini limoso-argillosi, localmente sabbiosi, inglobanti elementi litoidi di dimensioni variabili dalle ghiaie fini ai blocchi, in percentuale comunque scarsa. Tali depositi sono molto ben rappresentati alla base dei versanti, al raccordo con le aree di fondovalle pianeggianti (fascia pedecollinare) ma anche sul versante e sulla sommità collinare, dove le pendenze si riducono e permettono la deposizione di spessori metrici di copertura. Sono compresi in questa classe anche i depositi di accumulo di frana. La consistenza in genere medio-bassa conferisce a questo tipo di coperture caratteristiche geotecniche nel complesso scadenti.
- **Materiali degli accumuli di frana:** sono materiali detritici misti argillosi-limosi, granulari-lapidei disposti caoticamente, con spessori variabili a seconda del cinematiso franoso e condizioni geotecniche talora pessime (argille bagnate, livelli di scorrimento su alterazione di vulcanite o marna).
- **Materiali alluvionali o lacustri a tessitura prevalente limo-argillosa:** la matrice prevalente fine fa sì che la permeabilità per porosità sia da bassa a molto bassa. Le condizioni geotecniche sono da mediocri a scadenti (da verificare volta per volta);
- **Materiali alluvionali, o lacustri a tessitura prevalente sabbiosa:** la matrice prevalente granulare (sabbie e ghiaie con limo) fa sì che la permeabilità sia da media a bassa, le condizioni geotecniche sono generalmente discrete / buone;
- **Materiali di deposito palustre a tessitura fine e torbiere:** la matrice prevalente fine organica fa sì che la permeabilità per porosità sia molto bassa. Le condizioni geotecniche pessime (terreni molto molli, cedevoli, saturi d'acqua, soggetti a subsidenza), fanno sì che siano chiaramente sconsigliati gli interventi urbanistici ed edilizi se non quelli strettamente legati alla manutenzione dell'esistente (peraltro quasi assenti, a riprova delle pessime condizioni geotecniche) e delle opere pubbliche (strade, fognature e altri servizi tecnologici).

- Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia: si tratta di materiali molto eterogenei dal punto di vista granulometrico e tessiturale, costituiti in prevalenza da terreni fini limosi-argillosi, con lenti e livelli più grossolani costituenti le conoidi di deiezione torrentizia, in prossimità quindi dello sbocco dei corsi d'acqua sul fondovalle. Il loro sviluppo è legato all'ampiezza del bacino idrografico di riferimento ed al grado di erodibilità e degradazione dei terreni ivi presenti.
- Terreni di riporto: la matrice eterogenea dei materiali riportati (demolizioni edili, limi e argille) fa sì che la permeabilità per porosità sia mediamente bassa.

5.2. Parametri geotecnici

Le indagini in sito, reperite per la redazione del presente studio, hanno contribuito alla definizione del modello di sottosuolo sulla base delle unità litotecniche individuate.

Il quadro conoscitivo del Piano di Assetto Territoriale, dal quale sono state estrapolate le prove geognostiche utili alla definizione del modello di sottosuolo, attribuisce alcuni parametri geotecnici relativamente ai terreni investigati dalle stesse.

In particolare, per la caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni, sono stati utilizzati i risultati delle Prove Penetrometriche.

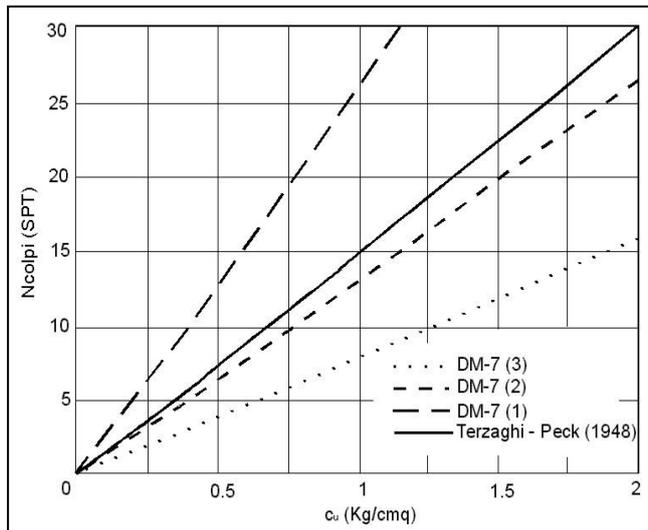


Fig. 13 - Correlazioni $C_u - N_{SPT}$

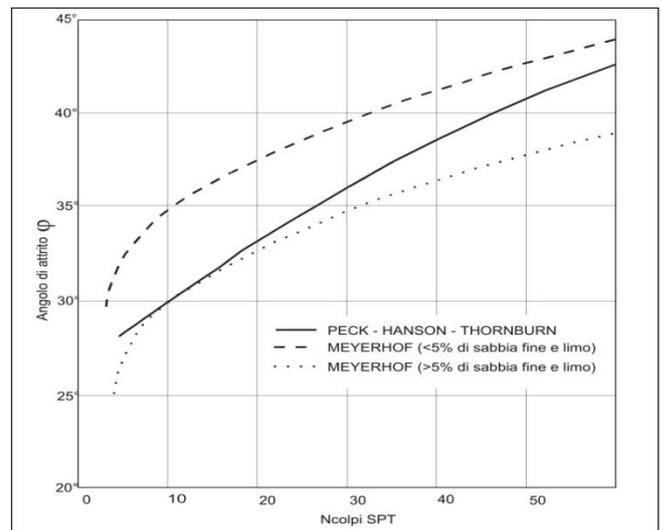


Fig. 14 - Correlazioni $\phi - N_{SPT}$

Per quanto riguarda le Prove Penetrometriche Dinamiche, esse sono correlate alla Standard Penetration Test (SPT); in relazione ai parametri geotecnici per i litotipi di natura coesiva, si considerano diversi metodi di calcolo riconducibili a vari autori, come ad esempio riportato in Fig. 13 - Correlazioni $C_u - N_{SPT}$.

Anche in relazione ai terreni caratterizzati da natura prevalentemente granulare, per la determinazione dell'angolo di attrito ϕ si considerano metodi riconducibili a vari autori, come ad esempio indicato nella Fig. 14 - Correlazioni $\phi - N_{SPT}$.

Per quanto riguarda le prove penetrometriche statiche, dal punto di vista generale, per la valutazione delle caratteristiche meccaniche degli orizzonti di natura prevalentemente coesiva, si considera il Metodo di Lunne ed Eide, valido per argille di bassa, media ed alta plasticità e poco sensibili, che relaziona la R_p delle prove penetrometriche con la Coesione non drenata (C_u), secondo la formula:

$$C_u = R_p - \sigma'V / N_k$$

dove:

R_p = Resistenza penetrometrica di punta (kg/cm²);

σ'_v = Pressione verticale efficace alla profondità di calcolo (kg/cm²);

N_k = fattore adimensionale.

Per la valutazione dell'angolo di attrito (φ), relativamente agli orizzonti di natura granulare sabbioso-limosi, si valutano alcuni metodi riferibili a diversi autori, dipendenti dal medesimo valore di R_p ottenuto nel corso delle prove penetrometriche statiche CPT (Fig. 15 – Correlazione R_p – φ):

De Beer: $V'b = 1.3 e^{2\pi \tan \phi} \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$

Koppejan: $V'b = 1.3 e^{(2.5\pi - \phi) \cdot \tan \phi} \cdot [(1 - \sin \phi)/(1 + \sin^2 \phi)]$

Caquot : $V'b = 10^{3.04 \tan \phi}$

dove $V'b = R_p / \sigma'_v$ (kg/cm²)

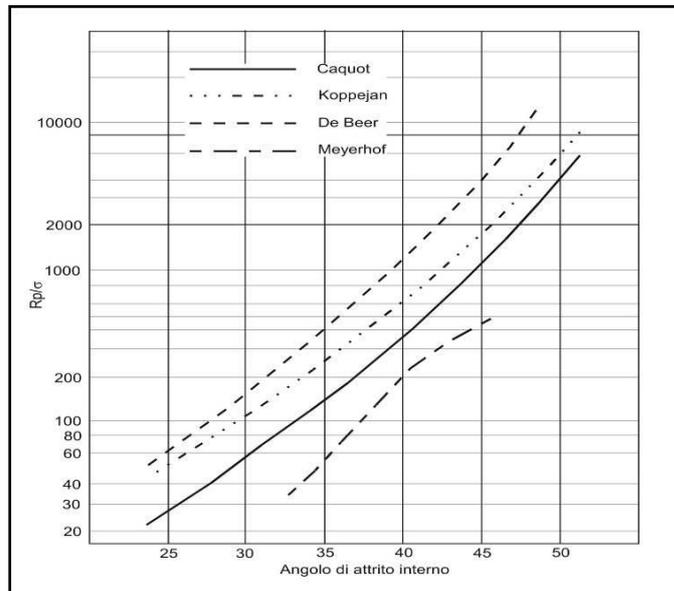


Fig. 15– Correlazione R_p – φ

Sulla base di quanto sopra esposto, in merito all'estrapolazione dei parametri geotecnici dalle prove penetrometriche, vengono riportati a seguire in sintesi i parametri geotecnici dei terreni, così come indicato nella Relazione Geologica del P.A.T.:

Unità Litotecnica	Cu k (KN/m ²)	φk (°)	γ _{NAT} k (KN/m ³)
Rocce compatte stratificate <i>Calcareniti di Castelgomberto</i>	-	> 38°	21 - 24
Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto <i>Vulcaniti basaltiche</i>	-	35° - 38°	20 - 23
Rocce compatte prevalenti alternate a strati o interposizioni tenere <i>Calcari marnosi di Priabona</i>	-	35° - 38°	20 - 23
Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia	20 - 60	28° - 32°	18 - 19
Materiali della copertura detritica eluviale e/o colluviale	30 - 90	-	18 - 19
Materiali sciolti per accumulo di frana	30 - 70	28° - 32°	18 - 20

Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa	30 - 50	-	17 - 18
Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa	-	28° - 32°	18 - 19
Materiali di deposito palustre a tessitura fine e torbiere	40 - 60	-	16 - 18
Materiali di riporto	-	-	-

Si precisa che i valori dei parametri geotecnici riportati nella tabella soprastante possono essere considerati rappresentativi delle Unità Litotecniche nella loro globalità, mentre dai tabulati delle prove penetrometriche allegate alla relazione geologica del P.A.T. è possibile ricavare i parametri di resistenza puntuali, esattamente in corrispondenza delle verticali riportate.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1. Interpretazione indagini geofisiche

Come accennato nel precedente paragrafo, nell'ambito del presente studio sono state eseguite n. 50 misure di microtremore ambientale basate su tecnica di sismica passiva a stazione singola, n. 15 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e n° 15 Re.Mi. (Refraction Microtremor) per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

6.1.1. Indagini geofisiche HVSR

Le indagini geofisiche realizzate consentono di definire la frequenza propria naturale dei depositi, nonché di fornire utili indicazioni circa l'azione sismica di progetto e la valutazione della risposta sismica locale.

I risultati ottenuti dalle prove effettuate vengono presentati sotto forma di grafici HVSR (cfr. *Allegato 1: Grafici indagini geofisiche ex-novo*, dove viene riportato il grafico "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" relativo a ciascuna indagine), in cui la frequenza espressa in Hz è riportata sull'asse delle ascisse mentre l'ampiezza del rapporto H/V sull'asse delle ordinate; si riporta inoltre, per ciascuna indagine, l'ubicazione su CTRN e le coordinate in formato UTM WGS84-Zona 33.

L'interpretazione dei grafici prevede che, poiché la frequenza è relazionata alla profondità, il grafico HVSR possa tramutarsi in un grafico ampiezza del rapporto H/V – profondità, dove l'ampiezza del rapporto H/V descrive in modo relativo l'ampiezza del contrasto di impedenza tra i due mezzi ad una determinata profondità (y); ciascun picco nel grafico corrisponde quindi ad una discontinuità sismica (contrasto di impedenza) correlabile ad una discontinuità stratigrafica: maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore è l'ampiezza attesa del picco H/V, sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare.

Di seguito vengono riportati i principali parametri utilizzati per le fasi di campionamento ed analisi dei dati di microtremore:

- ✓ Frequenza di campionamento: 128 Hz
- ✓ Durata di registrazione: 960 s (almeno)
- ✓ Finestra temporale: 20 s
- ✓ Frequenza massima: 64 Hz

6.1.2. Stendimento sismico

L'acquisizione delle 15 MASW e delle 15 Re.Mi. è avvenuta tramite sismografo a 24 canali PASI collegato a geofoni verticali da 4,5 Hz. Lo stendimento sismico è stato mantenuto standard nel corso di tutte le

acquisizioni, con distanza tra sorgente e primo geofono pari a 3 m, così come l'interdistanza geofonica (distanza tra ciascun geofono), e lunghezza totale dello stendimento pari a 36 m: la spaziatura tra geofoni e la lunghezza dello stendimento stesso sono stati scelti in funzione del volume di terreno da caratterizzare.

Nel dettaglio, la strumentazione sismica utilizzata è la seguente:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione dati	Sismografo a 24 canali PASI (<i>mod. 16S24P</i>). Il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun sistema di ricezione.
12	Geofoni verticali	Rappresentano il sistema di ricezione. Ciascun geofono possiede frequenza propria di 4,5 Hz.
1	Sistema di trigger	Consiste in un circuito elettrico che produce un impulso inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati, e permette di individuare e visualizzare l'istante in cui la sorgente viene attivata, ovvero di fissare l'inizio della registrazione.

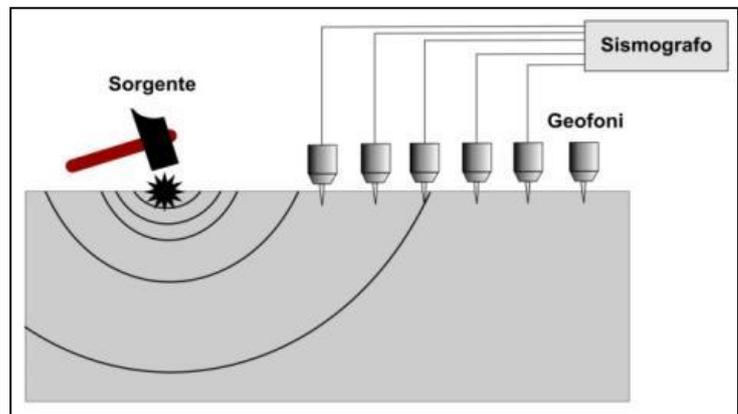
MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).

Nel caso specifico, è stato utilizzato il metodo attivo, che consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità, in funzione della rigidità del suolo): l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica (in figura).

L'acquisizione è avvenuta per mezzo della strumentazione sopra descritta. Il terreno è stato energizzato con mazza battente da 8 kg su piattello metallico, posto ad una distanza di 3 m dal primo geofono. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*), 3 per ciascuna acquisizione.

Infine, per una corretta acquisizione, sono stati utilizzati un tempo di campionamento pari a 250 μ s ed una durata di campionamento di 512 ms.



REMI

L'acquisizione di tipo Re.Mi è una derivazione delle tecniche SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*) e MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*): tali tecniche si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie (onde di Rayleigh o pseudo-Rayleigh) per la costruzione di un modello verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Geol. RIMSKY VALVASSORI – Studio di Geologia Tecnica

✉ 36100 VICENZA – Via dell'Oreficeria, 30/L
☎: 0444.340136 - 📠: 0444.809179 - Ordine dei Geologi del Veneto n°507
C.F. VLVRSK71H02A794P - P. IVA 02662110242
📧: info@studiogeosistemi.it – 🌐: www.studiogeosistemi.it – 📞 335.8154346

Il metodo ReMi combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW.

I microtremori vengono generalmente registrati mediante uno stendimento lineare da 12 o più geofoni a bassa frequenza, senza la necessità di dover operare con un sorgente attiva. I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per le acquisizioni a rifrazione. Generalmente si impiegano geofoni con frequenza variabile da 4 a 14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s.

Il rumore registrato viene convertito dal dominio x-t al dominio -fk nel quale viene rappresentato lo spettro di potenza delle onde di superficie ed individuata la curva di dispersione.

In corrispondenza dello stendimento ReMi sono state acquisite 20 sessioni di registrazione, ciascuna della durata di 32 secondi circa, con controllo in tempo reale dei dati. I dati di scarsa qualità oppure quelli caratterizzati dalla presenza di rumore polarizzato sono stati scartati direttamente in campo. Le singole sessioni di registrazione sono state quindi aggregate andando a costituire uno spettro medio.

La pre-elaborazione di campo ed il controllo di qualità in tempo reale sono di estrema importanza in questo tipo di misure in quanto qualora il modo fondamentale delle onde di superficie non venga campionato correttamente risulta impossibile stimare la curva di dispersione e costruire il modello verticale di velocità delle onde di taglio (VS).

Inoltre, per una corretta acquisizione, sono stati utilizzati un tempo di campionamento pari a 1 μ s ed una durata di campionamento di 32768 ms.

6.1.3. Carta delle frequenze naturali dei depositi

Le determinazioni relative alle frequenze naturali dei depositi sono state acquisite al fine di caratterizzare le sequenze litostratigrafiche e di fornire i primi elementi di analisi sul comportamento sismico delle sequenze deposizionali.

Attraverso l'elaborazione delle misure, una volta accertato l'esistenza di un picco di amplificazione del terreno, è stato possibile stimare l'interfaccia risonante posta alla profondità H dalla superficie.

L'analisi dei risultati ottenuti consente di effettuare le seguenti considerazioni:

- le misure eseguite confermano la presenza di picchi affidabili ed interpretabili a frequenze variabili, vista la variabilità degli spessori della successione posti sul substrato roccioso; nel complesso, la variabilità delle frequenze dei picchi è in stretta relazione con gli spessori del deposito: frequenze basse sono legati a maggiori spessori, al contrario alte frequenze si riferiscono a spessori più limitati.
- vista la morfologia del rilievo, le misure di microtremore sono state tutte effettuate su substrato geologico o su coperture riconducibili alle formazioni vulcaniche e vulcanoclastiche.
- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali della pianura confermano la presenza di picchi affidabili ed interpretabili a frequenze variabili, vista la variabilità degli spessori della successione posti sul substrato roccioso; i picchi di amplificazione si avvertono in corrispondenza dell'interfaccia tra i terreni ed il substrato roccioso, posto a profondità maggiori di 50 m. Le frequenze variano da un minimo di 0,63 Hz, fino ad un massimo di 1,75 Hz, in corrispondenza della porzione pianeggiante del territorio comunale;
- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali prossimi alla dorsale collinare, dove il substrato risulta posto a profondità inferiori ai 50 m, confermano la presenza di picchi affidabili ed interpretabili a frequenze variabili, vista la variabilità degli spessori della successione posti sul substrato roccioso. Le frequenze variano da un minimo di 2Hz, fino ad un massimo di 3,5 Hz, in corrispondenza delle zone prossime ai rilievi;

- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi della copertura detritica colluviale ed eluviale mostrano la presenza di picchi affidabili e riconducibili a frequenze che variano da un minimo di 5,28 Hz fino ad un massimo di 7 Hz, in corrispondenza dei quali si individua l'interfaccia tra la coltre limoso-argillosa ed il substrato roccioso locale, che si colloca a qualche decina di metri di profondità. In particolare, le frequenze minori individuano contrasti di impedenza posti a maggiori profondità, in corrispondenza delle pendici dei versanti collinari;
- picchi di amplificazione superficiali, con frequenze maggiori di 7,0 Hz, si rinvennero in corrispondenza dell'interfaccia tra i terreni di copertura, con spessori inferiori di 3 m, ed il substrato roccioso vulcanico più compatto, rappresentato per lo più da lave e da calcari; al di sotto dell'interfaccia più superficiale, si verifica l'assenza di picchi con alti valori H/V, a testimonianza del fatto che tali terreni non presentano all'interno delle profondità investigate significativi contrasti di impedenza sismica tali da poter generare alti picchi di frequenza.
- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi del "substrato" roccioso mostrano nella maggior parte dei casi, al di sotto del primo picco posto ad alte frequenze (> 7 Hz) corrispondente all'interfaccia coltre-substrato roccioso; in alcuni casi si sono riscontrati picchi con alti valori H/V a frequenze inferiori a 7Hz, a testimonianza del fatto che tali terreni presentano all'interno delle profondità investigate significativi contrasti di impedenza sismica tali da poter generare alti picchi di frequenza.

Si tiene a precisare che, a meno di differenze statisticamente non significative, i dati raccolti ed elaborati concordano con il modello sismico-stratigrafico ipotizzato, descritto in precedenza.

Si riporta in allegato il documento cartografico denominato "**Carta delle frequenze fondamentali dei depositi**" (*Allegato 2*), che, pur non essendo necessario per gli studi di MS di Livello 1 e 2, è ritenuto essere un utile strumento per la pianificazione dell'espansione urbanistica in base alla tipologia dei fabbricati; la tavola verrà ampiamente descritta nel *paragrafo 8.5.1*, dove verranno inoltre discussi i criteri di realizzazione della stessa.

6.2. Sezioni geologiche

Le indagini in sito hanno contribuito alla definizione del modello del sottosuolo, in base alle unità litotecniche presenti ed ai loro rapporti stratigrafici e geometrici; la ricostruzione di tale modello stratigrafico indicativo permette di effettuare valutazioni sui fenomeni di amplificazione locale per le zone stabili e su eventuali fenomeni di instabilità. Per una corretta e complessiva lettura delle informazioni geologiche sono stati ricostruiti gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi per l'area studiata attraverso n.2 sezioni litotecniche (1:1000), riportate in allegato (*Allegato 3: Sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo*).

6.3. Rappresentatività dei dati

Per quanto riguarda la rappresentatività dei dati, si tiene a precisare che le informazioni di tipo geologico, idrogeologico e geotecnico derivano dalle prove sperimentali utilizzate per la redazione di numerosi studi geologici (rif.: Archivio professionale e Archivio comunale) e sono prevalentemente di tipo "diretto", ovvero prove penetrometriche, sondaggi e scavi esplorativi. La loro attendibilità risulta perciò adeguata alla definizione del problema e la loro rappresentatività appare sufficiente in virtù del numero delle indagini considerate e della loro distribuzione spaziale areale.

Le indagini geofisiche effettuate per la redazione del presente studio di MS sono invece di tipo "indiretto" e sono in ogni caso caratterizzate da buona attendibilità sperimentale; anche in questo caso, la loro rappresentatività è adeguata al grado di definizione del Livello 1 e 2, essendo state pianificate con una

distribuzione areale il più possibile omogenea e finalizzata alla caratterizzazione di situazioni stratigrafiche tra loro omologhe.

6.4. Programmazione future indagini

Sulla base di quanto descritto in precedenza relativamente ai dati acquisiti, si ritiene che in eventuali studi di microzonazione sismica di LIVELLO 3 sarà opportuno effettuare specifiche indagini sperimentali tramite metodologie geofisiche (MASW, Re.Mi., Down Hole, Cross Hole, etc.) finalizzate alla determinazione della risposta sismica locale (RSL), limitatamente alle aree maggiormente urbanizzate ed ai settori interessati da infrastrutture di elevata importanza. Contestualmente, nei medesimi settori di interesse, sarà opportuno effettuare specifiche indagini geologiche e geotecniche, possibilmente di tipo “diretto”, come ad esempio sondaggi a carotaggio continuo, al fine di giungere alla definizione di un modello geologico-tecnico di maggior dettaglio, definendo in questo modo anche le caratteristiche di resistenza e compressibilità dei terreni.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

I dati di base per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 sono prodotti da varie fonti informative: questi dati contribuiscono a costruire il modello del sottosuolo, che rappresenta un prodotto di sintesi ed è uno strumento conoscitivo propedeutico alla redazione della carta delle MOPS. Come descritto in Indirizzi e Criteri “*Il modello del sottosuolo è il risultato di un processo iterativo ed interattivo volto alla ricostruzione: delle unità litologiche superficiali (coperture recenti) e delle loro geometrie; del loro grado di fratturazione; del loro rapporto con le unità del substrato; delle loro caratteristiche geotecniche e geofisiche*”.

Di seguito vengono quindi riassunte le metodologie operative che hanno permesso una ricostruzione del modello di sottosuolo:

- Rilevamento geologico e geomorfologico speditivo dell'intero territorio comunale per la verifica, il riscontro e le eventuali integrazioni dei dati cartografici comunali e sovracomunali;
- Acquisizione del Piano di Assetto Territoriale e delle prove di tipo diretto ed indiretto degli archivi professionale e comunale;
- Realizzazione di misure di microtremori basate su tecnica di sismica passiva a stazione singola per la definizione delle frequenze naturali dei terreni affioranti presenti sull'intero territorio comunale: esecuzione di **n°50 Prospezioni Geofisiche ex - novo**, tramite la metodologia HVSR (Metodo di Nakamura) con la strumentazione Tromino® per la verifica della frequenza di risonanza caratteristica del terreno;
- Realizzazione di **n° 15 MASW** ex – novo (Multichannel Analysis of Surface Waves), per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs con metodo attivo;
- Realizzazione di **n° 15 Re.Mi.** ex – novo (Refraction Microtremor), per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs con metodo passivo;
- Analisi critica del materiale acquisito, con attento esame del contenuto al fine di appurarne l'idoneità all'utilizzo nel presente studio;
- Archiviazione dei dati raccolti, con un appropriato sistema di riferimento informatico, anche a livello cartografico;
- Analisi dei dati di pericolosità di base;
- Analisi dei dati sperimentali per la valutazione delle amplificazioni eventuali;
- Analisi dei dati per le valutazioni delle instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali;
- Stesura della Carta delle indagini, della Carta geologico - tecnica in prospettiva sismica e della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica;
- Utilizzo degli Abachi ICMS 2008 finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione;
- Stesura della Carta di microzonazione sismica di livello 2;
- Redazione della relazione illustrativa degli aspetti cartografici.

Le rappresentazioni cartografiche che contribuiscono alla restituzione dei risultati degli studi di microzonazione dovranno quindi individuare la presenza o meno di:

- zone nelle quali non sono previste significative modifiche dello scuotimento che l'evento sismico causerebbe su terreni rigidi e pianeggianti;
- zone nelle quali lo scuotimento è amplificato;
- zone suscettibili di frane in terreni e in roccia;
- zone suscettibili di liquefazioni;
- zone interessate da faglie attive e capaci;

- zone interessate da cedimenti differenziali.

Di seguito si descrivono le metodologie che hanno permesso di valutare la presenza di zone di attenzione per instabilità.

7.1. Amplificazioni

Nella *Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica* sono rappresentati gli elementi geologici e le informazioni litologiche e geomorfologiche di base utili per riconoscere le aree soggette ad amplificazione sismica. Le NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni) del D.M. 14 gennaio 2008 prendono in considerazione l'amplificazione legata sia agli effetti litologico-stratigrafici, sia a quelli topografici, specificatamente valutando:

- AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA (per gli effetti litologico-stratigrafici) dovuta al contrasto di impedenza tra mezzi geologici diversi;
- AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA (per gli effetti topografici di superficie) legata alla focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza di creste e scarpate.

Per quanto riguarda l'amplificazione litostratigrafica, ai fini della definizione dell'azione sismica locale si considerano n. 7 tipologie di suolo suddivise in due gruppi: il primo gruppo è definito da 5 categorie (A, B, C, D, E) di profili stratigrafici, mentre il secondo gruppo comprende 2 categorie (S1, S2) per le quali sono richiesti studi speciali.

I terreni classificati nelle categorie elencate sono caratterizzati da parametri sismici (Vs30, velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità) e da parametri geotecnici (N_{SPT} , Standard Penetration Test, e c_u , coesione non drenata).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grani fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

L'amplificazione stratigrafica è attesa su suoli di categoria diversa da A, caratterizzati da Vs < 800 m/s e spessori > di 3 metri. Qualsiasi tipologia di suolo (roccia o deposito quaternario su cui è modellata la superficie topografica) che possiede Vs > 800 m/s rientra nella categoria A ed è considerata bedrock sismico, quindi non in grado di generare amplificazione stratigrafica.

In riferimento agli effetti di superficie, la focalizzazione (o concentrazione) delle onde sismiche in corrispondenza di creste, cime o cigli di scarpata è il fenomeno che sta alla base della cosiddetta "amplificazione topografica": essa è massima in corrispondenza di linee di cresta/cigli di scarpata e poi

decrece con modelli complessi allontanandosi da esse. La presenza di un pendio inclinato in sé, non è un elemento sufficiente per generare amplificazione topografica.

L'amplificazione del segnale sismico per motivi topografici è un tipico effetto tridimensionale; tale amplificazione è in genere più bassa rispetto a quella litologico-stratigrafica ed è influenzata sensibilmente dalla direzione di provenienza del segnale.

Convenzionalmente, secondo la normativa tecnica italiana (D.M. 14/01/2008), gli elementi geomorfologici (naturali o artificiali) di altezza > 30 metri, per i quali si stima una possibile amplificazione sismica topografica sono:

- a) creste con larghezza alla sommità sensibilmente inferiore rispetto alla base;
- b) cigli di scarpata (comprendono gli orli di terrazzo, le nicchie di distacco di fenomeni di frana importanti, gli orli di scarpata di degradazione e le rotture di pendenza generiche; tra gli elementi geomorfologici artificiali capaci di produrre amplificazione topografica si ricordano anche i cigli di scarpata che delimitano dighe in terra, terrazzi in terreni di riporto e cave di inerti);
- c) cime isolate o guglie.

Tali elementi vanno considerati, sulla base del citato D.M. 14/1/2008 per altezze superiori ai 30 metri. Tuttavia, nel presente lavoro, sono state considerate anche altezze comprese tra 10 e 30 metri, in accordo con quanto indicato negli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

In merito alle NTC 2008, le condizioni topografiche del sito, in riferimento alle caratteristiche della superficie topografica, sono individuate come illustrato nella tabella seguente:

Classi	Descrizione
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 $i > 30^\circ$

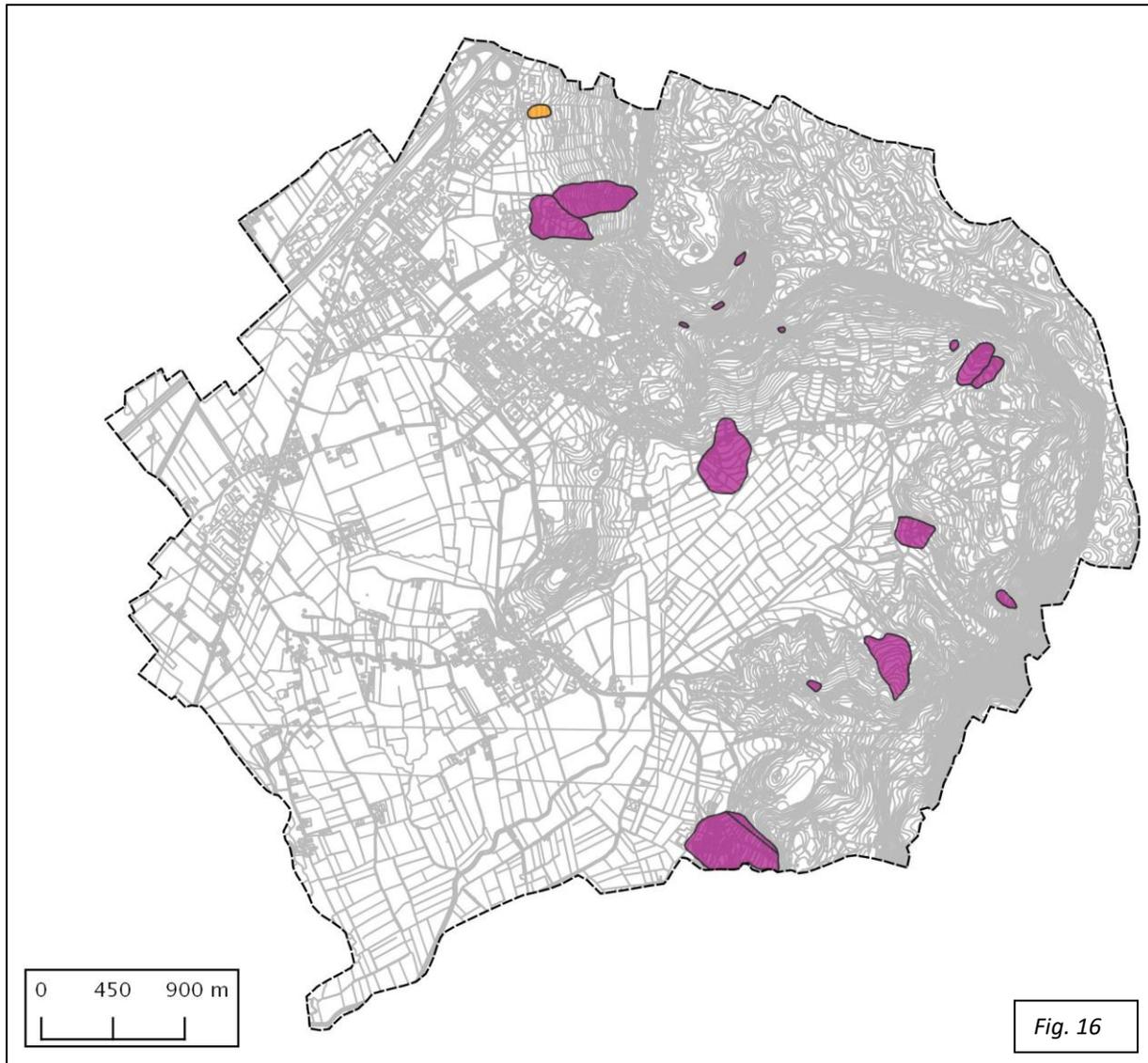
Si stima una possibile amplificazione sismica anche in situazioni di zona di fondovalle stretta od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico "monodimensionale". La scelta delle morfologie di valle e paleovalle stretta o ampia è operata facendo riferimento a quanto contenuto nel documento "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" che identifica una valle stretta quando $C > 0,25$ e un valle larga ove $C < 0,25$, considerando il coefficiente di forma $C = h/l$ in cui h è lo spessore della coltre alluvionale e l la sua semiampiezza.

7.2. Instabilità di versante

Il presente studio individua le zone soggette ad instabilità di versante, dove gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazione permanenti del territorio e dove non sono naturalmente esclusi anche fenomeni di amplificazione del moto.

In generale, i movimenti franosi sensibili all'azione sismica sono soprattutto quelli ad evoluzione rapida, ovvero i crolli in roccia e le colate in depositi fini saturi d'acqua (tipo mud flow, soil slip ecc.); le frane profonde e di grandi dimensioni sono in genere più rare poiché necessitano di contenuti energetici e basse frequenze usualmente associati a grandi terremoti profondi.

L'azione sismica interviene come fattore di innesco su volumi rocciosi già allentati e fortemente degradati già predisposti.



Nei territori predisposti a questo tipo di instabilità, gli elementi che è necessario considerare sono:

- presenza di frane, anche se inattive, nelle condizioni morfo - climatiche correnti;
- presenza di formazioni geologiche notoriamente affette da franosità;
- presenza di elementi morfologici suscettibili (versanti acclivi, scarpate, presenza di terreni sciolti su pendii prossimi all'angolo di natural declivio).

L'innesco di colate in depositi fini saturi d'acqua è legato alle sovrappressioni interstiziali generate dallo scuotimento sismico, che portano al temporaneo annullamento della resistenza di taglio del deposito con conseguente rifluimento dei sedimenti verso valle.

L'azione sismica è in grado di produrre anche altre tipologie di frana (complesse, scivolamenti rotazionali).

Le aree interessate dall'evoluzione dei fenomeni franosi sono state delimitate in base agli studi riportati nel quadro conoscitivo redatto a corredo del PAT – Carta Geomorfologica e Carta Geolitologica del 2012.

Inoltre è stata presa visione del "Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione", adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico in data 9 novembre 2012, pubblicata nella GU n.280 del 30.11.2012 con le relative norme di attuazione. Infine è

stata presa visione del catalogo delle frane nazionali *IFFI*, nonché la banca dati geologica provinciale riportata nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.).

In *Fig. 16* si riportano i perimetri delle zone di attenzione per instabilità di versante individuati come sopra descritti: se l'instabilità è considerata attiva, la simbologia presenta colorazione viola, mentre se quiescente la colorazione della simbologia appare arancione (per semplicità di rappresentazione); nella cartografia allegata le perimetrazioni $Z_{A_{FR}}$ sono rappresentate secondo quanto disposto nel paragrafo 2.2.8. degli Standard.

7.3. Liquefazioni

La liquefazione è un fenomeno di temporanea perdita di resistenza al taglio che può interessare terreni sabbioso-limosi sciolti o poco addensati saturi d'acqua. Si verifica quando lo scuotimento sismico induce un incremento di pressione interstiziale tale da produrre un momentaneo azzeramento della resistenza di taglio.

La liquefazione può avvenire se si verificano contemporaneamente i seguenti fattori predisponenti:

- intensità del sisma elevata;
- scuotimento sismico prolungato;
- accelerazione massima attesa sul piano campagna $> 0,1$ g;
- profondità media stagionale della falda inferiore a 15 m dal piano campagna;
- sedimenti con granulometria che rientra all'interno di un fuso ben definito.

Gli effetti della liquefazione sono ritenuti trascurabili quando lo spessore dello strato liquefacibile è minore dello spessore dello strato non liquefacibile sovrastante.

Sulla base delle indicazioni fornite da Youd & Perkins (1978), i depositi maggiormente soggetti a questi fenomeni sono tutti molto recenti. Tra questi ricordiamo i depositi di canale fluviale, di piana di esondazione, lacustri, dunari, deltizi, il loess, i depositi eluvio-colluviali.

Gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Ver. 4.0b* specificano al *Par 1.1.3* che le Zone di Attenzione per liquefazione ($Z_{A_{LQ}}$) siano individuate considerando 4 condizioni predisponenti:

- 1) presenza di terreni sabbiosi
- 2) falda a profondità inferiore a 15 m
- 3) M_w attesa al sito > 5.0
- 4) accelerazioni massime in superficie $> 0,1g$

Nella porzione pianeggiante del territorio comunale in esame è stata verificata l'esistenza delle 4 condizioni predisponenti sopra riportate; è stato quindi condotto uno studio approfondito, che ha condotto alla redazione della Carta dei depositi suscettibili di liquefazione, riportata in *Allegato 8*. Di seguito si descrive la metodologia che ha portato alla redazione della stessa.

7.3.1. Dati di partenza

Sono state prese in considerazione, dalla Carta delle Indagini dello Studio di MS, le sole prove che ricadono nella zona di fondovalle.

Le 7 prove considerate sono state scelte in base alla possibilità di individuare una interpretazione stratigrafica semplificata al fine di fornire per ogni strato valori quali *Resistenza alla punta* q_c e *Resistenza all'attrito laterale* f_s medi e parametri come *Peso di volume secco* e *Peso di volume saturo*. Per la quota della falda è stato utilizzato il valore di profondità minimo, cautelativo, di 1 m dal p.c. locale per tutte le 7 prove considerate.

Il sisma di progetto sulla base del quale si sono effettuati i calcoli del Fattore di Sicurezza alla liquefazione è stato assunto pari a 1.3 e Accelerazione massima in superficie 0.25.

7.3.2. Teoria utilizzata

Il metodo utilizzato per la determinazione del **Fattore di Sicurezza alla liquefazione (FS)** è il Metodo di Robertson e Wride (1997). Il metodo dapprima utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_c che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = [(3.47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} Rf + 1.22)^2]^{0.5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{Pa} * \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}}\right)^n$$

$$Rf = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} * 100$$

q_c = resistenza alla punta misurata.
 Pa = tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{v0} .
 f_s = attrito del manicotto.
 n = esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_c con la formula sopra riportata. Se $I_c > 2.6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma dato che il suolo non è liquefacibile. Se $I_c \leq 2.6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata e I_c deve essere ricalcolato nuovamente con la seguente formula:

$$Q = \frac{q_c}{Pa} * \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}}\right)^n$$

Si presume che il terreno sia granulare e si assume $n = 0.5$. Se è ancora $I_c \leq 2.6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare. Se invece $I_c > 2.6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. I_c deve essere nuovamente ricalcolato ponendo $n = 0.75$.

Calcolato I_c , si procede con la *correzione della resistenza alla punta misurata q_c* mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} * \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}}\right)^n$$

dove n è lo stesso del calcolo di I_c .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata con:

Metodo di $(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$
Robertson e Wride classico: $K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88$

Metodo di $(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$
Robertson e Wride modificato: $\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N}$

Dove K_c dipende dal contenuto di fine FC (%)

$K_c = 0$	per $FC \leq 5$
$K_c = 0.0267(FC - 5)$	per $5 < FC \leq 35$
$K_c = 0.8$	per $FC > 35$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC(\%) = 1.75(I_c)^{3.25} - 3.7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (CRR7,5) si calcola nel modo seguente:

- se $(q_{c1N})_{cs} < 50$: $CRR = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.5$

- se $(q_{c1N})_{cs} < 160$:

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.08$$

Il rapporto di sforzo ciclico CSR si calcola, secondo il metodo di Seed e Idriss (1971), ipotizzando un terreno omogeneo in cui la propagazione verticale di onde sismiche di taglio si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

$$\tau_{max} = \frac{a_g}{g} \gamma z$$

a_g = accelerazione massima in superficie
 g = accelerazione di gravità
 γ = peso di volume secco del terreno

Poiché nella realtà il terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido e quindi bisogna introdurre un coefficiente riduttivo r_d . Normalizzando con la pressione verticale effettiva e riferendosi ad un valore medio τ_{av} anziché ad un valore massimo τ_{max} si ottiene:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = CSR_{7.5} = 0.65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7.5. Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor):

$$CSR = \frac{CSR_{7.5}}{MSF}$$

Il valore del **Magnitudo Scaling Factor (MSF)** viene determinato come raccomandato dal NCEER secondo la Tabella seguente:

Magnitudo	NCEER <i>(Seed R. B. et al.) (1997; 2003)</i>	Magnitudo	NCEER <i>(Seed R. B. et al.) (1997; 2003)</i>
5.5	2,21	7.5	1,00
6.0	1,77	8.0	0,84
6.5	1,44	8.5	0,73
7.0	1,19		

mentre il **coefficiente r_d** è calcolato mediante la seguente procedura:

- se $9,15 \leq z < 23$ m: $r_d = 1.0 - 0.00765z$
- se $z < 9,15$ m: $r_d = 1.174 - 0.00267z$

dove z è la profondità in metri.

Si calcola FS con la seguente espressione:

$$Fs = \frac{CRR}{CSR}$$

CRR (Cyclic Resistance Ratio) = resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico

CSR (Cyclic Stress Ratio) = sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere $FS \leq 1,25$. Cautelativamente in questo lavoro, e secondo le direttive OPCM 3274, l'FS di riferimento per discriminare la suscettibilità o meno alla liquefazione è stato assunto **$FS \leq 1,30$** .

7.3.3. Carta dei depositi suscettibili di liquefazione

Per ogni verticale d'indagine è stato valutato il variare del **Fattore di Sicurezza alla liquefazione (FS)** in funzione della profondità. Si è scelto quindi di riportare in carta il valore minimo di FS individuato per ogni verticale; inoltre in *Allegato 9* si riportano le elaborazioni effettuate per ciascuna verticale indagata. L'*Allegato 9* evidenzia inoltre il variare del fattore di sicurezza in funzione della profondità ed il fattore di sicurezza minimo ottenuto in corrispondenza di ciascuna verticale.

Da questo primo approfondimento emerge che, limitatamente ai settori individuati, i depositi non risultano potenzialmente liquefacibili secondo le ipotesi prima descritte. Per questi motivi entro il territorio comunale non è stata quindi individuata una Zona di Attenzione per liquefazione (ZALQ). Appare evidente come, essendo tale elaborato basato su un numero limitato di dati sperimentali, sarà opportuno in fase di approfondimento di Livello 3 effettuare ulteriori indagini dirette integrative al fine di individuare eventuali aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

7.4. Cedimenti differenziali

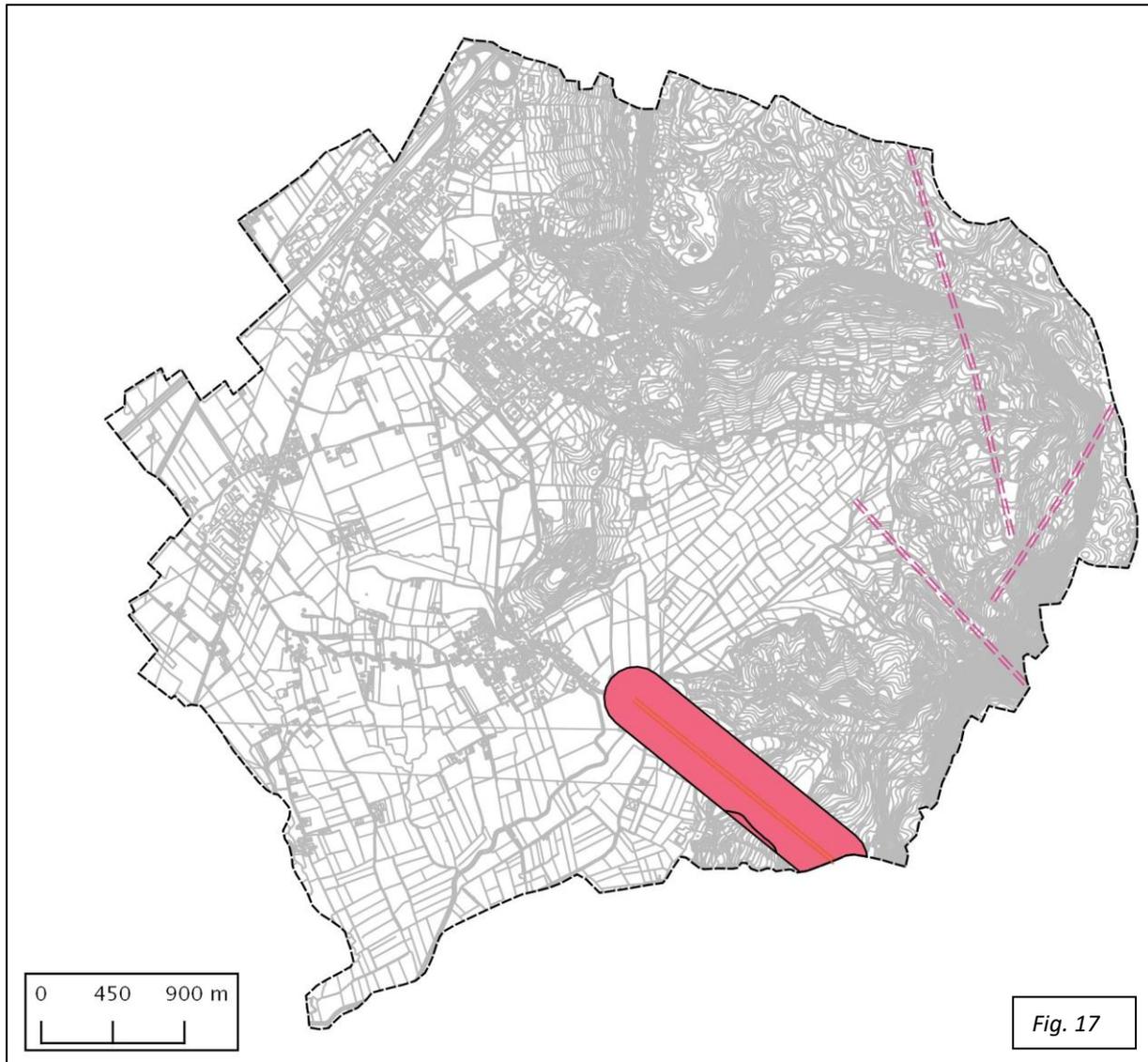
I cedimenti differenziali si possono verificare limitatamente alle zone adiacenti ai contatti fra formazioni con caratteristiche litologiche e meccaniche molto diverse.

Si riporta una definizione tratta dalla pubblicazione *Crespellani, T., Indagini geotecniche, in Faccioli, E. (a cura di), Elementi per una guida alle indagini di MS, Roma, 1986*: "Sotto l'effetto delle vibrazioni indotte dal sisma, i terreni granulari asciutti (possono subire) una compattazione volumetrica. Come conseguenza si ha un crescente miglioramento delle caratteristiche dinamiche del terreno (aumento del modulo di taglio e diminuzione del coefficiente di smorzamento), ma anche un abbassamento crescente del livello di superficie del deposito. Quando un tale tipo di terreno si trova a contatto con una roccia od un altro terreno molto competente, che non subisce quindi compattazione, si parla di cedimenti differenziali. Questi cedimenti possono in certi casi raggiungere un'entità tale da arrecare seri danni alle opere sovrastanti. L'importanza di questo fenomeno può essere legata a diversi fattori e, in particolare, alla densità relativa, all'ampiezza della deformazione di taglio, al numero dei cicli di carico ed allo stato di sforzo".

Si precisa che nell'ambito territoriale in esame non sono stati riconosciuti fenomeni riconducibili a tale tipologia di instabilità.

7.5. Faglie attive e capaci

Per faglia attiva si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (limite inferiore certo delle datazioni radiometriche). Una faglia attiva è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura/dislocazione del terreno; l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia. Si tratta di fenomeni di neoformazione (cosismici) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza di eventi sismici di intensità elevata; la riattivazione delle cosiddette faglie capaci (fagliazione di superficie) è la dislocazione istantanea verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio. Tale dislocazione deve essere riconducibile a un intervallo temporale relativo agli ultimi 40.000 anni, periodo per il quale una faglia può essere considerata verosimilmente attiva in Italia. La presenza di faglie capaci nel territorio comunale oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITalyHAzard from CApablefaults".



Come descritto nel par. 2.5, nel comune di Brendola si individua la presenza di una faglia attiva e capace, appartenente al sistema della Schio-Vicenza, con direzione NO-SE.

In particolare, la bibliografia individua il sistema della Schio-Vicenza come un fascio di faglie a rigetto sia orizzontale che verticale, con abbassamento del lato orientale che raggiunge anche i 200 m; le lineazioni si presentano con immersione prossima alla verticalità, nel settore di interesse presentano immersione verso NE, comunque con forte inclinazione.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle indagini

Nel primo elaborato cartografico previsto dallo studio di microzonazione sismica di livello 1, la Carta delle indagini, sono state rappresentate sia le indagini preesistenti, sia quelle realizzate *ex-novo* (cfr. paragrafo 4).

Si riporta di seguito la sintesi delle tipologie di indagini puntuali riportate nella carta delle indagini del territorio di Brendola, per un totale di n.134 punti d'indagine:

-  CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica: n.26
-  DL - Prova penetrometrica dinamica leggera: n.2
-  DN - Prova penetrometrica dinamica media: n.16
-  DS - Prova penetrometrica dinamica super-pesante: n.9
-  HVSr - Stazione microtremore a stazione singola: n.66
-  S - Sondaggio a carotaggio continuo: n. 6
-  SS - Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato: n.7
-  T - Trincea o pozzetto esplorativo: n.2

Inoltre presso il comune in studio sono state inserite le indagini lineari riportate nella carta delle indagini del territorio di Torrebeldicino, per un totale di n.32 siti d'indagine:

-  ReMi – Prova REfractionMIcrotremors: n.17
-  MASW: n.15

La tabella seguente riassume gli shape file, archiviati secondo i criteri previsti dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 4.0b), necessari alla predisposizione della carta.

Si riportano di seguito una descrizione sintetica degli elementi vettoriali rappresentati, le fonti di origine dei dati stessi e la cartella di archiviazione finale del file.

ELEMENTI DELLA CARTA DELLE INDAGINI			
Nome file shape	Tipologia	Fonti dei dati	Cartella di archiviazione
Ind_pu	Indagini di tipo puntuale	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Indagini ex-novo - HVSr ✓ Archivio professionale 	<i>Indagini</i>

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Archivio comunale ✓ ISPRA (Sondaggi Profondi e L. 464/84) 	
Ind_In	Indagini di tipo lineare	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Indagini ex-novo – MASW ✓ Indagini ex-novo – Re.Mi. ✓ Archivio professionale 	<i>Indagini</i>

Contestualmente alla realizzazione della carta sono stati archiviati i dati alfanumerici, descritti nella tabella di seguito, attraverso il software “SoftMS”: tale software permette di predisporre delle schede in forma tabellare che rappresentano l’archiviazione dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini. Si specifica che nel territorio di Brendola le indagini sono di tipologia sia puntuale sia lineare.

TABELLE CORRELATE ALLA CARTA DELLE INDAGINI	
Tabella	Descrizione contenuto
Sito_puntuale	Archiviazione siti di indagine puntuale (punto sulla sup. topografica in cui è stata effettuata un’indagine)
Indagini_puntuali	Archiviazione delle tipologie di indagine su di un sito puntuale
Parametri_puntuali	Archiviazione dei parametri associati alle prove descritte nella tabella “indagini_puntuali”
Sito_lineare	Archiviazione siti di indagine lineare (linea sulla sup. topografica lungo la quale è stata effettuata un’indagine)
Indagini_lineare	Archiviazione delle tipologie di indagine su di un sito lineare
Parametri_lineare	Archiviazione dei parametri associati alle prove descritte nella tabella “indagini_lineari”

8.2. Carta Geologico – Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)

Nell’elaborato cartografico Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), derivate da carte ed elaborati esistenti, necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* di livello 1, ed in particolare gli elementi:

- ✓ faglie,
- ✓ elementi geologici ed idrogeologici,
- ✓ orli di scarpate morfologiche,
- ✓ picchi morfologici,
- ✓ creste,
- ✓ assi di valli sepolte,
- ✓ aree con cavità sepolte e cavità isolate,
- ✓ aree di conoide alluvionale,
- ✓ unità litotecniche riferite al substrato lapideo e ai terreni di copertura,
- ✓ aree di instabilità di versante.

Nello specifico, la carta in oggetto deriva dall'estrapolazione degli elementi utili dalle carte geomorfologica e geolitologica del P.A.T. (Piano di Assetto Territoriale) e del P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale), dalla carta della pericolosità geologica del comune di Brendola del *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione* (P.A.I) e dall'ISPRA – Servizio Geologico e dall'archivio nazionale IFFI: gli elementi individuati dai suddetti documenti sono stati quindi confrontati con l'interpretazione della topografia del territorio attraverso la carta tecnica regionale in formato numerico (CTRN) e sue elaborazioni. Si precisa infatti che le interpretazioni topografiche utili alla definizione morfologica del territorio sono state condotte anche attraverso la realizzazione del modello digitale del terreno (DTM); è stato quindi approfondito l'assetto morfologico con la realizzazione della *Carta delle pendenze del rilievo* (cfr - *Allegato 6*), come descritto a seguire (*paragrafo 8.5.2*).

Relativamente ai terreni di ricoprimento del substrato roccioso, si precisa che i depositi quaternari costituiscono i terreni superficiali diffusi in tutta la porzione di territorio collinare: si tratta di coltri detritiche di alterazione del substrato roccioso, di spessore variabile tra 0,5 e 3,0 m, in funzione della situazione morfometrica, rappresentati principalmente da depositi eluvio-colluviali di natura prevalentemente limoso-argillosa. In particolare sono materiali formati durante tutto il quaternario, di copertura detritica, derivati dall'alterazione della roccia in posto e/o da sedimenti che hanno subito un breve trasporto prima di venire temporaneamente ridepositati nelle zone di versante poco acclivi.

Le unità geotecniche della *Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica* sono state definite associando i litotipi individuati nella carta litologica del P.A.T. (riviste in occasione del presente lavoro) a classi predefinite previste dalla classificazione Unified Soil Classification System, distinte tra terreni di copertura e substrato geologico; il quadro descrittivo dei litotipi è stato integrato definendo anche lo stato di addensamento o di consistenza dei terreni e l'ambiente deposizionale.

Si riporta di seguito una breve descrizione delle unità geologico-tecniche individuate con i relativi codici riportati anche in carta e le corrispondenze con le litologie descritte nel *par. 5.1*:

SUBSTRATO GEOLOGICO E TERRENI DI COPERTURA NELLA CARTA GT	DESCRIZIONE	CORRISPONDENZA GEOLITOLIGICA
Substrato lapideo stratificato (LPS)	substrato lapideo stratificato rappresentato da calcari e calcareniti bioclastici e nulliporici compatti	Calcareniti di Castelgomberto
Alternanza di litotipi, stratificato (ALS)	substrato lapideo rappresentato marne, siltiti e argilliti con strati calcarei, calcareo marnosi o arenacei subordinati	Formazione di Priabona
Substrato lapideo fratturato e alterato (SFLP)	substrato lapideo fratturato ed alterato rappresentato da basalti, lave a cuscini, filoni e neck	Basalti di colata lavica
Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (GCec)	eluvio/colluvio, prevalentemente incoerente, poco addensato	Materiali della copertura detritica eluvio/colluviale Depositi di frana
Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLec)	eluvio/colluvio, prevalentemente coesivo, poco consistente	Materiali della copertura detritica eluvio/colluviale Depositi di frana

Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLcz)	conoide di deiezione, prevalentemente coesivo, moderatamente consistente	Depositi delle conoidi torrentizie
Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLfg)	alluvioni prevalentemente argillose, coesive, moderatamente consistenti	Depositi alluvionali fluvioglaciali
Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla (SCfg)	alluvioni prevalentemente sabbiose, incoerenti, poco addensate	Depositi alluvionali fluvioglaciali
Argille organiche di medio-alta plasticità, Limi organici (OHpd)	Depositi di piana pedemontana, coesivi, poco consistenti	Piana pedemontana
Terreni contenenti resti di attività antropica (Rlzz).	materiali riportati (demolizioni edili, limi e argille), poco addensati	Terreni di riporto

Dal punto di vista realizzativo, si è scelto di redigere la carta in formato vettoriale, archiviando le informazioni in formato shapefile.

La tabella seguente elenca, riassumendoli, i vari shapefile, archiviati secondo i criteri previsti dagli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, necessari alla predisposizione della carta: si riportano una descrizione sintetica degli elementi vettoriali rappresentati, le fonti di origine dei dati stessi e la cartella di archiviazione finale del file.

ELEMENTI DELLA CARTA GEOLOGICA - TECNICA			
Nome file shape	Tipologia	Fonti dei dati	Cartella di archiviazione
Elineari	Elementi morfologici lineari e strutturali: - Faglia attiva e capace/potenzialmente attiva e capace - Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale - Cresta - Asse di valle sepolta stretta/larga - Traccia sezione geologica	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ ITHACA ✓ PAI Brenta Bacchiglione ✓ P.T.C.P.	<i>Geotec</i>
Epuntuali	Elementi morfologici puntuali: - Picco isolato - Cavità sepolta isolata	✓ CTRN ✓ DTM ✓ P.T.C.P. ✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico	<i>Geotec</i>
Forme	Forme di superficie: - Conoide alluvionale - Area con cavità sepolte	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	<i>Geotec</i>
Geoidr	Elementi puntuali geologici e geomorfologici: - Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m) - Pozzo o sondaggio che non ha	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ ISPRA ✓ Ind_pu	<i>Geotec</i>

Geol. RIMSKY VALVASSORI – Studio di Geologia Tecnica

✉ 36100 VICENZA – Via dell’Oreficeria, 30/L

☎: 0444.340136 - 📠: 0444.809179 - Ordine dei Geologi del Veneto n°507

C.F. VLVRSK71H02A794P - P. IVA 02662110242

📧: info@studiogeosistemi.it – 🌐: www.studiogeosistemi.it – 📞 335.8154346

	raggiunto il substrato geologico (profondità in m) - Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie		
Geotec	Unità geologico tecniche: - Terreni di copertura - Substrato	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P. ✓ PROGETTO GIADA	Geotec
Instab	- Zone di instabilità di versante	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ PAI Brenta Bacchiglione ✓ Archivio IFFI ✓ Archivio professionale	MS1

Nella carta geologico-tecnica sono state infine inserite le tracce delle sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo: come specificato nel paragrafo 6.2, in allegato si riportano le n.2 sezioni litotecniche, che rappresentano gli schemi dei rapporti stratigrafici più significativi per l'area studiata (*Allegato 3: Sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo*).

8.3. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (Carta MOPS) costituisce il documento principale della microzonazione sismica di livello 1: tale elaborato indica le aree suscettibili di eventuali problematiche a seguito di un evento sismico. Sono state quindi individuate le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente.

In generale, lo studio di MS di livello 1 permette l'individuazione delle seguenti *microzone omogenee*, ove è prevedibile il verificarsi di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica:

a. AREE STABILI NON SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

Sono aree stabili perché non si ipotizzano effetti di alcuna natura, dove è affiorante il substrato geologico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (<15°), con $V_s > 800$ m/s, non potenzialmente soggette a fenomeni di instabilità innescabili dallo scuotimento sismico quali frane di crollo, di colata, di scivolamento rotazionale, cedimenti per collasso di cavità sotterranee, per densificazione di terreni insaturi, per liquefazione di terreni saturi, rotture sulla superficie topografica per riattivazione di faglie capaci.

Sono aree non suscettibili di amplificazione sismica perché presentano una morfologia regolare e perché sono modellate su suoli di tipo A. Appartengono a questa categoria le rocce lapidee a fratturazione debole o assente, la copertura quaternaria di spessore inferiore ai 3 m poggiate su rocce del tipo sopradescritto, i depositi quaternari particolarmente addensati e cementati (ad esempio alcuni conglomerati postglaciali). Nelle aree non suscettibili di amplificazione sismica la risposta sismica è quella attesa, in funzione della magnitudo e della distanza ipocentrale del terremoto.

b. AREE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA (LOCALE)

Sono aree stabili perché non soggette od esposte ai fenomeni di instabilità, ma suscettibili di amplificazione sismica perché modellate su suoli di tipo diverso da A e/o perché caratterizzate da topografia accidentata in cui è possibile individuare creste, orli di scarpata e cime isolate e, infine, perché si sovrappongono a linee di contatto tra mezzi geologici a caratteristiche elastiche molto diverse tra loro. Sono zone in cui sono presenti coperture > 3 m, con spessori > 5 m. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni riportate nel campo carta hanno una corrispondenza univoca con una successione litologica descritta nella Relazione Illustrativa.

c. AREE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITA'

Sono le aree in cui gli effetti sismici attesi sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio; corrispondono alle "zone suscettibili di instabilità" definiti dagli Standard 2.0, ormai superati.

Gli Standard 3.0 definiscono per il livello 1 le Zone di Attenzione, ossia zone nelle quali i dati a disposizione non sono sufficienti in quantità e/o tipologia per definire se l'instabilità si verificherà effettivamente in caso di evento sismico; non possono ancora essere classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano condotti i necessari approfondimenti del Livello 3 (definizione delle zone di suscettibilità – ZS – o zone di rispetto – ZR –).

Le Linee Guida utilizzate per la stesura del presente studio di MS suddividono le suddette aree in:

- Zone di attenzione per le instabilità di versante, distinte per attività (attiva, quiescente, inattiva) - Z_{FR}
- Zone di attenzione per liquefazione di terreni saturi - Z_{LQ}
- Zone di attenzione per faglia attiva e capace – Z_{FAC}
- Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee Z_{CD}
- Sovrapposizione di zone di attenzione per instabilità differenti Z_{ID}

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del territorio di Brendola è stata redatta sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni ed alle instabilità riportate nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica.

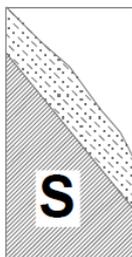
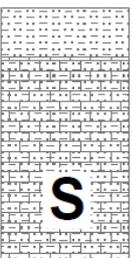
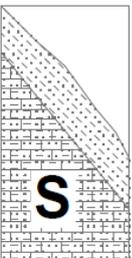
Lo studio di MS di livello 1 ha suddiviso il territorio comunale in n.2 tipologie di zone omogenee previste (**zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, zone di attenzione per instabilità**); non sono invece state individuate zone stabili.

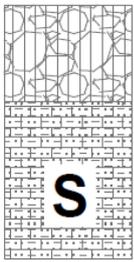
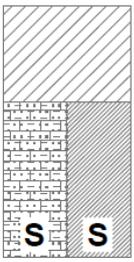
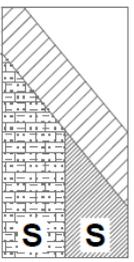
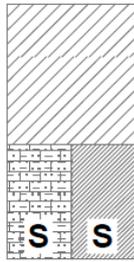
Si riporta di seguito la descrizione nel dettaglio delle tipologie di zone individuate e le colonne stratigrafiche schematiche, rappresentative della microzona alla quale fanno riferimento.

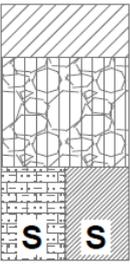
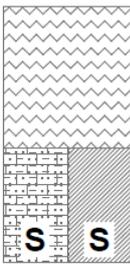
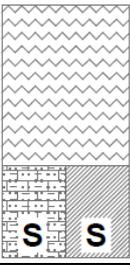
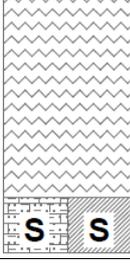
LEGENDA

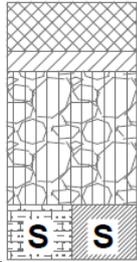
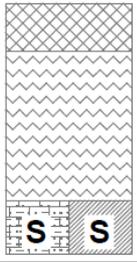
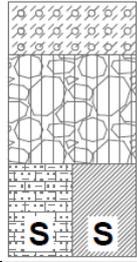
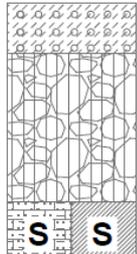
	Substrato geologico fratturato/alterato (SFLP)
	Substrato geologico lapideo stratificato (LPS)
	Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato (ALS)
	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLec, CLcz, CLfg)
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMec)
	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla (SCfg)
	Argille organiche di medio-alta plasticità, limi organici (OHpd)
	Terreni contenenti resti di attività antropica (Rlzz)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

<p>Zona 0 - 2099</p> 	<p>Rappresenta le zone di affioramento e sub affioramento di Basalti di colata lavica. Il grado di alterazione e fratturazione spesso elevato è tale da conferire alla massa rocciosa un aspetto disgregato; il suo grado di alterazione ed il suo spessore possono causare amplificazioni. Lo spessore della coltre di ricoprimento detritica si attesta ad una profondità massimo di 3 m. Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza > 7 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato. La variabilità delle frequenze dei picchi è in stretta relazione con gli spessori del deposito; frequenze basse sono legati a maggiori spessori, in modo opposto alte frequenze si riferiscono a spessori più limitati. Le misure di frequenza effettuate nelle zone di affioramento di tali depositi confermano questa tendenza.</p>
<p>Zona 1 - 2001</p>  <p>0 - 3 m</p>	<p>Rappresenta le zone di affioramento e sub affioramento del substrato lapideo stratificato (LPS), che presenta nel complesso un basso grado di fratturazione e alterazione, caratterizzato comunque da $V_s < 800$ m/s, su superfici topografiche sub-pianeggianti ($< 15^\circ$) rappresentato da calcari e calcareniti bioclastici e nulliporici compatti, a stratificazione per lo più irregolare od indistinta, spesso in banchi. Lo spessore della coltre di ricoprimento detritica si attesta ad un massimo di 3 m.</p>
<p>Zona 2 - 2002</p>  <p>0 - 3 m</p>	<p>Rappresenta il substrato lapideo stratificato (LPS) (cfr. Zona 1), caratterizzato da $V_s < 800$ m/s, con terreni di ricoprimento eluvio-colluviali di spessore < 3 m, ed affiorante su superfici topografiche aventi inclinazione $> 15^\circ$: il fattore di amplificazione in questa zona è rappresentato dalla topografia che può comportare amplificazione per focalizzazione (pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello > 30 m, bordi di scarpate con altezza > 10 m, picchi morfologici, creste).</p>
<p>Zona 3 - 2003</p>  <p>0 - 3 m</p>	<p>Rappresenta le zone di affioramento e sub affioramento del substrato roccioso stratificato costituito da alternanze di litotipi (ALS), rappresentato da marne, siltiti e argilliti con strati calcari, calcareo marnosi o arenacei subordinati. Presenta nel complesso caratteristiche geomeccaniche scadenti a causa dell'elevato grado di erodibilità e facile degradabilità, caratterizzato da $V_s < 800$ m/s, su superfici topografiche sub-pianeggianti ($< 15^\circ$). Lo spessore della coltre di ricoprimento detritica si attesta ad un massimo di 3 m.</p>
<p>Zona 4 -2004</p>  <p>0 - 3 m</p>	<p>Rappresenta il substrato stratificato costituito da alternanze di litotipi (ALS) (cfr. Zona 3), caratterizzato da $V_s < 800$ m/s, con terreni di ricoprimento eluvio-colluviali di spessore < 3 m, ed affiorante su superfici topografiche aventi inclinazione $> 15^\circ$: il fattore di amplificazione in questa zona è rappresentato dalla topografia che può comportare amplificazione per focalizzazione (pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello > 30 m, bordi di scarpate con altezza > 10 m, picchi morfologici, creste). Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza > 7 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato. In alcune zone si sono riscontrati picchi con alti valori H/V a frequenze inferiori a 7 Hz, a testimonianza del fatto che tali terreni presentano all'interno delle profondità investigate significativi contrasti di impedenza sismica tali da poter generare alti</p>

		<i>picchi di frequenza.</i>
<p>Zona 5 -2005</p>  <p>3 – 10 m</p>	<p><i>Rappresenta aree del rilievo collinare dove sono presenti terreni di ricoprimento eluvio-colluviale a prevalente tessitura ghiaioso - argillosa inglobante elementi litoidi da minuti a grossolani, con spessore variabile fino a 10 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente incoerente, moderatamente addensati e poggiano su un substrato lapideo fratturato ed alterato caratterizzato da Vs > 800 m/s.</i></p> <p><i>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza maggiori di 3,5Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</i></p>	
<p>Zona 6 -2006</p>  <p>3 – 10 m</p>	<p><i>Rappresenta aree del rilievo collinare dove sono presenti terreni di ricoprimento eluvio-colluviale a prevalente tessitura ghiaioso - argillosa inglobante elementi litoidi da minuti a grossolani (cfr. Zona 5), con spessore variabile fino a 10 m, su superfici topografiche aventi inclinazione > 15°; tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente incoerente, moderatamente addensati e poggiano su un substrato lapideo fratturato e alterato caratterizzato da Vs > 800 m/s.</i></p> <p><i>Il fattore di amplificazione in questa zona è rappresentato dalla topografia che può comportare amplificazione per focalizzazione (pendii con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m, bordi di scarpate con altezza > 10 m, picchi morfologici, creste).</i></p>	
<p>Zona 7 -2007</p>  <p>3 – 10 m</p>	<p><i>Rappresenta aree del rilievo collinare dove sono presenti terreni di ricoprimento eluvio-colluviale di alterazione del substrato o di conoide di deiezione torrentizia con spessore tra i 3 e i 10 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da Vs > 800 m/s.</i></p> <p><i>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza compresi tra 4 e 2,5 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</i></p>	
<p>Zona 8 -2008</p>  <p>3 – 10 m</p>	<p><i>Rappresenta aree del rilievo collinare dove sono presenti terreni di ricoprimento eluvio-colluviale di alterazione del substrato o di conoide di deiezione torrentizia con spessore tra i 3 e i 10 m (cfr. Zona 7), su superfici topografiche aventi inclinazione > 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente incoerente, moderatamente addensati e poggiano su un substrato lapideo fratturato e alterato caratterizzato da Vs > 800 m/s.</i></p> <p><i>Il fattore di amplificazione in questa zona è rappresentato dalla topografia che può comportare amplificazione per focalizzazione (pendii con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m, bordi di scarpate con altezza > 10 m, picchi morfologici, creste).</i></p>	
<p>Zona 9 -2009</p>  <p>10 – 50 m</p>	<p><i>Rappresenta le aree a debole pendenza e sub-pianeggianti poste alla base dei versanti collinari il cui sottosuolo è occupato da sedimenti di natura prevalentemente argilloso – limosa; rappresentano i depositi pedecollinari, in parte interdigitati con le alluvioni della pianura e del fondovalle. Il substrato si attesta a profondità tra 10 e 50 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da Vs > 800 m/s.</i></p> <p><i>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza compresi tra 4 e 2,5 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</i></p>	

<p>Zona 10 - 2010</p>  <p>50 - 100 m</p>	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra delle alluvioni fluvioglaciali più grossolane, sono presenti da 5 a 10 m di alluvioni fini prevalentemente coesive, poco consistenti. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il substrato si attesta a profondità tra 50 e 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 2 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 11 - 2011</p>  <p>> 100 m</p>	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra delle alluvioni fluvioglaciali più grossolane, sono presenti da 5 a 10 m di alluvioni fini prevalentemente coesive, poco consistenti. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il substrato si attesta a profondità maggiori di 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza inferiori a 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 12 - 2012</p>  <p>10 - 50 m</p>	<p>Rappresenta le aree a debole pendenza e sub-pianeggianti poste alla base dei versanti collinari, il cui sottosuolo è occupato da materiali alluvionali e lacustri a tessitura limo - argillosa, poco consistenti. Il substrato si attesta a profondità tra 10 e 50 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p>
<p>Zona 13 - 2013</p>  <p>50 - 100 m</p>	<p>Rappresenta aree di fondovalle occupate da materiali alluvionali e lacustri a tessitura limo - argillosa, poco consistenti. Il substrato si attesta a profondità tra 50 e 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza compresi tra 1 e 2 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 14 - 2014</p>  <p>> 100 m</p>	<p>Rappresenta aree di fondovalle occupate da materiali alluvionali e lacustri a tessitura limo - argillosa, poco consistenti. Il substrato si attesta a profondità maggiori di 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza inferiori a 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>

<p>Zona 15 - 2015</p> 	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra delle alluvioni fluvioglaciali più grossolane (cfr. Zona 10), sono presenti da 5 a 10 m di terreni antropici di natura prevalentemente incoerente, poco addensati. Il substrato roccioso si colloca ad una profondità compresa tra 50 e 100 m. Possono essere presenti livelli argillosi di spessore variabile.</p>
<p>Zona 16 - 2016</p> 	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra dei materiali alluvionali e lacustri a tessitura limo – argillosa (cfr. Zona 14), sono presenti da 5 a 10 m di terreni antropici di natura prevalentemente incoerente, poco addensati. Il substrato roccioso si colloca a profondità maggiori di 100 m.</p>
<p>Zona 17 - 2017</p> 	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra delle alluvioni fluvioglaciali più grossolane, sono presenti alcuni m di alluvioni sabbioso argillose prevalentemente incoerenti, poco addensate. Il substrato si attesta a profondità tra 50 e 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.</p>
<p>Zona 18 - 2018</p> 	<p>Rappresenta aree di fondovalle dove, al di sopra delle alluvioni fluvioglaciali più grossolane, sono presenti alcuni m di alluvioni sabbioso argillose prevalentemente incoerenti, poco addensate. Il substrato si attesta a profondità maggiori di 100 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°: tali terreni di copertura si presentano nel complesso di natura prevalentemente coesiva, moderatamente consistenti e poggiano su un substrato lapideo caratterizzato da $V_s > 800$ m/s. Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza maggiori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>

ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'

Nel territorio in esame si distinguono:

- Zone di attenzione per instabilità di versante – $Z_{A_{FR}}$
- Zone di attenzione per Faglie Attive e Capaci – $Z_{A_{FAC}}$
- Zona di attenzione per sovrapposizione di Instabilità Differenti - $Z_{A_{ID}}$

Le aree soggette a fenomeni di instabilità di versante individuate comprendono solo le aree di potenziale distacco (zone di innesco) e non i perimetri di pericolosità geomorfologica da esse generate.

Gli effetti sismici attesi e predominanti in queste aree sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

Per la rappresentazione delle Zone di attenzione per instabilità di versante, la simbologia proposta dagli *Standard Ver.4.0b* prevede la sovrapposizione al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino a linee inclinate di colore nero; questa rappresentazione conserva le informazioni sulla stratigrafia della microzona permettendo, se gli approfondimenti di Livello

Geol. RIMSKY VALVASSORI – Studio di Geologia Tecnica

✉ 36100 VICENZA – Via dell'Oreficeria, 30/L

☎: 0444.340136 - 📠: 0444.809179 - Ordine dei Geologi del Veneto n°507

C.F. VLVRSK71H02A794P - P. IVA 02662110242

📧: info@studiogeosistemi.it – 🌐: www.studiogeosistemi.it – 📞 335.8154346

3 non confermano l'instabilità, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questa zona. Le Zone stabili suscettibili di amplificazioni sismiche interessate dalla presenza delle zone di attenzione per instabilità di versante sono: 2003 e 2004.

Si vuole sottolineare che la Zona di attenzione per Faglie Attive e Capaci – ZAFAC è generata dalla presenza di una Faglia attiva e capace al di fuori del territorio comunale.

Nella tabella seguente sono elencati gli shape file necessari alla predisposizione della carta; archiviati secondo i criteri previsti dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica; si riporta inoltre una descrizione sintetica degli elementi vettoriali rappresentati, le fonti di origine dei dati stessi e la cartella di archiviazione finale del file.

ELEMENTI DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA			
Nome file shape	Tipologia	Fonti dei dati	Cartella di archiviazione
Elineari	Elementi morfologici lineari e strutturali: - Faglia attiva e capace - Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale - Cresta - Asse di valle sepolta stretta/larga - Traccia sezioni topografiche	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ ITHACA ✓ PAI Brenta Bacchiglione ✓ P.T.C.P.	Geotec
Epuntuali	Elementi morfologici puntuali: - Picco isolato - Cavità sepolta isolata	✓ CTRN ✓ DTM ✓ P.T.C.P.	Geotec
Forme	Forme di superficie: - Conoide alluvionale - Area con cavità sepolte	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	Geotec
Instab	Zone di attenzione per instabilità: - Instabilità di versante - Faglie attive e capaci - Sovrapposizione di zone	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ PAI Brenta Bacchiglione ✓ Archivio IFFI ✓ ITHACA	MS1
Stab	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	✓ Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica ✓ Modello delle acclività del terreno ✓ Elaborazioni	MS1

Contestualmente alla realizzazione della carta in oggetto, è stato predisposto lo shape file denominate "Isosub", che rappresenta le isobate del substrato sepolto. Per questioni di leggibilità le isobate non sono state riportate sulla carta; tali dati sono stati comunque archiviati come previsto dagli standard. La tabella seguente riassume brevemente gli elementi vettoriali rappresentati, le fonti di origine dei dati stessi e la cartella di archiviazione finale del file.

ULTERIORI ELEMENTI DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA			
Nome file shape	Tipologia	Fonti dei dati	Cartella di archiviazione
Isosub	Isobate del substrato sepolto	✓ Ind_pu – Microzonazione sismica	MS1

In allegato (*Allegato 5: Carta della quota del substrato roccioso*) vengono rappresentate le isobate del substrato roccioso.

Nella carte delle MOPS vengono inoltre indicate le tracce dei profili topografici (riportate in *Allegato 4 – Profili topografici*), rappresentative di potenziali situazioni di amplificazione topografica; tali amplificazioni dovranno essere quantificate nei livelli di approfondimento successivi.

8.4. Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)

Lo studio di microzonazione sismica di livello 2 si pone come obiettivo quello di compensare le incertezze proprie del livello 1, con idonei approfondimenti conoscitivi. Il livello 2, inoltre, mira a fornire quantificazioni numeriche della modificazione locale del moto sismico in superficie.

Per il raggiungimento di tali obiettivi si è presa in considerazione la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS, livello 1) al fine di individuare le aree con i maggiori livelli di incertezza e programmare eventuali nuove indagini.

Tale analisi ha preso in considerazione le caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e geotecniche delle diverse zone e le ha integrate con i dati geologici, geomorfologici e geologico-tecnici già raccolti e valutati.

Di seguito vengono quindi riassunte le metodologie operative che hanno permesso la redazione dell'elaborato Carta di microzonazione sismica di Livello 2, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, od a parti di esse, della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):

- *Acquisizione della Carta delle Indagini, predisposta per lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, dove sono state localizzate le indagini, sia puntuali sia lineari, pregresse e di nuova esecuzione (ad-hoc).*
- *Definizione della macrozona di pericolosità sismica alla quale il territorio comunale appartiene.*
- *Analisi della documentazione di livelli 1 e scelta della litologia prevalente nei terreni di copertura.*
- *Definizione della profondità del basamento sismico (velocità delle onde S superiori a 800 m/s).*
- *Definizione dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media VS delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico.*
- *Analisi delle pendenze del terreno.*
- *Utilizzo dei dati in ingresso per la quantificazione delle amplificazioni attraverso l'utilizzo di "abachi".*
- *Stesura della Cartografia*

Il risultato di questa analisi è la Carta di Microzonazione sismica di livello 2, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, od a parti di esse, della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Gli abachi utilizzati per queste valutazioni sono gli abachi ICMS 2008, proposti negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica", poiché a livello regionale non sono ancora stati predisposti specifici abachi di riferimento. Questa procedura permette di fornire una stima della risposta sismica locale in termini di fattori di amplificazione.

Vanno distinti gli abachi in due tipologie principali:

- abachi per amplificazioni litostratigrafiche;
- abachi per amplificazioni topografiche.

Per i primi la procedura è valida per le modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali, e non tiene conto degli effetti topografici, degli effetti 2D e di eventuali aggravii del moto dovuti a deformazioni permanenti. È raccomandato l'utilizzo degli abachi per un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a "n strati" piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico.

I secondi invece, secondo l'Eurocodice 8, si utilizzeranno nel caso di rilievi particolarmente acclivi. Nel caso in cui $\alpha < 15^\circ$ e $H < 30$ m, invece, è possibile utilizzare gli abachi per amplificazioni litostratigrafiche, considerando l'effetto litologico prevalente sull'effetto morfologico.

Lo studio di MS di livello 1 ha suddiviso il territorio comunale in n.2 tipologie di zone omogenee previste (**zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, zone di attenzione per instabilità**); non sono state individuate zone stabili.

Come previsto dagli Standard, le zone suscettibili di instabilità della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 conservano la geometria della ZA della Carta delle MOPS, ma sono rappresentate da un simbolo che prevede lo stesso retino della ZA con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli abachi, se applicabili.

È stato quindi attribuito, alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, un parametro che quantifica l'amplificazione locale del moto sismico di base; tali parametri sono stati raggruppati in classi di fattori di amplificazione.

Si precisa che le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici, valutati nelle porzioni di valle e pianura del territorio Comunale di Brendola sono state espresse con due fattori numerici (FA, FV).

Di seguito viene riportata una tabella contenente i dati di input, caratterizzanti queste porzioni territoriali, e i dati di output, ottenuti utilizzando gli abachi ICMS 2008, del fattore di amplificazione (FA, FV).

DATI DI INPUT					DATI DI OUTPUT	
Tipo terreno	$a_g(g)$	Profilo velocità	$V_{SH}(m/s)$	H (m)	FA	FV
Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia	200	70	1.43	2.20
				130	1.1	1.94
Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia	250	30	1.87	2.38
Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia	300	30	1.80	1.97
				70	1.59	2.06
				130	1.31	1.73

Alle zone di cresta e per le scarpate in roccia è stato possibile attribuire un fattore di amplificazione topografica (Ft) espresso con la stessa simbologia e le stesse classi degli altri parametri di amplificazione.

Nel caso delle zone di cresta, per il comune di Brendola, sono stati assunti i fattori di amplificazione Ft in base agli abachi per creste rocciose forniti negli Indirizzi e criteri per la Microzonazione.

Nel complesso le creste individuate presentano tutte una larghezza in cresta (I) molto inferiore alla larghezza alla base (L); per questo motivo sono state individuate come creste appuntite. La variabilità delle larghezze alla base e dei dislivelli altimetrici massimi implica che i fattori di amplificazione Ft individuati sia compresi in un range tra 1.1 e 1.3.

DATI DI INPUT			DATI DI OUTPUT	
Tipo di cresta			H/L	Ft
Cresta appuntita	$I < 1/3 L$	$L > 350$	Variabile da cresta a cresta	1.1 – 1.2
				1.3 – 1.4

		$250 < L < 350$	Variabile da cresta a cresta	1.1 - 1.2
		$150 < L < 250$	Variabile da cresta a cresta	1.1 - 1.2
		$L < 150$	Variabile da cresta a cresta	1.3 - 1.4
				1.1 - 1.2

Nel caso delle zone di scarpata invece, sono stati assunti i fattori di amplificazione F_t in base agli abachi per scarpate rocciose forniti negli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica: nel complesso si tratta di scarpate di classe altimetrica $H > 40$ m e scarpate di classe altimetrica compresa tra 20 e 40 m; queste condizioni vanno ad individuare valori di F_t come riportato a seguire:

DATI DI INPUT		DATI DI OUTPUT	
Scarpate rocciose		Classe di inclinazione	F_t
Scarpate rocciose	$H > 40$ m	$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	1.3
		$20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$	1.2
	20 m $< H \leq 40$ m	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2

Sia per le creste che per le scarpate il valore di amplificazione determinato è stato assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta o al ciglio del fronte superiore; mentre all'interno della relativa area di influenza il valore è stato scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.

Si vuole infine precisare che nel caso della valutazione dei fattori di amplificazione in presenza di morfologie non ricadenti nei casi sopra descritti non è stato possibile utilizzare i metodi semplificati propri del livello 2 (abachi), in quanto sviluppati per caratterizzare contesti monodimensionali. Per tali aree sarà necessario un livello III di approfondimento nel quale verranno valutate tramite codici di calcolo bidimensionali o tridimensionali. Nel caso del presente studio di livello 2 tali aree sono state lasciate bianche come "non caratterizzabili attraverso approcci semplificati".

Si riporta di seguito la descrizione nel dettaglio delle classi del parametro di amplificazione (F_a o F_t), attribuiti alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; si riporta inoltre, per maggior chiarezza, la definizione delle zone di attenzione per le instabilità, riportate dallo studio di MS di livello 1.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

CLASSE: F_a , $F_t = 1,1 - 1,2$ Ricadono in questa classe:

- Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 200$ m/s) maggiore di 100 m
- Aree soggette ad amplificazioni topografiche: cigli di scarpate caratterizzate da $H > 40$ m e inclinazione con angolo $20^\circ < \alpha < 40^\circ$; cocuzzoli di modeste dimensioni e dislivelli altimetrici contenuti
- Aree soggette ad amplificazioni topografiche: creste appuntite con $L < 350$ m e dislivelli altimetrici.

<i>CLASSE: FA, Ft = 1,3 -1,4</i>	<i>Ricadono in questa classe:</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Aree soggette ad amplificazioni topografiche: cigli di scarpate caratterizzate da $H > 40$ m e inclinazione con angolo $40^\circ < \alpha < 60^\circ$; cocuzzoli di modeste dimensioni e dislivelli altimetrici contenuti</i>- <i>Aree soggette ad amplificazioni topografiche: creste appuntite con $L > 350$ m e dislivelli altimetrici contenuti.</i>- <i>Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 300$ m/s) maggiore di 100 m.</i>- <i>Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 200$ m/s) compreso tra 50 e 100 m</i>
<i>CLASSE: FA, Ft = 1,5 -1,6</i>	<i>Ricadono in questa classe:</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 300$ m/s) compreso tra 50 e 100 m</i>
<i>CLASSE: FA, Ft = 1,7 -1,8</i>	<i>Ricadono in questa classe:</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 300$ m/s) compreso tra 10 e 50 m</i>
<i>CLASSE: FA, Ft = 1,9 -2,0</i>	<i>Ricadono in questa classe:</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi argillosi ($V_s = 250$ m/s) compreso tra 10 e 50 m</i>

ZONE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITA'

Nel territorio in esame di distinguono:

- *Zone di attenzione per instabilità di versante – $Z_{A_{FR}}$ con Ft 1.1 – 1.2*
- *Zone di attenzione per instabilità di versante – $Z_{A_{FR}}$ con FA 1.9 – 2.0*
- *Zone di attenzione per instabilità di versante – $Z_{A_{FR}}$ con Ft n.d.*
- *Zone di attenzione per Faglie Attive e Capaci – $Z_{A_{FAC}}$*
- *Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti– $Z_{A_{ID}}$*

Le aree soggette a fenomeni di instabilità di versante individuate comprendono solo le aree di potenziale distacco (zone di innesco) e non i perimetri di pericolosità geomorfologica da esse generate.

Gli effetti sismici attesi e predominanti in queste aree sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

Come previsto dagli Standard, zone suscettibili di instabilità di versante conservano la geometria delle ZA della Carta delle MOPS, ma sono rappresentate da un simbolo che prevede lo stesso retino della ZA, con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli Abachi, se applicabili

La tabella seguente riassume gli shape file, archiviati secondo i criteri previsti dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, necessari alla predisposizione della carta; si riportano una descrizione sintetica degli elementi vettoriali rappresentati, le fonti di origine dei dati stessi e la cartella di archiviazione finale del file.

ELEMENTI DELLA CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA			
Nome file shape	Tipologia	Fonti dei dati	Cartella di archiviazione
Instab	Zone di attenzione per instabilità: - Instabilità di versante - Faglie attive e capaci - Sovrapposizione di zone	✓ Instab MS1	MS23
Elineari	Elementi morfologici lineari e strutturali: - Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale - Cresta - Asse di valle sepolta stretta/larga	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ PAI Brenta Bacchiglione ✓ P.T.C.P.	Geotec
Epuntuali	Elementi morfologici puntuali: - Picco isolato - Cavità sepolta isolata	✓ CTRN ✓ DTM ✓ P.T.C.P.	Geotec
Forme	Forme di superficie: - Conoide alluvionale - Area con cavità sepolte	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	Geotec
Isosub	Isobate del substrato sepolto	✓ Isosub MS23	MS23
Stab	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	Elaborazione	MS23

8.5. Ulteriori elaborati cartografici specifici

8.5.1. Carta delle frequenze fondamentali dei depositi

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia, rispetto a quest'ultimo documento, sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Per gli scopi dell'elaborato descritto nel presente paragrafo si è utilizzata la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle **frequenze naturali f_n** di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots,$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito, denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H$$

In generale è quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “doppia risonanza”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall’altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

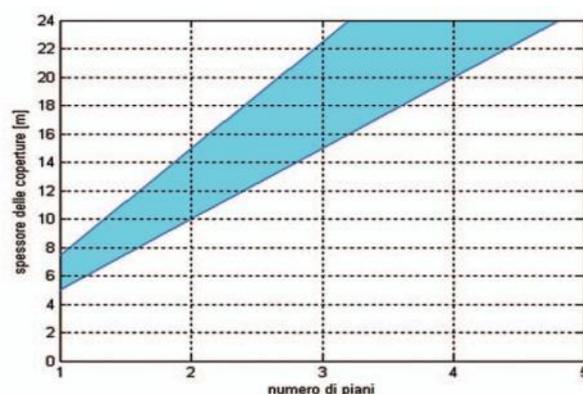
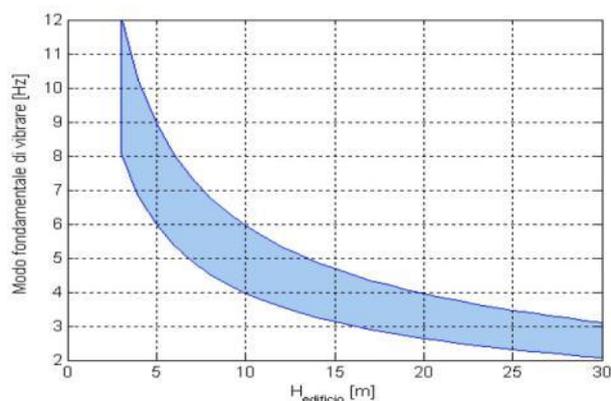
$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.}$$

E’ la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

Nel caso in cui:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

si rientra in una condizione particolarmente pericolosa, che da luogo alla massima amplificazione possibile, e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



Nello specifico si è voluto suddividere il territorio sulla base della frequenza di risonanza del terreno misurata nel corso delle indagini geofisiche dei microtremori, effettuate nelle varie situazioni stratigrafiche tipologiche.

Nello specifico sono state individuate le seguenti classi:

Classe	Frequenza di risonanza	Altezza critica degli edifici
1	< 2.0 Hz	> 30 m
2	2.0 – 3.5 Hz	15 -30 m
3	3.5 – 7.0 Hz	5 -15 m
4	> 7.0 Hz	<5 m

Nella *Carta delle frequenze fondamentali dei depositi* (cfr allegato – Allegato 2), è stato possibile individuare siti puntuali inseribili in uno specifico range di frequenza di risonanza, a sua volta correlabile all’altezza critica degli edifici presenti, intendendo con ciò l’altezza dei fabbricati tale di generare fenomeni di doppia di risonanza in caso di sisma. Appare quindi evidente che edifici di tale tipologia siano più vulnerabili e che tale informazione possa concretizzarsi in indirizzi urbanistici tipologici, da implementare nei regolamenti edilizi.

Si tiene comunque a precisare che le analisi sovraesposte hanno carattere preliminare e puramente orientativo e non sostituiscono in alcun modo la progettazione edilizia e strutturale, che andrà in ogni caso uniformata ai dettami delle NTC 2008.

8.5.2. Carta delle pendenze del terreno

Per le più accurate valutazioni relative alla classificazione delle microzone sismiche è stata elaborata una carta delle pendenze del territorio comunale, che ha permesso inoltre di individuare dettagli topografici significativi ai fini del presente studio (linee di cresta, cigli di scarpate, ecc.).

A tal fine, è stato inizialmente realizzato il modello digitale del terreno (DTM) del territorio in esame, elaborando le curve di livello della CTRN: l'interpolazione tra i valori di una curva di livello e la successiva ha permesso di ottenere una matrice di celle a maglie regolari nel quale ad ogni dato areale corrisponde un valore di quota. Il modello digitale del terreno rappresenta, semplificando, un analogo digitale della superficie topografica reale, in cui ad ogni singolo pixel che costituisce l'immagine corrisponde un valore di quota.

Il prodotto finale consiste in un'immagine raster, georeferenziata, sviluppata ad un livello di risoluzione di 5 m, ritenuto idoneo per le finalità del presente studio (*Allegato 6*).

L'utilizzazione delle curve di livello come dati altimetrici per la ricostruzione della superficie ha fornito una buona rappresentazione della superficie topografica del territorio naturale.

L'elaborazione del DTM ha permesso successivamente la realizzazione della *Carta delle pendenze del rilievo* (*Allegato 6*); il documento cartografico illustra, attraverso una scala colorimetrica, la zonizzazione del territorio comunale in n. 4 classi di intervalli di acclività:

Classe	Intervallo di acclività
1	< 10°
2	10° - 15°
3	15° - 20°
4	> 20°

8.5.3. Carta del Fattore di amplificazione

Per rendere lo studio di microzonazione sismica di livello 2 più comprensibile si è scelto di produrre l' *Allegato 7 - Carta del fattore di amplificazione*. Nell'allegato vengono riportate le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici classificate per singoli valori di FA (gradazione dal giallo al rosso), valutati nelle porzioni di valle e pianura del territorio Comunale di Brendola; mentre per le zone di cresta e per le scarpate in roccia è stato riportato il fattore di amplificazione topografica (Ft) (gradazione dall'azzurro al verde). L'allegato riporta i singoli valori calcati in base agli abachi ICMS 2008 e non li raggruppa per classe in modo da risultare maggiormente chiaro.

8.5.4. Carta delle Velocità delle onde S (Vs30)

Ulteriore elaborato utile alla comprensione delle indagini geofisiche ex -novo eseguite è l' *Allegato 10 - Carta delle velocità delle onde s*. Nell'allegato vengono riportati 4 intervalli di Vs30; in particolare per le zone che presentano velocità della Vs 30 comprese nella **categoria di sottosuolo C (NTC -08)** sono riportate con gradazione dal giallo al rosso e si collocano nelle porzioni di valle e pianura del territorio Comunale di Brendola; mentre le zone che presentano velocità della Vs 30 comprese nella **categoria di sottosuolo B (NTC -08)** sono riportate con gradazione dall'azzurro al blu. L'allegato riporta inoltre i singoli valori di Vs30 determinati dall'acquisizione di 15 MASW e 15 RE.Mi. e dall'interpretazione di 50 HVSR.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

Si precisa che, dall'analisi delle fonti storiche relative al Comune di Brendola, non si sono rilevate segnalazioni relativamente a danni significativi ad edifici e/o infrastrutture riconducibile ad eventi sismici nel passato.

Vicenza, ottobre 2017



Geol. Rimsky Valvassori

BIBLIOGRAFIA

- Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 – 666.
- *Analisi per la condizione limite per l'emergenza (CLE) dell'insediamento urbano - Istruzioni per la compilazione delle schede (versione 1.0).*
- Antonelli R., Barbieri G., Dal Piaz G. V., Dal Pra A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedeo R., Zanferrari A. (1990) - *Carta Geologica del Veneto Scala 1:250000, una storia di cinquecento milioni di anni- Regione del Veneto, Selca*, 16 – 23.
- Barbieri G. (1972) – *Sul significato geologico della faglia di Castelvero (Lessini orientali)*. Atti Mem. Acc. Patav. SS. LL. AA., 84/2.
- Barbieri G., De Zanche V., Medizza F., Sedeo R. (1981) – *Considerazioni sul vulcanismo terziario del veneto occidentale e del Trentino meridionale*. Rend. Soc. Geol. It., 4, 267 – 270.
- Barbieri G., De Zanche V., Sedeo R. (1991) – *Vulcanismo paleogenico ed evoluzione del semigraben Alpone – Agno (Monti Lessini) – Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica – Univ. Padova*. Rend. Soc. Geol. It. 14, 5 – 12.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014.
- *Area Tecnico Scientifica, Servizio Acque Interne (2008) – Le acque sotterranee della pianura veneta, i Risultati del Progetto Sampas, ARPAV*, 23 – 29.
- Castellalo S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. *Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica*, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- Castiglioni G. B. e Pellegrini G. B. (1997) – *Carta Geomorfologica della pianura Padana, Selca*.
- Castiglioni G. B. e Pellegrini G. B. (2001) – *Supplementi di geografia fisica e dinamica quaternaria. Note illustrative della carta geomorfologica della pianura padana*.
- Crespellani, T., *Indagini geotecniche*, in Faccioli, E. (a cura di), *Elementi per una guida alle indagini di MS*, Roma, 1986
- D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropescovino S., 2004. *Quick estimates of soft sediment thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy*, *J. Earthq. Eng.*, 8, p. 895 – 908.
- *Database Macrosismico Italiano, versione 2011 (DBMI 2011 - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>) dell'INGV*

- Dal Prà A. (1971) – *Risultati preliminari di ricerche idrogeologiche nella pianura alluvionale tra Astico e Brenta*. Riv. Tecnica Italiana, 36, 9 – 10.
- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, “Norme tecniche per le costruzioni” pubblicato nella S.O. della G.U. n.30 del 4 febbraio 2008 e successiva Circ. Min. LL. PP. 02/02/2009 n. 617, pubblicata nella G.U. n.47 del 26 febbraio 2009.
- Frost S. H., 1981 - *Oligocene reef coral biofacies of Vicentin Northeast Italy*. Soc. Ec. Paleont. Miner., Sp. Pubbl., 30, 483 – 539.
- Gambillara R. et al., 2003, *Neotettonica dell’area veronese: uno studio integrato fra micro rilievo e “remote sensing”*, Memorie di Scienze Geologiche, vol. 55, Padova
- Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. *Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments*, Bull. Seismol. Soc. America, 89, p. 250 – 290.
- **“Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”**, 13 novembre 2008, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome
- ISPRA - GeoMpServerMassari F., Medizza F., Sedeo R. (1976) – *L’evoluzione geologica dell’area euganea tra il Giurese superiore e l’Oligocene inferiore*. Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, 30.
- **“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Versione 4.0b”**, Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. *A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique*, Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 42, P. 255 – 266.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. *Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy*, Conf. Eartq. Eng. And Seismol., Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica”*, Il geologo – Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna.
- Nakamura Y., 1989. *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*, QR of RTRI, 30, p. 25 – 30.
- **“Progetto di Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione”**, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino dell’Alto Adriatico in data 9 novembre 2012, pubblicata nella GU n.280 del 30.11.2012
- SESAME Project: *“Site Effects Assessment Using Ambient Excitations”*, 2005. <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>
- **“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, Versione 4.0b”**, Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015
- **“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) – Versione 1.0”**, Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015.
- Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApablefaults), sviluppato dall’ISPRA – Servizio Geologico Italiano
- Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2015. *CPTI15, Versione 2015 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, (DBMI 2015 - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)
- P.A.T. del comune di Brendola redatto dallo Studio Rech nel 2012.