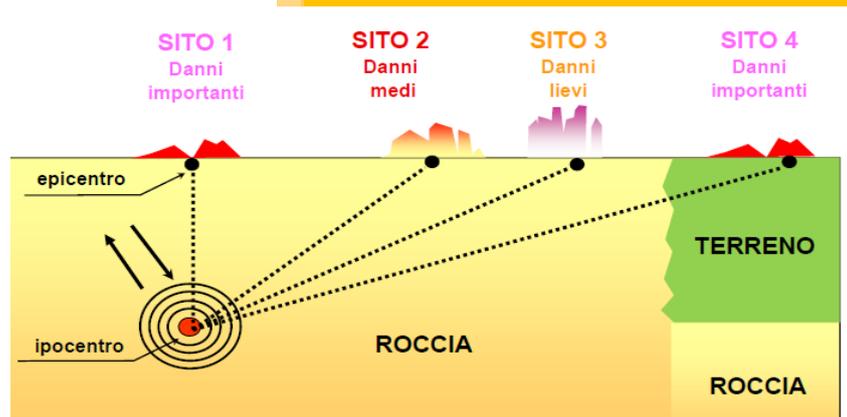
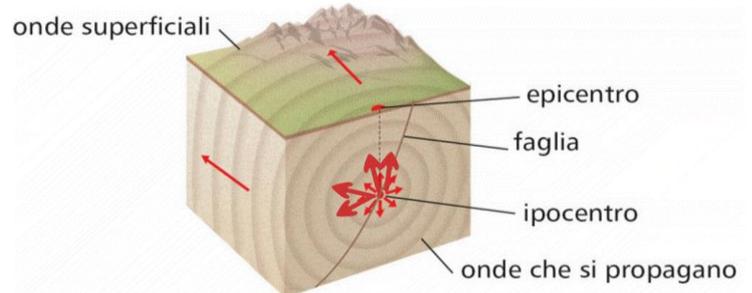
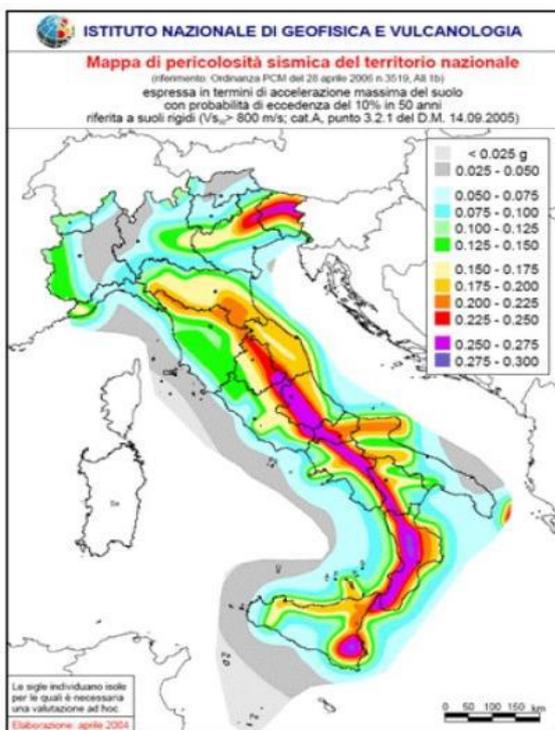




Regione Veneto
 Provincia di Padova
 COMUNE DI SAN PIETRO IN GU



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 San Pietro in Gu**



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.....	9
2.1.	Inquadramento sismotettonico generale	9
2.2.	Caratterizzazione sismogenetica locale	12
2.3.	Sismicità storica	14
2.4.	Magnitudo attesa.....	18
2.5.	Pericolosità di base	20
2.6.	Pericolosità sismica di riferimento.....	22
2.7.	Faglie attive e capaci.....	24
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	26
3.1.	Assetto litostratigrafico e geologico – strutturale	26
3.2.	Assetto geomorfologico.....	27
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	28
4.1.	Dati pregressi ed ex novo – Fonti dei dati.....	28
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	29
5.1.	Unità geotecniche e geofisiche	29
5.2.	Parametri geotecnici	30
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	32
6.1.	Interpretazione indagini geofisiche	32
6.1.1.	Indagini geofisiche HVSR	32
6.1.2.	Stendimento sismico	32
6.1.3.	Carta delle frequenze naturali dei depositi.....	34
6.2.	Sezioni geologiche.....	35
6.3.	Rappresentatività dei dati.....	35
6.4.	Programmazione future indagini	35
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	36
7.1.	Amplificazioni.....	37
7.2.	Instabilità di versante.....	38
7.3.	Liquefazione	39
7.4.	Cedimenti differenziali	43

7.5.	Faglie attive e capaci	44
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	45
8.1.	Carta delle indagini	45
8.2.	Carta Geologico – Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS).....	46
8.3.	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS).....	48
8.4.	Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS)	53
8.5.	Ulteriori elaborati cartografici.....	56
8.5.1.	Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.....	56
8.5.2.	Carta del modello digitale di elevazione del terreno	57
8.5.3.	Carta delle Velocità delle onde S (Vs30).....	57
9.	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI.....	58

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: Carta della quota del bedrock geofisico

Allegato 5: Carta delle modello digitale di elevazione del terreno

Allegato 6: Carta delle velocità delle onde S

Allegato 7: Carta dei depositi suscettibili di liquefazione

Allegato 8: Verticali d'indagine in zona di attenzione per liquefazioni

Allegato 9: Carta del Fattore di Amplificazione litologico FV

ELABORATI CARTOGRAFICI

Carta delle indagini, scala 1:8.000 (formato A1 personalizzato)

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, scala 1:8.000 (formato A1 personalizzato)

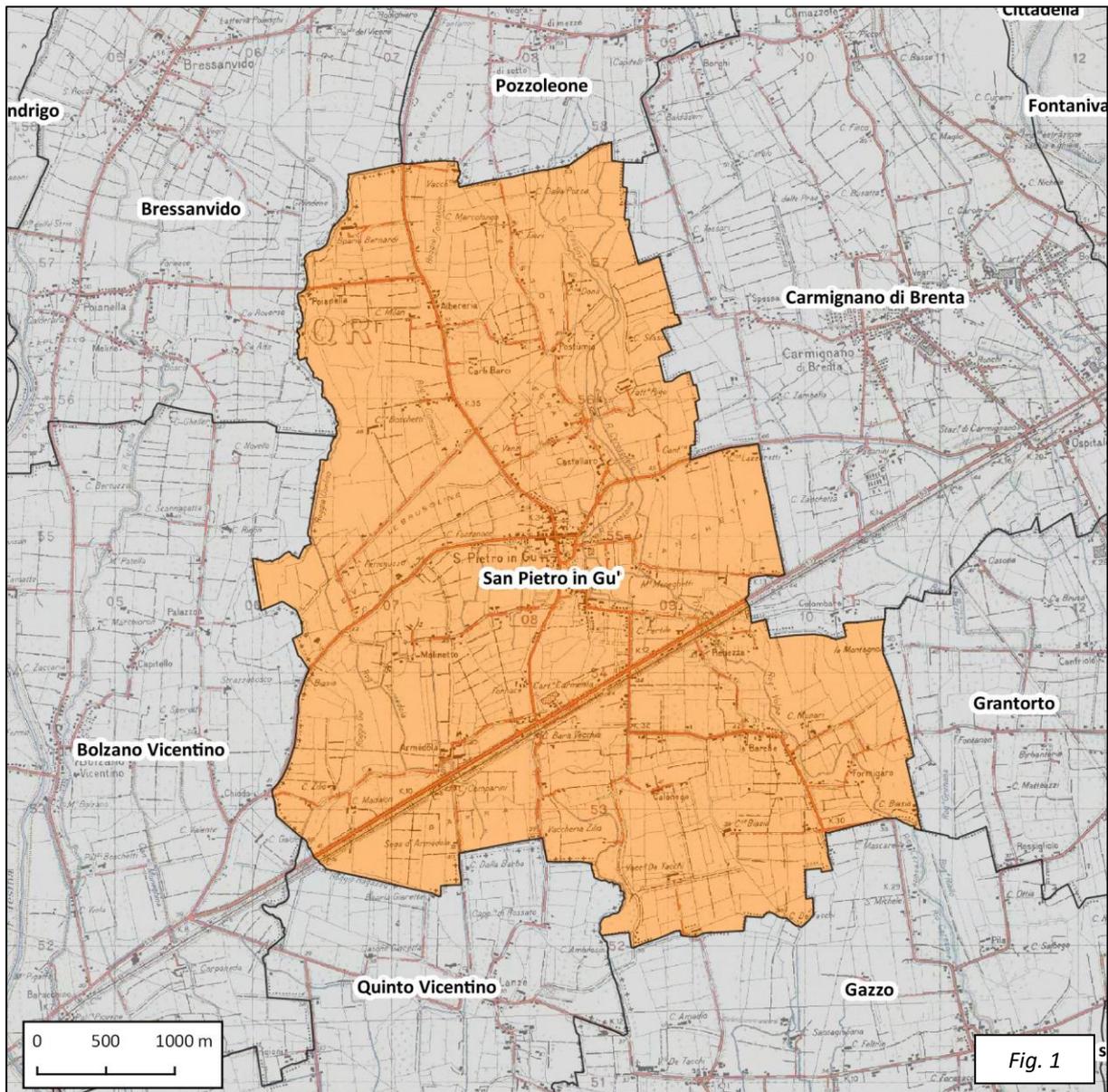
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, scala 1:8.000 (formato A1 personalizzato)

Carta di microzonazione sismica, scala 1:8.000 (formato A1 personalizzato)

1. INTRODUZIONE

1.1. Premesse

Su incarico e per conto dell'Amministrazione Comunale di San Pietro in Gu 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.

Dr. 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. VLVRK71H02A794P - P. IVA 02662110242

📧 : info@studiogeosistemi.it – <http://www.studiogeosistemi.it> – 📞 335.8154346

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;
- 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°51 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° 14 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° 14 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 4.1**”, redatte dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nell’novembre

2018, “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) – Versione 1.0”, “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) – Versione 1.0”, “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ) – Versione 1.0”.

1.2. Normativa di riferimento

Lo studio e le indagini geofisiche sono stati condotti 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 e archiviazione informatica - Versione 4.1- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica dell'11 novembre 2018, versione 4.1;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, versione 1.0;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, versione 1.0;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ) - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, versione 1.0.

1.3. Inquadramento generale dell'area

Il comune di San Pietro in Gu si estende nell'estrema fascia settentrionale della Provincia di Padova (Fig. 2); il territorio è quello tipico di pianura, con vaste aree adibite alla coltivazione delimitate da una fitta rete di canali ad uso irriguo.

Il territorio è caratterizzato da una morfologia pianeggiante con quote sul livello del mare che variano da 45 m nella porzione nord a 35 m s.l.m. nell'estremo sud.

L'estensione complessiva del territorio comunale è di circa 17,8 Km²; San Pietro in Gu confina a nord con la Provincia di Vicenza e a sud e ad est con i Comuni di Gazzo, Grantorto e Carmignano di Brenta.

Dal punto di vista idrografico il territorio in esame rientra all'interno di un unico bacino idrografico, denominato Brenta - Bacchiglione; il territorio è attraversato dagli idronimi Rio Ceresone e da numerose rogge minori. Lo scolo delle acque avviene in modo naturale da nord a sud (Fig. 3 – Corografia generale: elaborazione dtm, con isoipse del rilievo, idrografia principale, limiti comunali in evidenza).

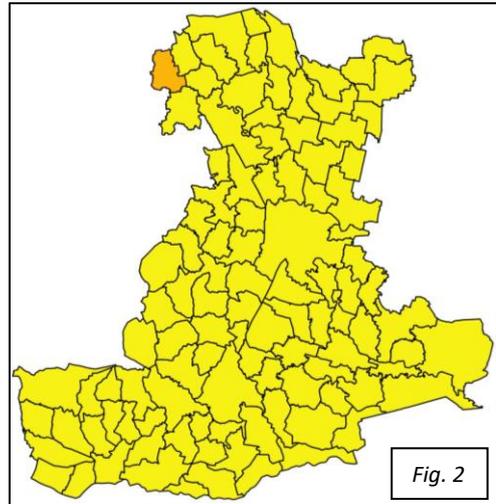


Fig. 2

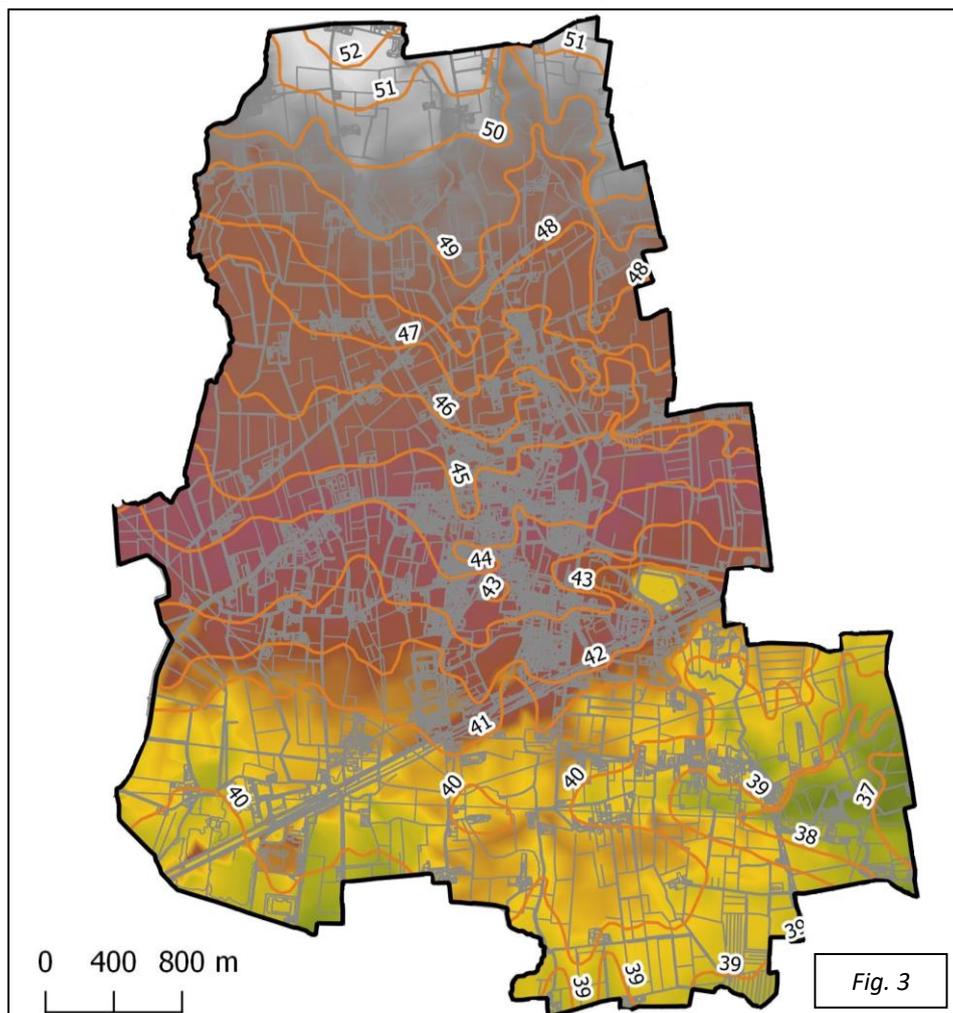


Fig. 3

Dal punto di vista morfologico, il territorio comunale di San Pietro in Gu può essere descritto come una pianura alluvionale indifferenziata costituita da depositi recenti di divagazione delle aste fluviali.

con forme pianeggianti; le antiche forme del territorio non sono facilmente riconoscibili perché nascoste dagli interventi di urbanizzazione, dall'attività agricola o modificate dagli interventi sulla rete fluviale.

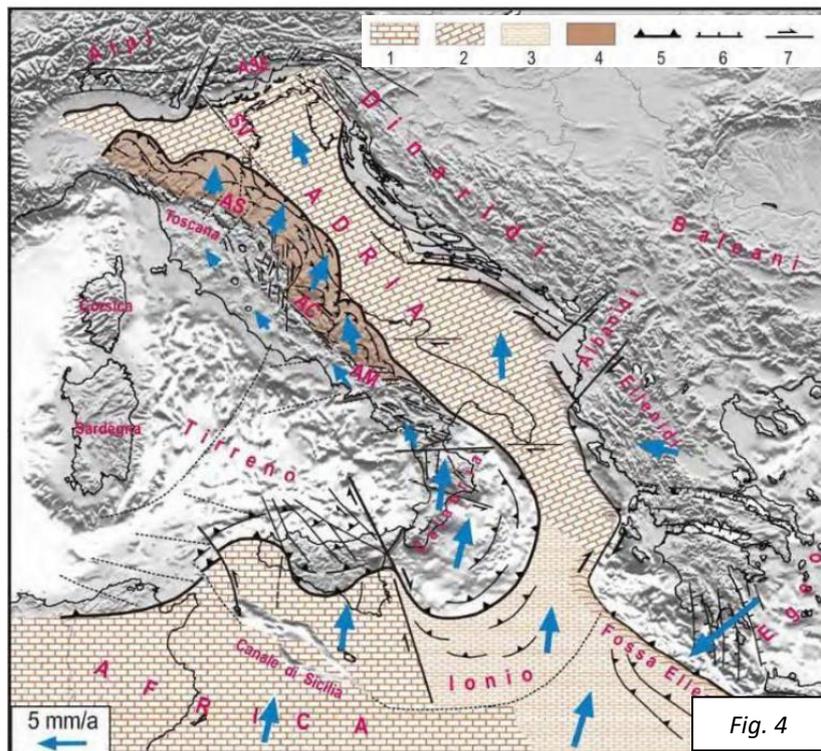
La parte nord - occidentale è quella che risulta essere caratterizzata da quote maggiori. Le quote degradano da nord – ovest a sud est in modo graduale da circa 45 m a 35 m s.l.m. Sono presenti alcune tracce di paleoalvei, cioè di antichi percorsi fluviali e i corrispondenti alvei naturalmente arginati da dossi costituiti da terreni a prevalente frazione sabbiosa. Se ne riconoscono in particolare a nord e a sud del territorio comunale.

Altre forme depresse cartografate, ma di diversa origine, sono quelle dovute al fenomeno delle risorgive che non ha permesso la sedimentazione degli stessi quantitativi di materiale rispetto alle aree circostanti.

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

2.1. Inquadramento sismotettonico generale

Dal punto di vista strutturale, il territorio di San Pietro in Gu si colloca nella medio-alta pianura veneta a ridosso della grande unità litologica delle Alpi meridionali. Quest'ultima è stata interessata dal *rifting* giurassico con l'individuazione di una piattaforma carbonatica bordata dal bacino carnico, bacino bellunese, bacino di Tolmino e dal *plateau* carnico-giulio. La placca Adria, che tettonicamente rappresenta un promontorio della placca africana (Channell, 1996) collocata lungo la pianura padana veneta e lungo il mare Adriatico, interagisce attivamente con la placca europea determinando il corrugamento alpino e appenninico e, conseguentemente, lo *stress* tettonico attuale.

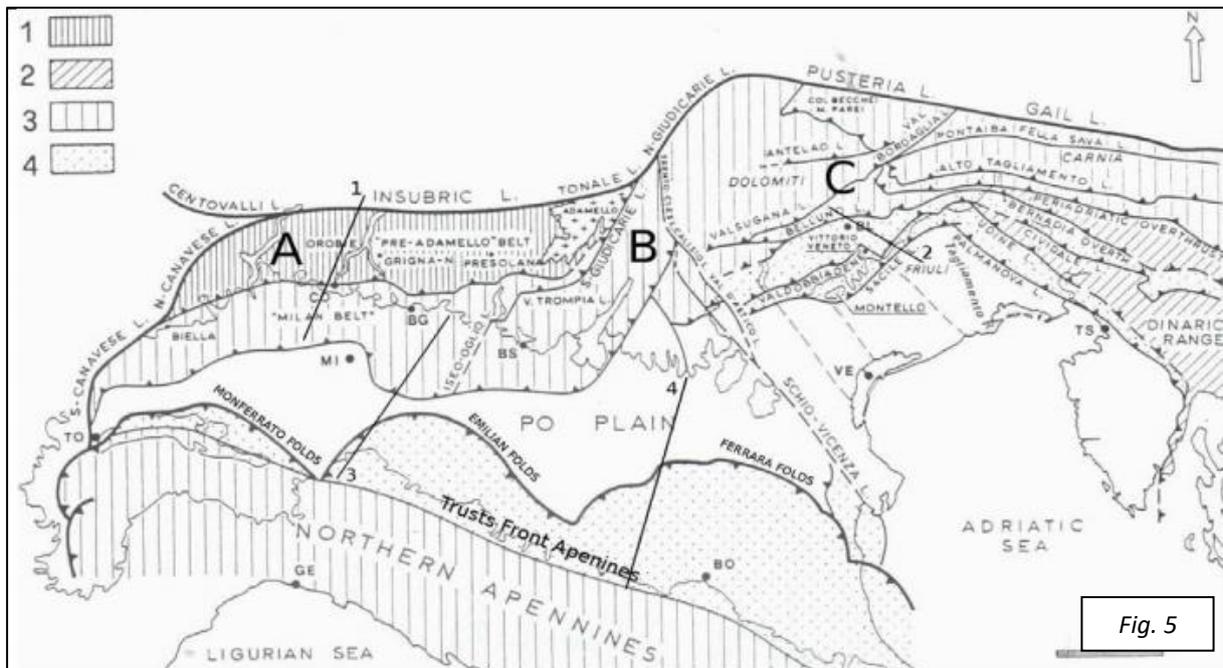


Schema tettonico della penisola italiana. Legenda: 1-Placca Africana con crosta continentale; 2-Microplacca Adria con crosta continentale; 3-Area di transizione tra Placca Africana e Microplacca Adria; 4-Catena Appenninica (AS: Appennino Settentrionale; AC: Appennino Centrale; AM: Appennino Meridionale); 5-Fronte della catena Appenninica; 6-Faglie normali; 7-Faglie trascorrenti (SV: Linea Schio-Vicenza); ASE: Alpi Meridionali Orientali. La lunghezza della freccia blu è proporzionale alla velocità di movimento della placca.

L'Adria è costituita da crosta continentale che, nella porzione più settentrionale, è rappresentata dal substrato della pianura padana interagente con il fronte della catena appenninica a sud e con il sud-alpino a nord. La collisione continentale tra la parte più settentrionale della placca Adria e quella europea ha portato alla formazione della catena alpina. La conseguente subduzione verso sud della placca europea e il sovrascorrimento della placca Adria (subduzione continentale, Bally et al., 1985) ha provocato la formazione di strutture di *retro-trust*.

Un importante ruolo di svincolo cinematico della placca Adria settentrionale viene svolto dalla Linea Schio-Vicenza (Babbucci et al., 2002): una faglia trascorrente sinistra (Plio-Quaternaria) che mette le Alpi meridionali a contatto con quelle centro-occidentali.

Il blocco veneto-friulano (Fig. 5 -Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti (mod. da: Castellarin et al., 1982) è caratterizzato da strutture tettoniche con direzioni variabili (Dogliosi et al., 1987; Castellarin et al., 1992; Pontron et al., 2000). Nella zona friulana centrale si ha il massimo delle deformazioni e del raccorciamento per l'estrema embricazione sud-vergente delle unità. L'assetto strutturale della pianura veneta, che rappresenta l'avampaese di due catene montuose perimetrali, è condizionato dall'interferenza tra le strutture del sud-alpino a nord e il fronte della catena dinarica a est (Merlini et al., 2002).



Legenda: Il sud-alpino è tettonizzato in età eolipina (Cretaceo-Paleocenica) (1) e in età Eocene inf. e medio (2). L'area Appenninica è coeva al settore più occidentale delle Alpi (3) di età Messiniana e Plio-Pleistocenica. L'area Appenninica e Veneto-Friulana (4), in forte accorciamento, è caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il sud-alpino è diviso in A) Blocco Lombardo, B) Blocco Trentino-Lessineo e C) Blocco Veneto-Friulano.

Dallo studio della distribuzione dei meccanismi focali si è ricavato l'assetto dell'ellissoide dello stress tettonico in termini di direzione di massima compressione e distensione, questo al fine di definire l'interazione tettonica attuale tra la placca europea e quella Adria, responsabile degli ultimi terremoti emiliani (Balocchi, 2012; Balocchi et al., 2012). Si può concludere che la placca Adria sia in netta compressione nel settore sud-alpino dove il sovrascorrimento di quest'ultima rispetto alla placca europea genera dei *retro-stress* all'interno delle unità litologiche deposte sulla crosta continentale dell'Adria.

Il risultato finale è rappresentato da un'attività sismica nelle regioni delle Alpi orientali (Slejko et al., 1989) considerata tra le più elevate del nostro paese. Cinque terremoti con magnitudo di superficie (MS) superiore a 6 sono infatti avvenuti nell'ultimo millennio: nel 1348 a Villaco con MS 6,4 (l'epicentro sembra localizzato nell'attuale zona di confine tra Italia e Austria), nel 1511 nella zona tra Gemona e Idria con MS 6,2, nel 1695 ad Asolo con MS 6,5, nel 1873 nell'Alpago con MS 6,3 e nel 1976 a Gemona con MS 6,5. Oltre a questi, nel 1936 un terremoto di magnitudo 6,1 ha provocato distruzioni nei paesi del Cansiglio. La figura seguente mostra le faglie principali rilevate nella regione e la distribuzione spaziale dei maggiori terremoti. Questi ultimi, nell'area indagata, risultano di numero molto inferiore rispetto a quelli avvenuti nel vicino Friuli: bisogna segnalare, però, che la sismicità friulana risente della coda del forte terremoto del 1976 e che le stazioni della rete sismometrica dell'Italia nord-orientale sono state ubicate, per un lungo periodo, esclusivamente sul territorio friulano (Fig. 6 - *Principali lineamenti tettonici dell'area studiata (cerchiata in rosso), terremoti storici (in verde), terremoti strumentali recenti (in arancio)*).



Le principali strutture tettoniche nel Veneto centro-orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione nord est–sud ovest, tagliati talvolta da faglie trascorrenti. 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.

Nell'ambito di un progetto sviluppato negli anni novanta, Meletti et al. (2000) hanno formulato un modello sismogenetico per l'Italia che consta di 80 zone sismogenetiche. Queste zone risultano omogenee sia dal punto di vista tettonico che da quello sismico. Studi successivi (Slejko e Rebez, 2002) hanno portato a complicare, a livello regionale, quel modello (zonazione FRI) o a semplificarlo (Zonazione ZS9 – Meletti e Valensise, 2004) al fine di disporre di cataloghi sufficientemente ricchi di terremoti per tutte le zone sismogenetiche.

Nella pianura padana si constata un avanzamento verso nord del margine appenninico sulla placca adriatica il cui movimento avviene secondo una rotazione antioraria la cui cerniera è localizzata in Piemonte (lat. 45,165°N – long. 6,763°E). In corrispondenza alle Alpi meridionali l'accrescimento dei rilievi alpini sulla placca adriatica, in cui è coinvolta anche l'area dei monti Lessini, avviene con una velocità relativa stimata dell'ordine di 1,5 mm/anno.

2.2. Caratterizzazione sismogenetica locale

Il territorio regionale del Veneto è stato suddiviso in **distretti sismici**: ogni distretto rappresenta un'area all'interno della quale si ritiene che i terremoti possano essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni, pur con la consapevolezza che le schematizzazioni in tal senso sono sempre riduttive e devono essere opportunamente contestualizzate nell'interpretazione dello specifico evento sismico. Sulla base di dati sismologici, elementi geologico-strutturali e informazioni relative alla cinematica e alla tettonica attiva, sono stati identificati 9 distretti sismici come visibile nella figura sotto riportata. Il territorio comunale di Bolzano Vicentino ricade a cavallo tra il distretto Lessini-Schio (L) e il distretto Pedemontana Sud (PS).

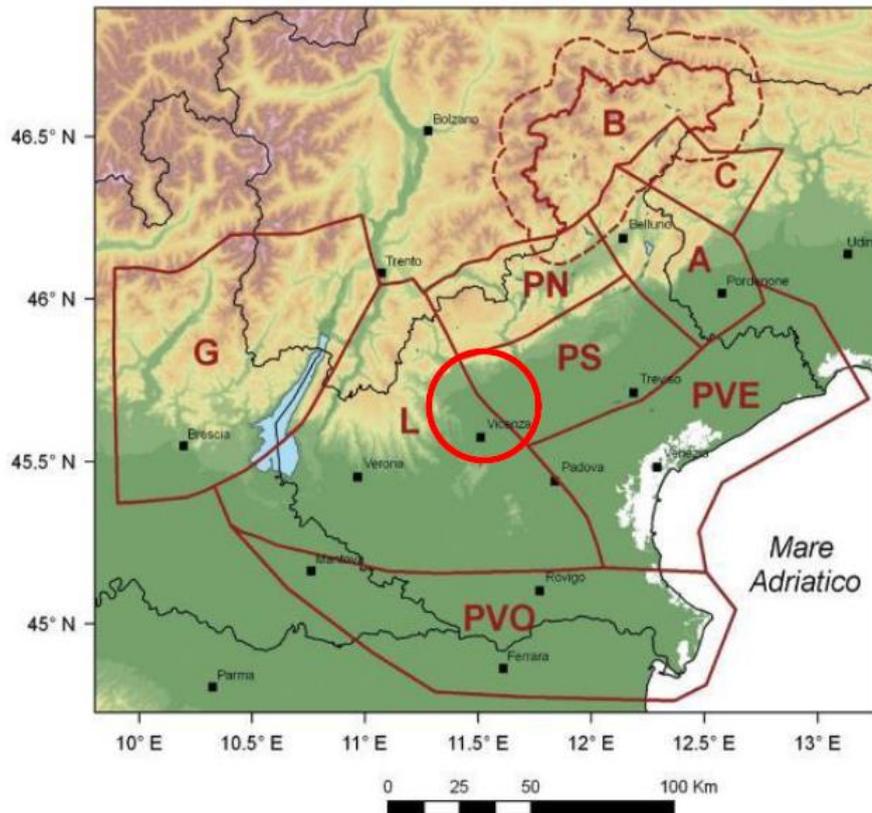


Fig. 7

Il distretto **Lessini-Schio (L)** si estende dai fronti di accavallamento più esterni del sistema delle Giudicarie meridionali a ovest, fino alla flessura pedemontana a est, e comprende i monti Lessini, la fascia della linea Schio-Vicenza (SCHV), e i rilievi dei monti Berici e dei colli Euganei. La transizione dal dominio pede-alpino a quello pede-appenninico avviene nella pianura padana; il limite meridionale del poligono è stato tracciato in modo arbitrario laddove la sismicità nota risulta minima.

L'area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti, disposte nord ovest-sud est. Sono mappati anche alcuni elementi tettonici ad andamento ENE-OSO, quali il sovrascorrimento di cima Marana o il *klippen* di Castel Malera. La fascia Schio-Vicenza separa le strutture plicative a est (terminazione occidentale del sistema della Valsugana e la flessura pedemontana) dai Lessini posti a ovest. Essi rappresentano un settore meno deformato, ponte, per alcuni autori, all'avampaese indeformato che si estende a nord-est di Venezia; in quest'area, infatti, il Pliocene non risulta piegato e immerge dolcemente verso sud nella direzione centrale del bacino (p. es. Fantoni et al., 2002; Fantoni e Franciosi, 2009). L'attività recente, e talora l'esistenza stessa di diverse faglie ad andamento nord ovest-sud est e NNO-SSE che attraversano la pianura veneto-friulana, è confutata da diversi autori, e gli schemi strutturali pubblicati negli ultimi anni privilegiano la continuità laterale del fronte

deformativo - si vedano ad esempio i lavori di Galadini et al. (2002) e Poli et al. (2002, 2009). Per la Schio-Vicenza è documentata invece una significativa attività quaternaria (Pellegrini, 1988; Tosi et al., 2007a).

Il distretto **Pedemontana Sud (PS)** comprende parte del fronte esterno plio-quaternario della catena sud-alpina orientale, e si estende dall'altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio. In questo settore è presente la Flessura Pedemontana, elemento dal quale prendono il nome sia questo distretto, sia il contiguo elemento (Pedemontana Nord) a nord-ovest. Essi sono stati analizzati separatamente, privilegiando le interpretazioni che ritengono che le strutture verso nord abbiano raggiunto una configurazione tettonica quasi definitiva (Zanferrari et al., 1982), e individuano invece nella porzione meridionale le potenziali sorgenti di terremoti distruttivi (Galadini et al., 2005; Burrato et al., 2008, 2009; Poli et al., 2008). Il distretto Pedemontana Sud si estende a sud-est della zona di pianura, approssimativamente a includere la fascia delle risorgive. Lungo la catena, il sistema strutturale è troncato bruscamente a ovest dagli allineamenti disposti nord ovest-sud est del sistema Schio-Vicenza mentre verso est da elementi paleogeografici riconducibili alla strutturazione della piattaforma friulana.

L'area è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-OSO, prevalentemente vergenti a sud-sud est (Poli et al., 2008). La strutturazione della attuale fascia pedemontana, estesa dal Bassanese fino al fiume Tagliamento trae le sue origini nell'evento compressivo del Messiniano-Pliocene, ampiamente propagatosi all'interno della catena entro sistemi già strutturati (Castellarin et al., 1998b). Tuttavia l'area presenta un'attività tettonica rilevante, con una compressione attiva la cui velocità è stimata nell'ordine di qualche mm/a (D'Agostino et al., 2005). Negli ultimi 15 anni circa, le ipotesi cilindriche, che identificano come potenzialmente sismogenici alcuni sovrascorrimenti subparalleli, sono state riviste alla luce di nuovi dati e di più moderni criteri di segmentazione; oltre a ridurre il numero di potenziali faglie attive rispetto ai precedenti studi, le analisi geomorfologiche delle deformazioni quaternarie, in particolare, si sono dimostrate adatte per quantificare l'attività di sovrascorrimenti ciechi, o pieghe-faglie di crescita (Galadini et al., 2005). La stretta di Quero e il rilievo del Montello sono gli elementi geologici e morfologici del distretto Pedemontana Sud attorno ai quali si sono maggiormente concentrati studi per il riconoscimento di faglie attive (p. es. Benedetti et al., 2000; Ferrarese e Sauro, 2005; Anselmi et al., 2007, 2011; Burrato et al., 2009). Nonostante ciò, il potenziale sismico dell'area resta ancora piuttosto controverso, e si moltiplicano gli studi per comprendere la relativa assenza di sismicità su faglie ritenute capaci di generare forti terremoti. Per questo, si attendono i risultati di monitoraggi specifici, attualmente in corso per caratterizzare la deformazione geodetica e la microsismicità (p. es. Serpelloni e Cavaliere, 2010; OMBRA Project Group, 2011).

2.3. Sismicità storica

Il Veneto è attualmente una regione silente dal punto di vista sismico. L'assenza di grossi eventi sismici recenti sorprende, ma non deve far pensare che il Veneto sia una regione tettonicamente inattiva. Evidenze di movimenti recenti (neotettonica) sono osservabili soprattutto nella fascia pedemontana (in particolare al confine tra le province di Belluno e Treviso) lungo la quale sono allineati i principali eventi storici.

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. Allo stato attuale, il territorio regionale è interessato da una certa sismicità di magnitudo media, messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica.

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro in Veneto si possono ricordare:

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'illasi	VIII-IX Mw=5.9	I danni più gravi a Castelvero, Badia Calavena, Marcemigo. 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.

In Fig. 8 - *Distribuzione di tutti i terremoti recenti registrati dalla rete sismometrica gestita da OGS in Veneto nel periodo 1977 – 2006 (Priolo, 2008)* è riportata la distribuzione di tutti i terremoti registrati da OGS distinti per classi di magnitudo di durata M_D^* . Gli eventi con $M_D > 4$ i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso sono identificati con una stella rossa. Si tratta dei seguenti:

Dr. 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. VLVRK71H02A794P - P. IVA 02662110242

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

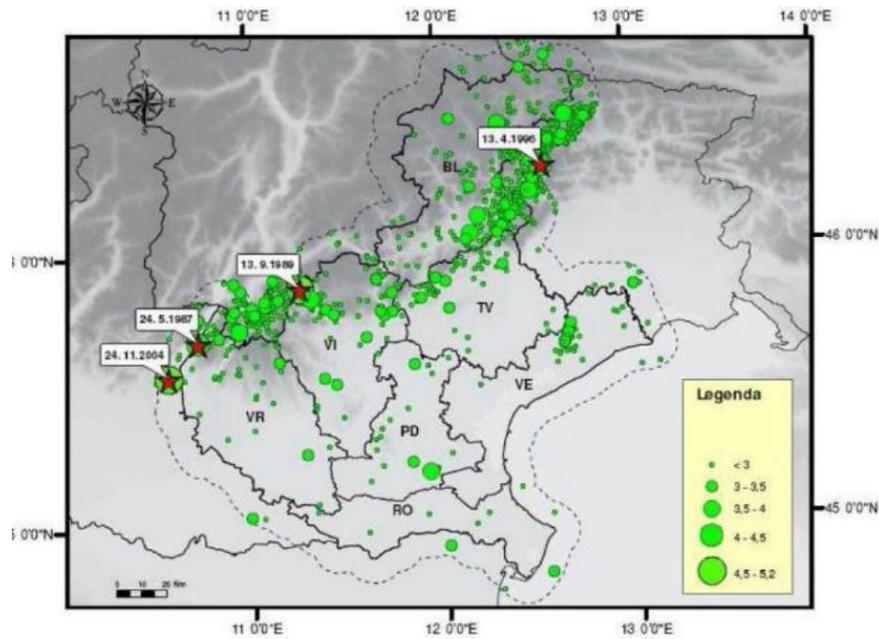


Fig. 8

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).

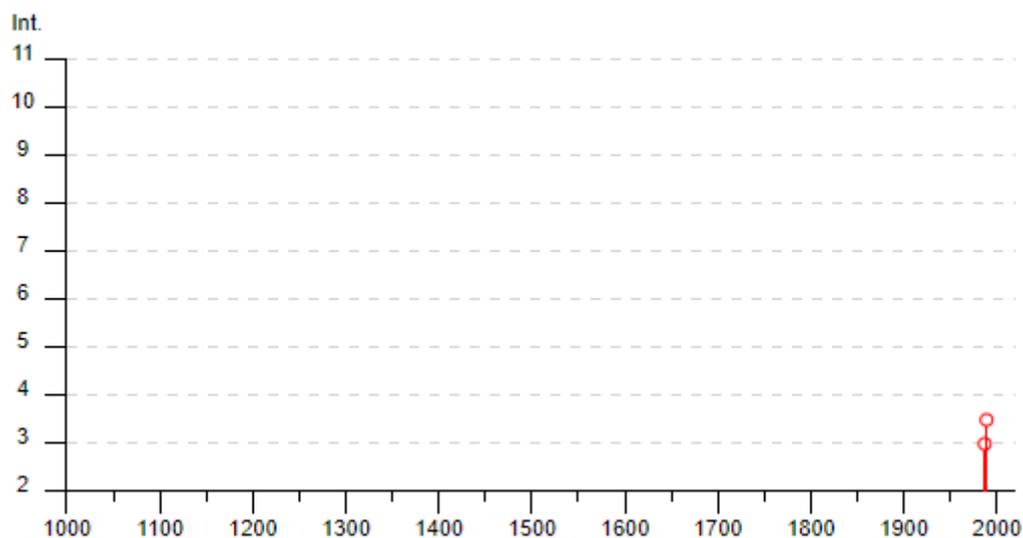
Nella tabella seguente vengono elencati i terremoti storici che hanno colpito il Veneto con effetti pari superiori al VII grado della scala proposta da *Mercalli, Cancani e Sieberg* (MCS); la scheda tecnica è stata aggiornata con le più recenti elaborazioni contenute nel *Catalogo Parametrico dei Terremoti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

Per la ricostruzione della sismicità storica del Comune di San Pietro in Gu, 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 verificatesi in tempi storici (dopo l'anno 1000). Nel caso di San Pietro in Gu, 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).

San Pietro in Gu

PlaceID IT_29289
 Coordinate (lat, lon) 45.614, 11.670
 Comune (ISTAT 2015) San Pietro in Gu
 Provincia Padova
 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
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78



Il grafico sopra riportato ricostruisce la storia sismica del comune (per terremoti con intensità al sito superiore o uguale a 2) tra gli anni 1000 e fino al 2019, 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/>.

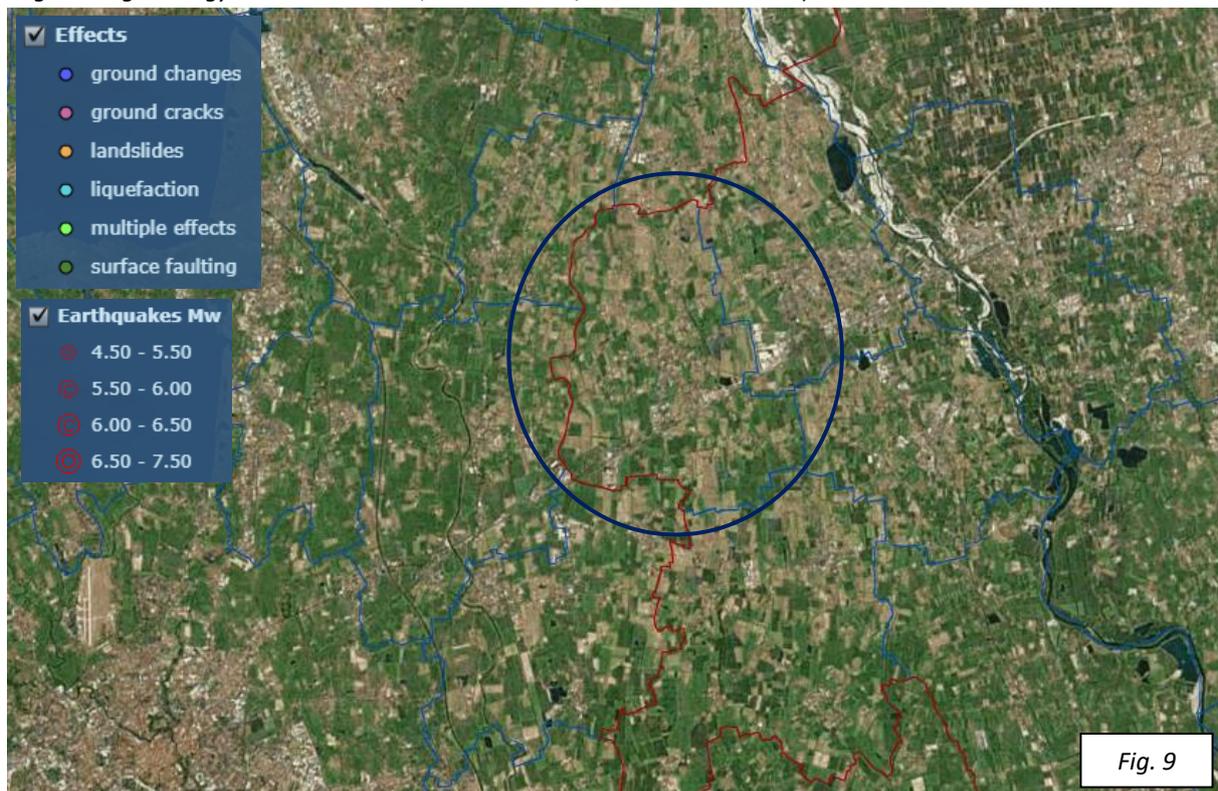
Località	EQs	Distanza (km)
Carmignano di Brenta	3	3
Bolzano Vicentino	1	4
Pozzoleone	4	4
Bressanvido	2	5
Gazzo	4	5
Grantorto	2	5
Quinto Vicentino	6	6
Lisiera	1	6
Monticello Conte Otto	3	7
Fontaniva	8	7
Quintareello	1	7
Sandrigo	2	7
Tezze sul Brenta	5	8
Schiavon	3	9
Cittadella	16	10
Dueville	3	10

Al fine di verificare l'occorrenza di fenomeni di liquefazione osservati in occasione di eventi sismici storici, è stato consultato il catalogo CEDIT - **Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti**.

La difesa dai terremoti per un paese ad elevata densità abitativa e con un patrimonio storico-artistico di singolare importanza, ma ad elevata vulnerabilità, impone una strategia che, oltre a valutare i livelli di pericolosità sismica, deve includere lo studio degli effetti prodotti dai terremoti sul territorio. Ciò apporta un notevole contributo alla politica nazionale di difesa dai terremoti e del rischio ad essi associato.

La versione di CEDIT 2017 censisce gli effetti indotti sul terreno da terremoti storici verificatisi in un arco temporale che va dall'anno 1000 d.C. al 2016. La realizzazione del catalogo CEDIT ha comportato un'estesa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto tali effetti (tra i quali frane, fratturazioni, fagliazione superficiale, liquefazioni, variazioni topografiche del livello del suolo e tsunami). La ricerca è stata integrata con la consultazione di rapporti tecnici e pubblicazioni scientifiche su terremoti recenti e passati. La versione attuale del CEDIT comprende oltre 150 terremoti e circa 2000 effetti indotti sul terreno da forti terremoti che hanno interessato più di 1100 località.

A seguire si riporta un estratto del catalogo CEDIT del Comune di San Pietro in Gu (Fig. 9 - Fortunato C. et al. (2012). *New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT)*. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05).



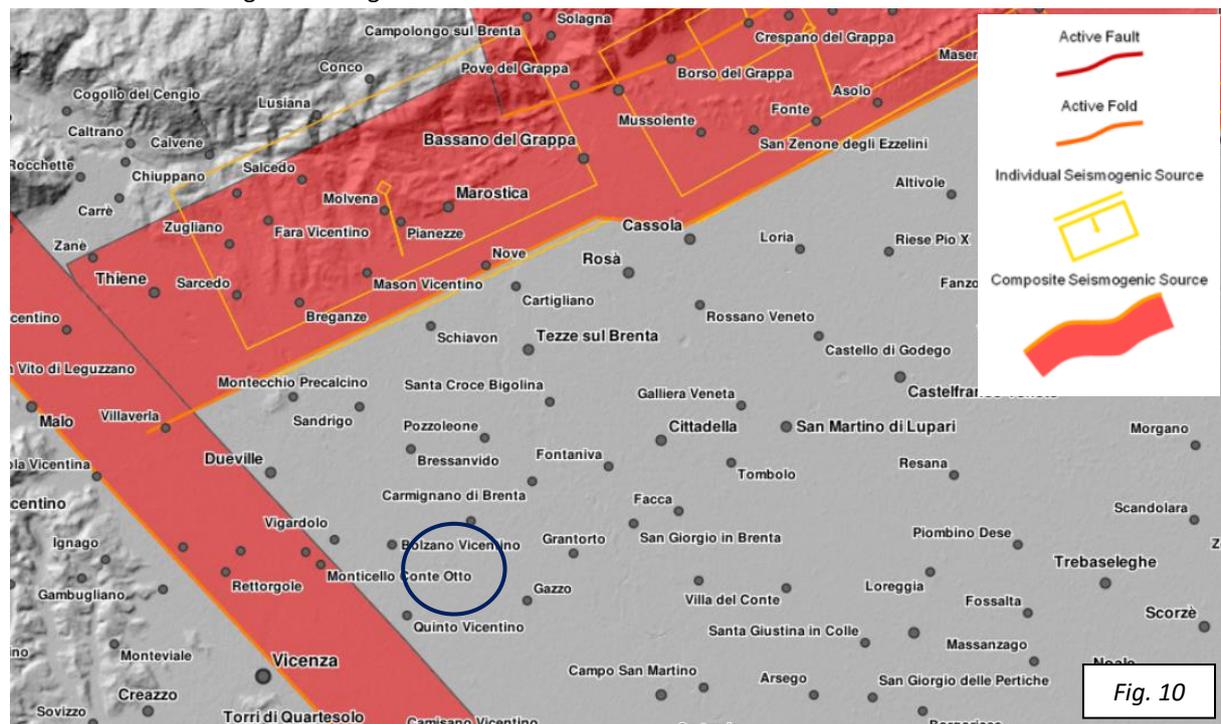
Dall'estratto sopra riportato si osserva che in corrispondenza del Comune di San Pietro in Gu in occasione di eventi sismici storici non sono stati registrati fenomeni di liquefazione.

2.4. 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 San Pietro in Gu 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. 10) recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane.



Le sorgenti sismogenetiche composite (*Composite Seismogenic Sources - CSS*) sono delle strutture dedotte dalla morfologia della superficie terrestre e da dati geologici e sismici che vengono sfruttati non solo per la semplice individuazione di faglie attive o elementi di tettonica recente. La lunghezza della rottura dovuta ad un terremoto non è però definita con precisione quindi una sorgente sismogenetica composta contiene un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche individuali. Quindi non è possibile assumere che tali sorgenti siano in grado di generare terremoti di specifiche dimensioni, ma è comunque possibile stimare il “potenziale sismico” in base ai cataloghi dei terremoti. È possibile migliorare la loro descrizione nel caso siano presenti dati relativi a scarpate di faglia o assi di pieghe (strutture solitamente di età Pleistocene superiore – Olocene).

La sorgente sismogenetica composta più vicina al sito in esame è la Schio- Vicenza, con magnitudo massima pari a 5,5.

Di seguito vengono riportate tutte le caratteristiche della **CSS Schio- Vicenza** con le caratteristiche principali della sorgente.

IDSOURCE ITCS175			
SOURCENAME Schio - Vicenza			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
MINDEPTH	1.0 km	Expert Judgement	Inferred from subsurface geological and geophysical data
MAXDEPTH	15.0 km	Expert Judgement	Inferred from subsurface geological and geophysical data
STRIKE MIN - MAX	310° - 330°	Literature Data	Based on geological and geodetic data
DIP MIN - MAX	65° - 75°	Expert Judgement	Based on geological data from Galadini et al. (2005)
RAKE MIN - MAX	160° - 200°	Expert Judgement	Inferred from regional seismological data
SLIP RATE MIN - MAX	0.1 mm/a - 0.5 mm/a	Expert Judgement	Inferred from geodynamic data and geological considerations
MAXMAG	5.5	Expert Judgement	Inferred from fault characteristics and regional geological considerations

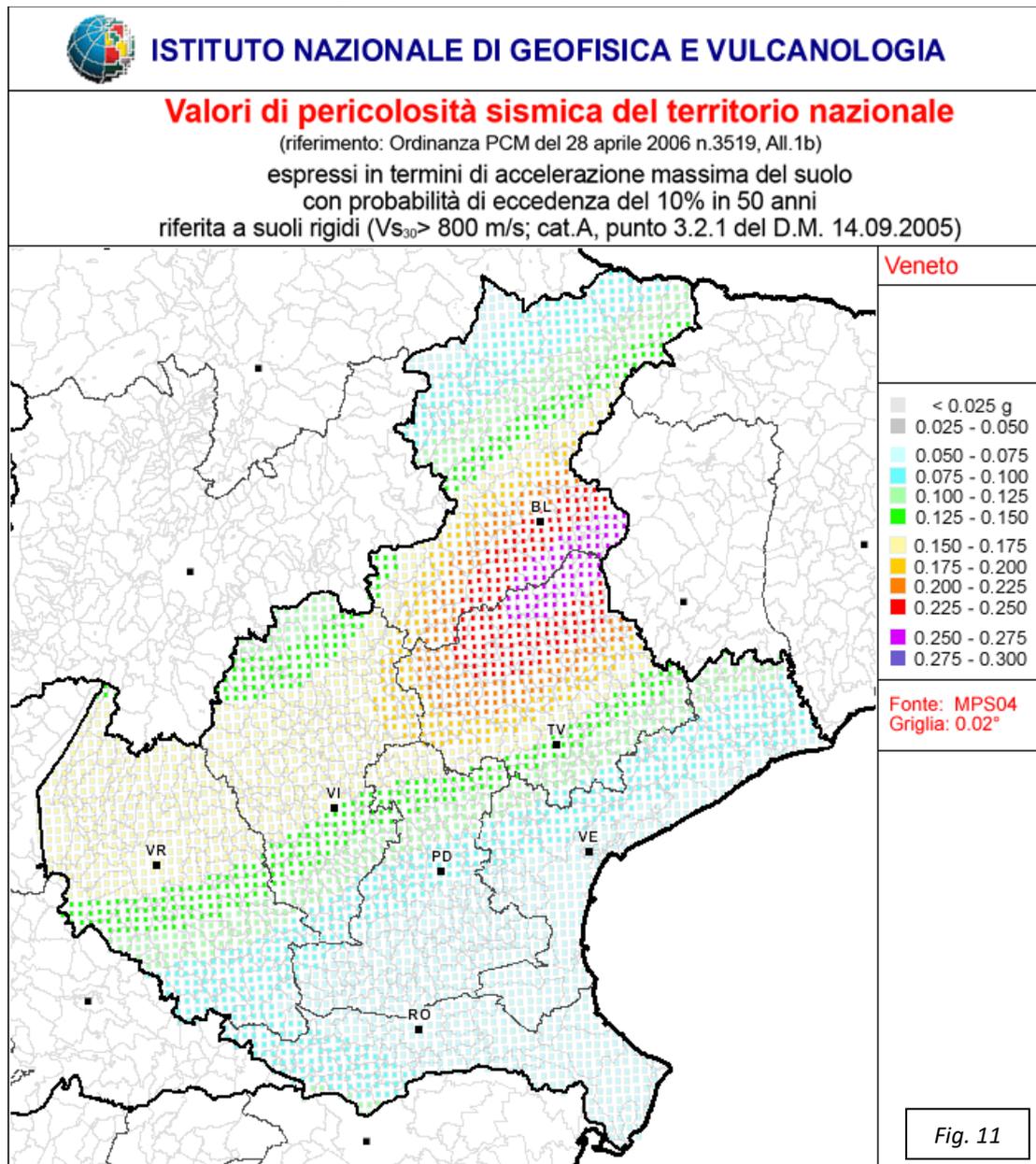
Le sorgenti sismogenetiche individuali (*Individual Seismogenic Sources, ISS*) sono definite in base alle evidenze geologiche e geofisiche del territorio e sono caratterizzate da parametri geometrici, cinematici e sismici ben definiti. Ciascun parametro è classificato in base alla sua accuratezza. Questa tipologia di sorgenti mostra una ricorrenza periodica molto forte in termini di lunghezza/larghezza della rottura, spostamento per evento e magnitudo attesa. Tali dati sono quindi confrontati con i dati contenuti in un database mondiale per valutarne la coerenza in termini di lunghezza, larghezza, spostamento del singolo evento e magnitudo, e possono essere migliorati nel caso ci siano dati relativi a scarpate di faglia o assi di pieghe (strutture solitamente di età Pleistocene superiore – Olocene).

La sorgente sismogenetica individuale più vicina all'area studio è la Thiene-Bassano. Essa assieme alle sorgenti Monte Grappa e Bassano-Cornuda compone la sorgente sismogenetica composita Thiene-Cornuda.

IDSOURCE ITIS127			
SOURCENAME Thiene-Bassano			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
MINDEPTH	1.0 km	Literature Data	Based on geological data from Galadini et al. (2005)
MAXDEPTH	5.8 km	Literature Data	Based on geological data from Galadini et al. (2005)
STRIKE	244°	Literature Data	Based on geological data from Galadini et al. (2005)
DIP	30°	Literature Data	Based on geological data from Galadini et al. (2005)
RAKE	80°	Literature Data	Based on geological and geodetic data
SLIP RATE MIN - MAX	0.1 mm/a – 1.0 mm/a	Literature Data	Based on geological observations
RECURRENCE [Y] MIN...MAX	1500 - 1500	Expert Judgement	Inferred from slip rate and average displacement
MAGNITUDE (Mw)	6.6	Empirical Relationship	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994)

2.5. 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 San Pietro in Gu 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. 11 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":

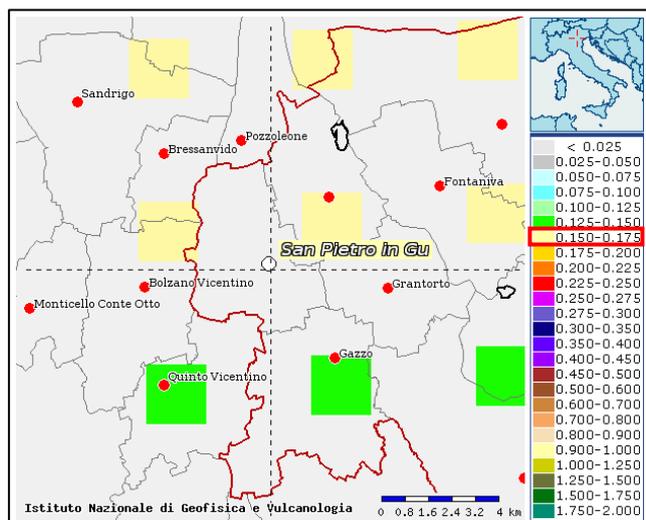
- "Le Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C.) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove ed alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono 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 a_g 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”.

2.6. 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 San Pietro in Gu** 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

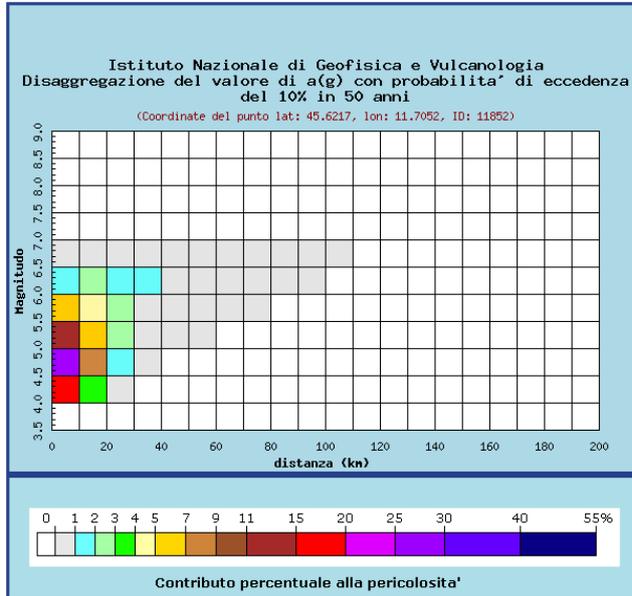


di Microzonazione Sismica è inseribile interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,150 g e 0,175 g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile), ovvero in **Zona 2**, 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 San Pietro in Gu 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).

In ultima, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità: questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo-distanza di un evento. I grafici riportati sotto sono stati desunti dalle Mappe Interattive di Pericolosità Sismica dell'INGV e sono relativi al punto della griglia definito nella figura precedente (Carta di Pericolosità Sismica dell'INGV).



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.6217, lon: 11.7052, ID: 11852)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	16.800	27.100	12.500	5.010	1.770	0.172	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.130	7.830	6.350	4.170	2.280	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.186	1.360	2.200	2.330	1.930	0.312	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.061	0.525	0.913	1.030	0.196	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.057	0.320	0.506	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.232	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.095	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.040	10.400	0.668

Dalla ricostruzione dell'INGV riportata sopra, considerando un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni e una Categoria A di sottosuolo in condizioni sub-pianeggianti, si evidenzia che il maggior contributo alla pericolosità sismica locale è dato da eventi di entità Mw compresa tra 4,0 e 6,5 e relativamente vicini ($R =$ entro 40 km).

2.7. Faglie attive e capaci

In relazione alla presenza di faglie attive e capaci (FAC e FPAC) in corrispondenza del territorio di San Pietro in Gu, come descritto nella **“Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci – ver. 1.0 - 2015”**, sono state valutate le **condizioni preliminari** che, nel caso fossero verificate, implicherebbero la necessità di uno studio di dettaglio finalizzato all’individuazione dell’eventuale traccia superficiale di una faglia attiva e capace.

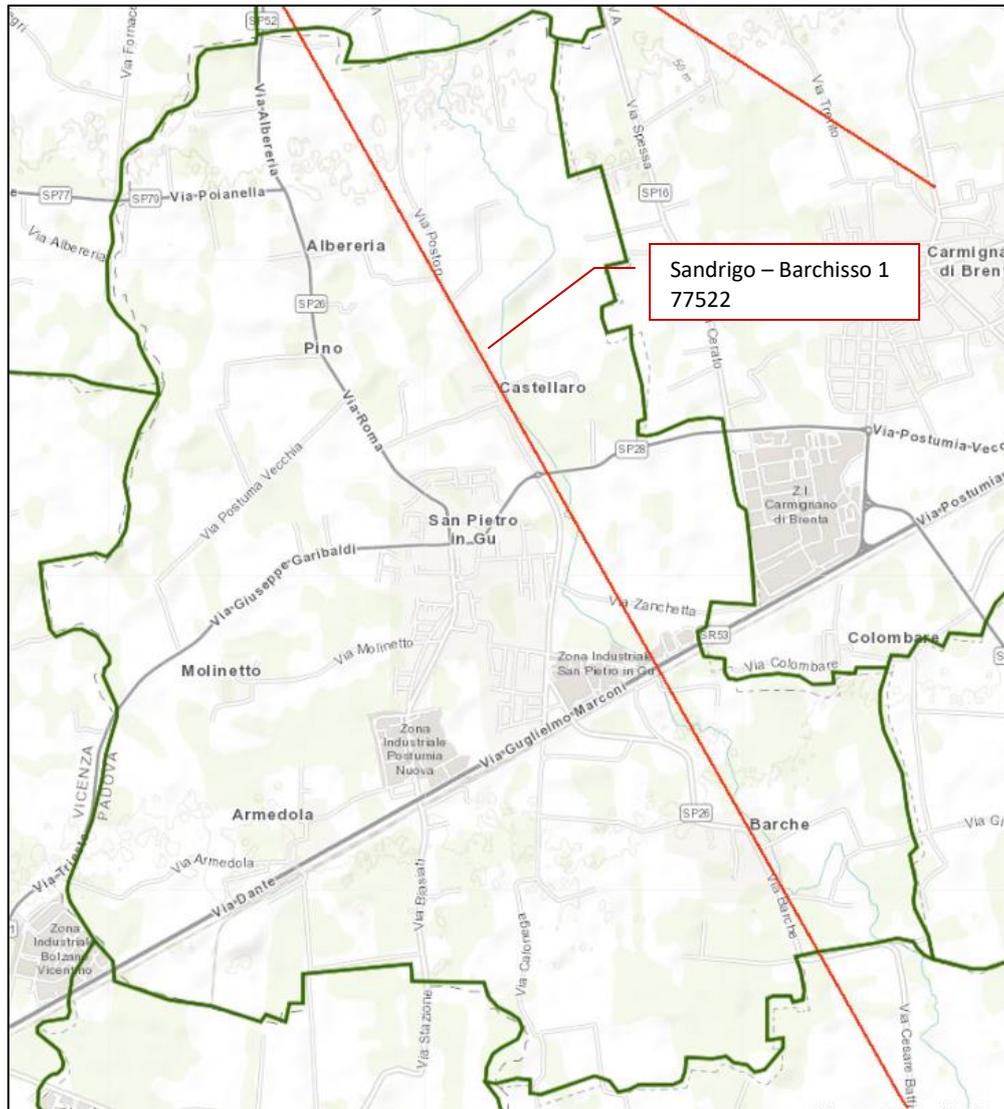


Fig. 12

Le condizioni preliminari, necessarie e sufficienti, sono le seguenti:

- l’area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con $M_w > 5.5$;
- la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all’interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
- sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico – tecnici per la stesura delle carte di MS.

In merito alle condizioni sopraelencate, per quanto riguarda il territorio di San Pietro in Gu, si specifica che:

1. l’area non ricade in area epicentrale di terremoti storici con $M_w > 5.5$, vedi par 2.1 (cfr Zonazione ZS9).

2. per quanto riguarda il secondo punto è stata presa visione della letteratura scientifica disponibile e del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from CApablefaults*), sviluppato dall'ISPRA – Servizio Geologico Italiano. Si riporta in Fig. 12 un estratto della cartografia dal servizio *GeoMapView* del portale, nel comune di San Pietro in Gu il Progetto ITHACA individua una faglia attiva e capace appartenente al sistema della Schio-Vicenza, con direzione NO-SE. A causa però della qualità degli studi su questa faglia, ritenuti di bassa affidabilità, e della grande scala (1: 500.000) a cui è stata cartografata la stessa, si è scelto di non ritenere adeguatamente affidabile la segnalazione della stessa. Inoltre, non esistono in merito alla faglia sopracitata segnalazioni e specifici studi geologici eseguiti da esperti.
3. In merito all'ultimo punto, l'analisi aereofotogrammetrica (foto aeree, ortofoto, immagini LIDAR) ed i rilievi geologici e geomorfologici eseguiti sul campo non hanno evidenziato attività recente della zona di faglia individuata dal progetto ITHACA né nel suo intorno.

Per i motivi sopraelencati, non essendo verificate le condizioni preliminari di cui alle **“Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci – ver. 1.0 - 2015”** si è scelto di non segnalare il lineamento tettonico in oggetto come faglia attiva e capace (FAC) o faglia potenzialmente attiva e capace (FPAC) ma di considerarla come *Faglia con cinematismo non definito non attiva (incerta)*.

Ciò non esclude che, in un eventuale studio di Livello 3, questa zona possa essere comunque oggetto di specifici approfondimenti con indagini geofisiche e geognostiche (es. ERT, sismica a riflessione e rifrazione, GPR, sondaggi e saggi) e/o indagini Paleosismologiche (es. Trincee paleosismologiche e datazioni cronometriche dei terreni fagliati), al fine di verificare l'effettiva presenza ed il grado di attività recente della faglia in oggetto, che come in precedenza chiarito allo stato attuale delle conoscenze è stata esclusa da tale fattispecie.

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 SAN PIETRO IN GU.

Per quanto riguarda l'inquadramento generale, nell'ambito della pianura a nord di Vicenza, i terreni quaternari sono costituiti da materiali detritici continentali di deposito fluvioglaciale/alluvionale, molto variabili dal punto di vista granulometrico e tessiturale, geneticamente legati alla sovrapposizione ed interdigitazione delle conoidi subalpine dei principali corsi d'acqua – ed in particolare del fiume Brenta e del torrente Astico-Tesina – ed alle loro divagazioni nell'area di pianura.

Al riguardo, in Fig. 3 si riporta l'andamento schematico dei successivi percorsi dell'Astico e del Brenta nella pianura a nord di Vicenza.

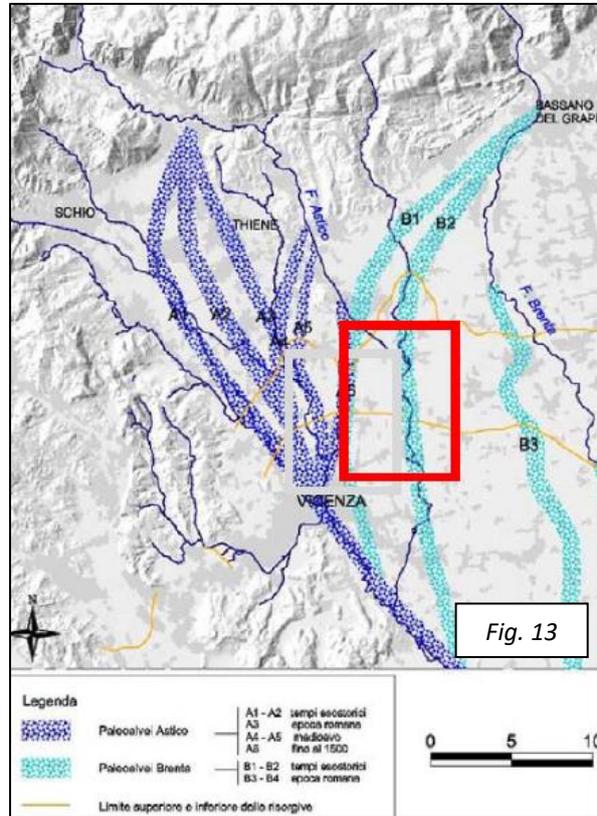
Dalla figura si può notare come i depositi alluvionali presenti nel territorio di San Pietro in Gu siano legati geneticamente alle dinamiche fluviali sia del fiume Brenta (B1-B2, tempi esostorici) che, più recentemente, del torrente Astico (A3 ÷ A6, dall'epoca romana fino al 1500).

Dunque, la morfologia attuale del territorio fluviale è il risultato delle azioni del fiume Brenta che, mediante la deposizione di materiali ghiaiosi su aree molto ampie, ha creato una tipica piana alluvionale.

Questa piana appartiene al sistema della media pianura alluvionale allungata in direzione nord-sud sulla destra orografica del Fiume Brenta, ed è costituita prevalentemente, come già detto, da depositi fluviali della pianura alluvionale recente formatasi nella fase wurmiana tra il Fiume Musone e l'attuale corso del Fiume Astico. Dalla fine dell'ultima glaciazione le divagazioni del Fiume Brenta si accompagnarono ad estesi fenomeni erosivi: in tal modo altre alluvioni andarono a ricoprire i precedenti depositi pleistocenici, formando una nuova pianura di divagazione recente. Le pendenze medie riscontrate nel territorio sono in media dello 0,3%.

Il rilievo di campagna ha permesso di verificare una sostanziale e generalizzata stabilità del territorio che risulta pianeggiante ed a tratti ondulato. Gli unici processi geomorfologici attivi sembrano essere quelli da deposizione in occasione di esondazioni da parte dei canali che attraversano la zona. Il territorio appartiene al potente materasso alluvionale padano costituito, alla base, da sedimenti di formazione marina (sabbie, marne e argille) depositatesi nel Quaternario Antico o Pleistocene inferiore. Con il Pleistocene Medio iniziano a formarsi i più antichi depositi di tipo continentale contemporaneamente alla fusione dei ghiacciai e delle glaciazioni Donau e Gunz. Fenomeni di subsidenza, oscillazioni eustatiche, movimenti tettonici legati alle ultime fasi dell'orogenesi alpina determinarono il definitivo instaurarsi di un ambiente continentale, caratterizzato da un potente accumulo di materiali detritici fluvioglaciali e fluviali.

Il territorio comunale si colloca a cavallo del limite inferiore della fascia delle risorgive ed il sottosuolo è caratterizzato da un'alternanza di materiali coesivi e granulari, con passaggi graduali tra i diversi litotipi e



contatti normalmente eteropici, legati a fenomeni di interdigitazione dei depositi dei corsi d'acqua principali ed alle divagazioni e/o esondazioni succedutesi nel tempo; la presenza inoltre di "paleoalvei" concorre poi ad aumentare la variabilità litologica.

In linea generale, il sottosuolo risulta costituito da **depositi alluvionali eterogenei**, potenti più di un centinaio di metri, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nella parte iniziale fino ad una profondità media di -20 + -30 m dal p.c., con massimi di circa -50 m dal p.c. e minimi dell'ordine di -10 + -15 m dal p.c. (es. settore occidentale a sud della ferrovia). Più in profondità prevalgono nettamente terreni argillosi e argilloso-limosi.

3.2. Assetto geomorfologico

A scala regionale, il territorio comunale viene ascritto a due diverse unità geomorfologiche derivanti essenzialmente dalla diversa situazione riguardo al fattore morfogenetico dominante, ovvero sia la presenza dell'alveo del fiume Brenta.

La zona di pianura più antica, non interessata dall'azione modellatrice dell'alveo recente ed attuale del Brenta, viene definita come appartenente ai "Depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti"; la fascia di territorio nella porzione centrale appartiene all'unità dei "Depositi fluviali della pianura alluvionale recente" (Fig. 14).

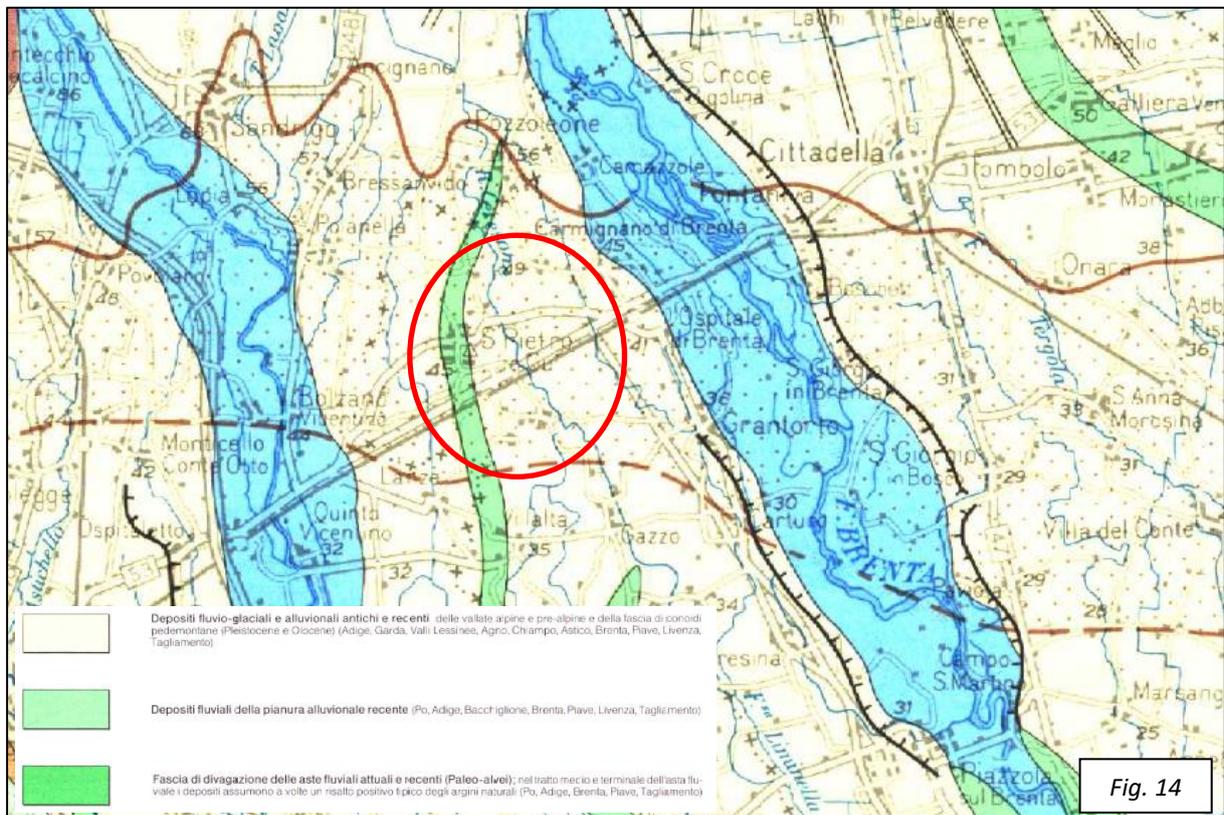


Fig. 14

Il territorio comunale di San Pietro in Gu corrisponde, dal punto di vista morfologico, ad un tratto della media pianura alluvionale a nord-ovest di Padova, posta sulla destra idrografica del fiume Brenta e ricadente nell'ambito dell'ampia conoide fluvio-glaciale di quest' ultimo, l'asse della quale presenta grossomodo la direzione Bassano-Cittadella-Padova.

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 San Pietro in Gu, redatto dallo Studio Georicerche nel febbraio 2014, 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. 51 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. 14 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. 14 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 simografo 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 25-30 Hz 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 San Pietro in Gu, 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:

- Materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati: si tratta di ghiaie sabbiose con ciottoli fino a 30-35 centimetri con aumento della frazione sabbiosa verso sud e con un livello argilloso limoso da 12 metri a 14 metri di profondità. Questa classe è costituita da terreni ghiaiosi sabbiosi con un suolo agrario in genere sottile (da 30 cm a 80 cm) di natura sabbioso limosa. Localmente sono state riscontrate alcune lenti argilloso sabbiose superficiali dello spessore massimo di 3-4 metri;

- Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente 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). associati a locali variazioni limoso-sabbiose. Rappresentano i depositi arealmente limitati, sono costituite da terreni fini, limoso-argillosi e argillosi, a tratti torbosi o con torba, con locali intercalazioni di lenti o livelli limoso-sabbiosi.
- Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa: la matrice prevalente granulare (sabbie e ghiaie con limo) fa sì che la permeabilità sia da media a bassa. Costituiscono una fascia che si sviluppa in senso trasversale a sud del Capoluogo, e che risale poi verso nord in prossimità del confine orientale e un'area circoscritta in corrispondenza del Capoluogo, tra la roggia Tergola ed il canale Meneghina. Si tratta di terreni granulari, da limoso-sabbiosi a sabbiosi-sabbioso ghiaiosi, con intercalazioni di lenti o livelli discontinui limoso-argillosi, prevalentemente sciolti ($R_p < 40 \text{ kg/cm}^2$). Le caratteristiche geotecniche risultano nel complesso mediocri, localmente scadenti, in relazione al grado di addensamento.

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.

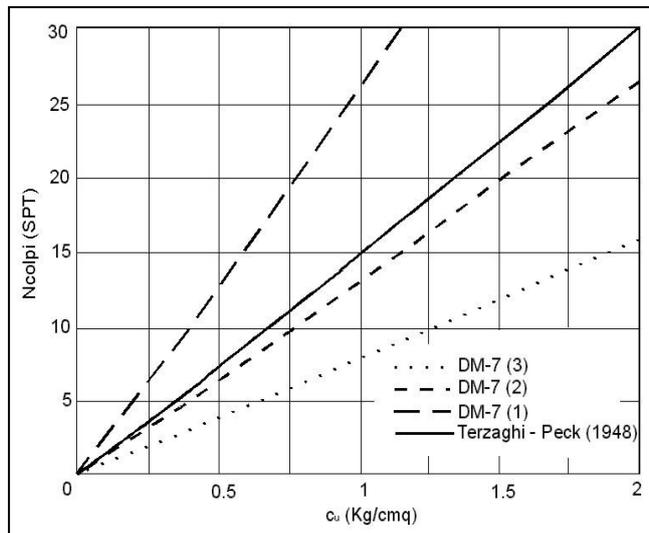


Fig. 15 - Correlazioni $C_u - N_{SPT}$

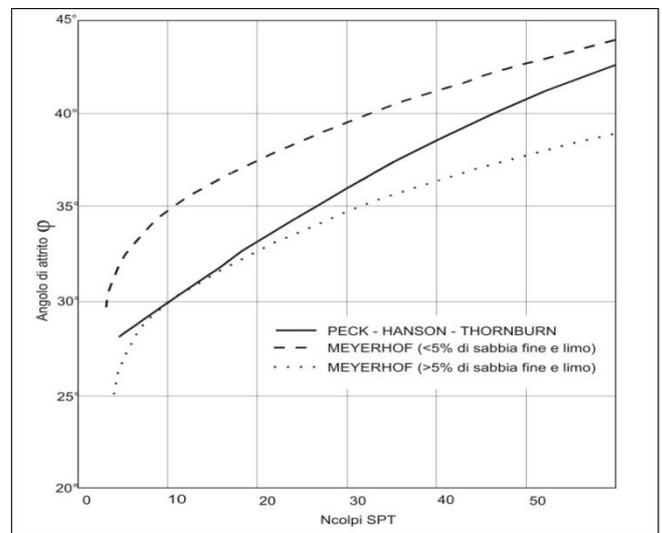


Fig. 16 - Correlazioni $\phi - N_{SPT}$

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. 15 - 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. 16 - 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/cm^2);

σ'_v = Pressione verticale efficace alla profondità di calcolo (kg/cm^2);

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. 17 – Correlazione $R_p - \phi$):

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/cm^2)

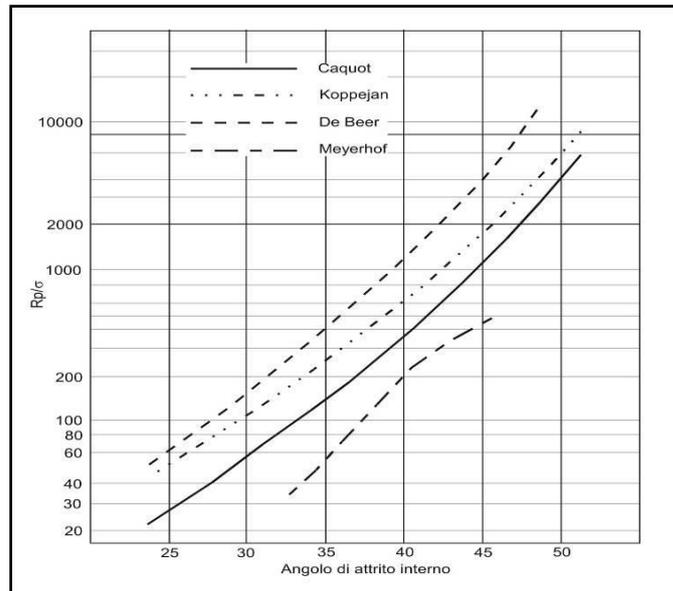


Fig. 17– Correlazione $R_p - \phi$

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	C_u k (KN/m^2)	ϕ_k (°)	γ_{NAT} k (KN/m^3)
Materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati	20 - 60	28° - 32°	18 - 19
Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa	30 - 50	—	17 - 18
Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa	—	28° - 32°	18 - 19

Dr. 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

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. 51 misure di microtremore ambientale basate su tecnica di sismica passiva a stazione singola, n. 14 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e n° 14 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.

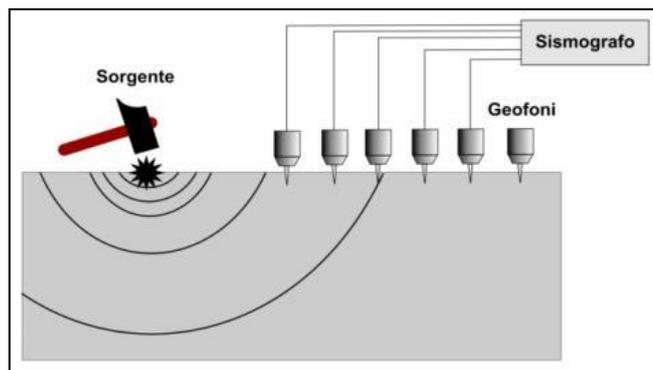
MASW

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.

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 si superficie non venga campionato correttamente risulta impossibile stimare la curva di dispersione e costruire il modello verticale di velocità delle onde si 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 in un range ristretto; questo dipende dagli elevati spessori di depositi postiali di sopra del bedrock geofisico; 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.
- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali della pianura a nord confermano la presenza di picchi affidabili ed interpretabili a frequenze comprese tra 0,78 e 0,59 Hz, piuttosto omogenee vista la modesta variabilità degli spessori della successione posta sul bedrock geofisico, posto a profondità maggiori di 250 m da p.c. locale.
- le misure eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali della pianura a sud confermano la presenza di picchi affidabili ed interpretabili a frequenze inferiori a 0,5 Hz, piuttosto omogenee vista la modesta variabilità degli spessori della successione posta sul bedrock geofisico, posto a profondità maggiori di 300 m da p.c. locale.

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 (1:200), 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 ulteriori 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°51 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° 14 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° 14 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. 17 gennaio 2018 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 di progetto le tipologie del suolo di fondazione vengono suddivise in due gruppi: il primo gruppo è definito da 5 categorie (A, B, C, D, E) di profili stratigrafici, e permette l'utilizzo di un approccio semplificato, mentre il secondo gruppo comprende qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti: per tali condizioni è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. I terreni sono classificati nelle categorie elencate in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ (velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità).

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

L'amplificazione stratigrafica è attesa su suoli di categoria diversa da A, caratterizzati da $V_s < 800$ m/s e spessori $>$ di 3 metri. Qualsiasi tipologia di suolo (roccia o deposito quaternario su cui è modellata la superficie topografica) che possiede $V_s > 800$ 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. 17/1/2018 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 2018, 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

Si precisa che nell'ambito territoriale in esame non sono stati riconosciuti fenomeni riconducibili a tale tipologia di instabilità, in particolare l'area pianeggiante in esame non risulta soggetta a tale tipologia di instabilità.

7.3. Liquefazione

7.3.1. Premesse

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ($M_w \geq 5$), che hanno come elemento comune, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Ver. 4.0b* specificano al *Par 1.1.3* rimanda alle “LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE DA LIQUEFAZIONI (LQ), versione 1.0”. Le linee guida nel par.2.2. “Carta delle MOPS – livello 1 (ZALQ - Zone di Attenzione)” specifica che:

Nel sottosuolo si sviluppano fenomeni di liquefazione in presenza delle seguenti 3 condizioni (si riprendono, modificandole in parte, le indicazioni di AGI, 2005 e NTC, 2018):

- **C1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c. Se si hanno dati disponibili e possibile rilevare più analiticamente la presenza nella successione litologica di orizzonti di terreni non coesivi con particelle di diametro compreso nei fusi granulometrici;**
- **C2. la falda acquifera deve essere ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;**
- **C3. gli eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo $M_w \geq 5$ ($I_{rif} \geq VII$) e da un’accelerazione in superficie di riferimento $a_{max} \geq 0,1 g$ ($IMCS \geq VII$). Le possibilità che un dato evento sismico sia in grado di dare origine a fenomeni di liquefazione dipendono dalla intensità e dalla durata dello scuotimento attesi.**

7.3.2. Approfondimenti richiesti per il Livello 1

Nel livello 1, la verifica delle 3 condizioni per la liquefazione precedentemente descritte viene condotta utilizzando **elementi informativi minimi**. Se si verificano le 3 condizioni, viene individuata una zona potenzialmente suscettibile di liquefazione e viene qualificata come ZALQ (Zona di Attenzione).

Per quanto riguarda la valutazione della condizione C1, poiché questa sarà fatta su dati pregressi, tra i quali non sempre sono presenti le indicazioni granulometriche, si può far riferimento anche alla sola descrizione strettamente litologica riportata in relazioni tecniche pregresse di sondaggi a carotaggio continuo o analizzando direttamente le carote del sondaggio.

Anche per la condizione C2 si può far riferimento a relazioni tecniche pregresse.

Per verificare la condizione C3, non essendo generalmente disponibili in questo livello di approfondimento studi specifici sull’amplificazione, si potrà utilizzare quale valore di soglia minima per questa condizione il solo valore della magnitudo, facendo riferimento per il suo calcolo all’**Appendice A1 delle Linee Guida**.

Nel caso non si verificasse anche solo una delle condizioni da C1 a C3 la zona e da considerare non suscettibile di liquefazione.

7.3.3. Condizioni del Comune di San Pietro in Gu

Per il Comune di San Pietro in Gu sono state prese in considerazione gli elementi informativi minimi in relazione alle 3 condizioni, di cui di seguito si riportano le valutazioni:

- **condizione C1:** la condizione è stata verificata su dati pregressi, si è fatto riferimento alla descrizione litologica riportata nelle relazioni raccolte per il database di indagini. Quanto riportato nella documentazione raccolta segnala la presenza di terreni non coesivi saturi.

- **condizione C2:** anche per la verifica di questa condizione si è fatto riferimento alle misurazioni del livello statico contenute nel materiale bibliografico raccolto. I livelli di falda si attestano alla profondità minima di 1,5 m dal p.c. locale.

- **condizione C3:** la verifica della condizione è stata eseguita secondo i metodi classici (**contenuti nell'Appendice A1**), alternativi, di calcolo della Mw ai fini della valutazione della suscettibilità alla liquefazione:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI 117;
- Criteri del cut-off magnitudo-distanza;
- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione (ICMS, 2008).

1. Secondo il metodo della Massima magnitudo dal catalogo DBMI 117, riporti nel paragrafo 2.3 il comune di San Pietro in Gu è caratterizzato da una magnitudo Mw di 4,85 attribuibile ad un evento nelle Prealpi Vicentine a 43 Km di distanza. Siccome, i valori di Mw riportati nel catalogo possono essere utilizzati solo nel caso la localizzazione dell'epicentro dell'evento non risulti eccessivamente distante (≈ 10 km) dalla località per la quale si sta effettuando lo studio, il valore riportato non può essere considerato attendibile.

2. In base al metodo del cut-off magnitudo- distanza esistono molte relazioni che descrivono queste curve "limite" denominate curve di cutoff.

In base alla Relazione empirica di Seed et alii (1984)

$$-\log_{10} R = 0.463 * M_w - 1.14.$$

Il terremoto di riferimento, con una Mw di 4,85, avrà un'area nella quale è verificata la condizione C3 entro una distanza epicentrale massima di 15 km.

Nel comune di San Pietro in Gu, essendo ad una distanza maggiore di 15 km dall'epicentro, non è verificata la condizione C3. Si sottolinea comunque che i criteri magnitudo-distanza, oltre ad essere affetti dall'incertezza del valore di Mw da dati storici, presentano notevoli incertezze dovute anche alle formule di stima dell'attenuazione con la distanza.

DISTANZA R (Km)	M _w
15	5
25	5.5
43	6
74	6.5
126	7
215	7.5
366	8

3. Infine, in riferimento alla zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), il comune di San Pietro in Gu ricade all'interno della ZS 906 con Mw_{max} di 6.60. In riferimento a questa metodologia la Mw stimata dalla zonazione ZS9 e dalla disaggregazione risente dell'incertezza della zonazione stessa (e della localizzazione delle strutture sismogenetiche); vista l'estensione areale delle zone ZS9, in alcuni settori della penisola, la Mw può essere sovrastimata.

Dopo aver valutato e verificato le tre condizioni, si è scelto cautelativamente di inserire tutto il territorio comunale nella zona di attenzione per liquefazione. Inoltre, sono state condotte alcune valutazioni su verticali d'indagini note, con le quali è stata redatta la "**Carta dei depositi suscettibili di liquefazione**", riportata in Allegato 7. Di seguito si descrive la metodologia che ha portato alla redazione della stessa.

7.3.4. Indagini e metodi da applicare nei livelli di approfondimento successivi

Nelle **AREE EDIFICATE** che ricadono in ZA_{LQ}, per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del

Livello 3 di MS al fine di individuare le ZSLQ e le ZRLQ, oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente.

Nelle **AREE NON EDIFICATE (con previsione di trasformazione)** e le **AREE NON URBANIZZATE A TRASFORMABILITÀ LIMITATA**, ricadenti in ZALQ, sono soggette ad un regime di limitazione di edificabilità che non autorizza alcun intervento di trasformazione, fintantoché non vengano effettuati i necessari approfondimenti al fine di individuare le ZSLQ e le ZRLQ.

È ammessa in tali aree la sistemazione di spazi aperti, senza realizzazione di volumetrie, a servizio delle funzioni e delle attività presenti nelle aree limitrofe, insediate e urbanizzate, o per incrementare la dotazione urbana di aree verdi, spazi pubblici e verde privato attrezzato.

Per necessari approfondimenti si intende verificare la sicurezza nei confronti della liquefazione con procedure di analisi avanzate o con metodologie di carattere semi-empirico come riportato nelle NTC 2018, Capitolo 7, Paragrafo **7.11.3.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE**.

7.3.5. Dati di partenza

Sono state prese in considerazione, dalla Carta delle Indagini dello Studio di MS, le sole prove penetrometriche statiche CPT.

Le 13 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 13 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.

7.3.6. 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 **Robertson e Wride classico:**

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88$$

Metodo di **Robertson e Wride modificato:**

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N}$$

Dove K_c dipende dal contenuto di fine FC (%)

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0.0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0.8 \quad \text{per } FC > 35$$

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:

<i>Magnitudo</i>	NCEER <i>(Seed R. B. et al.) (1997; 2003)</i>	<i>Magnitudo</i>	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 rd** 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:

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

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 $F_s \leq 1,25$. 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 $F_s \leq 1,30$.

7.3.7. 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 8* si riportano le elaborazioni effettuate per ciascuna verticale indagata. L'*Allegato 8* 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 risultano in alcune zone del comune come potenzialmente liquefacibili secondo le ipotesi prima descritte. Per questi motivi entro il territorio comunale è stata quindi individuata una Zona di Attenzione per liquefazione (ZAL_Q). 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.

In base agli elementi informativi minimi da considerare per l'identificazione delle FAC e delle Zone di Attenzione, come descritto nel par. 2.7, nel comune di San Pietro in Gu non sono state riconosciute faglie attive e capaci.

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 San Pietro in Gu, per un totale di n.173 punti d'indagine, contenenti 200 indagini geognostiche:

-  CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica: n.36
-  DN - Prova penetrometrica dinamica media: n.1
-  DP - Prova penetrometrica dinamica super-pesante: n.20
-  DS - Prova penetrometrica dinamica super-pesante: n.16
-  HVSR - Stazione microtremore a stazione singola: n.59
-  PA - Pozzo per acqua: n.2
-  S - Sondaggio a carotaggio continuo: n. 8
-  SD - Sondaggio a distruzione di nucleo: n.1
-  T - Trincea o pozzetto esplorativo: n.27
- TD – Taglio diretto: n.2

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

-  ReMi – Prova REfractionMIcrotremors: n.14
-  MASW: n.16

La tabella seguente riassume gli shape file, archiviati secondo i criteri previsti dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 4.1), 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 ✓ Archivio comunale 	Indagini
Ind_In	Indagini di tipo lineare	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Indagini ex-novo – MASW ✓ Indagini ex-novo – Re.Mi ✓ Archivio comunale 	Indagini

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 San Pietro in Gu 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,
- ✓ asse di paleovalveo,
- ✓ unità litotecniche riferite al substrato lapideo e ai terreni di copertura.

Nello specifico, la carta in oggetto deriva dall’extrapolazione 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): 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.

Relativamente ai terreni In linea generale, il sottosuolo risulta costituito da **depositi alluvionali eterogenei**, potenti più di un centinaio di metri, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nella parte iniziale fino ad una profondità media di -20 + -30 m dal p.c., con massimi di circa -50 m dal p.c. e minimi dell'ordine di -10 + -15 m dal p.c. (es. settore occidentale a sud della ferrovia). Più in profondità prevalgono nettamente terreni argillosi e argilloso-limosi.

Le unità geotecniche della *Carta geologica 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*:

TERRENI DI COPERTURA NELLA CARTA GT	DESCRIZIONE	AMBIENTE DEPOSIZIONALE
Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMfg)	alluvioni prevalentemente sabbiose, incoerenti, moderatamente addensate	Depositi alluvionali fluvioglaciali
500 250 (SMfg)	alluvioni prevalentemente sabbiose, incoerenti, poco addensate	Depositi alluvionali fluvioglaciali
Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLfg)	alluvioni prevalentemente argillose, coesive, poco consistenti	Depositi alluvionali fluvioglaciali
Terreni contenenti resti di attività antropica (RIzz).	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 con cinematiso non definito non attiva - Asse di paleoalveo - Traccia sezione geologica	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	<i>Geotec</i>
Epuntuali	Elementi morfologici puntuali: nessun elemento rilevato	✓	<i>Geotec</i>
Forme	Forme di superficie: nessun elemento rilevato	✓	<i>Geotec</i>

Dr. 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

Geoidr	Elementi puntuali geologici e geomorfologici: - Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m) - Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ Ind_pu	Geotec
Geotec	Unità geologico tecniche: - Terreni di copertura	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	Geotec
Instab	- Zone di instabilità di versante Nessun elemento rilevato	✓ 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 4.1 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:

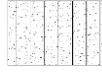
- Zone di attenzione per le instabilità di versante, distinte per attività (attiva, quiescente, inattiva) - Z_{FR}
- Zone di attenzione per liquefazione di terreni saturi - Z_{LQ}
- Zone di attenzione per faglia attiva e capace – Z_{FAC}
- Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee Z_{CD}
-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

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del territorio di San Pietro in Gu 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.8 tipologie di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali alle quali corrispondono altrettante 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

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CLfg) |
|  | Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMfg) |
|  | Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SMfg) |
|  | Terreni contenenti resti di attività antropica (RIzz) |

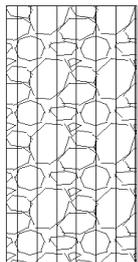
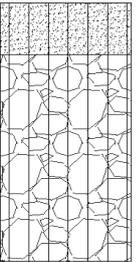
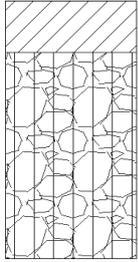
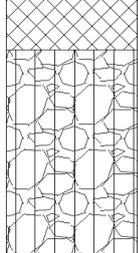
ZONE STABILI

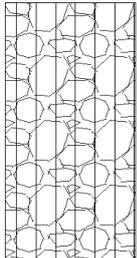
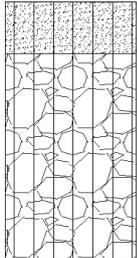
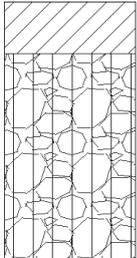
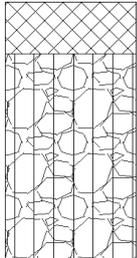
Non sono state individuate zone "stabili".

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

Il comune risulterebbe suscettibile di amplificazioni locali per **stratigrafia e caratteristiche dei litotipi**. Come è stato evidenziato dalle prove geognostiche, e rappresentato nella carta geologico tecnica è stato possibile riconoscere 4 tipi di terreni di copertura differenti. Dalle indagini geofisiche in sito inoltre è presente una differente risposta sismica in relazione ai diversi spessori dei depositi alluvionali. Queste constatazioni hanno permesso di suddividere il territorio in otto zone principali, dalla Zona 1 alla Zona 8 considerando le caratteristiche stratigrafiche, litologiche e genetiche dei terreni della "Carta geologico-tecnica" e le potenziali risposte sismiche locali.

Ad ogni zona è stata assegnata una colonnina stratigrafica: fatto salvo qualche dubbio interpretativo, sono state rappresentate simbolicamente nella tabella che segue. Si ricorda che una stessa zona può accorpate differenti colonnine stratigrafiche in virtù di un analogo comportamento rilevato durante le indagini sismiche.

<p>Zona 1 - 2001</p>  <p>200 - 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove sono presenti alluvioni fluvio-glaciali grossolane, prevalentemente incoerenti, moderatamente addensate. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità tra 200 e 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 2 - 2002</p>  <p>3 - 5 m 200 - 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di alluvioni sabbiose prevalentemente incoerenti, poco addensate. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità tra 200 e 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 3 - 2003</p>  <p>3 - 5 m 200 - 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di alluvioni fini prevalentemente coesive, poco consistenti. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità tra 200 e 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 4 - 2004</p>  <p>3 - 5 m 200 - 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di terreni di riporto prevalentemente incoerenti, poco addensati. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità tra 200 e 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>

<p>Zona 5 -2005</p>  <p>> 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove sono presenti alluvioni fluvio-glaciali grossolane, prevalentemente incoerenti, moderatamente addensate. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità maggiori di 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 6 -2006</p>  <p>3 - 5 m</p> <p>> 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di alluvioni sabbiose prevalentemente incoerenti, poco addensate. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità maggiori di 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 7 -2007</p>  <p>3 - 5 m</p> <p>> 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di alluvioni fini prevalentemente coesive, poco consistenti. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità maggiori di 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>
<p>Zona 8 -2008</p>  <p>3 - 5 m</p> <p>> 250 m</p>	<p>Rappresenta aree di pianura alluvionale dove, al di sopra delle alluvioni fluvio-glaciali più grossolane, sono presenti da 3 a 5 m di terreni di riporto prevalentemente incoerenti, poco addensati. Le alluvioni ghiaiose possono presentare livelli sabbiosi di spessori variabili. Il bedrock geofisico si attesta a profondità maggiori di 250 m, su superfici topografiche aventi inclinazione < 15°.</p> <p>Le misure di microtremore effettuate in questa zona evidenziano picchi di risonanza minori di 1 Hz, caratterizzati generalmente da un contrasto di impedenza sismica elevato.</p>

ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'

Nel territorio in esame si distingue la presenza di Zone di attenzione per Liquefazioni – ZA_{LQ}

Per la rappresentazione delle Zone di attenzione per liquefazione, la simbologia proposta dagli *Standard Ver.4.1* prevede la sovrapposizione al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino a maglia quadrata di colore nero; questa rappresentazione conserva le informazioni sulla stratigrafia della microzona permettendo, se gli approfondimenti di Livello 3 non confermano l'instabilità per liquefazione, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questa zona. **Nel territorio comunale tutte Zone stabili suscettibili di amplificazioni sismiche sono interessate dalla presenza delle zone di attenzione per Liquefazione.**

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.

Dr. 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

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 con cinematismo non definito non attiva - Asse di paleoalveo - Traccia sezioni topografiche	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	Geotec
Epuntuali	Elementi morfologici puntuali: nessun elemento rilevato	✓	Geotec
Forme	Forme di superficie: nessun elemento rilevato	✓	Geotec
Instab	Zone di attenzione per instabilità: - Liquefazione	✓ Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica ✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ Verticali d'indagine	MS1
Stab	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: nessun elemento rilevato	✓	MS1

Contestualmente alla realizzazione della carta in oggetto, è stato realizzato l'*Allegato 4 – Carta del bedrock geofisico*, nella quale viene riportata la profondità del bedrock geofisico desunta dalle indagini ex-novo.

In merito alla determinazione delle isobate del substrato geologico sepolto, lo shape file non è stato compilato in quanto manca il dato relativo alla profondità dello stesso.

Nella carta delle MOPS non sono state riportate le tracce dei profili topografici, in quanto, vista la conformazione morfologica del comune non sono state riconosciute potenziali situazioni di amplificazione topografica.

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 aggravamenti 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.1 tipologia di zone omogenee previste, zone di attenzione per instabilità; non sono state individuate zone stabili suscettibili di amplificazioni locali né zone stabili.

8.4.1. Fattori amplificazione litostratigrafici

Gli abachi ICMS hanno consentito, in via semplificativa, di attribuire alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali individuate nelle MOPS, due fattori numerici (FA, FV) in grado di quantificare l'amplificazione locale del moto sismico di base.

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
Ghiaia	0.18g	Lineare pendenza intermedia	400	> 150	1.02	1.41
Ghiaia	0.18g	Lineare pendenza intermedia	450	> 150	1.04	1.36

Alla luce dei fattori di amplificazione litostratigrafici calcolati con gli abachi ICMS, sopra riportati in tabella, si è deciso di riportare nella Carta MS il parametro di amplificazione FV ad alti periodi, attribuiti alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; si riporta inoltre la definizione delle zone di attenzione per le instabilità, riportate dallo studio di MS di livello 1.

8.4.2. Fattori amplificazione topografici

Vista la conformazione pianeggiante del territorio comunale, non sono state rilevate morfologie (es. creste, scarpate, ecc....) tali da produrre amplificazioni topografiche.

Per questi motivi a tutto il territorio comunale è stato attribuito un fattore di amplificazione topografica **Ft = 1**.

8.4.3. Contenuti della Carta MS

La Carta di MS del territorio di San Pietro in Gu è stata redatta sulla base delle informazioni contenute nello Studio di 1 livello ed all'applicazione degli abachi ICMS 2008.

Lo studio di MS di livello 2 ha mantenuto la suddivisione del territorio comunale contenuta nella Carta delle MOPS, nella quale nel territorio comunale è stata riconosciuta la presenza di **zone di attenzione per instabilità**; non sono invece state individuate zone stabili né zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

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.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

CLASSE: FV 1.3 – 1.4

Ricadono in questa classe:

- Aree soggette ad amplificazioni litostratigrafiche caratterizzate da spessore dei depositi ghiaiosi ($V_{SH} = 400 m/s$) compreso tra 200 e 250 m

ZONE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITA'

Nel territorio in esame si distingue la presenza di Zone di attenzione per Liquefazioni – ZA_{LQ}

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.

Nel territorio in esame di distinguono:

- Zone di attenzione per Liquefazioni – ZA_{LQ} con FV 1.3 – 1.4

Dr. 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

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: - Liquefazione	✓ Instab MS1	MS23
Elineari	Elementi morfologici lineari e strutturali: - Faglia con cinematismo non definito non attiva - Asse di paleoalveo	✓ PAT – Quadro conoscitivo geologico ✓ P.T.C.P.	Geotec
Epuntuali	nessun elemento rilevato	✓	Geotec
Forme	nessun elemento rilevato	✓	Geotec
Isosub	nessun elemento rilevato	✓	MS23
Stab	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: nessun elemento rilevato	✓	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):

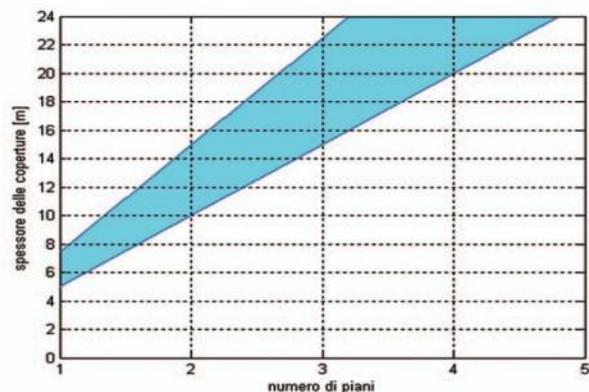
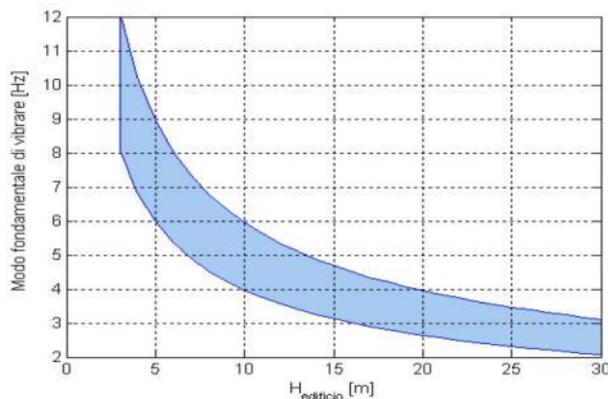
$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

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:

<i>Classe</i>	<i>Frequenza di risonanza</i>	<i>Altezza critica degli edifici</i>
1	< 0.50 Hz	> 30 m
2	0.50 -1.0 Hz	> 30 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 2018.

8.5.2. Carta del modello digitale di elevazione 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 evidenziato la assenza di pendenze significative nel territorio comunale in esame.

Per questi motivi si è scelto di riportare il modello digitale del terreno (DTM) del territorio in esame fornito dalla Regione Veneto. 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 5).

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.

La classificazione del DTM è stata effettuata attraverso una scala colorimetrica, suddividendo il comune in n. 12 classi di intervalli di quota:

8.5.3. Carta delle Velocità delle onde S (Vs30)

Ulteriore elaborato utile alla comprensione delle indagini geofisiche ex –novo eseguite è l' *Allegato 7- Carta delle velocità delle onde s*. Nell'allegato vengono riportati i 4 intervalli di Vs30 normativi. Il comune di colloca interamente **categoria di sottosuolo C (NTC -18)** con Vs comprese tra 180 e 60 m/s. L'allegato riporta inoltre i singoli valori di Vs30 determinati dall'acquisizione di 14 MASW e 14 RE.Mi. e dall'interpretazione di 51 HVSR.

8.5.4. Carta del Fattore di amplificazione litologico FV

Per rendere lo studio di microzonazione sismica di livello 2 più comprensibile si è scelto di produrre l'*Allegato 8 - Carta del fattore di amplificazione litologico FV*. Nell'allegato vengono riportate le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici classificate per singoli valori di FV (gradazione dal giallo al rosso) e riportato il valore di FV, valutati nel territorio comunale. 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.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

Si precisa che, dall'analisi delle fonti storiche relative al Comune di San Pietro in Gu, non si sono rilevate segnalazioni relativamente a danni significativi ad edifici e/o infrastrutture riconducibile ad eventi sismici nel passato (rif par.2.3).

Vicenza, settembre 2019



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 Tropenscovino 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*

Dr. 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 – <http://www.studiogeosistemi.it> – 📞 335.8154346

- 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.
- 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 San Pietro in Gu redatto dallo Studio Rech nel 2012.
- Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). Italian Journal of Engineering Geology and Environment, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05