



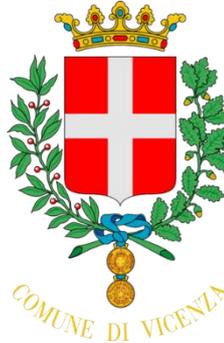
PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME



Comune di Vicenza (VI)

<i>Regione</i> Veneto	<i>Provincia</i> Vicenza	<i>Comune</i> Vicenza
<p><i>Titolo</i></p> <p style="text-align: center;">Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello</p> <p style="text-align: center;">Relazione illustrativa</p>		
<p><i>Committente</i> Comune di Vicenza</p>		
<p><i>Dr. Geol. Giovanni Rigatto – O.R.G.V. n. 839</i></p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p style="font-size: 8px;">Quality management system ISO 9001</p> <ul style="list-style-type: none"> • Customer focus • Customer satisfaction • Continuous improvement • System/process effectiveness <p style="font-size: 8px;">www.tuv.it/taurigen</p> </div> </div>		
<i>Data</i> 27 luglio 2022	<i>Codice Commessa</i> 22126	<i>Rev.</i> n. 00
<p><i>Documento</i> 22126_20220727_R00_00_Vicenza_MS23</p>		
<p>ADASTRA ENGINEERING srl - sede legale: v. Xola, 41b 30020 Torre di Mosto (Ve) - sede operativa: v. Confin, 87b 30020 Torre di Mosto (Ve) tel./fax 0421-325683 www.adastra.it info@adastra.it - c.f. p. iva - reg. impr. ve 04251560274 - n° rea cciaa VE 378954</p> <p style="text-align: center;">AZIENDA CERTIFICATA CON SISTEMA DI QUALITÀ UNI EN ISO 9001/2015</p>		



Comune di Vicenza (VI)

Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello

Relazione illustrativa

Indice

1	Introduzione.....	4
1.1	Premessa	4
1.2	Riferimenti normativi	4
2	Microzonazione Sismica	7
3	Zone suscettibili di instabilità.....	8
4	Dati geotecnici e geofisici.....	9
4.1	Fonti dei dati pregressi.....	9
4.2	Il piano delle misure geofisiche integrative	9
4.3	Indagini geofisiche integrative: sensori impiegati	9
4.4	Commento generale alle misure di V_{S30} e HVSR.....	10
4.5	Tomografie di resistività elettrica (ERT).....	12
5	Elaborati cartografici.....	14
5.1	Carta delle indagini.....	14
5.2	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza.....	15
5.3	Carta delle V_{S30}	16
5.4	Carta della Microzonazione Sismica	17
6	Modalità di costruzione della Carta di Microzonazione Sismica.....	19
6.1	Determinazione dei valori di FA e FV.....	19
6.2	Effetti topografici	22
7	Liquefazione dei terreni	23
7.1	Verifica alla Liquefazione dei terreni	23
7.2	Indice di potenziale di Liquefazione medio (IL)	26
7.3	Criticità e limitazioni.....	28
8	Analisi delle instabilità di versante sismoindotte	29
8.1	Premesse.....	29
8.2	Classificazione delle frane	30
8.3	Definizione delle Zone di Attenzione.....	30
8.3.1	Screening	31
8.4	Screening preliminare: definizione di una soglia di pericolosità sismica di base (H_{FR}).....	32
8.5	Definizione delle ZAFR - Zone di Attenzione per instabilità di versante	36

8.6	Individuazione delle aree potenzialmente franose (APF) e delle aree di evoluzione della frana (AE)	37
8.6.1	Area Potenzialmente Franosa (APF).....	37
8.6.2	Area di evoluzione della frana (AE)	39
8.7	Definizione di indagini e parametri per la programmazione degli approfondimenti superiori.....	40
8.7.1	Riconoscimento Indicatori Cinematici.....	40
8.7.2	Stato di Attività	41
8.8	Conclusioni	42
9	Analisi della suscettività alla liquefazione	43
9.1	Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di liquefazione	43
10	Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci.....	44
11	Normativa tecnica in ambito sismico per il Piano degli interventi del Comune di Vicenza	53
11.1	Zone di amplificazione topografica e stratigrafica: approfondimenti a norma del DM 17.01.2018 (NTC 2018).....	53
11.1.1	Premessa	53
11.1.2	Modalità di applicazione degli approfondimenti a norma del DM 17.01.2018 (NTC 2018).....	53
11.1.3	Analisi di Risposta Sismica Locale	55
11.2	Comune di Vicenza - Disciplina sismica per le zone interessate dalla presenza di liquefazione (Z_{SLQ} e Z_{RLQ})	58
12	Commenti finali e criticità.....	64

Indice delle figure

Figura 1 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).	10
Figura 2 - Mesh tetraedrica tridimensionale di ERTLAB 3D.....	13
Figura 3 – Mappa delle frequenze fondamentali di risonanza interpolata.....	15
Figura 4 – Mappa di V_{S30} interpolata.....	16
Figura 5 – Legenda della Carta di microzonazione sismica.....	18
Figura 6 – Criteri di riconoscimento delle creste e/o cocuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche.	22
Figura 7 – Curve di correlazione CSR/V_{S1} secondo Kayle <i>et al.</i> , 2013.	25
Figura 8 – Software di valutazione della liquefazione secondo Andrus e Stokoe, 1997 (modificato); ©S.B. Monaco, Messina.	26
Figura 9 – Metodologia generale di individuazione delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane).....	31
Figura 10 – Mappa di Ag per l’area del comune di Vicenza (http://esse1-gis.mi.ingv.it/).....	33
Figura 11 – Disaggregazione del valore di A(g) per il comune di Vicenza (http://esse1-gis.mi.ingv.it/).....	33
Figura 12 – Disaggregazione del valore di A(g) per il comune di Vicenza) e valori di M-D (http://esse1-gis.mi.ingv.it/).....	34
Figura 13 – Coppia M-D per il comune di Vicenza rispetto alla curva limite per “disrupted slides or falls” (Kiefer, 1984).....	34
Figura 14 – Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013). Non sono registrati eventi nell’intorno del comune di Vicenza.....	36
Figura 15 – Indagini sismiche – Normativa tecnica per il Piano degli Interventi.	57
Figura 16 - “Procedure da attuare in aree Z_{SLQ} o Z_{RLQ} ” - diagramma di flusso.....	63

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l’individuazione delle zone.	8
Tabella 2 – Coordinate WGS84 UTM33N dei punti indagine ReMi e relativo valore di V_{S30}	11
Tabella 3 – Distribuzione dei valori di H/V e F°	12
Tabella 4 – Numero di indagini classificate per tipologia	14
Tabella 5 - Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione (Linee Guida LQ, 2017).....	19
Tabella 6 – Determinazione dei valori di FA e FV	21
Tabella 7 – Tabella con dati statistici di FA e FV	21
Tabella 8 – Calcolo dell’indice del potenziale di liquefazione. Sono riportati solo i profili di Vs per i quali $IL > 0$	27
Tabella 9 – Valori di riferimento puramente indicativi per la delimitazione dell’AE (Appendice 2, Linee Guida Frane, 2017)	40
Tabella 10 – Correlazione grado di rimodellamento-stato di attività (da Linee Guida Frane, 2017: Tab. A2_4).	42

TAVOLE FUORI TESTO

Codice	Titolo	Rev.	Data
CI_NORD_22126_20220727_T01_00	Carta delle Indagini – Tavola nord	00	27/07/22
CI_SUD_22126_20220727_T02_00	Carta delle Indagini - Tavola sud	00	27/07/22
FREQUENZE_NORD_22126_20220727_T03_00	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza - Tavola nord	00	27/07/22
FREQUENZE_SUD_22126_20220727_T04_00	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza - Tavola sud	00	27/07/22
FREQUENZE_interp_NORD_22126_20220727_T05_00	Carta d'interpolazione delle frequenze fondamentali di risonanza – Tavola nord	00	27/07/22
FREQUENZE_interp_SUD_22126_20220727_T06_00	Carta d'interpolazione delle frequenze fondamentali di risonanza – Tavola sud	00	27/07/22
VS30_NORD_22126_20220727_T07_00	Carta della VS ₃₀ - Tavola nord	00	27/07/22
VS30_SUD_22126_20220727_T08_00	Carta della VS ₃₀ - Tavola sud	00	27/07/22
VS30_NORD_22126_interp_20220727_T09_00	Carta d'interpolazione della VS ₃₀ - Tavola nord	00	27/07/22
VS30_SUD_22126_interp_20220727_T10_00	Carta d'interpolazione della VS ₃₀ - Tavola sud	00	27/07/22
MS23_NORD_22126_20220727_T11_00	Carta della Microzonazione Sismica - Tavola nord	00	27/07/22
MS23_SUD_22126_20220727_T12_00	Carta della Microzonazione Sismica - Tavola sud	00	27/07/22

ALLEGATI FUORI TESTO DIGITALI

Codice	Titolo	Rev.	Data
22126_20220727_ALL01_00	Indagini Remi	00	27/07/22
22126_20220727_ALL02_00	Indagini HVSR	00	27/07/22
22126_20220727_ALL03_00	ERT	00	27/07/22

EMISSIONI

Rev.	Codice	Data	Riesame	Verifica	Approvazione
00	22126_20220727_R00_00_Vicenza_MS23	27/07/2022	G. Rigatto	C. Levorato	G. Rigatto

LISTA DI DISTRIBUZIONE

Nominativo	Azienda	Copie a stampa	Copie digitali
Copia Ufficio	Adastra Engineering srl	=	✓
Arch. Riccardo D'Amato	Ufficio Tecnico - Comune di Vicenza	=	✓

1 Introduzione

1.1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Vicenza è stato affidato a Adastra Engineering srl lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello II con approfondimenti di Livello III ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013. La presente relazione fa seguito allo studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello conclusa nel maggio 2014 (STUDIO GEO.TEC. del Dr. Geol. Antonio Toscano) al quale si rimanda per gli approfondimenti inerenti al quadro geologico di riferimento e per le caratteristiche sismologiche del territorio comunale.

La presente relazione espone le modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geologici, geotecnici, sismici e cartografici che sono stati adottati nella realizzazione dello studio di Microzonazione Sismica realizzata secondo lo schema logico e le norme richiesti dagli ICMS 2008 e dalle *Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica della Regione Veneto* (DGR n. 1572 del 3.10.2013, all. A).

Le acquisizioni dei dati di campagna e le elaborazioni cartografiche sono state condotte nei mesi di giugno e luglio 2022.

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi (G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 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.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 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.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 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" (pubblicata nel Supplemento n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 08/05/2003) modificata con ordinanza 3316 e 3431.

Testo ordinanza in 4 articoli:

- Allegato 1: Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Allegato 2: Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- Allegato 3: Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti.
- Allegato 4: Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

Legge Regionale 07 novembre 2003 n. 27 art. 66, Indicazioni generali per uniformare le procedure di deposito dei progetti in zona sismica 2 e nei Comuni o parti del loro territorio interessati da opere di consolidamento degli abitati.

Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 67 del 03 dicembre 2003. Recepisce i criteri generali dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, ed approva la nuova classificazione sismica dei Comuni del Veneto.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 maggio 2005, n. 3431, Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519, Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006).

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) e relativa Circolare esplicativa. Con la pubblicazione delle NTC08 vengono recepite molte delle indicazioni normative precedenti e riordinate in un unico codice.

Principali Norme Tecniche di riferimento:

- Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica.
- Capitolo 8 Costruzioni esistenti, §8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche.
- Allegato A: Pericolosità sismica.
- Allegato B: Tabelle che definiscono l'azione sismica nel territorio italiano.

- Capitolo 7 Progettazione per azioni sismiche (strutture nuove).

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008 “O.P.C.M. 28.4.2006, n. 3519: “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. Direttive per l’applicazione”. La Giunta Regionale stabilisce di prendere atto dei criteri generali di classificazione allegati all’Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, innovativi rispetto all’OPCM 3274/2003, e della mappa di pericolosità sismica di riferimento, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (amax) confermando, comunque, per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, la classificazione sismica dei Comuni del Veneto di cui all’Allegato I della deliberazione del Consiglio Regionale n. 67/2003.

Legge 24 giugno 2009, n. 77 Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella Regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.

Decreto n. 69/2010, Linee guida per la realizzazione dello studio di compatibilità sismica per i Piani di Assetto del Territorio Comunali e Intercomunali.

OCDC n. 52 del 20 febbraio 2013. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2012

DGR n. 1572 del 03 ottobre 2013. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all’Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 52 in data 20 febbraio 2013.

Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 1431 del 15 aprile 2013, pubblicato nella G.U. del 10 luglio 2013 (L. 77/2009, art. 11).

OCDC n. 171 del 19 giugno 2014: contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013.

DGR n. 1896 del 14 ottobre 2014. Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.06.09, n.77. O.C.D.P.C. 171 del 19 giugno 2014 (G.U. n. 145 del 25 giugno 2014). (L. 77/09, art. 11).

DGR n. 598 del 21 aprile 2015. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all’Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 171 in data 19 giugno 2014. Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 4 agosto 2014, pubblicato nella G.U. del 6 novembre 2014. (L. 77/2009, art. 11).

Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) - Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Roma 2017.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.42 del 20/02/2018).

DGR n. 899 del 28 giugno 2019. Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Chiarimenti e precisazioni sulle modalità applicative. Studi di Microzonazione Sismica Direttive per l'applicazione dei livelli di approfondimento.

DGR n. 1381 del 12 ottobre 2021- Allegato A - Chiarimenti sulle modalità di applicazione della Linee guida regionali per la redazione degli studi di Microzonazione Sismica nel territorio regionale.

DGR n. 1381 del 12 ottobre 2021- Allegato B - Elenco dei Comuni del Veneto a cui applicare le linee guida per gli studi di microzonazione sismica.

2 Microzonazione Sismica

Le nuove Direttive Regionali per la microzonazione sismica in merito l'applicazione dei livelli di approfondimento (DGR nr. 899 del 28 giugno 2019) prevedono che:

- il 2° Livello si applica in sede di redazione di studi per gli strumenti urbanistici che individuano disciplinano gli interventi sul territorio (strumenti urbanistici comunali generali ed attuativi) in tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica, come individuate nel 1° Livello, in cui si prevedono trasformazioni urbanistico-edilizie e incremento dei carichi urbanistici/insediativi;
- il 2° Livello deve essere applicato anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale e in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali. Ciò in considerazione del fatto che gli studi di Microzonazione Sismica hanno come principali obiettivi quelli di fornire informazioni utili non solo per la pianificazione ed il governo del territorio, ma anche per la progettazione, la pianificazione dell'emergenza e la ricostruzione post-sisma;
- il 3° Livello si applica in concomitanza con il 2° Livello nelle aree caratterizzate da potenziali effetti di instabilità (di versante, per cedimento/liquefazione, per presenza di faglie attive e capaci) e quando le procedure semplificate per la stima dell'amplificazione sismica utilizzate nel 2° Livello (fattori di amplificazione derivati dagli abachi) si dimostrano inadeguate per l'applicazione delle norme tecniche di cui al D.M. 17/1/2018;
- inoltre, il 3° Livello (fattori di amplificazione o spettri di risposta sismica calcolati con simulazioni numeriche) si applica sempre nel caso di opere di rilevante interesse pubblico (infrastrutture viarie, infrastrutture di servizio, edifici strategici, strutture di emergenza, edifici rilevanti, attività produttive a rischio di incidente rilevante, beni culturali di particolare rilevanza).

Gli approfondimenti di Microzonazione di Secondo/Terzo Livello hanno riguardato l'intero territorio comunale e sono stati rivolti all'analisi della suscettibilità alla liquefazione, all'instabilità di versante e alle zone di attenzione per faglie attive e capaci.

Sono state eseguite tomografie elettriche e indagini sismiche, volte all'individuazione delle faglie attive e capaci, e specifiche misure passive a stazione singola con tecnica H/V e ReMi per gli approfondimenti di Secondo e di Terzo Livello comprendenti anche la verifica delle aree suscettibili di liquefazione. Per quanto riguarda la procedura di studio delle faglie potenzialmente attive e capaci nell'ambito dei livelli di approfondimento della MS, sono state eseguite le indagini indicate dalla normativa (Tab. A2 delle *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0*) fino al gruppo di indagini 3 (esclusa l'esecuzione di trincee paleosismiche).

Sono stati inoltre affrontati gli approfondimenti di secondo e terzo livello secondo le Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (vers.01, 2017) e le Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ).

Il risultato fondamentale è la Carta di Microzonazione Sismica ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

3 Zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA) negli studi per la Carta delle MOPS;
- Zone di Suscettibilità (ZS) e Zone di Rispetto (ZR) negli studi per la Carta di MS.

Concettualmente, il significato dei tre tipi di zone è il seguente:

- **Zone di Attenzione (ZA):** sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame, ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati. Resta comunque l'opportunità di produrre, anche in questa fase, dati originali in situ e in laboratorio, se le informazioni disponibili non sono sufficienti.
- **Zone di Suscettibilità (ZS):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- **Zone di Rispetto (ZR):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

C1	C2	C3	IL	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Sì	Sì	Sì	-	ZA _α (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Sì	Sì	Sì	2 < IL ≤ 15	ZS _{lα} (Zona di Suscettibilità alla liquefazione)	MS	3 (in alcune condizioni geologiche livello 2, limitatamente per a _{max})
Sì	Sì	Sì	> 15	ZR _α (Zona di Rispetto)	MS	3

Tabella 1 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone.

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata.

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 FONTI DEI DATI PREGRESSI

Al fine di delineare il quadro geologico complessivo, sottoposto ad integrazione con ulteriori indagini geofisiche dedicate, sono state raccolte ed esaminate in chiave sismica tutte le informazioni fornite dal PRC, utilizzando in particolare la carta geo-litologica, geomorfologica e idrogeologica. Si è fatto in particolare riferimento allo studio di Microzonazione Sismica di I livello (STUDIO GEO.TEC. del Dr. Geol. Antonio Toscano, maggio 2014).

È stata inoltre consultata tutta la bibliografia edita e i materiali inediti disponibili e utilizzate le informazioni reperibili nelle banche dati dei portali web regionali e nazionali.

4.2 IL PIANO DELLE MISURE GEOFISICHE INTEGRATIVE

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni dell'area indagata, è stata condotta una serie di misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi. In particolare, sono state effettuate:

- 18 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi;
- 18 misure sismiche con tecnica ReMi (Refraction Microtremors) per la determinazione del profilo di velocità di propagazione delle onde S.
- 3 tomografie elettriche a 48 canali, spaziatura 2-5 m, eseguita con IRIS Syscal Pro definizione delle microzone.

Per integrare il set di misure sono state utilizzate anche le indagini effettuate per lo studio di MS di Livello I forniti dal Comune di Vicenza.

La scelta dei punti d'indagine è stata operata con l'obiettivo di definire al meglio le condizioni stratigrafiche e la potenziale amplificazione sismica locale dovuta alla sequenza sedimentaria. L'ubicazione delle misure effettuate viene riportata nell'apposita tavola allegata fuori testo (CI_NORD_22126_20220727_T01_00 e CI_SUD_22126_20220727_T02_00 Carta delle Indagini).

4.3 INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE: SENSORI IMPIEGATI

Misure HVSR

La strumentazione a disposizione per la misura della frequenza fondamentale è stata la seguente:

- una stazione sismica Dymas 24 a 6 canali dotata di GPS per il timing.
- Un sismometro a periodo T di 1 s, linearizzato elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB.

Questa strumentazione è di classe superiore rispetto ai normali tromografi disponibili in commercio in virtù della maggiore affidabilità dei segnali nel segmento di bassa frequenza dello spettro di ampiezza (che è poi quello tipico dei microtremori).

Per l'elaborazione dei dati geofisici è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del "noise", procedendo successivamente, per il "rumore naturale", alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza.

È stata inoltre eseguita la verifica dei criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo attraverso l'uso di test statistici opportuni.

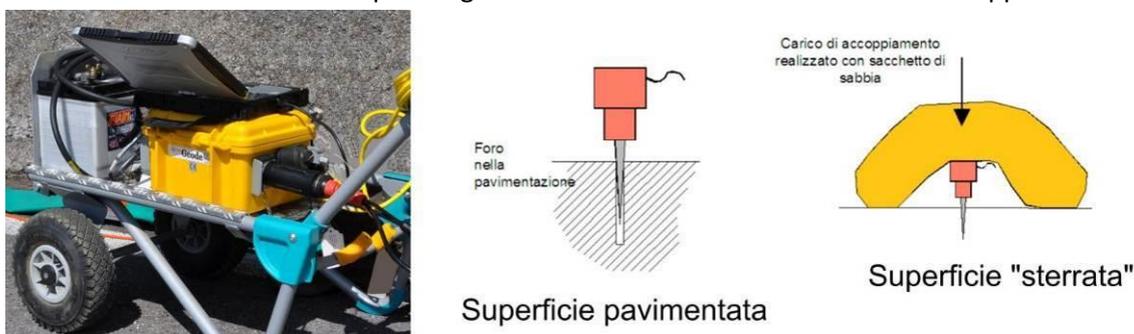


Figura 1 - Strumentazione per la misura della VS. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).

Misure della Vs

Per la misura della Vs con la tecnica Remi è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali e 24 bit nella conversione A/D equipaggiato con sensori Oyo GEOSPACE a frequenza naturale di 4.5 Hz affiancato da un acquisitore sismico supplementare della MAE con le medesime caratteristiche tecniche e gli stessi sensori.

I geofoni sono stati stesi su terreno con spaziatura 5 m e sono state effettuate sessioni di misura del rumore della durata di 30 s avvalendosi anche di una parziale energizzazione.

4.4 COMMENTO GENERALE ALLE MISURE DI VS₃₀ E HVSR

Gli esiti delle indagini ReMi e HVSR sono riportati nelle schede agli allegati 22126_20220727_ALL01_00 (REMI) e all'allegato 22126_20220727_ALL02_00 (HVSR) ai quali si rimanda per una descrizione puntuale dei siti.

I valori sono descritti nella Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V (HVSR_22126_20220727_T02_00), nella Carta delle VS₃₀ (VS30_NORD_22126_20220727_T07_00 e VS30_SUD_22126_20220727_T08_00).

L'analisi della distribuzione della velocità delle onde di taglio e delle frequenze fondamentali dei terreni indica, per il territorio comunale in esame, una situazione che rispecchia l'assetto geologico stratigrafico del sito caratterizzato da due settori: una zona pianeggiante con sedimenti a prevalente tessitura fine ed un'area collinare in corrispondenza del Monte Crocetta e dei Colli Berici.

Il valore di V_{S30} varia da 356 m/s a 180 m/s (considerando il complesso di dati della MS di Primo Livello e del Secondo Livello). Si tenga conto, tuttavia, che per lo studio di MS di Primo Livello si sono impiegati codici di calcolo e procedure differenti.

I suoli di fondazione, secondo i dettami delle NTC 2018, ricadono quasi interamente nella classe C.

name	X	Y	V_{S30}
RM01	226671.713	5051337.879	221
RM02	226610.313	5050553.653	226
RM03	231783.780	5052437.292	242
RM04	227343.018	5053296.533	221
RM05	232223.870	5045980.969	240
RM06	233324.633	5045674.586	216
RM07	228585.882	5048038.484	202
RM08	233832.301	5048446.044	228
RM09	229900.900	5053849.755	253
RM10	233077.161	5052594.988	356
RM11	231693.861	5045283.283	241
RM12	232647.849	5047342.195	258
RM13	234517.755	5050447.173	237
RM14	232938.934	5044112.936	219
RM15	232402.092	5048496.361	257
RM16	232569.788	5050203.352	256
RM17	228982.208	5051687.064	244
RM18	234204.141	5051214.782	245

Tabella 2 – Coordinate WGS84 UTM33N dei punti indagine ReMi e relativo valore di V_{S30} .

Per quanto invece riguarda le frequenze fondamentali e la relativa ampiezza del rapporto H/V si osserva che un paio di siti non possiedono frequenze di amplificazione.

In generale i picchi, qualora non determinati da sorgenti polarizzate, sono da attribuire alla presenza di interfacce elastico-acustiche che non hanno carattere di ubiquitarietà e che possono essere correlate solo su piccole distanze. I valori di ampiezza del rapporto H/V sono quasi sempre superiori a 2, indicando un buon contrasto di impedenza acustica degli orizzonti stratigrafici del substrato sedimentario.

name	f0	amp H/V (f0)	f1	amp H/V (f1)	f2	amp H/V (f2)
HVSR01	0.8	3.8	1.8	2.5		
HVSR02	1.4	2.8	2.4	1.9	3.5	1.5
HVSR03	27	4.6				
HVSR04	28	6.4				
HVSR05	27	2				
HVSR06	/	/				
HVSR07	33	3				
HVSR08	22	3.4	32	3.2		
HVSR09	1.1	5.5	1.4	3.5	22	3.8
HVSR10	32	3.6				
HVSR11	4.1	1.6				
HVSR12	20	1.1				
HVSR13	32	2				
HVSR14	1.8	1.6	3.5	2	27	3.1
HVSR15	0.8	4.9	2	2.1		
HVSR16	22	3.2				
HVSR17	1.1	4.5				
HVSR18	/	/				

Tabella 3 – Distribuzione dei valori di H/V e F°

4.5 TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' ELETTRICA (ERT)

Sono state eseguite 3 tomografie elettriche di resistività in corrente continua (*ERT-Electrical Resistivity Tomography*) con spaziatura 5 metri su due siti di interesse per l'ubicazione di eventuali FAC.

Il metodo geoelettrico consiste in una determinazione sperimentale della distribuzione di resistività (r) nel sottosuolo effettuando delle misure dalla superficie. Le misure di resistività vengono effettuate iniettando una corrente elettrica nel terreno mediante una coppia di elettrodi (generalmente indicati con A e B) e sulla misura dei potenziali elettrici attraverso una seconda coppia di elettrodi, generalmente indicati come M ed N. Dall'intensità della corrente (I) e della tensione (V) è possibile calcolare il valore della resistività apparente (r_a).

Le misure sono state eseguite adottando array Wenner Alpha.

La strumentazione impiegata per l'esecuzione dei profili ERT consiste in un georesistivometro a 48 canali di misura IRIS Syscal Pro. Lo strumento integra un'unità di energizzazione (capace di una tensione massima di 800 V), una matrice di commutazione per l'indirizzamento dei quadripoli elettrodici, un canale di lettura e un'unità di misura delle tensioni e delle correnti. Si tratta di una apparecchiatura particolarmente performante per la qualità e la quantità delle misure acquisite nonché per la celerità delle operazioni di campo.

Il campo di resistività apparente è stato analizzato effettuando una pre-elaborazione statistica per identificare eventuali valori anomali da rimuovere dall'insieme prima dell'inversione e per l'inserimento delle geometrie. Tali valori sono stati quindi filtrati in modo blando per ridurre gli

artefatti numerici causati da forti gradienti di campo. L'elaborazione è stata condotta con il codice ERTLab (Geostudi Astier e Multi-Phase Technologies). Questo programma si avvale di un algoritmo di modellazione diretta (*forward modeling*) agli Elementi Finiti Tetraedrici che consente di modellare la distribuzione del potenziale elettrico nel sottosuolo tenendo conto anche delle caratteristiche morfologiche dello stesso.

La *mesh* è composta da una zona di *foreground* (di massima risoluzione) nella quale i tetraedri hanno una dimensione media pari al 50% della spaziatura di superficie e di una zona di *background* nella quale i tetraedri hanno una dimensione maggiore. All'esterno della *mesh* vi è poi una fascia di *padding +/-* nelle tre dimensioni X, Y e Z che consente di ottenere una maggiore stabilità numerica del processo di inversione. La *mesh* di tetraedri è di tipo tri-dimensionale anche nel caso di elaborazione di linee 2D nel senso che essa è composta da una doppia fascia di elementi sui due fianchi della linea 2D. Il modello di partenza ha un valore di resistività che è pari alla media della resistività apparente delle misure di campo.

Il codice ERTLAB consente di modellare anche le deformazioni del campo elettrico dovute alle irregolarità della superficie topografica.

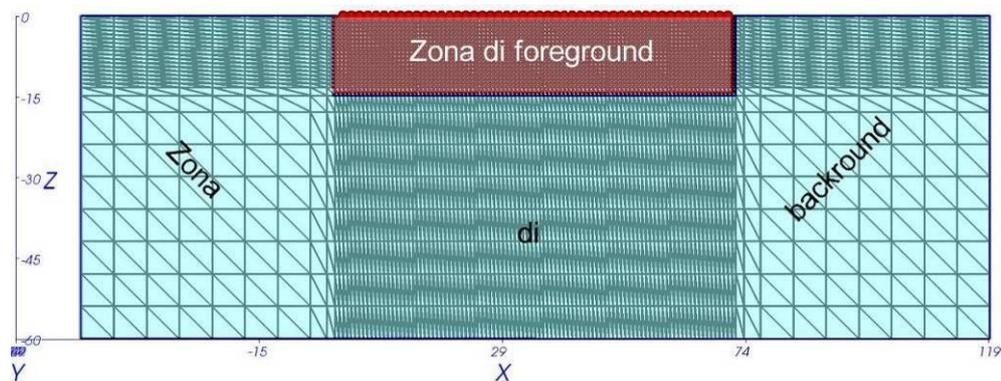


Figura 2 - Mesh tetraedrica tridimensionale di ERTLAB 3D.

Gli esiti delle ERT sono riportati nelle schede all'allegato 22126_20220727_ALL03_00.

5 Elaborati cartografici

5.1 CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica deve contenere l'ubicazione delle indagini preesistenti ed eventualmente di quelle di nuova realizzazione.

Nel presente studio le indagini sono state distinte per tipo e profondità raggiunta; a ciascuna indagine è stato assegnato un codice identificativo univoco (Id) e attraverso il set di dati raccolto è stato popolato il data base digitale messo a disposizione dalla Protezione Civile Nazionale (SoftMS, vers. 4), secondo codifiche predeterminate. Le indagini pregresse e quelle realizzate ex-novo sono state distinte secondo la data di realizzazione, che è riportata nel data base.

Le indagini sono state rappresentate in forma simbolica secondo quanto previsto dagli *Standard di Rappresentazione informatica* (Vers. 4.0b).

Il complesso di punti di indagine presenti sul territorio è suddiviso tipologicamente come segue:

INDAGINI PUNTUALI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geotecnica in sito	CPT	Penetrometrica statica	46
Geotecnica in sito	CPTU	Prova penetrometrica statica con piezocono	4
Geotecnica in sito	DS	Penetrometrica dinamica super pesante	4
Geotecnica in sito	DP	Penetrometrica dinamica pesante	8
Geotecnica in sito	DN	Penetrometrica dinamica media	7
Geotecnica in sito	DL	Penetrometrica dinamica leggera	1
Geologia	S	Sondaggio a carotaggio continuo	22
Geologia	SP	Sondaggio a carotaggio continuo con piezometro	11
Geologia	SC	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni	10
Geotecnica in sito	SPT	Prova penetrometrica in foro (SPT)	5
Idrogeologia	PA	Pozzo per acqua	7
Geofisica	HVSR	Microtremori a stazione singola	74

INDAGINI LINEARI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geofisica	MASW	MASW	25
Geofisica	REMI	REMI	19
Geoelettrica	ERT	Tomografia Elettrica	2

Tabella 4 – Numero di indagini classificate per tipologia

5.2 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DI RISONANZA

La carta è stata redatta tenendo conto delle indagini eseguite nello studio di MS di Primo Livello. Sono stati rappresentati i picchi di frequenza con valore più elevato del rapporto H/V, escludendo i picchi secondari e i profili privi di un rapporto di amplificazione sufficientemente marcato.

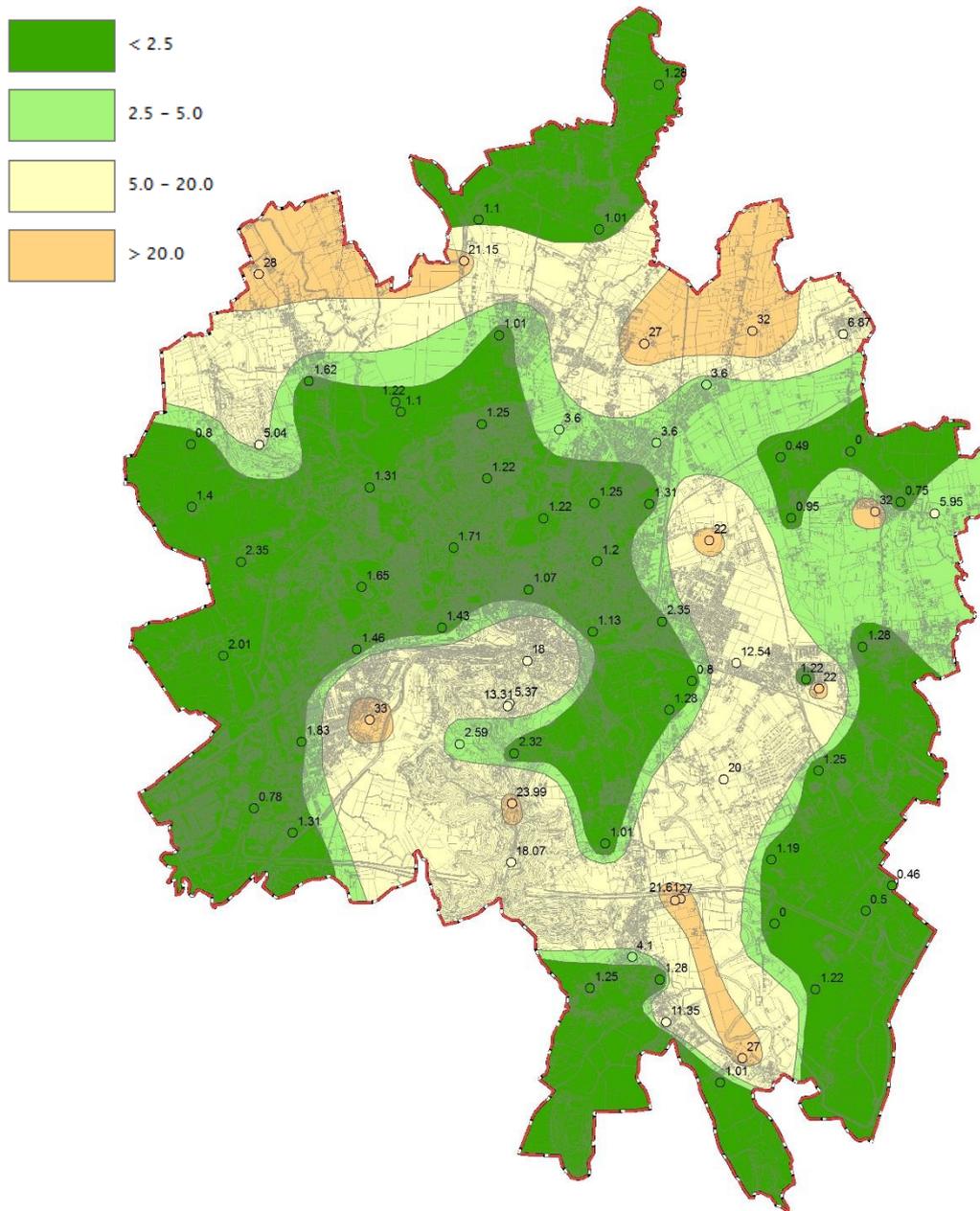


Figura 3 – Mappa delle frequenze fondamentali di risonanza interpolata.

5.4 CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA

La Carta di microzonazione sismica riporta le zone stabili, stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone suscettibili di instabilità secondo il parametro di amplificazione FA.

Le zone di attenzione per le instabilità prevedono una classificazione di due zone ZS_{LQ} ed una zona ZR_{LQ} . Si agguinano quindi le zone di attenzione per instabilità di versante.

Le ZS_{LQ} e le ZR_{LQ} si concentrano prevalentemente a nord in tre settori: il più settentrionale è compreso tra la località Laghetto e il confine comunale, il secondo si colloca a ridosso del limite comunale centro-occidentale e il terzo, e più vasto, si estende nella parte nord-orientale del territorio, coerentemente con i valori di velocità delle V_s , con la natura dei terreni e con la soggiacenza della falda.

Sono state cartografate due ZR_{LQ} ($IL > 15$); la prima si sviluppa tra la ferrovia e via Aldo Moro, mentre la seconda è localizzata nei pressi dell'abitato di Bertesina.

Zone stabili



FA = 1

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA = 1.1 - 1.2



FA = 1.3 - 1.4

Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)



ZA_{FR} = Zona di attenzione per instabilità di versante
Fa = 1.1 - 1.2



ZA_{FR} = Zona di attenzione per instabilità di versante
Fa = 1.3 - 1.4

Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



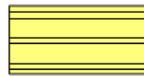
ZS_{LQ} = Zona di suscettibilità per liquefazione
 $Fa = 1; 2 < IL \leq 5$



ZS_{LQ} = Zona di suscettibilità per liquefazione
 $Fa = 1; 5 < IL \leq 15$



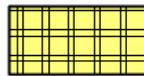
ZR_{LQ} = Zona di rispetto per liquefazione
 $Fa = 1; IL > 15$



ZS_{LQ} = Zona di suscettibilità per liquefazione
 $Fa = 1.1 - 1.2; 2 < IL \leq 5$



ZS_{LQ} = Zona di rispetto per liquefazione
 $Fa = 1.1 - 1.2; 5 < IL \leq 15$



ZR_{LQ} = Zona di rispetto per liquefazione
 $Fa = 1.1 - 1.2; IL > 15$

Figura 5 – Legenda della Carta di microzonazione sismica.

6 Modalità di costruzione della Carta di Microzonazione Sismica

La carta di Microzonazione Sismica è stata costruita con l'acquisizione e l'analisi dei risultati delle prove geofisiche (ReMi e HVSR) condotte specificatamente per lo studio.

Attraverso l'analisi dei dati è stato possibile raggiungere i seguenti obiettivi:

- stimare l'amplificazione per mezzo di abachi di amplificazione litostratigrafica;
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della liquefazione;
- attribuire per quella zona, con analisi semplificate, un Indice di potenziale di Liquefazione medio (IL), ripartito in quattro classi:

IL	Classi
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Tabella 5 - Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione (Linee Guida LQ, 2017)

- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ e dei metodi di analisi della suscettibilità;
- definire le aree di ZS_{LQ} ($2 < IL \leq 15$) e di ZR_{LQ} ($IL > 15$).

6.1 DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FA E FV

Sono state condotte misure di V_{s30} distribuite sul territorio comunale integrate da misure HVSR per definire con maggior accuratezza il campo di velocità delle onde S.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle Indagini (CI_NORD_22126_20220727_T01_00 e CI_SUD_22126_20220727_T02_00).

Il fine è quello di verificare ed eventualmente applicare la procedura prevista alle Linee guida nazionali (ICMS 2009) per fornire una stima della risposta sismica in termini di fattori di amplificazione topografica e litostratigrafica.

Per l'allestimento della Carta di Microzonazione Sismica si sono adottati gli *Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici* previsti dalle ICMS 2008.

Si è tenuto conto che il valore di a_g , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi di Cat. A caratterizzati da $V_s > 800$ m/s, è compreso tra 0.125g e 0.175g (si veda la "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale", Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e l'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")

Per l'applicazione degli abachi si è proceduto nel modo seguente:

- è stata applicata la correzione tabellare ai valori di V_{s30} (velocità equivalente nei primi 30 m) trasformandoli in V_{sh} (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito). Si

è considerato uno spessore dei depositi pari ad almeno 150 metri sulla scorta delle informazioni desunte dalla bibliografia che prevedono l'assenza di un substrato sismico entro tale intervallo di profondità.

- Considerando un profilo di velocità delle onde S variabile linearmente con pendenza intermedia, si sono utilizzati gli abachi pertinenti alle argille e alle ghiaie, utilizzando valori di accelerazioni di picco al suolo di $0.18 a_g$ (per il territorio di Vicenza la media è di $0.150 a_g$).
- Si è quindi ottenuta la stima dei fattori di amplificazione FA e FV per ciascun settore investigato. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono rappresentate in classi di fattori di amplificazione.
- Nella Carta della Microzonazione Sismica sono rappresentati i valori di FA.

Per comprendere anche le limitazioni di tale approccio si tenga conto che gli abachi allegati alle ICMS 2008 sono stati realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio. Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio. Più l'assetto geologico locale si discosta dalle condizioni monodimensionali e minore sarà l'affidabilità delle stime di valore di FA e FV.

Id	Vs30	VsH	FV	Classe FV	FA	Classe FA
L1	324	422	1.43	1.3-1.4	1.18	1.1-1.2
L2	253	345	1.56	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L3	257	349	1.54	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L4	252	344	1.56	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L5	269	362	1.52	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2
L7	250	342	1.58	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L8	279	372	1.51	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2
L9	267	360	1.51	1.5-1.6	1.00	NO AMPL.
L10	268	361	1.52	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2
L11	299	392	1.43	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
L12	318	410	1.40	1.3-1.4	1.02	NO AMPL.
L13	279	372	1.48	1.5-1.6	1.01	NO AMPL.
L14	323	415	1.44	1.3-1.4	1.18	1.1-1.2
L16	272	365	1.50	1.5-1.6	1.00	NO AMPL.
L17	254	346	1.54	1.5-1.6	0.99	NO AMPL.
L18	251	343	1.57	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L19	180	259	1.78	1.7-1.8	1.18	1.1-1.2
L21	277	370	1.51	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2
L22	250	313	1.67	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L23	255	347	1.55	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L24	264	357	1.53	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2

L25	270	363	1.52	1.5-1.6	1.21	1.1-1.2
L26	207	294	1.73	1.7-1.8	1.20	1.1-1.2
L27	221	311	1.68	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L28	226	316	1.67	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L29	242	333	1.57	1.5-1.6	0.97	NO AMPL.
L30	221	311	1.68	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L31	240	331	1.61	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L32	216	305	1.70	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L33	202	288	1.74	1.7-1.8	1.20	1.1-1.2
L34	228	318	1.66	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L35	253	345	1.54	1.5-1.6	0.99	NO AMPL.
L36	356	446	1.36	1.3-1.4	1.04	NO AMPL.
L37	241	332	1.62	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L38	258	351	1.54	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L39	237	328	1.58	1.5-1.6	0.97	NO AMPL.
L40	219	308	1.69	1.7-1.8	1.21	1.1-1.2
L41	257	349	1.54	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L42	256	348	1.55	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L43	244	335	1.60	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2
L44	245	337	1.59	1.5-1.6	1.22	1.1-1.2

CLASSE	RANGE DI VALORI
NO AMPL.	> 1.04
1.1-1.2	1.05-1.24
1.3-1.4	1.25-1.44
1.5-1.6	1.45-1.64
1.7-1.8	1.65-1.84

Tabella 6 – Determinazione dei valori di FA e FV

Il fattore di amplificazione massimo è pari a $FV=1.78$.

	FV	FA
max	1.78	1.22
min	1.36	0.97
media	1.57	1.16
mediana	1.55	1.21
moda	1.54	1.22

Tabella 7 – Tabella con dati statistici di FA e FV

6.2 EFFETTI TOPOGRAFICI

Lo scenario si riferisce alle instabilità connesse alla presenza di “Zona di cresta e/o cucuzzolo”. Tenuto conto che nel territorio comunale sono presenti creste che rientrano nei casi previsti di amplificazione topografica, la carta è stata realizzata anche attraverso l’impiego degli *Abachi di riferimento per gli effetti topografici (livello 2) (ICMS 2008)*.

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione per le zone di cresta che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore od uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) ed inclinazione dei versanti maggiore o uguale a 15° .

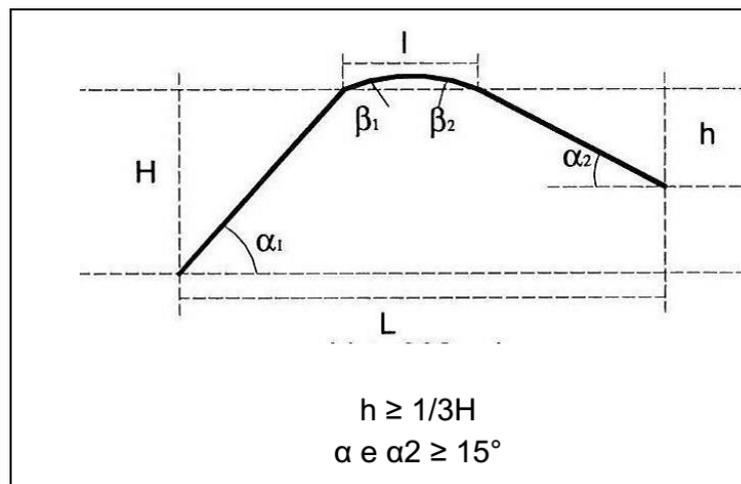


Figura 6 – Criteri di riconoscimento delle creste e/o cucuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche.

Nei casi di pendii in roccia il valore del fattore di amplificazione è sufficientemente rappresentato dal valore di F_a per effetti morfologici, mentre in presenza di coltre detritica alla sommità del rilievo occorre stimare anche il fattore di amplificazione stratigrafico. Il valore di F_a sarà il prodotto di F_a litologico per F_a topografico.

In base al valore del coefficiente H/L ed alla larghezza alla base del rilievo L , si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a . Il valore di F_a topografico determinato andrà assegnato all’area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

Nel dettaglio i profili topografici hanno determinato un valore di $F_a = 1,15$ in corrispondenza della cresta mentre al piede del pendio è pari a $1,0$.

7 Liquefazione dei terreni

I fenomeni di liquefazione dei terreni avvengono frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi poco addensati, a granulometria uniforme, normalmente e sotto-consolidati, e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare le tensioni efficaci (dovute al carico dei sedimenti soprastanti). Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

È sufficiente che sia verificata l'esistenza di 4 condizioni predisponenti (AGI, 2008):

1. terreni sabbiosi
2. falda a profondità inferiore a 15 m
3. Mw attesa al sito >5
4. Accelerazioni massime in superficie (PGA) >0.1 g.

L'area del Comune di Vicenza è contraddistinta da depositi alluvionali a tessitura prevalentemente fine, limo-argillosa e sabbiosa di spessore variabile.

Ad esclusione del settore collinare e della fascia pedemontana con falda oltre i 10-15 m, nel restante territorio pianeggiante la falda si trova a profondità variabili e in molte zone risulta essere molto prossima al piano campagna (intervallo 0-2 m).

L'Mw attesa al sito è pari a 5.

Le accelerazioni massime in superficie (PGA) sono comprese tra circa 0,125-0.150 g per il settore meridionale e 0.150-0.175 g per quello settentrionale.

Si è resa pertanto necessaria un'indagine di approfondimento.

7.1 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

È stata condotta un'analisi dei profili di V_{s30} applicando il metodo di verifica alla liquefazione basato sull'esame delle onde di taglio Vs. Per ciascun punto di stazione si è ricostruito il profilo verticale di velocità a intervalli di 2 m, potendo quindi confrontare in maniera omogenea l'intero set di dati acquisiti.

La validità del metodo è assicurata dal fatto che sia la Velocità Vs e sia la resistenza alla liquefazione CRR sono determinate dai medesimi fattori (ad esempio: rapporto dei vuoti, stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.). Inoltre, le Vs assicurano ulteriori vantaggi che possono essere così riassunti:

- contrariamente alle CPT, le misure di Vs sono possibili su qualunque tipo di substrato, sia soffice che addensato, consolidato o ghiaioso;
- la Vs è una proprietà meccanica intrinseca del suolo direttamente correlata al modulo di rigidità;
- la misura di Vs interessa un volume medio di terreno risultando maggiormente rappresentativa del sottosuolo ai fini della pianificazione;

nella fase di realizzazione dello studio di MS viene solitamente eseguita una campagna di rilievi ReMi/MASW sufficientemente estesa all'intero territorio comunale consentendo un'adeguata

rappresentazione dei parametri elastici, mentre di solito non vi è una paragonabile densità di prove geognostiche disponibili.

CRITERI ADOTTATI PER LA SELEZIONE DEI PUNTI POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI

L'analisi delle V_s è stata dapprima rivolta ad escludere quei terreni che nell'intero profilo di velocità mostrano valori superiori alla soglia minima per poter avere liquefazione potenziale.

Per questo fine sono state proposte in passato numerose procedure semplificate per calcolare la resistenza alla liquefazione di un suolo granulare usando la velocità delle onde di taglio (Robertson *et al.*, 1992; Robertson e Write, 1997; Andrus e Stoke, 1997 e 2000; Andrus *et al.*, 2003 e 2004, Kayen *et al.*, 2013).

Esistono diversi grafici di correlazione CSR/V_{s1} fondate su banche dati che hanno esaminato decine di casi di siti che hanno subito liquefazione.

In tali studi la velocità V_s è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione:

$$V_{s1} = V_s C_{Vs} = V_s (P_a / \sigma'_v)^{0.25}$$

Dove

V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;

V_s = velocità delle onde di taglio misurate in situ;

P_a = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa

σ'_v = pressione effettiva alla stessa unità di misura di Pa

(secondo Scora, 1987, Kayen *et al.*, 1992; Robertson *et al.*, 1992; Kayen *et al.*, 2013)

Nella figura seguente il grafico tratto da Kayen *et al.*, 2013 mostra come la V_{s1} cambi in rapporto al CSR per valori variabili di Mw da 5.5 a 8.5.

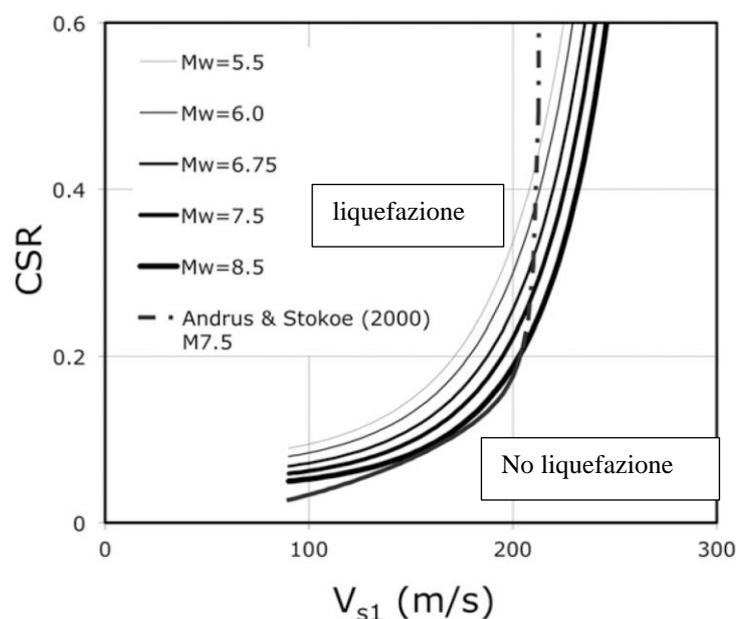


Fig. 6. Correlation curves for magnitudes 5.5–8.5 ($P_L = 15\%$; $\sigma'_{vo} = 100$ kPa)

Figura 7 – Curve di correlazione CSR/ V_{s1} secondo Kayle *et al.*, 2013.

Da questa figura si evince come, in condizioni predisponenti alla liquefazione (secondo i parametri Mw, granulometria, profondità della falda, ecc.), per valori di $V_{s1} > 215$ m/s non si abbia liquefazione (con relativamente bassi valori di CSR). Poiché secondo Kayen *et al.* (2013) per depositi superficiali si stabilisce che C_{vs} sia da considerare al massimo 1,5, ne consegue che il limite inferiore di Vs sia pari a: 143 m/s. Considerando tuttavia in via cautelativa un C_{vs} pari a 1 (tenuto conto che il contributo principale alla liquefazione si trova in corrispondenza della fascia 0-5 m) il valore di Vs risulta comunque pari a circa 210 m/s. Per il presente studio si è utilizzato un valore di soglia prudenziale pari a 220 m/s.

ANALISI PRELIMINARE DEI VALORI DI VS

Sono stati presi in considerazione tutti i punti stazione ReMi eseguiti per il presente studio.

L'analisi dei profili di Vs ha permesso di riconoscere per alcuni siti valori inferiori a 220 m/s nei primi metri di profondità.

Si è quindi applicato per questi valori il metodo semplificato di Andrus e Stokoe (1997) modificato.

Sono stati utilizzati i seguenti parametri d'ingresso. Si consideri che tale analisi è particolarmente conservativa poiché è stato considerato per ciascun singolo parametro il valore più cautelativo riscontrabile.

- gamma=1.9
- M=5

- $A_{max}=0.25$

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE						
(da prove sismiche a rifrazione)						
Metodo semplificato						
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato						
PARAMETRI:						
γ	=	1.9	g/cm^3			
σ_{va}	=	0.38	kg/cm^2			
σ_{va}'	=	0.38	kg/cm^2			
profondità della prova	=	200	cm			
profondità falda	=	200	cm			
γ_{H_2O}	=	1	g/cm^3			
Pressione neutra	=	0	kg/cm^2			
z	=	2	m			
V_s	=	136				
V_{s1c}	=	210	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%
				220	210	200
V_{s1}	=	173.22				
M	=	5.0				
MSF	=	3.81	se M≤7.5			
		2.82	se M>7.5			
FORMULE:						
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{va})^{0.25}$			173.22	V_{s1}
R	=	$0.03 \cdot [V_{s1}/200]^2 + (0.9[V_{s1c} - V_{s1}] - (0.9V_{s1c}))$			0.110196195	R
T	=	$0.65 \cdot [(a_{max}/g) \cdot (\sigma_{va}'/\sigma_{va})] \cdot r_d \cdot VMSF$		se M≤7.5	0.036110676	$T_{M \leq 7.5}$
				se M>7.5	0.048764075	$T_{M > 7.5}$
a_{max}/g	=	0.25				
r_d	=	0.847				
$F_s = RT$	>	1		se M≤7.5	3.051623695	Verificato F_s
				se M>7.5	2.259782351	Verificato F_s
"Software Freeware distribuito da geologi.it" Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 - E-mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820						

Figura 8 – Software di valutazione della liquefazione secondo Andrus e Stokoe, 1997 (modificato); ©S.B. Monaco, Messina.

I calcoli sono stati ripetuti per ciascun sito che presentava $V_s < 220$ m/s.

La maggior parte dei profili di V_s disponibili hanno dato un $F_s > 1$ risultando quindi verificati ai fini della liquefazione; in 6 casi F_s è risultato inferiore a 1 (si tratta dei ReMi 02, 09, 13, 15, 16, 18).

7.2 INDICE DI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE MEDIO (IL)

Si è quindi proceduto con la seconda fase delle indagini di approfondimento, specificatamente previste dalle linee guida LQ, normalmente utilizzate per la discriminazione e la definizione più puntuale delle ZR_{LQ} (Zone di Rispetto per la liquefazione) nella Carta di MS - livello 3.

L'analisi dei dati ha permesso di identificare aree nelle quali le verticali investigate con metodi dinamici hanno fornito un IL medio maggiore di 15, che pertanto sono state perimetrate come Zone di Rispetto (ZR_{LQ}).

Le aree nelle quali le verticali analizzate con metodi dinamici hanno dato un IL medio minore o uguale a 15, sono state perimetrate come Zone di Suscettibilità alla liquefazione (ZS_{LQ}).

La normativa stabilisce infatti che la distinzione tra Zone di Rispetto e Zone di Suscettibilità alla Liquefazione sia operata dividendo in due insiemi distinti i valori superiori e inferiori a $IL=15$.

Per la valutazione dei possibili effetti sulle opere antropiche di interesse e per attuare i possibili interventi per la mitigazione del rischio si rimanda necessariamente alle fasi esecutive degli interventi previsti dagli strumenti di pianificazione comunale e alla progettualità definitiva, quando sarà disponibile.

REMI02	2	2	0.25	0	9	0	12.0
	4	2		0.75	8	12	
REMI09	2	2	0.46	0	9	0	7.6
	4	2		0	8	0	
	6	2		0.54	7	7.56	
REMI13	2	2	-0.07	0	9	0	22.7
	4	2		0.48	8	7.68	
	6	2		1.07	7	14.98	
REMI15	2	2	0.26	0	9	0	9.9
	4	2		0	8	0	
	6	2		0	7	0	
	8	2		0.74	6	8.88	
	10	2		0.1	5	1	
REMI16	2	2	0.01	0	9	0	24.6
	4	2		0.48	8	7.68	
	6	2		0.36	7	5.04	
	8	2		0.99	6	11.88	
REMI18	2	2	0.52	0	9	0	7.7
	4	2		0.48	8	7.68	

Tabella 8 – Calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione. Sono riportati solo i profili di Vs per i quali $IL>0$.

Attraverso l'interpolazione dei valori ottenuti si è ricavata la carta di microzonazione sismica con l'indicazione della suscettibilità alla liquefazione, classificando i valori di IL.

E' importante ricordare come l'estrema difformità del substrato determini di conseguenza anche una suscettibilità alla liquefazione molto variabile, anche su brevi distanze.

7.3 CRITICITÀ E LIMITAZIONI

Nel caso dell'analisi di Vs sono stati considerati i valori medi su intervalli di 2 metri con punti di misura distribuiti arealmente sull'intero territorio comunale in numero rappresentativo per uno studio volto alla pianificazione.

Pertanto lo studio, che ha un carattere pianificatorio, non può considerare eventuali specifiche e limitate condizioni locali che dovranno essere valutate di volta in volta secondo la normativa vigente e in funzione delle specifiche destinazioni d'uso del sito.

8 Analisi delle instabilità di versante sismoindotte

8.1 PREMESSE

Lo studio è stato condotto secondo quanto stabilito dalle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (vers.01, 2017).

È opportuno evidenziare che l'oggetto dello studio sono unicamente le instabilità di versante che devono il loro movimento, oltre a caratteri predisponenti, alla forzante sismica.

L'obiettivo è, pertanto, secondo i criteri generali e le procedure operative definite in sede di linee guida nazionali:

1. raccogliere informazioni sul rischio indotto dalla presenza di terreni suscettibili di instabilità di versante;
2. mitigare il rischio nelle aree con previsioni di trasformazione;
3. mitigare il rischio nelle aree edificate.

Secondo gli ICMS (2008), la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS; livello 1 di MS) può essere redatta con l'utilizzo di dati pregressi, consistenti in informazioni di base quali la descrizione delle unità litologiche, gli elementi geomorfologici e le segnalazioni di dissesti noti in ambito comunale.

Le attuali Linee Guida Frane (2017) prevedono che, a seconda dello studio di Primo, Secondo o Terzo Livello, possano essere definiti tre tipi di zone come segue:

1. Zone di Attenzione (ZA): sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati.
2. Zone di Suscettibilità (ZS): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità
3. Zone di Rispetto (ZR): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, instabilità di versante, liquefazione, cedimenti differenziali).

Le linee guida FR ricordano inoltre come «il concetto di "zona di suscettibilità per instabilità di versante" è inteso in maniera diversa da come lo si intende in una parte della letteratura di settore, che per suscettibilità intende una valutazione del fenomeno nella quale non sono compresi i termini quantitativi (e la frequenza di accadimento). Negli studi di MS, invece, le Zone di Suscettibilità (ZS)

per tutte le instabilità sono intese come aree nelle quali si sono condotte elaborazioni quantitative semplificate. In termini generali, le Zone di Attenzione (ZA) sono aree che potrebbero definirsi suscettibili di instabilità secondo l'accezione della letteratura».

8.2 CLASSIFICAZIONE DELLE FRANE

Le linee guida FR (2017) stabiliscono la seguente classificazione delle frane (o instabilità di versante, utilizzato come sinonimo):

Frana: Il movimento di una massa di roccia, di blocchi, di detrito o di terra lungo un versante.

I tipi di movimento si possono classificare come:

- Crolli
- Ribaltamenti
- Colamenti
- Scorrimenti traslazionali e/o rotazionali
- Complessi

Frana in terra. Il movimento di una massa di terra che comporta uno spostamento per taglio lungo una o più superfici. Per la maggior parte sono frane per colamento o scorrimento.

Frana di crollo. È caratterizzata dalla caduta libera di blocchi di roccia e detrito, distaccatisi dal versante lungo discontinuità prevalentemente verticali. Per la maggior parte sono frane di crollo s.s. e ribaltamento.

Frana attiva. Una frana che è attualmente in movimento; può essere un movimento di primo distacco o di riattivazione. Tra le frane attive può essere utile distinguere, in relazione alle modalità di esplicazione (occorrenza) nel tempo e nello spazio:

- frane con ricorrenza continua
- frane con ricorrenza intermittente:
 - ricorrenza a intervalli stagionali o ricorrenza a intervalli annuali
 - ricorrenza a intervalli decennali

Frana inattiva. Tra le frane inattive sono comprese quelle riferibili a condizioni morfoclimatiche diverse dalle attuali sia quelle che, pur essendo prodotte nell'attuale sistema morfoclimatico, sono state stabilizzate e rese inattive per intervento antropico.

Frana quiescente. È una frana che, pur non mostrando attività al momento del rilevamento, per indizi geomorfologici o testimonianze (dirette, storiche, ecc.) possiede un'oggettiva possibilità di riattivazione nell'attuale sistema morfoclimatico.

Frana riattivata. Una frana che è nuovamente attiva dopo essere stata inattiva.

Frana sismoindotta. Una frana per la quale, tra le forzanti possibili per la sua mobilitazione, è prevista anche quella sismica.

8.3 DEFINIZIONE DELLE ZONE DI ATTENZIONE

Si tenga conto che lo studio di MS di primo livello per il comune di Vicenza è stato condotto nel 2014, prima della definizione delle Linee Guida Frane (2017).

In sede di studio di Primo livello era stata definita tra le Zone di attenzione per le instabilità la seguente tipologia di ZA:

ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE NON DEFINITA: ZA FR_ND

In questa zona erano state inserite le frane censite dal Progetto IFFI rilevate dal sito

<http://193.206.192.136/cartanetiffi/carto3.asp?cat=47&lang=IT#>, che risultavano in numero di due, con movimento di tipo “Scivolamento rotazionale/traslativo”; l’attività, invece, non era dichiarata .

8.3.1 Screening

Lo screening preliminare permette di escludere, solo sulla base della pericolosità sismica di base, le aree che, pur essendo in frana, non sono soggette a forzante sismica tale da provocarne l’attivazione.

Il secondo screening, applicando metodi pseudostatici che considerano dati geologici e geotecnici, consente di escludere altre aree.

Il terzo e ultimo screening permette di definire solo le frane che potenzialmente possono interessare le aree urbanizzate e urbanizzabili, valutando e calcolando gli spostamenti.

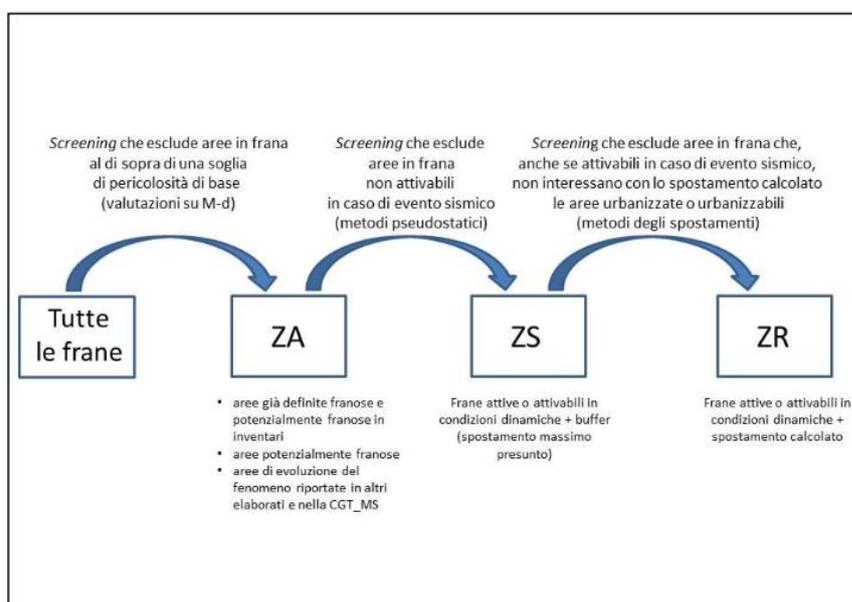


Figura 9 –Metodologia generale di individuazione delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane).

Gli studi di MS con approfondimenti di livello II richiedono particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo (strati del sottosuolo piano paralleli e morfologia piatta), che come è noto non sono compatibili con le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei versanti instabili. Per questo motivo le Linee Guida Frane (2017) ne escludono l’utilizzo per la valutazione della instabilità permanente cosismica. Pertanto, nelle carte di MS con approfondimenti di livello 2 viene richiesto dalla normativa di riportare le ZA_{FR} definite nel livello I.

Si ritiene utile ricordare in questa sede che i livelli di approfondimento e le carte per l'individuazione delle instabilità di versante sono quindi:

- livello 1 (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per le instabilità di versante (Z_{FR}), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi (es. segnalazioni di aree in frana o potenzialmente franose in inventari esistenti, confronto con CGT_MS ed eventuali dati pregressi raccolti durante lo studio di MS di livello 1);
- livello 3 (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
 - Zone di Suscettibilità per instabilità di versante (Z_{SFR}), da identificare con elementi informativi specifici e analisi semplificate (AGI, 2005);
 - Zone di Rispetto per instabilità di versante (Z_{RFR}), da identificare con elementi informativi specifici e analisi dinamiche semplificate o avanzate (AGI, 2005) (solo in aree limitate e/o particolarmente importanti).

8.4 SCREENING PRELIMINARE: DEFINIZIONE DI UNA SOGLIA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (H_{FR})

In questa fase preliminare agli studi di MS è richiesta la valutazione di un parametro di pericolosità sismica (coppia Magnitudo-Distanza; M-D) che permetta, definendo una soglia minima, di operare un primo screening e limitare eventualmente le porzioni di territorio dove concentrare gli studi successivi. Si tratta di un approccio a carattere regionale, per alcune Regioni stabilito da studi generali che definiscono una classificazione per i diversi comuni.

La metodologia proposta si basa su tre fasi di analisi:

- disaggregazione della pericolosità sismica (Barani *et al.*, 2009) in termini di Magnitudo e Distanza (M-D),
- confronto degli scenari M-D con i valori di soglia, o valori critici (M_c - D_c), derivati da Keefer (1984) per l'attivazione delle frane sismoindotte,
- calibrazione della procedura attraverso una validazione ex-post.

Per la disaggregazione della pericolosità sismica le linee guida (espressamente non vincolanti in tal senso) prendono in considerazione 3 periodi medi di ritorno, corrispondenti a 475, 975 e 2475 anni e 6 periodi spettrali (PGA, 0.2s, 0.5s, 1.0s, 1.5s e 2.0s), per un totale di 18 combinazioni possibili.

Gli studi compiuti da vari autori, in particolare Keefer, hanno infatti consentito di correlare la massima distanza epicentrale di attivazione dei movimenti franosi alla magnitudo delle onde di superficie.

Le Mappe iterative di pericolosità sismica dell'INGV consentono di ottenere i grafici di disaggregazione della pericolosità sismica e la definizione delle coppie M-D media per il baricentro delle aree di frana. Di seguito si riportano i diagrammi estraibili.

Nel caso considerato in esempio si ottiene un valore di $M=5$, e $D=9.94$.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza	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
in Km	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	0.0000	17.5000	28.1000	12.9000	5.1100	1.8000	0.1740	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.4300	8.2700	6.3600	3.9100	1.9700	0.2350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2140	1.2900	1.8000	1.6700	1.2000	0.1760	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0782	0.5150	0.7980	0.8250	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0703	0.3080	0.4490	0.0956	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0965	0.2360	0.0578	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0166	0.1080	0.0310	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0405	0.0153	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0114	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 5.0 ; distanza = 9.94 ; epsilon = 0.618

Figura 12 – Disaggregazione del valore di A(g) per il comune di Vicenza) e valori di M-D (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Dal confronto dei valori M-D associati a ciascun baricentro comunale con i valori critici (Mc-Dc) derivati da Keefer (1984) evince come il punto di coordinate M-D si trovi poco al di sotto della curva “upper bound” (curva limite definita per “disrupted slides or falls”) determinata da Keefer (1984), e pertanto come il territorio comunale possa essere interessato da frane sismoindotte.

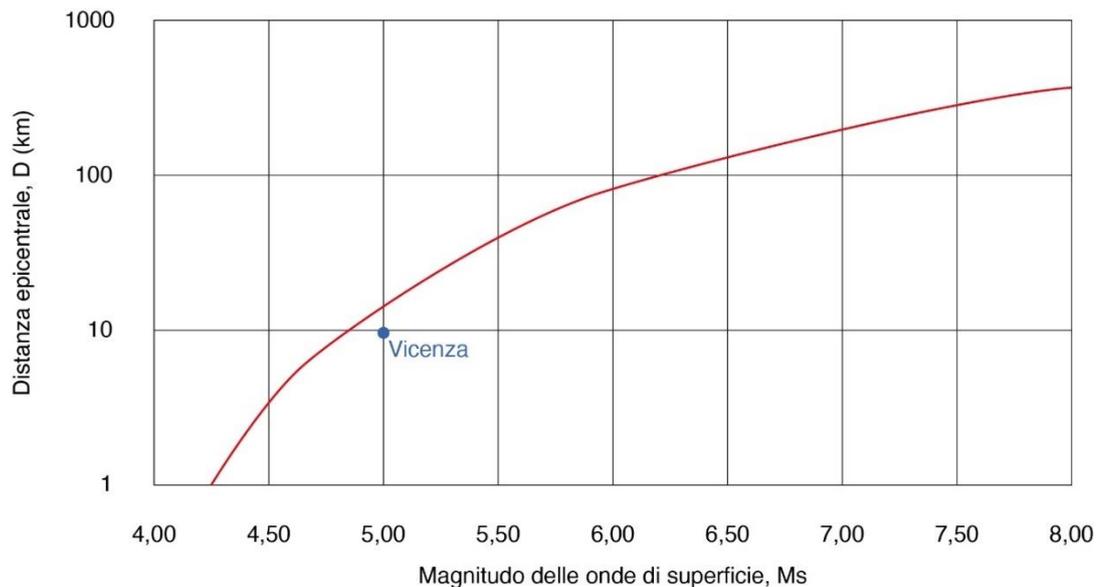


Figura 13 – Coppia M-D per il comune di Vicenza rispetto alla curva limite per “disrupted slides or falls” (Kiefer, 1984).

Si tratta di un dato da considerarsi indicativo, poiché il confronto dovrebbe essere effettuato con tutti i valori medi e mediani, per tutti i periodi di ritorno e diversi periodi spettrali, con un processo di calibrazione e validazione da eseguirsi da parte degli organi regionali. Non risulta tuttavia allo scrivente che tale studio preliminare sia stato ancora eseguito.

La normativa fa riferimento, per il processo di calibrazione, alla eventuale distribuzione sul territorio delle frane sismoindotte osservate storicamente.

A tal proposito è oggi possibile riferirsi al Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013) (Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo de Rischi Geologici, Università La Sapienza, Roma, <https://gdb.ceri.uniroma1.it/index.php/view/map/?repository=cedit&project=Cedit>)

Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT)

Nell'area mediterranea, il territorio italiano occupa una posizione geodinamica che determina un assetto sismotettonico al quale è associata un'elevata attività sismica. In particolare, lungo la catena appenninica si registrano terremoti di medio-alta magnitudo che, nella zona meridionale della penisola, possono raggiungere valori di magnitudo pari anche a 7.2. 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. È sulla base di tali considerazioni che è nata l'idea di proporre un catalogo di facile consultazione, dinamico e, quindi, costruito con l'obiettivo di un continuo aggiornamento.

Il Centro di Ricerca sui Rischi Geologici CERI dell'Università "Sapienza" di Roma ha curato la nuova versione qui proposta del Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013), in origine prodotta dal Delfino e Romeo nel 1997. La versione aggiornata 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. Dal momento che il CEDIT è un catalogo macrosismico esso è inevitabilmente incompleto, ma soggetto a continue revisioni ed integrazioni, in relazione ai contributi forniti da nuovi studi nonché alla ulteriore disponibilità di dati derivanti da nuovi eventi.

Eventi registrati nel territorio di Vicenza

La consultazione del CEDIT ha permesso di verificare l'assenza di eventi storici nell'intorno del comune di Vicenza.

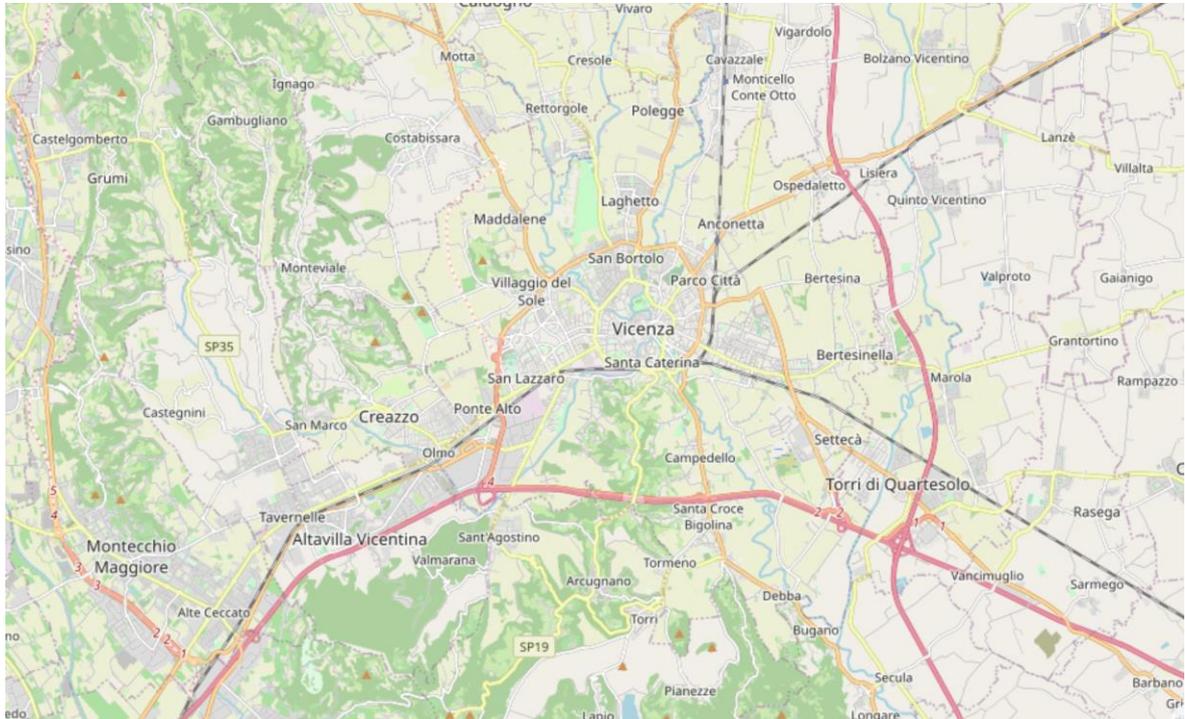


Figura 14 – Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013). Non sono registrati eventi nell'intorno del comune di Vicenza.

8.5 DEFINIZIONE DELLE ZAFR - ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE

Le Zone di Attenzione per instabilità di versante ($ZAFR$) risultano costituite dalle seguenti aree:

- aree in frana (FR)
- aree potenzialmente franose (APF)
- aree di evoluzione del fenomeno franoso (AE).

Tipologia di frane presenti a Vicenza

Le aree franose sono presenti solo in due casi, secondo il catalogo IFFI, in corrispondenza dei versanti del settore collinare meridionale. Si tratta di due frane di limitata estensione, non riconoscibili attraverso la fotointerpretazione, presenti in prossimità della Strada della Commenda e di Via Mantovani.

Nello studio di MS di 1° livello non è stato definito il tipo di movimento. Nel catalogo IFFI le frane sono classificate come “scivolamento rotazionale/traslato”.

Si tratta sia probabili scivolamenti traslazionali di coperture argillose (Via Mantovani) e su substrato litoide (Strada della Commenda).

Non è nota la modalità di scorrimento delle acque nel sottosuolo, benchè le infiltrazioni di acque meteoriche siano una evidente causa determinante per l'innesco delle frane. In tal senso è essenziale che vi sia un presidio costante del territorio con l'attuazione di interventi tempestivi per l'allontanamento delle acque ogniqualvolta subentrino condizioni di criticità connesse al deflusso idrico superficiale e alle conseguenti infiltrazioni nei terreni.

8.6 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE POTENZIALMENTE FRANOSE (APF) E DELLE AREE DI EVOLUZIONE DELLA FRANA (AE)

Al fine di delimitare le "Aree Potenzialmente Franose" (APF) e le "Aree di evoluzione della Frana" (AE) sono state svolte le necessarie valutazioni finalizzate ad evidenziare principalmente quelle problematiche che si ritengono particolarmente critiche dal punto di vista sismico. In altre parole, ciò che interessa in questa fase è affrontare la problematica legata ai meccanismi gravitativi di versante dal punto di vista dell'azione sismica che può indurre una sollecitazione dinamica in grado di riattivare movimenti gravitativi preesistenti o produrre rotture di neoformazione.

8.6.1 Area Potenzialmente Franosa (APF)

Si intende per "Area Potenzialmente Franosa" (APF) quella porzione di versante, sia in roccia che in terra, ubicata in aree esterna rispetto al corpo di frana, per la quale, pur non presentando evidenze di instabilità pregressa, sono verificate le condizioni di potenziale instabilità in relazione all'azione sismica.

Le condizioni di potenziale instabilità (Nardi *et al.*, 1987; Fell *et al.*, 2008) possono essere collegate sia a fattori connessi con le caratteristiche stesse dei materiali coinvolti (litologia, fratturazione, assetto strutturale, caratteristiche geomeccaniche, giacitura, regime idrico sotterraneo e superficiale, uso del suolo), sia alle caratteristiche morfologiche dell'area in esame (forte acclività).

L'appendice A3 delle Linee Guida Frane (2017) definisce come segue le principali condizioni di potenziale instabilità date dalla combinazione di elementi topografici e caratteristiche geologico-tecniche e sismiche:

Condizioni topografiche

- versanti naturali con pendenze superiori a 15°;
- tagli sub-verticali di origine antropica;
- versanti acclivi soggetti a processi di degradazione derivante da disboscamento, incendi e/o attività antropiche.

Condizioni geologico-tecniche

- rocce lapidee alterate sovrastanti rocce a più elevata resistenza, con giacitura a franapoggio;

- rocce deboli o intensamente fratturate e/o costituite da alternanze di litologie a differente competenza, con giacitura a franapoggio;
- argini, orli di terrazzo in erosione attiva;
- versanti caratterizzati da materiali argillosi, limosi o granulari poco o per niente consolidati;
- accumulo di materiali detritici (conoidi di versante, falde detritiche, ecc.)
- versanti con fenomeni di scalzamento al piede del pendio.

Condizioni legate all'amplificazione sismica

Una condizione legata alla forzante sismica può essere introdotta, valutando in maniera estremamente semplificata, anche in relazione a quanto riportato nella CGT ed alle informazioni acquisite nell'ambito della redazione della Cartografia MOPS, se la successione litostratigrafica e topografica dell'area è particolarmente gravosa dal punto di vista sismico.

Tenendo presente che l'obiettivo è una valutazione di massima della forzante sismica, le Linee Guida consigliano di utilizzare le categorie di sottosuolo e la pendenza media del versante, per calcolare il coefficiente di amplificazione S ($S_s * S_t$) e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito β_s (NTC, 2008).

Questi 2 coefficienti permettono infatti di calcolare $K_h = \beta_s * S * a_g / g$.

Per K_h minori 0.1 g si considera il pendio stabile.

Ai fini della individuazione e successiva perimetrazione delle APF deve essere verificata la condizione legata all'amplificazione sismica e almeno una tra le condizioni topografiche e geologico-tecniche.

Tali aree potenzialmente instabili, possono originarsi prevalentemente in aree esterne, quindi separate geometricamente, rispetto ai corpi di frana esistenti. Si ipotizza infatti che il meccanismo di rottura non sia influenzato dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti.

Per le due aree franose è stato calcolato K_h .

Via della Commenda

Considerando i seguenti dati di input: $A_g=0,175$, nessuna amplificazione stratigrafica e amplificazione topografica pari a 1.15, essendo versanti regolari privi di scarpate, suoli di tipo A, $\beta_s=0,27$, si ottiene:

$$K_h=0,0055g < 0,1 \Rightarrow \text{pendio stabile}$$

Via Mantovani

Considerando i seguenti dati di input: $A_g=0,175$, amplificazione topografica pari a 1.15 e amplificazione stratigrafica massima cautelativa pari a 1.21, suoli di tipo B, $\beta_s=0,24$, si ottiene:

$$K_h=0,0085g < 0,1 \Rightarrow \text{pendio stabile}$$

8.6.2 Area di evoluzione della frana (AE)

La previsione dell'evoluzione consente di individuare l'area che può essere interessata, direttamente o indirettamente, da una frana. Tali “Aree di evoluzione (AE)” sono ubicate prevalentemente in aree limitrofe/adiacenti al corpo di frana esistente (per opera di meccanismi di regressione a partire dalla zona di innesco e/o propagazione areale) e quindi presentano meccanismi di rottura/evoluzione direttamente influenzati dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti.

Nel caso di frane di scivolamento l'area di evoluzione può essere generalmente limitata; nel caso di colate di detrito, che interessano spesso impluvi o aste fluviali montane, tale area può invece essere molto più estesa.

In linea di massima le aree di evoluzione della frana possono essere definite secondo criteri geomorfologici e non puramente geometrici, quindi variano da frana a frana, in relazione alla tipologia e stile di attività. Nel caso di frane a cinematica lenta, per le quali è riconoscibile la corona di distacco, il perimetro del deposito può essere esteso verso monte fino a comprendere la corona stessa ed oltre per identificare l'area di retrogressione, mentre verso valle le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze (per es. 20 m).

Nel caso invece di movimenti rapidi, come colate detritiche, le aree di evoluzione possono essere molto più ampie.

La previsione dell'evoluzione di una frana prevede i seguenti tre punti:

- a) previsione della distanza di propagazione,
- b) previsione dei limiti di retrogressione,
- c) previsione dell'espansione areale.

La previsione della distanza di propagazione (run-out) è particolarmente importante nel caso di frane di crollo, di colate per flusso di terre granulari (flowslides), di detrito umido (debris flows) o di detrito secco (sturzsstroms), che sono spesso caratterizzate da un'elevata mobilità. In generale per la previsione della distanza di propagazione possono essere impiegati criteri geomorfologici connessi con la geometria del pendio.

La distanza di propagazione può essere valutata mediante la stima dell'angolo di attrito apparente, che può essere ricavata da quella dell'angolo di attrito dinamico effettivo e delle pressioni dei fluidi interstiziali durante il moto. Tali parametri sono molto difficili da misurare sia perché sono necessarie apparecchiature speciali, sia perché sono estremamente variabili anche nel corso del movimento. Per tali motivazioni, la stima dell'angolo di attrito apparente si basa spesso su analisi di tipo empirico.

Nel caso dei crolli, l'angolo di attrito apparente può essere stimato in base all'osservazione della posizione dei blocchi già distaccati o determinato con metodi sperimentali. In genere l'angolo d'attrito apparente risulta compreso fra 28° e 45°. Sempre per quanto riguarda i crolli, nei casi in cui si disponga di dati sufficientemente dettagliati, si può optare per analisi cinematiche o dinamiche delle traiettorie di caduta dei massi, in funzione della forma e della dimensione dei blocchi e delle caratteristiche morfologiche del pendio.

La traiettoria dei blocchi è analizzata considerando le leggi fisiche che regolano la successione dei diversi tipi di movimento dei blocchi, ovvero: scorrimento o ribaltamento, caduta libera, rimbalzo e rotolamento.

La perimetrazione delle aree di regressione di una frana si effettua essenzialmente sulla base dei caratteri geomorfologici osservabili sul terreno, riferibili alla distribuzione degli elementi/indicatori che suggeriscono tale evoluzione (fratture di tensione, contropendenze, ecc.).

Per quanto riguarda la delimitazione dell'espansione areale, tale aspetto è particolarmente critico nel caso di colate di terra o di fenomeni di liquefazione nei quali la massa spostata è molto fluida e può espandersi. La previsione, molto complessa, dipende essenzialmente dalla morfologia del versante, da granulometria e contenuto d'acqua dei terreni, dai parametri di resistenza al taglio, dalle pressioni interstiziali e dal coefficiente di spinta laterale.

Tipologia meccanismo di movimento	Distanza H (in m) dal limite dell'area in frana (FR)		
	retrogressione	espansione laterale	propagazione/accumulo
Crollo e/o ribaltamento	10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) ≥h/2 (per scarpate molto alte ²)		10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) ≥h/2 (per scarpate molto alte ²)
Scorrimenti/scivolamenti lenti e colamenti lenti	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)
Colate e Scorrimenti/scivolamenti rapidi		20	fino al punto di rottura del versante e/o all'impluvio

¹ La distinzione tra frane grandi e piccole è basata sulla estensione (soglia indicativamente pari a 1000mq)

² Per scarpate "piccole" si intendono quelle con dislivello di quota "h" inferiore a 10m, scarpate "alte" con dislivello inferiore a 40m, le restanti sono classificate "molto alte"

Tabella 9 – Valori di riferimento puramente indicativi per la delimitazione dell'AE (Appendice 2, Linee Guida Frane, 2017)

8.7 DEFINIZIONE DI INDAGINI E PARAMETRI PER LA PROGRAMMAZIONE DEGLI APPROFONDIMENTI SUPERIORI

L'analisi di livello successivo deve prevedere una ricognizione specifica degli indicatori cinematici, come segue:

8.7.1 Riconoscimento Indicatori Cinematici

L'analisi geomorfologica si basa sul riconoscimento, per il corpo di frana in esame, della presenza di indicatori geomorfologici, cioè quegli elementi che per la loro natura danno indicazioni di un movimento presente e/o passato. Gli indicatori da considerare sono i seguenti:

1. Evidenza di scarpate con bordi netti, rotture di pendio, fessurazioni fratture;

2. Nette variazioni di pendenza lungo il profilo longitudinale del versante e/o anomalie topografiche (depressioni, contropendenze);
3. Sconvolgimento e/o disordine del sistema di idrografico, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale;
4. Assenza di sviluppo di suolo e/o di affioramenti di substrato; nel caso di affioramenti di litotipi riconducibili al substrato geologico possono essere elementi indicativi di deformazione gravitativa la presenza di intensa fratturazione e deformazione e un assetto (giacitura degli strati) estremamente variabile e non coerente con quello degli affioramenti circostanti.
5. Corpo di accumulo caratterizzato da coperture detritiche grossolane non classate con presenza di trovanti e massi anche di grandi dimensioni e con clasti non arrotondati;
6. Differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana;
7. Dal confronto cartografico delle fonti conoscitive possono evidenziarsi diverse situazioni di incoerenza, che spesso non riguardano tanto il riconoscimento dei corpi di franosi, quanto piuttosto una diversa sensibilità con la quale tali corpi sono stati mappati dalle fonti, ad esempio:
 - a) situazioni di sovrapposizione di più perimetri tra loro simili ma comunque diversi,
 - b) situazioni in cui vi è un'unica fonte che indica la presenza di un fenomeno franoso.
8. Alberi inclinati;
9. Lesioni negli edifici od in altre opere antropiche.

Le lesioni sugli edifici ed altri manufatti, è un parametro che generalmente non costituisce parte integrante del rilievo geomorfologico s.s., ma in genere, una volta escluse altre cause ad es. geotecniche o strutturali, si manifesta in maniera evidente in concomitanza di fenomeni franosi.

L'individuazione degli indicatori geomorfologici avviene mediante l'utilizzo di due metodi: fotointerpretazione e rilievo di campagna. Alcuni indicatori geomorfologici sono meglio osservabili e riconoscibili da foto aerea mentre altri elementi richiedono per una migliore identificazione una ulteriore indagine di campagna.

8.7.2 Stato di Attività

Al fine di una valutazione sommaria dello stato di attività delle forme in campo, su base esclusivamente geomorfologica, e in assenza di strumentazione di controllo e monitoraggio, si richiama la direttiva tecnica prodotta nell'ambito del Progetto IFFI "Determinazione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi nella scheda di 1° livello", a cura di A. Giglia, L. Paro e M. Ramasco (Regione Piemonte).

Questo documento propone di valutare lo stato di attività in relazione a un determinato grado di rimodellamento che esprime di "quanto" (in termini qualitativi) forme e corpi, le cui origini sono legate ad un particolare processo, risultino modificati dall'azione di processi di altro o dello stesso tipo. In relazione alle forme legate alla dinamica gravitativa, il grado di rimodellamento è considerato:

- da nullo a basso: quando l'elemento conserva praticamente l'aspetto originale (superfici di taglio nette, accumuli ben individuabili, indicatori cinematici evidenti);

- da basso a medio: quando l'elemento presenta ancora l'aspetto originale ma è stato interessato, del tutto o in parte, da una blanda azione di rimodellamento operata sia dalle acque ruscellanti, sia dalle attività antropiche o da altri tipi di processo ad azione prevalentemente superficiale;
- da medio ad alto: quando l'elemento risulta in gran parte o del tutto modificato rispetto alle condizioni originarie ma, nonostante ciò, è ancora possibile definirne l'origine gravitativa. Il grado di rimodellamento da medio ad alto è caratterizzato anche dalla presenza di un reticolo idrografico in parte gerarchizzato che incide il corpo di accumulo e talvolta anche la zona di distacco.

Per la determinazione dello stato di attività, sulla base del grado di rimodellamento delle forme, si suggerisce di utilizzare la seguente correlazione:

Grado di rimodellamento	Stato di attività
Da nullo a basso	Attivo
Da basso a medio	Quiescente
Da medio ad alto	Stabilizzato o relitto (inattivo)

Tabella 10 – Correlazione grado di rimodellamento-stato di attività (da Linee Guida Frane, 2017: Tab. A2_4).

8.8 CONCLUSIONI

- Sono indicate nella CGT – Carta geologico tecnica due frane di limitate dimensioni sui versanti meridionali.
- Dal confronto dei valori M-D associati con i valori critici (Mc-Dc) derivati da Keefer (1984) si evince come i siti di frana si trovino poco al di sotto della curva “upper bound” determinata da Keefer (1984), in prossimità del limite tra aree stabili e aree interessate da frane sismoindotte.
- Le indagini condotte non hanno individuato specifici indicatori cinematici, né è riconoscibile il perimetro dell'area franosa.
- La consultazione del CEDIT ha permesso di verificare l'assenza di eventi storici nell'intorno dell'area di studio.
- I valori di Kh sono risultati minori di 0.1 g consentendo di classificare il pendio come stabile.

A giudizio dello scrivente le due piccole aree di frana sono da escludere dal campo delle frane sismoindotte e pertanto non vengono classificate come zone instabili.

9 Analisi della suscettività alla liquefazione

9.1 DESCRIZIONE DEL FENOMENO FISICO E DELLE ZONE DI LIQUEFAZIONE

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.

In particolare, in relazione alla geometria del problema, si definisce:

- **Liquefazione in campo libero** (free field liquefaction) il fenomeno di instabilità in assenza sforzi di taglio statici di taglio statici.

In relazione alla severità dell’evento e nel caso in cui siano presenti sforzi di taglio statici, si definiscono:

- **Mobilità ciclica** (cyclic mobility) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio statici di entità inferiore alla resistenza al taglio post entità inferiore alla resistenza al taglio post-sisma;
- **Fluidificazione** (flow liquefaction) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio di entità superiore alla resistenza al taglio post-sisma.

In relazione alla severità dell’evento ed alle condizioni geometriche e di stato tensionale iniziale, gli effetti della liquefazione possono essere molto diversi.

In condizioni free field in genere prevalgono i fenomeni del tipo indicato di seguito:

- crateri, vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia;
- grandi oscillazioni e rotture del terreno;
- abbassamenti e sollevamenti del terreno.

La severità di questi fenomeni cresce al crescere dell’intensità sismica, dell’estensione della zona soggetta a liquefazione e al ridursi della soggiacenza della falda.

In presenza di sforzi di taglio statici prevalgono invece fenomeni del tipo indicato di seguito:

- movimenti orizzontali del terreno (lateral spreading);
- movimento di masse fluide/collasso di pendii naturali e artificiali;
- perdita di capacità portante delle fondazioni;
- galleggiamento di opere sotterranee;
- collasso di opere di sostegno e banchine portuali.

La liquefazione intesa in senso stretto (fluidificazione o soliflussione) causa effetti significativamente più severi di quelli osservabili nel caso di mobilità ciclica.

10 Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci

L'Italia è una delle zone più attive del Mediterraneo, in termini di tettonica attiva e sismicità. Molti terremoti storici hanno avuto effetti catastrofici (ad esempio: i terremoti del 1693 in Sicilia orientale, 1783 in Calabria, 1805 a Bojano, 1908 a Messina e 1915 nel Fucino) raggiungendo intensità MCS di XI grado (Magnitudo circa o leggermente superiore a 7). Studi paleosismologici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti di questi terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti.

Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (*Italy HAZard from Capable faults*) che prevede la realizzazione di un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie (<http://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html>).

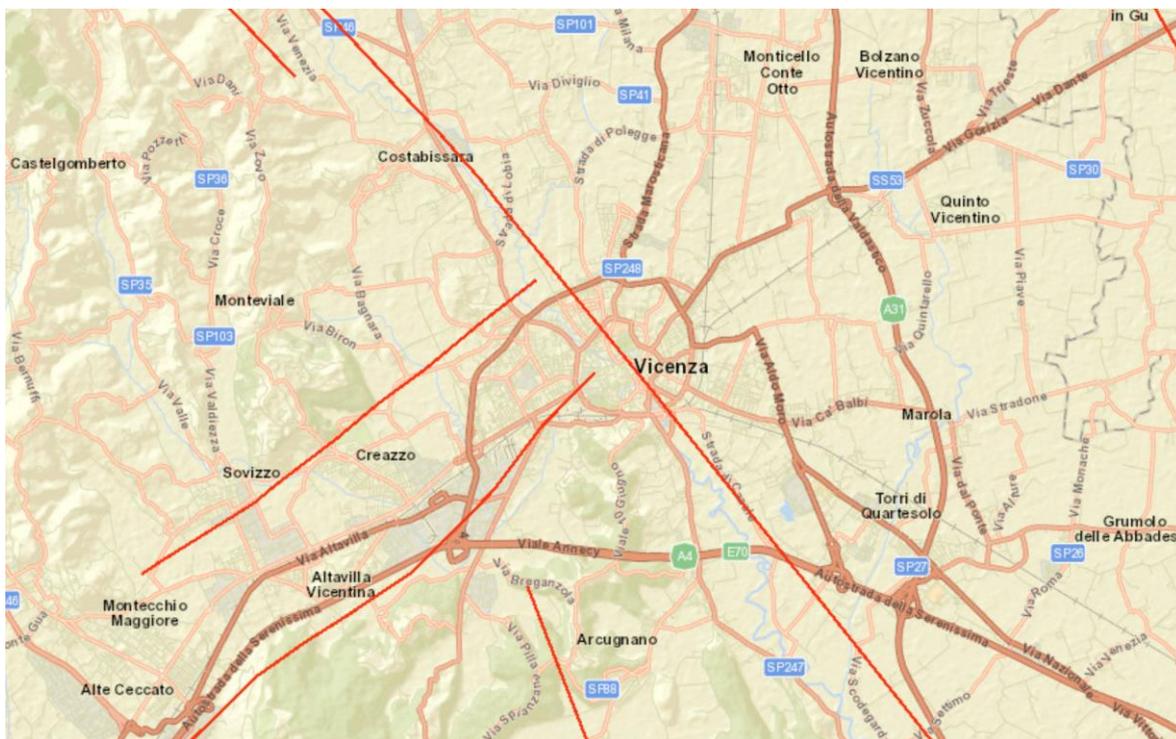
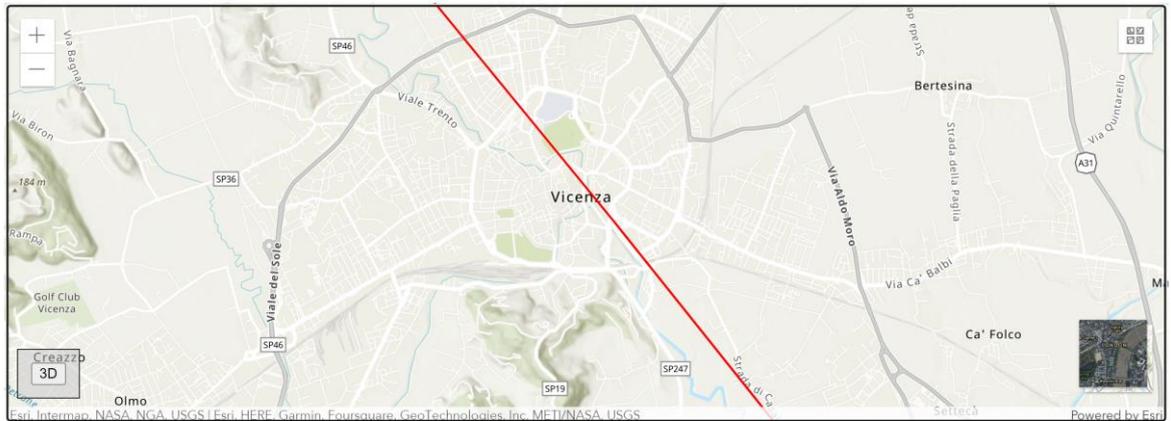


Figura 5 - Carta estratta per il Comune di Vicenza (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra).

Sono indicate per il comune di Vicenza le seguenti faglie:

Faglia Schio Vicenza



GENERAL IDENTIFICATION

Fault Code	72003
Fault Name	Schio - Vicenza
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Schio - Vicenza
Synopsis	
Rank	Primary

GEOMETRY AND KINEMATICS

Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	320
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NE
Fault Length (km)	69.2
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal

ACTIVITY

Surface Evidence	hidden (buried, blind fault)
Last Activity	Early Pleistocene
Evidence for Capability Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms	

SLIP PARAMETERS

y	
Slip Rate (mm/yr)	0.90
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	

FINAL REMARKS

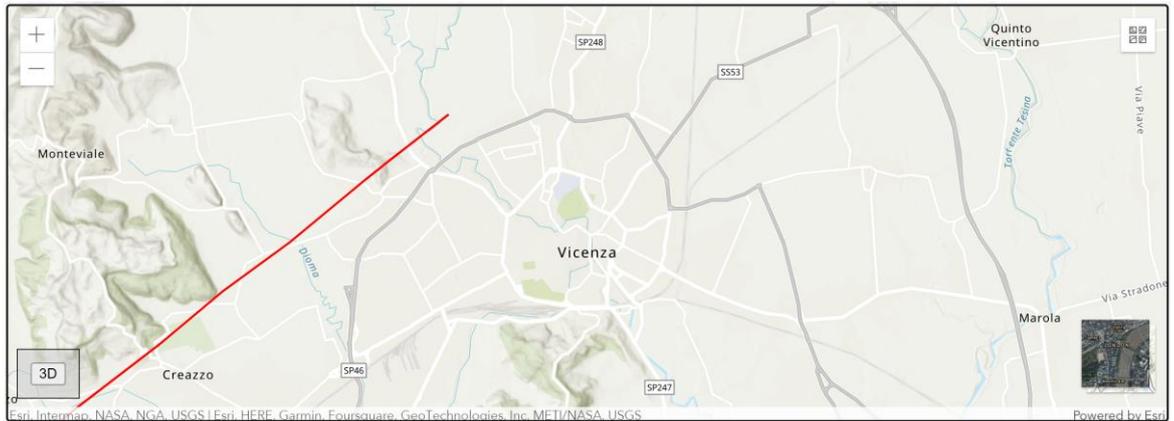
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

REFERENCES

Authors	Title	Reference	Year
Pola M., Ricciato A., Fantoni R., Fabbri P., Zampieri D.	Architecture of the western margin of the North Adriatic foreland: the Schio-Vicenza fault system	. Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 133, No. 2 (2014), pp. 223-234, 7 figs., 3 tabs. (doi: 10.3301/IJG.2014.04)	2014
Pola M., Gandini A., Tuccimei P., Soligo M., Deiana R., Fabbri P., Zampieri D.	A multidisciplinary approach to understanding carbonate deposition under tectonically controlled hydrothermal circulation: A case study from a recent travertine mound in the Euganean hydrothermal system, northern Italy.	Sedimentology (2014) 61, 172–199. (doi: 10.1111/sed.12069)	2014
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991
ARCA S. & BERETTA G.P. (1985)	Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia settentrionale	Boll. Geod. Sc. Aff., 44(2), 125-156	1985
CAVALLIN A., PELLEGRINI G.B. & ZANFERRARI A. (1998d)	Studio morfoneotettonico della linea Schio - Vicenza	ENEL (1988) - Contributi di preminente interesse scientifico agli studi di localizzazione di impianti nucleari in Piemonte e Lombardia. II	1988
AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983
DE CONCINI C. (1967)	Studio dei movimenti del suolo nella zona barico - euganea mediante livellazioni ripetute	Soc. Coop. Tip., Padova, 28 pp.	1967

DE CONCINI C., DE FLORENTIS N. (1987)	Evoluzione dei movimenti del suolo nell'area berico - euganea	Mem. Soc. Geol. Univ. Padova, 39, 161-174	1987
DE ZANCHE V., MIETTO P. & SEDEA R. (1978)	Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 36 (Schio) e 49 (Verona).	CNR (1978) - Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubbl.155, P.F. Geodinamica, p. 181-188 pp.	1978
AA.VV.	ENEL (1981) - Elementi di neotettonica del territorio italiano. 3, 1-94. Milano	ENEL (1981) - Elementi di neotettonica del territorio italiano. 3, 1-94. Milano	1981
FINETTI I. (1972)	Le condizioni geologiche della regione di Venezia alla luce di recenti indagini sismiche	Boll. Geof. Teor. Appl., 14, 275-290	1972
OGNIBEN L. (1987)	Modello geodinamico della regione trentina ed aree circostanti	St. Trent. Sc. Nat., 63, 1-165	1987
PANIZZA M., SLEJKO D., BARTOLOMEI G., CARTON A., CASTALDINI D., DEMARTIN M., NICOLICH R., SAURO U., SEMENZA E. & SORBINI L. (1981)	Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa	Rend. Soc. Geol. It., 3, 587-603	1981
PELLEGRINI G.B. (1988)	Aspetti morfologici ed evidenze neotettoniche della linea Schio - Vicenza	Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1, 69-82	1988
SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C. et alii	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp	1987
ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A. et alii	Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale	Mem. Sc. Geol., 35, 355-376, Padova	1982
ZANFERRARI A., GIRARDI A., PIANETTI F. & SEDEA R. (1980)	Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 50 - Padova (p.p.) e 64 - Rovigo (p.p.)	CNR (1980) - Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. P.F. Geodinamica, Pubbl. 356 (1), 437-461	1980

Faglia Vicenza Creazzo



GENERAL IDENTIFICATION

Fault Code	77598
Fault Name	Vicenza - Creazzo
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	CRATONIC
System Name	Lessini Mt
Synopsis	
Rank	Secondary

GEOMETRY AND KINEMATICS

Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	240
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SE
Fault Length (km)	9.7
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal

ACTIVITY

Surface Evidence	ND
Last Activity	Middle Pleistocene (125,000÷700,000)
Applied Technique	Field studies

SLIP PARAMETERS

Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	

Max Credible Rupture Length (km)
Max Credible Slip (m)
Time Since Last Event (yr)
Max Known Magnitude (Mw)
Max Known Intensity (MCS)
Known Seismic Events

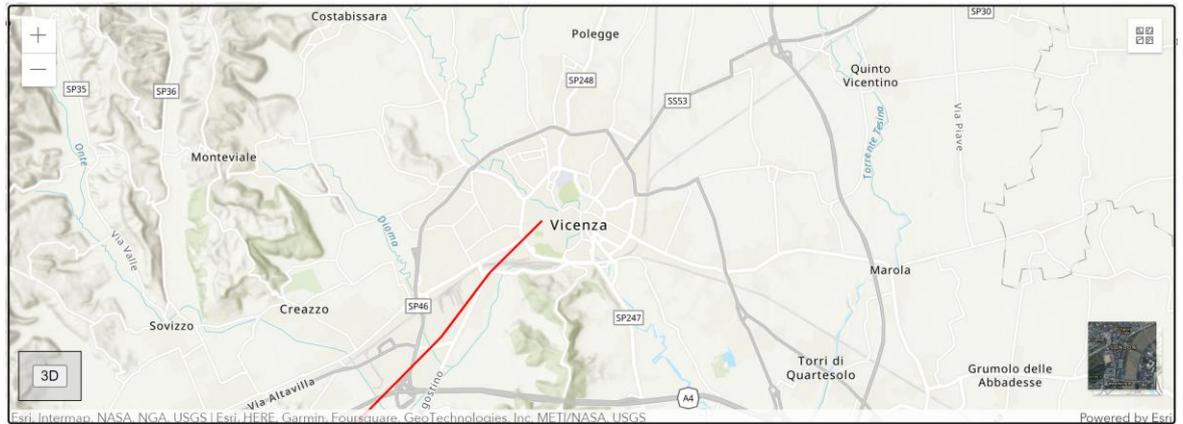
FINAL REMARKS

Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

REFERENCES

Authors	Title	Reference	Year
SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C. et alii	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp	1987
AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983

Faglia Vicenza Altavilla



GENERAL IDENTIFICATION

Fault Code	77597
Fault Name	Vicenza - Altavilla
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Berici-Euganei hill
Synopsis	
Rank	Secondary

GEOMETRY AND KINEMATICS

Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	60
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NW
Fault Length (km)	12.4
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal

ACTIVITY

Surface Evidence	ND
Last Activity	Middle Pleistocene (125,000÷700,000)
Applied Technique	Field studies

SLIP PARAMETERS

Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	

Max Credible Rupture Length (km)
Max Credible Slip (m)
Time Since Last Event (yr)
Max Known Magnitude (Mw)
Max Known Intensity (MCS)
Known Seismic Events

FINAL REMARKS

Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

REFERENCES

Authors	Title	Reference	Year
SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C. et alii	Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale	CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp	1987
AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983

Per tali faglie non sono disponibili allo stato attuale studi sufficientemente accurati che consentano di definire la traccia planimetrica dell'intersezione del piano (o dei piani) di faglia con la superficie o che permettano di stabilire che effettivamente si tratti di faglie capaci. Infatti, una faglia è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno e l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia.

Benché esista una corposa bibliografia geologica relativa alla faglia Schio-Vicenza e secondariamente alle altre faglie, non è presente nessuna segnalazione che il territorio comunale sia attraversato da FAC. Lo stesso catalogo Ithaca ha stabilito che l'attribuzione di faglia capace per tutte e tre le faglie presenti nel territorio comunale è scarsamente affidabile (Low Reliability).

Per eventuali approfondimenti si rimanda ad alcuni dei principali lavori scientifici pubblicati sull'argomento:

Fondriest, Michele, Steven A.F. Smith, Giulio Di Toro, Dario Zampieri, e Silvia Mittempergher.
 «Fault Zone Structure and Seismic Slip Localization in Dolostones, an Example from the

Southern Alps, Italy». *Journal of Structural Geology* 45 (dicembre 2012): 52–67.
<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.06.014>.

Martin, Silvana, Fabio Fedrizzi, Jacopo Boaga, Nicola Cenni, Claudia Agnini, Giampaolo Cortellazzo, e Sandro Rossato. «Paleo-Seismicity in the Euganean Hills Province (Northeast Italy): Constraints From Geomechanical and Geophysical Tests in the Schio-Vicenza Fault Area». *Frontiers in Earth Science* 8 (3 dicembre 2020): 586897.
<https://doi.org/10.3389/feart.2020.586897>.

Pola, Marco, Angelo Ricciato, Roberto Fantoni, Paolo Fabbri, e Dario Zampieri. «Architecture of the western margin of the North Adriatic foreland: the Schio-Vicenza fault system». *Italian Journal of Geosciences* 133, n. 2 (giugno 2014): 223–34.
<https://doi.org/10.3301/IJG.2014.04>.

Torresan, Filippo, Leonardo Piccinini, Marco Pola, Dario Zampieri, e Paolo Fabbri. «3D Hydrogeological Reconstruction of the Fault-Controlled Euganean Geothermal System (NE Italy)». *Engineering Geology* 274 (settembre 2020): 105740.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105740>.

Viganò, Alfio, Davide Scafidi, Giorgio Ranalli, Silvana Martin, Bruno Della Vedova, e Daniele Spallarossa. «Earthquake Relocations, Crustal Rheology, and Active Deformation in the Central–Eastern Alps (N Italy)». *Tectonophysics* 661 (ottobre 2015): 81–98.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.08.017>.

Viganò, Alfio, Dario Zampieri, Sandro Rossato, Silvana Martin, Luigi Selli, Giacomo Prosser, Susan Ivy-Ochs, et al. «Past to present deformation of the central-eastern Southern Alps: from the foreland to the Giudicarie belt». *Geological Field Trips* 10, n. 1.1 (giugno 2018): 1–78.
<https://doi.org/10.3301/GFT.2018.01>.

Zampieri, Dario, Paola Vannoli, e Pierfrancesco Burrato. «Geodynamic and Seismotectonic Model of a Long-Lived Transverse Structure: The Schio-Vicenza Fault System (NE Italy)». *Solid Earth* 12, n. 8 (26 agosto 2021): 1967–86. <https://doi.org/10.5194/se-12-1967-2021>.

Le analisi aerofogrammetriche prima (foto aeree, ortofoto, immagini da satellite), e i rilievi geologici, geomorfologici di campagna poi (indagini di livello Ind_02) non hanno dato alcuna evidenza sul terreno della presenza in superficie dei piani di faglia. Inoltre, non è stato individuato alcun indizio della presenza di discontinuità compatibili con una faglia.

Sono state infine condotte le indagini di livello Ind_03 con indagini geoelettriche condotte in attraversamento al possibile tracciato della faglia Schio-Vicenza e della Faglia Vicenza Creazzo. Le sezioni geoelettriche non hanno dato alcun esito in relazione a possibili dislocazioni.

Sulla scorta delle indagini di cui sopra, si è deciso di aggiornare la carta delle MOPS relativa al Primo Livello di approfondimento eliminando dalle zone suscettibili di instabilità l'area interessata da deformazioni dovute a faglie attive o capaci.

11 Normativa tecnica in ambito sismico per il Piano degli interventi del Comune di Vicenza

11.1 ZONE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA: APPROFONDIMENTI A NORMA DEL DM 17.01.2018 (NTC 2018)

11.1.1 Premessa

- a) La disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di liquefazione viene articolata in due tipi di indicazioni:
- indicazioni urbanistiche, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative;
 - indicazioni edilizie, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso.
- b) Tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali nel territorio comunale di Vicenza, dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni - GU n.42 del 20/02/2018).
- c) La carta di microzonazione sismica di secondo/terzo livello, basata su fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio per inquadrare la possibile risposta sismica locale e per indirizzare la scelta delle indagini necessarie in sede esecutiva secondo quanto previsto dal diagramma di flusso "Indagini sismiche-Normativa tecnica per il piano degli interventi",
- d) La scelta della tipologia e metodologia di indagine dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata e in accordo col DM 17.01.2018 (NTC 2018).

11.1.2 Modalità di applicazione degli approfondimenti a norma del DM 17.01.2018 (NTC 2018)

Il D.M. 17.01.2018, al paragrafo 2.4.2 "Classi d'uso", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo.

Su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati di seguito.

- a. Classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Prescrizioni: per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

- b. Classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose

per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Prescrizioni: per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale.

Tipologie di indagine: per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta rimanda a quanto indicato dal D.M. 17.01.2018 al paragrafo 3.2.2 "ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3, in assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (tabella 3.2.II)".

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso la determinazione della velocità equivalente V_{s30} ; a questo proposito la normativa poco dopo recita: "la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata". Pertanto, la determinazione della velocità delle onde di taglio V_s , dovrà essere fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole, cono sismico) o in superficie (MASW, ReMi, ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive. Abbinare alle determinazioni di V_s si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guide del Progetto SESAME.

c. Classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Prescrizioni: si veda il successivo punto d), Classe IV.

d. Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Prescrizioni: per le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV si prevede l'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018 "Risposta Sismica e stabilità del sito": "Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni

sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove". Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo, dovrà articolarsi secondo quanto indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018, al quale si rimanda.

Tipologie di indagine: oltre a quanto previsto dalla normativa, si sottolinea la necessità di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:

- esecuzione di sondaggi geognostici per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse "unità" geotecniche;
- prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad un'ideale profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il "bedrock sismico";
- prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidità e dello smorzamento del livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche, ecc.;
- la relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

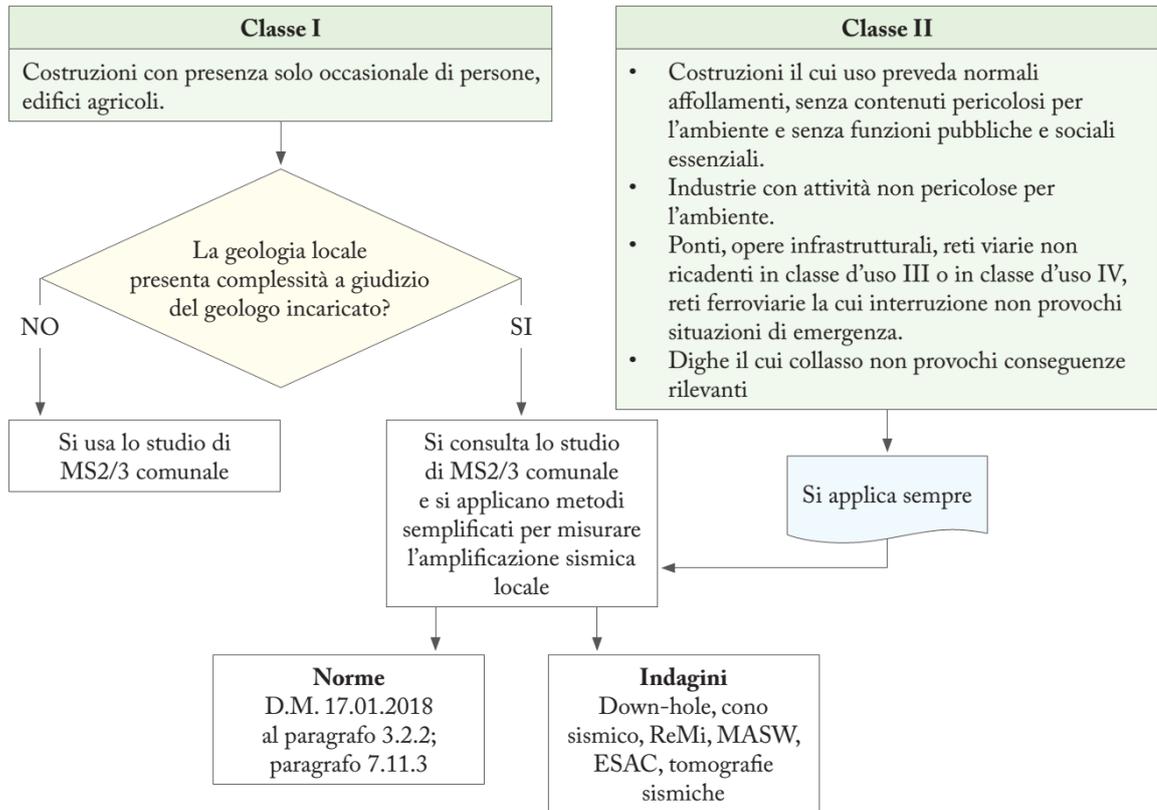
11.1.3 Analisi di Risposta Sismica Locale

Si dovrà applicare a:

Edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).

Si seguano le indicazioni riportate nel diagramma di flusso: "Indagini sismiche-Normativa tecnica per il piano degli interventi" che sintetizza in forma schematica quanto esposto ai paragrafi precedenti.

Indagini sismiche Normativa tecnica per il piano degli interventi



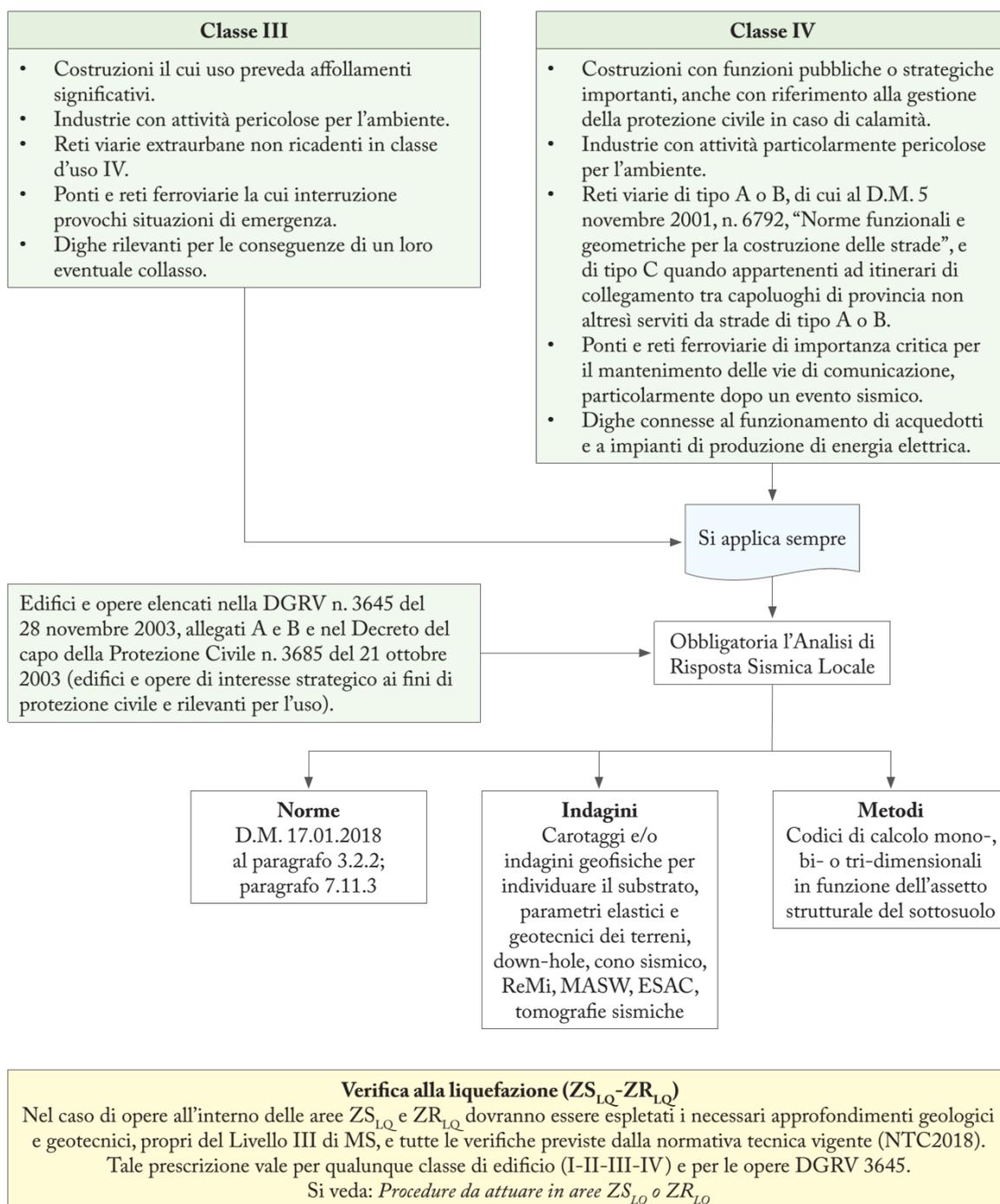


Figura 15 – Indagini sismiche – Normativa tecnica per il Piano degli Interventi.

11.2 COMUNE DI VICENZA - DISCIPLINA SISMICA PER LE ZONE INTERESSATE DALLA PRESENZA DI LIQUEFAZIONE (ZS_{LQ} E ZR_{LQ})

1. La D.G.R. n. 244 del 9 marzo 2021 classifica il Comune di Vicenza in zona sismica 2. Vicenza è inserito nell'Allegato B della D.G.R. n. 1572 del 3 settembre 2013 "Elenco dei Comuni del Veneto a cui applicare le Linee Guida per gli studi di microzonazione sismica".

Il comune è dotato di Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello con approfondimenti di Terzo Livello.

2. Nelle zone interessate dalla presenza di liquefazione indicate nella Carta di Microzonazione Sismica di II°-III° livello il P.I. disciplina gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS), ai vari livelli, come definiti negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) - anno 2008*, sono integrati con quanto specificato dalle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) - Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Roma 2017*.

Al fine di definire tale disciplina, si fa riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- **Aree edificate (recenti o consolidate)**
- **Aree non edificate (con previsione di trasformazione)**
- **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata**

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione,

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di ZA_{LQ} (Zone di Attenzione per liquefazione), ZS_{LQ} (Zone di Suscettibilità per liquefazione) e ZR_{LQ} (Zone di Rispetto per liquefazione) è sottoposta a specifiche normative.

3. Nelle ZS_{LQ} (Zone di Suscettibilità per liquefazione) e ZR_{LQ} (Zone di Rispetto per liquefazione) si applica la seguente disciplina sismica uniformata per le tre categorie di aree urbanistiche definite sulla base della pianificazione urbanistica vigente:

3.1 Aree edificate (recenti o consolidate) ricadenti in ZS_{LQ} e in ZR_{LQ} $ZTO A - A1 - B1 - B2 - B3 - Nuclei Abitati - D1 - D2.1 - D3 - F$ esistenti

Descrizione:

Aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.

3.2 Aree non edificate (con previsione di trasformazione) ricadenti in ZS_{LQ} e in ZR_{LQ} ZTO C – D2 – F di progetto

Descrizione:

Aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti (residenziali, produttivi, a servizi o misti) di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.

3.3 Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata ricadenti in ZS_{LQ} e in ZR_{LQ} ZTO E e similari

Descrizione:

Aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, sia per destinazione d'uso (aree agricole), che per la presenza di vincoli e forme di tutela.

3.4 Disciplina per le aree ai commi 3.1, 3.2 e 3.3.

3.4.1 Per le ZS_{LQ} e ZR_{LQ} , l'Amministrazione Comunale predispone il *Programma Zone Instabili (PZI)*, assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Il *PZI* rappresenta un programma d'intervento complesso in cui vengono definiti obiettivi e ambiti di intervento, fattibilità e modalità attuative.

3.4.2 L'assenza di un *PZI* determina la stessa disciplina d'uso prevista per le ZA_{LQ} , ovvero l'obbligo di approfondimento. In tal caso, per interventi di nuova edificazione (nei lotti ineditati) 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 ZS_{LQ} e le ZR_{LQ} (se l'area di studio comprende più lotti è infatti opportuno eseguire uno studio di dettaglio di 3° Livello, secondo le *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) - Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Roma 2017*. La carta che verrà prodotta costituirà un approfondimento, con cartografia di maggior dettaglio (tipicamente 1:1000 o 1:2000), della MS comunale); nel caso di interventi puntuali (singolo lotto), vanno condotti gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente (D.M. 17.01.2018: §3.2.2 e §7.11.3.4.2). Tali approfondimenti sono a carico del proponente / soggetto attuatore.

3.4.3 In assenza degli approfondimenti di cui al precedente punto 3.4.2 o nel caso in cui gli approfondimenti di indagine confermino che i terreni sono liquefacibili si applica la seguente disciplina:

Tipologia immobile	Specificazioni attuative	Tipo Intervento
Edifici esistenti	Sono ammessi <ul style="list-style-type: none"> - gli interventi di manutenzione ordinaria, - gli adeguamenti igienico-sanitari o quelli obbligatori per normativa di settore 	non limitato
	Gli interventi che prevedono opere strutturali e cambio di destinazione d'uso o interventi che comportano aumento di carico urbanistico sono consentiti a condizione che vengano previste: <ul style="list-style-type: none"> - opere/interventi di miglioramento o di adeguamento (per esempio, con un sistema di fondazioni su pali); - valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità in conformità con la normativa vigente (ad esempio: iniezioni di permeazione con miscele leganti, <i>compaction grouting</i>, parziale saturazione, drenaggi, vibrocompattazione profonda dei terreni, ecc.). 	limitato
Nuova costruzione	È ammessa la nuova costruzione con interventi obbligatori di riduzione della pericolosità in conformità con la normativa vigente.	limitato

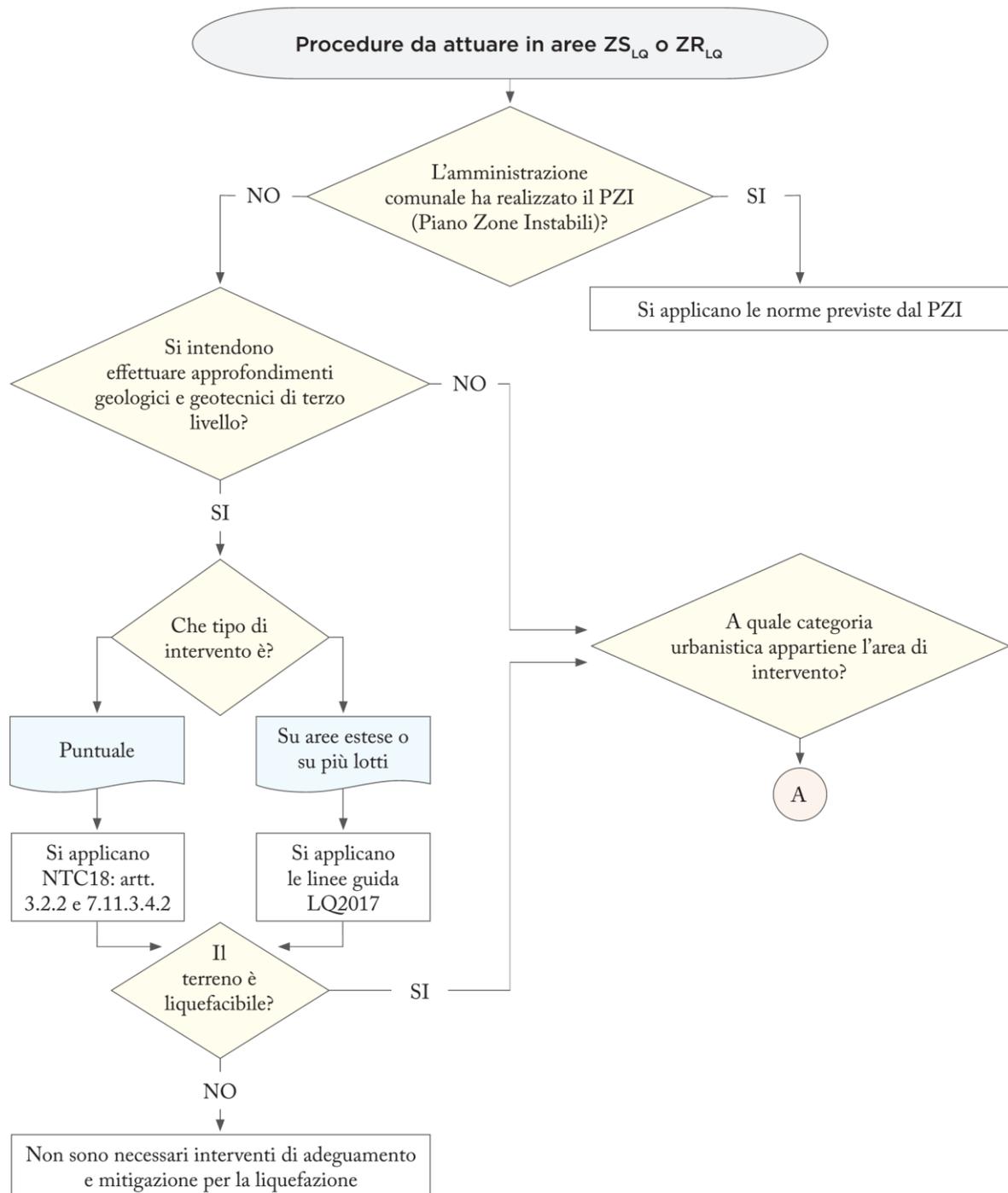
Le *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di liquefazione* (2017) propongono di distinguere le limitazioni ai diversi tipi di intervento solo nel caso di Aree edificate (recenti o consolidate), dove, nel caso di *nuova costruzione* si suggerisce che tale intervento sia inibito. Considerata la tipologia di instabilità legata alla liquefazione delle sabbie, per la quale, a differenza di altre categorie come FAC e frane, si prevede esplicitamente la possibilità di realizzare interventi di miglioramento dei terreni di fondazione e/o di riduzione della pericolosità, si è ritenuto che anche la *nuova costruzione* in Area edificata (recente o consolidata) presentasse le medesime limitazioni di carattere geologico-sismico previste per le altre categorie. Si è pertanto scelto di uniformare la disciplina di uso del suolo a tutte le categorie di aree urbanistiche, non ritenendo che esistano differenze significative in termini di rischio sismico tra le diverse tipologie di area urbanistica.

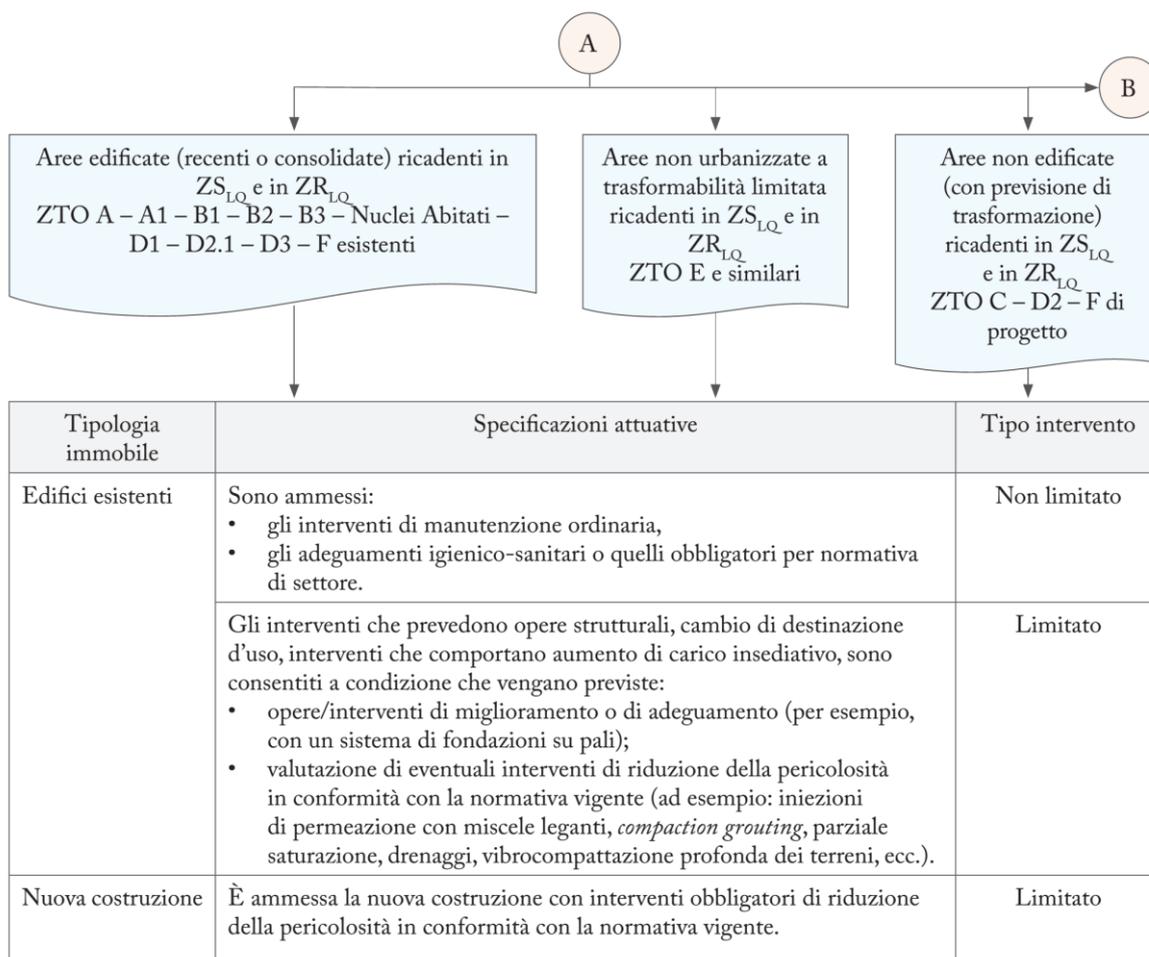
4. Programma Infrastrutture

4.1. Per le infrastrutture, le opere connesse a sistemi infrastrutturali e, più in generale le *lifelines* di progetto, qualora le condizioni di suscettibilità alla liquefazione fossero effettivamente verificate e non fossero possibili opere/interventi di miglioramento o di adeguamento delle fondazioni o interventi di riduzione della pericolosità in conformità con la normativa vigente, deve essere favorita la delocalizzazione.

4.2. Se preesistenti, o non delocalizzabili, a fronte di nuove evidenze di condizioni di liquefacibilità, deve essere predisposto uno specifico programma, eventualmente nell'ambito del Programma Zone Instabili, per essere sottoposte a verifica, prevedendo specifici approfondimenti conoscitivi e interventi finalizzati alla minimizzazione dei rischi.

5. Si seguano le indicazioni riportate nel diagramma di flusso seguente: “*Procedure da attuare in aree ZS_{LQ} o ZR_{LQ}*” che sintetizza in forma schematica quanto esposto ai paragrafi precedenti.





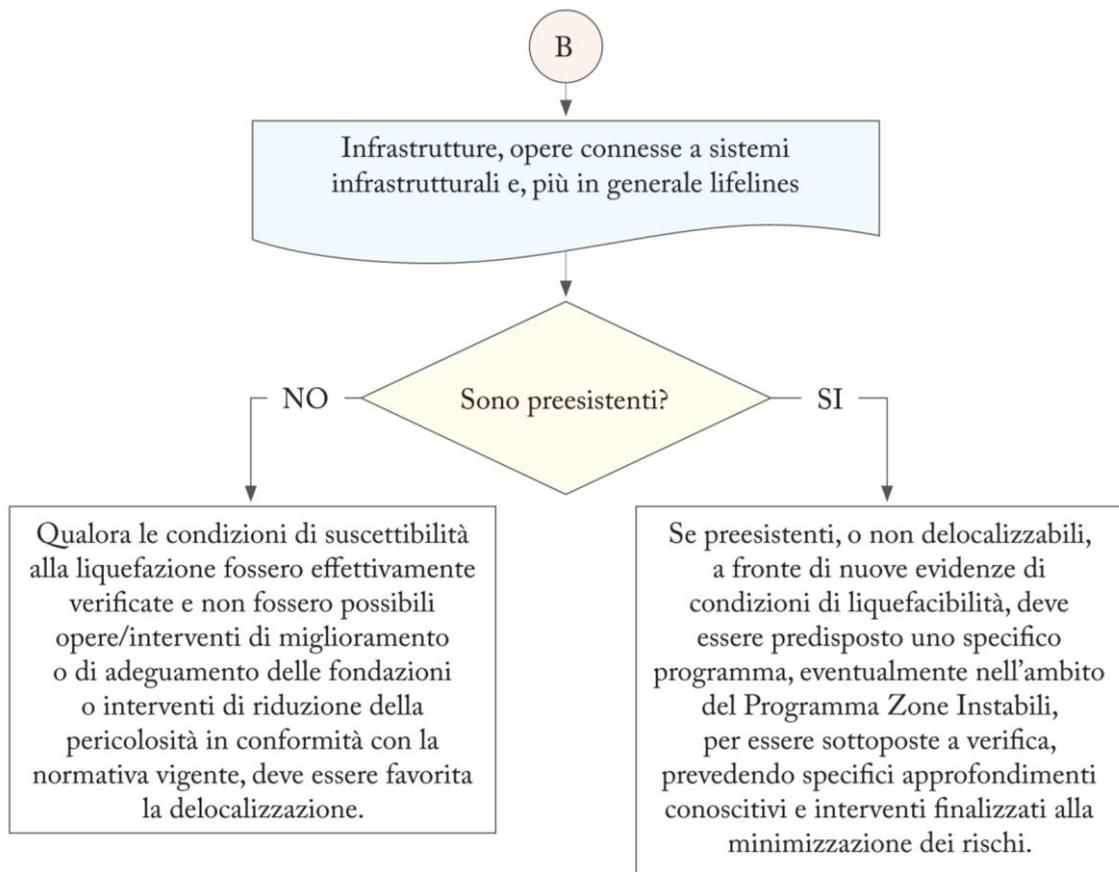


Figura 16 - "Procedure da attuare in aree ZSLQ o ZRLQ" - diagramma di flusso.

12 Commenti finali e criticità

Il territorio comunale, pur caratterizzato da una certa uniformità morfologica, presenta nelle sequenze sedimentarie una discreta variabilità geolitologica.

La delimitazione delle aree ZS_{LQ} e ZR_{LQ} sono funzione della distribuzione delle prove e delle modalità di interpolazione delle stesse.

Tutti gli approfondimenti successivi di Terzo Livello condotti in funzione della fase esecutiva delle opere previste dal PI potranno costituire elementi utili per l'aggiornamento della carta e la delimitazione delle zone di suscettibilità e di rispetto.

Il presente studio è parte dello strumento urbanistico comunale, ma nel caso di esecuzione di opere o di interventi nel territorio non può in alcun modo sostituire le indagini e le elaborazioni puntuali, esplicitamente previste alle NTC 2018.

Dr. Geol. Giovanni Rigatto



Giovanni Rigatto