

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Veneto

Comune di Sommacampagna



<p>Comune di Sommacampagna</p>  <p>Comune di Sommacampagna Capofila progetto Carta Giovani</p>	<p>Soggetto realizzatore Dott geologo Cristiano Mastella</p>	<p>Data Ottobre 2022</p>
---	--	------------------------------



INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1.	Riferimenti Normativi.....	4
1.2.	Modalità di indagine	5
1.3.	Finalità degli studi: pericolosità sismica e Microzonazione Sismica	6
1.4.	Generalità sulla Microzonazione Sismica.....	7
1.5.	Foto aeree	9
1.6.	Elenco degli archivi consultati.....	9
1.7.	Descrizione generale dell'area	10
1.8	Aree da sottoporre agli studi di MS di II e III Livello.....	11
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	12
2.2	Sismicità storica.....	14
2.3	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	19
2.4	Pericolosità sismica di riferimento.....	23
3	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	27
3.1	Inquadramento geologico generale	27
3.2	Inquadramento strutturale.....	31
3.4	Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi	36
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	38
4.1	Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi	39
4.2.1.1	Strumentazione	42
4.2.1.2	Acquisizione	42
4.2.1.3	Analisi dei dati	42
4.2.2	Metodo M.A.S.W.	46
4.2.2.1.	Strumentazione	48
4.2.2.3.	Inversione	52
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	53
6.	STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II e APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO	55
6.1	Premessa	55
6.2	Valutazione degli effetti litologico-stratigrafici	57
6.3	Modello del sottosuolo utilizzato per gli abachi	59
6.4	Valutazione degli effetti morfologici.....	66
6.5	Aree potenzialmente instabili per liquefazione	69
	6.6 Verifiche condotte.....	72
	6.7 Calcolo dell'indice di Liquefacibilità.....	73
6.8	FAGLIA INVERSA PRESUNTA.....	100
7.0	PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE	121
	Prescrizione normative.....	121
	Prescrizioni generali per le zone a e b	121
	Prescrizioni specifiche per le zone b.....	123
	Aree potenzialmente instabili per liquefazione	123



Aree potenzialmente instabili per instabilità di versante	124
Aree instabili caratterizzate da presenza di faglia attiva e capace	124
8.0 ELABORATI CARTOGRAFICI.....	125
8.1 Carta delle indagini.....	125
9. BIBLIOGRAFIA.....	130



1. INTRODUZIONE

La presente relazione è un documento tecnico-scientifico che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per lo studio di Microzonazione Sismica di livello 2° e 3° del Comune di Sommacampagna (VR).

1.1. Riferimenti Normativi

Lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di II e III Livello del Comune di Sommacampagna (VR) è stato redatto in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri (O.P.C.M.) n. 3907, in data 13 novembre 2010, istituita ai sensi dell'articolo 11 del D.L. n. 39 in data 28 Aprile 2009 convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 77 del 24 Giugno 2009 (art. 11) ed in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007, in data 29 Febbraio 2012. L'O.P.C.M. n. 3907/2010, all'art. 5 comma 3, dispone che le Regioni individuino, con proprio provvedimento, i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica (MS), definendo come soglia generale di ammissibilità al finanziamento, il valore di accelerazione massima al suolo "ag" superiore o uguale a 0,125 g, come specificato nell'Allegato 2 e nell'Allegato 7.

A seguito dell'emanazione del DGR n. 899 del giugno 2019 e relativo Allegato A (Studi di Microzonazione Sismica – Direttive per l'applicazione dei livelli di approfondimento), della Regione Veneto, sono stati forniti ulteriori chiarimenti e precisazioni in ordine all'applicazione dei livelli di approfondimento degli studi in relazione alla tipologia di strumento urbanistico sul quale si deve operare. In particolare, lo studio di MS di 2° e 3° Livello si applica in sede di redazione di studi per gli strumenti urbanistici che individuano e disciplinano gli interventi sul territorio in tutte quelle parti suscettibili di amplificazione sismica, individuate nel 1° Livello, per i quali si prevedono trasformazioni urbanistico-edilizie ed incremento dei carichi urbanistici/insediativi; inoltre si applica anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale ed in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali.

Successivamente, dalla necessità di adeguare ed uniformare le zone sismiche della Regione Veneto alla Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento nazionale (O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006), creata sulla base delle accelerazioni locali massime attese al suolo, e di disciplinare in maniera coordinata il controllo della pianificazione e dell'attività edificatoria, nel rispetto dei confini amministrativi comunali, con D.G.R. n. 244 del 09 marzo 2021 è stato approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. Il criterio di assegnazione dei Comuni alle nuove zone sismiche è fondato sul valore di accelerazione sismica massima attesa a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Sono così assegnati alla Zona 1 i Comuni con $a_{max} > 0,250$ g; alla Zona 2 quelli con a_{max} compresa tra 0,250 e 0,150 g, ed alla Zona 3 quelli con $a_{max} < 0,150$ g in coerenza con le disposizioni contenute nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 28 aprile 2006, n. 3519.



Nell'Allegato B del suddetto DGR si individuano i Comuni vincolati alla realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica (1°, 2° ed eventuale 3° Livello di approfondimento) estesi a tutte le parti di interesse urbanistico del territorio comunale (come definito dalla D.G.R. 899/2019), nella fase di redazione dei primi strumenti urbanistici generali (P.A.T. e P.I.) o prime loro varianti.

Il lavoro è stato eseguito secondo le modalità indicate negli *“Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica”* (ICMS Parte I e II) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome in data 13 novembre 2008. Nel dicembre 2020 sono stati emanati dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica gli *“Standard per l’informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica”* Versione 4.2 (O.P.C.M. n. 3907/2010 art. 5 comma 7).

1.2. Modalità di indagine

Il lavoro è stato svolto secondo le seguenti fasi di lavoro:

- Raccolta di dati bibliografici;
- Esame della documentazione in materia elaborata negli ultimi anni a livello regionale ed interregionale;
- Analisi in chiave sismologica della cartografia geologica comunale relativa al P.A.T.;
- Approfondimenti relativi alle problematiche sismiche, alla sismicità di base ed alla valutazione della amplificazione sismica locale;
- Sopralluoghi di controllo sul campo;
- Elaborazione dei dati pregressi e di nuova realizzazione;
- Redazione della carta delle indagini;
- Scelta degli abachi e redazione della Carta di Microzonazione Sismica.

La presente relazione risulta corredata delle tavole di seguito indicate:

Tavola	Scala
Carta di Microzonazione Sismica	1:10.000
Carta delle indagini	1:10.000



1.3. Finalità degli studi: pericolosità sismica e Microzonazione Sismica

È fondamentale avvalersi degli studi di Microzonazione Sismica (MS) durante la fase di progettazione degli strumenti urbanistici al fine di determinare la riduzione del rischio sismico (RS), che può essere così definito:

$$RS = \text{Pericolosità sismica} \times \text{Esposizione urbanistica} \times \text{Vulnerabilità dei centri urbani e delle opere.}$$

Una MS completa deve, quindi, considerare anche la vulnerabilità dei centri urbani e delle opere. Non essendo ancora disponibile una procedura speditiva riconosciuta valida per la valutazione della vulnerabilità (le procedure finora attuate sono di dettaglio e, quindi, onerose sia in termini di costi e soprattutto di tempi) la MS, in genere, è limitata a valutazioni della pericolosità sismica locale nelle zone di esposizione urbanistica: centri abitati ove si realizza una concentrazione di popolazione, zone destinate ad attività produttive e commerciali, altre previsioni urbanistiche e lungo le reti infrastrutturali.

Devono essere forniti dei criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti di amplificazione sismica locale ed instabilità in caso di terremoto in maniera da orientare le scelte, nella fase di progettazione urbanistica, verso aree a minore pericolosità sismica e supportare qualsiasi altro intervento finalizzato alla riduzione del rischio sismico (es.: interventi di riqualificazione urbanistica, messa in sicurezza, ...).

La **pericolosità sismica** dipende essenzialmente da due elementi:

- Dalle caratteristiche sismiche dell'area, ossia dalla presenza e/o distanza dalle sorgenti sismiche attive, dall'energia e dal tipo dei terremoti nonché dalla frequenza degli eventi. Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica di base";
- Dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio di riferimento; infatti, queste caratteristiche possono influenzare notevolmente le caratteristiche dell'evento sismico in superficie e costituire appunto gli elementi predisponenti al verificarsi dei fenomeni di amplificazione o di instabilità del suolo (cedimenti, frane, liquefazione). Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica locale".

Lo studio della "pericolosità di base" e della "pericolosità locale" tendono sostanzialmente al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Individuare delle aree ove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- Stima quantitativa della risposta sismica locale indotta dai depositi superficiali e della morfologia del territorio: "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);
- Suddivisione del territorio comunale in sottozone omogenee a cui attribuire lo stesso valore di pericolosità sismica locale: "Microzonazione Sismica" (MS).



I risultati di questi studi afferiscono al quadro conoscitivo e vengono successivamente applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica; forniscono inoltre indicazioni per l'applicazione, in fase di progettazione, delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018).

1.4 Generalità sulla Microzonazione Sismica

La Microzonazione Sismica, ovvero “la suddivisione dettagliata del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale”, tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi), sia dell'amplificazione locale legata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche ed idrogeologiche dell'area di studio. Ha come finalità fondamentale quella di indirizzare la pianificazione urbanistica verso l'utilizzo edificatorio degli ambiti a minor rischio sismico.

Si articola in più livelli di approfondimento, sinteticamente sono così descrivibili:

- **Primo Livello:** è lo studio propedeutico ai livelli successivi. Consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rottura del terreno, ecc.. Consiste nelle seguenti azioni:

- Raccolta dei dati esistenti e formulazione di una relazione che ricostruisce la sismicità storica dell'area, dei danni che i terremoti avvenuti hanno arrecato al territorio, delle possibili correlazioni con le principali strutture geologiche esistenti;

- Elaborazione di una cartografia che, attraverso la rivisitazione dei contenuti geologici, geolitologici ed idrogeologici dello Studio Geologico per il P.R.G.C., individui gli elementi, in chiave sismologica, in grado di amplificare localmente la sismicità di base e/o di aumentare la pericolosità locale;

- Elaborazione della cartografia di suddivisione del territorio in zone omogenee in prospettiva sismica;

- **Secondo Livello:** è lo studio di approfondimento locale; ha come obiettivo la redazione della Microzonazione Sismica e si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente. Consiste nelle seguenti azioni:

- Caratterizzazione locale del terreno con la misura delle V_{seq} o V_{s30} , per le aree “stabili”;

- Determinazione della profondità del bedrock in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo, alla definizione di profili di V_{seq} o V_{s30} e valutazione degli effetti morfologici, per le aree soggette ad amplificazione sismica; studio degli effetti di cui al punto precedente e degli ambiti di possibile instabilità.



• **Terzo Livello:** si applica in fase progettuale agli scenari suscettibili di instabilità, liquefazione, cedimenti. È un approccio puntuale ai singoli fenomeni. Si applica:

○ Per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche per previsioni ricadenti nelle aree classificate come:

- P1b zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti,
- P1c zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana,
- P2a zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...,
- P2b zona con depositi granulari fini,
- P2c zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici,
- P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che presentino le seguenti caratteristiche $h/l > 0,65/\sqrt{Cv} - l$ dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, Cv il rapporto fra la velocità Vs nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento,
- P4b Zona di fondovalle stretta ($C > 0,25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale,
- P1a movimenti franosi attivi. Sebbene l'urbanizzazione in queste aree sia vincolata da altre norme è possibile che si renda necessario uno studio di MS, ad esempio per riparazione di un'opera esistente (strada, edifici, centro abitato, ...),
- P5b zona ove sono presenti o potenzialmente presenti ca sotterranee o sinkhole.

○ Nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico. Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici. I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018). Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere suddivise con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo.

La procedura proposta fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.



Al fine di rendere più agevole la consultazione delle condizioni di applicabilità dei Livelli II e III è stato redatto uno schema riassuntivo della procedura di MS per i differenti livelli di approfondimento. Il presente studio di Microzonazione Sismica fa riferimento al II dei livelli di approfondimento sopra descritti.

1.5. Foto aeree

Per effettuare il presente studio di microzonazione sismica, sono stati consultati alcuni fotogrammi aeree appartenenti ai seguenti voli:

- 1945 IGM
- 1954-55 GAI
- 1981 reven
- 1983 reven Verona
- 1987 reven
- 1990 reven
- 1997 reven Verona nord
- 2005-06 reven Isola Vicentina
- 2009 reven Verona nord - BIMA

Tali fotogrammi aerei sono consultabili all'indirizzo web

http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/ che si riferisce al Laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia.

Tali fotogrammi aerei sono consultabili all'indirizzo web: http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/ che si riferisce al Laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia.

1.6. Elenco degli archivi consultati

Per reperire i dati geologici e cartografici necessari alla redazione del presente studio, sono stati consultati i seguenti archivi multimediali:

- <https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download> (per dati cartografici e geologici regionali);
- http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/ (per la consultazione delle foto aeree);
- <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/> catalogo nazionale delle faglie capaci – Progetto ITHACA);
- <http://cnt.rm.ingv.it> (Catalogo ISIDe per i terremoti recenti)



- <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> (Database Macrosismico Italiano)
- <http://www.bacino-adige.it> (PAI del fiume Adige)

È stato inoltre consultato il PATI e il PRG del comune di Sommacampagna per i dati geologici e sismici più recenti.

1.7. Descrizione generale dell'area

Il territorio comunale di Sommacampagna si estende nella fascia settentrionale della Provincia di Verona. Di seguito si riportano i principali dati altimetrici e di superficie

Tabella 1

Superficie	40.96 km ²
Quota media	120 m s.l.m.
Quota minima	64 m s.l.m.
Quota massima	179 m s.l.m.

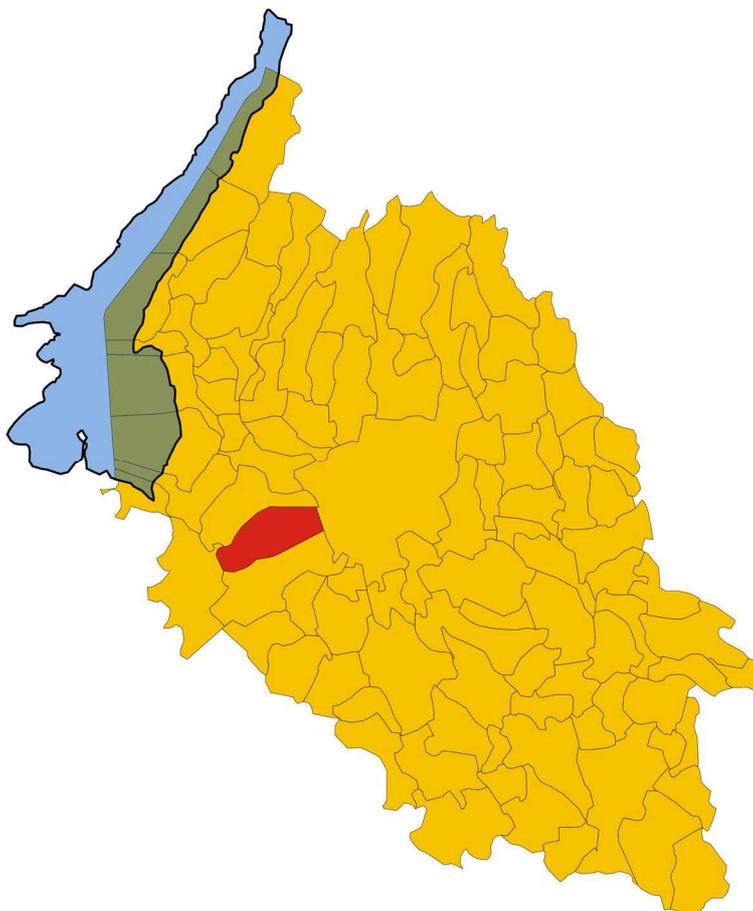


Figura 1 Posizione del Comune di Sommacampagna all'interno della provincia di Verona



Il territorio del Comune di Sommacampagna dal punto di vista **litologico**, si può suddividere principalmente in due zone;

- ✓ la porzione di pianura, costituita interamente da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali di natura prevalentemente ghiaiosa con matrice sabbiosa, sabbioso limosa o limosa, appartenenti, in generale, al grande Conoide dell'Adige, alle divagazioni del Fiume Tione ed agli apporti degli scaricatori glaciali della piana proglaciale prospiciente l'apparato gadesa.
- ✓ La porzione collinare, costituita principalmente da depositi morenici costituiti da ghiaie con ciottoli frequenti, anche di notevoli dimensioni (trovanti), **immerse in** matrice limosa e limoso sabbiosa, talora limoso argillosa, alternate ad orizzonti prevalentemente argilloso limosi, spesso con ciottoli

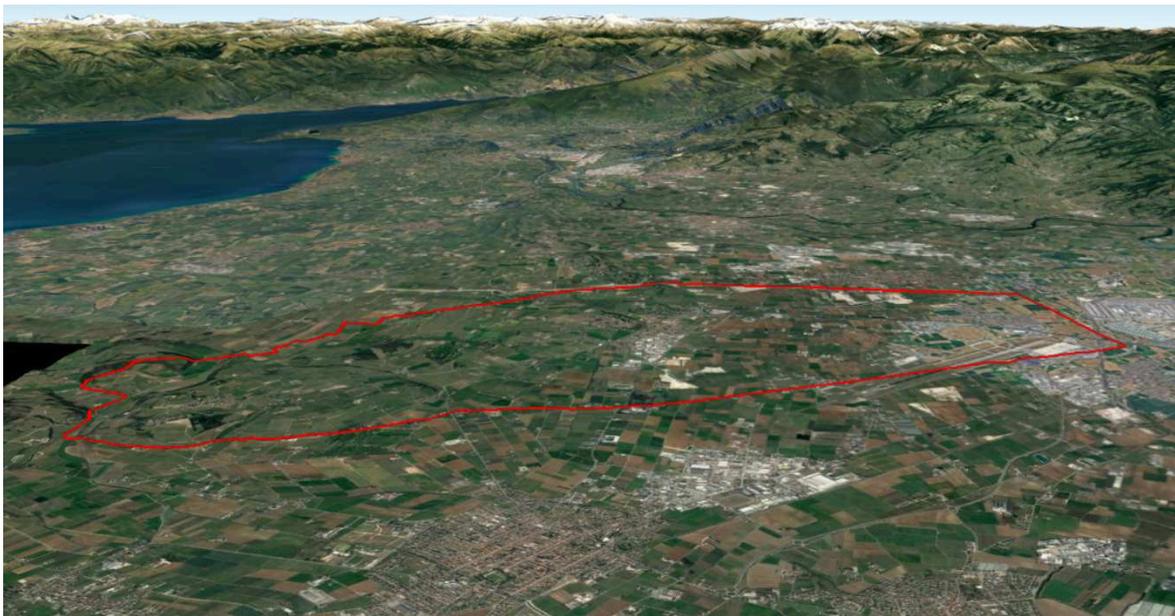


Figura 2 Morfologia del Comune di Sommacampagna

1.8 Aree da sottoporre agli studi di MS di II e III Livello

In accordo con la carta della trasformabilità del PATI e con le zone suscettibili di amplificazione sismica individuate nella Carta delle MOPS elaborata negli studi di Livello 1, è stato preso in esame l'intero territorio urbanizzato ed urbanizzabile inclusi i servizi di interesse comune, i nuovi limiti fisici di edificazione e le aree di riqualificazione e riconversione.



2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Caratteristiche sismogenetiche del comune

Con delibera n. 67 del 03 dicembre 2003, pubblicata sul Bollettino Ufficiale Regionale del 13 gennaio 2004 n. 6, il Consiglio Regionale ha approvato il nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto, allegato al predetto provvedimento.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n° 3274, pubblicata sul Suppl. Ord. n° 72 della Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003 n° 105 3274/03, sono state approvate nuove regole tecniche per le costruzioni antisismiche riguardanti i ponti, le fondazioni e gli edifici in genere. Tali regole tecniche innovano le modalità di calcolo attualmente in vigore in quanto viene abbandonato il metodo delle "tensioni ammissibili" in favore del criterio degli "stati limite".

Con D.G.R. 28 novembre 2003, n. 3645 sono state approvate le modalità per procedere alle verifiche tecniche a cura dei proprietari degli edifici a carattere strategico ed opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e degli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, con priorità nella zona sismica 2.

Tale provvedimento regionale è stato adottato in ottemperanza al comma 4 dell'art. 2 della citata Ordinanza 3274/2003 che dispone siano le Regioni a provvedere, per quanto di competenza, ad elaborare, sulla base delle risorse finanziarie disponibili, il programma temporale delle verifiche, ad individuare le tipologie degli edifici e delle opere che presentano le caratteristiche di cui al comma 3 ed a fornire ai soggetti competenti le necessarie indicazioni per le relative verifiche tecniche, che dovranno stabilire il livello di adeguatezza di ciascuno di essi rispetto a quanto previsto dalle norme.

In ordine alla nuova classificazione ed alle nuove regole tecniche, sulla scorta di quanto dispone in merito l'Ordinanza e tenuto conto che la materia, già regolata nella Regione Veneto dalla legge 16.08.1984, n° 42, titolo VI, modificata dalla successiva L.R. 7 novembre 2003 n.27, nonché dalla legge 13 aprile 2001, n° 11, di recepimento delle disposizioni statali in materia di trasferimento di competenze alle regioni in attuazione al D.Lgs 31 marzo 1998 n. 112, si forniscono le disposizioni adottate che seguono cui sono invitati ad attenersi le Strutture regionali, gli enti dipendenti dalla Regione, le Province, i Comuni, le Comunità Montane, gli Enti pubblici.

Il comune di Sommacampagna è stato classificato dal punto di vista sismico in Zona3 dalla DGR 245 del 2008 del Veneto, in applicazione del disposto dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 come si vede dall'immagine sottostante.

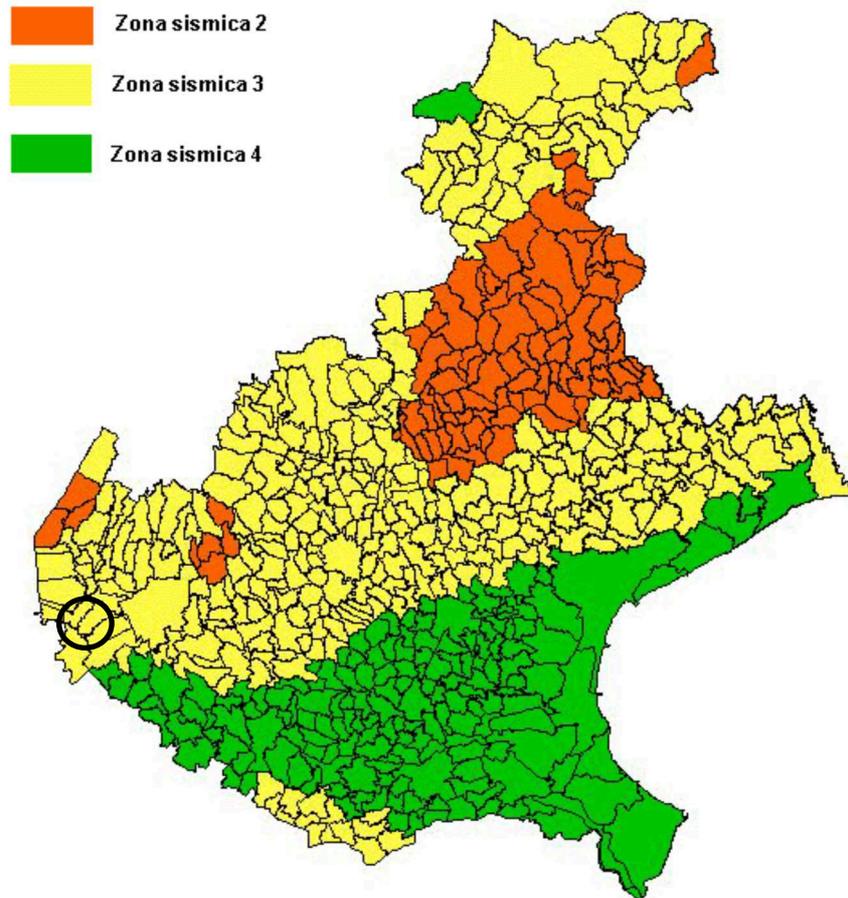


Figura 3 Classificazione sismica del veneto – mappa di pericolosità sismica (allegato a - dgr n. 244/2021). nel cerchio nero indicato il comune di Sommacampagna

Secondo il modello di zonazione sismotettonica del C.N.R. del 1987, il Comune di Sommacampagna si colloca a cavallo tra l'“Area della Pianura Mantovano - Veronese”, l'“Area Lessinea” e l'“Area benacense”: in particolare, suddividendo il territorio in sottozone, esso si inserisce immediatamente a Sud della “Fascia Pedemontana Veronese” e della “Fascia Baldo – Adige”, aree caratterizzate da attività neotettonica degna di attenzione (*Panizza et al., 1981*).



Infatti, se da un lato l'“Area della Pianura Mantovano – Veronese” presenta un'attività sismica bassa e riconducibile probabilmente alle strutture sepolte dell'area Lessinea (Fascia Pedemontana Veronese) e dell'area Benacense (Fascia Baldo – Adige) dall'altro lato, sia la fascia pedemontana sia, in particolare, la fascia Baldo – Adige, possono essere considerate attive: l'area benacense risulta essere uno dei settori più sismici dell'area riportata sotto, sia nel periodo storico che nel periodo recente.

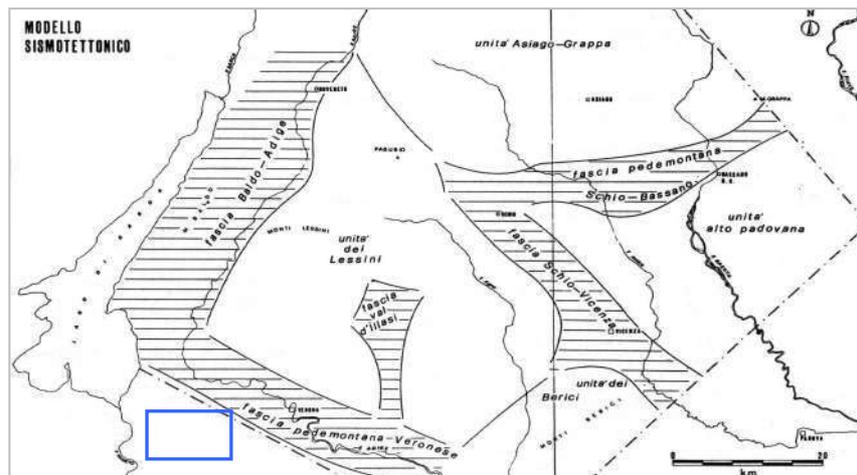


Figura 4 Modello sismotettonico fra il Lago di Garda e il Monte Grappa (Panizza et al. - 1981) con indicazione dell'area in esame

La sismicità è concentrata soprattutto nel settore di passaggio fra i Lessini e la pianura e nella zona del Garda centro settentrionale (Baldo, Riva, Salò), che può considerarsi di grado medio alto: l'attività sismica di tali aree si è manifestata con terremoti di intensità elevata, sia nel periodo storico che nel periodo recente. Invece, come detto in precedenza, l'attività sismica della pianura Mantovano Veronese è molto bassa e collegabile probabilmente a strutture sepolte analoghe a quelle dell'area lessinea.

2.2 Sismicità storica

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

La pericolosità sismica del Veneto è in parte legata all'attività dei distretti sismici del Friuli centrale e, in minor misura, dell'Alpago e del Garda. Allo stato attuale, il territorio regionale è interessato da una certa sismicità di magnitudo medio – bassa, messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica.



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

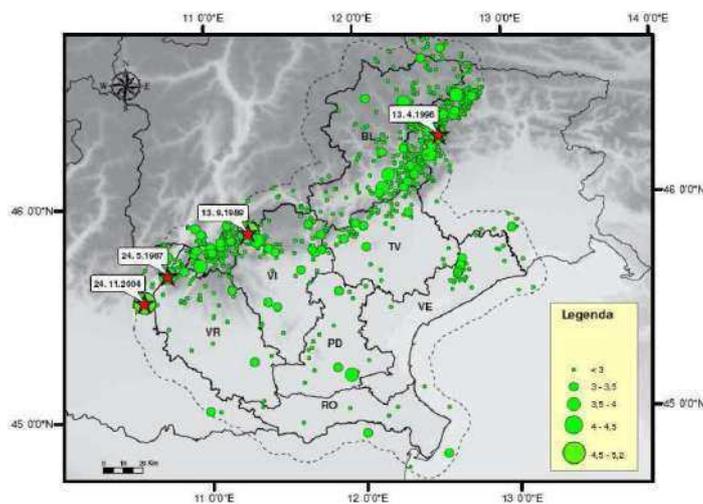
Tabella 2

Treviso, 778 d.C.	Bellunese, 29 giugno 1873
Verona, 1117 d.C.	Bosco Cansiglio, 18 ottobre 1936
Asolo, 25 febbraio 1695	

Nel periodo 1977 – 2006, la rete gestita dall'OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste) ha registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0.

La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al Monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra 7 km e 15 km. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella figura sotto è riportata la distribuzione dei terremoti registrati da OGS distinti per classi di magnitudo di durata MD^1 . Gli eventi con $MD > 4$, i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso, sono identificati con una stella rossa.



Distribuzione di tutti i terremoti recenti registrati dalla rete sismometrica gestita da OGS in Veneto nel periodo 1977 – 2006 (Priolo, 2008)

Figura 5

I terremoti identificati con la stella rossa, sono così sintetizzabili:

- 24/05/1987 - Garda - MD = 4,2
- 13/09/1989 - Pasubio - MD = 4,8
- 13/04/1996 - Claut - MD = 4,2
- 24/11/2004 - Salò - MD = 5,2



La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio di Sommacampagna è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di *M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011*): rispetto al precedente DBMI04, il DBMI11 ne rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

In particolare, il Comune di Sommacampagna appare **sette volte**, con particolari intensità per i terremoti del 1117 (Veronese), del 1891 (Peschiera) e del 1989 (Pasubio). Nella tabella seguente sono elencati i vari eventi registrati; in essa sono indicati, oltre alla intensità in scala MCS al sito in esame I [MCS], la data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuti) in cui si è verificato l'evento del sito epicentrale A_x , l'intensità macrosismica epicentrale in scala MCS (I_0) e la magnitudo momento (M_w), oltre al numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto (N_p).

Storia sismica di Sommacampagna [45.407, 10.844] Numero di eventi: 7	Effetti	In occasione del terremoto del:			
	I [MCS]	Data	A_x	N_p	I_0 M_w
	D	1117 01 03 15:15	Veronese	55	9-10 6.69 ±0.20
	6	1891 06 15	PESCHIERA	35	6 4.60 ±0.26
	NF	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91 ±0.11
	4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
	3	1987 05 24 10:23	GARDA	29	6 4.72 ±0.18
	4-5	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
	NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

¹ La magnitudo di durata MD è il tipo di magnitudo che si utilizza per registrare piccoli terremoti, come quelli registrati in zona vulcanica che, vicini agli strumenti, li saturano. Si basa sul logaritmo della durata dell'evento sismico

Figura 6

Il grafico sottostante riporta la storia sismica di Sommacampagna, per i terremoti con intensità al sito superiore a 4 che si sono verificati tra gli anni 1000 e fino al 2006.

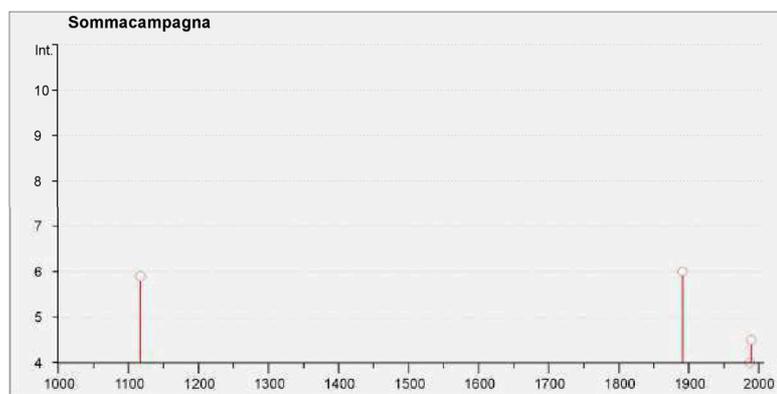


Figura 7



Tra le località vicine poste entro i 10 km di distanza, si noti come Villafranca, confinante a Sud, sia il comune in cui sono stati registrati più terremoti (NMO) nello stesso arco temporale di cui sopra.

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Bussolengo	IT	8	7km
Castel d'Azzano (Castello)	IT	3	10km
Castelnuovo del Garda	IT	8	7km
Pescantina	IT	6	8km
Povegliano Veronese	IT	5	7km
Sona	IT	4	3km
Villafranca di Verona	IT	15	6km

Figura 8

L'evento registrato il giorno 3 gennaio dell'anno 1117 risulta essere tra i più forti eventi riportati nei cataloghi della sismicità storica italiana.

Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI11, Guidoboni et al., 2007) la sua magnitudo M_w sarebbe stata pari tra 6,69 e, a Sommacampagna, si sarebbe avvertito con un'intensità di danneggiamento di tipo D.

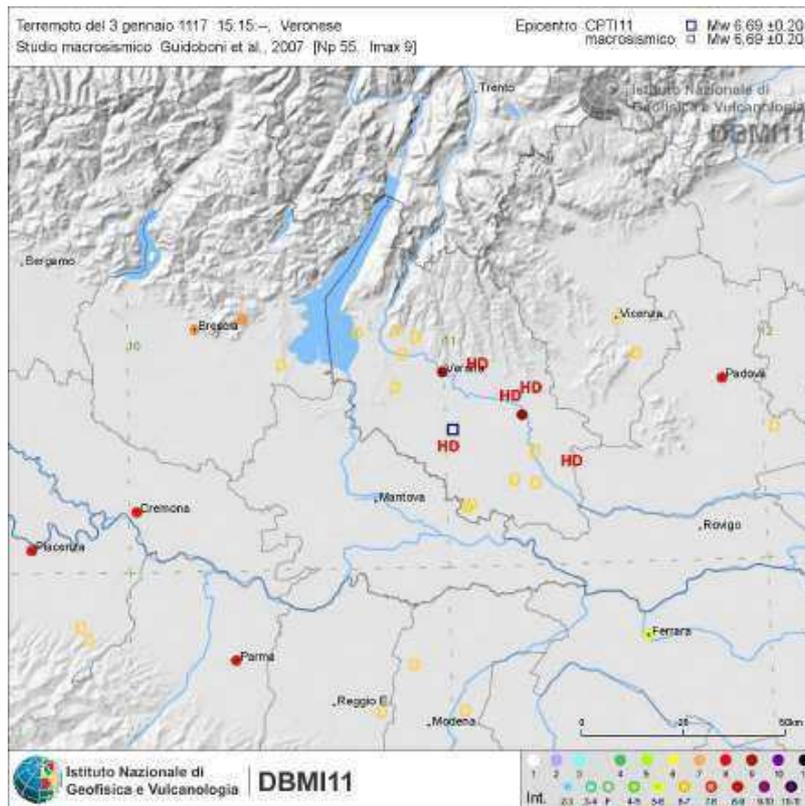


Figura 9

Si fa comunque presente che, nell'anno 2012, sono stati avvertiti i terremoti che hanno caratterizzato la Provincia di Verona e l'Italia settentrionale tra i mesi di gennaio e giugno.

2.3 *Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche*

Per quanto riguarda il tema delle faglie capaci (faglie che si sono “rotte” almeno una volta negli ultimi 40.000 anni, raggiungendo la superficie e producendo una rottura del terreno) e l’inquadramento delle sorgenti sismogenetiche più prossime all’area di Sommacampagna, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi **ITHACA** e **DISS 3.1.1**.

Le sorgenti sismogenetiche rappresentano le zone che sono state riconosciute come origine dei terremoti grazie allo studio della sismicità storica e delle indagini geologiche.

ITHACA è un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili sulle 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: dalla sua consultazione è stato possibile individuare una faglia ubicabile indicativamente come nella figura sotto (immagine estratta dal sito dell’ISPRA).





L'immagine evidenzia che Sommacampagna è interessata da una faglia **inversa**, con direzione SW – NE (Cod. 90102 – Gomito del Garda), che coinvolgerebbe parte del settore Sudoccidentale del territorio comunale. La tabella seguente riporta le informazioni desunte dalla scheda specifica ITHACA per tale lineamento.

Nome faglia	Gomito del Garda
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	90102
Macrozona	2
Regione	Veneto
Sistema	Gomito del Garda
Direzione media	250
Immersione	0
Lunghezza (km)	60
Profondità (km)	0
Ultima attività (anni)	Non definita
Affidabilità dato sull'attività	Bassa affidabilità
Intervallo ricorrente (anni)	0
Velocità di slittamento (mm/anno)	0
Massima lunghezza attesa di rottura	0
Massimo scivolamento atteso (m)	0
Qualità dello studio	Bassa

Durante i sopralluoghi eseguiti non sono state rilevate evidenze riconducibili al lineamento che ricade all'interno del Comune di Sommacampagna (Cod. 90102) e solo la bibliografia ha permesso di riportarlo nella cartografia ricostruita per il presente studio di Microzonazione Sismica.

La mappa dell'INGV riportata di seguito, denominata **DISS 3.1.1 (Database of Individual Seismogenic Sources – DISS Version 3)**, mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche, così descrivibili:

Sorgenti individuali (IS): per le quali viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.

Sorgenti composite (CS): sono regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate che non è ancora conosciuto singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate ad uno specifico gruppo di terremoti storici.

Sorgenti dibattute (DS): sono zone proposte in letteratura come potenziali sorgenti, ma considerate ancora non sufficientemente attendibili per entrare nel database.



La mappa del DISS non riporta alcun tipo di sorgente sismogenetica nella zona in esame (in contrasto con il Catalogo ITHACA descritto in precedenza); ciò è dovuto probabilmente al fatto che le cause della sismicità in tale zona rimangono non del tutto chiare, come anche quelle delle fasce del tipo “CS” più vicine, indicate in figura.

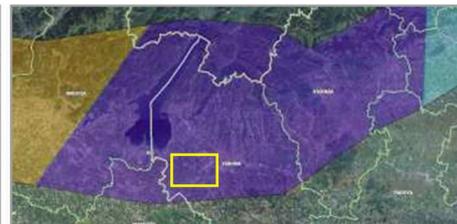
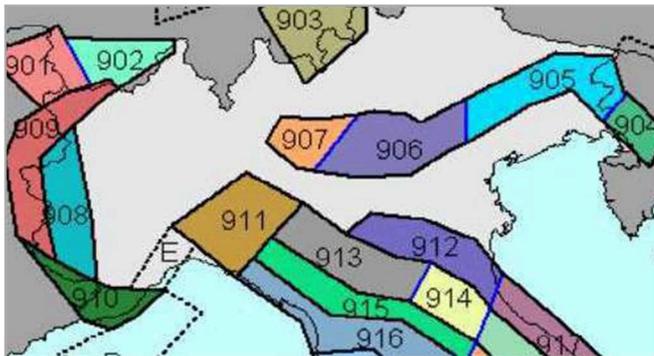
Nella definizione della pericolosità sismica nazionale, i terremoti storici dell’area in esame sono stati considerati con l’introduzione della **Zona Sismogenetica n. 906**.

Infatti, secondo la Zonazione Sismogenetica ZS 9 (Meletti e Valensise, 2004), nel Veneto ricadono le zone sismogenetiche **n. 905 “Friuli – Veneto Orientale”** e **n. 906 “Garda – Veronese”**, che interessano rispettivamente la fascia pedemontana tra Bassano del Grappa ed il confine con il Friuli Venezia Giulia e la fascia pedemontana che, da Bassano, prosegue fino ad Ovest del Lago di Garda. Il meccanismo di fagliazione



responsabile dei terremoti che si sono verificati in entrambe le zone è di tipo faglia inversa, con una profondità ipocentrale media stimata di 8 km.

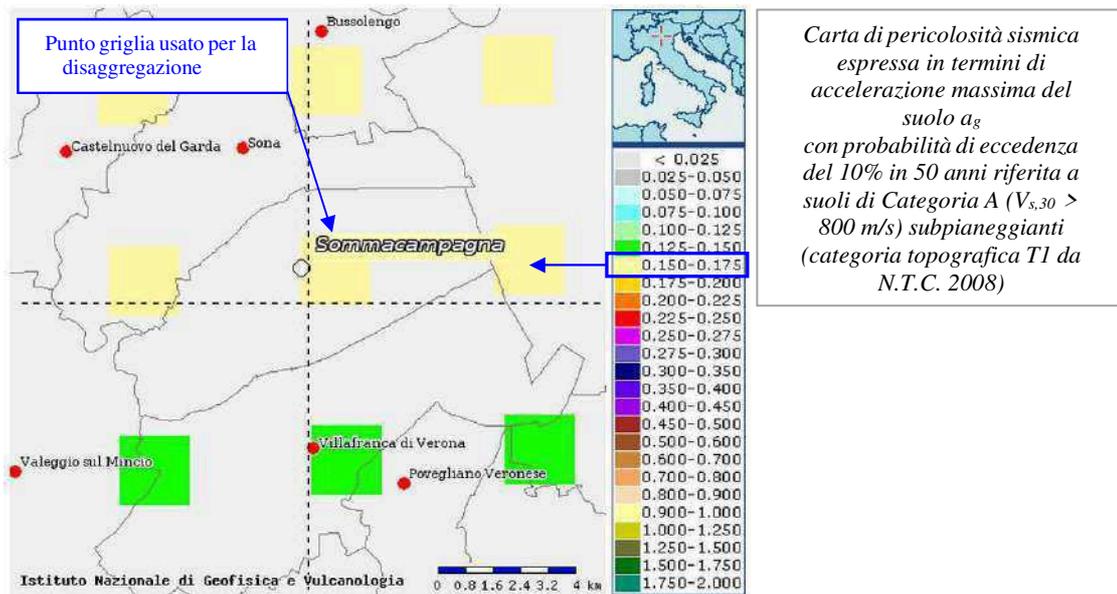
Il Comune di Sommacampagna si inserisce nella Zona n. 906 della figura seguente, per cui si sviluppa all'interno di un'area sismicamente interessante.



Carta delle zone sismogenetiche ZS 9
(Meletti e Valensise, marzo 2004) con
indicata in giallo la posizione di
Sommacampagna nella **Zona n. 906**

2.4 Pericolosità sismica di riferimento

La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute e descritte in precedenza è stata tradotta in una carta di pericolosità sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006. In tale carta, della quale la figura seguente ne rappresenta l'estratto per il Comune di Sommacampagna, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi subpianeggianti di Categoria A.



Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n. 71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 14 Gennaio 2008, il territorio oggetto dello studio di Microzonazione Sismica è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,150g** e **0,175g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile), fatto salvo per l'angolo Sud Ovest del comune, posto al confine con la fascia compresa tra **0,125g** e **0,150g**.

Pertanto, come classifica la tabella riportata di seguito, estratta dall'O.P.C.M. n. 3519 stessa, Sommacampagna si trova quasi esclusivamente in **Zona 2**.



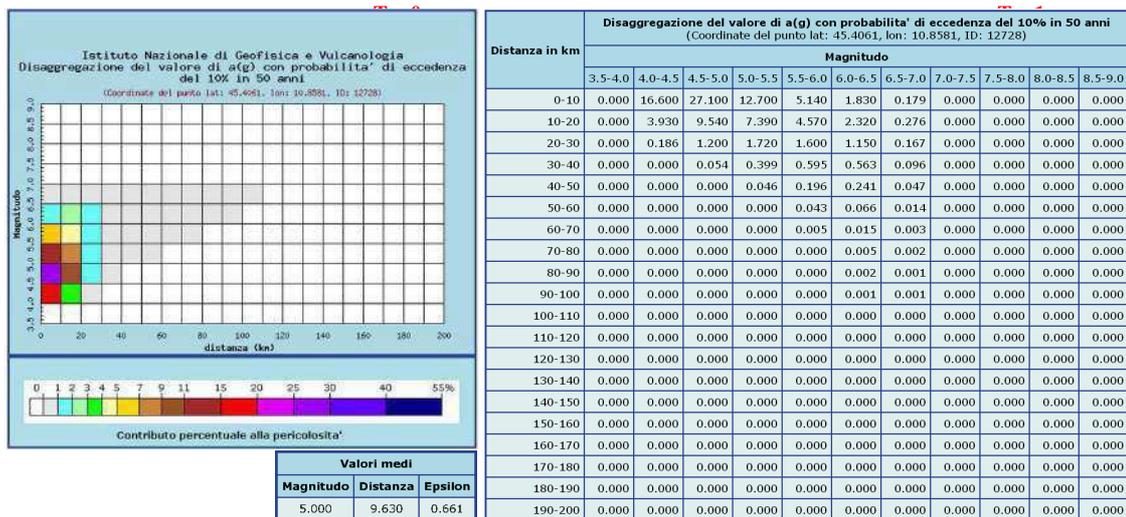
a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g
4	$\leq 0,05 g$	0,05 g

Per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, Sommacampagna rientra nella Zona 3, come classificato nell'elenco (allegato I) della Delibera di Consiglio Regionale n. 67/03 (cfr. D.G.R.V. n. 71 del 22.01.2008).

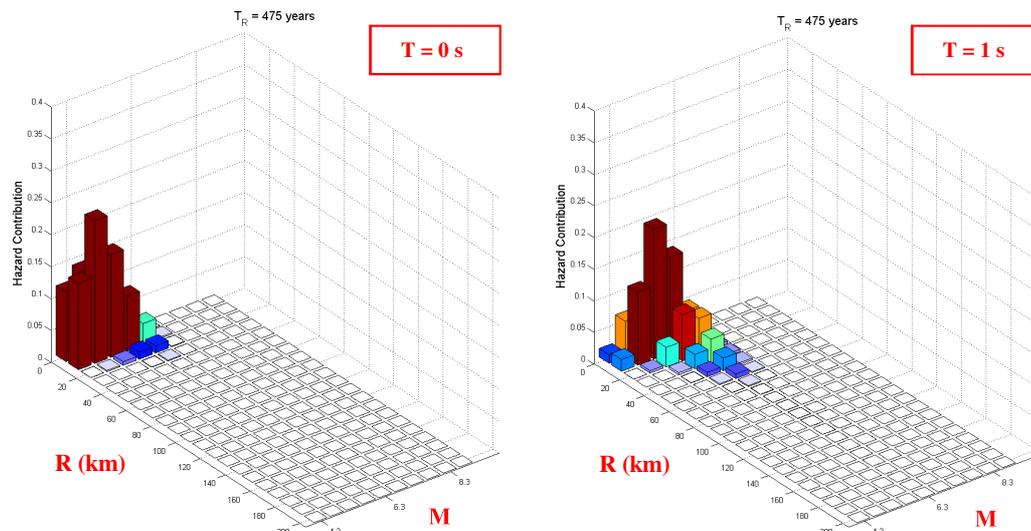


In ultima, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità: questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo - distanza di un evento. I grafici riportati sotto sono stati desunti dalle “Mappe interattive di pericolosità sismica”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



La stessa verifica è stata eseguita per le stesse coordinate di riferimento utilizzando Rexel v 3.5 (Beta), che ha permesso di disaggregare la pericolosità per due ordinate spettrali in termini di PGA (T = 0 s) e di Sa (T = 1 s), come nelle immagini che seguono.

Analogamente alla ricostruzione dell’INGV riportata sopra, considerando lo stesso tempo di ritorno ($T_r = 475$ anni) ed una Categoria A di sottosuolo in condizioni subpianeggianti, si evidenzia che il maggior contributo alla pericolosità sismica locale è dato da eventi di entità M_w compresa tra 4,0 e 6,5 e relativamente vicini ($R =$ entro 20 ÷ 30 km).



Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al n. 906 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici e, in rapporto agli epicentri noti, non esisterebbe quindi l'effetto distanza.

Secondo il Par. 2.8 degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la Zona n. 906 in cui ricade il territorio di Sommacampagna, vale $M_{wmax} = 6,60$.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29



3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico generale

Per l'inquadramento geologico dell'area si è fatto riferimento ai contenuti del P.A.T., all'analisi di alcune pubblicazioni specifiche ed alle osservazioni condotte durante i sopralluoghi eseguiti.

Per quanto riguarda la **morfologia**, il Comune di Sommacampagna risulta essere per due terzi pianeggiante e, in parte, collinare; la parte pianeggiante appartiene al settore dell'Alta Pianura Veronese Occidentale compresa tra il Fiume Mincio, ad Ovest, il Fiume Adige, ad Est, i rilievi morenici gardesani, a Nord, e la fascia delle risorgive a Sud, mentre l'area collinare, ossia la porzione occidentale del comune, appartiene all'estremità Sud orientale dell'anfiteatro morenico del Garda.

Il settore pianeggiante si trova a quote variabili tra circa 90 m s.l.m. e 65 m s.l.m.: l'elemento morfologico distintivo di questa zona è senza dubbio costituito dall'Antico Conoide dell'Adige, il quale risulta scavato e terrazzato grazie all'azione erosiva dello stesso Fiume ed inciso dagli antichi scaricatori fluvio-glaciali che trasportavano il materiale sciolto asportato dalle cerchie moreniche durante le fasi di ritiro dei ghiacciai. Pertanto, tale materasso alluvionale si presenta inciso, nei comuni di Bussolengo e Pescantina posti più a Nord, dall'attuale percorso del Fiume Adige e, a Sud e nell'area in esame, dal Fiume Tione.

Tra gli elementi morfologici caratterizzanti la parte di pianura vi sono alcuni terrazzi fluviali presenti nell'estremità occidentale del territorio comunale, lungo il Fiume Tione. Allo stato attuale, la morfologia della pianura risulta modificata da alcuni elementi di origine antropica, quali cave ed ex cave di ghiaia, discariche, argini e rilevati stradali che, insieme agli interventi di urbanizzazione e/o colturali occorsi nel tempo, ne hanno modificato la sua originaria forma subpianeggiante.

Per quanto riguarda il settore collinare del territorio comunale, esso appartiene alle morene più esterne del grande anfiteatro del Garda, ivi costituito dalle cerchie concentriche residuali dell'originario fronte. Spesso, le varie cerchie sono separate da zone pianeggianti che, ospitando gli scaricatori fluvio-glaciali, hanno rappresentato le zone di deflusso preferenziale delle acque di fusione dei ghiacciai.

Durante il Pleistocene sono state individuate n. 4 glaciazioni, così elencate dalla più antica alla più recente: Günz, Mindel, Riss e Würm anche se, oltre a queste, è stata ipotizzata una glaciazione più antica chiamata Donau. Al culmine dell'espansione glaciale del Riss (tra 280.000 anni fa e 205.000 anni fa) la lingua glaciale del Garda ha depositato numerosi cordoni morenici secondo un ampio anfiteatro su cui sorgono i centri abitati di Palazzolo, Sona, Sommacampagna, Custoza e Valeggio sul Mincio. Invece, nei periodi interglaciali, gli scaricatori benacensi alimentati dalle acque di fusione glaciali hanno parzialmente demolito le cerchie moreniche e trasportato a valle grandi quantità di detriti fluvio-glaciali, che hanno originato conoidi di varie dimensioni ed una superficie debolmente inclinata verso Sud Est che si raccorda con l'Alta Pianura Veronese.



In definitiva, le morene benacensi e le vallecicole inframoreniche rappresentano gli elementi geomorfologici più evidenti nella zona collinare. Le cerchie moreniche sono formate da una serie di creste allungate e di dossi isolati da vallecicole e selle, che rendono il paesaggio molto vario. I cordoni morenici, aventi un quota massima pari a circa 170 m s.l.m. (Ossario di Custoza), mantengono all'incirca un lineamento Nord Est – Sud Ovest piuttosto regolare; le principali linee di cresta si trovano nei pressi di Custoza e nelle vicinanze dell'autostrada, mentre le colline del centro di Sommacampagna risultano essere più dolci.

Dal punto di vista **litologico**, il territorio di Sommacampagna si può suddividere principalmente in due zone; nella porzione di pianura, il sottosuolo è costituito interamente da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali di natura prevalentemente ghiaiosa con matrice sabbiosa, sabbioso limosa o limosa, appartenenti, in generale, al grande Conoide dell'Adige, alle divagazioni del Fiume Tione ed agli apporti degli scaricatori glaciali della piana proglaciale prospiciente l'apparato gardesano. Esistono, talvolta, anche strati metrici discontinui di conglomerato, mentre sono rari i livelli argillosi, di forma lenticolare e spessore modesto. Per quanto riguarda la composizione delle ghiaie, si riconoscono calcari, dolomie, porfidi, graniti, basalti e scisti. Generalmente, questi depositi si presentano coperti da un suolo limoso argilloso di colore rossiccio dello spessore medio di circa 40 cm (ferretto), dovuto all'alterazione dei sedimenti sottostanti.

Il substrato roccioso si trova a profondità elevate: secondo Antonelli & Stefanini (1982) la potenza di questi depositi fluvio-glaciali è sconosciuta e, in ogni modo, superiore ai 150 m, come dimostra il Pozzo Villafranca 1 dell'AGIP, ubicato a quota 60 m s.l.m., circa 2,5 km a Sud Est di Sommacampagna: tale pozzo si sviluppa fino alla profondità di 1135 m e segnala la presenza di depositi alluvionali grossolani sino ad una profondità di circa 400 m dal piano campagna, posti a copertura del Calabriano marino, mentre le marne oligoceniche si trovano a circa 900 m.

All'interno di alcune vallecicole inframoreniche e lungo il margine collinare posto a Sud Est, si ritrovano depositi fluvio-glaciali più antichi. Questi depositi sono stati normalmente dilavati e sfumano nei suddetti depositi sciolti dell'alta pianura. Si tratta di alternanze di strati di ghiaie e di sabbie limose che, rispetto ai contigui depositi, risultano avere un maggior grado di organizzazione ed una certa selezione granulometrica.

La composizione litologica dei rilievi collinari è invece rappresentata principalmente da depositi morenici costituiti da ghiaie con ciottoli frequenti, anche di notevoli dimensioni (trovanti), **immerse in** matrice limosa e limoso sabbiosa, talora limoso argillosa, alternate ad orizzonti prevalentemente argilloso limosi, spesso con ciottoli. La disposizione di questi sedimenti è caotica, senza alcuna stratificazione; la natura dei clasti, arrotondati ed eterodimensionali, riflette i litotipi del bacino di alimentazione del ghiacciaio, risultando rappresentata da calcari mesozoici bianchi e grigi, da dolomie bianco rosate, da porfidi atesini, graniti e basalti. In superficie, le ghiaie sono ricoperte da uno strato argilloso di alterazione, discontinuo e di colore rossastro, che risulta



genericamente assente lungo le creste (depositi eluviali), mentre può raggiungere spessori notevoli ai piedi dei rilievi maggiori (depositi colluviali).

Infine, entro alcune vallecicole dell'area morenica, soprattutto in corrispondenza dell'alveo del Fiume Tione e lungo gli antichi percorsi degli scaricatori fluvioglaciali, possono presentarsi depositi di materiale fine quali sabbie e limi di trasporto fluviale, anche se non sono stati rilevati durante l'analisi degli studi raccolti. Invece, in alcune aree subpianeggianti inframoreniche, morfologicamente chiuse dalle cerchie collinari, possono essere presenti depositi palustri con materiale organico (torbe).

Dal punto di vista **idrografico**, Sommacampagna è attraversata, nella sua parte occidentale, dal Fiume Tione. Esso si origina nelle ampie depressioni inframoreniche poste a Sud Ovest di Pastrengo e, dopo vari meandri incassati fra i terrazzi morenici, sbocca nella pianura alluvionale di Villafranca. Il suo bacino di alimentazione è di circa 65 km², con portate medie di 500 - 600 l/s e punte massime, in occasione di eventi piovosi considerevoli, di 5000 - 6000 l/s. Il regime del Tione risulta quindi nettamente influenzato dalle precipitazioni meteoriche, come dagli apporti delle irrigazioni; in caso di eventi eccezionali di piena, alcune zone (Marogna Lunga, Casa Mulino Vecchio e Casa Vittoria) possono essere esondate lungo una fascia che si estende mediamente per una distanza di circa 100 m dall'asta fluviale. L'idrografia minore è rappresentata dal Rio Ferriadon, che nasce nell'area posta a Nord Ovest del territorio comunale per poi scendere verso l'abitato di Sommacampagna e, inoltre, da altre piccole rogge e fossi: completa l'idrografia una rete di canali artificiali ad uso irriguo, tra cui il Canale Alto Agro Veronese, che attraversa il territorio comunale da Nord Est a Sud Ovest.

Per quanto riguarda l'**idrogeologia**, a Sommacampagna si individuano due strutture idrodinamiche distinguibili per caratteristiche di permeabilità e modalità di deflusso delle acque sotterranee. La prima struttura è costituita dalla porzione dell'Alta Pianura Veronese degradante verso Sud Est, la seconda è riferibile alle colline moreniche.

Come già detto in precedenza, la pianura veronese è costituita da un potente materasso alluvionale depositato dal Fiume Adige e dagli scaricatori fluvioglaciali. Tale materasso, prevalentemente ghiaioso, ospita una ricca falda acquifera indifferenziata che tende a modificarsi più a Sud, dove la rastremazione dei litotipi ghiaiosi entro materiali più fini determina l'emergenza della falda freatica attraverso una serie di fontanili presenti in una fascia conosciuta come "fascia delle risorgive" ed esterna al territorio comunale.

Infatti, l'area pianeggiante di Sommacampagna è posta a Nord di tale fascia, ove è presente un acquifero freatico indifferenziato generalmente profondo: la falda freatica presenta soggiacenze variabili ma sempre superiori a 20 m, con una direttrice di deflusso idrico rivolta da NNW a SSE. Il regime della falda è caratterizzato da una fase di piena tardo estiva con massimi a settembre e da una di magra che si estende da febbraio a maggio



con minimi collocati normalmente nel mese di aprile; in generale, le escursioni sono via via decrescenti dalla parte alta del conoide alla linea delle risorgive, con valori medi, per la zona di Sommacampagna, di circa $2 \div 4$ m.

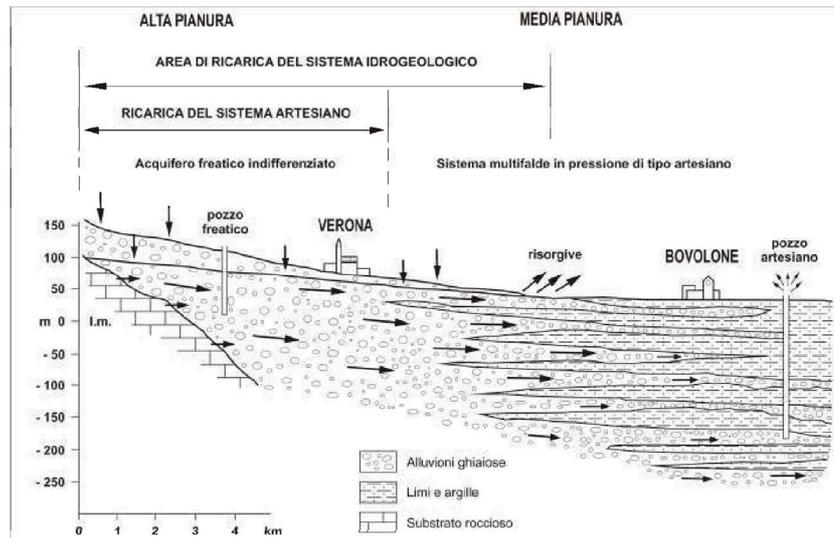


Figura 10 Schema idrogeologico della pianura veronese

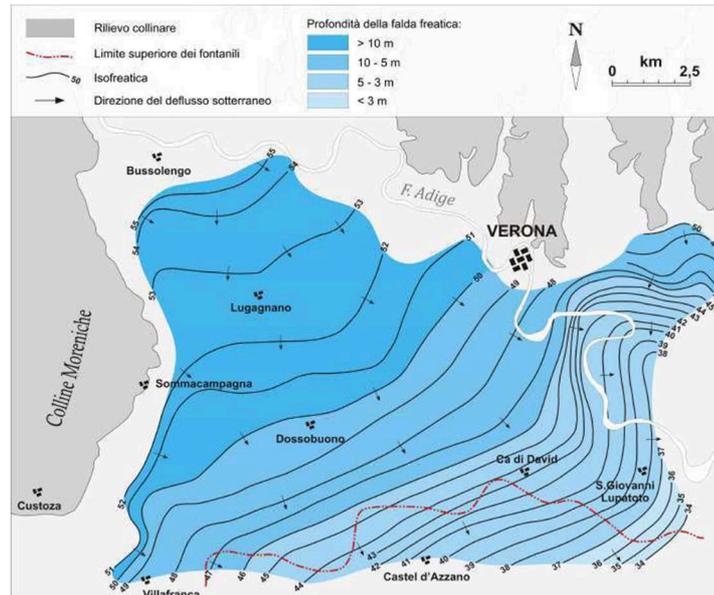


Figura 11 Alta Pianura Veronese Nord occidentale.
Carta schematica della profondità della falda freatica

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche dell'ambiente collinare, i particolari caratteri geologico-strutturali del morenico condizionano strettamente l'assetto locale. Gli acquiferi sfruttati sono profondi e di tipo



confinato e semiconfinato e si sviluppano in ghiaie sabbiose stratificate a più potenti depositi con prevalente matrice fine. La struttura geologica locale impedisce la formazione di falde freatiche o artesiane ben definite, ma si possono reperire dei corpi d'acqua sotterranei di piccola entità, posti anche a debole profondità, che possono presentarsi sia sulle porzioni superficiali del sottosuolo strettamente "morenico" sia nei depositi fluvioglaciali che occupano le vallecole infracollinari. Queste piccole falde vengono alimentate dalle acque meteoriche efficaci che filtrano dalla superficie: nelle colline non presentano continuità laterale e, frequentemente, vengono a giorno sui fianchi dei dossi morenici, mentre possono risultare più continue all'interno delle vallecole inframoreniche ed in prossimità degli scaricatori fluvioglaciali "attivi". Ad esempio, le informazioni desunte dal P.A.T. riportano, nei pressi del Rio Ferriadon, una soggiacenza della falda di 2,5 m, mentre nei dintorni del Tione essa è indicata ad una profondità di circa 2 m dal p.c. Un acquifero abbastanza esteso di tipo inframorenico è quello che racchiude le Contrade Staffalo, Cavalchina e Molinare, con una profondità della falda di 8 ÷ 12 m mentre un acquifero di modeste dimensioni è indicato in Località Gorgo.

In relazione alle finalità dello studio di MS ed indipendentemente dalle condizioni litologiche, le zone potenzialmente suscettibili alla liquefazione sono quindi quelle degli scaricatori fluvioglaciali attivi caratterizzati da una falda di subalveo che può formarsi all'interno delle alluvioni poste in prossimità dei corsi d'acqua e quelle delle pianure inframoreniche, poiché l'idrogeologia della porzione collinare morenica è rappresentata esclusivamente da qualche sorgente effimera e da locali falde sospese di scarsa importanza, mentre la falda dell'Alta Pianura si sviluppa in terreni prevalentemente ghiaiosi molto addensati ed a profondità elevate.

3.2 Inquadramento strutturale

L'assetto strutturale dell'area veronese - gardesana è, nella sua espressione più recente, il risultato dei raccorciamenti crostali avvenuti nell'ambito dell'orogenesi alpina. Complessivamente, nella Provincia di Verona è possibile distinguere due stili deformativi principali. Nel settore occidentale, comprendente il Lago di Garda e la Valle Lagarina, lo stile tettonico è caratterizzato da pieghe e sovrascorrimenti con direzioni prevalentemente orientate NNE. Tale motivo, conosciuto in letteratura come "giudicariense", è interpretabile come un sistema di rampe, impostate nei termini più competenti delle piattaforme del Triassico superiore - Giurassico inferiore (Dolomia Principale) e radicate entro un piano di scollamento principale costituito dalle unità carniche (Picotti et al., 1995), oppure come originarie faglie normali giurassiche, invertite durante le fasi compressive alpine (Picotti et al., 1997). Il raccorciamento complessivo accomodato da queste strutture è stimato nell'ordine di una decina di chilometri (Picotti et al., 1995). Il settore orientale della Provincia di Verona si presenta al contrario scarsamente deformato, con un assetto tabulare leggermente inarcato ed immergente verso S - SW. Gli elementi



strutturali principali sono costituiti da numerose dislocazioni di tipo quasi esclusivamente disgiuntivo, caratterizzate da rigetti generalmente limitati. Le faglie sono raggruppabili secondo due orientazioni principali, rispettivamente N(NW) - S(SE) e (W)NW - (E)SE (cfr. figura seguente).

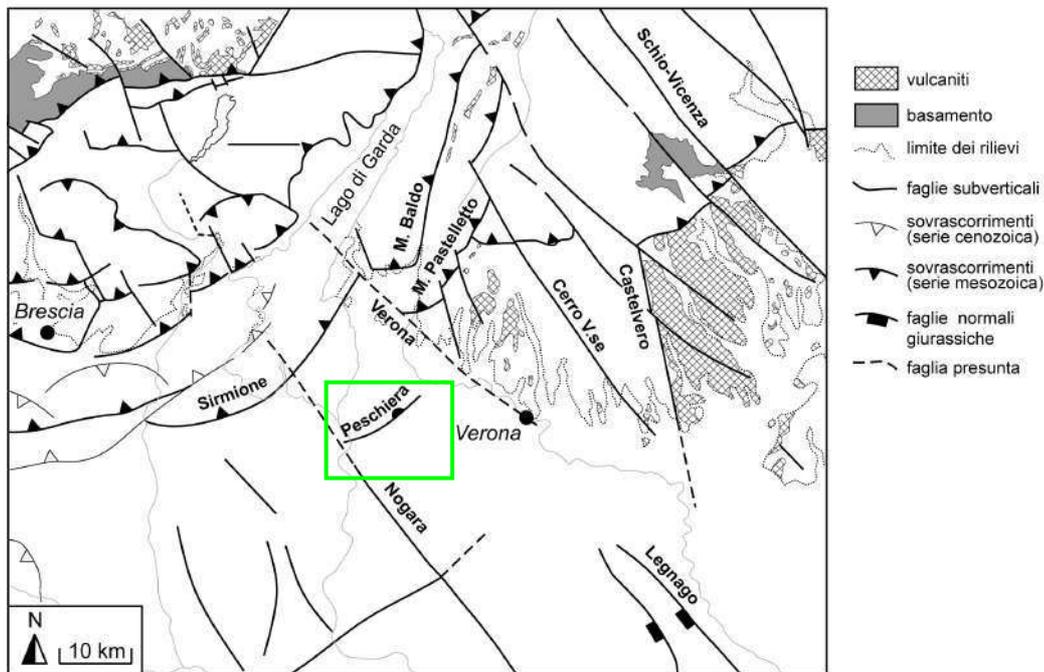


Figura 12

Schema tettonico dell'area tra Brescia e Verona, con i principali lineamenti strutturali affioranti e sepolti. In verde, l'area in esame

Se la prima direzione può essere riferita alla tettonica distensiva paleogenica, la seconda direzione è nota in lettura come "scledense" ed è riferita allo sviluppo del sistema strutturale Schio - Vicenza durante le fasi più recenti dell'orogenesi alpina (p.e. Cantelli & Castellarin, 1994). Esempi emblematici dello stile deformativo giudicariense sono costituiti dalle strutture del Monte Baldo e del Monte Pastelletto (Cassinis et al., 1981), caratterizzate da una sopraelevazione strutturale compresa tra 1 km e 2 km. La faglia del Monte Pastelletto, inversa con componente trascorrente (Artoni & Rebesco, 1990), costituisce la struttura compressiva più esterna del sistema giudicariense nella Provincia di Verona e chiude verso Sud (Chiusa di Ceraino) mediante un'anticlinale progressivamente più blanda e con una leggera rotazione delle direzioni da NNE ad ENE.



Anche la struttura del Monte Baldo, costituita da un'anticlinale di rampa ed alcune faglie inverse, chiude verso Sud (Caprino V.se) con una serie di faglie inverse e trascorrenti (Faglia dei Lumini, Faglia di Pesina e Faglia del Dosso della Croce), che segmentano la struttura e portano ad una rotazione delle direzioni da NNE ad ENE (cfr. figura precedente).

La terminazione verso Sud di entrambe le strutture, del Monte Baldo e del Monte Castelletto, è probabilmente legata ad un importante lineamento con direzione più o meno scledense. Tale lineamento, variamente denominato in letteratura come Faglia di Verona (Panizza et al., 1981), Faglia di Sant'Ambrogio di Valpolicella (Cassinis et al., 1981) o "fascia di deformazione" (Zanferrari et al., 1982; Carton & Castaldini, 1985), è sepolto per la maggior parte del suo tracciato, al punto che la sua natura e la sua estensione sono incerte per la mancanza di evidenze dirette (rispetto alla figura precedente è ipotizzato da più pubblicazioni il suo prolungamento verso Est, indicativamente lungo la base dei Lessini).

La parte meridionale della Provincia di Verona si sviluppa nella Pianura Padana ed è quindi caratterizzata da strutture tettoniche sepolte: in tale ambito, la bibliografia consultata segnala tre principali famiglie di strutture tettoniche. Le più antiche, disattivate tra la fine del Mesozoico e l'inizio del Paleogene, sono caratterizzate da faglie normali che frammentarono la piattaforma veneta durante il Giurassico e sono l'equivalente sepolto delle varie faglie normali riconosciute in superficie ed invertite come faglie inverse durante la tettonica compressiva alpina (Picotti et al., 1997). Appartengono a questa famiglia le Faglie di Legnago e la Faglia di Peschiera, quest'ultima debolmente invertita (cfr. figura precedente). Un secondo insieme di strutture è costituito dai sovrascorrimenti Alpini, riconosciuti nel settore del Lago di Garda e verso Brescia. Il più esterno di questi è il Sovrascorrimento di Sirmione, caratterizzato da un rigetto verticale di circa 1 km. Tale struttura ha geometria ad alto angolo e, a differenza di quanto ipotizzato per le strutture del Monte Baldo (Picotti et al., 1995), sembra coinvolgere tutta la serie Mesozoica, andando a radicarsi in profondità nel basamento cristallino e suggerendo un'originaria cinematica normale fortemente invertita durante la compressione alpina. L'ultimo sistema di strutture identificato nel sottosuolo è costituito da lineamenti subverticali con direzione NW, il più importante dei quali è la Faglia di Nogara. Tali lineamenti trovano analoghi superficiali nella Faglia di Verona (fascia pedemontana lessinea) ed in uno sciame pervasivo di fratture nel substrato cretacico affiorante a Sirmione. La geometria subverticale del piano di faglia suggerisce una componente trascorrente che, insieme con la direzione, permetterebbero di attribuire per analogia questa famiglia di faglie al sistema scledense, noto più ad Est dei Lessini.



Nel territorio di Sommacampagna è riportato un solo elemento strutturale e tettonico con direzione SW – NE (Gomito del Garda); si tratta della terminazione orientale di una faglia inversa estesa per alcuni chilometri che interesserebbe la porzione Sud Ovest del comune, **sepolta e non rilevabile in superficie**.

Tale struttura, come descritto nei paragrafi seguenti, è associata ad una faglia capace, ovvero ad un lineamento che presenta caratteri sismogenici non collegabili esclusivamente a deformazioni tettoniche crostali inattive.

3.3 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT

Sulla base della “Carta Geolitologica” del P.A.T. del Comune di Sommacampagna, delle informazioni raccolte e degli studi condotti dagli scriventi nell’area in esame, le litologie costituenti il sottosuolo del territorio comunale sono descrivibili come di seguito esposto.

Le unità litologiche presenti sono state descritte facendo riferimento anche a quelle definite nella “Carta Geologica dell’Anfiteatro morenico frontale del Garda fra il Chiese e l’Adige” (S. Venzo, 1965).

Morenico

DESCRIZIONE LITOLOGICA ASSUNTA	Morene costituite da limi sabbiosi / sabbie limose prevalenti, con ghiaie, ciottoli e trovanti, con strato d’alterazione argilloso rossastro dello spessore massimo di 1 - 2 m, contenente qualche ciottolo calcareo
LOCALIZZAZIONE	Costituiscono le cerchie moreniche presenti nella porzione occidentale del territorio comunale

Fluvioglaciale e fluviale

DESCRIZIONE LITOLOGICA ASSUNTA	Alluvioni fluvioglaciali e fluviali da molto grossolane a ghiaiose, con strato d’alterazione superficiale argilloso rossastro di spessore variabile, generalmente scarso
LOCALIZZAZIONE	Presenti nella parte centrale e orientale del territorio comunale, costituiscono la maggior parte dell’Alta Pianura Veronese ed i riempimenti delle vallecole inframoreniche, e sono rappresentati dai depositi fluviali e fluvioglaciali ad alta energia deposizionale

Pluviale

DESCRIZIONE LITOLOGICA	Corrispondono a depositi ghiaiosi con matrice limosa,
------------------------	---



ASSUNTA	depositati durante il pluviale wurmiano
LOCALIZZAZIONE	Presenti lungo la valle del Fiume Tione

Colluviale argilloso

DESCRIZIONE LITOLOGICA ASSUNTA	Corrispondono a sedimenti propri di un ambiente deposizionale caratterizzato dall'accumulo delle argille di color rossiccio originate dall'alterazione dei depositi morenici
LOCALIZZAZIONE	Presenti talvolta ai piedi della cerchia morenica principale e in alcune zone inframoreniche

Depositi argillosi, palustri e torbosi

DESCRIZIONE LITOLOGICA ASSUNTA	Depositi argillosi neri, palustri e sartumosi, talora torbosi
LOCALIZZAZIONE	Presenti in alcune limitate aree subpianeggianti inframoreniche, morfologicamente chiuse dalle cerchie collinari

Alluvioni recenti

DESCRIZIONE LITOLOGICA ASSUNTA	Materiali sciolti di alveo fluviale, stabilizzati, eterogenei di deposito recente dell'alveo del Tione; si tratta, prevalentemente, di depositi ghiaiosi con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, talora abbondante
LOCALIZZAZIONE	Presenti in corrispondenza dell'alveo attuale del Fiume Tione



3.4 Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi

Nel territorio comunale di Sommacampagna si è quindi potuto verificare la presenza di differenti substrati con le seguenti caratteristiche geotecniche, desunte dalle prove geotecniche reperite

COMMITTENTE :	Custoza	SONDAGGIO N° :	1	
LOCALITA' :	Sommacampagna	TIPO SONDA :	Carotaggio continuo	
IMPRESA ESECUTRICE :		PERFORAZ. :		
DATA :	novembre-02	QUOTA p. c. :		
N° Strati	5	Scala	1	
	Da mt.	a mt.	Descrizione Litologica	Litologia
Strato n°1	0,00	1,50	Riperto costituito da limi sabbiosi con frammenti di laterizzi	R
Strato n°2	1,50	2,50	Sabbie limose, ghiaia e rari ciottoli, abbastanza addensate, di color ocra	SL
Strato n°3	2,50	6,00	Materiale morenico costituito da sabbie limose, ghiaia e rari ciottoli, fortemente addensate, di colore ocra	SL
Strato n°4	6,00	8,10	Sabbie limose con ghiaia e ghiaietto scarsamente addensate	SL
Strato n°5	8,10	10,00	Limi sabbiosi con ghiaia e ghiaietto, scarsamente addensati, colore grigio	LS
				Angolo di attrito interno (φ)
				29°
				35°
				29°
				29°

LOCALITA' :	Caselle di Sommacampagna	SONDAGGIO N° :	1	
COMUNE :	Sommacampagna	TIPO SONDA :	carotaggio continuo	
IMPRESA ESECUTRICE :		PERFORAZ. :		
DATA :	gennaio-05	QUOTA p. c. :	80 m	
N° Strati	6			
	Da mt.	a mt.	Descrizione Litologica	Litologia
Strato n°1	0,00	0,30	Terreno eluviale argilloso-ciottoloso rossastro	V
Strato n°2	0,30	4,60	Ghiaie sabbiose ben addensate con abbondanti ciottoli, a grani smussati e ben assortite	GH
Strato n°3	4,60	9,60	Ghiaie sabbiose con strati paraconglomeratici	GS
Strato n°4	9,60	19,60	Ghiaia sabbiose in cui diminuisce la frazione ciottolosa e diviene più abbondante la matrice limosa con struttura paraconglomeratica più evidente	GH
Strato n°5	19,60	20,40	Ghiaie sciolte	GH
Strato n°6	20,40	25,00	Ghiaie sabbiose con poca frazione limosa	GH
				Livello Falda (mt.)
				assente
				Angolo di attrito interno φ (°)
				35
				37
				31
				32
				32

Figura 13



Riassumendo si possono individuare alcune aree omogenee per caratteristiche geotecniche:

Area di riferimento	Litologia	Angolo di attrito interno θ	C_U (Kg/cm²)	Peso di volume γ (t/m³)	Peso di volume saturo	Coefficient e di permeabilità
Area pianeggiante centrale e orientale	Ciottoli in abbondante matrice ghiaioso sabbiosa	35-38°	0	1.9-1.95	2.2	1*10 ⁻³
Area pianeggiante centrale e orientale	Ghiaia con sabbia	31-35°	0	1.9-1.95	2.2	1*10 ⁻³
Aree vallette inframoreniche	Limo argilloso	29°-31°	0.5-1	1.85-1.90	2.1	1*10 ⁻⁵
Aree vallette inframoreniche	Argille limose	26°	0.2-0.5	2.0	2.1	1*10 ⁻⁶

Figura 14



4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la redazione della seguente relazione ci si è avvalsi sia dei dati provenienti dalle indagini reperite ed effettuate nello studio di Livello I di Microzonazione Sismica sia di nuovi dati derivanti da una campagna di indagini geofisiche, eseguita nel mese di Maggio 2022, atta a definire le caratteristiche sismiche delle parti di territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile inclusi i servizi di interesse comune, i nuovi limiti fisici di edificazione e le aree di riqualificazione e riconversione indicate nella carta di Trasformabilità del PATI.

L'insieme dei suddetti dati ha permesso di disporre di un totale di 60 indagini lineari (ind_In) e 128 indagini puntuali (ind_pu) suddivise e rappresentate, come da Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica, nella Carta delle Indagini di Microzonazione Sismica di II° e III° Livello.

Di seguito viene mostrata la Tabella - sintesi delle indagini pregresse e nuove che riguardano le aree perimetrate del territorio comunale di Sommacampagna.

Tabella 3

TIPOLOGIA INDAGINI PREGRESSE	TIPOLOGIA	SIGLA	QUANTITA'
Microtremore a stazione singola	Puntuale	HVSR	111
Trincea	Puntuale	T	2
Pozzo per acqua	Puntuale	PA	10
Sondaggio a carotaggio continuo	Puntuale	S	5
Indagini MASW	Lineare	MASW	10
REMI	Lineare	REMI	50



4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi

Non sono state rinvenute indagini geotecniche realizzate nelle parti di territorio comunale di nuova espansione indicate nella carta di Trasformabilità del PATI.

4.2 Nuove indagini

Per poter approfondire in modo più accurato il livello di conoscenza del sottosuolo del Comune di Sommacampagna si è proceduto ad effettuare nel mese di maggio 2022 una campagna di indagini geofisiche che ha previsto la realizzazione di n. 10 indagini di sismica attiva in array tipo M.A.S.W., n. 10 indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR).

4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

In un sistema costituito da uno strato tenero (copertura) adagiato da un substrato rigido (bedrock) un'onda di volume SH incidente verticalmente dal basso tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4H$.

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza di detta onda sono descritte dalla legge:

$$f = n \frac{V_s}{4H}$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

dove:

n = ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.);

V_s = velocità delle onde di taglio nello strato che risuona ;

H = spessore di detto strato (strato 1 nella figura seguente).

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione, il solo modo visibile è il fondamentale.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione, il solo modo visibile è il fondamentale.

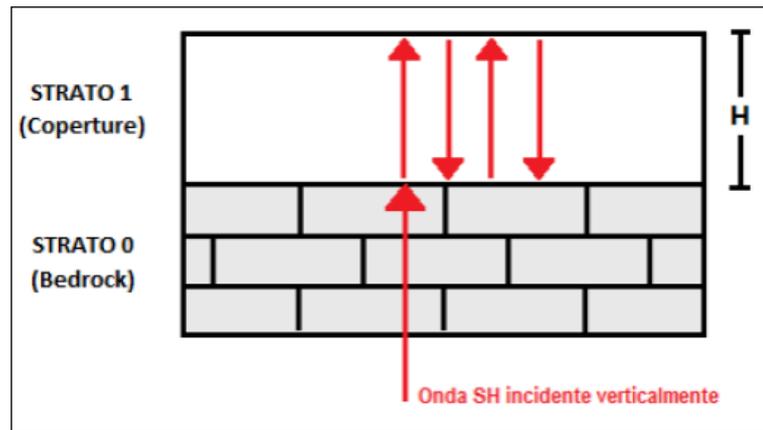


Figura 15 Intrappolamento e successive riflessioni di un'onda sismica SH incidente verticalmente dal basso in uno strato di coperture di spessore H sovrastanti un substrato rigido-

La prova sismica a stazione singola viene di solito utilizzata per stimare le frequenze di risonanza, ossia frequenze alle quali viene amplificato il moto del terreno.

La prova, chiamata H/V (rapporto tra la componente spettrale orizzontale H e quella verticale V), fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Essa si fonda su un segnale composto per la maggior parte da onde di superficie (Rayleigh e Love) e sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (Rayleigh) si 'annulla' in corrispondenza delle frequenze di risonanza dell'onda SH. Questo è il motivo per cui si osserva un massimo nella curva H/V in corrispondenza di queste frequenze.

La tecnica H/V non ha bisogno, però, di un evento sismico per poter essere effettuata, in quanto il terreno è normalmente investito da un tremore ambientale continuo. Si può, inoltre, notare dall'equazione sopra riportata, che la tecnica H/V può fornire dati stratigrafici; infatti conoscendo la V_s delle coperture, si può risalire alla profondità dei riflettori sismici principali attraverso la f misurata, oppure, noto lo spessore degli strati, se ne può stimare la V_s .

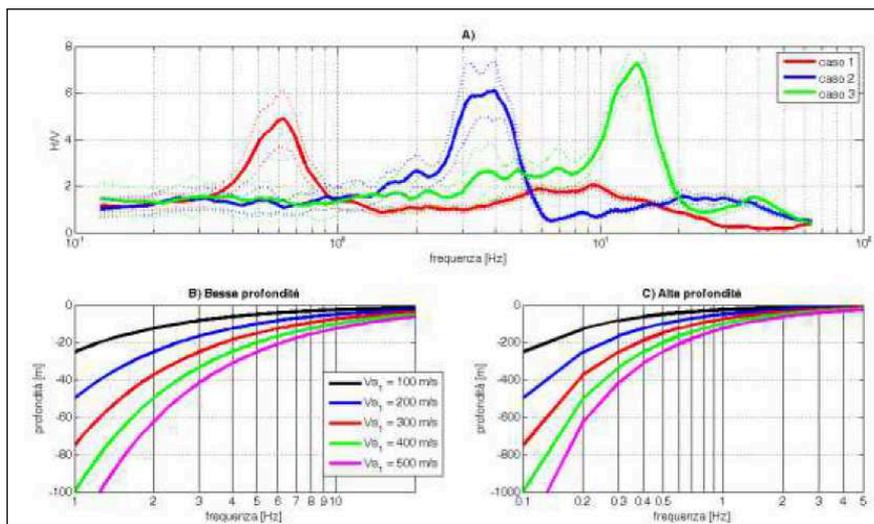


Figura 16

A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione V-f 0 -H alle medio-alte frequenze; C) relazione V-f 0 -H alle medio-basse frequenze.

La relazione tra frequenza di risonanza e spessore della copertura che risuona, per diversi tipi di sottosuolo, quindi, per diverse Vs, è riportata in Figura 36 (B e C). In A sono presentati, invece, tre esempi di curve H/V misurate rispettivamente su coperture con spessori dell'ordine di diverse centinaia di metri (caso 1, $f_0 = 0.6$ Hz), di qualche decina di metri (caso 2, $f_0 = 3.5$ Hz) e di pochi metri (caso 3, $f_0 = 14$ Hz).

Misure H/V effettuate su roccia sana che non amplifica daranno, invece, curve piatte con ampiezza circa 1 in tutto il dominio di interesse ingegneristico.

Poiché la tecnica H/V indica la frequenza di risonanza verticale locale, essa è sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, entro i limiti di visibilità imposti dalla legge fisica $f = V$ (lunghezza d'onda x frequenza = velocità).



4.2.1.1 Strumentazione

Le misure di microtremore a stazione singola a scopo di Microzonazione Sismica si effettuano per mezzo di sismometri o tromometri (del tipo ECHO TROMO HVSR3 nel presente studio) tricomponenti sufficientemente sensibili nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-20 Hz, corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture).

Per definirsi sufficientemente sensibile, lo strumento deve essere in grado di rilevare segnale anche nei punti più silenziosi della superficie terrestre. Di fatto non esistono modelli statisticamente affidabili che descrivono il minimo del rumore di fondo su roccia in questa banda di frequenze poiché si tratta un intervallo di modesto interesse sismologico, che tradizionalmente si concentra su frequenze inferiori.

4.2.1.2 Acquisizione

La misura di microtremore a stazione singola deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse. Nella già citata ipotesi che una misura di interesse ingegneristico ricada nell'intervallo 0.1-20 Hz, segue che un campionamento adeguato deve durare 12-15 min, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando anche che qualcuna potrà dover essere rimossa per la presenza di disturbi che alterano lo spettro medio.

La frequenza di campionamento adeguata per questo tipo di prove non deve essere inferiore a 50 Hz, in modo da permettere una ricostruzione spettrale sino ad almeno 20 Hz.

Lo strumento di misura va posto a diretto contatto col terreno e reso solidale con questo senza interfacce intermedie. La misura sismica passiva va effettuata direttamente su terreno naturale e quando questo non fosse possibile è necessario tener conto degli effetti indotti dai terreni artificiali rigidi in questo tipo di misure.

L'orientamento strumentale secondo il Nord geografico, sebbene si tratti di una convenzione, è stato mantenuto in tutte le prove eseguite in questa campagna di acquisizione.

4.2.1.3 Analisi dei dati

Nel presente studio di Microzonazione Sismica, per l'elaborazione e l'analisi dei dati acquisiti attraverso il tromometro, è stato utilizzato il software EasyHvsr della Geostru.

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali. Si rimanda a SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient



Excitations, 2005) per uno dei possibili esempi di protocollo di analisi. Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili due accorgimenti:

1. La curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza ed in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V. SESAME (2005) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre caratterizzate da una deviazione del segnale (STA, media a breve termine) maggiore della media a lungo termine (LTA). Tuttavia, le procedure che propongono la rimozione dei disturbi sulla base della serie temporale non appaiono le più indicate quando l'obiettivo è pulire una curva che è funzione della frequenza. La pulizia deve, infatti, essere rivolta alla ricerca di un rapporto H/V stabile e quindi alla rimozione delle sole finestre in cui questo rapporto risulti alterato, a parità di frequenza, tra i canali H e i canali V. Questo tipicamente avviene in presenza di segnali di natura impulsiva, che presentano cioè spettri bianchi. Un esempio di pulizia del segnale nel dominio delle frequenze è riportato in Figura 37;
2. Le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma "a occhio" o "ad ogiva". Questa forma è indicativa di picchi H/V di origine stratigrafica.

È evidente, però, che in una misura di tremore entrano anche vibrazioni monofrequenziali (artefatti) indotte da macchinari o simili. Queste si traducono in picchi stretti (delta) ben definiti su tutte e tre le componenti spettrali e quando l'ampiezza sulle tre componenti non è simile, danno luogo a picchi o gole artefattuali nelle curve H/V. La differenza nei pattern spettrali tra il caso naturale e quello artefattuale rende agevole la distinzione dei picchi H/V stratigrafici da quelli antropici, in modo particolare lavorando su spettri poco lisciati.

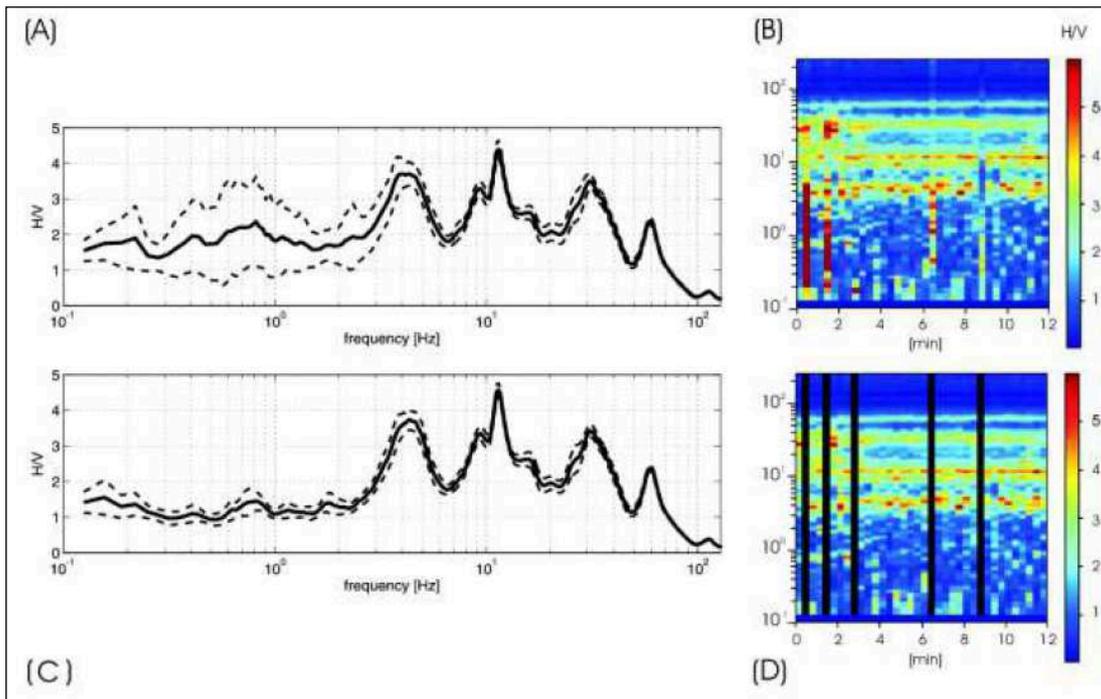


Figura 17 Pulizia della curva H/V nel dominio delle frequenze. (A) curva H/V media e deviazione standard non pulita; (B) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V); (C) curva H/V e deviazione standard dopo la rimozione dei disturbi; (D) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V). Le bande nere verticali indicano le finestre rimosse perché caratterizzate da disturbi che alterano l'H/V medio

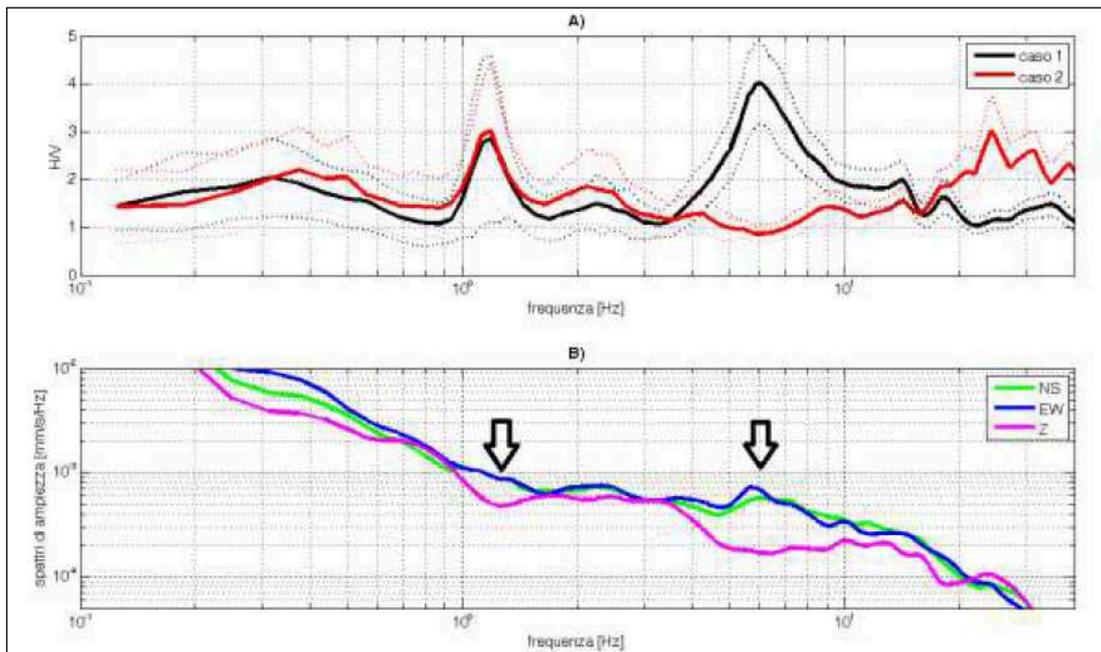


Figura 18



esempi di curve H/V registrate a 40 m di distanza. Nella curva 1 emerge un picco a 6 Hz legato alla presenza di un livello di ghiaie a 12 m di profondità che è assente nella curva relativa al sito 2. Nel dominio delle medio-basse frequenze le curve sono statisticamente uguali. B) Spettri delle singole componenti del moto (NS, EW e Z) registrati nel sito 1. Le frecce evidenziano le forme “a ogiva” caratterizzate da un minimo locale della componente verticale che caratterizzano i picchi H/V di natura stratigrafica

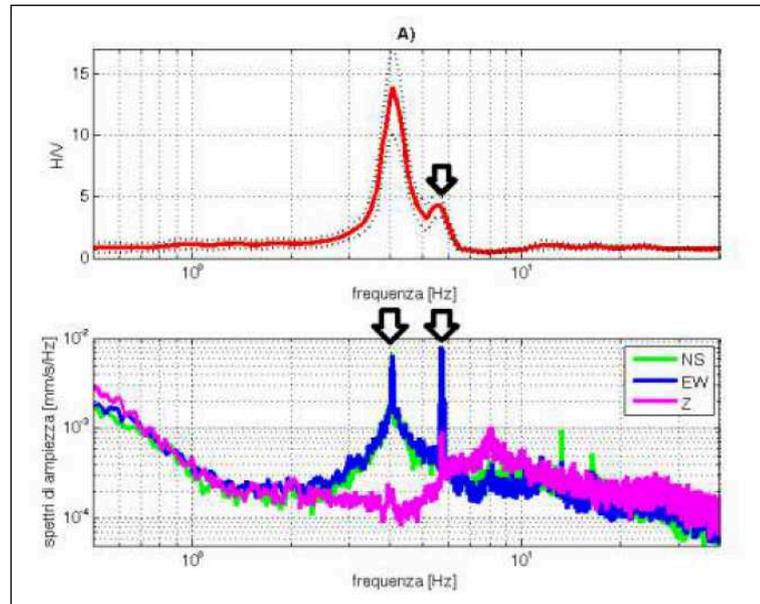


Figura 19 esempio di picco h/v stratigrafico (4 Hz) cui sono sovrapposti due artefatti (a 4 e 6 Hz) di origine antropica. La curva H/V è liscia al 10% della frequenza centrale, gli spettri delle singole componenti non sono liscia

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V. La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco H/V, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata condotta secondo i principi base della statistica. La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita.

Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario, le transizioni graduali (per es. roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limoso, alternanze di lave con vario grado di alterazione ecc.) generano più spesso amplificazione in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti. La seconda parte dei criteri SESAME (2005) risulta chiaramente non soddisfatta nei siti che non presentano amplificazione.

I criteri SESAME (2005) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2.



4.2.2 Metodo M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica di indagine non invasiva del sottosuolo basata sulla dispersione geometrica delle onde superficiali, in particolare delle onde Rayleigh.

La dispersione delle onde Rayleigh è un fenomeno per cui differenti lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità (velocità di fase), campionando diversi strati in profondità; in un terreno eterogeneo verticalmente quindi, la velocità di propagazione delle onde Rayleigh risulta essere strettamente dipendente dalla frequenza. Le onde con frequenze elevate (basse lunghezze d'onda) si propagano nelle porzioni meno profonde, vicino al piano campagna e danno informazioni relative alle proprietà meccaniche di quelle zone, mentre le componenti di bassa frequenza coinvolgono gli strati più profondi.

L'acquisizione dei dati inerenti alla dispersione delle onde superficiali viene effettuata per mezzo di diversi ricevitori (accelerometri o geofoni) posizionati in maniera adeguata sul piano campagna; una volta registrati i dati relativi alla propagazione delle onde nel sottosuolo, questi vengono analizzati ed elaborati attraverso complesse tecniche computazionali che permettono di ottenere l'informazione desiderata; le applicazioni principali del metodo MASW sono la ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio, la classificazione dei terreni di fondazione e la determinazione della profondità del substrato.

La procedura standard per la realizzazione di un'indagine basata sulla dispersione delle onde superficiali consiste in tre fasi; la prima è l'acquisizione dei dati di campagna, la seconda è l'elaborazione del segnale registrato per ricavare la curva di dispersione sperimentale ed, infine, la terza fase riguarda il processo d'inversione mirato a stimare le proprietà del sito investigato.

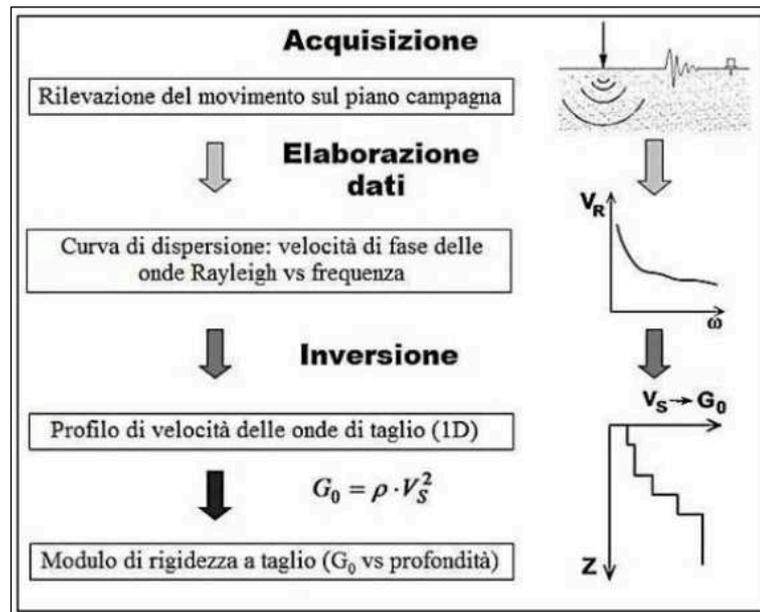


Figura 20

– diagramma di flusso relativo alle indagini basate sulla dispersione delle onde superficiali (da foti, 2005)

La scelta dell'attrezzatura e della configurazione dei ricevitori è strettamente connessa all'obiettivo dell'indagine che si vuole eseguire ed alla tecnica che si utilizzerà per attuare l'interpretazione dei dati elaborati; esistono, infatti, alcune indicazioni pratiche che risultano utili nella scelta dei parametri di acquisizione sia nel tempo che nello spazio: tra le principali si consiglia che la lunghezza dello stendimento debba essere almeno il doppio della profondità di investigazione desiderata, l'utilizzo di geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz per indagini geotecniche) spaziate di una distanza compresa tra 1 e 5 metri e che la durata della registrazione sia sufficiente per acquisire l'intero treno d'onde.

È importante ricordare che le onde Rayleigh viaggiano in una zona spessa circa una lunghezza d'onda dal piano campagna e sono informative delle caratteristiche di questa porzione di terreno; inoltre la relazione tra frequenza, lunghezza d'onda e velocità di fase comporta che l'intervallo di frequenza di interesse sia strettamente connesso ai materiali che devono essere investigati (es. in terreni soffici, una penetrazione profonda richiede componenti di bassa frequenza).

Generalmente i segnali vengono acquisiti nel dominio spazio-tempo in modo tale da poter essere reinterpretati con differenti tecniche d'elaborazione; l'informazione relativa alla propagazione delle onde superficiali è contenuta nei segnali e, come detto precedentemente, può essere estratta attraverso differenti tecniche computazionali.



4.2.2.1. Strumentazione

Nell'esecuzione di un'indagine sismica basata sulla dispersione delle onde superficiali sono indispensabili i seguenti strumenti:

- ricevitori singoli o multipli;
- dispositivo di acquisizione dei segnali sismici (sismografo);
- sorgente di onde sismiche (nel caso di metodi attivi).

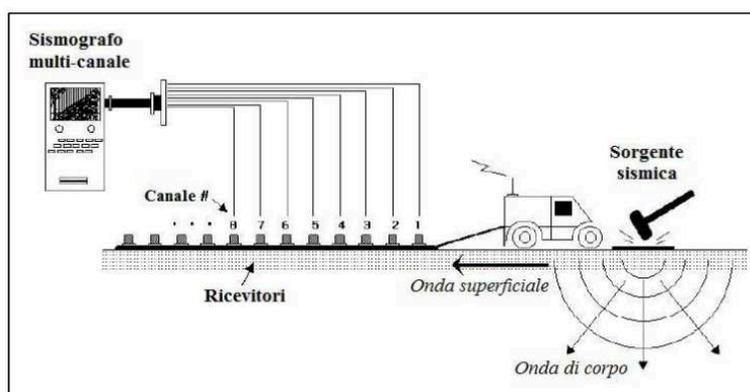


Figura 21

FIGURA 17 – CONFIGURAZIONE SCHEMATICA DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER ESEGUIRE UN'INDAGINE MASW (DA PARK ET AL., 2001)

Il metodo MASW utilizza un numero multiplo di ricevitori disposti generalmente in maniera lineare e spazati di una stessa distanza; ciascun ricevitore è collegato, inoltre, ad un unico dispositivo di registrazione.

Il tipo di ricevitori e la loro interdistanza sono scelti solitamente in relazione con la profondità d'investigazione che si vuole raggiungere; ad esempio, se si vogliono avere informazioni su strati profondi, è necessario utilizzare geofoni a bassa frequenza.

Nella pratica comune si usano geofoni a 4,5 Hz che possono essere maneggiati con più facilità e che sono meno costosi rispetto ai geofoni a minor frequenza.

Il dispositivo di acquisizione può essere di diversi tipi; la sua funzione principale è digitalizzare e registrare i segnali elettrici analogici generati dai ricevitori.

Nei metodi attivi l'onda viene generata da una sorgente di onde sismiche; diversi tipi di sorgenti sismiche possono essere utilizzate a seconda del range di frequenza di interesse per l'applicazione: ad esempio, facendo uso di semplici mazze si ottengono segnali ad alta frequenza (7-200 Hz), mentre,



aumentando la massa che genera le onde si possono avere segnali a bassa frequenza (2-40 Hz). Le sorgenti pesanti sono, quindi, necessarie per investigare gli strati più profondi mentre quelle più leggere sono utili per caratterizzare le porzioni più superficiali del sottosuolo.

Lo stendimento dei ricevitori utilizzato nel metodo M.A.S.W. è composto da geofoni multipli collocati lungo una linea rettilinea e la sorgente è posta ad uno dei due capi dell'array.

Un'operazione molto importante da eseguire è la scelta dei parametri di campionamento sia nel tempo che nello spazio; tali parametri, nel tempo, vengono impostati direttamente sul dispositivo di acquisizione, mentre quelli nello spazio sono determinati dalla geometria dello stendimento e sono soggetti ad alcune restrizioni dovute, ad esempio, al numero di ricevitori disponibili e all'estensione del sito.

Nella pratica comune si utilizza un'interdistanza costante tra i geofoni, questo perché i processi successivi di elaborazione dei dati risultano essere più semplici. È importante ricordare che una spaziatura elevata tra i ricevitori permette di rilevare ampie lunghezze d'onda e di caratterizzare, quindi, gli strati più profondi; allo stesso tempo però, l'attenuazione delle componenti ad alta frequenza, provoca la perdita delle informazioni contenute in queste frequenze e la conseguente diminuzione della risoluzione nella parti superficiali del terreno. Per quanto riguarda, invece, la scelta dei parametri di acquisizione nel tempo, essa è in relazione con il range di frequenza di interesse dell'operatore (es. 5-100 Hz per applicazioni ingegneristiche); un passo di campionamento di 2 ms (corrispondente ad una frequenza di Nyquist di 250 Hz) è solitamente sufficiente per le analisi basate sulla dispersione delle onde superficiali poiché la risoluzione nel dominio del tempo non è molto rilevante.

La lunghezza totale del segnale nel tempo è in relazione all'intervallo di frequenza del segnale trasformato nel dominio della frequenza; quindi, è importante avere una finestra di acquisizione di almeno 1 s (frequenza di risoluzione di 1 Hz); in ogni caso è necessario che l'intero evento venga registrato.

4.2.2.2. Elaborazione dati

La fase successiva all'acquisizione dei dati di campagna riguarda tutti i processi relativi alla loro elaborazione.

I dati vengono trattati attraverso diverse procedure che permettono di stimare la cosiddetta curva di dispersione sperimentale, ovvero la relazione tra la velocità di fase e la frequenza. Tali procedure ricorrono ad una varietà di strumenti per l'analisi del segnale basati principalmente sulla trasformata di Fourier. Facendo uso dell'analisi di Fourier è, infatti, possibile separare le differenti componenti della frequenza di un segnale, le quali vengono successivamente utilizzate per stimare la velocità di fase attraverso diversi approcci in relazione alle caratteristiche dell'indagine svolta e al numero di ricevitori.



I metodi di elaborazione dei dati basati sulla trasformata di Fourier sono i più utilizzati e consistono nella trasformazione dei dati sperimentali dal dominio spazio-tempo a domini differenti, nei quali la curva di dispersione viene agevolmente ricavata dai massimi spettrali. Ad esempio, applicando una doppia trasformata di Fourier ai dati di campo, la curva di dispersione può essere identificata come i massimi nel grafico frequenza-velocità di fase (f-c).

L'equazione che sta alla base del metodo MASW è l'equazione del movimento relativa ad un mezzo lateralmente omogeneo, assumendo un campo di deformazione piano ed imponendo le condizioni al contorno relative alle onde in un semispazio con una superficie libera; dopo aver imposto la condizione di continuità dello sforzo e della deformazione alle interfacce degli strati.

Il risultato che si ottiene è un problema lineare differenziale di autovalori. Tale problema presenta una soluzione non nulla solamente per determinati valori del numero d'onda; questa soluzione, relativa ad un sistema stratificato, si trova stabilendo una relazione particolare tra la frequenza e il numero d'onda: l'equazione che ne risulta è conosciuta come la funzione secolare di Rayleigh.

Per una determinata frequenza può esistere una soluzione solamente per specifici valori del numero d'onda: nei sistemi verticalmente eterogenei questo si traduce in una funzione polidroma della frequenza che rappresenta le curve modali. Sebbene ad una singola frequenza, gli autovalori implicino una serie di soluzioni discrete possibili, ciascuna con un massimo di energia concentrato in corrispondenza di uno specifico numero d'onda, la dispersione produce comunque dei lobi nel grafico f-k. Stimati i numeri d'onda per ciascuna frequenza, questi valori vengono utilizzati per costruire la curva di dispersione sapendo che la velocità di fase è pari al rapporto tra la frequenza e il numero d'onda.

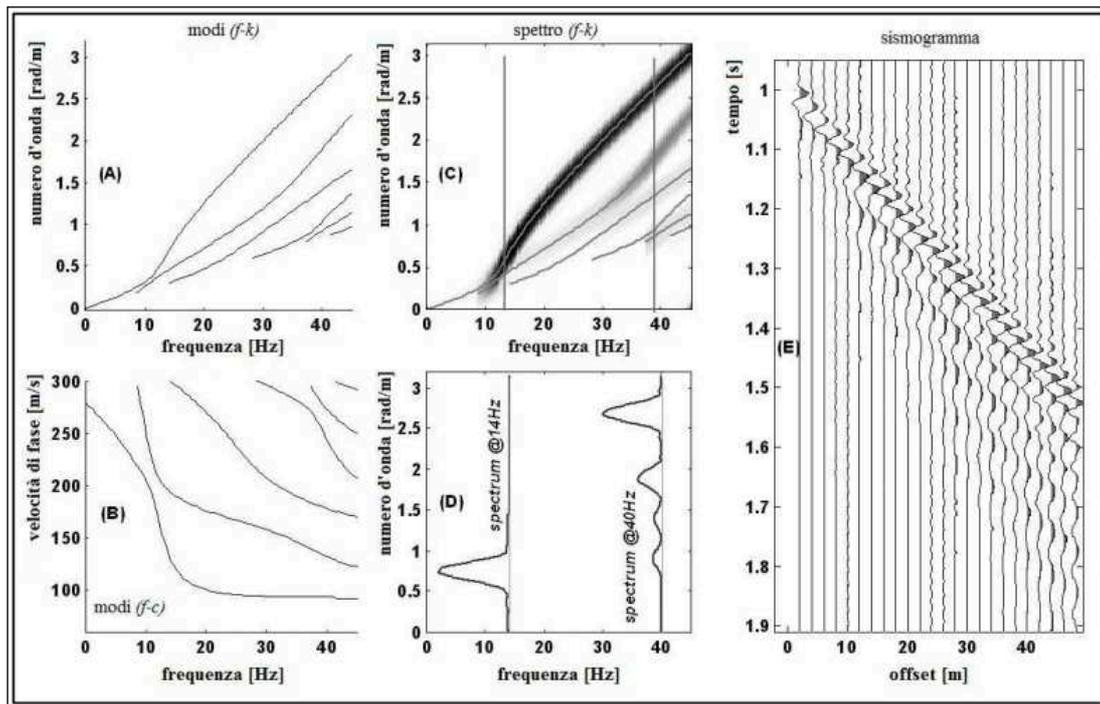


Figura 22

SCHEMA DELLA PROCEDURA COMUNEMENTE ADOTTATA PER RICOSTRUIRE UNA CURVA DI DISPERSIONE. I GRAFICI (A) E (B) RAPPRESENTANO LE CURVE MODALI RISPETTIVAMENTE IN F-K E IN F-C MENTRE IL GRAFICO (C) MOSTRA LO SPETTRO F-K NEL QUALE IL PRIMO MODO DI PROPAGAZIONE È DOMINANTE. IL RIQUADRO (D) EVIDENZIA I LOBI PRODOTTI DALLA DISPERSIONE NEL DOMINIO F-K MENTRE IL GRAFICO (E) È IL SISMOGRAMMA DI PARTENZA (DA STROBBIA ET AL., 2004).

Nella pratica comune, per procedere con l'elaborazione dei dati, si assume che la maggior parte dell'energia sia associata al modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh.

Nel presente studio di Microzonazione Sismica l'acquisizione dei dati di campagna è stata eseguita tramite un array lineare totalmente digitale (modello ECHO 24/2002 Seismic Unit), costituito da 12 geofoni da 4,5 Hz. Ogni geofono è collegato, tramite un cavo sismico a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri con connettore "cannon" NK27, al sismografo, presso il quale la curva di dispersione frequenza-velocità di fase (f-c) viene ricostruita mediante il software "Easy MASW"; la sorgente sismica utilizzata è una mazza di 6 kg (sorgente impulsiva) posta ad una distanza di 2 metri dal primo ricevitore mentre i parametri di campionamento del segnale sono un tempo di campionamento di 0.000131 s e una finestra di acquisizione di 1 secondo.

Dopo aver ricostruito la curva di dispersione sperimentale si è proceduto all'individuazione dei massimi della velocità di fase ad intervalli di frequenza regolari (picking); in queste indagini si è deciso di eseguire l'operazione di picking solamente per le frequenze superiori ai 5-6 Hz per il semplice motivo che un colpo di mazza non riesce a generare frequenze al di sotto dei 5-6 Hz. Eliminando i dati relativi alle frequenze inferiori a 5 Hz, si diminuisce il margine di errore del modello finale aumentandone l'affidabilità.



I valori individuati durante la fase di picking, sono delle coppie frequenza-velocità di fase che verranno utilizzate nel processo d'inversione finale.

4.2.2.3. Inversione

Il processo d'inversione dei dati sperimentali è l'ultimo dei passaggi da svolgere e fornisce il profilo della velocità delle onde di taglio derivante dalle caratteristiche di dispersione osservate dai dati sperimentali; in questo studio il suddetto è stato realizzato mediante l'utilizzo del programma "Easy MASW".

Durante l'inversione il primo passaggio è correlare i parametri che derivano dalle analisi con ECHO TROMO HVSR3 e quindi fittare i dati M.A.S.W. con le curve H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Successivamente, il programma risolve il sistema di equazioni di tutti gli strati inseriti nel modello ipotetico e restituisce per ciascuno strato, la velocità delle onde di taglio calcolata, in modo tale da ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio del sito investigato.

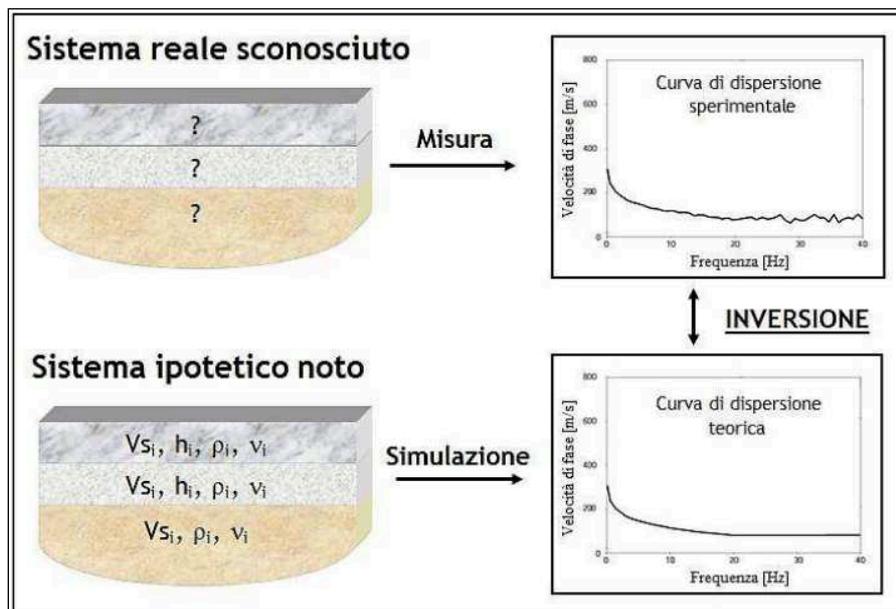


Figura 23
Schema riassuntivo del metodo masw eseguito nel presente studio

Le indagini MASW eseguite nel presente lavoro hanno permesso di caratterizzare con un buon grado di dettaglio i primi 10 metri di sottosuolo dal punto di vista sismico, fornendo, inoltre, informazioni utili nell'elaborazione e nell'interpretazione di alcune misure HVSR effettuate in siti che richiedevano ulteriori approfondimenti geologici.



5. **MODELLO DEL SOTTOSUOLO**

Grazie ai dati raccolti attraverso i sopralluoghi dagli studi di livello primo e alle indagini effettuate ex novo, il territorio comunale è stato suddiviso nelle seguenti aree:

1. ZONE STABILI
2. ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
3. ZONE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITÀ

1) **ZONE STABILI**

Nel Comune di Sommacampagna **non** sono state individuate zone “stabili”. In sostanza, si noti che l’intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica e, localmente, soggetto a potenziale liquefazione, quindi in zone di attenzione per le instabilità. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche locali.

2) **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI**

Il Comune di Sommacampagna risulterebbe “stabile suscettibile di amplificazioni locali” per i seguenti motivi:

A. Stratigrafia e caratteristiche dei litotipi. Come evidenziato nella Carta geologico – tecnica e nelle considerazioni fin qui esposte, è stato accertato che, oltre ad esserci differenti risposte sismiche variabili in relazione ai diversi ambienti geomorfologici (detrito, morenico, alluvioni) ed al contatto tra le coperture ed il sottosuolo più rigido, esistono risposte diverse anche all’interno delle stesse litologie.

B. Forme sepolte ed effetti morfologici. Si ritiene che nelle vallecole inframoreniche e nella valle del Tione siano possibili sia “effetti di valle” associati alle riflessioni multiple causate dall’intrappolamento delle onde sismiche (P ed S) all’interno dei depositi che riempiono le valli, sia amplificazioni stratigrafiche causate dal contrasto di impedenza tra mezzi geologici diversi (per la presenza di alluvioni più recenti poggianti sul morenico più addensato e rigido).

C. Amplificazione topografica. Per quanto riguarda l’amplificazione topografica, è stato qualitativamente coinvolto l’intero territorio collinare, senza fare particolari distinzioni: le colline moreniche di Sommacampagna presentano una morfologia dolce ma non facilmente modellizzabile (le NTC 2008 dicono che per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre analisi specifiche di risposta sismica locale), per cui si ritiene che tale aspetto debba essere approfondito nei



livelli successivi di analisi, dopo aver perimetrato con attenzione le aree da indagare. Come anticipato al punto A), si ricorda che nell'ambito collinare l'amplificazione sismica può essere legata, oltre che alle condizioni topografiche dei luoghi, anche a motivi di tipo stratigrafico e, spesso, tali "effetti di sito" sono associabili tra loro

3) **ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'**

Per quanto riguarda le "zone di attenzione per le instabilità", esse sono state così individuate:

- prossimità di lineamenti sismogenetici riconosciuti attivi;
- aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

I **lineamenti sismicamente attivi** (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta è stata ubicata la faglia "capace" riportata nel Data Base ITHACA.

Tale faglia è stata riportata per completare le informazioni richieste dalle Linee Guida ma, vista la sua indeterminatezza ed il fatto di essere sepolta nell'alluvionale / morenico, si ritiene corretto indicarla come "presunta" e rimandare agli enti scientifici la definizione di eventuali "fasce di vincolo" o "microzone specifiche" da inserire negli strumenti pianificatori in essere.

Nella Carta delle MOPS di primo livello, il Comune di Sommacampagna è stato parzialmente compreso tra le zone **ZALQ1** (Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1). Il retino associato alla zona **ZALQ1** è stato sovrapposto alla simbologia delle zone stabili suscettibili di amplificazione precedentemente descritte;



6. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II e APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO

6.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di II e approfondimenti di III Livello si pone come obiettivo quello di compensare le incertezze del I Livello con approfondimenti conoscitivi fornendo quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche) della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente sulle zone stabili suscettibili di amplificazione e/o sulle zone suscettibili di instabilità individuate nel territorio in studio e rese note nella Carta di Microzonazione Sismica di I Livello.

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

Si precisa che tramite l'analisi della stratigrafia e dell'assetto geologico è stato possibile stabilire che, nell'ambito del territorio comunale, non esistono aree classificate come "Zone stabili", nelle quali non si ipotizzano effetti amplificativi di alcuna natura; si sono, invece, individuate n. 5 "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali".

Sono state identificate anche delle "Zone suscettibili di instabilità", in particolare due aree in corrispondenza delle due lineazioni tettoniche (ZAFAC Zona di attenzione per faglie attive e capaci), ed aree ZALQ – Zone di attenzione per liquefazione; inoltre, nel territorio comunale, sono presenti scarpate morfologiche e creste.

Nella tabella seguente (ripresa dalla Figura 2 dell'Allegato A del DGR n. 1572/13) viene esplicitata per ogni singola tipologia di instabilità/amplificazione la presenza sul territorio comunale dei singoli scenari di pericolosità sismica locale e le procedure applicate per ciascuno di essi ai fini del presente studio.

SIGLA	Scenario di pericolosità sismica locale	Presenza nel territorio	Procedura applicata
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	No	-
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	No	-
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	No	



P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	No	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	Si	Eseguite analisi semplificate su profili di Vs e sul modello geologico
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	No	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative -
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)	SI	Calcolati i valori di Fa ed Fv attraverso gli abachi
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	No	
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Si	Calcolati i valori di Fa ed Fv attraverso gli abachi
P4b	Zona di fondovalle stretta ($C > 0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale	No	-
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	No	
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	No	



P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	No	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Si	Si sono valutati i contatti tra litologie fortemente differenti (ghiaie prevalenti e terreni fini)
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	No	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.

6.2 Valutazione degli effetti litologico-stratigrafici

Per la valutazione degli effetti litologici, la normativa vigente indica che per la Microzonazione Sismica di II e III Livello si deve fare ricorso a metodi semplificati che prevedono l'uso di abachi. Allo stato attuale non essendo disponibili abachi specifici per la Regione Veneto, come indicato nella DGRV n. 1572 del 3 settembre 2013 – Allegato A, si sono utilizzati quelli presenti nel Capitolo 3.2 degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Volume 2 – Parte III” della Protezione Civile Nazionale.

Gli abachi forniscono due valori di amplificazione sismica F_a ed F_v così definiti:

- F_a : fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);
- F_v : fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Per utilizzare tali abachi si è approssimato un assetto geologico e geotecnico assimilabile ad un modello fisico monodimensionale, cioè a n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico. Ciascuno strato è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità ρ , dal modulo di taglio iniziale G_0 e da curve di decadimento del rapporto di smorzamento (D). Questi strati giacciono sul basamento sismico (bedrock).



Si è scelto di utilizzare il summenzionato metodo semplificato degli abachi dopo l'analisi degli elementi presenti nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) prevista nel I Livello, che non mostra elementi in grado di dare amplificazioni topografiche.

Gli abachi allegati al volume 2 di "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" sono realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio effettuate con il programma SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). 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.

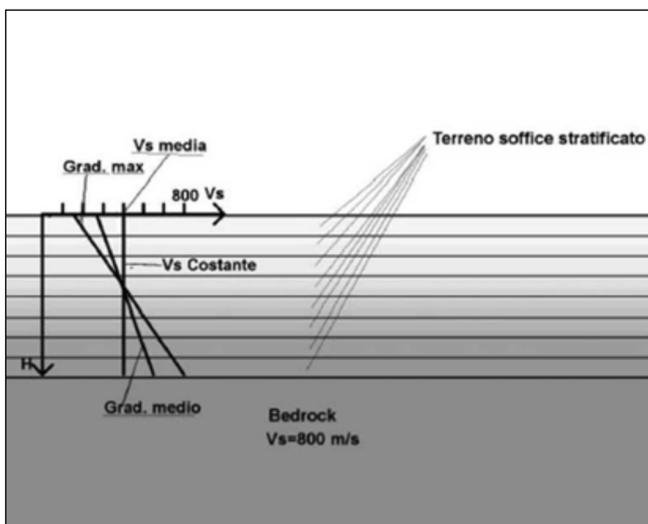


Figura 24 – modello del sottosuolo e profili di velocità considerati



6.3 Modello del sottosuolo utilizzato per gli abachi

Al fine di quantificare il fattore di amplificazione è necessario assegnare alle varie zone una delle classi dei terreni di copertura sotto riportate.

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

figura 20 – classi di terreni di copertura

È necessario, inoltre, conoscere l'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità e la profondità del bedrock sismico, ovvero, di un deposito stratificato di terreni omogenei deformabili sovrastante un terreno rigido avente $V_s = 800$ m/s.

Gli abachi sono costruiti per tre diversi profili di velocità nel sottosuolo:

- **Profilo 1:** velocità costante (V_{SH}) lungo tutto lo spessore del deposito
- **Profilo 2:** velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo compatibile con i seguenti limiti:
 - La V_s alla base del deposito non deve superare gli 800 m/s;
 - La V_s in superficie non deve essere inferiore a 50 m/s.
- **Profilo 3:** profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i due precedenti.



I dati in ingresso, quindi, per la scelta degli abachi da utilizzare sono rappresentati dai seguenti elementi:

- Litologia prevalente nei terreni di copertura;
- Andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e velocità media V_{SH} delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico.

Questa è definita dalla seguente relazione:

$$V_{SH} \cong \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{SI}}}$$

dove:

- H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;
- h_i è lo spessore (in metri) dell'iesimo degli n strati che costituiscono la copertura;
- V_{SI} è la velocità (in m/s) dell'iesimo strato.

Gli abachi forniscono i valori di amplificazione per tre classi di ag: 0,06g, 0,18g e 0,26g e sono ordinati per litotipo (argille, sabbie e ghiaie) ed all'interno di ciascun litotipo, per tipo di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di V_{SH} , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima).

La scelta del tipo di profilo va operata sulla base delle conoscenze specifiche ottenute: in generale, quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è, quindi, preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia.

Si ricorda comunque che il profilo con pendenza massima fornisce generalmente risultati più cautelativi e può essere applicato quando sono effettivamente ipotizzabili gradienti molto accentuati con la profondità. I dati relativi a spessori H elevati (da 50 a 150 metri) sono stati inseriti per consentire il riferimento a situazioni in cui è prevedibile che le caratteristiche meccaniche di resistenza dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità, in assenza di evidenti contrasti di impedenza.

Per il Comune di Fontaniva si sono utilizzati gli abachi riferiti al valore di 0.18 g, si è scelto il tipo di profilo di velocità variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima (in quanto lo spessore del sottosuolo varia da pochi metri a diverse decine di metri). Inoltre, si precisa che:



- La V_{SH} considerata è la V_{s30} estrapolata dalle indagini accoppiate MASW;
- Qualora la V_{SH} fosse intermedia tra due valori in tabella il corrispondente valore è stato estrapolato;
- Qualora un deposito non presenti una misura diretta di V_{s30} ad esso viene associata la V_{s30} del deposito più vicino avente la medesima litologia superficiale nonché ricadente nella medesima microzona.

Nella tabella seguente vengono riportati i valori ricavati dalle elaborazioni effettuate con la metodologia sopra descritta tramite i valori di V_s ricavati dall'accoppiata MASW + HVSr ai fini di ricostruire fedelmente il profilo litologico e sismico dei siti indagati.

	MASW	HVSr	Litologia	ag	Profilo di velocità	V_{SH}	Spessore del deposito	FA	FV
	Codice	Codice		g		(m/s)	(m)		
	023082L4	023082P4	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	550	7.2	1.17	1.02
	023082L5	023082P5	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	500	6	1.17	1.02
	023082L49	023082P50	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	450	6	1.25	1.02
	023082L9	023082P9	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	500	7	1.17	1.02
	023082L51	023082P119	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	314	40	1.50	2.29



ZONA 2001	023082L54	023082P122	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	340	54	1.52	1.96
	023082L45	023082P45	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	500	6.5	1.17	1.02
	023082L16	023082P16	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	440	5.50	1.10	1.01
	MASW	HVSR	Litologia	ag	Profilo di velocità	V_{SH}	Spessore del deposito	FA	FV
	Codice	Codice		g					
ZONA 2002	023082L59	023082P127	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	324	5	1.60	1.02
	023082L39	023082P39	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	300	5	1.60	1.02
	023082L41	023082P41	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	350	4	1.38	1.02
	023082L18	023082P18	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	350	4	1.38	1.02
	023082L20	023082P20	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	380	10	1.33	1.03
	023082L26	023082P26	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	260	3	1.74	1.04



	023082L33	023082P33	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	330	13	1.70	1.07
	023082L11	023082P11	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	230	3	1.74	1.04
	023082L3	023082P3	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	180	2.8	1.80	1.05

	MASW	HVSR	Litologia	ag	Profilo di velocità	V _{SH}	Spessore del deposito	FA	FV
	Codice	Codice		g		(m/s)	(m)		
ZONA 2003	023082L31	023082P31	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	450	6.33	1.25	1.02
	023082L32	023082P32	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	450	11	1.25	1.02
	023082L60	023082P128	ghiaie	0.26	Lineare pendenza intermedia	466	8.56	1.25	1.02

	MASW	HVSR	Litologia	ag	Profilo di velocità	V _{SH}	Spessore del deposito	FA	FV
	Codice	Codice		g		(m/s)	(m)		
	023082L12	023082P12	Argille	0.26	Lineare pendenza intermedia	180	8	1.79	1.05



ZONA instabili	023082L25	023082P25	Argille	0.26	Lineare pendenza intermedia	230	3	1.75	1.13
	023082L60	023082P128	argille	0.26	Lineare pendenza intermedia	180	2.5	1.79	1.05
	023082L30	023082P30	Argille	0.26	Lineare pendenza intermedia	180	5.5	1.79	1.05
	023082L22	023082P22	argille	0.26	Lineare pendenza intermedia	190	4.0	1.79	1.05

A titolo di esempio, nelle figure seguenti, si riportano le procedure di calcolo Abachi con i fattori FA e FV relativi a depositi di Ghiaia.



Fattore di amplificazione **FA** Tipo di terreno **Ghiaia** a_g (g) **0.26g** Profilo di velocità **Lineare pendenza intermedia**

H	$V_{s,0}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	1.80	1.74	1.60	1.38	1.21	1.10	1.05	1.01	1.01
10	-	-	2.02	1.70	1.47	1.33	1.25	1.17	1.06	1.02
15	-	-	-	1.93	1.69	1.51	1.37	1.25	1.12	1.04
20	-	-	-	1.97	1.79	1.62	1.47	1.35	1.18	1.06
25	-	-	-	1.87	1.79	1.64	1.51	1.39	1.21	1.08
30	-	-	-	1.74	1.69	1.62	1.50	1.40	1.22	1.09
35	-	-	-	1.59	1.60	1.54	1.48	1.39	1.22	1.09
40	-	-	-	1.50	1.52	1.48	1.41	1.36	1.21	1.09
50	-	-	-	1.42	1.39	1.32	1.31	1.27	1.17	1.07
60	-	-	-	1.33	1.33	1.30	1.22	1.18	1.12	1.04
70	-	-	-	-	1.27	1.26	1.22	1.15	1.06	1.00
80	-	-	-	-	1.21	1.20	1.19	1.15	1.04	0.98
90	-	-	-	-	1.14	1.15	1.15	1.12	1.04	0.96
100	-	-	-	-	1.08	1.10	1.11	1.09	1.03	0.95
110	-	-	-	-	1.02	1.06	1.06	1.05	1.01	0.95
120	-	-	-	-	0.97	1.01	1.03	1.03	0.99	0.93
130	-	-	-	-	0.91	0.97	0.99	0.99	0.97	0.92
140	-	-	-	-	0.91	0.94	0.96	0.97	0.94	0.91
150	-	-	-	-	0.87	0.91	0.93	0.94	0.93	0.89

Fattore di amplificazione **FV** Tipo di terreno **Ghiaia** a_g (g) **0.26g** Profilo di velocità **Lineare pendenza intermedia**

H	$V_{s,0}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	1.05	1.04	1.00	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
10	-	-	1.17	1.07	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00
15	-	-	-	1.24	1.14	1.09	1.05	1.03	1.02	1.01
20	-	-	-	1.53	1.28	1.18	1.11	1.08	1.03	1.01
25	-	-	-	1.81	1.47	1.29	1.19	1.12	1.07	1.02
30	-	-	-	2.06	1.65	1.42	1.28	1.19	1.09	1.03
35	-	-	-	2.25	1.84	1.54	1.37	1.25	1.11	1.04
40	-	-	-	2.29	1.95	1.66	1.46	1.32	1.14	1.07
50	-	-	-	2.12	2.02	1.80	1.59	1.43	1.21	1.09
60	-	-	-	2.10	1.86	1.79	1.65	1.49	1.26	1.11
70	-	-	-	-	1.88	1.68	1.61	1.51	1.29	1.12
80	-	-	-	-	1.88	1.69	1.53	1.46	1.29	1.13
90	-	-	-	-	1.91	1.69	1.54	1.41	1.27	1.13
100	-	-	-	-	1.88	1.69	1.53	1.43	1.24	1.09
110	-	-	-	-	1.84	1.68	1.53	1.41	1.22	1.09
120	-	-	-	-	1.77	1.68	1.53	1.40	1.23	1.10
130	-	-	-	-	1.74	1.64	1.53	1.42	1.23	1.10
140	-	-	-	-	1.73	1.60	1.51	1.42	1.22	1.10
150	-	-	-	-	1.74	1.57	1.48	1.40	1.23	1.09

A partire dai risultati ottenuti è stato possibile redigere la “Carta di Microzonazione Sismica” di IIe III Livello per le aree stabili ma suscettibili di amplificazione locale, in cui vengono riportati i valori dei fattori di amplificazione FA – FV in corrispondenza di tutti i punti di misura analizzati.

Di seguito è possibile trarre le seguenti considerazioni delle aree soggette alla sola amplificazione dovuta ad effetti litologico-stratigrafici:



- Il territorio comunale di Sommacampagna è caratterizzato da una variabilità litologica che si riflette nei valori amplificati del moto sismico; in particolare, i valori dei fattori di amplificazione FA variano da un minimo di 1.17 ad un massimo di 1.80; mentre quelli di FV hanno un range che copre valori minimi di 1.02 fino a massimi di 2.10.
- In linea generale i massimi valori di amplificazione in termini di FA si rilevano nella porzione sud-sud est del territorio comunale. La zona, caratterizzata da depositi a tessitura prevalentemente ghiaiosa con una subordinata frazione limosa che poggiano su depositi prevalentemente ghiaiosi di origine alluvionale e sono localizzati nella parte centro meridionale del comune.
- Tali fattori sono stati individuati utilizzando i valori delle indagini sismiche e le misure di microtremore sismico relativi alle indagini eseguite sia ex nove che nel precedente studio di livello prima, sì a

6.4 Valutazione degli effetti morfologici

All'interno del territorio comunale di Sommacampagna sono stati individuati tra gli elementi morfologici che possono avere valenza sismica:

- alcuni orli di scarpate morfologiche;
- picchi isolati.

Le scarpate morfologiche presenti in tutto il territorio comunale come le linee di cresta potrebbero portare effetti di amplificazione topografica.

Per la valutazione degli effetti morfologici, la normativa vigente indica che per la Microzonazione Sismica di II e III Livello si deve fare ricorso a metodi semplificati che prevedono l'uso di abachi.

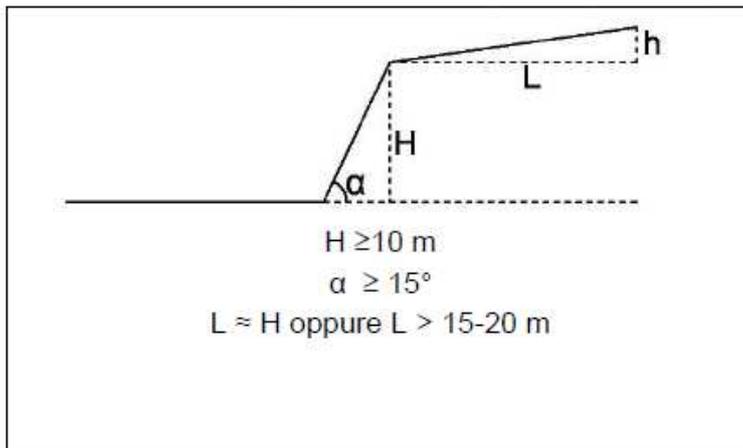
Sono stati utilizzati gli abachi specifici per la Regione Veneto, come indicato nella DGRV n. 1572 del 3 settembre 2013 – Allegato A.

Nello specifico si è fatto riferimento alle zone di scarpata in quanto le zone di cresta indicate non presentano i criteri di riconoscimento delle creste e/o cocuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche.

Zona di scarpata



Le zone di scarpata suscettibili di amplificazioni morfologiche devono possedere parametri che superano specifici limiti dimensionali esplicitati, in modo semplificato, nella figura seguente tratta dall'Allegato A della DGR 1572/2013..



Criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche

Come si evince, le condizioni minime sono:

- Altezza (H), distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, maggiore di 10 metri,
- Angolo del pendio (α) maggiore di 15° ;
- Fronte superiore (L), inteso come distanza tra ciglio del fronte principale e la prima irregolarità morfologica, pari almeno all'altezza della scarpata e mai inferiore ai 15-20 metri.

L'abaco delle scarpate fornisce per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) il valore di F_a per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s ed il valore della relativa area di influenza (A_i). Il valore di F_a viene assegnato al ciglio del fronte superiore, mentre all'interno della relativa area di influenza, il valore viene scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.

In Tabella 12 vengono riassunti i fattori di amplificazione legati alle caratteristiche geometriche delle scarpate.



Fattore di amplificazione per effetto morfologico			
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Fa 0.1-0.5	Area di influenza
10 m < H < 20 m	15° < α < 90°	1.1	Ai = H
20 m < H < 40 m	15° < α < 90°	1.2	Ai = 3/4 H
H > 40 m	15° < α < 20°	1.1	Ai = 2/3 H
	20° < α < 40°	1.2	
	40° < α < 60°	1.3	
	60° < α < 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

Gli elementi esplicitati in tabella sono noti ad eccezione dell'area di influenza. Ai che rappresenta la fascia di amplificazione situata a monte del ciglio della scarpata, la cui ampiezza è indicata nell'ultima colonna della tabella.

Il Fattore di amplificazione diminuisce spostandosi dal ciglio alla base delle scarpate e, verso monte, sino al limite dell'area di influenza Ai.

È importante sottolineare che l'amplificazione complessiva di sito (amplificazione morfologica + amplificazione litostratigrafica) si ottiene con il prodotto dei due Fa.

Come prima fase sono state individuate le morfologie che rispondono ai requisiti minimi descritti. Le fasce di amplificazione correlate alle zone di scarpata si possono, inoltre, sovrapporre alle aree con amplificazione litostratigrafica provocando, quindi, un incremento di tale valore.

Di seguito si riporta la tabella delle aree di scarpata analizzate

Località	H (m)	A (°)	Area d'influenza Ai	Area d'influenza Ai (m)	FA morf	FA lito	F A 01_05
Picoverde	46	28,7	2/3 H	30.6	1.2		1.2



6.5 Aree potenzialmente instabili per liquefazione

Per quanto attiene alle “Zone di attenzione per le instabilità”, nella Carta delle Mops del I Livello sono state segnalate aree i cui terreni possono potenzialmente dar luogo ad effetti di liquefazione ($Z_{A_{LQ}}$).

Tra le aree potenzialmente instabili per fenomeni di liquefazione, considerato che il territorio comunale è parzialmente assoggettabile a tale effetto cosismico, è stata fatta una prima analisi di approfondimento.

In particolare, le aree alle quali è stata assegnata la possibile instabilità negli studi di livello I per liquefazione sono ubicato nella porzione nord-ovest del territorio comunale e sono aree caratterizzate da depositi sabbiosi e sabbioso/argillosi.

Il fenomeno della “liquefazione” dei terreni interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti sottofalda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. La liquefazione rientra tra gli “effetti di sito”, ovvero tra quel tipo di effetti dovuti all’interazione tra le onde sismiche e le condizioni geologiche locali.

Le principali manifestazioni della liquefazione sono:

- Oscillazioni e rotture del terreno,
- Abbassamenti e sollevamenti del terreno,
- Movimenti orizzontali del terreno,
- Movimento di masse fluide/collasso in pendii naturali o artificiali,
- Perdita di capacità portante delle fondazioni,
- Collasso di opere di sostegno e banchine.

Esistono delle condizioni (fattori predisponenti) che rendono alcuni terreni suscettibili di “liquefazione” ma, affinché questo avvenga, l’azione sismica (fattore scatenante) deve essere tale che, durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno determinino un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio ed inducendo fenomeni di fluidificazione.



Secondo il capitolo 7 delle NTC 2018 un deposito NON risulta liquefacibile quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) $< 0.1g$;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per p.c. suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1n > 180$, dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e $qc1n$ è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

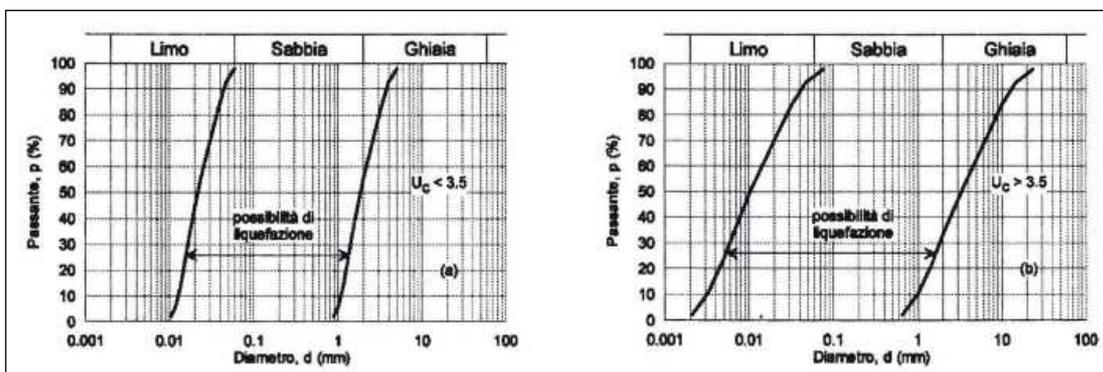


Figura 21 – fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione

Per provare a delimitare le aree suscettibili di liquefazione (e di densificazione, conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali durante e dopo l'evento sismico atteso) sono state utilizzate le informazioni geologiche riportate nella "Carta geologico-tecnica" associandole ad una prima analisi "qualitativa" per la stima del rischio di liquefazione.

Ci sono diversi criteri per valutare qualitativamente la suscettibilità alla liquefazione di un deposito sabbioso, tra cui il "Criterio geologico", il "Criterio di composizione" ed il "Criterio di stato fisico".



Il Criterio geologico tiene conto dell'età e dell'origine del deposito, della profondità della falda, della morfologia e dell'eventuale spessore degli strati sovrastanti non liquefacibili.

A tal proposito, si riportano le seguenti tabelle.

Criterio di Iwasaky et al. (1982)			
Classe	Unità geomorfologica	Potenziale di liquefazione	
A	Letti di fiumi recenti, paleovalvei, paludi, zone bonificate, zone interdunari	Probabile	
B	Conoidi, argini naturali, dune di sabbia, pianure di esondazione, spiagge, altre pianure	Possibile	
C	Terrazzi, colline, montagne	Non Probabile	

Probabilità di liquefazione			
Età del deposito	Profondità della falda		
	< 9 m	9 m ÷ 15 m	> 15 m
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto Bassa
Alto Olocene	Moderata	Bassa	Molto Bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto Bassa
Pleistocene antico e depositi anteriori	Molto Bassa	Molto Bassa	Molto Bassa

Tabella ricostruita dalla Figura 2.4 del testo "La liquefazione dei terreni" – Giulio Riga (2007)					
Età	0-3 m	3-6 m	6-10 m	10-15 m	> 15 m
Pre - Pleistocene	Nulla	Nulla	Nulla	Nulla	Nulla
Pleistocene	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato
Olocene	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato
Tardo Olocene	Molto alto	Molto alto	Moderato	Moderato	Moderato
< 500 anni	Molto alto	Molto alto	Moderato	Moderato	Moderato

Prof. falda dal p.c. (m) 3 6 10 15 20

Rischio di liquefazione

Nulla Basso Moderato Alto Molto alto

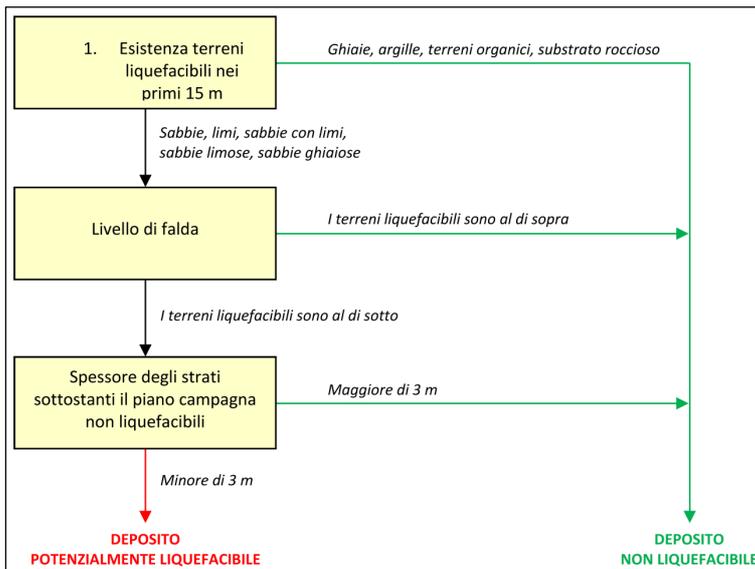


Figura 25 – schema estratto da “microzonazione sismica – uno strumento consolidato per la riduzione del rischio” – par. 5.6 – Figura 5.9 di j. facciorusso; c. Madaia; g. vannucchi, L. martelli.

6.6 Verifiche condotte

Le verifiche di pericolosità alla liquefazione per l'area in esame sono state eseguite secondo il metodo semplificato da profili V_s –di Andrus e Stokoe (1997 in corrispondenza di n. 13 indagini MASW eseguite in zone significative ai fini di verificare il potenziale di liquefacibilità.

La relazione di Andrus e Stokoe è la seguente:

$$R = 0.03 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0.9}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{0.9}{V_{s1}}$$

dove:

V_{s1} (m/s) = velocità delle onde S nello strato corretta = $V_s \left(\frac{1}{\sigma_{v0'}} \right)^{0.25}$, dove

V_s è la velocità misurata e $\sigma_{v0'}$ (kg/cmq) è la pressione verticale efficace a metà strato;

V_{s1c} (m/s) = valore critico delle onde S nel deposito, ricavabile attraverso il seguente schema:

V_{s1c} (m/s)=220 se la percentuale di fine(FC)<5%;

V_{s1c} (m/s)=210 se FC=20%;

V_{s1c} (m/s)=200 se FC>35%;

interpolando per valori intermedi di FC.



6.7 Calcolo dell'indice di Liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice del potenziale di liquefazione (I_L) definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale;

$F = 0$ per $F_s \geq F_s$ di riferimento;

$F = 1 - F_s$ per $F_s < 0.95$

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

$W(z) = 10 - 0.5z$, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di I_L ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella (Somez, 2003):

Tabella 4 – classi di rischio (da Somez, 2003)

I_L	Indice del potenziale di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 2$	Basso
$2 < I_L \leq 5$	Moderato
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Un'altra indicazione è data dalla probabilità di liquefazione definita da Juang et al. (2001) dal valore che assume il parametro PL (Indice di potenziale liquefazione), definito dalla seguente equazione:



$$PL = 1/[1 + (\frac{Fs}{0.73})^{3,4}]$$

Valore PL	SUSCETTIBILITÀ DI LIQUEFAZIONE
PL ≥ 0.85	Liquefazione certa
0.65 < PL < 0.85	Molto probabile
0.35 < PL < 0.65	Eguali possibilità tra liq. e non liq.
0.15 < PL < 0.35	Non probabile
PL < 0.15	Liquefazione incerta

I dati in ingresso delle indagini sulle quali sono state condotte le analisi di verifica alla liquefazione sono riassunti in Tabella 16.

La profondità della falda e la % di frazione fine, non essendo state reperite da indagini su territorio, sono state inserite in input ipotizzando le condizioni più critiche in misura cautelativa.

Tabella 5 – dati in input

Magnitudo (Mw)	5.5
a_{max}/g	0.25
H falda (m)	2
% DI FINE	100

Le indagini di seguito riportate sono ubicate sulla zona 2002 di nuova esecuzione.



MASW 023022L23

Profondità (m)	Vs (m/s)	Peso di volume (t/mc)
2.6	200	1.8
8.6	550	1.8
16.3	660	1.8
21.6	760	1.8

MASW 023022L29

Profondità (m)	Vs (m/s)	Peso di volume (t/mc)
2	220	1.8
19	450	1.8
24	700	1.8

MASW 023022L32

Profondità (m)	Vs (m/s)	Peso di volume (t/mc)
2.3	250	1,8
9.3	450	1,8
14.3	800	1,8

REMI 023022L24

	Vs (m/s)	Peso di volume (t/mc)
5	250	1,8
103	180	1,8

MASW 023022L12

Profondità (m)	Vs (m/s)	Peso di volume (t/mc)
1.2	150	1,8
7.7	380	1,8
12.7	730	1,8

Di seguito si riporta l'indice di liquefacibilità (I_L) calcolato in corrispondenza di ciascun punto analizzato:



MASW	IL	Indice del potenziale di liquefazione
023022L12	0	Molto basso
023022L23	0	Molto basso
023022L24	0	Molto basso
023022L29	0	Molto basso
023022L32	0	Molto basso

Dalle analisi condotte, le Zone di attenzione per Liquefazione indicate nel II e III Livello di MS, presentano un indice del potenziale di liquefazione molto basso in tutte le verticali indagate; tuttavia, dai dati disponibili non si è potuto verificare l'intero areale comunale potenzialmente soggetto a liquefazione.

Per valutare la reale possibilità che tale fenomeno possa innescarsi, dovranno essere eseguite, quindi, specifiche indagini, in fase progettuale delle costruzioni. In particolare, le indagini geognostiche dovranno verificare la composizione del sottosuolo: nel caso che la granulometria dei terreni ed il loro grado di addensamento non consentano di escludere l'insorgere di tale fenomeno, si dovrà procedere alla valutazione del rischio di liquefazione ed alla stima degli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici.

SI RIPORTANO DI SEGUITO LE ELABORAZIONI ESEGUITE CON SOFTWARE DELLA "Geostru Liquiter"



VERIFICA A LIQUEFAZIONE_ MASW 023022L23

Data 06/06/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.16

Fattore amplificazione 0.16

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1.2	1.8	1.9	0	0	0	0	150
2		1.2	1.7	1.8	1.9	0	0	0	0	380
3		1.7	12.7	1.8	1.9	0	0	0	0	730

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	100	Valido
	100	Valido
	100	Valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21

Nr.	Profondità dal p.c.	Pressione litostatica	Pressione verticale	Velocità normalizz	Valore critico di	Coefficiente	Resistenza alla	Sforzo di taglio	Coefficiente di	Suscettibilità di	Indice di liquefazio	Rischio
-----	---------------------	-----------------------	---------------------	--------------------	-------------------	--------------	-----------------	------------------	-----------------	-------------------	----------------------	---------



	(m)	totale (KPa)	effettiva (KPa)	ata Vs1 (m/s)	Vs1 (Vs1c) (m/s)	riduttivo (rd)	liquefazione (CRR)	normalizzato (CSR)	sicurezza Fs	liquefazione	ne	
1	2.20	3.980	2.019	1936.674	200.000	0.983	11.247	0.137	82.28	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	2.40	4.360	0.437	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3	2.60	4.740	-1.144	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	2.80	5.120	-2.725	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	3.00	5.500	-4.307	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	3.20	5.880	-5.888	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	3.40	6.260	-7.469	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	3.60	6.640	-9.051	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	3.80	7.020	-10.632	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10	4.00	7.400	-12.213	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	4.20	7.780	-13.795	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	4.40	8.160	-15.376	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	4.60	8.540	-16.957	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.80	8.920	-18.539	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	5.00	9.300	-20.120	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	5.20	9.680	-21.701	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17	5.40	10.060	-23.283	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	5.60	10.440	-24.864	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	5.80	10.820	-26.445	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20	6.00	11.200	-28.027	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	6.20	11.580	-29.608	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
22	6.40	11.960	-31.189	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso



23	6.60	12.340	-32.771	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
24	6.80	12.720	-34.352	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
25	7.00	13.100	-35.933	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	7.20	13.480	-37.515	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	7.40	13.860	-39.096	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	7.60	14.240	-40.677	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	7.80	14.620	-42.259	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	8.00	15.000	-43.840	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
31	8.20	15.380	-45.421	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	8.40	15.760	-47.003	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	8.60	16.140	-48.584	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	8.80	16.520	-50.165	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	9.00	16.900	-51.747	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	9.20	17.280	-53.328	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	9.40	17.660	-54.909	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
38	9.60	18.040	-56.491	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	9.80	18.420	-58.072	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	10.00	18.800	-59.653	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	10.20	19.180	-61.235	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	10.40	19.560	-62.816	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
43	10.60	19.940	-64.397	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	10.80	20.320	-65.979	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



45	11.00	20.700	-67.560	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	11.20	21.080	-69.141	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	11.40	21.460	-70.723	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
48	11.60	21.840	-72.304	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	11.80	22.220	-73.885	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	12.00	22.600	-75.467	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
51	12.20	22.980	-77.048	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
52	12.40	23.360	-78.629	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
53	12.60	23.740	-80.210	2838.692	200.000	0.982	24.170	0.690	35.02	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



VERIFICA A LIQUEFAZIONE_ MASW 023022L23

DATI GENERALI

Data	06/06/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018	
Fattore sicurezza normativa	1.25
FALDA	
Profondità falda idrica	2 m
DATI SISMICI	
Accelerazione Bedrock	0.16
Fattore amplificazione	0.16

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.5
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	5.5
Peak ground acceleration (PGA)	0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	2.6	1.8	1.9	0	0	0	0	200
2		2.6	8.6	1.8	1.9	0	0	0	0	550
3		8.6	16.6	1.8	1.9	0	0	0	0	660
4		16.6	21.6	1.8	1.9	0	0	0	0	760

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	100	Valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	2.20	3.980	2.019	530.596	200.000	0.983	0.837	0.137	6.13	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	2.40	4.360	0.437	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso



3	2.60	4.740	-1.144	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	2.80	5.120	-2.725	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	3.00	5.500	-4.307	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	3.20	5.880	-5.888	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	3.40	6.260	-7.469	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	3.60	6.640	-9.051	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	3.80	7.020	-10.632	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10	4.00	7.400	-12.213	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	4.20	7.780	-13.795	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	4.40	8.160	-15.376	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	4.60	8.540	-16.957	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.80	8.920	-18.539	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	5.00	9.300	-20.120	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	5.20	9.680	-21.701	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17	5.40	10.060	-23.283	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	5.60	10.440	-24.864	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	5.80	10.820	-26.445	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20	6.00	11.200	-28.027	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	6.20	11.580	-29.608	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
22	6.40	11.960	-31.189	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
23	6.60	12.340	-32.771	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
24	6.80	12.720	-34.352	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



25	7.00	13.100	-35.933	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	7.20	13.480	-37.515	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	7.40	13.860	-39.096	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	7.60	14.240	-40.677	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	7.80	14.620	-42.259	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	8.00	15.000	-43.840	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
31	8.20	15.380	-45.421	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	8.40	15.760	-47.003	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	8.60	16.140	-48.584	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	8.80	16.520	-50.165	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	9.00	16.900	-51.747	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	9.20	17.280	-53.328	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	9.40	17.660	-54.909	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
38	9.60	18.040	-56.491	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	9.80	18.420	-58.072	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	10.00	18.800	-59.653	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	10.20	19.180	-61.235	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	10.40	19.560	-62.816	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
43	10.60	19.940	-64.397	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	10.80	20.320	-65.979	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
45	11.00	20.700	-67.560	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	11.20	21.080	-69.141	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	11.40	21.460	-70.723	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non	0.00	Molto



										suscettibile di liquefazione		basso
48	11.60	21.840	-72.304	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	11.80	22.220	-73.885	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	12.00	22.600	-75.467	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
51	12.20	22.980	-77.048	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
52	12.40	23.360	-78.629	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
53	12.60	23.740	-80.210	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
54	12.80	24.120	-81.792	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
55	13.00	24.500	-83.373	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
56	13.20	24.880	-84.954	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
57	13.40	25.260	-86.536	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
58	13.60	25.640	-88.117	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
59	13.80	26.020	-89.698	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
60	14.00	26.400	-91.280	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
61	14.20	26.780	-92.861	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
62	14.40	27.160	-94.442	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
63	14.60	27.540	-96.024	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
64	14.80	27.920	-97.605	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
65	15.00	28.300	-99.186	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
66	15.20	28.680	-100.768	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
67	15.40	29.060	-102.349	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
68	15.60	29.440	-103.930	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
69	15.80	29.820	-105.512	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso



70	16.00	30.200	-107.093	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
71	16.20	30.580	-108.674	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
72	16.40	30.960	-110.256	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
73	16.60	31.340	-111.837	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
74	16.80	31.720	-113.418	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
75	17.00	32.100	-115.000	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
76	17.20	32.480	-116.581	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
77	17.40	32.860	-118.162	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
78	17.60	33.240	-119.744	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
79	17.80	33.620	-121.325	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
80	18.00	34.000	-122.906	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
81	18.20	34.380	-124.488	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
82	18.40	34.760	-126.069	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
83	18.60	35.140	-127.650	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
84	18.80	35.520	-129.232	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
85	19.00	35.900	-130.813	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
86	19.20	36.280	-132.394	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
87	19.40	36.660	-133.976	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
88	19.60	37.040	-135.557	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
89	19.80	37.420	-137.138	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
90	20.00	37.800	-138.720	777.724	200.000	0.982	1.809	0.690	2.62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



VERIFICA A LIQUEFAZIONE_ MASW 023022L24

Data 06/06/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.16

Fattore amplificazione 0.16

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	5	1.8	1.9	0	0	0	0	250
2		5	10.3	1.8	1.9	0	0	0	0	180
3		10.3	25	1.8	1.9	0	0	0	0	500
4		25	30	1.8	1.9	0	0	0	0	950

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	100	Valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21



Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	2.20	3.980	2.019	663.245	200.000	0.983	1.313	0.137	9.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	2.40	4.360	0.437	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3	2.60	4.740	-1.144	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	2.80	5.120	-2.725	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	3.00	5.500	-4.307	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	3.20	5.880	-5.888	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	3.40	6.260	-7.469	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	3.60	6.640	-9.051	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	3.80	7.020	-10.632	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10	4.00	7.400	-12.213	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	4.20	7.780	-13.795	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	4.40	8.160	-15.376	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	4.60	8.540	-16.957	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.80	8.920	-18.539	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	5.00	9.300	-20.120	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	5.20	9.680	-21.701	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17	5.40	10.060	-23.283	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	5.60	10.440	-24.864	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	5.80	10.820	-26.445	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20	6.00	11.200	-28.027	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	6.20	11.580	-29.608	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



22	6.40	11.960	-31.189	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
23	6.60	12.340	-32.771	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
24	6.80	12.720	-34.352	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
25	7.00	13.100	-35.933	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	7.20	13.480	-37.515	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	7.40	13.860	-39.096	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	7.60	14.240	-40.677	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	7.80	14.620	-42.259	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	8.00	15.000	-43.840	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
31	8.20	15.380	-45.421	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	8.40	15.760	-47.003	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	8.60	16.140	-48.584	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	8.80	16.520	-50.165	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	9.00	16.900	-51.747	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	9.20	17.280	-53.328	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	9.40	17.660	-54.909	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
38	9.60	18.040	-56.491	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	9.80	18.420	-58.072	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	10.00	18.800	-59.653	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	10.20	19.180	-61.235	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	10.40	19.560	-62.816	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
43	10.60	19.940	-64.397	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	10.80	20.320	-65.979	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non	0.00	Molto



										suscettibile di liquefazione		basso
45	11.00	20.700	-67.560	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	11.20	21.080	-69.141	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	11.40	21.460	-70.723	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
48	11.60	21.840	-72.304	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	11.80	22.220	-73.885	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	12.00	22.600	-75.467	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
51	12.20	22.980	-77.048	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
52	12.40	23.360	-78.629	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
53	12.60	23.740	-80.210	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
54	12.80	24.120	-81.792	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
55	13.00	24.500	-83.373	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
56	13.20	24.880	-84.954	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
57	13.40	25.260	-86.536	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
58	13.60	25.640	-88.117	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
59	13.80	26.020	-89.698	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
60	14.00	26.400	-91.280	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
61	14.20	26.780	-92.861	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
62	14.40	27.160	-94.442	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
63	14.60	27.540	-96.024	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
64	14.80	27.920	-97.605	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
65	15.00	28.300	-99.186	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
66	15.20	28.680	-100.768	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso



67	15.40	29.060	-102.349	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
68	15.60	29.440	-103.930	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
69	15.80	29.820	-105.512	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
70	16.00	30.200	-107.093	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
71	16.20	30.580	-108.674	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
72	16.40	30.960	-110.256	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
73	16.60	31.340	-111.837	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
74	16.80	31.720	-113.418	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
75	17.00	32.100	-115.000	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
76	17.20	32.480	-116.581	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
77	17.40	32.860	-118.162	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
78	17.60	33.240	-119.744	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
79	17.80	33.620	-121.325	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
80	18.00	34.000	-122.906	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
81	18.20	34.380	-124.488	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
82	18.40	34.760	-126.069	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
83	18.60	35.140	-127.650	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
84	18.80	35.520	-129.232	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
85	19.00	35.900	-130.813	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
86	19.20	36.280	-132.394	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
87	19.40	36.660	-133.976	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
88	19.60	37.040	-135.557	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



89	19.80	37.420	-137.138	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
90	20.00	37.800	-138.720	972.155	200.000	0.982	2.830	0.690	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



VERIFICA A LIQUEFAZIONE_ MASW 023022L29

Data 06/06/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.16

Fattore amplificazione 0.16

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	2	1.8	1.9	0	0	0	0	220
2		2	7	1.8	1.9	0	0	0	0	410
3		7	12	1.8	1.9	0	0	0	0	820

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	100	Valido
	100	Valido
	100	Valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21



Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	2.20	3.980	2.019	1087.721	200.000	0.983	3.544	0.137	25.93	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	2.40	4.360	0.437	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3	2.60	4.740	-1.144	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	2.80	5.120	-2.725	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	3.00	5.500	-4.307	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	3.20	5.880	-5.888	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	3.40	6.260	-7.469	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	3.60	6.640	-9.051	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	3.80	7.020	-10.632	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10	4.00	7.400	-12.213	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	4.20	7.780	-13.795	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	4.40	8.160	-15.376	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	4.60	8.540	-16.957	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.80	8.920	-18.539	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	5.00	9.300	-20.120	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	5.20	9.680	-21.701	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17	5.40	10.060	-23.283	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	5.60	10.440	-24.864	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	5.80	10.820	-26.445	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



20	6.00	11.200	-28.027	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	6.20	11.580	-29.608	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
22	6.40	11.960	-31.189	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
23	6.60	12.340	-32.771	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
24	6.80	12.720	-34.352	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
25	7.00	13.100	-35.933	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	7.20	13.480	-37.515	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	7.40	13.860	-39.096	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	7.60	14.240	-40.677	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	7.80	14.620	-42.259	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	8.00	15.000	-43.840	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
31	8.20	15.380	-45.421	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	8.40	15.760	-47.003	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	8.60	16.140	-48.584	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	8.80	16.520	-50.165	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	9.00	16.900	-51.747	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	9.20	17.280	-53.328	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	9.40	17.660	-54.909	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
38	9.60	18.040	-56.491	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	9.80	18.420	-58.072	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	10.00	18.800	-59.653	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	10.20	19.180	-61.235	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	10.40	19.560	-62.816	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non	0.00	Molto



										suscettibile di liquefazione		basso
43	10.60	19.940	-64.397	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	10.80	20.320	-65.979	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
45	11.00	20.700	-67.560	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	11.20	21.080	-69.141	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	11.40	21.460	-70.723	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
48	11.60	21.840	-72.304	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	11.80	22.220	-73.885	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	12.00	22.600	-75.467	1594.334	200.000	0.982	7.621	0.690	11.04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



VERIFICA A LIQUEFAZIONE_ MASW 023022L32

Data 06/06/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.16

Fattore amplificazione 0.16

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	2.3	1.8	1.9	0	0	0	0	250
2		2.3	9.3	1.8	1.9	0	0	0	0	450
3		9.3	14.3	1.8	1.9	0	0	0	0	800

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	100	Valido
	100	Valido
	100	Valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21



Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	2.20	3.980	2.019	663.245	200.000	0.983	1.313	0.137	9.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	2.40	4.360	0.437	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3	2.60	4.740	-1.144	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	2.80	5.120	-2.725	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	3.00	5.500	-4.307	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	3.20	5.880	-5.888	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	3.40	6.260	-7.469	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	3.60	6.640	-9.051	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	3.80	7.020	-10.632	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10	4.00	7.400	-12.213	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	4.20	7.780	-13.795	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	4.40	8.160	-15.376	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	4.60	8.540	-16.957	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.80	8.920	-18.539	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	5.00	9.300	-20.120	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	5.20	9.680	-21.701	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17	5.40	10.060	-23.283	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	5.60	10.440	-24.864	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	5.80	10.820	-26.445	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20	6.00	11.200	-28.027	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	6.20	11.580	-29.608	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



22	6.40	11.960	-31.189	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
23	6.60	12.340	-32.771	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
24	6.80	12.720	-34.352	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
25	7.00	13.100	-35.933	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	7.20	13.480	-37.515	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	7.40	13.860	-39.096	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	7.60	14.240	-40.677	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	7.80	14.620	-42.259	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	8.00	15.000	-43.840	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
31	8.20	15.380	-45.421	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	8.40	15.760	-47.003	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	8.60	16.140	-48.584	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	8.80	16.520	-50.165	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	9.00	16.900	-51.747	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	9.20	17.280	-53.328	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	9.40	17.660	-54.909	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
38	9.60	18.040	-56.491	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	9.80	18.420	-58.072	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	10.00	18.800	-59.653	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	10.20	19.180	-61.235	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	10.40	19.560	-62.816	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
43	10.60	19.940	-64.397	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	10.80	20.320	-65.979	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non	0.00	Molto



										suscettibile di liquefazione		basso
45	11.00	20.700	-67.560	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	11.20	21.080	-69.141	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	11.40	21.460	-70.723	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
48	11.60	21.840	-72.304	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	11.80	22.220	-73.885	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	12.00	22.600	-75.467	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
51	12.20	22.980	-77.048	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
52	12.40	23.360	-78.629	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
53	12.60	23.740	-80.210	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
54	12.80	24.120	-81.792	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
55	13.00	24.500	-83.373	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
56	13.20	24.880	-84.954	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
57	13.40	25.260	-86.536	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
58	13.60	25.640	-88.117	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
59	13.80	26.020	-89.698	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
60	14.00	26.400	-91.280	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
61	14.20	26.780	-92.861	1749.879	200.000	0.982	9.181	0.690	13.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
62	14.40	0.000	0.000									

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



6.8 FAGLIA INVERSA PRESUNTA.

Negli studi di Microzonazione di 1° livello del territorio di Sommacampagna è riportato un solo elemento strutturale e tettonico con direzione SW – NE (Gomito del Garda); si tratta della terminazione orientale di una faglia inversa presunta estesa per alcuni chilometri che interesserebbe la porzione Sud Ovest del comune, sepolta e non rilevabile in superficie.

A tale proposito è stato condotto un rilevamento di dettaglio nella zona con il fine di individuare evidenze in superficie (fratture, dissesti presenti su strade, fabbricati, con un buffer di circa 100 m a cavallo delle lineazioni tettoniche).

In Figura 26 si mostra il rilevamento eseguito sulla presunta fagliazione

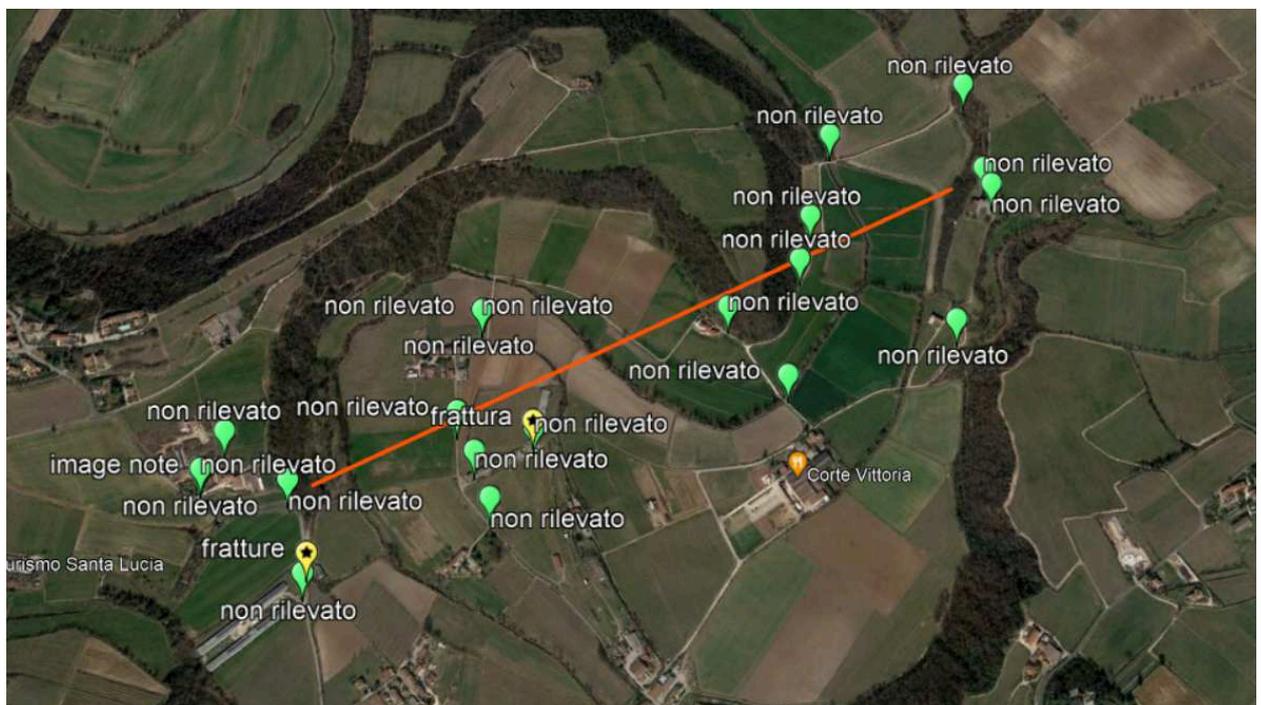


Figura 26 Verifica delle evidenze sul territorio della presunta faglia.

Dallo stralcio in Figura 26 si evince che nell'intorno del piano di faglia sono stati analizzati n. 22 stop totali di cui soltanto 2 hanno mostrato fratture sospette (riportate in arancione)



Si riporta, a seguire, una tabella di sintesi con le coordinate degli stop effettuati.

Tabella 6

Faglia presunta Sommacampagna				
N° Stop	N° Frattura	Latitudine	Longitudine	Sospetta
1		45.380775°	10.776114°	Si
2		45.380439°	10.776167°	No
3		45.381893°	10.775159°	No
4		45.381712°	10.773111°	No
5		45.382431°	10.773386°	No
6		45.390236°	10.785881°	No
7		45.388637°	10.785887°	No
8		45.387789°	10.785890°	No
9		45.386644°	10.784435°	No
10		45.385588°	10.778506°	No
11		45.385588°	10.778506°	No
12		45.383864°	10.780499°	Si
13		45.385588°	10.778506°	No
14		45.383728°	10.778620°	No
15		45.383124°	10.779303°	No
16		45.383744°	10.780569°	No
17		45.382412°	10.779981°	No
18		45.385688°	10.786283°	No
19		45.387332°	10.790018°	No
20		45.389912°	10.790148°	No
21		45.390180°	10.789869°	No
22		45.391716°	10.788921°	No

In Figura 27 si riporta uno zoom della zona rilevata nel territorio comunale di Sommacampagna in cui si evidenziano le fratture sospette rilevate n. 1 e 2 associate agli stop n° 1 e 12.



Figura 27 dettaglio aree rilevate con fratture

A seguire si allegano le foto scattate durante il rilevamento:

- **Stop 1: frattura rilevata sul manto stradale a circa 175 metri dalla linea di faglia presunta.**





- **Stop 2: nessuna evidenza significativa**





- **Stop 3 nessuna evidenza significativa**





- Stop 4 nessuna evidenza significativa





- **Stop 5 nessuna evidenza significativa**





- Stop 6 nessuna evidenza significativa





- Stop 7 nessuna evidenza significativa





- Stop 8 nessuna evidenza significativa





- Stop 9 nessuna evidenza significativa





- **Stop 10 nessuna evidenza significativa**





- Stop 11 nessuna evidenza significativa





- **Stop 12 frattura rilevata nella struttura**





- **Stop 13 nessuna evidenza significativa**



- **Stop 14 nessuna evidenza significativa**





- **Stop 15 nessuna evidenza significativa**



- **Stop 16 nessuna evidenza significativa**





- **Stop 17 nessuna evidenza significativa**





- Stop 18 nessuna evidenza significativa





- **Stop 19 nessuna evidenza significativa**





- **Stop 20 nessuna evidenza significativa**



- **Stop 21 nessuna evidenza significativa**





- **Stop 22 nessuna evidenza significativa**



Dal rilievo dettagliato del territorio si evince che le fratture fotografate e riportate in questo studio possano non essere riconducibili a movimenti tettonici, ma piuttosto al passaggio di sottoservizi o al normale disfacimento dell'asfalto; inoltre, la faglia presunta indicata nello studio di livello 1 attraversa per la maggior parte terreni suscettibili a liquefazione pertanto le fratture indicate in nello stop 1 e 12 potrebbero essere riconducibili a cedimenti differenziali.

In base agli elementi attualmente rilevati, si esclude la presenza di una faglia attiva e capace.



7.0 PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE

Prescrizione normativa

Nel territorio comunale tutti gli interventi che prevedono nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni ed opere infrastrutturali dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” ed alle eventuali ss.mm.ii. relative agli argomenti specifici.

In considerazione della situazione sismica e geologica del territorio comunale, contraddistinto da condizioni litostratigrafiche predisponenti l'amplificazione e dal rischio potenziale di sismi di magnitudo medio-elevata, si è ritenuto opportuno definire il grado di approfondimento delle indagini sismiche, da effettuare in sede di progetto, sia in base alla tipologia di terreno interessato sia in riferimento alla classificazione degli edifici prevista dalle N.T.C. 2018 ed alla normativa regionale inerente gli edifici e le opere di interesse strategico ai fini di Protezione Civile e rilevanti per l'uso.

Tale scelta deriva dall'analisi delle condizioni locali in cui appare evidente una significativa variabilità delle condizioni litostratigrafiche che devono, di conseguenza, essere verificate e confermate in fase di progetto.

La “Carta di Microzonazione Sismica” (MS) contenuta nello studio di 2 ed eventuale 3 Livello di Microzonazione Sismica” distingue le seguenti zone sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e individua le necessarie indagini e analisi di approfondimento:

- a) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. Nella “Carta di Microzonazione Sismica” (MS) contenuta nello studio di II Livello di Microzonazione Sismica si è valutata la distribuzione dei fattori di amplificazione in caso di sisma; in particolare, le aree esaminate sono risultate stabili ma suscettibili di amplificazioni sismiche per effetti litologico-stratigrafici e topografici. Tale scelta deriva dall'analisi delle condizioni locali in cui appare evidente una significativa variabilità delle condizioni litostratigrafiche che devono, di conseguenza, essere verificate e confermate in fase di progetto. Lo studio di Microzonazione Sismica, basato sui Fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere, quindi, utilizzato come approccio preliminare per stimare la possibile risposta sismica locale e per programmare la tipologia di indagini necessarie da effettuare in sede esecutiva. La scelta della tipologia e la metodologia di indagine dovrà, quindi, essere commisurata all'importanza dell'opera ed adeguatamente motivata.
- b) zone suscettibili di instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. Alcune aree del territorio comunale potrebbero essere potenzialmente soggette alle seguenti criticità
 - i. aree caratterizzate da fenomeni di instabilità per liquefazione,
 - ii. aree caratterizzate da fenomeni di instabilità di versante;
 - iii. Aree caratterizzate da faglie attive e capaci.

Prescrizioni generali per le zone a e b

Per tutte le aree in cui il territorio è stato classificato suddiviso distinto nelle due zone a e b, è necessario che in fase di progettazione edilizia, considerata anche la classificazione sismica del territorio comunale, si ritiene necessario che la Relazione geologico geotecnica sismica prevista dalla normativa vigente venga approfondita con gli aspetti sismiche che tengano conto delle seguenti condizioni:

- **Condizione a)**: utilizzo dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nello studio di Microzonazione Sismica di 1,2, ed eventuale 3 livello;
- **Condizione b)**: verifica dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nello studio di Microzonazione Sismica ed applicazione di metodi semplificati ed abachi per valutare i fattori di amplificazione locale.



Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018 al paragrafo 3.2.2 "Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La determinazione della velocità delle onde di taglio Vs, dovrà essere fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole, cono sismico) o in superficie (MASW, Re.Mi., ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive ed eseguire, quindi, 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 guida del Progetto SESAME;

- **Condizione c):** Analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3 del DM 17.01.2018. Risposta sismica e stabilità del sito: "per categorie speciali di sottosuolo (tabella 3.2.III), 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 DM 17.01.2018, al quale si rimanda. In questa sede, oltre a quanto previsto dalla normativa, si vuole sottolineare la necessità di eseguire le seguenti indagini, che verranno individuate dal geologo incaricato, per una corretta modellazione:
 - o Esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse unità geotecniche;
 - o Prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad una idonea profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il "bedrock sismico";
 - o Prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidità e dello smorzamento dal 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.



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 ed all'utilizzo. (rispetto a quanto riportato nel D.M. 17.01.2018, nella classificazione illustrata di seguito la classe II è stata suddivisa in due sottoclassi distinte). Su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati nei paragrafi successivi.

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per queste costruzioni si prevede l'applicazione della condizione a);
- **Classe IIa:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Esclusi i complessi residenziali/commerciali ed industriali strutturalmente consistenti, le opere infrastrutturali di maggiore importanza, le industrie con attività non pericolose per l'ambiente, i ponti, le opere infrastrutturali, le reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, le reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e infine le dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Per queste costruzioni si prevede l'applicazione della condizione b);
- **Classe IIb:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Compresi i complessi residenziali/commerciali ed industriali strutturalmente consistenti, le opere infrastrutturali di maggiore importanza, le industrie con attività non pericolose per l'ambiente, i ponti, le opere infrastrutturali, le reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, le reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e infine le dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Per queste costruzioni si prevede l'applicazione della condizione 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. Per queste costruzioni si prevede l'applicazione della condizione c);
- **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. Per queste costruzioni si prevede l'applicazione della condizione c).

Prescrizioni specifiche per le zone b

Aree potenzialmente instabili per liquefazione

In alcune aree del territorio comunale è stata attribuita nel 1 livello la potenziale instabilità per liquefazione; nel 2 livello è stata verificata la suscettibilità alla liquefazione con i metodi semplificati i cui risultati non hanno reso necessario l'approfondimento di 3 livello.

Tuttavia, considerando la geometria tipologica del progetto specifico e la sua classe d'uso oltre che la possibile variabilità laterale e verticale dei terreni che compongono il sottosuolo delle aree investigate, si stabilisce che per tutti gli edifici e le strutture che ricadono all'interno delle “Zone suscettibili di instabilità per liquefazione”, sia da valutare con una Verifica a liquefazione sito-specifica e con indagini geologiche mirate valutate dal geologo incaricato.

La verifica sarà fatta con valutazione in condizioni sismiche e dei cedimenti indotti, come indicato nel DM 17.01.2018 al paragrafo 7.11.3.4.3 “Stabilità nei confronti della liquefazione” che infatti recita: “...salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla



liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."

Nell'eventualità che le verifiche eseguite con metodi semplificati portino a determinare un rischio di liquefazione elevato ($IL > 5$), le analisi dovranno essere condotte con procedure di Livello 3.

Aree potenzialmente instabili per instabilità di versante

Considerando la geometria tipologica del progetto specifico e la sua classe d'uso oltre che la geometria del versante e la stratificazione e la natura dei terreni presenti, delle aree investigate, si stabilisce che per tutti gli edifici e le strutture che ricadono all'interno delle "Zone suscettibili di instabilità per instabilità di versante" dovrà essere verificata la stabilità complessiva del pendio e del complesso opera-terreno, sia in condizioni statiche che dinamiche prevedendo tutti quegli interventi che consentano di rendere complessivamente stabile il sito anche in condizioni di sisma in atto.

Laddove si individuino condizioni particolari per la presenza di creste o scarpate si prevede la verifica puntuale come previsto dalla normativa vigente, di:

- le condizioni topografiche locali,
- l'amplificazione morfologica ricalcolata e considerata, se presente tale amplificazione, in aggiunta alla amplificazione litostratigrafica (l'amplificazione complessiva è generata dal prodotto delle due singole componenti).

Aree instabili caratterizzate da presenza di faglia attiva e capace

1° CASO: ACCERTATA L'ASSENZA DI FAC

Nel territorio oggetto di studio è stata individuata nel 1 livello la presenza di zone interessate da faglie attive e capaci. Nel secondo/terzo livello è stata studiata la zona di attenzione e gli elementi individuati hanno permesso di eliminare questa zona d'instabilità, per cui si rimanda alle prescrizioni generali della Zona a: zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.



8.0 ELABORATI CARTOGRAFICI

A corredo dello studio sono state elaborate le seguenti carte in scala 1:10.000:

1. Carta delle indagini
2. Carta di Microzonazione Sismica

Le stesse saranno consegnate in formato cartaceo e digitale. Negli elaborati proposti vengono riportati i dati e le simbologie, secondo quanto espresso nelle specifiche tecniche degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4.2”.

8.1 Carta delle indagini

Questo elaborato, realizzato in scala 1: 10.000, e suddiviso in due settori in modo da far rientrare interamente l’area comunale, ha lo scopo di raccogliere le indagini (sia pregresse sia realizzate ex novo), in modo da avere dati di partenza da cui elaborare e delimitare le diverse zone stabili, suscettibili di amplificazioni locali o suscettibili di instabilità.

Nella Carta delle Indagini sono state segnalate le diverse indagini geologico-tecniche e geofisiche effettuate sul territorio comunale di Sommacampagna. Queste indagini sono state, inoltre, codificate come dettato dagli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.2 all’interno di sei tipologie di tabelle (estratte dai relativi DB):

- **Sito_puntuale:** per ogni punto sulla carta esiste una tabella con la sua localizzazione geografica e la data in cui è stata eseguita la prova;
- **Indagini_puntuali:** Per ogni indagine puntuale vengono descritte la tipologia delle indagini e la profondità totale indagata;
- **Parametri_puntuali:** per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato;
- **Sito_lineare:** per ogni sito lineare sulla carta esiste una tabella con la localizzazione geografica dei suoi vertici e la data in cui è stata eseguita la prova;
- **Indagini_lineari:** Per ogni indagine lineare vengono descritte la tipologia dell’indagine;
- **Parametri_lineari:** per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato.



Nella carta sono rappresentati:

TIPOLOGIA INDAGINI PREGRESSE	TIPOLOGIA	SIGLA	QUANTITA'
Microtremore a stazione singola	Puntuale	HVSR	111
Trincea	Puntuale	T	2
Pozzo per acqua	Puntuale	PA	10
Sondaggio a carotaggio continuo	Puntuale	S	5
Indagini MASW	Lineare	MASW	10
REMI	Lineare	REMI	50

Di seguito lo stralcio cartografico





8.2 Carta di Microzonazione Sismica

La D.G.R.V. n. 1572 del 03.09.2013 “Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)”, stabilisce che per definire la Carta di Microzonazione Sismica, il territorio comunale venga suddiviso nelle seguenti aree:

- **aree “stabili”**: nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico posto a profondità inferiore a 3 metri con morfologia piano parallela semipianeggiante);
- **aree “stabili suscettibili di amplificazioni sismiche”**: nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- **aree “suscettibili di instabilità”**: nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

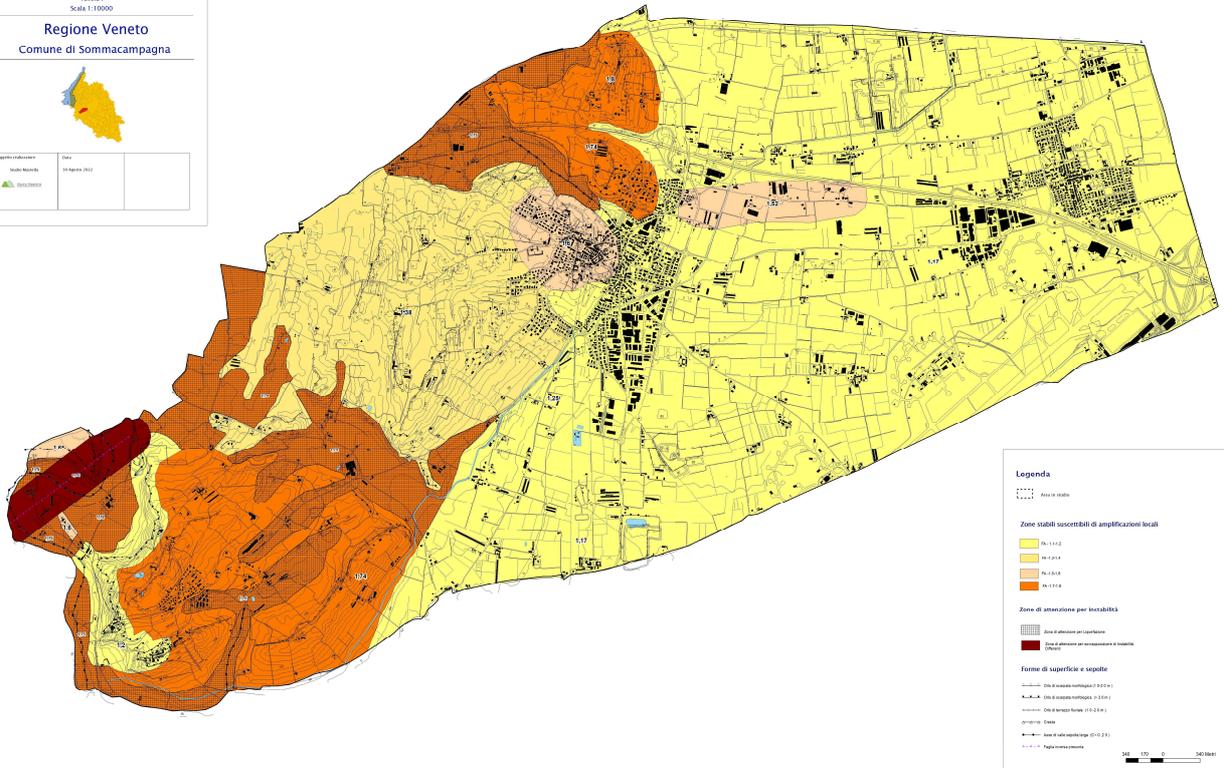
Nell'Allegato A alla DGRV n. 1572/2013 “Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica” sono specificate più in dettaglio queste tre categorie.

Le risultanze dello studio di Microzonazione Sismica di II e III Livello hanno permesso di stabilire che nell'ambito del territorio comunale di Sommacampagna non esistono aree classificate come Aree “stabili”; sono state invece identificate zone stabili ma suscettibili di amplificazione sismiche per effetti morfologici e litostratigrafici. L'individuazione dei fattori di amplificazione di tali aree è avvenuta avvalendosi degli abachi.

Sono state inoltre evidenziate zone di instabilità relative a fenomeni di liquefazione e ad instabilità differenti.

L'instabilità di tipo differente corrisponde ad un buffer di 10 metri delimitato in corrispondenza della linea di faglia presunta che insiste per la maggior parte su depositi soggetti a liquefazione.

Di seguito lo stralcio cartografico



8.3 CONCLUSIONI

Nel territorio oggetto del presente studio tutti gli interventi che prevedono nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni ed opere infrastrutturali dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” ed alle eventuali ss.mm.ii. relative agli argomenti specifici.

Il presente studio di Microzonazione Sismica ha consentito di valutare la distribuzione dei fattori di amplificazione in caso di sisma.

In particolare:

- le aree esaminate sono risultate stabili ma suscettibili di amplificazioni **sismiche per effetti morfologici e litostratigrafici**. Per gli interventi posti all'interno di tali aree, così come definite dall'Allegato A della DGRV n. 1572/2013, dovranno essere verificate puntualmente le condizioni topografiche locali. Dovrà essere eventualmente ricalcolata l'amplificazione morfologica e considerata, se presente, in aggiunta alla amplificazione litostratigrafica (l'amplificazione complessiva è generata dal prodotto delle due singole componenti).



- Per quanto concerne invece le aree in cresta, non si è reso opportuno approfondire tali aree attraverso l'utilizzo degli abachi in quanto al limite con le caratteristiche minime di applicabilità degli stessi.

- Relativamente alle aree di instabilità per liquefazione, dalle analisi condotte, le Zone di attenzione per Liquefazione indicate nel II e III Livello di MS, presentano un indice del potenziale di liquefazione molto basso in tutte le verticali indagate; tuttavia, dai dati disponibili non si è potuto verificare l'intero areale comunale potenzialmente soggetto a liquefazione. Per valutare la reale possibilità che tale fenomeno possa innescarsi, dovranno essere eseguite, quindi, specifiche indagini, in fase progettuale delle costruzioni.

In particolare, le indagini geognostiche dovranno verificare la composizione del sottosuolo: nel caso che la granulometria dei terreni ed il loro grado di addensamento non consentano di escludere l'insorgere di tale fenomeno, si dovrà procedere alla valutazione del rischio di liquefazione ed alla stima degli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici.

- Relativamente alla faglia presunta individuata nella porzione ovest del territorio comunale è stato condotto un rilievo dettagliato del territorio in cui si evince che le fratture fotografate e riportate possano non essere riconducibili a movimenti tettonici, ma piuttosto al passaggio di sottoservizi o al normale disfacimento dell'asfalto; inoltre, essendo la linea di faglia ubicata per la maggior parte su terreni di copertura, nel dettaglio in zone instabili per liquefazione, le fratture individuate e descritte nei paragrafi potrebbero essere riconducibili a cedimenti differenziali.

In base agli elementi attualmente rilevati, si esclude la presenza di una faglia attiva e capace. Il sito è stato indicato come Zona di attenzione per instabilità differenti.

Per valutare la reale possibilità che possano innescarsi fenomeni di instabilità differenti, dovranno essere eseguite, quindi, specifiche indagini, in fase progettuale delle costruzioni. In particolare, le indagini geognostiche dovranno verificare la composizione del sottosuolo.



9. BIBLIOGRAFIA

BURRATO, POLI, VANNOLI 2008 SOURCES OF MW 5+ EARTHQUAKES IN NORTHEASTERN ITALY AND WESTERN SLOVENIA: AN UPDATED VIEW BASED ON GEOLOGICAL AND SEISMOLOGICAL EVIDENCE.

CASTELLARO S., MULARGIA F., BIANCONI L. (2005): STRATIGRAFIA SISMICA PASSIVA: UNA NUOVA TECNICA ACCURATA VELOCE ED ECONOMICA. GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE, N. 3, PP. 76-102.

CPTI CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI INGV, ROMA

DISS 3.1.0, DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENETIC SOURCES, INGV, ROMA:
[HTTP://DISS.RM.INGV.IT/DISS](http://DISS.RM.INGV.IT/DISS)

GALADINI F., MELETTI C. AND VITTORI E.; 2001: MAJOR ACTIVE FAULTS IN ITALY: AVAILABLE SURFICIAL DATA. GEOL. EN MIJN. (NETHERLANDS JOURNAL OF GEOSCIENCES), 80, 273-296.

GALADINI F., POLI M. E. AND ZANFERRARI A.; 2005: SEISMOGENIC SOURCES POTENTIALLY RESPONSIBLE FOR EARTHQUAKES WITH $M \geq 6$ IN THE EASTERN SOUTHERN ALPS (THIENE-UDINE SECTOR, NE ITALY). GEOPHYS. J. INT., 161, 739-762.

E. GUIDOBONI, G. FERRARI, D. MARIOTTI, A. COMASTRI, G. TARABUSI, G. VALENSISE. CFTI CATALOGO DEI FORTI TERREMOTI IN ITALIA 461 B.C. – 1997

IBS VON SEHT M., WOHLBERG J. (1999): MICROTREMOR MEASUREMENTS USED TO MAP THICKNESS OF SOFT SEDIMENTS. BULL. SEISM. SOC. AM. 89, PP. 250-259.

ILICETO V., PERUZZA L., ROVELLI A., SLEJKO D. (2002): LA DIFESA DAI TERREMOTI MEDIANTE ZONAZIONE SISMICA: SINERGIE FRA PROTEZIONE CIVILE E PIANI REGOLATORI. GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE, N. 3, PP. 15-36. DOGLIONI C, BOSELLINI A. (1987) – EOALPINE E MESOALPINE TECTONICS IN THE SOUTHERN ALPS. GEOL. RUNDSCH., 76, PAGES 735-754.

ILICETO V., BOAGA J. (2005): DETERMINISTIC EARTHQUAKE SCENARIOS AND SITE EFFECTS ESTIMATION FOR S. MICHELE AL TAGLIAMENTO (VE)-ITALY. PROC. OF THE 5TH FORUM NAZIONALE DI SCIENZE DELLA TERRA, GEOITALIA 2005, 20-23 SEPT. 2005, SPOLETO.

ILICETO V., BOAGA J. (2005): INFLUENZA DELLE GEOSTRUTTURE NELLA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO: IL CASO DELLA VAL D'ADIGE. ATTI DEL WORKSHOP DI GEOFISICA: "LA GEOFISICA A SERVIZIO



DELL'AMBIENTE E DEI BENI CULTURALI, CON ATTENZIONE ALLE PROBLEMATICHE IN AMBITO MONTANO", ROVERETO (TN), 9-12-2005.

ITHACA BANCA DATI ACCELEROMETRICA ITALIANA, INGV, MILANO: [HTTP://ITACA.MI.INGV.IT/ITACANET](http://itaca.mi.ingv.it/itacanet)

KOHLER A., OHRNBERGER M., SCHERBAUM F., STANGE S., KIND F. (2004): AMBIENT VIBRATION MEASUREMENTS IN THE SOUTHERN RHINE GRABEN CLOSE TO BASEL. ANNALS OF GEOPH. 47, N. 6, PP. 1771-1781.

KONNO K., OMACHI T. (1998): GROUND MOTION CHARACTERISTICS ESTIMATED FROM SPECTRAL RATIO BETWEEN HORIZONTAL AND VERTICAL COMPONENTS OF MICROTREMORS. BULL. SEISM. SOC. AM. 88, PP. 228-241.

LACHET C, BARD P.-Y. (1994): NUMERICAL AND THEORETICAL INVESTIGATIONS ON THE POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF NAKAMURA'S TECHNIQUE. J. PHYS. EARTH 42, PP. 377-397.

C. MELETTI, G. VALENSISE: ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 – APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA. MARZO 2004

MELLI M., 2007: STUDIO GEOLOGICO E RELATIVA CARTOGRAFIA ALLEGATI ALLA DOCUMENTAZIONI DEL PATI DEI COMUNE DI SOMMACAMPAGNA

D. MOLIN, M. STUCCHI E G. VALENSISE: MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. GNDT. ING, SSN – 1996

NAKAMURA Y. (1989): A METHOD FOR DYNAMIC CHARACTERISTICS ESTIMATION OF SUBSURFACE USING MICROTREMORS ON THE GROUND SURFACE. QUATERLY REPT. RTRI, JAPAN 33, PP. 25-33.

NOGOSHI M., IGARASHI T. (1970): ON THE PROPAGATION CHARACTERISTICS OF THE MICROTREMORS. J. SEISM. SOC. JAPAN 24, PP. 24-40.

NT4.1 CATALOGO PARAMETRICO DI TERREMOTI DI AREA ITALIANA AL DI SOPRA DELLA SOGLIA DEL DANNO, INGV, MILANO

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.



PERUZZA L., POLI M.E., REBEZ A., RENNER G., ROGLEDI S., SLEJKO D. AND ZANFERRARI A.; 2002: THE 1976-1977 SEISMIC SEQUENCE IN FRIULI: NEW SEISMOTECTONIC ASPECTS. MEM. SOC. GEOL. IT., 57, 391-400.

POLI M.E., P. BURRATO, F. GALADINI E A. ZANFERRARI, 2008 SEISMOGENIC SOURCES RESPONSIBLE FOR DESTRUCTIVE EARTHQUAKES IN NORTH-EASTERN ITALY , INGV ROMA

SERVA L., 1990: IL RUOLO DELLE SCIENZE DELLA TERRA NELLE ANALISI DI SICUREZZA DI UN SITO PER ALCUNE TIPOLOGIE DI IMPIANTI INDUSTRIALI: IL TERREMOTO DI RIFERIMENTO PER IL SITO DI VIADANA (MN). BOLL. SOC. GEOL. IT., 109, 375-411

SESAME PROJECT AA.VV. [HTTP://SESAME-FP5.OBS.UJF-GRENOBLE.FR/SES_REPORTS.HTM](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/ses_reports.htm)

M. SUGAN E L. PERUZZA: DISTRETTI SISMICI DEL VENETO. BOLLETTINO DI GEOFISICA TEORICA ED APPLICATA VOL. 52 SUPPLEMENT - OGS - 2011

D. SLEJKO, G.B. CARULLI, F. CARRARO, D. CASTALDINI, A. CAVALLIN, C. DOGLIONI, V. ILCETO, R. NICOLICH, A. REBEZ, E. SEMENZA, A. ZANFERRARI E C. ZANOLLA : MODELLO SISMOTETTONICO DELL'ITALIA NORD-ORIENTALE. C. N. R. – GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI. TRIESTE 1987

ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETT F. AND SAURO U.; 1982: EVOLUZIONE NEOTETTONICA DELL'ITALIA NORD-ORIENTALE. MEM. DI SC. GEOL., 35, 355376.

[HTTPS://IDT2.REGIONE.VENETO.IT/IDT/DOWNLOADER/DOWNLOAD](https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download) (PER DATI CARTOGRAFICI E GEOLOGICI REGIONALI);

[HTTP://MAPSERVER.IUAV.IT/WEBSITE/FOTO_AEREE/](http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/) (PER LA CONSULTAZIONE DELLE FOTO AEREE);

[HTTP://CNT.RM.INGV.IT](http://cnt.rm.ingv.it) (CATALOGO ISIDE PER I TERREMOTI RECENTI)

[HTTPS://EMIDIUS.MI.INGV.IT/CPTI15-DBMI15/](https://emidius.mi.ingv.it/cpti15-dbmi15/) (DATABASE MACROSISMICO ITALIANO)

INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA APPROVATI DALLA CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME (13.11.2008).

STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA – SPECIFICHE TECNICHE PER LA REDAZIONE DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA – VERSIONE 4.2; COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.