REGIONE DEL VENETO

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Livello II

## Relazione Illustrativa

## Regione Veneto

### Comune di San Giorgio in Bosco

| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| | STUDIO ASSOCIATO GEODELTA<br>Dott. Geol. Jacopo De Rossi<br>COLLABORATORI:<br>Dott. Geol. Francesco Marinoni | Dicembre 2023 |

**1. PREMESSA ..... 2**

**2. CARTA DELLE INDAGINI - AGGIORNAMENTO ..... 4**

**2.1 Nuove indagini geofisiche ..... 5**

**3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI ..... 8**

**4. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO ..... 10**

**4.1 Premessa ..... 10**

**4.2 Valutazione degli effetti litostratigrafici ..... 11**

**4.3 Valutazione del fenomeno della liquefazione ..... 13**

4.3.1 Generalità ..... 13

4.3.2 Metodi per la stima del Rapporto di Resistenza Ciclica (CRR) ..... 15

4.3.3 Indici di severità alla liquefazione ..... 16

**4.4 Zone interessate da comportamenti differenziali ..... 19**

**4.5 Faglie attive e capaci ..... 19**

**5. SINTESI DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE DI 2° LIVELLO ..... 20**

**6. PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE ..... 21**

6.1 Amplificazioni litostratigrafiche ..... 21

6.1.1 Modalità di applicazione degli approfondimenti ..... 21

6.3 Zone suscettibili di instabilità per liquefazione ..... 24

6.4 Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali ..... 25

## 1. PREMESSA

Su incarico del Comune di San Giorgio in Bosco è stato redatto lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2, relativamente all'intero territorio comunale. Lo studio è stato predisposto ai sensi della DGR 1572/2013: "*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)*" e dello specifico Allegato A): "*Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica*".

A tale proposito, il capitolo 1 dell'Allegato A) cita "***2° Livello: ha come obiettivo la redazione della MS e si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati 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".*** Inoltre la DGRV 899/2019 specifica che ***"in particolare deve essere applicato anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale e in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali."***

Lo studio di livello 2 fa riferimento allo studio di Microzonazione di Livello 1 del Comune di San Giorgio in Bosco (al quale si rimanda per tutte le informazioni di carattere generale e per quelle riguardanti le indagini raccolte e realizzate in quella sede) ed è stato redatto seguendo le seguenti direttive oltre la DGRV citata in precedenza:

- **"*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*"** – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile - Anno 2008.
- **"*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*** - *Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica*" Ver 4.1 Novembre 2018 - Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica.
- **"*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)*"** Vers. 1.0 - 2015 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.
- **"*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)*"** Vers. 1.0 - 2017 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.
- **DGRV n. 899 del 28 giugno 2019**: "*Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Chiarimenti e precisazioni sulle modalità operative. Studi di Microzonazione Sismica Direttive per l'applicazione dei livelli di approfondimento.*
- **DGRV n. 1381 del 12 ottobre 2021:** *"Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Modifiche alla D.G.R. 1572/2013 e chiarimenti sulle modalità applicative."*

- **Circolare Regione Veneto** – Direzione Difesa del Suolo e della Costa - del **16 febbraio 2022** prot. N. 71886: "*Chiarimenti sulle modalità di applicazione delle Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica nel territorio regionale".*

Lo studio di Livello 2 si è articolato nelle seguenti fasi principali:

- Riesame dello studio di Livello 1 per definire le aree di maggiore interesse o dove si rendevano necessari degli approfondimenti;
- Ricerca di nuovi dati litostratigrafici da indagini geognostiche
- Esecuzione ed elaborazione di nuove indagini geofisiche;
- Sintesi di tutti i dati raccolti;
- Valutazione degli effetti litologici e morfologici;
- Analisi delle zone soggette a potenziale liquefazione;
- Elaborazione della cartografia e relativi commenti.

## 2. CARTA DELLE INDAGINI - AGGIORNAMENTO

Nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 sono state effettuate nuove indagini geofisiche e sono state censite ulteriori indagini geognostiche e geofisiche pregresse. Nelle tabelle seguenti e nella "Carta delle indagini" sono state inserite tutte le indagini geofisiche (sia quelle realizzate in precedenza, sia quelle realizzate ex novo) e tutte le indagini geognostiche censite.

Il codice delle nuove indagini riparte dalla numerazione precedente, in modo tale da non creare sovrapposizioni e/o doppi codici che avrebbero creato difficoltà di interpretazione. Le valutazioni e le analisi eseguite nel presente studio hanno tenuto conto anche delle indagini precedenti.

Per lo studio di MS2 sono state eseguite e raccolte n. 36 indagini puntuali (la numerazione progredisce da P240 a P275) e n. 10 indagini lineari (la numerazione progredisce da L14 a L23).

Per quanto riguarda le indagini puntuali si possono suddividere le seguenti tipologie:

- HVSR Prova microtremore a stazione singola (tot. n. 11)*
- CPT Prova penetrometrica statica (n. 20)**
- CPTU Prova penetrometrica statica con piezocono (n. 5)***

*(*) di cui 9 eseguite specificatamente per lo studio di MS livello 2*

*(**) di cui 5 eseguite specificatamente per lo studio di MS livello 2*

*(***) di cui 3 eseguite specificatamente per lo studio di MS livello 2*

Per quanto riguarda le indagini lineari si possono suddividere le seguenti tipologie:

- MASW Prova Multichannel Analysis of Surface Waves (n. 10)*

*(*) di cui 7 eseguite specificatamente per lo studio di MS livello 2*

Le indagini selezionate sono riportate nella Carta delle Indagini ove, oltre al simbolo identificativo della tipologia, è stato anche riportato il codice identificativo per una loro più facile collocazione nell'ambito di ogni area. Nella Carta, per rendere la lettura più chiara, compare il codice con l'esclusione dei primi sei caratteri (uguali per tutte le indagini e corrispondenti a 028076) relativi al codice ISTAT della Provincia di Padova e del Comune di San Giorgio in Bosco. I risultati delle indagini geofisiche realizzate nel corso del presente studio sono state inserite nell'Allegato alla relazione.

## 2.1 Nuove indagini geofisiche

Al fine di migliorare le conoscenze relative al quadro sismostratigrafico del territorio comunale sono state realizzate le indagini geofisiche elencate di seguito, in aggiunta a quelle eseguite nel corso dello studio di 1° livello:

- N° 7 profili sismici con tecnica MASW
- N° 9 stazioni di misura del rumore ambientale (HVSR).

Le indagini sono state ubicate nelle aree di maggiore interesse per la stesura della carta di Microzonazione Sismica e dove i risultati del 1° livello avevano lasciato delle incertezze. Relativamente agli aspetti teorici sui metodi geofisici utilizzati, si rimanda alla relazione allegata allo studio di 1° livello.

Si precisa che nei profili **MASW** eseguiti nell'ambito del Livello 2, oltre alle onde di Rayleigh, sono state acquisite anche le onde di superficie, denominate "**onde di Love**", per le quali sono valide regole simili a quelle indicate per le onde di Rayleigh. Le onde di Love si caratterizzano perché sono "sensibili" alle Vs, allo spessore e alla densità del mezzo, mentre non hanno relazione con le Vp (onde longitudinali). La loro generazione e registrazione richiedono però particolari accorgimenti, come indicato di seguito.

Le onde di Love, in determinate condizioni abbastanza diffuse in natura, generano spettri più chiari e quindi di più semplice interpretazione rispetto gli spettri ottenuti con le onde di Rayleigh, dove i modi superiori possono mascherare il modo fondamentale.

La generazione e la registrazione delle onde di Love richiede l'utilizzo di geofoni orizzontali e l'energizzazione deve essere fatta in modo da generare onde trasversali, per cui l'impulso viene fatto battendo orizzontalmente su un asse di legno, reso solidale con il terreno per mezzo di un carico statico.

Per l'acquisizione degli impulsi sismici è stato usato un sismografo digitale a 24 tracce, modello "Geode", della Ditta EG & G GEOMETRICS, geofoni verticali ed orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz.

Per l'elaborazione dei dati, è stato utilizzato il software WinMASW che consente l'analisi sia delle onde di Rayleigh, sia delle onde di Love. Con questo software è possibile effettuare sia la modellazione diretta degli spettri, sia l'inversione delle curve di dispersione; è possibile inoltre fare un'analisi congiunta degli spettri relativi alle onde di Rayleigh e alle onde di Love e, se necessario, anche delle curve HVSR.

I risultati delle elaborazioni forniscono il profilo verticale delle Vs che è riferito al centro dello stendimento, ed è relativo al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento realizzato in superficie.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geometriche dei dispositivi utilizzati.

Tabella 1: caratteristiche profili sismici MASW

| ***Codice Profilo MASW*** | ***Lunghezza (m)*** | ***Passo inter-geofonico (m)*** | ***Source offset (m)*** |
|---|---|---|---|
| 028076L14 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L15 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L16 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L17 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L18 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L19 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |
| 028076L20 | 68 | 4 | 8 ÷ 12 |

Di seguito si riporta la tabella di correlazione tra la velocità delle onde sismiche di taglio e le tipologie di materiali presenti.

Tabella 2: correlazioni tra Vs e tipologia terreni

| **Tipologia** | **Velocità onde S ( m/s )** |
|---|---|
| Terreno agrario “aerato” | < 100 |
| Depositi alluvionali poco addensati | 100 ÷ 200 |
| Depositi alluvionali da poco a mediamente addensati | 200 ÷ 400 |
| Depositi alluvionali da mediamente a molto addensati/cementati | 400 ÷ 700 |

Si vuole qui ricordare che i risultati dell’indagine geofisica derivano da prove indirette e, pertanto, non va loro attribuito il medesimo valore di quello derivante da prove dirette. Le correlazioni proposte tra le velocità sismiche e le diverse tipologie, hanno quindi un valore indicativo, derivando da considerazioni di carattere geologico e dal confronto con i dati ricavati dai sondaggi geognostici diretti e dalle stratigrafie dei pozzi (queste ultime sono però, talvolta, approssimative).

I risultati delle elaborazioni geofisiche sono riassunti graficamente nelle figure inserite in allegato, dove sono riportati gli spettri ottenuti con l'analisi delle onde di Rayleigh e di Love e le relative curve di dispersione, i diagrammi con l'andamento della Vs in funzione della profondità e la corrispondente tabella con i dati numerici.

Le stazioni di misura del rumore ambientale a stazione singola con tecnica **HVSR**, sono state effettuate con un strumento modello SR04S3 "Geobox" prodotto dalla Ditta SARA S.r.l.. Si tratta di un tromografo digitale avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0,1 a 100 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit). Lo strumento viene posizionato sul terreno orientandolo verso il Nord magnetico ed assicurandone la livellazione micrometrica tramite bolla di precisione, agendo sui tre punti di appoggio. Lo strumento è gestito da p.c. portatile per mezzo del software "Seismowin", fornito dalla ditta costruttrice. Le stazioni di misura hanno avuto una durata di registrazione compresa tra 20 e 30 minuti; la frequenza di campionamento è stata mantenuta pari a 200 Hz.

I dati acquisiti sono stati trattati con il software di elaborazione di microtremori "Geopsy" (Sesame Projet), in accordo con le direttive europee del progetto SESAME per il trattamento e l'elaborazione delle tecniche di analisi di rumore sismico a stazione singola. I segnali acquisiti sono stati suddivisi in finestre temporali di 20 o 30 secondi. Dal computo spettrale sono stati esclusi gli eventi transienti più evidenti, legati al rumore antropico.

## 3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata predisposta indicando per ogni stazione di misura il valore o i valori di frequenza di risonanza misurati. Al fine di evidenziare la distribuzione spaziale di questo fenomeno, sono stati utilizzati dei simboli puntuali con l'indicazione della frequenza, mentre la dimensione del simbolo è proporzionale all'ampiezza del picco di risonanza.

La carta è stata predisposta utilizzando tutte le HVSR disponibili, relative sia al 1°, sia al 2° livello della Microzonazione Sismica, che sono risultate 41, così suddivise:

- 32 misure realizzate nel corso dello studio di 1° livello
- 9 misure realizzate per lo studio di 2° livello.

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

Nella Tabella seguente, sono riportati i risultati delle misure HVSR eseguite per la MS di Livello 2, mentre i relativi diagrammi sono inseriti nell'allegato.

Tabella 3: risultati delle misure HVSR eseguite per la MS di livello 2

| Stazione di misura | Data | Località | Frequenza (Hz) | Ampiezza |
|---|---|---|---|---|
| 028076P240 | 26.10.2023 | Via Peschiera | 0,72 | 2 |
| 028076P241 | 31.10.2023 | Lobia | 8,5 | 2,2 |
| 028076P242 | 31.10.2023 | Via Cogno | 9,5 | 2,8 |
| 028076P243 | 31.10.2023 | Via Cogno | 8 - 9,5 | 2,6 |
| 028076P244 | 31.10.2023 | Via Monte Grappa | 5,5 | 4,3 |
| 028076P245 | 07.11.2023 | Vicolo Spino | 5,6 | 3 |
| 028076P246 | 07.11.2023 | Via Calandrine | n.p. | n.p. |
| 028076P247 | 07.11.2023 | Via Piave | 0,9; 4; 15 | 2; 1,8; 2 |
| 028076P248 | 10.11.2023 | Via Dino Trento | 0,78; 8 | 1,9; 2 |

La Tabella e la Carta delle frequenze consentono di fare le seguenti osservazioni:

- In corrispondenza ad alcune stazioni di misura si osserva un picco di risonanza posto a frequenze comprese tra 0,8 e 1,0 Hz, espressione di un contrasto di impedenza sismica situato a profondità variabili tra 80 e 100 m circa dal p.c.. Spesso l'ampiezza di questi picchi è bassa a causa del limitato valore del contrasto di velocità tra i diversi sismostrati.

- Alcune stazioni mostrano anche picchi a frequenze più alte (tra 4 e 10 Hz circa), i quali sono da correlare con la presenza di contrasti di impedenza all'interno della copertura alluvionale, localizzati a minore profondità dal p.c..

# 4. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

## 4.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 del Comune di San Giorgio in Bosco è stato redatto facendo riferimento alla normativa regionale vigente, citata nel capitolo 1.

Oltre alle indicazioni previste dall'allegato A) della DGR 1572/13, sono state analizzate le condizioni specifiche dell'area indagata, individuando gli elementi oggetto di approfondimento nella MS di 2° livello.

Nell'ambito dello studio è stata valutata la presenza degli scenari previsti dalla DGRV 1572. Nella tabella seguente (ripresa dalla fig. 2 dell'allegato A della Delibera) viene esplicitata, per ogni singola tipologia di instabilità/amplificazione, la presenza sul territorio analizzato e le procedure applicate nel presente studio.

Tabella 4: procedure di microzonazione sismica

| *SIGLA* | *Scenario di pericolosità* | *Presenza nel territorio* | *Procedura utilizzata* |
|---|---|---|---|
| P1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | NO | Individuati da PAT, PAI e PTCP. Di modesta rilevanza |
| P1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | NO | Individuati da PAT, PAI e PTCP. Di modesta rilevanza |
| P1c | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative |
| 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 le verifiche sulla liquefazione dei terreni |
| P2c | Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici | SI | Le indagini disponibili hanno individuato piccole aree relative a riempimenti di aree di ex cave. |
| P3a | Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...) | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative. |
| P3b | Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata. Presenti nell'area montana |
| P4a | Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | SI | Le indagini disponibili hanno individuato la presenza di depositi alluvionali granulari in tutto il comune |
| 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 | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative. |
| P4c | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative. |
| P4d | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative. |
| P4e | Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative. |

| *SIGLA* | *Scenario di pericolosità* | *Presenza nel territorio* | *Procedura utilizzata* |
|---|---|---|---|
| P5a | Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata |
| P5b | Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole | NO | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata |

## 4.2 Valutazione degli effetti litostratigrafici

Per la valutazione degli effetti litostratigrafici, la normativa vigente indica che, nell'ambito della microzonazione di Livello 2, si può 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 inseriti nel Volume *"Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*" della Protezione Civile Nazionale.

Nelle modalità di applicazione degli abachi, è chiaramente indicato che il loro utilizzo è ammesso quando la stratigrafia locale può essere assimilata a degli strati piano paralleli di estensione "infinita", cioè si è in presenza di un modello monodimensionale del sottosuolo. Per il sottosuolo in corrispondenza delle aree investigate, questa condizione può ritenersi soddisfatta.

Gli abachi forniscono due valori di amplificazione sismica FA ed FV così definiti

**a)** **FA** : fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)

b) **FV** : fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Per la valutazione di FA ed FV è necessario conoscere la litologia prevalente del sottosuolo nel sito considerato, l'andamento della velocità delle onde di taglio (Vs) con la profondità e la profondità del bedrock sismico. 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

*Profilo 3:* profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i due precedenti

L'utente sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche dell'area deve scegliere quale profilo è più idoneo a rappresentare la situazione in esame. Per il territorio considerato nel corso del presente studio è stato utilizzato il profilo con gradiente massimo.

Gli abachi forniscono i valori di amplificazione per tre classi di ag: 0,06g, 0,18g, 0,26g. Per il Comune di San Giorgio in Bosco sono stati sempre utilizzati gli abachi riferiti al valore di 0,18g.

Per quanto riguarda la litologia, gli abachi nazionali prevedono soltanto tre tipologie di depositi sciolti: ghiaie, sabbie e argille. Nelle necessarie semplificazioni per poter utilizzare gli abachi stessi, è stato fatto riferimento all'abaco relativo ai terreni sabbiosi.

La stima dei Fattori di amplificazione litostratigrafici è stata ottenuta tramite i valori di Vs ricavati dalle prove MASW che, abbinate alle misure HVSR, hanno portato a definire la velocità media delle onde di taglio della copertura ed il suo spessore. A questo proposito si devono fare le seguenti precisazioni:

- l'elaborazione "congiunta" dei dati sismici, analizzando sia gli spettri delle onde di superficie, sia i diagrammi delle curve HVSR, consente di affinare l'interpretazione ed incrementare la profondità di indagine, ma va utilizzata con cautela soprattutto per quanto riguarda le caratteristiche degli strati più profondi, poiché in fase interpretativa si sono necessariamente fatte delle ipotesi nella scelta dei valori di Vs dei depositi alluvionali.

- Sulla base di queste elaborazioni e, in particolare, alla presenza di un picco di risonanza, seppure di ampiezza limitata, a frequenze comprese tra 0,8 e 1 Hz, si è pervenuti a valutare la presenza di un "*bedrock sismico"* caratterizzato da Vs compresa tra 500 e 700 m/s e situato a profondità dell'ordine di 100 m circa dal piano campagna. Probabilmente si tratta di depositi alluvionali molto addensati e/o cementati.

Tabella 5: Valori di FA e FV ricavati dagli abachi

| Indagine MASW | FA | FV |
|---|---|---|
| **L1** | 1,66 | 3,11 |
| **L2** | 1,63 | 3,08 |
| **L3** | 1,44 | 2,55 |
| **L4** | 1,65 | 2,88 |
| **L5** | >1,76 | >3,32 |
| **L6** | 1,59 | 3,16 |
| **L7** | 1,61 | 3,07 |
| **L8** | 1,56 | 3,17 |
| **L9** | 1,84 | 3,25 |
| **L10** | 1,67 | 2,75 |
| **L11** | 1,62 | 2,81 |
| **L12** | 1,7 | 2,99 |
| **L13** | 1,58 | 3,06 |
| **L14** | - | - |

| Indagine MASW | FA | FV |
|---|---|---|
| **L15** | 1,55 | 2,74 |
| **L16** | 1,39 | 2,86 |
| **L17** | 1,38 | 2,48 |
| **L18** | 1,25 | 2,68 |
| **L19** | 1,31 | 2,76 |
| **L20** | 1,27 | 2,65 |
| **L23** | 1,52 | 2,96 |

A commento della Tabella 5 e della Carta di Microzonazione Sismica, si possono fare le seguenti considerazioni:

- i valori di FA oscillano tra un minimo pari a 1,25 ed un massimo pari a 1,84
- i valori di FV risultano compresi tra 2,48 e 3,32

## 4.3 Valutazione del fenomeno della liquefazione

Secondo quanto definito dalle “Linee Guida per l’esecuzione di studi di Microzonazione Sismica” all’interno delle procedure di analisi per la MS di Livello 2, il pericolo di liquefazione va accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (suscettibilità dei terreni).

Il territorio di San Giorgio in Bosco è interamente costituito da terreni suscettibili alla liquefazione a causa delle caratteristiche geologico-stratigrafiche e idrogeologiche del sottosuolo.

### *4.3.1 Generalità*

Il fenomeno della liquefazione dei terreni si può verificare in concomitanza con eventi sismici e condizioni stratigrafiche specifiche: consiste nel quasi totale annullamento della resistenza a taglio del terreno con comportamento assimilabile ad un fluido.

In caso di sisma viene prodotta nel terreno una serie di cicli tali da far eguagliare la pressione interstiziale alla pressione di confinamento e annullando in pratica la resistenza al taglio. Poiché la pressione di confinamento si incrementa con la profondità, l’effetto di liquefazione, per la tipologia di terremoti caratteristici dell’area in esame, si ritiene non possa manifestarsi ad una profondità maggiore di venti metri da piano campagna.

La verifica del fenomeno della liquefazione dei terreni saturi in caso di sisma può essere esclusa

quando si verifichi almeno una delle seguenti circostanze (NTC 2018, Par. 7.11.3.4.2)

- *Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g ;*
- *Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- *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 penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;*
- *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e Uc > 3,5.*

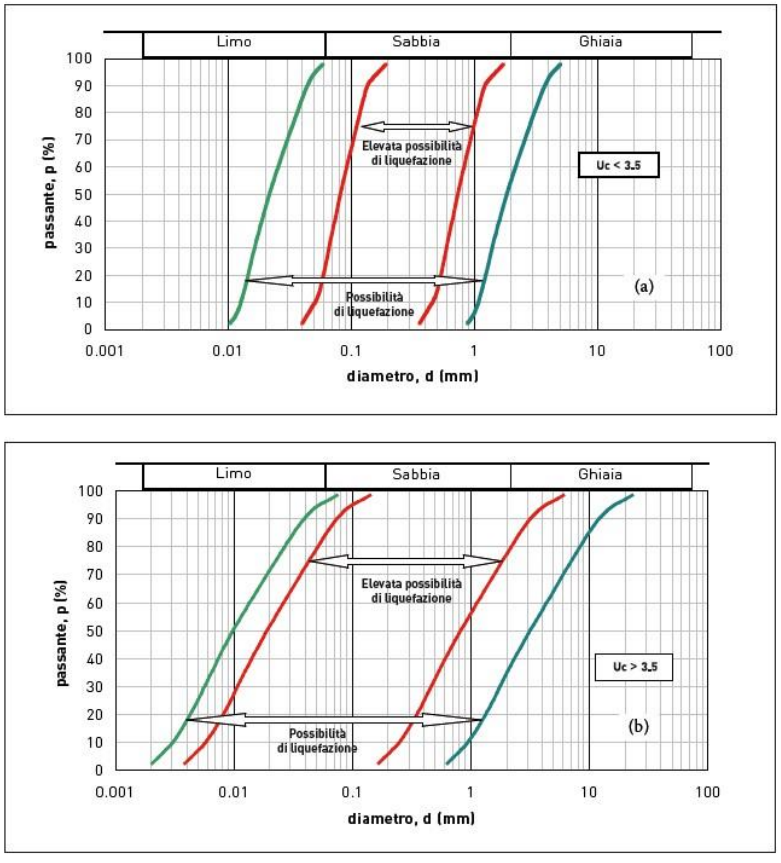


Figura 1: Fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione.

Come riportato nelle NTC del 2018, fatta salva la possibilità di utilizzare procedure di analisi avanzate, la stima della suscettibilità alla liquefazione di un terreno può essere effettuata con l'uso dei cosiddetti "metodi semplificati", basati sull'uso di prove geotecniche in sito e di laboratorio.

Il Fattore di Sicurezza nei confronti della liquefazione ($FS_L$) può essere espresso come:

$$FS_L = (CRR_{7.5} / CSR) \times MSF \times K_\sigma$$

dove:

**$CRR_{7.5}$** è il Rapporto di Resistenza Ciclica normalizzato per un terremoto di magnitudo $M_W$ 7.5 ed una pressione di confinamento di 1 atmosfera, **CSR** è il Rapporto di Sforzo Ciclico, **MSF** è il fattore di scala della magnitudo e **$K_\sigma$** è il fattore di correzione legato alle tensioni efficaci agenti.

Per la stima dell'input sismico nell'ambito dei metodi semplificati, occorre stimare l'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero $a_{max}$ e la magnitudo momento $M_W$. La $a_{max}$ definita come l'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero, è ricavabile dalle analisi di riposta sismica locale. Per la stima di $M_W$ si fa riferimento a quanto consigliato nelle Linee Guida per gli studi di MS.

### *4.3.2 Metodi per la stima del Rapporto di Resistenza Ciclica (CRR)*

I terreni oggetto di analisi per il rischio di liquefazione, devono essere caratterizzati in base al profilo stratigrafico ricostruito lungo la verticale fino ad una profondità tipica di 20 metri. Per la stima del Rapporto di Resistenza Ciclica normalizzato per un terremoto di magnitudo Mw 7.5 ($CRR_{7.5}$) si utilizzano prevalentemente i risultati di prove geotecniche in sito: prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test), prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT (Cone Penetration Test), o con punta elettrica (CPTE), o con piezocono (CPTU). Va ricordato che secondo alcuni autori, le prove penetrometriche dinamiche (DPSH) non consentono di valutare con sufficiente attendibilità il fenomeno della liquefazione.

Nel caso del comune di San Giorgio in Bosco, i dati pregressi erano costituiti prevalentemente da CPT ed alcune prove penetrometriche dinamiche (DPSH). Da esperienze effettuate nei terreni dell'Emilia Romagna a seguito del terremoto del 2012, si è verificato che le prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) forniscono valori di resistenza del terreno che conducono a sottostimare il rischio di liquefazione (*Madiai, 2016, Veronese,2014)*. Per tale motivo nel corso di questo studio sono state effettuate alcune prove CPTU.

Per quanto riguarda le modalità di calcolo del parametro CRR esistono varie metodologie proposte da diversi autori in funzione della tipologia di terreno presente e del tipo di prova utilizzato. In particolare, in presenza di terreni sabbiosi e con prove CPTU, i metodi che forniscono risultati più cautelativi e sono diffusamente utilizzati per le elaborazioni di prove penetrometriche statiche (*Facciorusso 2009, Madiai 2016*) sono:

- Idriss & Boulanger, 2008
- Boulanger & Idriss, 2014

### *4.3.3 Indici di severità alla liquefazione*

Una volta ottenuto il fattore di sicurezza nei confronti d della liquefazione $FS_L$, è possibile ricavare le classi di suscettibilità alla liquefazione attraverso gli indici di severità alla liquefazione; le Linee Guida consigliano l'utilizzo dell'indice di potenziale liquefazione LPI (o IL) come indice per determinare il potenziale di liquefazione nelle analisi con metodi semplificati.

L'indice del Potenziale di Liquefazione LPI proposto da Iwasaki et al. (1981) consiste in un parametro integrale calcolato lungo una verticale di 20 m, tenendo conto sia dello spessore dello strato liquefacibile, sia della sua vicinanza alla superficie libera, secondo la relazione:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) dz$$

$z_{crit}$ è la profondità critica al di sotto della quale si considerano improbabili fenomeni di liquefazione ed è assunta pari a 20 metri, F(z) è una variabile che esprime il potenziale di liquefazione con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq z_{crit}$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione $FS_L$ ; qualora lo strato sia giudicato non liquefacibile viene assegnato il valore zero.

$w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

In base ai valori di LPI è possibile identificare delle classi di rischio (Sonmez, 2003).

Tabella 6: Classi di rischio in base al valore di LPI

| LPI | Potenziale di liquefazione |
|---|---|
| 0 < LPI < 2 | Nullo - Basso |
| 2 < LPI < 5 | Moderato |
| 5 < LPI < 15 | Alto |
| LPI > 15 | Molto alto |

Per effettuare le verifiche alla liquefazione è stato utilizzato il software CLiq vers. 2.2.1.11 fornito da GeoLogismiki (Serres, Grecia) che consente di utilizzare metodologie diverse per valutare il fattore di sicurezza e, quindi, l'indice del potenziale di liquefazione LPI.

Le elaborazioni sono state fatte secondo diversi autori/formule di calcolo. Si tratta di metodi semplificati, che però conducono ad una stima sufficientemente attendibile del fenomeno e sono idonei a stabilire una classe di rischio, come richiesto dagli studi di Microzonazione Sismica.

Nella Tabella seguente sono stati riportati i risultati ottenuti secondo la metodologia denominata **Idriss e Boulanger (2008),** che è utilizzata da numerosi autori e ricercatori universitari per le elaborazioni di prove penetrometriche statiche (*Facciorusso 2009, Madiai 2016*).

Tabella 7: risultati delle elaborazioni svolte su alcune CPT e CPTU

| N° prova MS | Tipologia prova | Data | Località | Profondità prova (m) | LPI (I&B 2008) |
|---|---|---|---|---|---|
| **P 3** | **CPT** | 11.09.2012 | Via Roara | *10* | **2,8** |
| **P 4** | **CPT** | 11.09.2012 | Via Roara | *9,8* | **3,4** |
| **P 5** | **CPT** | 04.09.2013 | Via Aldo Moro | *9* | **0,5** |
| **P 13** | **CPT** | 03.03.2016 | Via Raffaello Sanzio | *10* | **6,6** |
| **P 29** | **CPT** | 12.09.2018 | Via Gornine | *10* | **5** |
| **P 32** | **CPT** | 02.07.2021 | Via Sega | *9* | **7,5** |
| **P 33** | **CPT** | 02.07.2021 | Via Montello | *10,8* | **6** |
| **P 34** | **CPT** | 15.09.2021 | Via Roara | *7,6* | **2,6** |
| **P249** | **CPT** | 11.09.2023 | Via Papa Luciani | *9,2* | **0,6** |
| **P250** | **CPT** | 12.09.2023 | Via Bernini | *10* | **1,2** |
| **P251** | **CPT** | 07.09.2023 | Via Peschiera | *9,2* | **0,9** |
| **P252** | **CPT** | 07.09.2023 | Via Valsugana | *10* | **0,2** |
| **P253** | **CPTU** | 07.09.2023 | Via Valsugana | *11* | **2,3** |
| **P254** | **CPTU** | 10.11.2023 | Lobia - Via delle Foibe | *20* | **5,8** |
| **P255** | **CPT** | 10.11.2023 | Lobia - Via delle Foibe | *20* | **0,12** |
| **P256** | **CPTU** | 10.11.2023 | Via Dino Trento - Villa Anselmi | *9* | **6,8** |
| **P260** | **CPTU** | 11.05.2012 | Vicolo Persegara | *10* | **0,63** |
| **P263** | **CPTU** | 16.09.2021 | Via Bernini | *18,7* | **3,9** |
| **P264** | **CPT** | 03.08.2017 | Via Giovanni Paolo II | *7,6* | **5,5** |
| **P265** | **CPT** | 21.03.2022 | via Cogno | *7* | **0,1** |
| **P266** | **CPT** | 21.02.2020 | Via Spino | *10* | **3,4** |
| **P268** | **CPT** | 02.11.2011 | Via Calandrine | *9,8* | **3,2** |
| **P272** | **CPTU 01** | 16.12.2022 | Via Bernini | *15* | **3,6** |
| **P273** | **CPT** | 31.10.2011 | Via Dino Trento - Villa Anselmi | *8,6* | **1,3** |

Osservando la distribuzione areale dei risultati delle indagini sopra descritti, non è possibile, in questa fase di studio, perimetrare delle aree in cui si escluda il verificarsi del fenomeno della liquefazione, ragione per cui è stato scelto di indicare, anche nella Carta di Microzonazione di Livello 2, l'intero territorio comunale come soggetto a zona di attenzione per liquefazione.

Come risulta dalla tabella 7, i risultati delle elaborazioni conducono a valutare che in corrispondenza a tutte le prove eseguite, il rischio che possano verificarsi fenomeni di liquefazione varia da basso a moderato. Solo in corrispondenza ad alcune verticali (evidenziate in giallo nella tabella) il valore di LPI è risultato maggiore di 5, per cui il rischio sarebbe elevato.

Le verifiche a liquefazione sono state eseguite in corrispondenza a prove penetrometriche meccaniche (CPT) ed elettriche (CPTU). Le esperienze condotte in altri territori (soprattutto in Emilia Romagna) e oggetto di pubblicazioni scientifiche, hanno appurato che le verifiche condotte utilizzando i dati delle prove meccaniche, forniscono valori del rischio di liquefazione inferiori a quelli ottenuti con prove con punta elettrica.

Per suffragare, almeno in parte, queste esperienze sono state effettuate delle prove "accoppiate" in corrispondenza ad alcuni punti di prova, cioè affiancando una prova elettrica e una prova meccanica. I risultati sono illustrati nella tabella seguente, dalla quale risulta che il valore del *Indice del Potenziale di Liquefazione* ottenuto con la prova meccanica è significativamente inferiore a quello ottenuto con la prova elettrica.

Tabella 8: confronto tra risultati ottenuti con CPTm e CPTU

| N° prova | Località | Tipologia punta | Profondità prova (m) | LPI (I&B 2008) |
|---|---|---|---|---|
| **P252** | Via Valsugana | Meccanica | *10* | **0,2** |
| **P253** | Via Valsugana | Elettrica | *11* | **2,3** |
| **P255** | Via delle Foibe | Meccanica | *20* | **0,12** |
| **P254** | Via delle Foibe | Elettrica | *20* | **5,8** |
| **P273** | Via Dino Trento | Meccanica | *8.6* | **1,3** |
| **P256** | Via Dino Trento | Elettrica | *9* | **6,8** |

A causa del limitato numero di prove e della limitata profondità raggiunta, non è possibile proporre delle correlazioni attendibili tra i risultati dei due tipi di prove. Alla luce delle considerazioni esposte e vista la possibile esistenza di livelli liquefacibili anche sotto lo strato ghiaioso spesso presente entro i primi 10 metri di profondità, si può ritenere che i valori riferiti alle CPT meccaniche riportati nella Tabella 8 debbano essere considerati come valori "minimi". È quindi possibile ipotizzare che nel territorio indicato nella Carta di Microzonazione come "Zona di suscettibilità alla liquefazione" **$ZS_{LQ}$**, il rischio di liquefazione sia moderato, salvo alcune situazioni locali dove il rischio può risultare elevato.

Alla luce di questi risultati, si rimanda all'approfondimento di terzo livello per lo studio di dettaglio del fenomeno della liquefazione attraverso l'esecuzione di ulteriori indagini in sito

specificatamente ubicate nelle aree oggetto di espansione, così come definite dall'amministrazione comunale.

### 4.4 Zone interessate da comportamenti differenziali

All'interno delle aree microzonate col 2° livello di MS sono presenti effetti relativi a instabilità legate a comportamenti differenziali. Sono stati inseriti in questa categoria i terreni nei quali è stato apportato del materiale per colmare le aree estrattive abbandonate o dismesse. Non conoscendo la reale composizione del materiale di riporto e del suo grado di costipamento si è ritenuto opportuno segnalare la possibilità di cedimenti differenziali in caso di sisma.

### 4.5 Faglie attive e capaci

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 aveva evidenziato che nel territorio del Comune di San Giorgio in Bosco il catalogo delle Faglie Attive e Capaci "ITHACA" segnala la presenza della faglia denominata "*East Padova*" n. di catalogo 72300.

Sulla base del materiale bibliografico raccolto, al termine dello studio di Livello 1 si è optato per non classificare la faglia in oggetto come Faglia Attiva e Capace (FAC), soprattutto a causa dell'elevata profondità del substrato lapideo e della conseguente incertezza sulla posizione della ipotetica faglia, che potrebbe discostarsi sensibilmente da quella indicata in ITHACA. Lo studio di Livello 2 conferma tale scelta.

## 5. SINTESI DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE DI 2° LIVELLO

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 sia mappato secondo le seguenti tipologie:

- ***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 piatta o 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). Le principali cause di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali.

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.

Utilizzando i dati esistenti e le nuove misure geofisiche, gli studi di MS di livello 1 e 2 hanno cercato di ricostruire la struttura geologica del sottosuolo dei territori ove sorgono il centro comunale e le frazioni del Comune di San Giorgio in Bosco. In queste aree non sono state rilevate aree definibili "stabili".

Come esposto nei paragrafi precedenti, lo studio ha messo in risalto che, nel territorio del Comune di San Giorgio in Bosco, i valori del fattore di amplificazione **FA** sono compresi tra un 1,25 e 1,84, mentre i valori di **FV** variano tra 2,48 e 3,32.

I dati stratigrafici desunti dalle numerose indagini geognostiche censite, abbinati alla limitata profondità della falda dal piano campagna, hanno condotto a valutare che in tutto il territorio comunale è possibile che si verifichi il fenomeno della liquefazione dei terreni. Pertanto, nella Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2, tutto il territorio comunale è stato classificato come "suscettibile di instabilità", in relazione alla potenziale liquefazione dei terreni.

Sono state anche identificate limitate aree dove possono verificarsi cedimenti differenziali sismoindotti.

# 6. PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE

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

## *6.1 Amplificazioni litostratigrafiche*

In considerazione della situazione sismica e geologica del Comune di San Giorgio in Bosco, 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, facendo riferimento alla classificazione degli edifici prevista dalle N.T.C. ed alla normativa regionale inerente gli edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso.

La microzonazione riportata in cartografia, basata sui Fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio preliminare per stimare la possibile amplificazione sismica e per programmare la tipologia di indagini da effettuare.

**E' fatto assoluto divieto l'utilizzo dei dati di output degli abachi di 2° Livello in attività connesse alla determinazione dell'azione sismica a corredo della progettazione sismica.**

La scelta della metodologia e della quantità di indagini dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata.

Sulla base delle considerazioni esposte in precedenza, vista anche la classificazione sismica del Comune di San Giorgio in Bosco, si stabiliscono diversi gradi di approfondimento dello studio sismico.

### *6.1.1 Modalità di applicazione degli approfondimenti*

Il D.M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 2.4.2 *"Classi d'uso*", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo. Di seguito sono indicate le indagini e gli studi da effettuare in relazione alla tipologia di costruzione in esame, nell'ambito dell'intero territorio comunale.

- **Classe I**: *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli*. Per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nel presente studio, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

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

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

Per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nel presente studio e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale. Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018, al paragrafo 3.2.2 ***Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*** "A*i 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, $V_S$. 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 $V_S$ 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.*

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $Vs_{eq}$, la cui determinazione sarà fatta utilizzando indagini sismiche con le tecniche MASW, ESAC e sismica a rifrazione. Per le indagini che utilizzano l'analisi delle onde di superficie sarà preferibile usare tecniche attive e passive in modo congiunto.

Abbinate alle determinazioni di $V_S$ si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guida del Progetto SESAME.

Nel caso l'indagine sismica specifica riguardi opere di significativa mole quali edifici industriali rilevanti, edifici scolastici ed affini, si consiglia di eseguire uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL) con modellazione numerica.

- **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.*

- **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 le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV** si prevede l'esecuzione di un'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3.1 del DM 17.01.2018 **Risposta sismica locale,** del quale si richiamano alcuni punti: "…*Omissis*…….*Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove……..omissis".*

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 quando indicato nel paragrafo 7.11.3 del DM 14.01.2018, al quale si rimanda sempre affidandosi all'esecuzione di prove sperimentali di sufficiente attendibilità.

La relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

Riguardo alla Risposta Sismica Locale da utilizzare in specifiche situazioni, le modalità di applicazione descritte in precedenza, dovranno essere valutate ed eventualmente modificate in relazione al progetto previsto ed alle conoscenze geologico-geofisiche disponibili. Anche la tipologia ed il numero delle prove da eseguire saranno programmate in funzione dell'importanza dell'opera in progetto (classe d'uso) e della sua ubicazione in rapporto all'assetto geologico del sottosuolo.

**Le analisi di Risposta Sismica Locale si dovranno applicare anche agli edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, Allegati A e B** e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).

### *6.3 Zone suscettibili di instabilità per liquefazione*

Gli studi di Microzonazione Sismica eseguiti nel territorio comunale hanno identificato in tutto il territorio comunale la possibilità che si verifichi il fenomeno della liquefazione dei terreni in caso di sisma. La valutazione del rischio di liquefazione è stata analizzata secondo le modalità illustrate nel paragrafo 4.4, dove viene anche ribadito come sia previsto un approfondimento di Livello 3 per lo studio di dettaglio del fenomeno della liquefazione, attraverso l'esecuzione di ulteriori indagini in sito ubicate nelle aree oggetto di espansione, così come definite dall'amministrazione comunale.

Considerando la variabilità laterale e verticale dei terreni che compongono il sottosuolo del Comune, si ritiene di stabilire che, in fase progettuale per qualsiasi tipo di intervento che ricada all'interno delle "Zone suscettibili di instabilità per liquefazione" (nel caso specifico tutto il territorio comunale), dovranno essere effettuate le indagini e verifiche, finalizzate a calcolare il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione in condizioni sismiche e valutati i cedimenti indotti, come indicato nel DM 17.01.2018. In questo decreto, a proposito della stabilità nei confronti della liquefazione, il paragrafo 7.11.3.4.3 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."*

In relazione alle caratteristiche stratigrafiche del territorio, le verifiche a liquefazione saranno effettuate utilizzando preferibilmente le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), che forniscono con continuità l'andamento dei parametri misurati su tutta la verticale investigata e consentono una stima attendibile del fattore di sicurezza.

L'elaborazione delle specifiche indagini geognostiche consentirà di valutare con la necessaria precisione il rischio di liquefazione, attraverso la determinazione del "Potenziale di Liquefazione (LPI)". Sulla base dei risultati così ottenuti, sarà valutato se sia necessario procedere con analisi più approfondite.

Nell'eventualità che le verifiche eseguite con metodi semplificati portino a determinare un rischio di liquefazione elevato, le analisi dovranno essere condotte con procedure di Livello 3. In ogni caso, la relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

### *6.4 Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali*

Lo studio di livello 1 aveva individuato delle aree con presenza di terreni di riporto derivati da discarica e/o riempimento di ex cave (MOPS 3080); queste aree non sono state oggetto dello studio di 2° livello. In ogni caso, in queste zone si ritiene di vietare qualsiasi tipo di costruzione appartenente alle classi I, II, III e IV come indicate nel D.M. 17 gennaio 2018. Un'eventuale deroga sarà possibile solo a seguito di un'analisi di Livello 3, incentrata sull'esecuzione di specifiche indagini per verificare la reale geometria e volumetria dei materiali riportati e le loro caratteristiche; dovranno poi essere effettuale le opportune modellazioni, per quantificare l'effettiva instabilità del sito. Tale prescrizione deriva dalla considerazione che i terreni presenti in queste zone possiedono condizioni complessive tali da rendere necessaria una approfondita conoscenza delle loro caratteristiche geotecniche, geosismiche, chimiche e chimico-fisiche. Dovranno essere previste indagini con prelievo di campioni sino a profondità congrue con la tipologia degli interventi e, contestualmente, realizzate indagini in situ e sui campioni di materiale estratto; sarà inoltre monitorato il livello di falda. La relazione geologico-sismica dovrà caratterizzare i terreni di riporto intercettati, definire la geometria degli scavi e dei riporti effettuati in passato ed indicare la compatibilità delle trasformazioni previste con la tipologia dei terreni, o gli eventuali interventi atti a eliminare le incompatibilità riscontrate.