

Regione Veneto - Provincia di Verona

COMUNE DI VERONA

**PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN
SUPERMERCATO IN PROSSIMITA' DI CORSO MILANO**

RELAZIONE SISMICA

(AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018)



*Dott. Geol Enrico Nucci
Dott. Ing. Elena Nucci
Dott. Ing. Francesca Nucci*

**SOCIETA' DI INGEGNERIA E
GEOLOGIA APPLICATA**

*Via Albere 132 - 37137 Verona
tel / fax 045/8622408
cell +039 335.7597710
email studionuccisrl@gmail.com*

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbellini

Committente:

IMMOBILIARE CINQUERRE S.P.A.

Cod. Rif.

Data: ottobre 2023

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	PERICOLOSITA' SISMICA.....	4
2.1	Inquadramento sismogenetico	4
2.2	Sismicità storica.....	5
2.3	Pericolosità sismica di base	7
2.4	Pericolosità sismica locale	11
2.4.1	Analisi della Microzonazione Sismica del territorio.....	11
2.4.2	Classificazione sismica del sottosuolo	15
2.4.3	Accelerazione massima attesa in superficie	17
2.4.4	Coefficienti sismici	18
2.4.5	Frequenze di risonanza	19
2.4.6	Liquefazione delle sabbie	20
3	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	22

Codice di Rif.:

Verona, ottobre 2023

1 PREMESSA

La presente relazione descrive la pericolosità sismica del territorio, e nello specifico dell'area d'indagine, e integra lo studio geologico geotecnico idrogeologico realizzato a supporto del progetto di ampliamento di un edificio a uso commerciale in cui trova sede un supermercato con altre attività collaterali.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo edificio limitrofo all'esistente, la sistemazione delle aree di parcheggio e la modifica della viabilità interna alla proprietà.

La superficie complessiva dell'area indagata su cui sorgerà il nuovo edificio è circa 8.000 m² ed è ubicata in Via Gracco Spaziani, parallela di Corso Milano a Verona.

Le coordinate geografiche centrali all'area sono (sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali): Latitudine 45,44507 N, longitudine 10,95203 E.



Immagine dell'intervento progettuale.

2 PERICOLOSITA' SISMICA

L'analisi della pericolosità sismica si suddivide in pericolosità di base e pericolosità locale.

La pericolosità sismica di base è in funzione delle caratteristiche sismotettoniche del territorio: sorgenti sismiche, energia, tipo e frequenza dei terremoti.

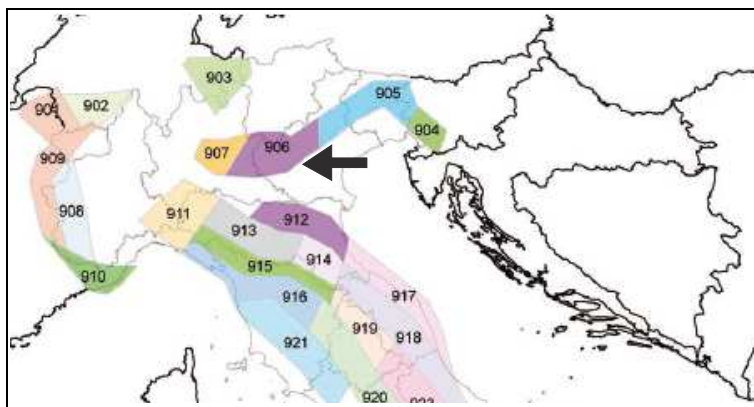
La pericolosità sismica locale è in funzione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali che interagendo con il moto sismico sono in grado di modificarne le azioni oltre alla comparsa di effetti locali come l'amplificazione del segnale, la liquefazione, ecc..

2.1 Inquadramento sismogenetico

Da un punto di vista sismico il territorio italiano a seguito della pubblicazione nel 2004 dei criteri di zonizzazione sismica (pubblicati dal Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) è stato suddiviso in zone sismiche omogenee caratterizzate da un certo livello di sismicità.

La zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, deriva da considerazioni scientifiche del modello sismotettonico del territorio con analisi delle sorgenti sismogenetiche e di importanti eventi sismici.

Il progetto di zonizzazione ha diviso il territorio in 36 zone-sorgente identificate da un numero variabile da 901 a 936 o con una lettera variabile da A a F.



Zone sismogenetiche del territorio italiano.

Il territorio in esame è inserito nella zona identificata con la sigla ZS906 e appartiene alle zone sismogenetiche dell'arco alpino orientale (904, 905, 906) che rappresentano le zone di massima convergenza tra le placche adriatica ed europea.

La ZS906 è inserita in un contesto composito che interessa il territorio che va da Bassano del Grappa a Verona e parte della pianura veronese.

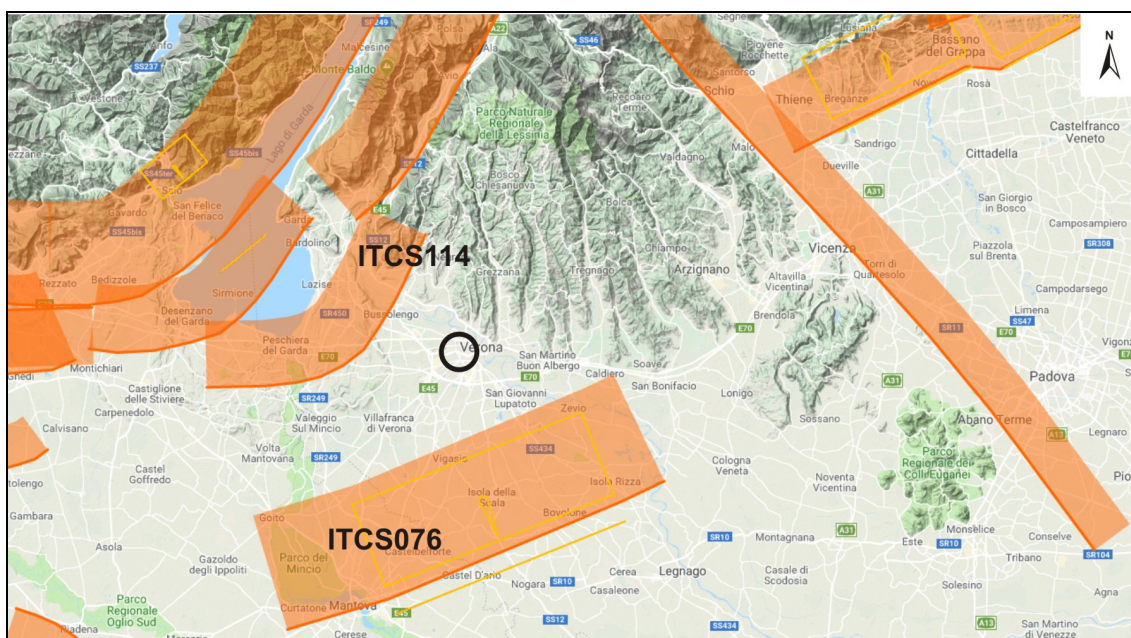
Il rapporto conclusivo della zonizzazione sismogenetica (Meletti, Valensise, 2004) descrive per la zona ZS906 le caratteristiche dello strato sismogenetico, ossia l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi sismici.

L'intervallo è di 5-8 km, mentre la profondità in cui avvengono statisticamente sulla base di dati strumentali il maggior numero di terremoti è di 8 km.

Il meccanismo che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti di entità significativa (fagliazione) è di tipo inverso.

Il territorio in esame è delimitato da due sorgenti sismiche che hanno generato attività con Magnitudo massime ≤ 7.2 .

- sorgente sismica composita ITCS114 “Solferino”, Mw 6.4
- sorgente sismica composita ITCS076 “Adige Plain”, Mw 7.2



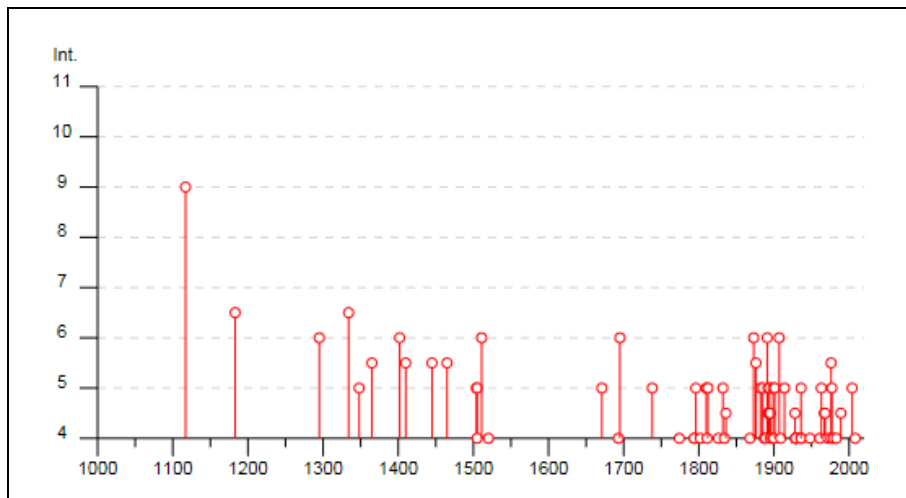
Sorgenti sismiche del territorio (estratto dal catalogo delle sorgenti sismogenetiche italiane, DISS 3.3.0)

2.2 Sismicità storica

Il database macrosismico italiano per gli eventi sismici dall'anno 1000 all'anno 2020 (DBMI15 v.4.0 a cura di Locati, Camassi, Rovida, Lolli, Gasperini, Antonucci, pubblicato nel sito dell'INGV) ha consentito di ricavare per la località Verona le intensità sismiche “I-MCS” (rappresentano l'intensità della scossa e gli effetti dei danni prodotti) registrate durante 151 eventi distribuiti sul territorio italiano.

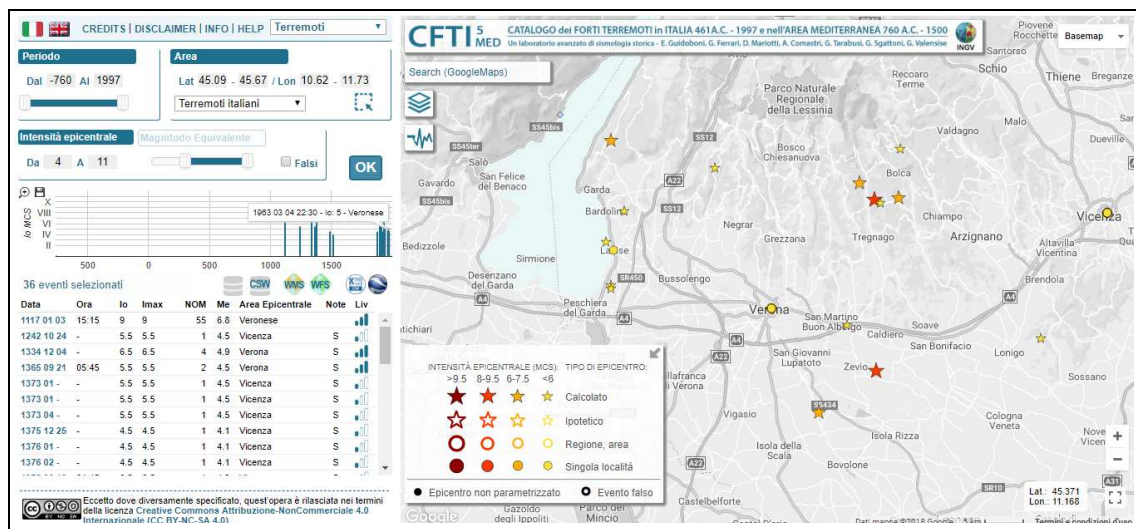
L'immagine successiva riporta il grafico pubblicato con i valori registrati (in ordinata) in funzione del tempo (in ascissa).

Nella zona d'indagine le intensità massime registrate sono comprese tra 3 e 9.



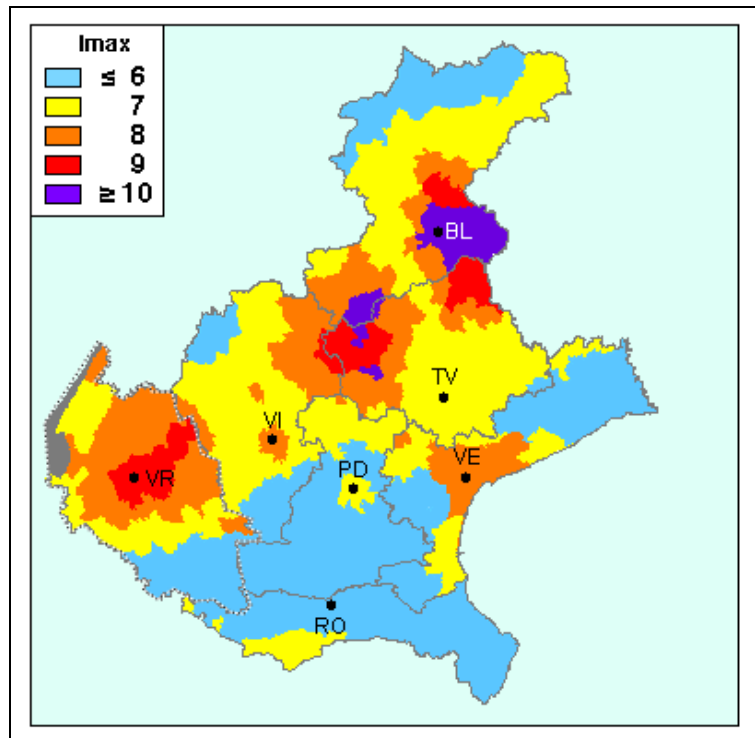
Storia sismica di Verona estratta dal database macrosismico italiano DBMI15

Il catalogo dei forti terremoti in Italia fino all'anno 1997 (CFTI5Med), pubblicato nel sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, evidenzia nel territorio epicentrale veronese terremoti con magnitudo equivalente $M_e \leq 6.8$ e Intensità sismiche "I-MCS" ≤ 9 .



Estratto dal "Catalogo dei forti terremoti in Italia – CFTI5Med"

Più in generale la mappa regionale delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (D. Molin, M. Stucchi, G. Valensise), evidenzia per la zona d'interesse intensità "Imax" pari a 9.



Intensità macrosismiche nella Regione Veneto.

2.3 Pericolosità sismica di base

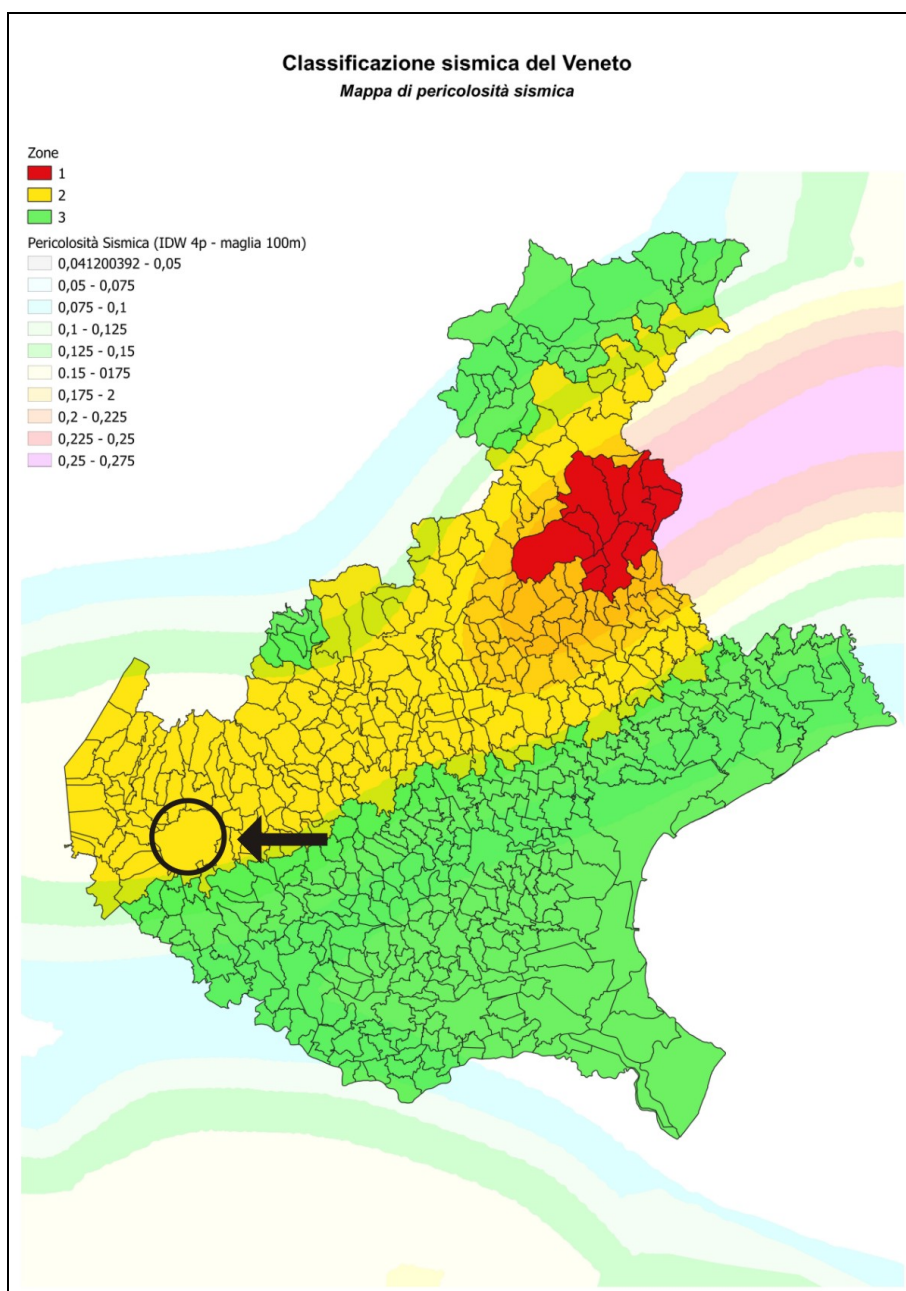
La D.G.R.V. 244/2021 ha classificato il territorio della Regione Veneto in tre differenti Zone Sismiche caratterizzate da accelerazione a_g di base differente (a_g accelerazione su suolo rigido con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni):

Zona. 1 $0.25 < a_g \leq 0.35g$

Zona. 2 $0.15 < a_g \leq 0.25g$

Zona. 3 $0.05 < a_g \leq 0.15g$

La Zona Sismica di riferimento per il Comune di Verona è la 2.



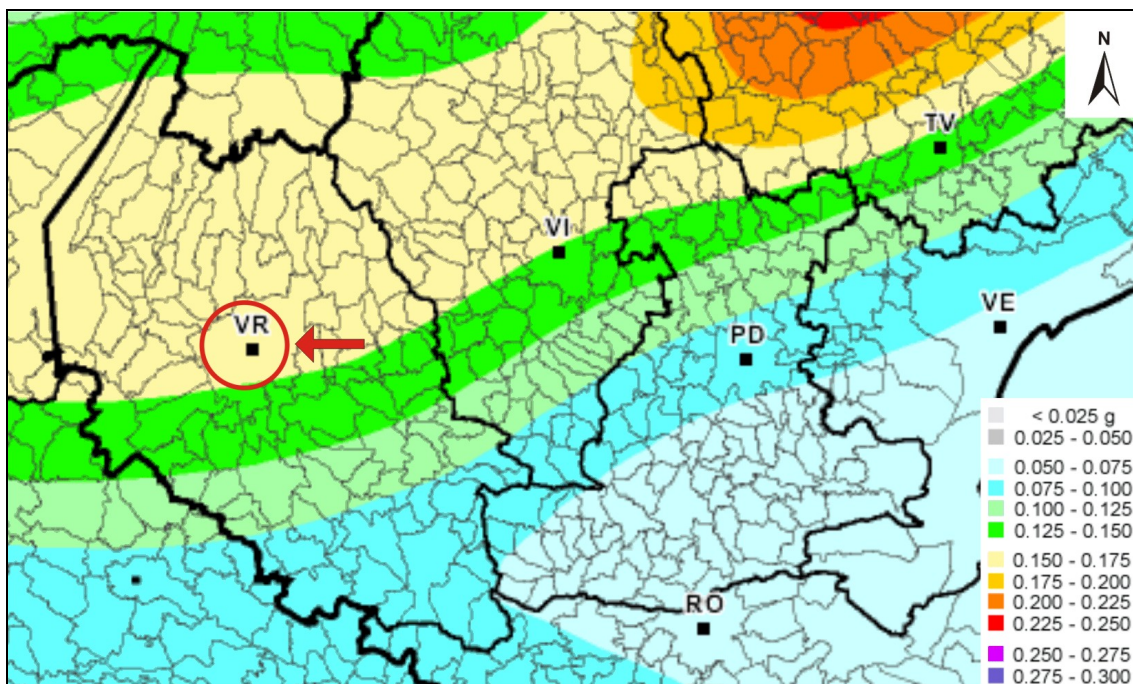
Classificazione sismica del Veneto D.G.R.V. 244/2021.

La mappa della pericolosità sismica, sovrapposta alle Zone Sismiche, riprende quanto pubblicato dall'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, la quale rappresenta lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo e va intesa in senso probabilistico.

La definizione della pericolosità si basa su una serie di elementi di input (catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e di parametri di riferimento (scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, ecc.).

Il “livello di rischio sismico di base” del territorio da considerare nella progettazione strutturale è stato definito suddividendo “ a_g ” massima al suolo di riferimento (categoria A) in fasce con differente gradiente d’accelerazione.

Nel territorio in esame la fascia di competenza ha “ a_g ” variabile da **0.150g** a **0.175g** e sono riferite ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.



Estratto dalle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale.

Il D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ha stabilito che la “**pericolosità sismica di base**” sia definita puntualmente da tre parametri variabili in funzione di prefissati periodi di ritorno “ T_R ” di un dato evento sismico:

- accelerazione (a_g) orizzontale massima al suolo di riferimento (categoria A),
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0),
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T_C^*).

L’azione sismica di base locale si determina con l’utilizzo di specifici parametri in funzione della Classe d’Uso dell’opera progettuale (coefficiente C_u) e della sua Vita Nominale (coefficiente V_N).

La Vita di Riferimento (V_R), ovvero il periodo di riferimento in cui vengono valutate le azioni sismiche, si ottiene con la seguente equazione

$$V_R = V_N \times C_U$$

Opportune tabelle allegate alle NTC riportano i valori dei tre parametri (a_g , F_o , T_c^*) per i diversi Stati Limite di sicurezza per le prestazioni delle costruzioni:

- “SLO” Stato Limite di Operatività,
- “SLD” Stato Limite di Danno,
- “SLV” Stato Limite di salvaguardia della Vita,
- “SLC” Stato Limite di prevenzione del Collasso.

Relativamente all’area d’indagine ed in considerazione dell’opera in progetto (Classe d’Uso III), per la determinazione dell’**Azione Sismica di base** la normativa consente l’utilizzo dei seguenti parametri (sono stati ricavati mediante l’utilizzo del programma “Spettri-NTC ver. 1.0.3” fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici):

latitudine località (ED50)	45,44599N
longitudine località (ED50)	10,95305E
Vita nominale dell’opera strutturale “ V_N ”	≥ 50 anni
Classe d’uso	III
Coeff. d’uso “ C_u ”	1.5
Periodo di riferimento “ V_R ” per l’azione sismica	75 anni
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	81% (per SLO)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	63% (per SLD)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	10% (per SLV)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	5% (per SLC)
“ T_R ” per “SLO” (con P_{VR} 81%)	45 anni
“ T_R ” per “SLD” (con P_{VR} 63%)	75 anni
“ T_R ” per “SLV” (con P_{VR} 10%)	712 anni
“ T_R ” per “SLC” (con P_{VR} 5%)	1462 anni

<i>Stato Limite</i>	<i>T_R (anni)</i>	<i>a_g (g)</i>	<i>F_o</i>	<i>T_c^* (s)</i>
SLO	45	0,053	2,523	0,243
SLD	75	0,070	2,500	0,254
SLV	712	0,184	2,452	0,278
SLC	1462	0,238	2,430	0,284

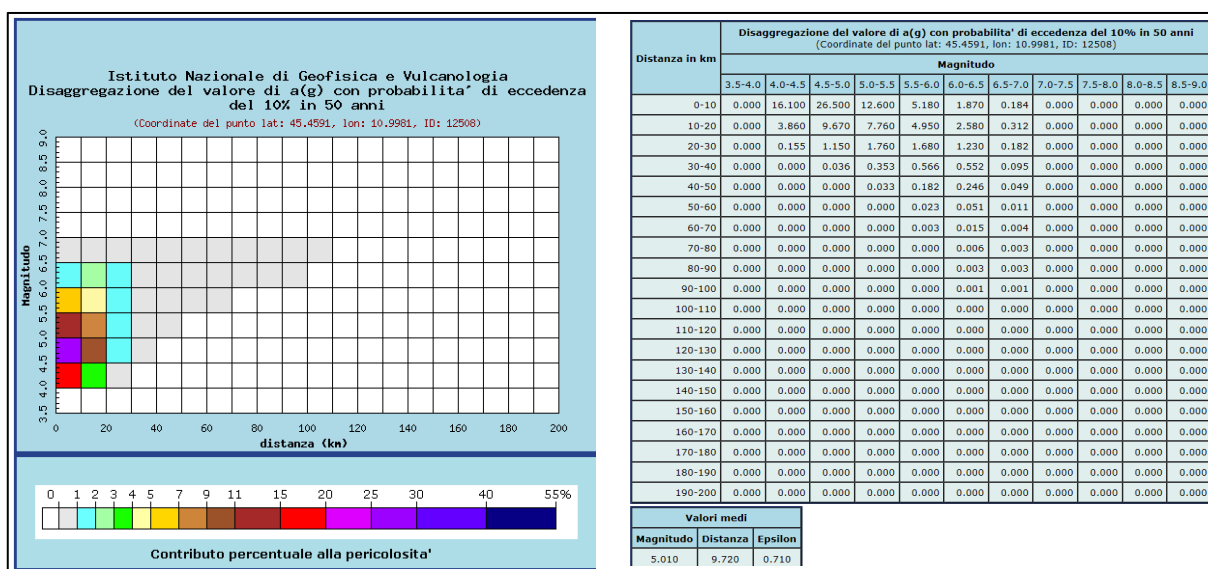
La determinazione della Magnitudo di un sisma rappresenta un elemento importante nella valutazione dell’azione sismica di un sito. La stima della magnitudo “ M_w ” prevista per la zona d’indagine può essere definita con il METODO DELLE ZONE SISMOGENETICHE, ovvero una delle 36 zone “ZS” in cui è stato suddiviso il territorio italiano e alle quali è stato associato un valore massimo di “ M_{wmax} ” (Linee Guida per la Microzonazione Sismica, 2008).

Per la zona d’indagine: ZS 906, M_w 6.60

In alternativa al metodo delle zone sismogenetiche la stima della magnitudo prevista per la zona d'indagine può essere valutata con il METODO DELLA DISAGGREGAZIONE, il quale consente di prendere in considerazione i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità del sito.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia propone delle mappe e delle tabelle in cui per ogni comune del territorio italiano la disaggregazione dell'accelerazione di picco su suolo rigido consente di calcolare il valore della magnitudo in funzione della distanza epicentrale e la relativa probabilità in funzione di determinati periodi di ritorno di un evento sismico.

Le immagini successive, ottenute dalle mappe proposte nel sito dell'INGV, rappresentano la pericolosità attesa per il comune di Verona per un tempo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni.



2.4 Pericolosità sismica locale

2.4.1 Analisi della Microzonazione Sismica del territorio

Il territorio del Comune di Verona è stato oggetto di specifiche analisi sismiche per la definizione della Microzonazione Sismica, ossia la valutazione della pericolosità sismica locale mediante l'individuazione di zone caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

Lo studio contiene analisi di Livello 3 così come previste dalle Linee Guida Regionali approvate con D.G.R.V. n. 1572 del 2013.

Di seguito gli estratti delle cartografie dello studio di Microzonazione Sismica con evidenza del contesto in cui l'area di progetto si inserisce.

Carta Geologico – Geotecnica

Individua gli elementi geologici che in prospettiva sismica potrebbero assumere un ruolo rilevante durante lo scuotimento sismico.

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

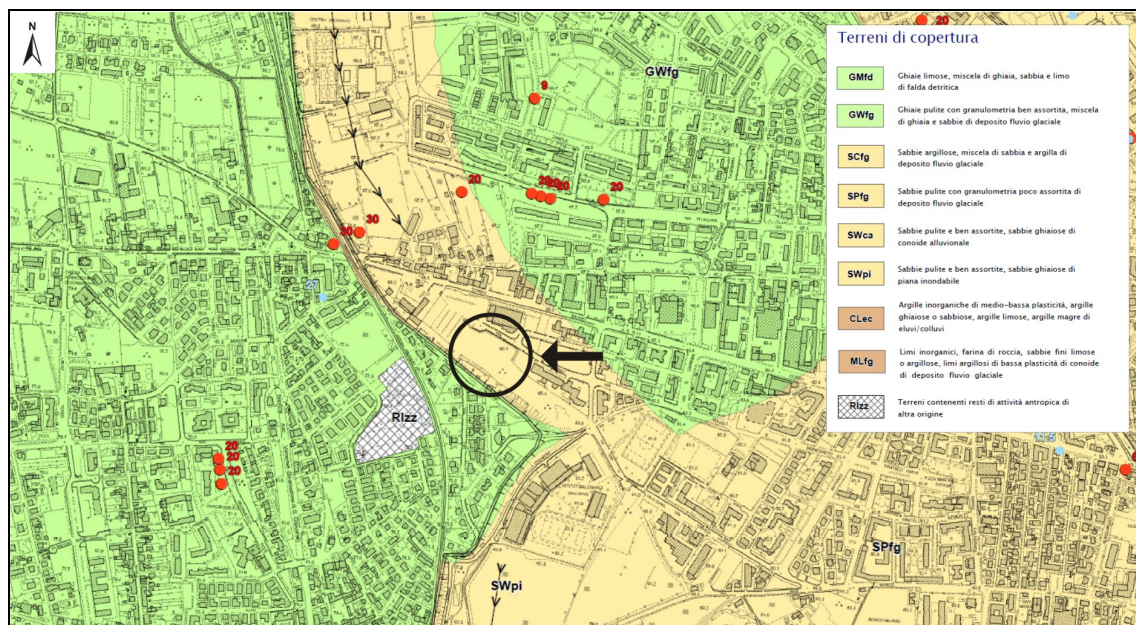
Suddivide il territorio in tre diverse aree: a) zone stabili, b) zone stabili suscettibili di amplificazione, c) zone di attenzione per instabilità.

Carta della Pericolosità Simica Locale

Indica le maggiori criticità del territorio e individua le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici – tettonici complessi.

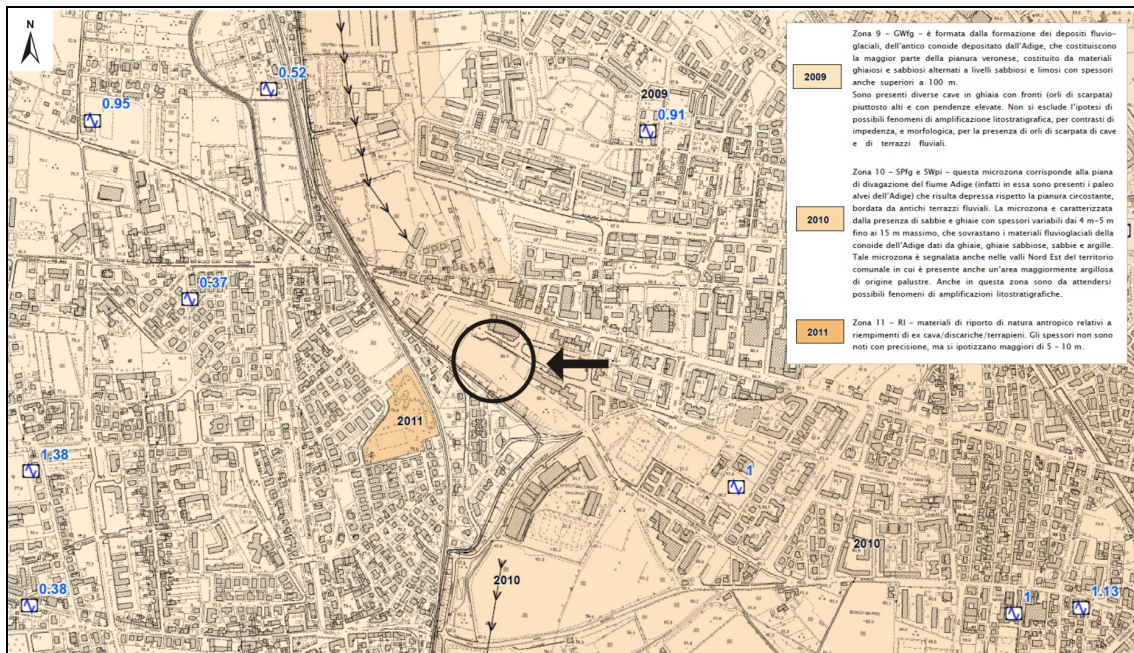
Carta di Microzonazione Sismica Livello 3

Indica la quantificazione numerica dell'effetto amplificativo del moto sismico di base stimando i fattori di amplificazione (FA) in termini di accelerazione negli intervalli 0.1 - 0.5s, 0.4 - 0.8s, 0.7 - 1.1s.



Carta Geologico – Tecnica (TAV-3).

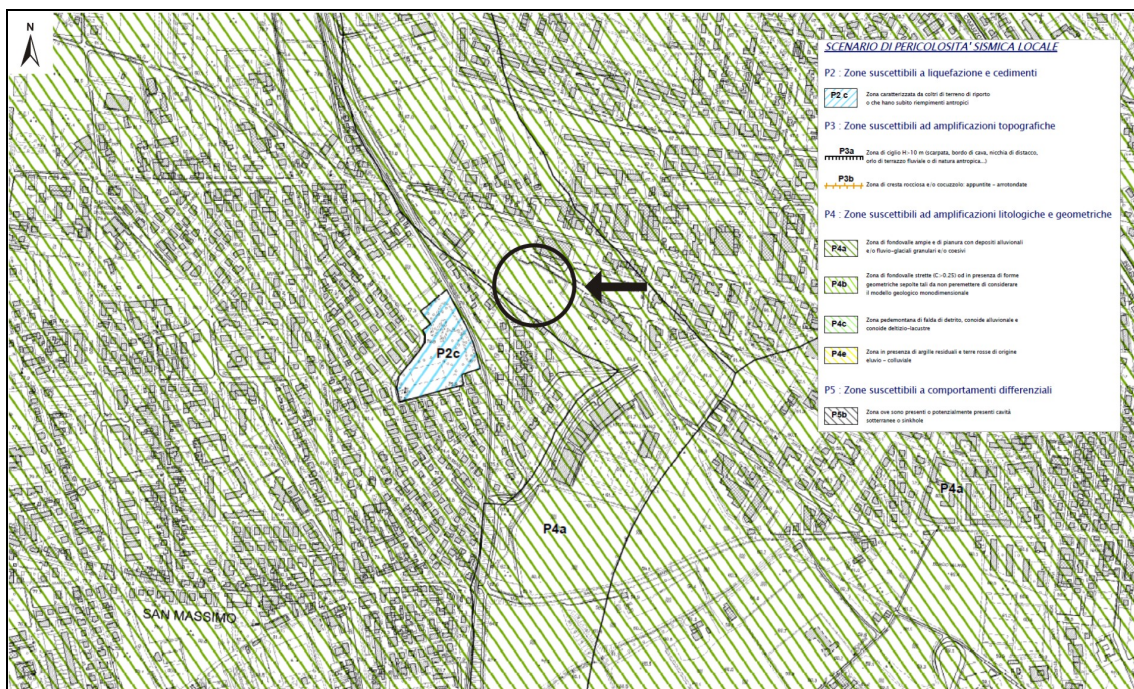
L'area di progetto è inserita in una zona classificata "SWpi" caratterizzata sabbie ghiaiose di piana inondabile.



Carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (TAV-3).

L'area di progetto è inserita nella zona identificata con il codice 2010.

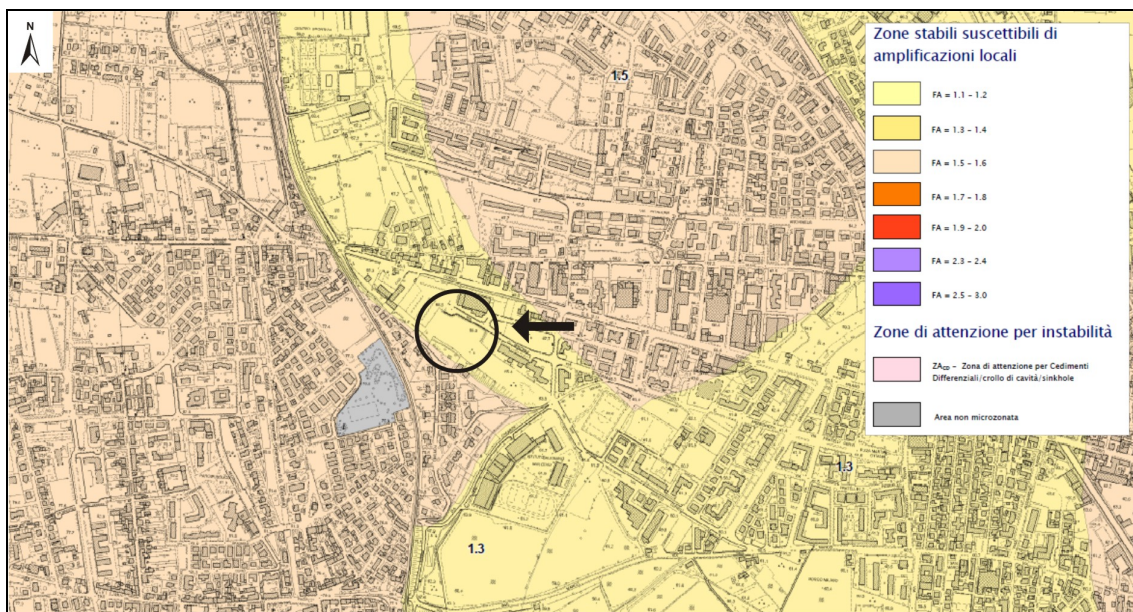
Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali. Non ci sono evidenze di faghi attive potenzialmente capaci.



Carta della Pericolosità Sismica Locale (TAV-3).

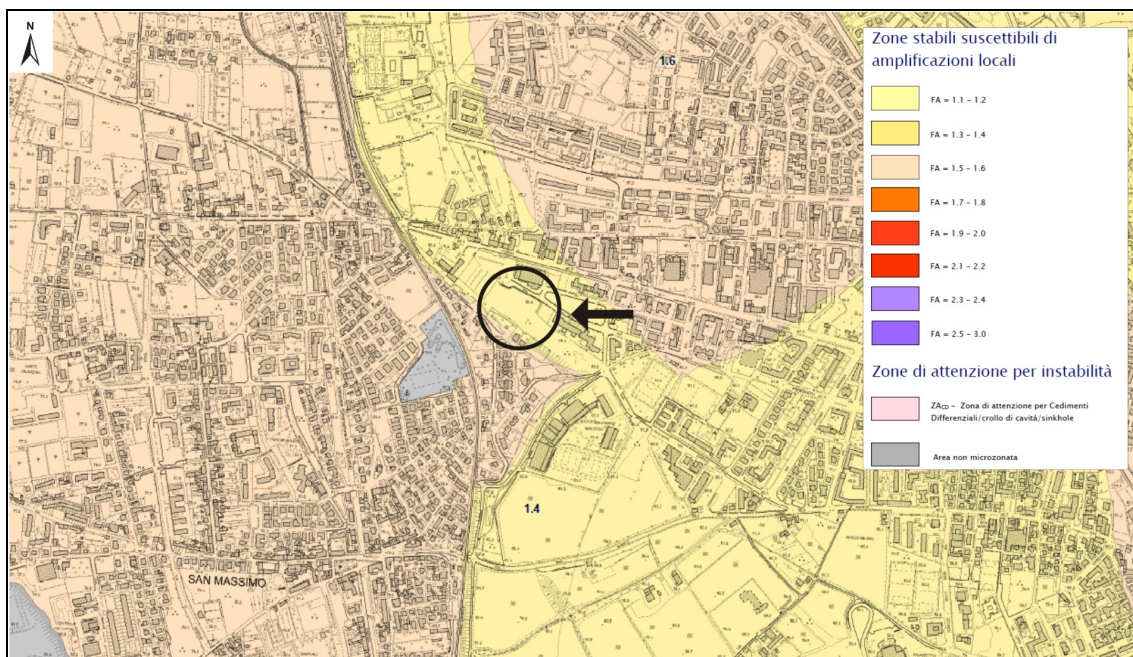
L'area di progetto è inserita in una zona identificata con il codice "P4a".

Zona suscettibile di amplificazione locale.



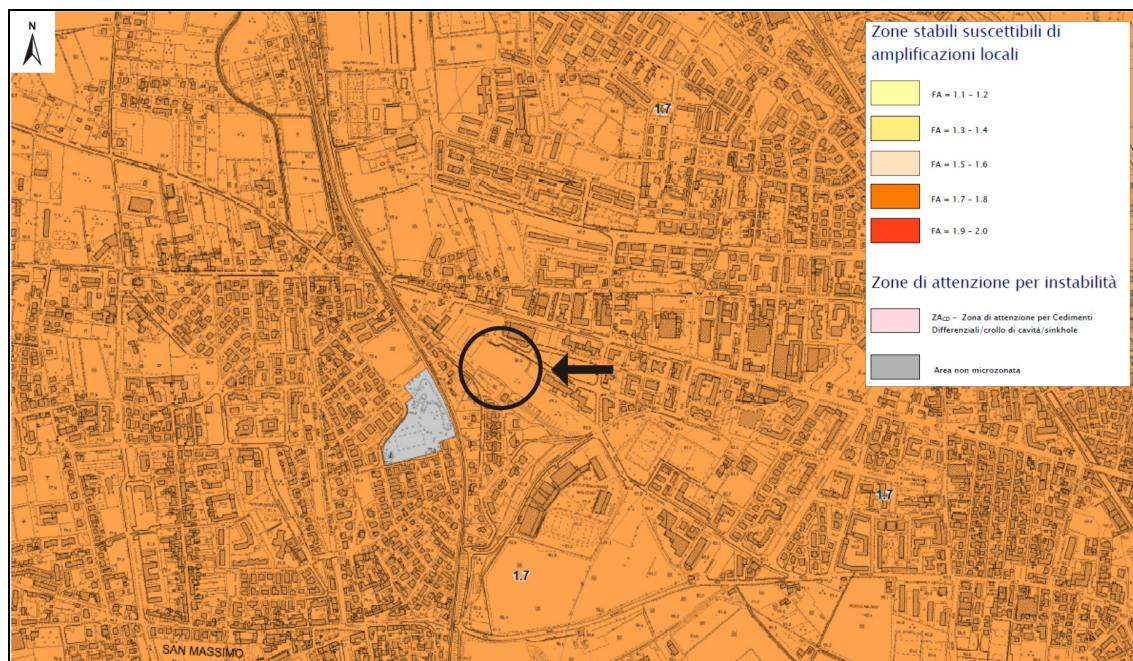
Carta di Microzonazione Sismica FA 0.1-0.5s – Livello 3 (TAV-3).

L'area di progetto è inserita in un contesto con Fattore di Amplificazione 1.3 – 1.4.



Carta di Microzonazione Sismica FA 0.4-0.8s – Livello 3 (TAV-3).

L'area di progetto è inserita in un contesto con Fattore di Amplificazione 1.3 – 1.4.



Carta di Microzonazione Sismica FA 0.7-1.1s – Livello 3 (TAV-3).

L'area di progetto è inserita in un contesto con Fattore di Amplificazione 1.7 – 1.8.

Sintesi dell'analisi cartografica della Microzonazione Sismica per l'area di progetto:

area caratterizzata da depositi sabbioso ghiaiosi, suscettibile di amplificazioni locali con fattori di amplificazione in termini di accelerazione FA variabili da 1.3 a 1.8.

I materiali non sono liquefacibili e l'area non interferisce con faglie attive potenzialmente capaci.

2.4.2 Classificazione sismica del sottosuolo

Le Linee Guida NTC definiscono la *risposta sismica locale* come “l'azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite per effetti morfologici o subite trasmettendosi dal substrato rigido attraverso le coperture”.

Le coperture sedimentarie amplificano l'accelerazione sismica in superficie agendo contemporaneamente da filtro del moto sismico (diminuiscono l'energia complessiva), ma modificando la composizione e l'amplificazione di alcune frequenze.

In riferimento al D.M. 17/01/2018 la “classificazione sismica del sottosuolo” consente di *stimare* con un *approccio semplificato* gli effetti di sito sul segnale sismico, ossia l'accelerazione di riferimento amplificata (o **accelerazione massima attesa in superficie** “ a_{max} ”).

In riferimento alla vigente normativa il sottosuolo è stato classificato in funzione della “ $V_{s,eq}$ ”, ovvero la velocità equivalente delle onde di taglio “ V_s ” calcolata dal piano campagna, o dalla

quota d'imposta della fondazione, sino alla profondità del sub-strato rigido con $V_s > 800$ m/s o sino alla profondità di 30 m qualora il sub-strato rigido sia più profondo di 30 m (rappresenta il nostro caso).

I valori delle velocità V_s e il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo sono stati ottenuti elaborando le velocità delle onde di superficie di Raleigh mediante la tecnica d'indagine sismica MASW con l'analisi congiunta delle frequenze di risonanza stratigrafica ricavate dall'analisi dei microtremiti rilevati con le prove sismiche passive HVSR (le tecniche d'indagine ed i risultati conseguiti sono descritti nella relazione geologica nei §§ 6.2, 6.3, 6.6).

L'equazione definita dalla normativa per il calcolo della " $V_{s,eq}$ " è la seguente (D.M. 17/01/2018, § 3.2.2.)

$$V_{s,eq} = H / (\sum h_i / V_i)$$

h_i spessore dello strato i -esimo

V_i velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo

H profondità del sub-strato rigido o 30 m

La tabella che segue riporta la classificazione del sottosuolo descritta nelle NTC 17/01/2018 (§ 3.2.2.) in funzione della velocità " $V_{s,eq}$ ".

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

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	
$V_{s,eq}$ MASW1	515 m/s
$V_{s,eq}$ MASW2	506 m/s
Sub-strato rigido	> 30 m
Categoria sottosuolo	B

Gli effetti topografici sono in grado di modificare il moto sismico a seguito di fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche in prossimità delle creste dei rilievi; i fenomeni di amplificazione cresta – base aumentano in proporzione al rapporto tra l’altezza del rilievo e la sua larghezza.

La tabella successiva (§3.2.2 NTC) descrive le diverse categorie topografiche previste dalla normativa, le quali si riferiscono a configurazioni geometriche di cresta o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell’azione sismica se di altezza maggiore 30 m.

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$
La superficie topografica dell’area ha un’inclinazione media $< 15^\circ$: Categoria topografica = T1	

2.4.3 Accelerazione massima attesa in superficie

L’influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione, e per situazioni stratigrafiche tipiche e ben definite, con riferimento alle categorie di sottosuolo.

Il moto sismico alla superficie (in campo libero) associato ad ogni categoria di sottosuolo viene definito mediante l’**accelerazione massima attesa in superficie “ a_{max} ”** ed una forma spettrale ancorata ad essa.

L’accelerazione “ a_{max} ” rappresenta l’amplificazione dell’accelerazione di base (moto su suolo rigido) a seguito degli effetti di sito: ovvero le condizioni geologiche e topografiche.

L’accelerazione massima può essere calcolata con la seguente relazione (D.M. 17/01/2018, §§ 7.11.3.2, 7.11.3.3)

$$a_{max} = S \cdot a_g$$

$$S = S_S \cdot S_T$$

S_S – coefficiente di amplificazione stratigrafica (in relazione alla categoria di sottosuolo)

S_T – coefficiente di amplificazione topografica (in relazione alla categoria topografica)

Considerando la classificazione sismica del sottosuolo, la classificazione topografica e la pericolosità di base del sito (a_g su suolo rigido), i valori dei coefficienti “S” e delle accelerazioni sismiche orizzontali amplificate “ a_{max} ” per ogni stato limite sono:

Periodo di riferimento V_R 75 anni
 Categoria del sottosuolo B

	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
S_S	1.200	1.200	1.200	1.168
S_T	1.0	1.0	1.0	1.0
S	1.200	1.200	1.200	1.168
a_g	0.053	0.070	0.184	0.238
a_{max}	0.063	0.084	0.221	0.279

2.4.4 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici “ k_h ” e “ k_v ” sono due parametri (rispettivamente coefficiente sismico orizzontale e verticale) che permettono di considerare l’effetto cinematico del suolo in presenza dell’azione sismica.

In particolare il coefficiente “ k_h ” è utilizzato nel calcolo della resistenza limite del sottosuolo in condizioni dinamiche per le analisi di stabilità del sistema geotecnico “terreno – opera di fondazione”.

“ k_h ” e “ k_v ” possono essere stimati con le seguenti relazioni valide per analisi pseudo-statiche (DM 17/01/2018, § 7.11.3.5.2)

$$k_h = \beta \cdot a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β coefficiente di riduzione dell’accelerazione sismica (0.20 ÷ 0.28, tab. 7.11.I)

g accelerazione di gravità

Periodo di riferimento V_R 75 anni
 Categoria del sottosuolo B

	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
a_{max}	0.063	0.084	0.221	0.279
β	0.20	0.20	0.28	0.28
K_h	0.0126	0.0168	0.0618	0.0781
K_v	0.0063	0.0084	0.0309	0.0390

2.4.5 Frequenze di risonanza

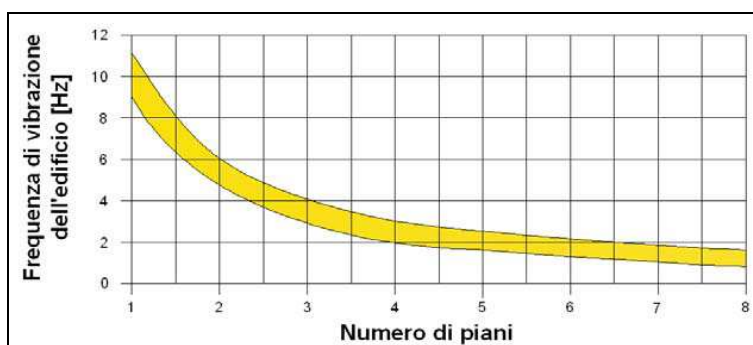
La frequenza di risonanza è la frequenza cui un sistema, eccitato da un impulso, vibra con maggiore ampiezza.

Nel sottosuolo tale fenomeno si genera al passaggio da un materiale rigido ad uno molto più tenero e tanto maggiore è la differenza d'impedenza sismica dei materiali, maggiore è l'amplificazione del segnale sismico in determinate frequenze che sono le frequenze naturali di sito.

Qualora una sollecitazione dinamica si prolunghi nel tempo, essa può diventare pericolosa per un edificio (progettato come elastico) quando il terreno trasmette una componente del segnale dinamico con la stessa frequenza di oscillazione della struttura, dando luogo al massimo delle amplificazioni del segnale sismico (*fenomeno della doppia risonanza*).

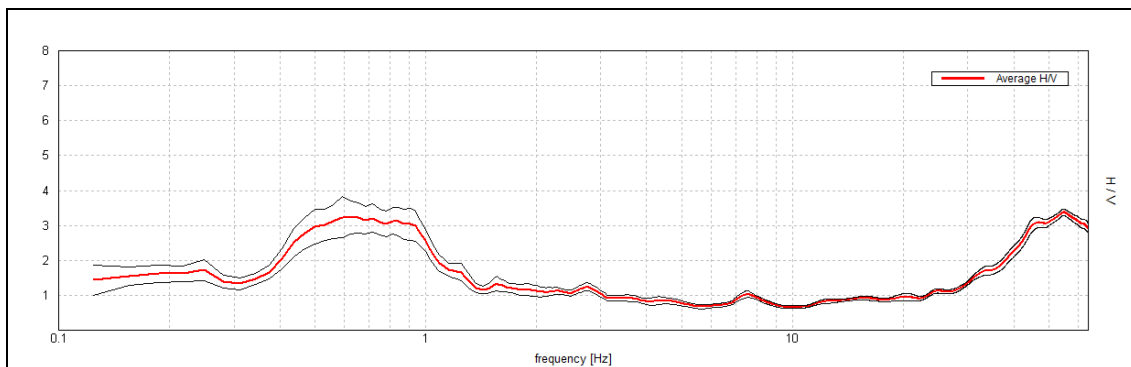
- Frequenza di oscillazione del terreno < frequenza naturale di oscillazione della struttura → danni "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno = frequenza naturale di oscillazione della struttura → danni "illimitati".

Il grafico successivo riporta empiricamente la stima della frequenza di oscillazione di un edificio elastico in relazione al numero di piani.

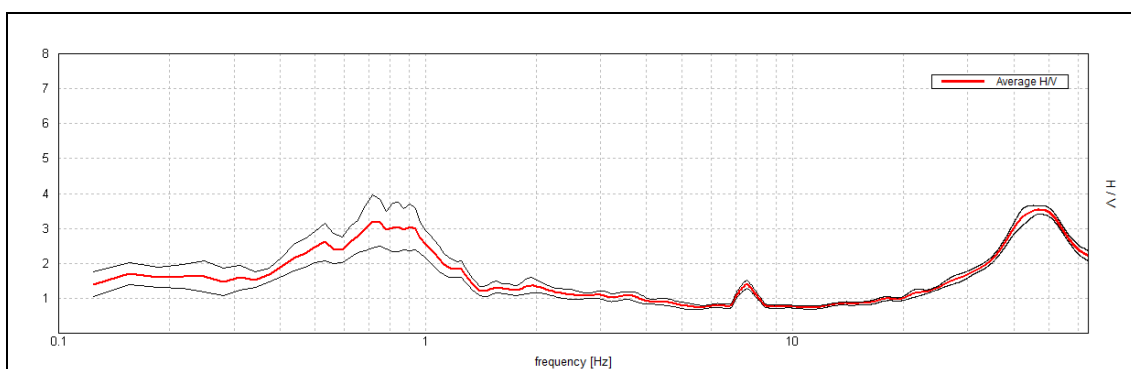


L'elaborazione dei dati rilevati con la tecnica d'indagine HVSR (descritta nella relazione geologica nel § 6.3) ha consentito di rilevare delle frequenze in cui si verifica la massima amplificazione del rapporto spettrale H/V e sono conseguenti a dei significativi contrasti d'impedenza sismica nel sottosuolo.

Tali frequenze rappresentano l'intervallo di variazione della Frequenza di Risonanza del sottosuolo.



PROVA N. 1 - Grafici dell'amplificazione del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza.



PROVA N. 2 - Grafici dell'amplificazione del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza.

I grafici delle prove 1 e 2 sono sostanzialmente identici e confermano una risposta sismica omogenea del sottosuolo.

Il picco dell'amplificazione del rapporto spettrale H/V è compreso tra le frequenze di circa **0.7 ÷ 0.9 Hz** e rappresentano le **frequenze di risonanza del sito**.

In funzione della velocità media delle onde di taglio V_s rilevate in sito, la profondità orientativa che ha generato l'elevato contrasto d'impedenza sismica è ≥ 160 m.

2.4.6 Liquefazione delle sabbie

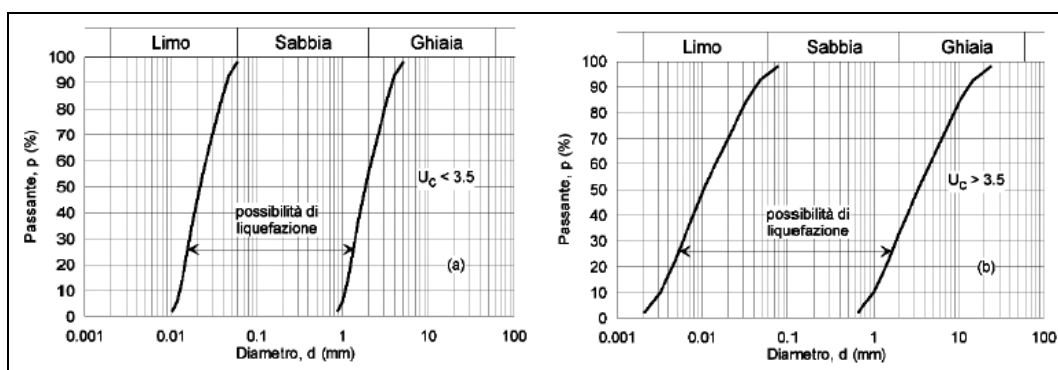
La normativa tecnica prevede che qualora siano presenti delle sabbie sature in posizione sub-superficiale debba essere verificato il grado di suscettibilità alla loro liquefazione.

Il fenomeno della liquefazione delle sabbie è provocato da intense sollecitazioni dinamiche che possono determinare, in condizioni non drenate, l'annullamento delle resistenze efficaci tra le particelle con perdita di resistenza al taglio o accumulo di deformazioni plastiche.

Maggiore è la componente fine nel deposito sabbioso, e la sua profondità, maggiore saranno le resistenze alla liquefazione.

La normativa vigente prevede che la verifica della suscettibilità alla liquefazione possa essere omessa quando si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- a) $a_{\max}$ in condizioni free-field $< 0.1g$;
- b) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ ($N1_{60}$ è il valore della resistenza determinata da prove penetrometriche dinamiche normalizzata ad una pressione efficace verticale di 100 kPa; q_{c1N} è il valore della resistenza determinata da prove penetrometriche statiche normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa);
- c) distribuzione granulometrica esterna al fuso granulometrico delle sabbie o sabbie con limo;
- d) profondità media stagionale della falda ≥ 15 m dal p.c..



Fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione.

In considerazione delle caratteristiche geolitologiche e idrogeologiche del sottosuolo indagato (ghiaie sabbiose con falda prossima a -15 m) e della caratterizzazione meccanica dei materiali, la verifica alla liquefazione delle sabbie può essere omessa.

Il sottosuolo può essere considerato NON LIQUEFACIBILE.

3 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il territorio comunale di Verona è classificato sismico in Zona 2 (D.G.R.V. 244/2021, accelerazione di riferimento su suolo rigido in classe A 0.150g ÷ 175g) e il sottosuolo è classificabile in categoria B (D.M. 17/01/2018, $V_{s,eq}$ 506 m/s).

La frequenza di risonanza del sottosuolo è compresa tra 0.7 ÷ 0.9 Hz.

In relazione all'opera di progetto (Classe d'Uso III, Vita Nominale $V_N \geq 50$ anni) e alla categoria sismica del sottosuolo (B), l'accelerazione orizzontale massima " a_{max} " di ancoraggio dello spettro di risposta elastico prevista dalla normativa (D.M. 17/01/2018) è variabile da 0.063g (periodo di riferimento V_R 75 anni, tempo di ritorno T_R 45 anni) a 0.279g (V_R 75 anni, T_R 1462 anni).

In riferimento all'analisi cartografica della Microzonazione Sismica del territorio comunale di Verona di seguito si attesta quanto segue:

- a) l'area di progetto è inserita in un contesto di zonazione sismica di Livello 3 ed è caratterizzata da depositi sabbioso ghiaiosi;
- b) l'area è stabile e suscettibile di amplificazioni locali con fattori di amplificazione FA variabili da 1.3 a 1.8;
- c) i materiali non sono liquefacibili e l'area non interferisce con zone suscettibili per faglie attive potenzialmente capaci.

Lì, ottobre 2023



Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbellini

