REALIZZAZIONE DI UN VALLO PARAMASSI A DIFESA DELL'ABITATO IN COMUNE DI NOVATE MEZZOLA
CIG 9158189BA3



Fase Progettuale

PROGETTO ESECUTIVO

Oggetto

02 - GEOLOGIA E GEOTECNICA
Relazione sismica

Ing. P. Cancelli
Ing. G. Bragonzi

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 45488726
https://studiocancelli.eu
E-mail: info@studiocancelli.eu

Dott. Geol. A. Tamburini

IMAGE

Collaborazione

Ing. A. Mocchi
Ing. L. Tedeschi

Dott. Agr. F. Neonato
(PN Studio)

Elaborato

02.03

Codice 294E018T10

Scala -

13/12/2024	0	Emissione per consegna	GB
Data	n°	Descrizione	Approvato

Indice

1 PREMESSA 4

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5

2.1 Normativa di riferimento 5

2.2 Documentazione di riferimento 5

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E PAESAGGISTICO 7

4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 10

4.1 Vita nominale di progetto 11

4.2 Classe d'uso 12

4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica 13

4.4 Stati limite e probabilità di superamento 14

4.5 Parametri di pericolosità sismica 15

5 RISPOSTA SISMICA LOCALE 17

5.1 Indagini di riferimento 17

5.2 Modello geologico di riferimento 17

5.3 Categoria di sottosuolo e condizione topografica 19

5.4 Pericolosità sismica del sito 22

5.5 Stabilità nei confronti della liquefazione 22

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

1 PREMESSA

La presente relazione sismica, redatta nell'ambito della progettazione esecutiva dell'intervento ***"Realizzazione di un vallo paramassi a difesa dell'abitato in Comune di Novate Mezzola"***, tratta le problematiche connesse alla classificazione sismica del sito ai fini della determinazione dei parametri utili per le verifiche sismiche dei realizzandi interventi. Ci si riferisce in particolare al dimensionamento del nuovo rilevato in terra rinforzata a protezione dell'abitato in località Foppa Chiosi, nel Comune di Novate Mezzola (SO).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono che la pericolosità sismica venga definita mediante un approccio "sito dipendente": l'azione sismica di progetto, utilizzata per valutare il rispetto degli stati limite, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito in oggetto, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La relazione è stata articolata sulla base dei seguenti capitoli.

- **Documenti di riferimento:** elenco delle principali leggi, decreti, circolari e norme attinenti alla redazione dei progetti in ambito di opere pubbliche ed in particolare alla progettazione e la costruzione delle nuove opere soggette anche all'azione sismica.
- **Inquadramento geografico:** descrizione del contesto geografico in cui ricade l'opera.
- **Pericolosità sismica di base:** descrizione delle modalità con le quali sono stati determinati i valori dei parametri dello spettro di risposta orizzontale per ciascuno stato limite di interesse per il progetto delle opere.
- **Risposta simica locale:** definizione delle azioni sismiche di progetto con specifico riferimento al contesto geologico e geomorfologico e valutazione delle condizioni di stabilità nei confronti della liquefazione.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

[1] Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'art. 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici, Decreto Legislativo 31.03.2023 n. 36.

[2] Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, Decreto Legislativo 18.04.2016, n. 50, G.U. n. 91 del 19.04.2016.

[3] Regolamento di esecuzione e attuazione del Decreto Legislativo 12.04.2006, n. 163, DPR del 05.10.2010, n. 207, G.U. n. 288 del 10.12.2010, Supplemento Ordinario n. 270.

[4] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018, Supplemento Ordinario n.8 alla Gazzetta Ufficiale.

[5] D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", G.U. 01.06.1988, n. 127. S.O.

[6] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, 20 marzo 2003, G.U. n. 105 del 08.05.2003, Supplemento Ordinario n. 72.

[7] Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003, G.U. n. 252 del 29 ottobre 2003.

[8] D.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904 "D.G. Sicurezza, polizia locale e protezione civile", Gazzetta Ufficiale della Regione Lombardia, Serie Ordinaria n. 49, 1 dicembre 2003.

[9] AGI - Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee Guida – Associazione Geotecnica Italiana Marzo 2005

2.2 Documentazione di riferimento

[10] Frana di crollo nella parete rocciosa in loc. Foppa-Chiosi in Comune di Novate Mezzola. Redazione analisi cinematica – EG4 RISK S.r.l. – Ottobre 2021.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

[11] REPORT – Rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedée nel Comune di Novate Mezzola (SO) – MISURA DI ZERO – 20-24 maggio 2022 – Ellegi Srl

[12] REPORT – II-III-IV-V-VI-VII PERIODICAL CHEK - Rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedée nel Comune di Novate Mezzola (SO) – 9-13 settembre 2022 (II) / 20-24 gennaio 2023 (III) / 9-13 giugno 2023 (IV) / 2-6 ottobre 2023 (V) / 11-15 gennaio 2024 (VI) / 19-23 aprile 2024 (VII) / 23-30 settembre 2024 (VIII) – Ellegi Srl.

[13] Campagna di indagini geognostiche, geofisiche e ambientali – Relazione Tecnica-Illustrativa S.In.Ge.A. Rrl.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E PAESAGGISTICO

La porzione di versante oggetto di studio è ubicata in località Foppa Chiosi, nel Comune di Novate Mezzola (SO). L'abitato soggetto a rischio di caduta massi (220 m s.l.m.) è delimitato a Nord dalle pareti rocciose del Monte Avedèe, ad Est dal Torrente Codera e ad Ovest dalla piana alluvionale del Fiume Mera.



Figura 3.1: ubicazione geografica dell'area oggetto di studio (tratta da Google Earth).

Alla base delle pareti rocciose, molto ripide (aventi un'altezza di alcune centinaia di metri), è presente un piazzale artificiale creato in seguito alla rimozione di materiale detritico accumulatosi nel tempo in seguito all'attività estrattiva della cava attiva sulle pendici del Monte Avedèe.

In corrispondenza di quest'area è stato in seguito scavato un vallo paramassi per il contenimento dei blocchi crollati dalla parete soprastante. Tale vallo risulta essere carico in detrito e posto ad un'altezza inferiore di soli 3 ÷ 4 metri rispetto al piano presente alla base del versante nella porzione più occidentale dell'area di intervento. Alla sommità del vallo corre una strada bianca, "pista delle cave", che funge anche da collegamento ad alcune abitazioni (Figura 3.2).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu



Figura 3.2: percorso indicativo della strada bianca.

La zona individuata negli studi pregressi come di massima pericolosità si estende tra i 250 ed i 350 metri dalla parete rocciosa, ed include una buona parte dell'abitato in loc. Foppa e Chiosi.



Figura 3.3: tracciato indicativo della strada bianca esistente.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu



Figura 3.4: dettaglio di alcune abitazioni esposte a rischio di caduta massi.

La parete rocciosa del monte Avedèe è quasi interamente classificata come Area soggetta a crolli e ribaltamenti diffusi del catalogo IFFI e come area di frana attiva (Fa) o area di frana quiescente (Fq) nella carta dei dissesti PAI redatta dall'Autorità di Bacino.

La predisposizione del versante oggetto di studio ad essere interessato da crolli è testimoniata dalla presenza di numerose nicchie di distacco riconoscibili in parete e dal deposito detritico posto alla base della parete stessa.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La Normativa vigente [4], prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione sia definita sulla base dei valori di "pericolosità sismica di base" del sito. La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" V_R.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto, secondo le NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, quindi in assenza di manufatti. Allo stato attuale essa è inoltre definita, nel territorio nazionale, su un reticolo di riferimento che suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 km per 10 km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NTC 2008). Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R (intervallo di riferimento) sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica del sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento. Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu



Figura 4.1: identificazione del sito all'interno del reticolo di riferimento del territorio nazionale.

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_R) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PV_R) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R).

4.1 Vita nominale di progetto

La vita nominale dell'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale è previsto che essa, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di opere sono riportati Tabella 4.1.

Tabella 4.1: Valori minimi della Vita nominale di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I D.M. 17/01/2018)

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Per le opere oggetto del presente studio, trattandosi di opere ordinarie, si è assunta una vita nominale pari a 100 anni.

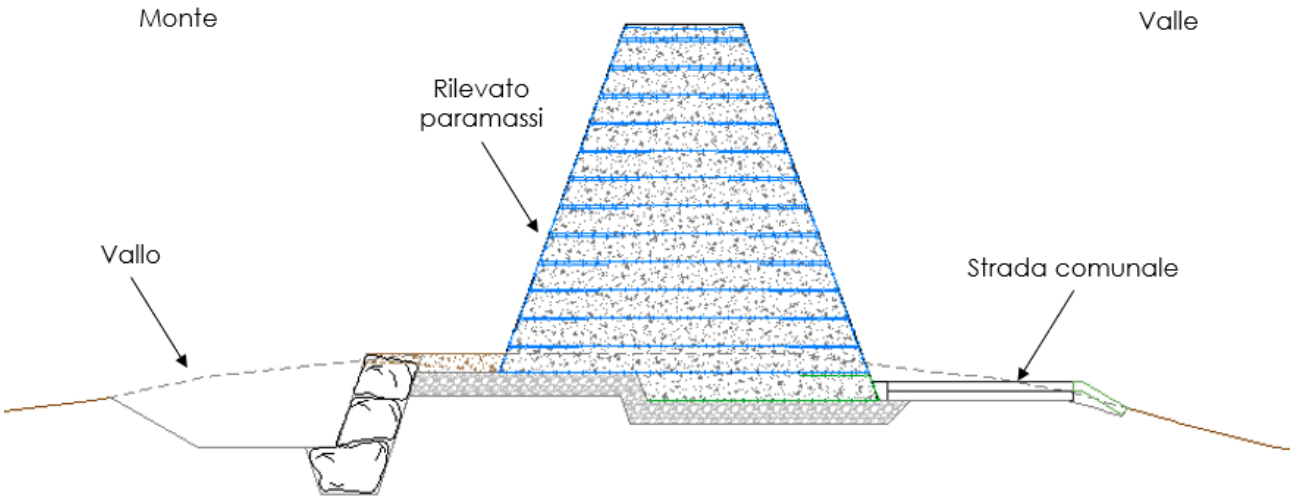


Figura 4.2: sezione schematica dell'intervento.

4.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono divise in classi d'uso così definite:

Classe I Costruzioni con presenza solo occasionale di persone.

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.

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 DM 5/11/2001, 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

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e ad impianti di produzione di energia elettrica.

Nell'ambito della progettazione degli interventi per la mitigazione del rischio da caduta massi in località Foppa e Chiosi in Comune di Novate Mezzola, la scelta della classe d'uso è strettamente legata alla presenza della strada comunale a valle dei suddetti interventi, ed alla presenza, ancora più a valle, delle abitazioni.

In occasione dell'emanazione dell'OPCM 3274/2003 [6], la Protezione Civile e le singole Regioni sono stati chiamate a redigere gli elenchi dettagliati degli "edifici ed opere infrastrutturali strategici e/o rilevanti", corrispondenti rispettivamente alle classi d'uso IV e III di cui sopra.

La Protezione Civile, nell'Allegato 1 al Decreto n. 3685 del 21 ottobre 2003 [7], elenco B, definisce le categorie di edifici ed opere infrastrutturali di competenza statale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (classe d'uso III); con specifico riferimento agli edifici presenti nel sito in oggetto, si riportano i seguenti punti:

1.1 edifici pubblici o comunque destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane;

1.3 edifici il cui collasso può determinare danni significativi al patrimonio storico, artistico e culturale (quali ad esempio musei, biblioteche, chiese).

Nell'elenco A dello stesso Allegato 1 al Decreto n. 3685, la Protezione Civile definisce le categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile (classe d'uso IV); con specifico riferimento alla Strada Statale 36, si riporta il seguente punto:

2.1 autostrade, strade statali e opere d'arte annesse

Si assume pertanto per gli interventi di progetto la classe d'uso II.

4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento dell'opera (V_R) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_N), intesa come il numero di anni nel quale l'opera deve mantenere specifici livelli prestazionali, e il Coefficiente d'uso (C_U), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2018).

$V_R = V_N \times C_U$

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito in funzione della classe d'uso secondo i valori riportati nella Tabella 4.2.

Tabella 4.2: Valori del coefficiente d'uso C_U (Tab. 2.4.II D.M. 17/01/2018)

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel caso in esame si ha:

V_N = 100 anni

C_U = 1.0

Il periodo di riferimento dell'opera (V_R) è quindi pari a 100 anni.

4.4 Stati limite e probabilità di superamento

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PV_R) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2018).

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2008, sono stati considerati due stati limite:

- Stato Limite di Danno, SLD (in esercizio);
- Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento (PV_R) sono forniti dalla Tabella 3.2.1 delle NTC 2008 (Fig. 5/A).

Tabella 4.3: Probabilità di superamento PV_R in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018)

Stati Limite		P_{V_R}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori del periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la seguente relazione:

$T_R = - V_R / \ln (1-PV_R)$

Si ottengono i seguenti periodi di ritorno:

- T_R pari a **101 anni** per lo Stato Limite di Danno (SLD)
- T_R pari a **949 anni** per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGE
AID AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

4.5 Parametri di pericolosità sismica

Dal punto di vista sismico, in base alla riclassificazione sismica dei comuni operata da Regione Lombardia (D.g.r. 11 luglio 2014 n°2129), il comune di Novate Mezzola ricade in Zona Sismica 3.

Dalla Tavola 6Ca del PGT (Figura 4.3) della Pericolosità Sismica Locale (PSL) si evince che l'area in oggetto è classificata in area Z4b, suscettibile di amplificazione sismica per la litologia e geometria dei luoghi, per la quale è prevista una verifica sismica di 2° livello per la determinazione corretta della categoria di suolo e del rispettivo spettro sismico.

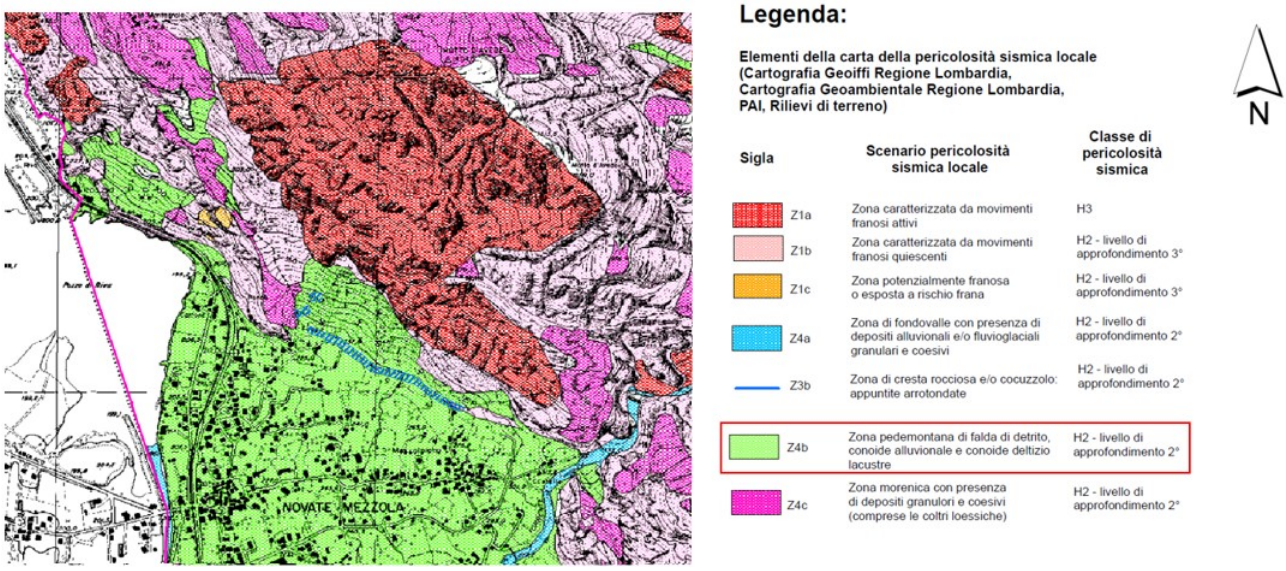


Figura 4.3: estratto da PGT, Tav. 6Ca, carta della Pericolosità Sismica Locale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento (PV_R) e vite di riferimento (T_R).

Come anticipato all'inizio del capitolo, le forme spettrali, dalle quali si ricavano le azioni sismiche di progetto, sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10);
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento, e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Per un qualunque punto del territorio nazionale, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g, F_o, T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Si attribuisce a:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- T_c^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Per poter effettuare questo tipo di analisi, sono disponibili fogli di calcolo messi a disposizione gratuitamente da software house o dallo stesso Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Spettri-NTC ver. 1.03).

Il calcolo dei coefficienti sismici del sito in esame è stato eseguito per le seguenti coppie di coordinate, relative ad un punto medio del tracciato del rilevato di progetto:

latitudine: 46,2225 longitudine: 9,4509

Per la determinazione dei valori dei parametri dello spettro di risposta orizzontale per ciascuno stato limite considerato (riferiti ad un sito di riferimento rigido orizzontale), si fa riferimento all'Allegato B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (Tabella 1).

I valori ottenuti per gli stati limite di interesse sono di seguito riportati (Tabella 4.4).

Tabella 4.4: Parametri di pericolosità sismica

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.025	2.638	0.188
SLD	101	0.031	2.676	0.203
SLV	949	0.057	2.771	0.293
SLC	1950	0.068	2.836	0.303

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

5 RISPOSTA SISMICA LOCALE

La definizione "della risposta sismica locale", ovvero dell'azione sismica come emerge in superficie, si effettua con riferimento, secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018, D.M. 17/01/2018), ad un approccio semplificato basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo e sulle condizioni topografiche.

Identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è infatti necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

5.1 Indagini di riferimento

Le indagini geognostiche e geofisiche per la caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo sono state condotte sa S.In.Ge.A. S.r.l. e sono consistite in:

- N.3 sondaggi a carotaggio continuo;
- N.10 prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) di tipo super-pesante (DPSH);
- N.1 prospezione sismica attiva con metodologia MASW con stendimento da n.24 geofoni;
- N.2 prospezioni sismiche passive con metodologia HVSR;
- N.1 stendimento sismico a rifrazione con acquisizione delle onde P con stendimento da n. 24 geofoni;
- N.1 stendimento geoelettrico tomografico.

Tale indagine [13] ha permesso la raccolta delle informazioni necessarie per la caratterizzazione geofisica dei terreni fino alla profondità di ca. 25m dal piano campagna.

È stata effettuata anche una specifica indagine sismica in sito mediante tecnica di sismica passiva con "metodo a stazione singola HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios – H/V metodo dei rapporti spettrali) così da poter valutare i valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio.

5.2 Modello geologico di riferimento

In sintesi, gli studi geologici hanno permesso di valutare che il rilevato paramassi sarà fondato completamente su depositi incoerenti di versante o di frana. La suddetta unità geologico-geotecnica è costituita da ghiaie e sabbie molto addensate, mal selezionate, con scarsa componente coesiva, clasti spigolosi, granulometria molto variabile e presenza di trovanti granitici anche di dimensioni plurimetriche. Ne consegue che i terreni di fondazione sono particolarmente eterogenei, proprio a causa della diffusa presenza di

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

trovanti, i quali possono aver condizionato i risultati di prove SPT e SCPT e delle indagini geofisiche.

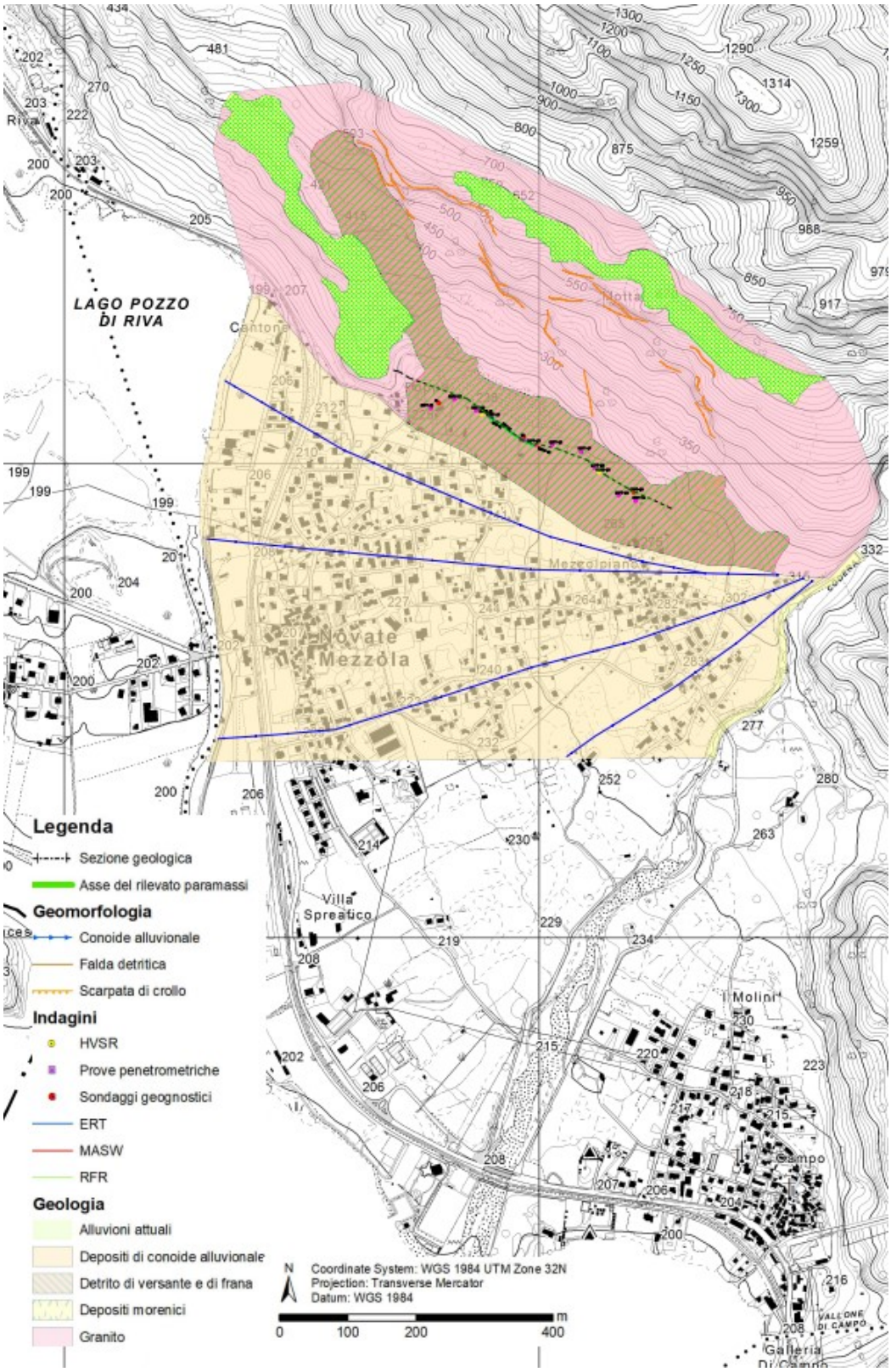


Figura 5.1: stralcio geologico dell'area di interesse (si veda elaborato 02.03 per un maggior dettaglio).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

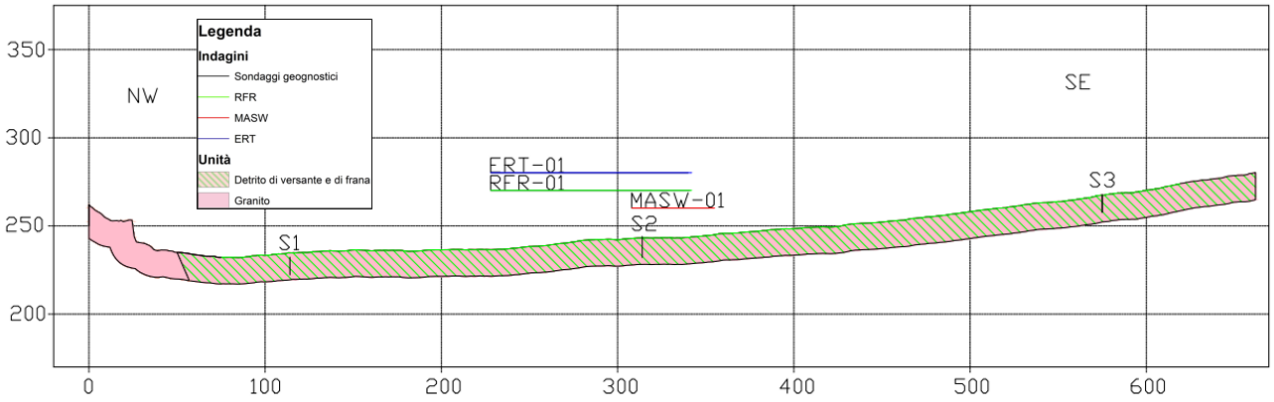


Figura 5.2: sezione geologica di riferimento dell'opera (si veda elaborato 02.04 per un maggior dettaglio).

5.3 Categoria di sottosuolo e condizione topografica

Per l'identificazione della categoria di sottosuolo, in accordo con le NTC, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_s di propagazione delle onde di taglio.

Nei casi in cui la misura di V_s non sia disponibile, il suo valore, secondo le Norme Tecniche 2018, può essere valutato, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, 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 classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \qquad 5.1$$

Dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Nel caso specifico la stima del parametro V_{s30} è stata effettuata attraverso l'impiego del metodo a stazione singola HVSR considerando anche gli esiti della campagna geognostica eseguita con il metodo geoelettrico e con quello sismico a rifrazione.

L'analisi delle onde di Rayleigh tramite metodo MASW ha consentito di stimare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio (Vs), dalle quali è possibile calcolare il valore $v_{S,EQ}$ per la sezione indagata. Di seguito si riporta la tabella sismostratigrafica dello stendimento realizzato.

TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA MASW1		
PROFONDITÀ (m da p.c.)	**SPESSORE (m)**	**VELOCITÀ ONDE DITAGLIO (m/s)**
3.10	3.10	201
9.70	6.60	676
13.70	4.00	491
17.30	3.60	401
26.30	9.00	675
30.00	3.70	910

Tabella 5.1: tabella sismostratigrafica dello stendimento MASW realizzato.

Il valore $v_{S,EQ}$ con bedrock sismico stimato a 26.30 m a partire da piano campagna è pari a **473 m/s.**

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella: (Tabella 3.2.II delle NTC 2018).

Tabella 5.2: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tabella 3.2.II delle NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 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.

Sulla base dei valori di $V_{s,30}$ calcolati, con riferimento alle categorie di sottosuolo individuate nelle NTC, i terreni di fondazione per il rilevato paramassi in progetto rientrano nella categoria 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.*".

Per la categoria topografica da considerare nella definizione dell'azione sismica, si adotta la classificazione della Tabella 5.3.

Tabella 5.3: Categorie topografiche (Tabella 3.2.III delle NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Trattandosi di pendii con inclinazione media inferiore a 15°, si è assunta la categoria topografica T1.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

5.4 Pericolosità sismica del sito

Noti la categoria di sottosuolo e la categoria topografica, ne derivano quindi i seguenti valori dei parametri sismici per i diversi stati limite:

Per lo stato limite ultimo SLV (salvaguardia della vita), in particolare, risulta:

a_g = 0.057g	accel. orizz. max attesa al sito su suolo di cat. B
$S = S_S \times S_T = 1.2 \times 1.0 = 1.2$	S_S = coeff.amplificazione stratigrafica = 1.2
	S_T = coeff.amplificazione topografica = 1.0
$a_{max} = a_g \times S = 0.0684$ g	accel. massima orizzontale attesa al sito

Per le analisi di stabilità dei pendii:

β_s = 0,20	coeff. riduttivo di a_{max} (tab.7.11.I NTC2018)
	per $a_g/g \leq 0.1$ e suolo di cat.B
$k_h = \beta_s \times a_{max}/g$ = 0.01368	coeff.sismico orizzontale
$k_v = \pm 0.5\ k_h = \pm 0.00684$	coeff.sismico verticale

Per fronti di scavo e rilevati:

β_s = 0,38	coeff. riduttivo di a_{max}
$k_h = \beta_s \times a_{max}/g$ = 0.025992	coeff.sismico orizzontale
$k_v = \pm 0.5\ k_h = \pm 0.012996$	coeff.sismico verticale

5.5 Stabilità nei confronti della liquefazione

Il rischio di liquefazione, cioè di riduzione di resistenza al taglio causata da incremento delle pressioni interstiziali nei terreni saturi prevalentemente sabbiosi non coesivi per effetto sismico, riguarda solo le zone dove la falda potrebbe risalire fino a profondità prossime al piano di campagna.

Con specifico riferimento al sito in esame, la verifica non è stata effettuata in quanto non si è rilevata la presenza di una falda.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu