



THE
BLOSSOM[®]
AVENUE

FOR BETTER HUMAN LIVING

PIANO ATTUATIVO CONFORME AL PGT AMBITO DI TRASFORMAZIONE AdT n° 13

Allegato 1.2
Integrazioni alla relazione geologica

PROPONENTE



develog6

logistics
development

Develog 6 s.r.l.
Via Durini 9
20122 Milano (Milano)

PROJECT MANAGEMENT E
PROGETTAZIONE DEL PIANO
ATTUATIVO

The Blossom Avenue Partners
Prof. Arch. Marco Facchinetti
Urb. Marco Dellavalle
Arch. Luca De Stefani
Corso Italia 13, 20122, Milano
Tel +39 (02) 365 20482
tbapartners@pec.it

CONSULENZA AMBIENTALE

TEA consulting
Ing. Massimo Moi
via G. B. Grassi, 15, 20157 - Milano
moi@territorioambiente.com
Invarianza idraulica
Ing. Michelangelo Aliverti

PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO E DEL VERDE

Studio Architettura Paesaggio di Luigino Pirola
Dott. Arch. Paesagg. Luigino Pirola
Via Piave 1 24040 - Bonate Sopra (BG)
info@studioarchitetturapaesaggio.it

Settembre 2023



Develog 6 S.r.l.

Ambito di Trasformazione n. 13

Via Mantova (Sp 567)

Comune di Lonato del Garda (BS)

**INTEGRAZIONI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA
REDATTA DAL GEOL. P. PASINI IN DATA 05/10/2021
D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/2011 – D.M. 17/01/18 (e s.m.i.)**

Luglio 2023

INDICE

1. PREMESSA.....		3
2. ANALISI DEL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....		3
3. CRITICITÀ RELATIVE AL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....		5
3.1 Prescrizioni realizzative.....		6
4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....		7
4.1 Vincoli di natura idraulica – RIM.....		9
5. SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE		11
6. AZIONE SISMICA DI PROGETTO		12
6.1 Indagini sismiche		14
6.2 Analisi sismica di secondo livello.....		16
6.3 Parametri sismici sito-specifici		19
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....		21

1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato predisposto in risposta alla richiesta di integrazioni avanzata dal Comune di Lonato D. G. in merito alla relazione geologica redatta dal Geol. P. Pasini (datata 05/10/2021) ed inerente all'Ambito di Trasformazione n. 13, ubicato in Comune di Lonato del Garda (BS), in fregio alla Via Mantova (SP 567).

Nella fattispecie gli argomenti trattati nei capitoli successivi, in osservanza a quanto richiesto dal Comune di Lonato, riguardano gli argomenti elencati a seguire.

- a) Analisi del modello geologico-geotecnico preliminare con la valutazione dell'interazione tra le opere in progetto e l'individuazione degli eventuali elementi di criticità che dovranno essere affrontati e considerati in fase di progettazione, con indicazioni preliminari in merito ai possibili accorgimenti tecnici che potranno essere adottati per la risoluzione delle problematiche riscontrate.
- b) Analisi della fattibilità degli interventi prospettati in relazione al locale assetto idrogeomorfologico, litostratigrafico, idraulico e sismico, con valutazione della compatibilità in funzione delle limitazioni d'uso imposte dal vigente studio geologico comunale (con particolare riferimento alla carta di fattibilità geologica).
- c) Esecuzione degli approfondimenti sismici previsti dalla vigente normativa in materia con la ricostruzione della sismostratigrafia del substrato (sulla base dell'indagine MASW pregressa condotta in loco), lo sviluppo dell'analisi sismica di secondo livello (per amplificazione di tipo litologico) e la definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri sismici sito-specifici. Inoltre sono state valutate le problematiche connesse alla presenza dello scenario di amplificazione sismica locale Z2a con un'indicazione in merito ai possibili interventi di salvaguardia (nei confronti dei cedimenti).

Si precisa che gli argomenti trattati nel presente elaborato sono conformi a quanto prescritto dal D.M. 17/01/18 *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*, che rappresenta la più recente applicazione normativa della Legge n. 64 del 1974 e dei successivi D.M. applicativi, con particolare riferimento al D.M. 14/01/08 e, inoltre, congrui a quanto previsto dalla D.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e dalla D.g.r. n. X/5001 del 30 marzo 2016.

2. ANALISI DEL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Sulla base delle indagini pregresse tratte dalla relazione del Geol. P. Pasini (05/10/2021), il modello geologico-geotecnico preliminare del sottosuolo del sito investigato è composto da due unità geolitologiche principali:

- **UNITÀ A** rappresenta l'unità più superficiale ed è composta da litologie granulometricamente fini, perlopiù sature, composte da limo

sabbioso e sabbia limosa, con presenza di orizzonti argilloso-torbosi; è contraddistinta da mediocri-scadenti proprietà geomeccaniche ($Cu\ 0,40\div 0,50\text{ kg/cm}^2 - \Phi\ 27\div 28^\circ$) e può essere sede di significativi fenomeni di cedimento.

- **UNITÀ B** si trova a maggiori profondità ed è composta da sabbie addensate con sporadiche passate ghiaiose; è caratterizzata da un comportamento reologico eminentemente di tipo coesivo e da buoni parametri geotecnici ($Cu\ zero - \Phi\ 34\div 35^\circ$).

Nella sezione riportata nella Figura 1 (tratta dalla relazione geologica redatta dal Geol. P. Pasini, 05/10/2021), viene mostrata la distribuzione spaziale delle summenzionate unità nel sottosuolo del sito investigato.

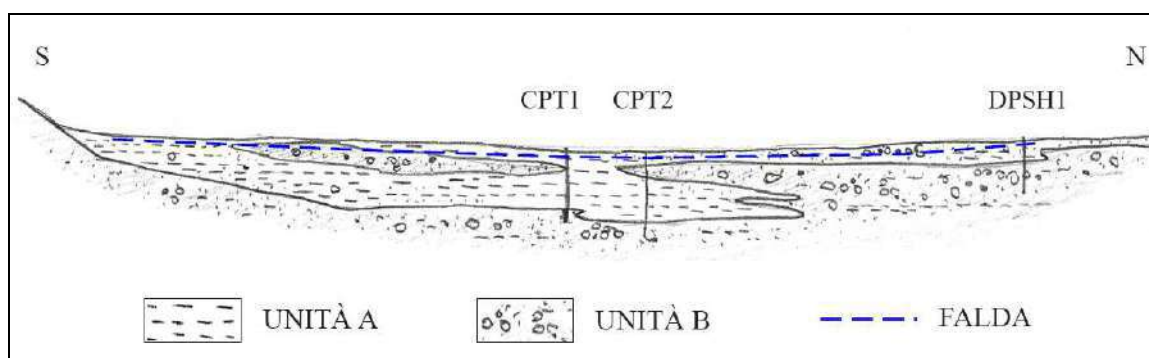


Figura 1 Sezione litostratigrafica schematica (Geol. P. Pasini, 2021, modificata).

Procedendo da nord verso sud si assiste ad un ispessimento dell'Unità A, che raggiunge lo spessore massimo di circa $6,40\div 7,80\text{ m}$ (prove CPT1 e CPT2) nella zona centrale dell'Ambito di Trasformazione n. 13. Lo spessore dell'UNITÀ A si riduce considerevolmente nel settore settentrionale del summenzionato ambito, sino a raggiungere una potenza di circa $1,60\text{ m}$ (prova DPSH1).

È importante precisare che in relazione alla vastità dell'area dovranno essere realizzate ulteriori indagini geognostiche per poter definire, con un sufficiente grado di dettaglio, il modello geologico-geotecnico del sottosuolo (che in questo elaborato viene giustamente definito come "preliminare").

Ciononostante questa ricostruzione sembra congruente con le perimetrazioni visualizzate nella carta della pericolosità sismica locale del vigente studio geologico comunale (SG TAV. 8, Geologa Lentini et alii, 2019), che hanno individuato nel settore centrale e meridionale dell'area di intervento una zona (classificata come Z2a) caratterizzata dalla presenza di litologie contraddistinte da scadenti proprietà geomeccaniche e potenzialmente soggette a significativi fenomeni di cedimento (si veda la Figura 2).

Per quanto concerne l'aspetto idrogeologico, sulla base dei rilievi freaticometrici condotti sulla verticale delle prove penetrometriche il tetto della prima falda,

rappresentato nella Figura 1 dalla linea tratteggiata di colore azzurro, dovrebbe collocarsi ad una profondità di circa 1,10 m dal piano di campagna.

Nella sezione di cui sopra è stata operata una semplificazione, infatti in relazione al locale contesto geologico-geomorfologico (piana intermorenica) e litostratigrafico, invece di un unico acquifero potrebbero essere presenti più falde sospese; anche questo aspetto dovrà essere chiarito nel corso di una successiva campagna di indagini.

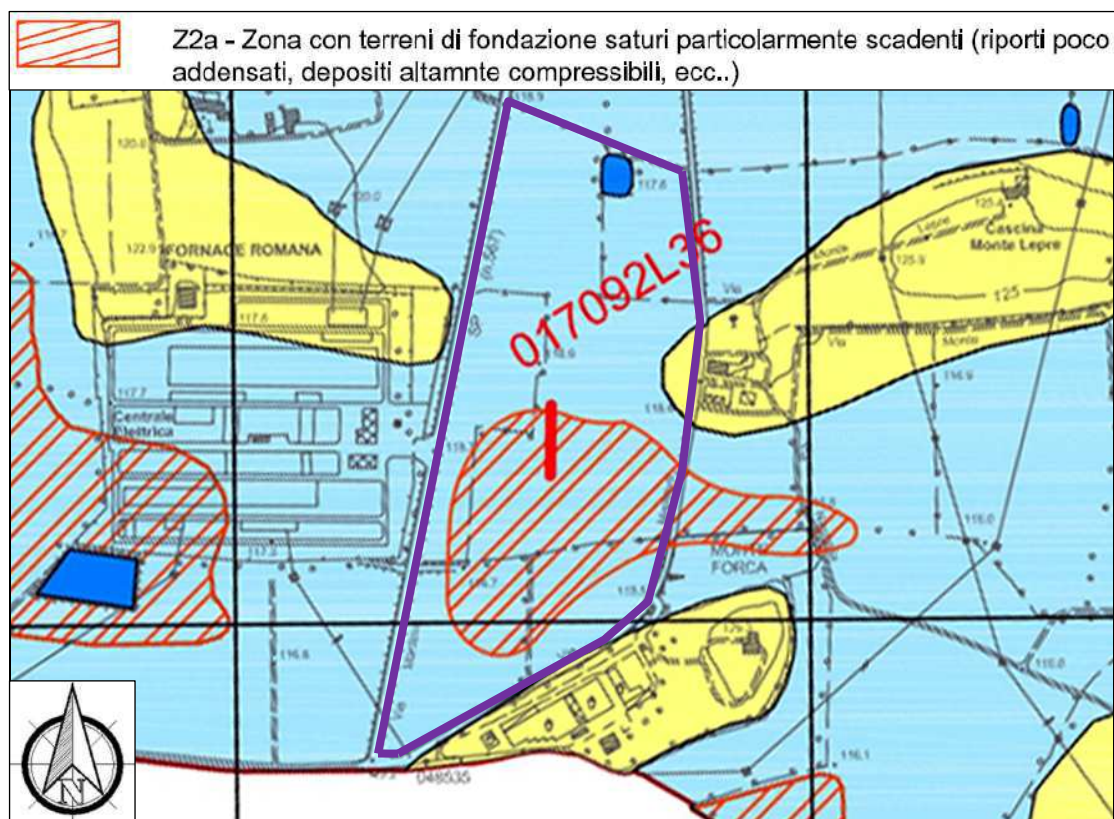


Figura 2 Stralcio della Carta della pericolosità sismica locale del vigente studio geologico comunale (SG TAV. 8, Geologa Lentini et alii, 2019). Da notare la presenza di terreni potenzialmente soggetti a significativi fenomeni di cedimento (scenario Z2a) in corrispondenza del settore centro-meridionale dell'Ambito di Trasformazione n. 13 (la linea di colore viola individua il perimetro del suddetto ambito).

3. CRITICITÀ RELATIVE AL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Dall'analisi del modello geologico-geotecnico preliminare emergono quattro criticità che potrebbero interferire con le opere di futura realizzazione e che dovranno essere attentamente considerate in sede di progettazione, ovvero:

- 1) presenza di terreni contraddistinti da mediocri-scadenti parametri geotecnici;
- 2) presenza di unità geolitologiche caratterizzate da proprietà geomeccaniche marcatamente differenti;

- 3) presenza di una distribuzione latero-verticale alquanto disomogenea di differenti unità geolitologiche nel sottosuolo;
- 4) soggiacenza della falda molto ridotta con possibile presenza di falde sospese.

Come accennato in precedenza queste criticità dovranno essere attentamente valutate nel corso della progettazione, infatti le problematiche indicate al punto 1 potrebbero comportare, anche in relazione alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare, l'insorgere di significativi fenomeni di cedimento.

Inoltre, in relazione alle criticità di cui ai punti 2 e 3, si potrebbe avere una distribuzione differenziale dei fenomeni di cedimento, che rappresenta una condizione alquanto sfavorevole e che potrebbe compromettere l'integrità strutturale dei fabbricati di futura realizzazione.

Per quanto concerne il punto n. 4, le acque sotterranee, che si trovano ad una quota molto prossima a quella del piano di campagna, potrebbe interferire sia con le operazioni di scavo, sia con le opere di fondazione.

3.1 Prescrizioni realizzative

In relazione alle criticità riscontrate in sito si ritiene necessario un ulteriore approfondimento investigativo tramite l'esecuzione di una campagna di indagini finalizzate alla ricostruzione di un modello più dettagliato.

La tipologia e la posizione delle suddette indagini dovrà essere definita in funzione delle caratteristiche tecniche delle opere in progetto e della loro ubicazione all'interno dell'ambito di trasformazione di cui in epigrafe.

Per quanto concerne la presenza di terreni contraddistinti da scadenti proprietà geomeccaniche, unitamente alla loro caotica distribuzione latero-verticale piuttosto disomogenea (che dovrà essere investigata tramite le indagini di cui sopra), dovrà essere attentamente valutata la possibilità di attuare un intervento di miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione o, in alternativa, di prevedere la realizzazione di strutture di fondazione profonde (pali), in grado di trasferire i carichi di progetto in corrispondenza dell'unità geolitologica B.

Tali interventi permetterebbero anche di risolvere le problematiche legate allo scenario di pericolosità sismica locale Z2a (si veda il Capitolo 5).

Dato che le fosse di fondazione dovranno essere mantenute asciutte prima dell'esecuzione dei getti, in relazione alla limitata soggiacenza delle acque sotterranee potrebbe rendersi necessaria l'installazione di un sistema in grado di deprimere temporaneamente la falda (tipo well-point o similare).

Inoltre le opere di fondazione (così come le porzioni ipogee in genere) dovranno essere impermeabilizzate e progettate per resistere al prolungato contatto con le acque

sotterranee ed all'eventuale aggressione chimica delle stesse, che potrebbe innescare processi di corrosione del calcestruzzo e delle armature metalliche.

Allo scopo di preservare la qualità del primo acquifero, che denota un elevato grado di vulnerabilità (si veda il Capitolo 4), le opere in progetto (compresa la viabilità interna) dovranno essere dotate di una puntuale ed efficiente rete di raccolta delle acque meteoriche, oltre che di quelle bianche e nere, che dovranno essere convogliate entro idonei recapiti evitando dispersioni incontrollate nel sottosuolo.

4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Nella carta di fattibilità del vigente PGT comunale (SG TAV. 13, Geologa Lentini et alii, 2019), il sito indagato ricade parte in **classe di fattibilità 2** (area con modeste limitazioni alla modificazione della destinazione d'uso dei terreni) e parte in **classe di fattibilità 3** (area con consistenti limitazioni alla modificazione della destinazione d'uso dei terreni), così come illustrato nella Figura 3.

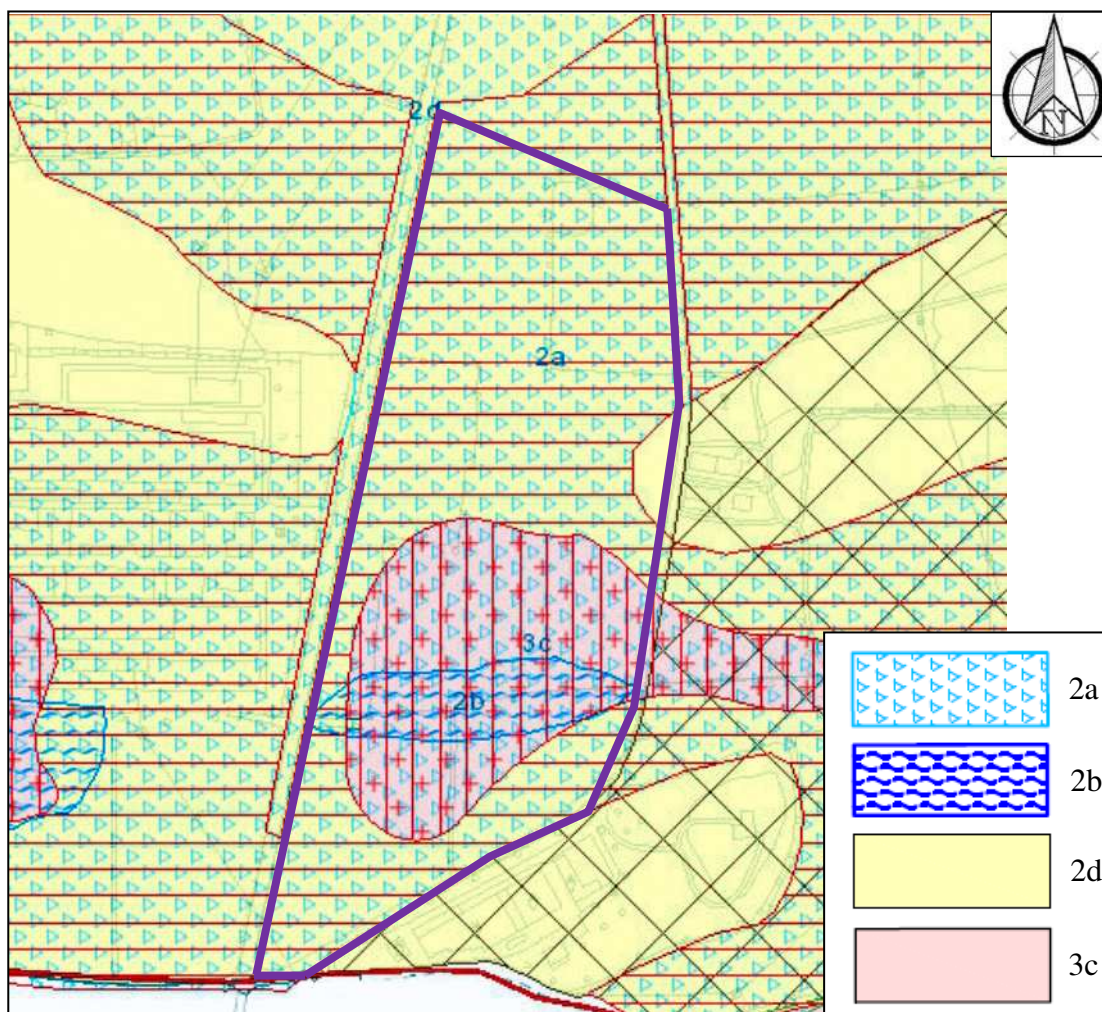


Figura 3 Stralcio della carta di fattibilità geologica del vigente PGT comunale (scala 1:5.000). La linea di colore viola mostra il perimetro dell'Ambito di Trasformazione 13.

Più in dettaglio sono presenti le seguenti sottoclassi:

- **2a** area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile);
- **2b** area allagata per difficoltà di smaltimento delle acque di pioggia;
- **2d** area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°);
- **3c** area con terreni aventi caratteristiche geotecniche scadenti.

Per quanto concerne le problematiche connesse alla classe di fattibilità **2a** sarà necessario dotare tutte le opere di futura costruzione (compresa la viabilità interna) di una puntuale ed efficiente rete di raccolta delle acque meteoriche, oltre che di quelle bianche e nere, che dovranno essere convogliate entro idonei recapiti evitando dispersioni incontrollate nel sottosuolo.

La presenza di aree potenzialmente allagabili a causa delle difficoltà di assorbimento delle acque meteoriche (sottoclasse **2b**), è stata affrontata nello studio idraulico di dettaglio, a firma dell'Ingegnere Angelo Agostini (marzo 2022), da titolo: *“Studio idrologico e idraulico di riduzione aree di esondazione nell'Ambito di Trasformazione n.13 del PGT del comune di Lonato del Garda”*, cui si rimanda

Relativamente alla classe **2d**, che interessa una porzione molto limitata e marginale dell'Ambito di Trasformazione n. 13, è importante precisare che la superficie topografica si presenta pianeggiante (si vedano la Foto 1 e la Foto 2), pertanto non si rilevano problematiche connesse all'equilibrio geostatico dei luoghi.



Foto 1 La ripresa fotografica mostra il settore dell'Ambito di Trasformazione n. 13 che ricade in classe 2d ripreso da nord.

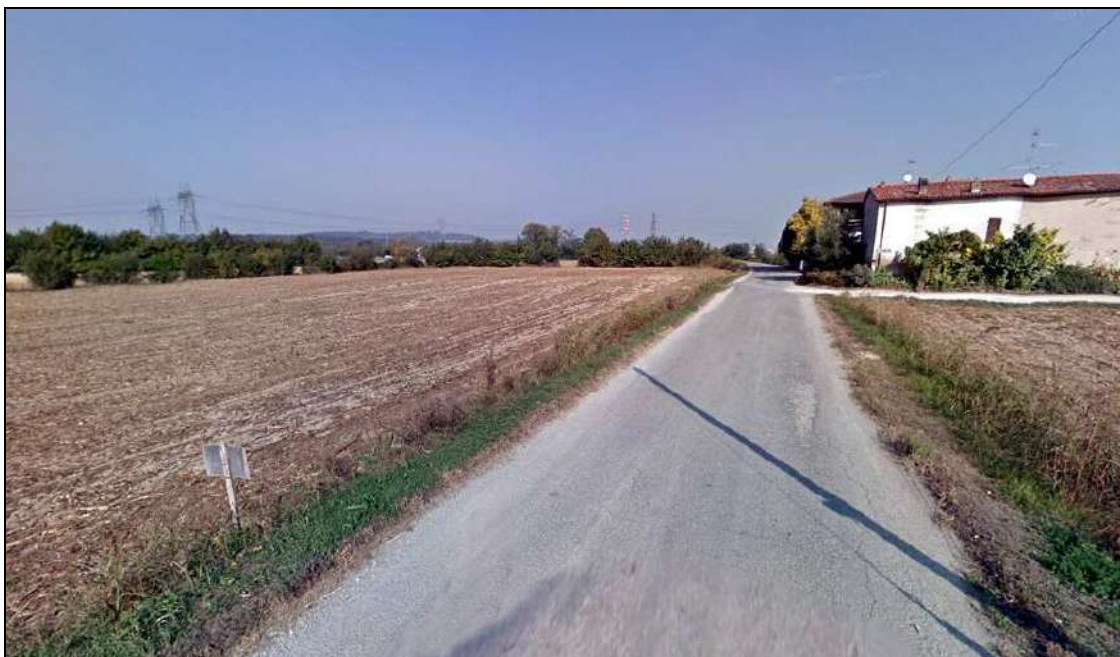


Foto 2 L'immagine mostra il settore dell'Ambito di Trasformazione n. 13 che ricade in classe 2d ripreso da sud.

Infine, riferendosi alle scadenti caratteristiche geotecniche indicate dalla sottoclasse **3c**, come indicato in precedenza si ritiene necessario un ulteriore approfondimento investigativo tramite lo svolgimento di una campagna di indagini finalizzate alla ricostruzione di un modello più dettagliato.

La tipologia e la posizione delle suddette indagini dovrà essere definita in funzione delle caratteristiche tecniche delle opere in progetto e della loro ubicazione all'interno dell'ambito di trasformazione di cui in epigrafe.

Una volta elaborati i dati di campagna potrà essere valutata la possibilità di attuare un intervento di miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione o, in alternativa, di prevedere la realizzazione di strutture di fondazione profonde (pali).

Tali interventi permetterebbero anche di risolvere le problematiche legate allo scenario di pericolosità sismica locale Z2a (si veda il Capitolo 5).

4.1 Vincoli di natura idraulica – RIM

In base a quanto riportato nella carta dei vincoli del vigente PGT comunale (SG TAV. 11, Geologa Lentini et alii, 2022), all'interno del sito di specifico interesse sono presenti due corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Minore (RIM) con le relative fasce di rispetto, così come illustrato nella Figura 4.

Inoltre in corrispondenza del limite settentrionale dell'ambito di trasformazione in questione è presente un laghetto.

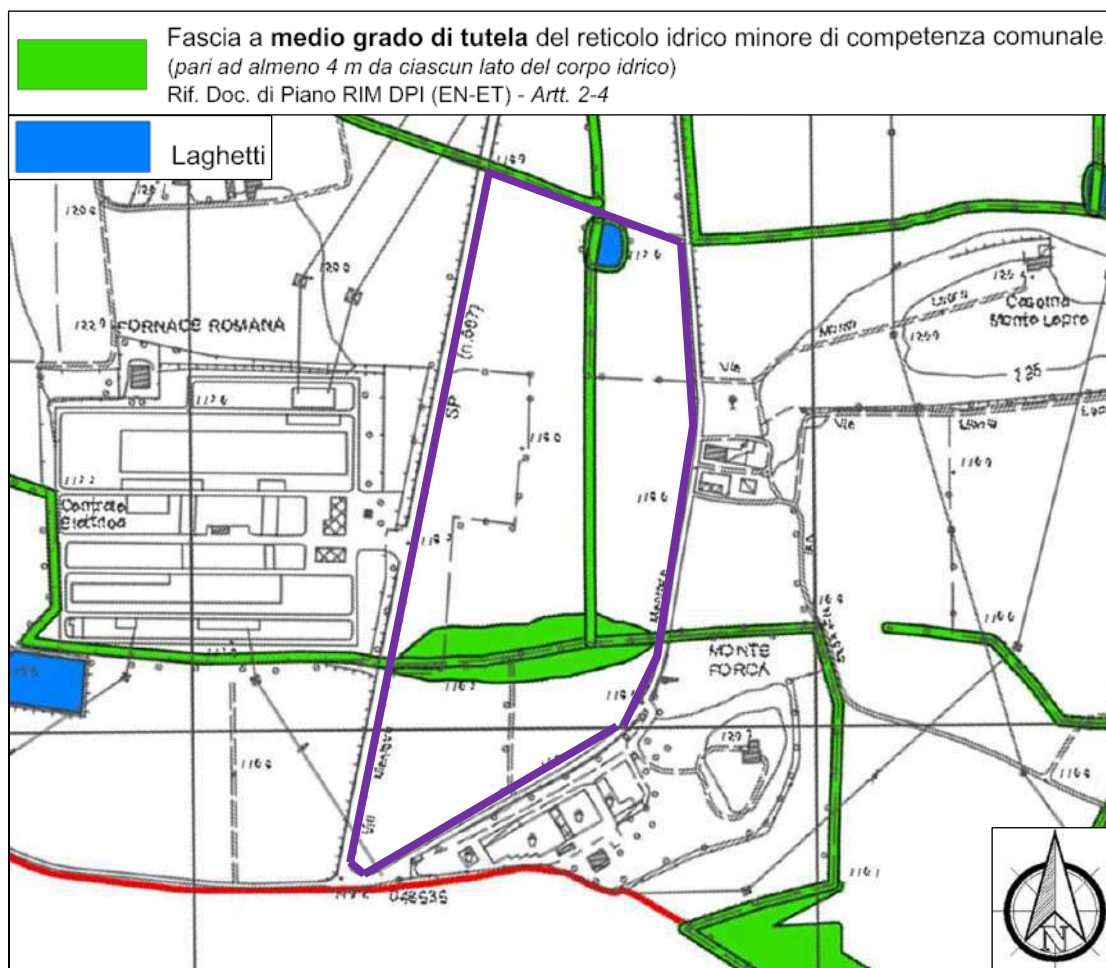


Figura 4 Stralcio della carta dei vincoli del vigente PGT comunale. La linea di colore viola mostra il perimetro dell’Ambito di Trasformazione n. 13.

Sulla base di quanto riportato nel masterplan di progetto il corso d’acqua ad andamento est-ovest (localizzato nella porzione meridionale dell’area investigata) ed il laghetto (posizionato a nord) saranno collocati all’interno di apposite aree di mitigazione ambientale, che verranno istituite per preservare le condizioni attualmente in essere.

Per quanto concerne il corso d’acqua ad andamento nord-sud è stato presentato un apposito studio idraulico, a firma della Geologa E. Lancini (19/02/2022) dal titolo: *“Proposta di modifica del vigente Documento di polizia idraulica del reticolo idrico minore redatto ai sensi della d.g.r. x/7581/2017 - Studio delle caratteristiche idrauliche di alcuni elementi idrografici del Reticolo Idrico Minore di competenza comunale RIM, Affluenti vari dello Scolo Redone Superiore (cod. RIM 9430), in via Mantova, Loc. Fornaci dei Gorghi a Lonato d/G (BS), e proposta di modifica del tracciato e verifica di compatibilità con l’assetto idraulico del territorio”*, cui si rimanda.

Infine, la tematica relativa alla riduzione della fascia di esondazione del corso d’acqua ad andamento est-ovest è stata affrontata nello studio idraulico di dettaglio, a firma dell’Ingegnere Angelo Agostini (marzo 2022), da titolo: *“Studio idrologico e idraulico di riduzione aree di esondazione nell’Ambito di Trasformazione n.13 del PGT del comune di Lonato del Garda”*, cui si rimanda.

5. SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Per quanto concerne il fenomeno dell'amplificazione sismica, nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (SG TAV. 8, Geologa Lentini et alii, 2019) per il sito di intervento sono stati individuati i seguenti scenari (si veda la Figura 5):

- **Z4a** corrisponde ad una zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi che è soggetta a fenomeni di amplificazione di tipo litologico;
- **Z4c** si riferisce ad una zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche) che è soggetta a fenomeni di amplificazione di tipo litologico;
- **Z2a** individua una zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) che è potenzialmente soggetta ad effetti di cedimento.

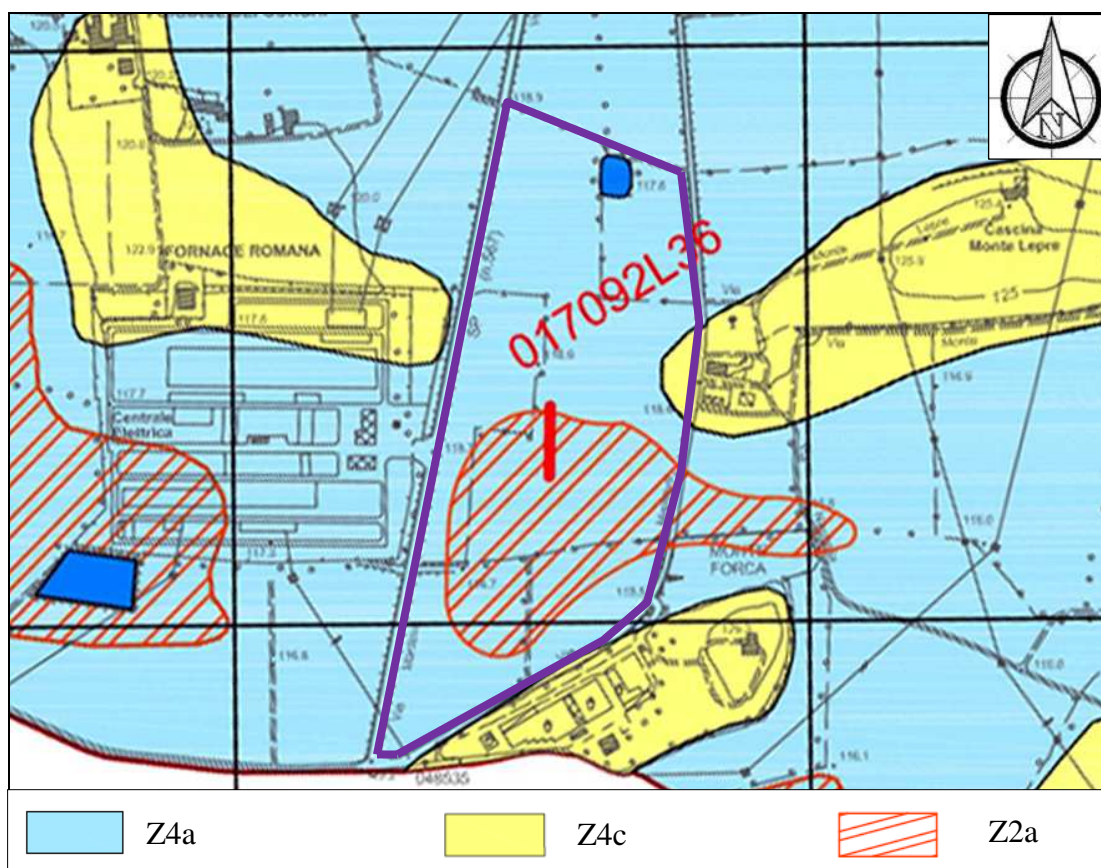


Figura 5 Stralcio della Carta della pericolosità sismica locale del vigente studio geologico comunale (SG TAV. 8, Geologa Lentini et alii, 2019). La linea di colore viola mostra il perimetro dell'Ambito di Trasformazione n. 13.

Per quanto concerne gli scenari **Z4a** e **Z4c**, dato che gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico, in osservanza della vigente normativa in materia è

stata svolta l'analisi sismica di secondo livello utilizzando i dati ricavati dalle indagini geofisiche disponibili (si veda il Paragrafo 6.2).

Le aree afferenti allo scenario **Z2a**, che sono potenzialmente soggette a fenomeni di cedimento, richiedono in fase progettuale un approfondimento di terzo livello, la quale può essere omessa qualora si operi in modo tale da eliminare eventuali terreni di fondazione non idonei o disomogenei o si prevedano interventi di stabilizzazione.

Per ovviare a questa problematica, con già affermato nei capitoli precedenti, in fase di progettazione dovrà essere attentamente valutata la possibilità di attuare un intervento di miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione o, in alternativa, di prevedere la realizzazione di strutture di fondazione profonde (pali).

Tali valutazioni dovranno essere precedute da una campagna di indagini finalizzata alla ricostruzione di un modello geologico-geotecnico di dettaglio. La tipologia e la posizione delle suddette indagini dovrà essere definita in funzione delle caratteristiche tecniche delle opere in progetto e della loro ubicazione all'interno dell'ambito di trasformazione di cui in epigrafe.

6. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Nel presente capitolo vengono descritti i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto e le indagini geofisiche utilizzate per la caratterizzazione sismica di dettaglio del sottosuolo. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di diretto interesse.

Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Nelle NTC 17/01/2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale (necessari per la determinazione delle azioni sismiche):

- ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto sono:

- **Tipo di costruzione e vita nominale;** la vita nominale (V_N) di un determinato tipo di costruzione è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC 17/01/2018 e deve essere precisata nei documenti di progetto.
- **Classe d'uso;** in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso:
 - **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
 - **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 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.
- **Coefficiente d'uso;** Il valore del coefficiente d'uso (C_U) è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle NTC 17/01/2018.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica;** le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R) espresso in anni che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U secondo la relazione: $V_R = V_N \cdot C_U$. Nel caso che V_R assuma un valore ≤ 35 , si pone comunque pari a 35.
- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento;** le probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC 17/01/2018.
- **Categoria di suolo;** ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC 17/01/2018).
- **Condizioni topografiche;** per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle NTC 17/01/2018.
- **Accelerazione massima attesa al sito;** l'accelerazione massima attesa al sito (a_{max}) si ricava dalla seguente relazione: $a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$.
 S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (indicato nella Tab. 3.2.IV delle NTC 17/01/2018) relativo a ciascuna classe di sottosuolo, S_T è il coefficiente di amplificazione topografica (riportato nella Tab. 3.2.V delle NTC 17/01/2018) espresso in funzione delle caratteristiche topografiche del sito, e a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito.
- **Coefficiente sismico di accelerazione orizzontale;** tale coefficiente (K_h) si ricava dalla seguente relazione: $K_h = \beta_S a_{max} / g$.
- **Coefficiente sismico di accelerazione verticale;** tale coefficiente (K_v) si ricava dalla seguente relazione: $K_v = K_h / 2$.
- **Periodo di ritorno;** il periodo di ritorno (T_R) si determina dalla seguente relazione: $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$.

6.1 Indagini sismiche

Allo scopo di ricostruire il profilo dell'andamento delle onde di taglio (S) nel terreno e di procedere alla definizione della corrispondente categoria di sottosuolo, sono stati acquisiti i dati relativi ad un'indagine sismica pregressa (tratta dalla relazione geologica redatta da Geol. P. Pasini e datata 05/10/2021).

È opportuno ricordare che la definizione della categoria di sottosuolo si basa sulle condizioni stratigrafiche del substrato e sul valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{seq} (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

- hi spessore dell'i-esimo strato;
- Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Nella fattispecie era stata impiegata la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), che è ascrivibile alla categoria delle indagini sismiche di tipo attivo e che prevede che il segnale sismico sia generato da una sorgente energizzante artificiale, ovvero un maglio che batte su di un'apposita piastra.

Tramite l'impiego del software (e sulla base delle informazioni stratigrafiche disponibili) era stata effettuata l'inversione della curva di dispersione sino ad ottenere il diagramma dell'andamento delle onde S nel sottosuolo (si veda la Figura 6).

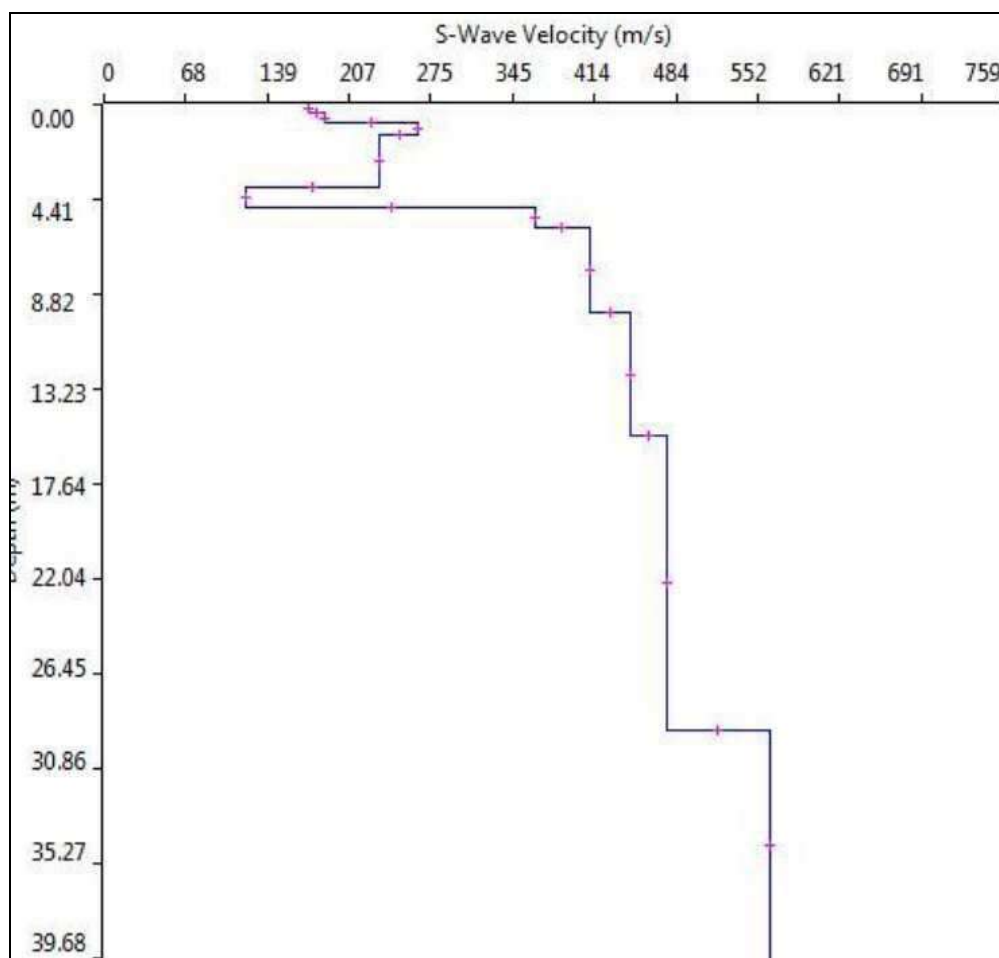


Figura 6 Andamento delle onde S nel sottosuolo ottenuto dall'indagine MASW.

In funzione dei risultati delle indagini sismiche disponibili il sottosuolo dell'area investigata presenta un valore della velocità equivalente V_{Seq} (per $H = 30$ m) pari a **373 m/s** e, quindi, appartiene alla **categoria B**, che comprende (Tabella 3.2.II delle NTC 2018): *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.*

È importante precisare che questo valore è confrontabile con quello ottenuto dall'indagine sismica 017092L36 – Monte Forca (si veda la Figura 5), condotta in sede di predisposizione del vigente studio geologico comunale (Geologa Lentini et alii, 2019), che ha individuato una velocità equivalente pari a 407 m/s.

Comunque la categoria di sottosuolo da utilizzare nelle verifiche geotecniche dovrà essere definita in funzione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello, illustrata nel paragrafo successivo.

Il **periodo proprio di sito (T)**, ricavato dalla relazione matematica riportata a seguire, è pari a **0,287 s**, mentre la **frequenza di risonanza di sito (F)**, ipotizzando che sia l'inverso del periodo, può essere stimata pari a **3,484 Hz**.

Il periodo proprio del sito (T) da inserire nella scheda di valutazione è stato calcolato considerando la sismostratigrafia sino alla profondità in cui il valore della velocità V_s rimane inferiore a 800 m/s (in questo caso specifico, non avendo intercettato il bedrock sismico, è stata considerata una profondità di 30,00 m, che corrisponde alla massima profondità di indagine).

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

con:

- T = periodo proprio del sito
- V_{s_i} = velocità delle onde S dello strato i-esimo
- h_i = spessore dello strato i-esimo

6.2 Analisi sismica di secondo livello

In relazione al locale assetto geologico, litostratigrafico e geomorfologico ed in base a quanto riportato nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (SG TAV. 8, Geologa Lentini et alii, 2019) per il sito di intervento è stato individuato lo scenario Z4 (Z4a e Z4c). In tale scenario gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico.

Pertanto, ai sensi della normativa regionale entrata in vigore con l'approvazione della D.g.r. n. X/5001 del 30/03/2016, è necessario procedere all'esecuzione

dell'analisi sismica di secondo livello. In questa sede è stata svolta la verifica di dettaglio dei fattori di amplificazione litologica.

Il fattore di amplificazione (F_a) è stato calcolato per due intervalli di periodo scelti, dal legislatore, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale. In particolare l'intervallo tra 0,1÷0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5÷1,5 s riguarda strutture più alte e flessibili.

I fattori di amplificazione relativi al sottosuolo dell'area di intervento, calcolati in funzione dei dati ricavati dalle indagini sismiche, sono stati confrontati con i valori soglia previsti dalla vigente normativa per il Comune di Lonato del Garda (BS), ai sensi della D.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008 e della D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/11.

Nella fattispecie è stata utilizzata la scheda denominata “**Litologia sabbiosa**” (riportata in Figura 7), la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle V_s proposto dalla Regione Lombardia e quello mostrato dal profilo geofisico relativo al sito investigato, con un **periodo T** pari a **0,287 s** e facendo riferimento alla curva 2.

Considerando un suolo di tipo B, che rappresenta la categoria di sottosuolo del sito in esame ottenuta dalle indagini sismiche, le verifiche in questione hanno fornito i risultati esposti nella tabella sottostante (si veda anche la specifica scheda inserita al termine del paragrafo).

Intervallo periodo	Fattori di amplificazione Calcolati (FAC)	Valori soglia suoli B (FAS)	Risultato
0,1÷0,5 s	1,69	1,50	NON verificato
0,5÷1,5 s	1,39	1,70	Verificato

Fattori di amplificazione

Dato che uno dei fattori di amplificazione calcolati (FAC) è superiore al valore soglia comunale (FAS) per i terreni di tipo B, la verifica di secondo livello risulta non soddisfatta. Ne consegue che in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla **Categoria di sottosuolo 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*) ed utilizzare i parametri sismici sito-specifici indicati nel paragrafo seguente.

Anche in questo caso l'analisi sismica di secondo livello ha portato alle medesime conclusioni di quella condotta in sede di predisposizione del vigente studio geologico comunale (Geologa Lentini et alii, 2019).

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

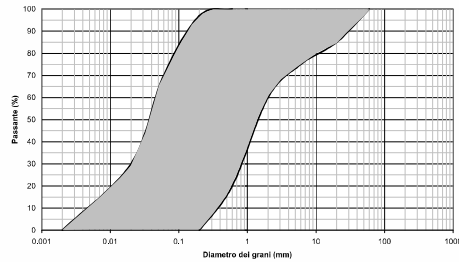
GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

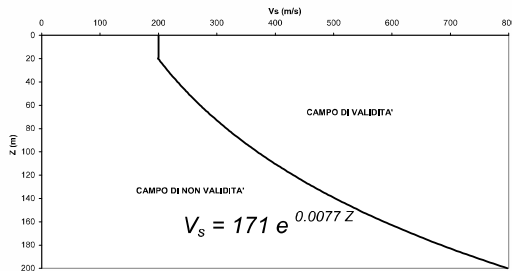
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



Profondità primo strato (m)

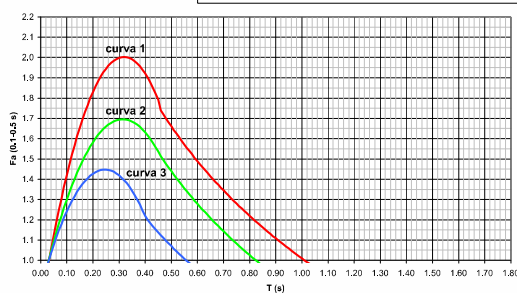
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180	
200	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA						
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA					
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

ove la sigla NA indica $Fa = 1$

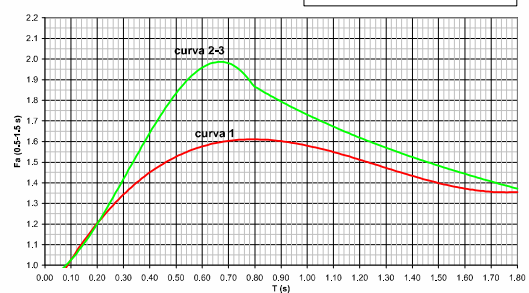
il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m

Correlazione T - Fa (0,1-0,5 s)



Correlazione T - Fa (0,5-1,5 s)



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0,03 \leq T \leq 0,50$ $Fa_{0,1-0,5} = -12,21 T^2 + 7,79 T + 0,76$	$0,50 < T \leq 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,01 - 0,94 \ln T$	$T > 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
2	$0,03 \leq T \leq 0,45$ $Fa_{0,1-0,5} = -8,65 T^2 + 5,44 T + 0,84$	$0,45 < T \leq 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,83 - 0,88 \ln T$	$T > 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
3	$0,03 \leq T \leq 0,40$ $Fa_{0,1-0,5} = -9,68 T^2 + 4,77 T + 0,86$	$0,50 < T \leq 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,62 - 0,65 \ln T$	$T > 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$

Curva	
1	$0,08 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 0,57 T^3 - 2,18 T^2 + 2,38 T + 0,81$
2	$0,08 \leq T < 0,80$ $Fa_{0,5-1,5} = -6,11 T^3 + 5,79 T^2 + 0,44 T + 0,93$
3	$0,80 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 1,73 - 0,61 \ln T$

Figura 7 Effetti litologici – Scheda litologia sabbiosa.

6.3 Parametri sismici sito-specifici

Di seguito sono riportati i parametri sismici specifici per il sito di intervento e relativi agli stati limite considerati, così come richiesto dalla vigente normativa in materia (D.M. 17/01/2018), mentre nella Figura 8 è visualizzata la maglia di riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico e la Figura 9 mostra gli spettri di progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

In base ai dati raccolti il substrato è riconducibile alla **categoria C** (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), la **categoria topografica è T1** (Tabella 3.2.III delle NTC 2018) e le opere in progetto ricadono in classe d'uso 2.

- **Sito in esame**

latitudine: 45,416156 (coordinate ED50)
 longitudine: 10,512609 (coordinate ED50)
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

- **Siti di riferimento**

Sito 1 ID: 12723 Lat: 45,3979 Lon: 10,5027 Distanza: 2177,288
 Sito 2 ID: 12724 Lat: 45,3996 Lon: 10,5738 Distanza: 5118,279
 Sito 3 ID: 12502 Lat: 45,4496 Lon: 10,5713 Distanza: 5898,517
 Sito 4 ID: 12501 Lat: 45,4478 Lon: 10,5002 Distanza: 3652,426

- **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50 anni
 Coefficiente cu: 1

	<i>Unità di misura</i>	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
Probabilità di superamento:	%	81	63	10	5
Tr:	[anni]	30	50	475	975
ag:	g	0,040	0,054	0,154	0,200
Fo:		2,603	2,485	2,448	2,482
Tc*:	[s]	0,224	0,248	0,275	0,277

Coefficienti Sismici				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss:	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc:	1,72	1,66	1,61	1,60
St:	1,00	1,00	1,00	1,00
Kh:	0,012	0,016	0,054	0,079
Kv:	0,006	0,008	0,027	0,039
Amax:	0,583	0,794	2,224	2,752
Beta:	0,200	0,200	0,240	0,280

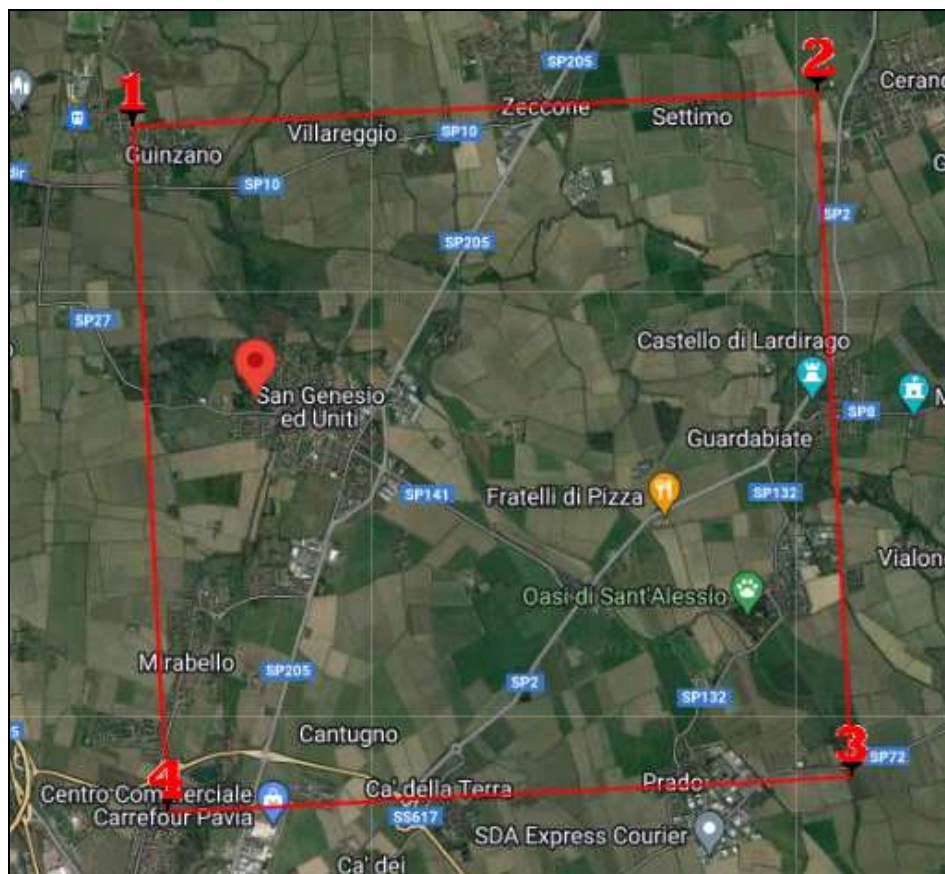


Figura 8 Vertici della maglia riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

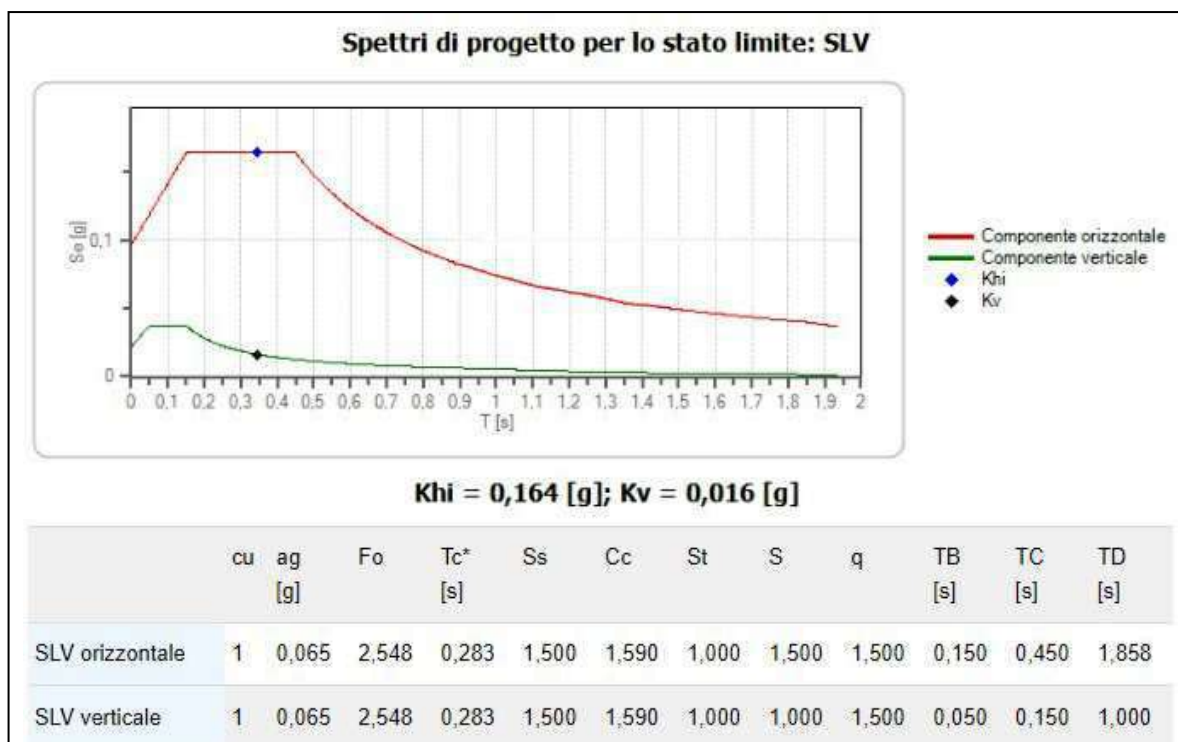


Figura 9 Spettri di progetto per lo stato limite SLV.

L'accelerazione sismica massima comunale (AgMax) ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 (O.P.C.M. 3519/06) è pari a 0,15926 (Ag/g), mentre l'accelerazione massima PGA (Peak Ground Acceleration), calcolata in relazione ai parametri sito specifici, è pari a 0,23889 (Ag/g).

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato è stato predisposto in risposta alla richiesta di integrazioni avanzata dal Comune di Lonato D. G. in merito alla relazione geologica redatta dal Geol. P. Pasini (datata 05/10/2021) ed inerente all'Ambito di Trasformazione n. 13, ubicato in Comune di Lonato del Garda (BS), in fregio alla Via Mantova (SP 567).

Le summenzionate integrazioni hanno riguardato essenzialmente l'analisi del modello geologico-geotecnico preliminare, con la valutazione dell'interazione tra le opere in progetto, l'analisi della fattibilità geologica dell'intervento e l'approfondimento degli aspetti sismici.

In estrema sintesi i principali elementi di criticità riscontrati riguardano la presenza di litologie contraddistinte da mediocri-scadenti proprietà geomeccaniche, anche in chiave sismica (scenario Z2a), la loro complessa e disomogenea distribuzione latero-verticale nel sottosuolo e l'elevata vulnerabilità del primo acquifero (caratterizzato da una bassa soggiacenza).

Sulla base dei risultati delle indagini sismiche disponibili (V_{Seq} 373 m/s e periodo proprio di sito 0,287 s) ed in funzione dei riscontri negativi ottenuti dall'analisi sismica di secondo livello, in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla categoria di sottosuolo C (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), mentre la categoria topografica è T1 (Tabella 3.2.III delle NTC 2018).

Nel Paragrafo 6.3 sono riportati i parametri sismici sito-specifici relativi alle condizioni stratigrafiche, all'assetto morfologico dei luoghi ed alla tipologia delle opere in progetto.

In conclusione si ritiene di poter esprimere un parere favorevole in merito alla fattibilità geologica generale dell'intervento di cui in epigrafe, a condizione che vengano scrupolosamente rispettate le prescrizioni esposte nel corso del presente elaborato.



Dott. Filippo Pezzotti Geologo

Ordine Geologi Lombardia n. 1264