

COMUNE di MALNATE

Provincia di Varese

Riqualificazione urbana
mediante conversione in rotatoria
di Piazza Vittorio Veneto
integrata da interventi riguardanti
la rete ciclo-pedonale

Progetto esecutivo

◆ B.g ◆

Indagine geognostica e geofisica
Relazione geologica e sismica

Committente :

Comune di MALNATE

Incaricati :

per la progettazione
infrastrutturale ed edilizia,
per il coordinamento generale
e l'integrazione delle prestazioni
specialistiche
(mandatario):

Silvio GOBBI arch.
Studio "Arc sistemi" - Novara

per la progettazione
infrastrutturale ed edilizia
e per il coordinamento
della sicurezza:

Marco D'ALESSANDRO arch. - Milano

per la progettazione
infrastrutturale,
strutturale
ed idraulica:

Achille PARMIGIANI ing. - Novara

per la
relazione
geologica:

Mario Lolla dr. geol. - Sesto Calende (VA)

per la progettazione
illuminotecnica
ed elettrotecnica:

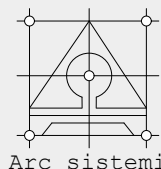
Stefano CALIGARA ing. - Gallarate (VA)

per la progettazione
infrastrutturale:

Luca BROVELLI ing. - Momo (NO)

Periodo:

settembre - ottobre 2023



Arc sistemi

di Silvio Gobbi arch.
via Donizetti 38 - via Campagnoli 3 I-28100 NOVARA
tel: 0321 030218 - 392 9806430 - E-mail: studio@arcsistemi.cloud
Ordine degli Architetti delle Province di Novara e del Verbano-Cusio-Ossola nr. 331
c.f. GBB SLV 55R31 F952U p.IVA 00605230036

Sommario

1. PREMESSA.....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3. PREVISIONI PROGETTUALI SULL'AREA.....	6
4. UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO. RAPPORTI CON LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA E VINCOLI INSISTENTI SULL'AREA.....	8
4.1 Piano di assetto idrogeologico (PAI).....	9
4.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).....	12
4.3 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale	14
4.4 Vincoli ambientali	14
4.5 Indagine geologica di supporto al PGT.....	19
5. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO DELLA ZONA	22
5.1 Inquadramento geologico	22
5.2 Geomorfologia e idrografia superficiale	24
5.3 Geologia di superficie della zona di intervento	29
6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SOTTOSUOLO DELLA ZONA.....	31
7. INDAGINE GEOGNOSTICA E CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO.....	41
7.1 Risultati delle indagini	41
7.2 Individuazione delle unità litotecniche. Sezioni stratigrafico-sismiche del sottosuolo	43
7.3 Modello geologico e geotecnico di riferimento	44
8. PARAMETRAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	45
9. INDAGINI GEOFISICHE	55
9.1 Analisi delle frequenze di vibrazione del sottosuolo	59
9.2 Stima delle velocità delle onde di taglio Vs	59

10. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA.....	63
10.1 Zonazione sismogenetica nazionale per la definizione della pericolosità sismica	64
10.2 Sismicità storica e intensità macrosismiche	67
10.3 Stima della magnitudo $M_{w_{max}}$ e valutazioni finali sulla sismicità dell'area.....	70
10.4 Pericolosità sismica locale	72
10.5 Azioni sismiche di progetto	73
10.6 Analisi del rischio di liquefazione	80
11. CONSIDERAZIONI FINALI RELATIVE ALLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELL'INTERVENTO	81

Allegato 1: Diagrammi prove penetrometriche SCPT

Tavola A : Planimetria generale con l'ubicazione delle indagini e della sezione geologico sismica

Sezione geologico-sismica interpretativa

1. PREMESSA

La seguente relazione riporta nel dettaglio la situazione geologico-geomorfologica, idrografica, idrogeologica, geotecnica e sismica della zona ove è in progetto la riqualificazione urbana delle intersezioni situate nel centro urbano di Malnate, lungo la SS 342 "Briantea".

Gli studi e le indagini, estesi in un significativo intorno dell'area di intervento, si sono occupati degli elementi salienti per la completa comprensione della situazione ambientale e delle principali problematiche riguardanti il suolo e il sottosuolo dell'area, analizzando quindi il quadro geologico generale dell'area, la situazione geomorfologica e geolitologica di dettaglio, la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti, lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea, i vincoli esistenti nell'area, verificando la compatibilità dell'intervento così come previsto dalla normativa vigente.

L'indagine geologico-geotecnica è stata condotta, per l'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico, utilizzando dati bibliografici e stratigrafici, mentre per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica, sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SCPT ed indagini geofisiche di tipo passivo relative ai microtremiti (HVSr). In accordo al Decreto Ministeriale 17.01.2018, si è quindi proceduto alla elaborazione dei parametri geotecnici e sismici per la definizione del modello geologico.

All'interno dei paragrafi che compongono il presente rapporto, sono inserite figure delle varie tematiche affrontate, mentre in allegato sono riportati i diagrammi delle prove penetrometriche,

Gli elementi litostratigrafici, geotecnici e sismici salienti dell'area sono poi riportati sinteticamente in una tavola grafica, con la planimetria generale di progetto e l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche, e una sezione geologico-sismica interpretativa del sottosuolo.

Con riferimento alla DGR IX/2616 del 30/11/2011, è stata verificata quindi la "compatibilità" e la "fattibilità geologica" dell'intervento in progetto con le limitazioni di carattere geologico, idrogeologico, idraulico, geotecnico e vincolistico riportate nello Studio geologico, idrogeologico e sismico comunale di supporto al PGT

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento per la redazione della seguente relazione è stata la seguente:

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"" di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 .

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003) .

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI .

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI .

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI .

Leggi regionali in materia di pianificazione e linee di indirizzo in materia sismica (L.R. n.12 del 11/03/05; D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011, L.R. 33/2015, D.G.R. X/5001 del 30.3.2016).

Vincoli di Assetto Idrogeologico (PAI).

3. PREVISIONI PROGETTUALI SULL'AREA

L'intervento in oggetto riguarda la riqualificazione urbana mediante la conversione in rotonde delle intersezioni ubicate nel centro urbano lungo la SS 342 "Briantea", evidenziate nello stralcio della "Relazione tecnico-illustrativa" dello "Studio di inserimento urbanistico" di Figura 1.

L'ambito di intervento si estende anche lungo il tratto di via Garibaldi compreso tra le intersezioni stesse, interessando anche gli spazi non-veicolari realizzati contestualmente all'intervento urbanistico-edilizio denominato *Malnate 2000*, e i tratti iniziali delle vie afferenti alle intersezioni stesse.



**Figura 1 – Foto aeree con l'ambito di intervento
(Stralcio "Relazione tecnico-illustrativa dello Studio di inserimento urbanistico")**

Come evidenziato graficamente in Figura 2, nella sovrapposizione dello stato di progetto (linee nere) sullo stato di fatto (linee in azzurro), è prevista una rotatoria a 4 approcci di forma elongato-concava a doppio centro, con corona di rotazione di ampiezza di 8,0 e raggi/diametri di 13,00/26,00 metri lineari, insieme a isole laterali, margine semi-sormontabile delle isole laterali e del setto di unione.

Riguardo alle pre-esistenze sono stati previsti:

- il mantenimento *in situ* del Monumento ai Caduti, con incremento dell'area verde circostante posteriormente ad esso;
- il mantenimento *in situ* dell'albero esemplare esistente, conservando immutato l'esistente muro di controripa, ed ampliando l'area verde antistante l'albero stesso mediante la formazione di una ulteriore muratura di contenimento avanzata;
- il mantenimento, della maggior parte della recinzione storica del parco frontistante il Municipio.



**Figura 2 – Foto aeree con l'ambito di intervento
(Stralcio “Tavola 04- Stato di progetto generale”)**

4. UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO. RAPPORTI CON LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA E VINCOLI INSISTENTI SULL'AREA

L'area oggetto di intervento è situata nella zona centrale del territorio comunale di Malnate, ad una quota di 348,00 m circa s.l.m., nel centro storico della città, in un contesto a prevalente destinazione residenziale, come si osserva nelle immagini satellitari di Figura 3.



Figura 3 – Foto aeree dell'area di intervento (Fonte: Geoportale Regione Lombardia)

Per la valutazione generale e di dettaglio dell'area di intervento, sono riportati, nella pagine seguenti, le determinazioni ed i vincoli relativi ai piani di assetto territoriale sovraordinati (Piano di Assetto Idrogeologico, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, Vincoli ambientali).

Con riferimento ai piani di assetto locali di carattere geologico, sono riportati poi di seguito, estratti dello Studio geologico, idrogeologico e sismico redatto a supporto del vigente PGT.

4.1 Piano di assetto idrogeologico (PAI)

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Fiume Po individua e disciplina le azioni e le norme d'uso riguardanti l'assetto territoriale della rete idrografica e dei versanti, con l'obiettivo di garantire, al territorio del bacino, un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico ed idrogeologico.

Il PAI comprende cartografie che individuano le aree soggette ad instabilità dei versanti, fenomeni valanghivi e, per quanto riguarda i dissesti di carattere idraulico, ha individuato le aree soggette a diversi gradi di pericolosità della rete idrografica, con la delimitazione delle fasce di pertinenza fluviale.

Vengono definite le norme che disciplinano l'utilizzo del territorio e in particolare gli indirizzi relativi all'assetto della rete idrografica e dei versanti, e le azioni e le norme riguardanti la gestione e la progettazione delle opere idrauliche e di sistemazione delle aree a rischio idrogeologico e idraulico.

Per il settore di interesse del territorio comunale di Malnate, il *"Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (P.A.I.)* aveva perimetrato e normato le fasce fluviali del F.Olona e del T.Ranza (Figura 4).

Gli aggiornamenti effettuati negli anni successivi hanno poi portato alla definizione della nuova cartografia di cui allo stralcio di Figura 5, che riporta sia i dissesti alluvionali e morfologici di carattere torrentizio-fluviale, sia i dissesti di tipo gravitativo.

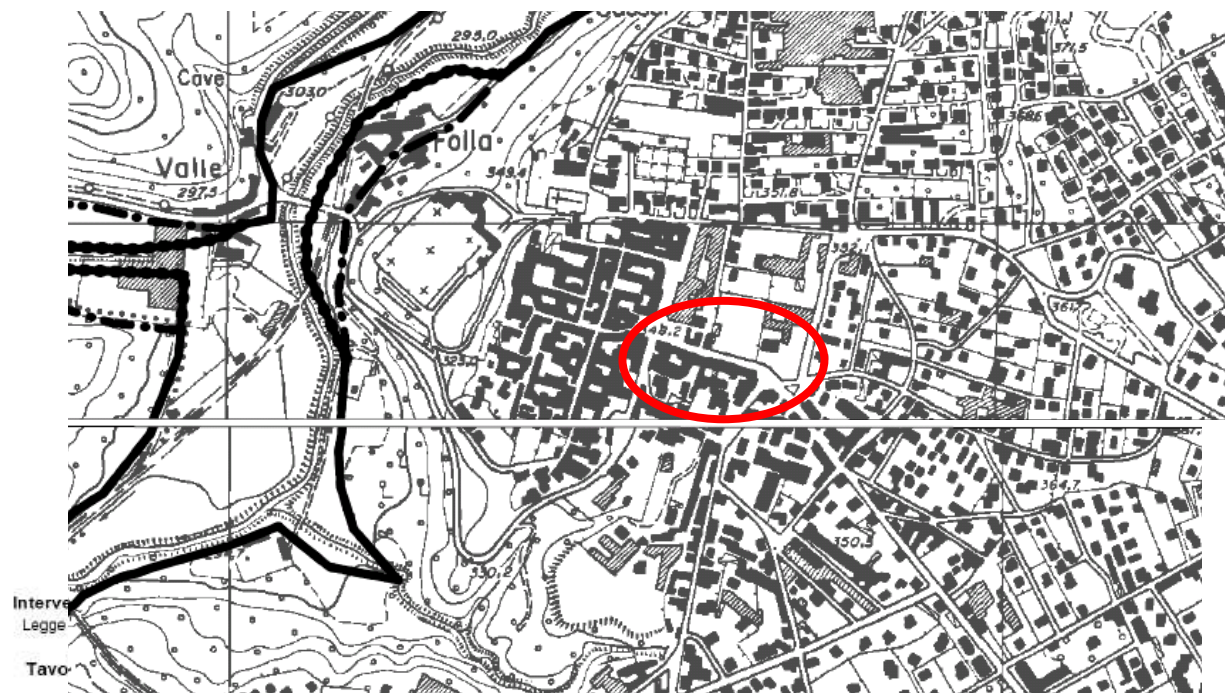
Le aree individuate dal Piano vigente e secondo la nomenclatura PAI sono le seguenti:

Ee: Aree a pericolosità molto elevata;
Eb: Aree a pericolosità elevata;
Eb: Aree a pericolosità elevata non perimetrata;
Em: Aree a pericolosità media o moderata.
Fs: Area di frana stabilizzata
Fa: Area di frana attiva

Le aree in dissesto sono ubicate nella zona scoscesa del versante della Valle Olona (Fa: Area di frana attiva; Fs: area di frana stabilizzata), e nella valle fluviale (Ee: Aree a pericolosità molto elevata).

Per quanto riguarda il Torrente Fugnasce', l'area di pertinenza fluviale è definita "Eb: Aree a pericolosità elevata", e il tratto intubato tra Via Podgora e Via Matteotti è indicato come "Eb: Aree a pericolosità elevata non perimetrata".

L'area di intervento si colloca a discreta distanza dalle aree individuate e sede di dissesti, quindi non fa parte di alcuna perimetrazione e pertanto non è soggetta a vincoli di PAI.



Estratto da: Tav. 074150 OLONA 05-III
 Tav. 095030 OLONA 04-IV

-----	limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
————	limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
.-.-.-.-	limite (*) esterno della Fascia C
.....	limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C

Figura 4 - Stralcio "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali – – 1:10.000
Tavola 074150 – OLONA 05-III; Tavola 095030 – OLONA 04-IV
In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

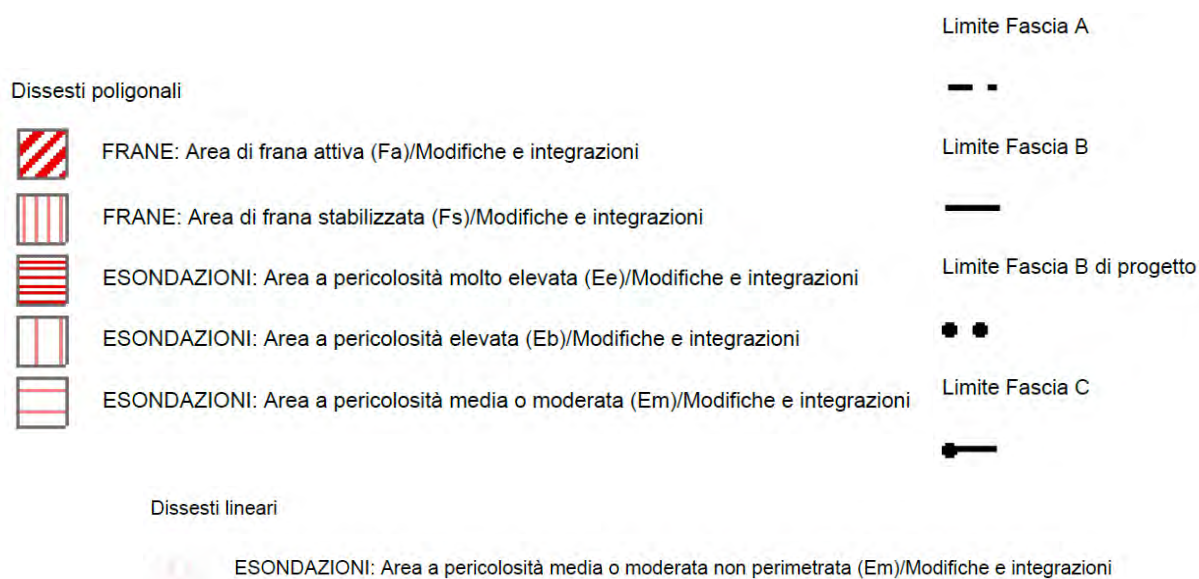


Figura 5 – Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (P.A.I. vigente)”
 (Fonte: Geoportale Regione Lombardia)
 In rosso l'area di intervento

4.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

La Direttiva 2007/60/CE, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, istituisce un quadro omogeneo a livello europeo per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, con la finalità di ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.

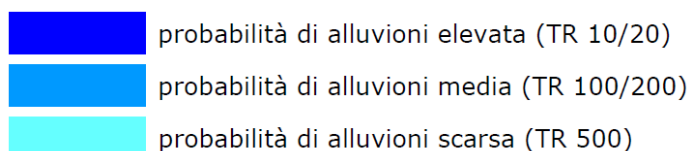
Lo strumento per la valutazione e la gestione del rischio contenute nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA-2016), è rappresentato dalle mappe della pericolosità riguardanti il rischio di alluvioni.

La mappa della pericolosità (Figura 6) riporta l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali), e la sua caratterizzazione in termini di livelli idrici e velocità, con riferimento a tre scenari distinti con tonalità di blu, la cui intensità diminuisce in rapporto alla diminuzione della frequenza di allagamento:

- alluvioni rare di estrema intensità, con TR fino a 500 anni;
- alluvioni poco frequenti, con TR compreso fra 100 e 200 anni;
- alluvioni frequenti, con TR compreso fra 20 e 50 anni.

Il Piano (PGRA-2016) riporta le aree di esondazione sia del Fiume Olona e del Torrente Ranza (Reticolo principale - RP) che del Torrente Fugascè (Reticolo secondario o minore - RSCM), nei loro possibili scenari di ricorrenza da frequente, a poco frequente e infine a raro.

In tale recente mappatura dei livelli di rischio e criticità idraulica, la zona di intervento ricade comunque all'esterno e distante delle aree individuate, e in un contesto topografico e a distanza tale che non sono ipotizzabili interferenze ed influenze.



Pericolosità RP scenario frequente - H



Pericolosità RP scenario poco frequente - M



Pericolosità RP scenario raro - L



Pericolosità RSCM scenario frequente - H



Pericolosità RSCM scenario poco frequente - M



Pericolosità RSCM scenario raro - L



**Figura 6 – Foto aerea con la “Mappa delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del Fiume Po - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.)”
 In rosso l’ubicazione dell’area di intervento**

4.3 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

Ai sensi della L.R. 12/05, per la parte inerente la difesa del territorio, il PTCP concorre, in particolare, alla definizione del quadro conoscitivo del territorio provinciale, ne definisce l'assetto idrogeologico, censisce ed identifica le aree soggette a tutela o classificate a rischio idrogeologico e sismico.

Il Comune di Malnate, secondo la cartografia che identifica le aree a diversa pericolosità per frane (RIS 3), di cui viene riportato nella Figura 7 lo stralcio relativo, è stato classificato, come zona a pericolosità molto bassa e bassa, il suo settore centrale e settentrionale che include anche l'area di intervento, mentre è definita a "pericolosità media" solo la porzione meridionale.

Per quanto riguarda lo specifico elaborato RIS 2, che individua le principali tipologie di dissesto, tra cui crolli in roccia, frane di scivolamento, frane superficiali, colate di detrito e fango su versanti, risultano censiti scivolamenti, conoidi alluvionali e un'area di frana attiva, in Valle Olona e sul versante in sponda sinistra, fenomeni di debris flow per il T.Fugascè (Figura 8).

Per quanto riguarda gli aspetti di tutela idrogeologica, si riporta, nella pagina seguente, uno stralcio della Tavola "RIS 5 – Carta tutela risorse idriche" (Figura 9),

il PTCP recepisce quanto riportato nel precedente PTUA 2006 (Programma di Tutela e Uso delle Acque) della Regione Lombardia. Il territorio comunale è esterno ai settori individuati con caratteristiche idrogeologiche omogenee, e non sono inoltre presenti "Aree di ricarica degli acquiferi profondi" (puntinato rosso), e "Aree di riserva integrativa" (tratteggio blu). Il PTCP prevede però due distinte aree di "Riserva Provinciale Integrativa" (puntinato verde), in quanto zone con presenza di pozzi pubblici, di interesse per la loro "strategicità in termini di approvvigionamento idrico a scala provinciale", e in cui l'area di intervento risulta ricompresa.

4.4 Vincoli ambientali

Per quanto riguarda la cartografia disponibile on line sul portale della Provincia di Varese riguardante le "Aree protette" (Figura 10), l'area di intervento risulta esterna alla zona del PLIS (Parchi Locali di Interesse Sovracomunale) denominato "Parco Valle del Lanza", che comprende settori di valenza naturalistica come aree verdi, boscate e agricole presenti alle estremità occidentale e orientale del territorio comunale di Malnate.

Relativamente al "Sistema Informativo Beni Ambientali (SIBA)" si osserva, in Figura 11, che nella zona limitrofa ma esterna all'area di intervento, sono vigenti i vincoli derivanti dalla fascia di 150 m del Fiume Olona e del torrente Ranza e Fugnascè, oltre ad ampie zone di tutela dei territori coperti da foreste e da boschi

Per quanto riguarda il vincolo idrogeologico, esso si estende su di una estesa area che circonda il centro abitato, e quindi l'area di intervento resta esclusa (Figura 12).

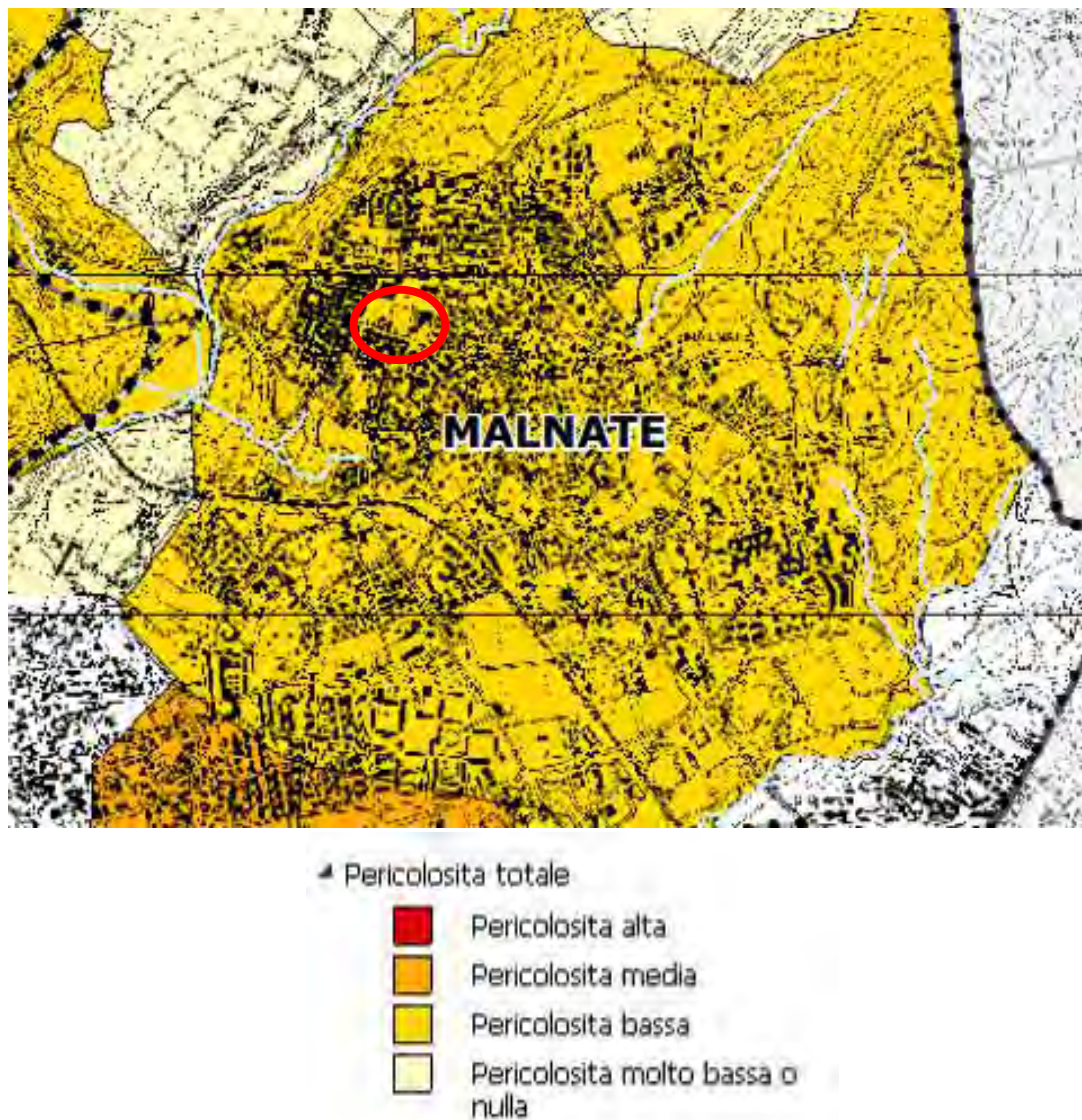
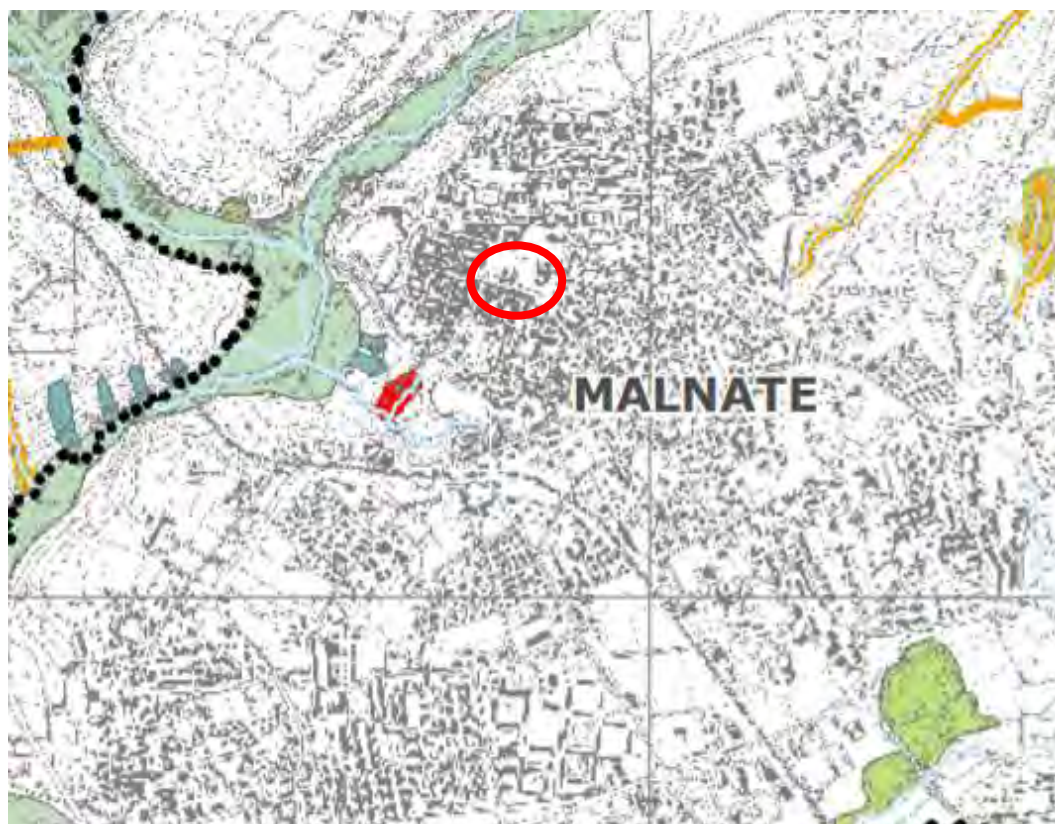


Figura 7 - Stralcio della Tavola "RIS 3 - Carta della pericolosità frane - PTCP" – 1:25.000
In rosso l'ubicazione dell'area di intervento



Legenda

Fenomeni lineari

- Debris flow
- Corsi d'acqua con elevato trasporto solido
- Aree di concentrazione del deflusso superficiale

Stato dell'attività

- Attiva
- Paleofrana
- Quiescente
- Relitta

Fenomeni superficiali

- Alluvioni attuali
- Conoidi alluvionali
- Conoidi da debris flow
- Detrito di falda
- Aree interessate da erosione regressiva
- Cono misto detritico-alluvionale
- Aree origine di crolli
- Aree a franosità superficiale diffusa
- Fenomeni antropici

Figura 8 - Stralcio della Tavola "RIS 2 - Carta censimento dissesti" – 1:20.000
In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

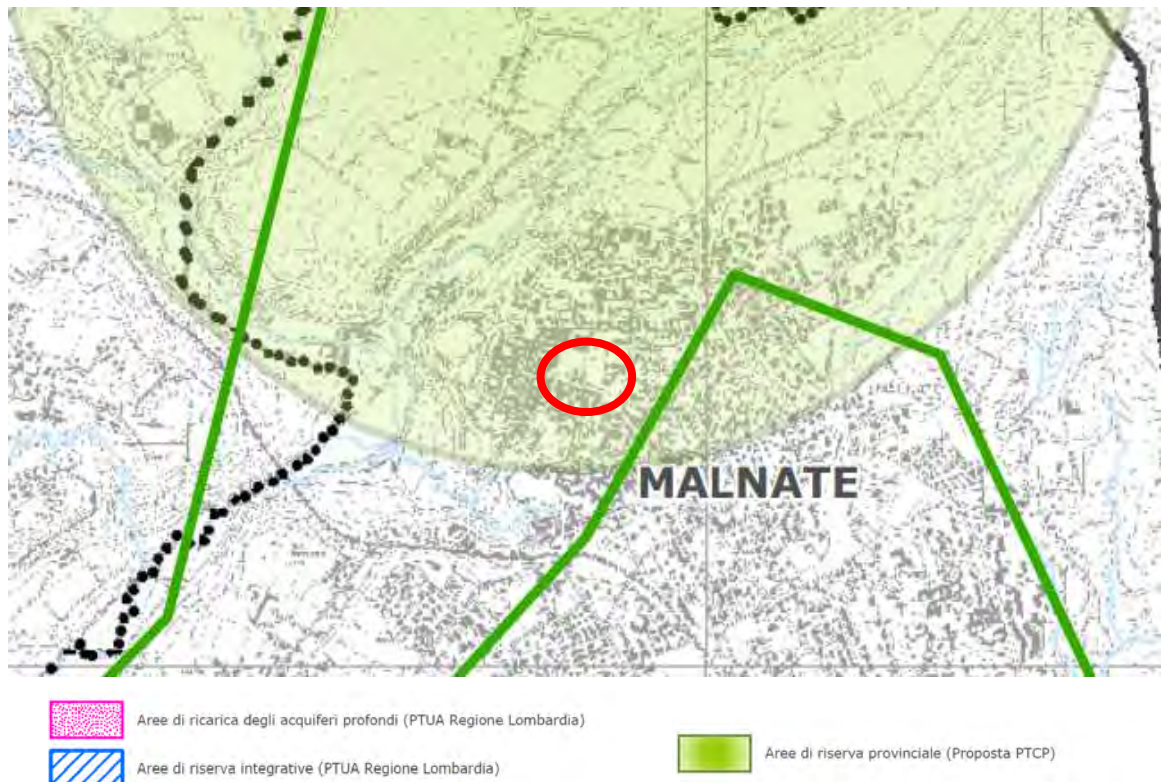


Figura 9 - Stralcio della Tavola "RIS 5 - Carta tutela risorse idriche" – 1:25.000
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

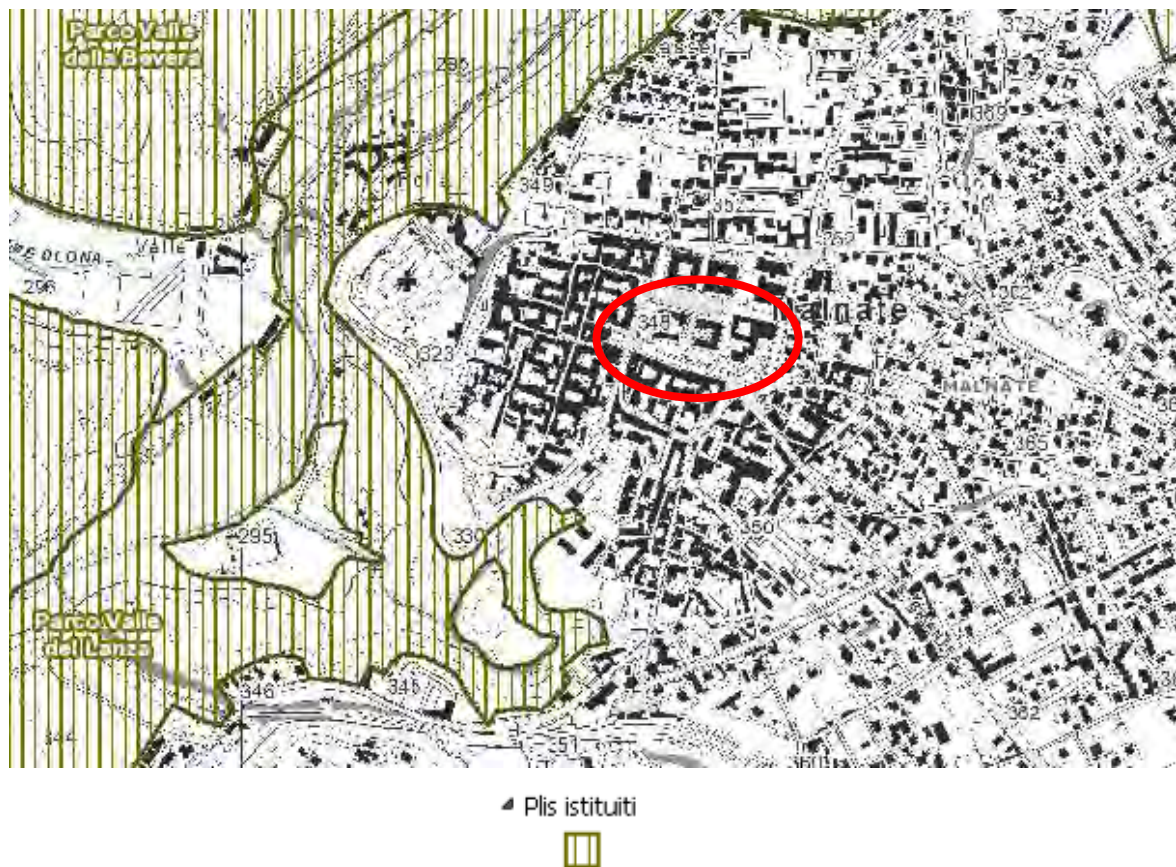


Figura 10- Stralcio "Mappa AREE PROTETTE" - (Fonte: Portale Provincia di Varese) -1:10.000
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

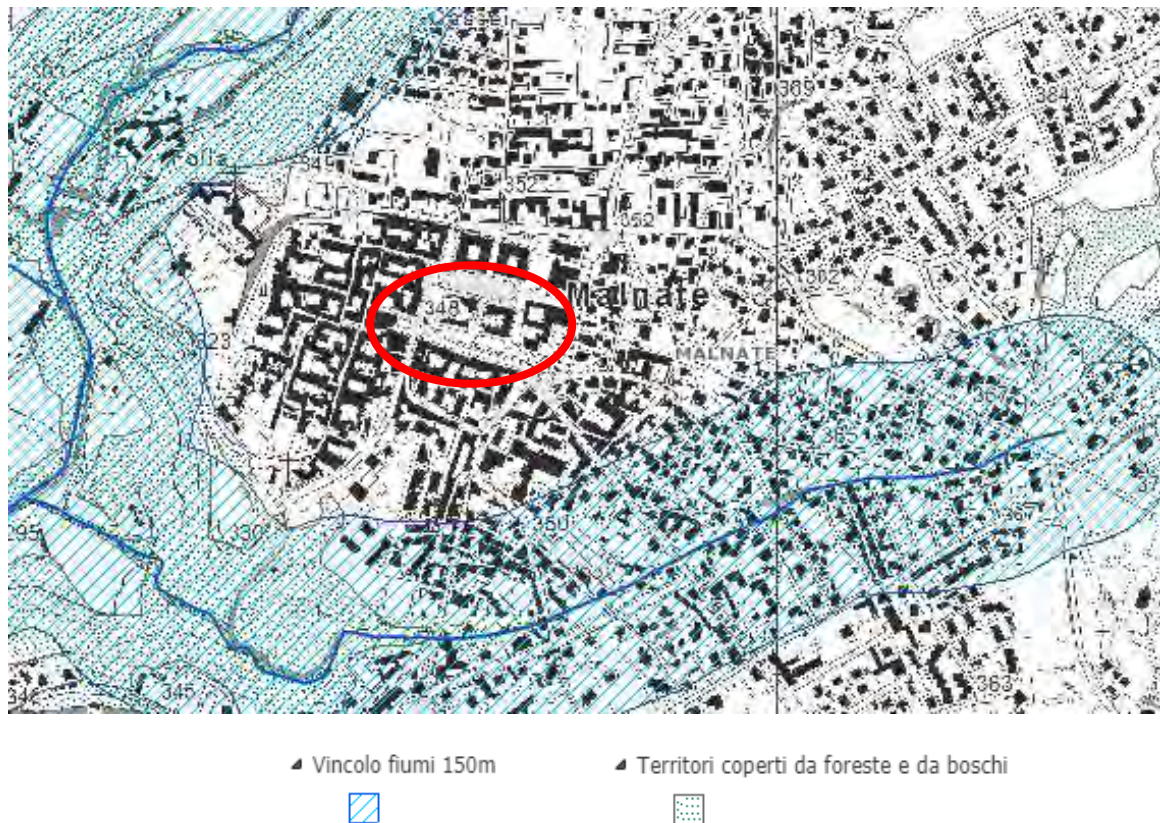


Figura 11 - Stralcio "Mappa SIBA" (Fonte: Portale Provincia di Varese) - 1:10.000
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

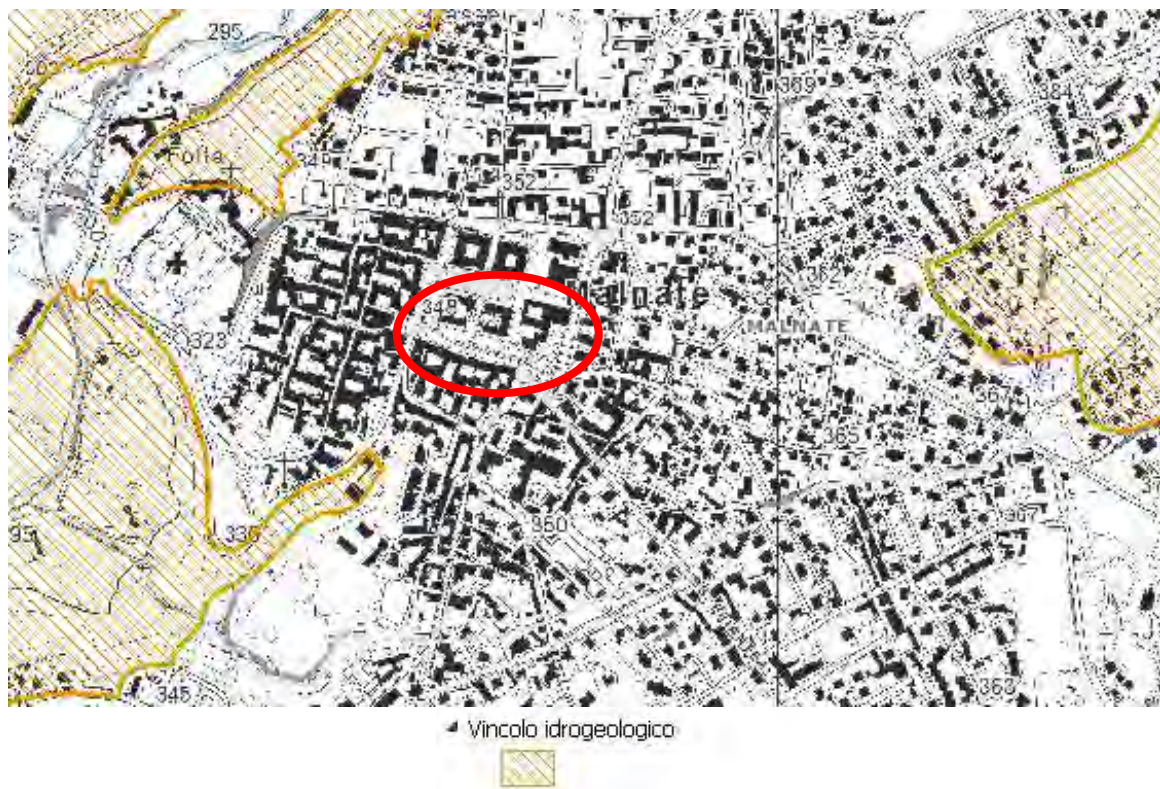


Figura 12 - Stralcio "Mappa VINCOLO IDROGEOLOGICO" (Fonte: Portale Provincia di Varese) -1:10.000
 In rosso l'area di intervento

4.5 Indagine geologica di supporto al PGT

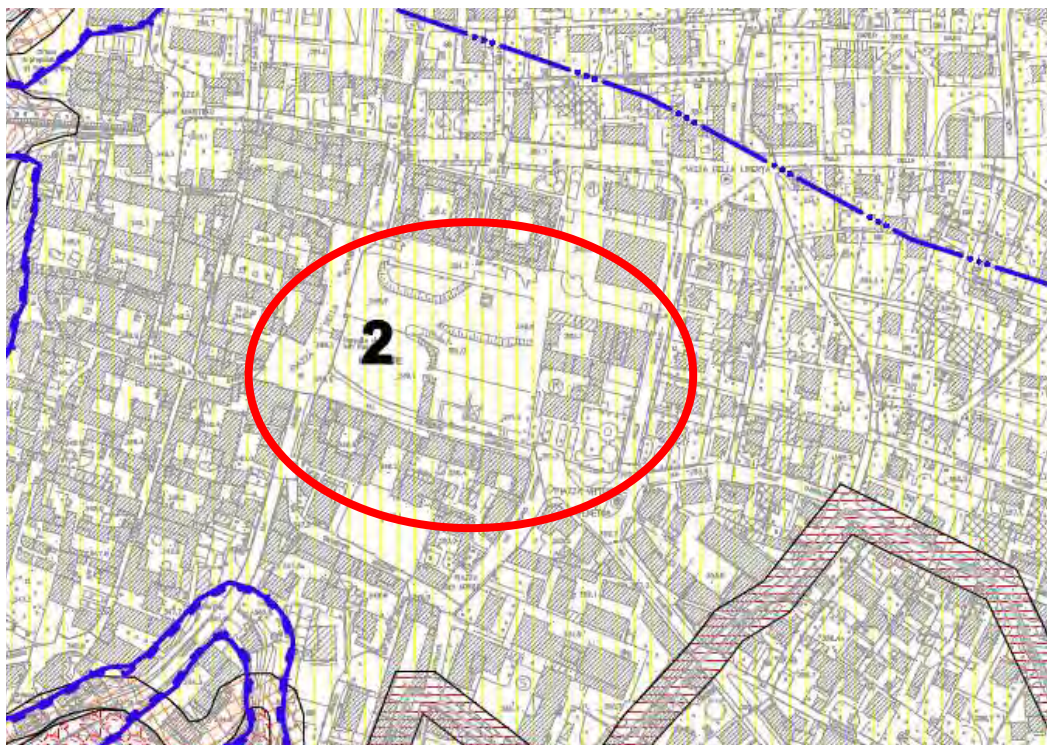
Lo Studio geologico, redatto nel 2009, a supporto dello strumento di pianificazione territoriale comunale, prevede, come risultato finale, la realizzazione di una "Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano", che rappresenta lo strumento di programmazione e pianificazione geologica del territorio con finalità di salvaguardia, tutela e valorizzazione delle risorse ambientali.

Essa sintetizza, con una valutazione incrociata degli elementi raccolti, la situazione del territorio suddividendo lo stesso in classi di fattibilità geologica, cioè in aree a differente grado d'utilizzo del territorio.

In tale cartografia, riportata nella Figura 13, l'area in oggetto ricade in un ambito di "Fattibilità con modeste limitazioni", Classe "2", in quanto *"Aree pianeggianti o terrazzate con terreni granulari addensati o mediamente addensati che possono essere ricoperti da coltri di terreni fini con scadenti caratteristiche geotecniche per uno spessore fino a 3 m."*

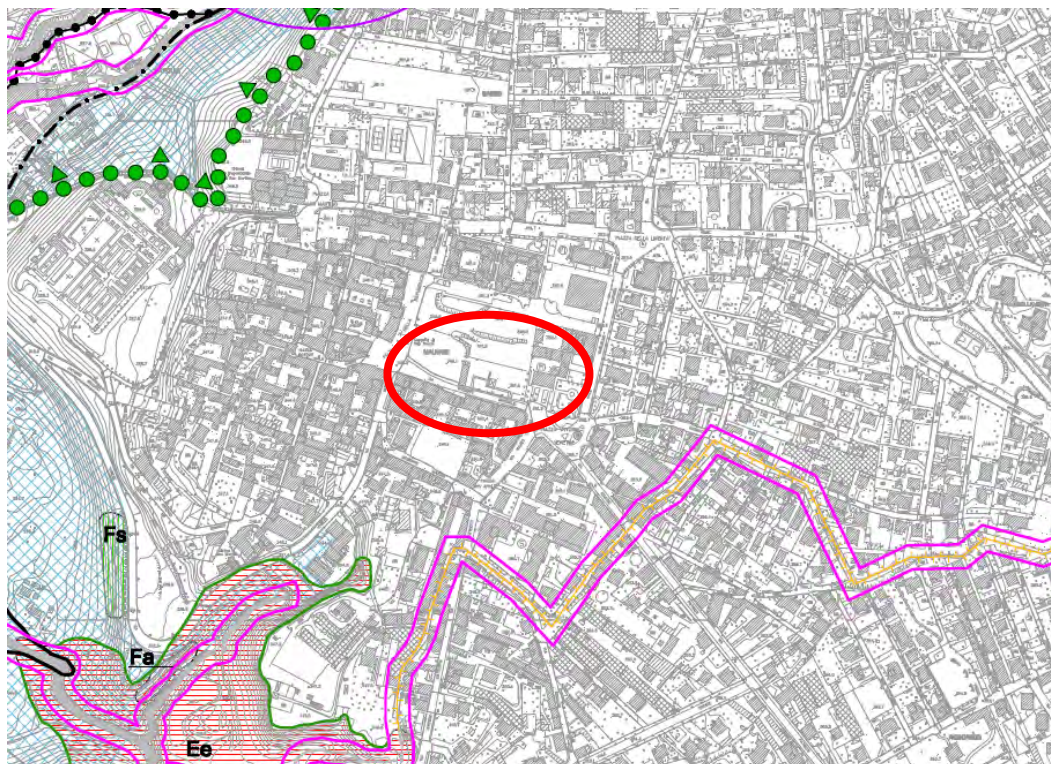
Il parere geologico sulla modifica di destinazione d'uso riporta: *"Favorevole con modeste limitazioni di carattere geotecnico ed ambientale, a salvaguardia delle acque sotterranee"*.

Sempre riguardo agli studi geologici effettuati a livello comunale, secondo la Tavola 12 - Carta dei vincoli (Figura 14), l'area di intervento non è soggetta ai vincoli relativi alla pianificazione di bacino (L.189/89), e del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), ed è esterna alle aree di rispetto dei pozzi comunali ad uso idropotabile e a quelle soggette al vincolo idrogeologico.



CLASSE DI FATTIBILITA' D.G.R. 8/7374/08	PRINCIPALI CARATTERISTICHE	PARERE GEOLOGICO SULLA MODIFICA DI DESTINAZIONE D'USO
2	Aree pianeggianti o terrazzate con terreni granulari addensati o mediamente addensati che possono essere ricoperti da coltri di terreni fini con scadenti caratteristiche geotecniche per uno spessore fino a 3 m.	Favorevole con modeste limitazioni di carattere geotecnico ed ambientale, a salvaguardia delle acque sotterranee.
Aree pianeggianti		

Figura 13 - Stralcio "Tav.13 - Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano" - 1:5.000
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento



VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO (L. 183/89)

DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI NORMATE DAL (PA) (PUNTO STRALCIO PER L'INQUILITO IDROLOGICO)

- Limite esterno della fascia "A"
- Limite tra la fascia "B" e "C"
- - - - - Limite di progetto tra la fascia "B" e "C"
- - - - - Limite esterno della fascia "C"

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA

- Fascia di rispetto assoluto estesa a 4 o 10 m dagli argini
- fascia di inedificabilità assoluta estesa a 10 m dagli argini secondo quanto definito dal R.D. 523/1904 (eventualmente derogata a 4 m ove le condizioni locali lo consentono per sezione d'alveo molto ridotta)
- ▨▨▨▨ Vincolo idrogeologico (R.D. 3267/1923)
- Limiti del Parco Locale di Interesse Sovracomunale della Valle del Lanza

QUADRO DEL DISSESTO CON LEGENDA P.A.I.

- ▨▨▨▨ Fa Aree interessate da frane attive - (pericolosità molto elevata)
- ▨▨▨▨ Fq Aree interessate da frane quiescenti - (pericolosità elevata)
- ▨▨▨▨ Fs Aree interessate da frane stabilizzate - (pericolosità media o moderata)
- ▨▨▨▨ Cp Aree di conoide attiva o potenzialmente attiva parzialmente protetta (pericolosità elevata)
- ▨▨▨▨ Cn Aree di conoide non recentemente ristabilite o completamente protette da opere di difesa - (pericolosità media o moderata)
- ▨▨▨▨ Ee Aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata
- ▨▨▨▨ Eb Aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità elevata
- +++++ Aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata (non perimetrata)
- ~~~~~ Aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità elevata (non perimetrata)

Figura 14 – Stralcio “Tav.12 – Carta dei Vincoli” – 1:10.000
(Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

5. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO DELLA ZONA

5.1 Inquadramento geologico

Il Comune di Malnate è ubicato nella zona centro-orientale del territorio provinciale, nella fascia pedemontana prealpina, in un ambito morfologicamente definito "delle colline moreniche", raccordo tra l'area montuosa e l'alta pianura.

Il territorio comunale presenta formazioni geologiche cronologicamente molto distanti, relative a periodi compresi dal cenozoico all'attuale, con caratteristiche geomorfologiche in stretto rapporto con gli eventi geologici che si sono verificati durante la fine del Quaternario (Glaciazioni del Pleistocene-medio-superiore).

La prima elaborazione cartografica riguardante la geologia dell'area è presente nel Foglio Geologico n. 31-Varese (1937), alla scala 1:100.000, di cui si riporta lo stralcio di interesse in Figura 15.

L'area comunale è contraddistinta da un substrato prequaternario rappresentato dalle arenarie e i conglomerati oligocenici del "Conglomerato di Como" (ol) e dalle argille e marne intercalate (ola), mentre per quanto riguarda le unità quaternarie, la carta distingue, a partire dai più antichi, i "depositi prewurmiani ferrettizzati" e banchi di ceppo (q1), i depositi "prewurmiani terrazzati" (q2) e le alluvioni, distinte in "terrazzate" (a1) e "recenti" (a2).

Una successiva e più aggiornata interpretazione del quadro geologico e strutturale è rappresentata dalla "Carta Geologica della Lombardia" pubblicata nel 1990 (Figura 16).

La carta, alla scala 1:250.000, è di minore precisione grafica e topografica. Sul portale regionale si ricava, dalla versione digitale, un ingrandimento che mostra la distribuzione delle unità geologiche presenti nella zona.

L'interpretazione delle coperture quaternarie rispetta i canoni della interpretazione classica alpina, con la suddivisione dei depositi glaciali secondo le principali glaciazioni. Le unità presenti sono, oltre al "Gruppo della Gonfolite lombarda" (Unità 19a) e le unità del "Ceppo lombardo" (8), le unità quaternarie di genesi glaciale, riportate secondo la nomenclatura tradizionale e, nello specifico, il "Morenico e fluvioglaciale Riss" (6a e 6b), le unità appartenenti alla ultima avanzata glaciale (Wurm) in facies di deposito glaciale (5a) e fluvioglaciale-fluviale (5b), ed infine i depositi fluviali dell'Alluvium attuale (1c).

La recente reinterpretazione dell'assetto geologico della zona, rispetto allo schema geologico pregresso e basato sul modello delle quattro glaciazioni di Penck e Bruckner, è stato elaborato, secondo un nuovo approccio delle classificazioni stratigrafiche e temporali del Quaternario, dagli studi condotti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano – Gruppo Quaternario (Bini A., 1987).

I sedimenti lasciati dal ghiacciaio vengono suddivisi e classificati in unità allostratigrafiche sulla base di caratteri litogeologici e geomorfologici, del profilo di alterazione, della presenza di loess, della cementazione e della morfologia.

I ripetuti eventi di trasporto di materiale glaciale, deposizione e successiva erosione, tra loro ravvicinati ed in parte sovrapposti, hanno determinato associazioni litologiche molto simili tra di loro e le forme caratteristiche del territorio come appare oggi. Ogni glaciazione ha avuto una estensione differente dato che la fisiografia del territorio era ogni volta diversa, sia per cause connesse all'azione di deposizione e erosione dei ghiacciai, sia per effetto di fasi di neotettonica.

La profonda revisione che ha ridenominato le unità quaternarie, costituisce il riferimento per la redazione della Tavola 1 della Componente geologica del PGT, e di cui si allega lo stralcio più generale riguardante il territorio di Malnate e il dettaglio dell'area di intervento (Figura 17 e Figura 19).

Nello stralcio più esteso, la carta mostra gli affioramenti delle Unità della Gonfolite Lombarda, in un contesto dominato dai materiali appartenenti alle unità del quaternario recente.

Il "Gruppo della Gonfolite Lombarda", è costituito da una successione terrigena oligo-miocenica che presenta il suo sviluppo più significativo al bordo padano della catena alpina, nel territorio compreso tra Como e Varese. Si tratta di un deposito molassico deltizio di origine fluvio-marina, costituito da un conglomerato, con elementi di provenienza alpina, molto cementato da matrice in genere silicea, talora in alternanza con arenarie (molasse) e argille marnose. Nel territorio di Malnate affiora diffusamente nella porzione nord-orientale del territorio e in lembi sporadici nel versante della valle del Fiume Olona.

Sul territorio comunale sono poi presenti unità quaternarie riferibili a diverse fasi preglaciali, glaciali e postglaciali che in ordine cronologico crescente sono:

- Unità dei Conglomerati di Malnate (Pliocene Superiore);
- Unità del pianalto di Vedano Olona (Pleistocene medio-superiore);
- Unità del pianalto di Malnate (Pleistocene medio);
- Unità del Fiume Olona (Pleistocene sup-Olocene);

Unità dei conglomerati di Malnate

Assimilate alle unità generalmente denominate "Ceppo" (a cui segue la specifica del luogo o del fiume), sono costituiti da depositi di tipo conglomeratico di origine alluvionale con ciottoli, ghiaie e sabbie a vario grado di cementazione, da assente a molto spinto. I clasti sono prevalentemente di natura carbonatica e metamorfica. L'unità affiora in lembi molto limitati lungo la scarpata della Valle dell'Olona e cronologicamente è datata Pliocene Superiore e precede le unità corrispondenti al vecchio "Mindel".

Unità del pianalto di Vedano Olona

Tale unità rientra nel più esteso gruppo dell'Alloformazione di Albizzate del Pleistocene medio superiore, e sul territorio comunale occupa una vasta area nel settore orientale.

Comprende depositi incoerenti di origine fluvio-glaciale glaciale e subordinatamente glaciale, le cui caratteristiche litologiche, di facies ed il grado di alterazione dei materiali, consentono di assimilarla al Riss degli Autori precedenti. Litologicamente sono prevalenti ciottoli sub arrotondati e ghiaie a supporto clastico, con abbondante matrice fine (limoso-argillosa) di colore marrone ocraceo. Limi e limi argillosi massivi sono spesso presenti, superiormente, in spessori fino a 2,5 m. Il grado di alterazione dei clasti carbonatici e metamorfici è medio-alto, con percentuale di clasti alterati che supera il 50% e profilo di alterazione fino alla profondità di circa 3-5 metri

Unità del pianalto di Malnate

Il pianalto di Malnate è occupato quasi interamente da facies appartenenti all'Allogruppo di Besnate indifferenziato. Nell'area in esame sono presenti depositi glaciali e fluvio-glaciali/fluviali con profilo di alterazione superficiale di colore bruno-giallastro, che interessa una percentuale inferiore al 30% dei clasti, e che si spinge a discreta profondità (3-4 m). La copertura loessica è sempre presente. I depositi in facies fluvio-glaciale sono costituiti da ghiaie medio-grossolane a supporto di matrice sabbiosa e clasti (poligenici). I depositi in facies glaciale sono formati da diamicton massivo a supporto di matrice limosa e/o sabbiosa, stratificato, con evidenze di risedimentazione, con intercalazioni di sabbie massive e argilla con clasti. Localmente si presentano cementati.

Unità del Fiume Olona

E' un'unità che rientra nel complesso sedimentario definito "postglaciale", con depositi fluviali e alluvionali recenti ed attuali (Olocene), privi di alterazione superficiale, con suoli assenti o poco sviluppati. Quest'unità costituisce tutta la valle Olona ed è inoltre presente lungo l'asse torrentizio dei torrenti minori, dove caratterizza l'alveo e zone adiacenti.

La composizione dei depositi è di tipo grossolana (ciottoli, ghiaie e sabbie), con disposizione in livelli o corpi lenticolari. Sono presenti, sporadicamente, intercalazioni a granulometria più fine. Lo sviluppo del suolo è scarsa o assente in quanto questi terreni sono parzialmente o interamente soggetti alla dinamica fluviale attuale.

5.2 Geomorfologia e idrografia superficiale

Il territorio di Malnate presenta una morfologia articolata per la presenza di depositi quaternari di spessore variabile su di un substrato roccioso cenozoico. L'assetto morfologico è intrinsecamente collegato alla sua storia geologica e risulta essere il risultato di azioni principalmente legate alla deposizione dei ghiacciai (morene e cordoni morenici) successive al loro ritiro e quindi legate alle acque di fusione (piane fluvioglaciali terrazzate). Da ultimo si sono sovrapposte le più recenti azioni di tipo fluviale, ed importanti modificazioni antropiche derivanti dall'uso del territorio.

Le strutture morfologiche che caratterizzano il territorio sono principalmente creste moreniche, che nell'elaborato di Figura 19, sono tracciate con una linea verde marcata a tratto pieno e che risultano presenti nel settore settentrionale del territorio comunale e nell'area del nucleo storico del capoluogo.

Altri elementi di interesse sono l'orlo di scarpata che rappresenta il limite superiore che delimita verso ovest la valle solcata dal Fiume Olona e dal Torrente Ranza, e orli di terrazzi che delimitano settori del pianalto di Malnate.

Il territorio di Malnate presenta una rete idrica superficiale costituita da un discreto numero di corsi d'acqua (oltre 20 tra reticolo idrografico principale e secondario), il cui sviluppo e andamento è in stretta relazione con i caratteri litologici e all'assetto morfologico. Cinque corsi d'acqua rientrano nel reticolo principale: Fiume Olona e i Torrenti Quadronna, Ranza (o Lanza), Vellone e Bevera.

Il corso d'acqua di maggiore interesse per quanto riguarda l'area di intervento, è Il Torrente Fugascè, distante circa 200 m. Il torrente origina in territorio di Malnate, tra il Monte Morone e il Monte Casnion, e attraversa il centro del capoluogo in sotterraneo, in un tratto intubato da Via Podgora a Via Matteotti/Via Cairoli, per poi tornare a giorno in corrispondenza di una vallecchia dove riceve in sponda destra il Torrente Vassena, ed infine immettersi nel Fiume Olona in loc. "Le Gere".

Per tale torrente, nelle zone indicate nelle cartografie PAI e PRGA, in corrispondenza dell'alveo torrentizio e delle aree limitrofe in erosione, sono state delimitate delle aree in dissesto (Eb: aree a pericolosità elevata), e in corrispondenza della confluenza del T. Vassena, un'area coinvolgibile da fenomeni con pericolosità molto elevata (Ee), oltre a possedere un grado di pericolosità per esondazione di grado medio (meno frequenti).

Come riportato nello stralcio della Tav. 6 dello "Studio per l'individuazione del reticolo idrico" (Figura 18), sono stati definiti i limiti dei bacini idrografici, la fascia di rispetto assoluto estesa a 4 o 10 m dagli argini, nonché delimitate le "fasce di pertinenza", che comprendono le aree in continua evoluzione geomorfologica soggette a fenomeni erosivi durante gli eventi di piena (approfondimento dell'alveo, trasporto solido, scalzamento al piede, incisione delle sponde, ecc.).

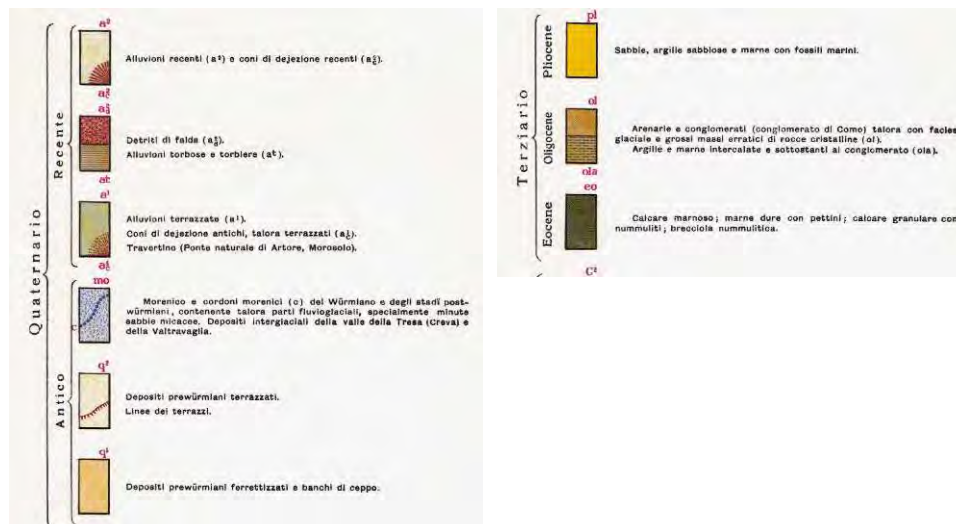
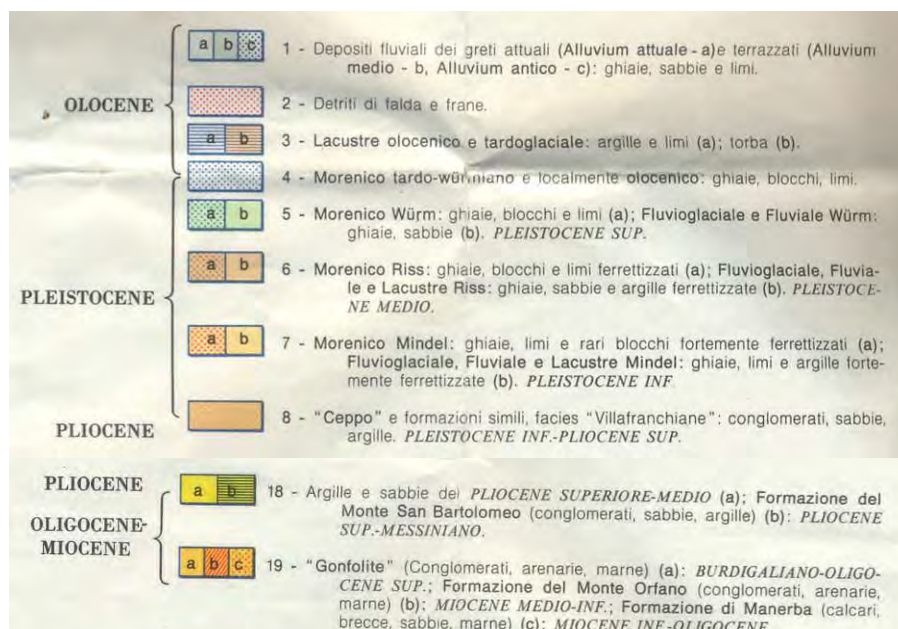
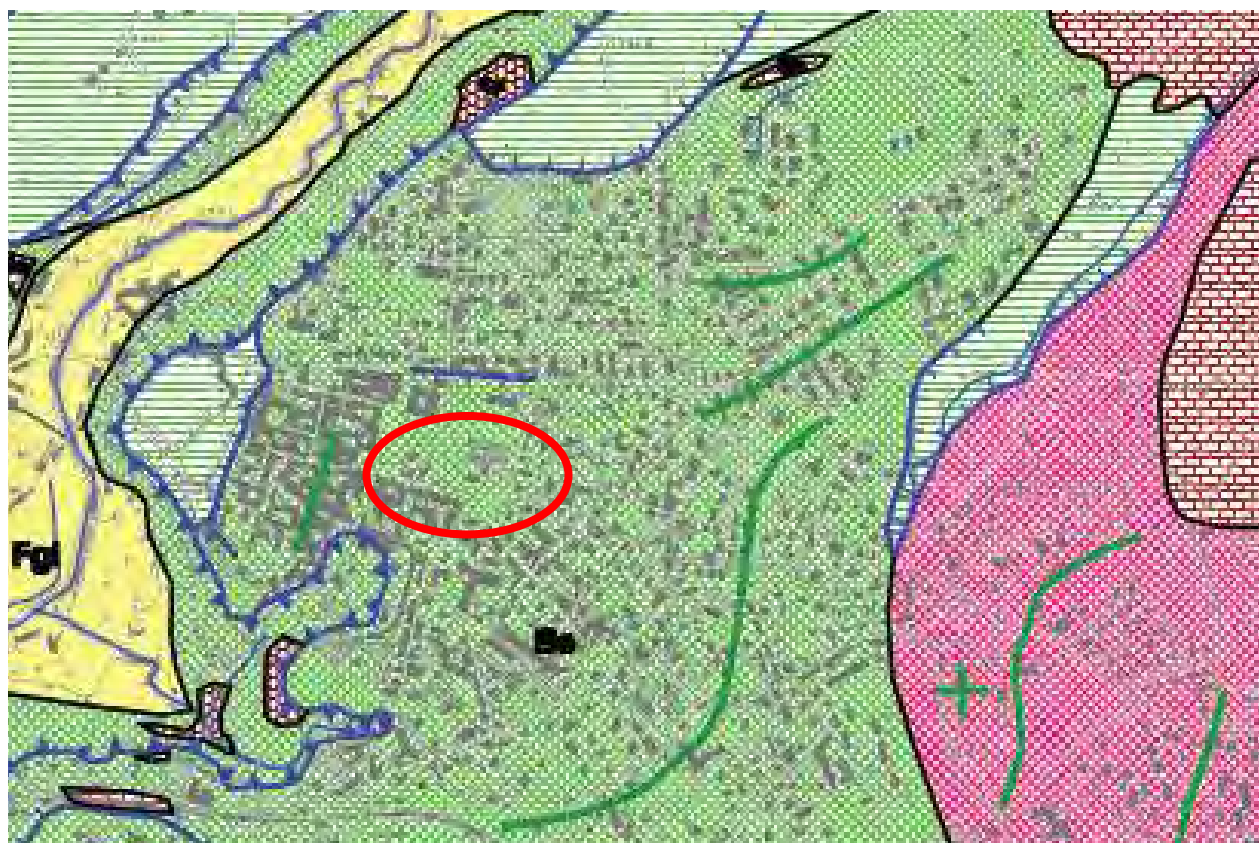


Figura 15 – Stralcio “Carta geologica d'Italia – Foglio 31 - Varese”
 In rosso l'ubicazione del Comune di Malnate



**Figura 16 – Stralcio “Carta geologica della Lombardia (1990)”
 In rosso l’ubicazione del Comune di Malnate**



UNITA' GEOLOGICHE

SUBSTRATO PRE-QUATERNARIO

- Go** **Gonfolite Lombarda**
(Rupeliano Sup. - Miocene medio-sup.)
Depositi risedimentati marini profondi legati a flussi gravitativi; prevalente facies conglomeratica
- ACS** **Unità delle Argille di Castel di Sotto**
(Pliocene inf.)
Argille marnose fossilifere di colore grigio - blu, massive e stratificate
- Cp** **Unità dei Conglomerati di Malnate**
(Pliocene sup.)
Depositi fluviali/fluvioglaciali: conglomerati grossolani stratificati o massivi

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- Boz** **Unità del Lazzaretto - assimilata all'Allogruppo del Bozzente**
(Pleistocene medio)
Diamicton massivi a supporto di matrice (depositi glaciali) con sequenze sommitali fini (loess, colluvi, paleosuoli); clasti poligenici profondamente alterati e ferretizzati nella porzione sommitale.
- Dib** **Depositi loessici in posto dell'Allogruppo del Bozzente**
Limi alterati massivi
- Alb** **Unità del Pianalto di Vedeno - assimilata all'Alloformazione di Albizzate**
(Pleistocene medio-sup.)
Depositi fluvioglaciali prevalentemente grossolani (ghiaie a supporto clastico con matrice limoso argillosa di colore marrone ocra); presenza di un livello superiore di limi argillosi massivi (loess); grado di alterazione medio (clasti carbonatici argillificati e metamorfici fortemente alterati).
- Be** **Unità del Pianalto di Malnate - assimilata all'Unità dell'Allogruppo di Besnate**
(Pleistocene medio-sup.)
Depositi fluvioglaciali (ghiaie a supporto clastico, localmente a supporto di matrice sabbiosa). Locale presenza di livelli sabbiosi ben selezionati; grado di alterazione debole ai danni di clasti carbonatici. Depositi glaciali: costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice limosa o sabbiosa, con clasti poligenici. Sono da normali a sovraconsolidati.

- Ca** **Unità della Bergamina - assimilata all'Alloformazione di Cantù**
(Pleistocene sup.)
Depositi fluvioglaciali (diamicton massivi, ghiaie medie e grossolane stratificate a supporto di matrice sabbiosa); morfologia ben conservata, copertura loessica assente e profilo d'alterazione poco evoluto.
- Fsz** **Unità del Fosso Zocca - assimilata all'Unità postglaciale**
(Pleistocene sup.- Olocene)
Depositi alluvionali recenti con evidenze morfologiche
- Fgl** **Unità del F. Olona - assimilata all'Unità postglaciale**
(Pleistocene sup.- Olocene)
Depositi fluviali: da ghiaie a supporto di matrice, non alterate, a ghiaie fini con sabbia grossolana a supporto di clasti; clasti da suberotonati a spigolosi, poligenici. Depositi lacustri: costituiti da limi e argille a laminazione pianoparallela orizzontale o massivi, con intercalati livelli di torba.
- Dvc** **Depositi di versante colluviali dell'Unità del Pianalto di Vedeno**

FACIES SEDIMENTARIA DEI DEPOSITI QUATERNARI

- Facies glaciale**
- Facies fluvioglaciale**
- Facies detritica-colluviale**
- Facies fluviale**
- Facies lacustre**

Figura 17 – Stralcio “Tav.1 – Geologia e geomorfologia” – 1:10.000
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

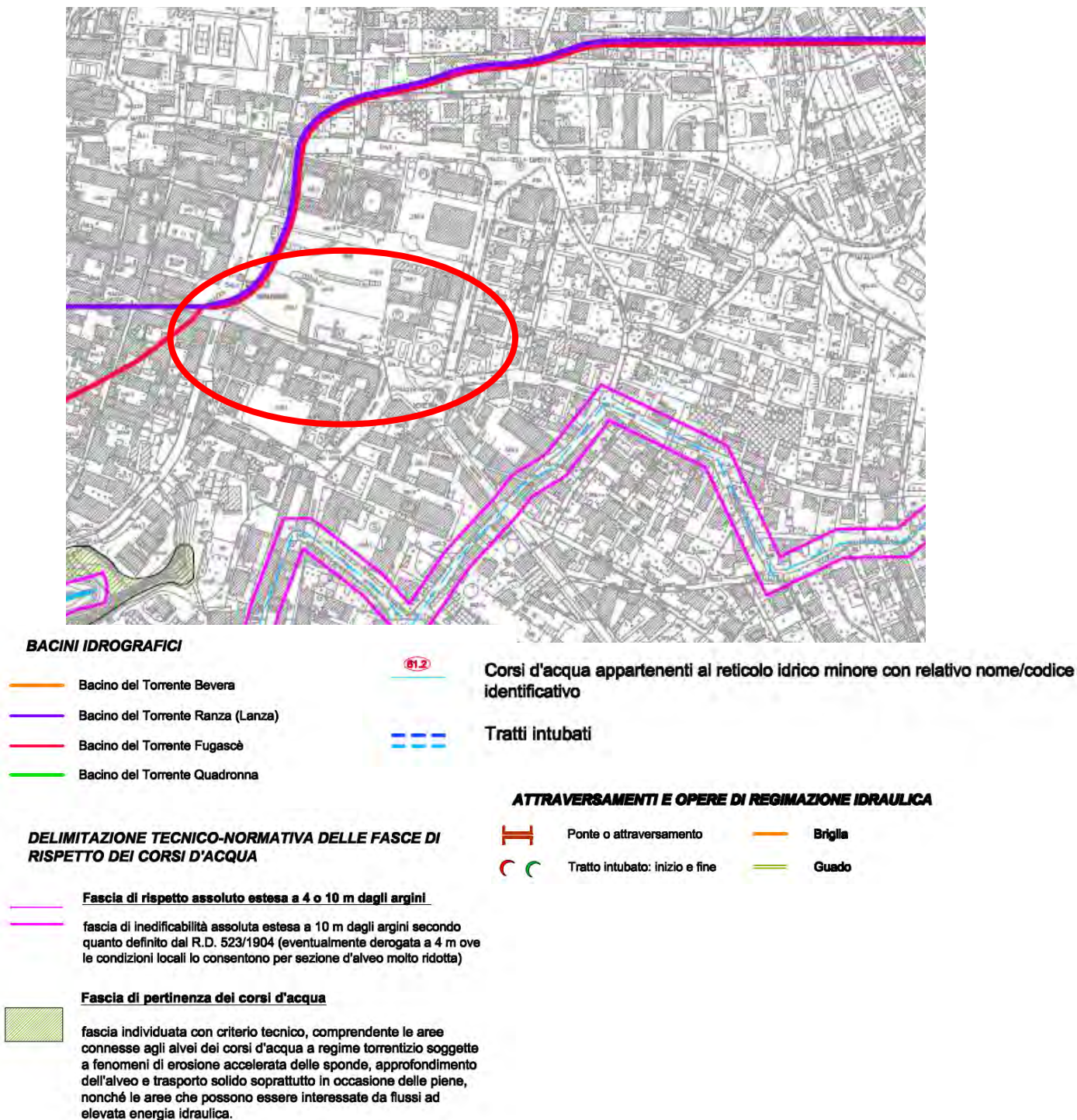


Figura 18 – Stralcio “Tav.6 – individuazione del reticolo idrografico principale e minore”
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)- 1:5.000
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

5.3 Geologia di superficie e di dettaglio della zona di intervento

La zona di intervento è situata nell'ambito dei depositi di età più recente (quaternaria), riconducibili alle glaciazioni dell' Episodio Besnate (Figura 19).

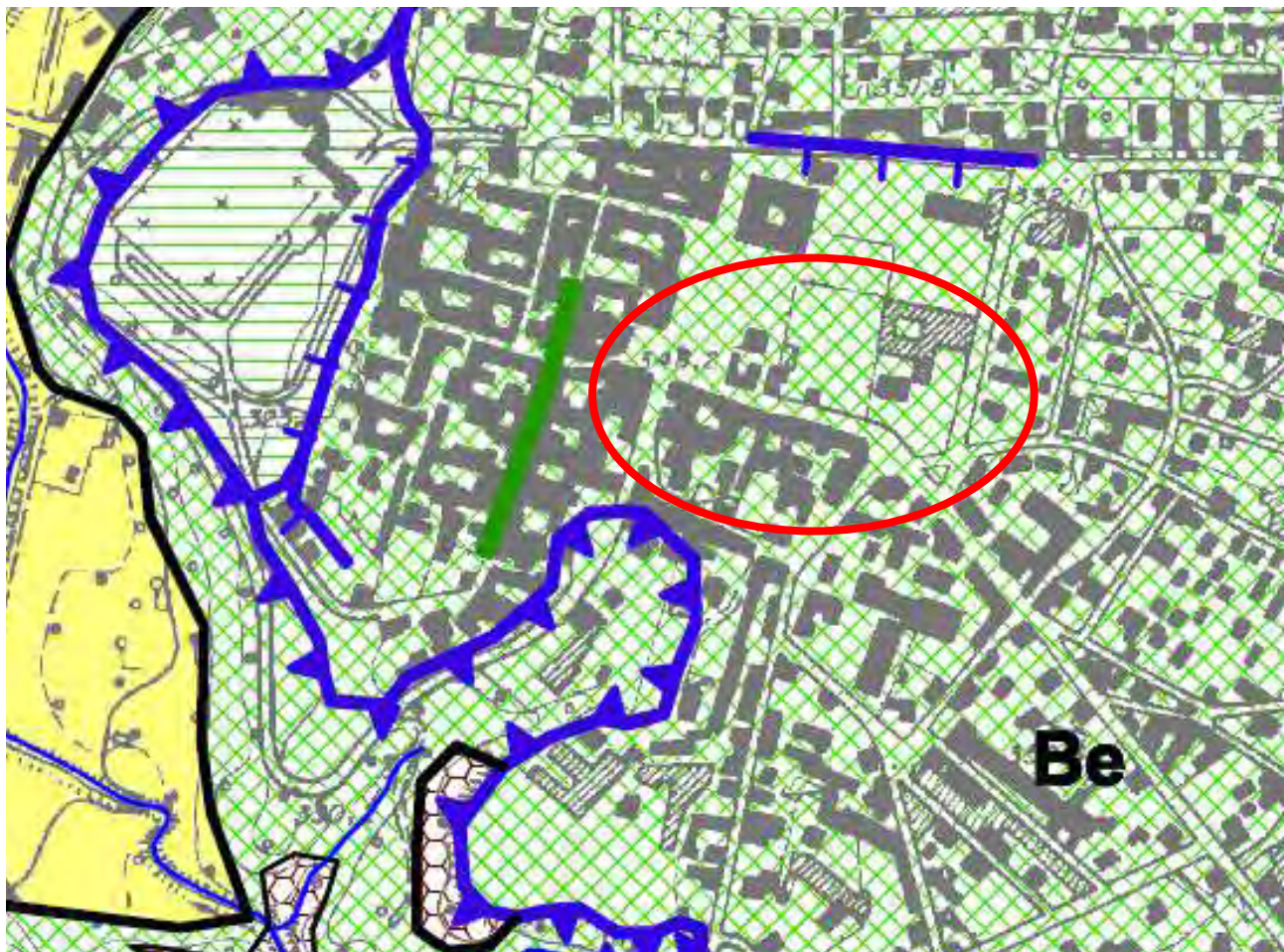
I depositi sedimentari caratteristici della zona sono costituiti da associazioni litologiche estremamente eterogenee, come diamicton, sabbie e limi. Sono presenti inoltre corpi lenticolari prevalentemente ghiaiosi e/o prevalentemente sabbiosi. Tutte le litofacies si alternano con forte variabilità laterale, come riscontrato nelle indagini geognostiche eseguite in sito (vedi paragr. 7) ed elaborate nella sezione geologico-sismica della Tavola A.

Secondo la classificazione riportata nelle "Basi ambientali della pianura - Litologia" del Geoportale della Lombardia, le associazioni litologiche prevalenti nella zona sono identificate dalla sigla "S1PGN3 e "G1PN3", e sono riferite rispettivamente a "Sabbie poco gradate con ghiaia" e "Ghiaie poco gradate".

Dal punto di vista geomorfologico, il lotto di intervento, a morfologia pianeggiante, ed è delimitato, verso sud-sudovest, dal ciglio della scarpata che degrada verso la Valle Olona, mentre distante, e a sud-sudest è presente un modesto orlo di terrazzo fluvio-glaciale.

L'altro elemento geomorfologico caratteristico è la presenza, a nord, di un cordone morenico, avente direzione N-S, sulla cui culminazione si situa il centro storico di Malnate

L'area di intervento risulta localizzata in ambito sub pianeggiante privo di problematicità morfologiche e idrauliche, e discretamente distante dalle aree in dissesto censite dal PAI, PRGA e PTCP, ove si rilevano situazioni di dinamica geomorfologica legati a fenomeni puntuali di tipo gravitativo e, più estesamente, di tipo idraulico.



Be *Unità del Pianalto di Malnate - assimilata all'Unità dell'Allogruppo di Besnate (Pleistocene medio-sup.)*

Depositi fluvioglaciali (ghiaie a supporto clastico, localmente a supporto di matrice sabbiosa). Locale presenza di livelli sabbiosi ben selezionati; grado di alterazione debole ai danni di clasti carbonatici. Depositi glaciali: costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice limosa o sabbiosa, con clasti poligenici. Sono da normal a sovraconsolidati.

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

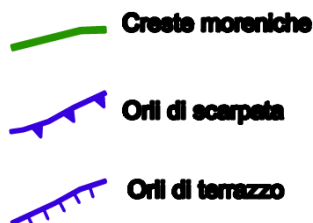


Figura 19 – Stralcio “Tav.1 – Geologia e geomorfologia” – 1:5.000
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SOTTOSUOLO DELLA ZONA

Con riferimento agli studi a carattere provinciale e al quadro idrogeologico definito dallo “Studio Idrogeologico ed Idrochimico della Provincia di Varese a supporto delle scelte di gestione delle risorse idropotabili” – PSTL / ATO – (2007), il Comune di Malnate si colloca, per quanto riguarda i “settori idrogeologici”, nel “settore pedemontano”.

INDIVIDUAZIONE DEI SETTORI IDROGEOLOGICI

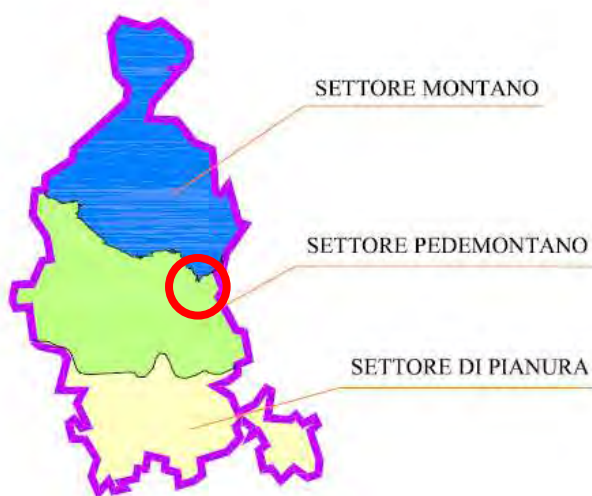


Figura 20 - Stralcio “Carta dei Vincoli” (Fonte: Studio Idrogeologico e idrochimico della Provincia di Varese a supporto delle scelte di gestione delle risorse idropotabili” – PSTL / ATO – 2007)
In rosso l’ubicazione del Comune di Malnate

Il settore pedemontano, zona intermedia tra settore montano a nord e pianura a sud (approssimativamente compreso tra Varese e Gallarate), “è caratterizzato da morfologie controllate dalla geometria del substrato roccioso affiorante o subaffiorante e/o dei depositi glaciali e fluvioglaciali plioquaternari (cordoni morenici, pianalti, piane fluvioglaciali). La struttura idrogeologica è caratterizzata da acquiferi in terreni porosi di limitata estensione areale e ridotta potenzialità, normalmente captate da pozzi. Gli acquiferi più produttivi sono quelli di tipo nastriforme, all’interno delle valli (Olona, Arno, etc.).

La successione idrogeologica identifica unità idrostratigrafiche “che sono unità contraddistinte da un’associazione di litotipi con simile modalità di circolazione idrica sotterranea, rapporto di alimentazione-deflusso delle falde e disposizione geometrica rispetto agli altri acquiferi.”

La suddivisione di riferimento introdotta da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M, 1994, individua dall’alto verso il basso le seguenti unità idrostratigrafiche:

- UNITÀ GHIAIOSO-SABBIOSA (facies fluviali dell’Olocene-Pleistocene Sup.).
- UNITÀ SABBIOSO-GHIAIOSA (facies fluviali del Pleistocene Medio);
- UNITÀ A CONGLOMERATI E ARENARIE (facies fluviali del Pleistocene Inf.);

- UNITÀ SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentale e transizionale, Pleistocene Inf.-Villafranchiano Sup. e Medio Auct.);
- UNITÀ ARGILLOSA (facies marina, Pleistocene Inf.-Calabrian Auct.);

Queste unità sono state più di recente riclassificate da Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, 2002, nelle nuove seguenti unità idrostratigrafiche:

- **Gruppo acquifero A** (Olocene-Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'unità ghiaioso-sabbiosa;
- **Gruppo acquifero B** (Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'insieme delle unità sabbioso-ghiaiosa e a conglomerati e arenarie;
- **Gruppo acquifero C** (Pleistocene Medio); corrispondente alla parte superiore dell'unità sabbioso-argillosa;
- **Gruppo acquifero D** (Pleistocene Inf.); corrispondente alla restante parte dell'unità sabbioso-argillosa e alla unità argillosa .

I caratteri distintivi delle unità idrogeologiche dell'ambito pedemontano (e base della classificazione delle strutture acquifere presenti), secondo lo "Studio Idrogeologico – PSTL / ATO – 2007" sono invece così definiti ricomprendono i gruppi acquiferi sopra menzionati:

"A) Substrato roccioso

"Nel settore pedemontano l'unità è indifferenziata ed è costituita da un'unità prepliocenica ("Gonfolite") ad arenarie e conglomerati a cemento siliceo, generalmente considerata come base impermeabile delle falde, in quanto caratterizzata dall'assenza di corpi idrici; solo localmente è caratterizzata da circolazione idrica connessa a permeabilità secondaria (fratturazione)."

B) Unità delle argille prevalenti - Corrisponde ai Gruppi acquiferi C-D

"L'unità è costituita da depositi in facies transizionale e marina di età pliocenica, caratterizzati da limi, argille e argille sabbiose grigie e azzurre alternati a lenti di materiali più grossolani colmanti le maggiori incisioni del substrato roccioso. Si riscontra localmente la presenza di torbe e fossili... Nel settore pedemontano l'unità si riscontra a partire da profondità minime di 10 m in corrispondenza delle principali incisioni vallive (F. Olona, T. Quadronna), ove si assiste ad una riduzione di spessore dei depositi soprastanti, a profondità massime di circa 100 m in corrispondenza delle zone di paleoalveo del F. Olona (Malnate)... Gli acquiferi dell'unità, caratterizzati da un basso grado di vulnerabilità intrinseca alle contaminazioni superficiali, sono riservati all'utilizzo idropotabile e vengono captati sia separatamente che congiuntamente con l'acquifero più superficiale dai pozzi più profondi dell'area."

C) Unità delle ghiaie e conglomerati prevalenti - Corrisponde ai Gruppi acquiferi A-B

"L'unità è caratterizzata da depositi in facies fluviale di tipo braided (frazioni grossolane) e di tipo a meandri (frazioni più fini), generalmente caratterizzati dalla successione di ghiaie e sabbie passanti a conglomerati a diverso grado di cementazione ad elevata continuità laterale nei tratti di pianura. I banchi conglomeratici presentano maggiore frequenza e spessore nei settori pedemontano e di alta pianura del territorio, specie in prossimità delle scarpate fluviali più incise, mentre nelle aree meridionali l'unità si caratterizza da fitte alternanze di livelli a ghiaie argillose ed argille. Lo spessore di tale unità varia notevolmente (da 0 a 60-80 m) in relazione all'andamento delle unità sottostanti e alla morfologia superficiale. Nel settore pedemontano i massimi spessori si riscontrano nell'area orientale (Arcisate, Cantello, Malnate) e centrale (Arsago Seprio, Besnate, Jerago con Orago)... E' sede dell'acquifero principale di tipo da libero a confinato, tradizionalmente utilizzato dai pozzi di captazione a scopo idropotabile. L'acquifero superiore contenuto in tale unità è caratterizzato da grado di vulnerabilità variabile, da molto elevato a basso in relazione alla presenza o meno di orizzonti superficiali a bassa permeabilità (coperture glaciali antiche e recenti, depositi lacustri)".

D) Unità delle ghiaie, sabbie ed argille - Corrisponde al Gruppo acquifero A

"E' costituita da sedimenti di origine glaciale e fluvioglaciale con litologie eterogenee (ghiaie e sabbie a supporto di matrice argillosa, da poco a molto alterate). Rappresenta l'unità stratigraficamente più giovane con diretto riscontro morfologico in superficie. Nel settore pedemontano l'unità è sede di acquiferi a carattere sospeso con ridotta potenzialità ed estensione laterale".

Per quanto riguarda le idrostrutture presenti, "... I settori pedemontani sono caratterizzati da elevata frammentazione delle strutture idrogeologiche che costituiscono dei sistemi molto locali e con caratteristiche varie e peculiari. La distribuzione dei sistemi è fortemente condizionata dalla geometria del substrato roccioso e dalla formazione in epoca prequaternaria e quaternaria di paleoalvei spesso oggetto di successive re-incisioni".

CLASSIFICAZIONE DELLE UNITA' IDROGEOLOGICHE

- (D)** UNITA' DELLE GHIAIE, SABBIE ED ARGILLE
Ghiaie e sabbie a supporto clastico e/o matrice argillosa; facies glaciale, glaciolacustre e fluvioglaciale.
Acquifero libero o semiconfinato nei livelli più grossolani.
- (C)** UNITA' DELLE GHIAIE E CONGLOMERATI PREVALENTI
Ghiaie e sabbie, conglomerati con intercalazioni argillose; facies fluviale tipo "braided", passante localmente a facies a "meandri".
Acquifero da libero a confinato.
- (B)** UNITA' DELLE ARGILLE PREVALENTI
Argille con subordinati livelli a ghiaie, sabbie e conglomerati. Presenza di torbe fossili.
Acquifero confinato nei livelli permeabili.
- (A)** SUBSTRATO ROCCIOSO
- Settore montano: complessi carbonatici e marnosi.
- Settore pedemontano: "Gonfolite".
Assenza di corpi idrici per permeabilità primaria; locale presenza di acquiferi per permeabilità secondaria (carsismo e fessurazione) nel settore montano.

**Figura 21 – Classificazione delle unità idrogeologiche
"Studio Idrogeologico e idrochimico della Provincia di Varese" – PSTL / ATO – 2007)**

La tabella di Figura 22 mette in relazione i rapporti intercorrenti tra le unità idrostratigrafiche, idrogeologiche e litologiche delle classificazioni idrogeologiche elaborate da vari Autori ed Enti.

UNITA' LITOLOGICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE
Mazzarella S. e Martinis B.		Francani V. e Pozzi R.		AGIP – Regione Lombardia		Avanzini, Beretta, Francani, Nespoli, CA
Litozona ghiaioso-sabbiosa	Acquifero Tradizionale	Fluvioglaciale Wurm Auct. (Diluvium recente)	I acq.	Gruppo acquifero A	Pleistocene superiore	Unità ghiaioso-sabbiosa
		Fluvioglaciale Riss-Minde (Dil. Medio-Antico)	II acq.		Gruppo acquifero B	Pleistocene medio
		Ceppo Auct.				Pleistocene inferiore
Litozona sabbioso-argillosa	Acquiferi Profondi	Villafranchiano	III acq.	Gruppo acquifero C		Unità sabbioso-argillosa (facies continentali e di transizione)
Litozona argillosa		—		Gruppo acquifero D	(Calabriano)	Unità argillosa (facies marina)

Figura 22 – Tabella di correlazione unità litologiche, idrostratigrafiche e idrogeologiche

La struttura idrogeologica del sottosuolo nella zona di interesse è riportata nell'estratto della "Tav. 3 - Carta idrogeologica" (Figura 23), negli stralci delle sezioni idrogeologiche 1-2 contenute nello studio geologico del PGT (Figure 26-27), e nei dati stratigrafici del pozzo comunale più profondo di Via Sauro (Pozzo n. 6 di Figura 25).

La zona in cui è localizzata l'area di intervento possiede caratteristiche idrogeologiche favorevoli al prelievo di acque sotterranee, non presentando il substrato roccioso in affioramento o a debole profondità. Essa si colloca in corrispondenza della isopiezometrica 320 m. slm, e pertanto la falda è situata alla profondità (teorica) di circa 30 metri dal p.c.

A circa 500 m a SSE, sono ubicati i pozzi di Via Sauro che costituiscono il riferimento stratigrafico del sottosuolo anche per l'interpretazione del profilo sismico del sottosuolo (paragr. 9).

Le sezioni idrogeologiche 1-2 (Figura 26-27) esemplificano la struttura idrogeologica del sottosuolo e le unità presenti. Le unità idrogeologiche rinvenute, a partire dalla superficie, sono le seguenti:

Unità idrogeologica delle ghiaie e delle ghiaie argillose - (3)

L'unità più superficiale è costituita da depositi di origine fluvioglaciale, con prevalenti ghiaie e sabbie sciolte, e sporadiche intercalazioni ghiaiose più cementate. L'unità è sede della falda freatica attinguta dai pozzi siti in Via Sauro, con livello statico a circa -70 m di profondità dal p.c.

Unità idrogeologica delle argille prevalenti - (2)

L'unità più profonda, presente al di sotto dei 80 m dal p.c., è principalmente costituita da limi e argille, intercalata da uno spesso orizzonte ghiaioso a profondità piuttosto rilevanti (circa -160 m dal p.c.), e contiene un acquifero confinato (in pressione) di interesse acquedottistico per le sue migliori caratteristiche qualitative

L'unità sormonta il substrato roccioso della Gonfolite, con spessori molto rilevanti e dell'ordine anche di oltre 200 m.

Unità idrogeologica del substrato roccioso - (1)

Il substrato roccioso, costituito dalla F.ne della Gonfolite, in affioramento nei rilievi e ai lati del fondovalle, costituisce l'unità idrogeologica di fondo degli acquiferi presenti, e si rinviene a profondità molto irregolari, come evidenziato graficamente nelle sezioni 1 e 2, e nella sezione contenuta nello "Studio Idrogeologico ed Idrochimico effettuato dalla Provincia di Varese - PSTL / ATO (Sez. 3 - Figura 24). La "Gonfolite" risulta generalmente priva di acquiferi significativi.

Con riferimento alla classificazione proposta dallo "Studio Idrogeologico ed Idrochimico effettuato dalla Provincia di Varese - PSTL / ATO", lo stralcio di interesse della sezione idrogeologica 3 (Figura 24) risulta grosso modo parallela alla sezione 1 e interseca la sezione idrogeologica 2 in corrispondenza dei pozzi di Via Sauro.

Le unità idrogeologiche (1) (2) e (3) si correlano alle Unità idrogeologiche A-B-D. Nella sezione 3 l'interpretazione stratigrafica del sottosuolo contempla anche la presenza di un'ulteriore unità idrogeologica, ovvero l'"Unità delle ghiaie e conglomerati prevalenti – C" nella zona di versante lungo la valle del Fiume Olona.

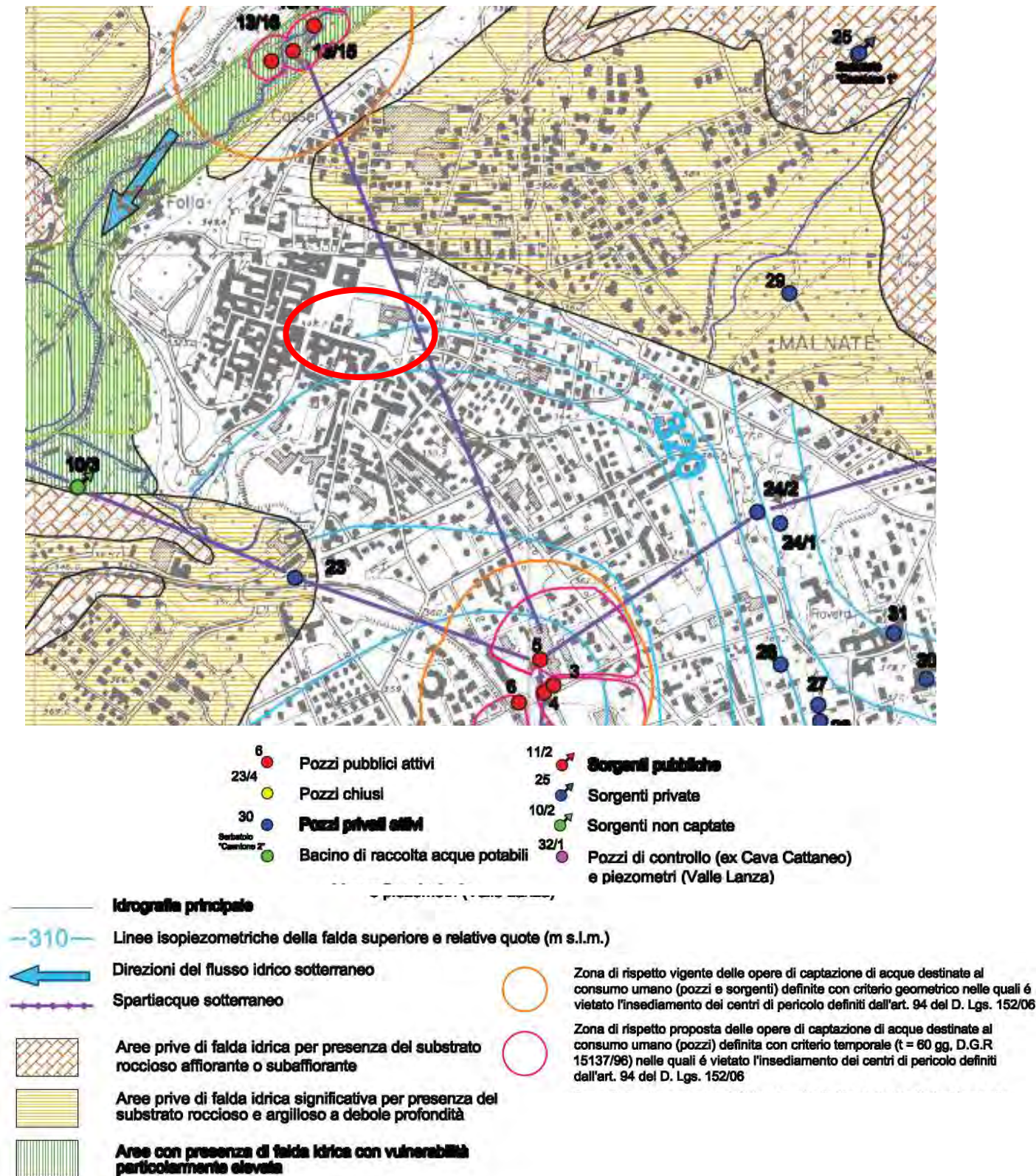


Figura 23 – Stralcio “Tav.2 – Idrogeologia e traccia delle sezioni” – 1:10.000
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

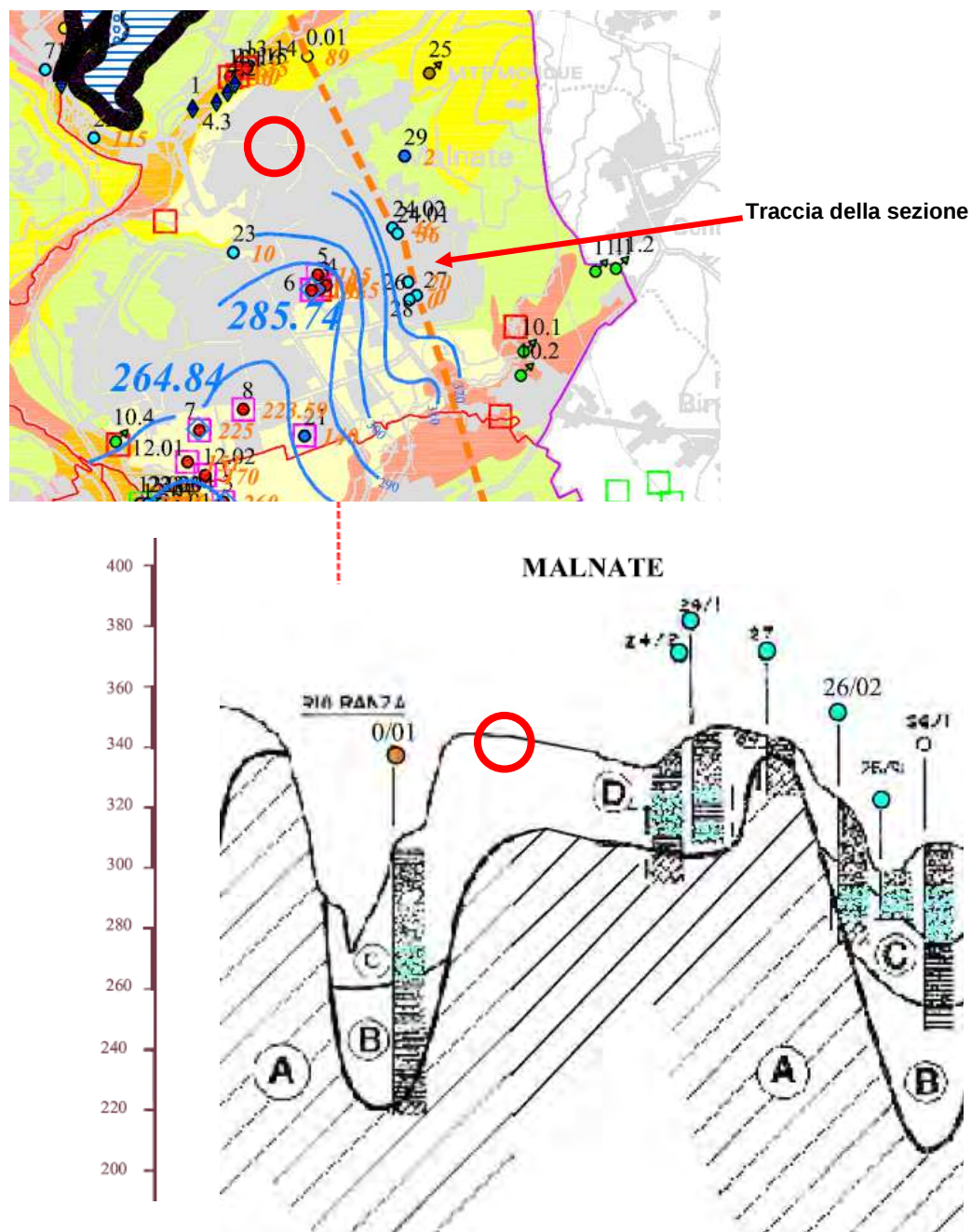


Figura 24 - Stralcio "Sezione idrogeologica 3"
 "Studio Idrogeologico ed Idrochimico della Provincia di Varese (PSTL / ATO – 2007)"
 In rosso l'ubicazione dell'intervento

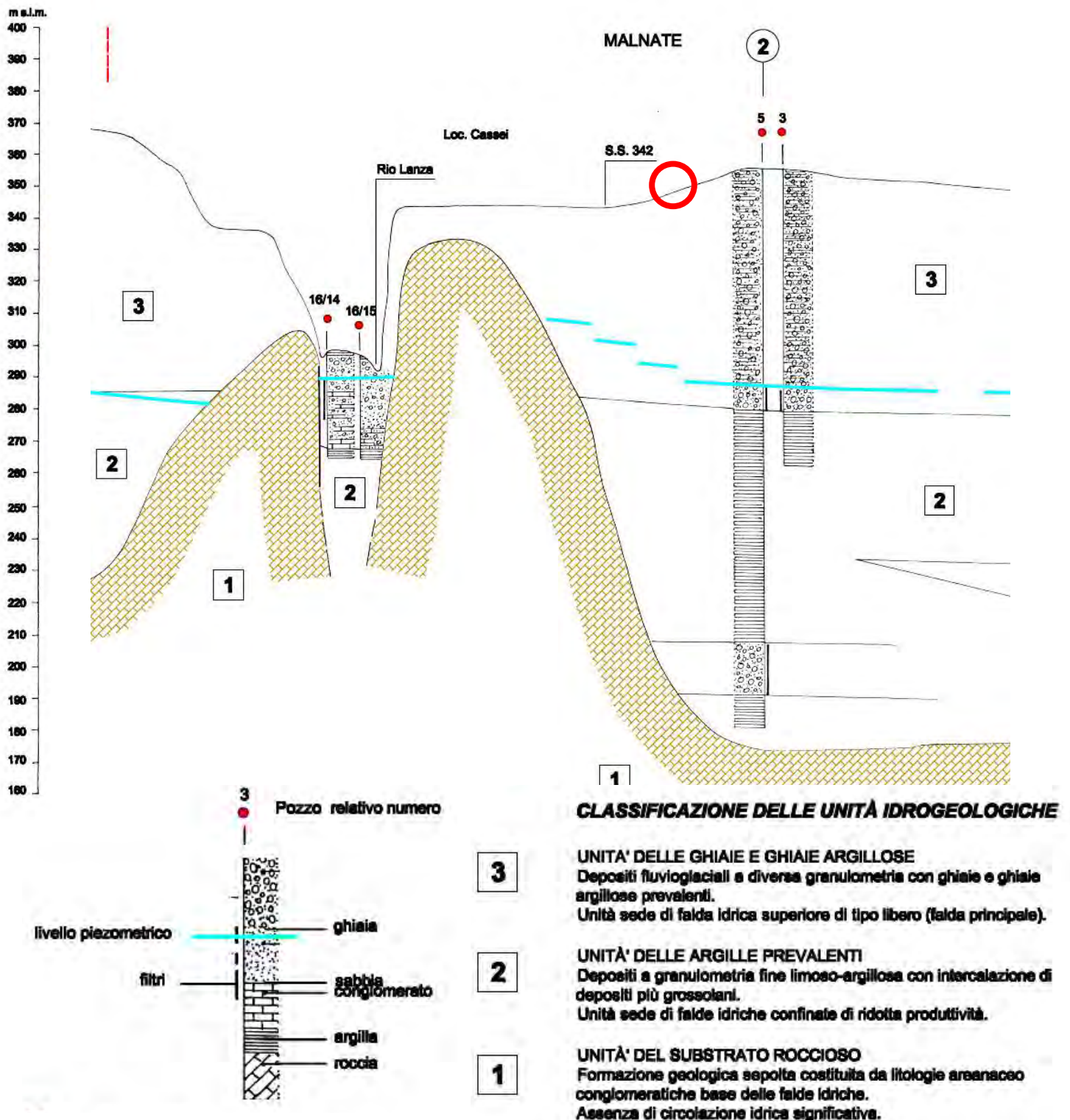


Figura 26 – Stralcio “Tav.3 – Sezioni idrogeologiche- Sezione 1
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

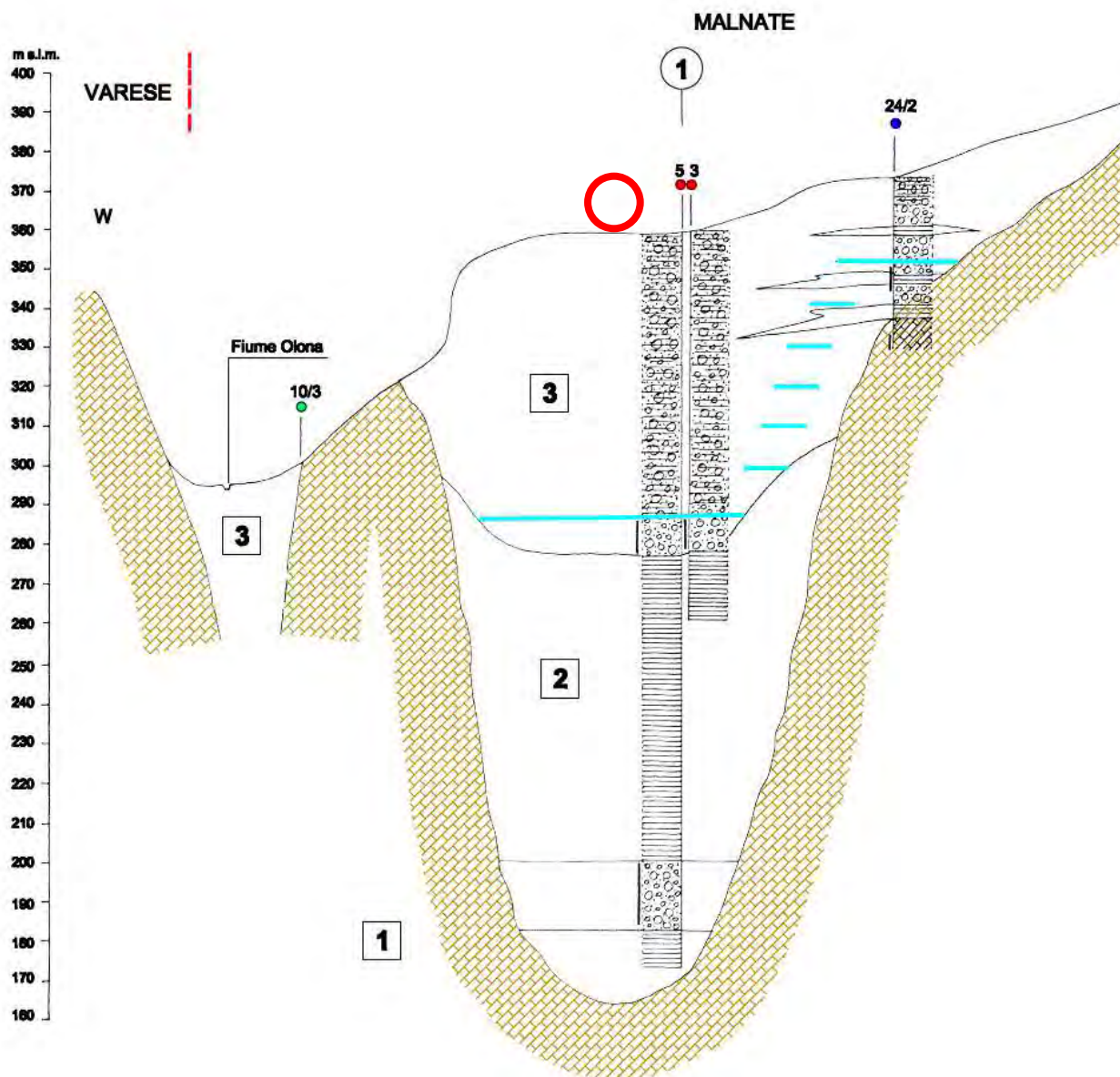


Figura 27 – Stralcio “Tav.3 – Sezioni idrogeologiche- Sezione 2”
 (Componente geologica, idrogeologica e sismica - PGT - 2009)
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

7. INDAGINE GEOGNOSTICA E CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo dell'area si è basata sui dati geognostici di prove penetrometriche SCPT eseguite nella zona di realizzazione del nuovo muro di sostegno davanti al cedro, e nelle altre zone di interesse del progetto (muro di recinzione di ingresso e zone del giardino antistante il municipio).

Le indagini sono ubicate nei punti indicati nella planimetria di dettaglio del particolare A/1 della tavola grafica. Scopo delle indagini è stato quello di verificare puntualmente la situazione geologica e idrogeologica dell'area, evidenziando in particolare le caratteristiche litologiche dei primi metri di sottosuolo e la presenza eventuale di falde sospese. I dati raccolti hanno permesso la classificazione geotecnica dei depositi presenti, che è riportata nel successivo paragrafo.

L'attrezzatura utilizzata è un penetrometro dinamico "superpesante" tipo "Meardi-AGI", con massa battente a sganciamento automatico, avente le seguenti caratteristiche:

diametro della punta:	50.8 mm
angolo di apertura:	60 °
diametro delle aste:	34 mm
diametro tubi rivestimento:	48 mm
peso del maglio:	73 kg
altezza di caduta:	0,75 m
penetrazione standard:	30 cm

La prova consiste nell'infissione, mediante caduta del maglio, di una batteria di aste, con alla base una punta conica, e nella contemporanea registrazione del numero di colpi necessario per avanzamenti successivi di 30 cm.

7.1 Risultati delle indagini

I risultati delle prove sono riassunti nella seguente tabella, che riportano, per le unità litotecniche presenti, profondità di rinvenimento, numero colpi all'avanzamento, valore medio di avanzamento degli strati, e valore N_{SPT} , ricavato mediante un coefficiente relativo al rendimento della macchina e all'influenza della pressione del terreno soprastante (variabile nel nostro caso tra 1.12 e 1.15).

• PROVA SCPT 1

Profondità	Litologia (presunta)	Unità Litotecnica	N_{30}	$N_{30 \text{ medio}}$	$N_{SPT \text{ medio}}$
0.0-1.2	Terreno vegetale tenero	A	1-2	1.2	1.3
1.2-2.1	Ghiaia e ciottoli con sabbia legg. addensata	B	8-12	9.3	10.4
2.1-3.3	Sabbie limose sciolte	C	4-5	4.5	5.1
3.3-3.9	Limi sabbiosi poco consistenti	D	2-3	2.5	2.8
3.9-5.4	Sabbie ghiaiose poco addensate	E	4-11	7.4	8.4
5.4-6.9	Grossi ciottoli, ghiaie e sabbie limose med.add.	F	23-70 (rif)	26.6*	30.3*

* $N_{30 \text{ medio}}$ e $N_{SPT \text{ medio}}$ calcolato, a favore di sicurezza, escludendo dalla media il valore a rifiuto

• **PROVA SCPT 2**

Profondità	Litologia (presunta)	Unità Litotecnica	N₃₀	N_{30 medio}	N_{SPT medio}
0.0-1.2	Terreno vegetale tenero	A	2	2	2.2
1.2-2.1	Ghiaia e ciottoli con sabbia legg. addensata	B	8-14	10.7	12
2.1-2.7	Sabbie limose sciolte	C	3	3	3.4
2.7-3.9	Limi sabbiosi poco consistenti	D	1-2	1.5	1.7
3.9-5.1	Sabbie ghiaiose poco addensate	E	4-9	6.7	7.6
5.1-5.7	Grossi ciottoli,ghiaie e sabbie limose med.add.	F	32-70 (rif)	32*	36.8*

* **N_{30 medio}** e **N_{SPT medio}** calcolato, a favore di sicurezza, escludendo dalla media il valore a rifiuto

• **PROVA SCPT 3**

Profondità	Litologia (presunta)	Unità Litotecnica	N₃₀	N_{30 medio}	N_{SPT medio}
0.0-1.5	Terreno vegetale tenero	A	2	2	2.2
1.5-2.4	Sabbie limose sciolte	C	4-5	4.3	4.8
2.4-3.0	Ghiaia e ciottoli con sabbia legg. addensata	B	10	10	11.3
3.0-4.8	Sabbie limose sciolte	C	2-5	3.7	4.2
4.8-6.0	Sabbie ghiaiose poco addensate	E	4-8	6	6.8
6.0-6.3	Grossi ciottoli,ghiaie e sabbie limose med.add.	F	70 (rif)		

• **PROVA SCPT 4**

Profondità	Litologia (presunta)	Unità Litotecnica	N₃₀	N_{30 medio}	N_{SPT medio}
0.0-1.5	Terreno vegetale tenero	A	1-2	1.8	2
1.5-2.1	Sabbie limose sciolte	C	3-5	4	4.5
2.1-3.3	Ghiaia e ciottoli con sabbia legg. addensata	B	8-14	12	13.6
3.3-5.7	Sabbie ghiaiose poco addensate	E	4-10	6.7	7.6
5.7-7.2	Grossi ciottoli,ghiaie e sabbie limose med.add.	F	13-70 (rif)	14.7*	16.8*

* **N_{30 medio}** e **N_{SPT medio}** calcolato, a favore di sicurezza, escludendo dalla media il valore a rifiuto

7.2 Individuazione delle unità litotecniche. Sezioni stratigrafico-sismiche del sottosuolo

Con i dati stratigrafici ricavati dalle prove penetrometriche, è stata elaborata una sezione interpretativa della situazione del sottosuolo investigato, secondo un prospetto frontale (fotografico) della zona compresa tra municipio e il muro in progetto previsto davanti al cedro.

La sezione riporta i diagrammi delle prove SCPT, con le relative stratigrafie interpretate, ed i risultati delle indagini geofisiche (misure di sismica passiva HVSR) riportate nel paragrafo 9.

Le singole stratigrafie sono state correlate tra loro mediante linee che rappresentano le superfici di separazione tra strati con caratteristiche litologiche omogenee. Nell'elaborazione grafica, oltre alle stratigrafie rilevate, sono stati evidenziati, con differenti colori e simbologie, le unità litotecniche presenti, per una migliore comprensione dell'andamento degli strati.

I risultati delle indagini geognostiche e geofisiche hanno mostrato una situazione nel complesso irregolare e articolata, con il rinvenimento di diverse unità litotecniche a disposizione lenticolare.

Le unità presenti nel sottosuolo sono le seguenti:

Unità superficiali (fino a -3.00 m. dal p.c.):

Unità Litotecnica A – Terreno vegetale tenero - ($N_{SPT\ medio} = 2$);

Unità Litotecnica B – Ghiaia e ciottoli con sabbia leggermente addensata - ($N_{SPT\ medio} = 11$);

Unità Litotecnica C – Sabbia limosa sciolta - ($N_{SPT\ medio} = 4$);

Unità intermedie (da -3.0 m a -5.0/-6.0 m. dal p.c.):

Unità Litotecnica C – Sabbia limosa sciolta - ($N_{SPT\ medio} = 4$);

Unità Litotecnica D – Limi sabbiosi poco consistenti - ($N_{SPT\ medio} = 2$);

Unità Litotecnica E – Sabbie ghiaiose poco addensate - ($N_{SPT\ medio} = 7$);

Unità profonda (da -5.5/6.5 m. dal p.c.):

Unità Litotecnica F - Grossi ciottoli, ghiaie e sabbie limose mediamente addensate ($N_{SPT\ medio} = 23$).

Le indagini eseguite mostrano, superficialmente, un primo orizzonte di terreno vegetale piuttosto tenero (Unità Litotecnica A - $N_{SPT\ medio} = 2$), di spessore pari a 1.2 m alle prove SCPT 1-2, e 1.5 m alle prove SCPT 3-4, che sormonta uno strato di ghiaia e ciottoli con sabbia legg. addensata (Unità Litotecnica C - $N_{SPT\ medio} = 11$) di circa 1 m di spessore.

A seguire, è presente l' Unità Litotecnica C ($N_{SPT\ medio} = 4$), costituita da sabbie limose sciolte, che ha un andamento geometrico irregolare, e si rinviene sia al di sotto della unità B (prove SCPT 1-2) sia al di sopra (SCPT 3-4), con spessori in aumento in direzione est.

Solo nella zona delle prove SCPT 1-2 è presente un sottile orizzonte di limi sabbiosi poco consistenti (Unità Litotecnica D - $N_{SPT\ medio} = 2$), di spessore compreso tra 0.6 e 1.2 m

Attorno ai 4 m di profondità dal p.c., si rinviene un' unità sabbio-ghiaiosa con valori di resistenza in aumento (Unità Litotecnica E - $N_{SPT\ medio} = 7$), e di spessore medio pari a circa 1,5 m, tranne che alla prova SCPT 4 ove risulta meno profonda (limite superiore a -3.3 m dal p.c.) e più spessa (circa 2.5 m).

La successione stratigrafica rilevata si conclude con l'Unità Litotecnica F ($N_{SPT\ medio} = 23$), caratterizzata da un aumento della granulometria e delle dimensioni dei ciottoli, che portano poi a rifiuto l'avanzamento delle prove alla profondità di -6/-7 m dal p.c.

Fino alla profondità massima investigata non risultano presenti falde idriche sospese.

7.3 Modello geologico e geotecnico di riferimento

Il modello geologico proposto nella tabella sottostante sintetizza i risultati delle indagini, nella misura più cautelativa e a favore della sicurezza, per quanto riguarda tipo e spessori delle varie unità rinvenute (ovvero si sono considerati spessori maggiori per le litozone più scadenti). La quota di riferimento è quella della zona del nuovo muro in progetto.

Profondità	Un. Litot.	Litologia (presunta)	N₃₀	N_{SPT}	N₆₀	N₍₁₎₆₀	Vs
0.0-1.5	A	Terreno vegetale tenero	2	2	2	2	105
1.5-2.5	C	Sabbie limose sciolte	4	4	3	5	180
2.5-3.0	B	Ghiaia e ciottoli con sabbia legg.addensate	10	11	9	13	
3.0-4.0	C	Sabbie limose sciolte	4	4	3	5	
4.0-5.0	D	Limi sabbiosi poco consistenti	2	2	2	2	
5.0-6.0	E	Sabbie ghiaiose poco addensate	6	7	6	7	
6.0-7.5	F	Grossi ciottoli, ghiaia e savbbie limose med.add.	20	23	20	20	330

- Tabella 1 -

8. PARAMETRAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

I dati ricavati dalle prove penetrometriche SCPT consentono, mediante i parametri N_{30} e R_{pd} , di individuare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti.

I valori di N_{30} , convertiti mediante un fattore di correlazione relativo al rendimento della macchina e alla profondità, sono perfettamente paragonabili a quelli della prova SPT (Standard Penetration Test) in foro di sondaggio, e quindi è possibile utilizzare la vasta bibliografia relativa allo SPT per la parametrizzazione geotecnica delle unità litologiche presenti.

Per essere impiegati in altre formule, i valori di N_{SPT} vengono convertiti in N_{60} , ovvero normalizzati e corretti in funzione del sistema di battuta, del diametro del foro, del tipo di campionamento, della lunghezza delle aste, secondo la seguente espressione:

$$N_{60} = N_{SPT} C_E C_B C_S C_R$$

con

$C_E = E_R/60$ = valore corretto per un'efficienza energetica del 60 %

C_B = correzione per il diametro del foro

C_S = correzione in funzione del metodo di campionamento (campionatore o punta)

C_R = correzione in funzione delle aste (profondità)

La correzione di N_{60} in $N_{(1)60}$ è effettuata per tenere conto dell'influenza della pressione effettiva di confinamento. Il valore normalizzato è definito dalla relazione:

$$N_{(1)60} = N_{60} \times C_N$$

in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione:

$$C_N = (p_a / \sigma'_{vo})^{0.5}$$

con p_a la pressione atmosferica e σ'_{vo} la pressione efficace verticale.

Per la stima dei vari parametri si è fatto riferimento alle formule/correlazioni presenti nella bibliografia tecnica che meglio si adattano alle litologie (presunte) del sottosuolo e pertanto:

Unità litotecnica A: Terreno vegetale con caratteristiche coesive

Unità litotecniche B-F: Ghiaia e ciottoli con sabbie

Unità litotecniche C-E: Sabbie fini e medie da sciolte a poco addensate

Unità litotecnica D: Limi sabbiosi poco consistenti

Stato di consistenza: Classificazione A.G.I. 1977

Densità relativa: Schultz-menzenbach (1961)

$$\ln(D_R) = 0,478 \ln(N_{60}) - 0,262 \ln(\sigma'_v) + 2,84$$

Peso di Volume: Terzaghi-Peck (1948)

$$\gamma_d = -0,0008 \cdot N_{SPT}^2 + 0,1397 \cdot N_{SPT} + 13,165$$

$$\gamma_{sat} = -0,0005 \cdot N_{SPT}^2 + 0,0868 \cdot N_{SPT} + 18,009$$

Angolo di Attrito di picco

Per la stima dell'angolo d'attrito "di picco" sono state utilizzate le seguenti formule che si basano sui valori di N_{SPT} e $N_{(1)60}$:

Unità litotecniche A e D: Meyerhof (1965)

$$\phi = 23,7 + 0,57 N_{SPT} - 0,006 N_{SPT}^2 (> 5\% \text{ di limo})$$

Unità litotecniche B-C-E-F: Meyerhof (1965)

$$\phi = 29,47 + 0,46 N_{SPT} - 0,004 N_{SPT}^2 (< 5\% \text{ di limo})$$

Angolo di Attrito "efficace": Kulhawy Mayne (1990)

Unità litotecniche A e D: Schmertmann (1975)

$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N}{12,2 + 20,3 \frac{\sigma'_v}{p_a}} \right]^{0,34}$$

Unità litotecniche B-C-E-F: Kulhawy Mayne (1990)

$$\phi' = 54 - 27,6034 \cdot \exp(-0,014 \cdot N_{(1)60})$$

Angolo di Attrito "a volume costante": Bolton (1986)

Per quanto riguarda l'angolo "a volume costante", secondo la formulazione di Bolton (1986), nota la densità relativa e la pressione di confinamento, esso può essere stimato con la seguente relazione:

$$\phi' - \phi'_u = 3 \left[D_r \cdot (10 - \ln 2 \sigma'_{v0}) - 1 \right]$$

Coesione non drenata:

Unità litotecniche A-C-D: Stroud-Buttler (1996)

$$S_u = 5 + 7,5 N_{spi} \text{ (kPa)} \quad \text{per } N_{spi} < 5$$

Modulo di deformazione di taglio (G_{max}):

Unità litotecniche A-D: Wroth e Al (1979)

$$G_{max} = 120 \cdot p_a \cdot N^{0,77}$$

Unità litotecniche B-C-E-F : Imai Tonouchi (1982)

$$\text{Unità litotecniche C-E: } G_{max} = 12.300 \cdot N_{SPT}^{0,611}$$

$$\text{Unità litotecniche B-F: } G_{max} = 8.100 \cdot N_{SPT}^{0,777}$$

Modulo Elastico E_{max}

Il valore iniziale del Modulo Elastico "iniziale" E_{max} (iniziale) si ottiene invece dalla espressione seguente, legata al valore di G_{max} e al coefficiente di Poisson:

$$E_{max} = 2 \cdot G_{max} \cdot (1 + \nu)$$

Modulo Elastico (Modulo di Young) E_y

Per il modulo elastico "di Young" si sono utilizzate le correlazioni AASHTO (1996) che legano direttamente il modulo al valore di $N_{(1)60}$ a secondo della litologia:

$$\text{Unità litotecniche A-D: } E = (N_1)_{60} \cdot 56$$

$$\text{Unità litotecnica C: } E = (N_1)_{60} \cdot 97$$

$$\text{Unità litotecnica E: } E = (N_1)_{60} \cdot 139$$

$$\text{Unità litotecniche B-F: } E = (N_1)_{60} \cdot 167$$

Modulo E_{25} :

Nel caso di calcoli in cui si ipotizzi un valore percentuale del valore del modulo elastico (grado di mobilitazione della resistenza al taglio ultima del 25-30%), il modulo elastico operativo può essere ricavato dalla correlazione di Jamiolkowski et al. (1988) che esprime il modulo E_{25} corrispondente a tensioni dell'ordine del 25 % di quelle a rottura, in funzione del numero di colpi $N_{(1)60}$:

$$E_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot Dr) \cdot (N_1)_{60}$$

Modulo non drenato (Eu): Ohya e Al.(1982)

Unità litotecniche A-C-D: $E_u = 19.3 \cdot p_a N^{0.63}$

Modulo edometrico (Ed):

Il valore del modulo edometrico (Ed) è stato ricavato secondo la relazione generica di Schultz-Menzenbach (1961) che prevede l'uso di coefficienti legati alla litologia prevalente:

$$E_{ed} = C_1 + C_2 \cdot N \pm s_E$$

Coefficiente di Poisson:

$$\nu = \frac{1 - \sin \phi}{2 - \sin \phi}$$

L'elaborazione e la stima dei parametri geotecnici ha riguardato tutte le litozone rinvenute, mediante formule, tabelle e abachi di vari autori che utilizzano i valori di N_{SPT} , N_{60} e $N_{(1)60}$.

In accordo al D.M. 17.1.2018 sono stati quindi ricavati, per ogni parametro, il valore medio, e per alcuni di questi, calcolato il valore caratteristico 'k'.

Il D.M. 17.1.2018 richiede la stima del "valore caratteristico 'k'" che rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

L'Eurocodice 7 fissa, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X uguale a -1,645, secondo la seguente relazione (per angolo d'attrito e coesione, ma la medesima formula vale anche per la resistenza non drenata e il peso di volume):

$$(3) \phi'k = \phi'm (1 - 1,645 V\phi^\circ)$$

$$(4) c'k = c'm (1 - 1,645 Vc^\circ)$$

° coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Per il calcolo del *valore caratteristico* del Modulo Elastico ed Edometrico, e per il Modulo di Poisson, si considera invece la mediana.

UNITA' LITOTECNICA A

Terreni coesivi di addensamento molto basso

Descrizione litologica: terreno vegetale tenero

Classificazione U.S.C.S. = OH

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	Dr N_{60}	γ N_{SPT}	γ' N_{SPT}	φ^p N_{SPT}	φ' $N(1)_{60}$	Φ_{CV} N_{SPT}	Cu N_{SPT}
SCPT-1	1.2	1.3	1	1.7	20	13.3	18.1	24.4	21.5	23.5	14.7
SCPT-2	2	2.2	1.7	2.8	27	13.5	18.2	24.9	25.2	22.6	21.5
SCPT-3	2	2.2	1.7	2.8	25	13.5	18.2	24.9	24.9	23	21.5
SCPT-4	1.8	2	1.5	2.5	24	13.4	18.2	24.8	23.9	23.3	20
MEDIA	1.8	1.9	1.5	2.5	24	13.4	18.2	24.8	23.9	23.1	19.4
dev stand						0.083	0.043	0.206	1.453	0.339	2.796
Vf						0.010	0.004	0.014	0.100	0.024	0.237
F'k						13.3	18.1	24.4	21.5	22.5	14.8

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	G_{max} $N(1)_{60}$	E_{max} $N(1)_{60}$	E_{25} $N(1)_{60}$	E_y $N(1)_{60}$	E_U N_{SPT}	E_{ED} N_{SPT}	μ
SCPT-1	1.2	1.3	1	1.7	15	41	1.6	1	2.3	2	0.37
SCPT-2	2	2.2	1.7	2.8	22	60	2.6	1.6	3.2	2.9	0.37
SCPT-3	2	2.2	1.7	2.8	22	60	2.6	1.6	3.2	2.9	0.37
SCPT-4	1.8	2	1.5	2.5	20	55	2.3	1.4	3	2.7	0.37
MEDIA	1.8	1.9	1.5	2.5	21	58	2.5	1.5	3.1	2.8	0.37

Dr (%) – Densità relativa; γ (KN/m³) = Peso Unità di Volume; γ' (KN/m³) = Peso Unità di Volume saturo;
 φ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; φ' (°) = Angolo di attrito “efficace”; φ_{CV} (°) = Angolo di attrito “a volume costante”
 Cu (KPa): Coesione non drenata; G_{max} (MPa) = Modulo di Taglio (iniziale);
 E_{max} (MPa) = Modulo elastico (iniziale); E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); E_y (MPa) = Modulo di Young;
 E_u (MPa) = Modulo non drenato; E_{ED} (MPa) = Modulo Edometrico; μ = coefficiente di Poisson

UNITA' LITOTECNICA B

Terreni granulari di addensamento medio-basso

Descrizione litologica: Ghiaia e ciottoli con sabbia leggermente addensata

Classificazione U.S.C.S. = GP

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N_{(1)60}$	$Dr_{N_{60}}$	$\gamma_{N_{SPT}}$	$\gamma'_{N_{SPT}}$	$\varphi^p_{N_{60}}$	$\varphi'_{N_{(1)60}}$	$\Phi_{cv_{N_{SPT}}}$
SCPT-1	9.3	10.4	7.7	13	42	14.7	19	33.8	31	29.3
SCPT-2	10.7	12	8.8	15	43	15	19.1	34.4	31.6	29.8
SCPT-3	10	11.3	8.3	12.5	41	14.8	19.1	34.2	30.8	30.3
SCPT-4	12	13.6	10.6	15.2	43	15.2	19.3	35	31.7	31
MEDIA	10.5	11.8	8.9	13.9	42	14.9	19.1	34.4	31.3	30.1
dev stand						0.192	0.109	0.433	0.383	0.628
Vf						0.021	0.009	0.021	0.020	0.034
F'k						14.6	18.9	33.6	30.6	29.1

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N_{(1)60}$	$G_{max_{N_{(1)60}}}$	$E_{max_{N_{(1)60}}}$	$E_{25_{N_{(1)60}}}$	$E_y_{N_{(1)60}}$	$E_{ED_{N_{SPT}}}$	μ
SCPT-1	9.3	10.4	7.7	13	50	131	11	21.7	14.7	0.31
SCPT-2	10.7	12	8.8	15	56	145	12.7	25.1	18.5	0.30
SCPT-3	10	11.3	8.3	12.5	53	137	11.7	20.9	15.7	0.30
SCPT-4	12	13.6	10.6	15.2	62	161	14.2	25.4	20.3	0.30
MEDIA	10.5	11.8	8.9	13.9	55	141	12.2	23.4	17.1	0.30

Dr (%) – Densità relativa; γ (KN/m³) = Peso Unità di Volume; γ' (KN/m³) = Peso Unità di Volume saturo;
 φ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; φ' (°) = Angolo di attrito “efficace”; φ_{cv} (°) = Angolo di attrito “a volume costante”
 G_{max} (MPa) = Modulo di Taglio (iniziale); E_{max} (MPa) = Modulo elastico (iniziale);
 E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); E_y (MPa) = Modulo di Young; E_{ED} (MPa) = Modulo Edometrico;
 μ = coefficiente di Poisson

UNITA' LITOTECNICA C

Terreni coesivo-granulari di addensamentobasso

Descrizione litologica: Sabbie limose sciolte

Classificazione U.S.C.S. = SM-SP

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	Dr N_{60}	γ N_{SPT}	γ' N_{SPT}	φ^p N_{60}	φ' $N(1)_{60}$	Φ_{cv} N_{SPT}	Cu N_{SPT}
SCPT-1	4.5	5.1	4	5.7	31	13.9	18.5	31.7	28.5	29.6	43.2
SCPT-2	3	3.4	2.5	3.9	26	13.6	18.3	31	27.9	29.6	30.5
SCPT-3	4.3	4.8	3.5	6	31	13.9	18.4	31.6	28.6	29.2	41
SCPT-3	3.7	4.2	3.3	3.9	26	13.8	18.4	31.3	27.9	30.3	36.5
SCPT-4	4	4.5	3.3	5.6	32	13.8	18.4	31.5	28.5	28.9	38.7
MEDIA	4.0	4.4	3.3	5.0	29	13.8	18.4	31.4	28.3	29.5	38.0
dev stand						0.110	0.063	0.248	0.312	0.471	4.360
Vf						0.013	0.006	0.013	0.018	0.026	0.189
F'k						13.6	18.3	31.0	27.8	28.7	30.8

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	G_{max} $N(1)_{60}$	E_{max} $N(1)_{60}$	E_{25} $N(1)_{60}$	E_y $N(1)_{60}$	E_u N_{SPT}	E_{ED} N_{SPT}	μ
SCPT-1	4.5	5.1	4	5.7	33	87	5.3	5.5	5.4	6.7	0.32
SCPT-2	3	3.4	2.5	3.9	26	69	3.6	3.8	4.2	6.2	0.33
SCPT-3	4.3	4.8	3.5	6	32	84	5.1	5.8	5.2	6.6	0.32
SCPT-3	3.7	4.2	3.3	3.9	30	79	3.3	3.8	4.8	6.5	0.32
SCPT-4	4	4.5	3.3	5.6	31	82	4.7	5.4	5	6.6	0.32
MEDIA	4.0	4.4	3.3	5.0	31	82	4.7	5.4	5.0	6.6	0.32

Dr (%) – Densità relativa; γ (KN/m³) = Peso Unità di Volume; γ' (KN/m³) = Peso Unità di Volume saturo;
 φ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; φ' (°) = Angolo di attrito “efficace”; φ_{cv} (°) = Angolo di attrito “a volume costante”; Cu (KPa): Coesione non drenata; G_{max} (MPa) = Modulo di Taglio (iniziale);
 E_{max} (MPa) = Modulo elastico (iniziale); E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); E_y (MPa) = Modulo di Young;
 E_u (MPa) = Modulo non drenato; E_{ED} (MPa) = Modulo Edometrico; μ = coefficiente di Poisson

UNITA' LITOTECNICA D

Terreni coesivi di addensamento scarso

Descrizione litologica: Limo sabbioso poco consistente

Classificazione U.S.C.S. = ML

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	Dr N_{60}	γ N_{SPT}	γ' N_{SPT}	φ^p N_{60}	φ' $N(1)_{60}$	Φ_{CV} N_{SPT}	Cu N_{SPT}
SCPT-1	2.5	2.8	2.2	2.9	22	13.6	18.3	25.2	24.3	24.7	26
SCPT-2	1.5	1.7	1.3	1.8	14	13.4	18.2	24.7	20.5	24.7	17.7
SCPT-3											
SCPT-4											
MEDIA	2.0	2.3	1.8	2.4	18	13.5	18.3	25.0	22.4	24.7	21.9
dev stand						0.100	0.050	0.250	1.900	0.000	4.150
Vf						0.012	0.005	0.016	0.140	0.000	0.312
F'k						13.3	18.2	24.5	19.3	24.7	15.0

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	G_{max} $N(1)_{60}$	E_{max} $N(1)_{60}$	E_{25} $N(1)_{60}$	E_y $N(1)_{60}$	E_U	E_{ED} N_{SPT}	μ
SCPT-1	2.5	2.8	2.2	2.9	27	73	2.5	1.6	3.7	2.8	0.36
SCPT-2	1.5	1.7	1.3	1.8	18	49	1.5	1	2.7	2.4	0.37
SCPT-3											
SCPT-4											
MEDIA	2.0	2.3	1.8	2.4	23	61	2.0	1.3	3.2	2.6	0.37

Dr (%) – Densità relativa; γ (KN/m³) = Peso Unità di Volume; γ' (KN/m³) = Peso Unità di Volume saturo;
 φ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; φ' (°) = Angolo di attrito “efficace”; Φ_{CV} (°) = Angolo di attrito “a volume costante”
 Cu (KPa): Coesione non drenata; G_{max} (MPa) = Modulo di Taglio (iniziale);
 E_{max} (MPa) = Modulo elastico (iniziale); E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); E_y (MPa) = Modulo di Young;
 E_u (MPa) = Modulo non drenato; E_{ED} (MPa) = Modulo Edometrico; μ = coefficiente di Poisson

UNITA' LITOTECNICA E

Terreni granulari di addensamento basso

Descrizione litologica: Sabbie ghiaiose poco addensate

Classificazione U.S.C.S. = SP

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	Dr N_{60}	γ N_{SPT}	γ' N_{SPT}	φ^p N_{60}	φ' $N(1)_{60}$	Φ_{cv} N_{SPT}
SCPT-1	7.4	8.4	6.9	7.8	34	14.4	18.8	33.1	29.3	31
SCPT-2	6.7	7.6	6.3	7.3	33	14.3	18.7	32.7	29.1	30.7
SCPT-3	6	6.8	5	5.3	30	14.2	18.6	32.4	28.4	31.1
SCPT-4	6.7	7.6	6.3	6.8	33	14.3	18.7	32.7	28.9	33.1
MEDIA	6.7	7.6	6.1	6.8	33	14.3	18.7	32.7	28.9	31.5
dev stand						0.071	0.071	0.249	0.334	0.950
Vf						0.008	0.006	0.013	0.019	0.050
F'k						14.2	18.6	32.3	28.4	29.9

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	G_{max} $N(1)_{60}$	E_{max} $N(1)_{60}$	E_{25} $N(1)_{60}$	E_y $N(1)_{60}$	E_{ED} N_{SPT}	μ
SCPT-1	7.4	8.4	6.9	7.8	45	118	6.9	10.8	7.7	0.31
SCPT-2	6.7	7.6	6.3	7.3	42	110	6.4	10.1	10.8	0.31
SCPT-3	6	6.8	5	5.3	40	105	4.7	7.4	7	0.32
SCPT-4	6.7	7.6	6.3	6.8	42	110	5.8	9.5	7.3	0.31
MEDIA	6.7	7.6	6.1	6.8	42	110	6.1	9.8	7.5	0.31

Dr (%) – Densità relativa; **γ (KN/m³)** = Peso Unità di Volume; **γ' (KN/m³)** = Peso Unità di Volume saturo;
 φ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; **φ' (°)** = Angolo di attrito “efficace”; **φ_{cv} (°)** = Angolo di attrito “a volume costante”; **G_{max} (MPa)** = Modulo di Taglio (iniziale); **E_{max} (MPa)** = Modulo elastico (iniziale);
 E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); **E_y (MPa)** = Modulo di Young; **E_{ED} (MPa)** = Modulo Edometrico;
 μ = coefficiente di Poisson

UNITA' LITOTECNICA F

Terreni granulari di addensamento medio-alto

Descrizione litologica: Grossi ciottoli, ghiaia e sabbia mediamente addensata

Classificazione U.S.C.S. = GP

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	Dr N_{60}	γ N_{SPT}	γ' N_{SPT}	ϕ^p N_{60}	ϕ' $N(1)_{60}$	ϕ_{cv} N_{SPT}
SCPT-1	26.6	30.3	24.9	25.9	48	18.1	21.1	39.7	34.8	35.7
SCPT-2										
SCPT-3										
SCPT-4	14.7	16.8	15.4	15.5	42	15.7	19.6	36.1	31.8	33.1
MEDIA	20.7	23.6	20.2	20.7	45	16.9	20.4	37.9	33.3	34.4
dev stand						1.200	0.750	1.800	1.500	1.300
Vf						0.117	0.061	0.078	0.074	0.062
F'k						14.9	19.1	34.9	30.8	32.3

SCPT	N_{30}	N_{SPT}	N_{60}	$N(1)_{60}$	G_{max} $N(1)_{60}$	E_{max} $N(1)_{60}$	E_{25} $N(1)_{60}$	E_y $N(1)_{60}$	E_{ED} N_{SPT}	μ
SCPT-1	26.6	30.3	24.9	25.9	115	292	21.8	43	36	0.27
SCPT-2										
SCPT-3										
SCPT-4	14.7	16.8	15.4	15.5	117	188	13.6	26	24	0.29
MEDIA	20.7	23.6	20.2	20.7	116	240	17.7	34.5	30.0	0.28

Dr (%) – Densità relativa; **γ (KN/m³)** = Peso Unità di Volume; **γ' (KN/m³)** = Peso Unità di Volume saturo;
 ϕ^p (°) = Angolo di attrito “di picco”; **ϕ' (°)** = Angolo di attrito “efficace”; **ϕ_{cv} (°)** = Angolo di attrito “a volume costante”; **G_{max} (MPa)** = Modulo di Taglio (iniziale); **E_{max} (MPa)** = Modulo elastico (iniziale);
 E_{25} (MPa) = Modulo Elastico (25%); **E_y (MPa)** = Modulo di Young; **E_{ED} (MPa)** = Modulo Edometrico;
 μ = coefficiente di Poisson

9. INDAGINI GEOFISICHE

Per lo studio geofisico del sottosuolo dell'area di intervento è stata eseguita un'indagine geofisica mediante misure di sismica passiva a stazione singola (HSVR).

La sismica passiva, col metodo dei rapporti spettrali orizzontali e verticali *HVSR*, detta anche tecnica di NAKAMURA, è la metodologia di analisi dei microtremori più usata per stimare la risposta sismica di un sito in termini di frequenza fondamentale e amplificazione. Entrambe queste caratteristiche dipendono dalla struttura geologica e dalle proprietà geotecniche e/o geomeccaniche del sottosuolo, e trova oggi applicazione nella ricostruzione stratigrafica particolareggiata, consentendo di identificare le principali discontinuità.

Le misure di sismica passiva permettono, attraverso l'esame dello spettro H/V, secondo la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S e alla profondità, di ricavare le frequenze di vibrazioni principali e di verificare l'interazione, da un punto di vista sismico, del sistema terreno-edifici/strutture, per evitare i fenomeni di doppia risonanza (coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici/strutture). Lo spettro permette inoltre di ricostruire un profilo sismico con le principali discontinuità geologiche, e l'andamento della velocità delle onde di taglio fino alla profondità di oltre 100 m.

Lo strumento utilizzato (TROMINO) è composto da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione, con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 Hz e 256 Hz.

Il termine "passiva" indica che tale tecnica non necessita di una sorgente appositamente creata, ma utilizza il rumore sismico ambientale presente ovunque sulla superficie terrestre, e generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

La superficie terrestre è costantemente interessata da vibrazioni, non percepibili dall'uomo, di ampiezza dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. La registrazione di tale tremore dipende sia dalla forma dell'onda generata dalla sorgente, sia dal percorso che essa ha compiuto prima di giungere al sito di registrazione. Lungo questo percorso l'onda elastica subisce riflessioni, rifrazioni e attenuazioni che dipendono dalla natura del materiale attraversato nel sottosuolo.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire, si basa sul concetto "risonanza", dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica, che può corrispondere a un passaggio tra uno strato e l'altro.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale (HVSR)" che mette in evidenza (se presenti), picchi di amplificazione del segnale H/V dovuti a contrasti di impedenza sismica fra gli strati, da cui poi derivano le amplificazioni del segnale sismico.

Le singole componenti spettrali delle tre componenti (orizzontali e verticali) forniscono i dati per l'identificazione di discontinuità stratigrafiche in quanto, in presenza di limiti stratigrafici, si verifica una divergenza tra le componenti orizzontali e quella verticale, e si evidenzia una forma caratteristica definita "ogivale": la componente verticale registra un minimo (assoluto o relativo), mentre le componenti orizzontali possono presentare un massimo (assoluto o relativo). Le curve HVSR consentono inoltre di individuare, se presente, il limite "sedimento/bedrock" (o il bedrock-like).

In Figura 28 e 29 sono riportate l'elaborazione delle 3 misure HVSR e la comparazioni delle misure, con gli intervalli di frequenze più caratteristiche, in Figura 30.



Foto 1- Misura microtremori HVSr 1



Foto 2 - Misura microtremori HVSr 2



Foto 3- Misura microtremori HVSr 3

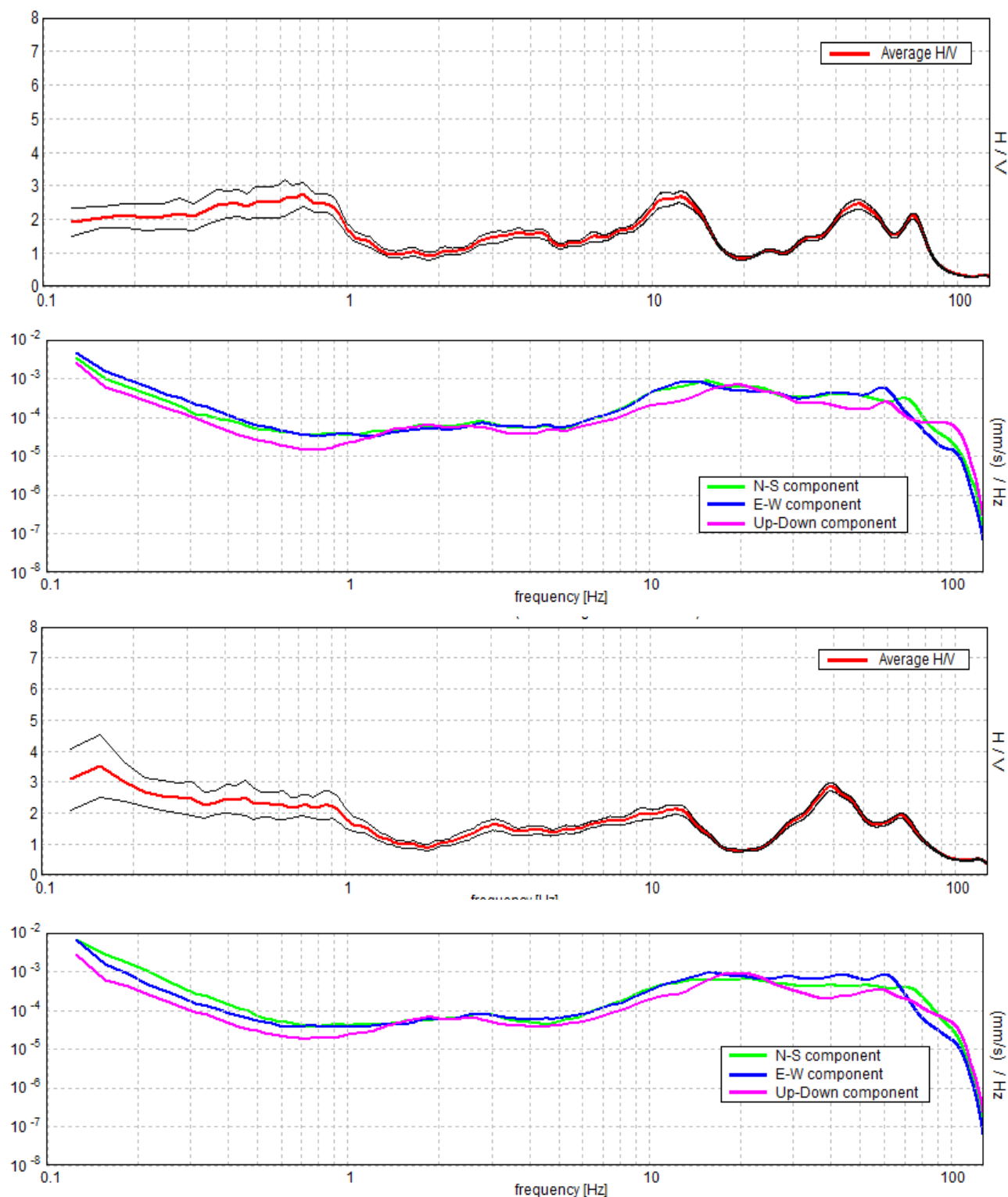


Figura 28 – Diagrammi H/V e delle componenti delle misure HVSR 1-2

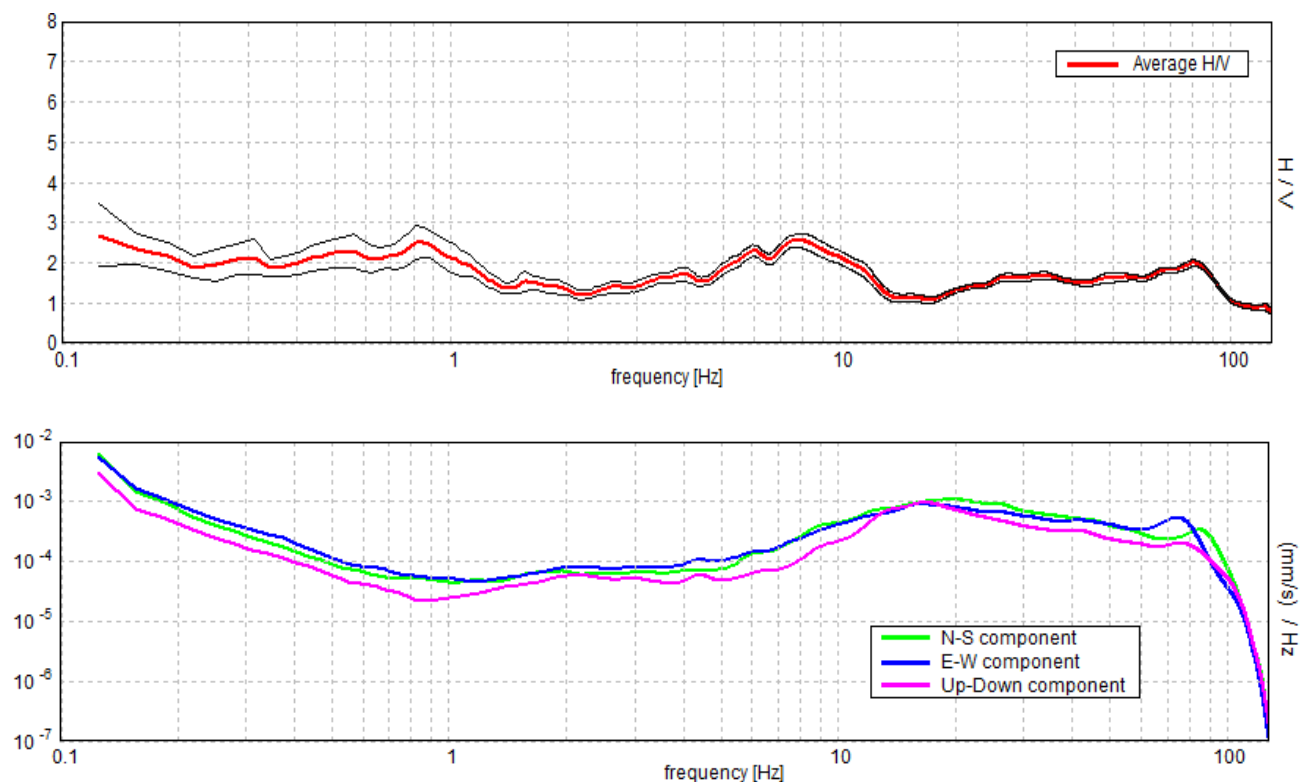


Figura 29 – Diagramma H/V e delle componenti della misura HVSr 3

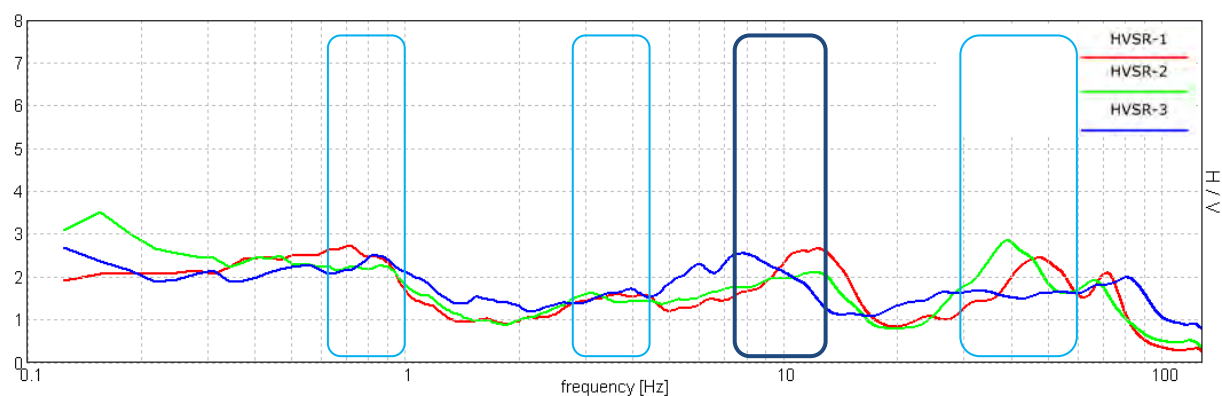


Figura 30 – Diagramma comparativo delle 3 misure HVSr con gli intervalli di frequenze caratteristiche (azzurro) e frequenza principale del sottosuolo (blu)

9.1 Analisi delle frequenze di vibrazione del sottosuolo

I picchi rilevati nei diagrammi H/V e le loro ampiezze, indicano i passaggi stratigrafici e l'entità di un possibile effetto di risonanza. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>30 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali (attorno al metro), quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche molto profonde (anche > 100 m).

I primi picchi dello spettro, di ampiezza variabile (H/V massimo ≈ 3) e nel campo di frequenza 25-40 Hz, corrispondenti ad un passaggio litologico entro il metro di profondità, sono riferibili alle litologie che caratterizzano la parte più superficiale (coltivo, rimaneggiamenti, riporti, ecc.).

Un secondo intervallo caratteristico si rileva tra 8 e 12 Hz, con H/V massimo ≈ 3 , in corrispondenza del limite tra le unità litotecniche intermedie e profonde riscontrate dalle SCPT, e nello specifico, tra l'unità limo-sabbiosa D e l'unità sabbio-ghiaiosa E (SCPT 1-2) per gli HVS 1-2, e tra l'unità sabbio-ghiaiosa e l'unità ghiaioso-ciottolosa F per l'HVS 3 (SCPT 3-4). Il limite risulta situato alla medesima profondità assoluta dal p.c., come si rileva nella sezione geologico-sismica interpretativa.

Lo spettro, nelle medio frequenze, evidenzia un ampio picco con rapporto H/V pari a 1.5 nell'intervallo 3-4 Hz, seguito da un breve tratto con H/V anche inferiore a 1, che precede un ultimo significativo rialzo del rapporto H/V a 2.5-3, alle frequenze di 0.7-0.8 Hz.

Ad esclusione del primo intervallo ad alta frequenza, le finestre frequenziali 0.7-0.8 Hz, 2-3 Hz, e 8 e 12 Hz costituiscono gli intervalli di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico, con l'intervallo 8-12 Hz che rappresenta la frequenza di sito e di risonanza principale (Figura 30).

L'analisi sismica evidenzia comunque picchi non particolarmente pronunciati (H/V max ≈ 3) e quindi l'assenza di forti contrasti stratigrafici che possono determinare rilevanti effetti di amplificazione del moto sismico.

9.2 Stima delle velocità delle onde di taglio Vs

Con l'indagine sismica passiva è possibile stimare la velocità media delle onde di taglio Vs, mediante un apposito codice di calcolo.

Il parametro Vs viene ricavato attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V, secondo la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (Vs):

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

dove H è la profondità della base dello strato.

È necessario conoscere, anche in maniera indicativa, le profondità di riflettori desunti dalle stratigrafie e riconoscibili nella curva H/V che, nel nostro caso, sono i limiti di separazione tra le unità superficiali riscontrate nelle prove SCPT, e per quanto riguarda le unità idrogeologiche e le maggiori profondità, la stratigrafie del pozzo idrico di riferimento (pozzo n.6 di Via Sauro).

Dai dati di sismica passiva, si ricava una curva H/V "sintetica" (curva blu), che viene "modellata" in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati, come nei diagrammi di Figura 31, ricavando i principali sismostrati.

I sismostrati calcolati, gli spessori le profondità e i valori di velocità Vs, sono poi riportati nelle tabelle sottostanti, e nel grafico di Figura 32.

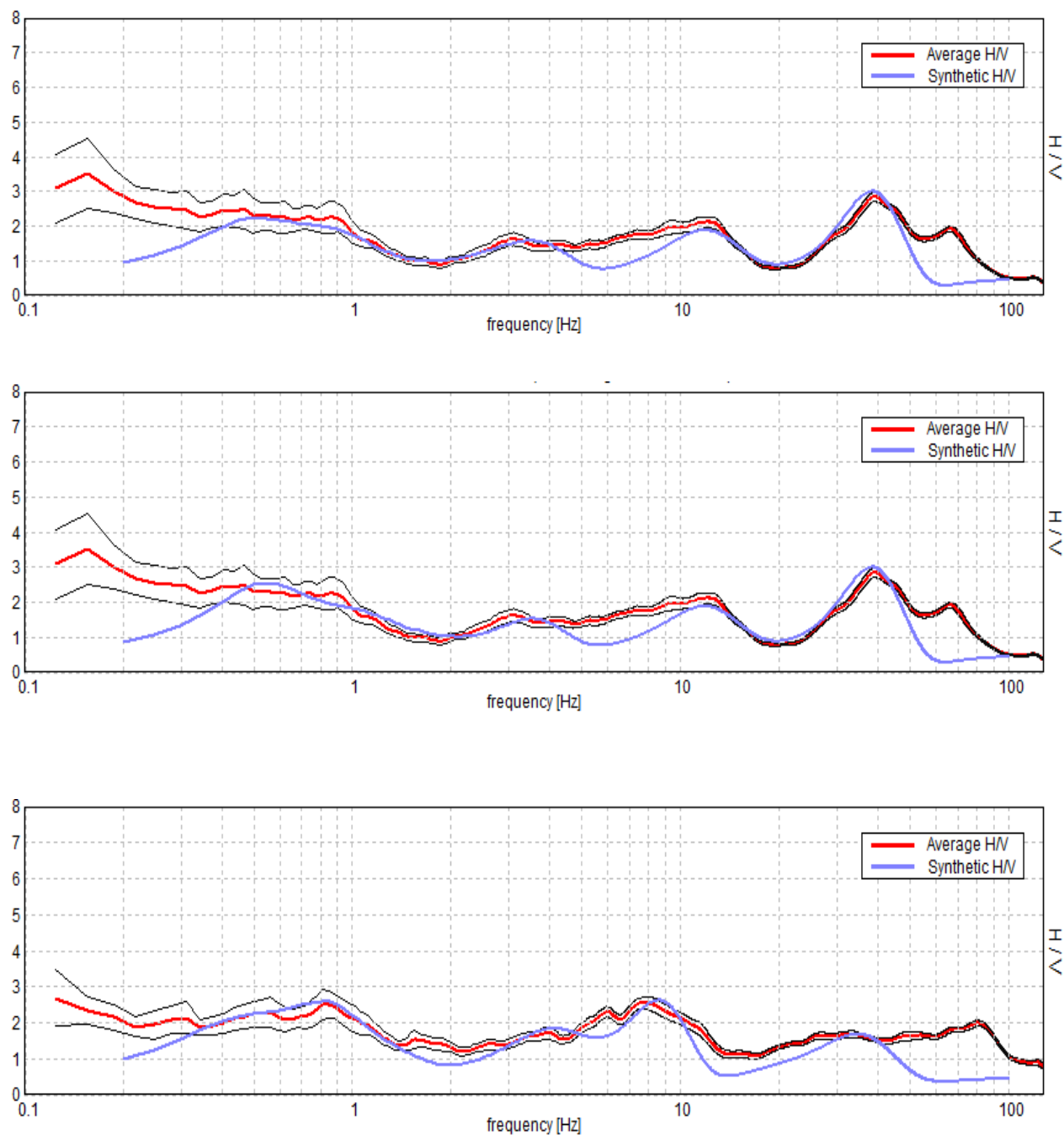


Figura 31 – Diagrammi H/V “sintetica” – HVSR 1-2-3

<i>Profondità</i>	<i>Spessore</i>	<i>Vs (m/sec)</i>
0.0-0.60	0.60	105
0.60-4.20	3.60	185
4.20-23.00	18.80	330
23.00-68.00	45.00	510
68.00-88.00	20.00	450
> 88.00		720

HVSR-1: Vs(0.0-30.0) = 313 m/s

<i>Profondità</i>	<i>Spessore</i>	<i>Vs (m/sec)</i>
0.0-0.70	0.70	100
0.70-4.30	3.60	190
4.30-24.00	19.70	310
24.00-66.00	42.00	510
66.00-86.00	20.00	450
> 86.00		710

HVSR -2: Vs(0.0-30.0) = 296 m/s

<i>Profondità</i>	<i>Spessore</i>	<i>Vs (m/sec)</i>
0.0-0.80	0.80	110
0.80-5.80	5.00	180
5.80-26.00	20.20	350
26.00-70.00	44.00	510
70.00-90.00	20.00	440
> 90.00		700

HVSR-3: Vs(0.0-30.0) = 296 m/s

- Tabella 2 -

Il diagramma di Figura 32 riporta graficamente l'andamento delle Vs con la profondità fino a 100 m secondo l'interpretazione delle misure HVSR.

Dopo un orizzonte superficiale a bassissima velocità (100-110 m/s), il secondo sismostrato coincide con il limite tra unità litotecniche di diverso addensamento (tra le Unità litotecniche D e E nelle misure HVSR 1-2; e tra le unità litotecniche E e F alla misura HVSR 3), a profondità comprese tra 4,5 e 5,5 circa dal p.c.

La velocità si assesta poi attorno a valori medi (310-350 m/s) nel tratto finale investigato dalle SCPT e correlato allo strato più sciolto del pozzo di Via Sauro, fino a circa 25 m dal p.c.

In corrispondenza della spessa unità grossolana e compatta rinvenuta dal pozzo fino a 68 m dal p.c., si osserva nelle misure HVSR un sismostrato di velocità pari a 510 m/s, seguito poi da una modesta inversione di velocità con il 5. sismo strato (440-450 m/s) nell'intervallo 68-86 m dal p.c. sede del primo acquifero.

Il sismostrato finale evidenzia un forte aumento della velocità (700-720 m/s) in coincidenza della spessa unità argillosa rinvenuta dal pozzo fino a 150 m dal p.c.

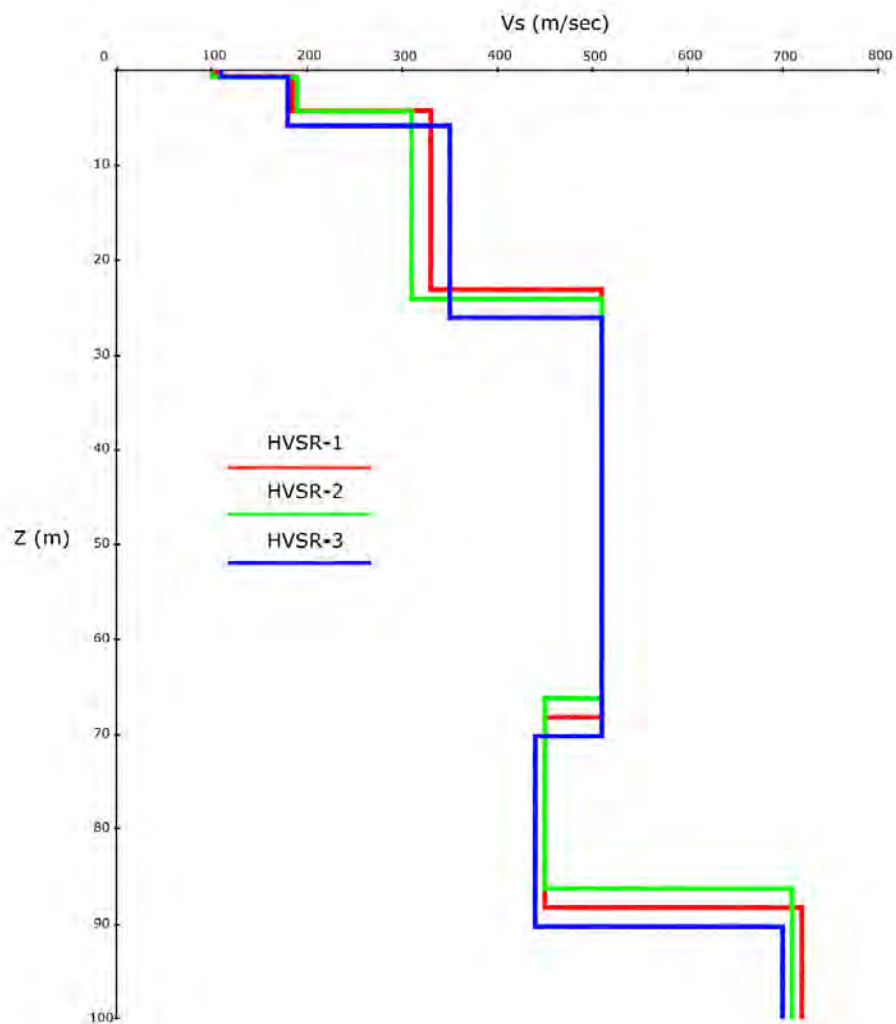


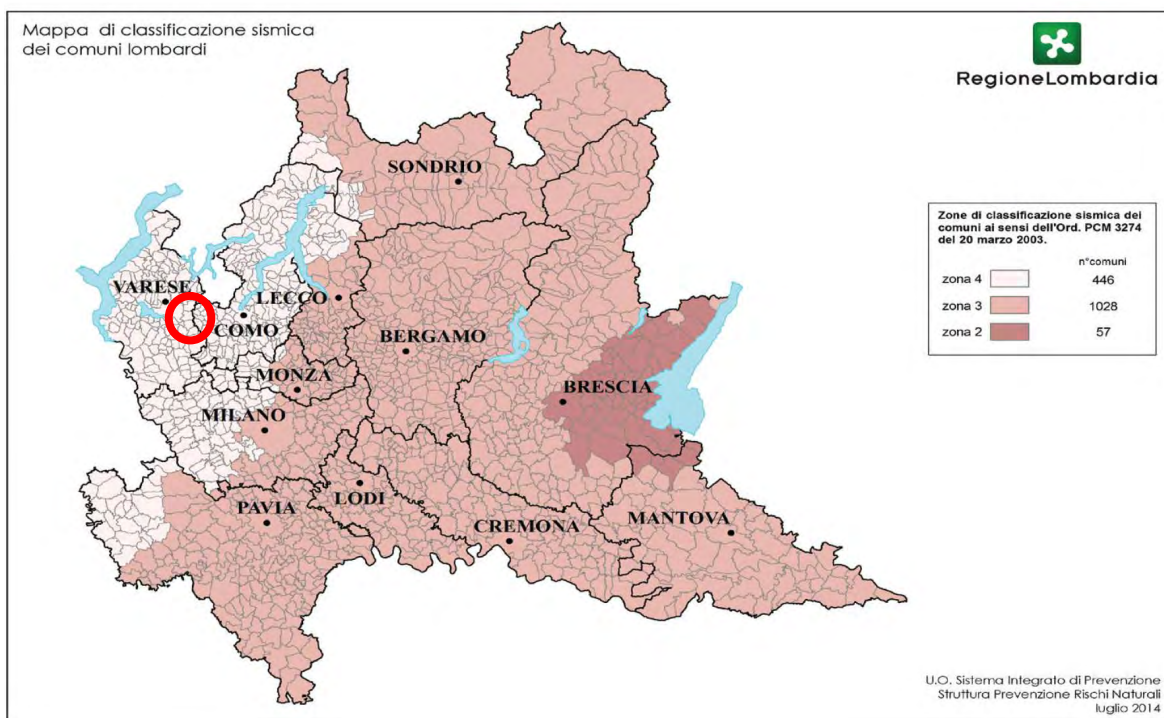
Figura 32 – Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari sismostrati

10. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

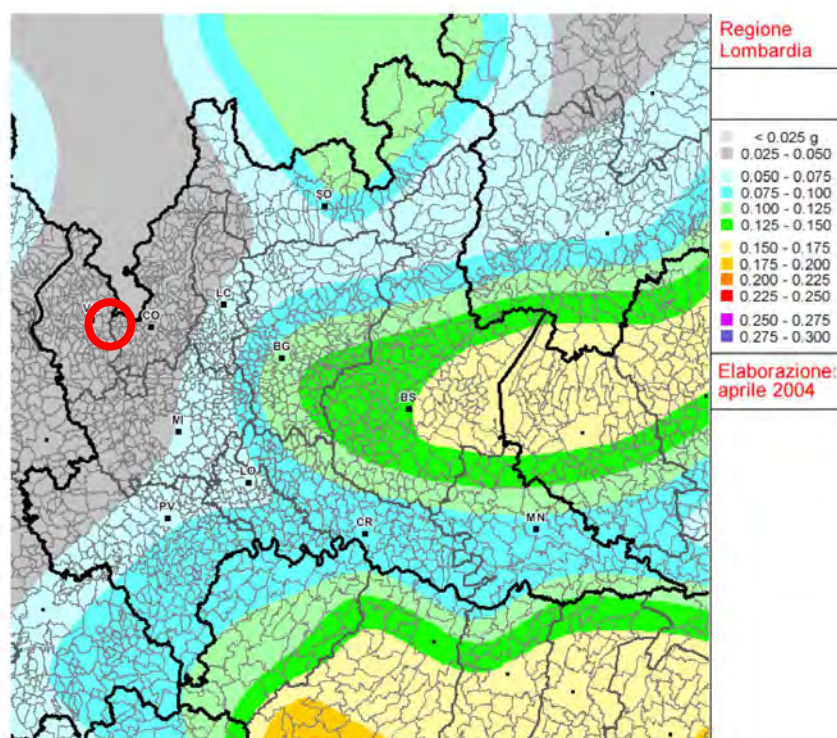
L'O.P.C.M. del 20 marzo 2003, n. 3274, ha aggiornato la classificazione sismica dell'intero territorio nazionale individuando quattro zone sismiche a pericolosità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4). A ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

La Regione Lombardia ha poi recepito, con la D.G.R. n. 14694/2003, le nuove classificazioni sismiche, e nel 2014 ha deliberato un aggiornamento della classificazione sismica dei comuni lombardi (D.G.R. n. 2129/2014), confermando, per il territorio del Comune di Malnate, la zona 4 (Figura 33).

Lo stralcio della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale", denominata MPS04, in termini di accelerazione massima del a_g , riferita a suoli rigidi affioranti e piani (tipo A, con $V_{s30} > 800$ m/s), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno 475 anni), è riportata in Figura 34. Il territorio di Malnate risulta caratterizzato da a_g comprese tra 0,025g e 0,050g.



**Figura 33 – Mappa di classificazione sismica della Regione Lombardia
In rosso il Comune di Malnate**



**Figura 34 – Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (Fonte: INGV)
In rosso il Comune di Malnate**

10.1 Zonazione sismogenetica nazionale per la definizione della pericolosità sismica

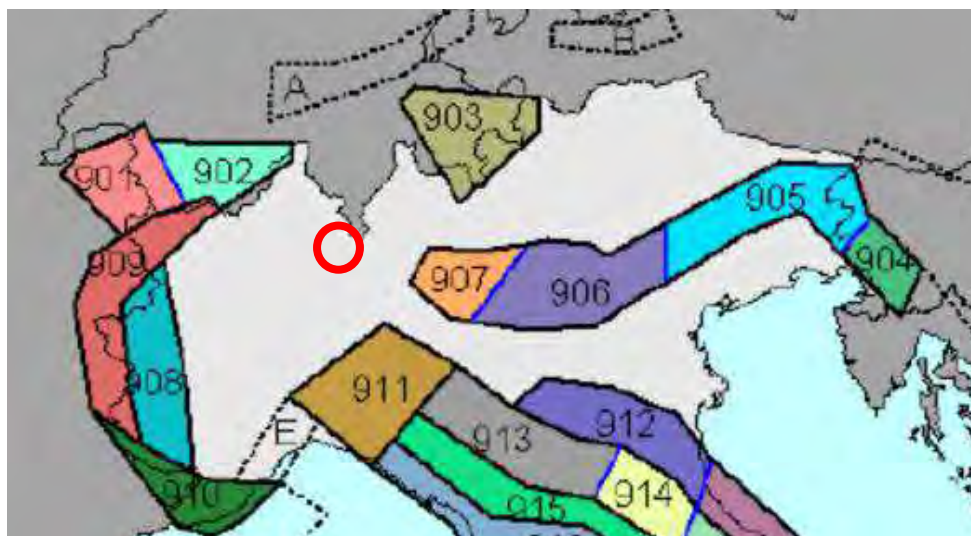
L'attribuzione della "Zona Sismica 4" deriva dagli studi condotti a livello nazionale in materia di pericolosità sismica (Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 INGV-DPC 2004-2006), che hanno riclassificato le precedenti elaborazioni sulla base di nuove conoscenze sismologiche, in termini di sismicità, potenziale sismogenetico di faglie attive in grado di generare terremoti, e modalità di propagazione dell'energia. Sono state definite un totale di 42 "Zone Sismogenetiche", ognuna caratterizzata da uno specifico modello cinematico.

In Figura 35 sono raffigurate le zone sismogenetiche ZS9 per il Nord Italia, con l'area in oggetto che si colloca al di fuori delle zone sismogenetiche definite dalla zonazione, essendo posta a Nord e a Ovest, rispettivamente della ZS 911 "Tortona – Bobbio" e della ZS 907 "Bergamasco".

La Zona Sismogenetica 911 "Tortona – Bobbio" rappresenta la porzione più esterna ed occidentale della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale, caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Arco Appenninico Settentrionale"). I cinematismi attesi sono riferibili a sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE, in strutture crostali superficiali, e sovrascorrimenti in quelle più profonde. Le zone ipocentrali si collocano generalmente a profondità comprese tra 8 e 12 Km, con profondità efficace di 8 km. Nella Zona Sismogenetica 911 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, un valore di magnitudo massima pari a $M_w = 6,14$.

La Zona sismogenetica 907 "Bergamasco" include la parte meridionale delle province di Brescia e Bergamo. Si tratta di una zona legata alla convergenza tra la placca tettonica "Adria" e la placca tettonica "Alpi Meridionali", con strutture a pieghe sud-vergenti e faglie inverse associate (thrusts prevalenti). E' caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa, con la sola eccezione del terremoto di Soncino (CR), evento del 1802, a cui è stata assegnata una magnitudo $M_w = 5,9$.

Le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 5 e 8 Km, con profondità efficace di 8 km. Nella Zona Sismogenetica 907 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, un valore di massima magnitudo pari a $M_w = 6,14$.



Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *
908	495	128	25	3.7	8-12	10
909	263	94	9	4.1	8-12	10
910	80	24	2	3.4	8-12	10
911	126	91	18	4.1	8-12	8
912	180	141	54	4.6	5-8	7
913	767	362	100	4.8	12-20	13
914	878	542	131	4.5	12-20	13
915	614	346	65	4.2	8-12	8

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

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

Figura 35 - Zonazione ZS9 (Fonte: INGV)
Elenco delle zone sismogenetiche e loro parametri fondamentali
In rosso il Comune di Malnate

Per individuare la presenza, in un intorno significativo di strutture tettoniche allo stato attivo e quindi potenzialmente in grado di generare eventi sismici, sono stati consultati il Database delle strutture sismogenetiche attive (DISS), e il catalogo delle faglie capaci del Servizio Geologico d'Italia (ITHACA).

Con riferimento alla mappatura delle strutture attive presenti nel Database of Individual Seismogenic Sources (DISSWG) dell'INGV, si riporta, in Figura 36, lo stralcio relativo alla parte nord-occidentale, e in cui sono identificate le potenziali sorgenti sismogenetiche attive dei terremoti più grandi di 5,5 M, più vicine alla zona in studio.

STRUTTURA SISMOGENETICA ATTIVA	NOME	MAGNITUDO MAX (Mw)
ITCS 002	Western S-Alps external trust deep	6.0
ITCS 010	Western S-Alps internal trust deep	5.5
ITCS 018	Rivanazzano-Stradella	5.5
ITCS 044	San Colombano	5.5
ITCS 115	Western S-Alps external trust shallow-west	6.0
ITCS 179	Western Monferrato	5.5
ITI S 180	Eastern Monferrato	5.5

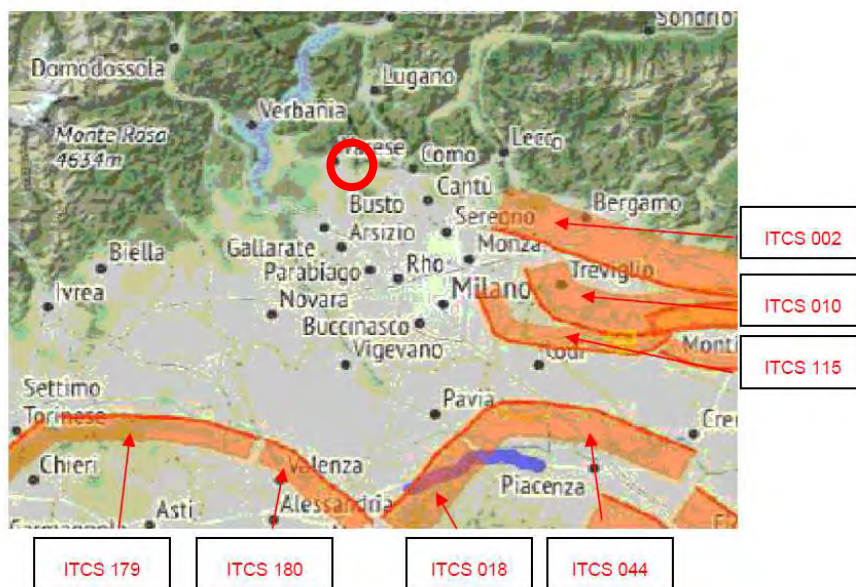


Figura 36 - Stralci del catalogo strutture sismo genetiche attive (DISS-INGV)

Nel "Catalogo delle Faglie Capaci" del Servizio Geologico d'Italia (ITHACA), che riporta le "faglie capaci", ovvero quelle che hanno provocato rotture fino alla superficie topografica, sono indicate (Figura 37), poco più a nord del territorio comunale, due strutture tettoniche (Codice: 87011 – Spina Verde- Como e 87012 – Monte Campo dei Fiori-Varese), che potrebbero essere sede di futuri eventi sismici, sebbene l'ultima attività tettonica stimata sia del Pleistocene Medio (tra 700.000 e 125.000 anni fa). (La linea identificata con la sigla 87103 non è al momento classificata e definita).

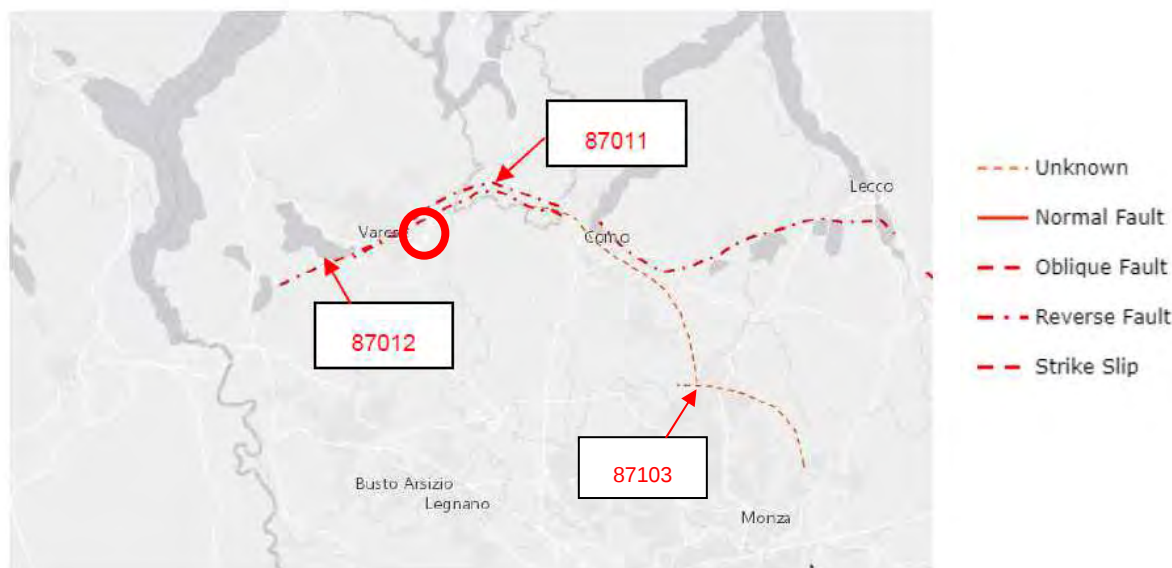


Figura 37 - Stralcio del catalogo "faglie capaci" (ITHACA)

10.2 Sismicità storica e intensità macrosismiche

Per lo studio della sismicità storica sono stati consultati i cataloghi e le mappe redatte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.), nella versione aggiornata al 2022 del Database macrosismico (DBMI15 v.4), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - CPTI15.

Il territorio regionale è sede di una attività sismica, dal punto di vista "energetico", generalmente di modesta intensità. La sismicità maggiore si concentra nella fascia prealpina orientale, allungata in direzione E-W lungo il margine pedemontano, in corrispondenza dell'asse Bergamo-Brescia-Lago di Garda. L'area gardesana, inserita in una situazione di confine tra due contesti tettonici differenti, quello lombardo e centro alpino, da un lato, e quello veneto-friulano dall'altro, è stata interessata da numerose e significative manifestazioni sismiche, come il terremoto di magnitudo più elevata, segnalato nel 1222 ($M_w=6.8$) con epicentro nel bresciano. Nel secolo scorso, i terremoti con epicentro a Salò, hanno fatto segnare valori di magnitudo medi (1901- $M_w=4.9$ e 1932 - $M_w=5.2$). Un discreto livello di sismicità è presente nelle zone dell'Oltrepò, zona che risente della sismicità di origine appenninica, e infine tra l'alta Valtellina e la Val Malenco (SO). Un ultimo sisma di discreta intensità, ha avuto epicentro nel lodigiano, denominato "Lodigiano", ed è avvenuto il 15 maggio 1951 ($Io = 6-7$, $M_w = 5.24$), con risentimenti di intensità macrosismica $Is = 6$ nelle province confinanti, e di intensità 5 per un vasto intorno, nel quadrilatero compreso tra Salò, Varese, Alessandria e Modena.

Come già riportato, il database (INGV-DBMI15) riporta la storia sismica, aggiornata al 2022, delle località italiane in cui sono segnalati almeno un "risentimento" o eventi.

Per il Comune di Malnate sono disponibili solo 3 dati della storia sismica (Figura 38), con eventi sismici che raggiungono in un solo caso il IV° grado MCS (Liguria Occidentale 1887) e con due eventi minori al III° grado MCS (Monferrato 2000 e Parmense 2008).

Essendo confinante il comune di Varese, è possibile prendere come riferimento la sua storia sismica in cui sono stati invece censiti 26 risentimenti (Figura 39). (L'area del Comune di Varese, molto estesa, comprende però zone con caratteristiche geologico-stratigrafiche e geomorfologiche anche molto diverse di quelle dell'area in oggetto).

Si evidenzia come i risentimenti raggiungano in cinque casi (terremoto Bresciano del 1894, dell'Emilia Romagna Orientale del 1909, Lucchesia del 1914, Lodigiano del 1951 e Bergamasco 1979) il V° grado MCS, con altri 10 risentimenti del IV° grado (tra i quali sono compresi i due maggiori registrati a Malnate – Liguria Occidentale e Parmense).

Le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche), provengono dalla Liguria occidentale, dal Gardesano e dalla Toscana, ma soprattutto dalla Pianura Padana (Lodigiano-Parmense-Emilia Romagna).

Malnate

PlaceID	IT_10448
Coordinates (lat, lon)	45.799, 8.882
Municipality (ISTAT 2015)	Malnate
Province	Varese
Region	Lombardia
No. of reported earthquakes	3

Effects		Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw	
3-4	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27	
2-3	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94	
3	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36	

Figura 38 - Stralcio del catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2020 (CPTI15-DBMI15 v4)
Comune di Malnate

Varese

PlaceID IT_10636
Coordinates (lat, lon) 45.820, 8.826
Municipality (ISTAT 2015) Varese
Province Varese
Region Lombardia
No. of reported earthquakes 26

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10	6.40
3	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9	6.68
NF	1884	09	12	07	23		Pianura lombarda	34	6	4.70
4	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89
4	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5.10
4-5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
2	1912	05	31	21	40		Canavese	51	5-6	4.71
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
4	1918	04	24	14	21		Lecchese	34	6	4.95
4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13
4	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36
3	1929	05	11	19	23		Bolognese	64	6-7	5.29
4-5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
4	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
2	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
5	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78
3	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36
3	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79

**Figura 39 - Stralcio del catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2020 (CPTI15-DBMI15 v4)
Comune di Varese**

10.3 Stima della magnitudo $M_{w,max}$ e valutazioni finali sulla sismicità dell'area

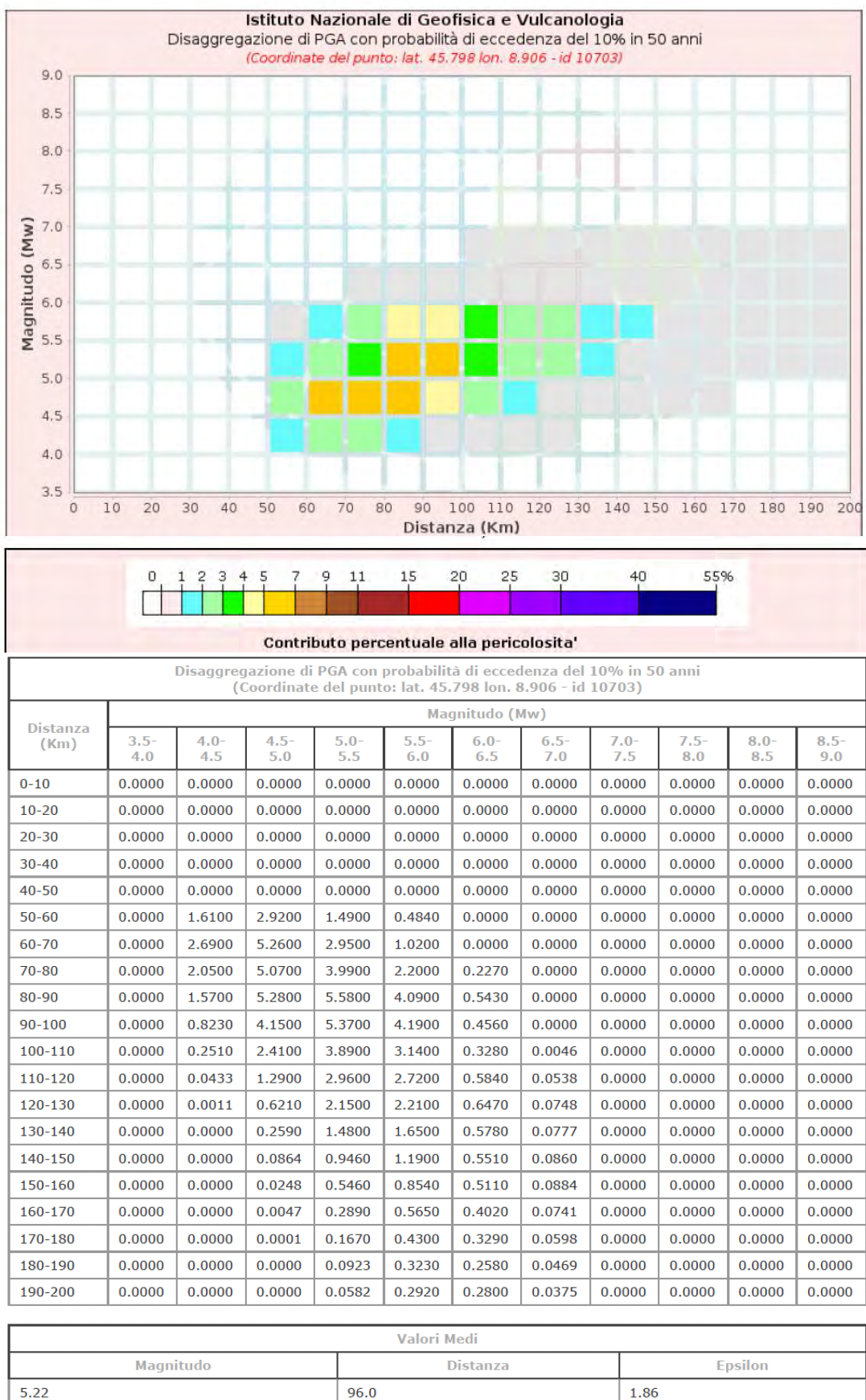
Per la stima della magnitudo $M_{w,max}$ è stato effettuata, tramite il portale INGV, l'analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$, che per la zona in oggetto è compresa tra 0,025g e 0,050g, e che riporta il contributo in percentuale delle diverse sorgenti sismiche (in termini di coppie di valori di magnitudo e distanza) alla stima di pericolosità. Viene ad essere definito il cosiddetto terremoto "di scenario", inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Il grafico e la tabella calcolate, sono riportate in Figura 40. Si rileva l'assenza di contributi fino a 50 km di distanza e, a seguire, magnitudo comprese tra 4 e 6 fino a distanze di 150 km, con un valore medio di magnitudo pari a 5,22 e distanza media di 96 km, e con il dato più probabile, pari al 5.6 %, legato ad eventi sismici di magnitudo compresa tra 5 e 5.5 e a distanze epicentrali di 80-90 km, e pari a 5.3 % per magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 e a distanze epicentrali comprese tra 60 e 70 km.

L'osservazione della sismicità storica, dai cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità, evidenzia in estrema sintesi, per il territorio oggetto di intervento, i seguenti aspetti:

- 1) Il territorio di Malnate non rientra in alcuna delle zone sismogenetiche (zonazione ZS9), in cui è stato suddiviso il territorio nazionale, ove sono presenti strutture geologiche in grado di generare terremoti più grandi di 5,5 M_w , ed è altresì distante dalle "sorgenti sismogenetiche" individuate nel Database delle strutture sismogenetiche attive (DISS). Le zone sismogenetiche prossime all'area di intervento, potenzialmente capaci cioè di fare risentire, per la zona di studio, moti sismici significativi, sono la ZS 911 "Tortona – Bobbio" e la ZS 907 "Bergamasco", per le quali non si ritiene che possano avvenire terremoti di magnitudo superiore a 6,14 M_w . La zona sismogenetica che potrebbe potenzialmente influenzare l'area di interesse, è la ZS 906 del Garda-Veronese, caratterizzata da terremoti di magnitudo massima M_w pari a 6.60;
- 2) Nel catalogo delle "faglie capaci" del Servizio Geologico d'Italia (ITHACA), sono riportate, a poca distanza, a nord del territorio comunale, due strutture tettoniche che potrebbero essere sede di futuri eventi sismici, sebbene l'ultima attività tettonica stimata sia del Pleistocene Medio (tra 700.000 e 125.000 anni fa), ben oltre il periodo di ritorno massimo (T_R) di riferimento per l'azione sismica al più gravoso stato limite (SLC = 1462 anni);
- 3) Non sono storicamente documentati, in zona, epicentri di sismi importanti. Gli epicentri dei sismi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche), sono riferiti a sismi del Parmense e della Liguria;
- 4) Dall'analisi di disaggregazione, si rileva l'assenza di contributi fino a 50 km, e sismi di magnitudo M_w compresa tra 4 e 6, fino a distanze di 150 km, con un valore medio di magnitudo pari a 5,23 e distanza media di 96 km, e con il dato più probabile (pari al 5.6 %) legato ad eventi di magnitudo M_w compresa tra 5.0 e 5.5, a distanze epicentrali di 80-90 Km.

COMUNE DI MALNATE (VA)
Riqualificazione urbana mediante conversione in rotatoria di Piazza Vittorio Veneto
integrata da interventi riguardanti la rete ciclo-pedonale
Indagine geognostica e geofisica. Relazione geologica e sismica



**Figura 40 – Grafico della mappa interattiva di pericolosità sismica riferita al Comune di Malnate
Tabella con i dati di disaggregazione del valore di a(g) - (Fonte: INGV)**

10.4 Pericolosità sismica locale

Partendo dalle caratteristiche sismotettoniche generali descritte nei paragrafi precedenti, e dalle principali manifestazioni sismiche, sia epicentrali che di risentimento, la pericolosità sismica del sito in studio, è stata poi approfondita in relazione alle condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

In fase di pianificazione viene effettuata una valutazione delle aree del territorio comunale potenzialmente soggette ad effetti locali, basata su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico.

Lo studio di pericolosità sismica preliminare, detto di 1° livello, ha prodotto la "Tavola 9 – Carta della Pericolosità sismica locale", di cui viene riportato lo stralcio in Figura 41. Secondo tale elaborazione, nella zona di intervento non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale (PSL).

I caratteri sismici di base che comprendono la zona di intervento, sono inseriti nell'area omogenea di tipo "D" così definita: *"Depositi glaciali e fluvioglaciali con presenza di coperture superficiali (loess, colluvio e detrito) di spessore generalmente inferiore a 3 m" e con categoria di suolo di tipo "B" o di tipo "C".*

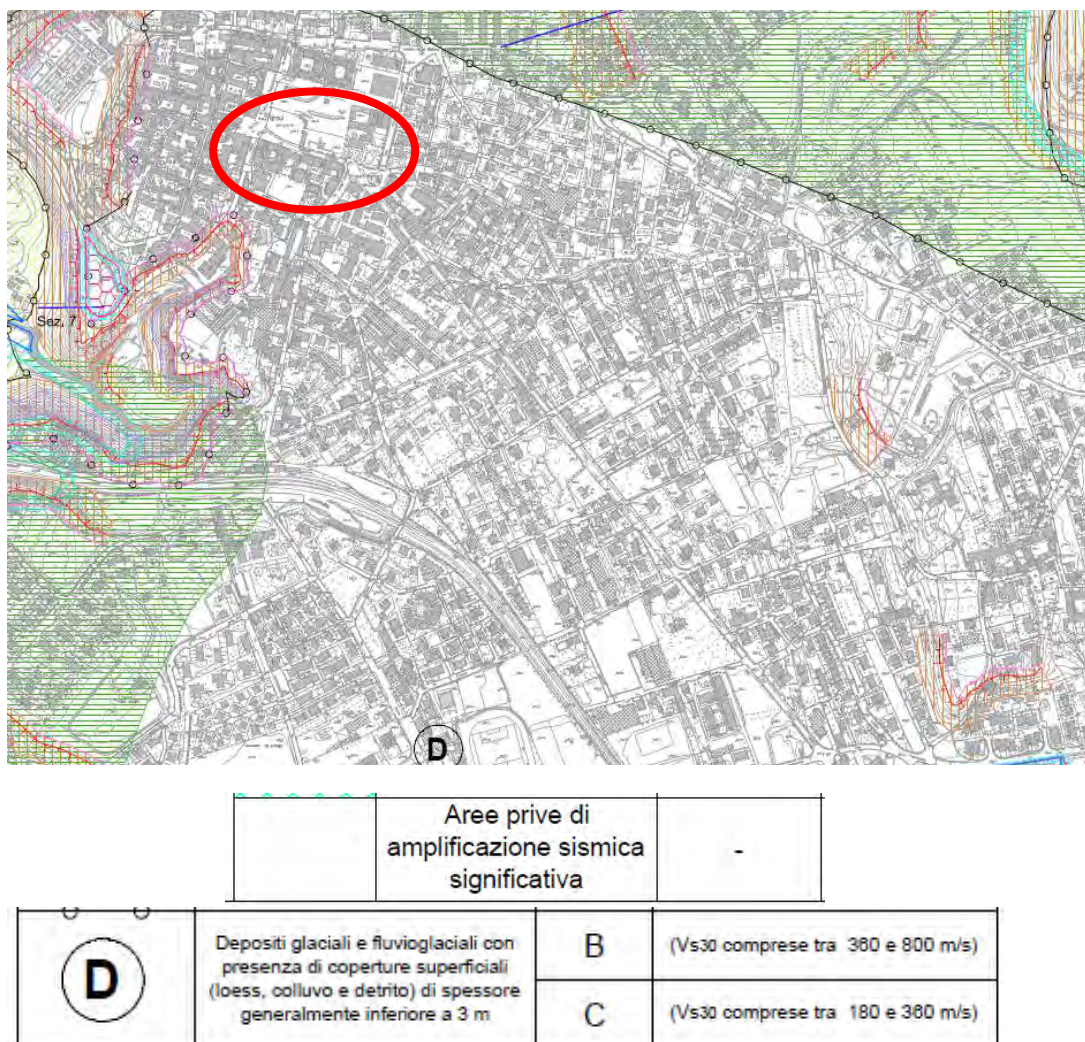


Figura 41 – Stralcio "Tavola 9 – Carta della pericolosità sismica locale"
 Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Malnate (2009) - 1:10.000
 In rosso l'ubicazione dell'area di intervento

10.5 Azioni sismiche di progetto

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni), in detto sito, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (P_{VR}). 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:

a_g , accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o , valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_c , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni hanno introdotto il concetto di pericolosità sismica di base, che si attua secondo un criterio “sito dipendente”, che tenga cioè conto delle condizioni locali del sito, individuato all'interno del reticolo di riferimento composto da 10751 punti, i cui nodi, identificati in termini di latitudine e longitudine, non devono distare più di 10 km l'uno dall'altro (passo $<0,05^\circ$ - Figura 42).

Per la loro individuazione occorre preliminarmente ricavare la “Vita Nominale” e della “Classe d'Uso” della struttura, il cui uso combinato porta alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica, e la determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.

➤ Vita nominale delle opere, classe d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale di un'opera strutturale “ V_N ” 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 tabella delle NTC sotto riportata.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

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

Le varie classi in cui sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, sono così definite dalla NTC, mentre il valore del coefficiente d'uso C_U è riportato nella Tab 2.4.II:

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 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 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.

Ai fini della valutazione della sicurezza e più nello specifico della pericolosità sismica, le opere in progetto appartengono alla Classe d'uso II, costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi.

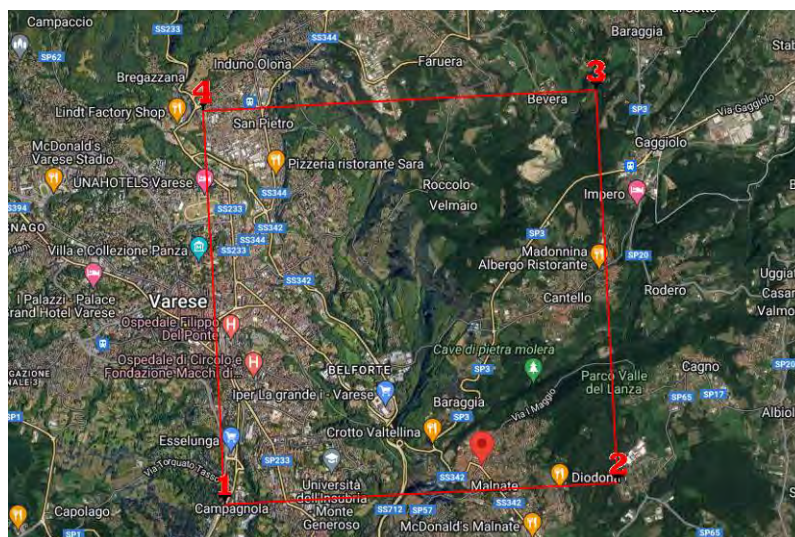
Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Con la Vita Nominale e la Classe d'uso, è possibile quindi calcolare il "Periodo di riferimento" per l'azione sismica V_R :
 $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1 = 50$ (anni).

➤ Coordinate e siti di riferimento

I parametri sito-specifici sono stati ricavati dal sito GEOSTRU/parametri sismici. L'ubicazione del sito, le sue coordinate e i nodi del reticolo sono i seguenti:



Latitudine (WGS84): 45.7996292[°] Longitudine (WGS84): 8.8802910 [°]
Latitudine (ED50): 45.8005600[°] Longitudine (ED50): 8.8813639 [°]

Figura 42

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	10702	45.795680	8.834597	3665.91
2	10703	45.798400	8.906133	1935.12
3	10481	45.848320	8.902271	5552.30
4	10480	45.845600	8.830682	6364.44

➤ Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Applicando la seguente formula ai risultati delle indagine di sismica passiva (modello sismico del sottosuolo del paragr.6.5):

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

dove:

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

hi: spessore dello strato iesimo

Vi: velocità dello strato iesimo

N : numero di strati

il terreno indagato presenta un valore medio delle $V_{s30} = 302 \text{ m/s}$

Secondo le tabelle riportate nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018), il sottosuolo dell'area risulta, dalle medie delle due misure effettuate, e prendendo come riferimento il piano campagna, in categoria "C", ovvero "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 180 m/s e 360 m/s.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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.

La categoria topografica viene desunta, in situazioni semplici, secondo la seguente tabella riportata nella normativa NTC-2018. Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 adatta a rappresentarla è quindi riferibile alla categoria T1.

➤ Amplificazione stratigrafica e topografica

L'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:

$$a_{\max} = SS \cdot ST \cdot a_g$$

in cui:

SS = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

ST = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

a_g = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A,

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti dell'amplificazione stratigrafica SS e CC valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 , T_c^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

➤ Determinazione dei coefficienti sismici orizzontali e verticali. Spettri di riferimento

La definizione dello spettro di risposta elastico contiene i parametri fondamentali per quanto riguarda le azioni sismiche, per la progettazione strutturale

Esso viene riferito ad uno smorzamento convenzionale pari al 5% e la sua forma spettrale dipende dai fattori precedentemente citati (pericolosità di base, stratigrafia, topografia, probabilità di superamento nel periodo di riferimento riferiti agli stati limite di progetto).

Di seguito si riportano i valori di base dei parametri a_g , F_0 e T_c^* , che definiscono la pericolosità sismica di base per l'area in oggetto e per tempi di ritorno compresi tra 30 anni (SLO - stato limite di operatività) e 975 anni (SLC - prevenzione collasso), con periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = 50$ anni, e classe d'uso II.

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.015	2.596	0.156
SLD	50	0.018	2.567	0.166
SLV	475	0.038	2.629	0.280
SLC	975	0.046	2.658	0.304

Con:

T_R = periodo di ritorno;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (valore nominale);

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.

Dove, per quanto riguarda gli stati limite:

SLE = stati limite di esercizio:

- **(SLO) Stato Limite di Operatività:** 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;

- **(SLD) Stato Limite di Danno:** 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 rigidezza nei confronti delle

azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU= stati limite ultimi:

- **(SLV) Stato Limite di salvaguardia della Vita:** 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;

- **(SLC) Stato Limite di prevenzione del Collasso:** 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.

➤ **Determinazione dei coefficienti sismici orizzontali e verticali. Spettri di riferimento**

I tre valori ottenuti di a_g , F_0 e T_c^* definiscono le varie forme spettrali. Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) secondo la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g \cdot (m/s^2) \cdot S$$

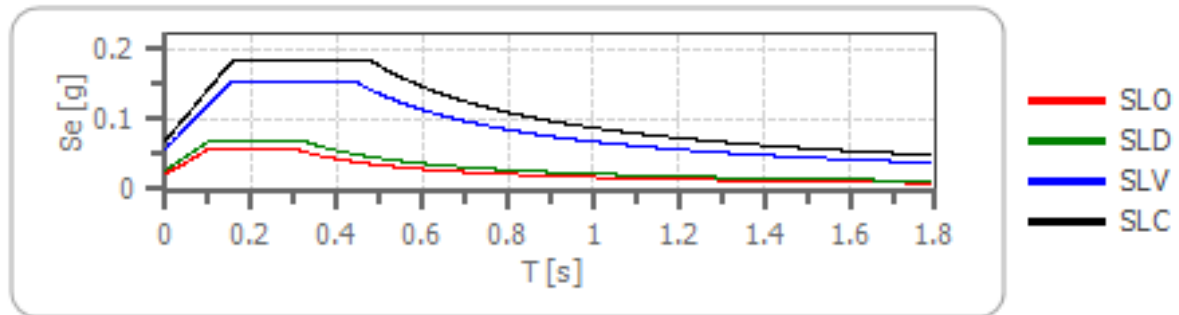
Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , dai valori nominali di a_g , trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di a_g , per $9,81 m/s^2$ e successivamente, per ottenere il valore finale di A_{max} relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare $a_g (m/s^2)$ per i coefficienti di amplificazione sismica S_s e S_t (in questo caso $S_s = 1,5$ e $S_t = 1,0$).

La tabella che riassume i coefficienti di amplificazione e i coefficienti sismici orizzontali e verticali sono le seguenti:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.004	0.005	0.012	0.014
kv	0.002	0.003	0.006	0.007
amax [m/s^2]	0.215	0.269	0.565	0.681
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

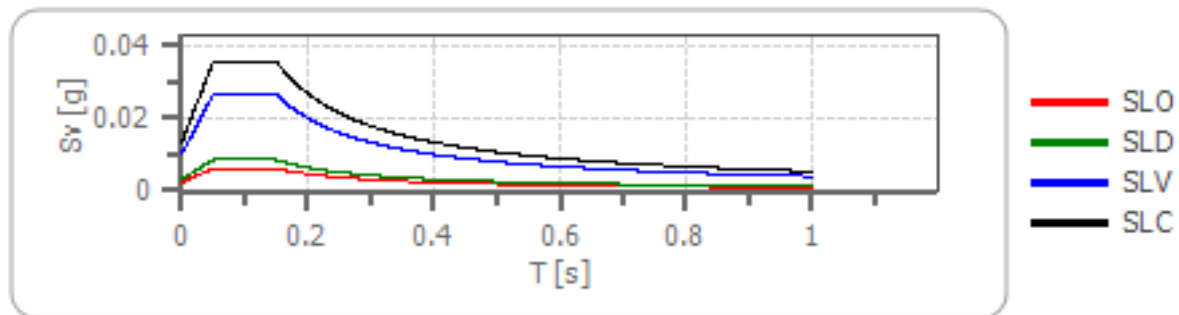
Infine per quanto riguarda gli spettri:

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.015	2.596	0.156	1.500	1.940	1.000	1.500	1.000	0.101	0.303	1.659	0.022	0.057
SLD	1.0	0.018	2.567	0.166	1.500	1.900	1.000	1.500	1.000	0.105	0.315	1.673	0.027	0.070
SLV	1.0	0.038	2.629	0.280	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.149	0.448	1.754	0.058	0.152
SLC	1.0	0.046	2.658	0.304	1.500	1.560	1.000	1.500	1.000	0.158	0.474	1.785	0.069	0.185

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.015	2.596	0.156	1	1.940	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.002	0.006
SLD	1.0	0.018	2.567	0.166	1	1.900	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.003	0.009
SLV	1.0	0.038	2.629	0.280	1	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.010	0.027
SLC	1.0	0.046	2.658	0.304	1	1.560	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.013	0.036

10.6 Analisi del rischio di liquefazione

Secondo quanto stabilito al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC-2018, la verifica a liquefazione può essere omessa *“quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze”*:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Con riferimento al punto 1, il valore di accelerazione a_g (accelerazione orizzontale) in condizioni di campo libero (riferito a suoli rigidi affioranti e piani - tipo A) è pari a 0.038 (per lo stato limite SLV), per cui il valore atteso, ricavato mediante i coefficienti di amplificazione sismica S_s e S_t (nel nostro caso $S_s = 1,5$ e $S_t = 1,0$), risulta 0.056 g e quindi inferiore a 0.1 g.

Per quanto riguarda i fattori litologici predisponenti, la granulometria dei sedimenti non risulta monogranulare e non rientra nel range dei valori critici, mentre il grado di addensamento, in aumento verso le maggiori profondità, è lontano da quelli definiti a “densità critica”.

L'area non è infine caratterizzata dalla presenza di falde acquifere superficiali o comunque, da condizioni idrogeologiche tali da permettere la saturazione dei terreni.

Sulla base di quanto riportato, e ai sensi del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC-2018, le verifiche di liquefazione non trovano pertanto applicazione.

11. CONSIDERAZIONI FINALI RELATIVE ALLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA DELL'INTERVENTO

L'intervento in progetto è la riqualificazione urbana delle intersezioni situate nel centro urbano di Malnate, lungo la SS 342 "Briantea". Secondo il disposto delle D.M. 17.01.2018 (Norme tecniche per le Costruzioni), ai fini della valutazione della sicurezza e più nello specifico della pericolosità sismica, le opere appartengono alla Classe d'uso II, e con periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = 50$ anni.

La valutazione finale della compatibilità geologica dell'intervento è stata eseguita sulla base degli studi e delle indagini eseguite, sia generali che di maggiore dettaglio, estesi in un significativo intorno dell'area in oggetto. Lo studio ha riguardato l'assetto geologico, geomorfologico, idrografico e idrogeologico, utilizzando dati bibliografici e stratigrafici, mentre per la caratterizzazione geotecnica e sismica, sono state eseguite indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche SCPT), integrate da una indagine geofisica riguardante i microtremiti (misure di sismica passiva-HVSR).

Con riferimento alla DGR IX/2116 del 30/11/2011, è stata verificata la compatibilità degli interventi in progetto, con le limitazioni di carattere geologico, idrogeologico, idraulico, geotecnico e vincolistico riportate nello studio geologico idrogeologico e sismico comunale di supporto al PGT. Con riferimento agli elaborati di Piano, l'area in oggetto ricade in un ambito di fattibilità "con modeste limitazioni", "Classe 2" in quanto "Aree pianeggianti o terrazzate con terreni granulari addensati o mediamente addensati che possono essere ricoperti da coltri di terreni fini con scadenti caratteristiche geotecniche per uno spessore fino a 3 m."

Sempre riguardo agli studi geologici effettuati a livello comunale, l'area di intervento non è soggetta a vincoli propriamente geologici, in quanto si colloca in zone esterne alle aree di rispetto dei pozzi comunali ad uso idropotabile, alle aree individuate dalla pianificazione di bacino (L.189/89) e del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), e alle aree soggette al vincolo idrogeologico.

Dall'analisi geologica territoriale, si è evidenziato come il luogo in esame risulti essenzialmente lontano da potenziali rischi di natura idrogeologica, idraulica e geomorfologica. Il lotto di intervento, a morfologia pianeggiante, è situato in una porzione di territorio urbanizzata. Non sono presenti fenomeni geologici e geomorfologici di rilievo, fenomeni d'erosione o processi morfodinamici in atto.

Per quanto riguarda i vincoli da piani sovraordinati, l'area non è soggetta a vincoli del PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni), e non risulta compresa in zone soggette a vincoli ambientali ("Aree Protette", "Sistema Informativo Beni Ambientali (SIBA)", "Vincolo idrogeologico"). Per quanto riguarda gli aspetti di tutela idrogeologica, il PTCP, che riprende e integra il PTUA-2006 (Programma di Tutela e Uso delle Acque) della Regione Lombardia, prevede in zona un'area di "Riserva Provinciale Integrativa", in quanto sono presenti pozzi pubblici, di interesse per la loro "strategicità in termini di approvvigionamento idrico a scala provinciale", e in cui l'area di intervento risulta ricompresa.

Per la caratterizzazione sismica dell'area, sono stati elaborati i dati della sismicità storica, valutate le intensità macrosismiche, indicate le zone sismogenetiche di riferimento e definita la disaggregazione della pericolosità sismica di sito. La zona sismica regionale di riferimento è la "zona 4", con un valore del parametro a_g (frazione dell'accelerazione di gravità g , corrispondente alla accelerazione orizzontale massima sul suolo) pari a 0,038 g (SLV), e massimo atteso al piano campagna, calcolato mediante i coefficienti di amplificazione sismica S_s e S_t , di 0.057 g .

L'osservazione della sismicità storica, dai cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità, evidenzia che il territorio di Malnate risulta esterno alle zone sismogenetiche (zonazione ZS9), ove sono presenti strutture geologiche, in grado di generare terremoti più grandi di 5,5 M_w . Non si segnalano inoltre faglie attive di recente, né storicamente documentate, che possano in qualche modo condizionare la risposta sismica locale, come si evince anche dall'assenza in zona di epicentri di sismi importanti.

Le zone sismogenetiche più vicine all'area di intervento, capaci cioè di fare risentire, all'interno della zona di studio, moti sismici significativi, sono la ZS 911 "Tortona – Bobbio" e la ZS 907 "Bergamasco", per le quali non si ritiene che possano avvenire terremoti di magnitudo superiore a 6,14 M_w .

Nel catalogo delle "faglie capaci" del Servizio Geologico d'Italia (ITHACA) sono riportate, poco distanti e a nord del territorio comunale, due strutture tettoniche che potrebbero essere sede di futuri eventi sismici, sebbene l'ultima attività tettonica stimata sia del Pleistocene Medio (tra 700.000 e 125.000 anni fa), ben oltre il periodo di ritorno massimo (T_R) di riferimento per l'azione sismica al più gravoso stato limite (SLC = 1462 anni).

Per il Comune di Malnate sono stati censiti 3 risentimenti, che hanno raggiunto in un solo caso il IV° grado MCS (Liguria Occidentale 1887) e con due eventi minori al III° grado MCS (Monferrato 2000 e Parmense 2008).

Prendendo come riferimento la storia sismica di Varese, comune che comprende però zone con caratteristiche geologico-stratigrafiche e geomorfologiche anche molto diverse di quelle dell'area in oggetto, i risentimenti hanno raggiunto in cinque casi il V° grado MCS (terremoto Bresciano del 1894, dell'Emilia Romagna Orientale del 1909, Lucchesia del 1914, Lodigiano del 1951 e Bergamasco 1979), con altri 10 risentimenti del IV° grado (tra i quali sono compresi i due maggiori registrati a Malnate – Liguria Occidentale e Parmense). Le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche), provengono dalla Liguria occidentale, dal Gardesano e dalla Toscana, ma soprattutto dalla Pianura Padana (Lodigiano-Parmense-Emilia Romagna).

Dall'analisi di disaggregazione, si rileva l'assenza di contributi fino a 50 km, e sismi di magnitudo M_w compresa tra 4 e 6, fino a distanze di 150 km, con un valore medio di magnitudo pari a 5,23 e distanza media di 96 km, e con il dato più probabile (pari al 5.6 %) legato ad eventi di magnitudo M_w compresa tra 5.0 e 5.5, a distanze epicentrali di 80-90 Km.

Le indagini geofisiche di tipo passivo hanno evidenziato, fino a 100 m, la presenza di sismostrati, con valori di velocità di propagazione delle onde Vs variabili da un minimo di 100 m/s e un massimo di 720 m/s.

Il sottosuolo dell'area è risultato, prendendo come riferimento il piano campagna, in categoria "C", ovvero *"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 180 m/s e 360 m/s"*.

Le misure di sismica passiva hanno rilevato le frequenze più significative del sottosuolo, per valutare la possibilità di un effetto di doppia risonanza (quando la frequenza fondamentale del sottosuolo coincide con quella degli edifici/strutture).

Le finestre frequenziali 0.7-0.8 Hz, 2-3 Hz, e 8 e 12 Hz costituiscono gli intervalli di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico, con l'intervallo 8-12 Hz che rappresenta la frequenza di sito e di risonanza principale.

Poiché le ampiezze dei picchi dello spettro H/V sono modesti, le caratteristiche litologiche del sottosuolo determinano una forte riduzione e attenuazione di ampiezza, durata e contenuto in frequenza del moto sismico, e pertanto non si segnalano frequenze particolarmente accentuate da cui possano derivare problemi alle strutture. Dati i minimi contrasti di rigidità esistenti tra terreni di caratteristiche litologicamente simili, non si prevedono quindi forti amplificazioni locali dei sismi.

Le indagini geognostiche mediante prove SCPT hanno riscontrando una sequenza di strati con caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche differenti, con spessore e andamento orizzontale/verticale poco variabile. Le litologie più rappresentate sono ghiaie, ciottoli e sabbie limose.

Le indagini eseguite mostrano, superficialmente, un primo orizzonte di terreno vegetale piuttosto tenero (Unità Litotecnica A - $N_{SPT\ medio} = 2$), di spessore pari a 1.2-1.5 m, che sormonta uno strato di ghiaia e ciottoli con sabbia leggermente addensata (Unità Litotecnica B - $N_{SPT\ medio} = 11$) di circa 1 m di spessore.

A seguire, è presente l'Unità Litotecnica C ($N_{SPT\ medio} = 4$), costituita da sabbie limose sciolte, che ha un andamento geometrico irregolare, e si rinviene sia al di sotto della unità B (prove SCPT 1-2) sia al di sopra (SCPT 3-4), con spessori in aumento in direzione est.

Solo nella zona delle prove SCPT 1-2 è presente un sottile orizzonte di limi sabbiosi poco consistenti (Unità Litotecnica D - $N_{SPT\ medio} = 2$), di spessore compreso tra 0.6 e 1.2 m

Attorno ai 4 m di profondità dal p.c., si rinviene un'unità sabbio-ghiaiosa con valori di resistenza in aumento (Unità Litotecnica E - $N_{SPT\ medio} = 7$), e di spessore medio pari a circa 1,5 m, tranne che alla prova SCPT 4 ove risulta meno profonda (limite superiore a -3.3 m dal p.c.) e più spessa (circa 2.5 m).

La successione stratigrafica rilevata si conclude con l'Unità Litotecnica F ($N_{SPT \text{ medio}} = 23$), caratterizzata da un aumento della granulometria e delle dimensioni dei ciottoli, che portano poi a rifiuto l'avanzamento delle prove alla profondità di -6/-7 m dal p.c.

Fino alla profondità massima investigata non risultano presenti falde idriche sospese.

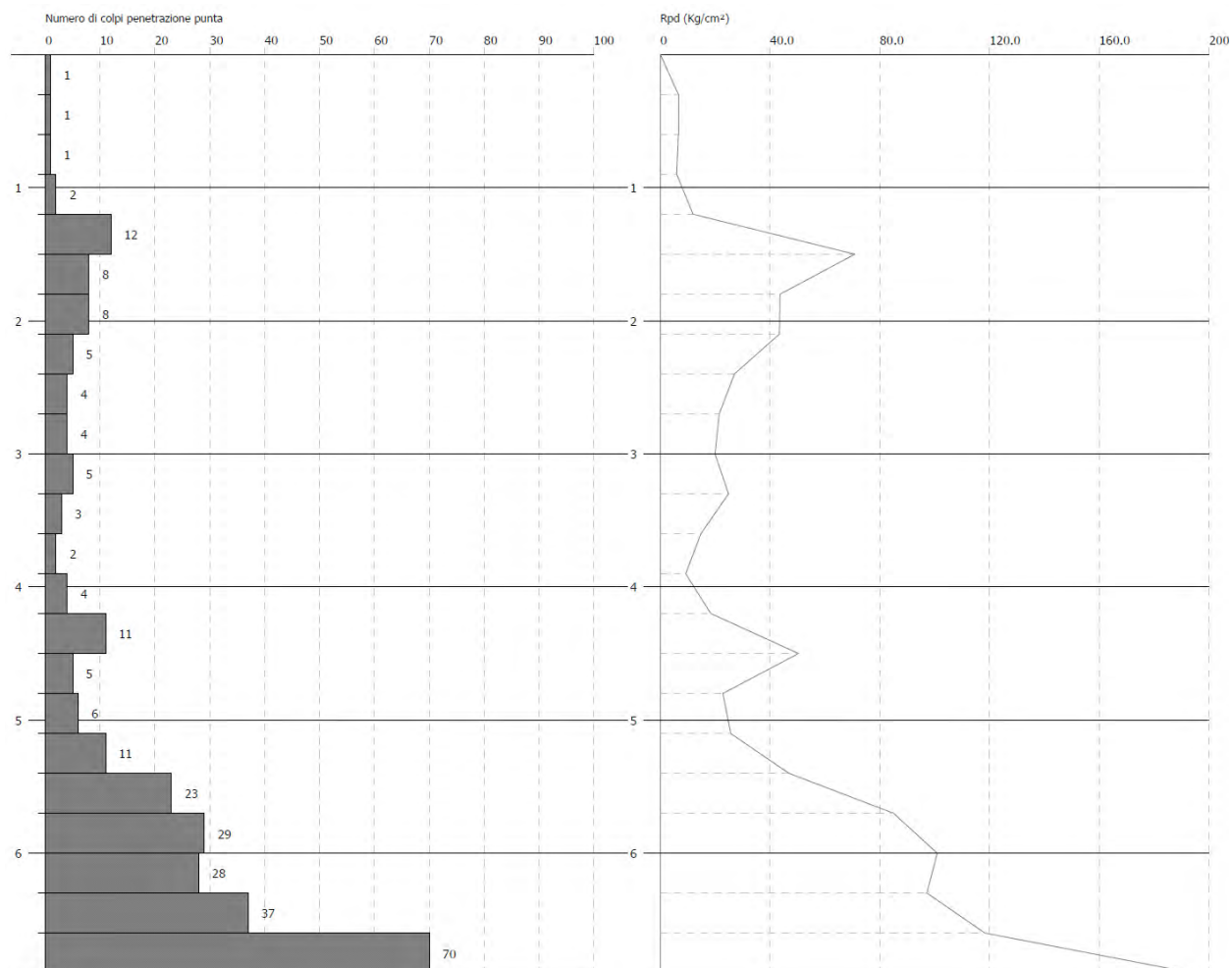
Dai dati delle prove penetrometriche SCPT, sono stati ricavati i parametri geotecnici delle unità litotecniche presenti. I valori di addensamento, densità relativa, peso di volume, angolo di attrito e coesione non drenata, e i moduli elastico, edometrico, di Poisson e di taglio, sono ricavati direttamente dai valori di N_{SPT} , N_{60} e $N_{(1)60}$, mediante formule, tabelle e abachi di vari autori. In accordo al D.M. 17.1.2018 sono stati quindi ricavati, per ogni parametro, il valore medio, e per alcuni di questi, calcolato il valore caratteristico 'k.

Le indagini eseguite non hanno riscontrato aspetti di particolare problematicità geotecnica, e consentono pertanto di operare, per la realizzazione delle opere di modesta entità previste (realizzazione di un muro di contenimento davanti al cedro, rifacimento pilastri e muri di recinzione, isole, spartitraffico, rotatorie, ecc). secondo gli ordinari metodi costruttivi. La natura granulare dei depositi sedimentari presenti determina un comportamento geotecnico prevalentemente di tipo frizionale (incoerente), con resistenza al taglio in condizioni drenate e cedimenti di tipo istantaneo, e con assenza delle componenti secondarie differite nel tempo. L'area in esame non presenta inoltre rischio di liquefazione, in relazione alla granulometria dei sedimenti e al grado di addensamento, lontano da quelli definiti a "densità critica", e dall'assenza di falde acquifere superficiali (livello statico del primo acquifero a -70 m dal p.c.).

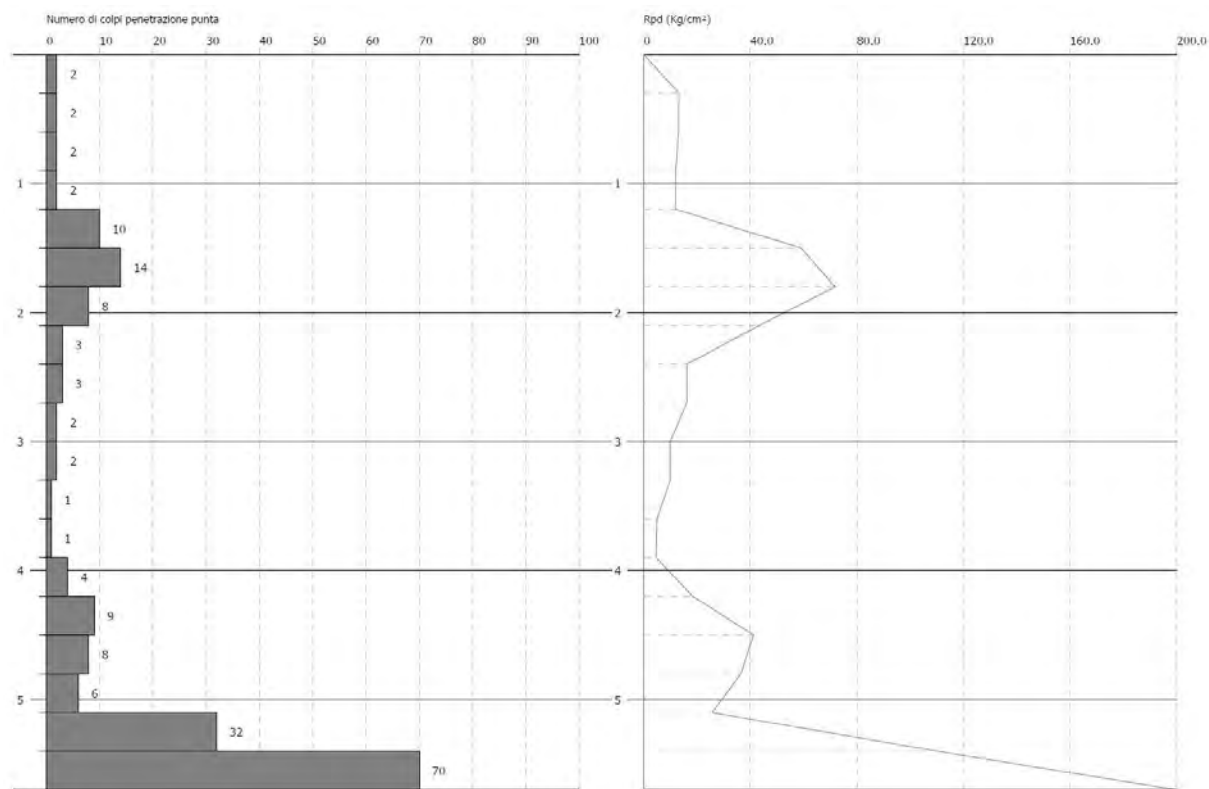
Alla luce delle considerazioni espresse, e nel rispetto delle prescrizioni indicate, si ritiene pertanto che gli interventi in progetto siano **COMPATIBILI** con il quadro geologico, geomorfologico, idrografico, idrogeologico, sismico e geotecnico individuato, nonché con la "Classe II di Fattibilità a modeste limitazioni" stabilita dallo Studio Geologico eseguito a supporto del PGT.

ALLEGATO 1 : DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE

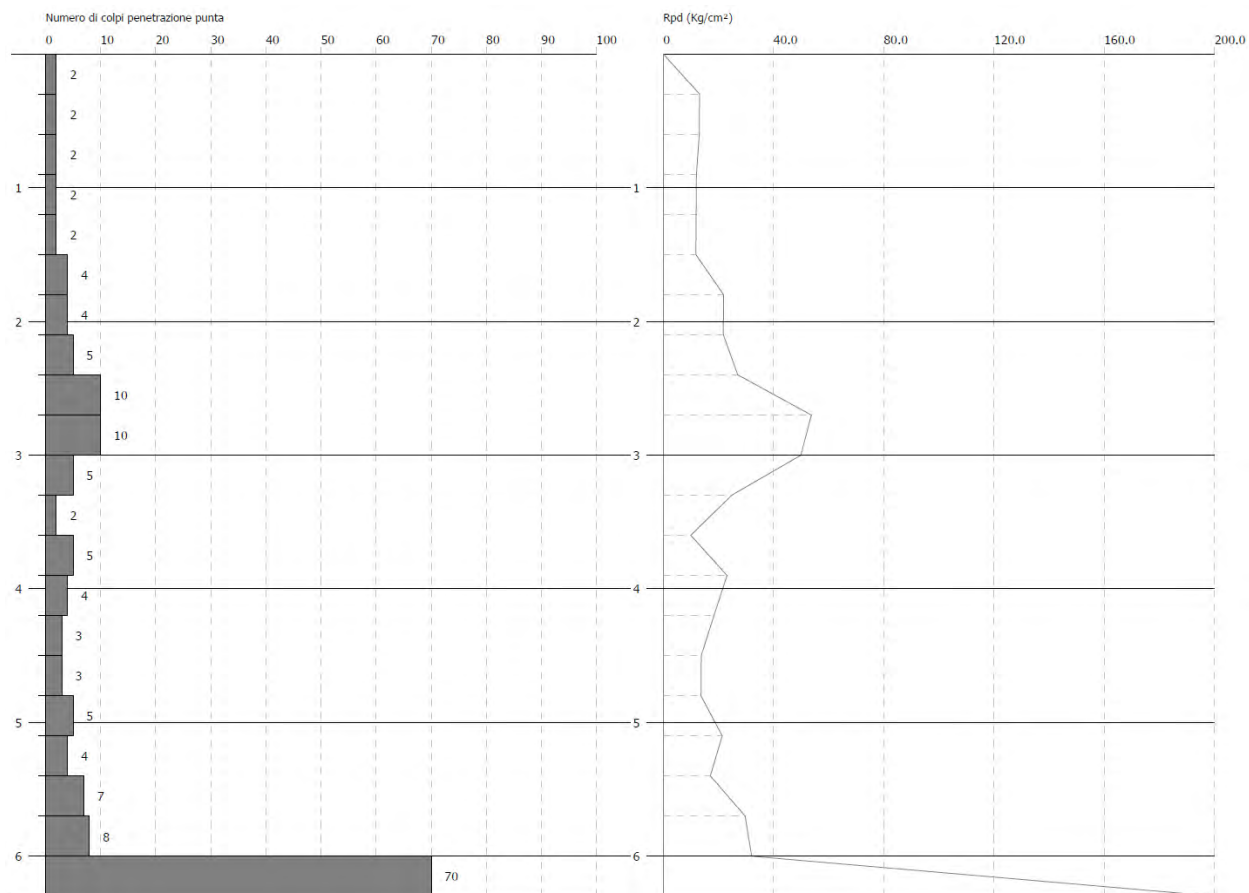
PROVA PENETROMETRICA SCPT 1



PROVA PENETROMETRICA SCPT 2



PROVA PENETROMETRICA SCPT 3



PROVA PENETROMETRICA SCPT 4

