



Via Faverio 2  
22079 Villa Guardia CO  
Tel. 031-5007224  
mail studio@geofrati.it

NUOVA CAPTAZIONE IN LOCALITÀ SAN GIOVANNI  
PER IL POTENZIAMENTO DEL SERVIZIO DI PUBBLICO ACQUEDOTTO

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**GEOTECNICA · SISMICA · AMBIENTALE**

ai sensi della D.G.R. 2616/2011 e del D.M.17/01/2018

COMUNE DI BELLAGIO (CO)

Aprile 2024

Committente: **COMO ACQUA** S.r.l.

PROFESSIONISTA INCARICATO:  
Dott. Geologo Frati Stefano



## INDICE

1 - PREMESSA .....	2
2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO - MORFOLOGICO .....	3
3 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO .....	7
4 - RISULTANZE STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE .....	8
4.1 - Studio geologico comunale .....	8
4.2 - Studio reticolo idrico minore (SRIM) .....	12
4.3 - Piano Gestione Rischio Alluvioni .....	13
4.4 - Altri studi .....	15
5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	16
5.1 - Sondaggio geognostico .....	16
5.2 - Prove SPT in foro di sondaggio e metodologia di elaborazione .....	17
5.3 - Prova di permeabilità tipo Lefranc .....	18
5.3 - Analisi granulometriche .....	20
5.4 - Analisi chimiche .....	20
5.5 - Sondaggio sismico verticale .....	21
6 - RISULTATI INDAGINI - MODELLO GEOLOGICO e GEOTECNICO .....	25
6.1 - Modello geologico .....	25
6.2 - Modello geotecnico .....	27
7 - ASPETTI SISMICI .....	29
7.1 - Inquadramento sismico .....	29
7.2 - Modello sismico .....	30
7.3 - Verifica alla liquefazione .....	31
8 - ASPETTI AMBIENTALI .....	32
8.1 - Quadro normativo .....	32
8.2 - Indagini ambientali svolte e risultati .....	34
9 - SCAVI .....	35

## ALLEGATI

- Stratigrafia sondaggio geognostico
- Report prova Lefranc
- Risultati analisi granulometriche
- Modello geotecnico
- Risultati analisi chimiche

## 1 - PREMESSA

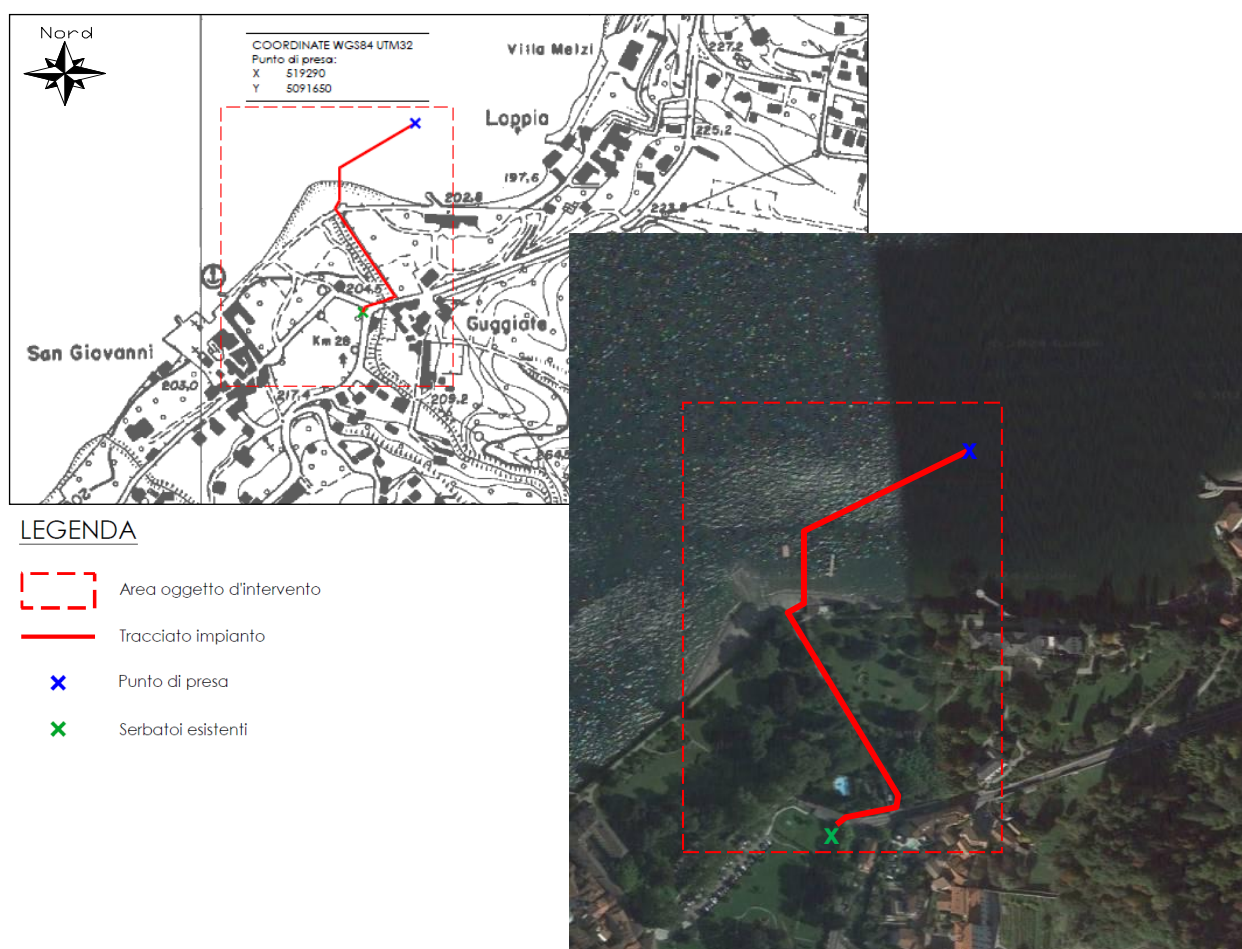
Su incarico di COMO ACQUA S.r.l. è stata redatta la presente relazione geologica, geotecnica, sismica ed ambientale a supporto del progetto esecutivo per la realizzazione di una nuova captazione di acqua da lago ad uso potabile, finalizzata al potenziamento del pubblico acquedotto di Bellagio (CO).

L'area oggetto dell'intervento è situata nel settore nord-occidentale del territorio comunale, in località San Giovanni.

La nuova infrastruttura sarà costituita da un manufatto in cemento armato interrato, dove saranno collocate le pompe, e da tubazioni di presa da lago e di adduzione alla vasca dell'acquedotto comunale (vedi elaborati progettuali dello Studio di Ingegneria Delta Srl).

Il punto di presa sarà ubicato ad una distanza di circa 120 m dalla linea di costa e ad una profondità di circa 37 m.

L'ubicazione del nuovo impianto di derivazione è riportata nella figura seguente su ortofoto digitale e CTR.



*Ubicazione area in esame su CTR e ortofoto digitale (fuori scala)*

La presente relazione, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito, a supporto alla progettazione strutturale del manufatto dove saranno collocate le pompe.

A tale scopo è stata condotta un'indagine geognostica che ha previsto una raccolta di dati geologici del territorio in cui ricade il sito, un rilievo di terreno e una campagna di indagini dirette ed indirette. Inoltre, sono stati analizzati criticamente i risultati delle analisi chimiche effettuate su due campioni di terreno per fornire indicazioni progettuali circa la gestione delle terre da scavo.

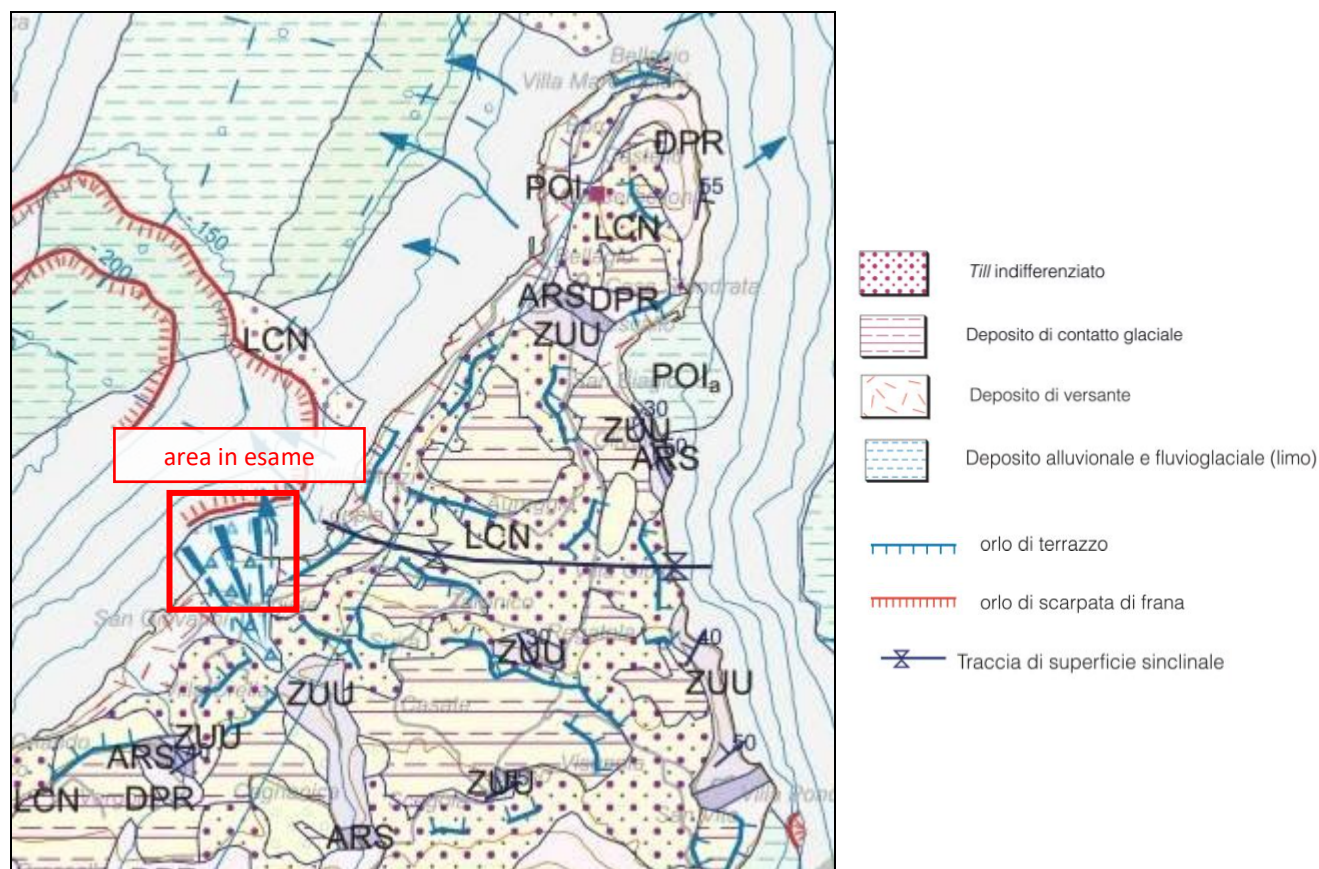
La presente analisi è stata effettuata ai sensi di:

- D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"
- d.g.r. 2616/2011 aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e simica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12"

## 2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO - MORFOLOGICO

Il territorio comunale di Bellagio si posiziona in un ambito geologicamente vario e complesso.

I versanti sono perlopiù impostati su substrato roccioso di natura sedimentaria, di età mesozoica.



Stralcio cartografia CARG - Foglio Como  
(ZUU: Calcare di Zu - ARS: Argilliti di Riva di Solto, DPR: Dolomia Principale, LCN: Supersintema dei Laghi)

Le formazioni affioranti nel territorio comunale (vedi estratto cartografia CARG) sono riportate di seguito, dalla più antica alla più recente:

- **Dolomia Principale (DPR)** (Norico): comprende dolomie di colore variabile da grigio biancastro a rosato. Sono presenti laminazioni algali, talora fitte e di spessore millimetrico e con livelli di brecce intraformazionali. La stratificazione si presenta da massiva a poco stratificata. Tale carattere è legato alle condizioni di sedimentazione subtidali, intertidali o sopratidali. Da quanto riportato in bibliografia, questa formazione ha uno spessore tra 800 m e 1000 m e si presenta spesso interessata da fenomeni di carsismo molto sviluppati.
- **Argillite di Riva di Solto (ARS)** (Norico): si tratta di argilliti ed argilliti marnose grigio nerastre fogliettate, spesso con laminazioni parallele, ricche di materia organica, organizzate in pacchi sino a plurimetrici. Sono inglobati noduli calcarei di colore giallastro in alterazione. I livelli di marne e calcari marnosi neri divengono via via più frequenti nella porzione superiore della formazione.
- **Calcare di Zu (ZUU)** (Retico): è costituito da calcari di colore grigio o grigio bluastro, con patine di alterazione di colore ocreo e giallastro. I calcari sono spesso intercalati da livelli marnosi ed argillitici, di spessore decimetrico fittamente laminati. La stratificazione è ben definita e mostra spessori da centimetrica a decimetrica. Lo spessore di tale formazione è variabile da 600 m presso il depocentro di Porlezza ai 300 m in corrispondenza dell'alto dell'Albenza. Tale formazione è suddivisibile in 3 o 4 membri, a seconda delle zone di affioramento e con caratteri differenziati. Al tetto della formazione, è presente un livello di calcare micritico riccamente fossilifero, con bivalvi e coralli, in strati decimetrici.

Il substrato roccioso risulta coperto da spessori variabili di coperture detritiche; nello specifico, affiorano depositi attribuibili al Supersintema dei Laghi (LCN) - Sintema di Cantù (o depositi wurmiani secondo la letteratura classica), così definiti:

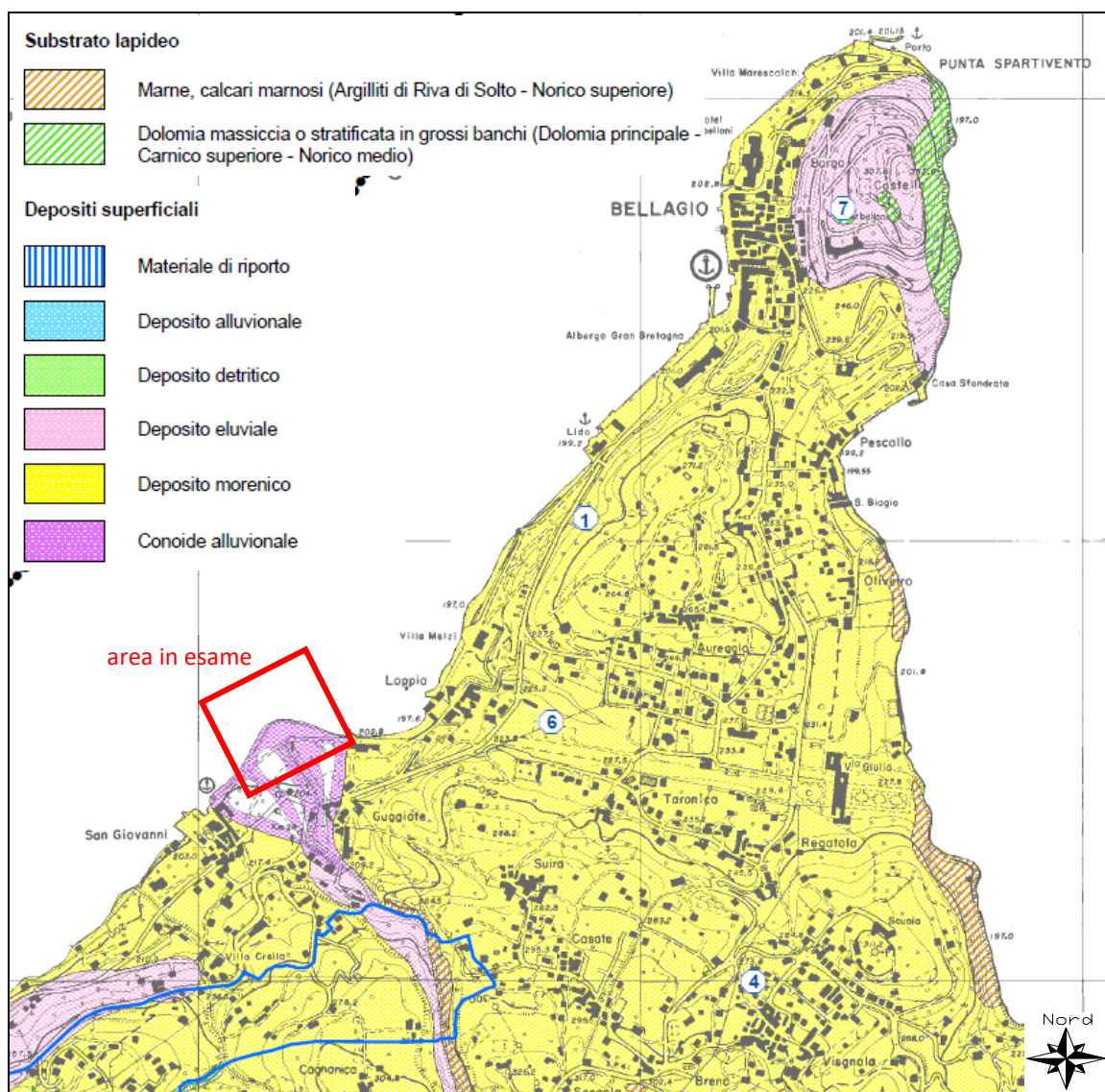
- **Depositi glaciali:** comprendono i sedimenti rilasciati dai ghiacciai che fluivano lungo l'incisione ora occupata dal Lario. Si tratta di till di ablazione, di alloggiamento e di colata ovvero ghiaie e blocchi, mal selezionati, massivi, in matrice limosa o sabbiosa. Questi terreni presentano una matrice fine, sono talora consolidati o sovraconsolidati, con parametri geotecnici, in genere, da medi a buoni.
- **Depositi di conoide alluvionale:** comprendono i sedimenti accumulatisi allo sbocco delle valli principali ed in direzione della confluenza con le sponde lacustri. Tali depositi si distinguono per la caratteristica forma a ventaglio. Questi depositi sono formati da un corso d'acqua a regime torrentizio allo sbocco di una valle montana in una pianura o in una valle più grande, ed è prodotto dalla sedimentazione del materiale in carico al corso d'acqua quando la corrente fluviale rallenta e si espande improvvisamente per una brusca diminuzione della pendenza topografica e per il venir meno del confinamento laterale. Litologica-



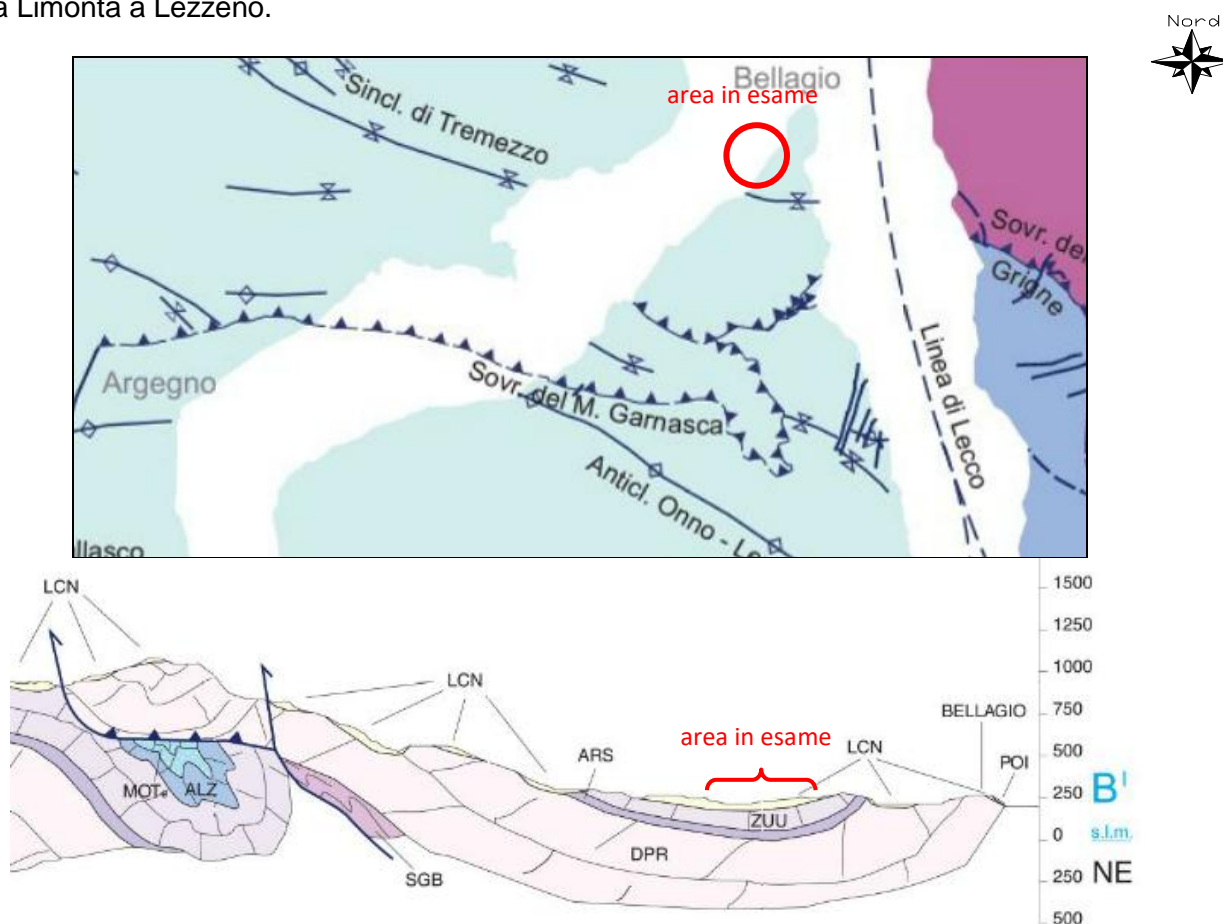
mente, sono costituiti da ghiaie e ciottoli, poco arrotondati, associati ed annegati in una matrice sabbiosa; essi sono spesso interessati da estesi fenomeni di cementazione. Frammisti a tali depositi si riconoscono, localmente, depositi di versante derivanti dalla disgregazione delle rocce del substrato roccioso.

- **Depositi di versante:** sono sedimenti di origine gravitativa od eluvio-colluviale costituiti da ghiaie e ciottoli immersi in percentuali variabili di matrice limosa, di colore marrone e connesse all'alterazione del substrato roccioso ed ai fenomeni di dinamica gravitazionale. Talora alcune porzioni di tali depositi si presentano cementate.

Nella cartografia allegata allo Studio geologico comunale (vedi figura seguente), in corrispondenza dell'area di intervento, affiorano i depositi della conoide alluvionale generata dal Torrente Perlo.



Dal punto di vista strutturale, nel comparto in esame, il substrato roccioso è interessato da pieghe di interesse regionale, con asse avente direzione WNW-ESE. A nord-est del sito in esame si osserva un piegamento sinforme a grande scala (Sinclinale di Loppia) mentre in direzione Sud è presente un sovrascorrimento che interessa da Est ad Ovest tutto il Triangolo Lariano, da Limonta a Lezzeno.



Schema strutturale (sopra) e sezione geologica nord-sud del Foglio Como (sotto) (fonte: carta CARG)

L'assetto geologico a grande scala è evidenziato nella sezione geologica sopra riportata, tratta dal foglio CARG Como.

Si osserva la chiara impronta geomorfologica dell'assetto geologico sulla morfologia del territorio comunale di Bellagio. Le morfologie più marcate dei versanti sono, infatti, associate alla presenza di Dolomia Principale affiorante (Punta Spartivento-Villa Serbelloni e Garnasca-Nuvolone). La sella morfologica a pendenza contenuta ove sorgono le frazioni di S. Giovanni, Guggiate, Casate, Visgnola, è associata alla presenza di rocce meno compatte (Argilliti di Riva di Solto, Calcare di Zu).

Il sito in esame si colloca sul fianco meridionale della sinforme, in un settore con substrato roccioso poco distante del passaggio tra le rigide dolomie appartenenti alla Dolomia Principale ed i calcari marnosi / argilliti delle Argilliti di Riva di Solto e del Calcare di Zu, oggetto in passato di coltivazione mineraria. Entrambi i litotipi risultano ricoperti dai depositi quaternari del Supersistema dei Laghi.

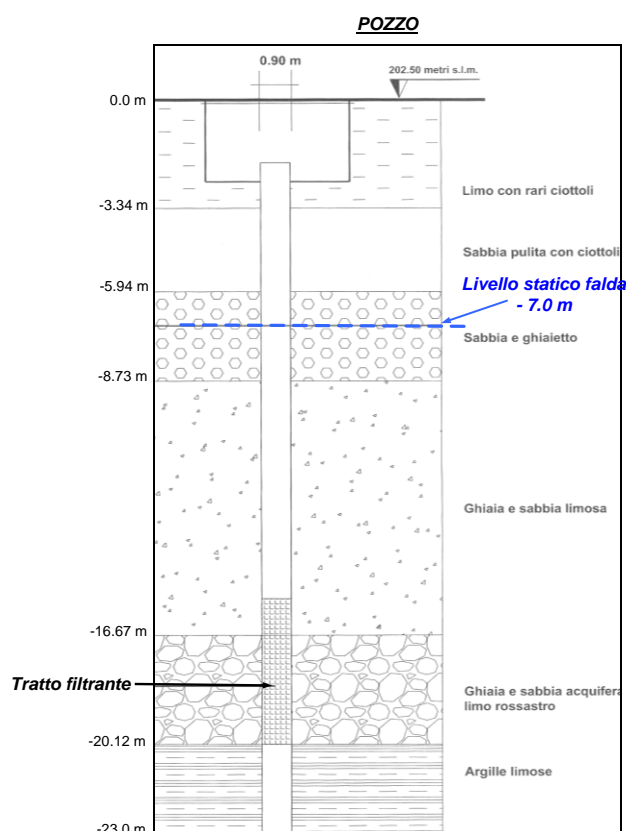
### 3 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrografico, nella parte settentrionale del territorio comunale non è individuabile un vero e proprio reticolo superficiale, pertanto, le acque superficiali tendono a disperdersi, scorrendo in modo prevalentemente diffuso verso il lago, lungo le superfici sostanzialmente regolari dei blandi versanti.

Nel settore territoriale in esame, l'asta principale è rappresentata dal torrente Perlo, che presenta un andamento abbastanza rettilineo, grossomodo con andamento dapprima Sud-Nord e successivamente da SE a NW.

Per quanto attiene l'assetto idrogeologico si ricava che il substrato roccioso è interessato da circolazione di tipo carsico, mentre nei depositi quaternari si osserva permeabilità per porosità. La circolazione idrica sotterranea nei depositi è influenzata dalla permeabilità dei depositi sciolti superficiali, quindi dalla presenza di orizzonti o lenti a maggiore o minore contenuto di frazione fine limoso- argillosa; il livello idrico della falda è inoltre influenzato dal livello del lago.

In località San Giovanni, a sud ovest del nuovo punto di presa, si segnala la presenza di alcuni pozzi pubblici ad uso idropotabile. Di seguito si riporta la stratigrafia di uno di questi pozzi.



I risultati desunti dal sondaggio geognostico condotto nell'area di intervento in data 28-29/02/2024 mostrano la presenza di un livello freatico superficiale posizionato a -0.35 m da p.c. inizio indagini (quota: 198 m s.l.m.), collegato con il livello del lago.



## 4 - RISULTANZE STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Sono stati analizzati i documenti disponibili, per quanto riguarda le tematiche di interesse di tipo geologico e idrogeologico, quali:

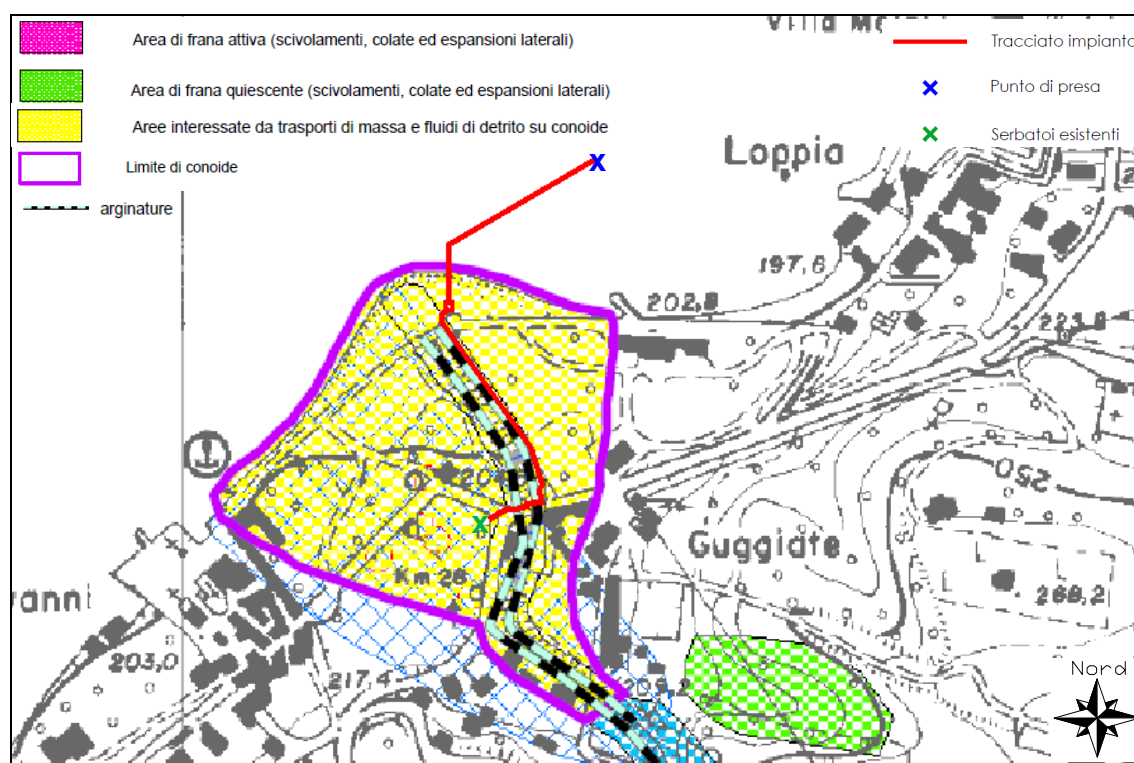
- Studio geologico comunale;
- Studio del Reticolo Idrico Minore (RIM);
- Cartografia del Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia;
- GEOIFFI - Inventario frane e dissesti della regione Lombardia;
- Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) - Autorità di bacino del fiume Po;
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Direttiva Europea 2007/60/CE.

### 4.1 - Studio geologico comunale

La componente geologica del PGT riporta aggiornamenti sino al 2013. Al fine di inquadrare le caratteristiche ed eventuali problematiche geologiche del sito, sono state analizzate le diverse cartografie costituenti tale elaborato.

#### Carta di Sintesi

Riporta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che la genera. Tale carta è costituita da una serie di poligoni che definiscono una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziale o da vulnerabilità idrogeologica.

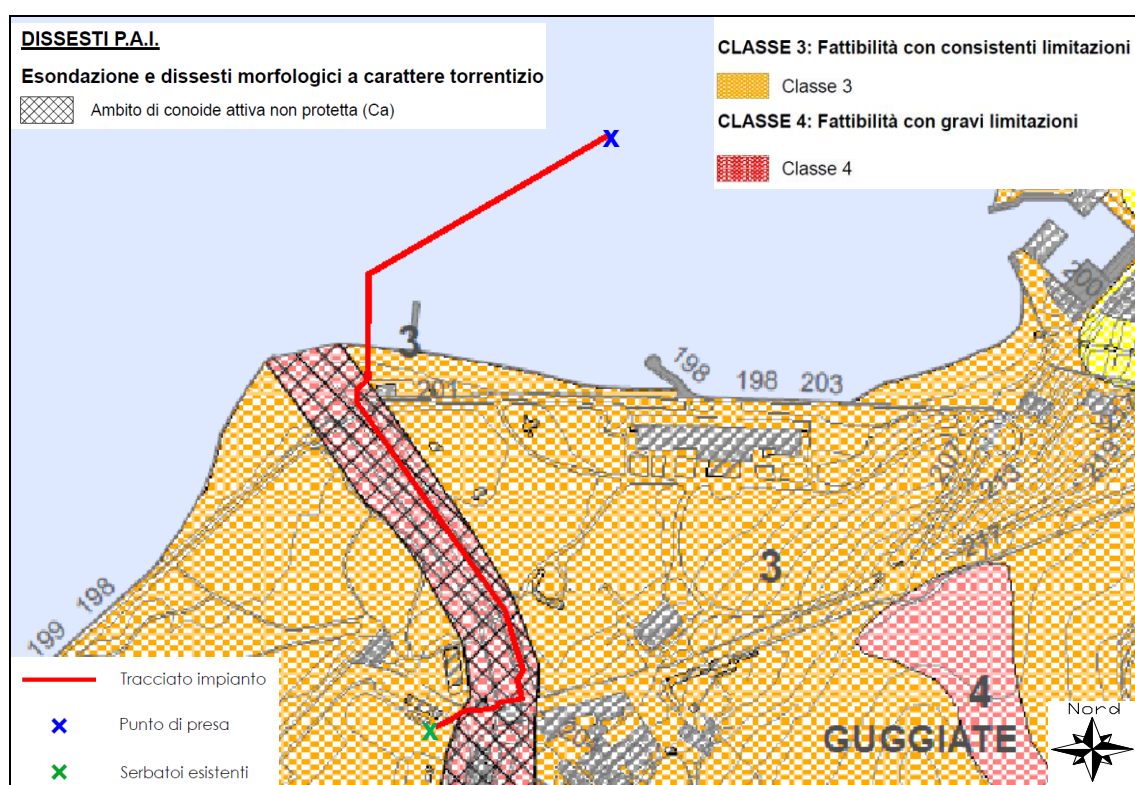


*Estratto Carta di Sintesi - Studio Geologico Comunale (non in scala)*

Per quanto riguarda le opere in progetto, parte del tracciato dell'impianto in progetto ricade nell'area interessata da trasporti di massa e fluidi di detrito su conoide.

### Carta di Fattibilità

I tematismi riportati nella carta di Sintesi portano alla definizione della *Carta di Fattibilità*, che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni e alle destinazioni di uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi e alle indagini da effettuare. In particolare, tale carta suddivide il territorio comunale in 4 classi di fattibilità geologica, con grado di problematicità crescente. Il tracciato dell'impianto in progetto ricade per la sua quasi totalità in **classe di fattibilità 4** (con gravi limitazioni) mentre l'area dove verrà realizzato il manufatto interrato e la condotta sublacuale verso il punto di presa a lago ricadono in **classe di fattibilità 3** (con consistenti limitazioni).



*Estratto Carta Fattibilità - Studio Geologico Comunale (non in scala)*

### Classe 3 (arancione) - Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Rientrano in questa classe le fasce di versante, dove i territori hanno pendenze mediamente elevate e/o sono interessati da fenomeni di dissesto superficiale e idrogeologico diretto, e le zone di fondovalle, dove possono esserci problemi legati a fenomeni alluvionali e/o di esondazione lacustre.

Le NTA comunali indicano per tale classe quanto segue.

*Gli interventi attuabili, fra tutti quelli previsti dal PRG nel differente azionamento dovranno essere assoggettati alle norme del presente articolo.*

*In particolare, per gli interventi proposti nel rispetto delle prescrizioni di NTA del PGT dovranno essere definite sia le caratteristiche meccaniche dei terreni, sia le condizioni di pericolosità dell'area in riferimento allo stato attuale e a quello di progetto.*

*L'analisi dovrà condurre anche ad una valutazione idrologica ed idrogeologica che valuti la possibile interazione della proposta.*

*Nel rispetto della normativa vigente (Testo unico ...), ogni nuova proposta edificatoria dovrà prevedere un'accurata valutazione geologica, idrogeologica e geotecnica. Si ritiene di escludere da tale obbligo gli interventi di ordinaria e straordinaria manutenzione e restauro (lettere a, b, c) come indicato dalla L.R. 12/2005, ovvero: [...]*

**IN PARTICOLARE:**

- 1. La caratterizzazione geotecnica delle terre e/o ammassi rocciosi mediante indagini in sito e/o laboratorio;*
  - 2. Analisi della pericolosità locale e valutazione della possibile interferenza con l'intervento prospettato e definizione degli interventi eventualmente necessari volti a mitigare il grado di pericolo evidenziato;*
- [...]*

#### Classe 4 (rossa) - fattibilità con gravi limitazioni

*L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.*

Nel territorio comunale di Bellagio, le aree ricadenti in tale classe comprendono le fasce di possibile esondazione, i versanti ad elevata pendenza e settori potenzialmente interessabili da dinamiche geologiche.

Le NTA comunali indicano per tale classe quanto segue.

*Nei territori individuati in questa classe è necessario impedire la realizzazione di nuove costruzioni che prevedano la presenza continuativa di persone; per le popolazioni residenti dovranno essere previsti idonei piani di protezione civile e potranno essere individuati sistemi di monitoraggio geologico a salvaguardia della pubblica incolumità.*

*Potranno essere realizzate infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico o private, ma di interesse pubblico (es. non esaustivo quali piste, acquedotti, linee elettriche, condotte, centrali elettriche, ecc.) a condizione che l'intervento non modifichi in senso peggiorativo gli equilibri idrogeologici esistenti: ciò dovrà essere dimostrato con studi specifici da valutare attentamente.*

*Tali infrastrutture sono realizzabili previa valutazione della loro compatibilità con lo stato di dissesto presente, solo se non altrimenti localizzabili.*

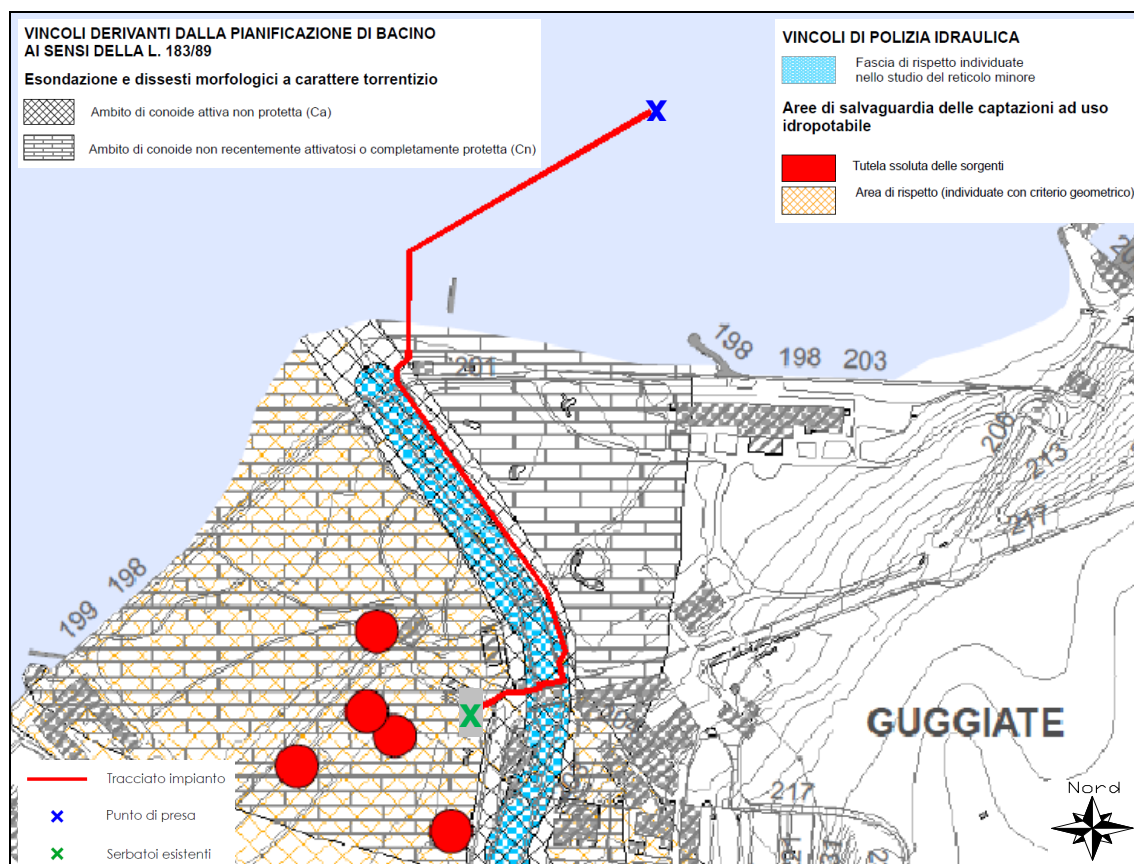
*L'efficienza, la funzionalità e la congruità delle opere di difesa idrogeologica presenti potranno contribuire alla definizione delle classi di fattibilità; in linea teorica la presenza di opere di difesa correttamente progettate, ben realizzate ed in ottimo stato di manutenzione può e potrà contribuire alla riduzione del rischio concernente un determinato fenomeno.*

*[...]*

## Carta dei Vincoli e Carta dei Dissesti PAI

Gli elementi segnalati nel sito in esame sono i seguenti.

- Ca, ambiti di conoide attiva o potenzialmente attiva non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte → area in fregio al T. Perlo, dove verrà posizionata la condotta premente tra il manufatto interrato e i serbatoi esistenti, corrispondente all'area in classe di fattibilità 4;
- Cn, aree di conoide non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa → area di conoide esterna alla zona Ca dove verrà realizzato il manufatto interrato e quota parte della condotta sublacuale, in direzione del punto di presa a lago, corrispondente all'area in classe di fattibilità 3;
- Vincoli di polizia idraulica: fascia di rispetto individuata nello studio del reticolo idrico minore di ampiezza pari a 10 m per sponda del T. Perlo, entro la quale ricade il tracciato della condotta premente tra il manufatto interrato e i serbatoi esistenti. In tale vincolo, il tracciato in progetto prevede anche l'attraversamento del corso d'acqua in corrispondenza del ponte su supporti esistenti;
- Zone di rispetto dei pozzi pubblici idropotabili in località San Giovanni: in tale vincolo ricade l'attraversamento del corso d'acqua da parte della condotta premente e il collegamento della stessa ai serbatoi esistenti.



Estratto Carta dei vincoli - Studio Geologico Comunale (non in scala)



Per quanto riguarda le aree PAI, le NTA (art. 9 - norme di attuazione PAI) indicano quanto segue.

Nelle **aree Ca** sono esclusivamente consentiti:

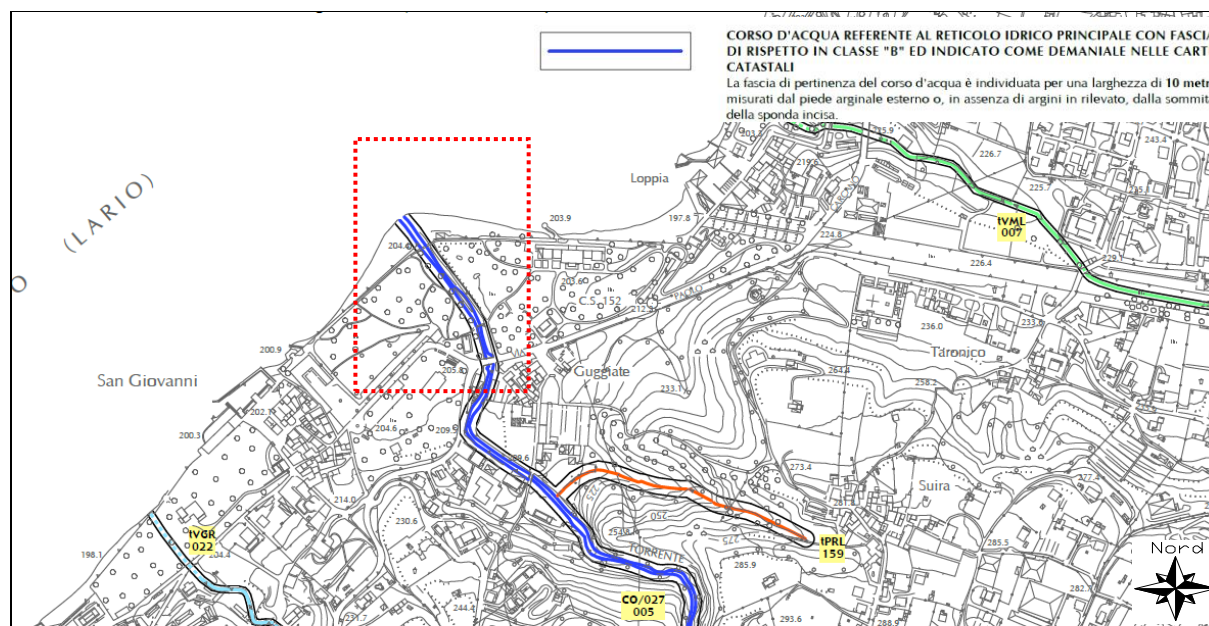
- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- [...]
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
- le opere di difesa e di sistemazione idraulica.

Nelle **aree Cn** compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225.

#### **4.2 - Studio reticolo idrico minore (SRIM)**

Lo strumento di riferimento per l'identificazione del reticolo idrografico è lo studio redatto ai sensi del d.g.r. 25/01/2002 n. VII/7868 e s.m.i. che permette alle Amministrazioni comunali di esercitare le attività di polizia idraulica sul reticolo di propria competenza (reticolo idrico minore). Tale studio è stato redatto nel 2005 ed in seguito recepito dallo studio geologico.

L'asta idrografica principale del territorio comunale è rappresentata dal Torrente Perlo, che scorre con direzione all'incirca S-N e va a sfociare nel lago in corrispondenza della località San Giovanni. Nel settore in esame, tale elemento idrico appartiene al Reticolo Principale quindi di competenza di Regione Lombardia.



*Estratto Carta di individuazione delle fasce di rispetto SRIM (non in scala)*

Come già evidenziato in precedenza (vedi estratto carta dei vincoli), il tracciato della condotta premente tra il manufatto interrato e il serbatoio ricade entro la fascia di rispetto idraulico, individuata nello studio del reticolo idrico minore, di ampiezza pari a 10 m per sponda del Torrente Perlo. Entro tale vincolo, il tracciato in progetto prevede anche l'attraversamento del corso d'acqua in corrispondenza del ponte pedonale esistente. Il manufatto interrato e la condotta sublacuale, in direzione della presa a lago, ricadono esternamente a tale vincolo.

#### **4.3 - Piano Gestione Rischio Alluvioni**

La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D. Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare, nel modo più efficace. Il PGRA, introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

Le mappe identificano gli ambiti territoriali omogenei distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico e alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

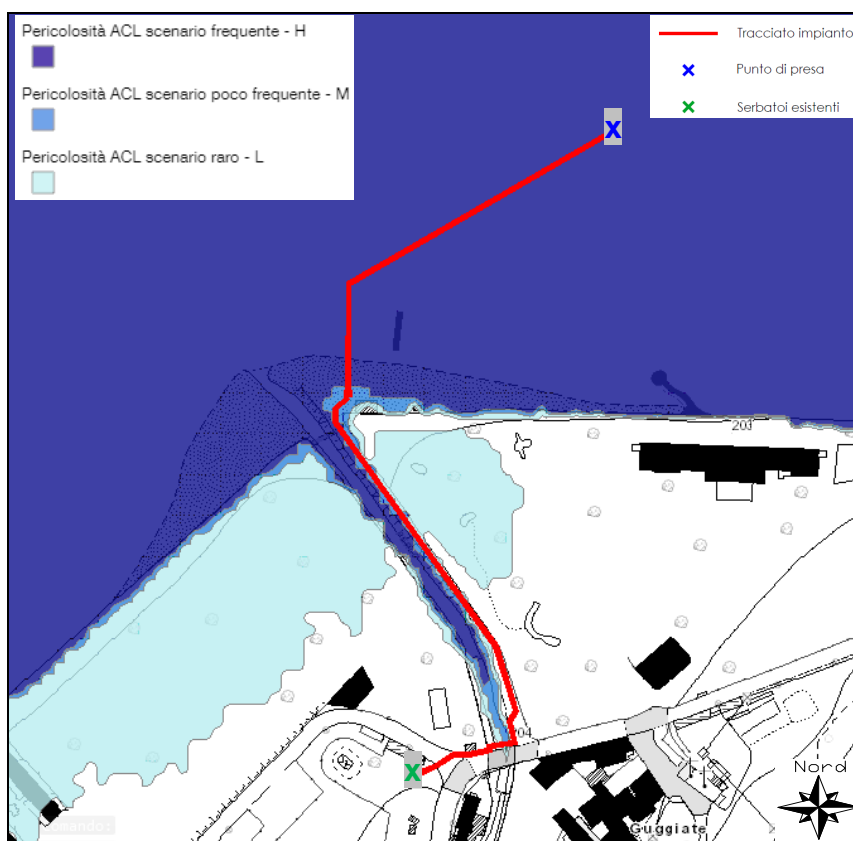
- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL).

##### **Aree costiere lacuali (ACL)**

L'ambito ACL, per quanto attiene il sito in esame (vedi estratto), interessa il T. Perlo per il tratto da lago al ponte di via Carcano con le seguenti intensità:

- Scenario raro L, ovvero aree potenzialmente interessate da alluvioni rare, corrispondenti al massimo storico registrato, con livello di stazionamento lacustre corrispondente a +3,97 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (livello lacuale: 201,497 m s.l.m.).
- Scenario poco frequente M, ovvero aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (Tr 100 anni), con livello di stazionamento lacustre corrispondente a +3,09 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (livello lacuale: 198,122 m s.l.m.).
- Scenario frequente H, ovvero aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (Tr 15 anni), con livello di stazionamento lacustre corrispondente a +2,41 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (livello lacuale: 199,937 m s.l.m.).

Il manufatto interrato in progetto ricade nello scenario poco frequente M mentre la presa a lago ricade nello scenario frequente H.



Estratto PGRA - Aree costiere lacuali (ACL) - non in scala

*Nelle aree interessate da alluvioni frequenti, poco frequenti e rare, compete alle Regioni e agli Enti locali, anche d'intesa con l'Autorità di bacino, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 e s. m.i..*

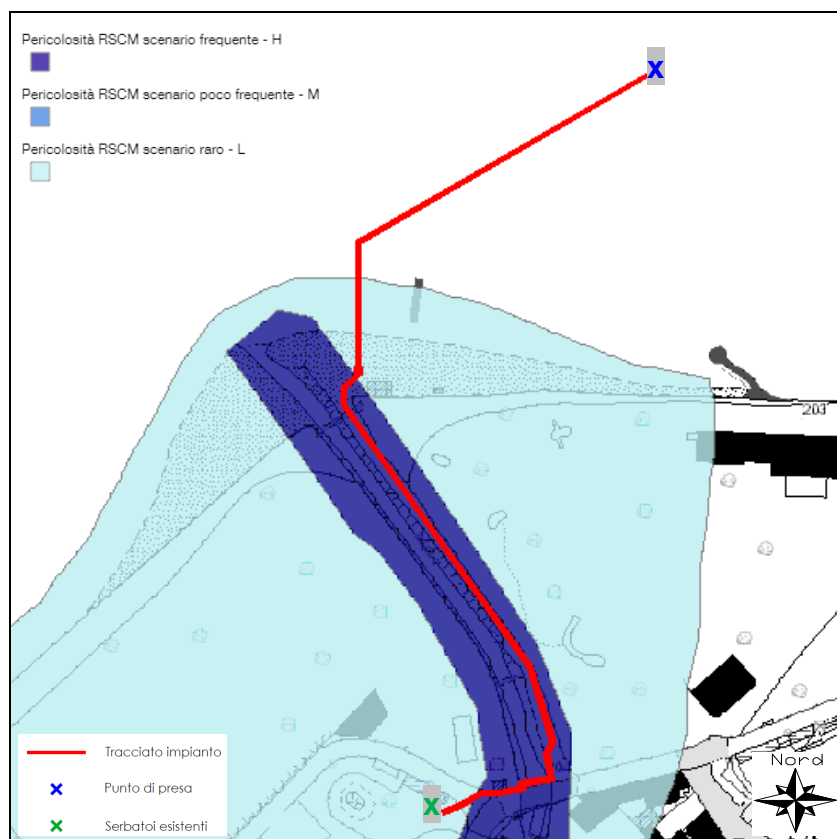
#### Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)

L'ambito RSCM, per quanto attiene il sito in esame (vedi estratto), interessa la zona di conoide del T. Perlo.

- Scenario raro L → zona di conoide – coincide con l'area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn) del PAI (vedi paragrafo 4.1);
- Scenario frequente H → comprende il T. Perlo e la fascia circostante e coincide con l'area di conoide attivo non protetta (Ca) del PAI (vedi paragrafo 4.1);

*Reticolo secondario collinare e montano (RSCM):*

- nelle aree interessate da alluvioni frequenti, sono vigenti le NTA del PAI per le aree Ee Ca;
- nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti, sono vigenti le NTA del PAI per le aree Eb e per le aree Cp;
- nelle aree interessate da alluvioni rare sono vigenti le NTA del PAI per aree Em e per le aree Cn.



*Estratto PGRA - Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM) (non in scala)*

Il manufatto interrato in progetto ricade nello scenario raro H.

#### **4.4 - Altri studi**

Sono stati analizzati i dati resi pubblici dai seguenti documenti:

- Geoiffi - Inventari delle frane e dei dissesti della Regione Lombardia;
- Cartografia del Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale.

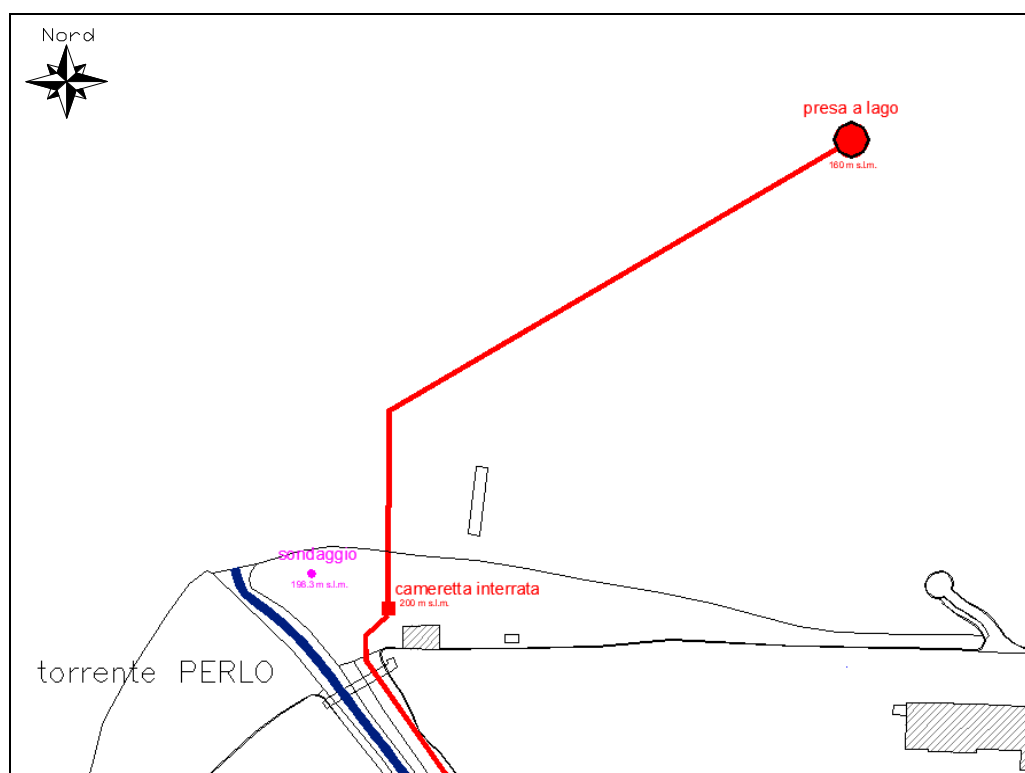
Nessuna di queste pubblicazioni segnala elementi differenti da quelli già indicati dagli studi precedentemente citati.



## 5 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 5.1 - Sondaggio geognostico

In data 28 e 29 febbraio 2024 è stato effettuato un sondaggio geognostico a carotaggio continuo dalla società S.In.Ge.A Srl di Montichiari (BS) utilizzando una sonda Nenzi Gelmina.



*Ripresa fotografica area durante esecuzione sondaggio geognostico e ubicazione su fotogrammetrico*

Per quanto riguarda la modalità di avanzamento è stato utilizzato il sistema a carotiere semplice con diametro di 101 mm. A seguito di ogni manovra si è proceduto all'approfondimento del tubo di rivestimento avente diametro di 127 mm per impedire il collasso del foro.

Durante l'avanzamento sono state effettuate n. 6 prove penetrometriche dinamiche (SPT).

I campioni estratti dai carotieri sono stati sistemati in apposite cassette catalogatrici e sono state ricostruite le stratigrafie litologiche delle carote estratte (vedi allegati).

Infine, sono stati prelevati n. 2 campioni disturbati da sottoporre ad analisi granulometrica e n. 1 campione da sottoporre ad analisi chimica.

Al termine della perforazione nel foro del sondaggio è stato installato un tubo piezometrico microfenestrato per il controllo del livello di falda locale.

Alla data di esecuzione del sondaggio è stato misurato un livello di -0.35 m da p.c., pari a 198 m s.l.m..



*Ripresa fotografica area a seguito posa piezometro*

## **5.2 - Prove SPT in foro di sondaggio e metodologia di elaborazione**

Le prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite nel foro di sondaggio permettono di determinare il grado di addensamento dei terreni lungo la verticale di indagine.

Si tratta di una prova puntuale e, quindi, si ottengono solo diagrammi discontinui in cui si ha la resistenza alla penetrazione in funzione della profondità.

La prova si esegue durante la perforazione e consiste nell'infiiggere nel terreno un tubo campionario di dimensioni standard o di una punta chiusa collegati alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,76 m.

La prova comporta un'infissione preliminare di 15 cm contando ed annotando il numero di colpi del maglio ( $N_1$ ), fino ad un massimo di 50 colpi. Successivamente si procede all'infissione del tratto di 30 cm contando ed annotando il numero di colpi relativi ai primi 15 cm ( $N_2$ ) in ed ai secondi 15 cm ( $N_3$ ) fino ad un massimo di 100 colpi per un avanzamento minore o uguale a 30 cm.

I valori riferiti ai primi 15 cm generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione.

$$N = N_{spt} = N_2 + N_3$$

Nelle indagini effettuate, considerata la litologia dei terreni, si è scelto di utilizzare la punta chiusa.



*Attrezzatura prova SPT*



*Punta chiusa*

E' stata apportata la correzione per terreni sotto falda  $\rightarrow N = 15 + 0,5 * (N-15)$

A tale valore sono poi stati applicati dei fattori di correzione al fine di riportare i valori ( $N_{spt}$ ) ad un'energia standardizzata al 60% secondo la seguente equazione:

$$N_{60} = N * C_E * C_B * C_S * C_R$$

e con la seguente equazione:  $C_E = E_R/60$

dove

$N$  = numero colpi per l'affondamento di 30 cm

$N_{60}$  = valore di  $N$  corretto per un'efficienza del 60%

$C_E$  = correzione rapporto energia

$C_B$  = correzione diametro foro

$C_S$  = correzione metodo di campionamento

$C_R$  = correzione lunghezza aste

$E_R$  = rendimento del sistema di battuta secondo la norma ASTM D-4633-86

Il valore  $N_{60}$  così ottenuto è stato normalizzato per la pressione litostatica efficace secondo la formulazione di Liao & Whitmann con la seguente relazione:

$$N1_{60} = N_{60} * CN$$

dove  $CN$  = coefficiente di Liao & Whitmann

### **5.3 - Prova di permeabilità tipo Lefranc**

Le prove di permeabilità in foro di sondaggio permettono di determinare la capacità drenante di terreni al di sopra o al di sotto del livello di falda. Nello specifico viene eseguita la perforazione fino alla profondità stabilita, viene rivestito il foro con tubi di rivestimento e viene quindi realizzata una sezione filtrante al fondo del foro, sollevando per una lunghezza prestabilita la colonna

di rivestimento o eseguendo un tratto di perforazione sotto la scarpa della colonna stessa. Tutto il tratto del foro non interessato dalla prova deve essere rivestito con una tubazione, e particolare cura va posta per evitare risalita dell'acqua all'esterno del tubo di rivestimento. Nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire, il tratto di prova deve essere riempito con materiale filtrante di granulometria adatta ed isolato mediante un tampone impermeabile.

Le prove possono essere condotte:

- con carico idraulico costante, mantenendo fisso il livello dell'acqua immessa nel tubo di rivestimento e misurando la portata di regime;
- a carico idraulico variabile, misurando la variazione nel tempo del livello dell'acqua nel foro, dopo aver creato un temporaneo innalzamento (o abbassamento, per prove eseguite al di sotto della falda acquifera) riempiendo il foro d'acqua (o emungendo acqua dalla falda).

Per l'indagine in esame, è stata realizzata una prova di permeabilità a carico variabile in abbassamento, condotta secondo le raccomandazioni A.G.I. ("Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"). La prova è stata eseguita nel foro di sondaggio a profondità compresa tra -4,5 e -5,0 m da piano campagna.

Le prove a carico variabile in abbassamento si eseguono riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello. Possono essere eseguite anche nel terreno al di sopra del livello di falda; in questo caso il terreno deve essere preventivamente saturato.

I passi per la sua esecuzione sono:

- misurare il livello della falda prima di eseguire la prova;
- alzare il livello del rivestimento e riempire con acqua fino all'estremità superiore del tubo;
- dal momento in cui si sospende l'immissione dell'acqua si inizia a misurarne il livello nel rivestimento ad intervalli di tempo frequenti, annotando ora, minuto e secondo di ciascuna lettura; gli intervalli di tempo, cioè la frequenza delle letture, verranno scelti basandosi sulla velocità di discesa dell'acqua nel rivestimento.

Per la prova a carico variabile, il coefficiente di permeabilità è stato ricavato dalla seguente formula:

$$k = \frac{A}{C_L(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$A$  = area di base del foro di sondaggio  
 $h_1$  e  $h_2$  = altezze dei livelli d'acqua nel foro rispetto al livello della falda indisturbata o al fondo del foro stesso agli istanti  $t_1$  e  $t_2$   
 $t_1$  e  $t_2$  = tempi ai quali si misurano  $h_1$  e  $h_2$   
 $C_L$  = coefficiente di forma dipendente dell'area del foro di sondaggio e dalla lunghezza del tratto di foro scoperto.

Per il coefficiente  $C_L$  sono suggeriti i seguenti valori:

$$\begin{aligned}
 L >> d & \quad C_L = L \\
 L \leq d & \quad C_L = 2\pi d + L
 \end{aligned}$$

dove  $L$  è la lunghezza del tratto di foro scoperto e  $d$  il diametro del foro.

I risultati sono riportati in allegato.



### **5.3 - Analisi granulometriche**

L'obiettivo dell'analisi granulometrica è quello di raggruppare, in diverse classi di grandezza, le particelle costituenti il terreno e di determinare successivamente le percentuali in peso di ciascuna classe, riferendole al peso secco del campione iniziale.

Le informazioni ottenute dalla prova vengono presentate sottoforma di curve, dove ad ogni diametro del setaccio considerato, viene indicata la percentuale in peso rispetto al campione secco iniziale, della frazione passante (percentuale in peso di campione che passa da un determinato setaccio). Allo scopo di visualizzare più facilmente la distribuzione del materiale, i diametri delle particelle sono rappresentati in scala logaritmica.

Il campione umido viene messo in forno per eliminare tutta l'acqua presente nel terreno. Si procede poi alla setacciatura che viene eseguita tramite una serie di setacci incolonnati uno sopra l'altro con maglie crescenti dal basso verso l'alto (con aperture fino a 0,074 mm).

Ove ritenuto necessario, per la componente più fine (diametro dei granuli  $<0,074$  mm), è stato applicato il metodo del densimetro (areometria). Il materiale viene immerso in un cilindro graduato, agitato e lasciato sedimentare. In tal modo è possibile misurare la densità del fluido in corrispondenza della parte mediana del cilindro (tramite densimetro) col passare del tempo e quindi calcolare le velocità di sedimentazione. Ciò si basa sulla legge di Stokes, secondo la quale si può determinare il diametro di una sfera avente il peso specifico noto, della quale sia nota la velocità di caduta, all'interno di un liquido di peso specifico e viscosità conosciuti.

Dai risultati dell'analisi granulometrica è possibile ricavare una stima del coefficiente di permeabilità mediante la relazione empirica proposta da Hazen che lega la permeabilità di un terreno alla granulometria e, in particolare, al D10.

Si ricorda comunque che tale stima è indicativa e, in linea teorica, è valida per sabbie uniformi con  $0,01\text{mm} < D_{10} < 3\text{ mm}$ ,  $CU < 5$ .

In corrispondenza del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni, denominati **S1C1** e **S1C2**, a profondità comprese tra -2,5 m e -3,0 m da p.c. e tra -5,5 e -6,0 m da p.c..

### **5.4 - Analisi chimiche**

Per poter caratterizzare chimicamente i terreni subaffioranti, durante l'esecuzione del sondaggio è stato prelevato un campione denominato **S1A1**, a profondità compresa tra -3,4 e -3,6 m da p.c.. Un secondo campione da sottoporre ad analisi chimica, denominato **S1A2**, è stato prelevato lungo la strada di accesso all'area (Via alla Spiaggia), a profondità compresa tra -0,3 e -0,4 m da p.c..

I campioni di terreno sono stati inseriti in appositi contenitori in vetro, etichettati e trasportati presso il laboratorio di analisi certificato. Al termine di ciascun campionamento si è provveduto alla pulizia accurata di tutti gli strumenti utilizzati (setacci, secchi e palette).



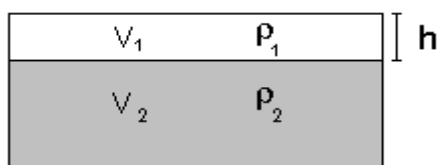
*Ripresa fotografica durante scavo per prelievo campione S1A2*

### **5.5 - Sondaggio sismico verticale**

Per una migliore definizione del modello geologico del sottosuolo del sito in esame, è stato effettuato un sondaggio sismico verticale, mediante sismica di tipo passivo in un'area limitrofa all'ambito di intervento.

Lo strumento di misura è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente ed è fornito di GPS interno. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Tale tecnica prevede l'acquisizione del rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre. L'utilizzo della tecnica HVSR comporta la misurazione di tali microtrempi naturali ed è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Si consideri il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ).



*Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità*

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati; l'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = VP1/(4 H)$$

mentre quella relativa alle onde S è :

$$f_r = VS1/(4 H).$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle profondità delle discontinuità, è in grado di fornire previsioni sulla velocità sismica degli strati.

Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime è poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'indagine ha previsto l'acquisizione del rumore sismico nelle sue tre componenti attraverso un tromografo digitale ad alta sensibilità (TROMINO®).

Lo strumento è dotato di tre velocimetri che misurano le componenti N-S, E-W, e verticale del tremore che vengono amplificate, digitalizzate e memorizzate nella memoria dello strumento. La durata di acquisizione è stata di 18 minuti. Il segnale acquisito è stato quindi rielaborato mediante software dedicato (Grilla®).

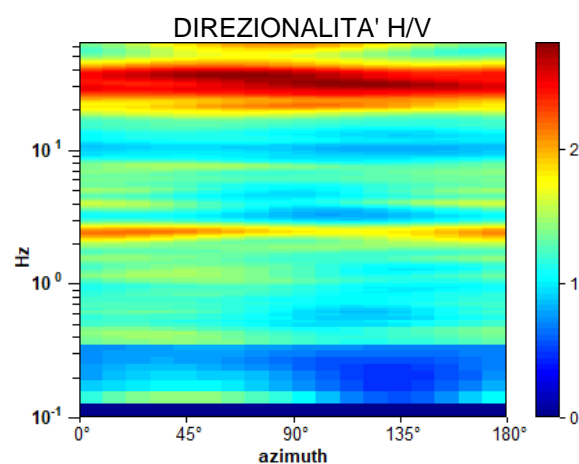
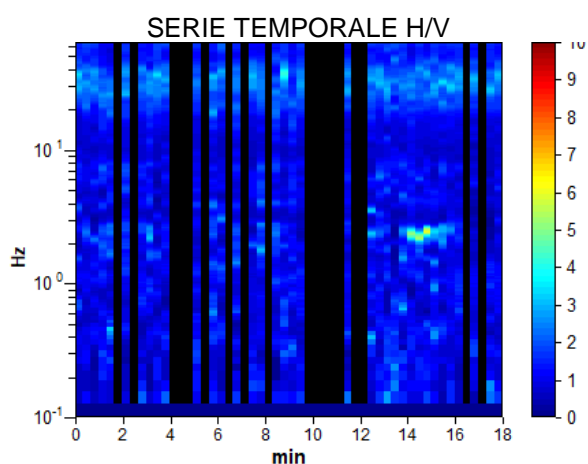
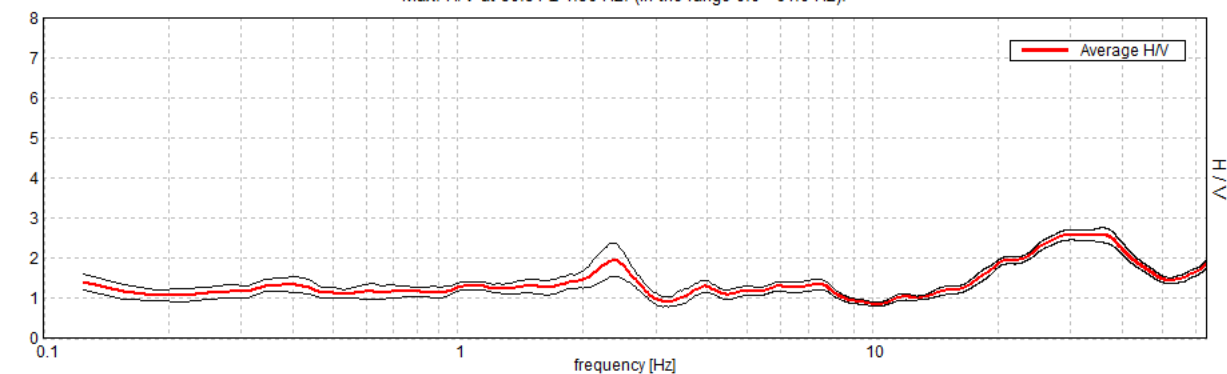


*Tromografo digitale*

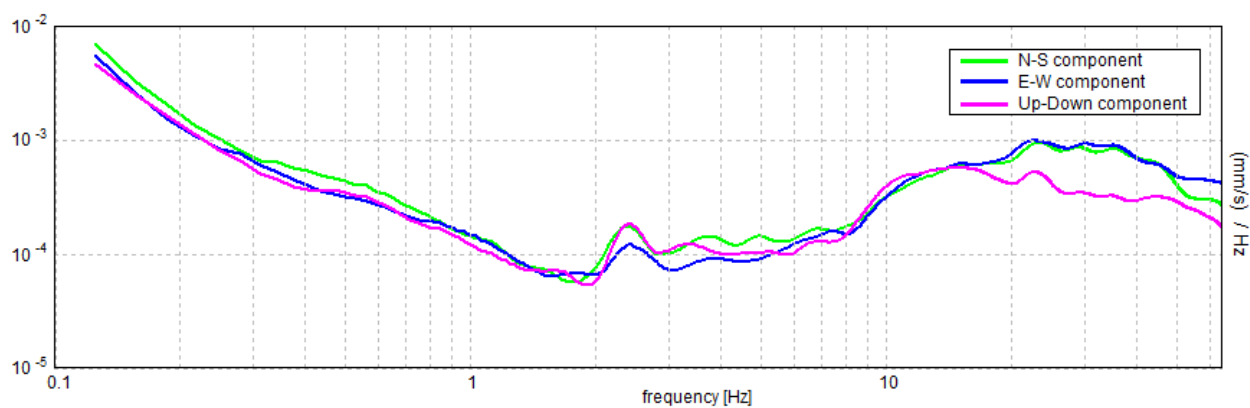
I diagrammi del sondaggio sismico eseguito sono riportati di seguito.

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $30.31 \pm 4.56$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



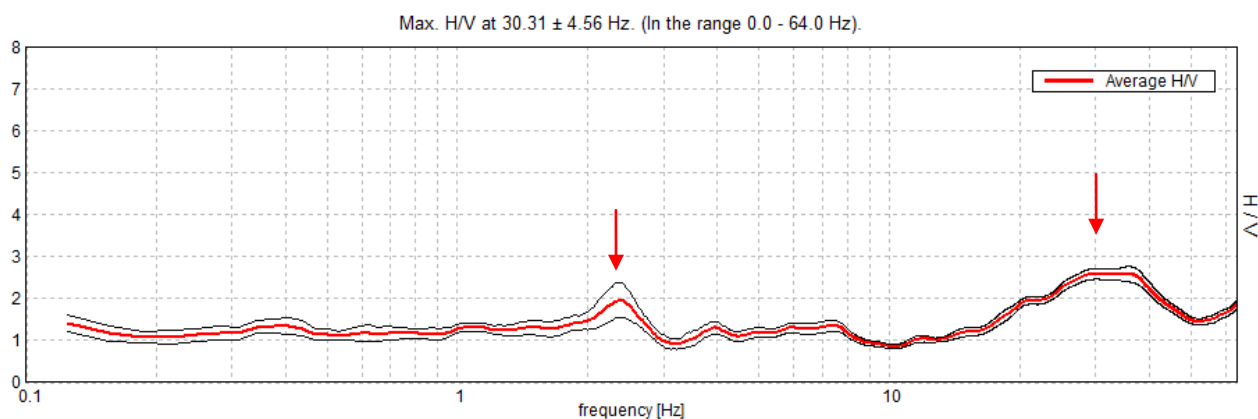
## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Nella figura seguente è sintetizzata la curva HVSR relativa alla prospezione svolta: le frecce indicano i picchi ascrivibili a contrasti di impedenza di natura stratigrafica.



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



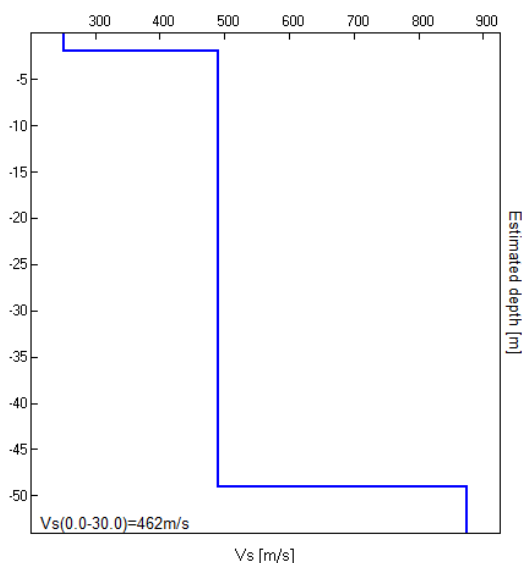
*Sintesi curva H/V. Le frecce indicano i contatti di natura stratigrafica*

Emerge quanto segue:

- È presente un picco a frequenza elevata (30,0 Hz), riferibile a discontinuità posta a bassa profondità dal p.c. (circa 2 m)
- È presente picco discretamente delineato, posto a 2,5 Hz, associabile al passaggio tra coperture e substrato roccioso. Ciò è ricavabile dal fatto che frequenze minori il rapporto H/V è pari ad 1, valore caratteristico del substrato roccioso.

Adottando i dati delle indagini geognostiche svolte come punti di taratura del metodo, è possibile procedere ad inversione del segnale sismico, ottenendo la stratigrafia sismica riportata di seguito.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	251	0.42
49.00	47.00	491	0.42
inf.	inf.	875	0.42



$Vs(0.0-30.0) = 462 \text{ m/s}$

L'indagine sismica consente di attribuire la categoria di sottosuolo B.

## 6 - RISULTATI INDAGINI - MODELLO GEOLOGICO e GEOTECNICO

Di seguito si sintetizzano i risultati delle indagini condotte. In allegato a fine testo si riportano la stratigrafia del sondaggio, le foto delle cassette catalogatrici e i risultati delle analisi granulometriche.

### 6.1 - Modello geologico

Le indagini hanno permesso di individuare la presenza di un unico orizzonte litostratigrafico denominato orizzonte A, presente da inizio sondaggio fino alla profondità di -10 m da p.c.. Si tratta di un orizzonte mediamente addensato, a comportamento granulare prevalente, costituito da livelli ghiaioso-sabbiosi con ciottoli e matrice limoso-argillosa.

\*\*\*\*\*

I campioni di terreno denominati S1C1 e S1C2 sono stati prelevati all'interno del foro di sondaggio e sono stati sottoposti ad analisi granulometrica. I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente.

Camp.	Prof. prelievo (m da p.c.)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	argilla (%)	Denominazione	Permeabilità (m/s)	Orizz.
S1C1	2,5 - 3,0	18,93	49,58	25,15	6,34	Ghiaia con sabbia ciottolosa debolmente limo-argillosa	$K = 1 \cdot 10^{-3}$	A
S1C2	5,5 - 6-0	0,00	58,23	37,58	4,19	Ghiaia con sabbia con tracce di limo	$K = 3,1 \cdot 10^{-3}$	A

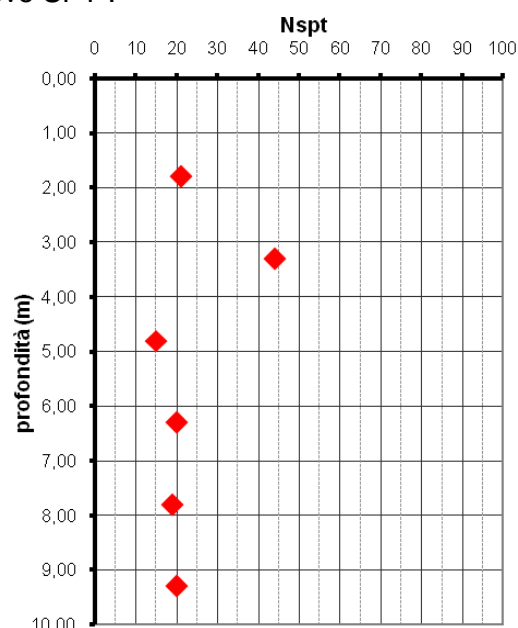
I risultati delle analisi si riferiscono al campione sottoposto a prova; in particolare, si fa notare che in essi non sono computati i ciottoli presenti ovvero clasti con dimensioni maggiori di 6 / 7 cm. Da evidenziare che alla profondità di 4 m da p.c. è stato incontrato un clasto metamorfico di dimensioni pari a circa 40-50 cm.

Per quanto riguarda la permeabilità il valore indicato in tabella è quello ricavato dalla relazione empirica di Hazen che lega la permeabilità alla granulometria ed in particolare al parametro  $D_{10}$ .

Si fa notare comunque che tale relazione permette di stimare, con una certa affidabilità, la permeabilità solo per terreni sabbiosi ( con  $0,1 \text{ mm} < D_{10} < 3 \text{ mm}$  e Coeff. Uniformità  $< 5$ ).

Durante il sondaggio state eseguite un totale di n. 6 prove SPT .

Sondaggio S1					
Orizz.	profondità (m)	N1	N2	N3	Nspt
A	1,50 - 1,95	7	10	11	<b>21</b>
	3,00 - 3,45	25	25	19	<b>44</b>
	4,50 - 4,95	5	8	7	<b>15</b>
	6,00 - 6,45	7	9	11	<b>20</b>
	7,50 - 7,95	9	9	10	<b>19</b>
	9,00 - 9,45	8	11	9	<b>20</b>



N.B.: - le profondità sono riferite da p.c. (quota inizio sondaggio)  
- i valori di Nspt qui riportati sono quelli ottenuti durante l'esecuzione delle prove e non i valori normalizzati

Applicando le correzioni descritte nel paragrafo 5.2 si ottiene quanto segue.

orizz.	profondità (m)	Nspt	Stato addensamento Nspt	Nspt corretto per falda	N <sub>60</sub>	N' <sub>60</sub>
A	1,50 - 1,95	<b>21</b>	moderatamente addensato	21	27	16
	3,00 - 3,45	<b>44</b>	addensato	44	43	28
	4,50 - 4,95	<b>15</b>	moderatamente addensato	15	19	15
	6,00 - 6,45	<b>20</b>	moderatamente addensato	20	19	17
	7,50 - 7,95	<b>19</b>	moderatamente addensato	19	17	17
	9,00 - 9,45	<b>20</b>	moderatamente addensato	20	17	18

## 6.2 - Modello geotecnico

I principali parametri geotecnici degli orizzonti discriminati sono stati determinati attraverso correlazioni proposte in letteratura, facendo riferimento al modello geologico.

I parametri sono stati ottenuti utilizzando le correlazioni di Autori differenti.

I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti.

### Sondaggio S1

orizz.	profondità (m)	Nspt	Nspt corr. falda	N <sub>60</sub>	N' <sub>60</sub>	Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> )	
						Yt	Ysat
A	1,50 - 1,95	21	21	27	16	1,88	2,18
	3,00 - 3,45	44	44	43	28	1,91	2,21
	4,50 - 4,95	15	15	19	15	1,73	2,03
	6,00 - 6,45	20	20	19	17	1,74	2,04
	7,50 - 7,95	19	19	17	17	1,71	2,01
	9,00 - 9,45	20	20	17	18	1,70	2,00

orizz.	profondità (m)	Nspt	Nspt corr. falda	N <sub>60</sub>	N' <sub>60</sub>	Angolo di attrito $\phi$ (°)						
						Wolff	Meyerhof	Sowers	Peck Hanson & Thor- burn	RBS	JNR	valore medio
A	1,50   -   1,95	21	21	27	16	34,7	34,7	35,5	34,7	35,0	35,0	34,9
	3,00   -   3,45	44	44	43	28	38,9	37,1	39,9	39,1	-	-	38,8
	4,50   -   4,95	15	15	19	15	32,6	32,4	33,4	32,6	31,9	32,7	32,6
	6,00   -   6,45	20	20	19	17	32,5	32,3	33,2	32,4	31,7	32,6	32,5
	7,50   -   7,95	19	19	17	17	32,0	31,6	32,7	31,9	30,9	32,0	31,8
	9,00   -   9,45	20	20	17	18	31,9	31,5	32,7	31,9	30,8	32,0	31,8

orizz.	profondità (m)	Nspt	Nspt corr. falda	N <sub>60</sub>	N' <sub>60</sub>
A	1,50 - 1,95	21	21	27	16
	3,00 - 3,45	44	44	43	28
	4,50 - 4,95	15	15	19	15
	6,00 - 6,45	20	20	19	17
	7,50 - 7,95	19	19	17	17
	9,00 - 9,45	20	20	17	18

Modulo elastico E (MPa)					
Tornaghi	Jambu	Schmer- tmann	Schultze- Menzen- bach	Webb	valore medio (kg/cm <sup>2</sup> )
27,8	30,0	30,9	15,6	14,7	243
37,1	45,5	54,9	21,9	20,5	367
26,7	25,3	28,5	15,0	14,1	223
29,1	30,9	33,9	16,4	15,4	256
28,9	28,8	33,3	16,2	15,3	250
29,3	28,3	34,3	16,5	15,5	253



Al fine dello svolgimento delle verifiche geotecniche richieste dalla normativa vigente (a cura del Progettista delle opere strutturali), si riportano di seguito i parametri geotecnici caratteristici dei vari orizzonti ritenuti idonei dallo Scrivente, sulla base delle indagini svolte e della tipologia di opere in progetto.

Sondaggio S1						
Orizz.	Profondità (m da p.c.)	Peso di volume $\gamma_{t_k}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Peso di volume saturo $\gamma_{sat_k}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza al taglio $\phi_k$ (°)	Modulo elastico $E_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione efficace $C_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	<b>da 0,0 a -10,0</b>	<b>1,75</b>	<b>2,05</b>	<b>32</b>	<b>220</b>	<b>0</b>

Sulla base di quanto riportato nelle tavole progettuali, si evince che l'opera in progetto fonderà in corrispondenza dell'orizzonte A.

Il Modulo di Winkler dell'orizzonte di posa (considerando terreno in falda) è il seguente:

-  $K_w = 0,4 \text{ kg/cm}^3$  (per fondazione di larghezza  $B = 2,6 \text{ m}$ )

In allegato si riporta il modello geotecnico schematizzato.

## 7 - ASPETTI SISMICI

### 7.1 - Inquadramento sismico

Per l'applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, è stata redatta una mappa della pericolosità sismica di base per tutto il territorio nazionale, con l'individuazione di quattro zone sismiche a pericolosità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4) e la formazione degli elenchi dei comuni compresi in ciascuna zona.

Ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso "range" di valori del parametro  $a_g$  corrispondente alla accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , secondo la seguente tabella.

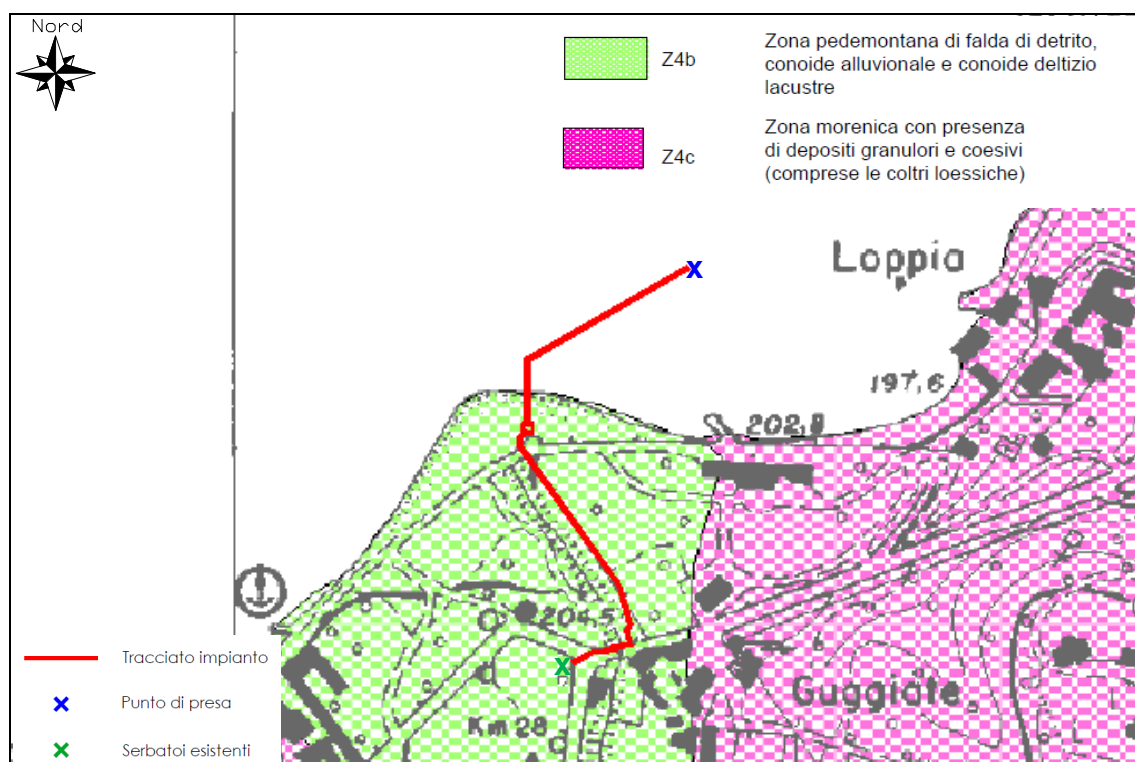
zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ $a_g/g$ ]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

- Zona 1: è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
- Zona 2: zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti
- Zona 3: zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti
- Zona 4: zona meno pericolosa; possibilità di danni sismici basse

La Regione Lombardia, con la d.g.r. 7 novembre 2003 n. 7/14964 "Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 recante primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha confermato la classificazione sismica dei singoli comuni proposta dalla OPCM sopracitata ed ha stabilito i modi e i tempi di applicabilità della nuova normativa sismica sia per le costruzioni esistenti che per quelle future.

Al Comune di Bellagio è stata attribuita la zona sismica 4. Tale attribuzione è stata riconfermata con d.g.r. n. X/2129 del 11/07/2014.

Lo studio geologico comunale individua nell'area in esame lo scenario di pericolosità sismica locale **Z4b** - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre (vedi figura).



Estratto Carta della pericolosità sismica locale - Studio Geologico Comunale (non in scala)

## 7.2 - Modello sismico

Il D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018) ha proposto una classificazione delle categorie di sottosuolo per l'utilizzo dell'approccio semplificato nelle verifiche sismiche.

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.

Si sottolinea che, per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie riportate nella tabella precedente, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

L'analisi sismica condotta ha permesso di attribuire al sito in esame (a partire dalla quota di imposta delle fondazioni) la **categoria B**.

Per la definizione dell'azione sismica locale con l'approccio semplificato, oltre che la categoria sismica di sottosuolo, è necessario determinare una categoria topografica facendo riferimento alla tabella seguente.

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 $i > 30^\circ$

Al lotto in esame è possibile attribuire una **categoria topografica T1**.

### **7.3 - Verifica alla liquefazione**

Le NTC richiedono di verificare che il sito sul quale è ubicato il nuovo manufatto risulti stabile nei confronti della liquefazione. Si definisce liquefazione, la riduzione di resistenza e/o rigidità causata durante il sisma, dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli. Ciò può avvenire e nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

Come consentito dal D.M. 17.01.18, viene omessa la verifica alla liquefazione in quanto gli eventi sismici attesi sull'area mostrano accelerazioni massime al piano campagna (stato limite SLV) minori di 0,1 g.



## 8 - ASPETTI AMBIENTALI

### 8.1 - Quadro normativo

La materia delle terre e rocce di scavo è disciplinata dal D.P.R. 13.06.2017, n. 120 (*Disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo*).

Con la delibera n. 54 del 2019 il SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) presieduto dal presidente dell'Ispra e composto dai legali rappresentanti delle agenzie e dal direttore generale di Ispra ha approvato il manuale "*Linee guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo*" all'interno del quale vengono affrontate alcune tematiche sulla normativa di settore e la cui finalità è definire un approccio comune e un'applicazione condivisa delle disposizioni stabilite dal DPR 120/2017.

Le terre e rocce da scavo sono definite come "*il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, tra le quali: scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee) - perforazione, trivellazione, palificazione, consolidamento - opere infrastrutturali (gallerie, strade) - rimozione e livellamento di opere in terra*".

Le terre e rocce da scavo possono contenere anche modeste percentuali di materiali non naturali quali ad esempio calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato, purché le terre e rocce contenenti tali materiali non presentino concentrazioni di inquinanti superiori ai limiti di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per la specifica destinazione d'uso.

Risulta opportuno ricordare che, ai sensi dell'art. 3 del D.P.R., sono esplicitamente esclusi dall'ambito di applicazione i rifiuti provenienti direttamente dall'esecuzione di interventi di demolizione di edifici o di altri manufatti preesistenti, che devono essere gestiti come rifiuti.

La gestione delle terre e rocce da scavo rientra nel campo di applicazione della parte IV del d.lgs. n. 152/2006. A seconda delle condizioni che si verificano, le terre e rocce da scavo possono assumere qualifiche diverse e conseguentemente essere sottoposte ad un diverso regime giuridico.

Le terre e rocce da scavo possono essere gestite come un rifiuto, un non rifiuto o un sottoprodotto.

1. Sono un rifiuto quando vengono osservati gli adempimenti della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06.
2. Sono un non rifiuto quando vengono rispettati i criteri fissati dall'Articolo 185 del D.Lgs. 152/06.
3. Sono un sottoprodotto quando vengono rispettati i criteri fissati dal DPR 13 giugno 2017 n.120.

Ognuna delle qualifiche giuridiche in cui possono rientrare le terre e rocce da scavo (rifiuti, sottoprodotti, esclusione dal regime dei rifiuti) è regolata da specifiche normative. Ciò premesso,

l'operatore può scegliere di gestire i materiali di risulta dagli scavi secondo uno dei suddetti scenari.

-----

Nel caso del punto 1 i materiali devono essere gestiti facendo riferimento alla disciplina dei ri-fiuti e si deve quindi sottostare alle norme e alle tecniche che regolano lo stoccaggio e il trasporto dei rifiuti (codice CER, Formulare ecc.).

-----

Affinché le terre da scavo possano essere gestite come non rifiuto la normativa di riferimento impone alcuni requisiti inderogabili:

- riutilizzo delle terre nell'ambito del medesimo sito di produzione;
- non contaminazione verificata mediante caratterizzazione chimica;
- riutilizzo allo stato naturale senza lavorazioni successive.

-----

Le terre e rocce da scavo possono essere considerate e gestite come sottoprodotto quando vengono rispettati i criteri fissati dal DPR 13 giugno 2017 n.120.

In sintesi devono essere valide le condizioni di seguito indicate:

- devono essere prodotte durante la realizzazione di un'opera, esserne parte integrante ma, al tempo stesso, non costituirne lo scopo primario;
- non devono essere trattate se non attraverso alcune procedure di "normale pratica industriale";
- devono essere conformi alla dichiarazione di utilizzo;
- devono soddisfare i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal regolamento.

Per la procedura per la gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto in cantieri di piccole dimensioni si deve far riferimento agli articoli di cui al Capo III del DPR (art. 20-21).

La sussistenza delle condizioni previste per la gestione come sottoprodotto, deve essere attestata dal produttore tramite la predisposizione della Dichiarazione di Utilizzo, resa ai sensi del DPR 445/2000 e la sua trasmissione, almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori di scavo, al comune del luogo di produzione e all'Agenzia di protezione ambientale territorialmente competente. Nella Dichiarazione di Utilizzo il produttore indica le quantità di terre e rocce da scavo destinate all'utilizzo come sottoprodotti, l'eventuale sito di deposito intermedio, il sito di destinazione, gli estremi delle autorizzazioni per la realizzazione delle opere e i tempi previsti per l'utilizzo. A lavori terminati è necessario produrre la Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo. Tale dichiarazione è resa dall'esecutore o dal produttore con la trasmissione, anche solo in via telematica, all'Agenzia di protezione ambientale competente per il sito di destinazione, al comune del sito di produzione e al comune del sito di destinazione.

## 8.2 - Indagini ambientali svolte e risultati

Per poter caratterizzare chimicamente i terreni subaffioranti, sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno.

Al fine di caratterizzare dal punto di vista chimico i terreni che saranno oggetto di scavo, per stabilirne le corrette modalità di smaltimento o riutilizzo, i campioni sono stati conferiti al laboratorio di analisi TECNOLOGIE D'IMPRESA Srl. I rapporti di prova sono allegati a fine testo.

Campione		Profondità di prelievo da p.c.	Tipologia
Sondaggio S1	S1A1	-3,4/-3,6 m	→ terreno naturale
Via alla Spiaggia	S1A2	-0,3/-0,4 m	→ terreno naturale

E' stato eseguito il seguente set analitico:

- *Metalli (arsenico, cadmio, cobalto, cromo, cromo VI, mercurio, nichel, piombo, rame, zinco)*
- *Idrocarburi pesanti (C>12)*
- *Amianto.*

Per quanto riguarda i limiti normativi di riferimento sono stati individuati nelle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) dell'Allegato 5 della Parte Quarta, del d.lgs. 152/06.

I risultati delle analisi chimiche condotte evidenziano come tutti i parametri ricercati presentano una concentrazione al di sotto dei limiti imposti per aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A).

Si fa presente che, data la natura puntuale dell'indagine, sia dal punto di vista chimico-analitico sia da quello litologico, in fase esecutiva sarà necessario accertarsi circa la continuità laterale degli orizzonti e le relative profondità. In caso si rilevino anomalie riguardo la natura o le caratteristiche organolettiche dei terreni di scavo o di fondo, sarà necessario procedere con ulteriori indagini chimiche di approfondimento.

Per quanto riguarda l'uso e/o il trasporto dell'eventuale materiale scavato che non verrà riutilizzato in sito dovrà adempiere a quanto previsto dalla normativa vigente.(D.Lgs. 152/06 s.m.i., e dal Decreto del Presidente della Repubblica del 13 giugno 2017 n°120 in vigore dal 22 agosto 2017).

Qualora la Committenza, i Progettisti e/o la ditta esecutrice scelgano di gestire il terreno di scavo in qualità di rifiuto, sarà necessario adempiere agli obblighi di legge previsti per i rifiuti e dovranno essere eseguite apposite analisi chimiche per la caratterizzazione del rifiuto.

Resta inteso che i materiali provenienti dalla parte superiore dello scavo, in presenza di opere viarie e di sottofondi, dovranno in ogni caso essere smaltiti come rifiuti.

## 9 - SCAVI

Le indagini geognostiche e i sopralluoghi effettuati hanno evidenziato una serie di problematiche (di seguito elencate) da affrontare e risolvere per una corretta progettazione/esecuzione delle opere:

- presenza di terreni granulari in falda con bassa capacità di autosostenersi;
- presenza di falda freatica ad alimentazione illimitata in quanto connessa al lago;
- presenza di terreni in genere molto permeabili;
- presenza di strutture nelle immediate vicinanze delle opere in progetto anche di elevato pregio storico;
- logistica di cantiere estremamente difficoltosa.

Gli interventi dovranno garantire le migliori condizioni di lavoro all'interno degli scavi, ossia condizioni che eliminino o riducano i fenomeni di:

- allagamento;
- franamento delle pareti di scavo;
- sifonamento/sollevamento al fondo dello scavo;
- sottospinta della falda con pericolo di galleggiamento delle opere di fondazione;
- cedimenti di strutture limitrofe per variazione dinamica del livello di falda.

Per ovviare ai problemi sopra elencati sarà possibile valutare l'utilizzo delle metodologie di intervento di seguito riportate o di altre non trattate ma ritenute più idonee dal Progettista delle strutture.

### Paratia di micropali

Per ovviare ai problemi di instabilità dei fronti di scavo è possibile valutare l'utilizzo di una paratia di micropali puntonata alla sommità.

Ovviamente tale soluzione non potrà comportare la completa tenuta idraulica dell'opera ma limiterà l'afflusso idrico all'interno dello scavo; la sua efficienza idraulica sarà direttamente legata all'interasse dei micropali e alle modalità esecutive degli stessi.

Nel caso i micropali risultassero di diametro non sufficiente, o non perfettamente allineati/distanziati, si potrebbero creare dei fenomeni importanti di infiltrazione e rifluimento dei terreni in falda verso lo scavo.

Al fine di migliorare la tenuta idraulica della paratia sarà possibile:

- 1 - realizzare due file di micropali normali, a interasse sfalzato e in parte sovrapposte in modo da creare una barriera poco permeabile al flusso idrico orizzontale;
- 2 - utilizzare dei micropali valvolati in modo da ottimizzare la continuità del cemento lungo la verticale della paratia;



- 3 - utilizzare dei micropali speciali (tipo I-C PILE) ossia tubi in acciaio sui quali sono saldati dei gargami con profilo speciale. Qualora necessario, il profilo femmina potrà essere riempito con un sigillante che permette di ottenere una tenuta stagna.

#### Infissione di palancole metalliche prefabbricate

La palanca è un elemento in acciaio, di opportuno profilo, provvisto di incastri (guida metallica o gargame) maschio-femmina che, collegati fra loro ed infissi nel terreno, formano un pannello continuo resistente alla spinta laterale del terreno e dell'acqua. A fine lavorazioni le palancole vengono sfilate e recuperate.

Se il terreno presenta uno strato impermeabile, per evitare il fenomeno del sifonamento, è opportuno infiggere le palancole fino a raggiungere lo strato con permeabilità minore. In assenza dello strato impermeabile, le palancole vanno infisse a una profondità tale da limitare il fenomeno del sifonamento ed il relativo trascinarsi della frazione fine del terreno.

La problematica principale di tale metodica è la messa in opera (vibroinfissione) in quanto necessita di macchinari di dimensioni importanti e produce delle forti vibrazioni nelle aree limitrofe.

#### Jet grouting

È una tecnologia che consiste nell'iniezione di un fluido stabilizzante (*acqua/cemento con l'eventuale aggiunta di additivi e/o bentonite*) ad altissima pressione nel terreno e che ha come scopo il consolidamento di volumi delimitati di terreno in posto al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche quali la capacità di autosostenersi e limitarne la permeabilità.

Il jet-grouting, che prevede diverse tipologie di trattamenti di consolidamento, consente di operare in una gamma di terreni estremamente ampia ed offre una notevole flessibilità di applicazioni.

Questa tecnologia permette l'ottenimento di colonne di terreno consolidato aventi diametri da un minimo di 60 cm fino ad arrivare a 200 cm.

L'utilizzo di colonne compenstrate garantisce una buona impermeabilizzazione dello scavo sia lungo le pareti che sul fondo (tappo di fondo).

La messa in opera di colonne di jetting determina un incremento di volume dei terreni in posto con possibili ripercussioni su manufatti ubicati nelle vicinanze.

Per ovviare ai problemi di infiltrazione delle acque di falda dal fondo scavo, sifonamento/sollevamento e sottospinta della falda con pericolo di galleggiamento delle opere di fondazione, se necessario, sarà possibile prevedere un tampone di fondo mediante iniezione di miscele specifiche atte a diminuire la permeabilità dei terreni e zavorrare il fondo scavo.

Si rimanda al Progettista la scelta della metodologia migliore in relazione agli aspetti tecnico-economici nonché logistici.

Di seguito si riportano delle considerazioni specifiche circa l'opera in progetto.

- Manufatto : opera di presa interrata
- Logistica di cantiere : discreta
- Terreni interessati dagli scavi: principalmente terreni moderatamente addensati, di natura granulare (sabbie e ghiaie limose)
- Altezza scavo : 5,5 m
- Battente idrico della falda : +3,5 m da fondo scavo (livello falda misurato il 29/02/2024)
- Battente idrico della falda riferito al livello massimo storico del lago : +5,5 m da fondo scavo
- Presenza di manufatti vicini : costruzione ricettiva in legno (ristorazione)
- Osservazioni : per l'eventuale scelta della metodologia a palancole metalliche infisse da valutare la possibile presenza di clasti di dimensioni fino a 50 cm. Per l'eventuale scelta della metodologia Jet grouting da valutare la natura dei terreni e la permeabilità degli stessi.

Si rimane a disposizione per eventuali chiarimenti.

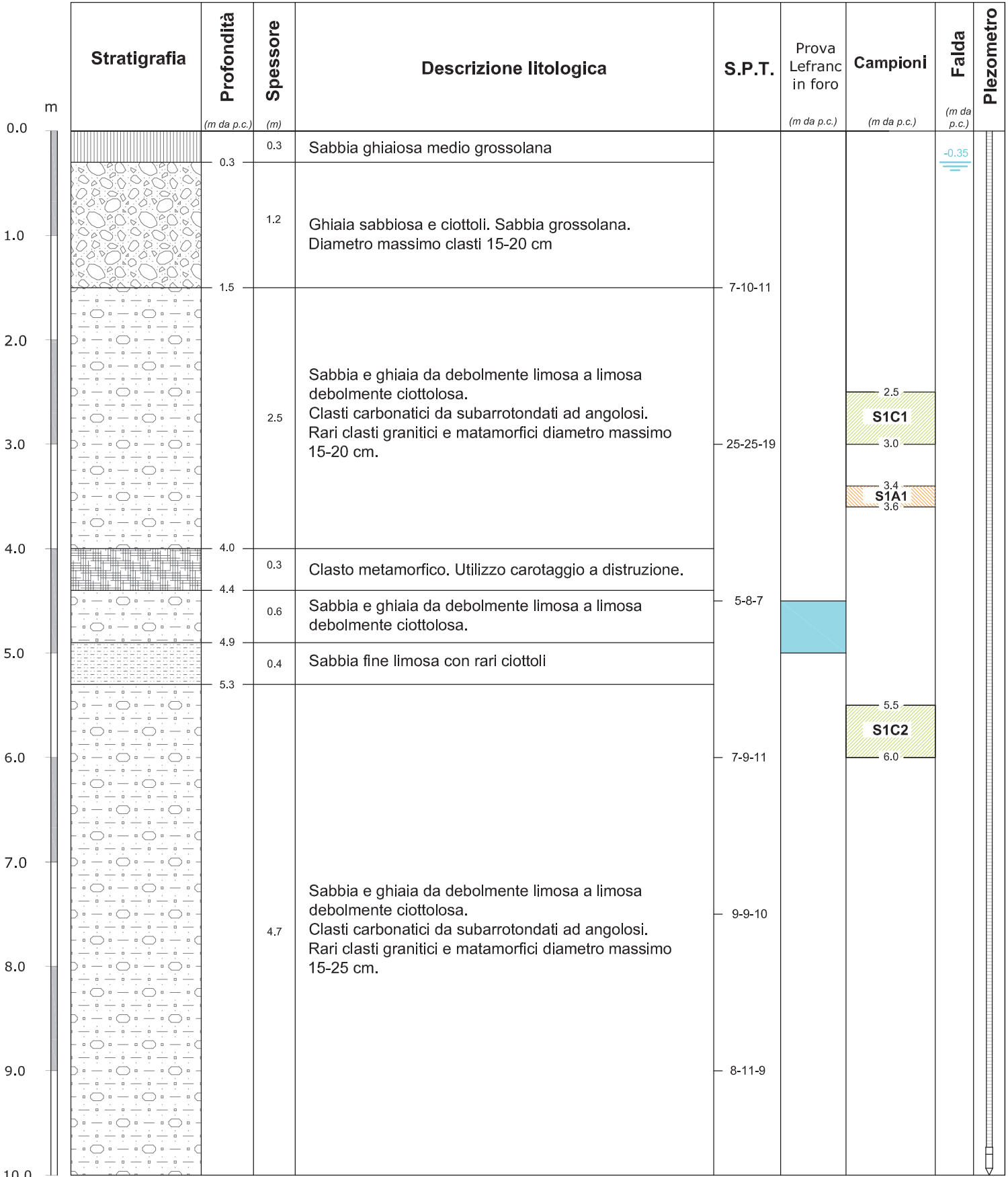
Villa Guardia, 18 aprile 2024

Dott. Geol. Frati Stefano



S1

Committente	COMO ACQUA S.r.l.
Località	Bellagio - Loc. San Giovanni
Data esecuzione	28/29 febbraio 2024
Indagine	Sondaggio a carotaggio continuo
Quota inizio	piano campagna sponda lacustre



Modalità di avanzamento: Carotiere Semplice      S.P.T. punta chiusa  
Carotaggio Ø 101 mm - Rivestimento Ø 127 mm



Campione sottoposto ad analisi granulometriche  
Campione sottoposto ad analisi chimiche



# S1

Committente	COMO ACQUA S.r.l.
Località	Bellagio - Loc. San Giovanni
Data esecuzione	28/29 febbraio 2024
Indagine	Sondaggio a carotaggio continuo
Quota inizio	piano campagna sponda lacustre



Cassa 1 da 0.0 a 5.0 m



Cassa 2 da 5.0 a 10.0 m



**DETERMINAZIONE PERMEABILITA' IN FORO A CARICO VARIABILE**  
**In accordo con le Raccomandazioni AGI Giugno,1977**  
**PROVA IN FALDA**

**COMMESSA**  
**LOCALITA'**  
**DATA**  
**SONDAGGIO**

PROVA N°

Profondità foro da p.c.	5 m
Profondità rivestimento da p.c.	4,75 m
Sporgenza tubo da p.c.	1 m
Profondità iniziale acqua nel foro da <b>testa foro</b>	0,0 m
Livello statico della falda da p.c.	0,35 m
Diametro del foro nel tratto di prova	0,101 m
Lunghezza tratto di prova	0,25 m
L/D	2,48 -
Area di base del foro	8,01E-03 mq

COEFFICIENTE DI FORMA

(funzione del rapporto di prova diametro/lunghezza)

0,25 -

$l \gg d$

$l < d$

Tempo (min)	Abbassamenti (m)	Livello (m)	K (m/s)
0	0,000	1,35	0
0,5	0,012	1,34	9,54E-06
1	0,035	1,32	1,85E-05
1,5	0,050	1,30	1,23E-05
2	0,065	1,29	1,24E-05
2,5	0,075	1,28	8,35E-06
3	0,090	1,26	1,26E-05
4	0,120	1,23	1,29E-05
5	0,150	1,20	1,32E-05
7	0,195	1,16	1,02E-05
10	0,260	1,09	1,03E-05
20	0,400	0,95	7,34E-06
25	0,480	0,87	9,40E-06

1,00

0,99

0,97

0,96

0,95

0,94

0,93

0,91

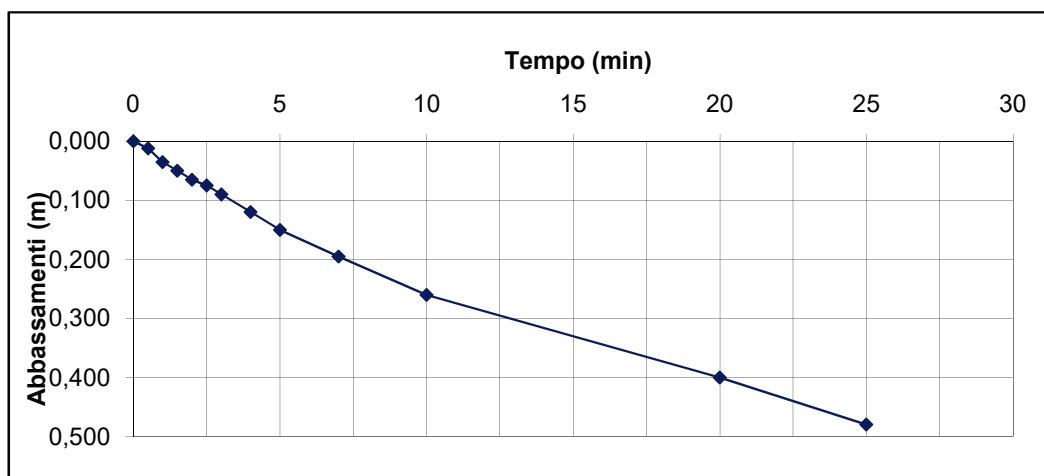
0,89

0,86

0,81

0,70

0,64



**K media**      **1,14E-05 m/sec**

Dott. Stefano Frati  
*Via Faverio, 2 – Villa Guardia (CO)*  
Como Acque S.r.l.  
*Via Borgo Vico, 148 – Como (CO)*

Prove di laboratorio  
*Analisi granulometriche*

Bellagio (CO)  
*Località San Giovanni*

Potenziamento Acquedotto

*Il giorno 08 marzo 2024 ci sono stati consegnati, presso il ns. laboratorio, n° 2 sacchetti contenenti materiale da sottoporre alle seguenti analisi:*

- *Analisi granulometrica*

*Le prove iniziate il giorno 08 marzo 2024 sono state terminate il giorno 13 marzo 2024.*

*Di seguito sono riportati i certificati delle prove eseguite.*

Mariano Comense, 13 marzo 2024

Dott. E. Croce  
LABORATORIO GEOTECNICO  
**CROCE**  
Via San Primo, 2 - Mariano Comense CO

L3909.fl/24.cc

# INDICE

## *TABELLE RIASSUNTIVE*

<i>Riepilogo risultati prove sondaggio S1</i>	.....	tab. n° A
---	-------	-----------

## *PROVE DI LABORATORIO*

### Scheda Campioni

### SONDAGGIO S1

#### Campione C1

<i>Apertura campione</i>	.....	pag. n° 01
<i>Analisi granulometrica</i>	.....	pag. n° 02

#### Campione C2

<i>Apertura campione</i>	.....	pag. n° 03
<i>Analisi granulometrica</i>	.....	pag. n° 04

## SCHEDA CAMPIONI

Sondaggio	Campione Profondità	Tipologia campione	Tipologia prove	Normativa
S1	C1 2,50 – 3,00	Rimaneggiato	Apertura campione Analisi Granulometrica	Raccomandazioni AGI ASTM D 422-92
	C2 5,50 – 6,00	Rimaneggiato	Apertura campione Analisi Granulometrica	Raccomandazioni AGI ASTM D 422-92

NOTE

I campioni sono stati prelevati dai Vs. tecnici.

Le analisi granulometriche sono state eseguite per via umida.

I risultati delle analisi si riferiscono al campione sottoposto a prova.



## TABELLE RIASSUNTIVE

L3909.fl/24cc

# SONDAGGIO S1

CAMPIONE N°		C1	C2			
PROFONDITA'	da z. r.					
da	m	2.50	5.50			
a	m	3.00	6.00			
ANALISI GRANULOMETRICA						
d > 76.200	%	18.93	0.00			
76.200 > d > 4.760	%	49.58	58.23			
4.760 > d > 0.074	%	25.15	37.58			
0.074 > d		6.34	4.19			

N. B. : Le profondità sono riferite al piano campagna (z. r.)

	Operatore <i>Dott. L. Croce</i>	Lavoro n° L3909.f1/24 tab. A
--	------------------------------------	---------------------------------

Laboratorio Geotecnico Croce - Via S. Primo, 2 - 22066 Mariano C.se (CO)  
 Contatti : fisso 031750824 mobile 3356876801 – email : crocelab@live.it

## PROVE DI LABORATORIO

L3909.f1/24.cc

## SONDAGGIO S1


L3909.f1/24.cc

# APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO

Raccomandazioni AGI

Sondaggio S1	Campione C1	Profondità 2.50 – 3.00	Zero di rif. p. c.
Data prelievo 28.02.2024	Data arrivo laboratorio 08.03.2024	Data inizio prove 08.03.2024	Data fine prove. 13.03.2024

<b>Descrizione litologica del campione</b> Colori : Soil color chart MUNSELL
Ghiaia con sabbia ciottolosa debolmente limo – argillosa. Colore 2,5 Y – 4 / 2 marrone grigiastro scuro.

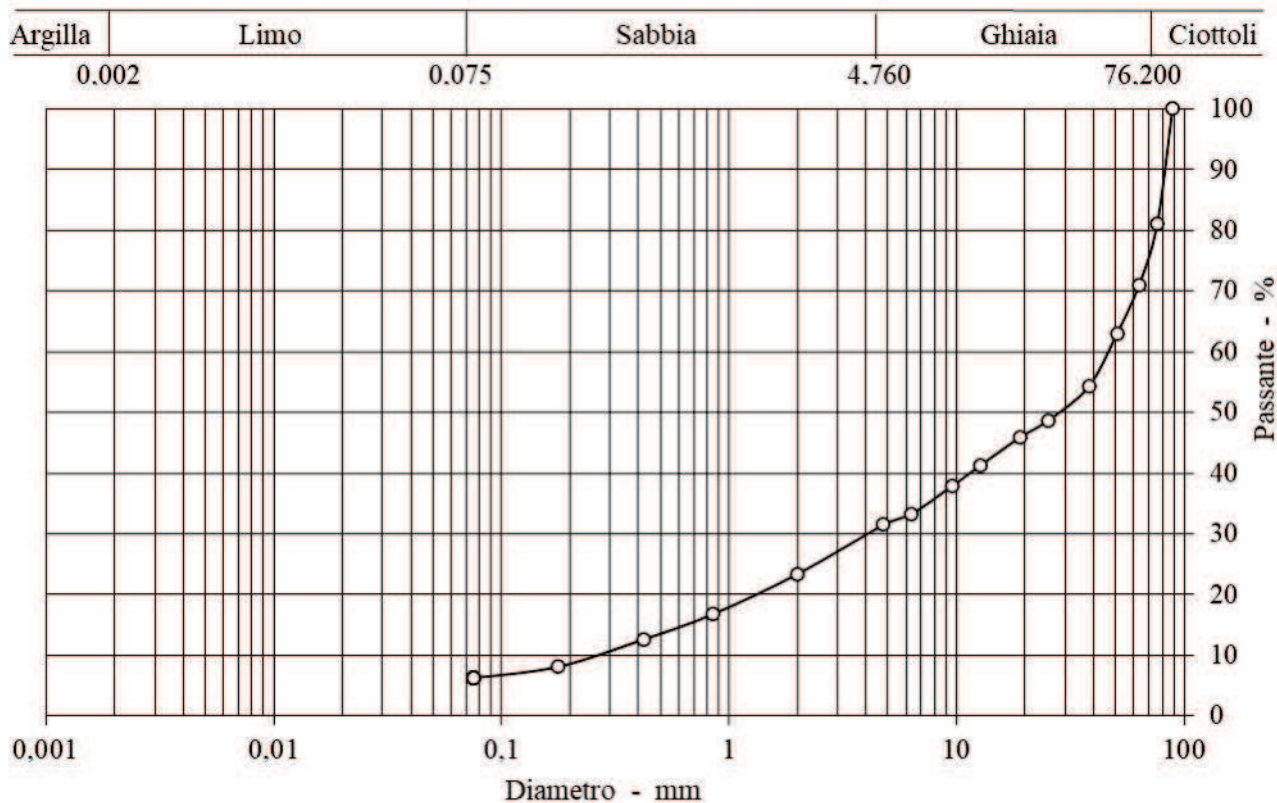
	Operatore 	Lavoro n° L3909.f1/24 pag. 01
--	--	----------------------------------



# ANALISI GRANULOMETRICA

Norma ASTM D422 - 92

Sondaggio <b>S1</b>	Campione <b>C1</b>	Profondità <b>2.50 - 3.00</b>	Zero di rif. <b>p. c.</b>
------------------------	-----------------------	----------------------------------	------------------------------




Setacciatura		Aerometria	
diametro mm	passante %	diametro mm	passante %
101,600	0,00		
88,900	100,00		
76,200	81,07		
63,500	71,07		
50,800	63,07		
38,100	54,28		
25,400	48,74		
19,050	45,94		
12,700	41,26		
9,520	37,86		
6,350	33,31		
4,760	31,49	<b>Classi granulometriche</b>	
2,000	23,44		
0,850	16,84		
0,420	12,67		
0,177	8,18		
0,075	6,34		

Diametri		
Passante 60%	D60	46,8640
Passante 50%	D50	28,2880
Passante 30%	D30	4,2490
Passante 10%	D10	0,2700
Coefficienti		
Uniformità	U	1,74E+02
Curvatura	C	1,43E+00
Permeabilità (cm/sec)	k	1,04E-01

Peso specifico (valore assunto)	n. d.
---------------------------------	-------

Descrizione
Ghiaia con sabbia ciottolosa debolmente li - mo-argillosa.

Note - Osservazioni
Il coefficiente di permeabilità "k" è stato calcolato con la formula di Hazen. Il valore così calcolato è indicativo.

Certificato n° <b>3909.f1-01</b>	Operatore 	Lavoro n° <b>L3909.f1/24 pag. 02</b>
-------------------------------------	--	---

# APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO

Raccomandazioni AGI

Sondaggio S1	Campione C2	Profondità 5.50 – 6.00	Zero di rif. p. c.
Data prelievo 28.02.2024	Data arrivo laboratorio 08.03.2024	Data inizio prove 08.03.2024	Data fine prove. 13.03.2024

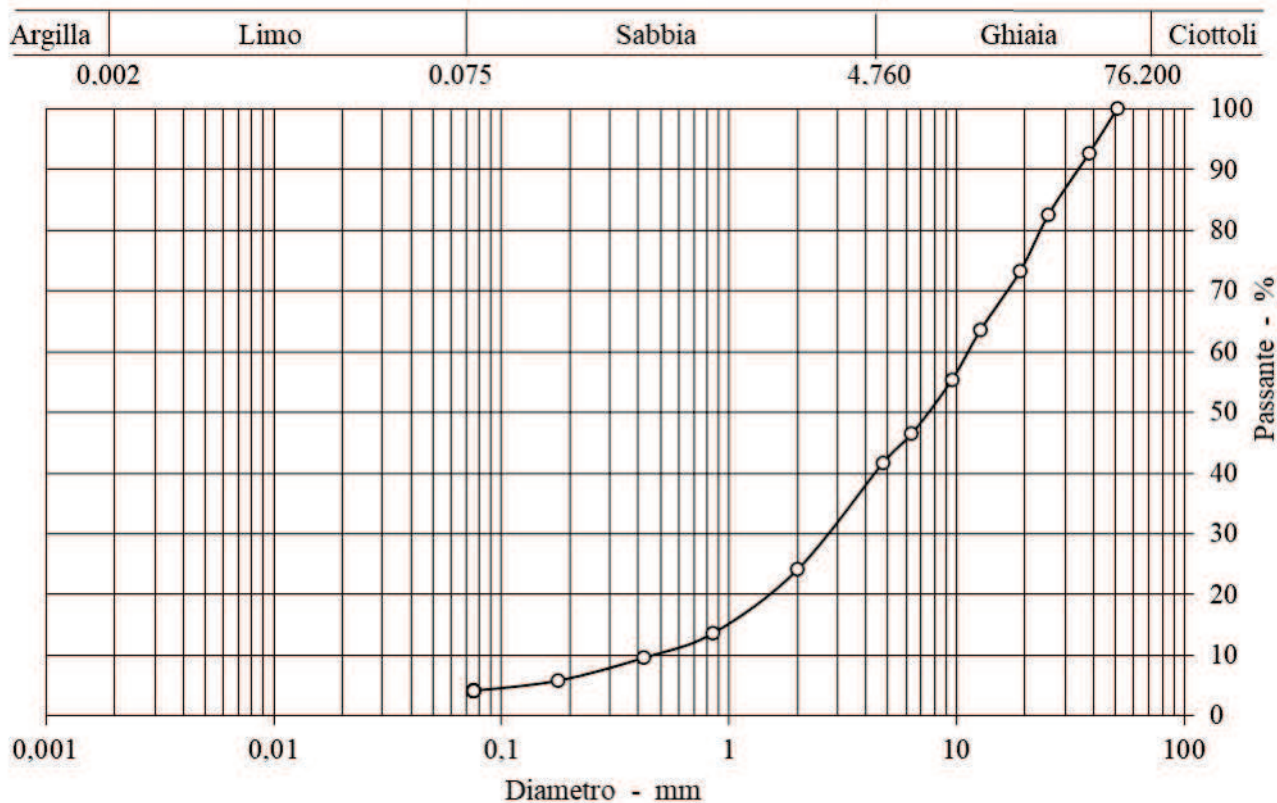
<b>Descrizione litologica del campione</b> Colori : Soil color chart MUNSELL
Ghiaia con sabbia con tracce di limo. Colore 2,5 Y – 4 / 2 marrone grigiastro molto scuro.

	Operatore 	Lavoro n° L3909.f1/24 pag. 03
--	--	----------------------------------

# ANALISI GRANULOMETRICA

Norma ASTM D422 - 92

Sondaggio <b>S1</b>	Campione <b>C2</b>	Profondità <b>5.50 - 6.00</b>	Zero di rif. <b>p. c.</b>
------------------------	-----------------------	----------------------------------	------------------------------



Setacciatura		Aerometria	
diametro mm	passante %	diametro mm	passante %
101,600			
88,900			
76,200			
63,500			
50,800	100,00		
38,100	92,62		
25,400	82,65		
19,050	73,32		
12,700	63,53		
9,520	55,35		
6,350	46,49		
4,760	41,77	<b>Classi granulometriche</b>	
2,000	24,17		
0,850	13,68		
0,420	9,61		
0,177	5,86		
0,075	4,19		

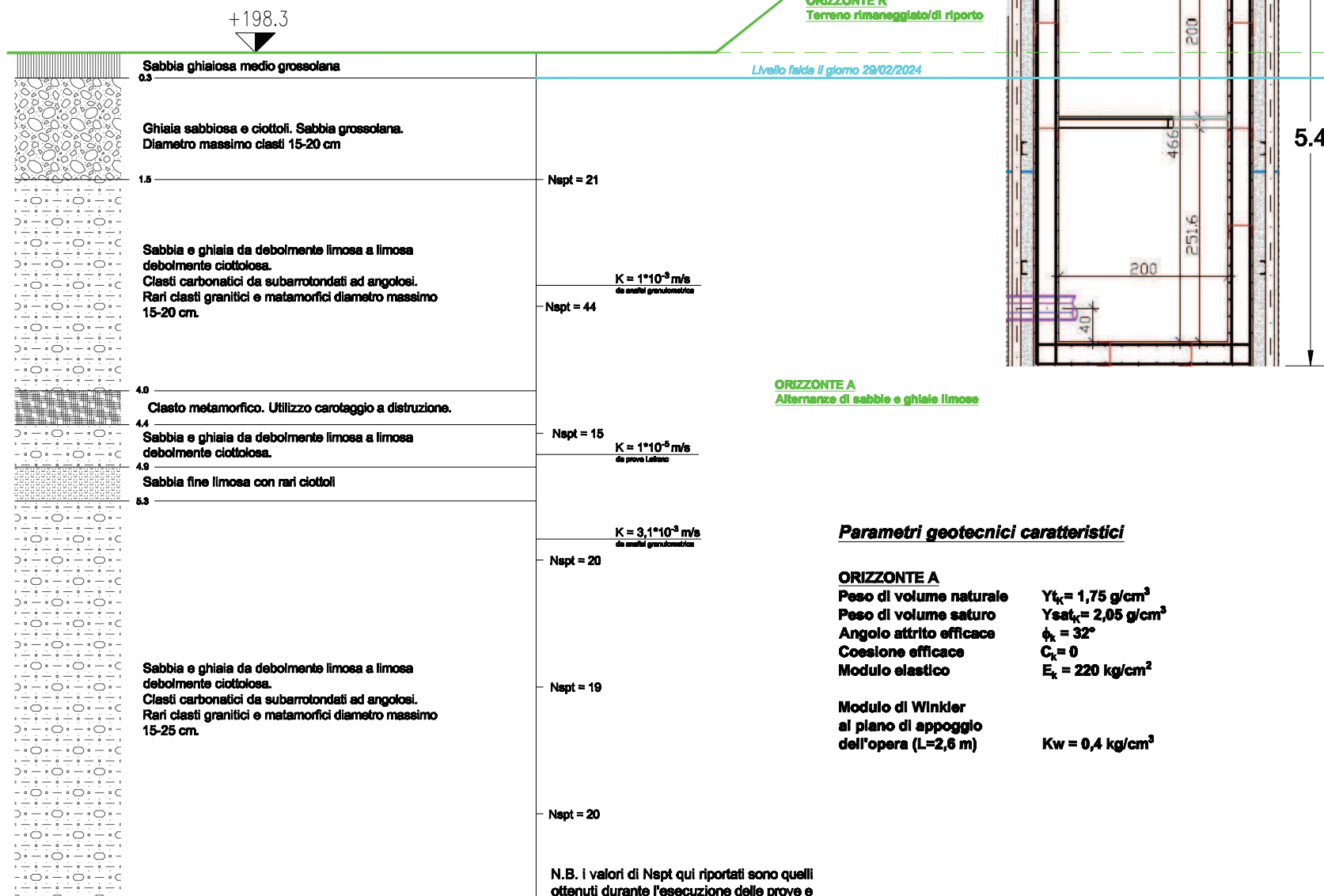
Diametri		
Passante 60%	D60	11,3280
Passante 50%	D50	7,6060
Passante 30%	D30	2,7640
Passante 10%	D10	0,4610
Coefficienti		
Uniformità	U	2,46E+01
Curvatura	C	1,46E+00
Permeabilità (cm/sec)	k	3,11E-01

Peso specifico (valore assunto)	n. d.
---------------------------------	-------

Descrizione
Ghiaia con sabbia con tracce di limo.
Note - Osservazioni
Il coefficiente di permeabilità "k" è stato calcolato con la formula di Hazen. Il valore così calcolato è indicativo.

Certificato n° <b>3909.f1-02</b>	Operatore 	Lavoro n° <b>L3909.f1/24 pag. 04</b>
-------------------------------------	--	---

## SONDAGGIO



Rapporto di prova n°:

**2400933-001**

Descrizione: **campione di terreno S1A1 profondità da -3,4 a -3,6 m.\_prel. c/o Bellagio località San Giovanni**

Accettazione: **2400933**

Data Prelievo: **28-feb-24**

Data Arrivo Camp.: **01-mar-24** Data Inizio Prova: **01-mar-24**

Data Rapp. Prova: **27-mar-24** Data Fine Prova: **27-mar-24**

Data Stampa Rapp. Prova: **27-mar-24**

Tipo Campione: **terreni**

Cantiere: **COMO ACQUA S.R.L. LOCALITA' SAN GIOVANNI - 22021 BELLAGIO (CO)**

Luogo Prelievo: **Cantiere di Bellagio (CO)\_località San Giovanni**

Dati Forniti dal Cliente: **committente, cantiere, luogo prelievo, data prelievo, descrizione, profondità aliquota terreno, limiti di legge/riferimenti normativi**

**COMO ACQUA S.R.L.**  
**VIA BORGO VICO, 148**  
**22100 COMO (CO) IT**

Modalità Ricevimento

**campione consegnato dal cliente**

### Risultati delle Prove

Prova	U.M	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
sottovaglio (frazione < 2 mm)	%	DM 13/09/1999 n° 185 GU n° 248 21/10/1999 p.to II-1	38,9	± 1,6		(1)
arsenico	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	2	± 1	20	(1)
cadmio	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	< 1		2	(1)
cobalto	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	2	± 1	20	(1)
cromo totale	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	17	± 3	150	(1)
cromo VI	mg/kg s.s.	EPA 3060 A 1996 + EPA 7196 A 1992	< 0,2		2	(1)
* mercurio	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	< 0,2		1	(1)
nicel	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	17	± 3	120	(1)
piombo	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	8	± 1	100	(1)
rame	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	6	± 1	120	(1)
zinco	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	9	± 2	150	(1)

(\*) = Le prove così contrassegnate a fianco del risultato, non sono Accreditate da Accredia

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente.

Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente se non con autorizzazione scritta del Responsabile del Laboratorio.

I risultati si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova. Le informazioni relative alla ragione sociale, al prelievo qualora eseguito da Cliente, alla denominazione e natura del campione, ai limiti di legge ove applicabili sono fornite dal Cliente stesso.

L'incertezza e' calcolata con un livello di probabilità  $p=0.95$  -  $K$ = fattore copertura, applicabile esclusivamente a prove quantitative, pari a 2,00 per le prove chimico/fisiche e 1,96 per le prove microbiologiche.

N.R. = Non rilevabile al metodo

Il Laboratorio declina ogni responsabilità sull'esecuzione del campionamento da parte del Cliente e sui risultati calcolati in base ai dati di campionamento stesso. I risultati ottenuti sono da riferirsi al campione così come ricevuto.

Qualora il campione al ricevimento non fosse conforme alle specifiche stabilite e il Cliente volesse comunque proseguire nell'analisi dello stesso, il Laboratorio declina la propria responsabilità sui risultati che ne possano essere influenzati.





**TECNOLOGIE D'IMPRESA Srl a socio unico**  
Via Don Minzoni, 15  
22060 Cabiato (CO)  
Tel.: 031 76991 Fax: 031 7699199  
e-mail: [info@tecnoimp.it](mailto:info@tecnoimp.it)  
Internet: [www.tecnoimp.it](http://www.tecnoimp.it)



LAB N° 0175 L

Segue Rapporto di prova n°: **2400933-001**

Prova	U.M	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
idrocarburi pesanti C >12	mg/kg s.s.	ISO 16703:2004	< 5		50	(1)
* amianto	mg/kg s.s.	M.I. n° 161 Rev 0 del 10/12/2012	< 100		1000	(1)

#### Riferimenti di Legge Parametri

(1) D.Lgs. N° 152 03/04/2006 GU n°88 14/04/2006 - SO n°96 parte Quarta - titolo V - allegato 5 tabella 1 colonna A

#### GIUDIZIO

Con riferimento alle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle tabelle i risultati sono conformi al decreto sopra citato

#### Regola decisionale:

Il giudizio di conformità/non conformità ai limiti di legge o alle specifiche del cliente, ove non diversamente specificato, si basa sul confronto del valore numerico del parametro senza considerare l'incertezza di misura

#### Note:

Come sancito nel D.Lgs n° 152 03/04/2006 GU n° 88 14/04/2006 - SO n°96 all.4, il campione è stato privato della frazione maggiore di 2 cm, le determinazioni analitiche sono state condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2mm e la concentrazione del campione è stata determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

Responsabile Laboratorio  
Ordine Chimici Lombardia  
**Dott. Rosi Maria Cermenati**  
Albo Professionale N°3039

**FINE RAPPORTO DI PROVA**

(\*) = Le prove così contrassegnate a fianco del risultato, non sono Accreditate da Accredia

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente.

Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente se non con autorizzazione scritta del Responsabile del Laboratorio.

I risultati si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova. Le informazioni relative alla ragione sociale, al prelievo qualora eseguito da Cliente, alla denominazione e natura del campione, ai limiti di legge ove applicabili sono fornite dal Cliente stesso.

L'incertezza e' calcolata con un livello di probabilità  $p=0.95$  -  $K$ = fattore copertura, applicabile esclusivamente a prove quantitative, pari a 2,00 per le prove chimico/fisiche e 1,96 per le prove microbiologiche.

N.R. = Non rilevabile al metodo

Il Laboratorio declina ogni responsabilità sull'esecuzione del campionamento da parte del Cliente e sui risultati calcolati in base ai dati di campionamento stesso. I risultati ottenuti sono da riferirsi al campione così come ricevuto.

Qualora il campione al ricevimento non fosse conforme alle specifiche stabilite e il Cliente volesse comunque proseguire nell'analisi dello stesso, il Laboratorio declina la propria responsabilità sui risultati che ne possano essere influenzati.

Rapporto di prova n°:

**2400933-002**

Descrizione: **campione di terreno S1A2 profondità da -0,3 a -0,4 m.\_prel. c/o Bellagio località San Giovanni** **COMO ACQUA S.R.L.**  
Accettazione: **2400933** **VIA BORGO VICO, 148**  
Data Prelievo: **29-feb-24** **22100 COMO (CO) IT**  
Data Arrivo Camp.: **01-mar-24** Data Inizio Prova: **01-mar-24**  
Data Rapp. Prova: **27-mar-24** Data Fine Prova: **27-mar-24**  
Data Stampa Rapp. Prova: **27-mar-24**  
Tipo Campione: **terreni**  
Cantiere **COMO ACQUA S.R.L. LOCALITA' SAN GIOVANNI - 22021 BELLAGIO (CO)**  
Luogo Prelievo: **Cantiere di Bellagio (CO)\_località San Giovanni**  
Dati Forniti dal Cliente: **committente, cantiere, luogo prelievo, data prelievo, descrizione, profondità aliquota terreno, limiti di legge/riferimenti normativi**

Modalità Ricevimento

**campione consegnato dal cliente**

### Risultati delle Prove

Prova	U.M	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
sottovaglio (frazione < 2 mm)	%	DM 13/09/1999 n° 185 GU n° 248 21/10/1999 p.to II-1	87,4	± 3,7		(1)
arsenico	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	4	± 1	20	(1)
cadmio	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	< 1		2	(1)
cobalto	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	6	± 1	20	(1)
cromo totale	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	26	± 4	150	(1)
cromo VI	mg/kg s.s.	EPA 3060 A 1996 + EPA 7196 A 1992	< 0,2		2	(1)
* mercurio	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	< 0,2		1	(1)
nicel	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	27	± 4	120	(1)
piombo	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	6	± 1	100	(1)
rame	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	13	± 2	120	(1)
zinco	mg/kg s.s.	EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2018	31	± 4	150	(1)

(\*) = Le prove così contrassegnate a fianco del risultato, non sono Accreditate da Accredia

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente.

Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente se non con autorizzazione scritta del Responsabile del Laboratorio.

I risultati si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova. Le informazioni relative alla ragione sociale, al prelievo qualora eseguito da Cliente, alla denominazione e natura del campione, ai limiti di legge ove applicabili sono fornite dal Cliente stesso.

L'incertezza e' calcolata con un livello di probabilità  $p=0.95$  -  $K$ = fattore copertura, applicabile esclusivamente a prove quantitative, pari a 2,00 per le prove chimico/fisiche e 1,96 per le prove microbiologiche.

N.R. = Non rilevabile al metodo

Il Laboratorio declina ogni responsabilità sull'esecuzione del campionamento da parte del Cliente e sui risultati calcolati in base ai dati di campionamento stesso. I risultati ottenuti sono da riferirsi al campione così come ricevuto.

Qualora il campione al ricevimento non fosse conforme alle specifiche stabilite e il Cliente volesse comunque proseguire nell'analisi dello stesso, il Laboratorio declina la propria responsabilità sui risultati che ne possano essere influenzati.



**TECNOLOGIE D'IMPRESA Srl a socio unico**  
Via Don Minzoni, 15  
22060 Cabiato (CO)  
Tel.: 031 76991 Fax: 031 7699199  
e-mail: [info@tecnoimp.it](mailto:info@tecnoimp.it)  
Internet: [www.tecnoimp.it](http://www.tecnoimp.it)



LAB N° 0175 L

Segue Rapporto di prova n°: **2400933-002**

Prova	U.M	Metodo	Risultato	Incertezza	L.Min.	L.Max.
idrocarburi pesanti C >12	mg/kg s.s.	ISO 16703:2004	5	± 1		50 (1)
* amianto	mg/kg s.s.	M.I. n° 161 Rev 0 del 10/12/2012	< 100			1000 (1)

#### Riferimenti di Legge Parametri

(1) D.Lgs. N° 152 03/04/2006 GU n°88 14/04/2006 - SO n°96 parte Quarta - titolo V - allegato 5 tabella 1 colonna A

#### GIUDIZIO

Con riferimento alle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle tabelle i risultati sono conformi al decreto sopra citato

#### Regola decisionale:

Il giudizio di conformità/non conformità ai limiti di legge o alle specifiche del cliente, ove non diversamente specificato, si basa sul confronto del valore numerico del parametro senza considerare l'incertezza di misura

#### Note:

Come sancito nel D.Lgs n° 152 03/04/2006 GU n° 88 14/04/2006 - SO n°96 all.4, il campione è stato privato della frazione maggiore di 2 cm, le determinazioni analitiche sono state condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2mm e la concentrazione del campione è stata determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

Responsabile Laboratorio  
Ordine Chimici Lombardia  
**Dott. Rosi Maria Cermenati**  
Albo Professionale N°3030

**FINE RAPPORTO DI PROVA**

(\*) = Le prove così contrassegnate a fianco del risultato, non sono Accreditate da Accredia

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente.

Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente se non con autorizzazione scritta del Responsabile del Laboratorio.

I risultati si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova. Le informazioni relative alla ragione sociale, al prelievo qualora eseguito da Cliente, alla denominazione e natura del campione, ai limiti di legge ove applicabili sono fornite dal Cliente stesso.

L'incertezza e' calcolata con un livello di probabilità  $p=0.95$  - K= fattore copertura, applicabile esclusivamente a prove quantitative, pari a 2,00 per le prove chimico/fisiche e 1,96 per le prove microbiologiche.

N.R. = Non rilevabile al metodo

Il Laboratorio declina ogni responsabilità sull'esecuzione del campionamento da parte del Cliente e sui risultati calcolati in base ai dati di campionamento stesso. I risultati ottenuti sono da riferirsi al campione così come ricevuto.

Qualora il campione al ricevimento non fosse conforme alle specifiche stabilite e il Cliente volesse comunque proseguire nell'analisi dello stesso, il Laboratorio declina la propria responsabilità sui risultati che ne possano essere influenzati.

Pagina 2 di 2