

COMUNE DI ARONA (NO)



**ACQUA
NOVARA.VCO**
S.p.A.

Via Triggiani, 9 - 28100 NOVARA (NO)
Tel. 0321 413111 - Fax. 0321 458729
@mail: info@acquanovaravco.eu
@pec: segreteria@pec.acquanovaravco.eu

TITOLO COMMESSA:

**INTERVENTI PRELIMINARI FINALIZZATI ALLA RIDUZIONE
DELLE PERDITE IDRICHE NEI COMUNI DI ARONA,
CASTELLETTO SOPRA TICINO, GRIGNASCO, NOVARA E PIEVE VERGONTE**

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICO E GEOTECNICA

SCALA:

-

AVANZAMENTO PROGETTO:
DEFINITIVO

Data Rev. N° 1
MAGGIO 2024

Rev. N°	Modifiche	Data
1	-	-/-/-
2	-	-/-/-
3	-	-/-/-
4	-	-/-/-

Rif. N° Commessa:

Y00M-10037679

CUP:

D19E17000010009

RUP:

Ing. Giuseppe Caranti

I Progettisti: *Ing. Giovanni Battista Peduzzi*

Mandataria

ETATEC
STUDIO PAOLETTI



apave
Certification
ISO 9001

Mandanti

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

FABRIZIO MONZA
ARCHITETTO

STUDIO FERRAROTTI
Geologia
Ambiente
Territorio

Dott.ssa SILVANA CLERICI

Dott. MASSIMO SARTORELLI

Elaborato N°:

1.0

PROPRIETA' RISERVATA
QUESTO DISEGNO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO NE' COMUNICATO
A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DI ACQUA NOVARA.VCO s.p.a.



I N D I C E

1. PREMESSA.....	1
2. NORMATIVA.....	3
3. SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE E METODOLOGIA DI LAVORO.....	4
4. DESCRIZIONE DEI LUOGHI	6
5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PREVISIONE.....	10
6. VINCOLISTICA SOVRAORDINATA DI CARATTERE GEOLOGICO ED ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO.....	13
6.1 PREMESSA	13
6.2 ANALISI DEL DISSESTO E DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO	18
6.3 ANALISI DEL DISSESTO E DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO	18
6.4 CARTA DELL'IDONEITÀ URBANISTICA	19
6.5 VINCOLO IDROGEOLOGICO	22
7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO.....	24
8. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOLOGICO.....	27
9. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	32
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE.....	34
11. SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	36
11.1 PREMESSA	36
11.2 RISULTANZE.....	36
12. INDAGINI GEOTECNICHE.....	40
12.1 PREMESSA	40
12.2 RISULTANZE.....	43
13. INDAGINI GEOFISICHE.....	48
13.1 PREMESSA	48

13.2	INDAGINE SISMICA MASW - MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES	48
14.	MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	56
14.1	PREMESSA	56
14.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	59
14.3	CATEGORIE DI PROFILO STRATIGRAFICO DEL SUOLO DI FONDAZIONE	60
14.4	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	62
14.5	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	63
14.6	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E DELLE AZIONI DI PROGETTO	63
14.7	STATI LIMITE DI RIFERIMENTO	64
14.8	PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO	66
14.9	STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	70
15.	MODELLO GEOLOGICO E LITOSTRATIGRAFICO	73
16.	MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	74
17.	SCAVI E OPERE DI SOSTEGNO	76
19.	VERIFICHE GEOTECNICHE	78
19.1	PREMESSA	78
19.2	OPERE FONDAZIONALI PREVISTE	79
19.3	AZIONI E CARICHI IPOTIZZATI	79
19.4	FORMULE UTILIZZATE PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE	80
19.5	VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	87
19.6	VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	89
19.7	VERIFICHE GEOTECNICHE	90
19.8	CONSIDERAZIONI FINALI	98
19.9	DICHIARAZIONE SUL SOFTWARE IMPIEGATO AI SENSI DELLE NTC2018	98
20.	INDICAZIONI E PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO	101
20.1	PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA	101

20.2 FASE DI CANTIERE ED ESECUZIONE LAVORI	102
21. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	106
22. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI, CARTOGRAFICI E DOCUMENTALI	107
ALLEGATI:	
- SEZIONE STRATIGRAFICA E LITOTECNICA SCHEMATICA INTERPRETATIVA	

1. PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica è stata redatta, al fine di ottemperare a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 e dalle NTA del vigente P.R.G.C., a supporto del progetto definitivo relativo al seguente progetto: “Nuovo serbatoio in località Montrigiasco, *in comune di Arona (NO)*”, nell’ambito dell’*“Accordo Quadro con due operatori per l’affidamento dei servizi tecnici di progettazione, assistenza al RUP, Direzione Lavori, assistenza lavori, collaudi, Coordinatore in fase di progettazione (CSP) e/o di coordinatore in fase di esecuzione (CSE) ad esclusione della parte depurazione acque reflue. 2020_04 Ri”*.

Gli studi, i rilievi e le indagini, eseguite nell’ambito territoriale di possibile influenza degli interventi e delle opere in previsione, hanno avuto pertanto la finalità di illustrare il contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del sito di progetto, di individuare eventuali criticità e di fornire le indicazioni preliminari relative alle problematiche geologiche e geotecniche che dovranno essere affrontate nell’ambito della progettazione ed esecuzione delle future opere, valutando in base al quadro dissestivo, vincolistico e pianificatorio in ambito geologico, la fattibilità degli interventi anche sulla base di una serie di sopralluoghi, indagini e prove eseguite in sito.

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 “*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*.” (indicato nel seguito con la sigla NTC/18), il presente elaborato, in relazione ai contenuti ed alle indagini eseguite, ingloba in un unico elaborato le seguenti relazioni specialistiche previste dalla Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 (indicata nel seguito con la sigla Circ./19), ovvero: la relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (par. 6.2.1 delle NTC/18 e par. 6.2.1 della Circ./19), relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno (par. 6.2.2 delle NTC/18 e par. 6.2.2 della Circ./19) e la relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (par. 3.2 delle NTC/18 e par. 3.2 della Circ./19), contenente il riferimento a tutti i parametri ed i coefficienti in base ai quali sono state determinate le azioni sismiche da applicare.

Relativamente alla progettazione e verifica delle opere fondazionali e di contenimento, che saranno definite dal progettista sulla base delle risultanze del presente elaborato, queste saranno riportate nella Relazione sulle fondazioni/strutturale.

La Relazione geologica ai sensi del par. 6.2.1 delle NTC/18 è ricompresa nei capitoli 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 del presente elaborato, la Relazione geotecnica e sismica ai sensi del par. 6.2.2 e del par. 3.2 delle NTC/18 è ricompresa nei capitoli 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 del presente elaborato.

Al fine di permettere una caratterizzazione geologica e geotecnica del sito d'intervento sono stati definiti, sulla base delle analisi cartografiche e bibliografiche, sui rilievi eseguiti, sulle risultanze delle indagini e prove geotecniche, geognostiche e sismiche, il modello geologico ed il modello geotecnico di riferimento. Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. In funzione della tipologia di opere e di interventi previsti all'interno del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, sono state eseguite una serie di specifiche indagini finalizzate alla ricostruzione del modello geologico. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito ha, infatti, compreso la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento il quale è stato sviluppato in modo da costituire il punto di partenza al fine di inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle ulteriori indagini geotecniche ritenute necessarie.

Il modello geotecnico di riferimento rappresenta, invece, uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo sono stati definiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici basati sulle indagini e prove preliminari eseguite nonché sui valori di letteratura.

2. NORMATIVA

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi su cui si sono basati gli studi e le indagini eseguite.

- ☐ Circolare 617 C.S.LL.PP. del 2 febbraio 2009. Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
- ☐ Circolare 3/AMB del 31 agosto 2018 del Presidente della Giunta regionale. Legge regionale 9 agosto 1989, n. 45 (Nuove norme per gli interventi da eseguire in terreni sottoposti a vincolo per scopi idrogeologici). Note interpretative e indicazioni procedurali. Revoca della circolare 4/AMD/2012.
- ☐ Circolare 7 C.S.LL.PP del 21 gennaio 2019. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- ☐ D.G.R. 65-7656 del 21 maggio 2014 - Aggiornamento e adeguamento delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico (O.P.C.M. 3074/2003 - O.P.C.M. 3519/2006)".
- ☐ D.G.R. 4-3084 del 12 novembre 2011 - Approvazione della D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010.
- ☐ D.G.R. n. 6-887/2019. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65- 7656
- ☐ D.M. 14 gennaio 2008 - Nuove norme tecniche per le costruzioni.
- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni
- ☐ D.Lgs 152/2006 - Norme in materia ambientale.
- ☐ D.P.R. 380/2001 e s.m.i. - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia - Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G.C. e relativi elaborati tecnici.
- ☐ L.R. 45 del 09.08.1989 in materia di vincolo idrogeologico.
- ☐ Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G.C. e relativi elaborati tecnici.
- ☐ OPCM 3274/2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

3. SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E METODOLOGIA DI LAVORO

Ai fini dello svolgimento dell'incarico si è proceduto all'esecuzione di una serie di sopralluoghi e rilievi finalizzati, oltre che alla ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, alla ricostruzione del *modello geologico* e del *modello geotecnico* ricadenti nell'area d'intervento. Le attività svolte si sono basate in particolare su:

- Rilievi geologici e morfologici eseguiti in sito
- Analisi dei dati rilevati dallo scrivente durante i sopralluoghi effettuati sull'area di intervento e in un suo intorno significativo
- Consultazione di database scientifici
- Consultazione di cartografie geologiche specifiche
- Consultazione di pubblicazioni scientifiche
- Consultazione degli elaborati geologici allegati ai P.R.G.C.
- Consultazione di elaborati di carattere tecnico professionale
- Consultazione di Piani Territoriali

In particolare, sono stati consultati in via preliminare i seguenti documenti:

- "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali" - Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po ai sensi dell'art. 17 della Legge n° 183/89
- Geoportale a cura dell'ARPA Piemonte: cartografia relativa ai conoidi alluvionali, Banca Dati Geotecnica (sondaggi geognostici e campioni di terreno), cartografia del SIFraP (Sistema Informativo Frane in Piemonte), cartografie relative agli eventi alluvionali, cartografia della Banca Dati Geologica (Carta delle aree inondabili, carta delle frane, carta dei tributari minori e delle conoidi, carta delle aree instabili, carta degli alveo tipi e portate, carta dei danni ai centri abitati, carta dei danni alla rete viaria)
- Geoportale Nazionale, a cura del Ministero dell'Ambiente, il quale permette la visualizzazione e l'utilizzo della cartografia di base nazionale, prodotta a seguito dell'accordo integrativo tra Stato e Regioni del 12 ottobre 2000 sul Sistema Cartografico di Riferimento

- Gis Browser relativo al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, Direttiva 2007/60/CE recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 – Scenari di alluvioni/Pericolosità e Scenari di Rischio
- Piano Regolatore Generale Comunale (tavole e relazioni)

Come previsto dalle NTC/18, la presente relazione geologica è stata sviluppata in modo tale da costituire un utile elemento di riferimento per i Progettisti al fine di inquadrare le eventuali problematiche geologiche – geotecniche. Si elencano di seguito i contenuti principali del presente elaborato:

- Scopo del lavoro
- Aspetti normativi e pianificatori
- Descrizione degli interventi previsti da progetto
- Inquadramento geologico – strutturale del territorio
- Inquadramento geomorfologico
- Analisi dello stato vincolistico
- Analisi dello stato dissestivo
- Inquadramento geologico – litologico con individuazione delle formazioni principali caratterizzanti l'area in esame
- Inquadramento idrogeologico con individuazione e caratterizzazione degli acquiferi principali e valutazioni sulle caratteristiche di permeabilità dei terreni
- Risultanze delle prove ed indagini geognostiche e/o geotecniche
- Analisi della sismicità locale
- Creazione del modello geologico generale dell'area
- Creazione del modello geotecnico generale dell'area
- Verifiche preliminari e predimensionamento delle opere fondazionali
- Prescrizioni e raccomandazioni di carattere geologico e geotecnico da seguirsi in fase di progettazione ed in fase esecutiva
- Considerazioni conclusive e fattibilità degli interventi.

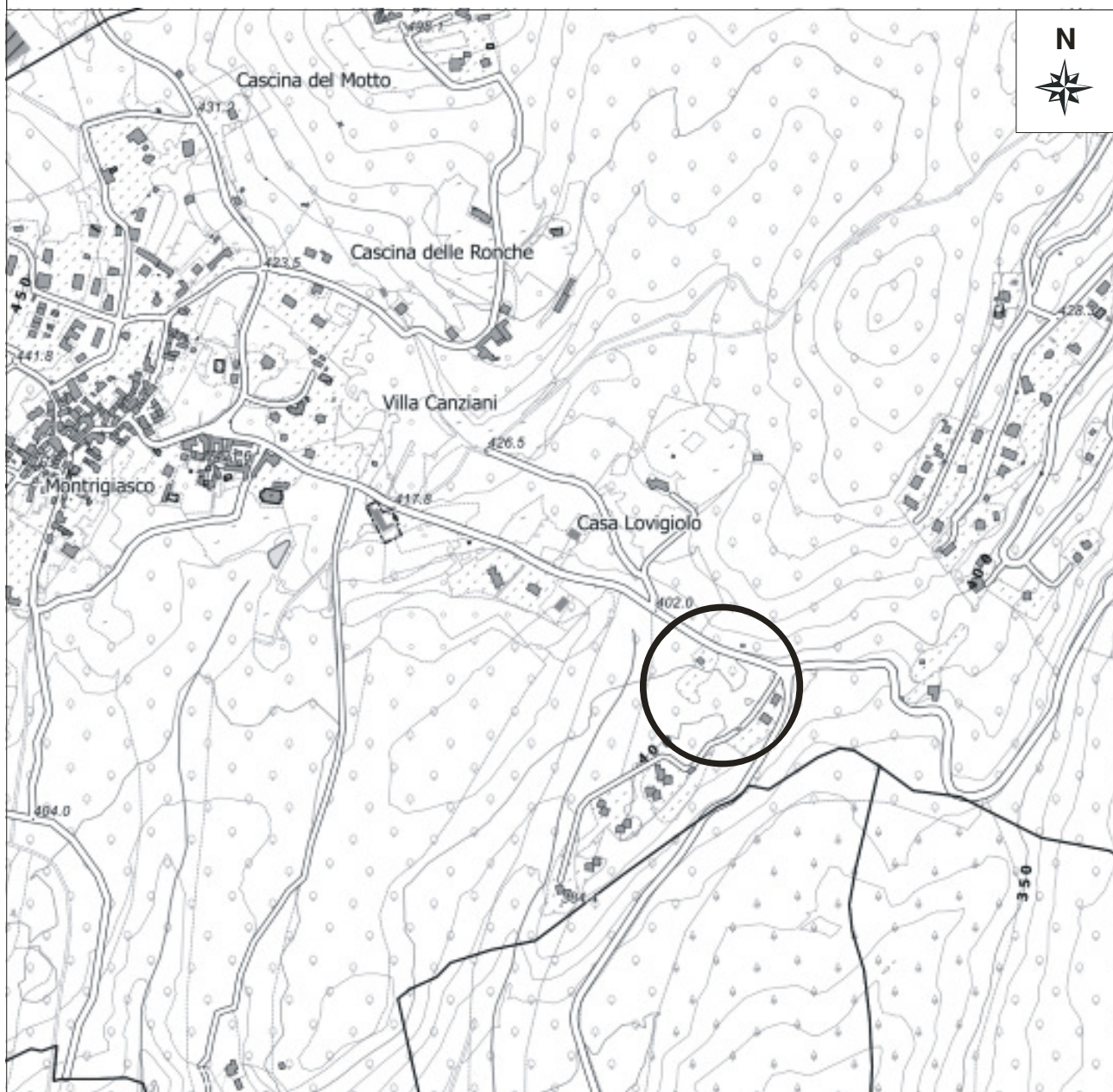
4. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'area in esame, ubicata a SE di Montrigiasco, rientra in un settore montano boscato costituito da un settore subpianeggiante in corrispondenza di una dorsale rocciosa, ricoperta da un sottile strato di depositi glaciali e loess, ad una quota di circa 400 m s.l.m.

Sono presenti locali irregolarità del terreno legate a passate movimentazioni del terreno con presenza di locali cumuli di ciottoli e blocchi lungo l'intero lotto, creati forse per bonificare dal punto di vista agrario il terreno stesso.

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DI INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO (BDTRE PIEMONTE)



Scala: 1:5.000
Comune: Arona
Provincia: Novara
Estratto:
BDTRE - Regione Piemonte



Area d'intervento

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DI INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO AEREO



Scala: 1:5.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:
Ortofoto Regione Piemonte



Area d'intervento

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DI INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO AEREO DI DETTAGLIO AREA IMPIANTO



Comune: Arona
Provincia: Novara



Area d'intervento

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PREVISIONE

Sulla base di quanto fornito dai progettisti nonché dagli elaborati a disposizione emerge che le previsioni progettuali riguardano essenzialmente la realizzazione di un nuovo serbatoio costituito da vasche prefabbricate per una dimensione di massima pari a m 25 x 8.

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

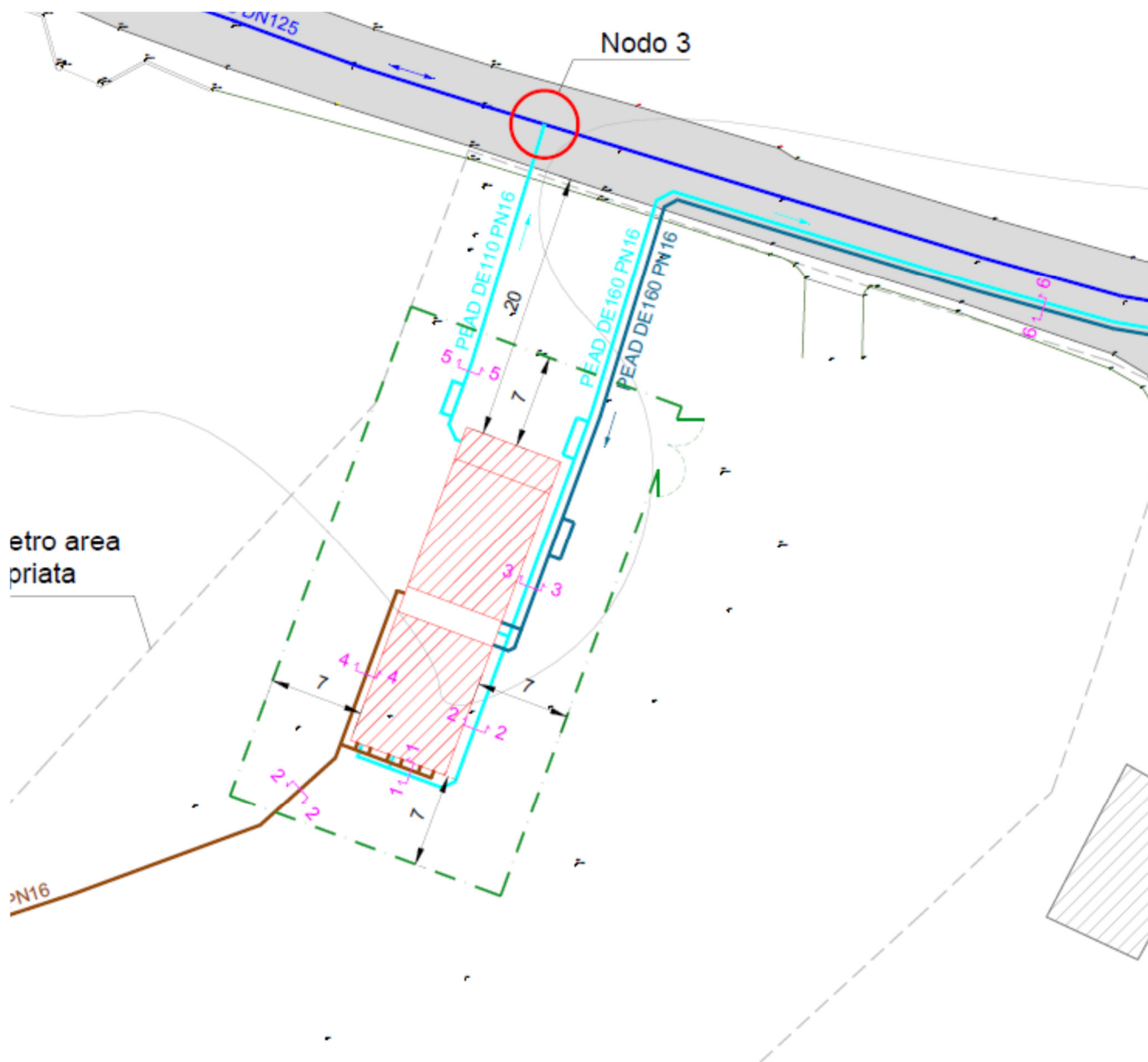


Fig. 5.1 – Planimetria generale dell'intervento

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

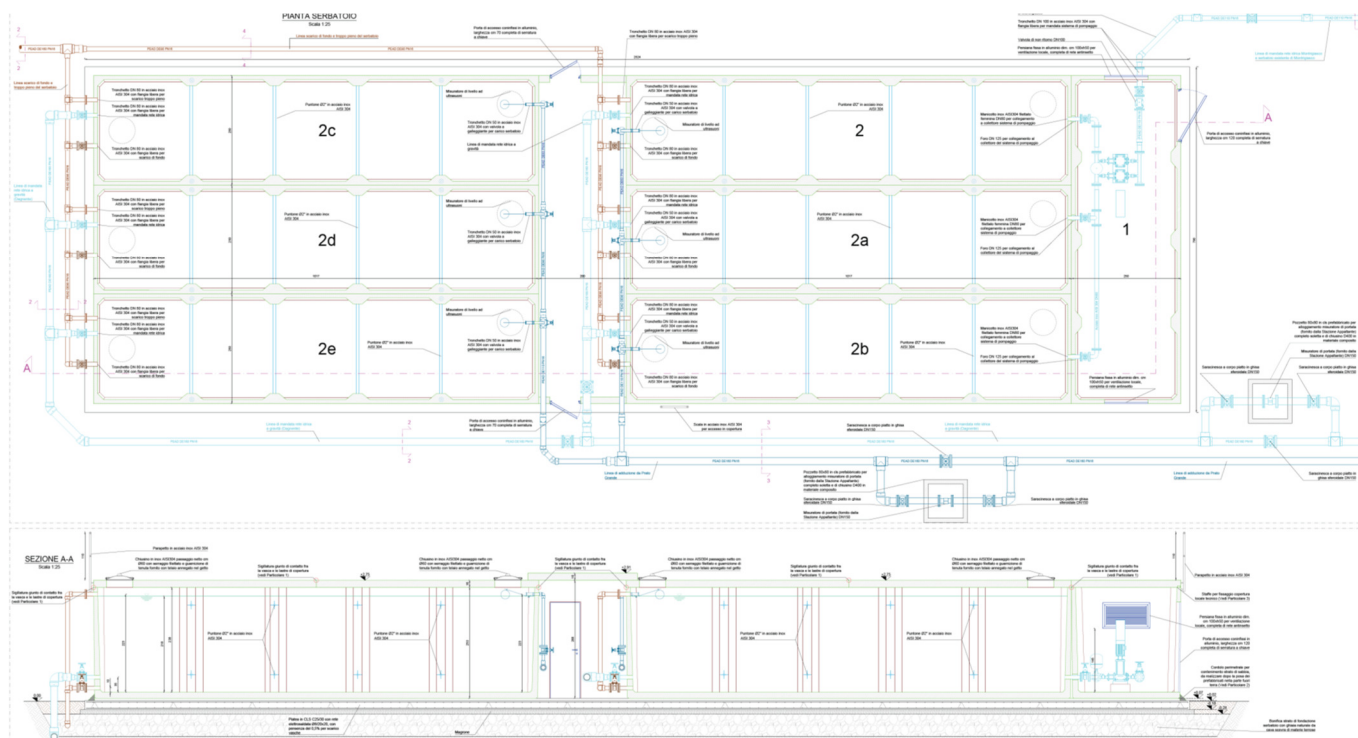


Fig. 5.2 – Planimetria e sezione di progetto

Per quanto riguarda le specifiche di dettaglio degli interventi si rimanda agli elaborati progettuali.

6. VINCOLISTICA SOVRAORDINATA DI CARATTERE GEOLOGICO ED ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

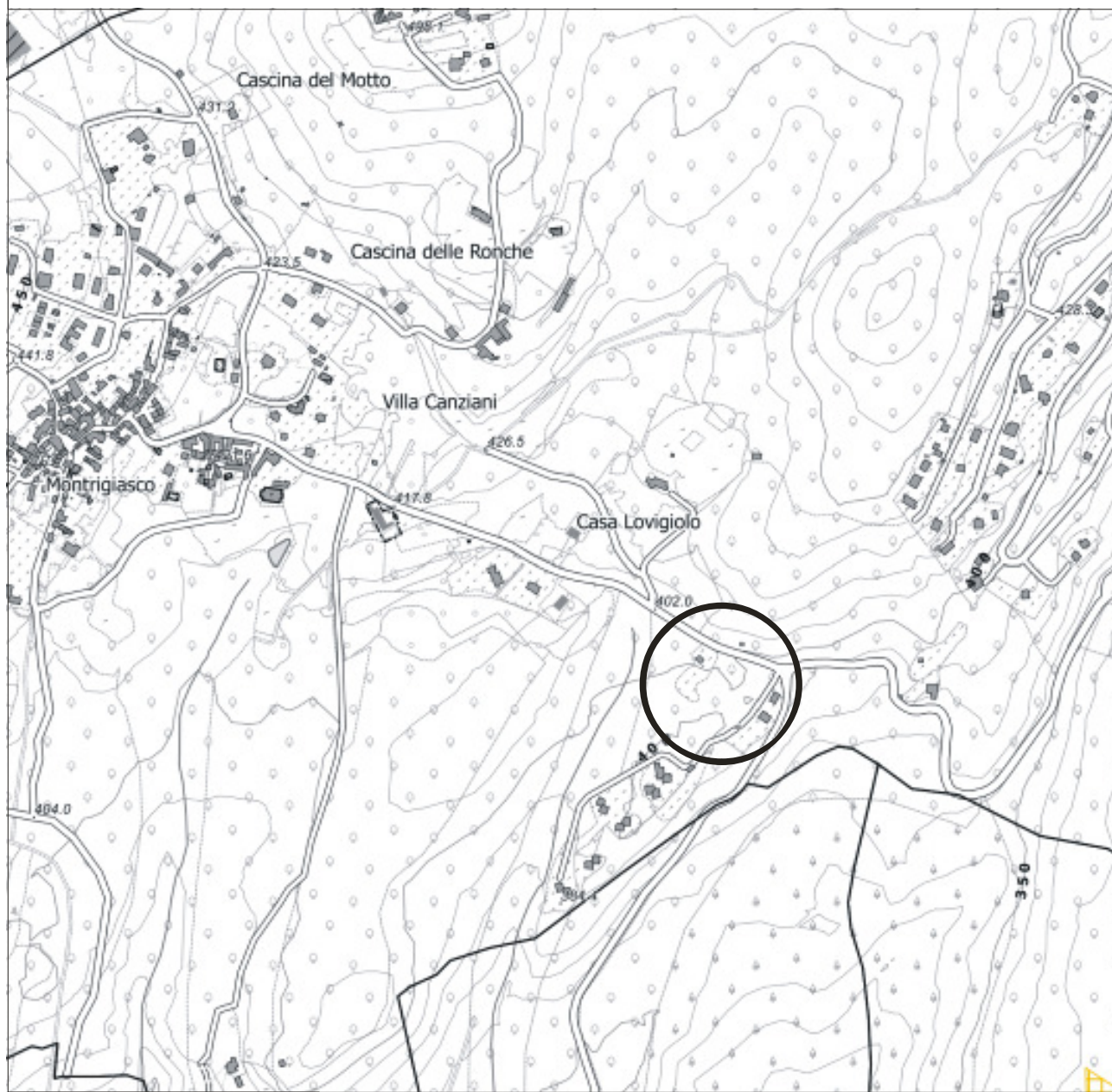
6.1 PREMESSA

L'analisi dello stato dissestivo legata al concetto di pericolosità e di rischio idraulico e geomorfologico del territorio in esame è stata effettuata, oltre che da un'indagine diretta, anche mediante l'analisi della cartografia tematica allegata al P.G.R.A. (Piano di Gestione Rischio Alluvione), al P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po), al P.R.G.C. (Piano Regolatore Generale Comunale), al Sistema SICOD (Catasto delle opere di difesa), al Progetto IFFI/SIFRAP – Sistema Informativo dei fenomeni FRANosi in Piemonte e Rete Regionale di Controllo Movimenti Franosi (ReRCoMF) ed alla cartografia delle aree instabili di ARPA Piemonte, alla Carta Geologica d'Italia nonché sulla base delle informazioni storiche acquisite.

Nel documento di seguito vengono riportati gli stralci cartografici ritenuti più significativi.

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DEI DISSESTI (P.A.I.)



Scala: 1:5.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:

P.A.I. (Piano di assetto
Idrogeologico del fiume Po)



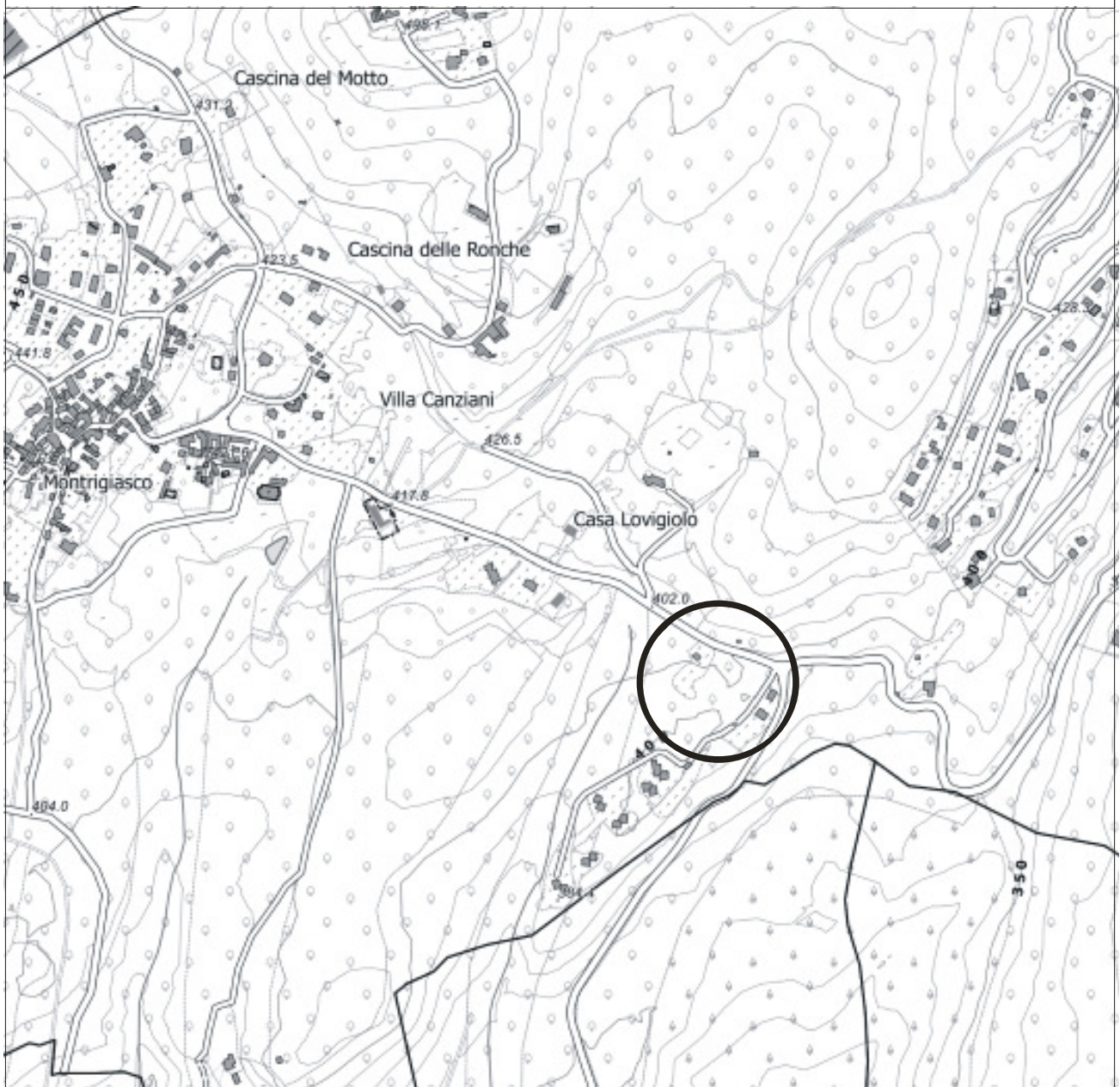
Area d'intervento

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DI PERICOLOSITA' DA ALLUVIONE (P.G.R.A.)



Scala: 1:5.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:

P.G.R.A. (Piano Gestione Rischio Alluvione)



Area d'intervento

Legenda

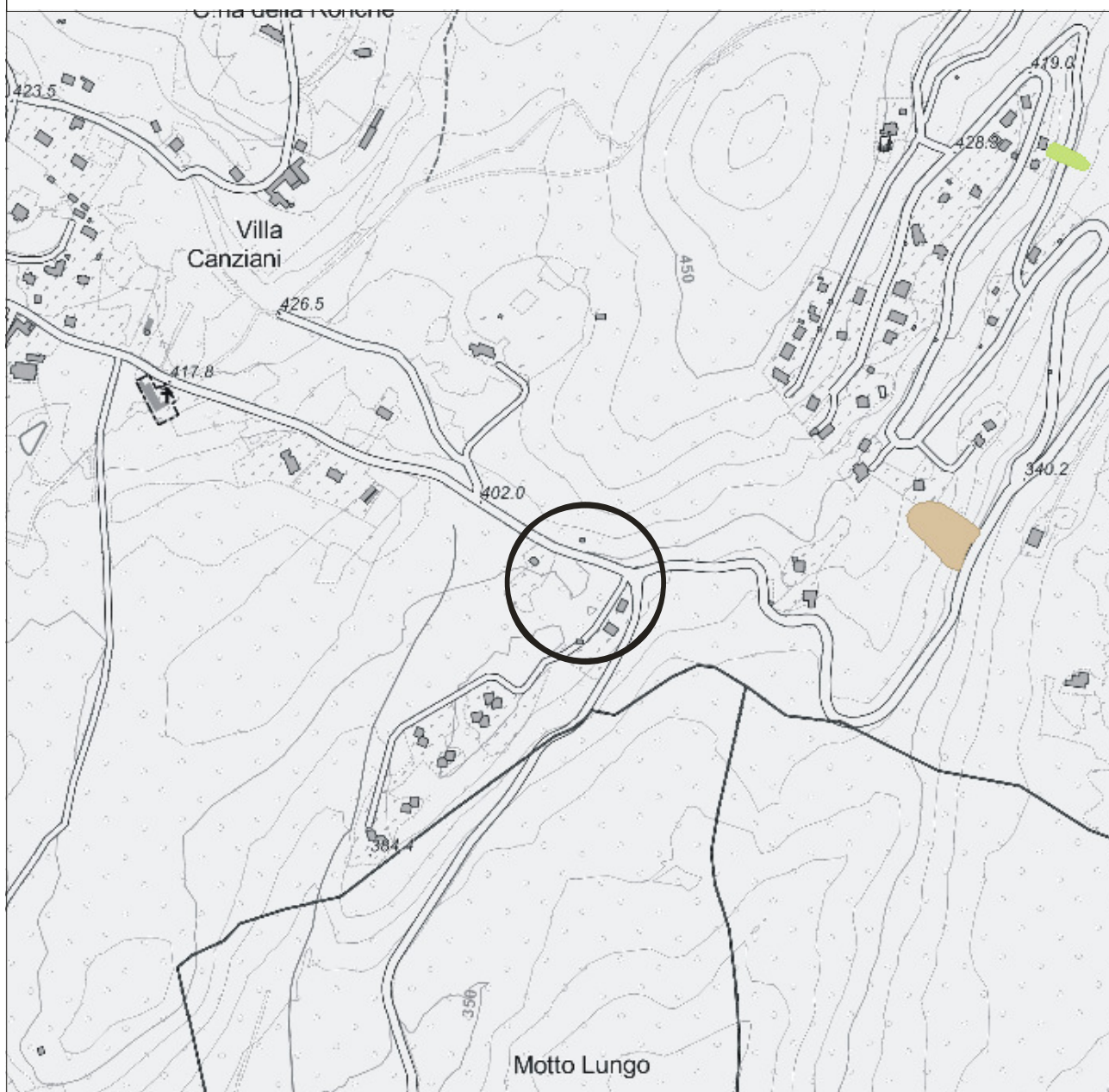
Scenari di alluvioni - Pericolosità - 2020

- Probabilità di alluvioni elevata (tr. 10/20)
- Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200)
- Probabilità di alluvioni scarsa (tr. 500)

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DEI DISSESTI (I.F.F.I./SI.FRA.P.)



Scala: 1:5.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:

I.F.F.I. (Inventario dei fenomeni
franosì in Italia)

SI.Fra.P. (Sistema Informativo
Frane in Piemonte)



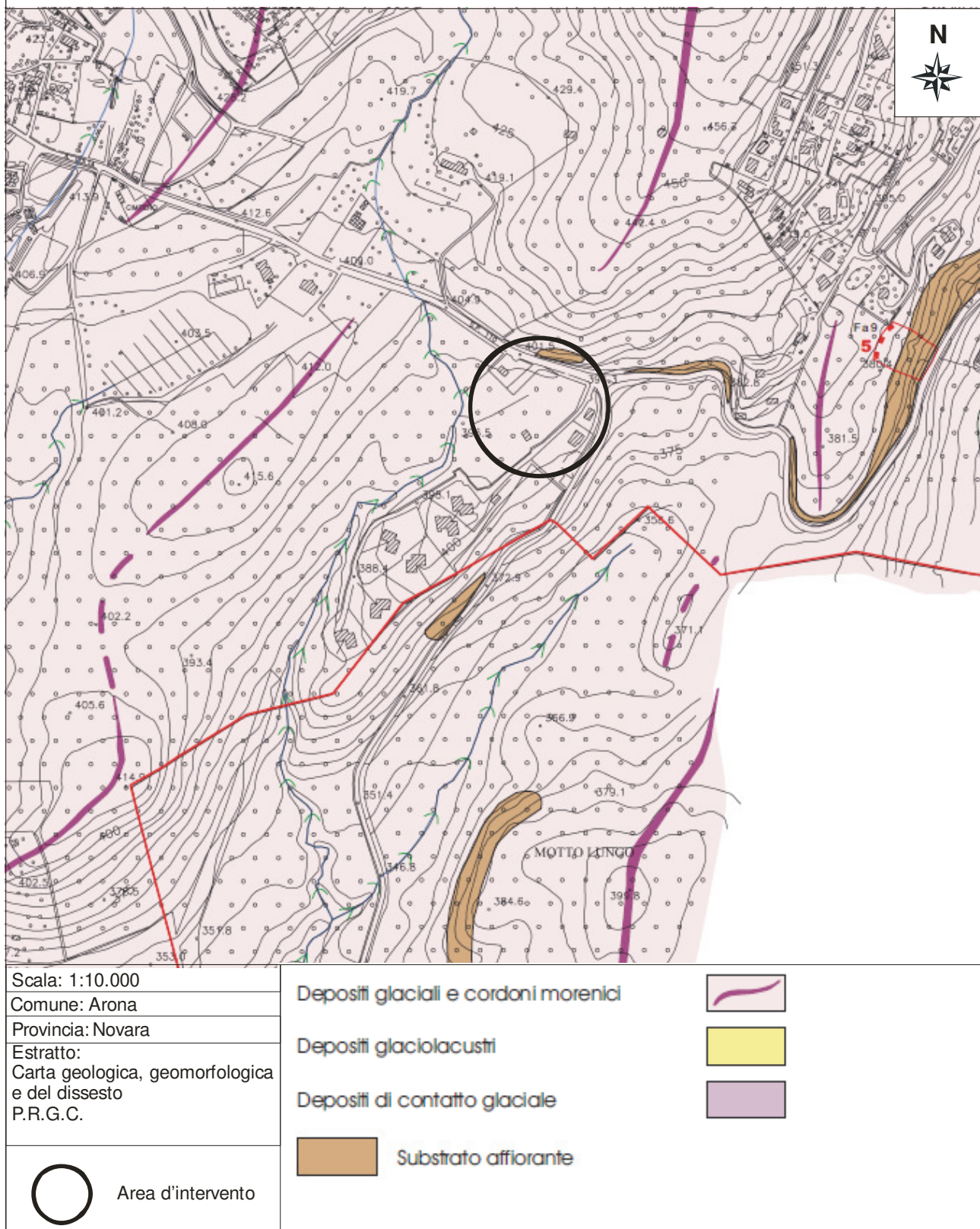
Area d'intervento

- Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
- Aree soggette a frane superficiali diffuse
- Aree soggette a sprofondamenti diffusi
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Complesso
- Crollo/Ribaltamento
- DGPV
- Espansione
- Scivolamento rotazionale/traslato

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

CARTA GEOMORFLOGICA E DEL DISSESTO (P.R.G.C.)



6.2 ANALISI DEL DISSESTO E DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

Ai fini della valutazione dello stato dissestivo e del rischio idraulico del settore in esame, sono state analizzate una serie di cartografie tematiche (vedasi Piani territoriali riportati in premessa) che permettono di individuare eventuali settori coinvolti o potenzialmente coinvolgibili da eventi alluvionali o fenomeni di esondazioni per piene ordinarie e straordinarie ad opera della rete idrografica principale e secondaria.

Strumento di pianificazione	Tavola	Zona di rischio	Descrizione
P.G.R.A. (Piano di Gestione Rischio Alluvione)	Carta degli scenari da alluvione	-	-
P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po)	Carta dei dissesti	-	-
P.R.G.C. (Piano Regolatore Generale Comunale)	Carta geomorfologica e del dissesto	-	-

Alla luce di tali analisi, supportate dai rilievi effettuati in sito, non sono state individuate cartografie tematiche che evidenzino un potenziale rischio idraulico per il settore in esame interessato dall'intervento.

Gli unici rischi, seppure di ridotta entità, possono essere legati a fenomeni di ruscellamento lineare o diffuso che potrebbero innescarsi durante eventi piovosi particolarmente intensi a carattere eccezionale, ma ormai sempre più frequenti e diffusi.

6.3 ANALISI DEL DISSESTO E DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO

Ai fini della valutazione dello stato dissestivo e del rischio geomorfologico del settore in esame, sono state analizzate una serie di cartografie tematiche quali il Sistema Informativo Frane in Piemonte (SiFraP) dell'ARPA Piemonte – Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche che rappresenta la banca dati sulle frane più completa e di dettaglio esistente in Italia, per la scala della cartografia adottata (1:10.000) e per il numero di parametri ad esse associati. E' stata inoltre analizzata la cartografia dei dissesti del Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI) dell'Autorità di Bacino

Distrettuale del fiume Po, la cartografia delle aree instabili di ARPA Piemonte Piemonte e la carta geomorfologica e dei dissesti del vigente P.R.G.C.

Tali cartografie permettono di individuare eventuali settori coinvolti o potenzialmente coinvolgibili da eventi dissestivi (frane).

Strumento di pianificazione	Tavola	Zona di rischio	Descrizione
IFFI/SIFRAP (Sistema Informativo Frane in Piemonte)	Carta dei dissesti	-	-
P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po)	Carta dei dissesti	-	-
P.R.G.C. (Piano Regolatore Generale Comunale)	Carta geomorfologica e dei dissesti	-	-

Alla luce di tali analisi, non sono state individuate cartografie tematiche che evidenzino frane o più in generale dissesti che riguardino direttamente il settore interessato dall'intervento. Dai rilievi eseguiti in sito non emergerebbero inoltre particolari situazioni di dissesto che interessino direttamente il sito.

Gli unici rischi possono essere legati a potenziali fenomeni dissestivi di carattere locale e puntuale che potrebbero svilupparsi in seguito ad una movimentazione della coltre di alterazione superficiale, specie ove si presenti di natura limoso - argillosa, quindi fortemente soggetta a fenomeni di infiltrazione delle acque meteoriche e a fenomeni di gelo e disgelo, responsabili dell'instaurarsi di fenomeni erosivi ed allo scadimento delle caratteristiche geotecniche di tali materiali.

Per ovviare a tali problematiche, anche ai fini di una mitigazione del rischio geomorfologico, occorrerà in ogni caso provvedere ad una corretta regimazione delle acque di precipitazione e di ruscellamento superficiale mediante canalizzazioni e drenaggi, adeguatamente connessi ad un ricettore finale (previa verifica dell'idoneità a ricevere gli apporti idrici previsti), che dovranno essere oggetto di adeguate opere di manutenzione periodiche.

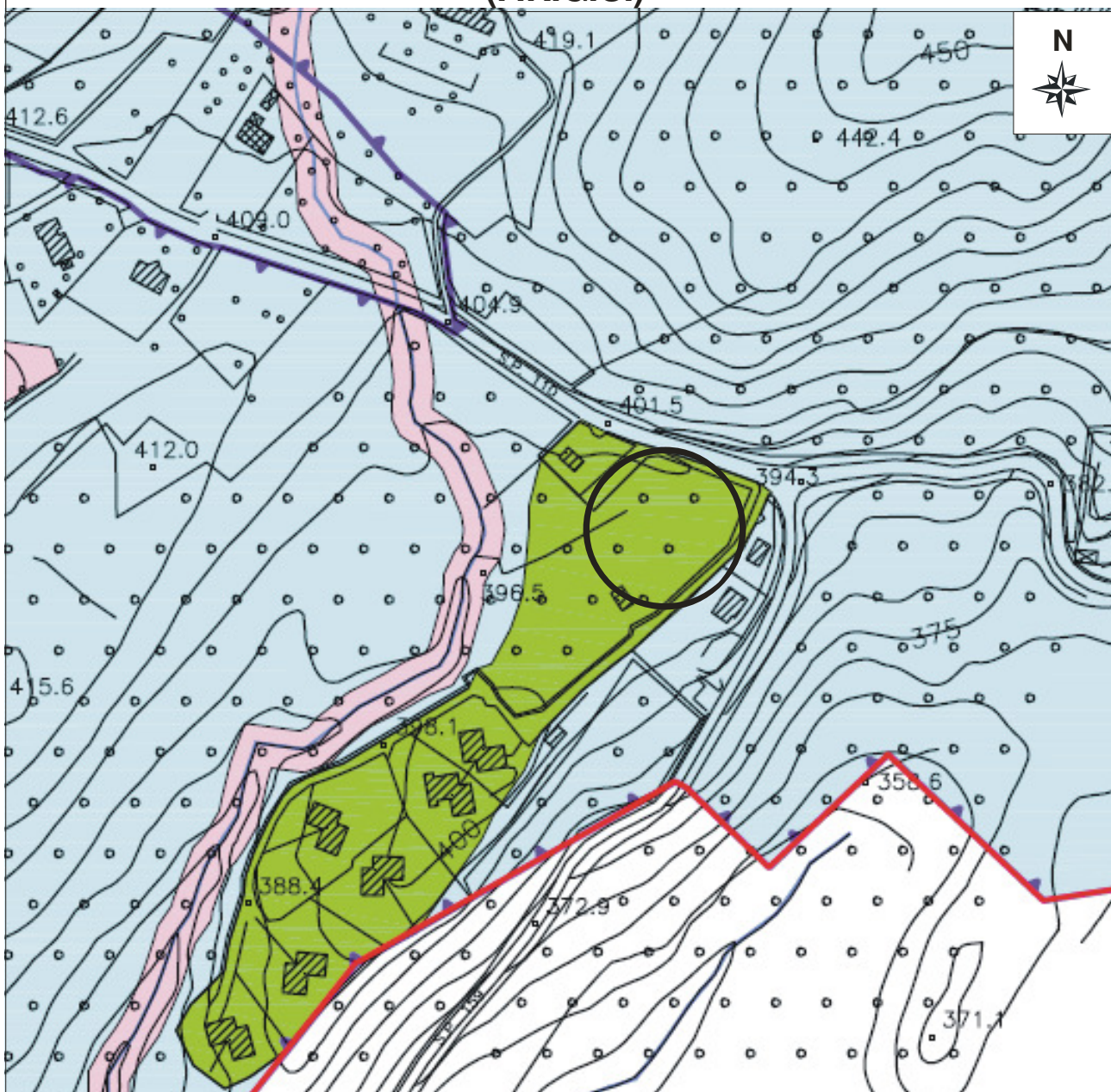
6.4 CARTA DELL'IDONEITÀ URBANISTICA

L'analisi di tutti gli elementi di carattere geolitologico, geomorfologico, idrogeologico, idrologico effettuata dai Tecnici redattori della componente geologica del P.R.G.C. ha consentito una valutazione

oggettiva della propensione al dissesto nell'intero ambito comunale. Tale determinazione, sulla base dei dati acquisiti, degli eventi storici, delle risultanze di indagini geologiche a corredo di precedenti strumenti urbanistici, della bibliografia e cartografia della Regione Piemonte, ha permesso di effettuare una zonazione del territorio riportata nella "*Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità urbanistica*". Questa ultima ha consentito la definizione di aree omogenee dal punto di vista della pericolosità geomorfologica intrinseca in funzione all'uso urbanistico suddiviso in settori omogeneamente distinti.

Il lotto oggetto d'intervento ricade nella *Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'utilizzazione ai fini urbanistici*", all'interno della **Classe I: Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche**.

CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E DELL'IDONEITA' ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA (P.R.G.C.)



Scala: 1:2.500

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:
Carta di sintesi base CTR
P.R.G.C.



Area d'intervento

CLASSE



Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Agente morfogenetico prevalente

Grado di pericolosità

Non sono evidenziati particolari processi morfogenetici e condizioni geotecniche penalizzanti

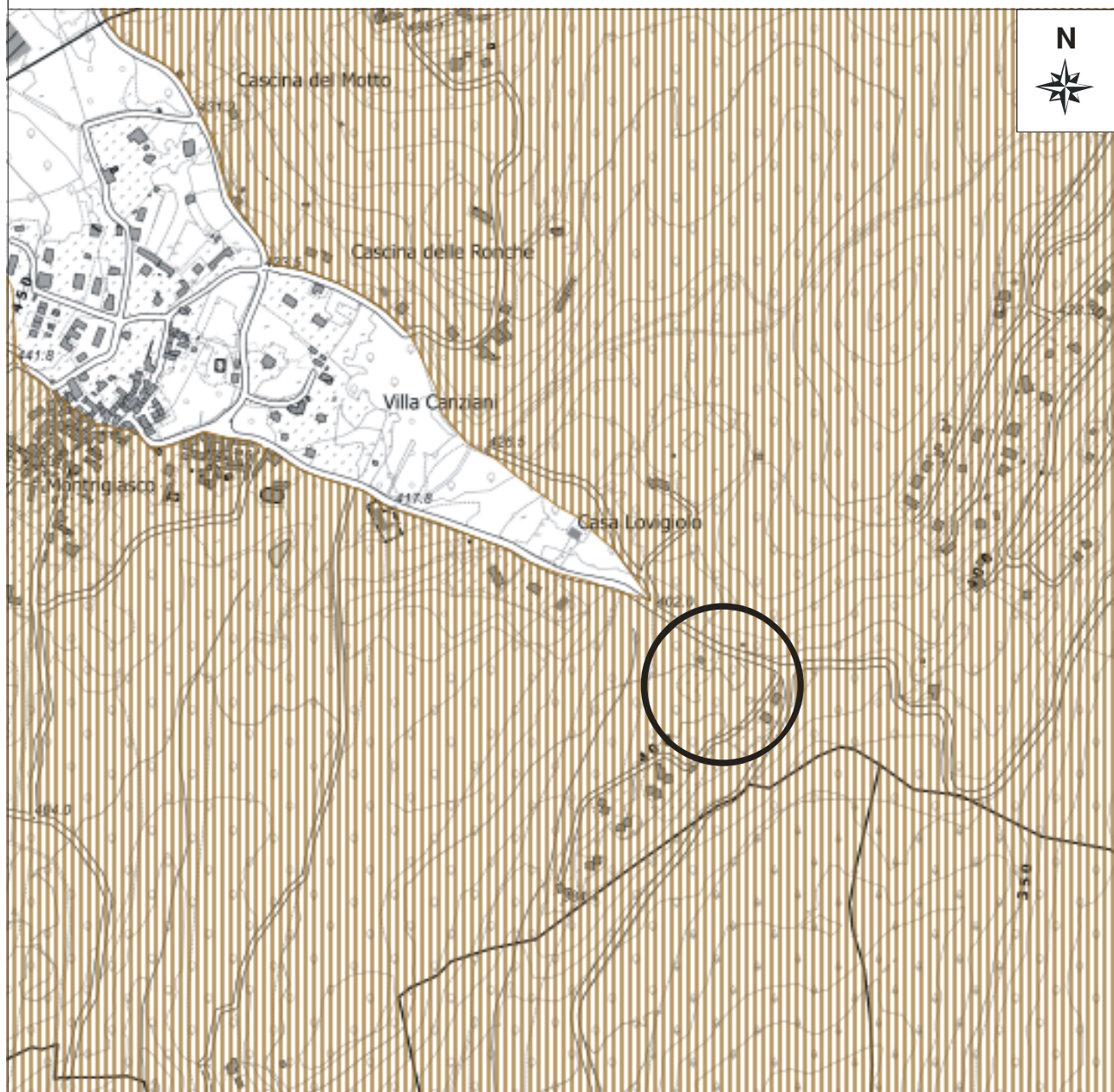
Irrilevante

6.5 VINCOLO IDROGEOLOGICO

Il tracciato in progetto ricade all'interno di aree soggette a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 1126 del 16 maggio 1926 della L.R. 45 del 9 Agosto 1989 e s.m.i.

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO

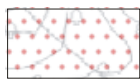


Scala: 1:5.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:
Carta del Vincolo idrogeologico
Regione Piemonte



Vincolo idrogeologico



Area d'intervento

7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO

Il settore in esame ricade nel dominio geologico-strutturale Sud-Alpino o delle Alpi Meridionali costituito da due unità principali, a contatto tettonico tra loro: la Zona Ivrea-Verbanò che caratterizza le parti settentrionali al di fuori del territorio in esame, e la Serie dei Laghi.

Si tratta di una struttura costituita da falde di basamento e copertura sud-vergenti, separata dalle unità a vergenza europea dal lineamento Periadriatico (qui rappresentato dalla linea del Canavese) e che, a differenza di queste ultime, non ha subito il metamorfismo polifasico alpino.

Le Alpi Meridionali rappresentano una sezione completa di crosta continentale pre-alpina: la Zona Ivrea-Verbanò (corpi basici, ultrabasici e kinzigiti) ne costituiva la crosta continentale inferiore, mentre la Serie dei Laghi ne rappresentava la crosta intermedia e superiore.

La Serie dei Laghi caratterizza quasi completamente le zone poste ad Ovest del Lago Maggiore; in particolare, nel territorio in esame, si trova una delle principali sub-unità che la compongono, ovvero, gli Scisti dei Laghi (prevalenti micascisti e paragneiss a due miche, talora con granato e Ca-silicati) i quali rappresentano la crosta superiore pre-alpina, di natura essenzialmente pelitica, caratterizzata anch'essa da metamorfismo ercinico, in facies anfibolitica, localmente retrocessa in facies scisti verdi; all'età permiana si fa risalire l'intrusione, in tale basamento, dei plutoni granitici e dello sciame dei corpi filoniani ad essi collegati.

Comune di Arona (NO)
NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

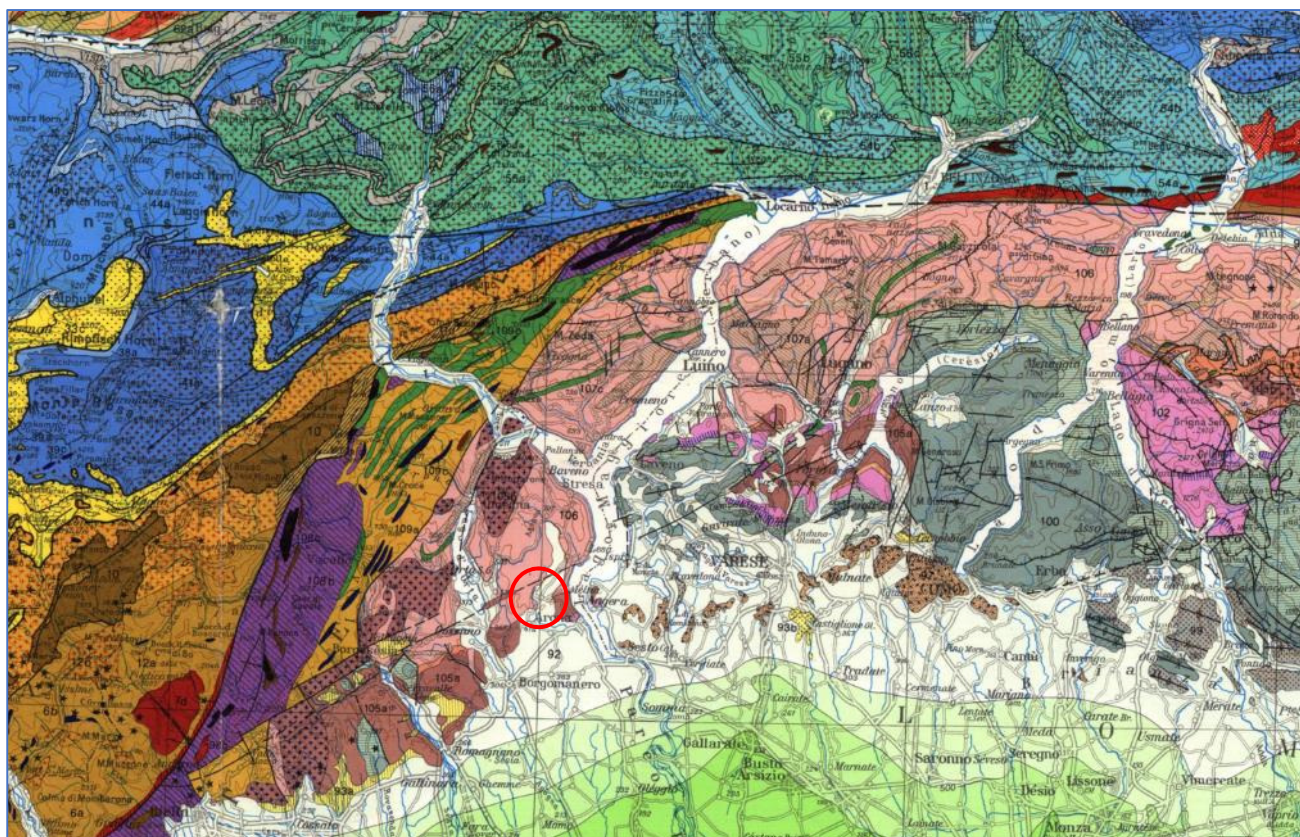


Fig. 7.1 – Estratto dal Modello Strutturale d'Italia

I limiti della Serie dei Laghi sono essenzialmente tettonici e sono rappresentati da lineamenti di diversa età e con differenti caratteristiche: a Nord il confine coincide con la linea Insubrica e a Sud con la linea della Cremonina. Verso Ovest, il limite con la Zona Ivrea-Verbanò è rappresentato dalla linea Cossato-Mergozzo Brissago, di età tardo-ercinica, caratterizzata da movimenti distensivi a basso angolo, con componente trascorrente; successivamente tale lineamento e le strutture adiacenti sarebbero state intersecate e dislocate, con una trascorrenza laterale sinistra di circa 11 km, dalla linea Pogallo-Lago d'Orta, che viene fatta risalire all'epoca dell'intrusione dei graniti dei Laghi, di età Permiana. Altri importanti lineamenti tettonici sono rappresentati da alcune faglie inverse e da sovrascorrimenti vergenti verso SE, che ritroviamo frequentemente anche nei territori ad Est del Lago Maggiore.

L'azione glaciale quaternaria, attraverso diverse fasi di espansione e ritiro (pulsazioni) delle masse glaciali, ha contribuito enormemente al modellamento morfologico del territorio, sia per gli effetti dovuti ai processi di esarazione, sia per quelli legati alle fasi deposizionali; tali forme sono conservate, con maggiore o minore evidenza, in parecchi settori del territorio. Tuttavia, la morfogenesi alpina del

marginale Sudalpino risulta in atto già precedentemente alle glaciazioni pleistoceniche; il drastico abbassamento del livello di base dell'erosione nel messiniano, conseguente all'evento di disseccamento del Mar Mediterraneo, determinò l'erosione di profondi canyons, in seguito colmati dai depositi pliocenici-villafranchiani; le masse glaciali pleistoceniche occuparono tale pattern idrografico in sovrapposizione ai depositi glaciali.

Le forme geomorfologiche presenti nell'area d'intervento sono legate a forme fluviali e di versante dovute al dilavamento connesse all'azione delle acque superficiali e che possono essere distinte in due categorie a seconda che tale azione si concentri lungo i corsi d'acqua (reticolo idrografico) o che risulti diffusa sui versanti.

La dinamica fluvio-torrentizia, ed in misura minore quella gravitativa dei versanti, si sono sovrapposte alle forme di ambiente glaciale, in parte obliterandole, soprattutto lungo i fondovalle principali ed alla base dei rilievi.

Nell'ambito del territorio si notano tanto le tratte torrentizie in erosione, quanto quelle, meno acclivi, caratterizzate da deposizione del carico solido e formazione di barre deposizionali, eventualmente soggette a reincisione in caso di elevata energia del corso d'acqua, in occasione di eventi alluvionali di particolare intensità. Il paesaggio periglaciale viene sovente spazzato da forti correnti eoliche, che determinano l'accumulo di coltri di sedimenti fini e ben classati nelle zone riparate dal vento. Tali depositi detti *loess*, sono caratterizzati dall'uniformità tessiturale (limi) ed assumono talora spessori intorno al metro. Il diverso grado di evoluzione pedogenetica dei loess è spesso un buon indice dell'età dei depositi glaciali s.l. cui sono correlati, favorendo così la ricostruzione della cronologia degli eventi susseguitisi nell'area.

L'area in esame, ubicata a SE di Montrigiasco, rientra in un settore montano boscato costituito da un settore subpianeggiante, in corrispondenza di una dorsale rocciosa ricoperta da un sottile strato di depositi glaciali, ad una quota di circa 400 m s.l.m.

Sono presenti locali irregolarità del terreno legate a passate movimentazioni del terreno con presenza di locali cumuli di ciottoli e blocchi lungo l'intero lotto, creati forse per bonificare dal punto di vista agrario il terreno stesso.

8. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOLOGICO

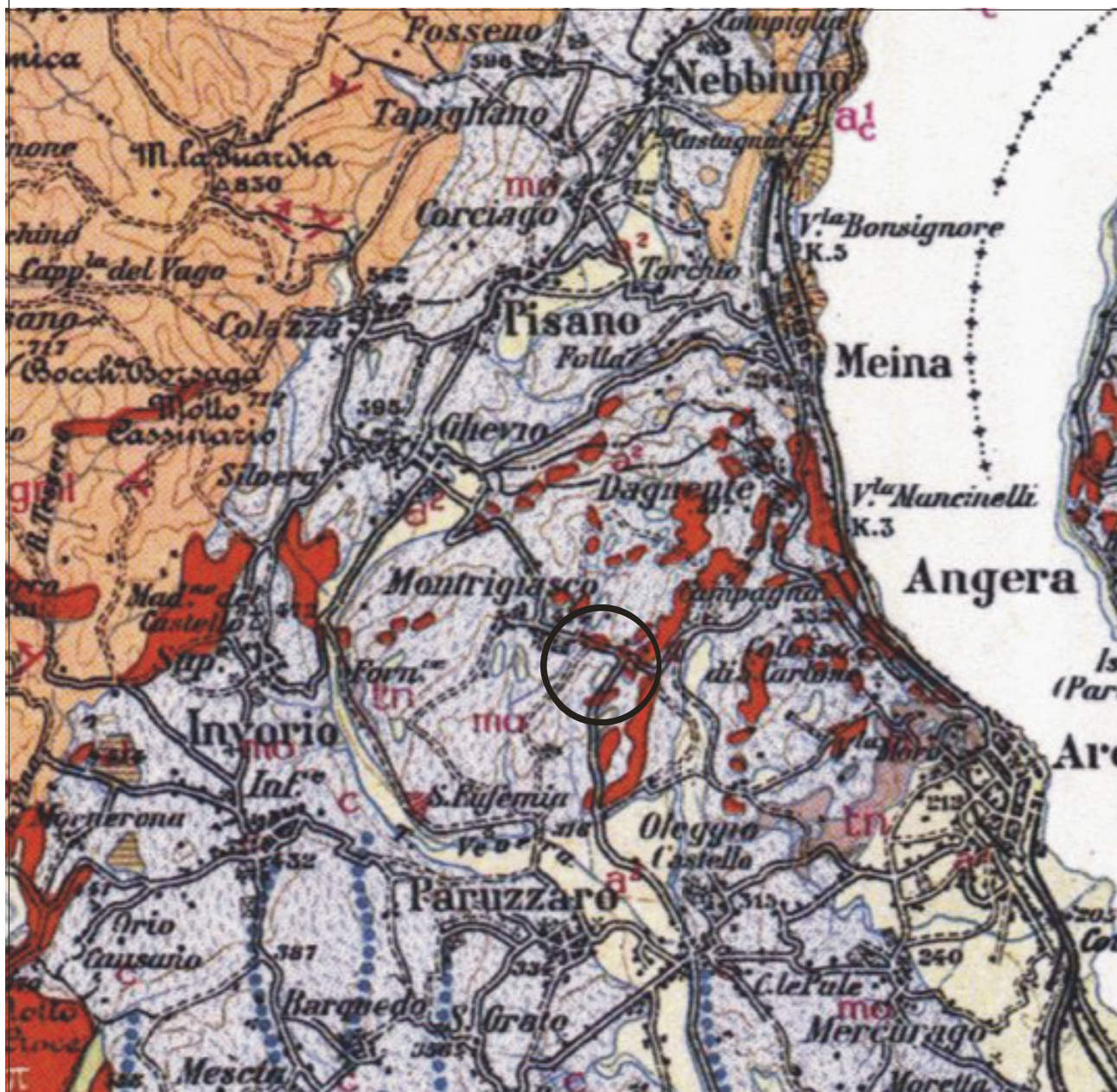
Per quanto riguarda gli aspetti geologici e litologici caratteristici dell'area in esame è stata analizzata la seguente cartografia ufficiale, ritenuta più completa ed esaustiva per il settore d'interesse:

- Carta Geologica d'Italia - Foglio n° 31 "Varese" alla scala 1.100.000
- Carta geologica allegata al P.R.G.C. alla scala 1:10.000

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000
(FOGLIO 31 - VARESE)**



Scala: 1:50.000

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:

Foglio 31 Varese
Carta Geologica d'Italia
alla scala 1:100.000



Area d'intervento

π



Formazione porfirica del Varesotto: Porfidi rossi e bruni variabili tra le forme scoriacee e porfiriche ordinarie e le granitoidi (Granito miarolitico di Cuasso) solcati da rari filoni di porfirite. Tufi vari alternanti con le colate porfiriche. Nel porfidi, filoni di fluorite e quarzo, talora mineralizzati.

mo



Morenico e cordoni morenici (c) del Würmiano e degli stadi post-würmiani, contenente talora parti fluvioglaciali, specialmente minute sabbie micacee. Depositi interglaciali della valle della Tresa (Creva) e della Valtravaglia.

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

CARTA GEOLOGICA (P.R.G.C.)



Scala: 1:2.500

Comune: Arona

Provincia: Novara

Estratto:
Carta geologica
PRGC



UNITÀ DI MONTRIGIASCO

Sabbia limosa con ciottoli e blocchi (PLEISTOCENE SUPERIORE)



VULCANITE E PORFIDI

Granofiri rossastri e felsofiri marroni (PERMIANO)



Area d'intervento

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

L'area interessata dal progetto interessa le seguenti formazioni litologiche (partendo da superficie):

Depositi glaciali e cordoni morenici (Complesso di Montrigiasco)

Rappresenta i depositi della più antica fase di espansione glaciale rinvenuta nell'area in studio (Pleistocene superiore): sono distinguibili depositi di facies glaciale, glaciolacustre e fluvio-glaciale. Sono depositi in facies glaciale costituiti da sabbie e sabbie limose, inglobanti ciottoli e blocchi da subangolari a subarrotondati di dimensioni medie variabili tra 20÷40 cm; i ciottoli, prevalentemente graniti e gneiss, si presentano da poco a mediamente alterati (specialmente quelli costituiti da micascisti). Questi depositi sono ricoperti da coltri loessiche, anche se, per la scarsità di affioramenti, non sono mai stati rinvenuti in giacitura primaria. Sui fianchi ed alla sommità dei versanti sono presenti grossi erratici. Questi materiali occupano un'area molto estesa del territorio comunale (settore occidentale), dando luogo a cordoni morenici allungati in senso NE-SW.



Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.



Trovanti metrici rinvenuti all'interno dello strato più superficiale ricco di materia organica

Substrato roccioso (Porfidi)

Queste rocce, appartenenti al dominio Sudalpino, rappresentano “l’ossatura” dei rilievi presenti a Nord di Arona ed affiorano in modo esteso lungo alcuni spaccati artificiali (S.P. Arona-San Carlo, S.P. San Carlo-Montrigiasco), lungo i versanti che scendono verso la S.S. 33 “del Sempione” e lungo alcuni impluvi. Si tratta di rocce effusive riferibili al Permiano. Nell’area d’intervento affiorano o sono in subaffioramento le facies del “Granofiro rosso”, caratterizzato da frattura concoide e da “Felfofiri fluidali marroni” caratterizzati da una massa di fondo che si frattura in modo scheggioso, di colorazione che va dal rossiccio chiaro al marrone scuro e con strisce con disposizione fluidale colorate di scuro.

9. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel settore in esame è possibile individuare in prima approssimazione due complessi litologici relativamente omogenei dal punto di vista geoidrologico, considerando che il flusso idrico sotterraneo avviene con modalità ed intensità estremamente variabili, in base al tipo ed al grado di permeabilità dei terreni.

Le formazioni litoidi che rappresentano il substrato in posto sono caratterizzate da una permeabilità di tipo secondario, dipendente dal grado di fratturazione della roccia; uno studio di dettaglio di queste caratteristiche esula dagli scopi del presente lavoro, tuttavia, si può affermare che la permeabilità del substrato roccioso, da affiorante a sub-affiorante nel territorio esaminato, sia generalmente caratterizzata da valori tendenzialmente bassi, fatto salvo nei settori in cui tale substrato risulta essere maggiormente fratturato. La circolazione idrica sotterranea profonda risulta quindi strettamente connessa all'andamento delle superfici di discontinuità e di fratturazione dell'ammasso roccioso, che rappresentano le vie preferenziali di infiltrazione e di circolazione delle acque nel sottosuolo. Una circolazione disomogenea delle acque sotterranee si rinviene un po' ovunque, resa possibile da uno stato di fratturazione non omogeneo ma continuo, prodottosi nei suddetti litotipi per decompressione in seguito agli eventi tettonici che hanno coinvolto il territorio in esame.

I materiali di copertura (depositi glaciali) sono invece caratterizzati da una permeabilità di tipo primario, legata alla porosità efficace; la composizione granulometrica ed il grado di addensamento dei depositi sono gli elementi che, in prima approssimazione, permettono di distinguere corpi con diversa permeabilità.

I terreni superficiali sono sede di un acquifero libero, essenzialmente a carattere discontinuo, generalmente poco produttivo, impostato nella porzione più superficiale delle sequenze affioranti ed in particolare nel passaggio coltre di alterazione/substrato. Tale acquifero risulta costituito da numerosi sistemi indipendenti fra loro, anche molto diversi per livelli idrici, sospesi e alimentanti spesso sorgenti dalle portate limitate e tuttavia, in alcuni limitati casi, perenni. Sono presenti, inoltre, frequenti falde sospese di carattere locale, alimentate localmente da fenomeni di infiltrazione delle acque di precipitazione e di scorrimento superficiale.

Non sono a disposizione dati sulla profondità della falda nel settore in esame.

All'interno del sondaggio S2 eseguito con escavatore meccanico è emersa la presenza di una fuoriuscita idrica puntuale proveniente dal substrato roccioso messo a nudo durante lo scavo.



Fig. 9.1 – Fuoriuscita idrica all'interno sondaggio S2

In fase di esecuzione dei lavori che prevedono operazioni di scavo e sbancamento, con realizzazione di strutture interrato, al fine di evitare di intercettare tali venute idriche, non facilmente prevedibili ed individuabili, occorrerà realizzare un adeguato sistema di drenaggio ed impermeabilizzazione a tergo delle opere e delle strutture controterra.

10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica dell'area d'intervento sono state eseguite le seguenti indagini, la cui ubicazione è riportata nella figura seguente.

- N. 3 sondaggi geognostici mediante escavatore meccanico a benna rovescia
- N. 1 prova penetrometrica dinamica del tipo DPM30
- N. 1 indagine sismica del tipo MASW

UBICAZIONE INDAGINI E PROVE GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E SISMICHE



11. SONDAGGI GEOGNOSTICI

11.1 PREMESSA

In data 10/06/2022 sono stati realizzati da ditta incaricata dalla Committenza n. 3 sondaggi geognostici mediante escavatore meccanico a benna rovescia, nei punti indicati nella cartografia allegata.

Tali sondaggi sono stati tutti spinti fino alla profondità massima di scavo pari a 2,5 m dove emergeva un substrato roccioso, escavabile con difficoltà.

Codice sondaggio	Profondità (m)
S1	2,5
S2	2,5
S3	2,5



Fig. 11.1 – Fase di escavazione

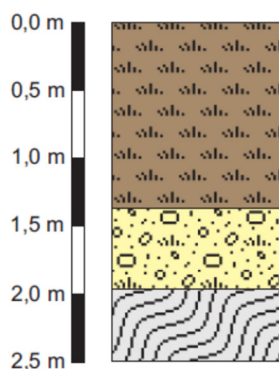
11.2 RISULTANZE

Di seguito si riportano le stratigrafie emerse dai sondaggi eseguiti.

SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1



STRATIGRAFIA



LEGENDA



UL1 - Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.



UL2 - Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra



UL3 - Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità

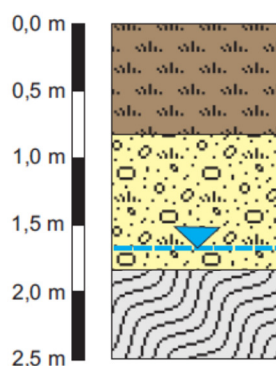


Emergenza idrica

SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2



STRATIGRAFIA



LEGENDA



UL1 - Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.



UL2 - Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra



UL3 - Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità

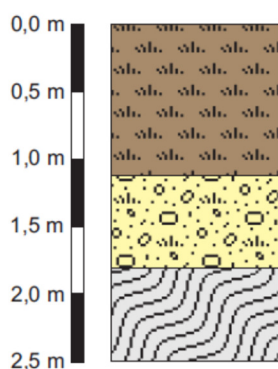


Emergenza idrica

SONDAGGIO GEOGNOSTICO S3



STRATIGRAFIA



LEGENDA



UL1 - Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.



UL2 - Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra



UL3 - Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità



Emergenza idrica

12. INDAGINI GEOTECNICHE

12.1 PREMESSA

Le indagini eseguite sono consistite nell'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche, utilizzando un penetrometro dinamico medio Geodeepdrill (DM30), che consente di indagare i tipi litologici presenti nel sottosuolo, differenziandoli in base al numero di colpi necessari per far avanzare l'asta posta all'estremità dello strumento per una lunghezza stabilita (CESTARI, 2005).

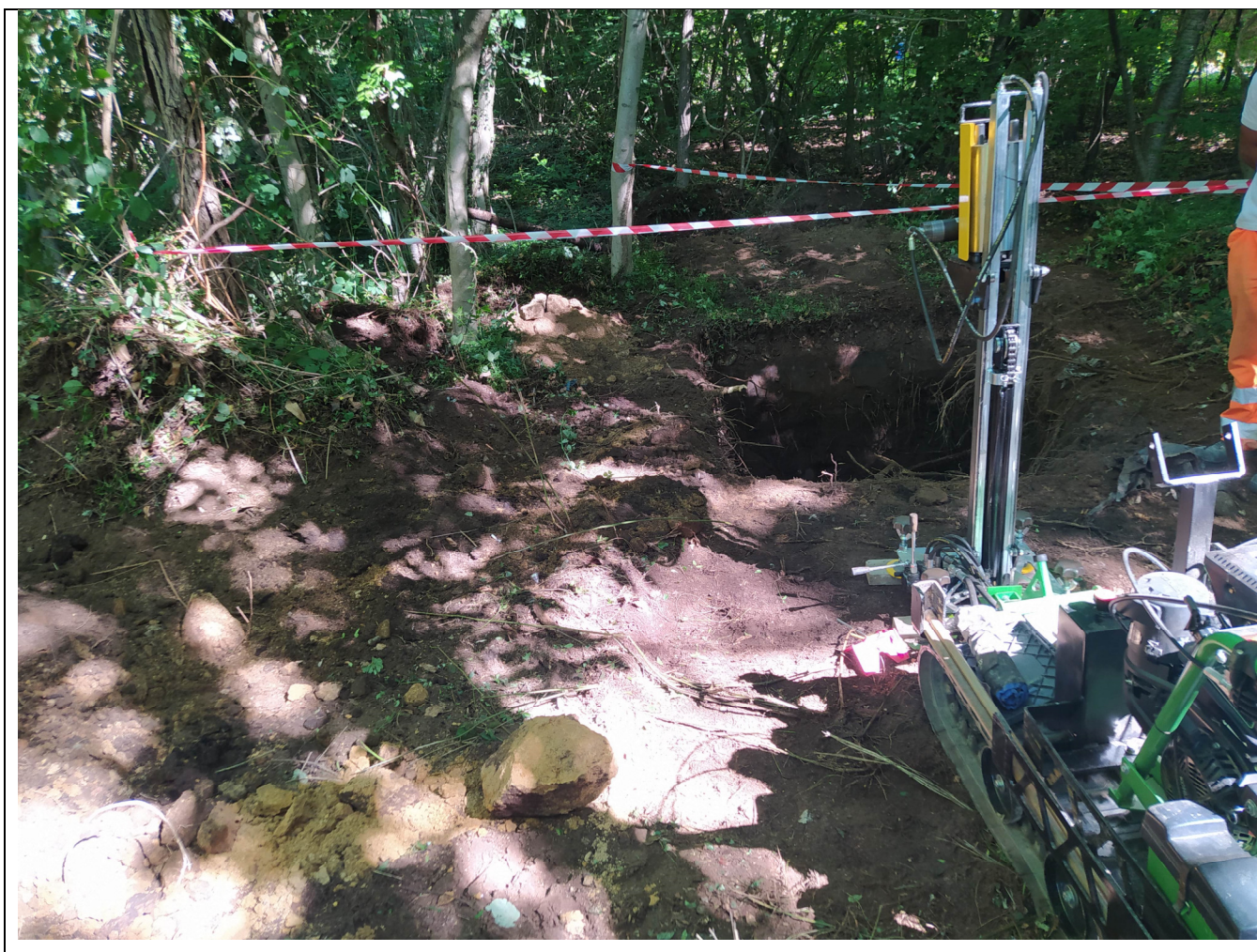


Fig. 12.1 - Fase di esecuzione della prova

In particolare, la metodologia utilizzata dal penetrometro impiegato per l'esecuzione delle prove consiste nell'infiggere verticalmente a percussione nel terreno una punta conica metallica (con angolo di apertura pari a 60°) posta all'estremità di un'asta di acciaio (avente diametro esterno massimo pari a 20 mm),

prolungabile con l'aggiunta di aste successive. L'infissione avviene per battitura facendo cadere sulla sommità delle aste, da un'altezza costante pari a 20 cm, un maglio di peso pari a 30 chili.

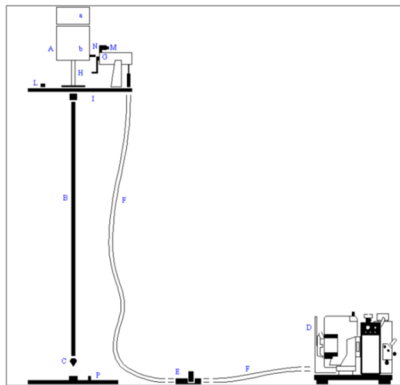


Fig. 12.2 – Schema delle caratteristiche tecniche di un penetrometro dinamico:

A = maglio a caduta libera kg 30 ($a + b$)= 20 + 10 aggiuntivi; B = aste acciaio speciale; C punta conica a perdere; D = motore; E = distributore a pedale; F = collettore ad innesto rapido; G = motore oleodinamico; H = altezza di caduta libera; I = basamento sistema di infissione; L = bolla sferica; M = contacolpi; N = visualizzatore profondità di infissione; P = piastra di base.

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche vengono generalmente presentati come numero di colpi per 10 cm di penetrazione (N10) in funzione della profondità; i valori standard dovrebbero essere compresi entro il campo $3 < N10 < 50$. Il rapporto di prova consiste in una rappresentazione sia numerica (tabulato della prova) che grafica (grafico della prova); quest'ultima a mezzo di una linea segmentata all'interno di un campo cartesiano in cui compaiono il numero di colpi N10 in ascissa e la profondità in ordinata, come mostrato nella figura seguente:

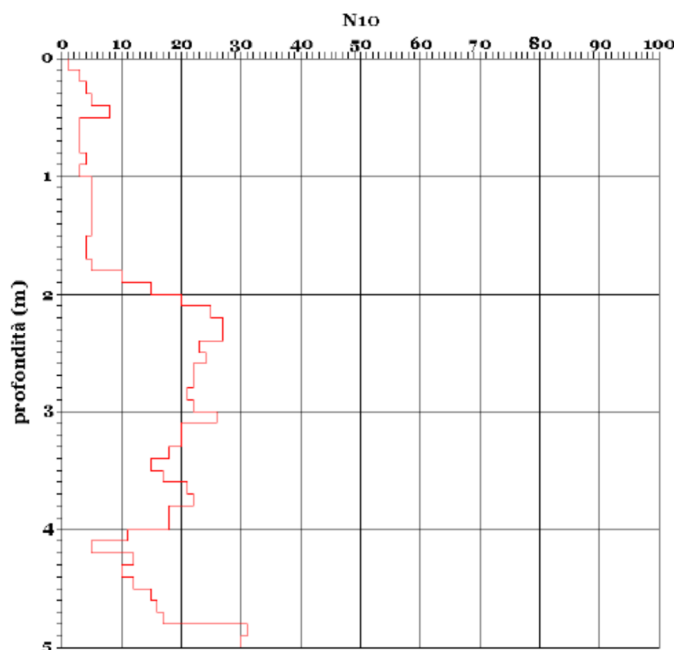


Fig. 12.3 – Diagramma Rpd-profondità

La resistenza dinamica alla punta (Rpd) è correlata al numero di avanzamento dei colpi espresso dalla Formula Olandesi.

$$Rpd = M^2H/[Ae(M+P)] = M^2HN/[Ad(M+P)]$$

dove:

Rpd	resistenza dinamica alla punta [area A]	
M	peso della massa battente	30 Kg
E	infissione per colpo	d/N
P	peso totale delle aste del sistema battuta	(dipende dal numero di aste utilizzate durante l'esecuzione prova)
d	avanzamento punta	10 cm
H	altezza di caduta libera	0,2 m
N	N° di colpi punta relativo ad un avanzamento di 10 cm	
A	area base punta conica	10 cm

Al fine di valutare le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti nel sottosuolo è opportuno correlare i valori ricavati dall'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche (N10) con i valori NSPT (*Standard Penetration Test*), poiché la ricca letteratura geotecnica e le numerose correlazioni esistenti (e internazionalmente riconosciute valide) per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni si riferiscono a questi ultimi. VANNELLI & BENASSI (1983) hanno confrontato alcuni valori di N10, ottenuti con il penetrometro 30/20, con i risultati di prove SPT (NSPT) ottenuti in sondaggi realizzati nei medesimi materiali a medesimi intervalli di profondità ed hanno fornito le seguenti correlazioni (si specifica che le relazioni riportate sono da considerarsi indicative in quanto non è possibile normalizzare i risultati poiché essi dipendono dal rendimento dei dispositivi di battitura, che risultano variabili da prova a prova).

Per la trasformazione dei valori di N10 (numero dei colpi necessari per ottenere un avanzamento di 10 cm) in NSPT si è fatto quindi riferimento a specifiche correlazioni.

Le elaborazioni sono effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

- Resistenza alla penetrazione R_d ,
- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Si rappresenta che non sono stati inserite nelle tabelle di calcolo quei numeri di prova troppo elevati, certamente anomali, che avrebbero potuto sfalsare i risultati ottenuti.

12.2 RISULTANZE

L'elaborazione delle risultanze di n. 1 prova penetrometrica dinamica, eseguita nell'area d'intervento e spinta fino a rifiuto ($N = 50$ colpi), ha consentito di ottenere una stima preliminare dei parametri geotecnici indicativi dei litotipi presenti nell'area d'indagine. La prova, ai fini di aver la certezza di non intercettare blocchi litoidi, è stata eseguita in aderenza al sondaggio S1, in modo tale anche da avere un riscontro diretto tra stratigrafia ed esito prova.

Di seguito si riportano le risultanze di tale prova.

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

PROVA P1

Strumento utilizzato GeoDeepDrill DM30

Prova eseguita in data 10/06/2022

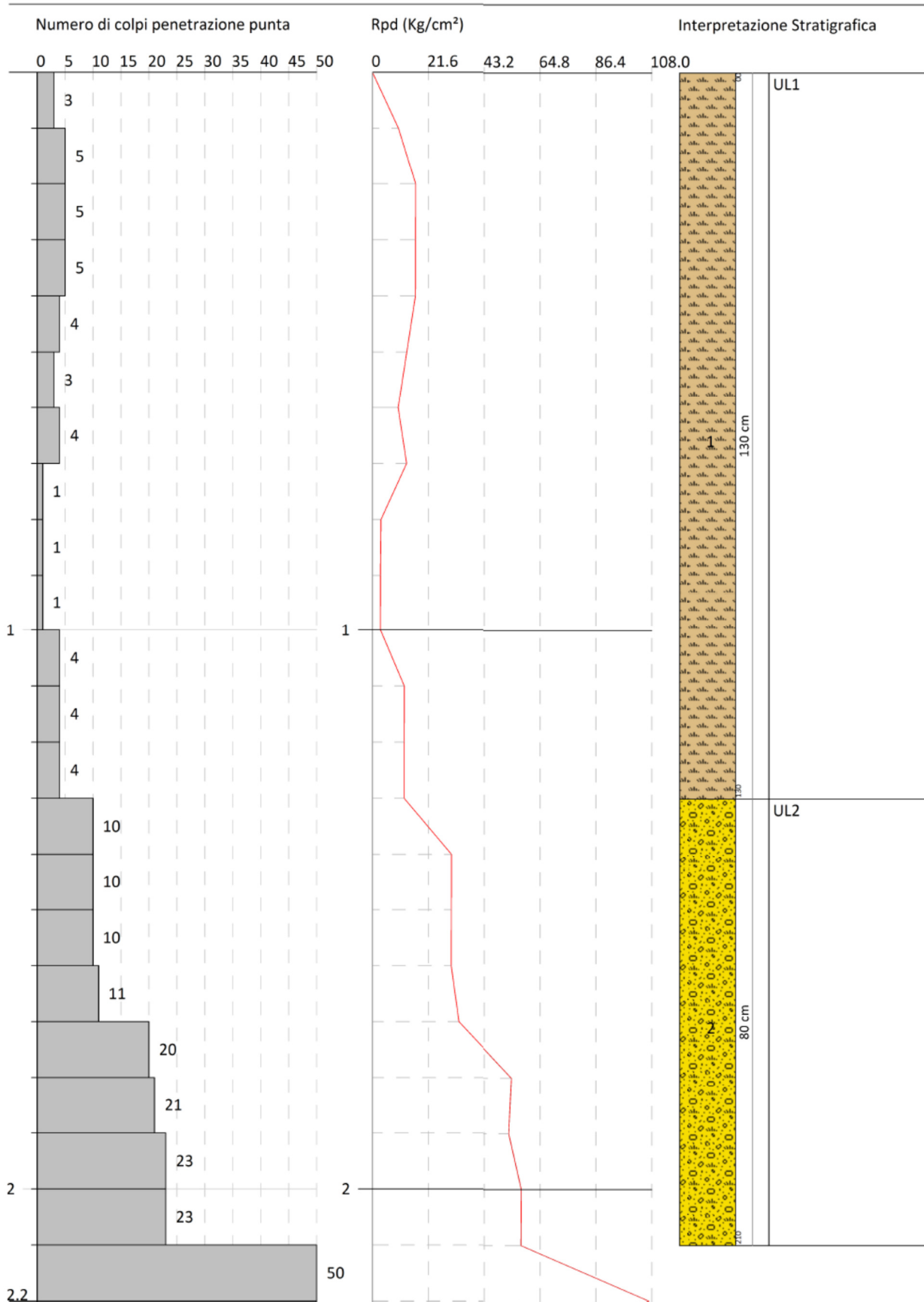
Profondità prova 2.20 m

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	3	0.857	10.06	11.74	0.50	0.59
0.20	5	0.855	16.72	19.57	0.84	0.98
0.30	5	0.853	16.68	19.57	0.83	0.98
0.40	5	0.851	16.65	19.57	0.83	0.98
0.50	4	0.849	13.29	15.65	0.66	0.78
0.60	3	0.847	9.94	11.74	0.50	0.59
0.70	4	0.845	13.23	15.65	0.66	0.78
0.80	1	0.843	3.30	3.91	0.17	0.20
0.90	1	0.842	3.09	3.67	0.15	0.18
1.00	1	0.840	3.08	3.67	0.15	0.18
1.10	4	0.838	12.31	14.69	0.62	0.73
1.20	4	0.836	12.29	14.69	0.61	0.73
1.30	4	0.835	12.26	14.69	0.61	0.73
1.40	10	0.833	30.60	36.73	1.53	1.84
1.50	10	0.831	30.53	36.73	1.53	1.84
1.60	10	0.830	30.47	36.73	1.52	1.84
1.70	11	0.828	33.46	40.41	1.67	2.02
1.80	20	0.776	57.04	73.47	2.85	3.67
1.90	21	0.725	52.68	72.69	2.63	3.63
2.00	23	0.723	57.58	79.62	2.88	3.98
2.10	23	0.722	57.45	79.62	2.87	3.98
2.20	50	0.620	107.33	173.08	5.37	8.65

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

10/06/2022



Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P1

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
UL1	2.54	0.00-1.30	Terzaghi-Peck	0.0
UL2	12.02	1.30-2.10	Terzaghi-Peck	0.0

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
UL1	2.54	0.00-1.30	2.54	Skempton 1986	13.97
UL2	12.02	1.30-2.10	12.02	Skempton 1986	37.28

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
UL1	2.54	0.00-1.30	2.54	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICAT.)	21.17
UL2	12.02	1.30-2.10	12.02	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICAT.)	28.43

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
UL1	2.54	0.00-1.30	2.54	Classificazione A.G.I	SCIOLTO PRIVO DI CONSISTENZA
UL2	12.02	1.30-2.10	12.02	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
UL1	2.54	0.00-1.30	2.54	Meyerhof et al.	1.43
UL2	12.02	1.30-2.10	12.02	Meyerhof et al.	1.80

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
UL1	2.54	0.00-1.30	2.54	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.87
UL2	12.02	1.30-2.10	12.02	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93

13. INDAGINI GEOFISICHE

13.1 PREMESSA

Per la definizione delle caratteristiche sismiche del terreno di fondazione ossia del profilo stratigrafico secondo le categorie previste dalle NTC/18 attraverso la valutazione della V_{s30}/V_{seq} è stata eseguita una prova sismica condotta con la seguente metodologia:

MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

13.2 INDAGINE SISMICA MASW - MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES

13.2.1 Introduzione

Il metodo masw è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali v_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece, onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori. Il metodo consente generalmente, di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20÷30 m, in funzione della rigidezza del suolo. L'elaborazione dei dati con il metodo masw prevede tre fasi di lavoro:

- la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale
- la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica

- la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali v_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione v_p (o in maniera alternativa alle velocità v_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e la velocità v_s degli strati. Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità v_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio v_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

13.2.2 Strumentazione utilizzata e metodologia d'indagine

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo GEA24 della PASI a 12/24 canali. Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.



Fig. 13.1 - Stendimento sismico ed attrezzatura utilizzata

I geofoni utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari a 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%. L'energizzazione è ottenuta con massa battente da 12 kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Come indicato nell'introduzione, l'indagine ha previsto la realizzazione di una prova MASW che, compatibilmente con gli spazi disponibili in sito, è stata ubicata a valle del fabbricato in esame. Lo stendimento è stato realizzato posizionando 12 geofoni a 4.5 Hz equispaziati di 2,0 m, per un totale di 30 m lineari di stendimento.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un punto di energizzazione posto a un'estremità dello stendimento, alla distanza (offset) di 4,0 m dal primo geofono. In corrispondenza del punto di energizzazione sono stati generati complessivamente n. 3 impulsi sismici.

13.2.3 Risultanze

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Easy MASW della Geostru software, che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

Il D.M. 14/01/2008 mette a disposizione dei professionisti uno strumento basato sul progetto sviluppato in collaborazione dall'INGV e dal DPC - "S1" - per il calcolo dei parametri rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per qualsiasi sito del territorio nazionale.

Il nuovo D.M. 17/01/2018 individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ calcolata attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti mediante la relazione:

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

Dove:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

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

Risultanze MASW

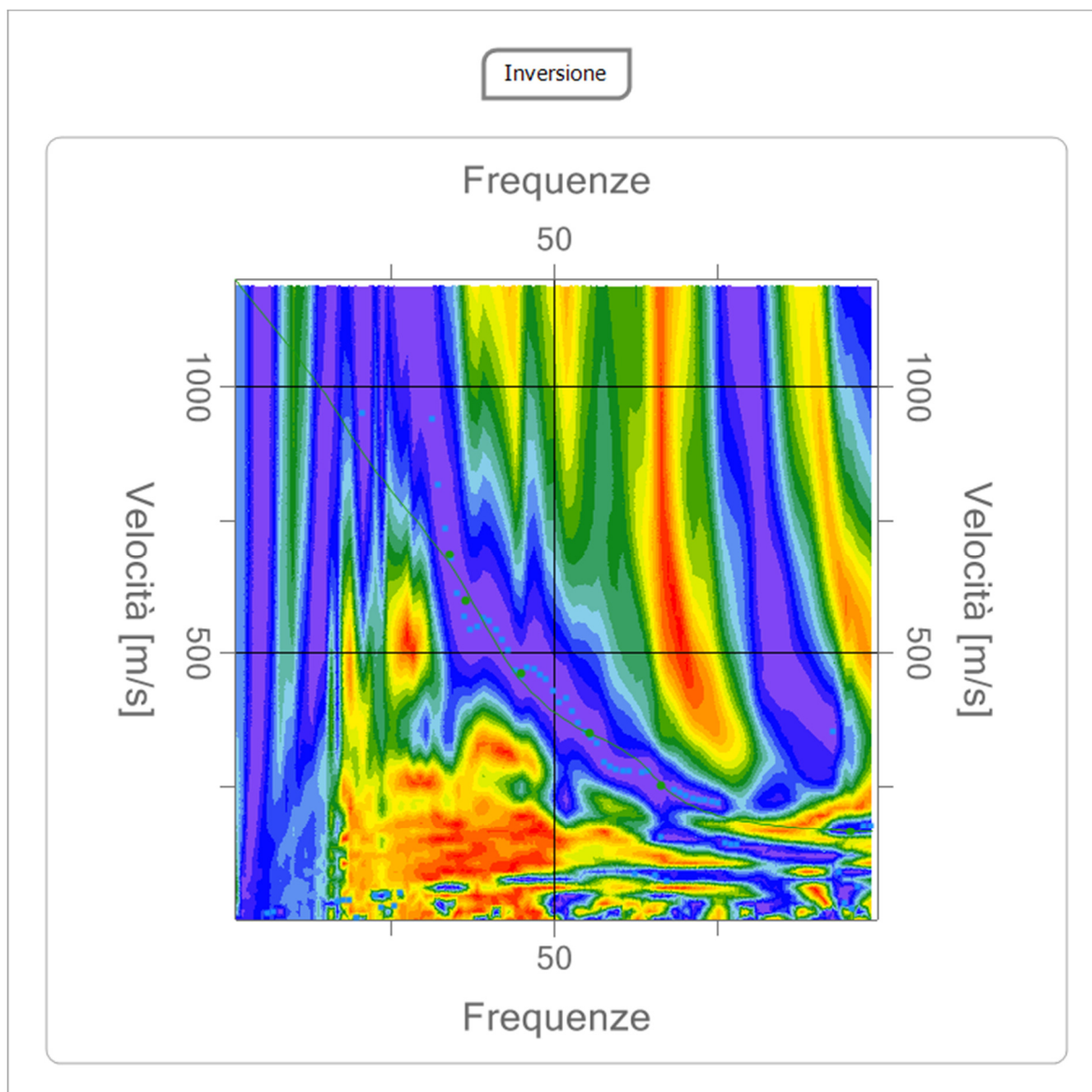


Fig. 13.2 - Traccia della curva di dispersione ottenuta dall'elaborazione della prova MASW

Percentuale di errore: 0.071%

Fattore di disadattamento della soluzione: 0.021

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

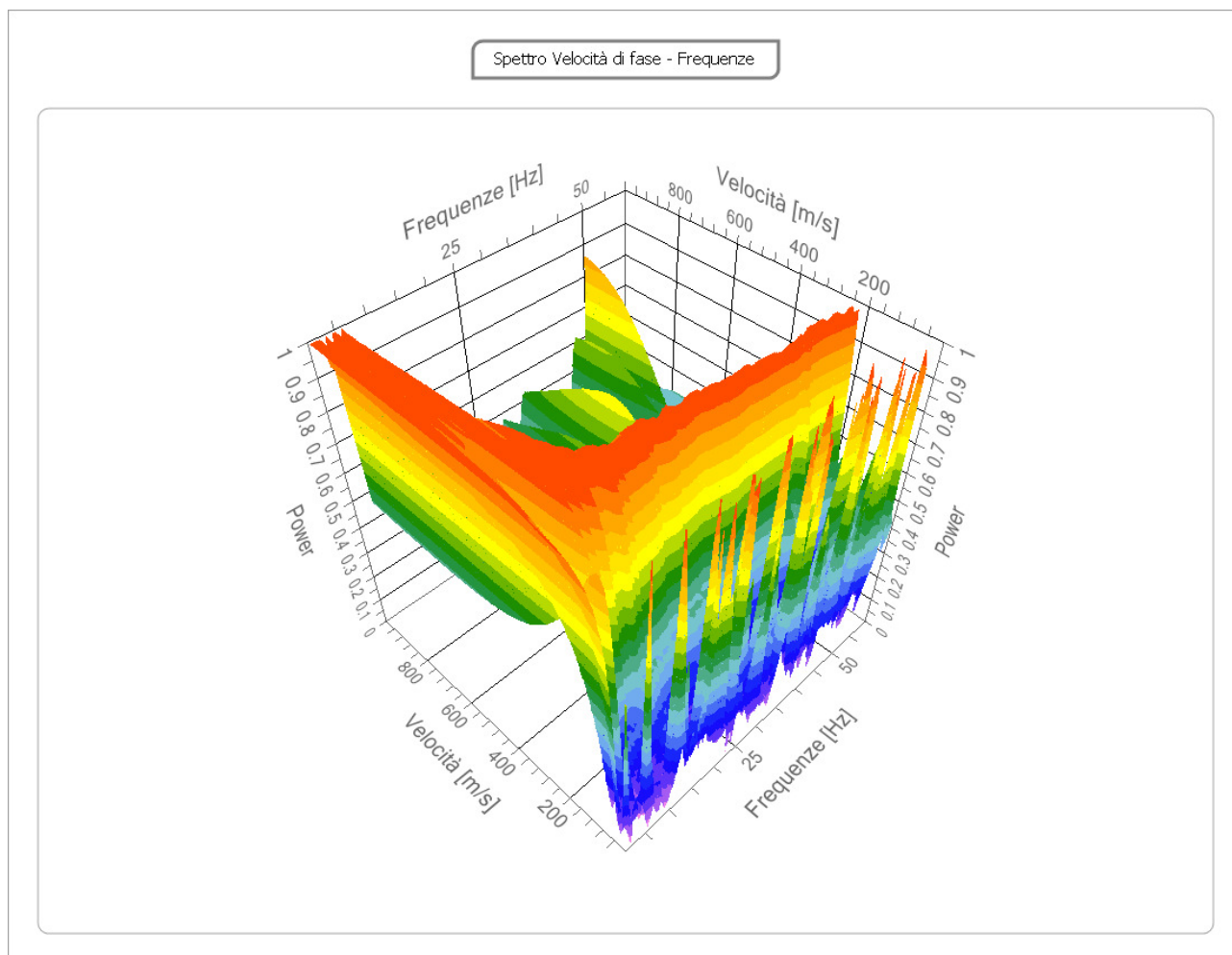


Fig. 13.3 - Spettro velocità di fase – frequenza ottenuto dall’elaborazione della prova MASW

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

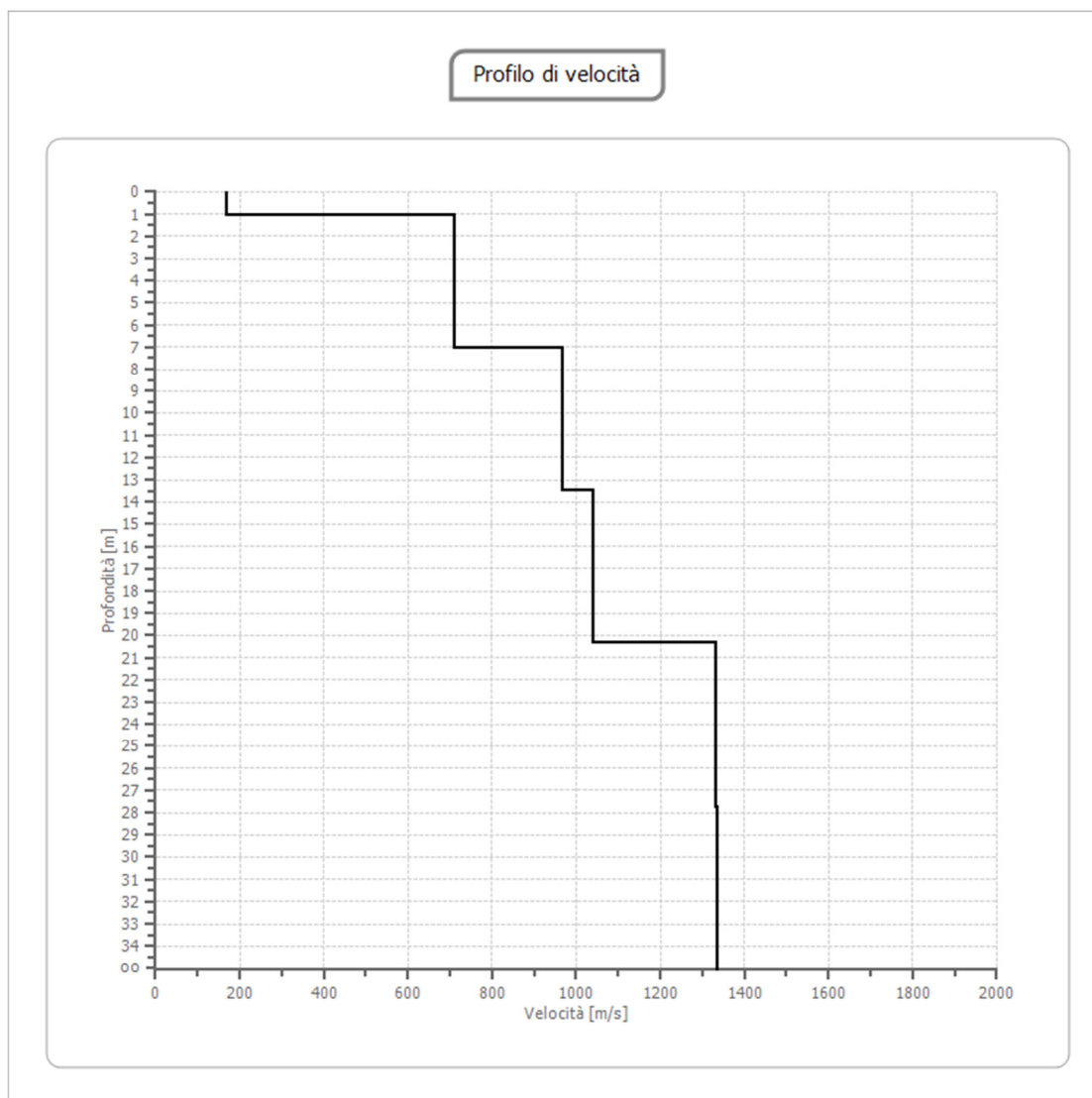


Fig. 13.4 - Profilo della velocità delle onde S in funzione della profondità

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1.05	1.05	274.9	168.4
2	7.04	5.99	1159.8	710.3
3	13.46	6.43	1577.7	966.2
4	20.32	6.86	1696.7	1039.0
5	27.74	7.42	2175.2	1332.0
6	oo	oo	2177.5	1333.4

Fig. 13.5 - Tabella di sintesi profondità – velocità onde P ed S

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

Sintesi risultati		
Vseq [m/sec] (m 7,04)	559,1	Piano di riferimento 0,5 m
Categoria del suolo	B	<i>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.</i>

13.2.4 Altri parametri geotecnici

Modulo di deformazione al taglio (G0)

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

Modulo di Young (Ey)

$$E = 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 (1 + \nu)$$

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.05	1.05	168.36	274.93	1400.00	0.30	39.68	95.24
2	7.04	5.99	710.25	1159.84	2300.00	0.30	1160.25	2784.60
3	13.46	6.43	966.15	1577.72	2500.00	0.30	2333.63	5600.71
4	20.32	6.86	1039.04	1696.74	2500.00	0.30	2698.99	6477.57
5	27.74	7.42	1332.03	2175.20	2500.00	0.30	4435.79	10645.90
6	oo	oo	1333.42	2177.47	2500.00	0.30	4445.03	10668.06

dove:

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ey: Modulo di Young (dinamico).

14. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

14.1 PREMESSA

Dal punto di vista sismico il territorio regionale piemontese è sede di attività sismica, modesta come intensità, ma notevole come frequenza; i terremoti si manifestano principalmente lungo due direttrici che riflettono chiaramente l'assetto tettonico regionale essendo quasi coincidenti, entro un ragionevole margine di distribuzione, l'uno con il fronte Pennidico e l'altro con il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana. Osservando infatti la localizzazione degli epicentri dei terremoti registrati dalla rete sismica si nota chiaramente una distribuzione dispersa lungo due direttrici principali:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità (zona sismogenetica 908);
- l'altra (zona sismogenetica 909) più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una terza direttrice, infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato.

Il D.M. 14.01.2008 ed il successivo D.M. 17.01.2018 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio “zona dipendente”) ma viene definita mediante un approccio “sito dipendente”. Pertanto essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero (free field) su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

La normativa prevede che le azioni sismiche di progetto agenti su una costruzione si definiscano a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, la quale è rappresentata dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento VR espresso in anni) nel sito si verifichi un evento

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; tale probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (PVR).

Per la caratterizzazione della pericolosità sismica del settore in studio si può fare riferimento alle banche dati ufficiali dell’ARPA Piemonte e del INGV (Catalogo terremoti italiani 2015 – Database macrosismico italiano 2015).

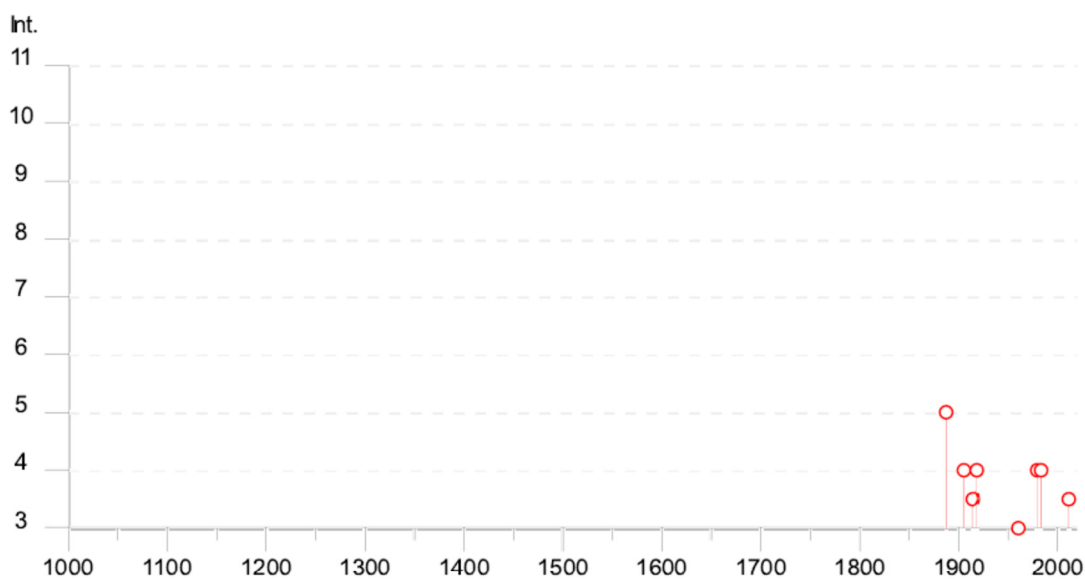
Di seguito si riporta la scheda di sintesi del Comune più prossimo a quello in esame presente nel database.

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

Arona

PlaceID IT_03870
Coordinate (lat, lon) 45.753, 8.555
Comune (ISTAT 2015) Arona
Provincia Novara
Regione Piemonte
Numero di eventi riportati 9



Effetti										In occasione del terremoto del		
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			NMDP	Io	Mw
5	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale			1511	9	6.27
4	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine			267	7-8	5.10
3-4	1914	10	26	03	43	2	Torinese			63	7	5.24
4	1918	04	24	14	21		Lecchese			34	6	4.95
3	1960	03	23	23	10		Vallese			178	7	5.00
4	1979	02	09	14	44		Bergamasco			73	6	4.78
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense			850	6-7	5.04
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta			768	5	4.21
3-4	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta			73	5	4.79

Fig. 14.1 – Terremoti storici (tratto da <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

14.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Per classificazione sismica si intende un sistema di normative che determina in che modo e dove gli edifici di nuova costruzione vanno costruiti secondo criteri antisismici, in modo cioè da resistere senza crollare alle forze sismiche. Il rischio sismico è definibile come l'incrocio tra dati di pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata), di vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni) e di esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio). Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire a chi costruisce un edificio nuovo un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale gli edifici vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza crollare. Un edificio antisismico può quindi danneggiarsi in caso di terremoto (anzi, nel caso di certe tipologie edilizie l'edificio "deve" danneggiarsi, poiché tale danneggiamento aiuta a scaricare l'energia sismica ed a impedire il crollo).

Il Comune interessato dall'intervento in progetto, in base alla Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 ed all'ordinanza OPCM 3519/2006. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65- 7656, è inserito nella classificazione sismica dei Comuni italiani in **zona 4**.

Nel seguito si riportano indicazioni tratte dalle linee guida dell'Associazione Geotecnica Italiana e dal D.M. 17/01/2018 *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”*.

Le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, in generale, alle condizioni reali. E' necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina *“risposta sismica locale”* l'azione sismica che emerge in *“superficie”* a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come *“superficie”* il *“piano di riferimento”*

così come definito, per le diverse tipologie strutturali, al § 3.2.2 delle NTC/2018. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno è dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

14.3 CATEGORIE DI PROFILO STRATIGRAFICO DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC/2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC/2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove:

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro V_{S30} (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Con il nuovo D.M. delle Infrastrutture 17.01.2018, punto 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", vengono definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Il terreno indagato, sulla base della prova MASW eseguita, è classificabile, secondo lo schema presente nel D.M. 17.01.2018, come suolo appartenente alla **categoria B**.

14.4 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Ai sensi del nel § 3.2.3.2.1 “Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali delle NTC/2018”, per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV delle NTC/2018, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l’accelerazione di gravità e T_c^* è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – 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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

14.5 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.V delle NTC/2018, in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

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 variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove ST assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove ST assume valore unitario.

L'area oggetto d'indagine ricade in prevalenza nella Categoria **T1**.

14.6 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E DELLE AZIONI DI PROGETTO

La “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“Periodo di riferimento” VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Questa probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” Pvr. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale e, in un sito generico, deve essere descritta sia in termini geografici che in termini temporali fornendo i risultati dello studio di pericolosità:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima ag e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC (nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite).

- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km).
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR.

Secondo quanto previsto dalle NTC/2018 gli stati limite (SL) per i quali l'opera viene progettata sono definiti, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F0 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.

Nelle NTC/2018 la stima della pericolosità sismica è basata su una griglia di 10751 punti ove viene fornita la terna di valori ag, Fo e T*C per nove distinti periodi.

14.7 STATI LIMITE DI RIFERIMENTO

Ai sensi del par. 3.2.1. delle NTC/2018, gli stati limite di riferimento nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limite di esercizio sono:

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

Gli stati limite ultimi sono invece:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PvR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC:

Stati Limite		Pvr; Probabilità di superamento nel periodo di riferimento
Stati limite di esercizio	SL	81%
	SL	63%
Stati limite ultimi	SL	10%
	SLC	5%

Sono stati dunque portati a due gli Stati Limite di Esercizio (SLE), facendo precedere lo Stato Limite di Danno (SLD) - ridefinito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee nelle condizioni postsismiche - dallo Stato Limite di immediata Operatività (SLO), particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.), in tal modo articolando meglio le prestazioni della struttura in termini di esercizio. In modo analogo, sono stati portati a due gli Stati Limite Ultimi (SLU) facendo seguire allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), individuato definendo puntualmente lo stato limite ultimo, lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), particolarmente utile come riferimento progettuale per alcune tipologie strutturali (strutture con isolamento e dissipazione di energia) e, più in generale, nel quadro complessivo della progettazione antisismica.

I quattro stati limite così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite

ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV, SLC), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (Cfr.: Tabella 3.2.I delle NTC) valori della probabilità di superamento P_vR pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, valori che restano immutati qualunque sia la classe d'uso della costruzione considerata; tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento VR proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

14.8 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito vengono riportati i parametri ed i coefficienti sismici di riferimento (ed in particolare la terna di valori a_g , F_0 e T^*C) ottenuti dalla stima della pericolosità sismica basata sulla griglia di riferimento.

Sito in esame.

latitudine:	45,770649
longitudine:	8,523247
Classe:	3
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 10697	Lat: 45,7815	Lon: 8,4774	Distanza: 3756,287
Sito 2 ID: 10698	Lat: 45,7844	Lon: 8,5488	Distanza: 2503,693
Sito 3 ID: 10920	Lat: 45,7345	Lon: 8,5530	Distanza: 4635,029

Sito 4 ID: 10919 Lat: 45,7316 Lon: 8,4816 Distanza: 5416,988

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 45 [anni]

ag: 0,018 g

Fo: 2,561

Tc*: 0,165 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75 [anni]

ag: 0,022 g

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

Fo: 2,543

Tc*: 0,198 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 712 [anni]

ag: 0,044 g

Fo: 2,716

Tc*: 0,293 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 1462 [anni]

ag: 0,052 g

Fo: 2,808

Tc*: 0,314 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

Ss: 1,200

Cc: 1,580

St: 1,000

Kh: 0,004

Kv: 0,002

Amax: 0,210

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,520

St: 1,000

Kh: 0,005

Kv: 0,003

Amax: 0,260

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,410

St: 1,000

Kh: 0,010

Kv: 0,005

Amax: 0,514

Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,200

Cc: 1,390

St: 1,000

Kh: 0,012

Kv: 0,006

Amax: 0,609

Beta: 0,200

14.9 STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

L'entità delle deformazioni che subisce il terreno dipende dal grado di addensamento. Se la sabbia è sciolta la pressione dei pori aumenterà molto velocemente, se la sabbia è densa le deformazioni avvengono più lentamente e sono associate ad un aumento di volume (dilatanza).

Per effetto della dilatazione la pressione interstiziale subisce una caduta ed il terreno riesce a sviluppare una resistenza al taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni indotte dai carichi ciclici. A tale proposito Casagrande afferma che sabbie sciolte con densità relative minori del 40% possono essere soggette a liquefazioni; nelle sabbie fortemente dilatanti, con densità relative maggiori del 70 % è invece

normalmente impossibile che le pressioni neutre raggiungano quelle di confinamento, per cui si possono attendere solo assestamenti di lieve entità.

Secondo la normativa vigente la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC/2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC/2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso specifico le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano $< 0,1$ g.

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

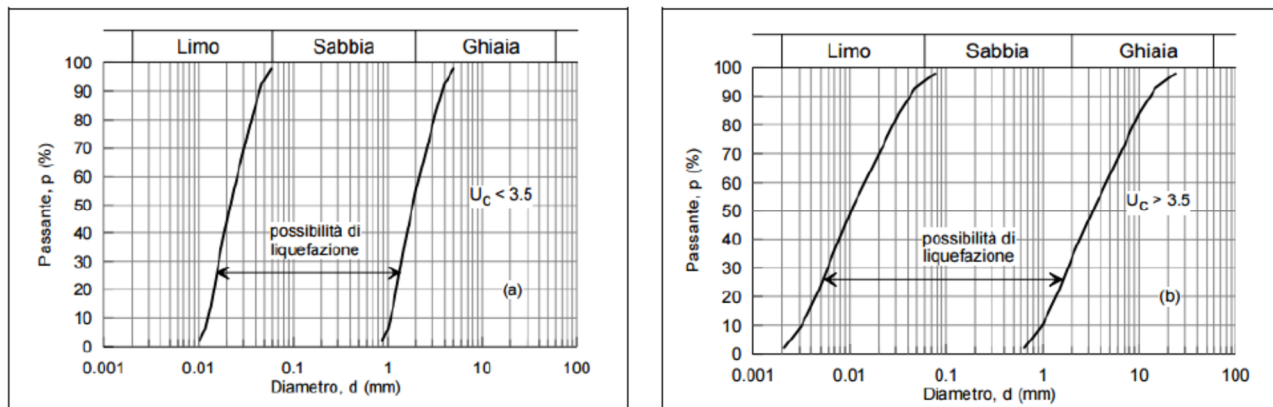


Fig. 14.2 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione

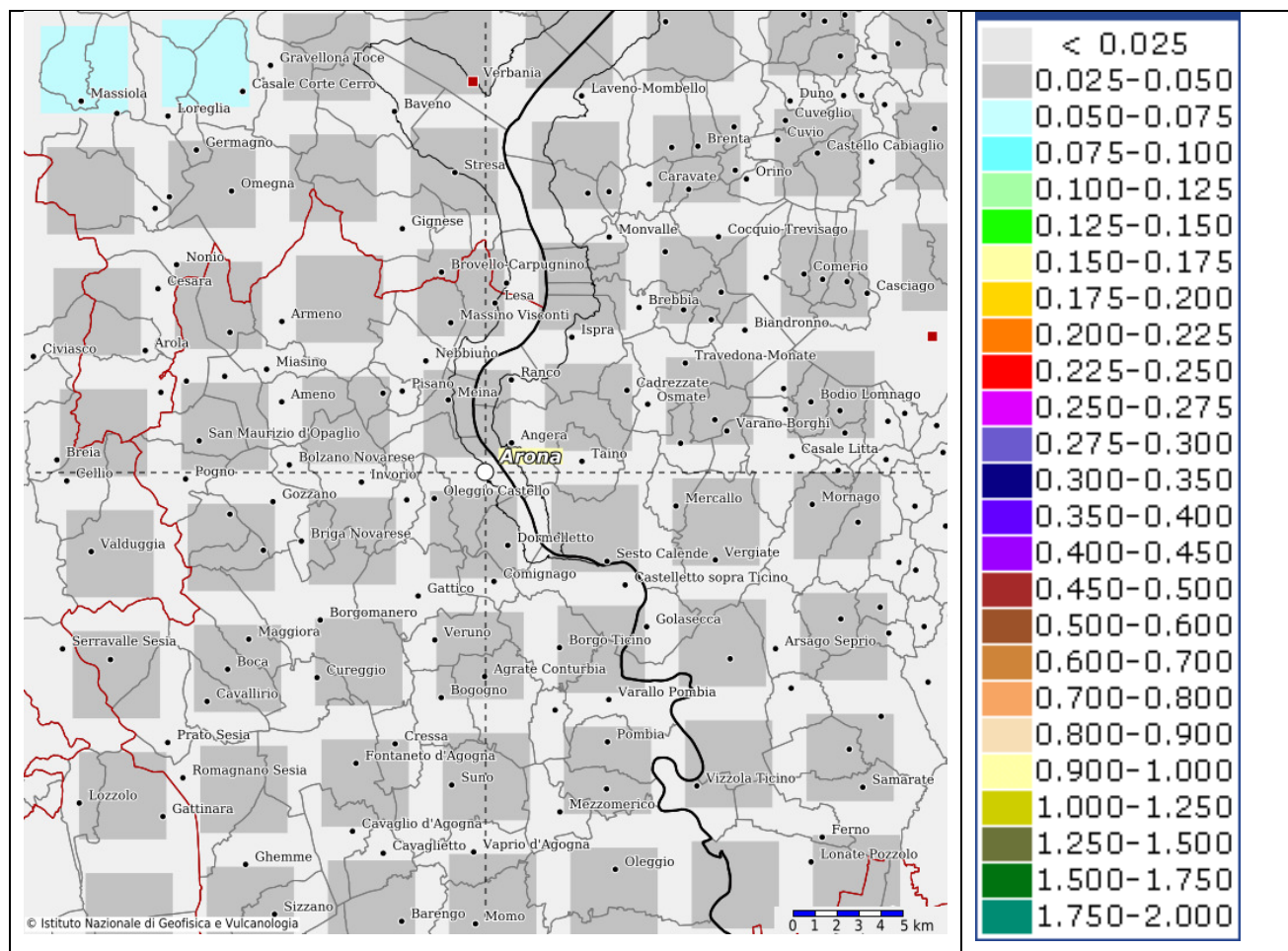





Fig. 14.3 - Mappa interattiva di pericolosità sismica INGV (tratto da: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

In via preliminare, stante la composizione granulometrica dei terreni di fondazione, il loro addensamento ed in particolare le accelerazioni massime previste, si ritiene che rispetto alle magnitudo attese i fenomeni di liquefazione siano da escludere.

15. MODELLO GEOLOGICO E LITOSTRATIGRAFICO

Sulla base di quanto emerso dai sopralluoghi, supportati da una verifica della cartografia tematica, è stato possibile ipotizzare sommariamente le seguenti Unità Litologiche, dedotte per omogeneità delle caratteristiche litologiche e geotecniche.

Unità litologica	Descrizione interpretativa	Profondità (m da p.c.)	Stato di addensamento e consistenza	
UL1	Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.	0,0 - 0,8/1,5	Da sciolto a privo di consistenza	
UL2	Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra	0,8/1,5 – 2,0	Da moderatamente addensato ad addensato	
UL3	Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità	> 2,0	Litoide	

16. MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Mentre il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici, il modello geotecnico di riferimento rappresenta, invece, uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico.

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini eseguite, supportate da una verifica della cartografia tematica, è stato possibile individuare le seguenti unità – litotecniche dedotte per omogeneità delle caratteristiche litologiche e geotecniche (vedasi “*Sezione stratigrafica e litotecnica schematica interpretativa*” allegata), caratterizzate dai seguenti parametri geotecnici.

Unità litologica	Descrizione interpretativa	Stato di addensamento e consistenza	γ_{dm}	γ_{satm}	Φ'	C	Rc
			t/m ³	t/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²
UL1	Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.	Da sciolto a privo di consistenza	1,4	1,8	21	0,0	-
UL2	Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra	Da moderatamente addensato ad addensato	1,8	1,9	28	0,0	-
UL3	Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità	Litoide	2,5	2,5	35	5,0	800 - 1200

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

dove:

- γ_{dm} : peso di volume secco
- γ_{sat_m} : peso di volume saturo
- ϕ' : angolo di attrito interno
- C: coesione efficace
- R_c : resistenza a compressione uniassiale

Il modello geotecnico risulta affidabile per il livello di progettazione definitiva. In base alle caratteristiche progettuali che saranno previste nella successiva fase progettuale esecutiva occorrerà eseguire gli eventuali approfondimenti ritenuti necessari dal Progettista ai fini di meglio tarare il modello geotecnico del terreno.

17. SCAVI E OPERE DI SOSTEGNO

In base alla tipologia di opere previste, si individuano le seguenti tecnologie possibili di realizzazione dello scavo:

- utilizzo dello scavo manuale, la cui esecuzione deve essere ricondotta ad interventi di estensione limitata e comunque per profondità non superiore a mezzo metro, sia quando venga effettuato in superficie che sul fondo dello scavo;
- utilizzo di macchine movimento terra per l'effettuazione di scavi tradizionali a cielo aperto ed in trincea;
- utilizzo di martelloni per l'effettuazione di scavi in roccia od in presenza di massi metrici.

Per quanto riguarda l'inclinazione indicativa delle pareti di scavo con fronte di scavo di altezza inferiore a 1,5 m, occorrerà fare riferimento alle prescrizioni riportate nella figura seguente dove vengono individuati i rapporti con le caratteristiche litologiche.

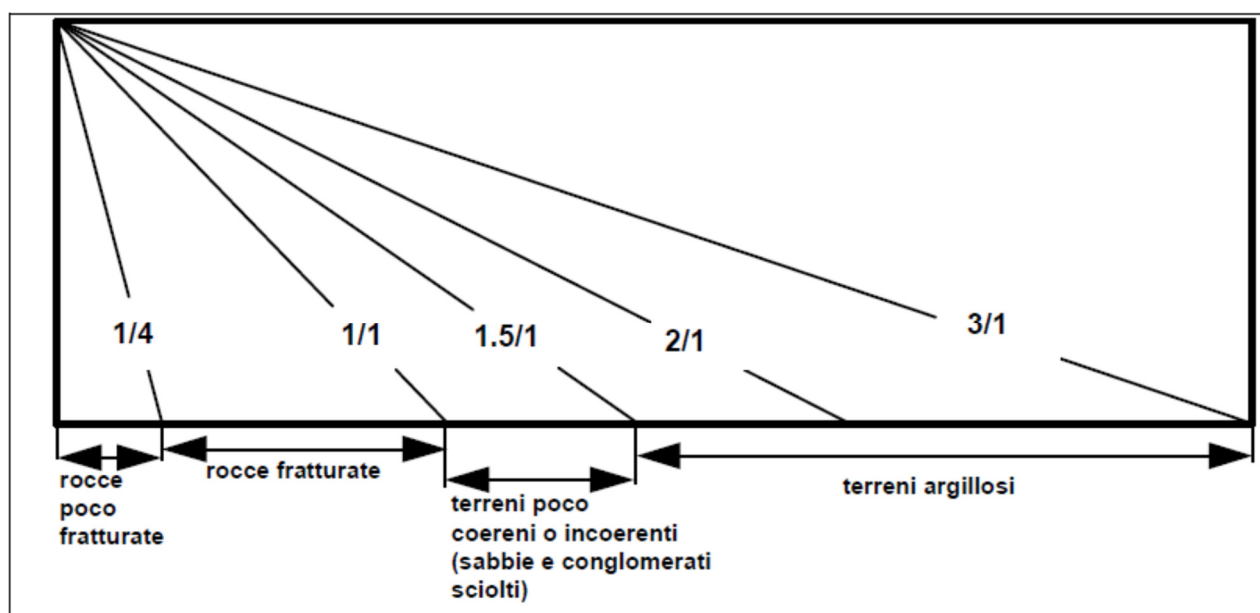


Fig. 17.1 - Schema rapporti inclinazione/litologia per fronti di scavo con altezza inferiore a 1,5 m

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

Unità litologica	Descrizione interpretativa	Inclinazione degli scavi secondo lo schema sopra riportato
UL1	Limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.	1.5/1
UL2	Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra	1/1

Occorrerà sempre prevedere lo splateamento della coltre colluvio - eluviale vegetale in adiacenza dei fronti di scavo.

Ai fini di evitare dissesti o crolli localizzati, i lavori di scavo e sbancamento dovranno interessare fronti di scavo di lunghezza limitata, avendo cura di predisporre un'adeguata copertura dei fronti non sostenuti con teli impermeabili ad elevata resistenza, adeguatamente picchettati, in particolar modo in caso di maltempo che possa far presagire l'avvento di precipitazioni meteoriche o eventi temporaleschi.

Per fronti di scavo con altezza superiore a 1,5 m, al fine di evitare franamenti e dissesti dei fronti stessi, occorrerà invece provvedere obbligatoriamente al sostegno preliminare dei fronti mediante opere e sistemi sostegno e di blindaggio degli scavi (blindo scavo) adeguatamente progettati e dimensionati ai sensi della vigente normativa.

Dal momento che potranno essere rinvenute locali venute idriche legate ad una circolazione delle acque sotterranee all'interno dei depositi superficiali nonché dal substrato roccioso fratturato, in particolare durante periodi dell'anno particolarmente piovosi o durante lo scioglimento delle nevi, occorrerà provvedere localmente all'aggottamento delle acque all'interno degli scavi.

19. VERIFICHE GEOTECNICHE

19.1 PREMESSA

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure indicate al § 2.6 delle NTC/2018. Di seguito si riportano le verifiche di tipo geotecnico a livello preliminare e puramente indicativo (predimensionamento), mentre, per quanto riguarda il dimensionamento e la verifica strutturale delle opere fondazionali, si rimanda alla *Relazione di calcolo e strutturale* a firma del Progettista incaricato.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno ed al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Nel caso di fondazioni posizionate su od in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale.

La verifica di stabilità globale effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti previsti dalla normativa, può essere omessa in quanto il sito in esame è pianeggiante.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali previsti da normativa.

Si precisa che nel caso in esame non è stato possibile pervenire al calcolo delle resistenze in termini di forze, come previsto da normativa, poiché non si è a conoscenza della struttura fondazionale definitiva; la resistenza del terreno si è quindi calcolata in termini di pressioni e definita come Qd. Resta quindi di competenza del progettista il calcolo dei valori esatti delle resistenze in termini di forze (Rd) e il confronto delle stesse con le azioni di progetto (Ed).

Le verifiche devono essere condotte anche in considerazione delle azioni sismiche (Verifiche Sismiche), che si traducono in accelerazione nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione della forza inerziale generata nella struttura in elevazione (effetto inerziale).

19.2 OPERE FONDAZIONALI PREVISTE

Da quanto fornito dai Progettisti a livello progettuale sono previste le seguenti opere:

- Platea su cui poggeranno i serbatoi

19.3 AZIONI E CARICHI IPOTIZZATI

Non avendo a disposizione le combinazioni di carichi di progetto e le caratteristiche geotecniche del materiale misto stabilizzato, che dovrà essere utilizzato in completa sostituzione dell'unità litologica UL1, priva di consistenza, sono state ipotizzate le seguenti verifiche con un'ipotesi di carico massimo applicato pari a 1 Kg/cm^2 (superiore a quello massimo previsto comunicato dallo strutturista pari a $0,81 \text{ Kg/cm}^2$).

Sarà cura dello strutturista verificare la congruenza di tali dati con le azioni effettivamente agenti sulle fondazioni e qualora necessario, saranno eseguite ulteriori iterazioni di verifica sulla base delle azioni di progetto.

N.	Stato limite	Approccio	Tipo
1	SLU	A1+M1+R3 - CARICO LIMITE	Progetto
2	SLU	A1+M1+R3 – CARICO LIMITE + SISMA	Progetto
3	SLU	A1+M1+R3 - SCORRIMENTO	Progetto
4	SLE	A1+M1+R3 - CEDIMENTI	Servizio

Resta, infatti, di stretta competenza del Progettista la scelta definitiva ed esecutiva della tipologia e del dimensionamento delle fondazioni da adottare, anche in base ai carichi previsti, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi da approfondirsi nelle successive fasi progettuali.

19.4 FORMULE UTILIZZATE PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

Di seguito si riportano le formule utilizzate per le verifiche geotecniche preliminari delle opere fondazionali.

19.4.1 Carico Limite - Formula di Meyerhof e Hanna (1978)

Si consideri un sistema costituito da due strati di terreno distinti ed una fondazione posizionata sullo strato superiore a una profondità D dal piano campagna, le superfici di rottura a carico limite possono svilupparsi completamente sullo strato superiore oppure coinvolgere anche il secondo strato. Può accadere che lo strato superiore sia più resistente rispetto allo strato inferiore o viceversa.

In entrambi i casi verrà presentata un'analisi generale per $c = 0$ e si dimostrerà che sarà valida anche nel caso di terreni sabbiosi o argillosi.

Lo studio della capacità portante di un sistema a strati è stato affrontato da diversi autori: Button (1953), Vesic (1975), Meyerhof (1974), Meyerhof e Hanna (1978).

Meyerhof (1974) ha analizzato un sistema a due strati composto da sabbia densa su argilla morbida e sabbia sciolta su argilla rigida e ha supportato il suo studio con alcuni test su modello. Successivamente Meyerhof e Hanna (1978) hanno integrato lo studio di Meyerhof (1974) includendo nelle analisi il terreno privo di coesione.

Si riporta la trattazione di Meyerhof (1974) e Meyerhof e Hanna (1978).

Si ipotizza una fondazione di larghezza B e profondità D in uno strato di terreno resistente (strato 1). Lo strato debole si trova a distanza H dal piano di posa della fondazione.

Se si verificano le condizioni per cui la distanza H non è sufficientemente ampia, oppure, si ha un carico eccezionale, una parte dello stesso carico verrà trasferito oltre il livello mn. Questa condizione indurrà

il formarsi di superfici di rottura anche nello strato più debole (strato 2). Se la distanza H è relativamente grande, le superfici di rottura si svilupperanno completamente nello strato 1.

Il carico limite negli strati 1 e 2 può essere espresso dalle seguenti relazioni:

Strato 1

$$q_1 = c_1 \cdot N_{c1} + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1}$$

Strato 2

$$q_2 = c_2 \cdot N_{c2} + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_{\gamma 2}$$

Dove:

$N_{c1}, N_{\gamma 1}$ = fattori di capacità portante dello strato 1 con angolo di resistenza a taglio j_1

$N_{c2}, N_{\gamma 2}$ = fattori di capacità portante dello strato 2 con angolo di resistenza a taglio j_2

Se il piano di posa della fondazione si trova ad una distanza D_f rispetto al piano campagna e la distanza H è relativamente grande l'espressione del carico limite è la seguente:

$$q_u = q_t = c_1 \cdot N_{c1} + q'_0 \cdot N_{q1} + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1}$$

Se q_1 è maggiore di q_2 e se la distanza H non è sufficiente a formare una condizione di plasticizzazione completa nello strato 1, allora la rottura è legata alla spinta del terreno che si sviluppa dallo strato più debole allo strato più resistente. La formulazione per la stima del carico limite diventa:

$$q_u = q_b + \frac{2 \cdot (c_a + P_p \sin \delta)}{B} - \gamma_1 \cdot H$$

Dove:

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

q_b = carico limite nello strato 2;

P_p = spinta passiva;

C_a = adesione;

δ = inclinazione della spinta passiva rispetto all'orizzontale

Con:

$$P_p = \frac{\gamma_1 \cdot H^2}{2 \cos \delta} \left(1 + \frac{2D_f}{H} \right) \cdot K_p$$

19.4.2 Cedimenti elastici

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni $B \cdot L$ posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier, 1951):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} \left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \right) \cdot I_F \quad (1)$$

dove:

q_0 Intensità della pressione di contatto

B' Minima dimensione dell'area reagente,

E e μ Parametri elastici del terreno.

I_i Coefficienti di influenza dipendenti da: L/B' , spessore dello strato H , coefficiente di Poisson μ , profondità del piano di posa D ;

I coefficienti I_1 e I_2 si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da *Steinbrenner (1934)* (V. Bowles), in funzione del rapporto L'/B' ed H/B , utilizzando $B'=B/2$ e $L'=L/2$ per i coefficienti relativi al centro e $B'=B$ e $L'=L$ per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza I_F deriva dalle equazioni di *Fox (1948)*, che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di *Poisson* e del rapporto L/B .

In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente I_S :

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} \cdot I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore H vale:

$$\Delta H = q_0 \cdot B \cdot \frac{1-\mu^2}{E_S} \cdot I_S \cdot I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo. Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a $5B$, se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore. A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di E pari a 10 volte dello strato soprastante. Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

19.4.3 Cedimenti di Burland e Burbidge

Disponendo dei dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche, per il calcolo dei cedimenti è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità I_c al risultato N della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[\sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_C / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right]$$

nella quale:

q' : pressione efficace lorda;

σ'_{v0} : tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;

B : larghezza della fondazione;

I_c : Indice di compressibilità;

f_s , f_H , f_t : fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità I_c è legato al valore medio N_{AV} di N_{spt} all'interno di una profondità significativa z :

$$I_c = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di N_{spt} da utilizzare nel calcolo del valore medio N_{AV} va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sotto falda e $N_{spt} > 15$, secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948):

$$N_c = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

dove N_c è il valore corretto da usare nei calcoli.

Per depositi ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi il valore corretto è pari a:

$$N_c = 1.25 \cdot N_{spt}$$

Le espressioni dei fattori correttivi f_s , f_H e f_t sono rispettivamente:

$$f_s = \left(\frac{1.25 \cdot L / B}{L / B + 0.25} \right)^2$$

$$f_H = \frac{H}{z_i} \left(2 - \frac{H}{z_i} \right)$$

$$f_t = \left(1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

Con:

t tempo in anni > 3;

R₃ costante pari a 0.3 per carichi statici e 0.7 per carichi dinamici;

R 0.2 nel caso di carichi statici e 0.8 per carichi dinamici.

19.4.4 Verifica a scorrimento

La normativa dispone che per le fondazioni superficiali vengano presi in considerazione i meccanismi di collasso per scorrimento sul piano di posa per gli stati limiti ultimi. La verifica viene effettuata secondo la combinazione di fattori parziali indicata simbolicamente come A1+M1+R3 prevista dall'Approccio 2, in cui R3 è il fattore di sicurezza sulla resistenza globale.

Lo scorrimento di una fondazione rispetto al terreno di posa avviene nel momento in cui le componenti delle forze parallele al piano di contatto tra fondazione e terreno vincono l'attrito e l'adesione agente sull'interfaccia terreno-fondazione e, qualora fosse presente, la spinta passiva laterale.

La verifica può essere posta nella seguente forma: $F_a < F_{rlim}/f_s$

in cui

F_a è la forza agente orizzontale agente sul piano di posa, che induce lo scorrimento,

F_{rlim} è la forza resistente orizzontale prodotta dal terreno, che si oppone allo scorrimento,

f_s è il fattore di sicurezza sulla resistenza globale (R3), (R3=1.1 secondo NTC18 p. 6.4.2.1).

La forza agente orizzontale F_a può ottenersi dalla seguente espressione:

$$F_{ah} = k_h W = \beta_s a_{max} W$$

in cui

W è il peso totale dell'opera compreso dei sovraccarichi [kg].

A_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa per il sito per SLV [g],
comprensiva dell'effetto di amplificazione stratigrafica e topografica,

β_s è un coefficiente di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima attesa per il sito, definito dalla normativa in funzione della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione al suolo attesa, variabile fra 0.20 e 0.30 (vedi p. 7.11.3.5.2, tab 7.11.1 Ntc18).

La verifica diviene significativa in presenza dell'azione sismica, che tipicamente mette in gioco forze orizzontali sulla fondazione non trascurabili, proporzionali all'intensità sismica di progetto.

La verifica può essere eseguita su fondazioni isolate o più verosimilmente sull'insieme del sistema fondale se questo è assimilabile ad un blocco monolitico, per effetto di collegamenti diffusi ed efficaci fra i singoli elementi della fondazione, come accade solitamente per gli edifici in zona sismica.

La forza resistente orizzontale F_r può ottenersi considerando i contributi di attrito e coesione offerti dal terreno, secondo la seguente espressione:

$$F_r = W \tan \delta + c_a A_{fnd}$$

in cui

W è il peso totale dell'edificio [kg],

δ è l'angolo di attrito tra fondazione e terreno,

c_a è l'adesione tra fondazione e terreno [kg/cmq]

A_{fnd} è l'area di impronta della fondazione [cmq]

I valori dell'angolo di attrito δ e l'adesione c_a dipendono da aspetti locali, come ad esempio la scabrezza della suola di fondazione. Possiamo dire in generale che per fondazioni scabre il valore di δ è molto

prossimo al valore dell'angolo di attrito del terreno ($\delta \approx 0.9 \phi$) e il valore di c_a può essere ottenuto come frazione della coesione ($c_a \approx 0.6 c$).

Per una corretta verifica a scorrimento, risulta importante la conoscenza dei carichi statici: la verifica dello scorrimento sul piano di posa viene quindi rimandata ad una successiva fase progettuale ad opera dei progettisti, una volta accertate le esatte combinazioni di carico definitive relative alle strutture ed alle azioni agenti. In ogni caso è stata eseguita una verifica preliminare utilizzando un'ipotesi verosimile di carichi dal peso massimo previsto delle opere comprensivo dei sovraccarichi e dalle forze sismiche agenti (in favore della sicurezza). Dal momento che risulta ampiamente verificata si ritiene possa essere attendibile.

19.5 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Le NTC/18 prevedono che le verifiche di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi per le opere e i sistemi geotecnici, possano essere eseguite utilizzando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi (Approccio 1 e Approccio 2).

Le verifiche allo SLU di tipo geotecnico (GEO) nei confronti del collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno devono pertanto essere eseguite utilizzando i valori dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle di riferimento delle NTC/2018:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.I-Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'k}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.2.II-Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali- γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Si è quindi fornito il valore della resistenza del sistema geotecnico R_d calcolata, secondo le formule più comuni dei diversi Autori, confrontandola cautelativamente con la tensione di progetto fornita dai Progettisti nelle condizioni più gravose.

19.6 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le opere e i sistemi geotecnici di cui al § 6.1.1 delle NTC/2018 (opere di fondazione, opere di sostegno, opere in sotterraneo, opere e manufatti di materiali sciolti naturali o di provenienza diversa, fronti di scavo, consolidamento, miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi, consolidamento di opere esistenti) devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese.

La verifica agli stati limite di esercizio implica l'analisi del problema di interazione terreno-struttura, al termine della costruzione e nel tempo, secondo quanto disposto al paragrafo § 2.2.2. Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno struttura è funzione dell'importanza dell'opera.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Cd$$

dove Ed è il valore di progetto dell'effetto delle azioni nelle combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3 e Cd è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione e di tutte le costruzioni che interagiscono con le opere geotecniche in progetto, tenendo conto della durata dei carichi applicati.

Per la verifica agli stati limite di esercizio SLE si sono determinati i cedimenti con i criteri di calcolo usuali e per dare un giudizio sulla loro ammissibilità si può fare riferimento a numerosi grafici e tabelle di letteratura, che su base statistica e in funzione di parametri diversi, indicano i valori ammissibili. In tal senso in merito ai cedimenti ammissibili di opere è noto che i cedimenti assoluti influenzano il comportamento di una struttura in misura minore dei cedimenti differenziali ed è ormai ampiamente riconosciuto che esiste una relazione tra i due cedimenti (*Grant et al., 1975, Skempton e McDonald, 1956, Polshin e Tokar, 1957, Bjerrum, 1963, Burland & Wroth, 1974*). L'approccio generalmente seguito è quello di adottare un valore di cedimento ammissibile in funzione di un valore prefissato di distorsione angolare massima funzione della tipologia di struttura. Utilizzando la correlazione β_{max}/w_{max} proposta da *Grant e altri, 1974* aggiornata da *Viggiani, 1992* e quella di *Mandolini, 2003* considerando una distorsione angolare massima di 1/500 si può assumere come cedimento massimo w_{max} il limite di 3.5 cm. Per contenere i cedimenti differenziali su valori accettabili per la stabilità della

struttura, si preferisce tuttavia considerare un cedimento massimo ammissibile w_{max} limite di 2.5 cm come previsto da *Terzaghi e Peck, 1967*.

Considerando le ipotesi fondazionali sopra riportate la verifica nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE) è stata eseguita utilizzando il metodo dei cedimenti elastici e con il metodo di calcolo di Burland e Burbidge (1985). Il primo metodo sul modulo elastico per terreni stratificati dove viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato. Il secondo metodo permette, sui dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche, di effettuare il calcolo dei cedimenti correlando un indice di compressibilità I_c al risultato N della prova penetrometrica dinamica. Nei calcoli dei cedimenti è stato utilizzato un valore di NAV, che rappresenta la media dei valori NSPT all'interno della profondità significativa z (funzione del lato della fondazione), al fine di tenere in debito conto la presenza della porzione più superficiale moderatamente addensata.

19.7 VERIFICHE GEOTECNICHE

Di seguito si riportano le risultanze delle verifiche geotecniche preliminari eseguite. Si ribadisce che tali verifiche rappresentano la base di partenza per le verifiche geotecniche e strutturali che saranno eseguite dal progettista una volta definite correttamente le opere strutturali, i carichi relativi nonché le tipologie di materiale da utilizzare come sottofondo.

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO

19.7.1 Dati generali

=====
Normativa NTC 2018

Larghezza fondazione 7.9 m
Lunghezza fondazione 25.24 m
Profondità piano di posa 0.5 m
Altezza di incastro 0.5 m
Sottofondazione...Sporgenza, Altezza 0.1/0.08 m
Correzione parametri

=====

19.7.2 Sisma

=====
Accelerazione massima (amax/g): 0.053
Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale: 0.0105

=====

19.7.3 Coefficienti sismici [N.T.C.]

=====
Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
Classe d'uso: Classe III
Vita nominale: 50.0 [anni]
Vita di riferimento: 75.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45.0	0.177	2.561	0.165
S.L.D.	75.0	0.216	2.543	0.198
S.L.V.	712.0	0.431	2.716	0.293
S.L.C.	1462.0	0.51	2.808	0.314

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.2124	0.2	0.0043	0.0022
S.L.D.	0.2592	0.2	0.0053	0.0026
S.L.V.	0.5172	0.2	0.0105	0.0053
S.L.C.	0.612	0.2	0.0125	0.0062

19.7.4 Stratigrafia terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	K Winkler [Kg/cm ³]	Unità litologica	Descrizione
1.5	1900.0	1900.0	30.0	0.0	0.0	900.0	10 - 15	R	Ipotesi di materiale di riporto misto stabilizzato (ghiaioso, sabbioso, ciottoloso)
0.5	1800.0	1900.0	28.0	0.0	0.0	500.0		UL2	Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra
10.0	2500.0	2500.0	35.0	5.0	0.0	27840.0		UL3	Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità

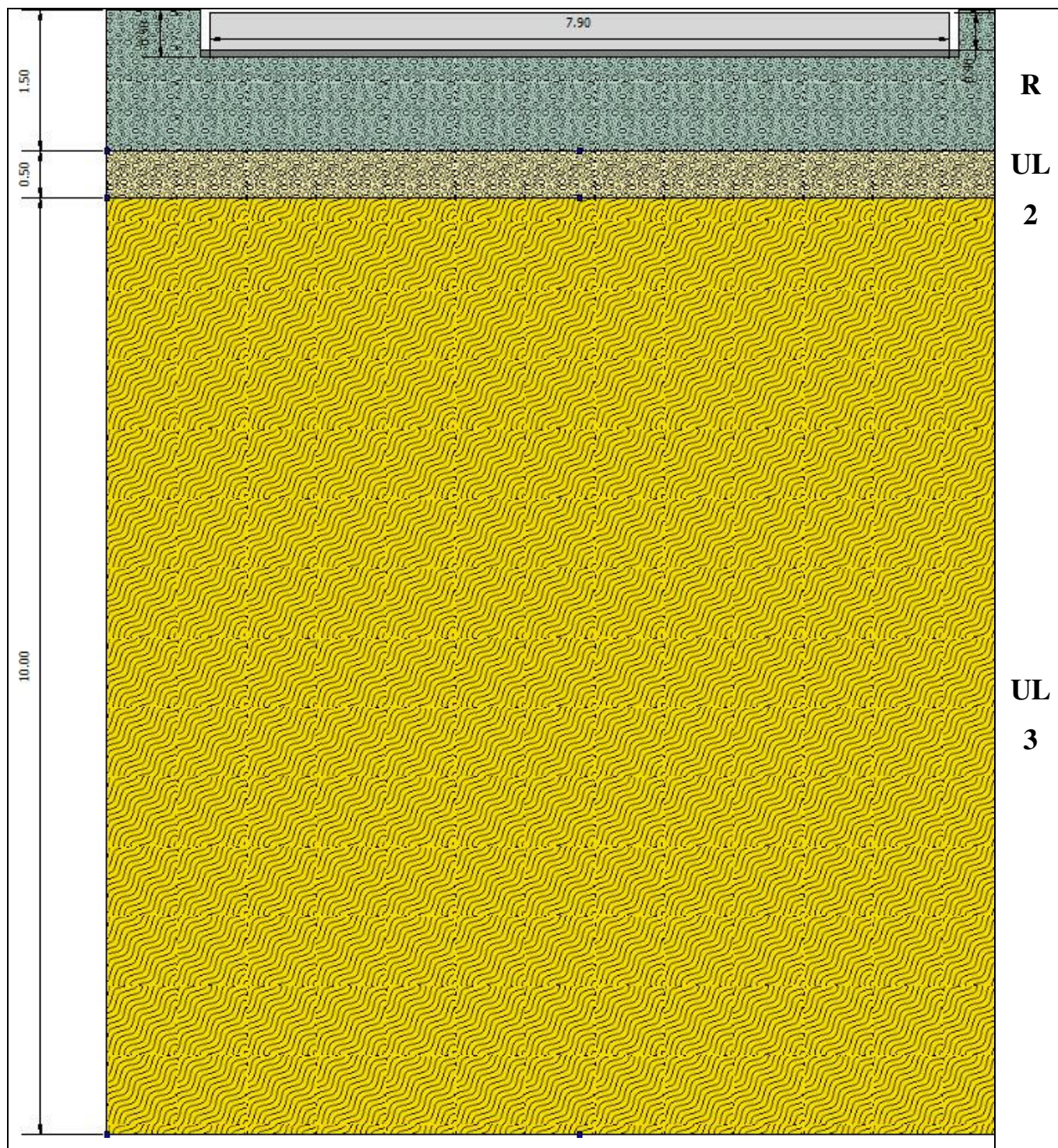
Il modulo elastico dell'Unità litologica UL2 è stato stimato in favore della cautela (500 Kg/cm^2) ipotizzando la presenza di una coltre con contenuto variabile in frazione fine, sebbene sia stato ottenuto dalle prove sismiche un valore significativamente maggiore equiparabile a quello del substrato, probabilmente, a causa dell'elevata presenza di blocchi di roccia scompaginati (coltre detritica derivante dalla fratturazione del substrato).

I parametri relativi all'Unità litologica R (riporto), costituito da materiale misto stabilizzato in sostituzione all'esistente livello limoso argilloso con resti vegetali, sono puramente indicativi in quanto sarà compito del Progettista definirne l'esatta tipologia e le corrette caratteristiche fisico meccaniche e geotecniche. In fase di progettazione esecutiva si potrà inoltre valutare la possibilità di rimuovere completamente l'Unità litologica UL2 e spingere il riporto fino a contatto con l'Unità litologica UL3.

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO



19.7.5 Carichi di progetto agenti sulla fondazione

E' stato utilizzato un carico di progetto pari a $1,0 \text{ Kg/cm}^2$, cautelativamente superiore, in fase di predimensionamento, a quello calcolato di progetto fornito dallo Strutturista pari a $0,81 \text{ Kg/cm}^2$. Sarà

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

cura dello Strutturista verificare la congruenza di tali dati con le azioni effettivamente agenti sulle fondazioni e qualora necessario, saranno eseguite ulteriori iterazioni di verifica sulla base delle azioni di progetto.

Nr.	Stato limite	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm ²]	Tipo
1	SLU	A1+M1+R3 - CARICO LIMITE	1.0	Progetto
2	SLU	A1+M1+R3 - CARICO LIMITE + SISMA	1.0	Progetto
3	SLU	A1+M1+R3 - SCORRIMENTO	1,0	Progetto
4	SLE	A1+M1+R3 - CEDIMENTI	1.0	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzion e Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
3	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

19.7.6 Risultanze verifiche

Carico limite fondazione combinazione A1+M1+R3

Autore: Meyerhof and Hanna (1978)

Carico limite [Qult] 5.4 Kg/cm²

Resistenza di progetto [Rd] 2.35 Kg/cm²

Tensione [Ed] 1.0 Kg/cm²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 5.4

Condizione di verifica [Ed≤Rd] Verificata

Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)

=====

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

Fattore [Nq]	18.4
Fattore [Nc]	30.14
Fattore [Ng]	4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq]	14.72
Fattore [Nc]	25.8
Fattore [Ng]	3.42

Carico limite strato 2 (qb)	6.96 Kg/cm ²
Carico limite strato 1 (qt)	5.4 Kg/cm ²

Incremento carico limite strato 1	0.09 Kg/cm ²
Coefficiente di punzonamento (ks)	3.37
Rapporto (q1/q2)	0.73

Carico limite	5.4 Kg/cm ²
Resistenza di progetto	2.35 Kg/cm ²

Condizione di verifica [Ed ≤ Rd] Verificata

Carico limite fondazione combinazione A1+M1+R3 + Sisma

Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq]	18.4
Fattore [Nc]	30.14
Fattore [Ng]	4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq]	14.72
Fattore [Nc]	25.8
Fattore [Ng]	3.42

Carico limite strato 2 (qb)	6.96 Kg/cm ²
Carico limite strato 1 (qt)	5.4 Kg/cm ²

Incremento carico limite strato 1	0.09 Kg/cm ²
Coefficiente di punzonamento (ks)	3.37
Rapporto (q1/q2)	0.73

Carico limite	5.4 Kg/cm ²
---------------	------------------------

Comune di Arona (NO)

NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO

PROGETTO DEFINITIVO

Resistenza di progetto 3.0 Kg/cm²

Condizione di verifica [Ed ≤ Rd] Verificata

Verifica a scorrimento A1+M1+R3 (Sisma)

Adesione terreno fondazione	0 Kg/cm ²
Angolo di attrito terreno fondazione	25 °
Frazione spinta passiva	30 %
Resistenza di progetto	690342 Kg
Sollecitazione di progetto	166682 Kg

ottenuta da: $F_{ah} = \beta_s a_{max} W$

$F_{ah} = 0,2 \times 0,514 \times 1621417 \text{ Kg} = 166.682 \text{ Kg}$

Condizione di verifica [Ed ≤ Rd] Verificata

SLE - Cedimenti

Cedimenti elastici

Pressione normale di progetto	1.0 Kg/cm ²
Modulo Elastico strato 1	900.0 Kg/cm ²
Modulo Elastico strato 2	500.0 Kg/cm ²
Modulo Elastico strato 3	27840.0 Kg/cm ²
Coefficiente di Poisson	0.3

Coefficiente di influenza I1	0.04
Coefficiente di influenza I2	0.09
Coefficiente di influenza Is	0.09

Cedimento al centro della fondazione	1.05 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0.01
Coefficiente di influenza I2	0.05
Coefficiente di influenza Is	0.04
Cedimento al bordo	0.24 mm

Cedimenti Burland e Burbidge

Pressione normale di progetto	1.0 Kg/cm ²
-------------------------------	------------------------

Comune di Arona (NO)

**NUOVO SERBATOIO IN LOCALITÀ MONTRIGIASCO
PROGETTO DEFINITIVO**

Tempo	15.0
Profondità significativa Zi (m)	2.006
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	18 (25 strato R e 12 strato UL2)
Fattore di forma fs	1.34
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1.44
Indice di compressibilità	0.029
Cedimento	21.75 mm

=====

19.8 CONSIDERAZIONI FINALI

Le verifiche geotecniche svolte hanno evidenziato coefficienti di sicurezza molto elevati nei confronti delle verifiche effettuate e cedimenti accettabili per carichi intorno a 1,0 Kg/cm². Tale situazione è in ogni caso teorica in quanto si sono utilizzate parametri del sottofondo abbastanza cautelativi e puramente indicativi. Pertanto, le ipotesi di adozioni di fondazioni dirette del tipo platea per tutte le opere in progetto sono confermate e possono essere estese anche ad eventuali opere minori non direttamente verificate, in quanto caratterizzate da carichi minori ed impronte in pianta inferiori.

19.9 DICHIARAZIONE SUL SOFTWARE IMPIEGATO AI SENSI DELLE NTC2018

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Si dichiara quanto segue:

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica a carico limite viene eseguita secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle caratteristiche del terreno equivalente di progetto;
- Calcolo del carico limite.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguita secondo le seguenti fasi:

- Calcolo dei cedimenti.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Nome Software LOADCAP

Versione 2022.30.2.1040

Produttore GEOSTRU

Utente Studio Geologo Ferrarotti

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice GEOSTRU srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non

verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

20. INDICAZIONI E PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO

Alla luce delle indagini e verifiche eseguite, si riportano alcune indicazioni e prescrizioni ai fini della salvaguardia del territorio e dell'area d'intervento nonché delle opere esistenti ed in previsione, da ottemperare nelle diverse fasi progettuali e durante l'esecuzione dei lavori. Particolare attenzione dovrà essere posta in fase di progettazione, adottando provvedimenti che mitigino il rischio nelle aree esistenti, con particolare riferimento al mantenimento dell'efficienza della rete scolante e di smaltimento delle acque meteoriche sia superficiali che sotterranee (emergenze idriche localizzate), il cui corretto dimensionamento ed adeguatezza rappresentano i fattori principali per la stabilità e la sicurezza dei luoghi.

20.1 PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA

20.1.1 Scavi, opere provvisori, opere di sostegno ed opere di contenimento

- Il Progettista degli interventi e delle strutture, sulla base del modello geotecnico del sottosuolo, dovrà realizzare delle soluzioni progettuali, nel pieno rispetto della normativa in materia (NTC/2018), che comprendano la previsione quantitativa degli effetti direttamente indotti dagli scavi al contorno dello scavo ed in superficie, con riferimento anche agli scavi poco profondi in ambienti urbanizzati, da cui deve derivare la scelta del metodo e delle tecniche di scavo e degli eventuali interventi di miglioramento e rinforzo in fase di avanzamento.
- Il Progettista degli interventi e delle strutture dovrà provvedere alla progettazione, nel pieno rispetto della normativa in materia (NTC/2018), di tutte le opere di contenimento e di sostegno, ove necessario, in modo tale che rispettino gli standard di sicurezza previsti dalla normativa, contrastando quindi le forze agenti dovute al terreno e le pressioni neutre generate dalla presenza di acqua che potrebbe essere puntualmente legata ad una circolazione sotterranea.

20.1.2 Opere fondazionali

- Il Progettista degli interventi e delle strutture, relativamente alle opere fondazionali, dovrà eseguire, tutte le verifiche ai fini della valutazione delle prestazioni attese nei confronti dei

diversi Stati Limite strutturali (STR) e geotecnici (GEO) utilizzando gli approcci previsti dalla vigente normativa in materia (NTC/2018).

20.1.3 Prescrizioni generali

- Il Progettista degli interventi dovrà seguire quanto prescritto nella presente relazione, avendo cura, una volta redatto il progetto esecutivo delle strutture, di provvedere all'esecuzione di tutte le verifiche delle prestazioni attese nei confronti dei diversi Stati Limite strutturali (STR) e geotecnici (GEO) utilizzando gli approcci previsti dalla vigente normativa in materia (NTC/2018) relativamente alle opere fondazionali ed alle opere di contenimento, tenendo conto dell'interazione tra strutture e terreni.
- Il Progettista degli interventi e delle strutture dovrà valutare i possibili effetti negativi che si potrebbero creare a seguito della realizzazione delle opere e degli interventi previsti sui manufatti attigui e sull'ambiente circostante.
- Il Progettista degli interventi e delle strutture dovrà progettare un adeguato sistema di gestione delle acque meteoriche dirette, di ruscellamento superficiale e sotterranee, in particolare relative alla fase di cantiere, dal momento che sono state individuate anche emergenze idriche sotterranee puntuali (vedasi sondaggio S2).

20.2 FASE DI CANTIERE ED ESECUZIONE LAVORI

20.2.1 Scavi, opere provvisori, opere di sostegno ed opere di contenimento

- Alla luce della natura dei terreni, anche in relazione a possibili fenomeni meteorici, infiltrazioni, fenomeni di gelo o disgelo, etc. occorrerà provvedere al sostegno preliminare del terreno mediante opere provvisori e successivamente definitive per gli scavi di altezza superiore a 1,5 m o anche per scavi di altezza inferiore ubicati in settori particolarmente acclivi o con particolari problematiche .
- Per evitare fenomeni di dissesto e scoscendimento dei terreni, per quanto concerne la stabilità dei fronti di scavo o sbancamento con altezza inferiore a 1,5 m, se non contrastati, dovranno presentare inclinazioni adeguate secondo quanto prescritto nella tabella riportata nel capitolo relativo a "Scavi e opere di sostegno". Tutti i fronti con altezza superiore a 1,5 m dovranno invece

essere sostenuti preliminarmente da opere di sostegno provvisori in grado di sostenere lo scavo per l'intera durata del cantiere.

- Idonee armature e precauzioni devono essere adottate nelle sottomurazioni e quando in vicinanza dei relativi scavi vi siano fabbricati e/o manufatti le cui fondazioni possano essere scoperte o indebolite dagli scavi.
- Gli scavi e gli sbancamenti dovranno essere eseguiti in periodi asciutti avendo cura di proteggere a fine giornata i fronti di scavo non sostenuti ancora aperti con teli impermeabili, adeguatamente picchettati nel terreno, in modo da evitare fenomeni di ruscellamento ad opera delle acque meteoriche che potrebbero innescare scoscendimenti e franamenti.
- I movimenti terra dovranno essere eseguiti a regola d'arte ed effettuati possibilmente in periodi non immediatamente successivi ad intense e/o prolungate precipitazioni piovose ed allo scioglimento delle nevi e dovranno essere eseguiti tenendo conto delle caratteristiche geotecniche dei materiali.
- I mezzi di scavo e di trasporto del materiale non dovranno sostare in prossimità dei fronti di scavo al fine di evitare vibrazioni dannose per la stabilità ed evitare il rischio di crolli.
- Preliminarmente alla realizzazione degli sbancamenti e delle trincee occorrerà realizzare localmente un sistema di gestione delle acque di pioggia, al fine di evitare fenomeni di ruscellamento superficiale incontrollato che potrebbero defluire all'interno dello scavo creando fenomeni di dissesto dei fronti di scavo e vie preferenziali di deflusso delle acque.
- Le acque sotterranee che circolano all'interno dei depositi fluviali, specie in seguito ad eventi meteorici particolarmente prolungati, dovranno essere adeguatamente intercettate ed allontanate dagli scavi, avendo cura di drenarle all'interno di un idoneo ricettore.
- Le acque uscenti dai sistemi di gestione delle acque meteoriche e dalle opere di drenaggio realizzate a servizio delle opere di sostegno, contenimento (se previste) e di fondazione, dovranno essere convogliate al di fuori dell'area di cantiere all'interno di un ricettore finale idoneo ad ospitare tali apporti idrici.
- Durante gli scavi, in caso di presenza di acqua che può provenire dalla zona di contatto tra substrato e depositi superficiali, si dovrà predisporre sul fondo dello scavo uno strato di ghiaietto e, qualora le condizioni lo richiedano, una tubazione drenante per favorire l'allontanamento delle acque. Potranno essere utilizzati altresì sistemi di aggottamento delle acque tramite pompaggi localizzati.

- Al fine di evitare il rotolamento di blocchi e detriti nell'area di cantiere occorrerà procedere con particolare attenzione alla movimentazione del materiale evitando così di creare condizioni di instabilità, provvedendo anche alla stabilizzazione e gradonatura del materiale scavato e del relativo piano di appoggio, allontanando in ogni caso dai fronti di scavo il materiale escavato.
- I fronti di scavo e di sbancamento dovranno essere richiusi e/o contrastati nel più breve tempo possibile al fine di evitare una eccessiva esposizione ai fenomeni meteorici responsabili dello scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni che potrebbero quindi essere soggetti a dissesto.
- In caso di necessità di realizzazione di opere interrato e controterra, queste dovranno essere dotate di un setto drenante continuo costituito da tubi drenanti microfessurati, rivestiti di tessuto non tessuto, immersi in materiale granulare drenante vagliato. Il dreno dovrà presentare uno scarico finale in un idoneo ricettore finale.
- Nella fase di scavo saranno presenti frequentemente trovanti di grosse dimensioni (anche plurimetri); occorrerà pertanto prevedere l'estrazione e/o la demolizione, mediante mezzi meccanici, fino a raggiungere la profondità minima per la realizzazione del piano di sottofondo dei manufatti e per la posa delle tubazioni.
- Si dovrà porre attenzione e cura nella movimentazione dei blocchi detritici in modo tale da non generare condizioni di instabilità sugli accumuli di detrito e disporli adeguatamente evitando lo sviluppo di fenomeni di rotolamento e si dovrà provvedere alla preparazione della superficie di riporto con eventuale gradonatura della superficie naturale.

20.2.2 Opere fondazionali

- In seguito all'apertura degli scavi e/o alle operazioni di splanteamento preliminari alla realizzazione del piano di appoggio delle opere fondazionali, occorrerà verificare con cura le caratteristiche litologiche, fisico-meccaniche e geotecniche dei terreni che costituiscono il piano fondazionale, se necessario mediante prove in sito, valutando, in caso di disomogeneità o anomalie, il ricorso ad indagini supplementari.
- Lo strato più superficiale individuato fino ad una profondità massima di 1,5 m da p.c., costituito da limo sabbioso, localmente argilloso, ricco di materia organica, da sciolto a privo di consistenza, denominato UL1, dovrà essere completamente asportato in quanto fortemente

cedevole e poco o nulla addensato. Dal momento che il lotto d'intervento risulta fortemente irregolare dal punto di vista morfologico, sebbene mediamente subpianeggiante, potranno presentarsi settori con spessore significativamente variabili di tale strato.

- Il materiale di riporto misto stabilizzato, che sostituirà completamente lo strato UL1, la cui tipologia dovrà essere definita dal progettista, dovrà essere realizzato indicativamente con materiale grossolano, privo di frazione limoso argillosa, costipato per livelli successivi di massimo 30 cm. Si dovranno realizzare specifiche prove di carico su piastra al termine della posa per attestare le reali caratteristiche geotecniche e di addensamento del materiale.
- Il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere dapprima regolarizzato mediante asportazione della porzione più superficiale (unità litologica UL1), e successivamente occorrerà riportare per l'intero spessore fino alla base della platea in progetto, materiale misto stabilizzato adeguatamente rullato e costipato mediante rullo compattatore, avente adeguate caratteristiche geotecniche le quali saranno definite dal Progettista sulla base dei carichi previsti da progetto.
- I terreni utilizzati come piano di appoggio delle opere fondazionali dovranno presentare caratteristiche litologiche e geotecniche omogenee anche in termini di resistenza, dovranno inoltre essere in grado di drenare localmente l'acqua che potrebbe risalire dal substrato fratturato e/o circolare all'interno di depositi superficiali, specie in seguito al periodo di scioglimento delle nevi od in seguito ad eventi meteorici particolarmente intensi e/o prolungati. Infatti, in caso di eccessiva disomogeneità dei terreni potranno crearsi fenomeni di assestamento con l'innescio di cedimenti di tipo differenziale che porterebbero a ripercussioni sulla struttura.
- Il terreno di fondazione dovrà avere caratteristiche adeguate ai carichi agenti, in caso contrario approfondire ulteriormente lo scavo e/o costipare opportunamente il terreno in modo da migliorarne le caratteristiche di portanza, così come il materiale granulare di sottofondo, al fine di escludere un cedimento del sistema "opera-terreno".
- Le fondazioni dovranno essere dimensionate, tenendo conto non solo del carico ammissibile del terreno di fondazione, ma anche della pendenza del sito e dell'eccentricità dei carichi agenti e perfezionate successivamente alla verifica della situazione litologica puntuale.

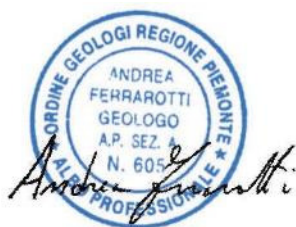
21. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica e geotecnica è stata redatta, al fine di ottemperare a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 e dalle NTA del vigente P.R.G.C., a supporto del progetto definitivo relativo al seguente progetto: “Nuovo serbatoio in località Montrigiasco, *in comune di Arona (NO)*”, nell’ambito dell’*“Accordo Quadro con due operatori per l’affidamento dei servizi tecnici di progettazione, assistenza al RUP, Direzione Lavori, assistenza lavori, collaudi, Coordinatore in fase di progettazione (CSP) e/o di coordinatore in fase di esecuzione (CSE) ad esclusione della parte depurazione acque reflue. 2020_04 Ri”*.

Gli studi, i rilievi e le indagini, eseguite nell’ambito territoriale di possibile influenza degli interventi e delle opere in previsione hanno avuto pertanto la finalità di illustrare il contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del sito di progetto, di individuare eventuali criticità e di fornire le indicazioni relative alle problematiche geologiche e geotecniche che dovranno essere affrontate nell’ambito della progettazione ed esecuzione delle future opere, valutando in base al quadro dissestivo, vincolistico e pianificatorio in ambito geologico, la fattibilità degli interventi.

Sulla base dei rilievi, delle indagini e verifiche eseguite, tenendo conto delle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e di rischio idraulico e geomorfologico dei luoghi, in funzione della tipologia di opere previste, si può attestare la compatibilità e fattibilità degli interventi, nel pieno rispetto delle indicazioni e prescrizioni fornite, finalizzate alla tutela e salvaguardia del territorio.

Dott. Geol. Andrea FERRAROTTI




22. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI, CARTOGRAFICI E DOCUMENTALI


- AdPo, P.A.I. Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po
- Arpa Piemonte, Regione Piemonte. Gli eventi alluvionali in Piemonte
- Arpa Piemonte, 2018. ReRCoMF. Rete Regionale di Controllo Movimenti Franosi
- Arpa Piemonte - Studi e ricerche geologiche, Sistema Informativo Prevenzione rischi, 2003 Eventi alluvionali in Piemonte 2000 - 2002: 13-16 ottobre 2000
- Biella, G., Polino, R., deFranco, R., Rossi, P.M., Clari, P., Corsi, A., & Gelati, R. (1997). The crustal structure of the western Po plain: Reconstruction from the integrated geological and seismic data. *Terra Nova*, 9, 28–31
- CNR - Centro di Studi per la Petrografia e la Stratigrafia delle Alpi Centrali. Carta geologica della zona di Verbania (Lago Maggiore, provincia di Novara) /Attilio Boriani, Biagio Bigioggero, Evelina Origoni Giobbi
- Gruppo di Lavoro MPS, 2004. Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- INGV, 2015. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani
- ISPRA, 2018. Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)
- Lombardo, V., Piana, F., Fioraso, G., Irace, A., Mimmo, D., Mosca, P., ... Giardino, M. (2016). The Classification Scheme of the Piemonte Geological Map and the “OntoGeonous” initiative. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 39(...), 117–120.
- Regione Piemonte, 2018 – Piano Tutela delle Acque
- Spallarossa D., Barani S., 2007. Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-e. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14.


SEZIONE STRATIGRAFICA E LITOTECNICA SCHEMATICA INTERPRETATIVA


Scala verticale : 1:100
Scala orizzontale : 1:100

LEGENDA

- 

UL1 - Limo sabbioso, localmente argilloso ricco di materia organica. Sono presenti locali ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Colore marrone scuro. Si presenta da sciolto a privo di consistenza.
- 

UL2 - Coltre detritica di alterazione del substrato costituita da blocchi e porzioni di substrato in matrice limoso - sabbiosa. Colore giallo ocra
- 

UL3 - Substrato roccioso costituito da porfiroidi, superficialmente alterato e fratturato, maggiormente integro in profondità
- 

Emergenza idrica rilevata all'interno del sondaggio S2

