



Unione Europea

**Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU**



**COMUNE DI BUBBIO**



PNRR MISSIONE 2 COMPONENTE 4 INVESTIMENTO 2.1B

"Misure per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico" Definizione degli esercizi di esigibilità dei contributi, ai sensi del D.L. 77/2021 DIP/48239 del 9/11/2021 DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE DELLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI REGIONE PIEMONTE n. 3503/A1802B/2022 del 16/11/2022

**INTERVENTO CODICE AT\_A18\_622\_19\_102**

**PROGETTO PER LAVORI DI ADEGUAMENTO SEZIONI DI DEFLUSSO  
FOSSI COLATORI PROVENIENTI DA VERSANTI IN GIARONETTO**

Adeguamento dei tratti del Fiume Bormida e del Rio San Pietro in corrispondenza della S.P. 25

**CUP B95F22000210001 - Importo Complessivo € 3.300.000,00**

**LOTTO 1A - PROGETTO ESECUTIVO**

Incarico Determina n. 68 del 19/12/2022 e Determina n. 33 del 19/06/2023

Committente

Amministrazione Comunale di Bubbio

Via Cortemilia n. 1 - 14051 Bubbio (AT)

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

**06.1**

Oggetto

Elaborato n°

Febbraio 2024

---

00

data

scala

revisione

Progettista

R.U.P.

**Ing. Sergio SORDO**

12051 ALBA (CN) - Corso Langhe 10

tel. 0173 364823

email: sordosergio@srstudio.info

pec: sergio.sordo@ingpec.eu

**Geom. Marco DOGLIOTTI**

# REGIONE PIEMONTE PROVINCIA DI ASTI COMUNE DI BUBBIO

## LAVORI DI ADEGUAMENTO SEZIONI DI DEFLUSSO FOSSI COLATORI PROVENIENTI DA VERSANTI IN GIARONETTO RIO SAN PIETRO- CONFLUENZA TORRENTE BORMIDA



### RELAZIONE GEOLOGICA RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DI CARATTERIZZAZIONE

**CODICE ELABORATO**

23015/GL-GT

**COMMITTENTE**



COMUNE DI BUBBIO  
Via Cortemilia, 1  
14051 Bubbio AT



COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI Srl

2					
1					
0	APRILE 2023	Edizione	Geol. M. Lavezzo	Dott. G. Sola	Dott. G. Sola
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO



REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI ASTI  
COMUNE DI BUBBIO

**LAVORI DI ADEGUAMENTO SEZIONI DI DEFLUSSO FOSSI  
COLATORI PROVENIENTI DA VERSANTI IN GIARONETTO  
RIO SAN PIETRO – CONFLUENZA TORRENTE BORMIDA**

---

**RELAZIONE GEOLOGICA  
RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DI CARATTERIZZAZIONE**

---

Aprile 2023

**SOMMARIO**

PREMESSA .....	3
<b><u>Relazione geologica</u></b>	
1 GEOLOGIA .....	5
1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	5
1.1.1 Contesto dell'intervento .....	5
1.1.2 Inquadramento litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico .....	6
1.2 CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI .....	9
1.3 CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA .....	15
1.4 MODELLO GEOLOGICO .....	18
1.4.1 Profilo litostratigrafico del terreno indagato .....	18
<b><u>Relazione geotecnica e sismica di caratterizzazione</u></b>	
2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI .....	20
2.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	20
2.1.1 Profilo geomeccanico del terreno indagato .....	20
2.1.2 Modello geotecnico del sottosuolo .....	21
2.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....	22
2.2.1 Determinazione delle proprietà indice .....	22
2.2.2 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee .....	25



3 SISMICA.....	27
3.1 INQUADRAMENTO SISMICO .....	27
3.1.1 Inquadramento sismico regionale .....	27
3.1.2 Sismicità storica.....	28
3.1.3 Sismicità locale .....	29
3.1.4 Pericolosità sismica di base.....	31
3.2 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE.....	34
3.2.1 Modello sismico e pericolosità sismica locale .....	34
3.2.3 Accelerazione massima attesa in superficie.....	36
3.2.4 Valutazione della magnitudo massima attesa .....	37
3.3 INSTABILITÀ INDIRETTA.....	39
PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI .....	40
<b>ALLEGATI</b>	
Report indagini geognostiche .....	

## PREMESSA

Il presente fascicolo comprende la Relazione Geologica e la Relazione Geotecnica e Sismica di caratterizzazione illustrative delle indagini eseguite, predisposte su incarico del Comune di Bubbio (AT) nell'ambito del progetto dei lavori di adeguamento sezioni di deflusso dei fossi colatori provenienti dai versanti in Giaronetto, in particolare del Rio San Pietro alla sua confluenza nel Torrente Bormida di Millesimo.

Le relazioni sono redatte in ottemperanza alla vigente normativa, con particolare riguardo a:

- *D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
- *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/18 S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018) - nel seguito denominato anche NTC18;*
- *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019);*
- *O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" e s.m.i.;*
- *Legge Regionale REGIONE PIEMONTE 5 dicembre 1977, n. 56. "Tutela ed uso del suolo" (B.U. 24 dicembre 1977, n. 53) e s.m.i.;*

La caratterizzazione si basa su di una campagna di indagini geognostiche realizzata nel mese di Marzo 2023 dalla scrivente Società Citiemme S.r.l..

Il presente lavoro si prefigge dunque di:

- illustrare le indagini geognostiche e le prove geotecniche eseguite;
- fornire la modellazione geologica del sito in oggetto secondo la vigente normativa (§6.2.1 delle NTC/18), basandosi sulle indagini puntuali realizzate in loco e su studi di carattere descrittivo, qualitativo e quantitativo, al fine d'interpretare l'assetto del territorio in relazione alla sua costituzione geologica ed alla distribuzione dei litotipi;

- valutare le condizioni di pericolosità di base del sito in oggetto, con particolare riguardo alla pericolosità geomorfologica e idraulico-idrologica, tenendo in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale e i piani urbanistici vigenti;
- valutare la pericolosità sismica locale, con riferimento alla classificazione sismica aggiornata del territorio nazionale, e fornire la descrizione del moto sismico in superficie, ai sensi del §3.2.3 delle NTC/18;
- fornire la modellazione e la caratterizzazione geotecnica del sito in oggetto secondo la vigente normativa (§6.2.2 delle NTC/18), basandosi sulle indagini puntuali realizzate in loco e su studi di carattere descrittivo, qualitativo e quantitativo, compresa la caratterizzazione geotecnica dei litotipi.

Esulano dall'incarico conferito la predisposizione della relazione geotecnica con le verifiche di sicurezza e delle prestazioni ai sensi del §6.2.4 delle NTC/18 e *sqg*. e la caratterizzazione ambientale e per la gestione di eventuali materiali di scavo.



# RELAZIONE GEOLOGICA

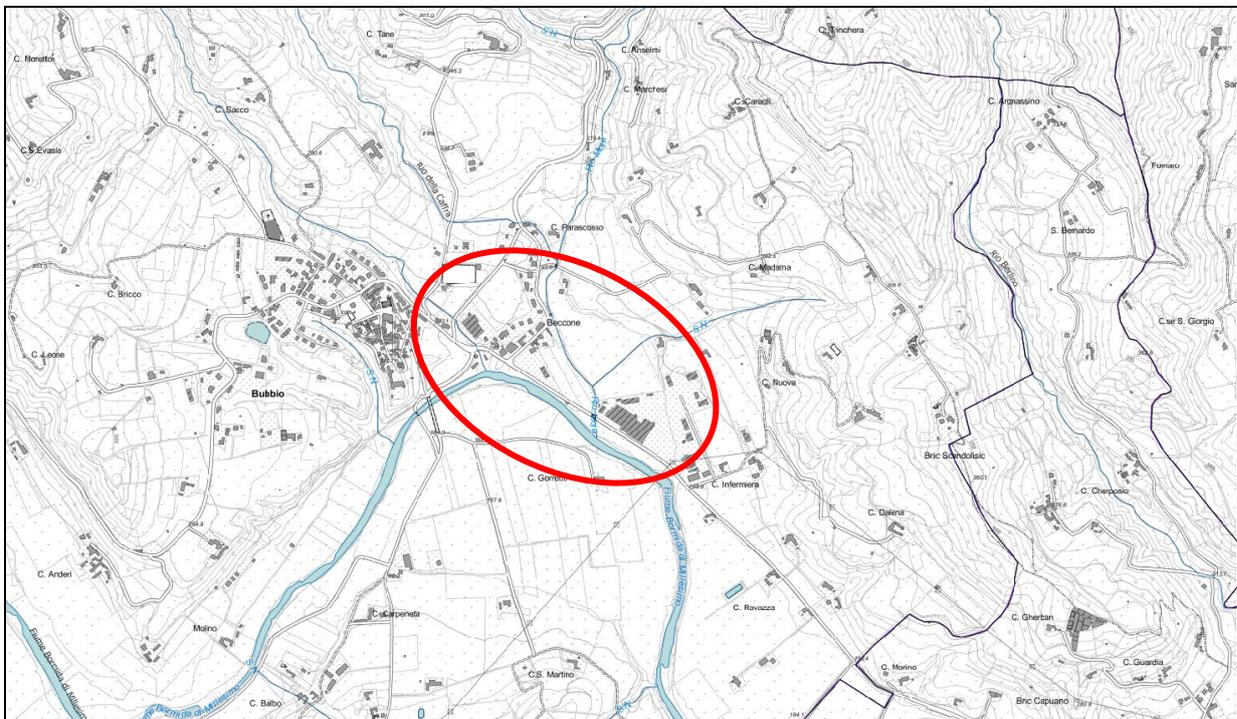
## 1 GEOLOGIA

### 1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 1.1.1 Contesto dell'intervento

L'intervento in progetto si colloca nella parte orientale del concentrico comunale di Bubbio (AT), alla confluenza di Rio San Pietro nel Fiume Bormida di Millesimo, nel territorio collinare delle Langhe.

Ai fini dell'inquadrimento topografico nella cartografia ufficiale, essa ricade nella Sez. 193120 della base cartografica CTR alla scala 1:10.000. Dal punto di vista geologico, l'area è compresa a cavallo dei fogli n° 69 – Asti e n. 81 – Ceva della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (fig. 2).



**Figura 1** - Estratto CTR Regione Piemonte alla scala 1:100000 – Sezz. 155160 e 156130

### **1.1.2 Inquadramento litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico**

**Litologicamente**, nel quadro geologico regionale i terreni appartengono alle serie del Terziario superiore, formate da sedimenti marini della potente serie sedimentaria marina, in facies regressiva, del Bacino Terziario Ligure-Piemontese.

Tale successione sedimentaria, estesa dall'Eocene superiore fino al Miocene superiore, ricopre in discordanza stratigrafica un edificio strutturale (basamento precenozoico) realizzatosi in seguito alla collisione tra la placca Europea e la microplacca Adria. Il movimento relativo lungo tale superficie di collisione ha condizionato la formazione di bacini sedimentari sul dorso delle unità alloctone e di un'avanfossa sulla microplacca Adria. All'interno di tali bacini e dell'antistante avanfossa si sono quindi venute a creare le condizioni per la deposizione di importanti successioni di sedimenti, depositi con modalità differenti ed in ambienti di sedimentazione diversi (continentale, marino-marginale, marino profondo, ecc.).

Secondo le indicazioni desunte dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Foglio n° 81-Ceva – Figura 1.1), i terreni appartengono alle serie terziarie sedimentarie: in particolare, nell'area in esame affiorano litotipi miocenici della Formazione delle Marne di Cessole di età Langhiana, ovvero marna e/o marna argillosa grigio azzurra con frequenti intercalazioni di arenaria e sabbia grigio-giallastra. Si tratta di una formazione torbiditica, con sovente conservate le sequenze di Bouma che vanno dalle arenarie alle marne attraverso un passaggio talora graduale costituito da termini siltosi e siltoso-marnosi.

Le Marne di Cessole sono sottoposte stratigraficamente alla Formazione di Cassinasco e seguono la Formazione di Cortemilia, con passaggio sovente graduale, in condizioni di eteropia di facies.

I terreni di copertura sono rappresentati da sottili depositi sedimentari alluvionali nei fondovalle del reticolo idrografico attuale. Le alluvioni sono distinte in base alla loro età e si trovano tra loro in genere in rapporto di terrazzamento; lungo i versanti sono talora presenti accumuli gravitativi e i litotipi terziari sono estesamente ricoperti da suolo vegetale e/o agrario. Modeste coltri di riporto e/o di rimaneggiamento antropico sono presenti nelle aree urbanizzate.

Dal punto di vista **strutturale**, i terreni del Bacino Terziario si presentano qui con una tipica giacitura a monoclinale, circa immergente a NW con inclinazione modesta (mediamente compresa tra 10° e 12° circa).

Per quanto riguarda le formazioni recenti ed attuali, i rapporti geometrici tra i diversi litotipi alluvionali sono assai semplici, costituiti da eteropie laterali e stratigrafiche di facies, senza giunti di strato né discontinuità rilevanti. I contatti tra le diverse Unità litologiche sono segnati da superfici erosionali con rapporto di terrazzamento; i cambi litologici e stratigrafici all'interno delle singole formazioni presentano in ogni caso una giacitura suborizzontale.

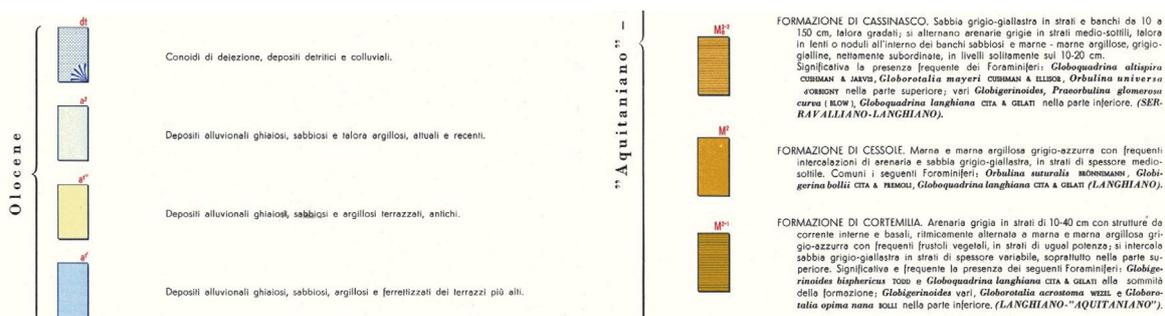
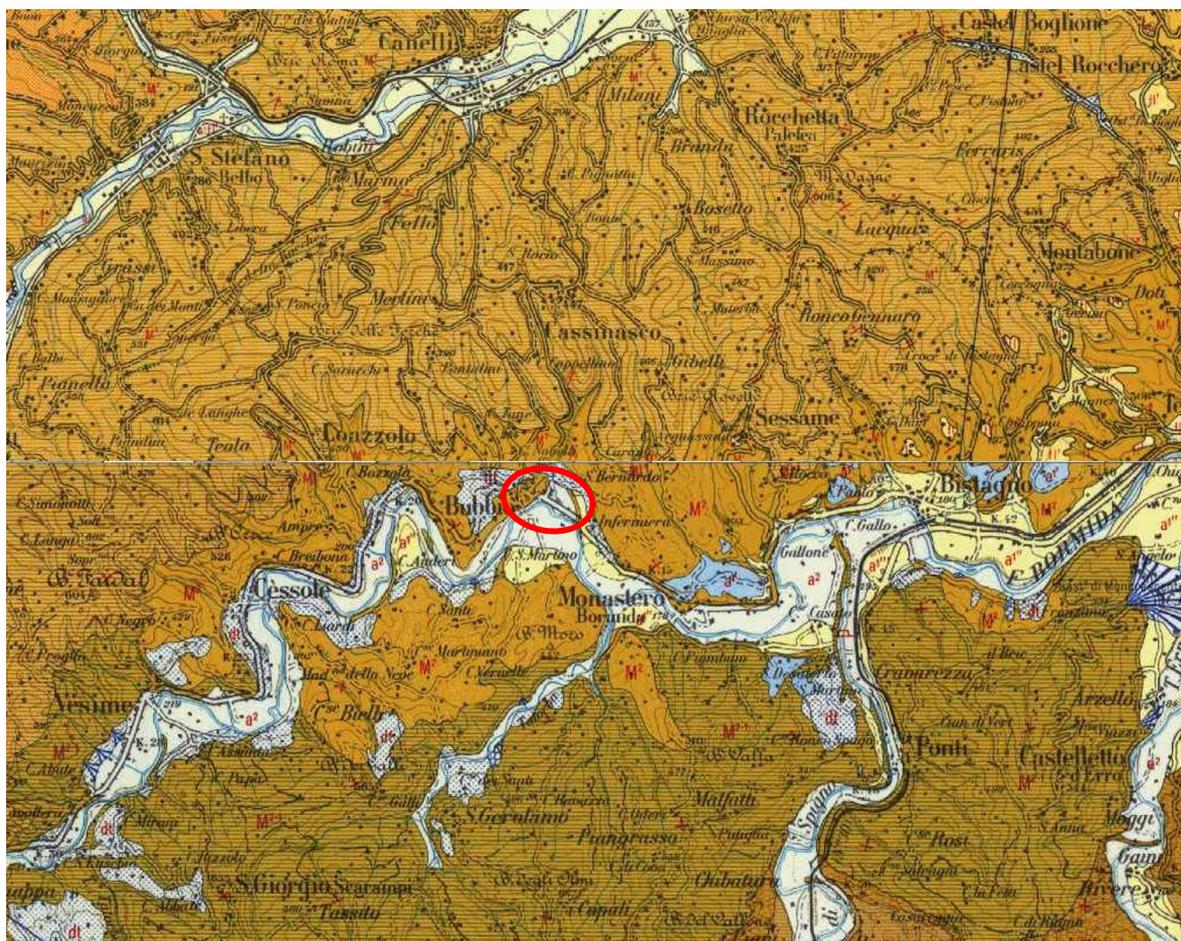


Figura 2 - Estratto Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 – Fogli n° 69 – Asti e n° 81 Ceva

Dal punto di vista **geomorfologico** l'area delle Langhe è fortemente caratterizzata dall'azione di modellamento causata dal Fiume Tanaro e dai suoi affluenti. La subsidenza della piana Alessandrina unitamente all'erosione rimontante dei corsi d'acqua ha infatti determinato il processo detto di "cattura fluviale", causa dello spostamento della confluenza del Tanaro nel Po dalla piana di Carmagnola a quella di Valenza. Il nuovo corso del fiume ha innescato un gigantesco processo di erosione e di ringiovanimento del territorio, con la parziale demolizione dell'altopiano primigenio e la separazione fra Langhe e Roero.

Il nuovo reticolo idrografico ha determinato una morfologia collinare con creste assottigliate e valli fortemente incise, aventi orientamento medio Est-Ovest e di tipo asimmetrico (rilievi a "cuestas"), con il versante a reggipoggio più scosceso rispetto al versante a franapoggio, che pertanto risulta più favorevole sia alle pratiche agricole che agli insediamenti abitativi.

Il reticolo idrografico principale è del tipo "a traliccio", caratterizzato da corsi d'acqua subparalleli alimentati da tributari ad angolo retto a loro volta raggiunti da tributari secondari ad angolo retto, con un assetto tipico delle regioni "a *cuestas*", dove le aste principali di drenaggio seguono la direzione degli strati. Il corso del Bormida di Millesimo è del tipo a meandri incassati, a conferma del processo erosivo legato al sollevamento del settore collinare.

Nel caso in esame, il Fiume Bormida di Millesimo forma una piana alluvionale a valle dell'abitato di Bubbio, mentre nella parte sommitale del versante sinistro in oggetto le incisioni sono modeste e legate alle aste di primo ordine che concentrano le acque meteoriche dipartendo dallo spartiacque con la Valle Belbo. Il Rio della Caffa è un'asta di secondo ordine e, confluendo nel Rio San Pietro - anch'esso di secondo ordine, fa sì che il collettore idrografico oggetto di intervento sia, alla confluenza in Bormida, un'asta di terzo ordine.

Sotto il profilo **idrogeologico**, le formazioni terziarie sono in generale impermeabili e la circolazione idrica freatica è confinata entro i termini di copertura. Il substrato costituisce pertanto l'acquicluda basale degli acquiferi freatici.

Questi si distinguono tra acquiferi di versante e di fondovalle. I primi sono ospitati nella coltre eluvio-colluviale o negli accumuli detritici di versante, sotto forma di scorrimento all'interfaccia copertura-substrato: per questo le eventuali falde idriche superficiali hanno carattere effimero, con tempi di residenza anche brevi.

Gli acquiferi alluvionali di fondovalle hanno una permeabilità primaria che consente una circolazione idrica permanente, in genere di tipo freatico, direttamente collegata al reticolo idrografico superficiale.

La circolazione idrica profonda è ospitata principalmente dagli strati sabbioso arenacei, che possono avere permeabilità primaria laddove il grado di cementazione è basso e la porosità è elevata, ovvero permeabilità secondaria per fratturazione. La ricarica avviene in genere per infiltrazione superficiale alla testata affiorante degli strati nel settore a reggipoggio, ovvero – sebbene in maniera relativamente limitata – per infiltrazione diretta entro fratture ad andamento subverticale.

## **1.2 CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI**

### **1.2.1 Indagini geognostiche**

Per la ricostruzione stratigrafica dell'area, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche consistente in n° 4 sondaggi a carotaggio continuo con prove geotecniche in foro tipo SPT (fig. 4), ubicate sulla sponda sinistra del Bormida e lungo il corso del Rio San Pietro (fig. 3).

In ottemperanza a quanto disposto dal paragrafo 6.2.2 delle NTC/08, le indagini sono state subaffidate alla Società Citiemme S.r.l. di Torino, autorizzata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti all'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove geotecniche in sito su terreni e rocce ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01 (Decreto di Autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010). I certificati delle prove rilasciati dalla Società Citiemme S.r.l. e riportati in Allegato 1 si intendono a tutti gli effetti parte integrante della presente relazione.

Le indagini dirette hanno raggiunto la profondità massima di 15 m dal p.c. attuale.

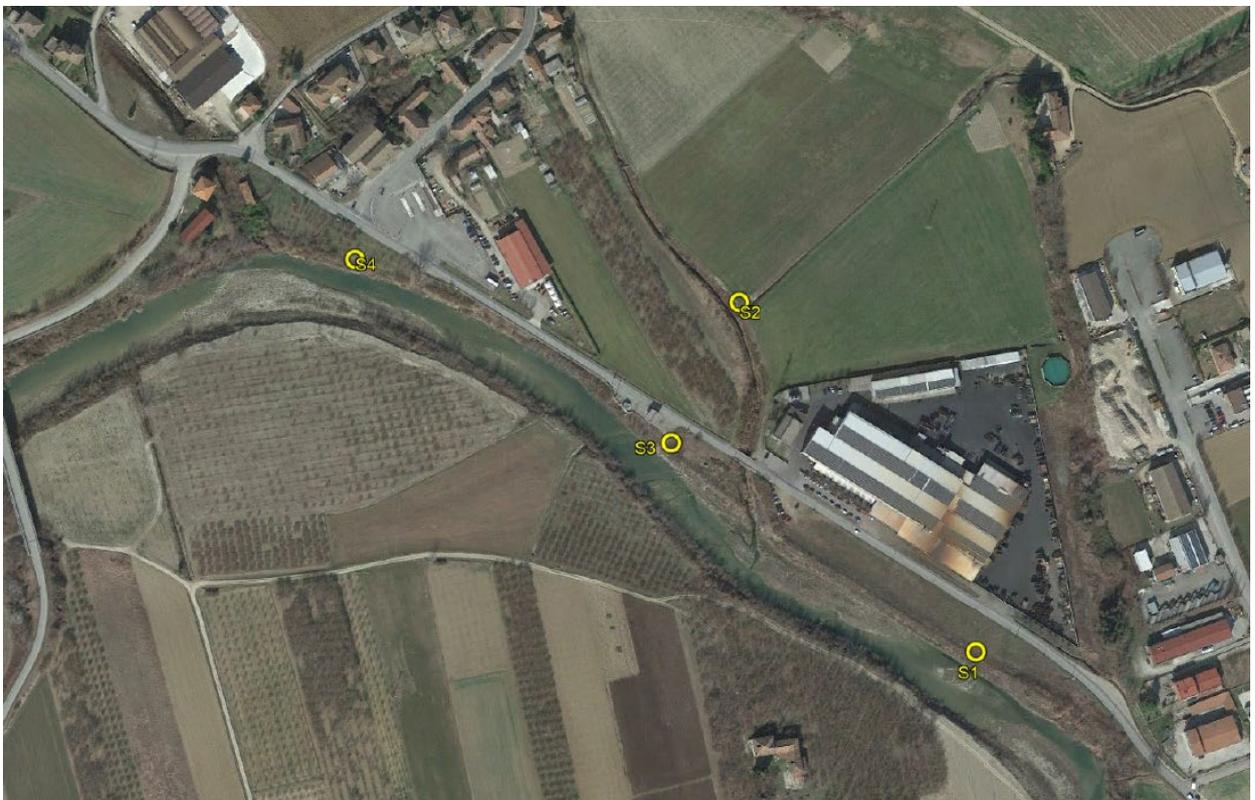
### **1.2.2 Assetto litostratigrafico locale**

Le indagini dirette, eseguite a partire dal piano di campagna attuale, hanno evidenziato la presenza di una coltre sedimentaria prevalentemente sabbioso-limoso, con locali lenti di ghiaia alla base. In superficie è presente la copertura vegetale con lo strato di suolo e, localmente, terreno rimaneggiato siltoso-ghiaioso, per uno spessore compreso tra 0.5 e 2.0 m ca..

I sedimenti fluviali sono costituiti da sabbia fine debolmente limosa con livelli francamente siltosi e lenti di limi sabbioso-fini; il colore è variabile dal nocciola al grigio con qualche screziatura brunastra; il grado di addensamento è in genere molto basso.

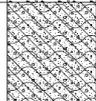
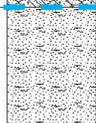
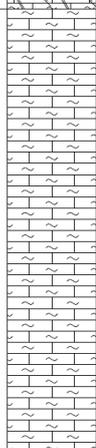
A profondità variabili da 7 a 9 m circa da p.c., con evidente discontinuità stratigrafica, i sedimenti fluviali poggiano direttamente sul substrato marnoso-siltoso-arenaceo terziario, dal caratteristico colore grigio e di consistenza anche litoide, soprattutto in corrispondenza dei livelli arenacei; risultano per contro scarsi i livelli sabbiosi. Il passaggio è segnato dalla presenza di ghiaia e sabbia, talora anche con ciottoli, alla base dei sedimenti continentali quaternari e da una coltre regolitica (in genere meno di un metro) di marna alterata relativamente meno consistente. In S1 si segnala un livello fratturato al di sotto dello strato regolitico.

La formazione clastica sedimentaria è ascrivibile ai depositi alluvionali attuali e recenti; la successione marnoso-arenacea del substrato appartiene alla formazione miocenica delle Marne di Cessole del Langhiano.



**Figura 3** – Ubicazione dei sondaggi geognostici

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	Mod. 7.5.4 rev. 00	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004	<b>SONDAGGIO</b>
	Committente	Comune di Bubbio (AT)		<b>S1</b>
	Cantiere	Indagini geognostiche adeguamento argini - Rio San Pietro - Confluenza Torrente Bormida		Pagina 1 di 1
	Località	Bubbio (AT) - loc. Giaronetto	Commessa n. 23015	Lo Sperimentatore Dr. A. Cantu <i>A. Cantu</i>
Perforazione	inizio: 27/03/2023 fine: 28/03/2023	Sonda: Comacchio Geo 601		
Coordinate:	N= 44°39'34.27" E= 8°18'18.64"	Scala 1 : 50		
Accettazione n. 23015	Certificato n. 23015/01	del 05/04/2023		

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.80		Terreno vegetale sabbioso-limoso con ghiaia fine sparsa ed apparati radicali.													
0.80	1.20		Terreno rimaneggiato sabbioso fine siltoso con subordinata frazione ghiaiosa, poco addensato, colore grigio-nocciola.		carotaggio continuo 131 mm semplice											
2.00	1.40		Sabbia fine debolmente siltosa con rara ghiaia fine sparsa, poco addensata, colore grigio-nocciola.													
3.40	2.30		Sabbia molto fine debolmente limosa con intercalati livelletti siltosi, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa con la profondità, poco addensata, colore grigio-nocciola.								3.00 1-1-1					
5.70	1.40		Sabbia eterometrica debolmente limosa con ghiaia fine, debole ossidazione, poco addensata, colore nocciola.		carotaggio continuo 101 mm semplice						6.00 1-2-2					
7.10	0.90		Ghiaia eterometrica in abbondante matrice fine limoso-argillosa, poco addensata, colore grigio scuro.	7.00		127 mm	90-100 %									
8.00	0.80		Marna siltosa intensamente alterata, da moderatamente consistente a consistente con la profondità, colore grigio; "regolite".													
8.80	1.20		Marna siltosa lapidea con rari livelletti arenacei, intensa fratturazione, colore grigio.								9.00 R (3cm)					
10.00	5.00		Alternanza di passate pluridecimetriche di marna siltosa litoide con analoghe passate di arenaria lapidea, aspetto massiccio, colore grigio.		carotaggio continuo 101 mm T2						12.00 R					
15.00											15.00 R					

Il foro di sondaggio è stato ritombato al termine della perforazione.  
Il valore del livello di falda è indicativo in quanto il foro non è stato attrezzato con tubo piezometrico.

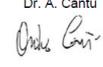
**Figura 4a – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita – sondaggio S1**

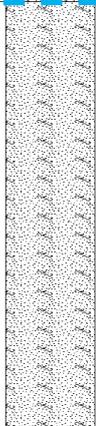
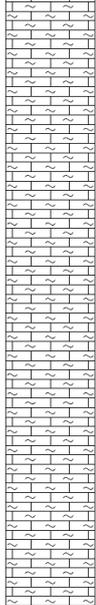
 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geostatiche e prove in situ ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	Mod. 7.5.4 rev. 00 <b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b> <small>UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004</small>	<b>SONDAGGIO</b> <b>S2</b>
	Committente <b>Comune di Bubbio (AT)</b> Cantiere <b>Indagini geostatiche adeguamento argini - Rio San Pietro - Confluenza Torrente Bormida</b> Località <b>Bubbio (AT) - loc. Giaronetto</b>	Comessa n. 23015 Perforazione inizio: 29/03/2023 fine: 30/03/2023 Sonda: <b>Comacchio Geo 601</b> Coordinate: <b>N= 44°39'42.10" E= 8°18'11.27"</b> Scala <b>1 : 50</b> Accettazione n. 23015 Certificato n. 23015/03 del <b>05/04/2023</b>

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.50		Terreno vegetale sabbioso-limoso con cortica erbosa superficiale.													
0.50	1.50		Limo sabbioso fine con intercalati livelletti sabbiosi, poco consistente, colore nocciola-grigiastro.		carotaggio continuo 131 mm semplice						1.50 1-1-2					
2.00	1.80		Sabbia fine siltosa con rara ghiaia fine sparsa, poco addensata, colore grigio-nocciola.								3.00 2-2-2					
3.80	1.40		Sabbia medio-fine limosa con intercalate lamine siltose, debole ossidazione, poco addensata, colore nocciola.		127 mm						4.50 2-2-3					
5.20	1.50		Limo sabbioso fine con intercalati livelletti sabbiosi fini, discreta ossidazione, poco consistente, colore nocciola-grigiastro.		carotaggio continuo 101 mm semplice						6.00 3-3-4					
6.70	1.80		Sabbia fine limosa discretamente ossidata, poco addensata, colore nocciola.				90-100 %									
8.50	0.50		Ghiaia medio-grossolana con ciottoli in scarsa matrice fine sabbioso-debolmente limosa, addensata, colore grigio.	8.50												
9.00	0.30		Marna siltosa intensamente alterata, molto consistente, colore grigio; "regolite".								9.00 R (2cm)					
9.30	5.70		Marna siltosa litoide con intercalati livelli pluridecimetri di arenaria lapidea, aspetto massiccio, colore grigio.		carotaggio continuo 101 mm T2			80-85								

Il foro di sondaggio è stato ritombato al termine della perforazione.  
Il valore del livello di falda è indicativo in quanto il foro non è stato attrezzato con tubo piezometrico.

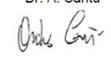
**Figura 4b – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita – sondaggio S2**

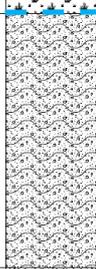
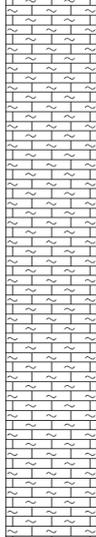
 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geostatiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	Mod. 7.5.4 rev. 00	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004	SONDAGGIO <b>S3</b>
	Committente	Comune di Bubbio (AT)		Pagina 1 di 1
	Cantiere	Indagini geostatiche adeguamento argini - Rio San Pietro - Confluenza Torrente Bormida		
	Località	Bubbio (AT) - loc. Giaronetto	Commissa n. 23015	
	Perforazione	inizio: 28/03/2023 fine: 29/03/2023	Sonda: Comacchio Geo 601	Lo Sperimentatore Dr. A. Cantu
	Coordinate:	N= 44°39'38.93" E= 8°18'9.15"	Scala 1 : 50	Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola
	Accettazione n. 23015	Certificato n. 23015/05	del 05/04/2023	

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.80		Terreno di riporto e/o rimaneggiato sabbioso-giaioso con frustoli vegetali.													
0.80	4.90		Sabbia medio-fine debolmente limosa con intercalate subordinate laminazioni siltose, da debole a discreta ossidazione, poco addensata, colore nocciola-grigiastro.		carotaggio continuo 131 mm semplice						1.50 2-2-2					
5.70	0.80		Come sopra, con rara ghiaia fine sparsa, discreta ossidazione, colore nocciola.	5.80							3.00 2-3-3					
6.50	0.35		Sabbia molto fine limosa, moderatamente addensata, colore nocciola.		carotaggio continuo 101 mm semplice	127 mm					4.50 5-5-4					
6.80	0.30		Ghiaia medio-grossolana in scarsa matrice fine sabbioso-debolmente limosa, addensata, colore grigio.								6.00 4-5-7					
7.15	0.85		Marna siltosa intensamente alterata, da consistente a molto consistente, colore grigio- "regolite".				90-100 %				7.50 39-R (4cm)					
8.00	7.00		Marna siltosa litoide con intercalati livelli pluricentimetrici arenacei lapidei, aspetto massiccio, colore grigio.		carotaggio continuo 101 mm T2			70								
15.00																

Il foro di sondaggio è stato ritombato al termine della perforazione.  
Il valore del livello di falda è indicativo in quanto il foro non è stato attrezzato con tubo piezometrico.

Figura 4c – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita – sondaggio S3

 <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 390/01</p>	Mod. 7.5.4 rev. 00	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	UNI EN ISO 22475-1:2007 UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004	<b>SONDAGGIO</b>
	Committente	Comune di Bubbio (AT)		<b>S4</b>
	Cantiere	Indagini geognostiche adeguamento argini - Rio San Pietro - Confluenza Torrente Bormida		Pagina 1 di 1
	Località	Bubbio (AT) - loc. Giaronetto	Commissa n. 23015	Il Direttore del Laboratorio Dr. Geol. Giorgio Sola
Perforazione	inizio: 30/03/2023 fine: 31/03/2023	Sonda: Comacchio Geo 601	Lo Sperimentatore Dr. A. Cantu	
Coordinate:	N= 44°39'43.06" E= 8°17'59.30"	Scala 1 : 50		
Accettazione n. 23015	Certificato n. 23015/07	del 05/04/2023		

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	R.Q.D. %	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	0.80		Terreno vegetale sabbioso-fine limoso con apparati radicali e cortica erbosa superficiale.													
0.80	2.80		Sabbia fine debolmente limosa con subordinata frazione ghiaiosa fine, poco addensata, colore nocciola-grigiastro.		carotaggio continuo 131 mm semplice						1.50 1-1-2					
3.60	4.10		Limo sabbioso fine con intercalati livelli sabbioso fini talora ossidati (5,00-5,25m) e sporadica ghiaia fine, da debole a discreta ossidazione, poco consistente, colore da grigio-nocciola a nocciola-brunastro.		carotaggio continuo 101 mm semplice	127 mm					3.00 3-3-3					
7.70	0.30		Ciottoli (diam max 8-10 cm) in scarsa matrice fine sabbioso-debolmente limosa, addensato, colore grigio.				90-100 %				4.50 3-3-5					
8.00	0.50		Marna siltosa intensamente alterata da consistente a molto consistente, colore grigio; "regolite".								6.00 4-4-5					
8.50	6.50		Marna siltosa litoide con intercalati livelli pluridecimetrici arenacei lapidei, aspetto massiccio, colore grigio; frattura verticale : 12.30-12.50; frattura a 45° ossidata : 12.20-12.25.	5.50	carotaggio continuo 101 mm T2			80			9.00 R (1cm)					

Il foro di sondaggio è stato ritombato al termine della perforazione.  
Il valore del livello di falda è indicativo in quanto il foro non è stato attrezzato con tubo piezometrico.

Figura 4d – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita – sondaggio S4

### **1.2.3 Condizioni idrogeologiche**

Dal punto di vista idrogeologico, le indagini dirette hanno intercettato la falda idrica sotterranea a profondità variabili, comprese tra 5.50 e 8.50 m da p.c.. Occorre evidenziare che, in assenza di strumentazione piezometrica, le misure sono state condotte in corso di perforazione, peraltro eseguita in un periodo di elevato deficit idrico. In ragione della natura dell'acquifero, si tratta di una falda freatica in continuità idrodinamica con il reticolo idrografico superficiale e pertanto soggetta a variazioni di soggiacenza piezometrica in funzione delle condizioni meteo-climatiche e stagionali.

La potenza dell'acquifero è qui pari allo spessore della coltre sedimentaria continentale, vale a dire inferiore a circa 9 m. I terreni terziari, infatti, sono impermeabili e il substrato costituisce pertanto l'acquicluda basale dell'acquifero freatico. La circolazione idrica profonda è ospitata principalmente dagli strati sabbioso arenacei, che possono avere permeabilità primaria laddove il grado di cementazione è basso e la porosità è elevata, ovvero permeabilità secondaria per fratturazione. Tuttavia, in sede geognostica non sono emerse evidenze di circolazione idrica nel substrato entro le profondità indagate.

## **1.3 CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA**

### **1.3.1 Assetto morfologico locale e condizioni di dissesto**

Il sito è ubicato nella piana alluvionale a cavallo del Fiume Bormida di Millesimo, in corrispondenza della confluenza del Rio San Pietro. Il Bormida disegna un'ampia ansa spingendosi sul lato sinistro della valle, dove riceve le acque dell'affluente. Il corso d'acqua principale è incassato all'interno delle proprie alluvioni e le sponde modellano l'orlo di un terrazzo.

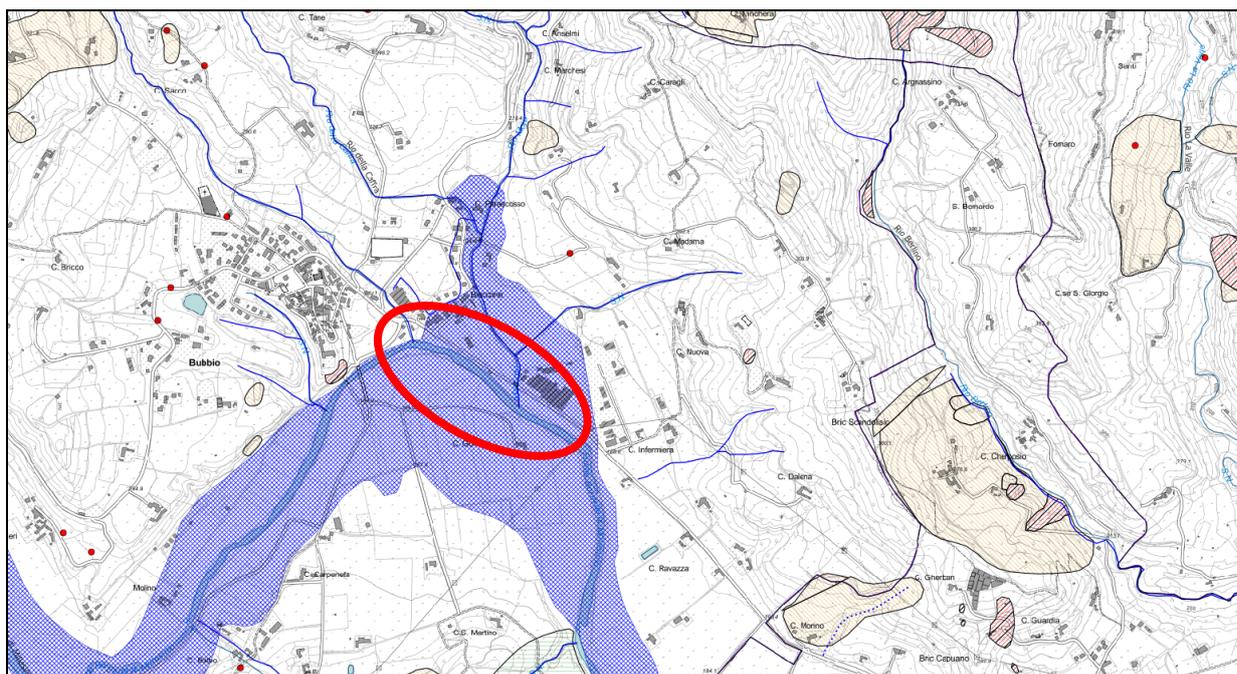
Sulla sponda sinistra si snoda la strada provinciale di fondovalle e la viabilità secondaria a servizio della Regione Giaronetto, a una quota di circa 189 m s.l.m.m.. Lo sbocco nella valle principale dei fossi colatori provenienti dal versante, quale il Rio San Pietro, è segnato da una piana alluvionale debolmente inclinata verso il Bormida, sebbene non vi siano evidenze morfologiche riconducibili a un apparato di conoide. È infatti probabile che la piana sia modellata da un'ansa del Bormida, che anticamente era più pronunciata di quella attuale.

La posizione esterna alla sponda convessa del meandro e la presenza dei rii di scolo del versante fanno sì che l'area sia classificata dal PAI a rischio molto elevato per fenomeni di alluvionamento da esondazione (fig. 5).

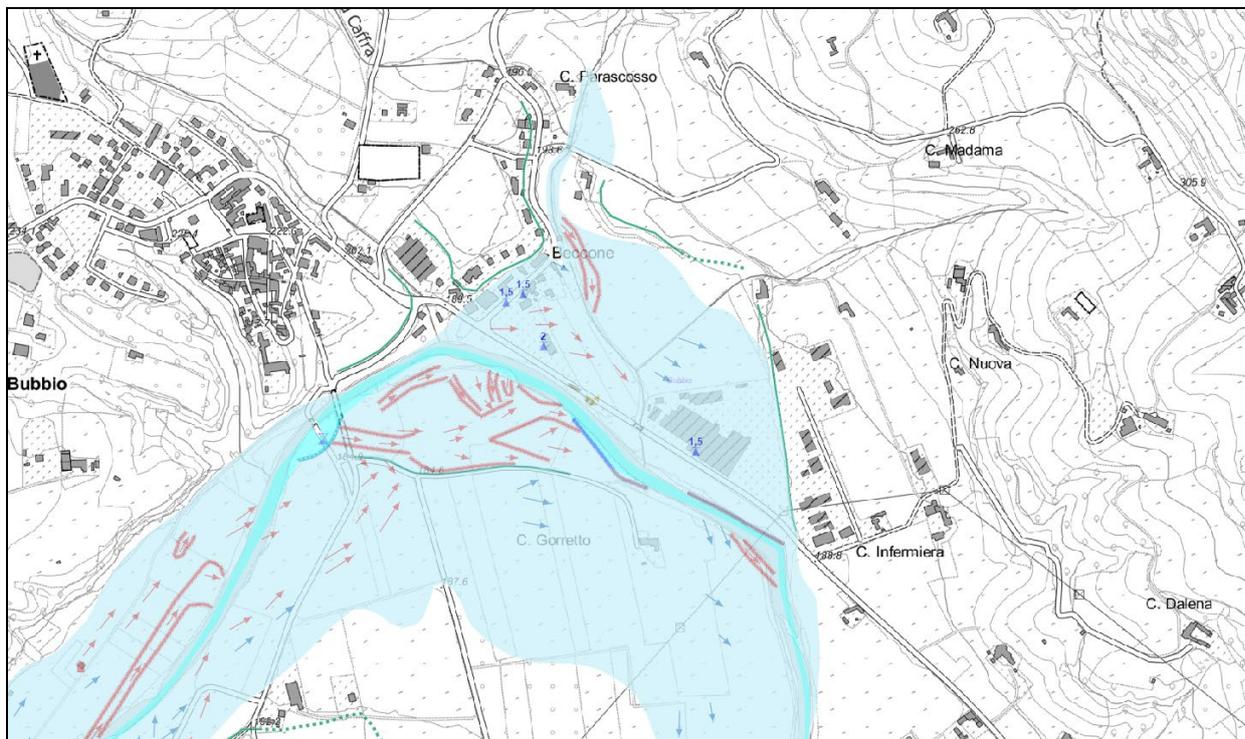
Infatti, storicamente l'area oggetto di studio in sinistra Bormida è stata periodicamente inondata, con fenomeni erosivi in alveo e formazione di canali in area golenale. In particolare, si ricorda l'alluvione del novembre 1994, che ha provocato altezze d'acqua fino a 2 m in sinistra Bormida, con divagazioni ed erosioni d'alveo particolarmente significative (fig. 6a). In tempi più recenti, si segnala l'evento alluvionale del 2016, che ha provocato altezze d'acqua non superiori a mezzo metro ma già importanti e dannose per la viabilità, le abitazioni e le attività produttive (fig. 6b). Dal confronto delle carte degli eventi prodotte da ARPA Piemonte e riportate in fig. 6 risulta evidente come le aree interessate in sponda sinistra sono praticamente le stesse per entrambi gli eventi.

L'assetto planiziale per contro esclude ogni possibile fenomeno di dissesto gravitativo: tale evenienza è peraltro confermata dalla consultazione della cartografia allegata al progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia), nell'aggiornamento curato da ARPA Piemonte. A conferma di ciò, non risultano fenomeni di dissesto pregressi o in atto. Tuttavia, l'erosione spondale da parte della dinamica idraulica dei corsi d'acqua predispone a locali dissesti a carico delle sponde stesse.

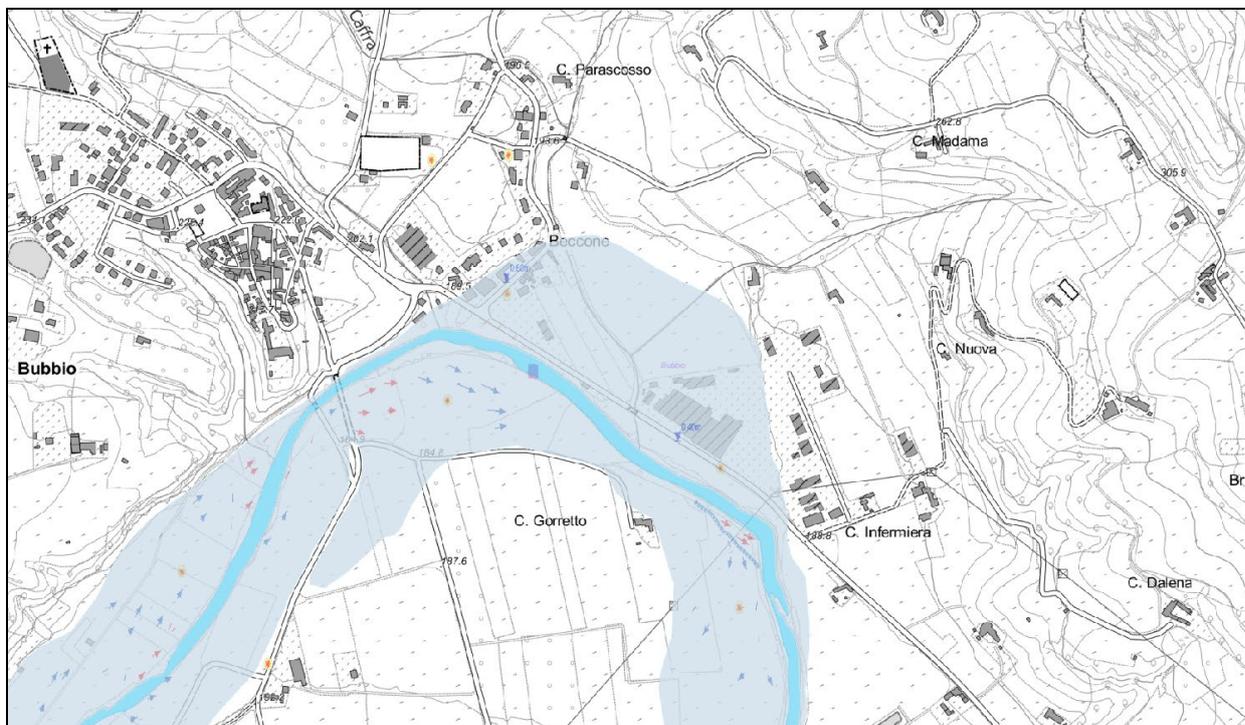
Il presente progetto è finalizzato alla messa in sicurezza dell'area dal rischio esondazione e dovrà tener conto anche dei rischi secondari indotti dalla dinamica dei corsi d'acqua, valutando anche possibili sifonamenti e/o sovrappressioni interstiziali nell'acquifero freatico sedimentario.



**Figura 5** – Estratto cartografico del PAI e del progetto IFFI (da webgis Regione Piemonte)



**Figura 6a – Evento alluvionale 1994 (da webgis Regione Piemonte)**



**Figura 6b – Evento alluvionale e 2016 (da webgis Regione Piemonte)**

## **1.4 MODELLO GEOLOGICO**

### **1.4.1 Profilo litostratigrafico del terreno indagato**

Le indagini appositamente realizzate e le indicazioni bibliografiche consentono la ricostruzione del modello geologico del terreno di fondazione degli interventi di messa in sicurezza e sistemazione idraulica in oggetto.

La successione stratigrafica è costituita da sedimenti clastici fini di origine continentale alluvionale, appartenenti alle formazioni oloceniche recenti e attuale di origine fluviale, sovrastanti il substrato terziario marino miocenico della formazione marnoso-arenacea delle Marne di Cessole.

- Livello litologico R – In superficie è presente la copertura vegetale con il suolo pedogenetico, talora seguita da un livello di terreno rimaneggiato costituito da sabbia e ghiaia, per uno spessore - nelle verticali di indagine - compreso tra 0.50 e 2.00 m ca..
- Livello litologico n. 1 – Il terreno naturale in posto è dato da sedimenti continentali clastici fini di origine fluviale, legati alla dinamica recente e attuale del Bormida e dei suoi affluenti. Si tratta in genere di sabbie fini da debolmente limose a limose con intercalati livelli di limo sabbioso fine. I corpi sedimentari hanno una geometria lentiforme, caratteristica dell'ambiente deposizionale fluviale, con eteropie di facies sia laterali che stratigrafiche. Alla base del deposito sono presenti livelli ghiaiosi, localmente anche ciottolosi. Il grado di addensamento e di consistenza è piuttosto basso; la colorazione varia dal grigio al nocciola con rare screziature brunastre.
- Livello litologico n. 2 – a profondità variabili tra 7 e 9 m circa le indagini hanno intercettato il substrato sedimentario marino terziario, dato dai litotipi delle Marne di Cessole; si tratta di marna siltosa con intercalati livelli arenacei anche litoidi. Al netto della coltre regolitica alterata, la cui potenza è comunque inferiore al metro, il grado di consistenza è assai elevato, da sublitoide a litoide.

A quote variabili da -5.50 a -8.50 m da p.c. le indagini hanno intercettato la falda idrica. Si tratta di falda freatica in continuità idrodinamica con il reticolo idrografico di superficie. Le misure sono state condotte in un periodo di elevata siccità ed è lecito attendersi significative risalite del livello di falda, soprattutto in occasione di eventi meteorologici severi.

Il modello geologico qui ricostruito e schematizzato direttamente sui certificati stratigrafici di fig. 4 potrà servire per le verifiche progettuali. Stante le condizioni planiziali e l'assenza di situazioni di pericolosità geologica al contorno, il modello è limitato alla ricostruzione stratigrafica del sedime di fondazione.



# RELAZIONE GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE

## 2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI

### 2.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA

La modellazione geotecnica corrisponde in buona sostanza alla modellazione geologica, rappresentata in fig. 4. Escludendo la coltre vegetale e i terreni di rimaneggiamento antropico, si distinguono n. 2 unità geotecniche. Cautelativamente, ai fini geotecnici, si considera la soggiacenza del tetto del substrato a -9.00 m da p.c. attuale.

#### 2.1.1 Profilo geomeccanico del terreno indagato

Nell’ambito della presente relazione e delle indicazioni e raccomandazioni fornite, il riferimento altimetrico della quota zero indicante il piano di campagna (talvolta abbreviato in p.c.) è stato assunto coincidente con il piano di calpestio presente al momento dell’esecuzione del sondaggio geognostico. Il profilo geomeccanico (fig. 7) è ricavato dalla distribuzione dei valori normalizzati di  $N_{SPT}$  e dalla descrizione stratigrafica; esso risulta coincidere sostanzialmente con il modello geologico.

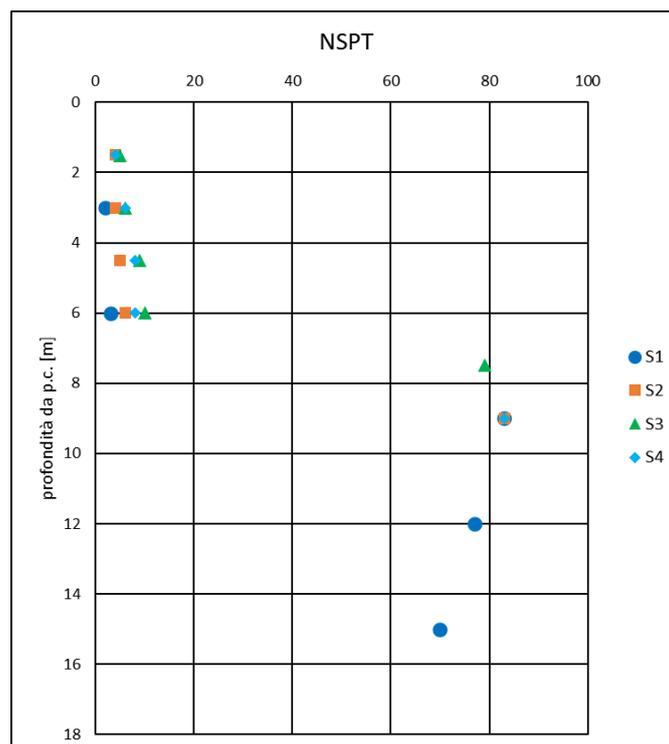


Figura 7– Profilo dell’andamento dei valori di  $N_{(1),60}$  ( $N_{SPT}$  normalizzati)

In accordo con la letteratura tecnica, i valori di  $N_{SPT}$  sono stati normalizzati, al fine di tenere conto dell'influenza della pressione del terreno sovrastante, tramite le correlazioni di Skempton (1985) e quella di Jamiolkowski (1985), applicando la più conservativa in funzione della profondità.

<b>Profondità prova [m]</b>		<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>	<b>N<sub>(1),60</sub></b>
S1	3.00	1	1	1	<b>2</b>	<b>2</b>
	6.00	1	2	2	<b>4</b>	<b>3</b>
	9.00	Rif.			<b>100</b>	<b>83</b>
	12.00	Rif.			<b>100</b>	<b>77</b>
	15.00	Rif.			<b>100</b>	<b>70</b>
S2	1.50	1	1	2	<b>3</b>	<b>4</b>
	3.00	2	2	2	<b>4</b>	<b>4</b>
	4.50	2	2	3	<b>5</b>	<b>5</b>
	6.00	3	3	4	<b>7</b>	<b>6</b>
	9.00	Rif.			<b>100</b>	<b>83</b>
S3	1.50	2	2	2	<b>4</b>	<b>5</b>
	3.00	2	3	3	<b>6</b>	<b>6</b>
	4.50	5	5	4	<b>9</b>	<b>9</b>
	6.00	4	6	7	<b>12</b>	<b>10</b>
	7.50	39	Rif.		<b>89</b>	<b>79</b>
S4	1.50	1	1	2	<b>3</b>	<b>4</b>
	3.00	3	3	3	<b>6</b>	<b>6</b>
	4.50	3	3	5	<b>8</b>	<b>8</b>
	6.00	4	4	5	<b>9</b>	<b>8</b>
	9.00	Rif.			<b>100</b>	<b>83</b>

Poiché i valori delle prove eseguite nel substrato hanno sempre fornito valori a rifiuto, non è possibile procedere ad una attendibile correlazione con i parametri geotecnici. Si procederà pertanto alla definizione del materiale in termini di ammasso roccioso applicando il criterio di rottura di Hoek-Brown.

### **2.1.2 Modello geotecnico del sottosuolo**

Sulla scorta del modello geologico di fig. 4, del profilo geomeccanico di fig. 7 e dei risultati delle indagini geognostiche, correlando i livelli a comportamento geomeccanico omogeneo, si ipotizza il seguente modello geotecnico concettuale del sottosuolo in 2 unità principali, che potrà essere impiegato per la stratigrafia di progetto.

- Unità geotecnica 1: sedimenti fluviali sabbioso-limosi– fino alla profondità massima di 9 m da p.c., è presente una successione di sabbie fini con varia percentuale di matrice fine, con livelli debolmente limosi, limosi o francamente costituiti da limo sabbioso, con rapporti geometrici segnati da eteropie laterali e stratigrafiche di facies. Nelle porzioni più profonde sono talora anche presenti lenti di materiale a granulometria grossolana, ghiaiosa o anche ciottolosa.
- Unità geotecnica n. 2: substrato marnoso-arenaceo – la sequenza flyschoide del substrato è data da alternanza di marna siltosa e di arenaria, con la marna prevalente, di colore grigio e con grado di consistenza molto elevato, da sublitoide a litoide. Il passaggio erosivo con i soprastanti sedimenti continentali recenti è segnato da una coltre regolitica di alterazione e talora da fratturazione elevata per detensionamento.

Sulla base delle indicazioni fornite dalla Relazione Geologica, la falda idrica è stata intercettata a profondità comprese tra -5.50 e -8.50 m, ma è lecito attendersi significativi innalzamenti del livello freatico in occasione di eventi meteorologici severi o anche solo per oscillazioni a carattere stagionale.

## **2.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

### **2.2.1 Determinazione delle proprietà indice**

In considerazione della natura e consistenza e delle condizioni idrogeologiche dei materiali presenti, la caratterizzazione prevede la stima dei parametri geotecnici sia in **condizioni drenate** (in termini di *tensioni efficaci*, secondo Terzaghi, 1936), nell'ipotesi questa che i tempi di dissipazione delle pressioni interstiziali indotte dall'applicazione dei carichi siano brevi, nel qual caso si assume nullo il valore della coesione drenata ( $c' = 0$  kPa), che in **condizioni non drenate** (in termini di *tensioni totali*) in presenza di depositi limosi coesivi.

#### ***Nota preliminare***

Ai sensi delle vigenti NTC (DM 17/01/2018), i parametri geotecnici nel seguito individuati sono da ritenersi come valori intrinseci caratteristici e verranno pertanto identificati con il pedice “*k*”.

In accordo alle NTC18 (§ 6.2.2), “per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite

considerato”. Secondo il codice europeo (EC7, punto 2.4.5.2) “il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%”. Pertanto, nel presente lavoro, per i valori caratteristici nel seguito indicati, la stima cautelativa consiste nel 5° o nel 95° percentile del valore medio o della mediana del campione. Infatti, a seconda delle verifiche, ciascun parametro riveste un ruolo a favore o a sfavore di sicurezza e dovrà essere impiegato il valore cautelativo probabilistico più opportuno.

Sotto il profilo procedurale, per ciascun parametro si è provveduto a ricavare i valori tramite le correlazioni indicate nei successivi paragrafi, utilizzando qualora possibile più metodi proposti da autori diversi. Dopo aver criticamente escluso eventuali valori anomali, i dati di ciascuna unità geotecnica sono stati trattati con metodi statistici al fine di ottenere il parametro caratteristico rappresentativo nel seguito riportato. Nel caso in esame, in assenza di indicazioni progettuali, il trattamento statistico è stato condotto in termini di assenza di compensazione strutturale, vale a dire per deformazioni del terreno su piccoli volumi, valido per fondazioni superficiali isolate e per fondazioni indirette.

Alcune normative, quali la norvegese (NORSOK standard N001), esplicitano le differenze tra grandi e piccoli volumi significativi: il valore caratteristico deve essere scelto in modo che la probabilità di incidenza del valore meno favorevole sia bassa. Quando uno stato limite è governato da un grande volume di terreno, l’incidenza è minore e viceversa. Secondo la teoria dei campi aleatori, i parametri geomeccanici presentano fluttuazioni periodiche nei loro valori, nel verso verticale e nel verso orizzontale. Più sono grandi le dimensioni entro le quali i parametri sono mediati, più le fluttuazioni attorno al trend tendono a cancellarsi nel calcolo della media spaziale (Nadim e Lacasse, 1996). Pertanto, il trattamento statistico per piccoli volumi di deformazione risulta maggiormente conservativo.

Per completezza di informazione, si fornisce anche il valore nominale, che corrisponde al valore medio o medio ponderato dei dati ricavati mediante le diverse correlazioni.

### ***Parametri fisici caratteristici***

Il peso dell’unità di volume totale del terreno  $\gamma$  è stimato indirettamente utilizzando la carta di classificazione proposta dal NAVFAC DM-7 (1971) e le correlazioni di Brinkgreve *et al.* (2010) e di Terzaghi e Peck (1948).

La densità relativa  $D_R$  è stata calcolata a partire dalle prove SPT con le correlazioni di Gibbs & Holtz (1957) e di Meyerhof (1957), mediando poi i risultati.

### ***Parametri di resistenza***

L'angolo di resistenza a taglio di picco  $\phi'_p$  delle sabbie e delle ghiaie è stato stimato a partire dai valori normalizzati di  $N_{SPT}$  applicando diverse correlazioni: NAVFAC DM-7 (1971), Schmertmann (1975), Wolff (1989), Hatanaka & Uchida (1996), Kulhawy e Mayne (1990), Roccaforte e Cucinotta (2015), del JRA - Japan Road Association (1996) e della Road Bridge Specification, mediando infine i risultati. Al fine della determinazione, si sono scartati i valori che si discostano maggiormente dalla media.

Per la valutazione dell'angolo di resistenza a taglio residuo  $\phi'_{cv}$  si è fatto ricorso alla correlazione di Bolton (1986) sulla base del valore adottato di  $\phi'_p$ .

La coesione drenata  $c'$  in termini di tensioni efficaci, per quanto precedentemente espresso, è sempre assunta pari a zero.

La coesione non drenata  $c_u$  è stimata indirettamente da  $N_{SPT}$  tramite le formule di Terzaghi & Peck (1948), di Stroud (1974), di Bruschi (2004), di Sivrikaya e Togrol (2006), di Roccaforte e Cucinotta (2015), mediando i risultati.

### ***Parametri di deformabilità***

Il modulo di Young  $E'$  in condizioni drenate viene stimato indirettamente dal valore corrispondente di  $N_{SPT}$  mediante le correlazioni proposte da Denver (1982).

$$E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

Per la determinazione di  $s_1$  e  $s_2$  si ricorre alle indicazioni bibliografiche: nel caso di sabbia argillosa Webb (1970) propone  $s_1 = 0.316$  MPa e  $s_2 = 1.58$  MPa,

Il modulo elastico di Young  $E_u$  in condizioni non drenate viene stimato indirettamente dal valore di  $c_u$  mediante le correlazioni proposte da Duncan e Buchigani (1976), da Ladd et al. (1977) e da Stroud (1989), mediando poi criticamente i risultati.

Per i moduli di deformazione, utili per la stima dei cedimenti differenziali, si procede alla determinazione statistica del 5° e del 95° percentile, al fine di fornire il *range* di variabilità massima in termini cautelativi ai sensi delle NTC18. Il valore normalizzato di  $N_{SPT}$

corrispondente, assunto come valore indice massimo e minimo per ciascuna UG, viene nel seguito indicato come valore caratteristico derivato dai metodi statistici precedentemente illustrati.

Il coefficiente di Poisson  $\nu$  è stato stimato in riferimento alle indicazioni disponibili in letteratura tecnica (Cestelli-Guidi, Bowles), in funzione della litologia e dell'angolo di resistenza a taglio di picco.

Il modulo di Winkler  $K_s$  viene stimato in via preliminare ed approssimata in funzione del valore di resistenza penetrometrica  $N_{SPT}$  tramite l'abaco di Terzaghi (1955) per le sabbie umide.

## 2.2.2 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee

### Valori nominali

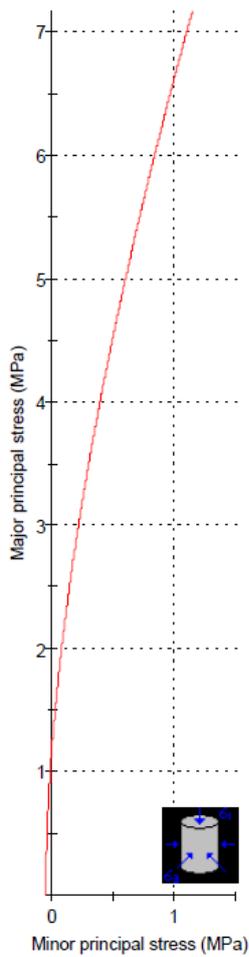
LIVELLO GEOTECNICO	Profondità letto del livello	Indice SPT	Peso dell' unità di volume totale		Coefficiente di Poisson	Tensioni efficaci					Tensioni totali		Costante di Winkler orizzontale
						Densità relativa	Angolo di resistenza a taglio di picco	Angolo di resistenza a volume costante	Coesione drenata	Modulo di Young in condizioni drenate	Coesione non drenata	Modulo di Young in condizioni drenate	
	[m]	[colpi/piede]	[kN/m <sup>3</sup> ]		[-]	[%]	[°]	[°]	[kPa]	[MPa]	[kPa]	[MPa]	[kg/cm <sup>3</sup> ]
		$N_{(1),60}$	secco $\gamma$	saturo $\gamma_{sat}$	$\nu$	$D_R$	$\varphi'$	$\varphi'_{cv}$	$c'$	$E'$	$C_u$	$E_u$	$k_s$
1	9	6	15	19	0.35	40	28	25	0	3.5	38	37.6	0.6

### Valori caratteristici

LIVELLO GEOTECNICO	Profondità letto del livello	Indice SPT	Coefficiente di Poisson		Densità relativa	Angolo di resistenza a taglio di picco	Angolo di resistenza a volume costante	Coesione drenata	Tensioni efficaci		Tensioni totali			Costante di Winkler orizzontale
									Modulo di Young in condizioni drenate	Coesione non drenata	Modulo di Young in condizioni non drenate			
	[m]	[colpi/piede]	[-]		[%]	[°]	[°]	[kPa]	[MPa]	[kPa]	[MPa]		[kg/cm <sup>3</sup> ]	
		$N_{(1),60}^{max}$	$N_{(1),60}^{min}$	$\nu^{(k)}$	$D_R^{(k)}$	$\varphi'^{(k)}$	$\varphi'_{cv}^{(k)}$	$c'^{(k)}$	$E'^{(k)}_{max_s}$	$E'^{(k)}_{min}$	$C_u^{(k)}$	$E_u^{(k)}_{max_s}$	$E_{u'}^{(k)}_{min}$	$k_s^{(k)}$
1	9	10	2	0.37	28	24	22	0	5.5	2.1	15	75.5	14.6	0.1

Per completezza di informazione, si riporta la caratterizzazione del substrato litoide (UG2) in termini di ammasso roccioso utilizzando il criterio di rottura di Hoek-Brown, evidenziando che si tratta di una rappresentazione media indicativa.

**Analysis of Rock Strength using RocLab - Bubbio (AT), substrato marnoso-arenaceo**

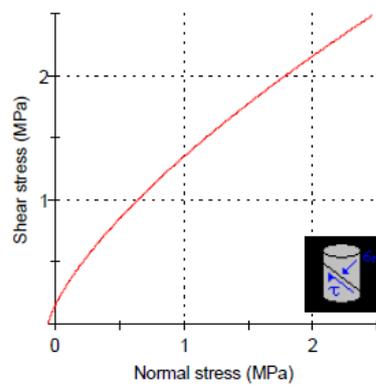


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 50 MPa  
 GSI = 35  $m_i$  = 7 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 8750 MPa  
 modulus ratio (MR) = 175

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.687  $s$  = 0.0007  $a$  = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.388 MPa friction angle = 42.07 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.053 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.204 MPa  
 global strength = 5,194 MPa  
 deformation modulus = 992.31 MPa



## **3 SISMICA**

### **3.1 INQUADRAMENTO SISMICO**

#### **3.1.1 Inquadramento sismico regionale**

Il territorio piemontese è circondato lungo i confini settentrionali, occidentali e meridionali dai rilievi montuosi del sistema alpino occidentale, catena collisionale originatasi a partire dal Cretaceo per lo scontro fra le placche Europea ed Adriatica. Il contesto tettonico e i regimi geodinamici attivi portano la regione ad essere sede di attività sismica, generalmente modesta dal punto di vista energetico ma notevole come frequenza.

Gli epicentri si concentrano lungo due direttrici, note storicamente come “arco sismico piemontese” e “arco sismico brianzonese”: la prima segue la direzione dell'arco alpino occidentale nella sua parte interna, in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità, lungo il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana; la seconda, più dispersa, segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni, in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi occidentali francesi, lungo il Fronte Pennidico.

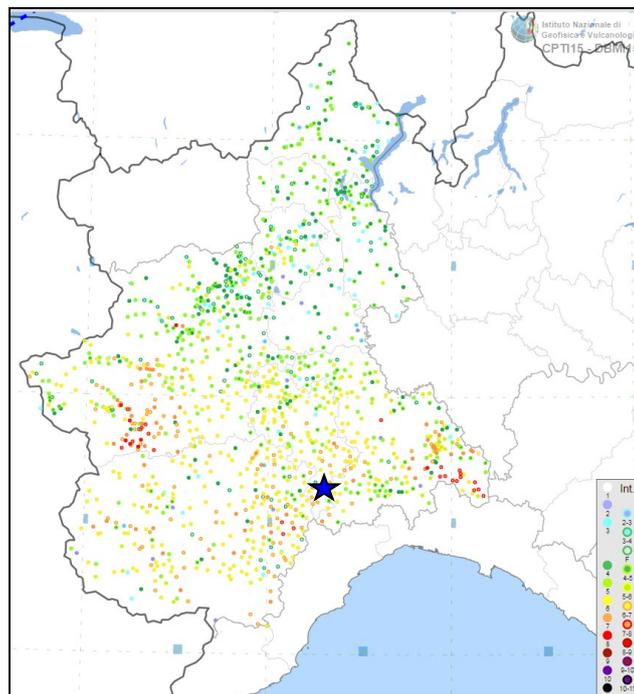
Le due direttrici si estendono a nord fino al Vallese, caratterizzato da una diffusa sismicità, e convergono a sud nel Cuneese, con una maggiore dispersione verso la costa del Mar Ligure, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una diffusa sismicità è inoltre presente lungo i rilievi a sud del Piemonte e in particolare nell'Appennino settentrionale, nelle zone sud-orientali della regione.

I terremoti che interessano il territorio piemontese avvengono generalmente a profondità superficiali, prevalentemente entro 20 km dalla superficie, sebbene si rilevino alcuni eventi con maggiori profondità ipocentrali, in relazione a porzioni litosferiche in subduzione.

L'area è caratterizzata da una sismicità strumentale di grado molto basso. Tuttavia, i dati ricavati dalla rete sismica dell'Italia Nord-Occidentale (R.S.N.I.) evidenziano una concentrazione degli epicentri dei terremoti strumentali in corrispondenza del Pinerolese e della bassa Valle di Susa. Si evidenzia un allineamento di eventi sismici nel settore interno delle Alpi Cozie lungo la direttrice Nord-Sud dell'arco sismico piemontese, che si estende dalla Valle di Lanzo fino alla Val Maira. La profondità degli ipocentri dei terremoti lungo questo allineamento non supera mediamente i 15 km mentre spostandosi nel settore di pianura, tra la Val Chisone e la Val Pellice, si raggiungono bruscamente profondità superiori ai 30 km. Anche l'analisi dei terremoti storici più rilevanti, ricavati dal Catalogo sismico pubblicato da INGV, evidenzia un

allineamento circa Nord-Sud coincidente con quello dei terremoti strumentali. La magnitudo di tali eventi (MS) non supera 5.5. Sebbene allo stato attuale delle conoscenze non sia possibile stabilire con certezza le sorgenti sismogenetiche, si può osservare come la sismicità bordi le principali zone di taglio regionali ad andamento N-S, quale la linea Viù-Locana, un'importante dislocazione duttile a direzione media N-S di lunghezza plurichilometrica riattivata a livelli crostali superficiali in condizioni fragili.

Dai dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti in Italia (CPT15) emerge che i due massimi eventi registrati in regione sono quello del 9 ottobre 1828 tra Val Curone e Valle Staffora e quello del 2 aprile 1808 nel Pinerolese, con rispettiva magnitudo stimata pari a circa 5.8 e 5.7  $M_w$ . Sismi di magnitudo maggiore sono avvenuti a relativamente breve distanza dai confini regionali, tali da produrre effetti apprezzabili anche in Piemonte: si ricorda in particolare l'evento del 23 febbraio del 1887 nei pressi della costa ligure occidentale, a meno di 50 km dai confini piemontesi, di magnitudo stimata pari a 7.0  $M_w$ .



**Figura 8** – Sismicità storica del Piemonte (dal catalogo parametrico CPT15 v. 4.0)

### **3.1.2 Sismicità storica**

Il Comune di Bubbio si colloca in una zona a sismicità molto bassa. La sismicità storica è desumibile dal DBMI15 (Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT15), pubblicato dall'INGV. Nella

fig. 8 sono evidenziati gli epicentri dei terremoti più significativi. La tabella a pagina precedente riporta gli eventi sismici più significativi (dal Database Macrosismico Italiano dell'INGV: DBMI15 versione 4.0, Gennaio 2021), dove  $I_s$  è l'intensità al sito (MCS),  $I_o$  è l'intensità epicentrale (MCS) e  $M_w$  è la magnitudo momento del terremoto.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Bubbio  
 No. of reported earthquakes 7

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef
2-3	1707	1897	7	6	20	44		Mar Ligure	44,417	8,652		5	4,22	0,25
NF	1912	1906	8	11	9	58		Liguria occidentale	43,787	7,9		5	4,41	0,12
3-4	3607	1989	12	26	19	59	58,42	Mar Ligure	43,509	7,541	24,4		4,46	0,21
4	3614	1990	2	11	7	0	38	Torinese	44,918	7,558		6	4,69	0,08
NF	3714	1993	7	17	10	34	59,7	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34	0,09
4	4048	2000	8	21	17	14		Monferrato	44,911	8,38		6	4,94	0,07
4	4104	2001	7	18	22	47	10,71	Monferrato	44,801	8,427	21,1	5	4,23	0,07

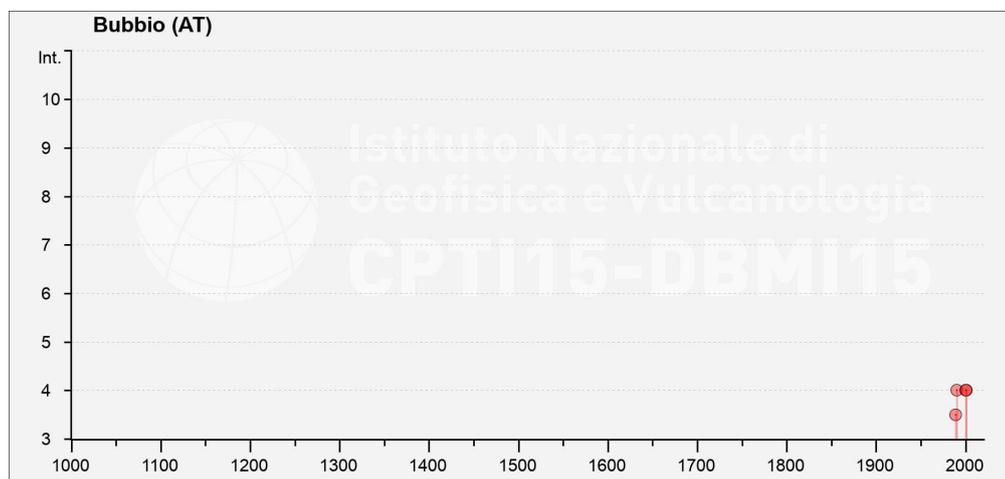


Figura 9– Sismicità storica di Bubbio (da INGV CPTI15 e DMI15)

### 3.1.3 Sismicità locale

#### Massima intensità macrosismica

La massima intensità macrosismica per il Comune di Bubbio, secondo le tabelle pubblicate dall'INGV, è uguale al grado 7 MCS (fig. 10 a lato).

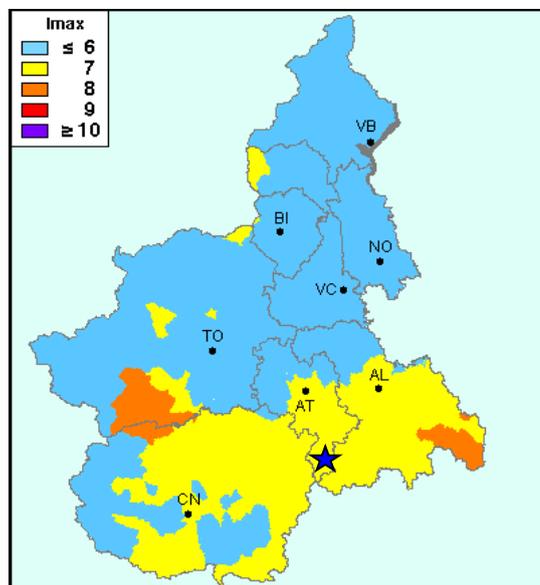


Figura 10 – Massima intensità macrosismica per il Piemonte (Da INGV)

## Zonazione sismogenetica

Secondo la Zonazione Sismogenetica S9 dell'INGV, ogni zona sorgente è definita come possibile sorgente di terremoti di magnitudo maggiore di 5. Il sito in oggetto si colloca in corrispondenza di una delle zone sismogenetiche individuate.

In riferimento al database DISS, versione 3.3.0 pubblicato dall'INGV nel Dicembre 2021 (fig. 11), l'area in oggetto si trova infatti a distanza di circa 41 km a ESE dalla sorgente sismogenetica ITCS178 “Southern Piemonte” e a circa 48 km a S e a SW rispettivamente delle sorgenti sismogenetiche ITCS179 – “Western Monferrato” e ITCS180 – “Eastern Monferrato” (appartenenti alla struttura nota come “Arco del Monferrato”), caratterizzate dai seguenti parametri:

DISS 3.3.0			
Seismogenic Source	ITCS178 Southern Piemonte	ITCS179 Western Monferrato	ITCS180 Eastern Monferrato
	Parameter	Parameter	Parameter
Min Depth (km)	1.5	1.0	1
Max Depth (km)	8.0	8.0	8
Strike (deg)	45 - 65	60 - 130	115 - 150
Dip (deg)	40 - 50	40 - 50	40 - 50
Rake (deg)	60 - 120	70 - 110	80 - 120
Slip Rate (mm/y)	0.14 – 0.20	0.10 – 0.50	0.10 – 0.50
Max Magnitude (Mw)	6.3	6.4	6.4



Figura 11 – Estratto del DISS, zone sismogenetiche e ITHACA, faglie capaci (l'asterisco giallo indica il sito in oggetto)

Dalla consultazione del database delle faglie capaci del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults), riportato sul portale cartografico SGI di ISPRA nell'aggiornamento del 20/12/2019 (fig. 11), nell'intorno significativo del sito in oggetto non risulta la presenza di faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

### **3.1.4 Pericolosità sismica di base**

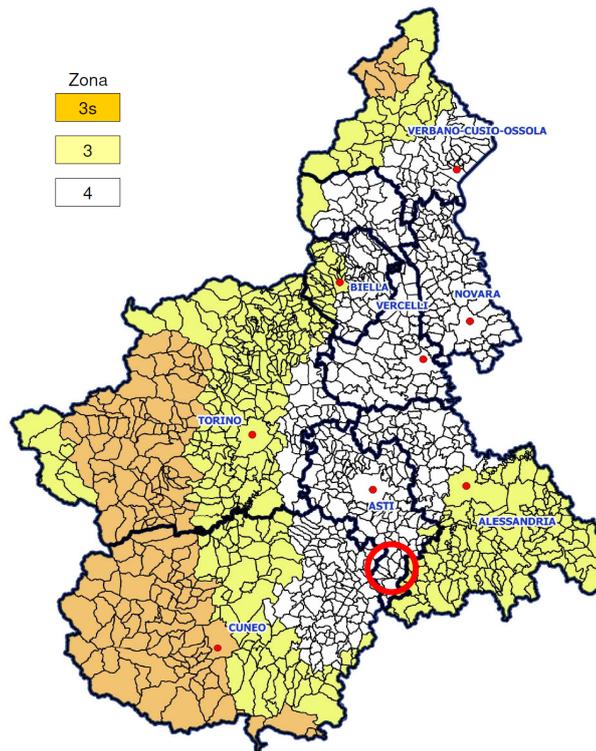
Ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i., il territorio del Comune di Bubbio era stato classificato in zona 4, caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido  $a_{g(max)} = 0.05$  g. A seguito della riclassificazione sismica con D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058 e relativi aggiornamenti di cui alle D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 e D.G.R. n. 7-3340 del 3 febbraio 2012, il Comune di Bubbio aveva mantenuto la medesima assegnazione.

Sulla base della di nuova classificazione, di cui alla D.G.R. n. 6-887 del 30/12/2019 (fig. 12), il Comune di Bubbio conserva l'attribuzione alla zona 4.

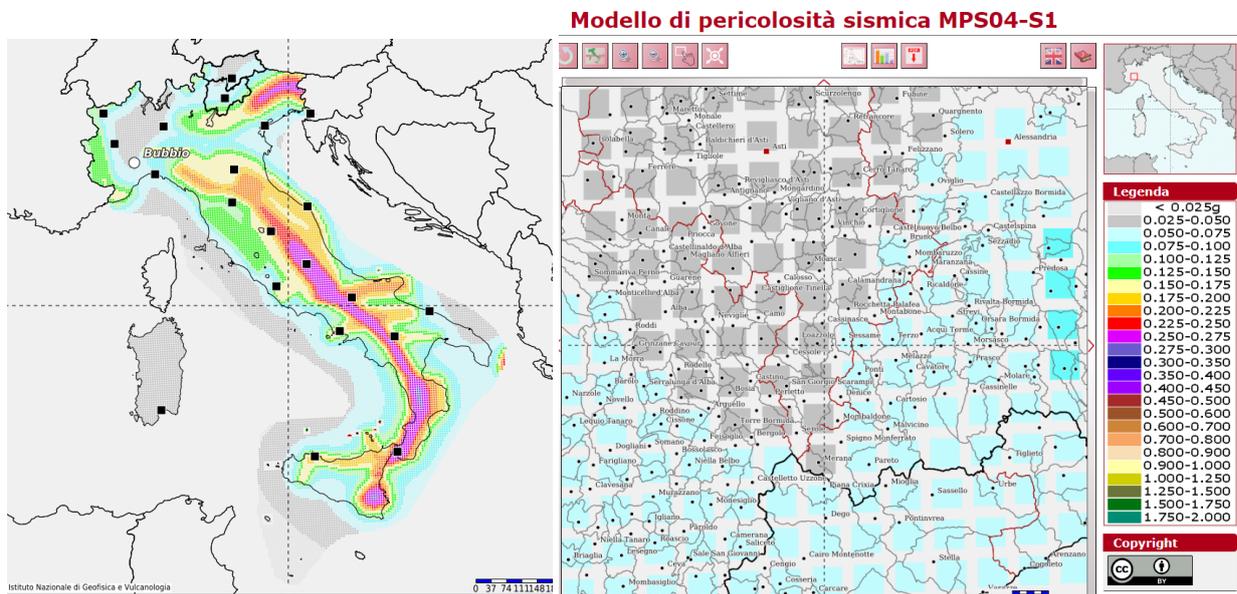
Ai sensi delle vigenti NTC18, la stima della pericolosità sismica (intesa in termini di azione sismica di riferimento per la progettazione - paragrafo 3.2.3) viene definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dal progetto S1-INGV ai sensi dell'OPCM n. 3519 del 28 Aprile 2006. Viene pertanto superato il concetto di sismicità di area in favore della sismicità di sito, intesa come risposta sismica locale, che verrà pertanto nel seguito analizzata.

La stima del rischio sismico, infatti, tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espressa in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni (fig. 13).

Come definito dal § 3.2.3 NTC/18 le accelerazioni di riferimento su suolo rigido (intensità dell'azione sismica, intesa come stato limite sismico probabilistico per determinati periodi di riferimento  $T_R$ ), sono calcolate sulla base della carta di rischio dell'INGV e variano secondo le coordinate del sito, in funzione di punti di ancoraggio nodali costituenti un reticolo di riferimento (fig. 14), i cui valori sono riportati nella tabella 1 allegata alle NTC/08 e richiamata dalle NTC/18.



**Figura 12 – Classificazione sismica (D.G.R. Regione Piemonte n. 6-887 del 30/12/2019)**



**Figura 13- Carta di pericolosità sismica espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni)**

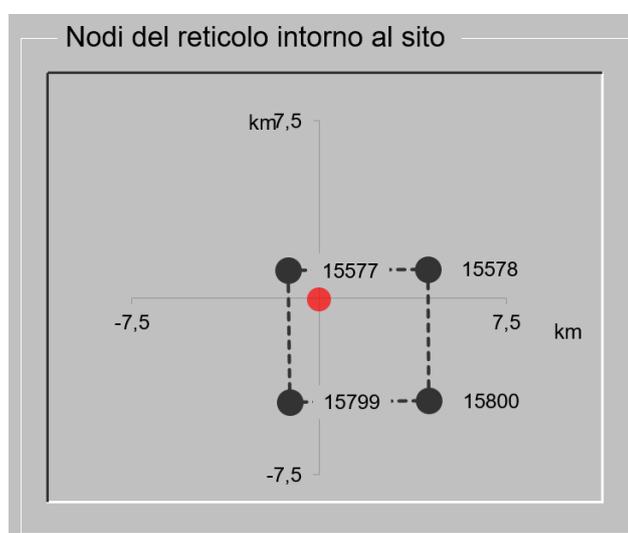
Il sito è identificato dalle seguenti coordinate (ED50 – conforme al sistema adottato dall'INGV):

Longitudine: E 8,3045; Latitudine: N 44,6616

da cui si ricavano gli spettri di risposta riportati nella figura 15. Per comodità di lettura, si riportano nella seguente tabella i parametri sismici per i vari  $T_R$  assegnati (tempi di ritorno, funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento), dove:

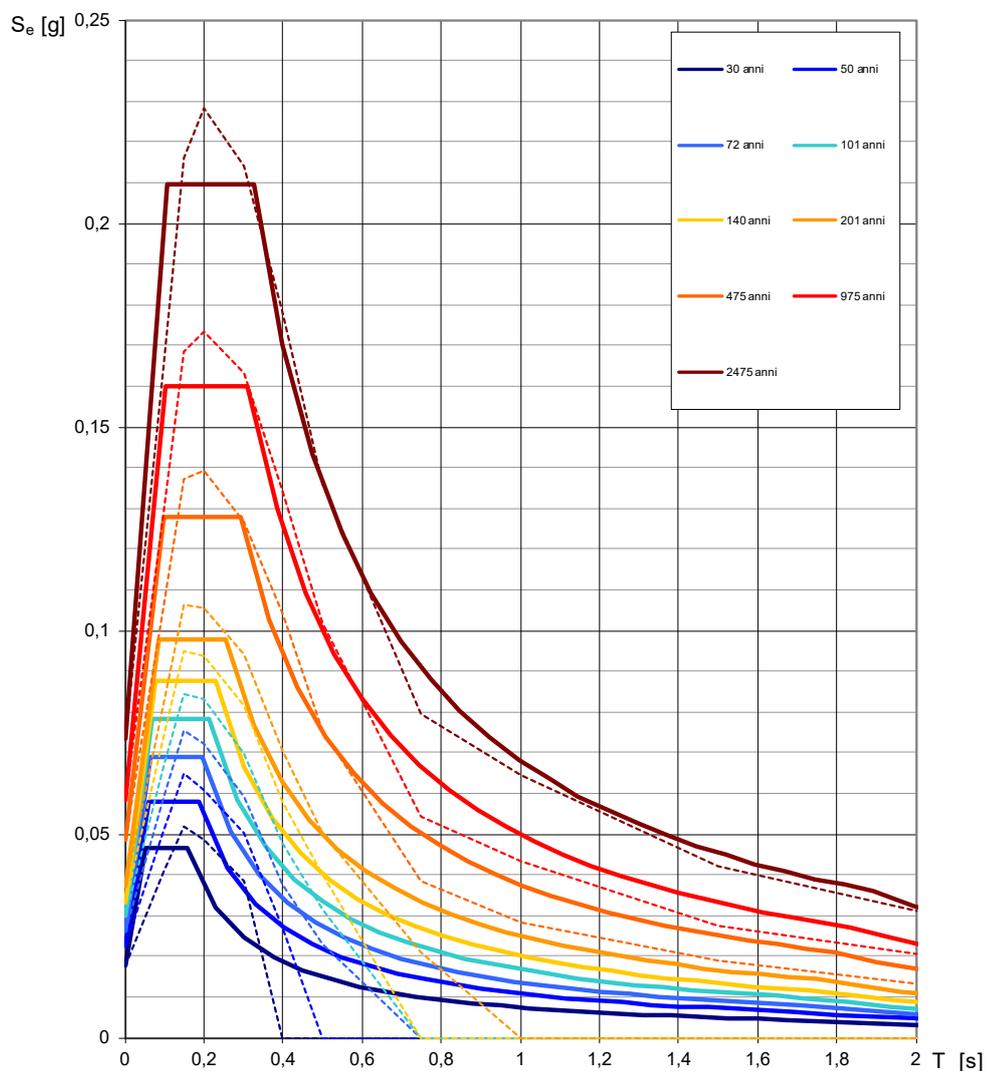
- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito, equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia  $S_e[g]$  con  $T=0$ , e rappresenta la pericolosità sismica di base ai sensi della normativa vigente;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,018	2,610	0,160
50	0,022	2,577	0,187
72	0,026	2,623	0,198
101	0,030	2,615	0,215
140	0,033	2,626	0,229
201	0,037	2,636	0,255
475	0,048	2,636	0,294
975	0,058	2,749	0,312
2475	0,073	2,855	0,325



**Figura 14**– Nodi del reticolo NTC08 attorno al sito

## Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 15** – Spettri elastici di riferimento su suolo rigido per il sito in esame

## 3.2 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE

### 3.2.1 Modello sismico e pericolosità sismica locale

La vigente normativa NTC/18 raccomanda la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . Non essendo state previste dalla Committenza prove geofisiche in sito, il modello sismico si può ricavare indirettamente utilizzando le risultanze dell'indagine

geognostica. Infatti, con riferimento agli effetti locali, ai sensi del paragrafo 3.2.2 delle NTC18, la definizione dell'azione sismica di progetto si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC18, 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,  $V_s$ .

La classificazione del sottosuolo si effettua pertanto in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), in funzione profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto assumendo la profondità del substrato pari a 30 m 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.

I risultati ottenuti in sede geognostica consentono di evidenziare un mezzo dalle scadenti caratteristiche di resistenza meccanica nei primi 8-9 m da p.c., per poi passare a materiali litoidi per i quali è ragionevole assumere le condizioni di bedrock sismico di riferimento ( $V_s > 800$  m/s).

Ricorrendo all'approccio semplificato di analisi di risposta sismica locale, ai sensi della tabella 3.2.II delle NTC18, il terreno rientra nella **categoria E**:

*“Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m”.*

Considerando che il deposito sedimentario continentale recente ed attuale è caratterizzato da scadenti proprietà geomeccaniche e che pertanto è classificabile nella categoria D: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.”*

Il ricorso all'approccio semplificato di analisi di risposta sismica locale è giustificato in quanto è verificata nel complesso la condizione di *“miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità”*, in presenza di strati piano paralleli e orizzontali. L'attribuzione alla categoria “E” è la più conservativa e rende ragionevolmente valido il metodo indiretto di classificazione in assenza di misura diretta delle  $V_s$ .

### **Definizione dell'amplificazione topografica**

Il sito si colloca in un'area pianiziale. Si può dunque ragionevolmente assumere la categoria topografica T1: “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ” (Tab. 3.2.III delle NTC18).

### **3.2.3 Accelerazione massima attesa in superficie**

Ai fini della valutazione del potenziale di instabilità, oltre alla stima della magnitudo occorre anche determinare il valore di  $a_{g(max)}$  (accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field*, equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia  $Se[g]$  con  $T=0$ :  $a_{g(max)} = S \cdot a_g = S_T \cdot S_s \cdot a_g$ ). Verranno quindi applicati i coefficienti  $S_s$  e  $S_T$  sulla base di quanto sopra definito:

- per un sottosuolo di riferimento di categoria E si assume cautelativamente un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.60$  (cfr. tabella 3.2.IV delle NTC18);
- per la categoria topografica T1 (Tab. 3.2.V delle NTC18), si assume il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$ .

Per la valutazione delle azioni ai diversi stati limite occorre individuare il  $T_R$  sulla base della Vita di riferimento dell'opera (§ 2.4.3 delle NTC18). Si valuteranno in questa sede le azioni nelle condizioni di una costruzione ordinaria rientrante nella **Classe d'uso II** (cfr. tabella 2.4.II delle NTC18) e per un tempo  $\geq 50$  anni di vita nominale, per la quale si assume un valore del coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 1. Tale assunto dovrà essere comunque verificato in sede di progettazione strutturale. Nel caso in esame si ricava:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_{g(max)}$ [g]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T^*_c$ [s]	$a_{gv}$ [g]	$F_v$ [-]
SLO	30	0,029	0,018	2,610	0,160	0,003	0,470
SLD	50	0,036	0,023	2,578	0,187	0,005	0,522
SLV	475	0,077	0,048	2,636	0,294	0,014	0,783
SLC	975	0,093	0,058	2,749	0,312	0,019	0,895

dove  $a_{gv}$  è l'accelerazione al suolo (in condizioni *free-field*) della componente verticale e  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale (§ 3.2.3.2.2 NTC18).

Il § 3.2.3.3 delle NTC18 fornisce le espressioni per calcolare i valori dello spostamento orizzontale  $d_g$  e la velocità orizzontale  $v_g$  massimi del terreno, applicando le quali si ottiene (per gli SLV):

$$d_g = 0,019 \text{ m,}$$

$$v_g = 0,067 \text{ m/s.}$$

### **3.2.4 Valutazione della magnitudo massima attesa**

In accordo con gli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (IMCS), verrà valutata la magnitudo sulla base della zonazione sismogenetica ZS9.

A rigore, poiché il sito in esame si colloca in area esterna a zone sismogenetiche, si dovrebbe assumere il valore della ZS più prossima. Non esistono infatti documenti ufficiali che definiscano le aree con evento atteso inferiore ad una data soglia di magnitudo: pertanto, in mancanza di precisazioni in merito e in via cautelativa, sarebbe corretto assegnare alle zone esterne la magnitudo massima attesa indicata per la zona sismogenetica più prossima.

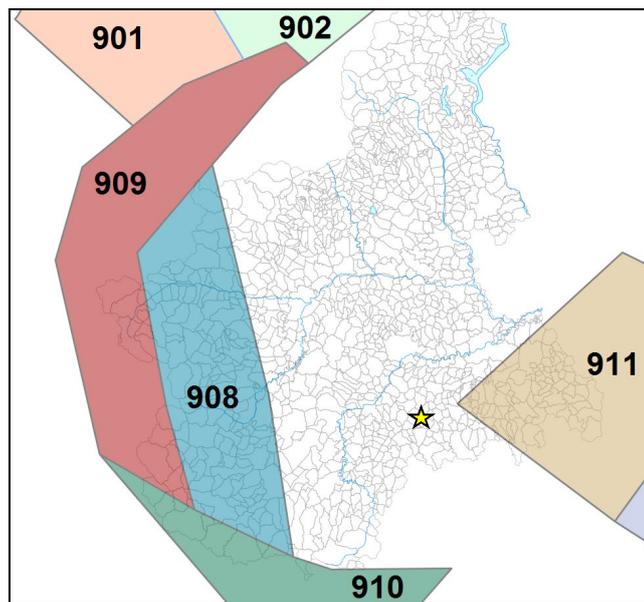
Tuttavia, il citato documento del Dipartimento della Protezione Civile, al paragrafo 2.8.2 suggerisce una procedura di stima per le analisi nelle zone suscettibili di instabilità:

*“Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze ( $R_i$ ) dalle zone ( $i$ ) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo  $M_i$  della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione  $M_s = 1+3\log(R_i)$ . Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo  $M_i$  più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.”*

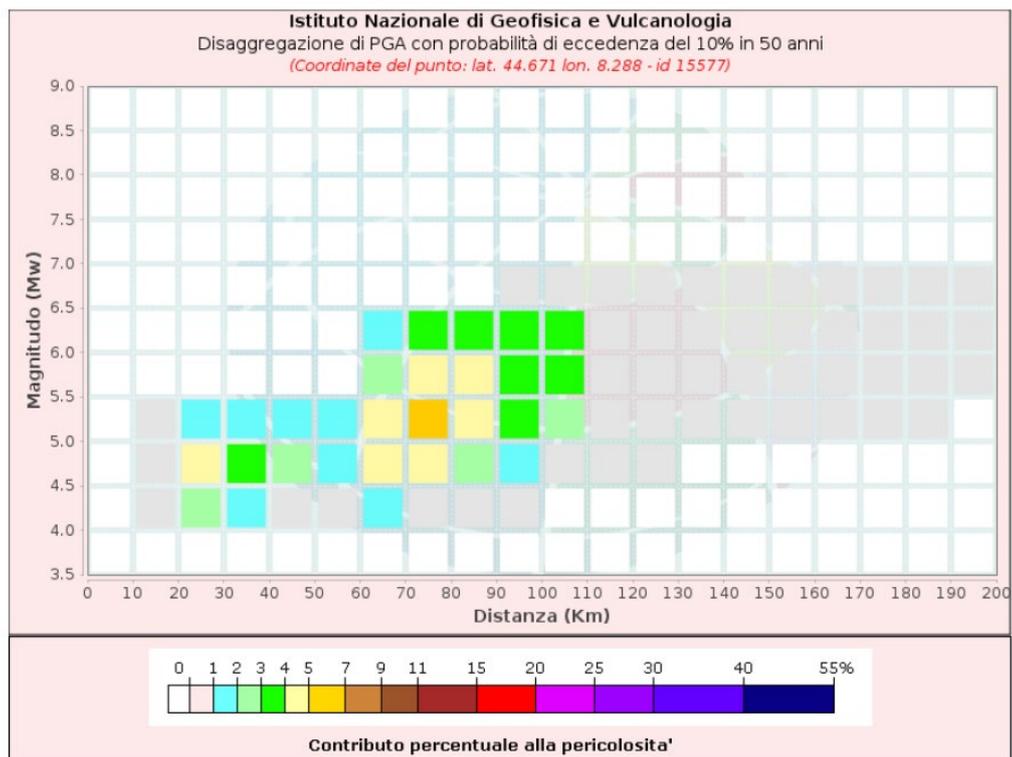
Secondo la più recente letteratura tecnica (Albarelo, 2014) “se tutte le  $M_s$  sono superiori alle  $M_w(i)$ , si determina la  $M_w$  con il metodo della disaggregazione”.

Applicando la suddetta procedura, con riferimento alla figura 16, si ricava:

ZONA SISMOGENETICA	$M_w(i)$ (max2)	Distanza $R_i$ [km]	$M_s = 1+3\log(R_i)$	$M_w < M_s$
ZS908 “del Piemonte”	6.14	60	6,33	Si
ZS909 “Alpi Occidentali”	6.14	100	7,00	Si
ZS910 “Nizza-Sanremo”	6.37	60	6,33	NO
ZS911 “Tortona-Bobbio”	6.14	15	4,53	NO



**Figura 16 – Zonazione sismogenetica ZS9 per il Piemonte**



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.33	73.3	1.62

**Figura 17 – Grafico di disaggregazione valido per il sito in oggetto**

Pertanto, applicando la procedura ICMS, si ricava che il valore di Magnitudo da applicare per le verifiche di suscettibilità alla liquefazione è pari a 6.37.

Per contro, applicando il metodo della disaggregazione, calcolata nel sito dell'INGV (fig. 17), si ricava  $M_w = 5.33$ .

### 3.3 INSTABILITÀ INDIRETTA

Con riferimento al p.to 7.11.3.4.2 delle NTC18 l'analisi del rischio liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze ivi previste.

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

Poiché agli SLV il valore  $a_g (max) = 0,077 < 0,1 g$ , **risulta soddisfatta la condizione di esclusione n. 1**: pertanto non è necessario procedere alla verifica del potenziale di liquefazione del terreno.

Per quanto riguarda la presenza di rischi secondari, quali ad esempio quelli derivanti da frane sismoindotte, l'assetto planiziale esclude tale rischio. Tuttavia, è necessario prevedere idonei sostegni e/o forme di stabilizzazione per le scarpate di eventuali scavi e riporti sia in fase transitoria provvisoria di cantierizzazione che nella fase definitiva di esercizio delle opere.



## PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- *D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".*
- *Circ. Min. LL.PP. n° 97/81-30483, 24.09.88, (Presidenza Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale) Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate ...", di cui al D.M. 11.03.88.*
- *D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 04/02/2008).*
- *D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018).*
- *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019).*
- *O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", (G.U. del 08/05/2003, n. 105) e s.m.i..*
- *O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/05 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici".*
- *O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", (G.U. del 11/05/06, n. 108).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 19 gennaio 2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)", (B. U. n. 7 del 18/02/10).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 12 dicembre 2011, n. 4-3084 "D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese", (B. U. n. 50 del 15/12/11).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 3 febbraio 2012, n. 7-3340 "Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011".*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 21 maggio 2014, n. 65-7656 "Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084."*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 30 dicembre 2019 n. 6 – 887 "OPCM 3519/2006. Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"*
- *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.*
- *Gruppo di lavoro MS (2008). "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*
- *Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>*
- *Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>*
- *Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics; doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014*

- DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>
- ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>
- Albarello D. (2014) “Una procedura per la valutazione della magnitudo di riferimento per lo studio della liquefazione”, GNGTS 2014, Sessione 2.2
- Legge Regionale REGIONE PIEMONTE 5 dicembre 1977, n. 56. “Tutela ed uso del suolo” (B.U. 24 dicembre 1977, n. 53) e s.m.i..
- Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni" (G.U. 2 aprile 2010, n. 77).
- Sacco F.: “Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000 dei Fogli costituenti il Bacino Terziario del Piemonte”. Roma, 1935.
- Boni A., Casnedi R.: “Note Illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, Fogli 69 e 70 Asti – Alessandria”, Serv. Geol. It., Ercolano, 1970.
- Francani et al.: “Note Illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, Foglio 81 Ceva”, Serv. Geol. It., Roma, 1971.
- AGI (1977) “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- Lancellotta R. (1993) “Geotecnica”, II Edizione, Zanichelli - Bologna.
- Cestari F. (1996) “Prove geotecniche in situ”, Editrice GEO-GRAPH s.n.c. – Segrate.
- Tanzini M. (2002) “L’indagine geotecnica”, Dario Flaccovio Editore.
- Corrao M, Coco G (2006) “Geofisica applicata – Elementi di geosismica e geoelettrica”, Dario Flaccovio Editore.
- Nori L. (2009) “Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l’EC7 e il D.M. 14/01/08” 8a revisione – dispensa inedita a cura O.R.G.P..
- Bruschi A. (2010) “Prove geotecniche in situ”, Dario Flaccovio Editore.
- Aiello E. (2010) “Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008): Teoria ed applicazioni nella progettazione geologica e geotecnica” - dispensa inedita a cura O.R.G.P..

#### Risorse internet webgis

- Regione Piemonte, Settore Direzione Opere pubbliche, difesa del suolo, economia montana e foreste: WEB-GIS Difesa del Suolo – DISUW
  - <http://www.regione.piemonte.it/disuw/main.php>
  - <http://geomap.reteunitaria.piemonte.it/>
- ARPA Piemonte: Sistema Informativo Geografico On Line – Servizi Informativi WebGIS.
  - [http://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/services/geologia\\_e\\_dissesto/SIFRAP\\_SI\\_Frane\\_Piemonte/](http://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/services/geologia_e_dissesto/SIFRAP_SI_Frane_Piemonte/)
- ISPRA: "Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (ReNDiS)" - interfaccia di navigazione ReNDiS-web
  - <http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/>
  - [http://www.geoservices.isprambiente.it/arcgis/services/IFFI/Progetto\\_IFFI\\_WMS\\_public/MapServer/](http://www.geoservices.isprambiente.it/arcgis/services/IFFI/Progetto_IFFI_WMS_public/MapServer/)

Si intende a tutti gli effetti allegato alla presente il report delle indagini geognostiche appositamente condotte.