



**COMUNE DI ALBIOLO**  
Provincia di COMO

**COMPONENTE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA E  
SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO  
AGGIORNAMENTO 2023**

**RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA**

Tradate, Maggio 2023

Il tecnico incaricato:  
**Dott. Geol. Marco Parmigiani**

Analisi e modellazione idrologica e  
idraulica a cura di:  
**Dott. Ing. Giancarlo Garbin**



**COMUNE DI ALBIOLO**  
**Provincia di COMO**

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA**  
**DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

**AGGIORNAMENTO 2023**

**RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA**

**PARTE I – FASE DI ANALISI**

Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA</b> .....	<b>4</b>
	2.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI .....	4
	2.2 GEOLOGIA DI SUPERFICIE .....	6
<b>3</b>	<b>3. IDROGEOLOGIA</b> .....	<b>8</b>
	3.1 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO E CARATTERI PIEZOMETRICI .....	8
	3.2 VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO .....	11
	3.3 QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE .....	12
	3.3.1 <i>Classificazione idrochimica delle acque captate</i> .....	12
	3.4 INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE DI RISPETTO DELLE OPERE DI CAPTAZIONE .....	13
<b>4</b>	<b>IDROGRAFIA</b> .....	<b>14</b>
	4.1 ASSETTO IDROGRAFICO .....	14
	4.2 ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO .....	15
	4.2.1 <i>Descrizione del modello</i> .....	15
	4.2.2 <i>Analisi idrologica</i> .....	18
	4.2.3 <i>Simulazioni e risultati</i> .....	21
	4.2.4 <i>Interpretazione risultati per la perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica</i> .	25

4.3	INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE E MINORE .....	28
4.3.1	<i>Riferimenti normativi</i> .....	28
4.3.2	<i>Individuazione dei corsi d'acqua costituenti il reticolo idrografico</i> .....	28
4.3.3	<i>Individuazione delle fasce di rispetto</i> .....	29
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO – TECNICO</b> .....	<b>30</b>
5.1	PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....	30
5.2	SINTESI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI .....	32
5.3	CARATTERI PEDOLOGICI .....	37
5.4	ULTERIORI ELEMENTI DI CARATTERE GEOLOGICO – TECNICO .....	38
5.5	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE A POTENZIALE PRESENZA/EVOLUZIONE DI CAVITÀ SOTTERRANEE .. .....	38
<b>6</b>	<b>IL RISCHIO DI ESPOSIZIONE AL GAS RADON</b> .....	<b>40</b>
6.1	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	40
6.2	LA MAPPATURA DEL TERRITORIO LOMBARDO .....	41
<b>7</b>	<b>ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO</b> .....	<b>43</b>
7.1	ASPETTI NORMATIVI E METODOLOGICI .....	43
7.2	ANALISI SISMICA DI BASE DEL TERRITORIO COMUNALE .....	44
7.2.1	<i>Analisi multicanale delle onde superficiali (Masw)</i> .....	46
7.3	SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E POSSIBILI EFFETTI INDOTTI .....	51

### **Allegati:**

<b>Allegato 1</b>	Scheda per il censimento dei pozzi pubblici (ripresa dalla componente geologica previgente – Lurati, 2007)
-------------------	--

### **Elaborati cartografici:**

<b>Tavola 1:</b>	Carta geologica e geomorfologica – scala 1:5.000
<b>Tavola 2:</b>	Carta idrogeologica – scala 1:5.000
<b>Tavola 3:</b>	Prima caratterizzazione geotecnica – scala 1:5.000
<b>Tavola 4:</b>	Carta del reticolo idrico– scala 1:5.000
<b>Tavola 5:</b>	Esiti dello studio idraulico – scala 1:5.000
<b>Tavola 6:</b>	Carta della Pericolosità Sismica Locale – scala 1:5.000
<b>Tavola 7:</b>	Carta PAI – PGRA – scala 1:5.000
<b>Tavola 8:</b>	Sintesi degli elementi conoscitivi – scala 1:5.000
<b>Tavola 9:</b>	Carta dei vincoli – scala 1:5.000
<b>Tavola 10:</b>	Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano – scala 1:5.000

## 1 PREMESSA

La componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Albiolo è stata redatta nel Maggio 2011 (Dott. Geol. Ciarmiello), in ottemperanza ai criteri regionali di cui alla D.G.R VIII/7374/2008.

L'aggiornamento e l'integrazione degli elaborati si è tuttavia reso ora necessario a seguito dell'emanazione di norme e disposizioni regionali in materia, tra cui:

- **D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616** *“Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”* relativa all'aggiornamento dei criteri per la redazione della componente geologica del P.G.T.
- **D.G.R. 11 luglio 2014 n. XI/2129** *“Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”*, relativa all'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.
- **L.R. 10 marzo 2017 n. 7** *“Recupero dei vani e locali seminterrati esistenti”*.
- **D.G.R. 19 giugno 2017 n. XI/6738** *“Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po”* relativa al recepimento delle zone a rischio idrogeologico indicate nel Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni.
- **R.R. 23 novembre 2017 n. 7 s.m.i.** *“Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”*.
- **D.G.R. 26 aprile 2022 n. XI/6314** *“Modifiche ai criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 approvati con d.g.r. 2616/2011 e integrati con d.g.r. 6738/2017”*.
- **D.G.R. 15 dicembre 2022 n. XI/7564** *“Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12), relativa al tema degli sprofondamenti.*

In attuazione di ciò, il Comune di Albiolo ha affidato l'incarico per la redazione della nuova "componente geologica" che si è concretizzata nell'aggiornamento degli elaborati cartografici, che sostituiscono integralmente le omologhe tavole contenute nella documentazione vigente (Maggio 2011) e nella redazione di due elaborati testuali:

- **RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA – PARTE I, FASE DI ANALISI**
- **NORME GEOLOGICHE DI PIANO – PARTE II, FASE DI SINTESI E VALUTAZIONE – PARTE III, FASE DI PROPOSTA**

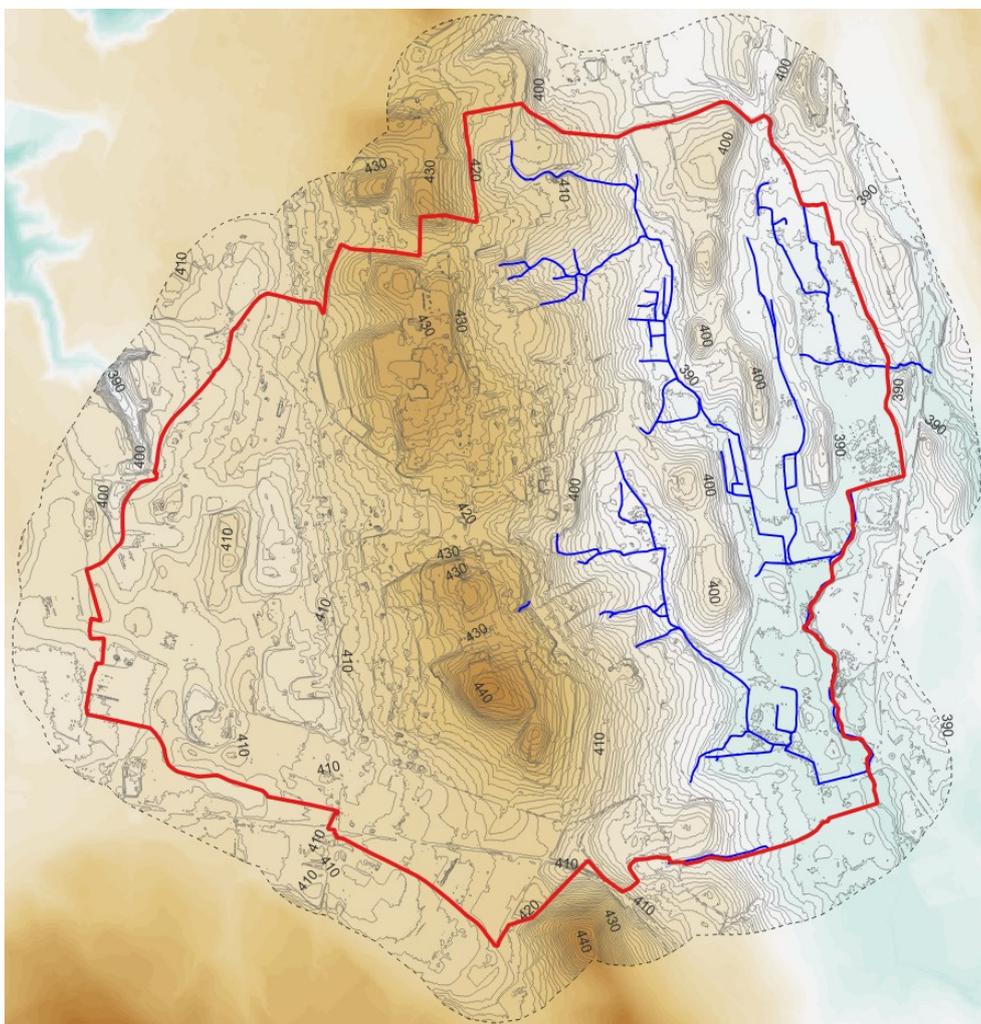
## 2 GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

### 2.1 Lineamenti geomorfologici

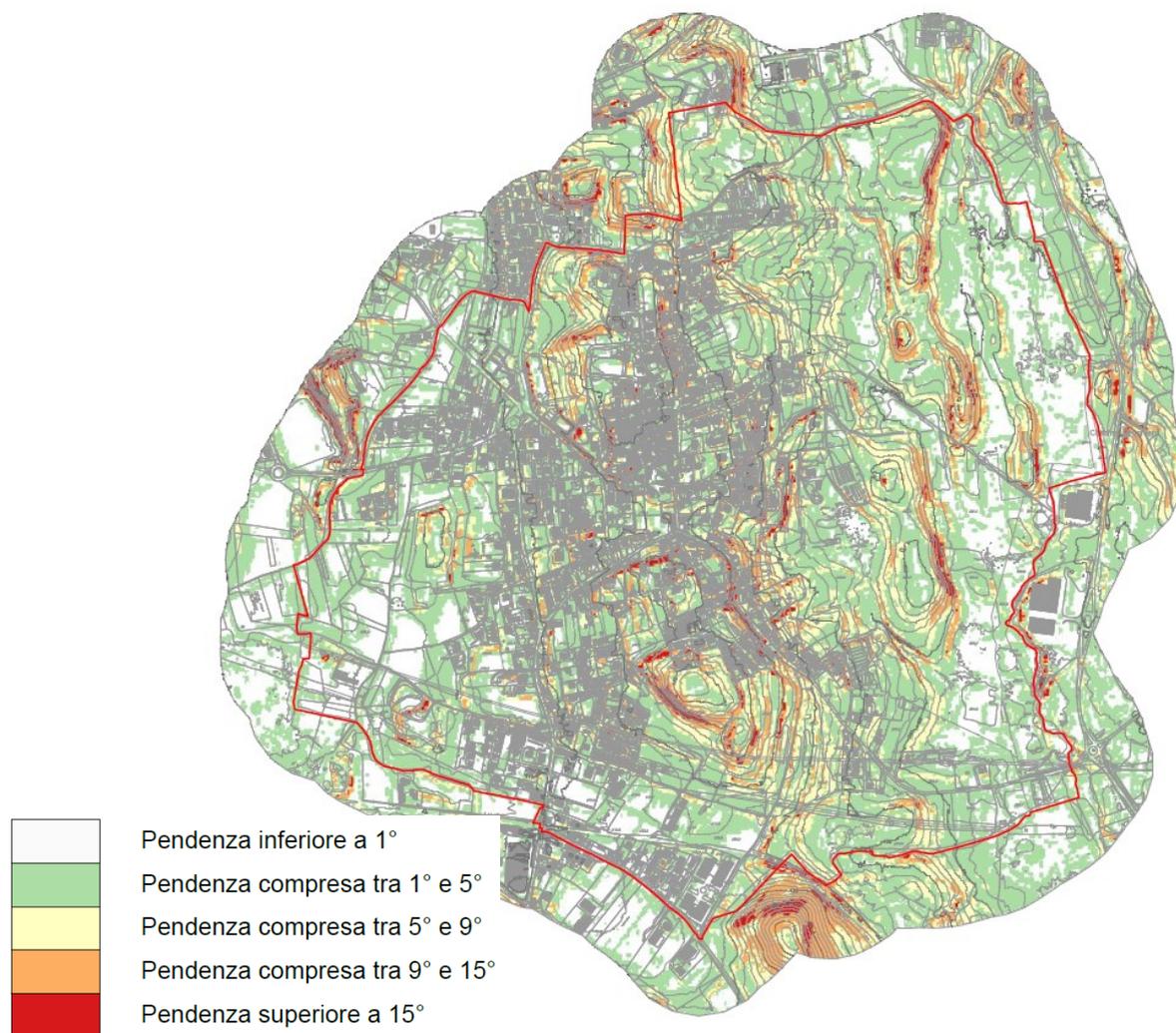
Il territorio del Comune di Albiolo è ubicato nel settore occidentale della Provincia di Como, nell'ambito collinare compreso tra il confine di stato a Nord e la Provincia di Varese ad Ovest. l'area è totalmente compresa nel quadrante A4e5 della Carta Tecnica Regionale.

Il territorio si posiziona in un contesto morfologico di raccordo tra i primi rilievi prealpini e la pianura lombarda, caratterizzato da una morfologia tipicamente glaciale con la presenza di cordoni morenici, terrazzi e piane fluvio-glaciali.

Tale morfologia conferisce all'area nella quale si è sviluppato l'abitato di Albiolo un aspetto variamente ondulato e con declivi relativamente dolci, con quote comprese tra circa 385 e 440 m s.l.m.



Le pendenze sono generalmente blande, inferiori ai 5° in corrispondenza delle piane fluvio-glaciali e retroglaciali, e comprese tra i 5° e i 20° circa nelle aree terrazzate.



**Carta delle pendenze**

All'interno del territorio comunale è possibile individuare diversi ambiti geomorfologici.

Piane fluvioglaciali: Lembi residui di piane fluvioglaciali costituenti superfici terrazzate sulla pianura, ben conservati e solo marginalmente in erosione, a morfologia subpianeggiante o dolcemente ondulata. La pendenza è generalmente nulla o bassa (pendenza media pari al 2%).

Sul territorio di Albiolo tale ambito interessa la porzione occidentale, compresa tra il centro abitato e il confine comunale con Solbiate con Cagno.

Cordoni morenici recenti: Rilievi morenici comprendenti cordoni, spesso a morfologia netta e variamente pendenti (range modale delle pendenze 12-25%; range estremo 1-50%), e superfici di raccordo alle piane fluvioglaciali o fluviolacustri costituite prevalentemente da depositi colluviali di piede versante (range modale delle pendenze 5-7%; range estremo 2-20%).

Ad Albiolo tale ambito costituisce la porzione centrale dove si è sviluppato il centro abitato.

Piane glaciali e retroglaciali: superfici pianeggianti (pendenza media inferiore al 5%) riconducibili ad ambienti deposizionali di tipo glaciolacustre, comprendenti: 1) aree poco o moderatamente idromorfe, situate tipicamente al margine esterno di zone più idromorfe, specchi lacustri o corsi d'acqua e aree fortemente idromorfe per falda superficiale (conche lacustri prosciugate e aree prive di drenaggio esterno naturale o marginali a corsi d'acqua), talora con depositi organici e vegetazione spontanea igrofila.

Sul territorio di Albiolo tale ambito interessa la porzione orientale, compresa tra il centro abitato e il confine comunale con Uggiate – Trevano e Faloppio.

## 2.2 Geologia di superficie

I lineamenti geologici di superficie del territorio comunale di Albiolo sono stati definiti dall'implementazione dei dati della precedente componente geologica, di quelle dei comuni circostanti, con quanto sviluppato nell'ambito del progetto CARG (Carta Geologica d'Italia) nei fogli 96 – Seregno e 75 – Como e con i dati litologici derivati dalle banche dati regionali e dalle stratigrafie dei pozzi per acqua presenti sul territorio e di altri sondaggi effettuati in zona.

Le litologie affioranti, rappresentate nell'elaborato cartografico **Tavola 1**, facenti parte della successione continentale quaternaria, si riferiscono ad un'unica unità sintemica, denominata **Supersintema di Besnate** (Pleistocene medio - Pleistocene sup.).

L'unità è costituita da depositi con profilo di alterazione poco evoluto, di spessore compreso tra 2.5 m e 4.5 m, e con colore della matrice 10YR tendente a 7.5YR (Munsell Soil Color Charts). L'alterazione, in genere, è limitata al 30% dei clasti con litotipi calcarei decarbonatati e litotipi cristallini parzialmente arenizzati.

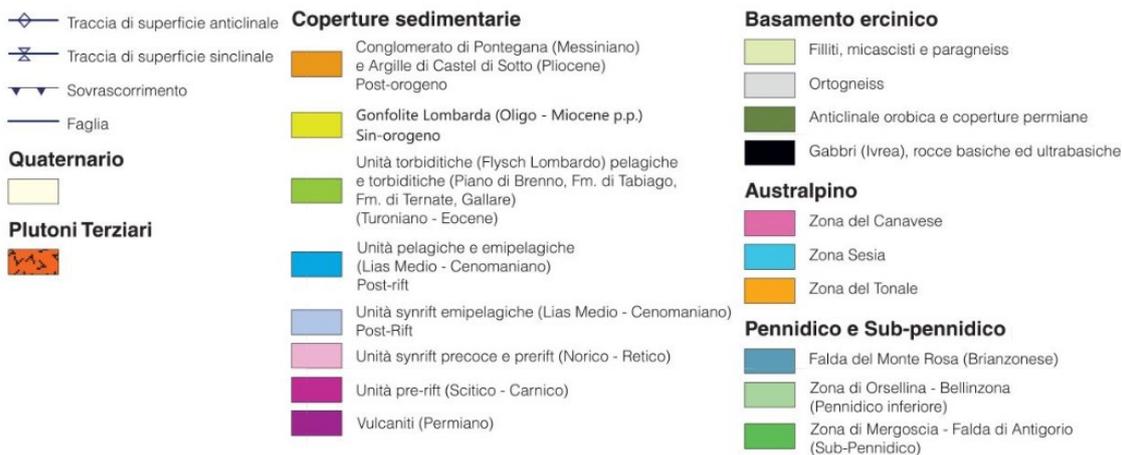
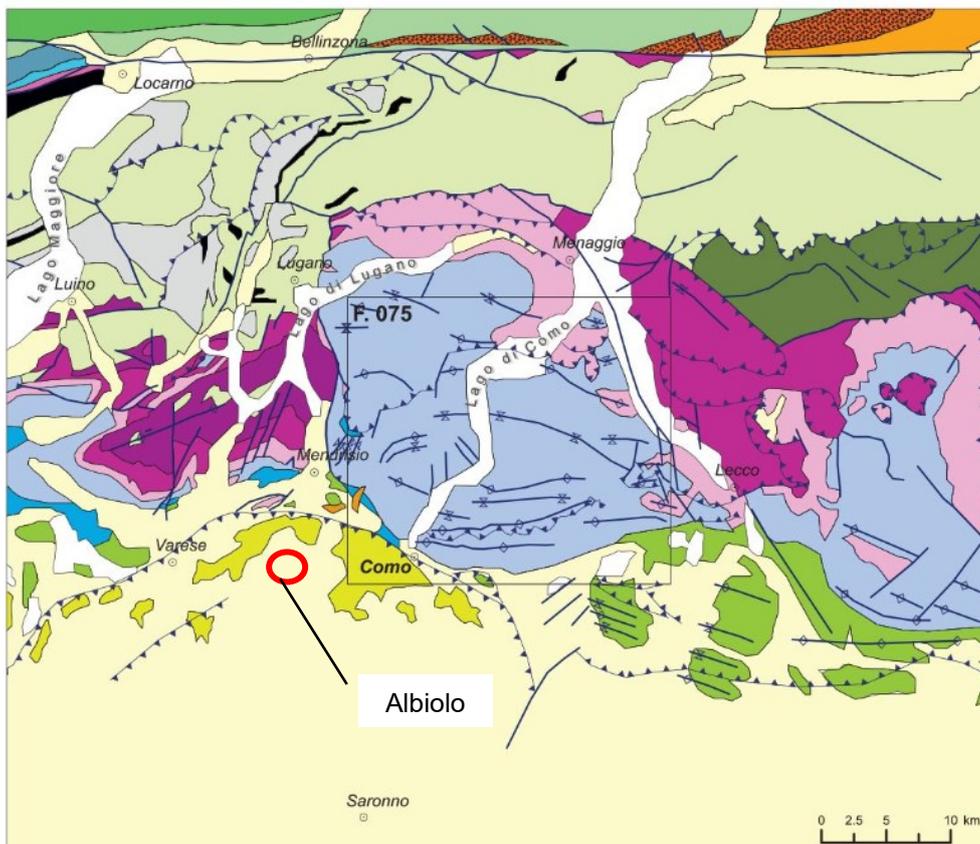
Sul territorio sono state individuate differenze di fascies deposizionale, così definite:

Depositi fluvioglaciali costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche con ciottoli a supporto di matrice limoso - argillosa. Copertura loessica limosa presente in superficie.

Depositi glaciali: diamicton massivi costituiti da ghiaie poligeniche, ciottoli e trovanti in matrice sabbioso - limoso – argillosa. Al piede dei versanti sono presenti depositi colluviali

Depositi glaciolacustri costituiti da sabbie e limi con ghiaia in matrice limoso - argillosa e sabbie e ghiaie con alternanze argilloso - limose e/o lenti torbose.

**SCHEMA DI INQUADRAMENTO REGIONALE**

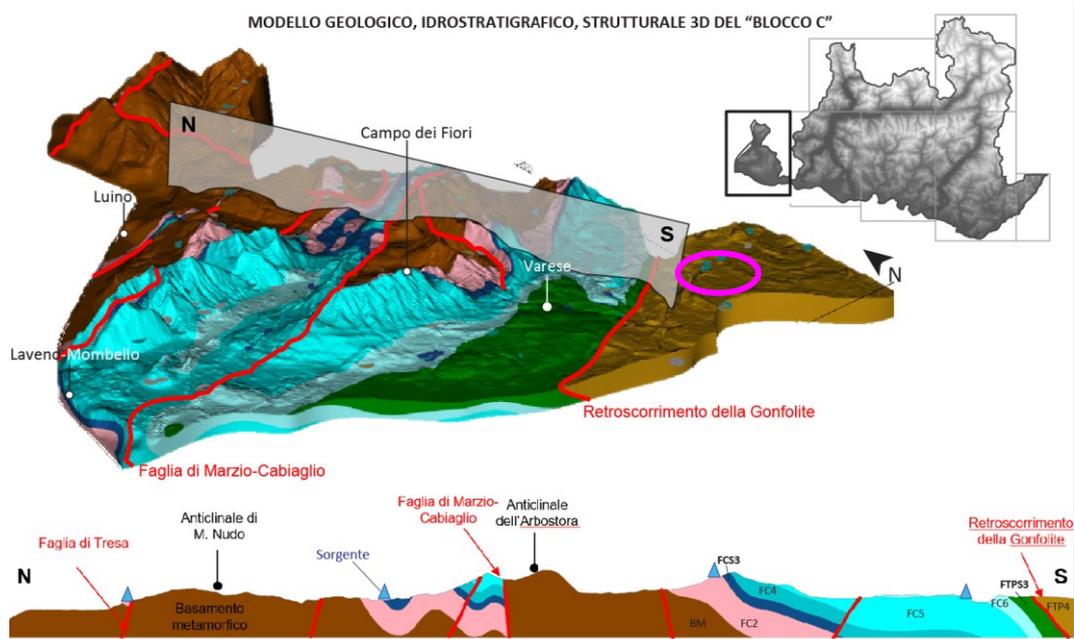
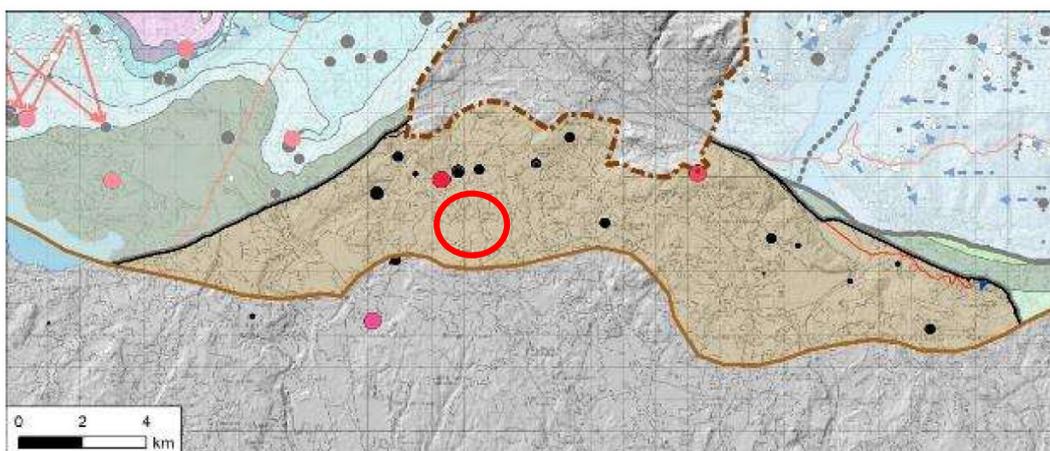


**Estratto del Foglio CARG n. 75 – Como**

### 3 IDROGEOLOGIA

#### 3.1 Struttura idrogeologica del sottosuolo e caratteri piezometrici

Dal punto di vista idrogeologico, il territorio comunale di Albiolo ricade nel gruppo idrostratigrafico denominato "Clastici della Gonfolite comasca" secondo la classificazione utilizzata nello studio "Caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei compresi nelle porzioni collinari e montane ai fini della tutela e gestione delle risorse idriche sotterranee"<sup>1</sup>.



Carta idrostratigrafica del Gruppo 8 ed Estratto del modello 3D del Blocco "C – Varesotto".

<sup>1</sup> Accordo di collaborazione fra Regione Lombardia e Università degli Studi di Milano-Dipartimento di Scienze della Terra – Settembre 2021

Il Gruppo comprende il sistema acquifero "FTP4", corrispondente al cuneo clastico della Gonfolite Lombarda, limitato alla base dalle Marne di Chiasso (acquitardo/acquicludo denominato "FTPS4").

I limiti del gruppo sono rappresentati dal retroscorrimento del cuneo clastico della Gonfolite sulla successione Mesozoica e dal limite del modello.

Per tale motivo non si escludono possibili scambi idrici sotterranei con le aree pedemontane a valle, appartenenti al gruppo degli acquiferi di pianura.

Localmente il territorio è suddivisibile in tre settori, analogamente alla struttura geologica riscontrata:

#### Settore occidentale – depositi fluvioglaciali

Corrisponde alla piana fluvioglaciale compresa tra il centro abitato e il confine comunale con Solbiate con Cagno, caratterizzata da successioni di depositi fluvioglaciali, che prosegue in direzione Sud – Ovest.

La mancanza di dati stratigrafici e piezometrici non consente di definire la tipologia e la profondità della falda, tuttavia, in base alle caratteristiche geologiche generali ed alla permeabilità dei litotipi, il sottosuolo dovrebbe essere caratterizzato da condizioni poco favorevoli per ospitare falde freatiche. presenza di falda, il livello statico dovrebbe essere attestato a considerevoli profondità.

#### Settore centrale – depositi glaciali

Corrisponde ai rilievi morenici su cui si è sviluppato l'abitato di Albiolo, con asse nord – Sud che costituisce spartiacque/limite di bacino idrografico.

I depositi morenici presenti nel sottosuolo sono caratterizzati da permeabilità piuttosto bassa e pertanto non presentano caratteristiche favorevoli alla formazione di falde acquifere consistenti con deflusso definito.

Non si esclude tuttavia la presenza di falde sospese, anche a carattere temporaneo, che possono dar luogo a emergenze idriche in corrispondenza dei versanti di raccordo con le aree morfologicamente ribassate.

#### Settore orientale – depositi glaciolacustri

Corrisponde alle superfici subpianeggianti delle piane glaciali e retroglaciali presenti verso il confine comunale con Faloppio, riconducibili ad ambienti deposizionali di tipo glaciolacustre.

Solo in tale settore è stata accertata la presenza di una circolazione idrica sotterranea "attiva". Sono state riconosciute due falde:

- una più superficiale arealmente discontinua, contenuta entro i primi 5 – 6 m di profondità e sostenuta da lenti in materiale fine. In concomitanza il livello piezometrico tende a risalire e ad intersecare la superficie topografica, creando aree paludose;

- una più profonda, dalla quale attinge il pozzo comunale, il cui livello statico è da prevedersi a profondità di almeno 20 m da p.c., sulla base dei dati esistenti.

Non è possibile stabilire con certezza se esiste interscambio tra le due falde.

La mancanza di dati piezometrici sia sul territorio comunale che nell'intorno non consente di ricostruire la morfologia della superficie piezometrica della falda superiore.

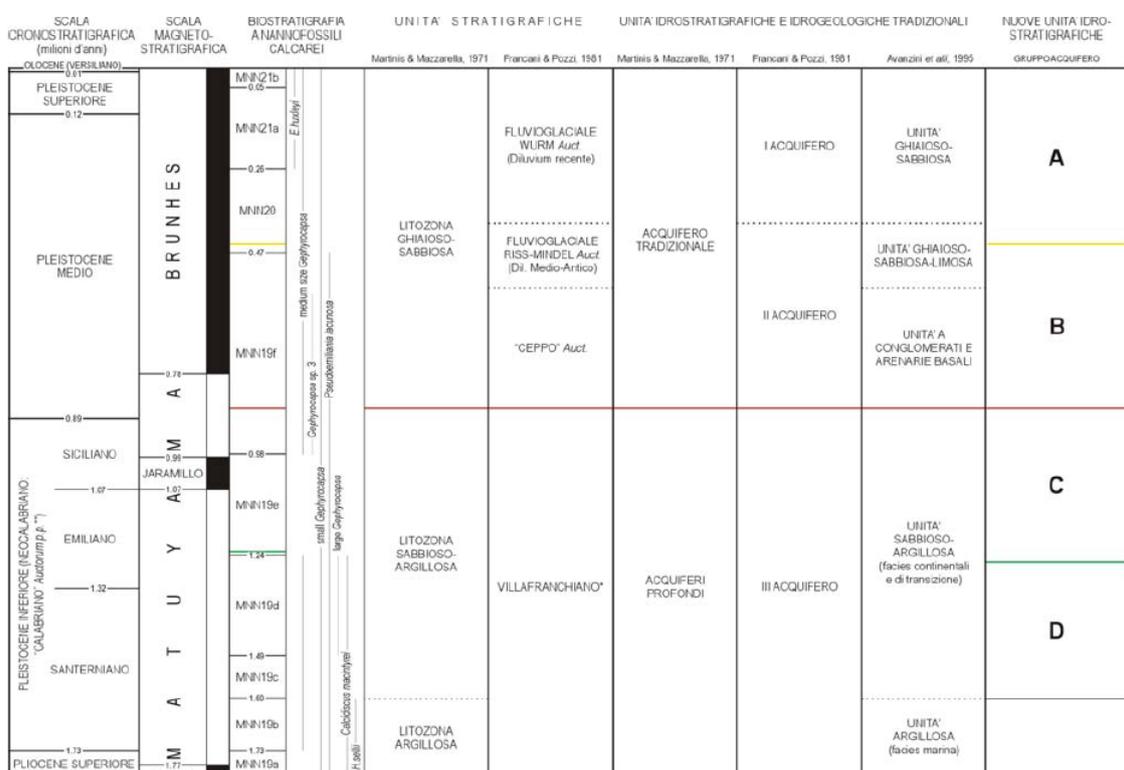
Pertanto in **Tav. 2** è stato riportato esclusivamente la direzione del flusso principale.

Il pozzo comunale, ubicato nell'estremo settore settentrionale del territorio comunale, in base alla stratigrafia riportata in **All. 1**, attinge alla falda più profonda.

L'acquifero principale è riconoscibile fino a circa 90 m di profondità ed è costituito da alternanze di livelli ghiaioso — sabbioso — ciottolosi e livelli conglomeratici, corrispondenti ai gruppi acquiferi A e B ("acquifero tradizionale") definiti nell'ambito dello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" (vedi figura seguente).

La presenza di locali alternanze di depositi argillosi e cementati non esclude la presenza di più falde sovrapposte in parte semiconfinata ed in parte intercomunicanti.

Oltre i 90 m di profondità è presente un potente banco di argilla e sabbie fossilifere (argille plioceniche).



Schema dei rapporti stratigrafici definito nell'ambito dello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia".

### 3.2 Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento

La vulnerabilità intrinseca è una caratteristica idrogeologica areale che descrive la facilità con cui un inquinante generico, idroveicolato, sversato sul suolo o nel primo sottosuolo, raggiunge la falda libera e la contamina; essa viene definita principalmente in base alle caratteristiche ed allo spessore dei terreni attraversati dalle acque di infiltrazione, prima di raggiungere la falda acquifera libera, nonché dalle caratteristiche della zona satura.

La vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, unitamente alla distribuzione dei potenziali centri di pericolo e dei soggetti ricettori dell'inquinamento, concorrono alla definizione della vulnerabilità integrata (elaborato **Tavola 2**), in funzione dei seguenti fattori:

- caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi;
- soggiacenza della falda libera;
- spessore e continuità areale delle sequenze fini sommitali;
- presenza di centri di pericolo (cave in attività o cessate che raggiungono la superficie piezometrica, aree soggette a problematiche ambientali, distributori di carburante o strade di grande traffico);
- presenza di corsi d'acqua sospesi rispetto alla piezometrica media della falda e quindi direttamente alimentanti la falda stessa.

A partire dalle unità geologiche riconosciute sul territorio, sono state distinte diverse aree omogenee a diverso grado di vulnerabilità dell'acquifero. Per le stesse è stato indicato anche un grado di permeabilità rappresentativo dei terreni superficiali affioranti sulla base della litologia prevalente.

#### Depositi fluvioglaciali

Litologia:	sabbie e ghiaie poligeniche con ciottoli a supporto di matrice limoso - argillosa. Copertura loessica limosa presente in superficie
Grado di permeabilità:	medio
Grado di vulnerabilità:	medio – basso

#### Depositi glaciali

Litologia:	ghiaie poligeniche, ciottoli e trovanti in matrice sabbioso - limoso - argillosa e depositi colluviali al piede dei versanti
Grado di permeabilità:	medio – basso
Grado di vulnerabilità:	medio – basso

#### Depositi glaciolacustri

Litologia:	sabbie e limi con ghiaia in matrice limoso - argillosa e sabbie e ghiaie con alternanze argilloso - limose e/o lenti torbose. Presenza della falda a debole profondità e occasionalmente affiorante
Grado di permeabilità:	medio – basso
Grado di vulnerabilità:	variabile da medio ad elevato

### 3.3 Qualità delle acque sotterranee

La valutazione delle caratteristiche idrochimiche delle acque di falda è basata sui risultati delle analisi chimico – fisiche effettuate sul pozzo del Comune di Albiolo da– ComoAcqua e pubblicate sul proprio sito.

La facies idrochimica delle falde captate dai pozzi del pubblico acquedotto è sinteticamente illustrata nella sottostante tabella, in cui sono riportati i valori dei principali parametri chimico - fisici ricavati dalle analisi riferite al 2022.

Cond. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	322	Fluoruri (mg/l)	<0,2
Durezza ( $^{\circ}\text{F}$ )	19	Manganese ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	<5
Residuo fisso a 180° (mg/l)	232	Arsenico ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	<1
pH	7,9	Cromo ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	
Solfati (mg/l)	12	Potassio (mg/l)	1
Cloruri (mg/l)	8	Calcio (mg/l)	60
Ammoniaca (mg/l)	0,1	Magnesio (mg/l)	9
Nitrati (mg/l)	14	Sodio (mg/l)	4
Nitriti (mg/l)	<0,02	Bicarbonato (mg/l)	220

#### 3.3.1 CLASSIFICAZIONE IDROCHIMICA DELLE ACQUE CAPTATE

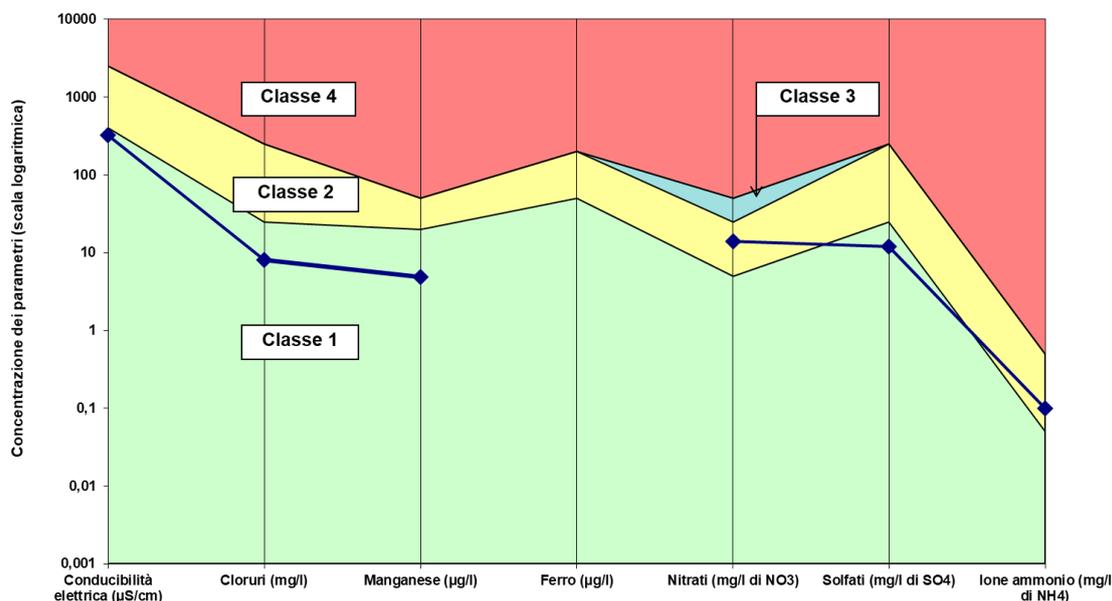
La classificazione dello stato idrochimico delle acque sotterranee è stata operata riconducendosi a quella proposta dalla precedente normativa (D. Lgs. 152/99), in analogia a quanto presente nel Programma di Uso e Tutela delle Acque della Regione Lombardia.

Vengono quindi individuate quattro classi che esprimono una stima dell'impatto antropico sulle acque sotterranee e ne definiscono le caratteristiche idrochimiche, valutate considerando le concentrazioni di 7 parametri di base o "macrodescrittori" (conducibilità, cloruri, solfati, nitrati, ferro, manganese, ammoniaca); le classi vengono descritte come:

<b>Classe 1:</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile, con pregiate caratteristiche idrochimiche
<b>Classe 2:</b>	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo, con buone caratteristiche idrochimiche
<b>Classe 3:</b>	Impatto antropico significativo, con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione
<b>Classe 4:</b>	Impatto antropico rilevante, con caratteristiche idrochimiche scadenti

Come illustrato nel grafico seguente, lo stato chimico delle acque captate dal pozzo pubblico di Albiolorientra in classe 2 principalmente per il parametro "nitrati", con un giudizio quindi buono sulle caratteristiche idrochimiche degli acquiferi captati.

Decreto Legislativo 152/99 - Tab. 20 CLASSIFICAZIONE CHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE  
Comune di Albiolo - concentrazioni medie annue - 2022



### 3.4 Individuazione delle zone di rispetto delle opere di captazione

Il comune di Albiolo dispone di un'unica opera di captazione per l'approvvigionamento idrico del proprio acquedotto comunale, situato nel settore nord orientale del comune, in corrispondenza del confine comunale con Uggiate – Trevano.

I dati completi del pozzo sono riportati nella scheda per il censimento delle opere di captazione dell'**AII. 1**.

La Zona di Rispetto della captazione è attualmente definita con criterio geometrico, cioè coincidente con una superficie di raggio pari a 200 m dall'asse del pozzo.

Il quadro normativo da applicare all'interno di tali aree è riferibile al D.Lgs. 152/06 modificato dal D.Lgs. 4/08 ed integrato dalla D.G.R. 7/12693/03, che definiscono le attività compatibili nelle aree di salvaguardia delle opere di captazione di acque destinate al consumo umano (cfr. **Cap. Quadro dei vincoli normativi** nelle Norme Geologiche di Piano).

La Zona di rispetto del pozzo è individuata in **Tavola 2**, dove sono stati riportati gli elementi idrogeologici e ambientali che caratterizzano l'intorno del pozzo, e con maggior dettaglio in **Tavola 9**.

## 4 IDROGRAFIA

### 4.1 Assetto idrografico

Il territorio comunale di Albiolo è interessato da una rete idrografica di importanza locale, concentrata esclusivamente nel settore orientale del territorio comunale, posto ad una quota altimetricamente inferiore rispetto al centro abitato, in una zona naturale perlopiù boscata e poco o nulla urbanizzata.

I corsi d'acqua presenti sul territorio sono compresi nel bacino idrografico del Torrente Lura, che scorre circa 500 m a Est dal confine con Faloppio.

Il corso d'acqua principale di Albiolo è il **Torrente Lura di Albiolo**, che si origina in territorio di Uggiate Trevano, interessa un certo tratto del territorio di Albiolo, per poi entrare in territorio comunale di Faloppio e confluire infine nel Torrente Lura.

I restanti corsi d'acqua individuati, tutti affluenti nel T. Lura di Albiolo, si originano al margine dei rilievi morenici o in corrispondenza di zone ribassate umide/paludose.

Il reticolo ha uno sviluppo generale condizionato dall'allineamento Nord – Sud dei cordoni morenici, modificato dall'azione antropica, dove la geometria dei corsi d'acqua risulta molto regolare.

La larghezza media degli alvei è dell'ordine di 1 – 2 m e l'altezza delle scarpate delimitanti l'alveo è sempre inferiore al metro. Non si riconoscono tratti di alveo incassati e con evidenti fenomeni di erosione lineare o laterale. Non si evidenziano particolari fenomeni di erosione spondale. Non sono presenti tratti intubati tranne che in corrispondenza degli attraversamenti stradali.

Il regime idraulico generale è di tipo torrentizio, perenne ma con portate generalmente modeste, anche in corrispondenza di eventi pluviometrici significativi, ad eccezione del T. Lura di Albiolo: ciò dipende dalla modesta estensione areale dei bacini afferenti, caratterizzati da pendenze non eccessive, e dall'elevata copertura vegetale.

Considerando pertanto le caratteristiche generali della rete idrografica e del bacino afferente, le criticità maggiori attese sono quelle legate al sovralluvionamento delle zone pianeggianti in prossimità di ponti o sezioni di tombinatura.

Nell'allegato cartografico **Tavola 5**, sono state riportate alcune aree individuate come vulnerabili dal punto di vista idraulico:

- Aree segnalate come soggette a fenomeni di allagamento urbano in occasione degli eventi meteorologici estremi
- Aree morfologicamente ribassate, indicate come soggette a ristagno con ridotta altezza massima dell'acqua
- Aree morfologicamente ribassate, indicate come soggette a ristagno con elevata altezza massima dell'acqua

- Aree individuate su base morfologica, interessabili da allagamenti localizzati in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati, dovuti alla somma degli effetti di possibili tracimazioni dei corsi d'acqua costituenti il reticolo minore, con l'emergenza della falda idrica presente a debole profondità e la tendenza al ristagno delle acque meteoriche

## **4.2 Analisi del rischio idraulico**

Nei paragrafi successivi verrà descritta la modellazione idraulica effettuata per il territorio di Albiolo in corrispondenza del reticolo idrografico, con lo scopo di determinare le aree di pericolosità idraulica, definite da una combinazione di battente e velocità di flusso, per la ridefinizione dei limiti delle aree a rischio esondazione/allagamento.

### **4.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO**

La definizione delle aree di pericolosità idraulica è stata ottenuta implementando un modello idrologico-idraulico bidimensionale che permettesse di indagare le dinamiche di deflusso nella porzione più valliva dell'impluvio che si delinea sulla porzione Est di Albiolo in direzione di Gaggino e fino al limite morfologico dettato dalla presenza del sedime della S.P. 23 ad est e da Via per Gaggino a sud. L'obiettivo è stato quello di ricostruire il comportamento del territorio rispetto alle sollecitazioni indotte dalle portate transitanti sul reticolo idrografico ivi presente sulla base degli eventi meteorici di riferimento.

La modellazione idraulica è stata implementata mediante il programma di calcolo IBER, software open source sviluppato dall'Università Spagnola di Coruña; esso permette di analizzare il campo di moto a partire dal DTM (Digital Terrain Model), rappresentativo della geometria del dominio di calcolo, basandosi sulla risoluzione di tre equazioni non lineari alle differenze finite per la determinazione del campo di moto della corrente su di un piano bidimensionale (x-y).

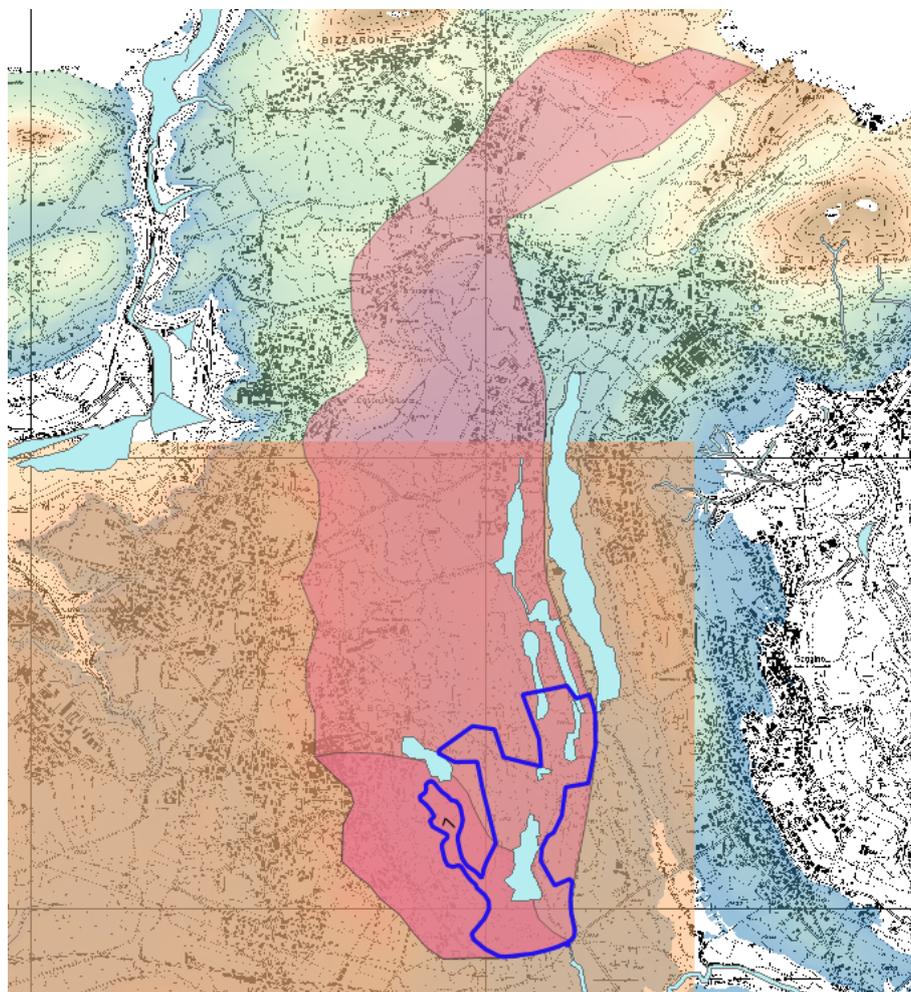
#### **4.2.1.1 BASE TOPOGRAFICA DEL MODELLO BIDIMENSIONALE: DTM 1x1 E MODIFICHE INSERITE**

Per la modellazione bidimensionale è stato utilizzato il Modello Digitale del Terreno (DTM) Lidar con risoluzione della maglia 1x1 m messo a disposizione da Regione Lombardia su specifica richiesta del Comune; il DTM ricopre infatti tutta la superficie territoriale del Comune di Albiolo.

Per le zone del bacino idrografico esterne ai confini comunali, esterne alla copertura Lidar, si è utilizzato un DTM con maglia 5x5 della Provincia di Como. Quest'ultimo DTM è stato utilizzato unitamente alla cartografia CTR per una più accurata delimitazione del bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura oggetto di indagine, mentre il dominio di calcolo del modello bidimensionale è stato implementato esclusivamente su base Lidar e con riferimento alla porzione terminale del bacino idrografico.

Il LIDAR è stato utilizzato come base per la definizione della geometria del dominio di modellazione bidimensionale. In particolare la ricostruzione della geometria caratteristica del terreno è stata effettuata creando una magliatura uniforme corrispondente ad una cella di dimensioni 2x2 m.

Se la condizione al contorno di monte è stata scelta imponendo l'ingresso di un'idrogramma rappresentativo dell'onda di piena derivante dalle analisi idrologiche di bacino, la condizione al contorno di valle, dettata dalla tombinatura presente poco prima della rotonda tra via per Albiolo e la S.P. 23, è stata impostata secondo una scala delle portate in moto uniforme sulla base della pendenza locale del reticolo e della geometria della luce del manufatto idraulico.

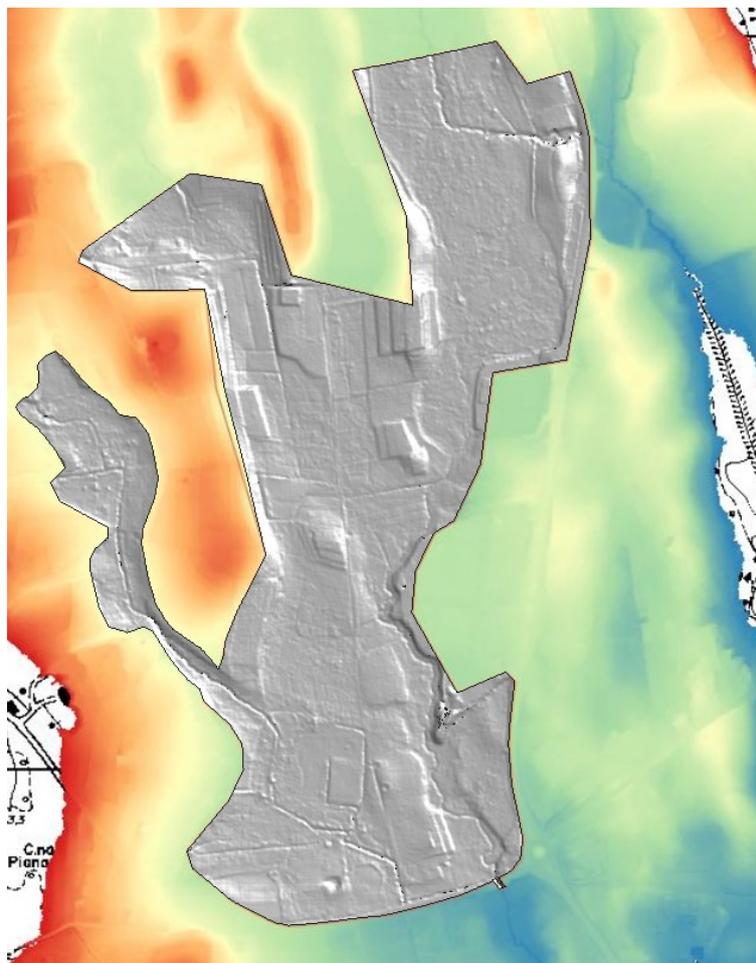


**Sovrapposizione tra LIDAR, DTM 5x5, CTR, per la delimitazione dei bacini idrografici. In blu si evidenzia l'estensione del dominio di calcolo**

#### 4.2.1.2 MODELLAZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO: CARATTERISTICHE DEL MODELLO IMPLEMENTATO

La modellazione delle dinamiche di deflusso è stata condotta attraverso l'implementazione di un modello idraulico bidimensionale esteso alla porzione di bacino delimitata dalla linea di demarcazione blu riportata nella figura precedente. La definizione del dominio di calcolo è stata condotta avendo come supporto il Lidar 1x1 e seguendo una traccia dell'altimetria che certamente non sarebbe stata raggiunta dai livelli di piena probabili; la conformazione così articolata del dominio di calcolo trova quindi giustificazione in quanto detto sopra.

Ne deriva un modello di calcolo con una maglia uniforme di dimensioni 2x2 m per un totale di circa 258.700 elementi. La scelta di adottare una maglia di dimensioni così ridotte deriva dalla volontà di non perdere preziose informazioni topografiche all'interno di un contesto caratterizzato da deboli variazioni altimetriche e che si accentuano solo in prossimità dei limiti laterali del dominio di calcolo, laddove hanno inizio i rilievi o limiti topografici maggiormente definiti (piano strada).



Maglia del dominio di calcolo interpolata sul lidar

#### 4.2.2 ANALISI IDROLOGICA

##### 4.2.2.1 DEFINIZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

L'analisi idrologica sul bacino in esame per definire la sollecitazione idrologica da applicare al modello idraulico è stata condotta a partire dalla definizione dei parametri "a" e "n" delle curve di possibilità pluviometrica, per le quali si è fatto riferimento ai dati ufficiali di ARPA Lombardia.

Come risultato dell'analisi idrologica svolta sono stati definiti gli ietogrammi di pioggia poi utilizzati nella modellazione idrologico-idraulica implementata per lo studio del bacino in esame.

In particolare, i valori ricavati dal portale di ARPA Lombardia per l'area in esame sono riassunti nella seguente tabella.

A1 – Coefficiente pluviometrico orario	32.27
N – Coefficiente di scala	0.3456
GEV – parametro $\alpha$	0.2814
GEV – parametro $\kappa$	-0.0116
GEV – parametro $\varepsilon$	0.8342

Quindi, utilizzando la formulazione

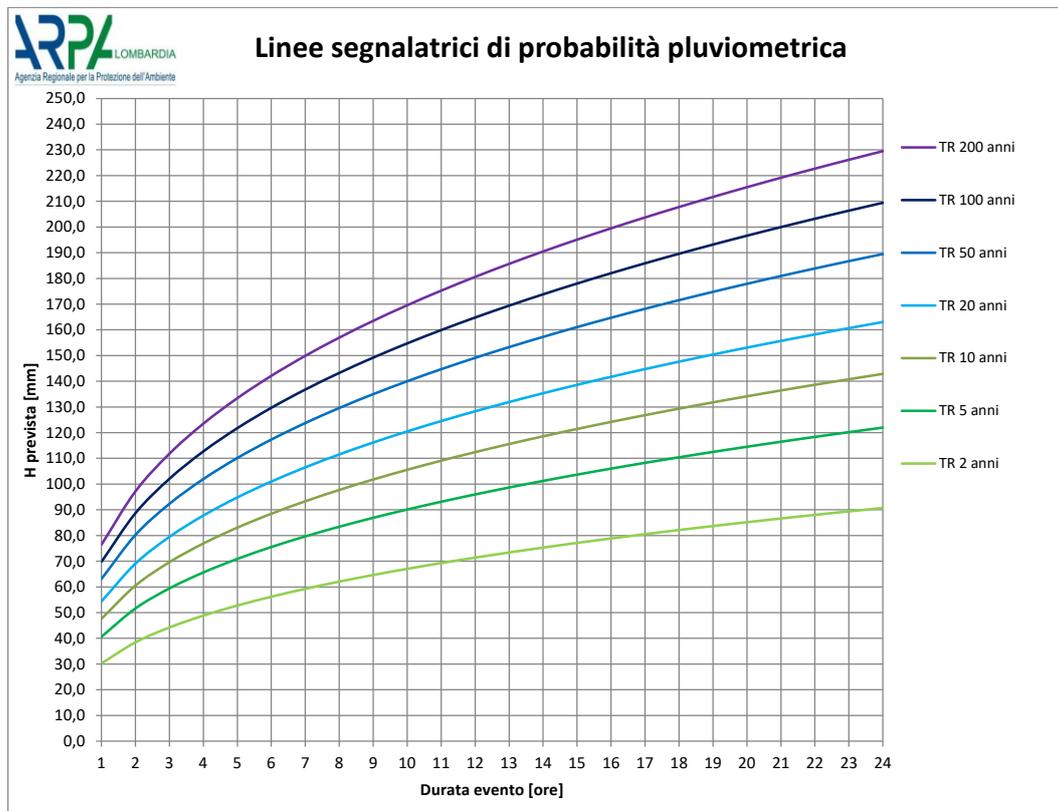
$$h_T(D) = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

Dove  $w_T$  è dato dalla seguente espressione:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^{\kappa} \right\}$$

Nella tabella seguente si riportano i parametri medi delle curve di possibilità pluviometrica (CPP), ricavati dai dati forniti da ARPA Lombardia, mentre nella successiva figura sono riportate le curve di possibilità pluviometrica (CPP) calcolate.

Tempo di ritorno	a	n
10 anni	47.6	0.345
50 anni	63.2	0.345
100 anni	69.8	0.345



Curve di possibilità pluviometrica

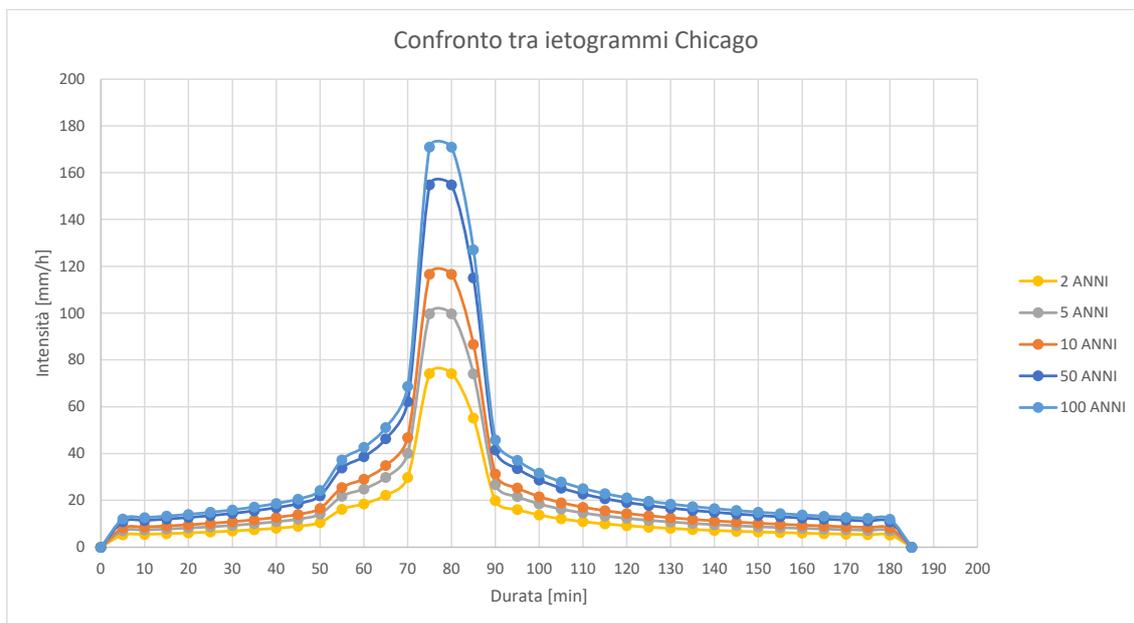
#### 4.2.2.2 DEFINIZIONE DELLE PIOGGE

Per la rappresentazione delle piogge sintetiche si è adottato lo ietogramma di tipo Chicago che, presentando andamenti temporali non costanti, consente una migliore rappresentazione del fenomeno meteorico intenso, normalmente caratterizzato dalla presenza di picchi di intensità di pioggia.

La principale caratteristica di questo ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta dallo ietogramma stesso è congruente con quella definita dalla curva di possibilità climatica. Esso presenta il vantaggio di essere poco sensibile alla variazione della durata di base, in quanto, per durate progressivamente maggiori, la parte centrale dello ietogramma rimane la stessa mentre si aggiungono delle code all'inizio e alla fine dell'evento.

Pertanto imponendo che la durata della pioggia sia maggiore del tempo di corrivazione del bacino, si ottiene, proprio per la caratteristica suddetta, che lo "scroscio" critico è certamente contenuto nella pioggia di progetto.

Nel caso in oggetto, le piogge hanno la durata pari a 3 ore. La posizione del picco è stata presa pari a 0.4.



#### Ietogrammi Chicago lordo di vario tempo di ritorno

Gli idrogrammi sopra riportati sono stati utilizzati come input per il modello della rete fognaria mentre la definizione degli idrogrammi di piena del modello bidimensionale è stata condotta sulla base di idrogrammi riferiti ad un evento di ritorno centennale che si generano sul bacino naturale sotteso alla sezione di chiusura in corrispondenza del sottopasso di Via per Albiolo prossimo alla rotatoria con la S.P. 23.

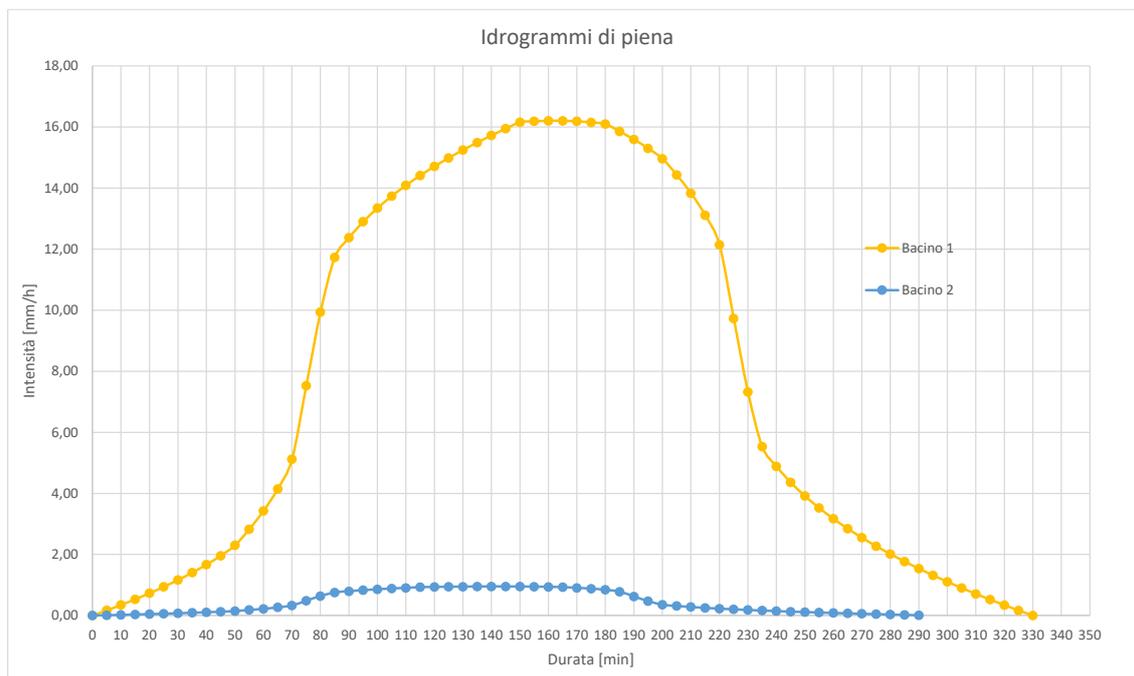
L'analisi morfologica del bacino idrografico più esteso evidenzia una superficie di 373,7 ha, con una lunghezza dell'asta principale stimata in 4.800 m; il dislivello altimetrico tra il punto di maggiore quota (500 m s.l.m.) e la sezione di chiusura (382 m s.l.m.) è pari a 118 m, determinando in questo modo una pendenza media del percorso principale di drenaggio pari a 2,45%.

L'applicazione della formula di Giandotti evidenzia un tempo di corrivazione prossimo a 2,5 ore corrispondenti a circa 180 minuti.

Analoghe valutazioni sono state condotte sul bacino di minore estensione che costituisce una piccola appendice laterale in ingresso al modello idraulico. Per esso la lunghezza del sistema di drenaggio è stata stimata in 1.700 m con un dislivello di circa 48 m. L'applicazione della formula di Giandotti conduce ad un tempo di corrivazione prossimo a 120 minuti.

Sulla base dei dati morfologici sopra riportati, si è proceduto alla generazione dei due idrogrammi sintetici, riportati in figura, e che costituiscono l'input del modello idraulico bidimensionale in corrispondenza delle sezioni di monte del reticolo idrografico; per entrambi è stato assunto un coefficiente di afflusso medio pari a  $\Phi=0,45$ .

Il bacino di maggiore estensione genera un idrogramma centennale che raggiunge una portata di massima piena di poco superiore a 16 mc/s, mentre quello di dimensioni inferiori genera un idrogramma prossimo a circa 1,0 mc/s.



**Idrogrammi di piena generati sui bacini naturali utilizzati come input del modello bidimensionale.**

#### 4.2.3 SIMULAZIONI E RISULTATI

##### 4.2.3.1 *SCENARIO SIMULATO, CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DI CALCOLO*

Per la mappatura delle aree di pericolosità idraulica, è stato simulato un unico scenario considerando un evento di piena e meteorico centennale.

Per poter effettuare qualsiasi simulazione idraulica (condotta con modelli mono o bidimensionali o anche per verifiche puntuali), è indispensabile definire le condizioni al contorno del modello numerico utilizzato e i parametri di calcolo di riferimento delle condizioni fisiche del sistema. In particolare sono state definiti:

- la resistenza idraulica delle superfici interessate dal deflusso, mediante i valori di scabrezza;
- gli eventuali idrogrammi in ingresso al sistema generato dai bacini di monte o in punti particolari del bacino.

La risposta idraulica delle aree interessate a qualunque sollecitazione di deflusso è determinata dalla natura dei vari terreni e dal diverso tipo di copertura degli stessi o dalla presenza di ostacoli. Alla diversa natura delle coperture dei terreni sono associabili le superfici caratteristiche di scabrezza idraulica, determinanti ai fini della simulazione del fenomeno.

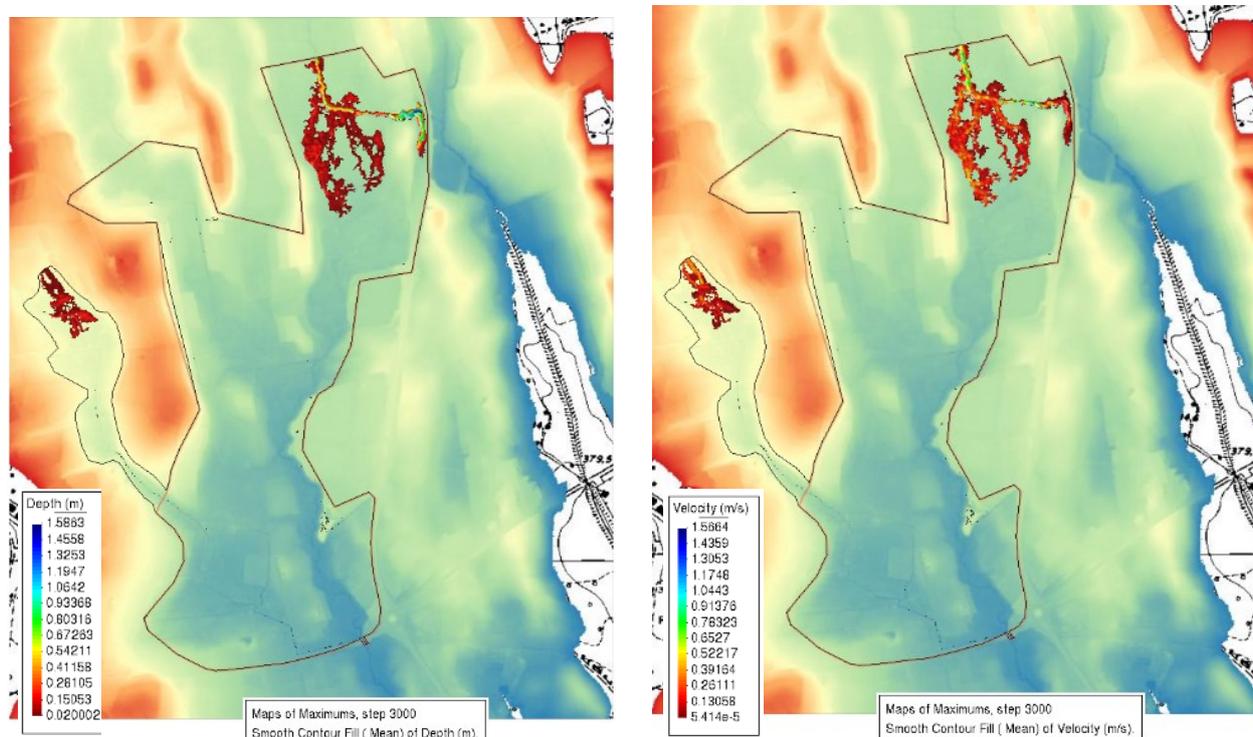
Per quanto riguarda invece le condizioni al contorno di monte e valle, il primo caso è rappresentato dagli idrogrammi di piena in ingresso al modello, mentre come condizione al contorno di uscita dal dominio di magliatura si è imposta la condizione di scala delle portate tarata sulle dimensioni del manufatto che sottopassa via Albiolo e la pendenza locale dell'alveo stimata in un ragionevole intorno tra monte e valle della tombinatura.

#### 4.2.3.2 RISULTATI

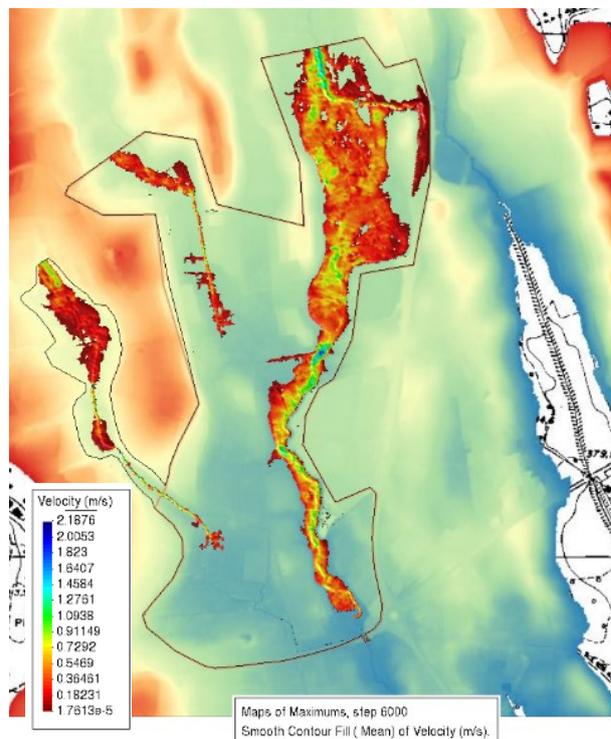
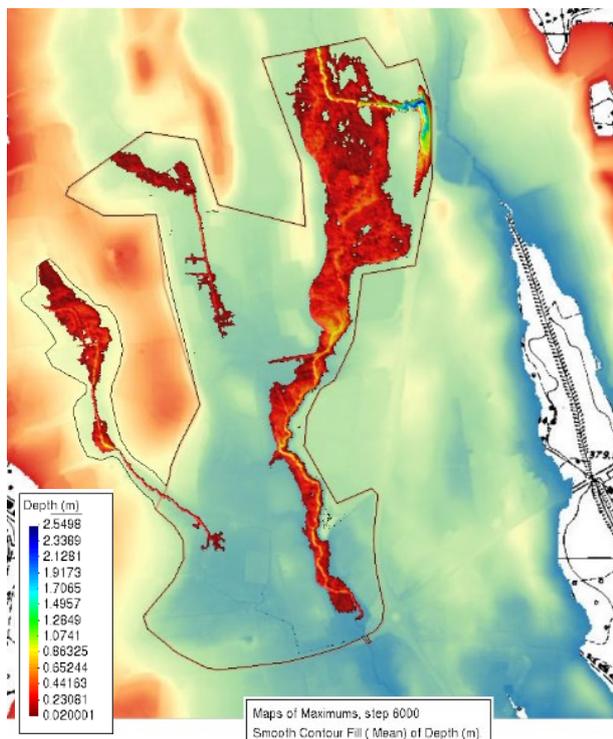
Si riportano nel seguito i risultati della modellazione bidimensionale effettuata con riferimento ad un tempo di ritorno centennale. In particolare si esplicitano i risultati del modello idraulico a differenti step di calcolo in modo da permettere la comprensione dell'evoluzione in termini di tiranti idrici e di velocità della corrente.

Nelle figure seguenti sono, quindi, rappresentati separatamente le altezze e le velocità dell'acqua, per i seguenti step temporali:

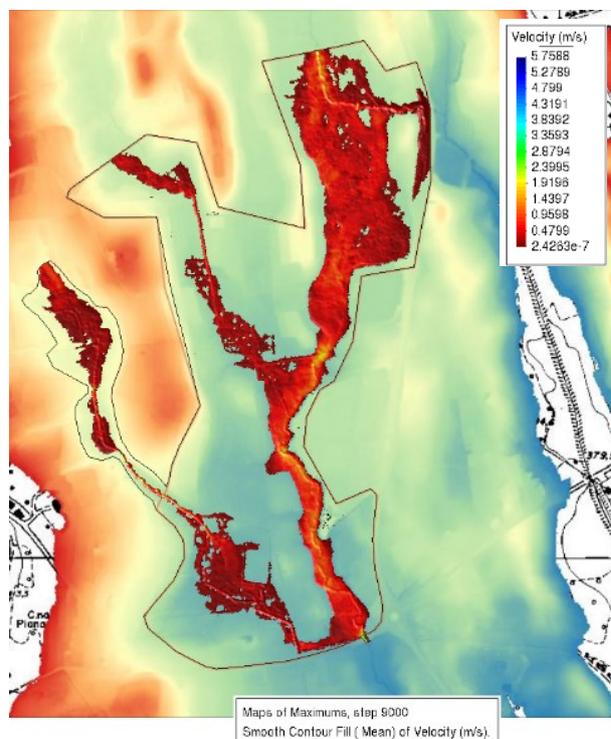
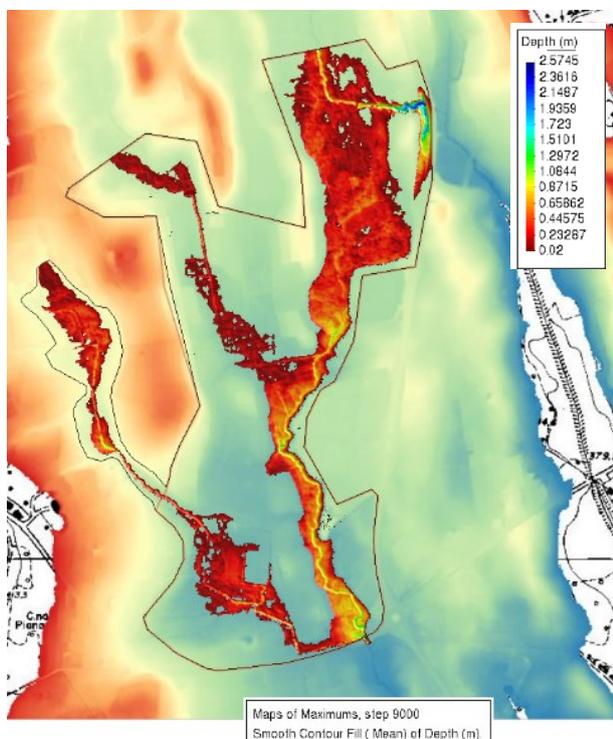
1. 3.000 s (50 min)
2. 6.000 s (1h 40 min)
3. 9.000 s (2h 30 min)
4. 12.000 s (3h 20 min)
5. 19.800 s (5h 30 min)



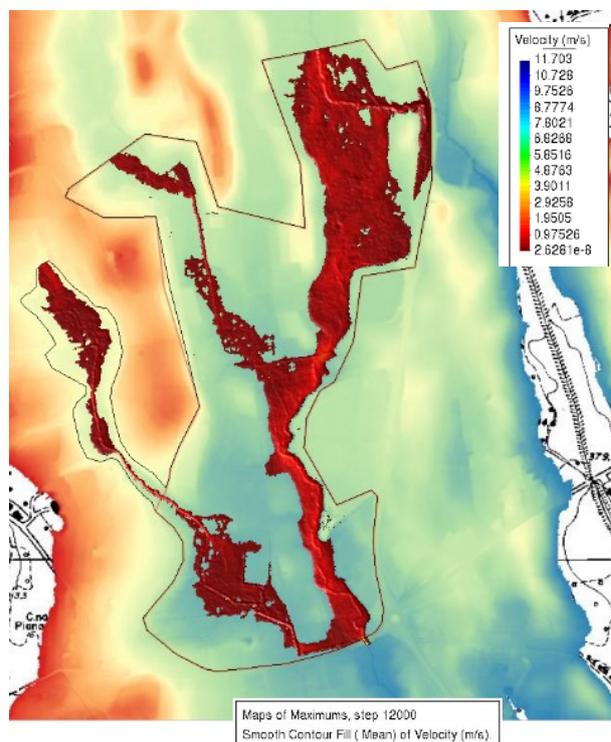
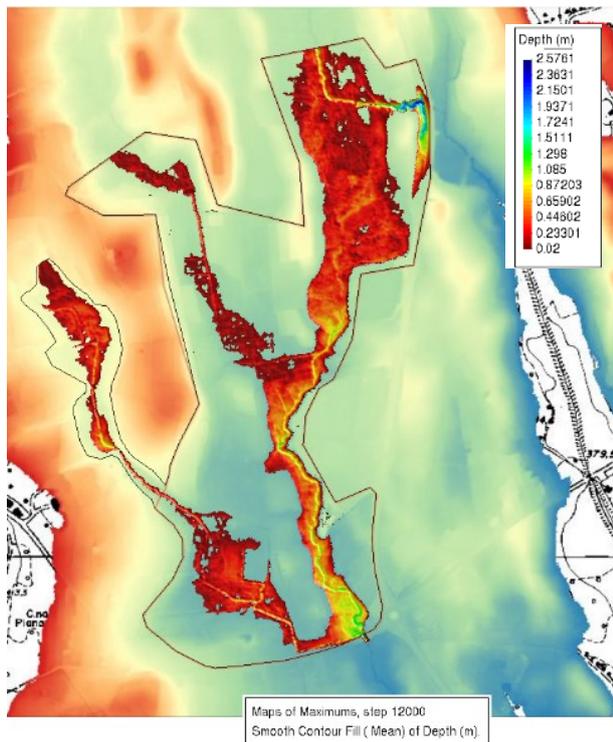
Risultati in termine di allagamenti (a sinistra) e velocità (a destra) – “time step” 3.000 s



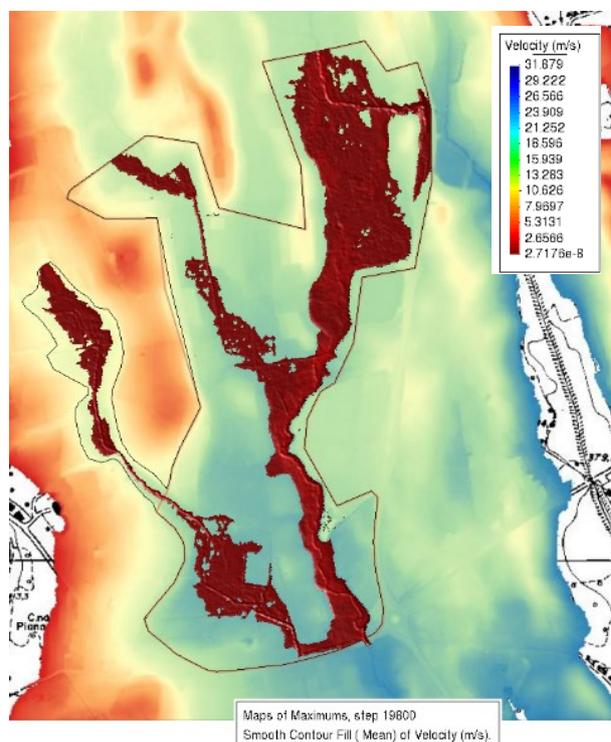
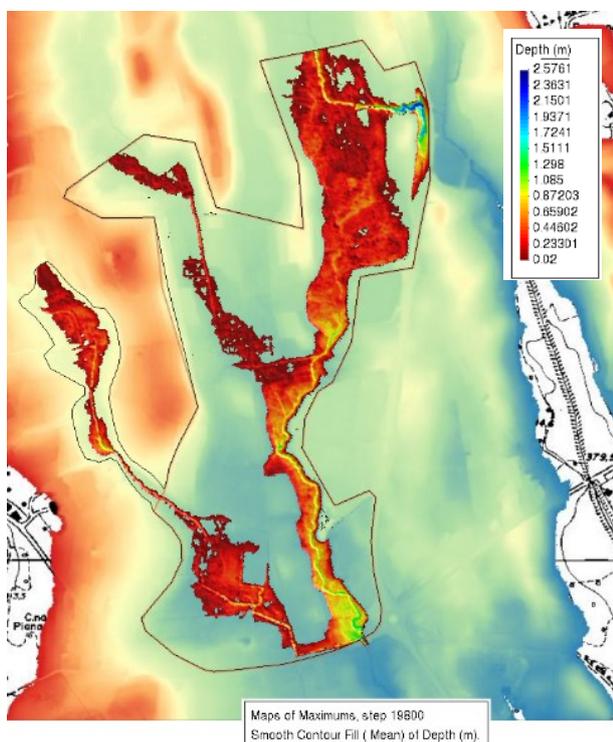
Risultati in termine di allagamenti (a sinistra) e velocità (a destra) – “time step” 6.000 s



Risultati in termine di allagamenti (a sinistra) e velocità (a destra) – “time step” 9.000 s



Risultati in termine di allagamenti (a sinistra) e velocità (a destra) – “time step” 12.000 s

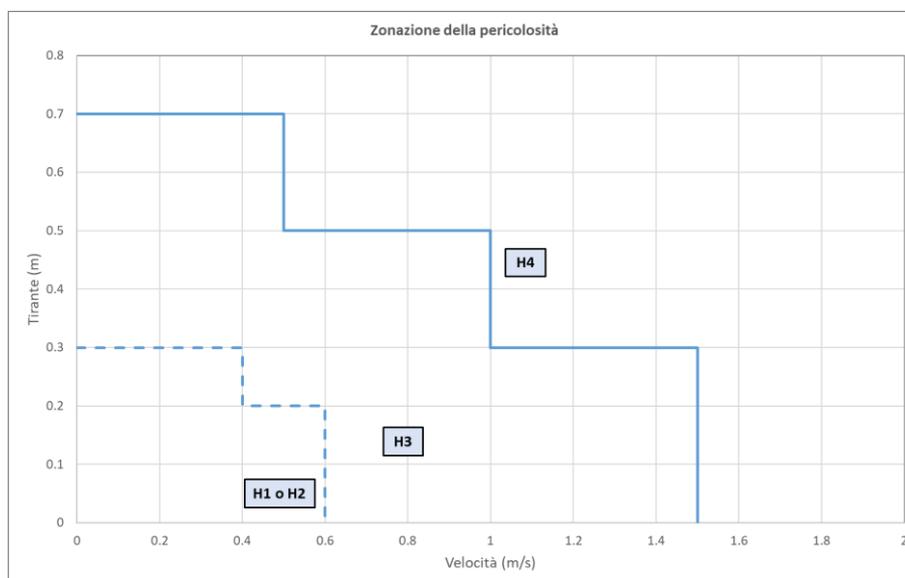


Risultati in termine di allagamenti (a sinistra) e velocità (a destra) – “time step” 19.800 s

#### 4.2.4 INTERPRETAZIONE RISULTATI PER LA PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

I risultati ottenuti sono stati interpolati tra loro per individuare sul territorio comunale aree omogenee a diverso grado di pericolosità idraulica. Le perimetrazioni effettuate sono riportate nella **Tavola 5 – Esito dello studio idraulico**.

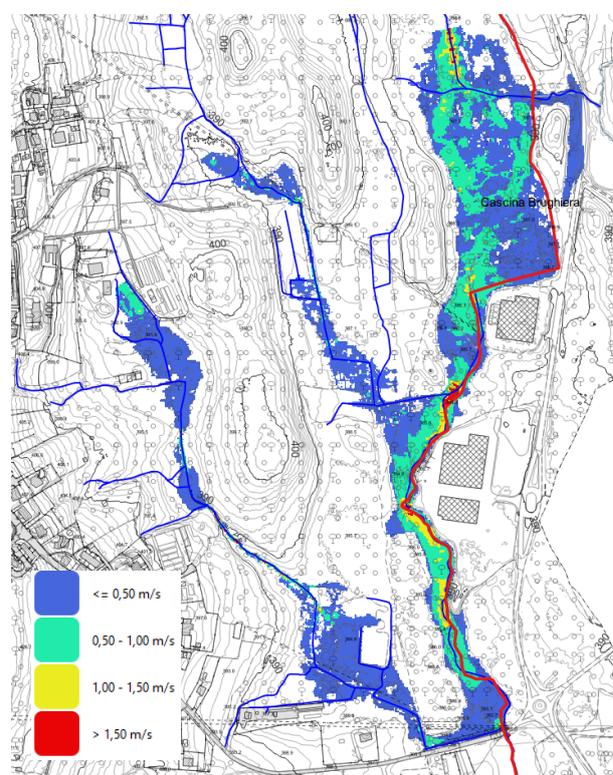
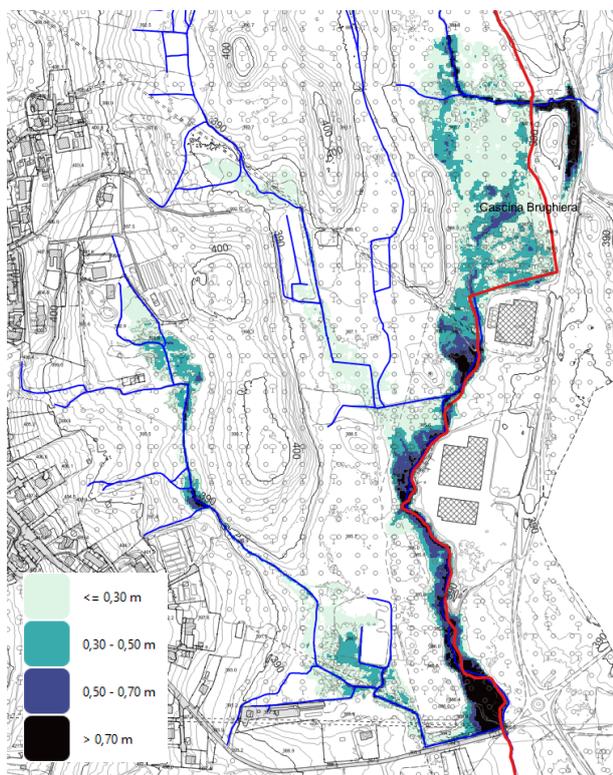
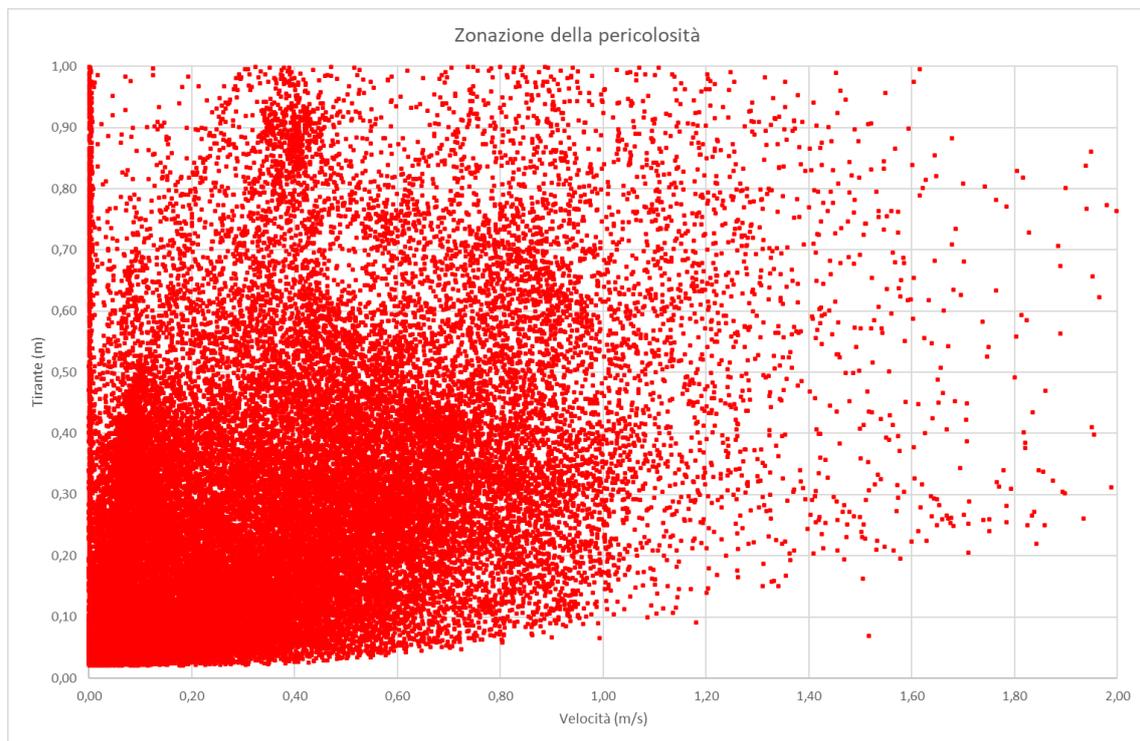
A tale scopo si sono applicate le indicazioni contenute nell'Allegato 4 alla D.G.R. IX/2616/2011 "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione", che, con riferimento al grafico seguente, identifica il grado di pericolosità idraulica sulla base dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento, per piene con tempo di ritorno di riferimento di T=100 anni.



Per tiranti fino a un massimo di 30 cm e velocità massime di 0,6 m/s si ricade in aree a pericolosità media o moderata (H1 – H2); per combinazioni tiranti/velocità fino a 70 cm/0,5 m/s o fino a 30 cm/1,5 m/s, si ricade in aree a pericolosità elevata (H3); oltre a tali valori si ricade in aree a pericolosità molto elevata.

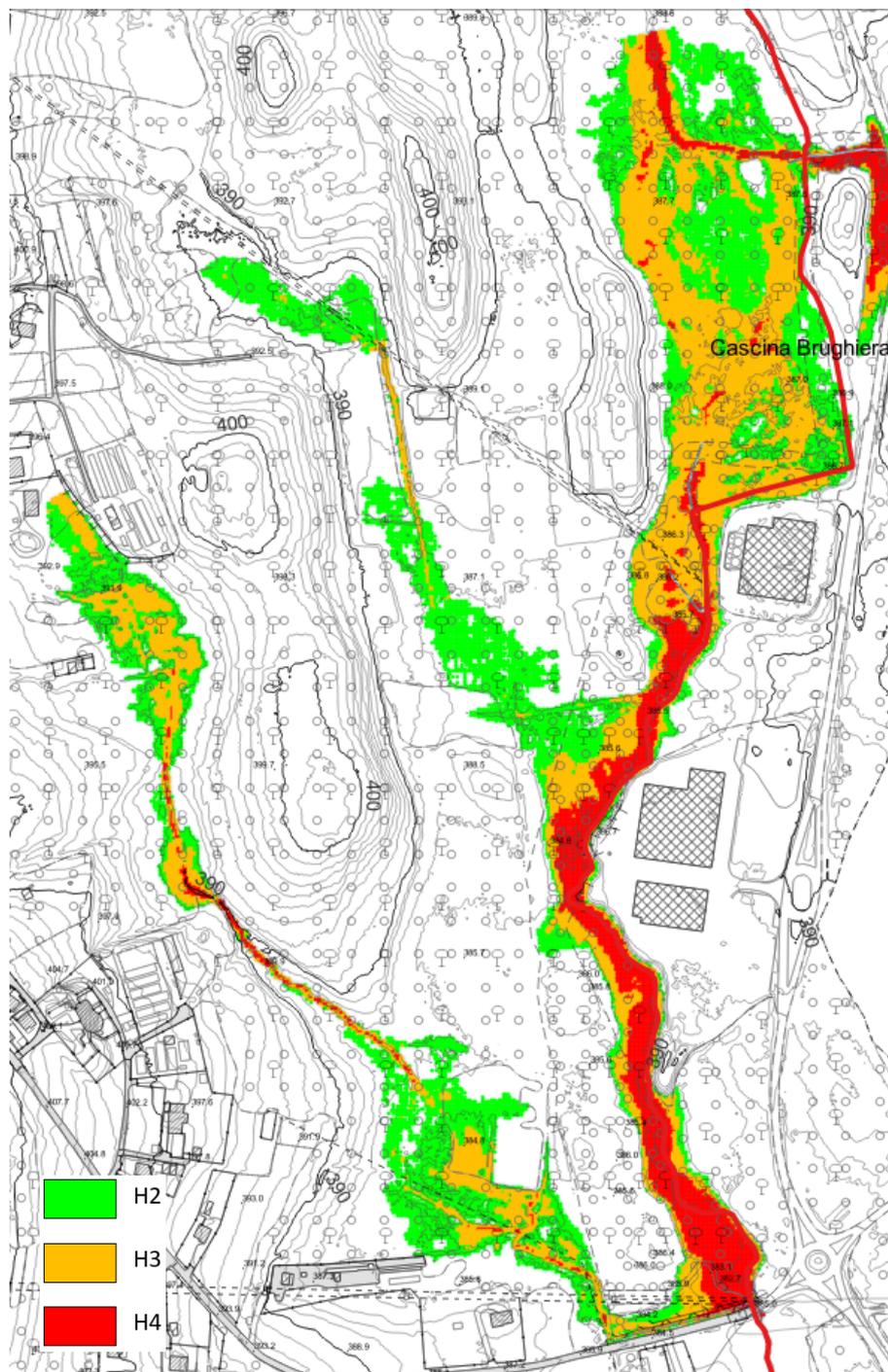
Dal diagramma seguente si può osservare come l'accoppiata battente/velocità segue una distribuzione "a ventaglio", con valori perlopiù inferiori a 0,4 m di battente e 0,6 m/s di velocità. Il parametro che incide maggiormente è comunque il battente idraulico.

I maggiori battenti si riscontrano in corrispondenza dell'alveo del T. Lura di Albiolo, dove le strozzature dalle tombinature presenti creano i presupposti per l'accumulo. Un andamento simile è seguito dalle velocità, che rimangono nella quasi totalità inferiori a 1 m/s (vedi figure a pagina seguente).



Zonazione dei battenti idraulici e delle velocità

Le aree a diverso grado di pericolosità così individuate sono rappresentate nella figura seguente.



Zonazione della pericolosità

### 4.3 Individuazione del reticolo idrografico principale e minore

#### 4.3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Regione Lombardia, già con la L.R. 1/2000, ha subdelegato ai Comuni le funzioni di "**Autorità Idraulica**" sui corsi d'acqua del **reticolo idrico minore (RIM)**, pertanto i Comuni hanno la responsabilità di identificare il reticolo di propria competenza, esercitare le funzioni di Polizia Idraulica e applicare i canoni per l'occupazione delle aree demaniali, provvedere alla manutenzione dei corsi d'acqua stessi.

I criteri per l'individuazione dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale e, per differenza, al reticolo idrico minore sono stati introdotti con la D.G.R. n. 7/7868/2002 e nel corso del successivo decennio sono stati aggiornati, approfonditi e integrati fino ad arrivare alla recente **D.G.R. n. XI/5714 del 15 dicembre 2021 – Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica.**

La normativa regionale delega ai Comuni l'individuazione delle fasce di rispetto dei corsi d'acqua e la stesura della relativa regolamentazione, con indicazione delle attività vietate o soggette ad autorizzazione.

Il Comune di Albiolo è già dotato di studio inerente all'individuazione del reticolo ideografico, approvato dalla Regione Lombardia con specifico parere (prot. n. AE04.2011.0003078).

#### 4.3.2 INDIVIDUAZIONE DEI CORSI D'ACQUA COSTITUENTI IL RETICOLO IDROGRAFICO

Dal confronto con l'elenco dei corsi d'acqua classificati come principali contenuti nell'Allegato A – "*Individuazione del reticolo principale*" della D.G.R. XI/5714 del 15 dicembre 2021, risulta che sul territorio di Albiolo non sono presenti corsi d'acqua appartenenti al **reticolo idrografico principale (RIP)**.

Il reticolo idrografico individuato, pertanto, è classificabile totalmente come **reticolo idrografico minore (RIM)**, di competenza comunale.

Di seguito si riporta l'elenco dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo minore:

CODICE	DENOMINAZIONE	FOCE O SBOCCO
1a	T. Lura di Albiolo	T. Lura
1b	<i>senza toponimo</i>	T. Lura di Albiolo
1c	<i>senza toponimo</i>	T. Lura di Albiolo
2a	<i>senza toponimo</i>	T. Lura di Albiolo
2b	<i>senza toponimo</i>	2a
2c	<i>senza toponimo</i>	2a
2d	<i>senza toponimo</i>	2a
2e	<i>senza toponimo</i>	2a
2f	<i>senza toponimo</i>	2a
2g	<i>senza toponimo</i>	2a

Continua a pagina seguente

3a	senza toponimo	T. Lura di Albiolo
3b	senza toponimo	3a
3c	senza toponimo	3a
3d	senza toponimo	3a
3e	senza toponimo	3a
3f	senza toponimo	3a
3g	senza toponimo	3a
4a	senza toponimo	T. Lura di Albiolo
5a	senza toponimo	-

#### 4.3.3 INDIVIDUAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO

Per i corsi d'acqua appartenenti al reticolo minore, sono state individuate specifiche fasce di rispetto:

##### Fascia di rispetto del reticolo idrico minore

ambito di rispetto del reticolo idrico minore come determinato in applicazione dei criteri della d.g.r. n. 7/13950 s.m.i., corrispondente a una fascia estesa a 10 m dagli argini.

Sono state altresì individuate le:

##### Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

Aree soggette a ristagno delle acque meteoriche e ad emergenza della falda idrica presente a debole profondità; aree di possibile esondazione dei corsi d'acqua costituenti il reticolo minore

Le suddette fasce sono rappresentate graficamente in scala 1:5.000 negli elaborati cartografici **Tavola 4 e Tavola 9**, allegati al presente studio.

La specifica normativa di riferimento concernente i vincoli di polizia idraulica da applicare a tali ambiti è indicata nelle Norme Geologiche di Piano.

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – TECNICO

### 5.1 *Prima caratterizzazione geotecnica dei terreni*

La classificazione del territorio su base geologico – tecnica ha seguito le indicazioni dei criteri regionali che raccomandano la derivazione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni dai dati esistenti.

A tale scopo si sono considerati principalmente i dati derivanti da indagini geognostiche realizzate a supporto di specifici interventi realizzati sul territorio comunale, oltre ai dati presenti nelle banche dati regionali, quali stratigrafie di pozzi.

Sulla base dell'analisi dei dati disponibili, sono stati distinti diversi ambiti con caratteristiche litologiche – geotecniche omogenee, rappresentati nell'elaborato cartografico **Tavola 3** e le cui caratteristiche principali sono di seguito descritte.

#### **Ambito Omogeneo A**

##### Litologia superficiale prevalente:

Sabbie e ghiaie con ciottoli in matrice limoso - argillosa

##### Caratteri geomorfologici:

Lembi residui di piane fluvioglaciali costituenti superfici terrazzate sulla pianura, ben conservati e solo marginalmente in erosione, a morfologia subpianeggiante o dolcemente ondulata.

##### Caratteri geotecnici generali:

Terreni prevalentemente granulari con caratteristiche geotecniche da discrete a buone, ad eccezione dei primi metri (2-4 m), che migliorano con la profondità.

##### Drenaggio delle acque

Permeabilità media in superficie, da media ad elevata in profondità; permeabilità bassa in situazioni localizzate

#### **Ambito Omogeneo B**

##### Litologia superficiale prevalente:

Ghiaie ciottoli e trovanti in matrice sabbioso – limoso – argillosa

##### Caratteri geomorfologici:

Rilievi costituiti da depositi eterogenei e non stratificati (morene) comprendenti:1) cordoni, spesso a morfologia netta e variamente pendenti (range modale delle pendenze 12-25%; range estremo 1-50%) , costituiti da depositi eterometrici immersi in matrice fine (sabbie e limi); 2) superfici di raccordo alle piane fluvioglaciali o fluviolacustri, costituite prevalentemente da depositi colluviali di piede versante (range modale delle pendenze 5-7%; range estremo 2-20%)

##### Caratteri geotecnici generali:

Terreni granulari con caratteristiche geotecniche variabili, ma generalmente discrete

Drenaggio delle acque

Permeabilità variabile, generalmente compresa tra media e bassa

**Ambito Omogeneo C1**

Litologia superficiale prevalente:

Sabbie e limi con ghiaia in matrice limoso – argillosa e presenza occasionale di torba

Caratteri geomorfologici:

Superfici pianeggianti (pendenza media inferiore al 3%) perlopiù riconducibili ad ambienti deposizionali di tipo glaciolacustre, costituite da sedimenti più fini rispetto ai depositi morenici circostanti, comprendenti aree poco o moderatamente idromorfe, situate tipicamente al margine esterno di zone più idromorfe, specchi lacustri o corsi d'acqua.

Caratteri geotecnici generali:

Terreni prevalentemente granulari con caratteristiche geotecniche da discrete a buone, ad eccezione dei primi metri (2-4 m), che migliorano con la profondità.

Drenaggio delle acque

Permeabilità da media a bassa in superficie, da media ad elevata in profondità

**Ambito Omogeneo C2**

Litologia superficiale prevalente:

Sabbie e ghiaie con alternanze argilloso – limose e/o lenti torbose nei primi 5-6 m di profondità

Caratteri geomorfologici:

Superfici pianeggianti (pendenza media inferiore al 3%) perlopiù riconducibili ad ambienti deposizionali di tipo glaciolacustre, costituite da sedimenti più fini rispetto ai depositi morenici circostanti, comprendenti aree fortemente idromorfe per falda superficiale (conche lacustri prosciugate e aree prive di drenaggio esterno naturale o marginali a corsi d'acqua), talora con depositi organici e vegetazione spontanea igrofila.

Caratteri geotecnici generali:

Terreni con forte componente coesiva nei primi 5-6 m di profondità, con caratteristiche geotecniche scadenti;

Drenaggio delle acque

Permeabilità da media a bassa in superficie, da media ad elevata in profondità; presenza della falda a debole profondità e occasionalmente affiorante; locali fenomeni di ristagno delle acque superficiali

## 5.2 Sintesi delle indagini geognostiche disponibili

Nel corso del presente studio sono state raccolte numerose indagini geognostiche a supporto di specifici interventi realizzati sul territorio comunale, la cui ubicazione è riportata nell'elaborato cartografico **Tavola 3**.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle indagini ritenute di maggior interesse ai fini della presente analisi.

### 1 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di nuova stalla tramite ampliamento – Via Prevosa (Febbraio 2018).

Argomento: caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino oltre 8 m di profondità, di scavo esplorativo e indagine geofisica (microtremori ambientali).

#### Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0 – 0,5	riporto superficiale
0,5 – 2,0	depositi eluvio – colluviali (limi poco consistenti)
2,0 – 4,5	depositi fluvioglaciali (sabbie e ghiaie) poco addensati
4,5 – > 9	depositi fluvioglaciali (sabbie e limi) moderatamente addensati

#### Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)	$C_u$ (coesione non drenata)
2 – limi	15 – 18,5 KN/mc	40%	26°	45 KPa
3 – sabbie e ghiaie	19 KN/mc	50%	28°	
4 – sabbie e limi	22 KN/mc	75%	36°	

Acqua sotterranea: è stata rilevata la presenza di acque sotterranee a circa 70 cm di profondità.

### 7 – Indagine geognostica per il progetto di realizzazione di un nuovo edificio residenziale – Via delle Piazzole (Novembre 2020)

Argomento: caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche, spinte sino a 4 m di profondità, di scavo esplorativo e indagine geofisica (MASW – vedi **Par. 7.2.1**).

Stratigrafia: dallo esplorativo è stata desunta la seguente stratigrafia

m da p.c.	descrizione
0 – 1,3	Argilla limosa con poca sabbia, di colore marrone con alcuni ciottoli
1,3 – 2,2	Ghiaia e ghiaietto con ciottoli anche decimetrici, mista a sabbia limosa di colore ocra
2,2 – 3,3	Sabbia e ghiaietto debolmente limosa con ciottoli decimetrici di colore grigio

Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	Prof. Strato (m)	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)	$c_u$ (coesione non drenata)
1-argilla con sabbia	0.0 – 1,3	15,3 KN/mc		0°	12,16 KPa
2-ghiaia e sabbia limosa	1,3 – 2,2	18,53 KN/mc	83 – 86%	31,4°	
3-sabbia limosa	2,2 – 3,3	14,91 KN/mc	42 – 55%	28,32°	
4-ghiaia con sabbia	3,3 – 3,9	21,87 KN/mc	100%	40,69°	

Acqua sotterranea: sino alla profondità investigata non sono state rilevate acque sotterranee.

## 8 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di realizzazione di un edificio residenziale unifamiliare – Via Maestri Comacini (Aprile 2017)

Argomento: caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino alla profondità massima di 6,9 m da p.c.

Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0,0 – 1,5/3,0	1 – terreno vegetale e suolo in genere (limo sabbioso) con trnsizione verso i depositi morenici sottostanti
1,5/3,0 – 4,5/4,8	2 - depositi morenici a composizione prevalentemente sabbiosa con poca ghiaia
4,5/4,8 – 6,9	3 - depositi morenici costituiti da ghiaia in matrice sabbioso - limosa

Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)	$c_u$ (coesione non drenata)
1	16 KN/mc	15%	24-25°	1 KPa
2	18 KN/mc	30-35%	29°	
3	19 KN/mc	55-65%	33°	

Acqua sotterranea: è stata rilevata la presenza di acque sotterranee a circa 2 m di profondità.

### 9 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di realizzazione di un edificio residenziale – Via Mazzini 39 (Dicembre 2020)

Argomento: caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione mediante n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino alla profondità di 7 – 8 m da p.c.

#### Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0,0 – 1,2/1,8	1 – Livello superficiale: terreno vegetale e suolo in genere in parte rimaneggiato da precedenti utilizzi e livello di passaggio ai depositi fluvioglaciali
Alternati da 1,2/1,8 sino a 6,9	2a – Depositi fluvioglaciali: sabbia limosa più o meno ghiaiosa
	2b – Depositi fluvioglaciali: sabbia e ghiaia
> 6,9	3 – Depositi fluvioglaciali: ghiaia, sabbia e ciottoli

#### Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)
1	16,5 KN/mc	15%	24°
2a	17 KN/mc	50%	31°
2b	18 KN/mc	55%	33°
3	19 KN/mc	<80%	<40°

Acqua sotterranea: sino alla profondità investigata non sono state rilevate acque sotterranee.

### 13 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di realizzazione di un edificio residenziale bifamiliare – Via Michelangelo (Gennaio 2019)

Argomento: caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione mediante n. 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino alla profondità di 8 – 10 m da p.c.

#### Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0,0 – 1,2/1,5	1 – terreno vegetale e suolo in genere (limo sabbioso)
1,2/1,5 – 3,0	2 - depositi fluvioglaciali a composizione prevalentemente sabbioso - ghiaiosa
3,0 – 4,0	3 - depositi fluvioglaciali a composizione prevalentemente fine, limoso – sabbiosa
4,0 - > 8,0	4 - depositi fluvioglaciali a composizione prevalentemente sabbiosa, poco ghiaiosa, aumento % ghiaia dopo gli 8m

Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\phi$ (angolo di attrito)
1	16,53 KN/mc	15%	22°
2	18 KN/mc	45-50%	30°
3	17 KN/mc	15%	25°
4	18 KN/mc	30-40%	28-30°

Acqua sotterranea: è stata rilevata la presenza di acque sotterranee a circa 6 m di profondità.

**16 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di palazzina plurifamiliare – Via Monterosa (Maggio 2016)**

Argomento: caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione mediante n. 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino alla profondità massima di 11,5 m da p.c.

Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0 – 1	R – Terreno di riporto superficiale
Alternati da 1 sino a 7,5/9,6	A – Depositi superficiali limoso – sabbioso con presenza di argilla e rari ciottoli – molto sciolti
	B – Depositi superficiali limoso – sabbioso con presenza di argilla e rari ciottoli – sciolti
>7,5/9,6	C – Deposito morenico costituito da ghiaie e ciottoli anche grossolani in matrice prevalentemente sabbioso – limosa – da mediamente addensato ad addensato

Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\phi$ (angolo di attrito)
A	1,6 t/mc	<20%	<25°
B	1,7 t/mc	20-35%	28°
C	1,9 t/mc	>45%	>32°

Acqua sotterranea: è stata rilevata la presenza di acque sotterranee a circa 4,5 m di profondità.

## 20 – Indagine geologico-tecnica a supporto del progetto di realizzazione villette – Via Roma 19 (Settembre 2021)

Argomento: caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione mediante n. 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino a circa 6 m di profondità e indagine geofisica (microtremori ambientali).

### Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0 – 1/1,5	depositi eluvio-colluviali ("terra di coltura" - limi e sabbie fini) poco consistenti
1/1,5 – 2/5,5	depositi morenici in prevalenza poco addensati
2/5,5 – >6	depositi morenici in prevalenza moderatamente addensati

### Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)	$C_u$ (coesione non drenata)
1	15,3 KN/mc	40%	25°	10 KPa
2	15,5 KN/mc	53%	28,8°	
3	18,8 KN/mc	72%	32°	

Acqua sotterranea: possibile presenza di acque sotterranee a circa 4 m da p.c.

## 23 – Indagine geognostica per il progetto di riorganizzazione edilizia della Scuola Primaria comunale – Via Indipendenza/Largo XX Settembre (Febbraio 2020)

Argomento: caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione mediante n. 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH, spinte sino alla profondità massima di 10,2 m da p.c. e indagine geofisica (MASW – vedi **Par. 7.2.1**).

### Stratigrafia:

m da p.c.	descrizione
0 – 0,9/1,2	R – Riporti recenti
Alternati da 1,2 sino a 3,3/7,5	A – Deposito incoerente molto sciolto – sabbie più o meno limose con rari ciottoli e ghiaia
	B – Deposito incoerente sciolto – deposito morenico con clasti in matrice sabbioso - limosa
>3,3/7,5	C – Deposito incoerente da mediamente addensato ad addensato – ghiaia, ciottoli e massi in matrice sabbioso - limosa

### Caratterizzazione geotecnica:

Unità litotecnica	$\gamma$ (peso di volume)	Dr (densità relativa)	$\varphi$ (angolo di attrito)
A	1,6 t/mc	20%	25°
B	1,8 t/mc	25-30%	27-28°
C	1,9 t/mc	35-80%	31-35°

Acqua sotterranea: presenza di acque sotterranee misurate in 3 punti prova attrezzati a piezometro, presente a mediamente 4 m da p.c.

### 5.3 Caratteri pedologici

La definizione dei suoli del territorio comunale di Albiolo è stata desunta dai dati regionali del progetto CARTA PEDOLOGICA.

I caratteri pedologici ritenuti salienti sono descritti nella tabella seguente che raggruppa i suoli riconosciuti nell'ambito delle aree litologiche omogenee sopra classificate.

Ciascun suolo è contrassegnato dalla sigla del catalogo regionale dei suoli, classificato secondo la seconda la Soil Taxonomy 1998 e descritto.

<b>ZONE</b>	<b>SIGLA</b> (CATASTO REGIONALE SUOLI)	<b>CLASSIFICAZIONE USDA (KST 2006)</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>A</b>	CRD1	Typic Haplohumults, fine silty, mixed, superactive, mesic	I suoli CRD1 sono molto profondi con scheletro frequente, tessitura media e a volte moderatamente fine in profondità, reazione subacida, a volte acida in superficie, saturazione molto bassa, AWC molto alta, drenaggio buono e permeabilità moderatamente bassa.
<b>B</b>	CMG1/OGG2	Typic Dystrudepts, coarse loamy, mixed, superactive, mesic  Humic Dystrudepts, coarse loamy, mixed, superactive, mesic	Unità complessa  I suoli CMG1 sono molto profondi, con scheletro scarso o comune, tessitura moderatamente grossolana, reazione subacida, saturazione molto bassa in superficie e bassa in profondità, AWC moderata, drenaggio moderatamente rapido e permeabilità moderatamente elevata;  I suoli OGG2 sono molto profondi, con tessitura da media a moderatamente grossolana, scheletro scarso, reazione subacida, saturazione molto bassa, AWC molto alta, drenaggio buono, talvolta rapido e permeabilità moderata.
<b>C1 C2</b>	AUT1/RDA1	Fluvaquentic Eutrudepts, coarse loamy, mixed, superactive, mesic  Cumulic Endoaquolls, fine loamy, mixed, active, nonacid, mesic	Unità complessa  I suoli AUT1 sono poco profondi limitati da falda, con scheletro scarso in superficie ed assente in profondità, tessitura media, reazione neutra in superficie e subacida in profondità, saturazione alta, AWC moderata, drenaggio mediocre e permeabilità moderata.  I suoli RDA1 si sono sviluppati in aree lievemente infossate caratterizzate da difficoltà di deflusso idrico superficiale interessate da oscillazioni della falda; sono poco profondi, limitati da orizzonti a gley sabbiosi, con scheletro scarso, tessitura da media a moderatamente grossolana in superficie e grossolana in profondità, reazione subacida, saturazione media, AWC alta, con drenaggio lento e permeabilità moderata.

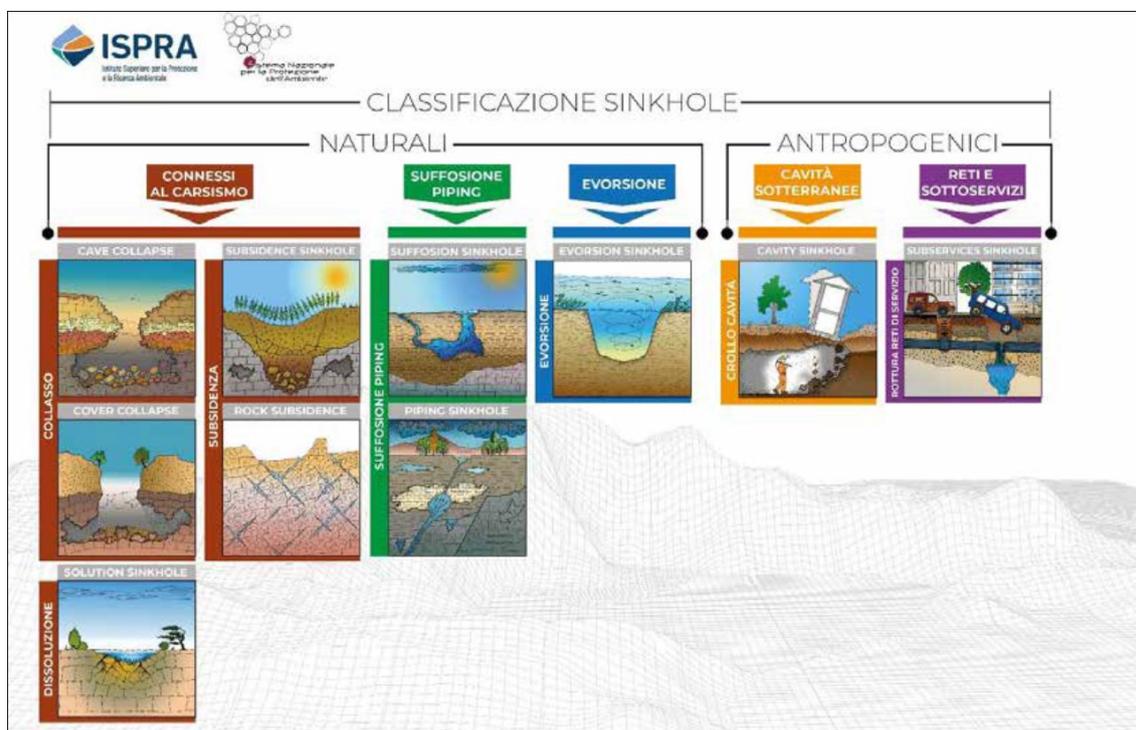
#### 5.4 Ulteriori elementi di carattere geologico – tecnico

La caratterizzazione geologico – tecnica del territorio comunale illustrata nell'elaborato **Tavola 3** è stata integrata aggiungendo i seguenti elementi di interesse ai fini della pianificazione territoriale:

- stratigrafie dei pozzi per acqua (pozzo Albiolo);
- aree interessate da riporti e riempimenti antropici;
- aree dei terrazzi morfologici con acclività superiore a 15°
- area della piattaforma ecologica comunale.

#### 5.5 Individuazione delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee

Allo scopo di migliorare la conoscenza in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico, Regione Lombardia ha integrato la D.G.R. IX/2616/11 con indicazioni e linee guida relative all'analisi delle forme di dissesto denominate "sinkhole", sprofondamenti generati da cavità sotterranee di origine naturale o antropica oppure da condizioni geologico-stratigrafiche favorevoli al loro sviluppo o evoluzione (D.G.R. XI/7564/22).



Classificazione sinkhole/sprofondamenti secondo ISPRA

La delibera indica che, se nel territorio in esame si sono verificati in passato eventi di dissesto legati a fenomeni di sprofondamento, o in presenza nel sottosuolo di condizioni favorevoli alla loro formazione/evoluzione (cause predisponenti e innescanti), andranno individuate e adeguatamente normate le aree con condizioni favorevoli alla formazione/evoluzione di fenomeni di sprofondamento.

Le cause predisponenti sono determinate da complesse situazioni geologico-strutturali ed idrogeologiche del territorio. Eventi quali un sisma, un periodo di siccità, o una alluvione o l'emungimento di grandi quantitativi di acqua dal sottosuolo possono innescare la formazione di sprofondamenti, che possono evolvere in dissesti anche importanti.

Tra le cause predisponenti vi sono, ad esempio:

- aree carsiche;
- aree con presenza di litotipi potenzialmente soggetti a fenomeni di dissoluzione (depositi evaporitici);
- aree con condizioni favorevoli allo sviluppo di occhi pollini;
- siti minerari/aree interessate da attività estrattive passate;
- siti archeologici;
- aree individuate da indagini stratigrafiche preesistenti o indagini geognostiche realizzate ad hoc con presenza di livelli/orizzonti a scadenti caratteristiche geotecniche, oppure con cavità vere e proprie, a profondità potenzialmente interferenti con le fondazioni (o anche superiore);
- aree con evidenze di variazioni plano-altimetriche del suolo, ove si sono osservate lesioni/cedimenti negli edifici, nei sottoservizi e nelle sovrastrutture e ove si sono verificati eventi di sprofondamento pregressi.

Sul territorio comunale di Albiolo non sono stati riconosciuti eventi passati di dissesto legati a fenomeni di sprofondamento, né sono state riconosciute nelle caratteristiche geologiche e geotecniche descritte nei paragrafi precedenti cause predisponenti alla formazione di sinkhole.

## 6 IL RISCHIO DI ESPOSIZIONE AL GAS RADON

Il *radon* è un gas nobile naturalmente radioattivo, che si genera dal decadimento del *radio*, generato a sua volta dal decadimento dell'*uranio*. Il motivo che determina la necessità di mapparne la concentrazione risiede nel fatto che il radon è un gas molto pesante e viene considerato estremamente pericoloso per la salute umana se inalato ed è ritenuto una delle possibili cause di serie patologie polmonari.

La principale fonte di questo gas risulta essere il terreno, dal quale fuoriesce e si disperde nell'ambiente, accumulandosi in locali chiusi ove può diventare pericoloso. Le aree più a rischio sono quelle che presentano formazioni geologiche originatesi da fenomeni di vulcanesimo (lave, pozzolane, tufi, granito e porfido) ma, in ogni caso, si possono ritrovare alte concentrazioni di radon anche in rocce sedimentarie, come i marmi, le marne e i flysh. La risalita in superficie del radon è anche associabile alla presenza di discontinuità tettoniche quali faglie e fratture profonde della crosta terrestre.

Altre fonti possono essere, in misura minore, i materiali di costruzione, specialmente se di origine vulcanica, come il tufo o i graniti.

Uno dei principali fattori di rischio del radon è legato al fatto che tende ad accumularsi all'interno di abitazioni. Il gas migra dal suolo (o dai materiali da costruzione) e penetra all'interno degli edifici attraverso le fessure (anche microscopiche), gli attacchi delle pareti al pavimento, i passaggi dei vari impianti (elettrico, termico, idraulico). Di conseguenza, i livelli di radon sono generalmente maggiori nelle cantine, nei vani seminterrati e nei piani più bassi delle abitazioni.

### 6.1 Riferimenti normativi

Il quadro normativo nazionale relativo alla problematica del radon è definito dal D.Lgs 101/2020 – *Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117*; ulteriori indicazioni sono contenute nella L.R. 3/2022 – *Modifiche al Titolo VI della l.r. 30 dicembre 2009, n. 33 (Testo unico delle leggi regionali in materia di sanità) e alla l.r. 10 marzo 2017, n. 7 (Recupero dei vani e locali seminterrati esistenti), in attuazione del d.lgs. 31 luglio 2020, n. 101*.

In particolare la normativa nazionale, recependo le indicazioni europee, indica i livelli di riferimento per la concentrazione di radon indoor in abitazioni e luoghi di lavoro. Nello specifico, il decreto stabilisce i seguenti livelli di riferimento:

- **300 Bq/mc** in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per le abitazioni esistenti;
- **200 Bq/mc** in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024;
- **300 Bq/mc** in termini di concentrazione media annua negli ambienti di lavoro.

## 6.2 La mappatura del territorio lombardo

L'ARPA della Regione Lombardia ha condotto, tra il 2003 e il 2004, una campagna di misura del gas radon in tutto il proprio territorio, al fine di individuare le aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni (*radon prone areas*), come previsto dal D.Lgs 241/00, art. 10-ter, comma 2.

Nel 2009 – 2010 è stata effettuata una nuova campagna di misura, condotta al fine di migliorare e approfondire le conoscenze sulla distribuzione territoriale del radon indoor negli edifici lombardi.

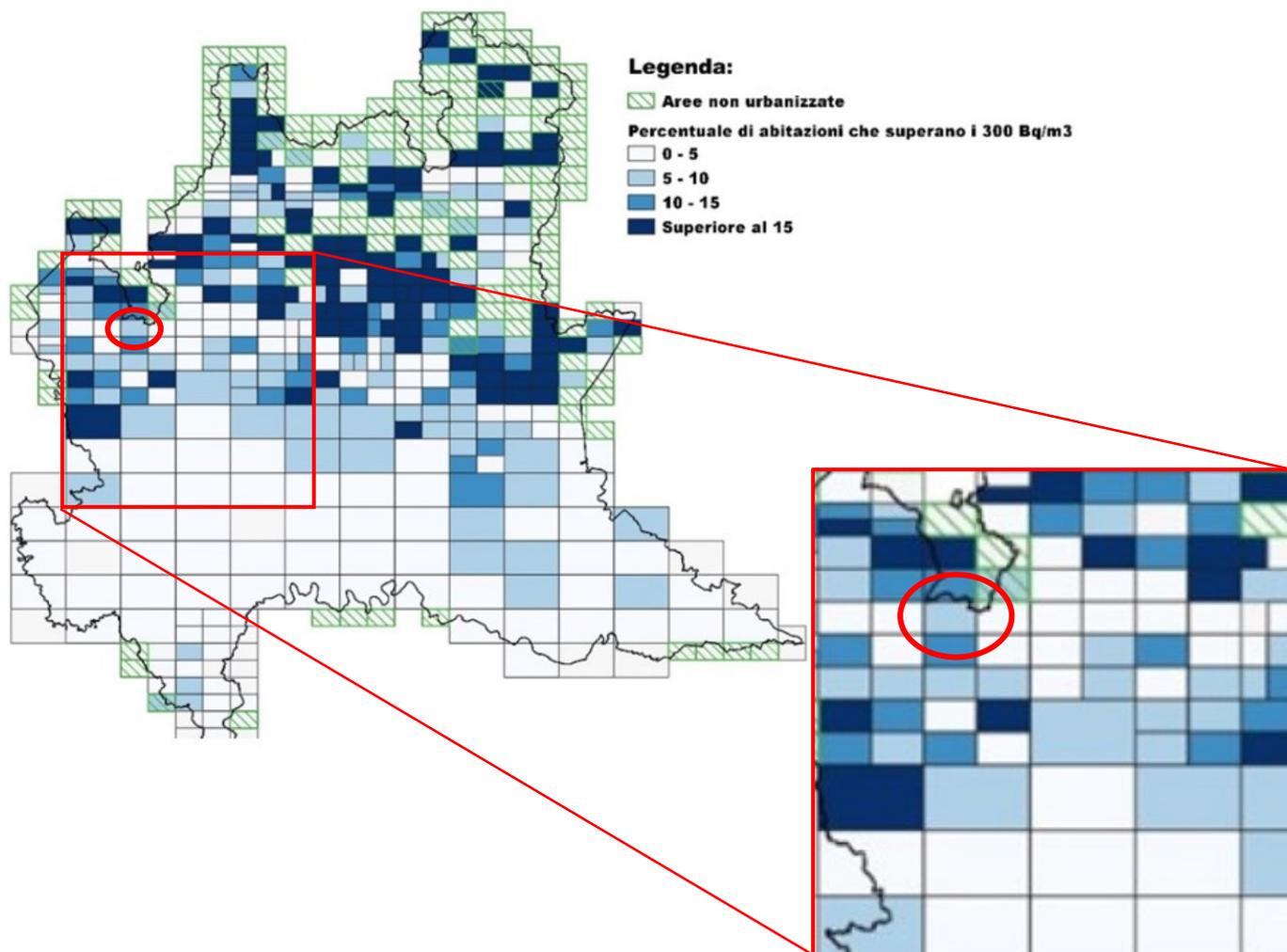
Il piano per la mappatura, condotto da ARPA in collaborazione con le ASL locali, ha visto il territorio regionale suddiviso secondo una griglia a maglie rettangolari, di dimensioni variabili a seconda delle caratteristiche geologiche e morfologiche del suolo, con un infittimento nella zona alpina e prealpina, dove ci si attende concentrazioni di radon più elevate e spazialmente eterogenee.

Le campagne sono state progettate suddividendo il territorio in maglie di diverse dimensioni, in funzione delle caratteristiche geologiche e morfologiche dominanti nelle diverse aree della regione, individuando in ciascuna maglia un numero di misure variabile da 5 a 10 da effettuarsi in ambienti al piano terra, presso luoghi di lavoro, scuole o edifici residenziali. Le campagne condotte fino ad oggi hanno coinvolto circa **3900 punti** di misura in 551 comuni (1/3 circa del totale dei comuni lombardi), in locali al piano terra. La concentrazione media annuale misurata varia **da 8 a 1793 Bq/mc**.

In generale, i risultati delle campagne di misura hanno mostrato come nell'area di pianura, dove il substrato alluvionale, poco permeabile al gas, presenta uno spessore maggiore, la presenza di radon sia poco rilevante, mentre nelle aree montane e pedemontane in provincia di Sondrio, Varese, Bergamo, Brescia e Lecco, le concentrazioni sono risultate invece decisamente più elevate.

Le analisi statistiche sulle misure effettuate hanno inoltre mostrato che la concentrazione di radon indoor è anche strettamente correlata alle caratteristiche costruttive, ai materiali utilizzati, alle modalità di aerazione e ventilazione e alle abitudini di utilizzo del singolo edificio/unità abitativa.

Mediante elaborazioni geostatistiche è stata determinata nelle diverse aree la percentuale di edifici che supera il livello di 300 Bq/mc, rappresentata nella mappa riportata di seguito.



## 7 ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO

### 7.1 Aspetti normativi e metodologici

Con la D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616, la Regione Lombardia ha ulteriormente aggiornato le linee guida e le procedure operative per la valutazione degli effetti sismici di sito a cui uniformarsi nella definizione del rischio sismico locale, già definiti nelle precedenti D.G.R. n. VIII/1566/05 e n. VIII/7374/08.

Nel caso specifico, nell'ambito dei tre livelli di approfondimento previsti dalla suddetta normativa e tenuto conto:

- della mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale contenuta nella OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 "*Criteri generali per l'identificazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*";
- della confermata classificazione del territorio comunale di Albiolo in Zona Sismica 4 ai sensi della D.G.R. 11 luglio 2014 n. 10/2129 "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*";
- del D.M. 14 gennaio 2008 *Norme tecniche per le costruzioni* e del recente aggiornamento D.M. 17 gennaio 2018.

l'analisi del rischio sismico è stata condotta adottando la **procedura di I livello** che, a partire dalle informazioni territoriali di base disponibili, consente di individuare le zone caratterizzate da specifici scenari di pericolosità sismica locale (*PSL*).

La procedura di I livello (obbligatoria per tutti i comuni lombardi) rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, per la caratterizzazione semi-quantitativa (II livello) o quantitativa (III livello) degli effetti di amplificazione sismica attesi.

Per i comuni ricadenti in Zona sismica 4 come Albiolo, l'applicazione dei livelli di approfondimento sono così regolati (D.G.R. IX/2616/11):

- *livello II*: si applica in fase pianificatoria solo per edifici strategici e rilevanti<sup>2</sup> di nuova previsione (elenco tipologico di cui al D.D.U.O. n. 7237/2019) nelle zone di pericolosità sismica locale suscettibili di amplificazioni topografiche e/o litologiche (*PSL Z3 e Z4*);
- *livello III*: si applica in fase progettuale nelle aree indagate con il livello II quando il fattore d'amplificazione calcolato supera il fattore soglia comunale e nelle zone di

---

<sup>2</sup> costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

pericolosità sismica locale suscettibili di effetti di instabilità o cedimenti e/o liquefazioni (PSL Z1 e Z2) solo per edifici strategici e rilevanti.

Per l'individuazione degli scenari di pericolosità sismica locale si è fatto riferimento alla *Tabella 1* di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616/11, come modificata dalla D.G.R. XI/7564/22, riportata di seguito.

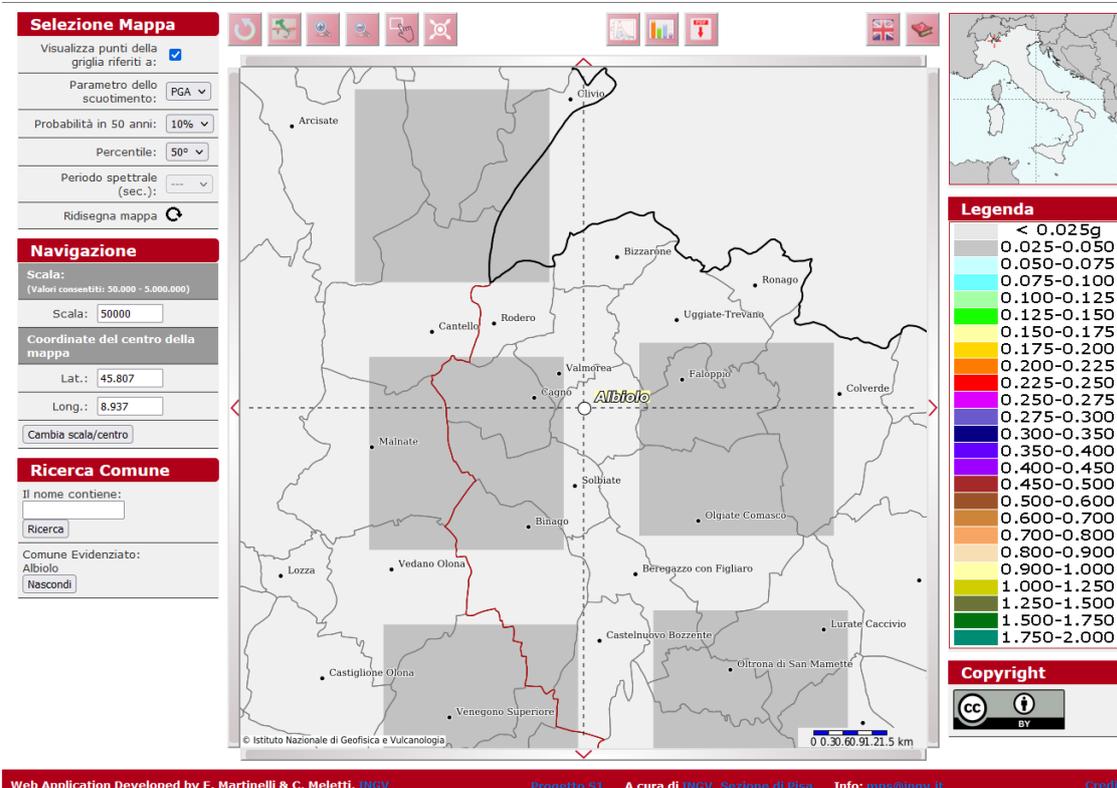
<b>SIGLA</b>	<b>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>EFFETTI</b>
<b>Z1a</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
<b>Z1b</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
<b>Z1c</b>	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
<b>Z2a</b>	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, etc.)	Cedimenti
<b>Z2b</b>	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
<b>Z2c</b>	Aree a potenziale presenza di cavità sotterranee	Instabilità/ Cedimenti
<b>Z3a</b>	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, etc.)	Amplificazioni topografiche
<b>Z3b</b>	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
<b>Z4a</b>	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
<b>Z4b</b>	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
<b>Z4c</b>	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
<b>Z4d</b>	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
<b>Z5</b>	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Ai fini dell'individuazione dei possibili scenari di pericolosità sismica locale elencati in tabella, si sono analizzati criticamente i dati geologici e geotecnici acquisiti nell'ambito del presente studio e descritti nei capitoli precedenti.

## **7.2 Analisi sismica di base del territorio comunale**

La sismicità di base del territorio comunale Albiolo è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni definita nella tabella 1 allegata al D.M. 17/01/2018 in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale mostrato nella figura sottostante per l'area in esame.

## Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Sulla base dei dati relativi ai quattro nodi utilizzabili è possibile definire un valore medio valido nell'ambito del territorio esaminato ai soli fini pianificatori ed amministrativi mentre per la definizione delle azioni sismiche a livello progettuale occorrerà definire puntualmente le azioni sismiche come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame adottando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in esame ed i vertici considerati.

L'accelerazione massima ( $a_{gmax}$ ) indicata nella D.G.R. X/2129/2014 per il Comune di Albino è pari a 0,03888.

Il D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto per gli interventi edificatori prevede una classificazione del suolo di fondazione, ovvero del terreno compreso tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento (bedrock sismico), nelle seguenti categorie:

- A. *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B. *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà

meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

- C. *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D. *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E. *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tale classificazione si basa sulla specifica caratterizzazione del suolo di fondazione secondo la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , ovvero del numero di colpi NSPT ottenuti mediante prova penetrometrica dinamica e, nel caso di terreni coesivi, della coesione non drenata  $C_u$ .

Inoltre risulta determinante la valutazione della profondità del bedrock sismico inteso come il livello in cui le velocità di propagazione delle onde di taglio raggiungono valori pari o superiori a 800 m/s.

#### 7.2.1 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI (MASW)

A titolo di approfondimento rispetto all'analisi di 1° livello, sono state analizzate le indagini geofisiche allegate alle indagini geognostiche a supporto di specifici interventi realizzati sul territorio comunale, raccolte per il presente studio.

In particolare sono state considerate le indagini effettuate mediante prospezioni MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) per la valutazione della stratigrafia di velocità delle onde trasversali  $V_s$ , da cui ricavare il parametro  $V_s$  equivalenti, cioè la velocità delle onde di taglio tra piano campagna (o il piano di posa fondazioni) e il bedrock sismico<sup>3</sup>.

Come indicato sopra, tale parametro è necessario per la classificazione dei terreni indagati in ottemperanza al D.M. 17/01/2018.

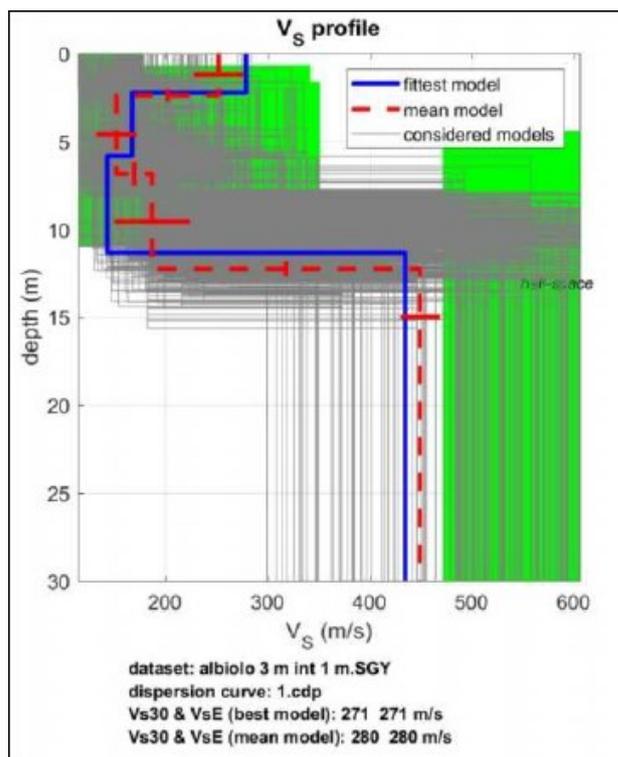
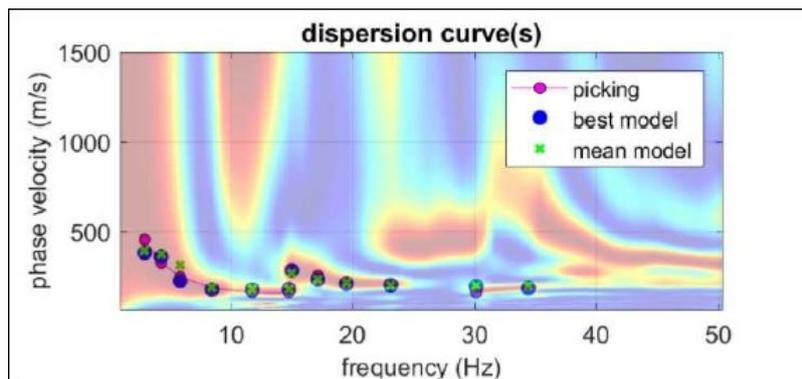
---

<sup>3</sup> per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_s$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , cioè considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

All'interno del territorio comunale di Legnano, si sono realizzate n. 4 prospezioni MASW, la cui ubicazione è riportata nell'elaborato **Tavola 6**.

Si riportano di seguito i risultati delle analisi MASW realizzate sul territorio comunale di Albiolo (riferimento numerico "Aree oggetto di specifiche indagini geognostiche")

MASW 3 –VIA COLLE MUFETTA 7



**Tabella di calcolo Vs30**

Da profondità	A profondità	Vs
0	2,4	252
2,4	6,9	152
6,9	12,3	187
12,3	30	450

**Curva di dispersione e modello Vs del terreno  
(MASW 3 –Via Colle Mufetta 7)**

Nel sito in esame, l'analisi ha condotto ad un valore di Vs30 (profondità bedrock > 30 m) pari a **280 m/s**, corrispondente a **suoli di categoria C**.

MASW 7 –VIA DELLE PIAZZOLE

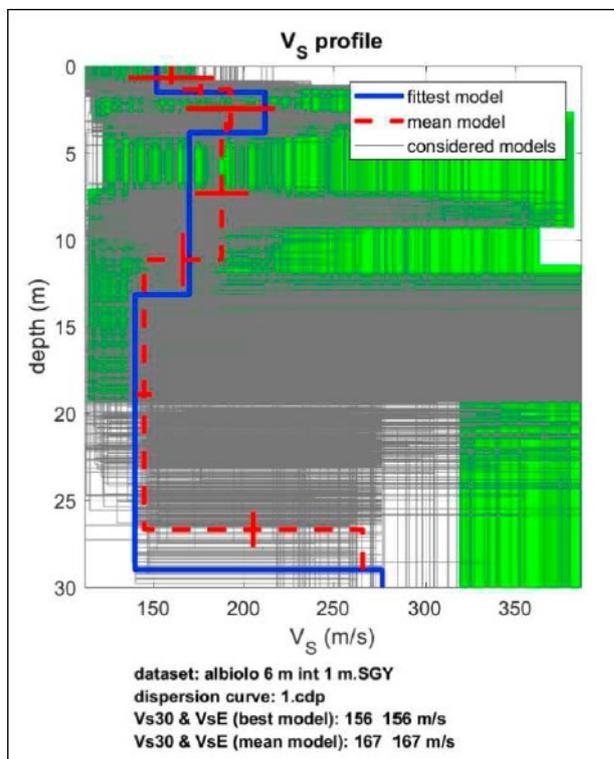
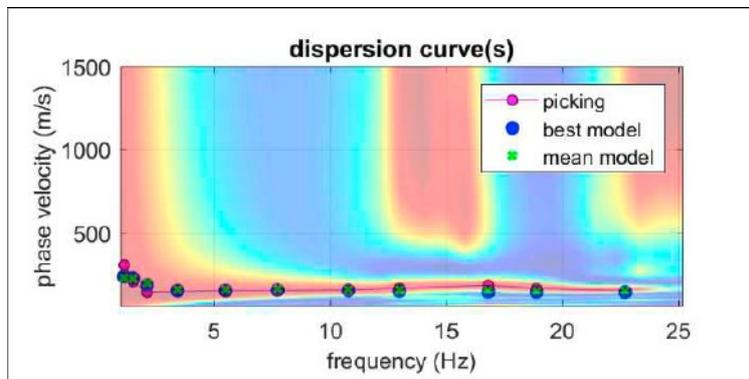


Tabella di calcolo Vs30

Da profondità	A profondità	Vs
0	1,4	160
1,4	3,5	193
3,5	11,1	188
11,1	26,6	145
26,6	30	266

Curva di dispersione e modello Vs del terreno  
(MASW 7 –Via delle Piazzole)

Nel sito in esame, l'analisi ha condotto ad un valore di Vs30 (profondità bedrock > 30 m) pari a **167 m/s**, corrispondente a **suoli di categoria D**.

MASW 10 –VIA MAZZINI

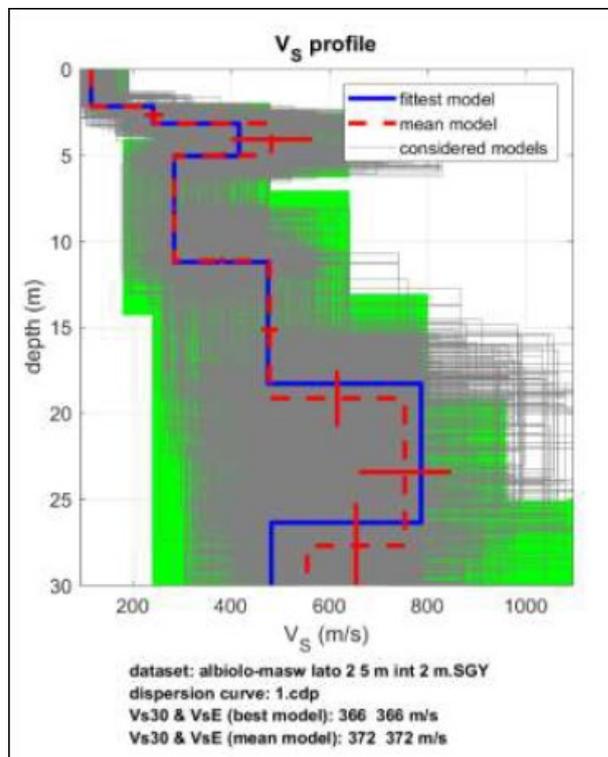
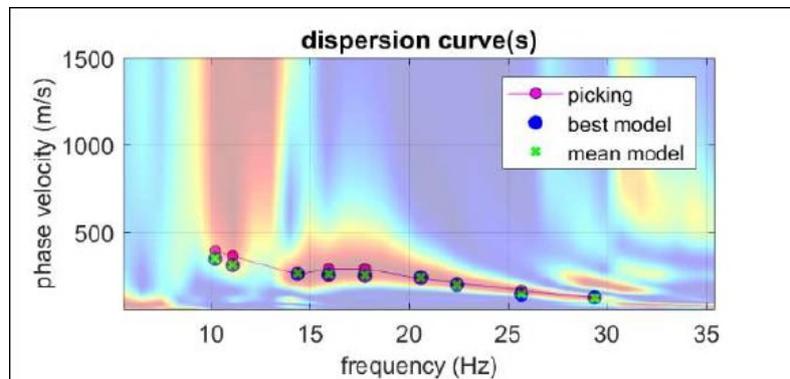


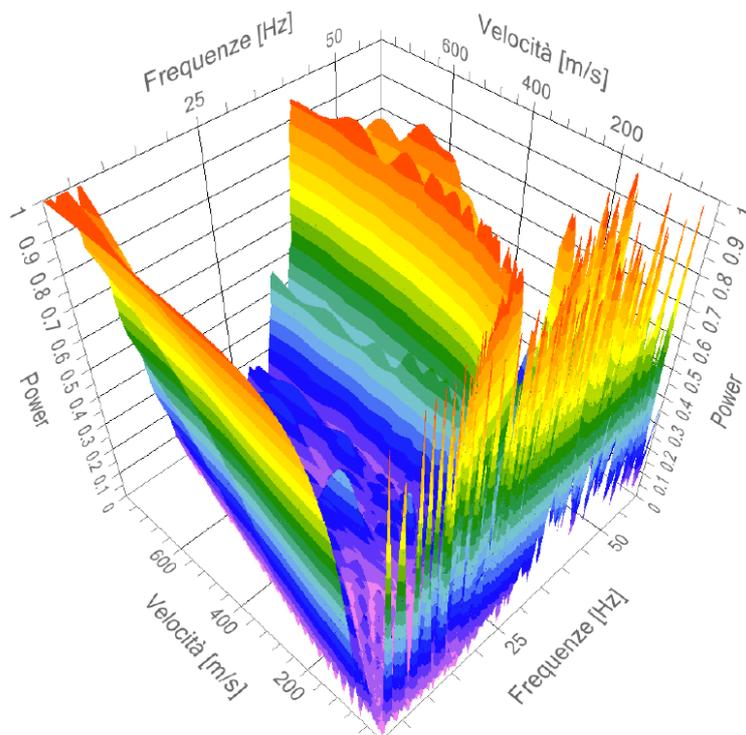
Tabella di calcolo Vs30

<i>Da</i> profondità	<i>A</i> profondità	<i>Vs</i>
0	2,2	115
2,2	3,2	241
3,2	5,1	416
5,1	11,3	284
11,3	18,4	475
18,4	26,5	787
26,5	30	482

Curva di dispersione e modello Vs del terreno  
(MASW 10 –Via Mazzini)

Nel sito in esame, l'analisi ha condotto ad un valore di Vs30 (profondità bedrock > 30 m) pari a **366 m/s**, corrispondente a **suoli di categoria B**.

MASW 23 –LARGO XX SETTEMBRE



**Spettro Velocità di fase-Frequenze (MASW 23 –Largo XX Settembre)**

L'inversione della curva di dispersione ha condotto ai seguenti risultati:

<b>Tabella di calcolo Vs30</b>		
<i>Da profondità</i>	<i>A profondità</i>	<i>Vs</i>
0	1,0	180
1,0	7,57	350
7,57	37,49	652
37,49	---	693

Nel sito in esame, l'analisi ha condotto ad un valore di Vs30 (profondità bedrock > 30 m) pari a **511 m/s**, corrispondente a **suoli di categoria B**.

### **7.3 Scenari di pericolosità sismica locale e possibili effetti indotti**

Come già accennato, l'esame della documentazione analitica di base (geologia, geomorfologia, tettonica, caratteri geologico – tecnici, etc.) e l'osservazione dettagliata dell'assetto topografico del territorio consente di individuare gli scenari di pericolosità sismica locale (PSL) descritti di seguito.

La distribuzione delle aree di pericolosità sismica locale individuate all'interno del territorio esaminato è mostrata nell'elaborato cartografico **Tavola 6**.

#### **Z2 – Zone con potenziali effetti di cedimento o liquefazione**

##### **Z2a – Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti**

All'interno di questa categoria ricadono le aree appartenenti all'ambito delle piane glaciolacustri nel settore orientale del territorio, a ridosso del confine comunale con Uggiate – Trevano e Faloppio.

Tali aree sono caratterizzate dalla presenza di depositi glaciolacustri costituiti da sabbie e limi con ghiaia in matrice limoso - argillosa e sabbie e ghiaie con alternanze argilloso - limose e/o lenti torbose nei primi 5-6 m, con presenza della falda a debole profondità e occasionalmente affiorante e locali fenomeni di ristagno delle acque superficiali

In tali condizioni potrebbero innescarsi fenomeni di addensamento in occasione dell'evento sismico atteso con conseguenti prevedibili fenomeni di cedimento differenziale, in funzione del loro grado di addensamento, e/o fenomeni di liquefazione.

#### **Z3 – Zone con potenziali effetti di amplificazione topografica**

Le aree potenzialmente interessate da fenomeni di amplificazione sismica in prossimità delle scarpate e delle creste sono state perimetrare in base ai parametri riportati nelle apposite schede di valutazione dell'All. 5 della D.G.R. n. IX/2616/11 (vedi profili topografici esemplificativi riportati in **Tavola 6**).

In particolare nella classe Z3 sono incluse:

- le zone di scarpata che orlano i terrazzi glaciali più evidenti;
- le zone di cresta che delineano i rilievi morenici del Roccolo.

##### **Z3a – Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)**

Sono considerate scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un pendio con inclinazione maggiore o pari a  $10^\circ$  e un dislivello minimo di 10 m;

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15 – 20 m;
- un fronte superiore con inclinazione ( $\beta$ ) inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale (per  $\beta > 1/5\alpha$  la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpata in contropendenza (per  $h > 1/3H$  la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

L'estensione dell'area di influenza delle linee di scarpata è determinabile in funzione dell'altezza della scarpata in accordo alle indicazioni dell'All. 5 alla D.G.R. n. IX/2616/11, basate su considerazioni relative alla modalità di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo, come riportato nella seguente tabella:

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$A_i = 2/3 H$

In tali zone, estese fino alla base del pendio sotteso al ciglio di scarpata, sono prevedibili effetti di amplificazione della sollecitazione sismica al suolo conseguenti a fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione tra l'onda incidente e l'onda diffratta.

#### Z3b – Zona di cresta e/o cucuzzolo

Sono state considerate creste solo quelle situazioni che presentano:

- un pendio con inclinazione maggiore o pari a  $10^\circ$ ;
- un dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo dal dislivello altimetrico massimo (H).

In tali zone, estese fino alla base del pendio sotteso alla linea di cresta, sono prevedibili effetti di amplificazione della sollecitazione sismica al suolo conseguenti a fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione tra l'onda incidente e l'onda diffratta.

#### Z4 – Zone con potenziali effetti di amplificazione litologica

Le aree potenzialmente interessate da fenomeni di amplificazione litologica sono localizzate in corrispondenza delle coperture superficiali quaternarie, caratterizzate da presenza di substrato roccioso a debole profondità.

Tale situazione litostratigrafica influenza l'amplificazione del moto sismico in superficie per effetti di risonanza, quando le frequenze del moto sismico sono prossime alle frequenze di risonanza dei sedimenti; e di "intrappolamento" delle onde sismiche

all'interno del deposito sedimentario, quando aumenta il contrasto di impedenza tra sedimenti e bedrock.

Z4a – Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

Fanno parte di questa zona le aree appartenenti all'ambito delle piane fluvio-glaciali, a morfologia subpianeggiante o dolcemente ondulata, caratterizzate dalla presenza di terreni prevalentemente granulari sabbioso - ghiaiosi, costituenti la porzione occidentale del territorio comunale, e parte delle aree appartenenti all'ambito delle piane glaciolacustri, a morfologia pianeggiante, caratterizzate dalla presenza di terreni granulari prevalentemente sabbioso - limosi con ghiaia e presenza occasionale di torba, nella porzione marginale, compresa tra i rilievi morenici e le zone maggiormente ribassate nella porzione orientale del territorio comunale.

Z4c – Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)

Fanno parte di questa zona le aree appartenenti all'ambito dei rilievi morenici, con blanda inclinazione, costituiti da terreni granulari prevalentemente ghiaioso - sabbiosi in matrice fine, dove si sviluppa la maggior parte del centro abitato di Albiolo.

Z5 – Zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

La zona Z5 è stata individuata unicamente in corrispondenza del contatto tra depositi antropici di riempimento della ex cava di Via Da Vinci e depositi quaternari naturali.

## **Allegato 1**

**Scheda per il censimento  
dei pozzi pubblici**  
(ripresa dalla componente geologica  
previgente – Lurati, 2007)

SCHEDA PER IL CENSIMENTO DEI POZZI

1 - DATI IDENTIFICATIVI

n° di riferimento e denominazione (1)	Amm.ne Comunale di Albiolo	
Località		
Comune	Albiolo	
Provincia	Como	
Sezione CTR	A4e5	
Coordinate chilometriche Gauss Boaga (da CTR)	Latitudine	5073470
	Longitudine	1496065
Quota (m s.l.m.)	390.8	
Profondità (m da p.c.)	82	

UBICAZIONE POZZO (STRALCIO CTR)



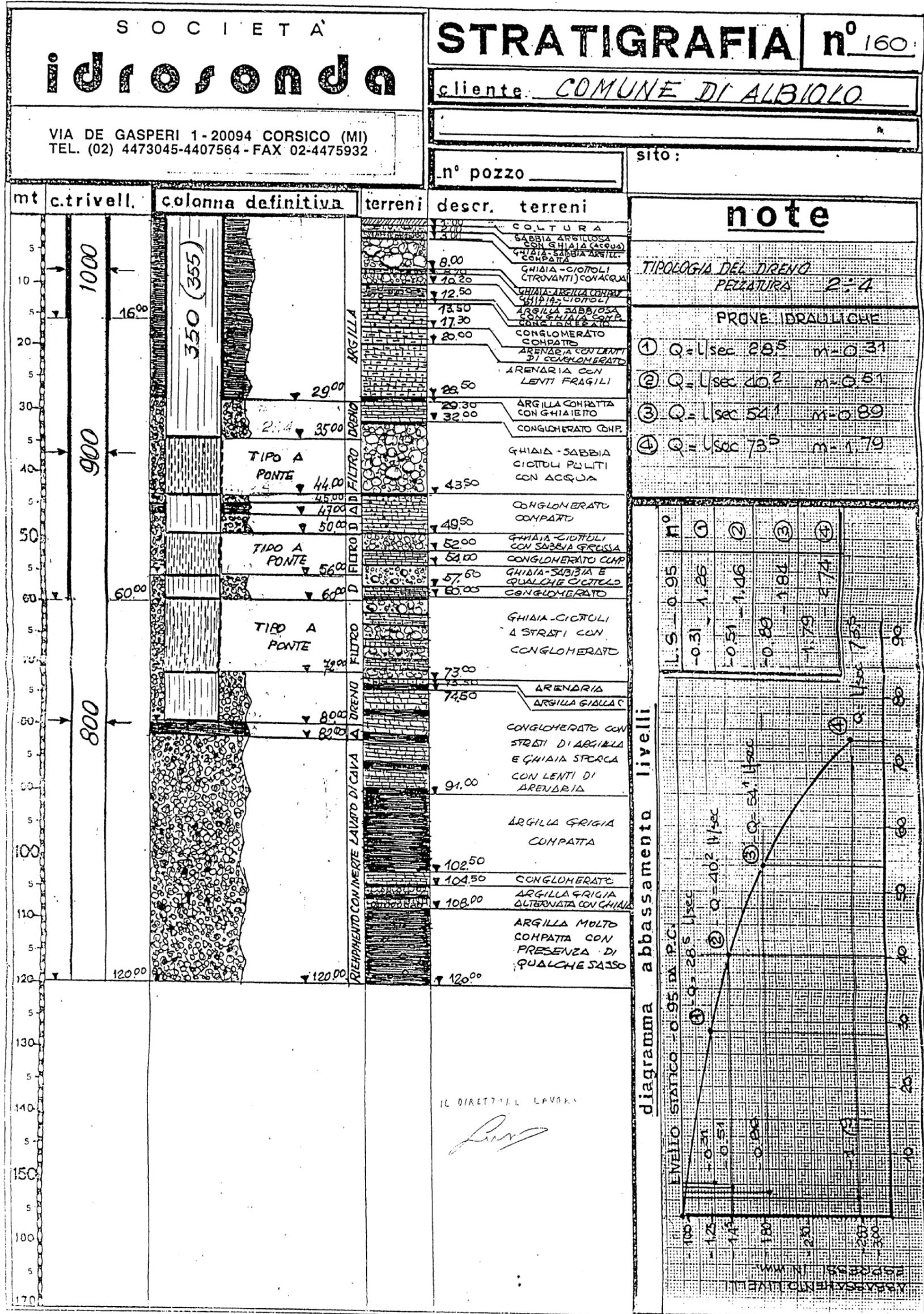
2 - DATI CARATTERISTICI DELL'OPERA

Proprietario	Comune di Albiolo
Ditta Esecutrice	Idrosonda
Anno	1994
Stato	
Attivo	X
Disuso (2)	
Cementato	
Altro	
Tipologia utilizzo (3)	Potabile
Portata estratta (mc/a e lt/sec)	40 - 50

SCHEMA DI COMPLETAMENTO

Tubazioni (4)						
Tubazione n.	Diametro mm	da m	a m	Filtri	da m	a m
1	355	0	35	Filtro a ponte	35	44
2	350	35	82	Filtro a ponte	50	56
3				Filtro a ponte	60	72
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Setti impermeabili (5)						
Tipo	Argilla	da m	0	a m	35	
	Argilla		45		47	
	Argilla		80		82	

**3 - STRATIGRAFIA**



**5 - SERIE STORICHE SOGGIACENZA E PARAMETRI IDROGEOLOGICI (6)**

Q=28.5 l/s    L.S. = -0.31m  
Q=40.2 l/s    L.S. = -0.51m  
Q=54.1 l/s    L.S. = -0.88m  
Q=73.5 l/s    L.S. = -1.79m

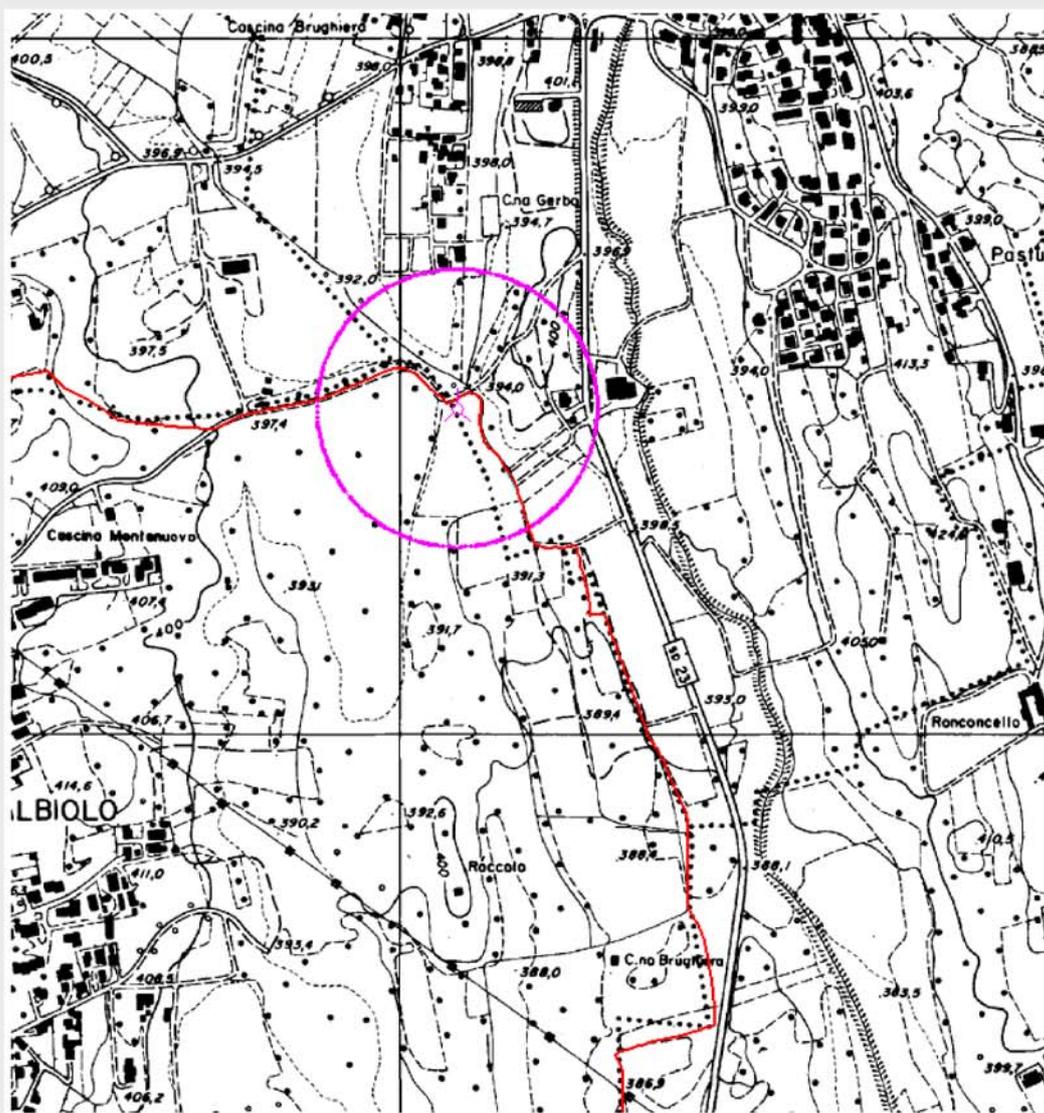
**6 - IDROCHIMICA (7)**

DATA	Ph	NH4 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CL- (mg/l)	SO4 (mg/l)	CR6+ ( $\mu$ /l)	Ca (mg/l)
31/12/01	7.9	N.R.	N.R.	22.3	5.2	12.6	N.R.	53.4

punto di prelievo: serbatoio aereo

## CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO)

geometrico	<b>X</b>	temporale		idrogeologico	
data del provvedimento di autorizzazione					



## NOTE ESPLICATIVE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

1. Nel caso all'opera sia già stata attribuito un codice, si chiede di riportarlo senza modificarlo, altrimenti si può procedere a assegnare una nuova numerazione
2. Disuso: si intende che il pozzo non è utilizzato, ma non è stato regolarmente sigillato
3. Potabile, Industriale, Agricolo, misto, altro
4. Indicare il numero delle tubazioni installate ed i rispettivi diametri
5. Indicare il tipo e la profondità dei setti impermeabili installati
6. Allegare tutti i dati disponibili relativi a prove di pompaggio e relativa interpretazione (con indicazione della portata critica), misurazioni dei livelli statici e dinamici (chiaramente datati), qualsiasi dato che aiuti a quantificare le caratteristiche degli acquiferi filtrati
7. Indicare (citandone le fonti) le caratteristiche idrochimiche degli acquiferi filtrati ed allegare i referti di analisi chimiche disponibili
8. Indicare accanto al tipo di metodo utilizzato per la delimitazione gli estremi dell'autorizzazione rilasciata dall'Ente competente (se presente)