

AUTOSTRADA (A1): MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

NEL TRATTO INCISA - VALDARNO

LOTTO 1

PROGETTO ESECUTIVO

AU - AUTOSTRADA A1

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDROLOGIA SOTTERANEA IN LOCALITA' BRUSCHETO

STUDIO APPROFONDIMENTO IDROGEOLOGICO SUL FOSSO CETINA
PRESCRIZIONE 7.2.a DEL DEC. VIA

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Dott. Giovanni Ricci
Ord. Geologi Piemonte N. 866

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paola Castiglioni
Ord. Ingg. Varese N. 2725

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Piero Bongio
Ord. Ingg. Sondrio N. A538

T.A. Geologia e geotecnica

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO

RIFERIMENTO DIRETTORIO

RIFERIMENTO ELABORATO

ORDINATORE

| Codice Commessa | Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto | Fase | Capitolo | Paragrafo | W B S | Parte d'opera | Tip. | Disciplina | Progressivo | Rev. | |
|-----------------|----------------------------------|------|----------|-----------|-------|---------------|------|------------|-------------|------|------------|
| 119941 | LL01 | PE | AU | IDR | IDS00 | 00000 | R | GEO | 7122 | -0 | SCALA - |

REVISIONE

| n. | data |
|----|--------------|
| 0 | GENNAIO 2023 |



PROJECT MANAGER:

Ing. Paola Castiglioni
Ord. Ingg. Varese N. 2725

SUPPORTO SPECIALISTICO:

REDATTO:

VERIFICATO:

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Antonio Raschilla

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti
DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE STRATEGICA, I SISTEMI STRUTTURALI,
DI TRASPORTO A RETE, INFORMATIVI E STATISTICI



Hydrodata S.p.A.
 Via Pomba, 23
 10123 Torino - Italy
 Tel. +39 11 55 92 811
 Fax +39 11 56 20 620
 e-mail: hydrodata@hydrodata.it
 sito web: www.hydrodata.it



**AUTOSTRADA A1 MILANO - NAPOLI
 AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA BARBERINO DI
 MUGELLO - INCISA VAL D'ARNO
 TRATTO: FIRENZE SUD – INCISA VAL D'ARNO,**

Studio di approfondimento idrogeologico sul fosso Cetina

CODICE DOCUMENTO

ELABORATO

3 7 4 1 - B 1 - 0 0 1 0 1 . D O C

| | | | | | |
|------|---------|-----------|-------------|----------------|-----------|
| 01 | GEN. 23 | F.GROSSO | E.CAVALLERO | F.GROSSO | |
| 00 | NOV. 22 | F.GROSSO | E.CAVALLERO | F.GROSSO | |
| REV. | DATA | REDAZIONE | VERIFICA | AUTORIZZAZIONE | MODIFICHE |

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. METODOLOGIA DI INDAGINE | 2 |
| 3. DEFINIZIONE ED ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO | 2 |
| 3.1 Dati pluviometrici | 2 |
| 3.2 Dati idrometrici e chimico fisici misurati in sito | 4 |
| 3.3 Analisi idrogeochimiche | 6 |
| 4. ANALISI DEI RISULTATI | 9 |
| 4.1 Fosso Cetina | 9 |
| 4.2 Pozzi e piezometri | 10 |
| 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E DEFINIZIONE PIANO DI MONITORAGGIO | 11 |

Allegato 1 – Documentazione fotografica

1. PREMESSA

Nell'ambito delle verifiche di ottemperanza alle prescrizioni del Decreto VIA n.143/2017 per la Tratta Incisa Valdarno, sono stati richiesti approfondimenti in relazione a modalità operative a tutela della risorsa idrica; in particolare, è stato fatto riferimento alle possibili interferenze dello scavo della galleria Variante San Donato con i deflussi del fosso di Cetina e con le captazioni considerate più a rischio.

Il presente documento riguarda lo studio di approfondimento idrogeologico eseguito nell'area del fosso Cetina, dove le indagini sono state finalizzate, in primo luogo, a verificare possibili correlazioni tra deflusso di base del fosso ed alimentazione da acquiferi. In una fase successiva è stato definito un piano indagini e di monitoraggio specifico per l'individuazione e la valutazione di eventuali effetti di interferenza tra lo stesso deflusso di base e la realizzazione della galleria in fase di corso d'opera e post operam.

2. METODOLOGIA DI INDAGINE

Tutte le indagini sono state eseguite in periodo di magra al fine di poter individuare, al netto degli apporti originati dal ruscellamento superficiale, eventuali alimentazioni del fosso da parte di acque di falda potenzialmente a rischio di interferenza con lo scavo della galleria.

Tra il 21-22/09/2022 è stata, pertanto, eseguita una ricognizione di dettaglio dell'alveo del fosso Cetina per un tratto di circa 1700 m, compreso tra la confluenza nel fiume Arno e località Gambassi presso cui il borro Capraia confluisce nel Cetina.

Il rilievo è consistito nella verifica di tutti gli eventuali contributi al fosso in destra e sinistra orografica; lungo il tratto di alveo indagato sono stati misurati i principali parametri chimico – fisici delle acque (temperatura, pH, conducibilità elettrica ed ossigeno disciolto) al fine di individuare eventuali variazioni del chimismo attribuibili a contributi occulti di acque di falda. Quando è stato possibile sono stati quantificati i deflussi eseguendo misure con tecniche volumetriche o correntometriche; in base alle variazioni osservate dei parametri chimico fisici sono stati prelevati dei campioni per eseguire specifiche analisi di laboratorio di caratterizzazione idrogeochimica.

Le acque afferenti ad opere di captazione oppure a piezometri ubicati nelle immediate vicinanze del fosso sono state caratterizzate in modo analogo, effettuando misurazioni idrometriche, determinazioni in sito dei parametri chimico fisici e prelievi di campioni per successive analisi di caratterizzazione idrogeochimica.

Le determinazioni sono state anche eseguite sulle acque del Pozzo 1 e dei piezometri adiacenti, situati in asse galleria nel punto caratterizzato da maggior spessore in calotta. Tali acque molto probabilmente interferiranno con le operazioni di scavo; pertanto, si è ritenuto opportuno verificare eventuali analogie con i deflussi riscontrati in alveo e nelle captazioni limitrofe per verificare eventuali possibilità di connessione tra gli acquiferi indagati.

3. DEFINIZIONE ED ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO

3.1 Dati pluviometrici

Le indagini in sito sono state svolte contestualmente ad un marcato periodo di magra, come evidenziato dall'analisi delle precipitazioni registrate dalla stazione pluviometrica di Incisa Valle (TOS01004591 – Figline e Incisa Valdarno a quota 108 m s.l.m.) in capo al Centro Funzionale della Regione Toscana.

Nella Figura 1 sono riportati i dati di precipitazione totale annuale riferiti al periodo 2001 – 2021. La linea rossa è relativa al dato medio di 832 mm calcolato sulla serie 2001 – 2021, mentre il dato di 395 mm si riferisce agli apporti cumulati nel 2022 fino al momento del sopralluogo del 21 - 22 settembre.

Nella Figura 2 viene rappresentato in istogramma l'andamento delle precipitazioni nei mesi immediatamente precedenti le indagini. Si osserva come gli apporti complessivi siano scarsi con l'eccezione dell'evento estivo del 19/08/2022, probabilmente a carattere temporalesco, durante il quale sono caduti 70.4 mm; nel corso di tale evento le condizioni di terreno molto secco ed asciutto non hanno certamente agevolato l'infiltrazione ed anche solo una parziale ricarica degli acquiferi. Nella stessa figura è anche riportata una tabella relativa ai dati numerici delle precipitazioni totali mensili nel periodo 1 gennaio – 22 settembre 2022.

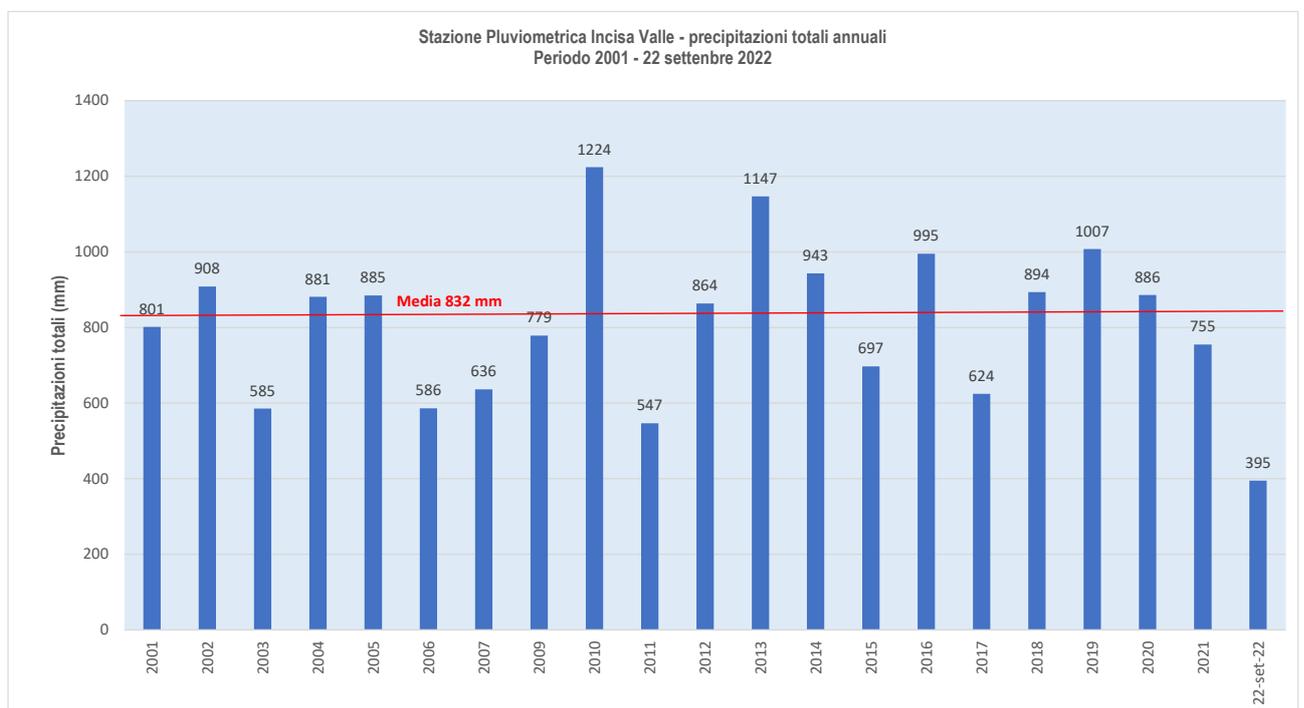


Figura 1 – Stazione pluviometrica di Incisa Valle. Istogramma dei dati di precipitazione totale annua relativi al periodo 2001 – 2021 e al totale, per il 2022, fino al 22 settembre.

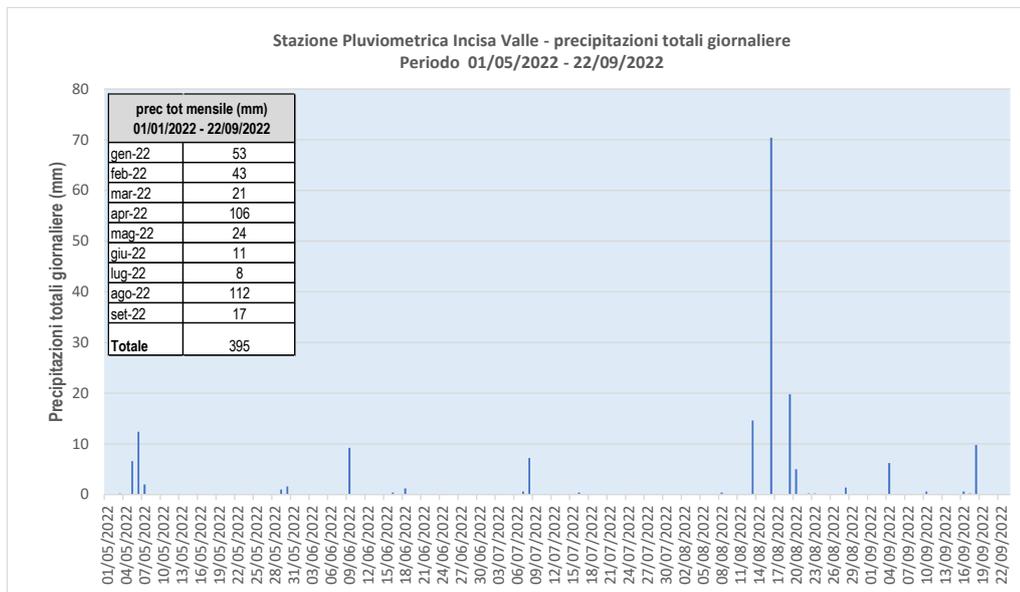


Figura 2 – Precipitazioni totali giornaliere periodo 01/05/2022 – 22/09/2022.

3.2 Dati idrometrici e chimico fisici misurati in sito

Nella Figura 3 viene riportato il tratto indagato del fosso Cetina e l'ubicazione di pozzi e piezometri che sono stati oggetto di indagine specifica.

Nella Tabella 1 sono riportati i dati identificativi e geometrici, oltre ai risultati delle misure idrometriche e delle determinazioni dei parametri chimico fisici eseguite su pozzi privati e sui piezometri in asse al tracciato in progetto. I dati sono stati integrati con misurazioni pregresse eseguite contestualmente alle attività di progettazione e, per alcune captazioni, con i dati del Monitoraggio Ambientale attualmente in corso.

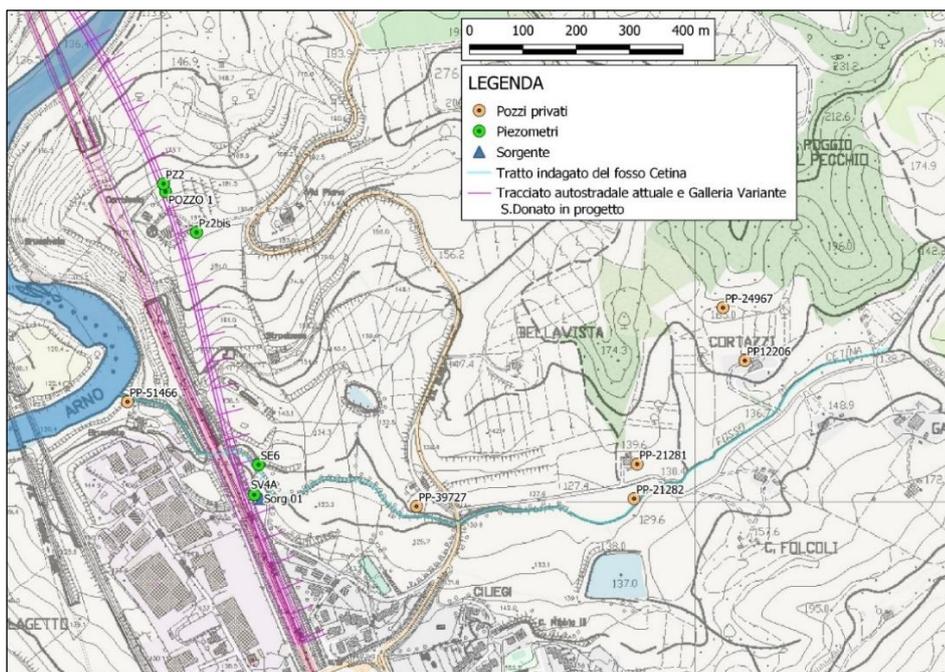


Figura 3 – Tratto indagato del fosso Cetina in relazione all'ubicazione di pozzi e piezometri limitrofi.

| Codice | profondità da p.c. (m) | Quota (m s.l.m.) | diametro (m) | filtri sup (m) | filtri inf (m) | q. sup filtri (m s.l.m.) | q. inf filtri (m s.l.m.) | Data | Soggiacenza da p.c. Casagrande (m) | Soggiacenza da p.c. (m) | temp. (°C) | Cond. el (uS/cm) | pH (unità pH) | Oxi % | Oxi mg/l | NOTE | |
|----------|------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------|------------|------------------|---------------|-------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|
| PP-51466 | 10.5 | 116 | 1.5 | 1 | 10 | 115 | 106 | 07/06/2018 | 4.7 | | | | | | | livello statico - pozzo non utilizzato | |
| | | | | | | | | 22/06/2018 | 4.7 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 14/02/2019 | 4.65 | | | | | | | | |
| PP-39727 | 4.5 | 125 | 1.5 | 1 | 4.5 | 124 | 120.5 | 18/04/2019 | 4.63 | | 16.4 | 828 | 7.8 | 7.4 | 7.02 | livello statico a p.c. con fuoriuscita da testa pozzo che confluiva nel fosso di Cetina | |
| | | | | | | | | 22/09/2022 | 4.9 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 07/06/2018 | 0 | | | | | | | | |
| PP-21281 | | | | | | | | 22/06/2018 | 0.45 | | | | | | | asciutto | |
| | | | | | | | | 14/02/2019 | 0 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 18/04/2019 | 0 | | | | | | | | |
| PP-21282 | 5 | 130 | 0.5 | 1 | 5 | 129 | 125 | 07/06/2018 | 1 | | | | | | | livello parzialmente dinamico risente di prelievi. | |
| | | | | | | | | 14/02/2019 | 0.8 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 18/04/2019 | 0.97 | | | | | | | | |
| PP12206 | 7 | 153 | 1.3 | 1 | 7 | 152 | 146 | 07/06/2018 | 3 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 22/06/2018 | 3.04 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 14/02/2019 | 3.1 | | | | | | | | |
| PP-24967 | 45 | 168 | 0.2 | ND | ND | ND | ND | 18/04/2019 | 20.83 | | | | | | | livello dinamico | |
| | | | | | | | | 21/02/2022 | 21 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 23/03/2022 | 21.7 | | | | | | | | |
| SE6 | 25 | 122.25 | 0.1 | 3 | 15 | 119 | 107 | 07/06/2018 | 20.6 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 26/06/2018 | 21 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 18/04/2019 | 4.23 | | | | | | | | |
| SV4A | 35 | 126.86 | 0.1 | 3 | 35 | 123.86 | 91.86 | 03/10/2022 | 4.4 | | 17.5 | 1163 | 7.32 | | | | |
| | | | | | | | | 14/04/2011 | 9.83 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 16/05/2011 | 9.88 | | | | | | | | |
| Pozzo 1 | 75 | 187.63 | 0.2 | 40 | 75 | 147.63 | 112.63 | 23/06/2011 | 9.9 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 18/04/2012 | 9.06 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 23/05/2012 | 8.9 | | | | | | | | |
| P22 | 75 | 185.1 | | | | | | 26/06/2012 | 9.23 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 31/07/2012 | 9.4 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 21/09/2012 | 9.27 | | | | | | | | |
| P22_bis | 60 | 192 | 0.1 | | | | | 30/10/2012 | 6.85 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 10/02/2018 | 9.66 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 25/06/2018 | 9.36 | | | | | | | | |
| Sorg 01 | 4.5 | 128 | 1 | ND | ND | ND | ND | 18/04/2019 | 10.15 | | | | | | | Acque di origine sorgiva captate da pozzo e rilasciate nell'alveo del fosso Cetina | |
| | | | | | | | | 22/09/2022 | 11.1 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 03/10/2022 | 10.98 | | | | | | | | |

Tabella 1 – Dati idrometrici e parametri chimico fisici misurati sul sito su captazioni da pozzo e piezometri in area fosso Cetina.

Nella Tabella 2 sono riportati i dati misurati in corrispondenza del tratto del fosso Cetina in cui è stata rilevata la presenza di deflussi, oltre ai parametri misurati in corrispondenza della sponda destra dell'Arno a monte della confluenza del Cetina. Nella Figura 4 è visualizzato il tratto ispezionato con l'indicazione di dove sono stati riscontrati i deflussi e dove, invece, l'alveo è risultato completamente asciutto. La progressiva di identificazione dei punti di misura sul fosso Cetina è stata riferita a partire dalla confluenza nel fiume Arno.

| Corso d'acqua | Data | Codice | Portata (l/s) | temp. (°C) | Cond el (uS/cm) | pH (unità pH) | Oxi (%) | Oxi (mg/l) |
|---------------|------------|---------------------------------------|---------------|------------|-----------------|---------------|---------|------------|
| Fosso Cetina | 22/09/2022 | km 0+020 | | 16.8 | 1407 | | | |
| | | km 0+042 | | 15.3 | 1437 | | | |
| | | km 0+063 | 0.1 | 15.8 | 1430 | | | |
| | | km 0+072 | | 15.4 | 1436 | | | |
| | | km 0+124 | | 15 | 1459 | | | |
| | | km 0+163 | 0.2 | 14.3 | 1687 | 8.26 | 93 | 9.5 |
| | | km 0+240 | | 15.2 | 1738 | | | |
| | | km 0+290 | | 17.4 | 1769 | | | |
| | | km 0+320 | 0.3 | 20.3 | 1863 | 7.63 | 98 | 8 |
| | | km 0+330 - 1+700 | 0 | | | | | |
| Fiume Arno | 22/09/2022 | sponda destra monte confluenza Cetina | | 19.1 | 627 | 8.07 | 73 | 6.75 |

Tabella 2 – Dati idrometrici e parametri chimico fisici misurati in sito in corrispondenza del fosso Cetina e del fiume Arno. Il tratto con campitura colorata evidenzia l'assenza di qualsiasi deflusso tra progressiva 0+330 e 1+700.

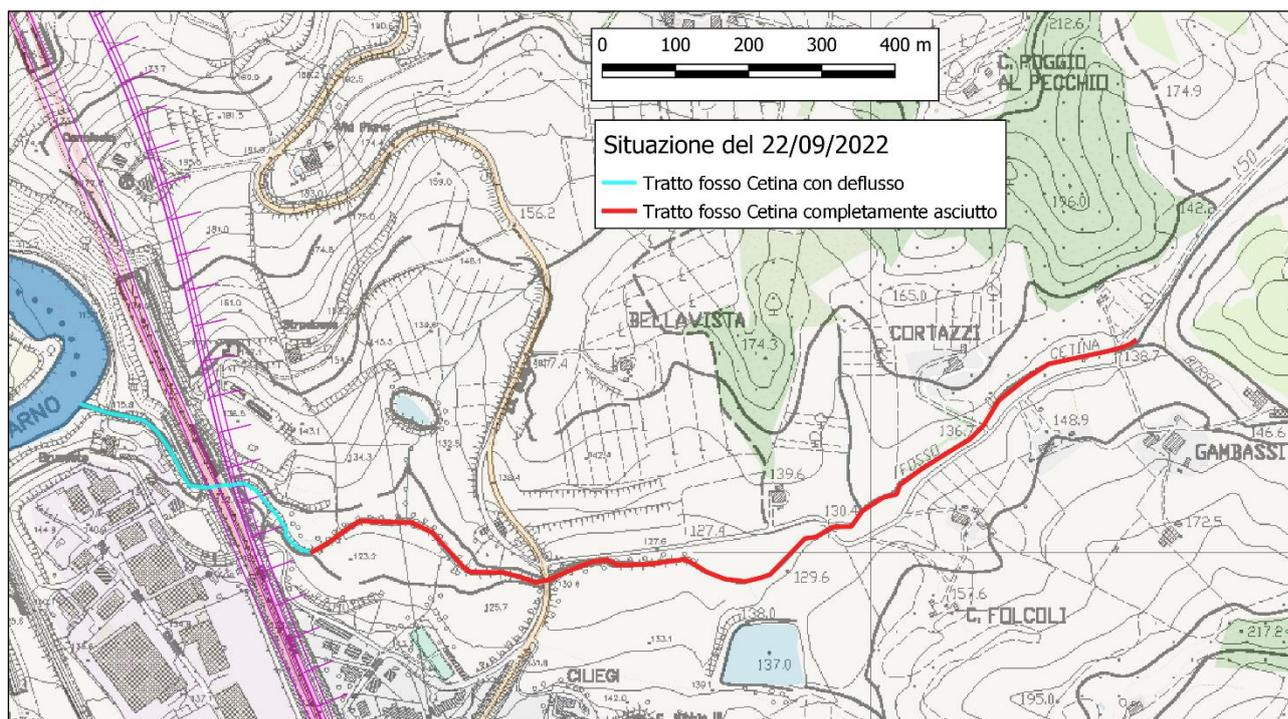


Figura 4 – Tratto del fosso Cetina esaminato con indicazione della presenza o meno di deflusso in alveo.

3.3 Analisi idrogeochimiche

L'esecuzione di analisi del chimismo delle acque sotterranee e di quelle del fosso Cetina ha avuto la finalità di integrare le osservazioni e le misurazioni eseguite in sito al fine di individuare eventuali relazioni tra le acque del fosso e gli acquiferi adiacenti.

Il “set” di parametri per la caratterizzazione idrochimica delle acque analizzate ha compreso anioni e cationi principali con l’aggiunta di alcuni più specifici (Li e Br) che possono individuare eventuali circuiti idrici più profondi e molto mineralizzati.

Nella **Tabella 3** vengono elencati i parametri di misura, le metodiche analitiche utilizzate ed i limiti di rilevabilità. Nella **Tabella 4** sono riportati i risultati analitici.

| Parametro | unità di misura | Trattamento campione | Metodologia analitica | limiti di rilevabilità |
|----------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Fluoruri (F-) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.01 mg/l |
| Cloruri (Cl-) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.01 mg/l |
| Bromuri (Br-) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.05 mg/l |
| Nitrati (NO ₃ -) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.01 mg/l |
| Nitriti (NO ₂ -) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.05 mg/l |
| Solfati (SO ₄ 2-) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo. | <0.01 mg/l |
| Litio (Li+) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.05 mg/l |
| Sodio (Na+) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.01 mg/l |
| Potassio (K+) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.01 mg/l |
| Ammoniaca (NH ₄ + | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.01 mg/l |
| Calcio (Ca ²⁺) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.01 mg/l |
| Magnesio (Mg ²⁺) | mg/l | Filtrazione a 0,2 mm | Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica. | <0.01 mg/l |
| Carbonati (CO ₃ 2-) | mg/l | - | Titolazione volumetrica. | <0.05 mg/l |
| Bicarbonati (HCO ₃ -) | mg/l | - | Titolazione volumetrica. | <0.05 mg/l |

Tabella 3 – Parametri di misura, metodica analitica e limiti di rilevabilità.

| DENOMINAZIONE | CODICE STAZIONE | DATA | pH | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l | Li ⁺ mg/l | NH ₄ ⁺ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₂ ⁻ mg/l | F ⁻ mg/l | Br ⁻ mg/l | HCO ₃ ⁻ mg/l | CO ₃ ²⁻ mg/l | SO ₄ ²⁻ mg/l | NO ₃ ⁻ mg/l | Bilancio ionico (% errore) |
|------------------------|-----------------|------------|------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Pozzo | PP39727 | 22/09/2022 | 7.35 | 56.4 | 11.2 | 115 | 28.5 | <0.05 | 0.82 | 84 | <0.05 | 0.40 | <0.05 | 421 | <0.05 | 50 | 24.8 | 0.65 |
| Pozzo | PP21282 | 22/09/2022 | 6.86 | 51.5 | 2.40 | 161 | 28 | <0.05 | 0.81 | 66 | <0.05 | 0.33 | 0.10 | 554 | <0.05 | 40 | 3.20 | 3.44 |
| Pozzo in asse galleria | Pozzo 1 | 22/09/2022 | 6.94 | 73.5 | 4.10 | 148 | 28.6 | <0.05 | 1.08 | 116 | <0.05 | 0.20 | <0.05 | 413 | <0.05 | 119 | 0.20 | 2.26 |
| Fosso Cetina | progr. 0+163 | 22/09/2022 | 7.96 | 187 | 2.00 | 120 | 38 | <0.05 | 0.73 | 320 | <0.05 | 0.36 | <0.05 | 340 | <0.05 | 64 | 23.0 | 3.29 |
| Fosso Cetina | progr. 0+320 | 22/09/2022 | 7.44 | 201 | 1.70 | 141 | 41 | <0.05 | 0.35 | 360 | <0.05 | 0.50 | <0.05 | 378 | <0.05 | 72 | 23.0 | 2.50 |

Tabella 4 - Quadro di riepilogo delle analisi chimiche.

Nella **Figura 5** i risultati analitici vengono rappresentati su un diagramma di Piper. Le acque relative ai pozzi esaminati sono di tipo bicarbonato – alcalino – terrose ed in particolare si tratta di acque bicarbonato calciche. Le acque prelevate nel fosso Cetina tendono ad appartenere ad una facies cloruro alcalina con una predominanza dello ione cloruro. Nella **Figura 6** è riportata una rappresentazione dei dati mediante diagramma di Schoeller, in cui le acque del fosso Cetina si distinguono nettamente per quanto riguarda il contenuto in sodio e cloruri.

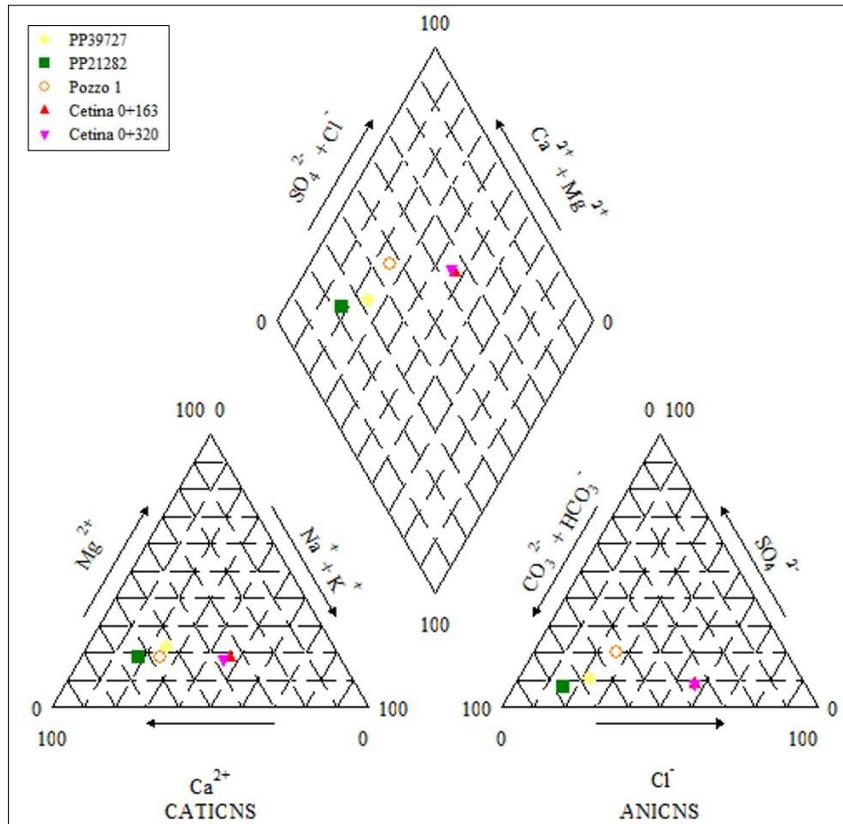


Figura 5 - Diagramma di Piper relativo alle analisi eseguite. (Winston, R.B., 2020, GW_Chart version 1.30 : U.S. Geological Survey Software Release, 26 June 2020).

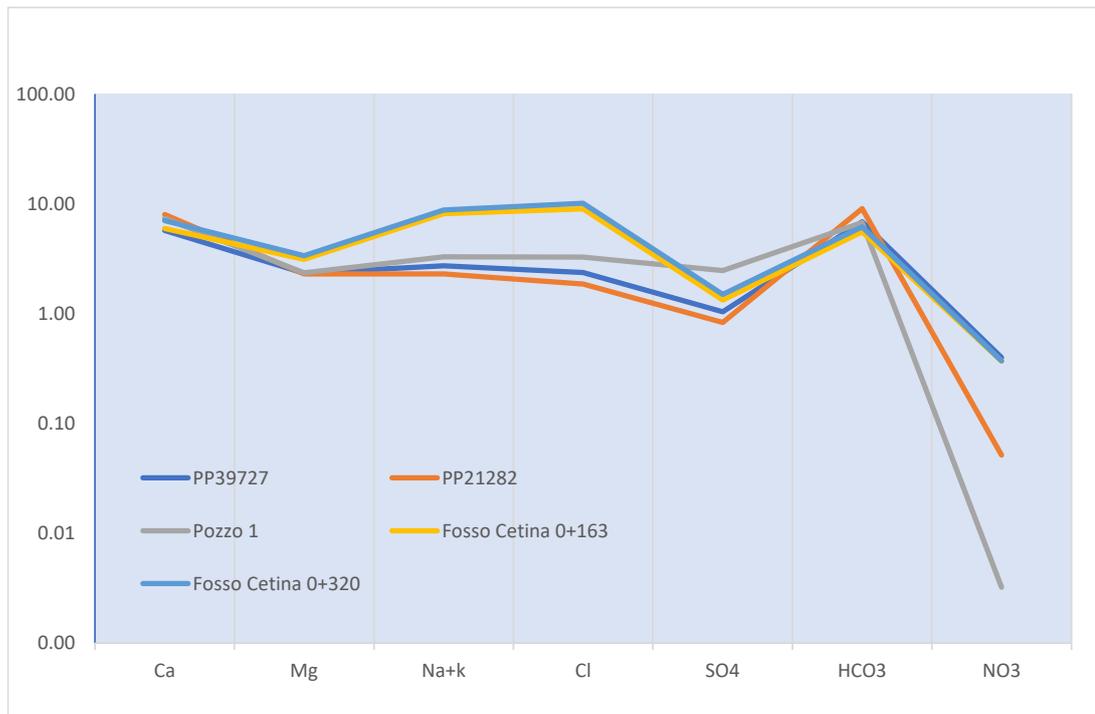


Figura 6 – Diagramma di Schoeller.

4. ANALISI DEI RISULTATI

4.1 Fosso Cetina

Nella zona di confluenza del Cetina nell'Arno (Figura 8 in Allegato 1) si è potuto osservare, nel corso del sopralluogo del 22/09/2022, la netta distinzione tra le acque di pertinenza fluviale (conducibilità elettrica 627 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e quelle del fosso (conducibilità elettrica 1407 $\mu\text{S}/\text{cm}$); quest'ultimo viene interessato dalle acque dell'Arno solamente in un breve tratto prossimo alla confluenza; infatti, già in corrispondenza dell'attraversamento di via di Bruschetto, a circa 35 m dalla confluenza, i deflussi del fosso scorrono su roccia, senza alcun rigurgito idraulico da parte del fiume, ad una quota sensibilmente maggiore di quella del livello idrometrico dell'Arno e non hanno, quindi, alcuna relazione con quelle del recettore.

A partire dalla confluenza con l'Arno per circa 300 m il fosso Cetina è risultato caratterizzato da deflussi di entità molto modesta (da Figura 9 a Figura 18), con portate comprese tra 0.1 l/s (misura eseguita a progr km 0+063) e 0.3 l/s (misura a progr 0+320 a monte dell'attraversamento dell'attuale tracciato autostradale). Le caratteristiche chimico fisiche delle acque hanno evidenziato un elevato grado di mineralizzazione sottolineato da valori di conducibilità elettrica compresi tra 1400 e 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tendenti a diminuire lievemente da monte verso valle. Tale diminuzione può essere correlabile al contatto con i depositi di fondo alveo. La scarsissima quantità dei deflussi e la loro diminuzione verso valle confermano l'assenza di apporti idrici nascosti nel tratto esaminato.

Circa 70 m a monte dell'attuale attraversamento autostradale, a 320 m dalla confluenza dall'Arno, si è constatato che l'apporto idrico al fosso non avviene per drenaggio entro l'incisione morfologica, ma deriva dallo scarico di troppo pieno di un manufatto ubicato in sinistra al fosso, lungo la via Bruschetto (da Figura 20 a Figura 23). Tale manufatto costituisce verosimilmente il bottino di presa di un pozzo-sorgente il cui troppo pieno sottopassa la via Bruschetto e scarica nel fosso Cetina. Nel periodo di magra tale apporto rappresenta l'unico deflusso del fosso, altrimenti completamente asciutto, come riscontrato in tutto il tratto esaminato più a monte fino alla progressiva 1+700 (Figura 19 e da Figura 25 a Figura 28).

All'interno del manufatto è presente un impianto di pompaggio aspirante e tubazioni passanti e di scarico. Il punto di risorgiva, indicato nella cartografia della Figura 3 con il codice Sorg 01, avviene a circa 2 m di profondità dal piano campagna ad una quota di circa 126 m s.l.m.. Tale quota risulta più bassa di quella di scavo della base galleria, pertanto, si escludono possibilità di interferenza con lo scavo della stessa. Inoltre, la captazione drena verosimilmente acque che circolano entro il versante in sinistra al fosso Cetina e che provengono, quindi, da direzione differente a quella interessabile dalle opere sotterranee in progetto.

Le analisi chimiche eseguite in due differenti punti del tratto esaminato sono risultate identiche tra loro; si tratta di acque con elevate concentrazioni di cloruri e di sodio, caratteristiche di circuiti idrici con grado di mineralizzazione piuttosto elevato e riferibili a circolazione relativamente profonda che risultano differenti rispetto alla composizione delle acque esaminate sui pozzi prossimi al fosso e sui piezometri in asse alla galleria più caratteristiche di circuiti a scarsa o media profondità.

4.2 Pozzi e piezometri

Le acque del pozzo PP-51466 (Figura 29) sono circa alla stessa quota del fosso e del fiume Arno, il dato misurato di conducibilità elettrica evidenzia una similitudine delle acque con quelle fluviali piuttosto che con quelle del fosso.

Sulla sponda destra del fosso circa 60 m a monte dell'attuale attraversamento autostradale è presente il piezometro SE6 costituito da un tubo aperto profondo 25 m e finestrato tra 3 e 15 m di profondità, oltre che da una cella di Casagrande a profondità di 25 m. Il livello di falda di SE6 sul tubo aperto misurato il 03/10/2022 non è risultato collegato all'alveo in quanto più basso di circa 75 cm; inoltre, si è osservato che le acque del piezometro sono di altra origine rispetto a quelle osservate in alveo in quanto presentano un differente grado di misuralizzazione (1163 $\mu\text{S}/\text{cm}$). E, comunque, possibile che, in condizioni di ricarica, tale differenza si attenui e vi sia un collegamento tra acque di falda ed il fosso.

In adiacenza a SE6 ma sulla sponda opposta del Cetina, in sinistra orografica, è attivo il piezometro SV4A che intercetta acque sensibilmente differenti per quanto riguarda il dato di conducibilità elettrica (1427 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ed a profondità maggiori di alcuni m rispetto al fondo alveo del fosso. Tali acque potrebbero essere più simili a quella di Sorg 01.

Più a monte particolare attenzione è stata dedicata al Pozzo privato PP-39727 (Figura 30), situato in destra al Cetina a circa 700 m dalla confluenza in Arno. Il livello di falda osservato il 22/09/2022 (2.45 m da piano campagna) è superiore alla quota di fondo alveo; il tratto del fosso adiacente è, tuttavia, risultato completamente asciutto e non si sono osservate neanche evidenze di umidità sul fondo alveo che possano essere riconducibili ad un affioramento nel fosso della falda intrecettata dal pozzo. Al contrario, nell'ambito di misurazioni pregresse, si è osservato che, in condizioni di ricarica, la falda risale al livello del piano campagna fino a fuoriuscire dalla testa pozzo per defluire verso il corso d'acqua.

Ancora più a monte, a circa 1150 m dalla confluenza, è stato indagato il pozzo PP-21282 (Figura 31); si tratta di una captazione utilizzata con continuità dall'abitazione adiacente che gestisce una attività ricettiva per turisti. Il livello dinamico di falda è risultato più basso del fondo alveo di alcuni m e l'alveo nel tratto adiacente risulta completamente asciutto; tuttavia, in fase di ricarica è verosimile che possa essere in condizioni di equilibrio con le acque del fosso. Nella stessa abitazione esiste anche un altro pozzo superficiale PP-21281 che è risultato completamente asciutto e si ricarica solo stagionalmente.

Sul versante in destra al fosso Cetina sono stati anche indagati i pozzi privati PP12206 e PP-24967. Il primo è una captazione superficiale che intercetta la circolazione corticale di versante, l'altro un pozzo relativamente più profondo; entrambe le captazioni anche sulla base delle indicazioni derivanti dalle misure di conducibilità elettrica effettuate sono rappresentative di circolazione prevalentemente corticale di versante non collegata ai deflussi del fosso.

Le indagini sui pozzi e piezometri hanno compreso anche il Pozzo 1 e il piezometro Pz2bis (Figura 32 e Figura 33) in asse alla galleria in corrispondenza del punto di maggior spessore in calotta. Le misure di conducibilità elettrica evidenziano valori confrontabili alle captazioni da pozzo PP-39727 e PP-21282 ed al piezometro SE6 tutti ubicati sul versante destro del Cetina.

Le analisi eseguite sui campioni di acqua prelevata evidenziano una sostanziale uniformità di caratteristiche idrogeochimiche per i pozzi privati PP-39727, PP-21282 e per il Pozzo 1 tutti caratterizzati da acque bicarbonato

calciche, anche se Pozzo 1 evidenzia un grado di mineralizzazione lievemente superiore in relazione a circuiti presumibilmente appena più profondi. Il chimismo bicarbonato calcico riscontrato sulle captazioni relative al versante destro del Cetina è, quindi, sostanzialmente differente dalle analisi effettuate sul fondo alveo del Cetina interessato esclusivamente dalle acque di provenienza di Sorg 01; queste sono, infatti, caratterizzate dalla presenza di acque clorate di origine più profonda o comunque sostanzialmente differente dalla circolazione che avviene nell'area interessata dalla galleria Bruschetto.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E DEFINIZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

Le indagini sono state eseguite tra la seconda metà di settembre e la prima settimana di ottobre, in condizioni di esaurimento degli acquiferi, per individuare eventuali contributi di falda altrimenti non identificabili in altri periodi dell'anno per la presenza di deflussi di origine prettamente superficiale.

Nel corso delle indagini il fosso è risultato completamente asciutto ad eccezione del tratto, esteso per una lunghezza di circa 320 m, compreso tra confluenza in Arno e la zona poco a monte dell'attuale attraversamento autostradale. La presenza dei deflussi in questo settore non è dovuta a contributi in corrispondenza dell'alveo, ma unicamente alla presenza di uno scarico da un'opera di presa tipo pozzo che capta una risorgiva a pochi m di profondità dal piano campagna sul versante in sinistra al fosso.

Le acque di tale sorgente vengono utilizzate per scopi irrigui, esiste, tuttavia, un certo esubero che confluisce direttamente nel Cetina.

In relazione alla realizzazione della galleria Bruschetto occorre osservare che la quota di emergenza delle acque risulta più bassa di diversi m rispetto alla quota base di scavo; inoltre, la presumibile area di alimentazione della captazione interessa il versante in sinistra al Cetina, ovvero una zona di alimentazione degli acquiferi distinta dal settore di versante che potrà essere interessato dalle attività di scavo della galleria. In sostanza, quindi, la sorgente ed il relativo contributo idrico verso il fosso Cetina non potranno risentire di eventuali condizionamenti derivanti dalle attività di cantiere.

Sulla base di quanto osservato in condizioni di magra il contributo dalla falda di versante in destra al fosso verso il Cetina è nullo; sulla base di alcuni dati di osservazione la situazione può variare leggermente in condizioni di ricarica degli acquiferi, quando potrebbe verificarsi un minimo contributo verso l'incisione. Il rischio di interferenza tra le captazioni che sfruttano gli acquiferi in destra Cetina e la galleria risulta molto basso, in considerazione del fatto che vengono sfruttati acquiferi situati a quote inferiori e decentrati rispetto al piano di scavo. Un programma di monitoraggio può tuttavia essere rivolto a verificare le dinamiche in relazione alle variazioni del regime idrologico con particolare attenzione a individuare eventuali variazioni imputabili a interferenza degli acquiferi con le operazioni di scavo delle opere in progetto.

Nella Figura 7 viene riportata l'ubicazione dei punti della rete di controllo degli acquiferi. La Tabella 5 contiene l'elenco dei punti individuati, la relativa frequenza di misura, oltre alla tipologia dei rilievi da eseguire. I controlli dovranno prevedere un periodo di ante operam (per esempio un semestre) e proseguiranno per il periodo delle lavorazioni di scavo della galleria.

L'esecuzione di misure in sinistra rispetto al fosso sul piezometro esistente SV4A e sulla Sorg.01 hanno lo scopo di completare la definizione delle relazioni tra acquiferi e lo stesso corso d'acqua in differenti condizioni idrologiche.

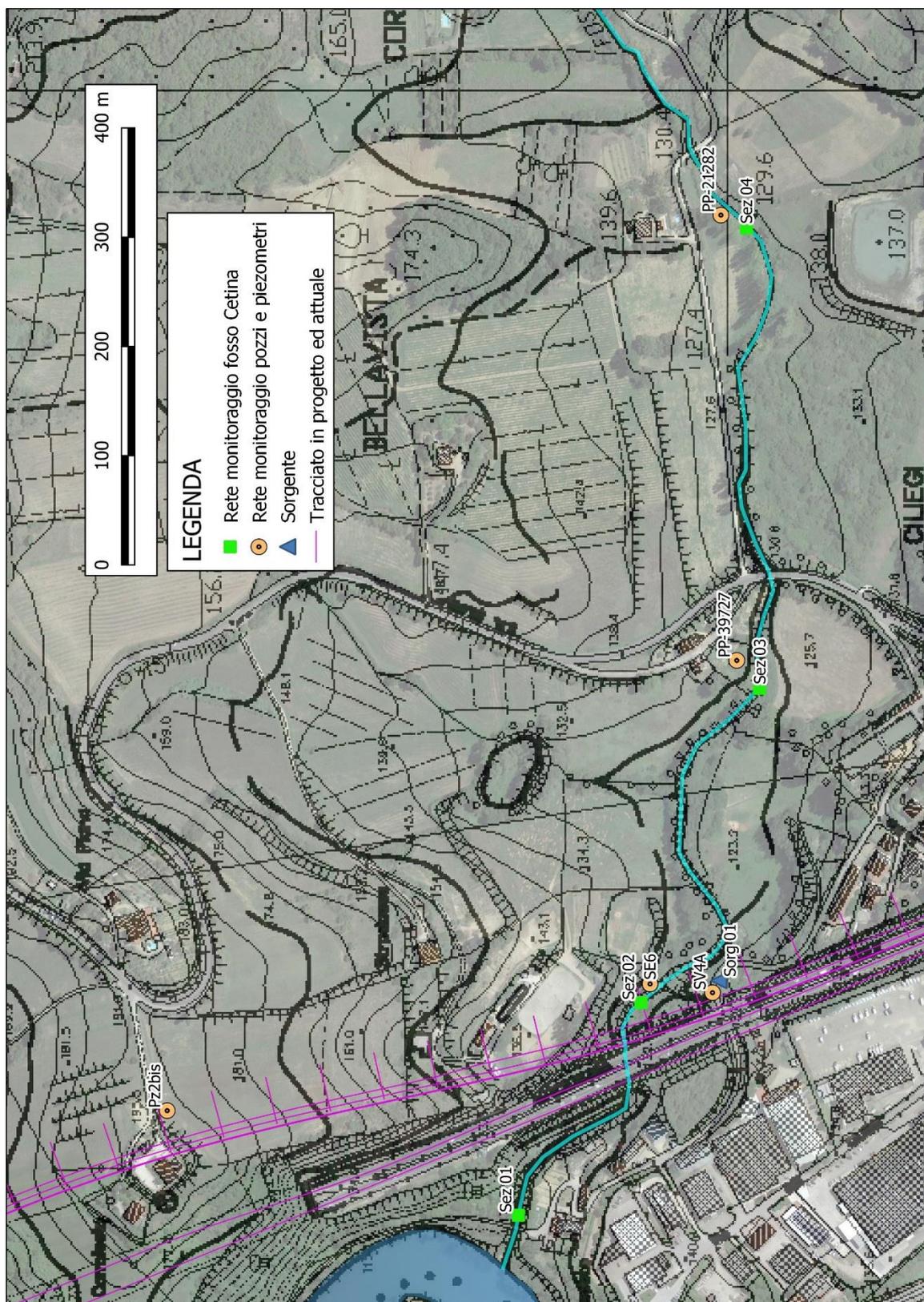


Figura 7 – Individuazione della rete di controllo di eventuali problematiche di interferenza tra acquiferi e deflussi del fosso Cetina.

| Codice | Tipologia punto di monitoraggio | Ambito | Parametri di misura | frequenza di misura |
|---------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| PP-39727 | pozzo privato | acque sotterranee | Set A | mensile |
| PP-21282 | pozzo privato | acque sotterranee | Set A | mensile |
| SE6 | piezometro | acque sotterranee | Set A | mensile |
| SV4A | piezometro | acque sotterranee | Set A | mensile |
| Pz2_bis | piezometro | acque sotterranee | Set A | mensile |
| Sorg 01 | sorgente | acque sotterranee | Set B | mensile |
| Sez 01 | fosso Cetina | acque superficiali | Set B | mensile |
| Sez 02 | fosso Cetina | acque superficiali | Set B | mensile |
| Sez 03 | fosso Cetina | acque superficiali | Set B | mensile |
| Sez 04 | fosso Cetina | acque superficiali | Set B | mensile |

Set A livello idrometrico, parametri di qualità in sito (temperatura, conducibilità elettrica e pH).

Set B Portata, parametri di qualità in sito (temperatura, conducibilità elettrica e pH).

Tabella 5 – Elenco delle stazioni di misura, parametri e frequenza di misura.

Allegato 1 – Documentazione fotografica



Figura 8 – Fiume Arno presso confluenza del fosso Cetina.



Figura 9 – Fosso Cetina progr km 0+095.

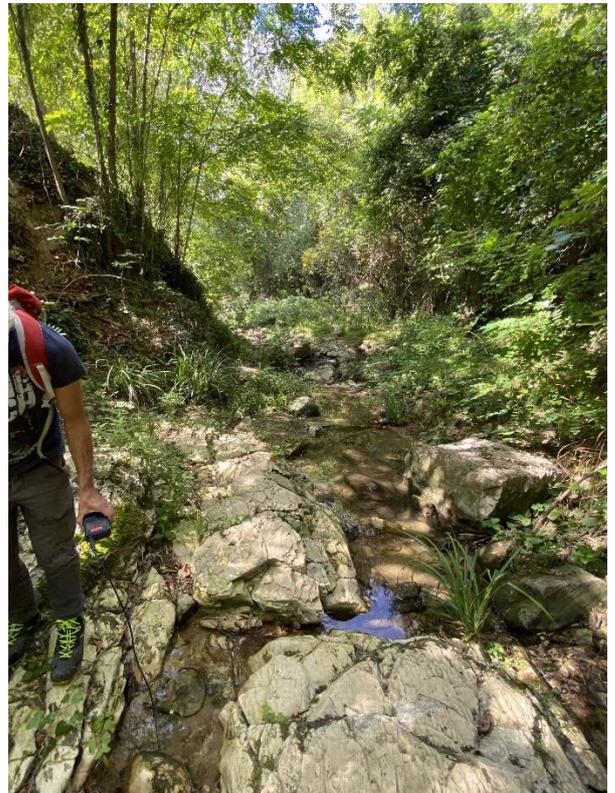


Figura 10 – progr km 0+110.



Figura 11 – Fosso Cetina progr 0+130.

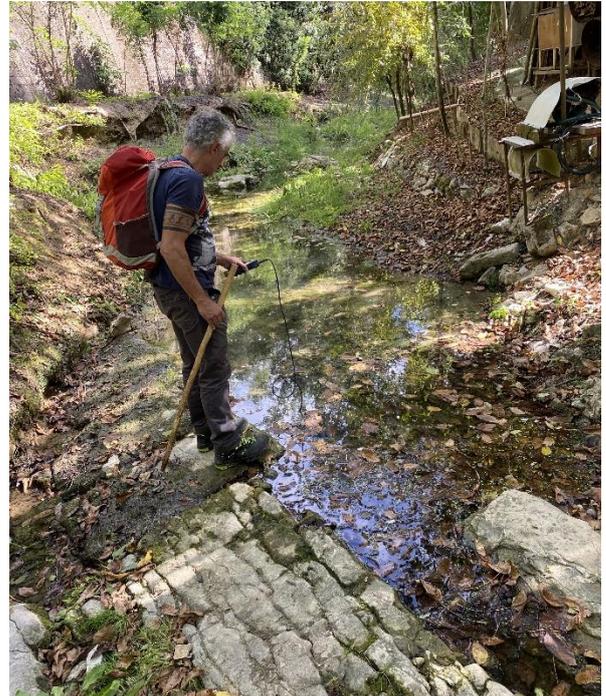


Figura 12 - Fosso Cetina progr 0+140.



Figura 13 – Fosso Cetina progr km 0+150.



Figura 14 - Fosso Cetina progr 0+210.



Figura 15 - Fosso Cetina progr 0+205.



Figura 16 - Fosso Cetina progr 0+280.



Figura 17 - Fosso Cetina progr 0+320.

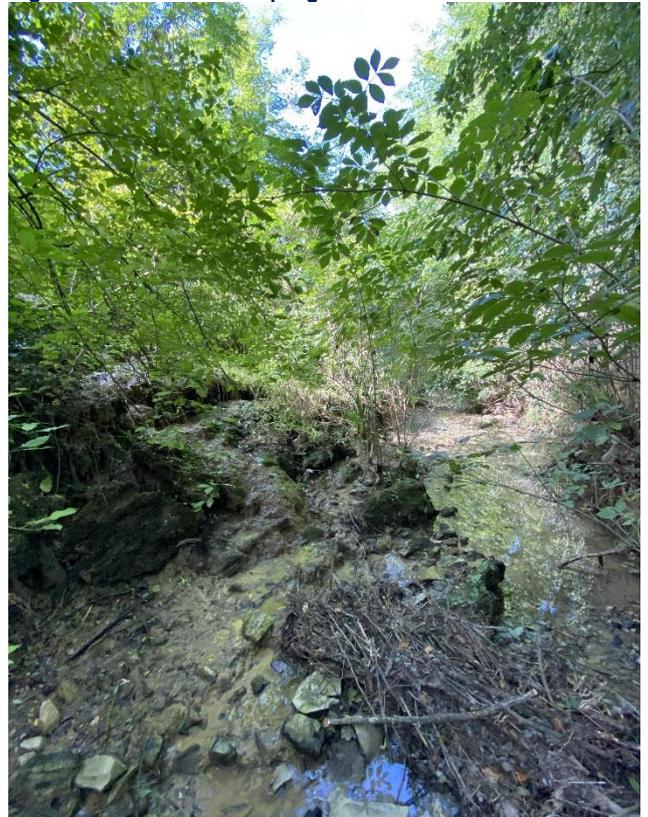


Figura 18 - Fosso Cetina progr 0+330.



Figura 19 - Fosso Cetina progr 0+350.



Figura 20 – Scarico verso il fosso Cetina della Sorg 01.



Figura 21 – Attraversamento di via Bruschetto dell'opera di presa della Sorg 01.



Figura 22 – Sorg.01 pozzo di accesso alla captazione.



Figura 23 – Sorg 01 impianto di pompaggio interno all'opera di presa.



Figura 24 - Fosso Cetina progr 1+050.

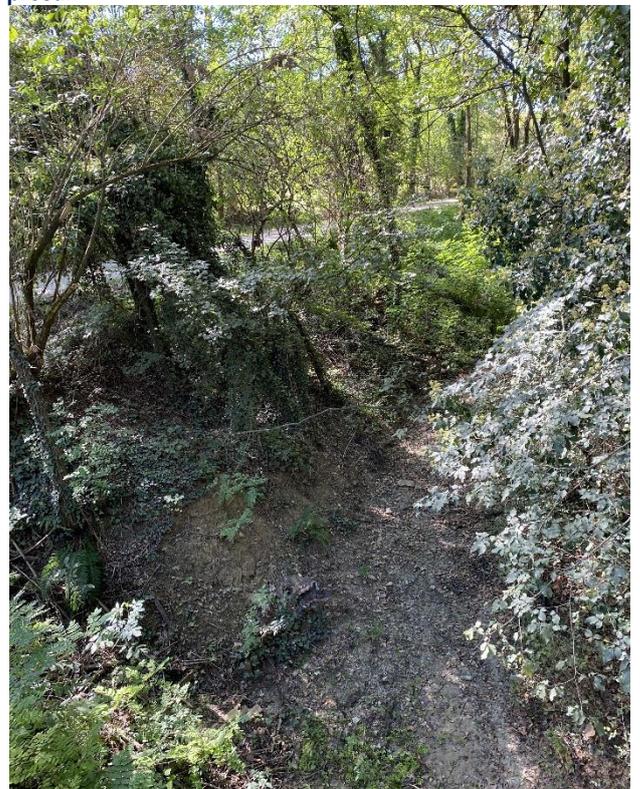


Figura 25 - Fosso Cetina progr 1+400.



Figura 26 - Fosso Cetina progr 0+700.

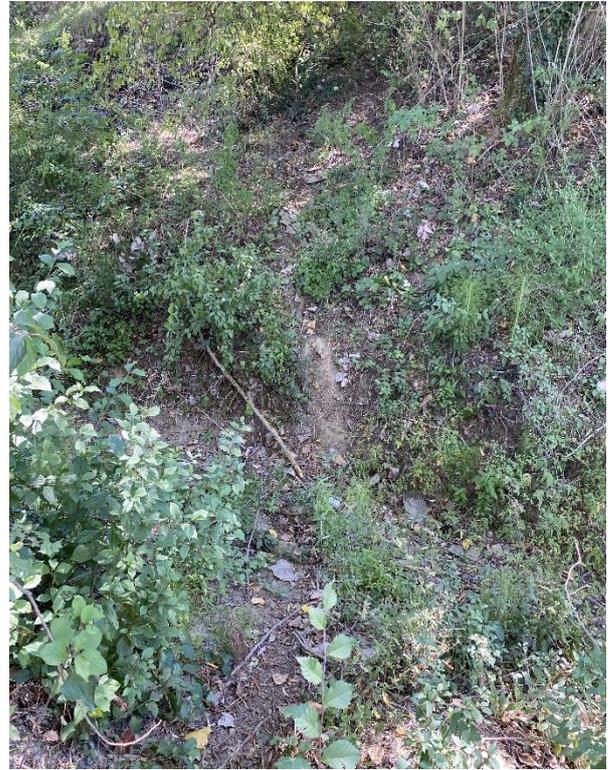


Figura - Fosso Cetina progr 27 1+160.

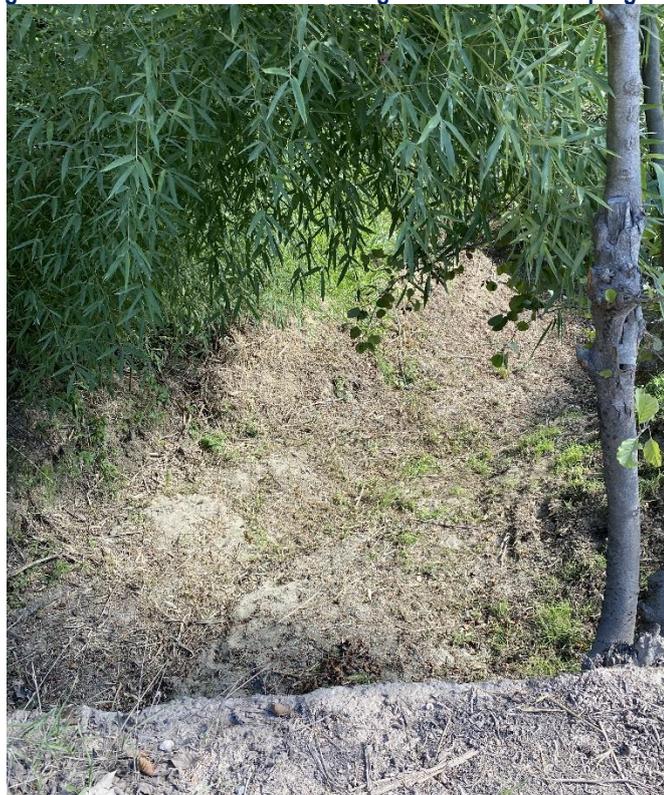


Figura 28 - Fosso Cetina progr 1+220.



Figura 29 – Pozzo PP-51466.



Figura 30 – Pozzo PP-39727.



Figura 31 – Pozzo PP-21282.



Figura 32 – Pozzo 1.



Figura 33 – Piezometro Pz2bis.