



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in **Ingegneria Civile e Ambientale**

**Rapporto tra acque superficiali e sotterranee in un piccolo bacino  
idrografico in relazione alle precipitazioni**

**Comparison between surface water and groundwater in a small  
catchment in relation to rainfall amount**

Relatore: Chiar.mo/a  
**Prof. Tazioli Alberto**

Tesi di Laurea di:  
**Scarponi Andrea**

Correlatore: Chiar.mo/a  
**Dott. Fronzi Davide**

**A.A. 2020 / 2021**

## Sommario

1. Introduzione .....	4
2. Inquadramento dell'area in studio.....	6
2.1 Inquadramento Geografico.....	6
2.2 Inquadramento Climatico .....	10
2.2.1 Andamento delle temperature sul territorio marchigiano .....	12
2.2.2 Regime pluviometrico annuo del territorio marchigiano.....	13
2.2.3 Inquadramento climatico del Bacino del Torrente Miano .....	15
2.3 Inquadramento Geologico .....	18
2.4 Inquadramento Geomorfologico .....	27
2.5 Inquadramento Idrologico e Idrogeologico.....	29
3. Stato dell'arte .....	38
3.1 Gestione e monitoraggio dei bacini.....	39
3.2 Rischio idrogeologico di un bacino.....	42
3.3 Relazione tra acque superficiali e sotterranee di un bacino .....	47
3.4 Permeabilità nei terreni .....	54
4. Materiali e metodi d'indagine .....	56
4.1 Strumenti utilizzati .....	56
4.1.1 Strumentazione meccanica.....	56
4.1.2 Strumentazione elettronica.....	66
4.1.3 Materiali chimici .....	76
4.2 Metodi d'indagine .....	79
4.2.1 Uscite in campagna .....	79
4.2.1.1 Rilievo diretto dei pozzi .....	80

4.2.1.2	Prove infiltrometriche .....	93
4.2.1.3	Prelievo dei campioni di terreno .....	97
4.2.1.4	Rilievo Geomorfologico.....	100
4.2.2	Prove di laboratorio.....	103
4.2.2.1	Determinazione del contenuto di umidità del terreno.....	103
4.2.2.2	Analisi granulometrica per via umida .....	104
4.2.3	Elaborazioni digitali.....	119
4.2.3.1	Digitalizzazione sondaggi .....	119
4.2.3.2	Redazione delle carte .....	120
4.2.3.3	Realizzazione dei grafici .....	122
4.2.3.4	Costruzione delle curve granulometriche.....	123
5.	Risultati e discussione .....	124
5.1	Umidità e permeabilità .....	124
5.1.1	Risultati ottenuti nel mese di marzo.....	125
5.1.1.1	Umidità delle varie coperture.....	126
5.1.1.2	Permeabilità delle varie coperture.....	127
5.1.2	Risultati ottenuti nel mese di maggio.....	139
5.1.2.1	Umidità delle varie coperture .....	140
5.1.2.2	Permeabilità delle varie coperture.....	141
5.2	Digitalizzazione dei sondaggi geognostici.....	153
5.3	Livello della falda.....	154
5.4	Conducibilità elettrica e temperatura .....	160
5.4.1	Risultati del mese di marzo.....	161
5.4.1.1	Temperatura.....	161

5.4.1.2	Conducibilità elettrica (EC) .....	167
5.4.1.3	Analisi risultati ottenuti .....	173
5.4.2	Risultati del mese di maggio .....	175
5.4.2.1	Temperatura .....	176
5.4.2.2	Conducibilità elettrica (EC) .....	182
5.4.2.3	Analisi dei risultati ottenuti .....	189
5.5	Curve granulometriche .....	191
5.5.1	Frazione grossolana .....	191
5.5.2	Frazione fine .....	196
6.	Appendice .....	200
7.	Conclusioni .....	201
8.	Bibliografia .....	204
9.	Sitografia .....	209

# 1. Introduzione

L'oggetto di studio è il bacino del Torrente Miano che, nonostante le sue ridotte dimensioni, è stato inserito tra quelli di interesse regionale dall'Autorità di Bacino Distrettuale con conseguente redazione del Piano di Assetto Idrogeologico in seguito all'alluvione avvenuta negli anni '60 che provocò diversi danni, tra i quali anche delle vittime.

Questo bacino è gestito dalla Regione Marche che assegna ad enti pubblici e privati monitoraggi continui per evitare il ripetersi di eventi catastrofici. Alla base di questo argomento, per una migliore previsione e prevenzione del rischio, si effettuerà un'indagine che analizza attentamente l'andamento del livello di falda tramite apposite misurazioni realizzate con le opportune metodologie, al fine di ricavare una correlazione del dissesto con le precipitazioni; si valutando dunque i vari fattori che potrebbero contribuire ad incrementare la portata fluviale. In particolar modo si prenderà in esame come il regime pluviometrico regionale potrebbe condizionare il livello dell'acqua negli acquiferi presenti nel territorio analizzato in funzione anche alla permeabilità del terreno stesso, ponendo a confronto dati ricavati in due periodi idrologici diversi dell'anno. Successivamente verrà posta l'attenzione soprattutto su come le acque sotterranee contribuirebbero all'incremento della portata del Torrente Miano al verificarsi di eventi meteorologici più gravosi.

L'aspetto idrogeologico si studierà quindi, in funzione della successiva analisi del rapporto esistente tra livello piezometrico della falda e risposta del bacino alle precipitazioni meteoriche, sulla base dei dati ottenuti dalla strumentazione installata al suo interno (pozzi vari).

Questo bacino, inoltre, ricadendo all'interno di una porzione di territorio quasi totalmente in frana è soggetto ad un forte rischio idrogeologico connesso all'instabilità dei versanti che potrebbe aggravarsi a causa delle condizioni meteorologiche avverse (fenomeni a carattere intenso e prolungato che infiltrandosi nel terreno, il quale ha permeabilità relativamente basse, potrebbero "caricare" più

del dovuto l'acquifero) con possibili conseguenze sull'incolumità della popolazione e della sicurezza di servizi e attività.

I risultati che verranno ricavati dalle prove effettuate in campagna (infiltrometriche con doppio anello e rilievo di temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua all'interno dei pozzi) e in laboratorio ai fini del monitoraggio saranno utili per la ricostruzione della piezometrica dell'acquifero inerente al bacino, con la conseguente redazione di carte isopiezometriche, tramite l'utilizzo di appositi software di modellazione, con l'obbiettivo di graficare al meglio lo stato della falda e quali potrebbero essere le sue oscillazioni stagionali sempre relazionate ai fenomeni di carattere meteorico. Verrà poi esaminata la correlazione tra le acque superficiali e sotterranee in funzione della permeabilità delle litologie presenti e dunque come questa potrebbe incidere negativamente sul verificarsi di dissesti idrogeologici di diverse entità.

## 2. Inquadramento dell'area in studio

Si individuano le principali caratteristiche dell'area in esame dal punto di vista geografico, geologico, geomorfologico, idrologico e idrogeologico.

### 2.1 Inquadramento Geografico

Il bacino del Torrente Miano è collocato nell'Italia centro-orientale, precisamente all'interno della regione Marche, come viene illustrato in *Fig. 1*. Si trova in provincia di Ancona (capoluogo della regione) in corrispondenza del fosso omonimo di Valle Miano ed ha un'estensione di circa 600 ha (6 km<sup>2</sup>), partendo dalla frazione di Pietralacroce proseguendo verso il porto della medesima città per uno sviluppo di circa 5 km in direzione Nord-Ovest (NO). Si allarga per circa 2 km fino a confinare idrograficamente nella parte occidentale con la valle del fiume Esino e nel fianco orientale con il piccolo bacino del Rio Marganetto (affluente del fiume Aspicio) per poi sfociare a NO nel Mar Adriatico; la lunghezza del corso d'acqua presente all'interno del bacino è di circa 4 km.



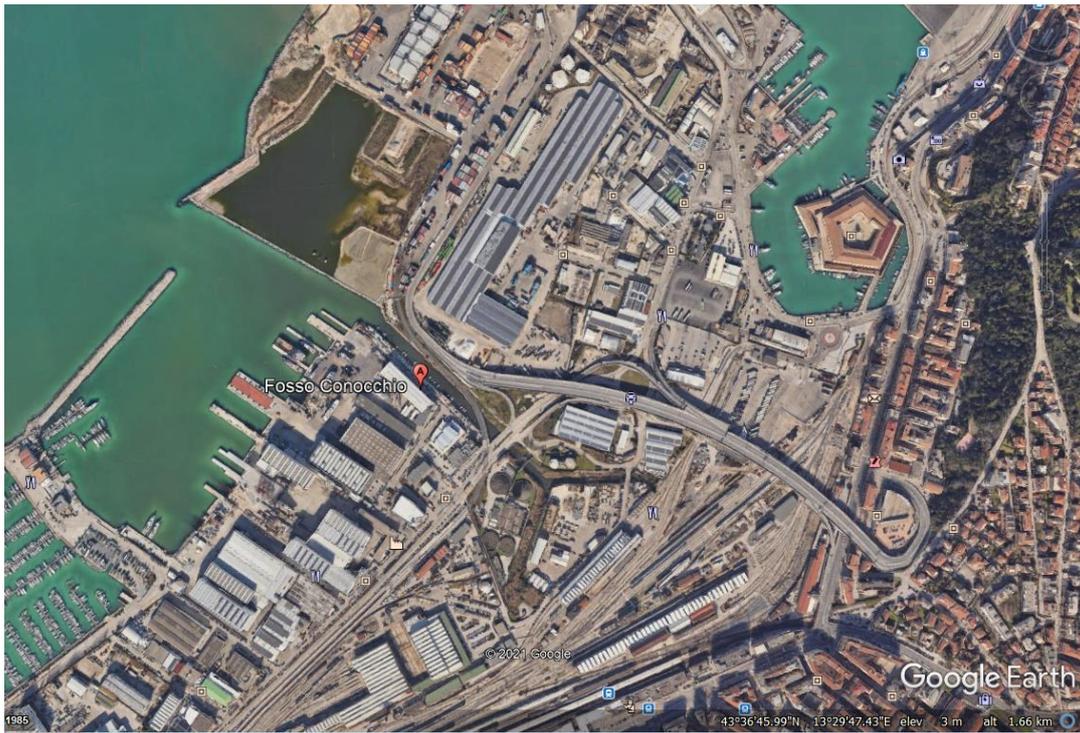
Figura 1. Inquadramento geografico su scala nazionale ([www.d-maps.com](http://www.d-maps.com))

Si può notare invece l'area di interesse del bacino preso in osservazione nella *Fig. 2* dove vengono rappresentati i due spartiacque sia di destra che di sinistra idrografica. Rispettivamente nella prima (DX idrografica) si nota come da Pietralacroce vengono attraversate il Pincio e la Cittadella, località limitrofe nella parte occidentale alla zona analizzata, fino ad arrivare al porto di Ancona. A SX idrografica invece, si può osservare come lo spartiacque passa per il quartiere delle Grazie e Valle Miano terminando sempre nello stesso punto.

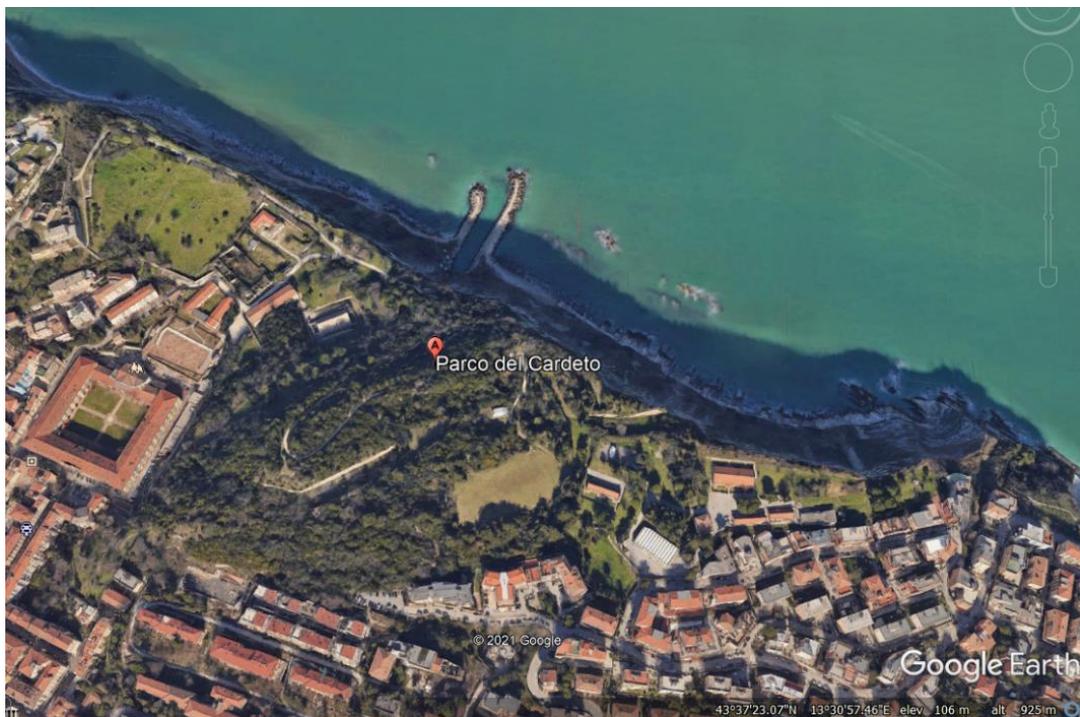


Figura 2. Delimitazione del bacino tratta da Google Earth

Per quanto riguarda la morfologia del bacino del Torrente Miano notiamo come nella parte di sinistra il Monte Baldino, il Monte Marino e il Pian di S. Lazzaro fungono da confine con il bacino del fiume Esino. A destra idrografica invece, partendo sempre a valle del Monte Venanzio che delimita la località di Pietralacroce e giungendo fino al porto, troviamo il Monte Carlin, il Monte della Nave e il Monte Pelago. Orograficamente il bacino ha un andamento prevalentemente collinare, presentando una pendenza media di circa il 3% con picchi non molto rilevanti e quota massima di 220 m s.l.m.m. che viene raggiunta proprio in corrispondenza del Monte Baldino (recapitante in SX idrografica). La sorgente del corso d'acqua preso in esame si trova nei pressi del Sentiero della Vedova (località Pietralacroce) ad una quota di circa 130 m sul livello medio del mare. È presente poi una parte pianeggiante verso le due foci situate una presso Fosso Conocchio ad 1 m s.l.m.m. nella zona del porto di Ancona (*Fig. 3*), mentre l'altra proprio sotto la Falesia del Parco del Cardeto come illustrato in *Fig. 4*, quest'ultimo molto noto nella riviera del Conero per gli scorci mozzafiato a picco sul mare (*Fig. 5*).



*Figura 3. Foce del Torrente Miano a Fosso Conocchio (estratto di Google Earth Pro)*



*Figura 4. Foce del Torrente Miano sotto la Falesia del Parco del Cardeto (estratto di Google Earth Pro)*



Figura 5. Vista di una delle due foci dal Parco del Cardeto ([www.parcodelcardeto.it](http://www.parcodelcardeto.it))

## 2.2 Inquadramento Climatico

L'Italia trovandosi a metà strada tra l'Equatore e il Polo Nord, cioè tra la zona più calda e quella più fredda della terra, è sicuramente privilegiata e questo determina un clima temperato, ossia non troppo freddo d'inverno e non troppo caldo d'estate chiamato clima Mediterraneo, quest'ultimo però è anche molto influenzato dalle forti concentrazioni di gas immessi nell'atmosfera che provocano un eccessivo surriscaldamento della terra noto come effetto serra e dall'insolazione che è strettamente collegata alla distanza dall'Equatore e quindi dalla latitudine. Nonostante ciò, possiamo trovare dei picchi di circa 40 gradi centigradi nei mesi estivi e temperature inferiori ai 5 gradi centigradi in quelli invernali, cosa che capita però molto raramente e non in modo omogeneo su tutta la nazione (Cantù, 1977; Pinna, 1978).

La conformazione della nostra penisola porta ad un clima molto variabile tale da individuare sei diverse zone come descritto in *Fig. 6*.



Figura 6. Zone climatiche italiane ([www.clima.net](http://www.clima.net))

Le zone climatiche italiane sono le seguenti (Acquaotta & Fratianni, 2017):

- ZONA ALPINA: è caratterizzata da frequenti precipitazioni piovose anche di carattere temporalesco e abbondanti precipitazioni nevose, con inverni piuttosto freddi e rigidi ed estati abbastanza brevi
- ZONA PADANA: la consistente presenza di fiumi e laghi ne fa una zona umida e con costante formazione di nebbie, di conseguenza gli inverni sono freddi e le estati afose
- ZONA ADRIATICA: i venti provenienti dal mare e dai Balcani (dalla parte NE) rendono la parte di penisola affacciata nel medesimo Mar Adriatico caratterizzata da inverni rigidi ed estati calde ed asciutte

- ZONA APPENNINICA: le modeste altitudini recapitanti nella fascia centrale della nostra nazione e le abbondanti precipitazioni nevose rendono gli inverni lunghi e rigidi e le estati fresche
- ZONA TIRRENICA: il mare sulla quale si affaccia la zona e da cui prende il nome porta alla presenza di estate caldi ma ventilate mentre gli inverni sono rigidi e piovosi
- ZONA MEDITERRANEA: la bassa latitudine e la presenza del mare portano alla formazione di inverni brevi e miti, le estati invece sono abbastanza calde ed asciutte.

Focalizzando l'attenzione nella regione Marche, che ospita il bacino preso in analisi, il clima può essere ulteriormente suddiviso in due fasce. Nella parte che si affaccia sul Mar Adriatico fino all'inizio della parte collinare della regione il clima può definirsi di tipo mediterraneo, mentre spostandosi sempre più verso l'entroterra allora si può trovare un clima di tipo sub-mediterraneo con influenza dei venti provenienti dalla catena appenninica (Chelli et al., 2017; Brunetti et al., 2006).

I venti dominanti nella regione, a parte quelli generati dalle configurazioni bariche a grande scala, che sono soprattutto nord-orientali (grecale o bora) e sud-orientali (scirocco), sono rappresentati anche dalle brezze di monte e di valle, prodotte dal differente riscaldamento diurno e notturno tra le cime dei monti e delle valli ([www.ambiente.regione.marche.it](http://www.ambiente.regione.marche.it)).

### 2.2.1 Andamento delle temperature sul territorio marchigiano

La temperatura media annuale nelle Marche varia dai 4-5 °C (presenti lungo la fascia appenninica) ai 16-17 °C (nelle zone costiere regionali).

Il Centro di Ecologia e Climatologia Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata (CEC OGMS) ha dedotto che riferendosi alle temperature medie mensili, gennaio (mese rappresentativo della stagione invernale) e luglio (indicativo della stagione estiva), in genere, sono rispettivamente il mese più freddo con picchi fino ad

una temperatura di -5 °C e quello più caldo con picchi di 26°C registrati nella zona SE della regione.

L'ASSAM (Agenzia Servizi al Settore Agroalimentare delle Marche) ci fornisce in *Fig. 7* l'andamento della temperatura media mensile registrata nel territorio marchigiano negli ultimi 60 anni. Indicando in nero lo scorso anno, in rosso l'anno più caldo dal 1961, in blu l'anno più freddo dal 1961, in grigio la media 1981-2010 ed i limiti rappresentati dalla media +/- due volte la deviazione standard.

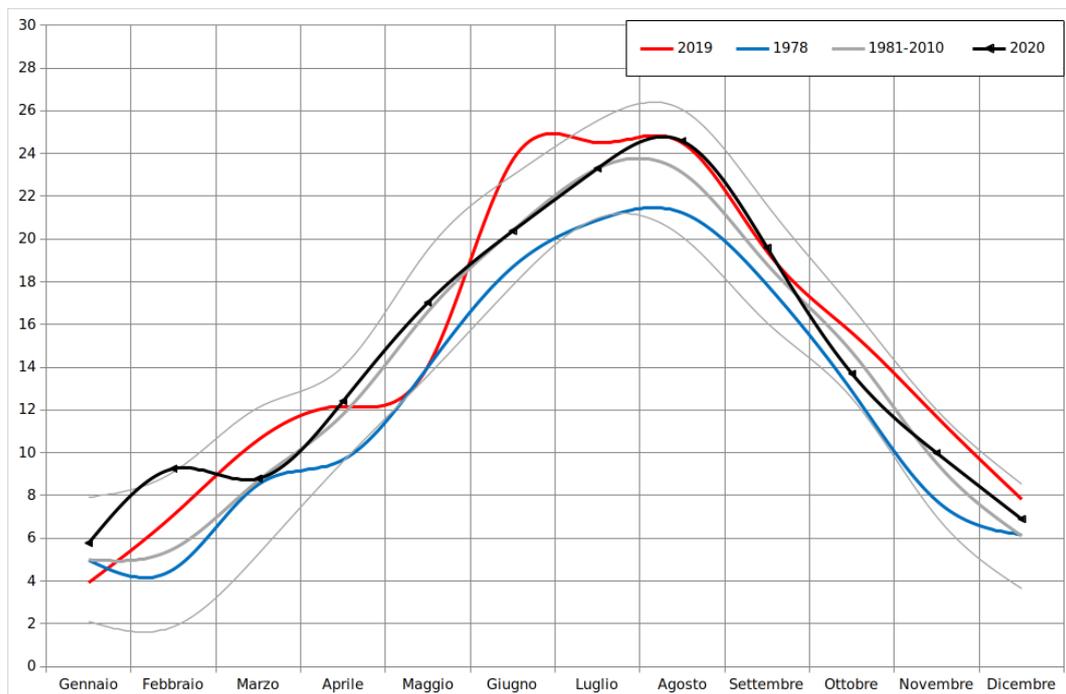


Figura 7. Regione Marche (ASSAM), andamento della temperatura media mensile (°C)

### 2.2.2 Regime pluviometrico annuo del territorio marchigiano

Dagli studi effettuati sempre presso il Centro di Ecologia e Climatologia Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata (CEC OGMS) che consta oltre 130 pluviografi è emerso che la regione Marche dal punto di vista delle precipitazioni medie annue può essere suddivisa in tre diverse zone longitudinali omogenee con una sostanziale differenza nel regime delle piogge tra la fascia costiera e la zona appenninica. Nella fascia litoranea la precipitazione media annua è relativamente bassa essendo la meno piovosa con valori compresi tra i 500 e i 700 mm. Nella fascia medio basso collinare

l'entità delle precipitazioni oscilla nel range che va dai 650 mm (presenti nelle vicinanze del bacino del Torrente Miano) ai 900 mm. Troviamo infine la fascia alto collinare e montana (zona appenninica) con altitudini di circa 1700 m s.l.m. m. e piovosità che va dai 1000 mm ai 1700 mm annui, infatti dalle analisi emerge che questa è la zona relativa alla dorsale appenninica con i massimi annui (Amici & Spina, 2002).

Riferendoci alle stagioni possiamo impostare la seguente suddivisione:

- PRIMAVERA: 120-435 mm
- ESTATE: 105-285 mm
- AUTUNNO: 165-480 mm
- INVERNO: 150-525 mm

Questa analisi derivata dai rilevamenti delle grandezze meteorologiche del suolo individua che per le precipitazioni medie si va da circa 800 mm annui sulla catena appenninica a circa 600 mm annui sulla costa, con una frequenza di 60-90 giorni l'anno e con 40-60 giorni senza alcuna precipitazione.

L'ASSAM ci fornisce, come mostrato in *Fig. 8*, anche l'andamento della precipitazione cumulata mensile. In nero possiamo osservare l'anno attuale, in blu l'anno più piovoso dal 1961, in arancione l'anno meno piovoso dal 1961, in grigio la media 1981-2010. ([www.assam.it](http://www.assam.it))

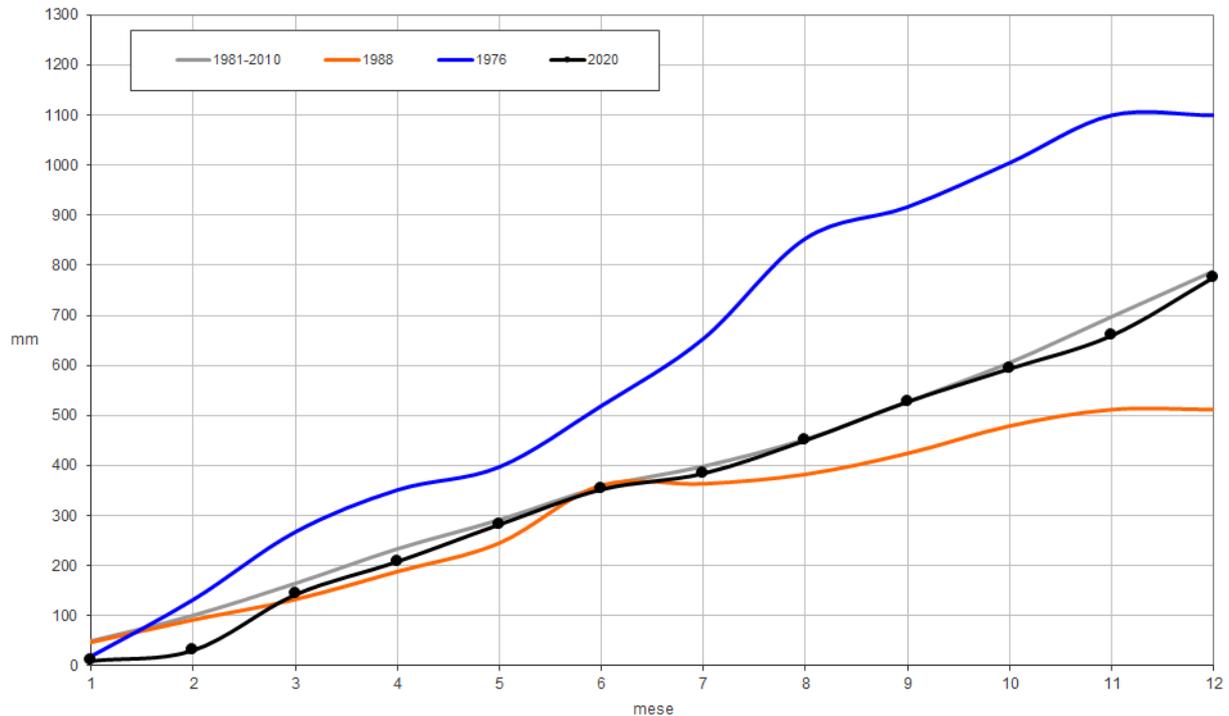


Figura 8. Regione Marche (ASSAM), andamento della precipitazione cumulata mensile (mm) ([www.assam.it](http://www.assam.it))

### 2.2.3 Inquadramento climatico del Bacino del Torrente Miano

Trovandosi nella provincia di Ancona ed essendo di dimensioni modeste tutta la zona del bacino d'interesse presenta lo stesso tipo di condizioni atmosferiche lungo la sua estensione, il suo clima si può definire mediterraneo di transizione (Bugarini & Romagnoli, 2014). La città trovandosi abbastanza a nord della regione subisce in parte alcune influenze tipiche dell'Italia settentrionale (ad esempio la nebbia in inverno e all'inizio della primavera), mentre per quanto riguarda il versante adriatico è influenzato dalle irruzioni fredde provenienti dalla Russia. Questo clima presenta delle temperature massime nei mesi di luglio e agosto (raggiungendo i 28 °C) e nei mesi di gennaio arrivando ad 1 °C come descritto in *Fig. 9*.

<b>Ancona - Temperature medie</b>			
<b>Mese</b>	<b>Min (°C)</b>	<b>Max (°C)</b>	<b>Media (°C)</b>
<b>Gennaio</b>	1	9	5,3
<b>Febbraio</b>	2	10	5,9
<b>Marzo</b>	4	14	8,6
<b>Aprile</b>	6	17	11,6
<b>Maggio</b>	11	22	16,3
<b>Giugno</b>	14	26	20
<b>Luglio</b>	17	28	22,5
<b>Agosto</b>	17	28	22,6
<b>Settembre</b>	14	24	19,2
<b>Ottobre</b>	10	19	14,7
<b>Novembre</b>	6	14	9,8
<b>Dicembre</b>	3	10	6,5
<b>Anno</b>	8,8	18,5	13,6

Figura 9. Temperature medie per la città di Ancona ([www.climieviaggi.it](http://www.climieviaggi.it))

Le precipitazioni raggiungono gli 820 mm annui facendo ricadere il bacino nella fascia medio basso collinare descritta al *Paragrafo 2.2.1*.

Attenendosi ai dati forniti dalla stazione metereologica situata nell'aeroporto di Falconara, di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, relativa alla città di Ancona e alla sua area sublitoranea e gestita dalla Protezione Civile della Regione Marche si può notare l'andamento delle precipitazioni e della temperatura nell'arco dei 12 mesi come espresso in *Fig. 10*.

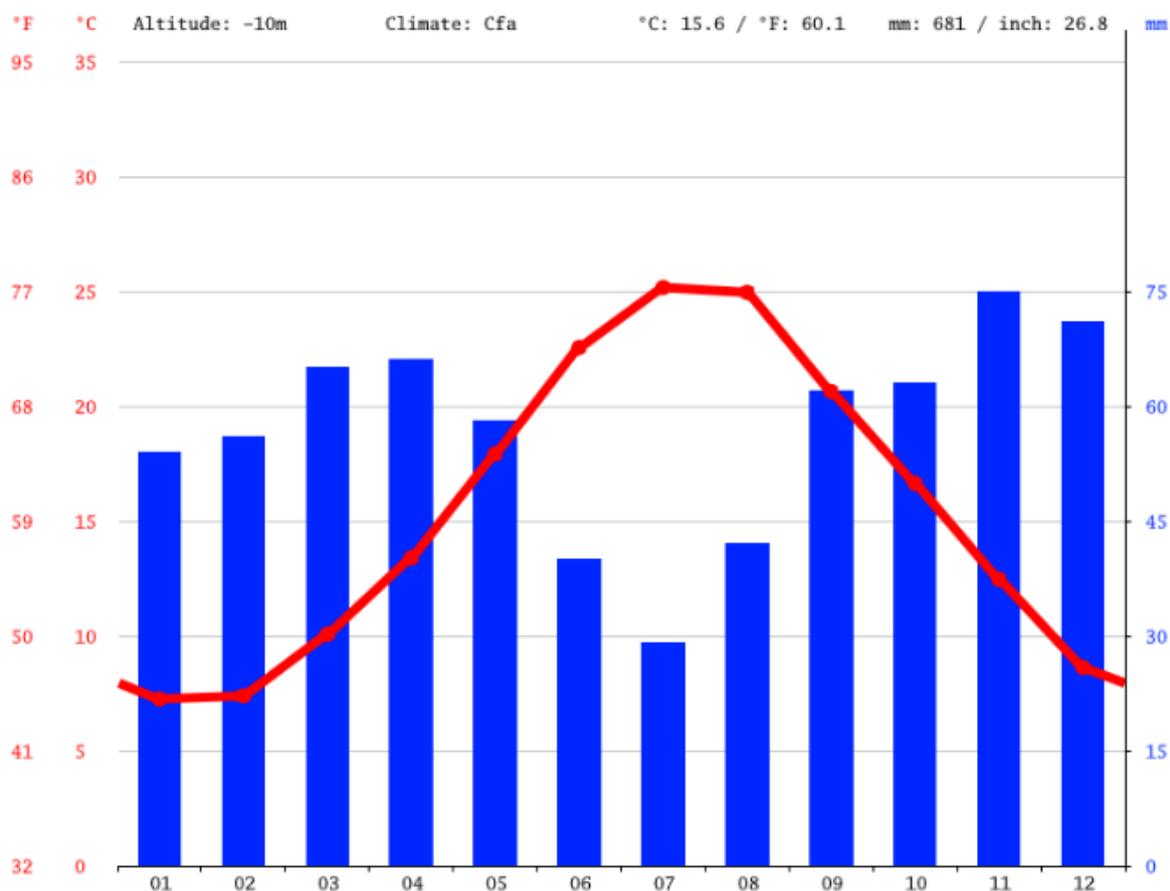


Figura 10. Statistica delle piogge (istogramma in blu) e delle temperature (linea rossa) mensili ([www.climate-dat.org](http://www.climate-dat.org))

L'inquadramento climatico relativo all'area analizzata è stato valutato tenendo conto anche dei dati meteo forniti dalla stazione denominata *Ancona Regione* appartenente Rete di Monitoraggio (MIR) gestita dalla Protezione Civile, Regione Marche (Servizio SIRMIP Online). Nella *Fig. 11* si notano i millimetri di pioggia caduti in media e mensilmente valutati nel periodo dal 2006 al 2021 e si osserva che i mesi più piovosi siano quelli compresi tra settembre e marzo e viceversa i mesi estivi risultano più asciutti con intense precipitazioni ma di breve durata dette scrosci. Nel grafico seguente si trovano i mm di pioggia rappresentati nell'asse delle ordinate insieme ai valori di temperatura in °C e °F e nelle ascisse sono riportati i mesi dell'anno numerati da 1 a 12.

### Pioggia cumulata mensile per anno idrologico medio periodo 2006-2021

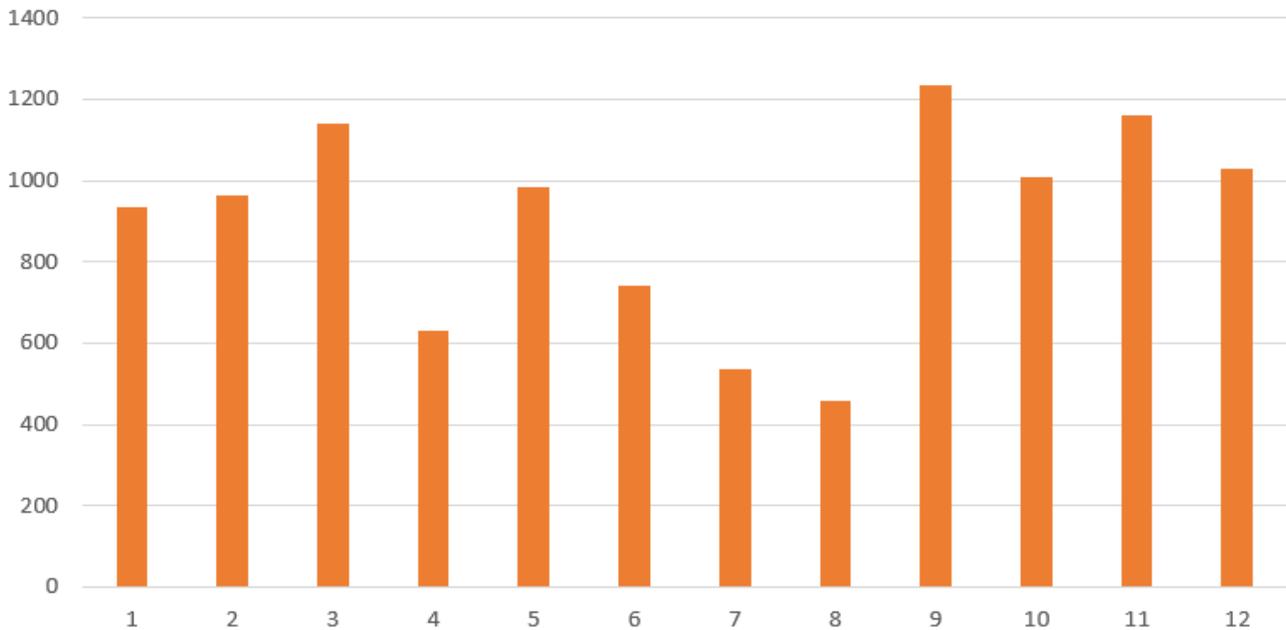


Figura 11. Dati meteo zona di Ancona (bacino del torrente Miano) relativi alle precipitazioni medie mensili dall'anno 2006 all'anno 2021 (elaborato grafico Excel)

## 2.3 Inquadramento Geologico

L'Italia è una nazione che come tutte le altre si è formata col susseguirsi di sedimentazioni nelle varie ere geologiche (Centamore & Micarelli, 1991) che vanno dalla:

- ERA ARCAICA (4,5 miliardi di anni fa)
- ERA PRIMARIA o PALEOZOICA (circa 400 milioni di anni fa)
- ERA SECONDARIA o MESOZOICA (circa a partire da 230 milioni di anni fa)
- ERA TERZIARIA o CENOZOICA (a partire da 65 milioni di anni fa)

- ERA QUATERNARIA o NEOZOICA (da 2 milioni di anni fa fino ad oggi)

Riferimento generale in *Fig. 12* per quanto riguarda la scala dei tempi geologici.

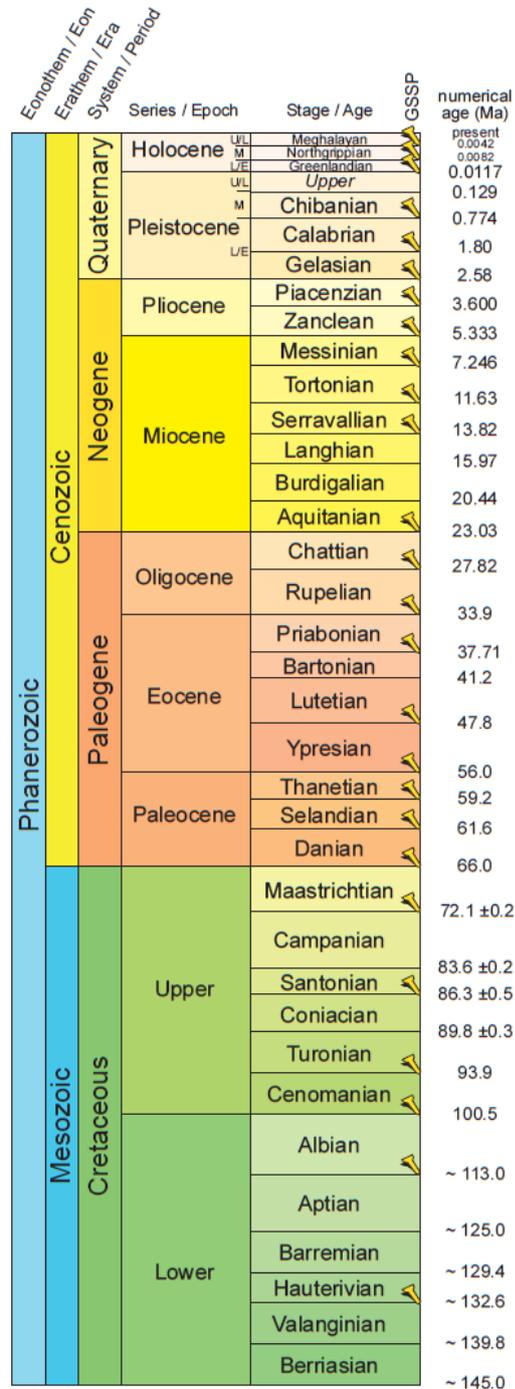


Figura 12. Scala dei tempi geologici ([www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org))

Il bacino in esame ricade geograficamente nell'Italia centrale (regione Marche), dal punto di vista geologico fa parte della successione stratigrafica umbro-marchigiana, cioè una successione sedimentaria meso-cenozoica.

Per successione umbro-marchigiana si intende una sequenza di rocce sedimentarie, come illustrato in Fig. 13, che si sono formate da circa 210 milioni di anni fa (risalenti quindi al periodo Giurassico, era mesozoica) sino all'era quaternaria.

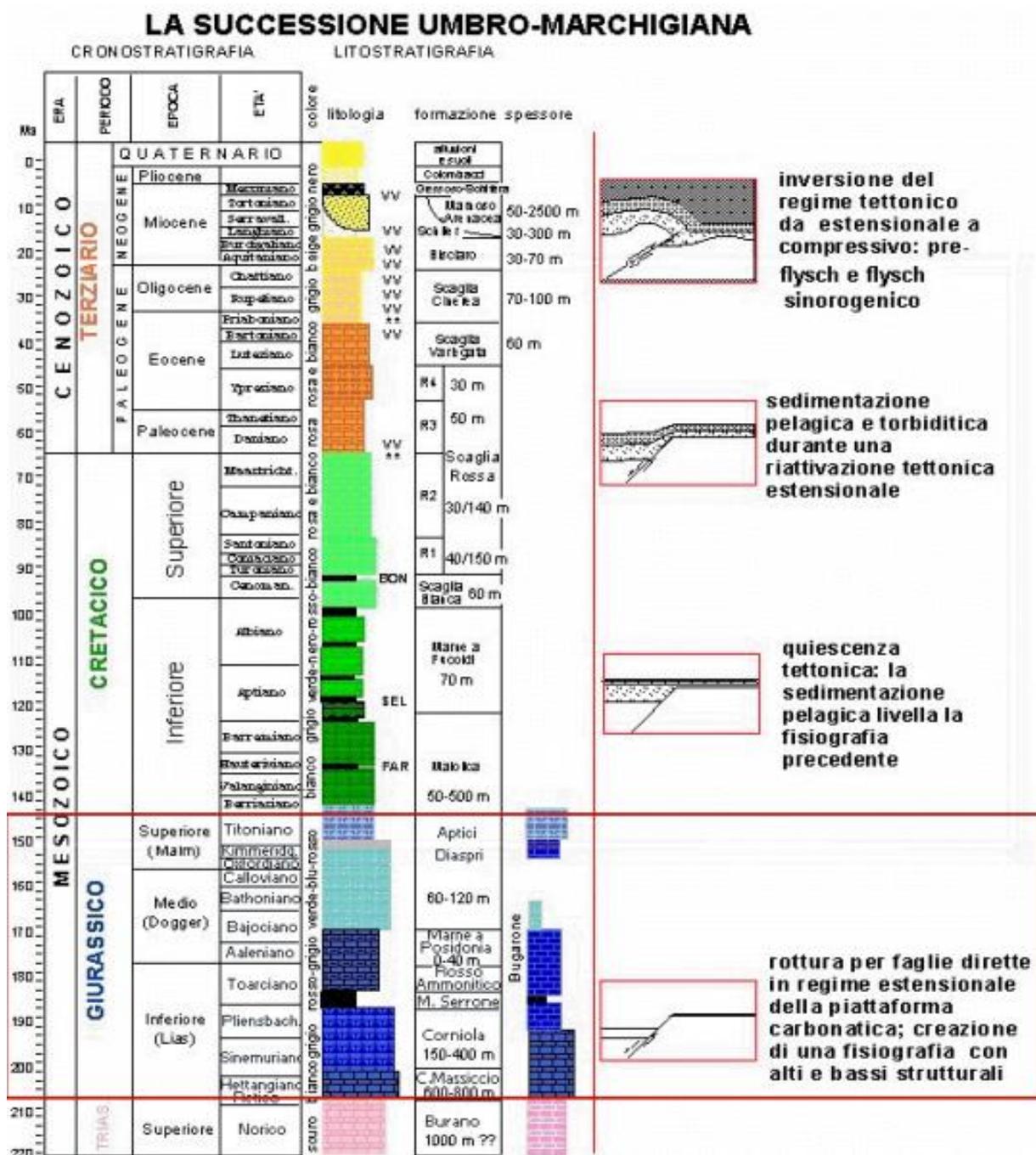


Figura 13. Successione stratigrafica umbro marchigiana (Parisi & Montanari, 2000)

Sempre nella *Fig. 13* vengono elencati i vari tipi di formazioni che si sono susseguite nel tempo, descrivendo così la successione completa nel seguente modo (Centamore et al., 1986):

- *Anidriti del Burano*: affiorano di rado in superficie come alternanze di gesso e dolomia o come brecce calcaree residuali (visibili con il nome Calcare cavernoso di Malbe in una cava di gesso ormai da anni utilizzata come discarica per inerti nella località Cenerente).
- *Calcarea Massiccio*: si divide in Calcarea Massiccio del Burano (presente nelle zone più profonde) ed in Calcarea Massiccio del Monte Nerone (situato prevalentemente negli altri strutturali). L'unità è individuabile in numerosi affioramenti alcuni dei quali come nelle Gole di Frasassi presentando una buona esposizione. Il primo è formato da litofacies con biomicriti, calcari biodetratici e oolitici con frequenti strutture stromatolitiche e pisoliti. La stratificazione è indistinta in strati molto spessi e netta in strati medi. Il secondo invece, si presenta in strati molto spessi con litofacies biomicritiche e subordinatamente micritiche. La colorazione dei calcari è nell'insieme biancastra o nocciola chiaro. La permeabilità è alta dovuta sia alla porosità primaria di tipo intergranulare, sia secondaria per fratturazione e carsismo causata dalla tettonica. L'infiltrazione efficace media annua stimata, nel suo complesso, è di circa 26 l/s per km<sup>2</sup>. Il ruscellamento è estremamente ridotto. Le falde che interessano questo complesso costituiscono il livello di base del sistema idrogeologico delle dorsali carbonatiche e sono alimentate, attraverso zone di frattura, dagli acquiferi dei complessi idrogeologici sovrastanti. Tali falde alimentano le sorgenti con portate superiori ai 100 l/s emergenti da importanti complessi carbonatici (come la sorgente di Gorgovivo), alimentando anche i corsi d'acqua che tagliano le dorsali carbonatiche.

- *Corniola*: l'unità è formata da calcari micritici di colore biancastro o beige, con selce bruna o nerastra in noduli e liste, con intercalazioni grigio verdastre abbondanti al tetto. Nella porzione sommitale rinviene uno strato di alcuni metri di calcari nodulari rosei. Si notano anche frequenti orizzonti detritici a granulometria variabile da fine a grossolana, a volte bioclastici (Marmarone) e slumpings intraformazionali. La stratificazione è netta, da sottile a media nelle litofacies micritiche, molto spessa, ed a volte lenticolare o indistinta nelle facies detritiche mentre lo spessore della formazione è variabile da pochi metri fino a 150-400 m.
  
- *Marne di M. Serrone/Rosso Ammonitico*: sono calcareniti e calcilutiti marnose che, verso l'alto, passano a marne ed argille rossastre e lembi di Rosso Ammonitico, parzialmente eteropico con le Marne di M. Serrone, che talvolta lo possono sostituire totalmente (Pialli, 1969a), è costituito da marne e marne argillose rossastre (con intercalazioni carbonatiche) ricche in fossili, ammoniti che abbondano nella formazione e facilmente visibili in campagna
  
- *Calcari e Marne a Posidonia*: formazione di calcari micritici rosati in strati medi e sottili, prevalentemente di colore rossastro con bande policrome, con componente marnosa prevalente verso il basso, caratterizzati dalla presenza di lamelli fossili (Posidonia). Verso l'alto sono formati da calcari micritici biancastri o beige in strati medi o spessi, con selce policroma in liste e noduli e con frequenti livelli calcareo-detritici. Sia alla base, sia al tetto si possono trovare intercalazioni detritiche e banconi di calcareniti. Sono noti generalmente come Formazione del Bosso, caratterizzati da un abbondante contenuto fossilifero rappresentato da Ammoniti. Lo spessore totale varia da 20 a 50 m

- *Calcari Diaspri e Calcari ad Aptici*: calcari e calcari marnosi sottilmente stratificati, di colore grigio-verde, con selce policroma. Questa formazione è caratterizzata da un elevato contenuto in silice, essendo formata da micriti con selce verdastra in liste e noduli, micriti verdastre silicizzate, selce policroma con intercalazioni di calcareniti, calciruditi e calcari protogranulari. La stratificazione è netta e sottile nelle litofacies più calcaree, mentre in quelle silicee è più irregolare, con rigonfiamenti e brusche terminazioni a lente. I depositi detritici assumono forme lenticolari oppure stratificate in strati medi o spessi. Lo spessore della formazione varia da 80 a 150 m. È formato da litotipi a permeabilità molto bassa che sostengono gli acquiferi in seno alla Maiolica. Al contatto tra tale complesso ed i calcari della Maiolica si instaurano sorgenti con modeste portate
  
- *Maiolica*: risale al Cretaceo e chiude la sedimentazione prevalentemente carbonatico-silicea giurassica a contatto con le diverse successioni ma anche direttamente sopra il Calcare Massiccio. È costituita da calcilutiti biancastre, in strati medi con selce nera in liste e noduli, e con sottili intercalazioni di peliti nerastre che aumentano di spessore e frequenza verso il tetto della formazione. Gli spessori presentano una notevole variabilità a seconda dell'ambiente di sedimentazione passando da circa 100 m a 300-600 m per le aree bacinali. La Maiolica è formata da litotipi carbonatici racchiusi tra l'aquiclude delle Marne a Fucoidi ed i sottostanti litotipi delle Formazioni delle Marne del Sentino, Formazione del Bosso e Calcari Diasprini, entrambe a bassa permeabilità. La circolazione idrica avviene anche in questo caso per fratturazione. L'infiltrazione media annua è stata stimata in 17,5 l/s per km<sup>2</sup>. Numerose sono le sorgenti situate al contatto con i litotipi a bassa permeabilità dei complessi sovrastante e sottostante. Le portate però sono modeste: infatti si può ritenere che la Maiolica formi un'unica unità idrogeologica ad alta permeabilità con il

sottostante complesso del Calcare Massiccio-Corniola, causando l'intensa fratturazione e tettonizzazione e la discontinuità dell'aquitard

- *Marne a Fucoidi*: è suddividibile in due membri, uno inferiore dello spessore di 40-50 m prevalentemente marnoso, e quello superiore, dello spessore di 60-70 m prevalentemente calcareo-marnoso e calcareo. Il primo è formato da marne e marne argillose policrome rossastre alla base e verdastre al tetto, in strati sottili con associate intercalazioni di marne bituminose nerastre e di micriti avana o verdastre. Il secondo si trova superiormente ed è formato da alternanze, in strati sottili, di calcari, calcari marnosi, marne e marne calcaree, di colore biancastro o verde, con bande policromatiche, e con liste e noduli di selce di colore diverso, separati da sottili veli argillosi. Il contenuto calcareo aumenta verso l'alto con l'aumento della selce e la sparizione delle argille. È costituito inferiormente, da marne argillose con ottime caratteristiche di aquiclude, a sostegno degli acquiferi delle sovrastanti chiamati Scaglie. Per cause tettoniche tale complesso consente la fuoriuscita di sorgenti con portate massime superiori a 10 l/s, alimentate dagli acquiferi sovrastanti come pure quelli della Maiolica.
  
- *Scaglia bianca*: rappresentata da calcari micritici biancastri, con intercalati livelletti di selce nera, in strati sottili e medi, nella parte alta invece è costituita da argilliti e siltiti. Si notano inoltre intercalazioni detritiche anche grossolane. Al tetto è presente il caratteristico strato bituminoso ittiolitico spesso circa 1-2 m noto come livello Bonarelli. L'unità elencata ha uno spessore variabile da 15 a 40 m
  
- *Scaglia rossa*: rappresentata da calcari micritici rosati e rossi con intercalazioni di marne e di selce, con stratificazione sottile e regolare. Nella seguente formazione chiamata anche Scaglia Rosata si distinguono tre membri,

l'inferiore calcareo-selcifero, il mediano calcareo-marnoso o marnoso ed il superiore di nuovo calcareo-selcifero. Il membro inferiore è costituito da calcari e calcari marnosi rosati con bande policrome biancastre, con selce rossa, ma alla base anche verdolina o beige, in liste e noduli. Quello intermedio, di spessore rilevante, è composto in gran parte da marne e marne calcaree di colore rosato, a frattura scagliosa o concoide. Lo strato superiore, infine, è formato da calcari e calcari marnosi rossastri, con selce rossa in liste e noduli. La scaglia rossa presenta una stratificazione che in genere è netta, in strati sottili e medi. Associati alle pelagiti si rinvengono depositi calcareo detritici. Gli spessori della Scaglia Rosata variano da 200-250 m nelle zone di dorsale, fino a 350-450 m nelle depressioni bacinali

- *Scaglia variegata*: è composta da calcari marnosi e marne stratificate. La circolazione idrica sotterranea avviene per fratturazione e nei sistemi di fagliazione. L'infiltrazione media annua di tale complesso è di circa 17,5 l/s per km<sup>2</sup>. Le sorgenti connesse ai sistemi acquiferi sono numerose e spesso situate lungo i versanti con portate massime di 5 l/s.
- *Scaglia cinerea*: costituita da calcari marnosi e marne (che tendono a divenire prevalenti verso l'alto) sottilmente stratificati, con intercalazioni di argilliti fogliettate, di colore grigio o grigio-verdastro. La formazione è suddivisibile in tre sezioni: l'inferiore caratterizzata da litofacies più calcaree e da una colorazione rossastra; la sezione mediana, di spessore maggiore prevalentemente marnoso di colore grigio verdastro; quella superiore, infine, costituita in prevalenza da marne argillose grigiastre. La stratificazione è netta in strati sottili e medi trovando al suo interno minerali femici e vulcanoclastiti. Lo spessore è variabile da 100 a 250 m.

- *Bisciaro*: marne alternate a calcari marnosi di colore grigio e grigio-verdastro ben stratificati. Nella parte inferiore della formazione sono presenti strati selce nera e livelli di cineriti. Gli spessori sono in stretta relazione ai bacini di sedimentazione, variando da 30-40 m nelle zone marginali fino a 100-120 m in quelle bacinali
- *Schlier*: è costituita da alternanze di marne e marne argillose, subordinatamente da marne calcaree e calcari marnosi biancastri finemente detritici; nel solo settore meridionale delle Marche vi s'intercalano delle calcareniti torbiditiche (Marne con Cerrognana) provenienti dalla piattaforma laziale-abruzzese. Tale ha una circolazione idrica limitata, connessa al grado di fratturazione delle rocce con scarse caratteristiche idrogeologiche. Le sorgenti sono di piccole dimensioni e con portate esigue. L'infiltrazione è limitata ai litotipi carbonatici, mentre il ruscellamento prevale nelle marne.

Infine, abbiamo i depositi più giovani del Pliocene e Pleistocene-Quaternario come:

- *Depositi marini*: della serie pliocenica di Argille di Fabriano, sabbie a *Flabelliopecten*, Conglomerato di Città della Pieve
- *Depositi colluviali*: sono frequenti su gran parte dei versanti e spesso sfumano nello strato d'alterazione superficiale
- *Depositi eluviali (Terra rossa)*: sono presenti nelle ampie depressioni o nelle piccole conche prevalentemente di natura carsica
- *Detrito di falda*: è presente al piede dei versanti più acclivi in coltri di spessore variabile, talora considerevole. Si tratta di frammenti rocciosi a

spigoli vivi, dell'ordine del centimetro, in una matrice rossastra talvolta prevalente, localmente cementati. I depositi di versanti possono suddividersi in stratificati originati da processi di gelivazione e in conoidi detritici. Questi ultimi sono riconoscibili molto facilmente per le loro forme a ventaglio si possono notare più frequentemente in corrispondenza dei raccordi tra le valli montane ed i fianchi dei maggiori rilievi. Altri depositi di versante di natura eluvio-colluviale sono costituiti da materiali fini che ricoprono i versanti argillosi e gli impluvi del Bacino Marchigiano più esterno.

In definitiva si può affermare che la fase tettonica che ha più condizionato l'evoluzione geomorfologica marchigiana è stata quella finale, con le strutture a direzione antiappenninica che hanno ricoperto il ruolo principale. Invece, i movimenti lungo le faglie trasversali hanno conferito all'area una tipica configurazione ad alti e bassi strutturali rappresentati dalle vallate dei fiumi (Bigi et al., 1996).

## 2.4 Inquadramento Geomorfológico

L'assetto geomorfologico di un territorio è determinato dall'interazione tra le caratteristiche geologico-strutturali dei terreni in affioramento e gli agenti morfogenetici predominanti presenti in quella particolare area.

Partendo dalla tettonica, che modella i corpi litologici di un'area dando luogo a forme cosiddette "strutturali", la risposta dei terreni è variabile a seconda che siano presenti in affioramento rocce coerenti, incoerenti o pseudocoerenti, infatti, queste grandi categorie di terreni hanno una risposta profondamente diversa all'azione degli agenti esogeni, come la pioggia, i fiumi, la neve, il ghiaccio, il vento e altri che agiscono dall'esterno (Centamore et al., 1986).

Le litologie coerenti e/o cementate danno luogo a forme più acclivi e dall'andamento più accidentato ed irregolari, vengono erose in misura più ridotta e tendono quindi a

risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudocoerenti; queste ultime sono formate da rilievi spesso ondulati, regolari, interrotti localmente da forme geomorfologiche legate ad un'intensa attività erosiva.

Questa differenziazione di origine "strutturale" è ulteriormente accentuata dalla cosiddetta "erosione selettiva", ovvero dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici che sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica. (Cantalamessa et al., 1986).

Si descrivono sinteticamente le caratteristiche geomorfologiche del bacino del Torrente Miano ponendo particolare attenzione su depositi e forme derivanti dai processi morfogenetici che possono determinare situazioni di pericolosità da frana (Fig. 14) e da esondazione. Le informazioni derivano dal rilevamento eseguito nei luoghi più critici e individuate dall'analisi dei dati noti in letteratura e della cartografia della Regione Marche. Si rimanda per il dettaglio dei lavori citati nei capitoli dedicati.



*Figura 14. Versante con evidenziato un avvallamento dovuto al movimento franoso presente all'interno del bacino del Torrente Miano*

## 2.5 Inquadramento Idrologico e Idrogeologico

L'assetto orografico delle Marche fa sì che la quasi totalità dei corsi d'acqua dreni verso il Mare Adriatico; unica eccezione il fiume Nera che nasce nelle Marche ma poi diventa un affluente del Tevere. Inoltre, il territorio marchigiano è attraversato da 13 fiumi principali, che hanno un andamento sub-parallelo, cosiddetto a pettine, e sono: il Conca, Marecchia, Foglia, Metauro, Cesano, Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso e il Tronto. Oltre ai bacini dei fiumi sopra elencati se ne aggiungono altri di minori dimensioni ma allo stesso tempo importanti per i vari rischi idrologici che potrebbero portare. Secondo il Piano di Tutela delle Acque sono presenti circa 40 bacini idrografici che attraversano l'intera regione, in generale partono dalla costa e si estendono in direzione NE-SW, per svariati km fino ad arrivare alla fascia pedeappenninica più interna. Il Servizio Ambiente e Paesaggio della Regione Marche, nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque, ha condotto un importante progetto di studio sugli acquiferi della regione sulla quale opera attivamente: questo progetto è stato adottato e monitorato dalla Giunta Regionale delle Marche con Deliberazione n. 1531 del 18/12/2007 e si compone di una Relazione di Sintesi e una Relazione di Piano. La redazione finale del PTA ha previsto la realizzazione di una consistente cartografia tematica riguardante le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi alluvionali presenti lungo tutta la fascia costiera marchigiana.

Nella *Fig. 15* viene proposto lo schema idrogeologico della Regione Marche, ovvero le carte piezometriche a scala di bacino che costituiscono alcuni estratti del Piano di Tutela delle Acque.

Il settore umbro-marchigiano possiede inoltre una risorsa idrica di notevole entità, grazie sia al regime pluviometrico che all'assetto geologico. Al suo interno è caratterizzato da numerosi acquiferi di diverso tipo: nella parte presso le dorsali appenniniche sono presenti numerosi acquiferi carbonatici, mentre, sulla fascia costiera fino a diversi km nell'entroterra, sono presenti acquiferi nei depositi terrigeni miocenici, plio-pleistocenici e nelle pianure alluvionali (Crescenti, 1972).

Gli acquiferi delle pianure alluvionali marchigiane presentano tra loro analogie strutturali, litologiche e granulometriche e il loro assetto morfostrutturale è frutto dell'evoluzione plio-pleistocenica dell'intera fascia periadriatica umbro-marchigiana. Questi bacini alluvionali sono infatti impostati su linee tettoniche antiappenniniche che hanno condizionato la loro evoluzione pleistocenica a cui è connessa la migrazione dei fiumi verso sud nel tratto intermedio delle valli e verso nord in quello terminale (Nanni & Vivalda, 1986a).

La ricarica delle falde sotto il bacino oggetto di studio è dovuta principalmente all'infiltrazione delle acque superficiali. I circuiti idrologici ai quali sono legate le falde di subalveo sono due: uno superficiale, relazionata con le acque meteoriche e di superficie, ed uno più profondo legato al circuito regionale ed alle strutture tettoniche che permette la risalita delle acque salate presenti nei depositi marini pliocenici (Nanni & Vivalda, 1986b).

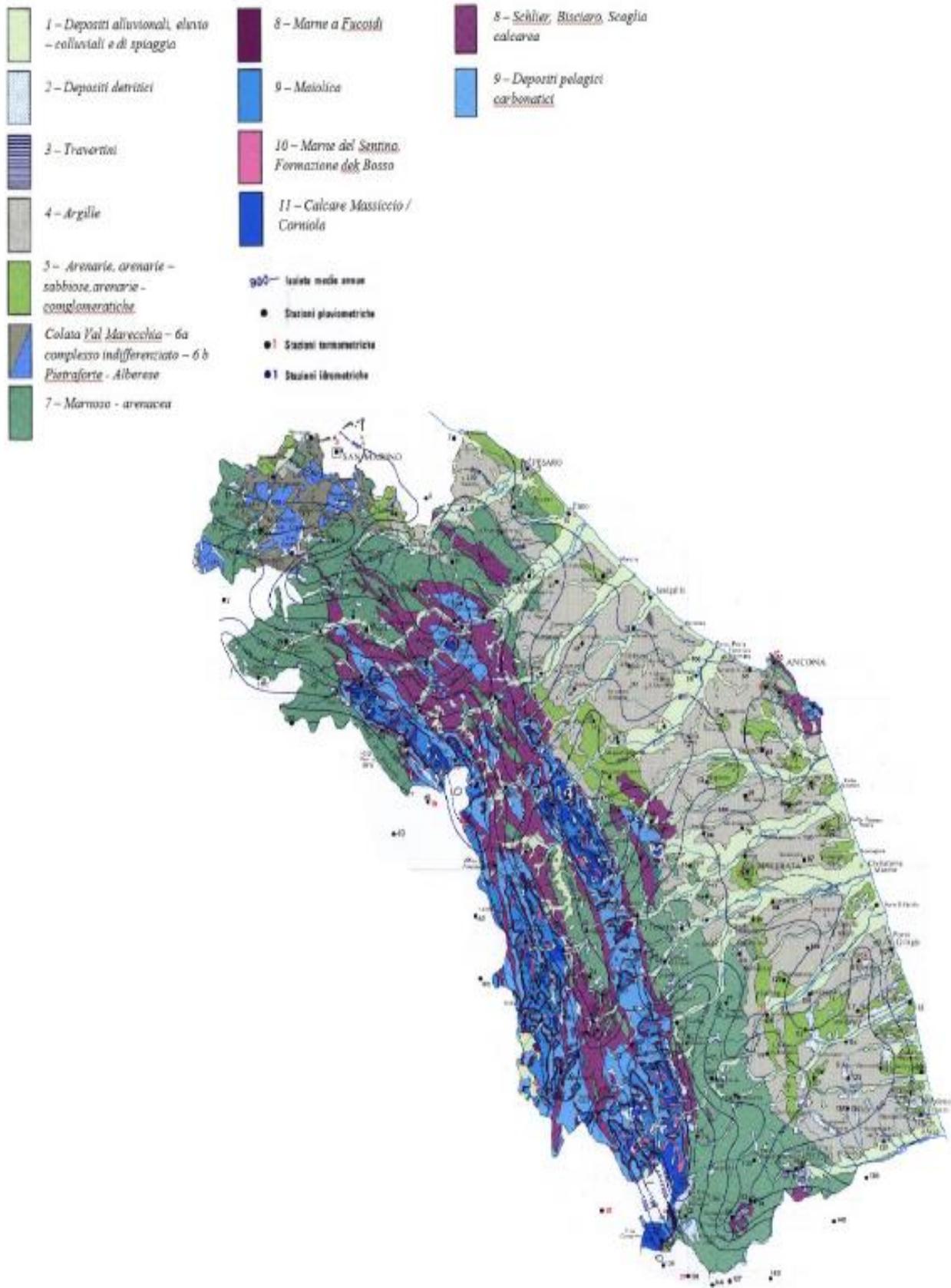


Figura 15. Schema idrogeologico delle Marche (da Piano Tutela Acque della Regione Marche, 2007)

Per quanto riguarda le caratteristiche di identificazione di un bacino è possibile individuare una classificazione delle formazioni idrogeologiche dividendole in permeabili, impermeabili e semi-permeabili.

Tutte le formazioni permeabili di un bacino sedimentario contengono falde idriche sotterranee quindi ACQUIFERI, ossia delle formazioni idrogeologiche a permeabilità medio-alta (con coefficiente di permeabilità compreso tra  $10^{-1}$  e  $10^{-4}$  cm/s), sede di una falda acquifera (freatica o in pressione, avremo quindi acquiferi freatici o liberi e acquiferi confinati). In tale classe rientrano le ghiaie eterometriche che costituiscono l'orizzonte acquifero: la presenza di intercalazioni sabbioso-limose può ridurre di diversi ordini di grandezza la permeabilità. L'AQUITARD invece è una formazione idrogeologica a permeabilità bassa che in alcuni casi funge da acquifero e in altri casi da aquiclude e rientra nella classe di terreni scarsamente permeabili, tra i quali abbiamo depositi caratterizzati da un coefficiente di permeabilità compreso tra  $10^{-4}$  e  $10^{-7}$  cm/s come le sabbie-limose o i limi-sabbiosi. Infine, abbiamo l'AQUICLUDE cioè una classe a bassissima permeabilità che funge da limite per la circolazione idrica sotterranea, sono depositi caratterizzati da un coefficiente di permeabilità inferiore ai  $10^{-7}$  cm/s. Di questa classe fanno parte gli orizzonti più fini (limi-argilloso-sabbiosi, limi argillosi e argille limose) presenti all'interno del substrato (Coltorti & Nanni, 1987).

Nella *Fig. 16* si possono notare i vari acquiferi classificati in ordine cronologico e poi in base alla loro permeabilità, in corrispondenza della successione umbro-marchigiana all'interno della quale ricade il bacino esaminato.

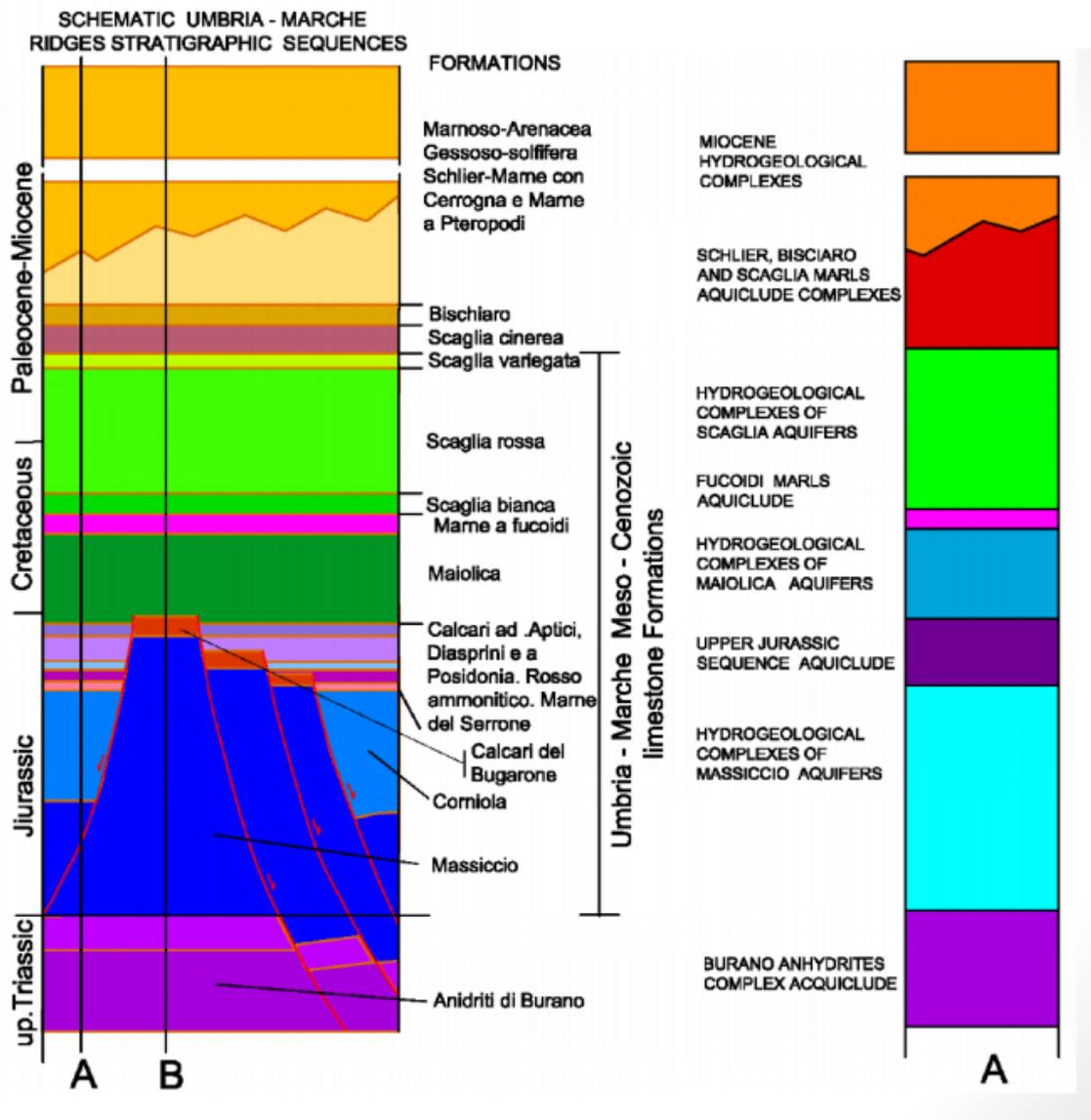


Figura 16. Disposizione acquiferi in funzione della successione umbro marchigiana (Tazioli et al., 2013)

Uno tra questi sottobacini è quello del Torrente Miano che si trova nella zona litorale tra Esino e Musone (come mostrato in Fig. 17) all'interno del settore umbro-marchigiano con caratteristiche sopra descritte.



Figura 17. Individuazione della posizione del bacino preso in analisi rispetto ai principali 13 fiumi marchigiani con i loro rispettivi bacini delimitati ([www.autoritabacino.marche.it](http://www.autoritabacino.marche.it))

Il bacino del Miano è a sua volta regolato dai Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) di ciascun Distretto Idrografico italiano e dal Piano di Gestione delle Acque contribuendo così alla “gestione integrata” dei bacini idrografici. L’assetto idrogeologico dell’area è caratterizzato dalla presenza di complessi idrogeologici di diversa natura, in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche che si individuano nelle diverse aree del bacino. È possibile individuare i complessi idrogeologici presenti nella zona interessata dal bacino esaminato dalla carta in *Fig. 18*.

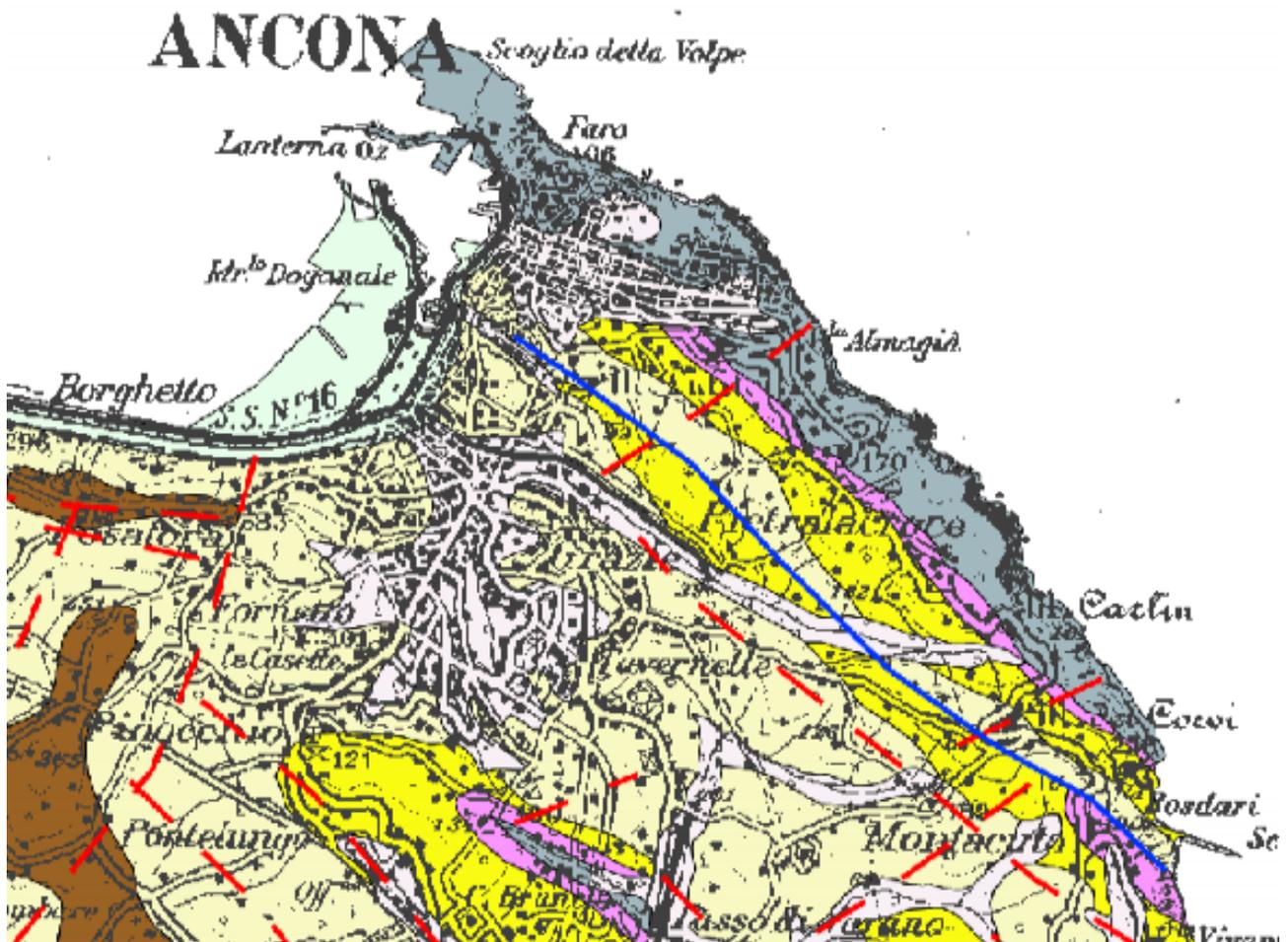


Figura 18. Carta dei complessi idrogeologici (estratto dal Piano di Tutela delle Acque (PTA))

Il bacino è inoltre formato da litotipi superficiali prevalentemente sabbiosi con alta permeabilità, il che comporta una continua alimentazione della falda sottostante con conseguente innalzamento del livello del corso d'acqua dovuto alle forti precipitazioni nei mesi invernali.

I litotipi presenti all'interno del bacino sono sei (Cantalamessa G., 1986; Coltorti & Nanni, 1983):

- *Depositi alluvionali*: sono costituiti da un accumulo di sedimenti fluviali (come fango, sabbia, ghiaia o ciottoli), che si produce quando la velocità di un corso

d'acqua (in questo caso il Torrente Miano) diminuisce bruscamente così da non consentire il mantenimento in sospensione di materiali solidi. I depositi alluvionali sono tipici delle foci fluviali a delta e delle confluenze nei laghi o nei corsi d'acqua di dimensioni maggiori. Per esempio, quando il fiume di una valle fluviale minore converge in una più ampia, la discontinuità di pendenza produce depositi dalla tipica forma di ventaglio convesso: i cosiddetti conoidi di deiezione

- *Depositi Eluvio-Colluviali*: depositi al piede formati in sito per alterazione della litologia sottostante, rimaneggiati, reincisi ritrasportati e ancora sottoposti ad alterazione. Sarebbero da chiamare coperture di alterazione e dipendono sia dal clima che dalla roccia madre
  
- *Argille Azzurre*: Si tratta di una successione dello spessore di oltre 3000 m, caratterizzata da un assetto monoclinale, costituita da argille e argille siltose di colore grigio-azzurro massive, con rare intercalazioni di arenarie fini e finissime di colore grigio-gialle poco cementate; si intercalano, a varie altezze stratigrafiche e con frequenti passaggi laterali, orizzonti o corpi più complessi di varie associazioni litologiche. La formazione è ricca in foraminiferi e macrofossili, risale al pliocene-pleistocene inferiore
  
- *Colombacci*: Marne e marne argillose in strati sottili e medi con subordinate lenti sottili di siltiti e arenarie medio-fini. Vi si intercalano lenti arenacee o conglomeratiche e da alcuni orizzonti guida di spessore fino a circa 1,5 m costituiti da strati carbonatici biancastri (risalenti al Messiniano)
  
- *Depositi in Frana*: Frane di diverse tipologie con evidenze di movimenti recenti. Depositi eterogenei più o meno caotici la cui composizione varia con il

substrato interessato. Le dimensioni variano da clasti di piccole dimensioni, con matrice variabile, a veri e propri blocchi

- *Gessoso-Solfifera*: è caratterizzata da un'estrema eterogeneità litologica. Nell'unità sono infatti comprese sia facies evaporitiche di precipitazione primaria da acque marine e non-marine, sia facies clastiche. Quest'ultime derivano dallo smantellamento e accumulo di evaporiti primarie in bacini relativamente profondi attraverso processi gravitativi, poggiano sulla discontinuità intra-messiniana, risultando quindi più recenti delle evaporiti primarie. L'attuale grado di formazione non è adeguato e non consente di rappresentare in modo efficace la grande varietà litologica e la differenziazione in numerosi bacini.

L'acquifero di subalveo del torrente Miano ha una geometria generalmente asimmetrica con spessori di depositi alluvionali che raggiungono circa 10 m dai dati ricavati nei sondaggi geognostici nella zona d'interesse.

### 3. Stato dell'arte

In ambito geologico il bacino si può definire il come una concavità di dimensioni estremamente variabili della crosta terrestre. In natura si trova di varie forme e dimensioni con la possibilità di ospitare diversi tipi di acque.

Si individuano diversi tipi di bacini in base al tipo di acque contenute al suo interno: nel caso in cui il bacino contiene acque marine è identificabile come bacino marittimo, se al suo interno sono presenti acque di lago è chiamato bacino lacustre mentre se dentro di esso troviamo l'insieme delle valli che convogliano le acque ad un corso d'acqua collettore viene nominato bacino idrografico. In scala mondiale all'interno dei continenti si hanno grandi bacini racchiusi da catene montuose, talvolta senza sbocco al mare. Lo spartiacque (detto anche displuvio) è individuabile come un limite geografico immaginario che separa due bacini idrografici diversi.

Tra le principali categorie di bacino possiamo individuare tre tipologie ben distinte (Coltorti & Nanni, 1987):

- *Bacino idrogeologico*: è una porzione di territorio nella quale vengono raccolte e convogliate le acque meteoriche che penetrano in profondità; si differenzia dalla definizione di bacino orografico che da quella di bacino idrografico (elencate successivamente) perchè presenta uno spartiacque sotterraneo, mentre il suo andamento dipende dall'orientamento stratigrafico delle rocce impermeabili, dalla geomorfologia del terreno e dalla dinamica dei corsi d'acqua, o flussi, sotterranei. Il bacino idrogeologico alimenta quindi le falde acquifere
- *Bacino idrografico*: è una zona della crosta terrestre che raccoglie le acque di precipitazione e le fa confluire in uno stesso corso d'acqua. Questa tipologia di bacino è classificabile come un territorio dal quale le acque di pioggia o di scioglimento delle nevi e dei ghiacciai, defluiscono in superficie e vengono raccolte in un corso d'acqua direttamente o per mezzo di affluenti. Il bacino

termina in un punto del fiume detto "sezione di chiusura del bacino", dove transitano tutte le acque defluenti dal monte

- *Bacino orografico*: è una zona che presenta caratteri geologici uniformi ed è delimitata da un rilievo (cioè un altopiano di dimensioni variabili) facente parte dello stesso sistema

### 3.1 Gestione e monitoraggio dei bacini

La rete di monitoraggio della Regione Marche è nata nel 1917 ad opera del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). Le Marche appartenevano al compartimento di Bologna competente per i bacini idrografici dal Reno al Tronto. Si tratta di un servizio tecnico dello Stato articolato nel territorio nazionale con un ufficio centrale e uffici periferici addetto alla collocazione degli strumenti, all'osservazione, alla misura e all'elaborazione dei dati misurati e alla loro sistematica pubblicazione negli Annali Idrologici ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). A seguito del trasferimento alle regioni delle competenze degli uffici periferici del SIMN, e con la deliberazione della Giunta Regionale n.2748 del 20/11/2001, incaricato di assolvere alle funzioni di raccolta dei dati a partire dal 2002 è il servizio di Protezione Civile della Regione Marche che in accordo con enti nazionali, per prevenire le varie tipologie di rischio, si avvale della redazione di diversi piani di monitoraggio tra i quali il Piano di Assetto Idrogeologico (anche detto PAI) e varie mappe statistiche di individuazione delle zone soggette a rischio, una tra queste è rappresentata in *Fig. 19* per quanto riguarda la pericolosità dovuta alle frane e alle alluvioni.

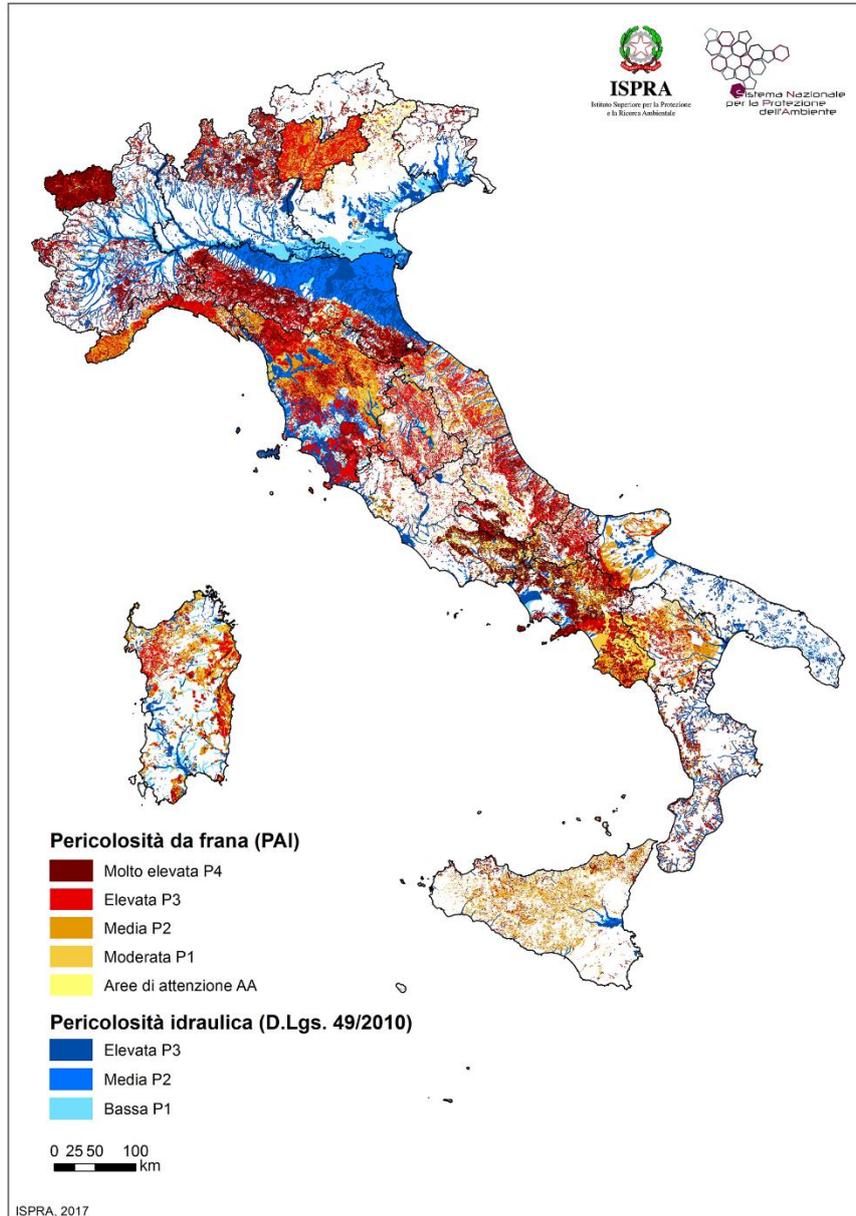


Figura 19. Mappa della pericolosità frane e idraulica (Rapporto PAI, 2018)

Si definisce invece il PAI, un piano a scala di bacino idrografico che contiene una valutazione delle condizioni di pericolosità idrogeologica del territorio, la delimitazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia e la determinazione delle misure da attuare ai fini di una corretta previsione. Costituisce un sistema di riferimento organico di conoscenze, di norme e di regole attraverso le quali segue gli obiettivi generali di prevenzione assicurando l'incolumità della popolazione e garantendo livelli di sicurezza e di sviluppo adeguati e compatibili rispetto ai

fenomeni di dissesto idrogeologico in corso o con un'elevata probabilità che si possano verificare ([www.protezione.civile.regione.marche.it](http://www.protezione.civile.regione.marche.it)). Nel PAI il termine pericolosità si riferisce alla possibilità di accadimento di un evento (alluvionale o franoso) in un determinato periodo di tempo e in una data area di potenziale danno. Il concetto di rischio inteso anche come rischio totale è la combinazione dei vari rischi specifici. Viene quindi identificato e classificato in base ai danni da esso apportati: le vittime, i feriti, le distruzioni ed i danni alle strutture, alle attività economiche e ai beni ambientali e culturali. Per la sua stima in termini di gravità del danno stesso bisogna associare un valore agli elementi colpiti. Con il termine mitigazione del rischio invece, si comprendono tutte quelle azioni, attive o passive, sul processo in azione (fenomeno pericoloso) rivolte alla riduzione del rischio e con la possibilità di essere attuate agendo sulla pericolosità e/o sulla vulnerabilità (misure strutturali e no, interventi, monitoraggi, misure di salvaguardia territoriali).

Il Piano per l'assetto idrogeologico (PAI) nelle Marche, richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, si rappresenta come stralcio funzionale del settore della pericolosità idraulica ed idrogeologica del Piano generale di bacino previsto dalla L. 183/89 e dalla L.R. 13/99. ([www.regione.marche.it](http://www.regione.marche.it)). L'obbiettivo e l'argomento contenuti nelle norme di attuazione valgono solamente per le aree ricadenti all'interno dei confini dei bacini idrografici soggetti a rischio idrogeologico e geologico di competenza dell'Autorità (*Fig. 20*), tra i quali si trova il bacino del Torrente Miano.

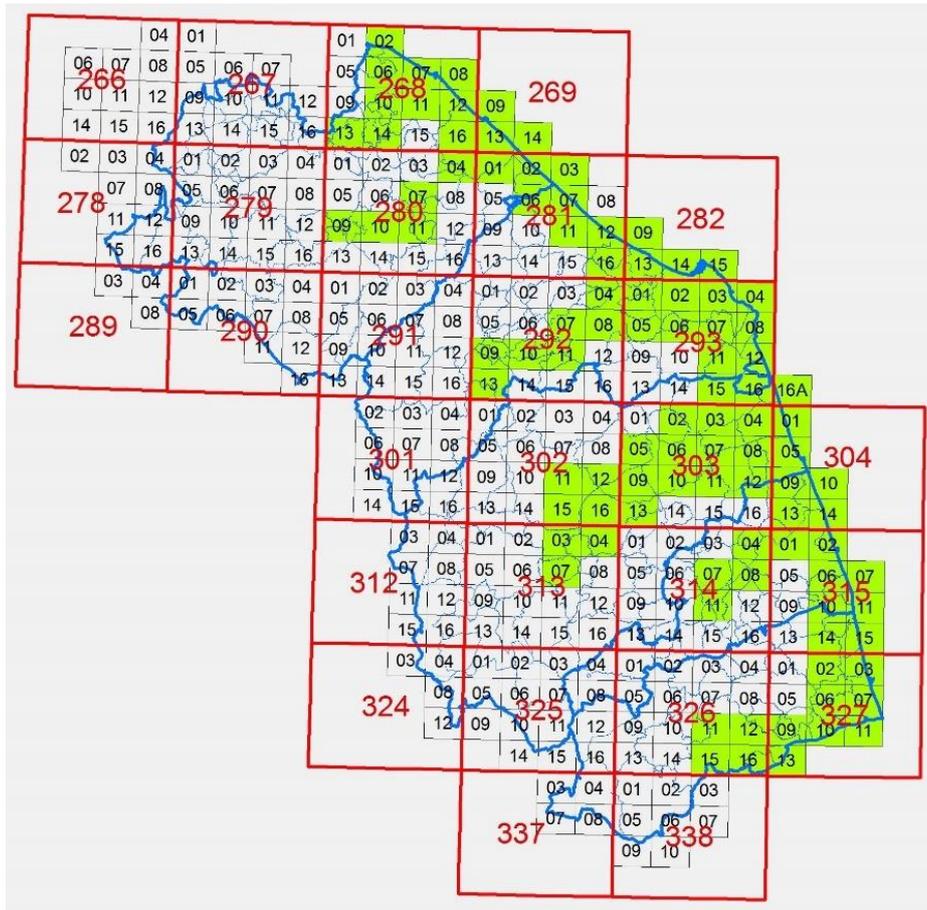


Figura 20. Individuazione delle zone a rischio evidenziate in verde (estratto dal Piano di Assetto Idrogeologico)

### 3.2 Rischio idrogeologico di un bacino

Il rischio è la gravità che un'attività e/o un'azione porti a una perdita, ad un danno o al verificarsi di un evento indesiderabile (La Vigna, 2013).

È determinabile secondo la seguente relazione (ISPRA, 2016):

$$R = P \times V \times E$$

- Pericolosità (P): è la probabilità che un certo tipo di evento accada in un determinato sito con un dato tempo di ritorno;
- Vulnerabilità (V): è un parametro legato alla capacità dell'ambiente a contrapporsi all'evento;

- Esposizione (E): è un elemento fondamentale correlato al valore che l'oggetto (ambiente o qualsiasi altra cosa) esposto al pericolo assume in termini di vite umane, economici, artistici, culturali o altro.

L'ISPRA, al fine di ottenere una mappa della pericolosità sull'intero territorio nazionale, ha proceduto all'individuazione delle aree esposte al rischio dei PAI individuando cinque classi di pericolosità:

- P4 = pericolosità molto elevata;
- P3 = pericolosità media;
- P2 = pericolosità moderata;
- P1 e aree di attenzione AA = pericolosità bassa.

In ambito idrologico, con il termine di pericolosità idraulica, si intende la probabilità che piogge molto forti o abbondanti, una volta combinante con le particolari condizioni che caratterizzano un territorio o nel caso in esame un bacino, contribuirebbero a provocare una frana o un'alluvione. In questi casi si parla di rischio idrogeologico o idraulico ([www.minambiente.it](http://www.minambiente.it); Castany, 1985).

In Italia il dissesto idrogeologico è abbastanza diffuso e rappresenta un problema di notevole importanza. Tra i fattori naturali che espongono il nostro territorio ai dissesti idrogeologici, rientrano le sue caratteristiche geologiche e geomorfologiche, contraddistinte da un'orografia (distribuzione dei rilievi) complessa e bacini idrografici generalmente di piccole dimensioni, che sono quindi diversificati da tempi di risposta alle precipitazioni estremamente rapidi. Il tempo che passa tra l'inizio della pioggia e il manifestarsi della piena nel corso d'acqua può essere dunque molto breve. Eventi meteorologici localizzati e intensi abbinati a queste predisposizioni del territorio possono dar luogo a fenomeni violenti caratterizzati da cinematiche anche molto rapide (Ugolini, 2012).

Il rischio idrogeologico è fortemente influenzato anche dall'azione dell'uomo. La densità della popolazione, la progressiva e continua urbanizzazione, l'abbandono dei terreni montani migrando verso le città o i territori sempre più pianeggianti e collinari, l'abusivismo edilizio, l'incessante disboscamento, l'uso di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente e del suolo e la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno sicuramente aggravato il dissesto e messo ulteriormente in evidenza la fragilità del territorio italiano e aumentato l'esposizione ai fenomeni e quindi il rischio stesso (Tagnani et al., 2014).

In *Fig. 21* è riportato l'Indice di Evento Totale (IET%), espresso come rapporto tra area interessata da eventi sull'area totale regionale. Si può notare quindi che la regione Marche è la più soggetta ad eventi di carattere gravoso.

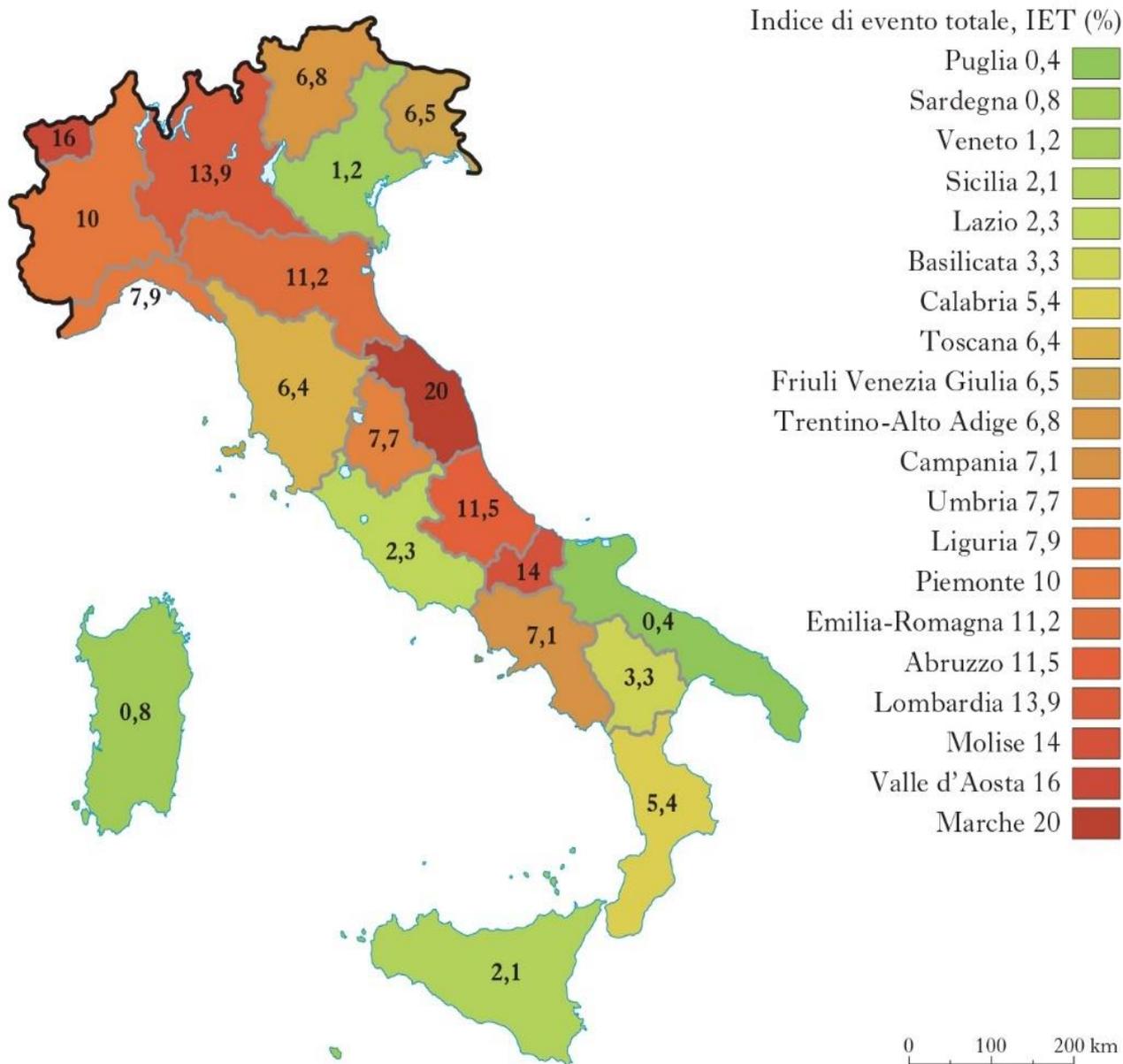


Figura 21. Mappa dell'indice di evento totale, IET (%) ([www.treccani.it](http://www.treccani.it))

Focalizzando l'attenzione nel bacino del Torrente Miano si riporta la notizia dell'alluvione eccezionale verificatasi nell'area di interesse intorno agli anni '60 (Fig. 22) che ha comportato l'instaurarsi di un continuo monitoraggio negli anni successivi da parte delle autorità pubbliche.

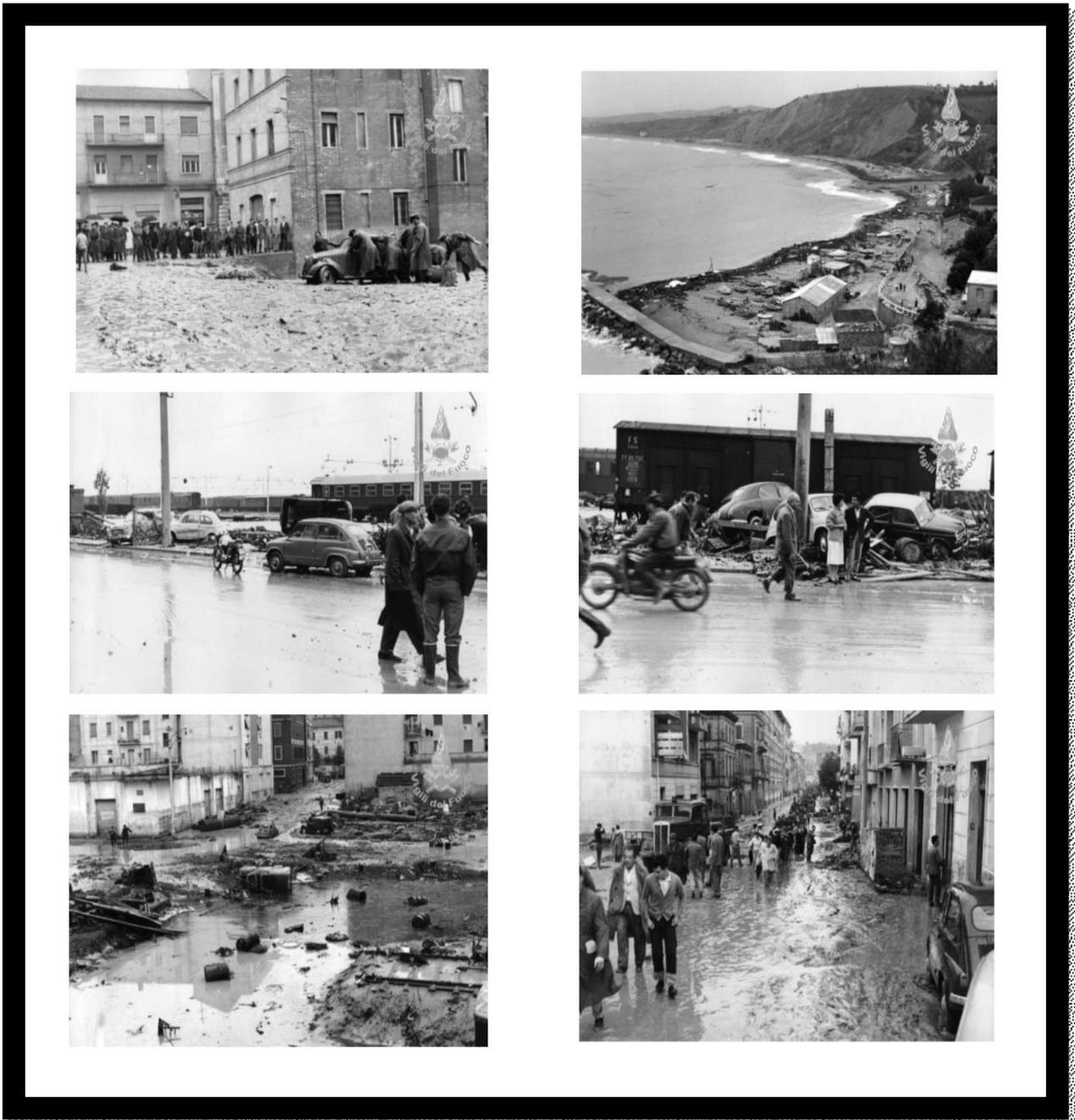


Figura 22. Alluvione città di Ancona nel 1959 ([www.vigilidelfuoco.tv](http://www.vigilidelfuoco.tv))

Nella zona costiera ricadente tra i fiumi Esino e Tenna il 5-6 settembre del 1959 un violento temporale colpì alcune provincie del comune di Ancona, Macerata e Ascoli Piceno. In un giorno caddero 234 mm di pioggia tra la città di Civitanova e Porto S. Elpidio che portarono ad erosioni sui vari versanti collinari generando enormi colate di fango. Nell'anconetano alcuni luoghi all'interno del bacino di Valle Miano vennero trasformati in invasi che si riversarono, sommandosi agli scarichi

dell'ostruito collettore Conocchia, lungo le località poste a valle come il tracciato ferroviario, il Corso Carlo Alberto, il piazzale della stazione centrale fino ad arrivare nei pressi del Porto. Le grandi masse di fango e acqua, con altezza di circa 2 m, una volta arrivate nel centro abitato demolirono case, edifici e spazzarono auto causando alcune vittime. Nella provincia maceratese e nell'ascolano, invece, si verificarono ulteriori dissesti a causa dello straripamento del Fosso Caronte e di altri torrenti. L'alluvione colpì 9 territori comunali delle Marche tra i quali: Ancona, Sirolo, Numana, Civitanova Marche, Porto Recanati, Potenza Picena, Fermo, Porto S. Elpidio e Porto S. Giorgio (ISPRA, 1992).

Le vittime totali furono 10 e i danni arrecati furono tantissimi: le conseguenze più gravi del nubifragio le subirono alcuni dei quartieri più popolari di Ancona come La Palombella, San Lazzaro e Valle Miano comprendendo anche la vasta area della stazione ferroviaria. I Vigili del fuoco regionali e anche quelli delle regioni limitrofe (come Abruzzo, Emilia-Romagna e Lazio), operarono per più di una settimana ed in condizioni estreme per soccorrere la popolazione in pericolo ed effettuarono oltre cento salvataggi di persone ([www.vigilidelfuoco.tv](http://www.vigilidelfuoco.tv)).

### 3.3 Relazione tra acque superficiali e sotterranee di un bacino

Le acque meteoriche che cadono sul terreno in parte si infiltrano ed in parte rimangono in superficie. Le componenti che influenzano la ripartizione tra lo scorrimento superficiale e quello sotterraneo e quelle che incidono sulla determinazione delle caratteristiche dei due deflussi sono (Baiocchi et al., 2008):

- *Geografiche*: con riferimento alla quantità delle precipitazioni e al clima;
- *Geologiche e Litologiche*: influenzano la percolazione (ossia il movimento di un liquido attraverso un mezzo poroso, nel nostro caso il terreno) e la circolazione idrica sotterranea ma anche sul trasporto solido che avviene in superficie;

- *Ambientali*: quelle relative alla copertura vegetale del territorio analizzato, che incide soprattutto sull'evapotraspirazione e sulla quantità d'acqua che penetra nel terreno svolgendo un ruolo determinante nella resistenza all'erosione.

La pioggia battente che cade sul suolo nudo favorisce la compattazione del terreno, diminuisce il tempo di corrivazione, ossia il tempo (in ore) che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino e aumenta la portata del deflusso superficiale. Invece la copertura arborea intercetta l'acqua piovana riducendo così l'effetto battente sul suolo e aumenta la velocità d'infiltrazione, grazie alla porosità che si crea nelle zone interessate dagli apparati radicali. Il deflusso superficiale, corrispondente alla quantità d'acqua che un fiume convoglia alla sua sezione di chiusura, aumenta con l'intensità e la durata della pioggia o dell'evento meteorico (detto anche afflusso meteorico) e la pendenza locale del terreno e diminuisce con la capacità di infiltrazione del suolo. Le caratteristiche del bacino idrografico incidono abbastanza sul coefficiente di deflusso del fiume, ovvero sul rapporto tra deflusso superficiale e afflusso meteorico (Bisci & Dramis, 1991).

Il bacino idrografico non va assolutamente confuso con il bacino idrogeologico, per il quale non si considera il solo scorrimento delle acque superficiali ma anche il deflusso sotterraneo dipendente dalla stratigrafia e dalla conformazione geologica del sottosuolo. L'acqua che penetra nel terreno in un primo momento imbeve gli strati più superficiali attraversandoli e poi prosegue verso quelli più profondi sino ad incontrare una superficie impermeabile. Si formano così le falde acquifere, ovvero masse d'acqua che saturano la porosità del terreno o le fessure della roccia muovendosi lentamente ad opera della gravità e della permeabilità.

Il drenaggio delle acque sotterranee negli acquiferi di subalveo è condizionato dalle differenze di permeabilità dei depositi alluvionali e dall'evoluzione geomorfologica che caratterizza le pianure alluvionali (Nanni & Vivalda, 1987).

È possibile quindi individuare il bilancio idrologico del bacino dall'analisi delle piogge cadute e delle acque di ruscellamento e infiltrazione all'interno dello stesso (Di Matteo et al., 2006):

$$P = E + R + I$$

P = precipitazione

E = evapotraspirazione

R = deflusso superficiale

I = infiltrazione efficace

L'apporto complessivo dell'acqua proveniente dall'atmosfera, che raggiunge la superficie terrestre in una delimitata area si chiama afflusso. Quest'ultimo nell'interazione con il suolo si suddivide in diverse componenti definite in base ai differenti percorsi seguiti dall'acqua e dalle varie reazioni fisico-chimiche subite. Le principali sono: evapotraspirazione, il deflusso superficiale e l'infiltrazione. In *Fig. 23* c'è un processo schematizzato del processo fisico di trasferimento dell'acqua dall'atmosfera al suolo, nel sottosuolo e di conseguenza anche nei fiumi.

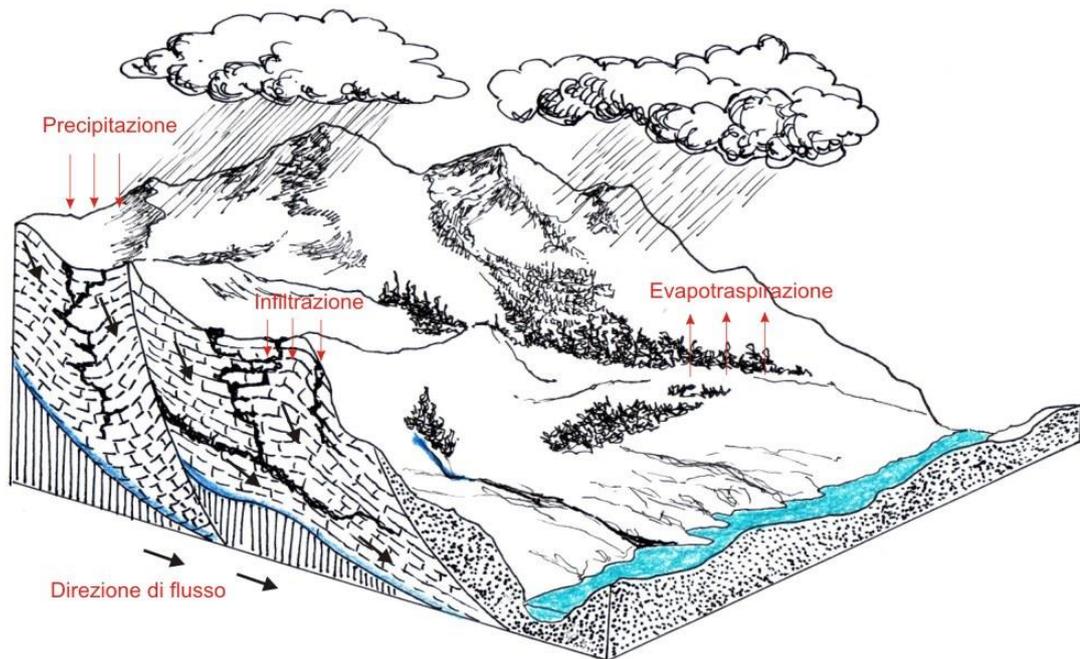


Figura 23. Disegno del flusso idrogeologico che compie l'acqua in un determinato bacino (Celico, 1986)

Nel momento in cui l'acqua meteorica precipita al suolo (chiamato fase o zona di alimentazione), inizia il suo percorso seguendo delle vie preferenziali dettate dalla morfologia del bacino e successivamente dalla litologia strutturale del sottosuolo dove inizia un sistema di vuoti in cui l'acqua circola soprattutto in senso verticale, lentamente nei pori o nelle piccole fessure presenti e velocemente nei vuoti di maggiori dimensioni. Ad una profondità maggiore rispetto al piano campagna l'acqua si concentra sino a riempire tutti gli spazi della roccia, questa è definita come zona satura (o freatica). Il volume occupato dall'acqua in zona satura è soggetto a delle variazioni dovute agli apporti idrici che influenzano il sistema carsico in modo diretto in modo indiretto. Nella prima modalità (cioè quella diretta) operano gli agenti meteorici mentre l'influenza indiretta è data dai travasi dei bacini adiacenti a quello analizzato. L'acqua sotterranea raggiungerà la zona in cui sono situate le emergenze

ovvero le sorgenti carsiche (Celico, 1986). In Fig. 24 vi è uno schema che rappresenta sinteticamente quanto sopra descritto.

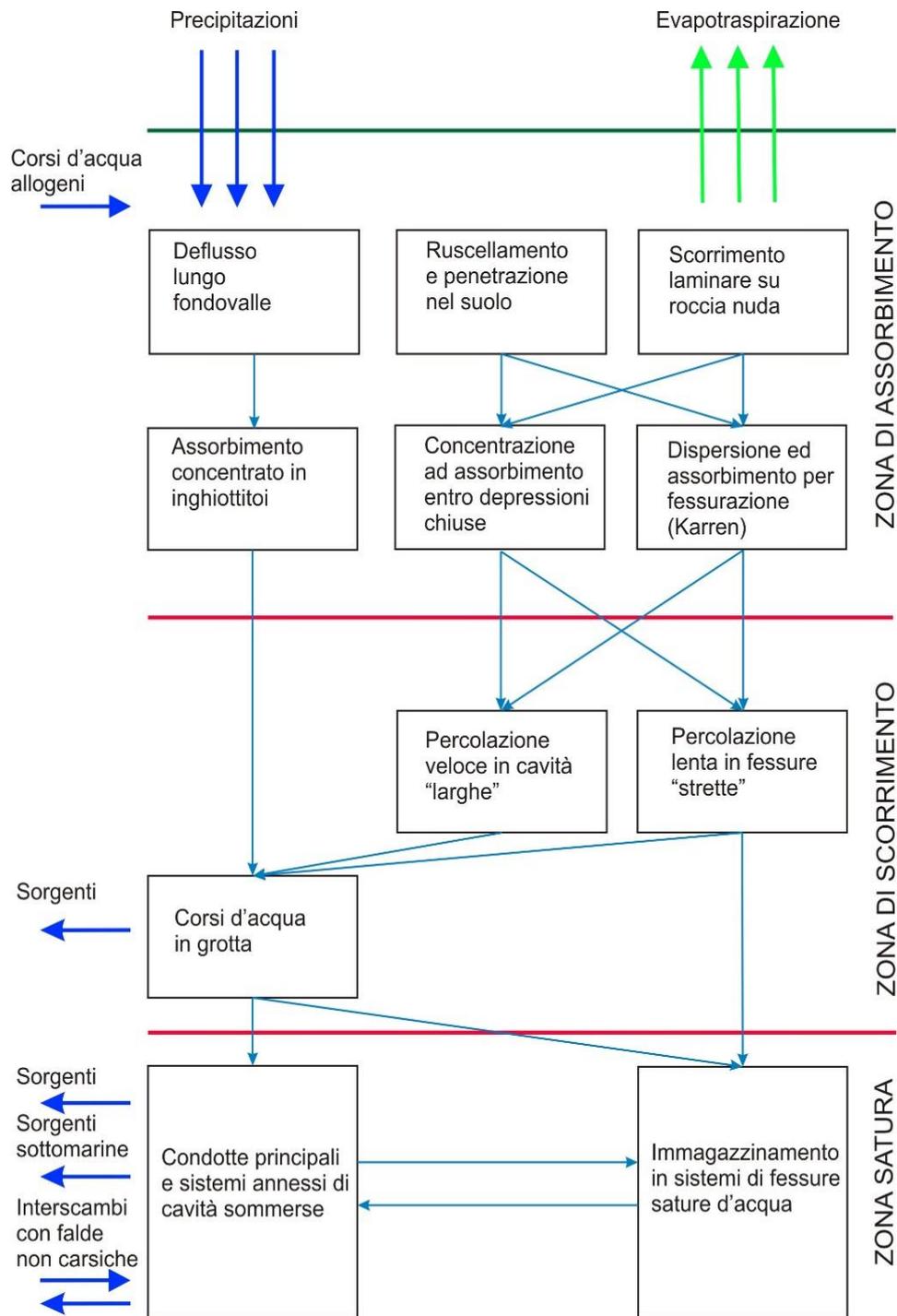


Figura 24. Schema con individuazione delle varie zone attraversate dall'acqua che cade all'interno del bacino (Brunettin, 2009; [www.gslunense.it](http://www.gslunense.it))

L'infiltrazione efficace è stata determinata in funzione della pendenza del bacino con l'equazione:

$$\text{Infiltrazione efficace} = I_{\text{eff}} = P_{\text{eff}} \times \text{CIP}_g (\%) \times \text{CIP}_{ps} (\%)$$

assegnando ad ogni singolo elemento cartografico un coefficiente di carattere geologico ( $\text{CIP}_g$ ) derivato dalla metodologia di Celico (1986) modificata, e un coefficiente che è funzione sia della pendenza che dell'uso del suolo ( $\text{CIP}_{ps}$ ).

Nella Fig. 25 si illustra una semplificazione del deflusso all'interno del bacino.

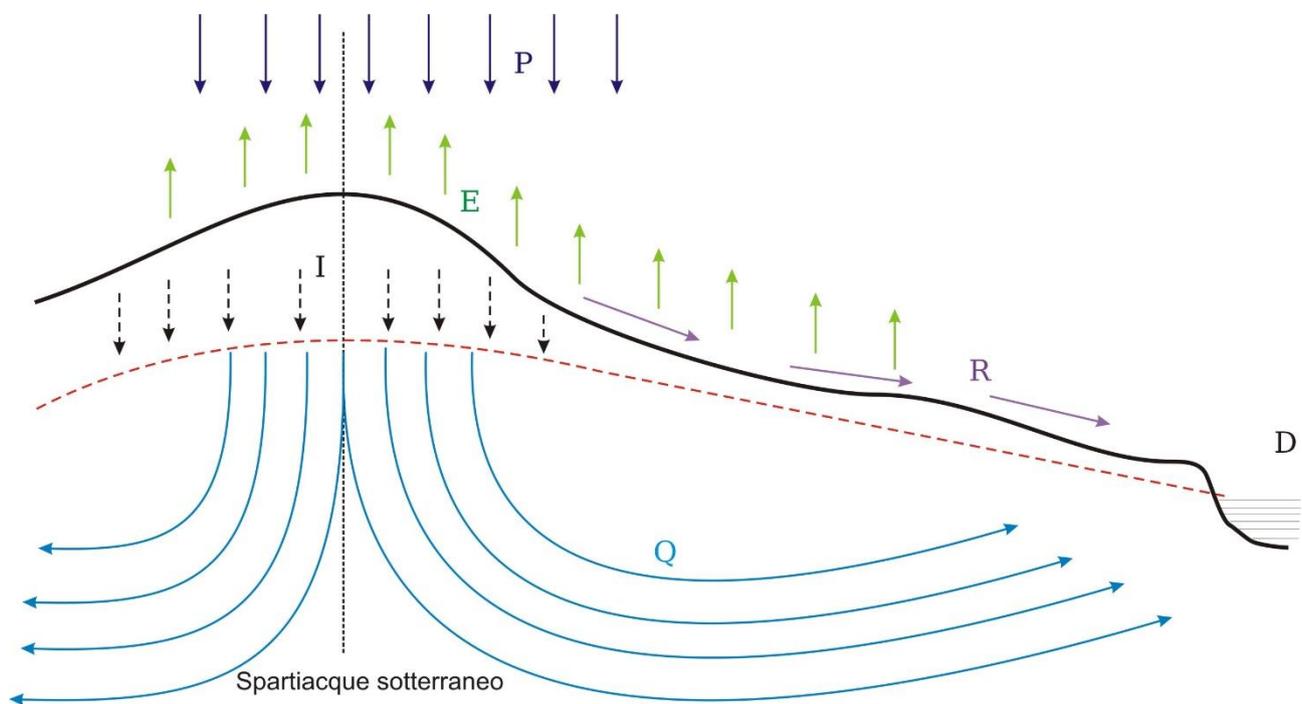


Figura 25. Schema di deflusso: P = precipitazione, E = evapotraspirazione, R = deflusso superficiale, I = infiltrazione, Q = portata che defluisce nel sottosuolo, D = R + I = deflusso idrico globale. ([www.gslunense.it](http://www.gslunense.it))

Oggi il modello di calcolo dei vari parametri per effettuare il bilancio idrogeologico è stato integrato e validato attraverso l'uso dei dati satellitari. Avendolo appena descritto con schematizzazioni grafiche e teoriche più o meno elaborate ed essendo consci che questi aspetti sono molto delicati e di maggiore incertezza allora si è ritenuto significativo integrare l'applicazione modellistica con l'uso di informazioni ricavate dalla elaborazione di immagini derivate dal telerilevamento, ovvero provenienti da piattaforma satellitare. Ci si riferisce all'utilizzo combinato di dati

spaziali relativi alle stime di indici della vegetazione presente nel bacino (NDVI = Normalized Difference Vegetation Index; Fr = Fractional vegetation cover) e temperatura radiometrica superficiale (LST = Land Surface Temperature), che possono fornire informazioni quantitative e qualitative sul contenuto di acqua del suolo, e di conseguenza, si devono considerare i valori distribuiti degli afflussi, sulle quantità coinvolte nel processo di evapotraspirazione (Braca et al., 2021).

Si fa particolare riferimento ai dati pubblicati dalla NASA, di gratuita fruizione e provenienti dal sensore MODIS, montato sui satelliti AQUA e TERRA, che permette di ricavare informazioni a scansione temporale giornaliera (dettaglio in *Fig. 26*).

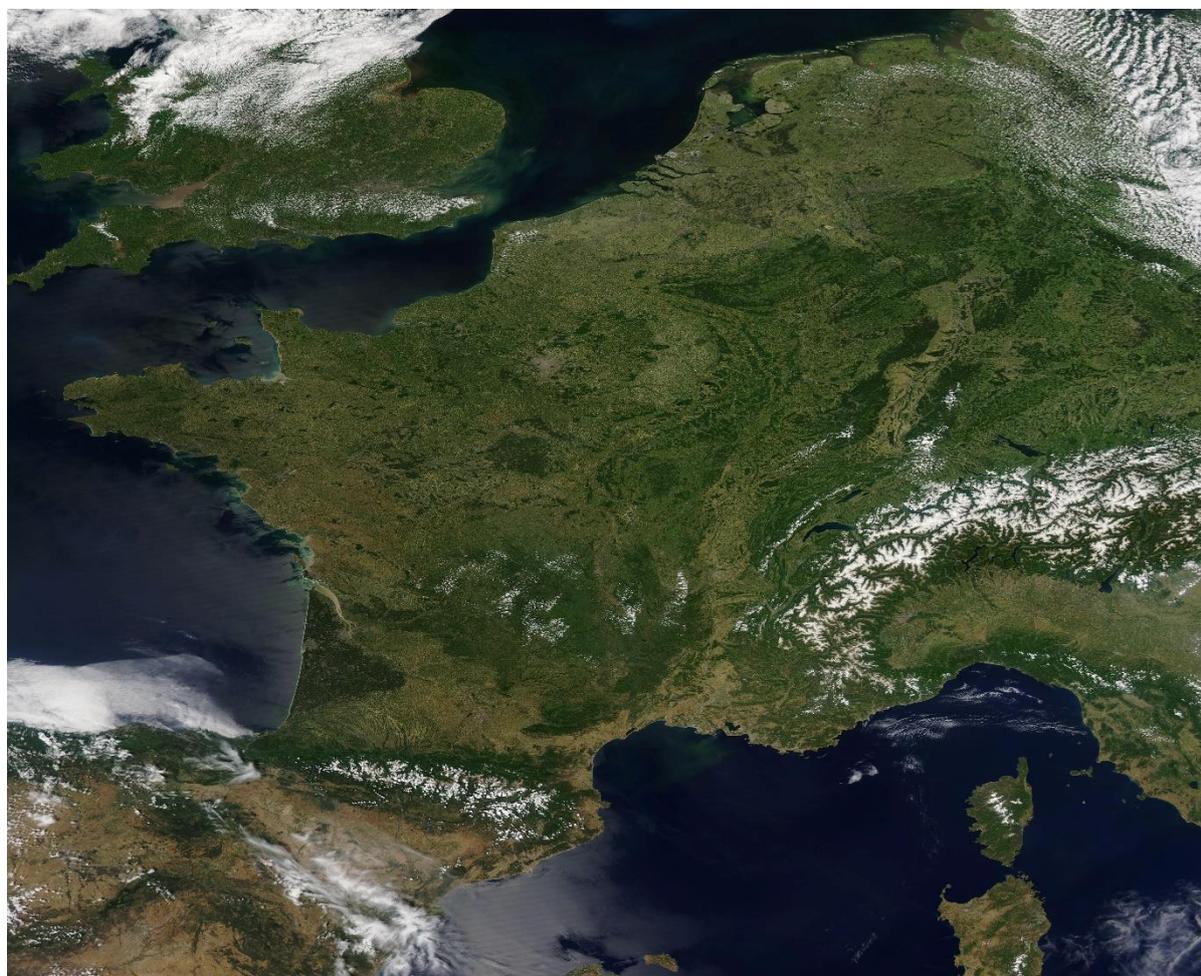


Figura 26. MODIS: image of the day (500m) ([www.modis.gsfc.nasa.gov](http://www.modis.gsfc.nasa.gov))

L'idea di base della metodologia di stima di ET (uno dei termini del bilancio idrologico che corrisponde all'evapotraspirazione) si basa sul fatto che la temperatura

radiometrica della superficie (LST) è molto sensibile ed è funzione del contenuto d'acqua presente nel suolo. Questo modello ha permesso una stima quantitativa dell'infiltrazione efficace su tutto il bacino che, pur nei limiti di un approccio di tipo qualitativo, ha il vantaggio di fornire una schematizzazione omogenea e consistente di fattori difficilmente quantificabili in maniera deterministica alla scala di bacino. Attraverso un processo di taratura è stato possibile ridurre la componente di tipo soggettivo, calibrando i valori dei parametri che portano alla stima dell'infiltrazione efficace sulla base di dati rilevati, misura di una sorta di grandezza "integrale" delle caratteristiche del bacino (ovvero, la portata alla sezione di chiusura). Il tenere in conto, oltre alle caratteristiche geologiche, anche dei fattori di pendenza e uso del suolo, rappresenta un forte arricchimento delle informazioni contenute nell'indice stimato, soprattutto al fine di perseguire una migliore rappresentazione della sua distribuzione spaziale all'interno di classi geologiche omogenee (Pippa, 1998).

L'uso dei dati telerilevati per approfondire e migliorare la stima di una delle componenti fondamentali e più incerte della metodologia (cioè l'evapotraspirazione) rappresenta un ulteriore elemento di rilevante interesse con lo scopo di diminuire la distorsione delle stime e soprattutto per rafforzare la significatività della modellazione dei processi di infiltrazione alla scala di bacino, oltre che per rendere più efficace la rappresentazione della loro variabilità spaziale (Celico, 1986).

### 3.4 Permeabilità nei terreni

Quando si parla di materiale permeabile si intende un elemento che contiene vuoti continui, quindi di conseguenza il terreno è uno di questi. ciò è dovuto al fatto che che l'acqua riesca a passare attraverso i vari tipi di terreno come ghiaia, sabbia, limi e argille seppur con intensità diverse. Questa differenza di permeabilità che distingue i terreni è stata studiata circa un secolo fa da Darcy. Quest'ultimo si concentrò sull'analisi del flusso dell'acqua all'interno di strati orizzontali di sabbia deducendo che la velocità di attraversamento era direttamente proporzionale alla perdita di carico e

inversamente proporzionale alla lunghezza dello strato stesso (Colombo & Colleselli, 2004). Darcy scrisse una correlazione tra le grandezze sopra elencate:

$$v = ki$$

dove  $v$  è la velocità,  $k$  è il coefficiente di permeabilità e  $i$  è il gradiente idraulico o pendenza della linea piezometrica. Questa legge fu dimostrata pochi anni dopo da Terzaghi che ne garantì il suo utilizzo in tutti i terreni. Il coefficiente  $k$  dimensionalmente è una velocità ed è funzione del mezzo poroso e del fluido, infatti è proprio questo coefficiente che fornisce una distinzione tra i vari tipi di terreno. La permeabilità è inoltre, funzione delle dimensioni dei grani e soprattutto della presenza di frazioni fini; mentre a parità di granulometria è funzione della densità, cioè all'aumentare della permeabilità allora si ha a che fare con un terreno poco denso.

Un'altra funzione influenzata dalla permeabilità è la filtrazione. Quest'ultima indica il passaggio dell'acqua da una zona all'altra del terreno per opera di un gradiente di energia, che si può esprimere come la sommatoria tra l'energia cinetica della velocità dell'acqua nel terreno, dell'energia potenziale funzione della posizione del punto e dell'energia di pressione del liquido sempre nello stesso punto. Studiando la filtrazione si evidenziano due principali problemi sia di moto permanente che di moto vario. Nel primo vale l'ipotesi che il quantitativo di acqua che entra è uguale a quello che esce e nel secondo invece non c'è uguaglianza tra le due quantità. La differenza è data quindi dall'acqua che è stata espulsa o accumulata in un intervallo di tempo determinato.

Per calcolare la portata di filtrazione che attraversa un terreno si fa riferimento alla distribuzione delle pressioni interstiziali mediante la costruzione di un reticolato di flusso, cioè un sistema che permette di individuare le linee equipotenziali che passano per i punti aventi tutta la stessa pressione e devono incontrare perpendicolarmente le linee di flusso che rappresentano il moto dell'acqua attraverso un terreno. Per la determinazione di questa grandezza allora bisogna tenere sempre presente l'ipotesi di terreno omogeneo, isotropo e incompressibile (Colombo & Colleselli, 2004).

## 4. Materiali e metodi d'indagine

Per la realizzazione di un set di dati sufficienti per la caratterizzazione idrologica, geologica e geomorfologica del bacino del Torrente Miano sono state realizzate varie campagne con finalità diverse ma strettamente correlate. Queste ultime andranno ad implementare i dati raccolti da altre indagini effettuate da studenti di UNIVPM ed enti pubblici negli anni precedenti. Nel monitoraggio effettuato sul bacino del Torrente Miano sono distinguibili tre fasi, una per ogni caratterizzazione voluta, e quindi con l'utilizzo di materiali e strumenti differenti per ognuna di esse.

Di seguito sono descritte le caratteristiche e gli strumenti utilizzati, successivamente si elencano le modalità operative per lo svolgimento delle varie fasi di indagine.

### 4.1 Strumenti utilizzati

L'indagine si compone in uscite in campagna, prove di laboratorio e digitalizzazione con conseguente elaborazione dei dati ricavati. Qui di seguito vengono elencati tutti i materiali per effettuare un corretto monitoraggio del bacino. Vengono distinti in tre principali categorie di strumenti: MECCANICI, ELETTRONICI o INFORMATICI e CHIMICI.

#### 4.1.1 Strumentazione meccanica

*Rotella metrica con impugnatura:*



Figura 27. Rotella metrica con impugnatura ([www.catalogo.abctools.it](http://www.catalogo.abctools.it))

Questo strumento (mostrato in *Fig. 27*) viene utilizzato per la misura della profondità dei pozzi. Si tratta di una rotella metrica di varie lunghezze ( $> 20$  m) che con l'ausilio di una zavorra, come un cilindro in acciaio INOX, attaccata all'estremità permette di leggere la misura in metri che corrisponde alla distanza da bocca pozzo fino al fondo. Il suo utilizzo, semplice e pratico, consiste nel calare con cautela la zavorra all'interno del pozzo esaminato e una volta che si percepisce che il cilindro di acciaio abbia toccato il fondo si fa la lettura sul nastro della rotella. Successivamente con l'apposita manovella si tira su la zavorra e l'operazione si conclude.

#### *Flessometro:*

è uno strumento usato per la misurazione di lunghezze avente una scala di riferimento espressa in metri (intesa come unità di misura del SI) e adatto alle misure nelle attività umane più comuni (individuato in *Fig. 28*).



*Figura 28 Flessometro rigido ([www.stanley.com](http://www.stanley.com))*

### *Trivella a mano:*

è un semplice strumento di lunghezza pari a 1,2 m (come si può vedere in *Fig. 29*) utilizzato per il campionamento del suolo a diverse profondità, quest'ultima dipende dalla forza di infissione impressa allo strumento. Permette il prelievo tramite la rotazione della parte terminale dello strumento di campioni di altezza di circa 20 cm e di spessore di circa 7 cm utili per eventuali prove di laboratorio.



*Figura 29. Trivella manuale ([www.scubla.it](http://www.scubla.it))*

### *Infiltrometro a doppio anello:*

è uno strumento adatto per effettuare misure della velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo. Il kit standard (presente in *Fig. 30*) include 6 anelli di acciaio di vari diametri, che consentono di effettuare più misure contemporaneamente. Tutti gli accessori necessari all'installazione ed all'effettuazione delle misure sono forniti nel set, come ad esempio la mazza, la staffa reggi sonda, la piastra battente per assicurare l'infissione degli anelli nel terreno e gli strumenti per la sua estrazione da terra. I due cilindri, l'interno e l'esterno, vengono spinti per alcuni centimetri nel suolo grazie ad un'apposita placca, e vengono ambedue riempiti d'acqua. L'acqua scorrerà verticalmente dal cilindro interno, tendendo ad espandersi lateralmente, e trovando nell'acqua che si infila al di sotto dello spazio compreso tra il cilindro esterno e

quello interno una sorta di barriera che limita l'espansione laterale dell'acqua che si infiltra all'interno del cilindro più piccolo.



Figura 30. Strumentazione infiltrometro a doppio anello ([www.ecosearch.info](http://www.ecosearch.info))

*Strumenti da campagna:*

si parla di un kit di strumenti (rastrelli vari, pala, vanga e zappa mostrati in *Fig. 31*) utile alla preparazione del piano di posa per effettuare una corretta prova infiltrometrica.



Figura 31. Strumentazione per preparare la prova ([www.borgione.it](http://www.borgione.it))

*Strumenti di laboratorio:*

- Cilindri e becker graduati in plastica e vetro, contenitori da laboratorio in acciaio e alluminio, siringa di piccole dimensioni (*Fig. 32*)
- Tuniche in plastica per l'acqua delle infiltrometriche (*Fig. 33*)
- Contenitori per provini di terreno umido con tappo a vite, sacchetti in plastica con chiusura, scotch, forbici e pennarello indelebile (*Fig. 34*)
- Spatole da laboratorio (*Fig. 35*)
- Setacci per l'analisi granulometria normati ASTM (*Fig. 36*): è un apparecchio detto anche vaglio o crivello in base alla forma delle maglie (rispettivamente quadrata o circolare) della rete metallica contenuta al loro interno che serve a separare elementi di diverse dimensioni facenti parte di un aggregato di sostanze incoerenti in pezzi o in polvere. I setacci normati sono accompagnati da un certificato di conformità che attesta che le reti, i materiali, le dimensioni e le metodologie di costruzione sono conformi e riconosciute degli istituti di normalizzazione di riferimento. Utili per la setacciatura (o stacciatura), operazione mediante la quale si separa la parte più fine da quella più grossa di una sostanza polverulenta, facendola passare attraverso uno o più setacci (detti anche pila o serie) in base alle dimensioni granulometriche ricercate ([www.treccani.it](http://www.treccani.it)).



Figura 32. Strumenti da laboratorio ([www.chimica.instruments.it](http://www.chimica.instruments.it))



Figura 33. Taniche in plastica ([www.packservices.it](http://www.packservices.it))



Figura 34. Strumenti per confezionare il provino di terreno ([www.biosigma.it](http://www.biosigma.it))



Figura 35. Spatole da laboratorio ([www.rs-online.com](http://www.rs-online.com))



Figura 36. Setacci ([www.geass.com](http://www.geass.com))

*Materiale cartografico:*

La carta geologia della zona di interesse (Fig. 37)

Legenda della carta geologica (Fig. 38)

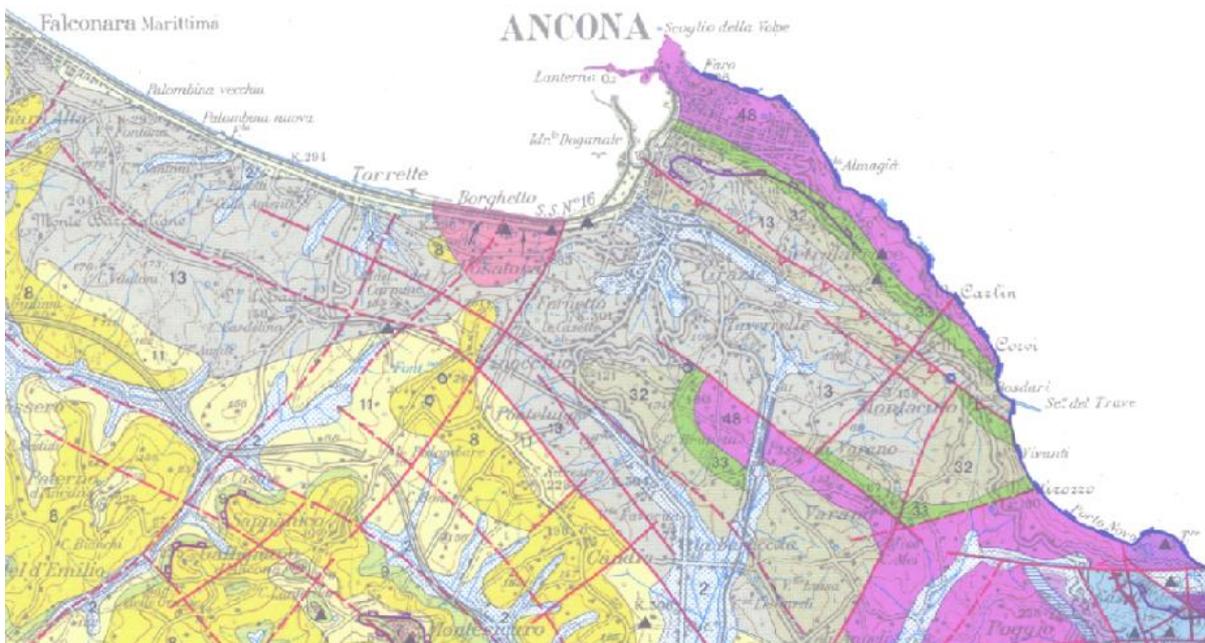


Figura 37. Cartografia area d'interesse ([www.aato2.marche.it](http://www.aato2.marche.it))

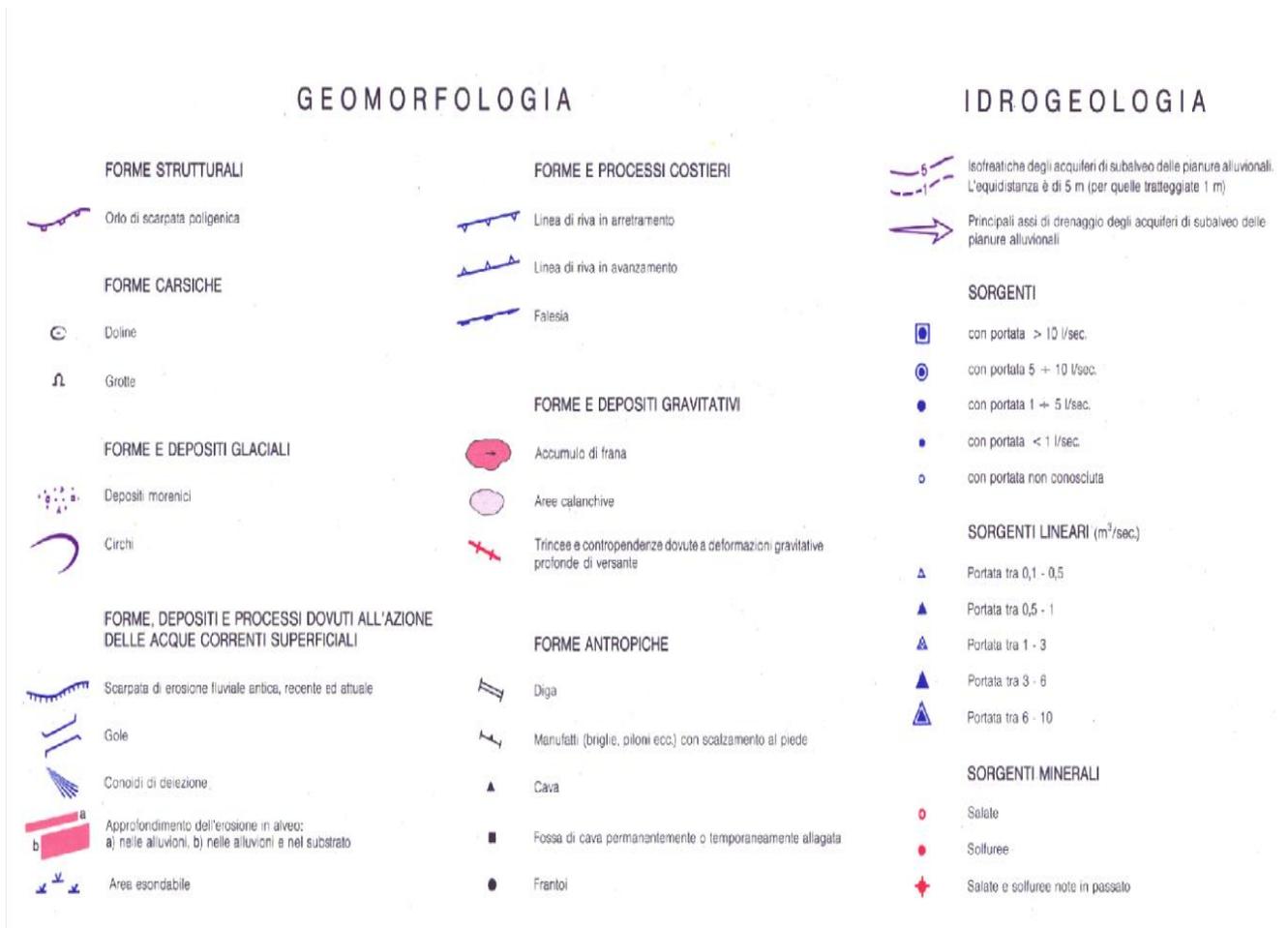


Figura 38. Legenda carta geologica ([www.aato2.marche.it](http://www.aato2.marche.it))

### Densimetro:

I densimetri anche detti aerometri funzionano in base al principio di Archimede, più l'acqua è densa, maggiore è la spinta verso l'alto che ricevono. In commercio se ne trovano essenzialmente di due tipi: il densimetro ad ampolla (in vetro), il densimetro a lancetta, (in plastica) ([www.chimica-online.it](http://www.chimica-online.it)).

Il densimetro ad ampolla (in Fig. 39 è mostrato il densimetro 152H) è costituito da un bulbo di vetro che contiene una zavorra di piombo o quarzo e, qualche modello, un termometro; il bulbo è sormontato da un tubetto, anch'esso in vetro, che contiene una scala graduata. Per effettuare la misurazione si pone il densimetro a galleggiare nell'acqua, come lo strumento smette di oscillare e non tocca nessuna parete del recipiente o altri oggetti, si legge il valore indicato dal menisco del pelo dell'acqua sull'asticella graduata. Questo indica il valore della densità dell'acqua. Il densimetro

viene fatto girare su sé stesso per facilitare la lettura che dovrà essere fatta una volta fermo. Il 152H, ovvero la tipologia di densimetro utilizzata nelle aerometrie, non misura la densità specifica ma misura una densità dell'emulsione riferita al GS del quarzo pari a 2,65. La difficoltà dell'utilizzo del densimetro sta nel fare la lettura, cioè avendo l'acqua abbastanza torbida leggere la misura sul densimetro risulta abbastanza oneroso e nella maggior parte dei casi il densimetro risulta girato nella parte opposta al lettore. Per poter leggere precisamente la misura corrispondente alla parte superiore del menisco allora si applica un piccolo spin (rotazione) al densimetro in modo che si capisca correttamente la lettura, evitando il bobbing che corrisponde allo stato di galleggiamento dello strumento stesso.



*Figura 39. Densimetro da laboratorio (foto scattata il laboratorio durante la prova)*

## 4.1.2 Strumentazione elettronica

### *Commander Compass:*

è un toolkit (insieme di strumenti) GPS di facile utilizzo ed essenziale per la navigazione in ambienti all'aperto e fuoristrada. Ricco di strumenti, questa applicazione scaricabile facilmente funziona da bussola hi-tech con mappe, girobussola, ricevitore GPS, inseguitore di punti chiave, tachimetro, altimetro, strumento di rilevamento posizione del sole, della luna e delle stelle, giroscopio orizzonte e convertitore coordinate. Salva tuoi luoghi personalizzati ed i punti chiave in un percorso, naviga in maniera precisa verso di loro in un secondo momento, li mostra sulle mappe, visualizza le informazioni dettagliate GPS, misura le distanze, angoli ed è utile e preciso per la localizzazione dei pozzi esaminati, che andranno poi georeferenziati nella cartografia. È possibile l'utilizzo anche di altre applicazioni o strumentazioni simili che si avvalgono però di un sistema GPS ([www.apps.apple.com](http://www.apps.apple.com)). È possibile vedere un dettaglio della schermata in *Fig. 40*.



*Figura 40. Schermata App Commander Compass*

### *Freatimetro:*

è uno strumento utilizzato per misurare il livello statico dell'acqua (o soggiacenza della falda) all'interno di pozzi e piezometri, ma può essere usato anche per misure di livello in serbatoi, cisterne, bacini o corsi d'acqua (*Fig. 41*). Può venir chiamato anche "Water Level Meter", che in inglese significa letteralmente "Misuratore di livello dell'acqua", abbreviato a volte con l'acronimo WLM, o "Idrometro per pozzi". I freatimetri sono caratterizzati dalla semplicità e dalla velocità d'uso. Sono costituiti da una sonda (detta anche puntale), montata su nastro o un cavo graduato (millimetrato o centimetrato) contenente dei conduttori elettrici, da un circuito elettronico di rilevamento e segnalazione e da un avvolgicavo che contiene il tutto. Il puntale del freatimetro è costituito da due elettrodi che quando entrano in contatto con l'acqua permettono al circuito elettrico di attivare un segnale acustico una volta percepito il segnale, l'operatore può agevolmente leggere sul nastro graduato la profondità della superficie dell'acqua rispetto alla testa del pozzo (ossia il livello statico dell'acqua e quindi la distanza da bocca pozzo al pelo libero).



*Figura 41. Freatimetro Oppo ([www.oppo.it](http://www.oppo.it))*

#### Caratteristiche tecniche:

- Cavo tondo quadripolare 4,7 mm con anima in Kevlar
- Graduato ogni centimetro con stampigliatura a caldo (non con adesivi)
- Protezione con guaina antigraffio in Poliuretano trasparente
- Segnalatore acustico e visivo di raggiungimento livello
- Diametro sonda 10 mm
- Tasto prova
- Avvolgicavo in materiale plastico
- Alimentazione con batteria da 9 V

#### *Conduttimetro:*

Il conduttimetro, anche detto conducimetro (*Fig. 42*), è uno strumento portatile e compatto che permette la misurazione della temperatura ma soprattutto della conducibilità elettrica dei liquidi, ovvero la capacità di una sostanza di condurre la corrente elettrica, grazie alle celle per la misura della conducibilità. Adatto per applicazioni in laboratorio, nei processi produttivi, in campo (con profondità variabili in base alla tipologia di strumento) e nel trattamento delle acque reflue. Questo strumento indispensabile quindi in vari ambiti identifica la materia ionizzabile presente nell'acqua e la quantità di sali disciolti dentro di essa. La conducibilità è proporzionale alla quantità di sali disciolti nell'acqua; ciò significa che se il livello e la quantità di sale diminuisce, scende anche la conducibilità elettrica. È molto importante sapere che il conduttimetro molto spesso misura la conduttività elettrica in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  o in  $\text{mg}/\text{l}$ . questo strumento può avere la compensazione della temperatura in modo manuale o automatico e consente con grande precisione di misurare la durezza dell'acqua, dovuta alla presenza di ioni di calcio e magnesio disciolti all'interno ([www.geass.com](http://www.geass.com)).



Figura 42. Conducimetro della WTW ([www.sigmprecision.it](http://www.sigmprecision.it))

#### Caratteristiche tecniche:

- Menù strutturato semplice e chiaro
- Mini USB-B impermeabile per il trasferimento dei dati a PC
- Trasferimento dei dati veloce
- Dati di taratura, oltre a dati aggiuntivi, memorizzati nel sensore
- Predisposto per la tecnologia dei sensori wireless
- Misurazione in continuo della conducibilità e della temperatura

#### *Trasduttore di pressione:*

I trasmettitori di livello ad immersione o traduttori di pressione (Fig. 43) permettono di misurare grandezze quali la pressione, il vuoto ed il livello di liquidi. È una misura di livello basata sul rilevamento della pressione idrostatica. Sono dotati di un'elettronica digitale caratterizzata dalla presenza di un microprocessore che

consente una gestione più accurata ed affidabile del sensore di misura rispetto ai tradizionali trasmettitori analogici, fornendo inoltre elementi di diagnostica dello stato del trasmettitore.

I sensori di livello a sommersione sono forniti tarati per un determinato campo di funzionamento ([www.riels.it](http://www.riels.it)). I trasmettitori di livello coprono un'ampia gamma di applicazioni: acque potabili, acque reflue, fluidi aggressivi, percolato, gasolio e olio. La cella di misura in ceramica è una cella che permette di effettuare la misura a secco senza liquidi di riempimento. La pressione idrostatica agisce direttamente sulla robusta membrana in ceramica, mentre le variazioni della pressione atmosferica sono compensate attraverso un piccolo cavo di riferimento interno al sensore nella parte superiore di forma cilindrica. La variazione della pressione idrostatica agisce sulla membrana del sensore ceramico capacitivo; il movimento della membrana causa una variazione della capacità che l'unità elettronica converte in un segnale proporzionale alla pressione e lineare al livello. Questo tipo di sonda è utilizzata nelle prove infiltrometriche per la sua capacità di acquisire dati a determinati intervalli di tempo per poi poter costruire grafici e ricavare ulteriori grandezze.



Figura 43. Trasduttore di pressione *TD DIVER* ([www.aquasearch.it](http://www.aquasearch.it))

#### Scheda tecnica:

Il moderno DIVER è veloce nello scaricare i dati, l'elevata memoria consente di campionare ogni 15 minuti per due anni fino a 72 000 letture. Possiede inoltre una potente memoria di backup in grado di conservare i dati acquisiti dopo il restart. Facile collegamento SDI-12, protocollo Modbus. Peso raddoppiato rispetto al modello Mini per semplificare l'installazione. Piena compatibilità con gli accessori esistenti.

- Misure: mm (22x110)
- Peso: 104 g
- Memoria: 72.000 misure; a scelta ad anello sovrascrivibile o blocco alla piena capacità
- Frequenza di campionamento: da 0.5 sec a 99 ore
- Metodo di campionamento: intervallo fisso
- Durata batteria: max 10 anni (in funzione dell'utilizzo)
- Materiale: acciaio inox 316L
- Guarnizioni: Viton
- Sensore: piezoresistivo in ceramica ( $Al_2O_3$ ) con compensazione termica
- Temperatura: da -20 °C a +80 °C
- Accuratezza T:  $\pm 0,1$  °C
- Risoluzione T: 0,01 °C
- Temperatura operativa: 0 °C / +50 °C

#### *Cronometro/Timer:*

è uno strumento tascabile (*Fig. 44*) utilizzato per la misura del tempo, soprattutto quando si va ad immettere la sonda all'interno del pozzo e una volta entrata in acqua avviarlo per poi stopparlo garantendo il raggiungimento del tempo prestabilito. Una tra le capacità più sfruttate del cronometro stesso è la possibilità di fermare il tempo

oppure di impostare un determinato intervallo di tempo e poi emettere un suono una volta che quest'ultimo giunge al termine.



Figura 44. Cronometro/Timer tascabile ([www.lightinthebox.com](http://www.lightinthebox.com))

#### *Forni di laboratorio:*

si tratta di appositi forni (Fig. 45) molto capienti, funzionanti a convezione naturale ad alta tecnologia adatta a tutte le applicazioni termostatiche dove necessita una particolare precisione, utili per l'essiccamento del campione umido. Range di temperatura da +5 °C sopra ambiente a +280 °C (precisione a 105 °C) ([www.colaver.it](http://www.colaver.it)).



Figura 45. Forno da laboratorio ([www.colaver.it](http://www.colaver.it))

*Vasca termostatica per le aerometrie:*

è un contenitore (Fig. 46) con la possibilità di regolare la temperatura tramite apposite resistenze, utile per il contenimento dei cilindri al momento in cui bisogna effettuare la prova di sedimentazione gravitazionale.



Figura 46. Contenitore riscaldato (foto scattata in laboratorio)

*Agitatore Meccanico:*

è uno strumento (mostrato in *Fig. 47*) utilizzato per mescolare una soluzione al fine di omogenizzarla in tempi ridotti. Consiste nell'inserire il becker con la soluzione sotto le apposite palette e levarlo dopo alcuni minuti ottenendo il risultato voluto, ossia un'emulsione.



*Figura 47. Agitatore meccanico ([www.inlabo.com](http://www.inlabo.com))*

*Bilancia da laboratorio:*

è uno strumento adatto alla pesatura di oggetti e materiali da laboratorio con pesi relativamente contenuti (*Fig. 48*). È inoltre molto sensibile e ha una precisione del cg (centigrammo).

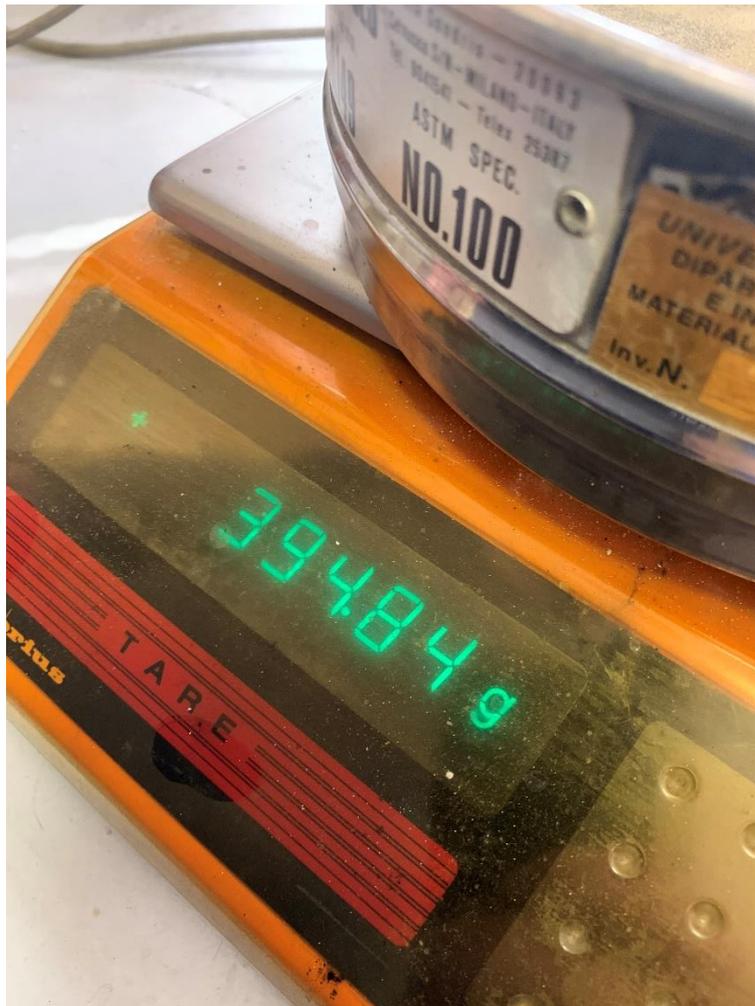


Figura 48. Foto della bilancia di laboratorio

### *Software modellistici:*

- AUTOCAD: è il software di progettazione assistita da computer (CAD) a cui si affidano architetti, ingegneri e professionisti dell'edilizia per creare disegni 2D e 3D accurati, si basa su attività automatizzate come il confronto dei disegni, l'aggiunta e il conteggio di blocchi, la creazione di pianificazioni e altro ancora ([www.autodesk.it](http://www.autodesk.it))
- EXCEL: è un software che permette di produrre fogli elettronici, sviluppato dall'azienda americana Microsoft Corporation, una delle più importanti aziende informatiche del mondo, e fa parte della suite di software di

produttività personale Microsoft Office, insieme a Word, Power Point, One Note, Outlook, Publisher e Access. Il foglio elettronico (detto anche spreadsheet) è un programma che permette di effettuare calcoli, creare rappresentazioni grafiche ed elaborare dati, anche di grandi dimensioni. Questo foglio di calcolo appare come una tabella formata da migliaia di celle in cui si possono inserire numeri, testi o formule (Lughezzani & Princivalle, 2018; [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com))

- GOOGLE EARTH PRO: questo software è in grado di generare immagini virtuali della Terra utilizzando immagini satellitari derivate dal telerilevamento terrestre, fotografie aeree e dati topografici vengono poi memorizzati in una piattaforma GIS. Il programma è distribuito e scaricabile gratuitamente dalla società Google LLC ([www.verytech.smartworld.it](http://www.verytech.smartworld.it))
- ArcGIS: è uno dei migliori software GIS open source che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali riferendoli a cartografie reali. Attualmente è il più diffuso al mondo. ArcGIS è mantenuto da una comunità di sviluppatori che pubblicano una nuova versione ogni 4 mesi circa ([www.esri.com](http://www.esri.com))

### 4.1.3 Materiali chimici

#### *Acqua distillata:*

è una soluzione presente all'interno del contenitore in *Fig. 49* del tutto priva di batteri e di residui minerali (tra cui il calcare). Presenta, inoltre, una conducibilità elettrica più bassa dell'acqua di partenza a causa di una più bassa concentrazione di ioni al suo interno.



Figura 49. Contenitori acqua distillata ([www.idrochimica.com](http://www.idrochimica.com))

#### *Esametafosfato di sodio:*

Il sodio esametafosfato risulta altamente igroscopico, chiamato anche impropriamente Calgon, si ottiene per riscaldamento del fosfato monosodico. Sopra i 620°C le formazioni cristalline tipiche del Sale di Madrell passano allo stato fuso, da cui si forma per raffreddamento improvviso il sodio esametafosfato, detto anche Sale di Graham o Calgon. Si presenta come polvere fine, vetroso, amorfo, sufficientemente solubile in acqua (*Fig. 50*). Si consiglia di inserire 5 g di sodio esametafosfato per ogni litro di acqua al fine di ottenere un'ottima capacità disperdente in modo da dare origine ad un'emulsione che sia abbastanza omogenea. Sono note le proprietà fluidificanti e disperdenti del sodio esametafosfato (Calgon), tanto che l'impiego di tale prodotto è universalmente riconosciuto al fine di ottenere una immediata dispersione dell'elemento con cui entra in contatto ([www.igmspa.com](http://www.igmspa.com)).



Figura 50. Esametafosfato di sodio in polvere ([www.igmspa.com](http://www.igmspa.com))

#### *Alcool isopropilico:*

è un solvente noto anche come isopropanolo (*Fig. 51*), è un alcool liquido incolore e infiammabile, è volatile ed è uno dei più comuni composti organici della famiglia degli alcolici. L'alcool isopropilico, alcune volte viene usato per preservare esperimenti di laboratorio, come alternativa all'utilizzo della formaldeide, proprio perché l'alcool isopropilico non è tossico come lo è la formaldeide. Trova inoltre applicazione in svariati ambienti per la sua duttilità, gli usi e le applicazioni sono multiforme; utilizzato molto nell'ambito della pulizia e serve a rimuovere l'effetto schiumeggiante dato dalle sostanze organiche all'interno delle soluzioni di laboratorio ([www.faichim.com](http://www.faichim.com)).



Figura 51. Alcool isopropilico ([www.mgindustry.it](http://www.mgindustry.it))

## 4.2 Metodi d'indagine

Il monitoraggio è costituito da diverse fasi che si sono svolte in due periodi diversi nell'arco di sei mesi, tempo che corrisponde alla durata totale dell'indagine effettuata. I rilievi e le prove si sono condotte nei mesi di febbraio e marzo per poi ripetersi nei mesi di maggio e giugno per avere dei dati da correlare e commentare nei capitoli dedicati. Inoltre, i metodi di indagini sono distinguibili in tre modalità: USCITE IN CAMPAGNA, PROVE DI LABORATORIO e ELABORAZIONI DIGITALI.

### 4.2.1 Uscite in campagna

Questa metodologia consiste nel recarsi in campagna, ovvero nelle zone interne al bacino dove effettuare le analisi, con le varie attrezzature e adeguatamente preparati per l'esecuzione delle prove già programmate.

#### 4.2.1.1 Rilievo diretto dei pozzi

In questa prima fase del monitoraggio (ossia nei mesi di marzo e febbraio) si esce in campagna e ci si reca in prossimità dei pozzi ricadenti all'interno del bacino esaminato, si scartano i pozzi strumentati, quelli chiusi o privati dove non è possibile accedere e quelli dove è troppo oneroso effettuare la misurazione voluta. Per ogni singolo pozzo tramite l'applicazione Commander Compass descritta al *Paragrafo 3.1.2* si prendono le coordinate (N, E) e la quota sul livello medio del mare in modo da poterli individuare sulla carta e in base al loro posizionamento anche rispetto alle litologie individuate nel bacino come mostrato in *Fig. 52*.

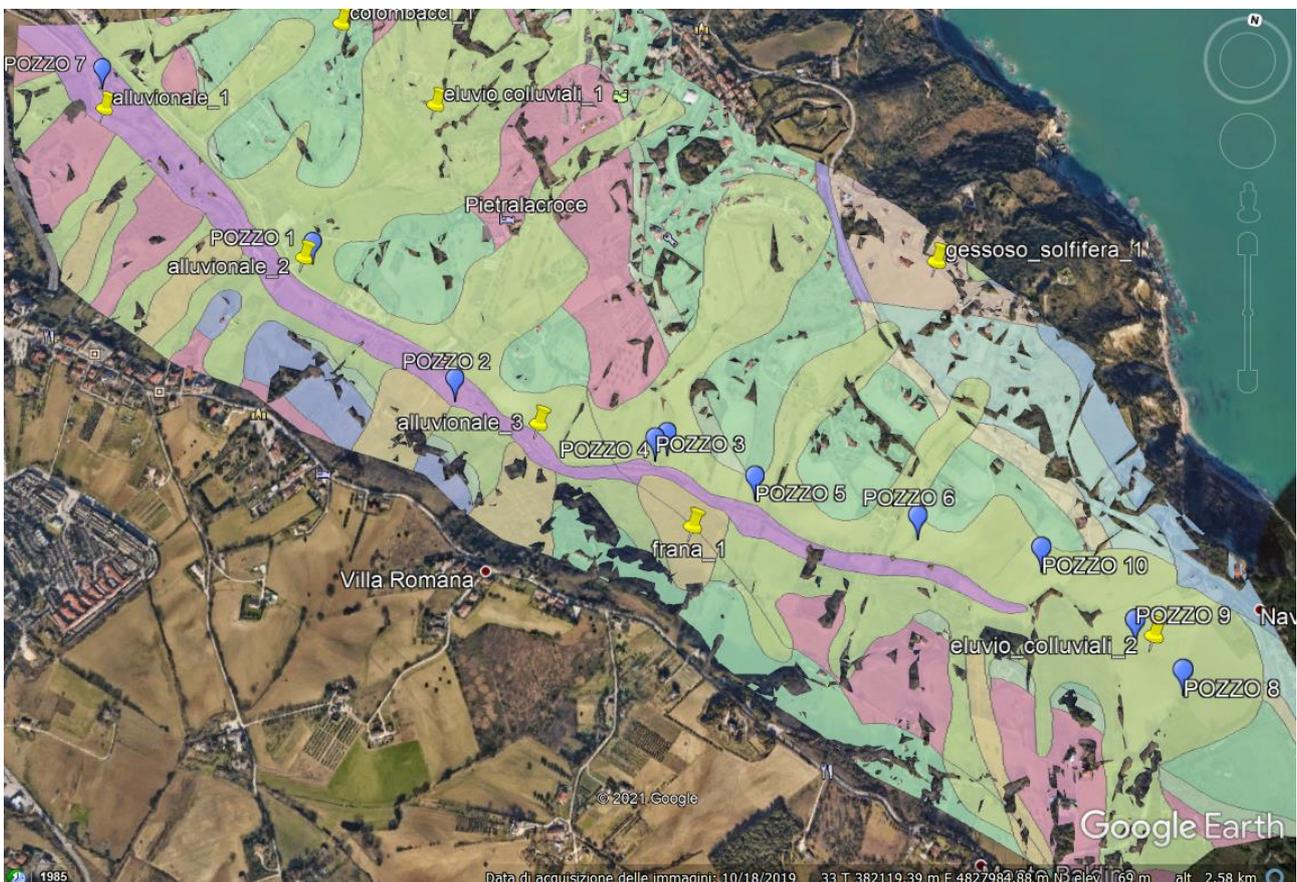


Figura 52. Localizzazione pozzi all'interno del bacino e in relazione alle varie litologie (estratto da Google Earth Pro)

Successivamente con l'utilizzo del metro e della rotella metrica zavorrata (descritti al *Paragrafo 3.1.1*) si misurano rispettivamente le due distanze: bocca pozzo - piano campagna e bocca pozzo - fondo pozzo. Infine, si prende il freatometro (descritto al

*Paragrafo 3.1.2)* e dopo essersi assicurati che funzioni, schiacciando il pulsante di accensione e aspettando l'emissione del segnale sonoro di conferma, si lascia scendere l'estremità con il sensore finché non si raggiunge la superficie dell'acqua presente all'interno del pozzo, ossia il pelo libero. L'arrivo del sensore sulla superficie è ulteriormente segnalato da una continua emissione sonora. Si potrà quindi leggere, sul cavo in plastica che regge il sensore, la distanza tra la bocca pozzo e il pelo libero (*Fig. 53*). Elaborando le tre distanze appena misurate si potrà ricavare la quota del pelo libero sul livello medio del mare. Quest'ultima si ottiene sottraendo alla quota della bocca pozzo s.l.m.m. la quota della bocca pozzo - pelo libero sempre sul livello medio del mare.



*Figura 53. Misurazione con freaticometro*

I pozzi presi in esame sono i seguenti, tutti ubicati all'interno del bacino del Torrente Miano; con la relativa scheda tecnica comprensiva della quota del pelo libero sul livello medio del mare registrate nel mese di marzo.

## Pozzo numero 1



Figura 54. Foto pozzo numero 1

SCHEMA TECNICA POZZO 1 (Fig. 54)	
Coordinata (UTM) N	4820308
Coordinata (UTM) E	381259
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	43,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,70 m
Bocca pozzo - pelo libero	4,00 m
Bocca pozzo - fondo	4,00 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	39,00 m

*Pozzo numero 2*



*Figura 55. Foto pozzo numero 2*

SCHEMA TECNICA POZZO 2 (Fig. 55)	
Coordinata (UTM) N	4828048
Coordinata (UTM) E	381661
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	44,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,50 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,00 m
Bocca pozzo - fondo	7,00 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	42,00 m

### Pozzo numero 3



Figura 56 .Foto pozzo numero 3

SCHEDA TECNICA POZZO 3 (Fig. 56)	
Coordinata (UTM) N	4827956
Coordinata (UTM) E	382141
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	69,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,70 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,00 m
Bocca pozzo - fondo	8,40 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	67,00 m

*Pozzo numero 4*



*Figura 57. Foto pozzo numero 4*

SCHEDE TECNICA POZZO 4 (Fig. 57)	
Coordinata (UTM) N	4827972
Coordinata (UTM) E	382166
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	71,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,90 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,10 m
Bocca pozzo - fondo	4,20 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	68,90 m

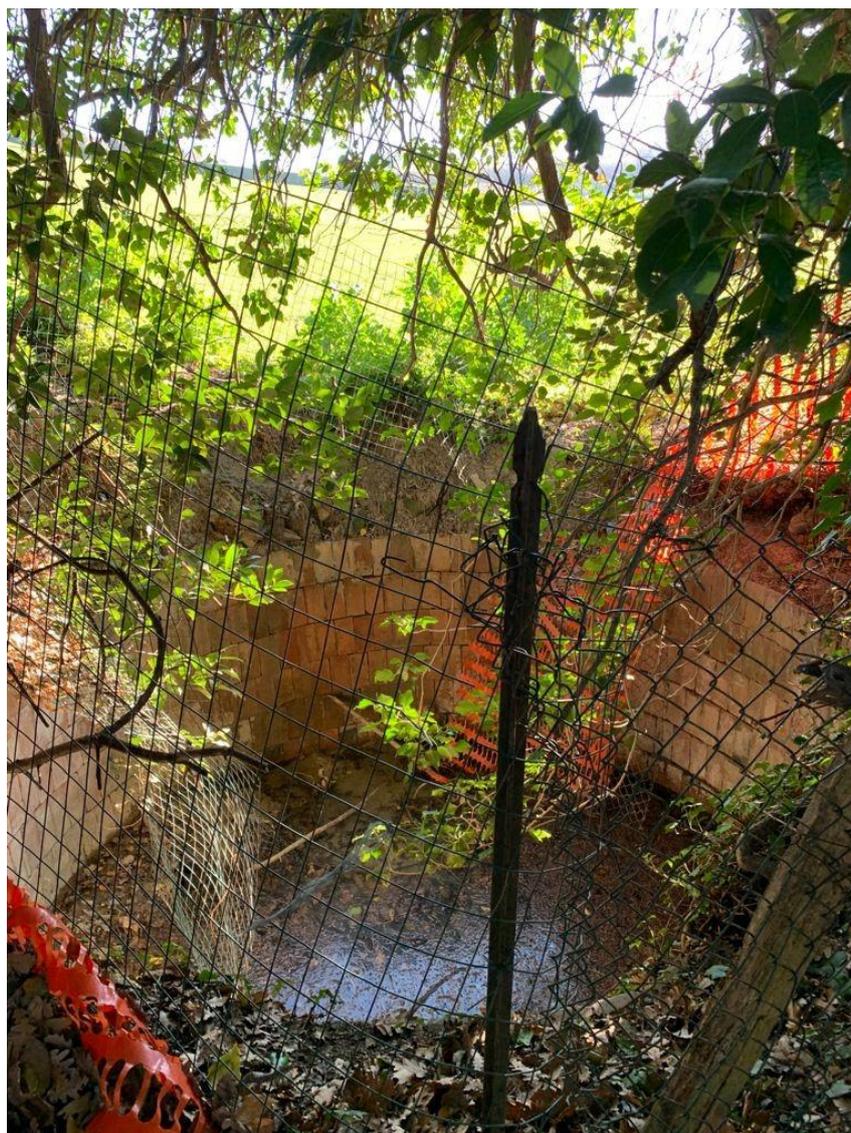
## Pozzo numero 5



Figura 58. Foto pozzo numero 5

SCHEMA TECNICA POZZO 5 (Fig. 58)	
Coordinata (UTM) N	4827901
Coordinata (UTM) E	382377
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	79,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,60 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,00 m
Bocca pozzo - fondo	11,00 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	77,00 m

*Pozzo numero 6*



*Figura 59. Foto pozzo numero 6*

SCHEDA TECNICA POZZO 6 (Fig. 59)	
Coordinata (UTM) N	4827865
Coordinata (UTM) E	382745
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	99,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,00 m
Bocca pozzo - pelo libero	1,10 m
Bocca pozzo - fondo	1,50 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	97,90 m

Pozzo numero 7



Figura 60. Foto pozzo numero 7

SCHEDA TECNICA POZZO 7 (Fig. 60)	
Coordinata (UTM) N	4828681
Coordinata (UTM) E	380604
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	28,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,70 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,00 m
Bocca pozzo - fondo	5,40 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	26,00 m

## Pozzo numero 8



Figura 61. Foto pozzo numero 8

SCHEDA TECNICA POZZO 8 (Fig. 61)	
Coordinata (UTM) N	4827614
Coordinata (UTM) E	383324
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	152,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,50 m
Bocca pozzo - pelo libero	1,90 m
Bocca pozzo - fondo	5,00 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	150,10 m

*Pozzo numero 9*



*Figura 62. Foto pozzo numero 9*

SCHEMA TECNICA POZZO 9 (Fig. 62)	
Coordinata (UTM) N	4827705
Coordinata (UTM) E	383222
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	140,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,20 m
Bocca pozzo - pelo libero	7,50 m
Bocca pozzo - fondo	12,00 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	132,50 m

*Pozzo numero 10*



*Figura 63. Foto pozzo numero 10*

SCHEDA TECNICA POZZO 10 (Fig. 63)	
Coordinata (UTM) N	4827832
Coordinata (UTM) E	383014
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	126,00 m
Bocca pozzo - piano campagna	0,80 m
Bocca pozzo - pelo libero	2,00 m
Bocca pozzo - fondo	7,50 m
Quota pelo libero (s.l.m.m.)	124,00 m

È necessario al fine di un monitoraggio di precisione rilevare la conducibilità elettrica e la temperatura dell'acqua all'interno del pozzo. Questa operazione va fatta a distanza di tempo (ogni mese oppure ogni due mesi) per poi poter confrontare i dati nei capitoli dedicati e di conseguenza individuare varie oscillazioni del livello della falda in funzione dei cambiamenti climatici, soprattutto per opera delle precipitazioni. Per poter ricavare i dati di conducibilità e temperatura è necessario l'utilizzo del conduttimetro (descritto al *Paragrafo 4.1.2*). Questo strumento legato ad una corda o direttamente ancorato alla rotella metrica al posto della zavorra deve essere immerso per un determinato tempo nell'acqua all'interno del pozzo. Viene quindi calato fino al raggiungimento del fondo, senza ovviamente toccarlo altrimenti si danneggerebbe la sonda, quest'operazione è possibile facendo riferimento ai dati noti in precedenza per quanto riguarda le varie distanze misurate. Si scende quindi il conduttimetro fino al pelo libero poi una volta entrato in acqua viene calato ad una velocità costante in modo tale che il tempo di discesa si uguagli con quello di risalita per una durata di circa 2 minuti. L'operatore, avviando il cronometro/timer, decide la velocità di esecuzione della manovra per rientrare indicativamente nel tempo previsto per la prova ma soprattutto per permettere allo strumento di acquisire dati in maniera consona e realistica al fine di effettuare una corretta elaborazione finale. Una volta che la sonda esce completamente il timer viene fermato. Nel mentre si esegue il rilevamento un secondo operatore dovrà annotare l'ora di inizio e l'ora di fine prova per poi facilitarsi l'analisi nelle successive fasi individuando subito i dati utili. Questo viene fatto soprattutto perché lo strumento, già settato in laboratorio prima dell'uscita in campagna, effettua delle misurazioni in continuo ad intervalli di tempo prefissati dall'operatore stesso (ad esempio ogni 2-5-10 s) e quindi evita di dover scremare una mole immensa di dati.

#### 4.2.1.2 Prove infiltrometriche

Questa prova si effettua per riprodurre la capacità di infiltrazione dell'acqua nel terreno, in modo tale da ottenere il coefficiente di permeabilità del sito in cui viene svolta. Per prima cosa si deve preparare il suolo con gli strumenti da campagna descritti nel *Paragrafo 4.1.1* ossia bisogna rendere il più possibile pianeggiante il piano dove si andrà ad eseguire la prova e ripulirlo di tutte le eventuali impurità, come ad esempio radici superficiali, foglie, rami e grosse pietre. Successivamente andremo a prendere gli anelli metallici (sempre descritti nel *Paragrafo 4.1.1*) e dopo aver appoggiato a terra l'anello di dimensioni maggiori si mette al suo interno quello di dimensioni minori cercando di centralo il più possibile come mostrato in *Fig. 64*.



*Figura 64. Foto prima dell'infissione con il posizionamento della piastra*

Poi si prende la piastra avente la forma di una “X” e si comincia a battere, con l’apposita mazza, nel suo centro fino ad affondare entrambi gli anelli per una lunghezza che va dai 6 a 10 cm misurata e ricavata per differenza tra l’altezza totale degli anelli (circa 25 cm) e la parte fuori terra dopo aver affondato i colpi sul punto adeguato alla battitura. Ovviamente per garantire un’infissione omogenea bisogna controllare questa misura in almeno quattro punti ben divisi della circonferenza dell’anello (*Fig. 65*).



*Figura 65. Foto del controllo dell'affondamento del doppio anello*

Successivamente si prende la staffa reggi sonda, presente sempre tra i materiali descritti al paragrafo dedicato all'infiltrometro a doppio anello, alla quale fissiamo con una corda il trasduttore di pressione descritto al *Paragrafo 4.1.2*; montiamo il tutto sopra l'anello di dimensioni inferiori posto centralmente e facciamo in modo che la sonda sfiori il terreno come indicato in *Fig. 66*.



*Figura 66. Foto del posizionamento della sonda*

Una volta preparata l'attrezzatura con le taniche piene di acqua si vanno a riempire i due anelli in modo da sommergere tutta la sonda saturando tutto il volume all'interno di essi (*Fig. 67*).



*Figura 67. Riempimento del doppio anello con acqua*

In funzione del tipo di terreno e quindi della sua permeabilità si rimbocca il contenuto dell'infiltrometro ogni volta che il livello è sceso notevolmente. Capita a volte che il livello esterno scenda più di quello interno allora in quei casi si riempie solo la parte più all'estremità in modo da garantire un abbassamento omogeneo in entrambi le parti; si deve prestare molta attenzione al fatto che il trasduttore (situato nella parte terminale della sonda) non rimanga mai asciutto perché altrimenti avremo delle misure da scartare. Come per il conducimetro quest'altro tipo di strumento viene settato in laboratorio in modo da campionare e memorizzare un elevato quantitativo di dati utili poi per redigere grafici e determinare il coefficiente di permeabilità del terreno (argomento ampiamente descritto al paragrafo dedicato nei capitoli successivi). Quando dopo vari riempimenti il livello comincia a stabilizzarsi (tempo di attesa massima dalle 2 alle 3 ore) allora significa che la porzione di terreno dove si sta effettuando la prova ha raggiunto la sua saturazione e quindi si può terminare. Bisogna dunque levare la staffa con la sonda e poi di conseguenza i due anelli e

ricoprire il più possibile il terreno riportandolo come era all'inizio della prova. Il procedimento sopra elencato va effettuato accuratamente su ogni tipo di litologia presente all'interno del bacino analizzato (come mostrato nei punti in *Fig. 68*) e in periodi diversi a distanza di alcuni mesi per poi confrontare i dati nei capitoli dedicati.

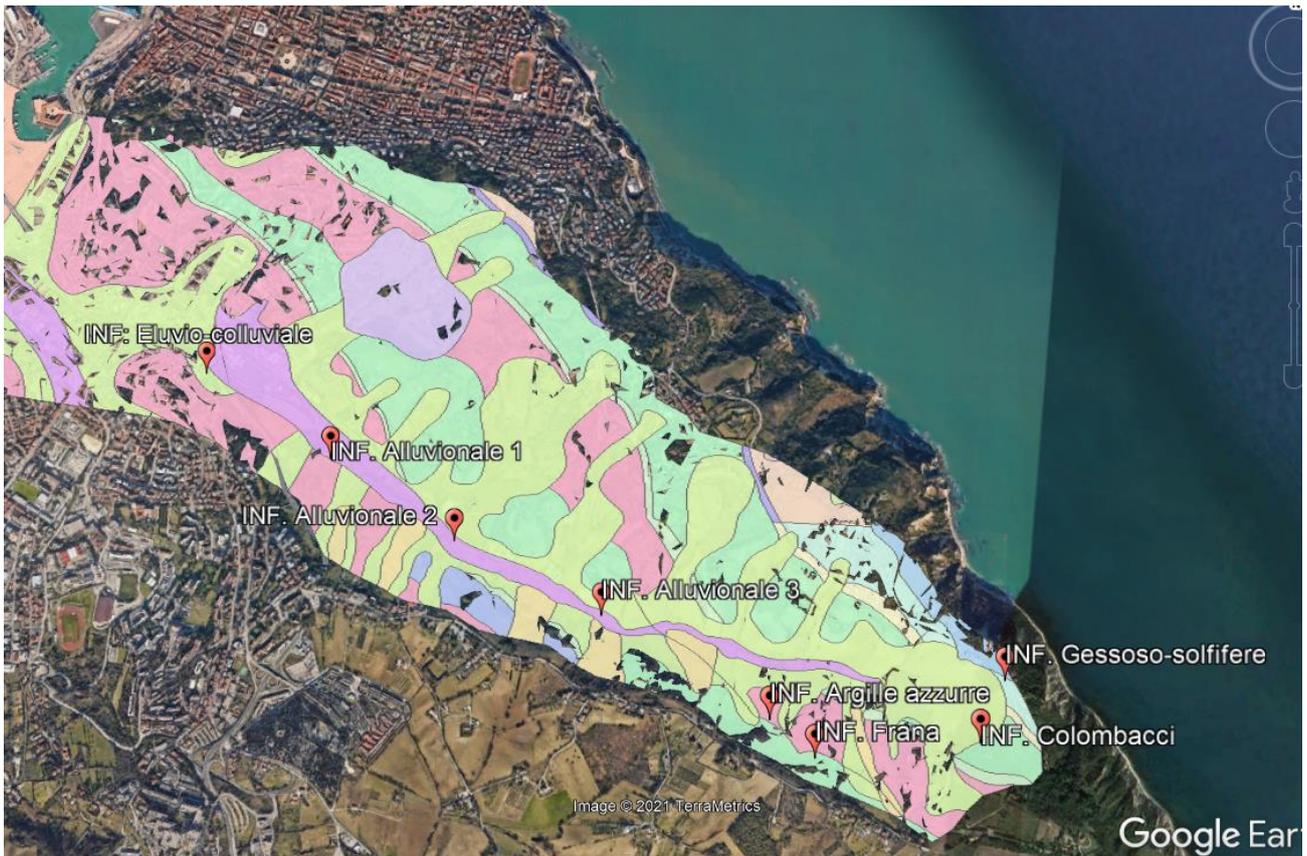


Figura 68. Localizzazione dei punti in cui sono state eseguite le infiltrometriche (estratto de Google Earth PRO)

#### 4.2.1.3 Prelievo dei campioni di terreno

Il prelievo consiste nel prendere tramite l'apposita trivella a mano (descritta accuratamente al *Paragrafo 4.1.1*) una porzione di terreno e metterla in appositi contenitori. Si inizia col prelevare circa 100 g di terreno ad una profondità di 20 cm e successivamente porre il ricavato all'interno del barattolo con il tappo a vite che dovremmo poi chiudere bene, sigillare con scotch e conservare fino alla pesatura in

luoghi possibilmente freschi (come ad esempio il frigorifero, una grotta, una cantina, etc.) per evitare la perdita di umidità (*Fig. 69*).



*Figura 69. Confezionamento provino umido*

Questa procedura va ripetuta in due periodi distanziati di mesi per confrontare l'andamento dell'umidità all'interno del tipo di terreno. Poi bisogna prelevare ulteriori campioni ai fini dell'esecuzione delle prove di laboratorio. Questi ultimi vanno presi a profondità diverse tra cui 10-20 cm, 50-60 cm e 80-90 cm sotto il piano campagna per un quantitativo di circa 500 g e vengono poi messi all'interno dei sacchetti di plastica richiudibili come si può vedere in *Fig. 70*.



*Figura 70. Confezionamento campione prelevato con trivella a mano per le granulometriche*

Il prelievo è eseguito tramite la trivella che viene infitta nel terreno e fatta ruotare, imprimendo una forza, fino alla profondità voluta; procedimento che va ripetuto per ogni litologia presente all'interno del bacino. Nella Fig. 71 è possibile notare il foro praticato dalla trivella a mano per il prelievo del terreno.



*Figura 71. Dimensioni del foro praticato con la trivella a mano*

Ricordarsi sempre di segnare tramite l'apposito pennarello indelebile la data e l'ora del prelievo, il tipo di terreno prelevato, la profondità di estrazione e possibilmente anche le coordinate del punto di prelievo.

#### 4.2.1.4 Rilievo Geomorfologico

Questo tipo di indagine si effettua recandosi in campagna e analizzando per prima cosa il torrente all'interno del bacino individuando tutti i punti in cui sono presenti delle irregolarità dovute all'attività antropica (come ad esempio le briglie, i ponti, le tubazioni, etc.) oppure ai vari dissesti idrogeologici che si sono susseguiti negli anni (come gli alberi caduti dovuti a fenomeni di carattere temporalesco che ostacolano il regolare scorrimento del torrente stesso come mostrato in *Fig. 72*) andando ad

annotarsi il tutto con tanto di coordinate per la loro corretta geolocalizzazione (*Fig. 73*). Scattando delle foto significative per ognuna di queste parti non conformi al naturale andamento fluviale o addirittura che ne rappresentano un ingombro o un miglioramento per diminuire la forza del torrente nei periodi di piena, per maggiori informazioni si rimanda al lavoro svolto nella tesi di laurea “Analisi e valutazione del rischio da frana nel bacino del T. Miano: redazione della carta geomorfologica di dettaglio” (Osimani, 2021).

Il rilievo geomorfologico consiste anche nel fotografare i vari versanti annotando le loro criticità, tra le quali si possono individuare frane (*Fig. 74*), avvallamenti, etc.



*Figura 72. Dissesto geomorfologico rappresentato dalla caduta di un albero sopra il corso del torrente*



Figura 73. Geolocalizzazione di una briglia (effettuata con Compass Commander)



Figura 74. Evidente avvallamento in un versante del bacino

## 4.2.2 Prove di laboratorio

Sono delle prove effettuate all'interno dei laboratori di Idrogeologia applicata e Geotecnica dell'Università Politecnica delle Marche. Si distinguono due tipologie di prove: la prima per la determinazione del contenuto di umidità del terreno (discusso nel capitolo dedicato) e la seconda consiste in un'analisi granulometrica per poi ricavare l'apposita curva che anch'essa è ampiamente mostrata e analizzata nei capitoli successivi. Entrambe le prove sono state fatte su tutte le tipologie di terreno, una per ogni profondità diversa (rispettivamente 10-20, 50-60 e 80-90 cm sotto il piano campagna) accorpendo nei limiti del possibile le litologie con caratteristiche simili.

### 4.2.2.1 Determinazione del contenuto di umidità del terreno

Questa prova va effettuata sui campioni umidi prelevati dal terreno esaminato (un campione rappresentativo per ogni litologia presente all'interno del bacino) e anche sui provini prelevati alle tre diverse profondità con le modalità di prelievo elencati in precedenza. Una volta portati in laboratorio i campioni nei barattolini con tappo a vite vengono subito messi nelle vaschette di alluminio precedentemente tarate. Successivamente si effettua una pesatura lorda e si mette tutto all'interno del forno. Questo procedimento di pesatura va fatto nel modo descritto e con il minor tempo possibile per evitare di perdere la reale umidità del terreno e quindi registrare un peso minore rispetto a quello effettivo del campione umido. Dopo averli messi nel forno, i campioni devono rimanerci per circa 24 ore ad una temperatura di 105 °C per garantire la corretta evaporazione di tutta l'umidità presente nel provino. Passato questo arco di tempo il campione essiccato viene estratto dal forno e nuovamente pesato al fine di ottenere un peso lordo secco. Tutte queste misure, tramite apposite formule, verranno utilizzare per determinare il contenuto di umidità del terreno come descriveremo nei capitoli dedicati all'elaborazione dei dati.

#### 4.2.2.2 Analisi granulometrica per via umida

Questa prova serve alla redazione di una curva utile ad indicare le caratteristiche dei terreni esaminati. Si può distinguere in due fasi, entrambi fatte per via umida: la prima consiste in una *setacciatura* e la seconda in una *sedimentazione*.

##### *SETACCIATURA*

È una procedura svolta seguendo attentamente i vari passaggi indicati nell'ASTM D6913 (una normativa americana il cui acronimo sta per: American Standard Testing Materials). Consiste nel far passare attraverso una pila di setacci con apertura delle maglie che vanno dalle dimensioni di 8,00 mm a 0,075 mm (indicato dalla normativa americana anche come setaccio n° 200) per separare il materiale grossolano in funzione delle sue dimensioni.

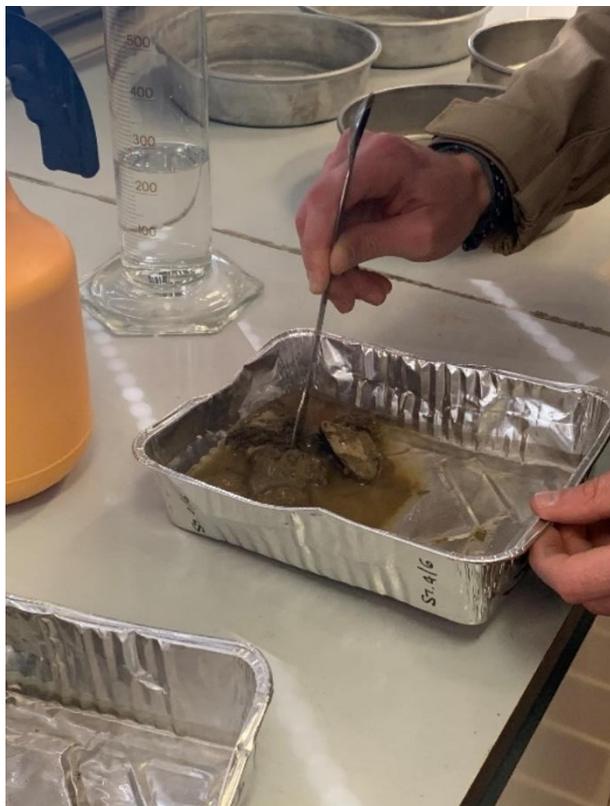
Inizialmente si prende un campione di terreno di circa 75-100 g e si essicca in appositi forni. Una volta tolta l'umidità allora inserisco nel contenitore dove si trova il provino il sodio esametafosfato con la funzione di disperdente in quantitativi pari a circa 5 g per ogni litro di acqua aggiunta e dopo alcune ore di ammollo si riducono le dimensioni del campione spezzettandolo con apposite spatole da laboratorio fino ad ottenere una specie di soluzione fangosa, il che facilita il passaggio tra le maglie dei setacci utilizzati. Procedura rappresentata dalla *Fig. 75* alla *Fig. 78*.



*Figura 75. Preparazione del sodio esametafosfato*



*Figura 76. Inserimento del sodio esametafosfato all'interno dello stesso contenitore contenente il campione*



*Figura 77. Frantumazione del campione con le spatole*



*Figura 78. Soluzione finale ottenuta*

Successivamente la soluzione viene rovesciata sul setaccio n° 200 al fine di scartare il passante e analizzare tutto il trattenuto. Per velocizzare e garantire un miglior passaggio a quel determinato setaccio si inserisce acqua del rubinetto o acqua distillata all'interno del setaccio stesso ripulendo il grossolano dal materiale fine che passerà al setaccio con apertura di 0,075 mm e verrà raccolto in grandi contenitori di alluminio. La cosiddetta procedura di lavaggio del grossolano non termina finché non si è riusciti ad eliminare più materiale fine possibile. Il tutto è rappresentato dalla *Fig. 79* alla *Fig. 83*.



*Figura 79. Si versa la soluzione ottenuta nel setaccio n°. 200*



*Figura 80. Si ripulisce bene il contenitore per evitare di perdere materiale*



*Figura 81. Si cerca di eliminare tramite l'acqua il materiale fine unito al grossolano*



*Figura 82. Materiale grossolano ripulito*



*Figura 83. Si verifica che non ci sia più materiale fine trattenuto al setaccio tramite la trasparenza dell'acqua passante*

Una volta finita la pulizia del grossolano dal fine, il trattenuto al setaccio viene versato in una vaschetta di alluminio e poi messo in forno per eliminare la sua umidità acquisita durante l'operazione precedente. Successivamente dopo aver aspettato le 24 ore per l'essiccamento a 105 °C si prende il materiale, si pesa in modo da avere il quantitativo totale di materiale grossolano, si tarano i setacci vuoti (*Fig. 84*) e si fa passare attraverso la pila scelta dalla normativa (da quello con apertura delle maglie di dimensione 8 mm a quello con apertura pari a 0,075 mm) per via umida, ossia tramite l'utilizzo dell'acqua per favorire il passaggio attraverso i vari setacci (*Fig. 85*).



*Figura 84. Pesatura e annotazione della tara*



*Figura 85. Trattenuto al setaccio n°. 200, essiccato e poi fatto passare per via umida nella pila di setacci*

Infine, si mettono i setacci, ognuno con il suo trattenuto, direttamente in forno oppure il materiale viene versato nuovamente in ulteriori vaschette in base alla disponibilità dei setacci in laboratorio e alla capienza del forno stesso. Dopo aver aspettato le solite ore per il corretto essiccamento allora si estraggono i contenitori del forno e si pesano ottenendo così il lordo secco (*Fig. 86*), i dati vanno sempre annotati perché saranno utili al fine di redigere la curva granulometrica e quindi si conclude qui la setacciatura normata ASTM.



*Figura 86. Foto dei trattenuti dopo l'essiccamento pronti per la pesatura del lordo*

### *SEDIMENTAZIONE (anche detta AEROMETRIA)*

Questa procedura serve a determinare la distribuzione granulometrica per il materiale fine, ossia passante al setaccio n° 200. È una prova sempre normata ASTM D7928 e usata soprattutto per la distinzione del materiale grossolano (come ghiaie e sabbie) da quello fine (come limi e argille).

Questa procedura si basa sulla legge di Stokes (espressa in *Fig. 87*):

$$U_s = \frac{(\rho_s - \rho_f)D^2g}{18\eta}$$

Figura 87. Formula della velocità di sedimentazione di una particella (Mignotti & Woods, 2020)

$U_s$  = velocità di sedimentazione

$\rho_s$  = densità apparente della particella

$\rho_f$  = densità del fluido

$D$  = diametro di Stokes

$g$  = accelerazione di gravità

$\eta$  = viscosità del fluido

È richiesta la densità del materiale, quindi la tecnica non è adatta per emulsioni in cui le particelle non sedimentano o per materiali molto densi che sedimentano rapidamente. Il termine della viscosità al denominatore comporta la necessità di un rigoroso controllo della temperatura. Inoltre, la legge di Stokes è valida per sfere di materiale omogeneo e compatto possibilmente di diametro ridotto, pertanto più la particella è di forma irregolare tanto più lentamente sedimenterà, ed i risultati presenteranno un'ampia deviazione rispetto a quanto ci si potrebbe attendere (Salemi et al., 2009).

La prova consiste nel mettere una campione di terreno frammentato sopra il setaccio n° 10 (quello con apertura delle maglie pari a 2 mm), ovviamente dopo averne determinato l'umidità con la metodologia elencata precedentemente, e ricavare circa 60-70 g di passante (Fig. 88).



Figura 88. Passante al setaccio di 2 mm

Si prende il passante, si mette all'interno di un becker graduato e si aggiunge sodio esametafosfato e acqua distillata in quantità tali da ottenere un'emulsione. Viene poi mescolato il tutto con apposite spatole in modo da omogenizzare il più possibile la soluzione sciogliendo il sodio. Infine, il contenuto si svuota all'interno del contenitore metallico descritto al *Paragrafo 4.1.1* per poi essere mescolato ulteriormente dall'agitatore meccanico descritto al *Paragrafo 4.1.2* per un tempo pari a circa 5 minuti, il procedimento è rappresentato in *Fig. 89* e *Fig. 90*. Una volta finito il mescolamento si svuota il contenitore metallico all'interno del cilindro graduato (*Fig. 91*) ripulendo sempre con acqua distillata i contenitori durante i vari passaggi per evitare di perdere del materiale fine. Poi il contenuto del cilindro viene "portato a volume" (fino al raggiungimento del volume di 1000 ml) con acqua distillata come in *Fig. 92*. Successivamente si attappa il cilindro e si agita per un massimo di dieci volte per rimuovere la sedimentazione che si è avviata prima del dovuto. Si inserisce il cilindro all'interno della vasca termostatica descritta sempre al *Paragrafo 4.1.2* come rappresentato in *Fig. 93* e poi si aggiunge con la siringa di piccole dimensioni

(descritta al *Paragrafo 4.1.1*) l'alcool isopropilico descritto invece al *Paragrafo 4.1.3* quantità pari a 25 ml per evitare la formazione di schiume dovute alla probabile presenza di materiale organico. Bisogna effettuare subito le misurazioni con il densimetro descritto al *Paragrafo 4.1.1* e annotarle nella tabella rappresentata in *Fig. 94*. Le letture vanno eseguite ad intervalli di tempo normati e fino a 48 ore dall'inizio della prova. Prima di annotare la lettura sul foglio il densimetro deve fermarsi e il menisco della nostra soluzione si troverà ad una certa altezza, appena vi è la possibilità di lettura si effettua la misurazione.



*Figura 89. Emulsione pronta per la miscelazione*



*Figura 90. Miscelatore in funzione*



*Figura 91. Si svuota l'emulsione omogenea all'interno del cilindro graduato*



*Figura 92. si porta il volume del cilindro fino a 1000 ml con acqua distillata*



*Figura 93. Si inseriscono i cilindri dentro l'apposito acquario*

**ANALISI GRANULOMETRICA CON AEROMETRO A.S.T.M.**

TARA Setaccio 200) 337,25g  
FM

Richiedente: \_\_\_\_\_  
 Indagine: \_\_\_\_\_  
 Sondaggio: \_\_\_\_\_

Campiono **1h** Profondità m \_\_\_\_\_

---

Granulometria con setacci A.S.T.M. del trattenuto al 200 MESH					DATI PER L' AEROMETRIA	
Set. N.	Diam. mm	Tratten. cum. g	Tratten. cum. %	Pass. P %	Beker n°	=
5/8"	16,000				Cilindro n°	2
5/16"	8,000				Aerometro n°	1
4	4,750				Correzione tot.	
10	2,000				Peso secco	50,00 g
18	1,000				Peso specifico	g
40	0,425				DATI DELLA SETACCIATURA	
80	0,180				Peso totale iniziale	= TARA MASS. 2 = 225,65g
200	0,075				Peso totale finale	= P.C.S. = 287,70g
FONDO					Materiale disperso	=

Data	Ora	Tempi di lettura	Tempo T minuti	Letture	Temp. t°	Correz. totale C	Letture corretta	L	K	Diametro D = mm	Passante P %	Passante P' %
	9:04	15"	0,25									
		30"	0,50	46	22,3							
		1'	1	44	22,9							
		2'	2	43	22,7							
	9:09	4'	4	41	22,2							
	9:14	15'	15	39	22,2							
	9:19	45'	45	34	22,1							
	11:04	2h	120	31	22,0							
	13:04	4h	240	27	22,1							
	9:04	24h	1440	20	22,6							
	9:04	48h	2880	18	22,1							
27/05	7:25	72h	4320	14	21,7							
		96h	5760									
		120h	7200									

Figura 94. Esempio di tabella per annotare le misure con il densimetro

Una volta compiute tutte le misurazioni si toglie il cilindro dalla vasca termostatica per le aerometrie e si svuota sul setaccio n° 200 per poi una volta essiccato pesare il trattenuto in modo tale da ricavare per differenza la frazione passante quindi il quantitativo di terreno a grana fine. Questa tipologia di prova va eseguita per ogni litologia presente all'interno del bacino preso in esame e per ogni provino prelevato alle tre profondità diverse.

### 4.2.3 Elaborazioni digitali

Questo tipo di indagine consiste nell'eseguire, tramite appositi software modellistici descritti al *Paragrafo 4.1.2*, delle digitalizzazioni di materiale cartaceo e nella redazione di carte idrologiche e geomorfologiche sulla base di dati acquisiti in campagna e dalle prove di laboratorio. Si distinguono vari tipi di elaborazioni digitali ai fini di un corretto monitoraggio del bacino: DIGITALIZZAZIONE DEI SONDAGGI, REDAZIONE DELLE CARTE, REALIZZAZIONE DEI GRAFICI e COSTRUZIONE DELLE CURVE GRANULOMETRICHE.

#### 4.2.3.1 Digitalizzazione sondaggi

Questa procedura consiste nell'utilizzo del software AUTOCAD (descritto al *Paragrafo 4.1.2*) che permette di rappresentare graficamente quanto scritto sul "Censimento dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano" (Sciarra et al., 1985) (*Fig. 95*).

In un foglio di disegno (*Fig. 96*) per poi visualizzarlo meglio in base alla legenda mostrata successivamente nei capitoli dedicati con la digitalizzazione completa di tutti i sondaggi ricadenti dentro il bacino ed utili all'individuazione della superficie di falda e dello spessore della copertura, per ulteriori dettagli si rimanda al lavoro effettuato dai colleghi di UNIVPM (Crocetti, 2021).

Record n. 17  
 CODICE 2,3d,1  
 PROFONDITA 11.00  
 FALDA -6.0 m  
 LITOTIPO\_1 da 0 a 2.0 m - terreno agrario  
 PAR\_GEOTE1 n.r.  
 LITOTIPO\_2 da 2.0 a 6.0 m - riperto  
 PAR\_GEOTE2 n.r.  
 LITOTIPO\_3 da 6.0 a 10.0 m - argille limose e/o sabbiose con calcinelli  
 ( colluvioni )  
 PAR\_GEOTE3 n.r.  
 LITOTIPO\_4 da 10.0 a 11.0 m - argille marnose grigio chiare alterate e fratturate  
 con calcinelli ( colluvioni )  
 PAR\_GEOTE4 n.r.  
 NOTE carotaggio continuo

Figura 95. Sondaggi presi dal Censimento (Sciarra et al., 1985)

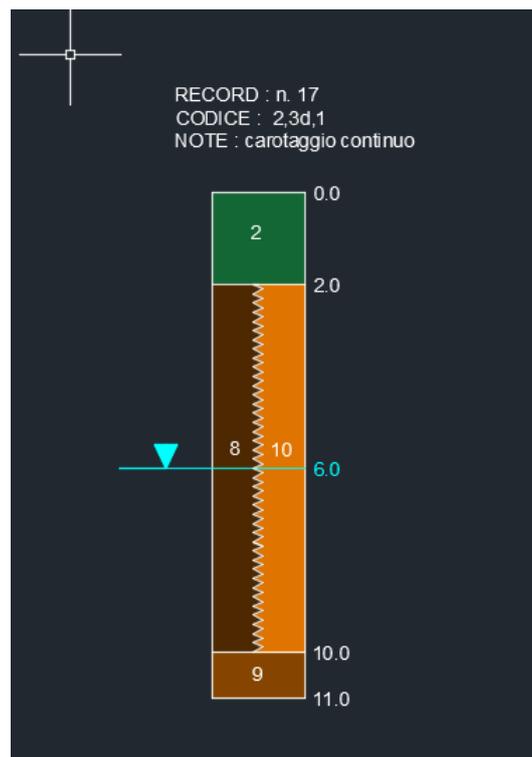


Figura 96. Sondaggio digitalizzato tramite AUTOCAD

#### 4.2.3.2 Redazione delle carte

Questa operazione si basa sull'aggiornamento delle vecchie carte geomorfologiche risalenti agli anni precedenti, sulla redazione delle carte isopiezometriche e delle

carte riguardanti lo spessore del terreno di copertura tramite l'inserimento dei dati ottenuti in campagna e dalle digitalizzazioni dei sondaggi portati prima su file Excel e poi inseriti all'interno del software ArcGIS che ha come base di disegno la cartografia reale. Si elenca qui di seguito la procedura da seguire per dare origine alle carte precedentemente elencate:

- Creare un foglio Excel con i dati ricavati dalle indagini
- Salvare il foglio Excel come "txt" (ovvero documento di testo)
- Sul software ArcGIS aprire Add Data e selezionare il "txt" appena creato
- Trasformare il "txt" in Shape File puntuale partendo dalle coordinate del punto
- Con il comando Topo To Raster assegnare a ciascun punto il valore nella colonna che indica la particolarità per la quale si andrà a fare a carta (ad esempio: nel caso della carta isopiezometrica nella colonna potrà essere indicata la quota della falda, ossia la piezometrica, sul livello medio del mare)
- A partire da questa quota, attraverso il comando "Contour" viene realizzato il raster del livello piezometrico, per esempio, e successivamente interpolato in un determinato intervallo a piacimento che individua la distanza di una piezometrica dall'altra

Per la redazione delle prime è necessario un accurato rilievo geomorfologico della zona in esame, come descritto in precedenza nel paragrafo dedicato, senza tralasciare nessun particolare in modo da creare una carta completa rappresentante lo stato attuale del bacino e del torrente con tutte le varie caratteristiche dei versanti che lo compongono. Per la redazione delle carte isopiezometriche invece basta inserire nell'apposito software un file Excel con le coordinate dei pozzi e i dati relativi alla profondità della falda ricavata dagli stessi o dai sondaggi geognostici effettuati nella zona. Infine, per quanto riguarda la carta dello spessore delle coperture la sua redazione si basa sull'inserire sempre all'interno del software ArcGIS descritto sempre al *Paragrafo 4.1.2* le coordinate di sondaggi di interesse all'interno del

bacino e l'altezza dello spessore della copertura in modo che il software unendo i punti di collocamento dei sondaggi grazie alle coordinate, come per le carte precedenti, riesce ad individuare lo spessore del terreno di copertura dell'area di interesse.

#### 4.2.3.3 Realizzazione dei grafici

##### *Grafici per la determinazione della permeabilità*

Questa procedura si basa sull'utilizzo del programma Excel al fine di realizzare un grafico contenente una retta che interpola dei punti (grafici ampiamente descritti e commentati nei capitoli dedicati). Dalla sonda utilizzata nell'infiltrometro a doppio anello descritta nel *Paragrafo 4.1.2* e collegandole tramite appositi strumenti al computer è possibile scaricare i dati registrati durante lo svolgimento delle campagne. Sui dati grezzi contenuti sempre in un apposito file Excel, si applicano dei filtri e si eseguono parziali scremature in modo da ottenere i dati essenziali con i quali redigere un grafico. In quest'ultimo si possono individuare dei punti e grazie ad appositi comandi e funzionalità del software Excel è possibile individuare la retta che li interpola nel miglior modo possibile ( $R^2$  prossimo all'unità). Da questa, tramite un semplice passaggio matematico, è possibile determinare il  $K$  (m/s) noto come coefficiente di permeabilità del terreno in esame. Si effettua questa procedura per tutte le litologie analizzate all'interno del bacino.

##### *Grafici per individuare l'andamento della temperatura e della conducibilità*

Questi altri grafici sono sempre ottenuti scremando i dati scaricati dal conduttimetro e andando a prendere solo quelli rappresentativi si riesce a ricavare l'andamento della temperatura e della conducibilità all'interno di ogni singolo pozzo analizzato in funzione della profondità dello stesso.

#### 4.2.3.4 Costruzione delle curve granulometriche

Per la costruzione di queste curve si deve far riferimento alla normativa ASTM. Quindi bisogna tramite file Excel e appositi programmi di calcolo (*Fig. 97*) inserire i dati ottenuti dalla setacciatura e dalle aerometrie al fine di ottenere una curva più omogenea possibile che tenga conto di tutte le varie frazioni granulometriche (ghiaie, sabbie, limi e argille) presenti all'interno del nostro campione di terreno. La redazione della curva va fatta per le litologie analizzate e per ogni campione prelevato a profondità diverse.

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>m,0</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,25	58,0	18,8	5,4	7,5	0,0716	99,3
2	0,5	58,0	18,8	5,4	7,5	0,0506	99,3
3	1,0	58,0	18,8	5,4	7,5	0,0358	99,3
4	2,0	58,0	18,8	5,4	7,5	0,0253	99,3
5	4,0	58,0	18,8	5,4	7,5	0,0179	99,3
6	15,0	57,0	18,8	5,4	7,6	0,0093	97,4
7	45,0	54,0	18,8	5,4	8,1	0,0056	91,7
8	120,0	49,0	17,1	5,9	8,9	0,0036	81,3
9	240,0	43,0	17,0	5,9	9,9	0,0027	69,9
10	1440,0	32,0	17,0	5,9	11,8	0,0012	49,2
11	2880,0	28,0	17,6	5,8	12,4	0,0009	42,0
12	4320,0	26,0	17,8	5,7	12,7	0,0007	38,3
13	5760,0	25,0	17,0	5,9	12,9	0,0006	36,0
14	8640,0	24,0	17,0	5,9	13,1	0,0005	34,1
15							

Figura 97. Schermata di esempio del programma di calcolo per la realizzazione della curva granulometrica per la frazione fine secondo la norma ASTM

## 5. Risultati e discussione

Vengono riportati qui di seguito i risultati ottenuti dalle indagini effettuate nel bacino per il corretto monitoraggio ai fini della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico provocato dall'avvenire di importanti fenomeni di carattere temporalesco. Si imposta inoltre una suddivisione dei dati ricavati in base all'UMIDITA' e alla PERMEABILITA' delle varie litologie, alla DIGITALIGAZIONE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI, al LIVELLO DELLA FALDA che interessa l'area presa in esame, alla CONDUCIBILITA' ELETTRICA e alla TEMPERATURA dell'acqua presente all'interno dei pozzi analizzati e di conseguenza dell'acquifero che riguarda il bacino studiato ed infine vengono analizzate le CURVE GRANULOMETRICHE per le litologie presenti nelle vicinanze del corso d'acqua dove sono ubicati i pozzi esaminati.

Nei grafici mostrati in questo capitolo le varie misure puntuali effettuate dai diversi tipi di sonda sono rappresentati in modalità standard puntini azzurri dal programma di calcolo Excel.

### 5.1 Umidità e permeabilità

Vengono ora mostrati tutte le varie tabelle e tutti i grafici utili alla determinazione dell'umidità e della permeabilità di ogni litologia presente all'interno del bacino. I primi sono ottenuti dal calcolo del contenuto d'acqua all'interno del provino con la metodologia descritta in precedenza al *Paragrafo 4.2.2.1*. I secondi invece sono stati ricavati dopo aver scaricato la sonda sul computer e tramite Excel compensato i dati eliminando i valori di pressione atmosferica registrati dalla sonda e redatto il grafico che rappresenta l'andamento del livello dell'acqua all'interno del doppio anello in funzione del tempo, da lì tramite la retta che interpola i vari punti è possibile determinarne la permeabilità ovvero il coefficiente  $k_{sat}$  del terreno nel quale è stata effettuata la prova.

### 5.1.1 Risultati ottenuti nel mese di marzo

Le prove infiltrometriche sono state eseguite sulle seguenti litologie interne al bacino come mostrato precedentemente in *Fig. 68*: tre di esse sono state fatte sui depositi alluvionali ma in punti diversi all'interno del bacino (ovviamente sempre nelle vicinanze del letto del torrente), una sui depositi eluvio-colluviali, una sulla formazione dei colombacci, una sul terreno in frana, un'altra sulla formazione delle argille azzurre e l'ultima sulla formazione della gessoso-solfifera. Per ognuna di esse viene individuato il punto ricavando la quota e le coordinate tramite l'applicazione Compass Commander descritta al *Paragrafo 4.1.2*, mentre con le metodologie descritte in precedenza al *Paragrafo 4.2.1.2* viene individuata la profondità di scavo rispetto al piano campagna per la preparazione del terreno dove eseguire la prove e successivamente la profondità di infissione del doppio anello in modo da garantire una filtrazione in direzione verticale e non in direzione orizzontale perché altrimenti si potrebbero avere fuoriuscite di acqua lateralmente agli anelli (come mostrato in *Fig. 98*) e la prova andrebbe scartata. Infine, si determina l'umidità e la permeabilità ottenendo i risultati elencati qui di seguito e annotando sempre data e ora di esecuzione della prova.



Figura 98. Prova da scartare perchè si è instaurato un moto di filtrazione orizzontale

### 5.1.1.1 Umidità delle varie coperture

Vengono illustrati in *Tab. 1* i provini prelevati superficialmente nei punti in cui sono state fatte le infiltrometriche, con tutte le varie pesature (secco e umido) effettuate una volta che il campione è stato portato in laboratorio al fine di determinare il valore percentuale di umidità presente nel terreno al momento della prova.

FORMAZIONE	LORDO UMIDO	LORDO SECCO	TARA (barattolino)	TARA (vassoio)	NETTO UMIDO	NETTO SECCO	UMIDITA'
/	g	g	g	g	g	g	%
Alluvionale 1	155,72	222,67	14,17	116,69	141,55	105,98	33,56
Alluvionale 2	131,65	209,83	14,02	114,75	117,63	95,08	23,72
Alluvionale 3	144,01	126,43	14,06	19,36	129,95	107,07	21,37
Eluvio-colluviale	176,87	148,97	/	19,69	157,18	129,28	21,58
Colombacci	291,39	243,71	/	19,21	272,18	224,5	21,24
Frana	288,37	228,29	/	18,67	269,7	209,62	28,66
Argille Azzurre	137,07	114,69	/	19,1	117,97	95,59	23,41
Gessoso-solfifera	191,81	174,92	/	19,38	172,43	155,54	10,86

Tabella 1. Risultati utili per la determinazione dell'umidità del terreno

L'umidità percentuale viene individuata in funzione del peso umido e del peso secco ricavato dopo essiccazione in forno a 105 °C, grazie all'utilizzo della seguente formula:

$$UMIDITA'(\%) = \frac{NETTO UMIDO - NETTO SECCO}{NETTO SECCO} \times 100$$

Si nota che l'umidità oscilla tra il 10,86% nella Gessoso-solfifera e raggiunge il 33,56% nell'Alluvionale 1. Nelle altre formazioni si aggira in media intorno al 23%, da questa analisi si deduce che i terreni più umidi sono gli Alluvionali e il terreno in frana mentre i più aridi e quindi con minor quantitativo di acqua sono le Gessoso-solfifere. Questa deduzione è strettamente correlata anche al *Paragrafo 2.5* che indica come sono nate queste formazioni e le loro caratteristiche idrogeologiche.

#### 5.1.1.2 Permeabilità delle varie coperture

Vengono di seguito riportati i grafici delle prove infiltrometriche effettuate nel mese di marzo in data 15/03/2021 con la sonda settata in laboratorio per effettuare una misurazione ogni 2 s (*Fig. 99*) e in data 20/03/2021, questa volta con la sonda programmata per rilevare dati ad intervalli di tempo più ampi pari a 5 s (*Fig. 100*). Per ognuno dei due grafici è possibile individuare l'andamento del livello d'acqua sopra il sensore espresso in cm (rappresentato nell'asse delle ordinate) in funzione del tempo (rappresentato nell'asse delle ascisse) espresso in hh:mm:ss.

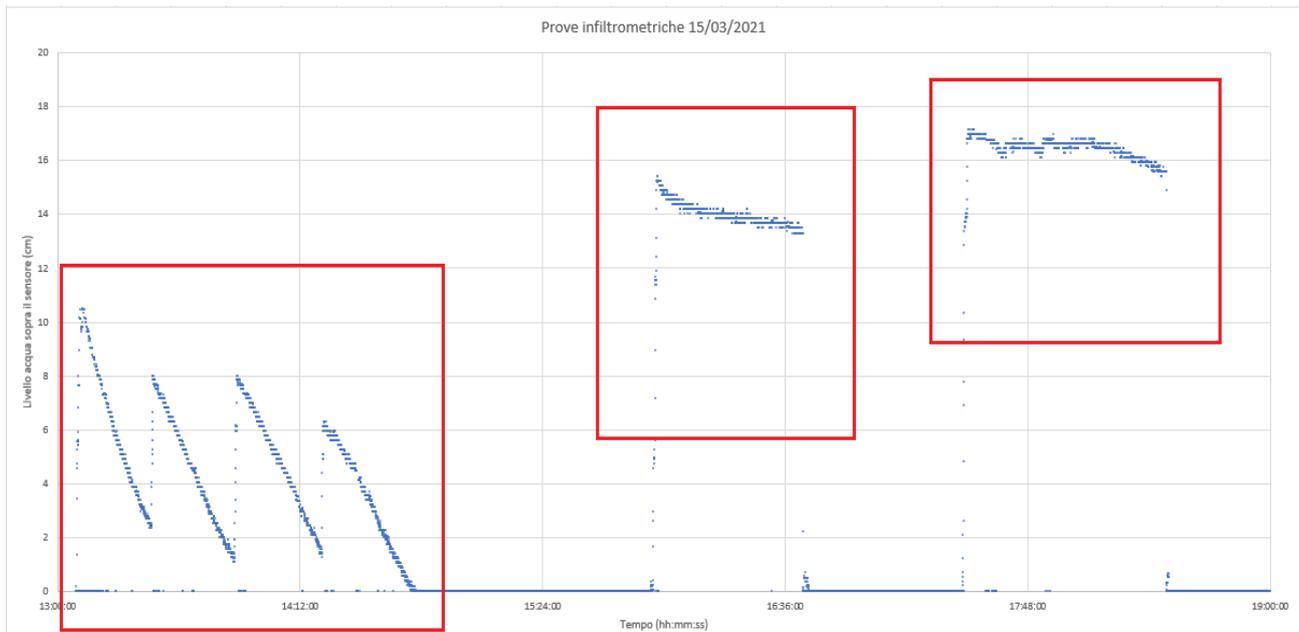


Figura 99. Grafico prove infiltrometriche nel mese di marzo (15/03/2021)

Nella Fig. 99 sono inoltre evidenziati gli intervalli di tempo in cui si sono eseguite le prove. Si può notare che nel primo riquadro rosso partendo da sinistra è stata effettuata la prima prova infiltrometrica nel terreno Alluvionale 1 (Fig. 103) situato nelle vicinanze del Torrente Miano. Analizzando i dati rilevati dalla sonda si deduce che i tratti verticali evidenziano le ricariche del volume del doppio anello mentre i tratti pendenti indicano l'abbassamento di pressione sopra il sensore che corrisponde ad una diminuzione del livello dell'acqua dando origine ad una filtrazione. Notando che, i tratti all'interno del primo riquadro rosso, hanno tutti una pendenza notevole si evince che il terreno (Alluvionale 1) ha una permeabilità abbastanza alta.

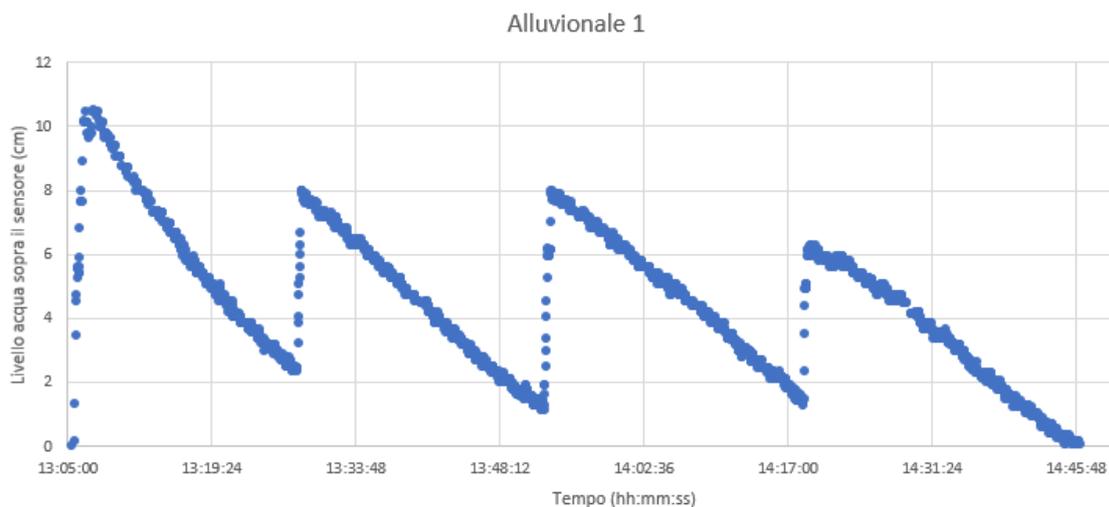


Figura 100. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 1

Negli altri due riquadri invece, si può notare che non è stata fatta nessuna ricarica rilevante se non quella iniziale perché osservando attentamente il secondo tratto discendente si vede che la pendenza è minima, ciò vuol dire che il terreno soggetto alla prova in quei riquadri (Alluvionale 2 e Alluvionale 3 come rispettivamente mostrati in Fig. 101 e Fig. 102) è già saturo o con una permeabilità sicuramente minore al precedente.

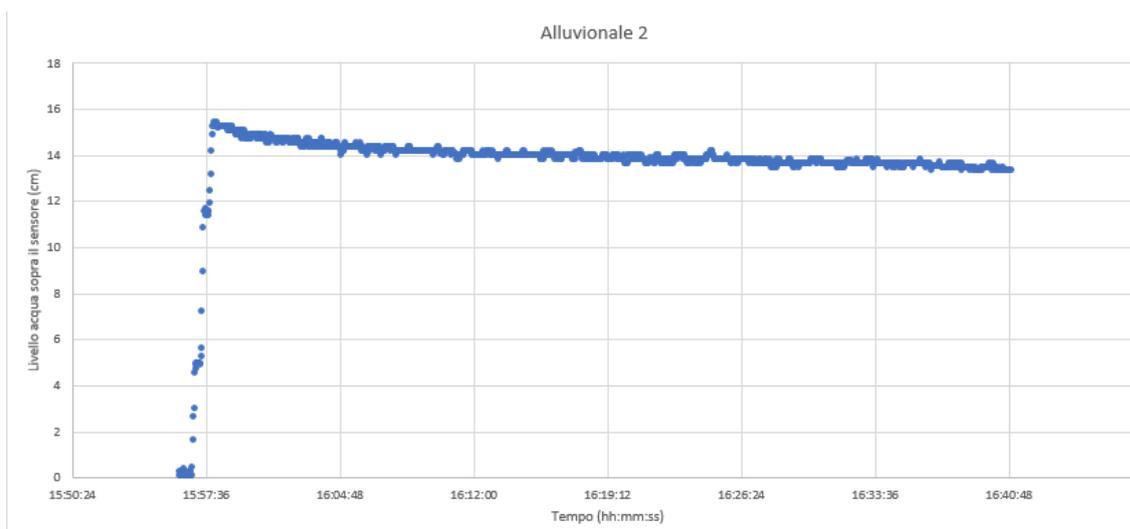


Figura 101. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 2

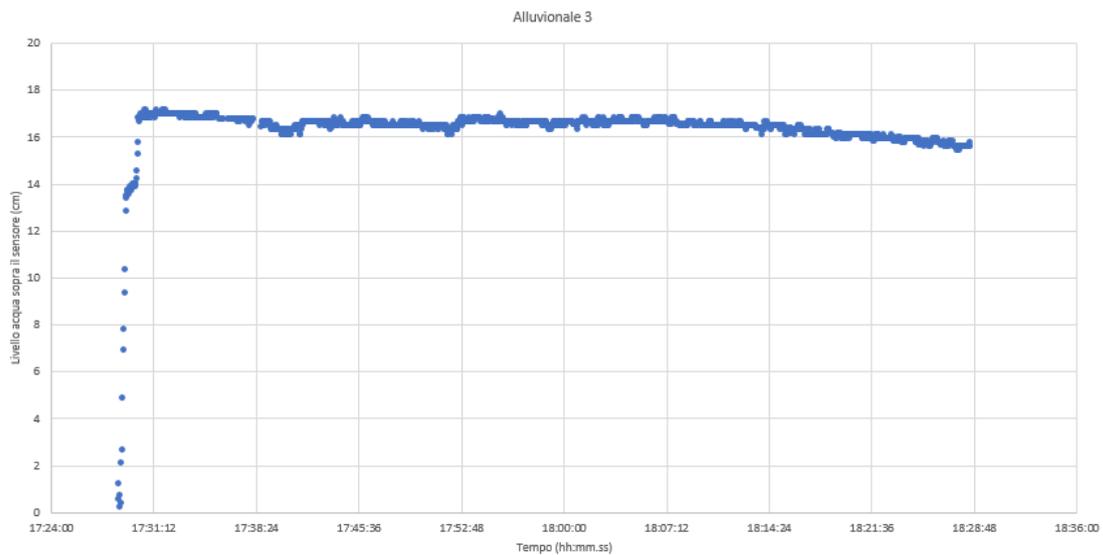


Figura 102. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 3

Nella figura successiva (Fig. 103) sono evidenziate le ulteriori prove infiltrometriche fatte nella giornata del 20/03/2021.

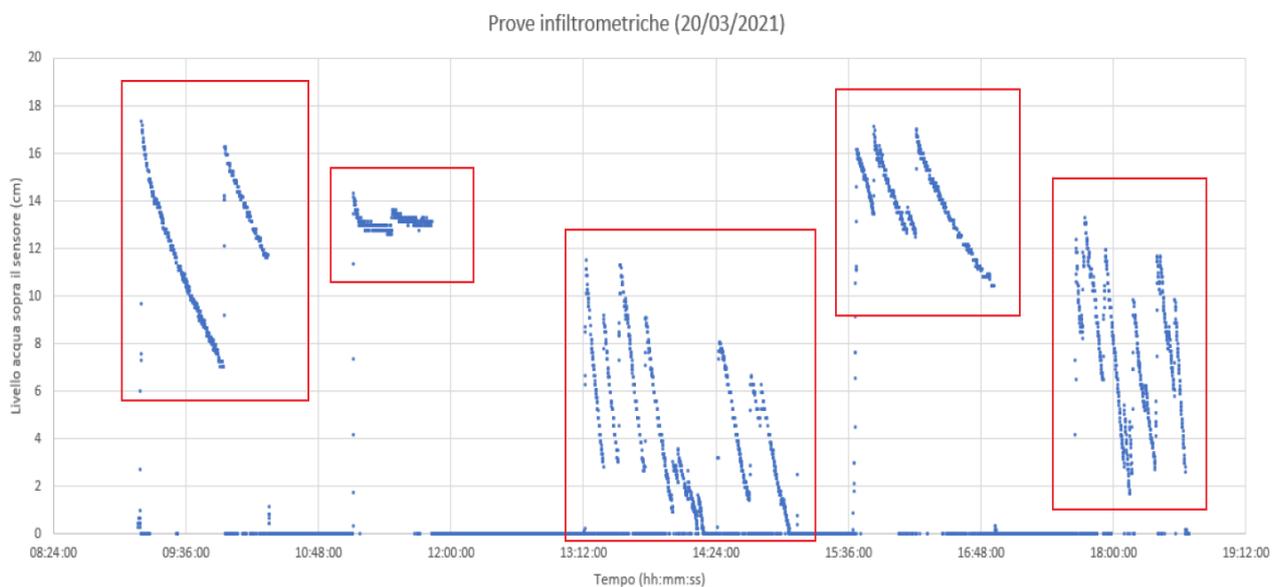


Figura 103. Individuazione delle varie prove infiltrometriche nell'arco della campagna effettuata

Nel primo riquadro rosso (Fig. 104) partendo da sinistra è individuabile l'infiltrometrica fatta sull'Eluvio-colluviale e si nota come anche qui la pressione

scende con tratti di uguale pendenza e di conseguenza il livello si abbassa rapidamente in funzione alla permeabilità del terreno stesso.

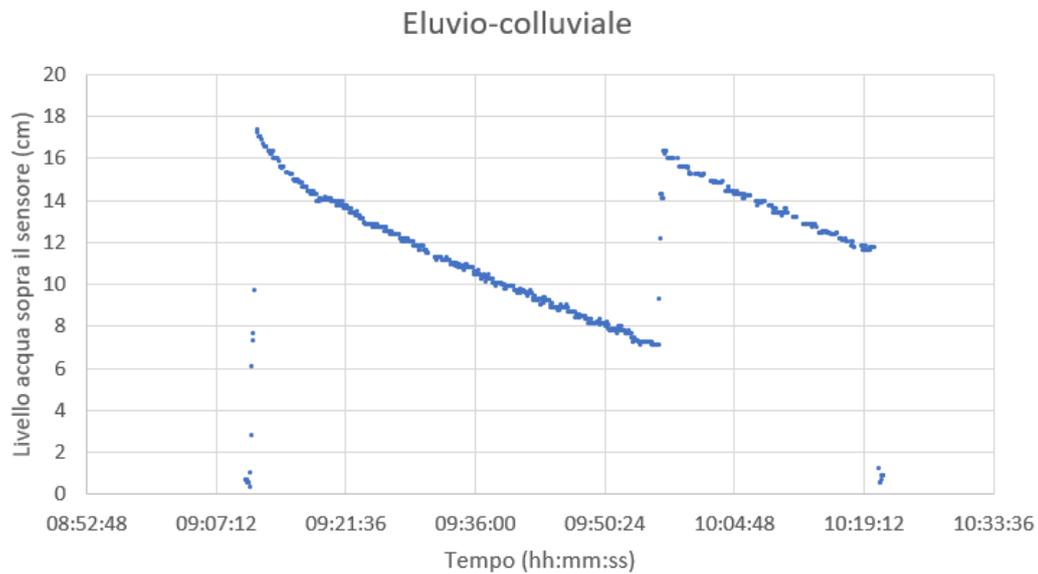


Figura 104. Prova infiltrometrica sull'Ehuvio-colluviale

Nel secondo riquadro (Fig. 105) invece è individuabile l'andamento della pressione in funzione del tempo per la formazione dei Colombacci, si nota come i tratti hanno una pendenza minima ed il livello dell'acqua, quindi, è sceso di pochissimo data la bassa permeabilità del terreno stesso.

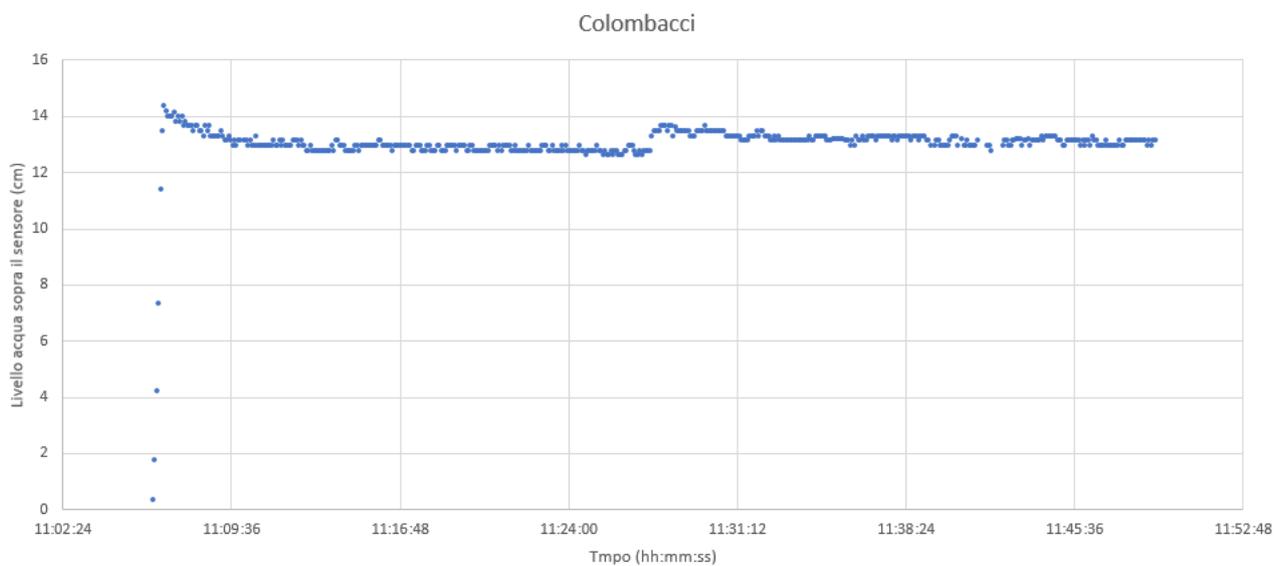
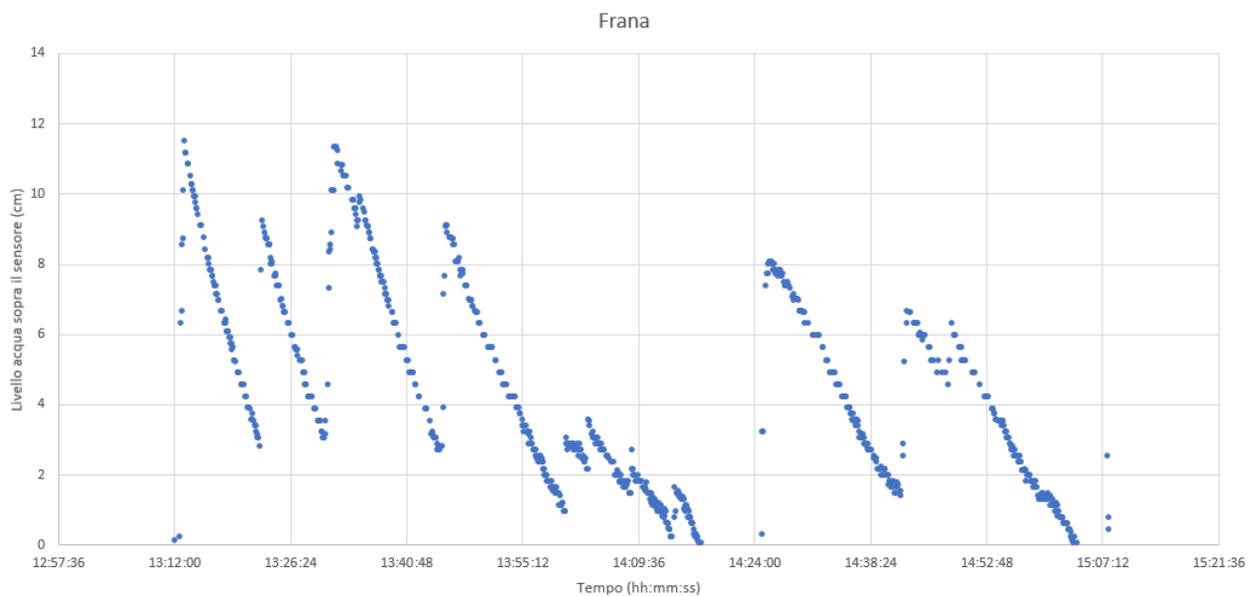


Figura 105. Prova infiltrometrica sui Colombacci

Nel terzo riquadro (*Fig. 106*) si nota l'infiltrometrica fatta sul terreno in frana. Come si può vedere dal grafico questa ha una durata maggiore rispetto alle altre per il fatto che il terreno è altamente permeabile e quindi nonostante le varie ricariche effettuate impiega molto tempo per arrivare a saturazione garantendo così un abbassamento continuo del livello dell'acqua all'interno del doppio anello. È inoltre individuabile una specie di discontinuità rispetto al normale andamento del grafico all'interno della prova, il che sta ad indicare che sono state effettuate delle piccole ricariche con lo scopo di garantire un abbassamento costante dei due livelli all'interno degli anelli concentrici.



*Figura 106. Prova infiltrometrica sul terreno in frana*

Nel quarto riquadro (*Fig. 107*) invece si nota come diminuisce la pressione sulla sonda per la formazione delle Argille Azzurre, si individuano nettamente le varie ricariche effettuate e i tratti discendenti con pendenza costante.

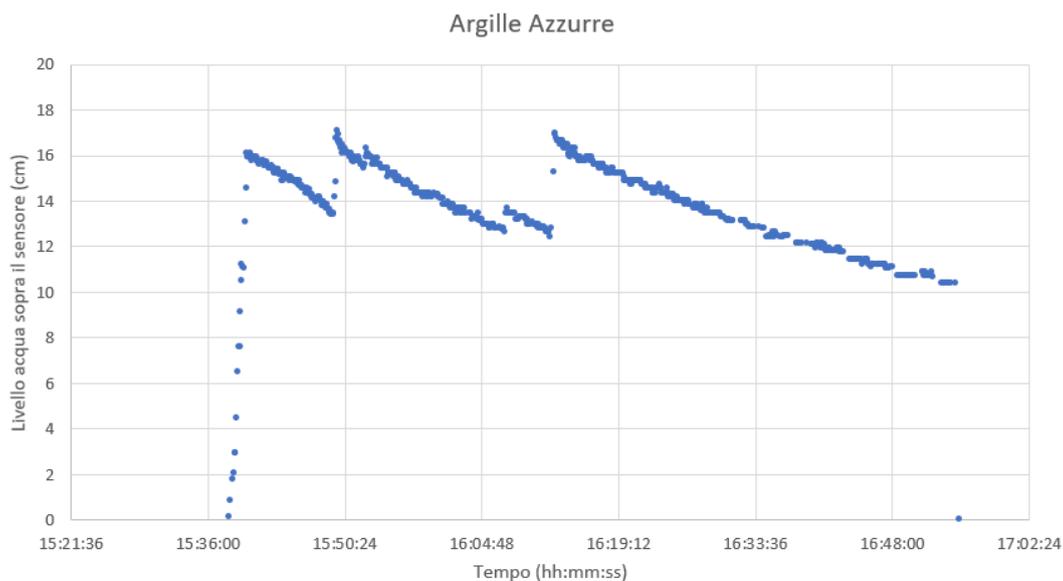


Figura 107. Prova infiltrometrica sulle Argille Azzurre

Infine, si individua l'ultima prova infiltrometrica nel mese di marzo, fatta nella formazione delle gessoso-solfifere, dove anche qui (come leggibile dal grafico in *Fig. 108*) la pendenza dei tratti discendenti è elevata, ciò vuol dire che la permeabilità è relativamente alta e che il terreno prima di arrivare a saturazione ha la necessità di molta acqua.

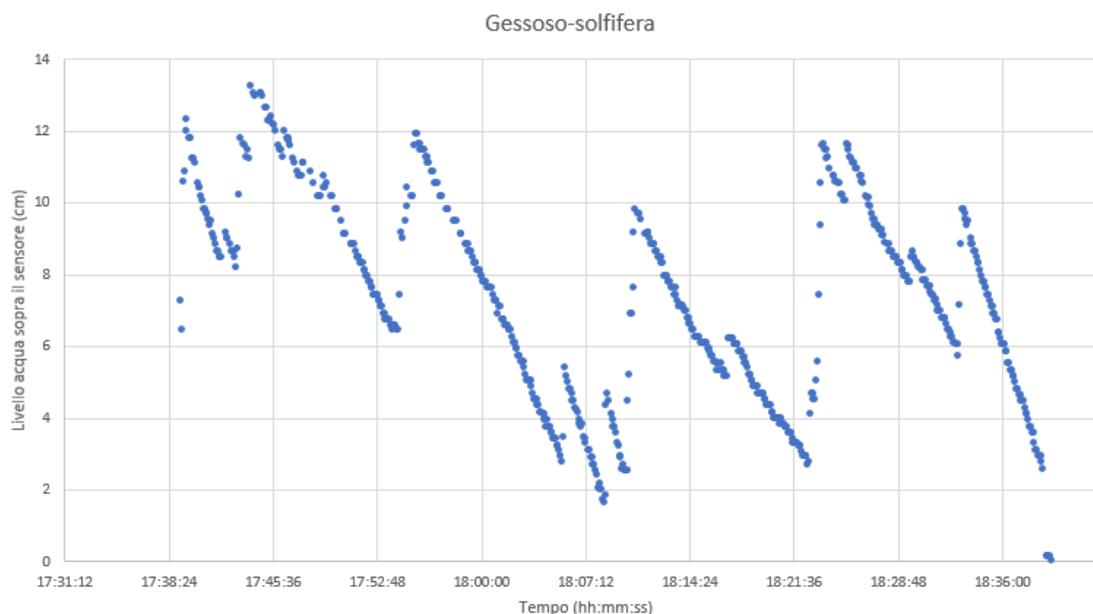
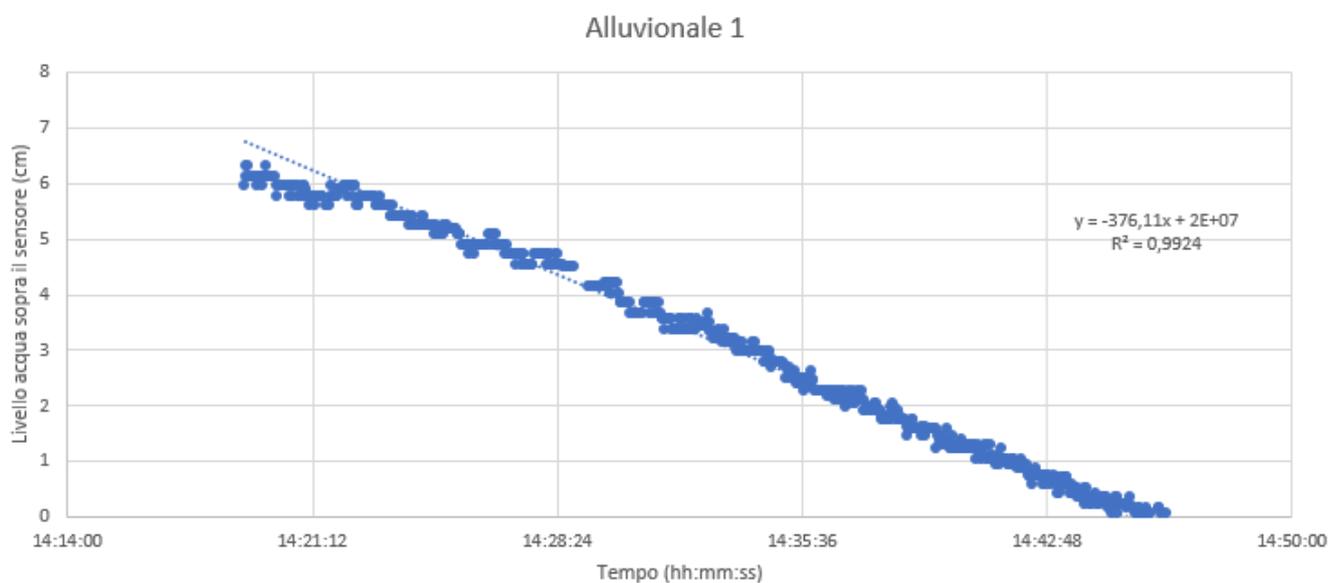


Figura 108. Prova infiltrometrica sulla Gessoso-solfifera

Nei grafici che seguono si nota l'analisi di uno dei tratti pendenti del grafico della prova totale per ogni litologia mettendo in ordinata sempre i valori del livello dell'acqua presente sopra il sensore in cm ottenuto compensando i valori rilevati dal Diver (ossia sottraendo al valore di pressione totale rilevata il valore della pressione atmosferica del posto in cui si è eseguita la prova) e in ascissa il tempo della misurazione corrispondente al momento in cui ogni punto è stato campionato.

*Giornata del 15/03/2021 (rilevamento dati ogni 2 s)*



*Figura 109. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 1)*

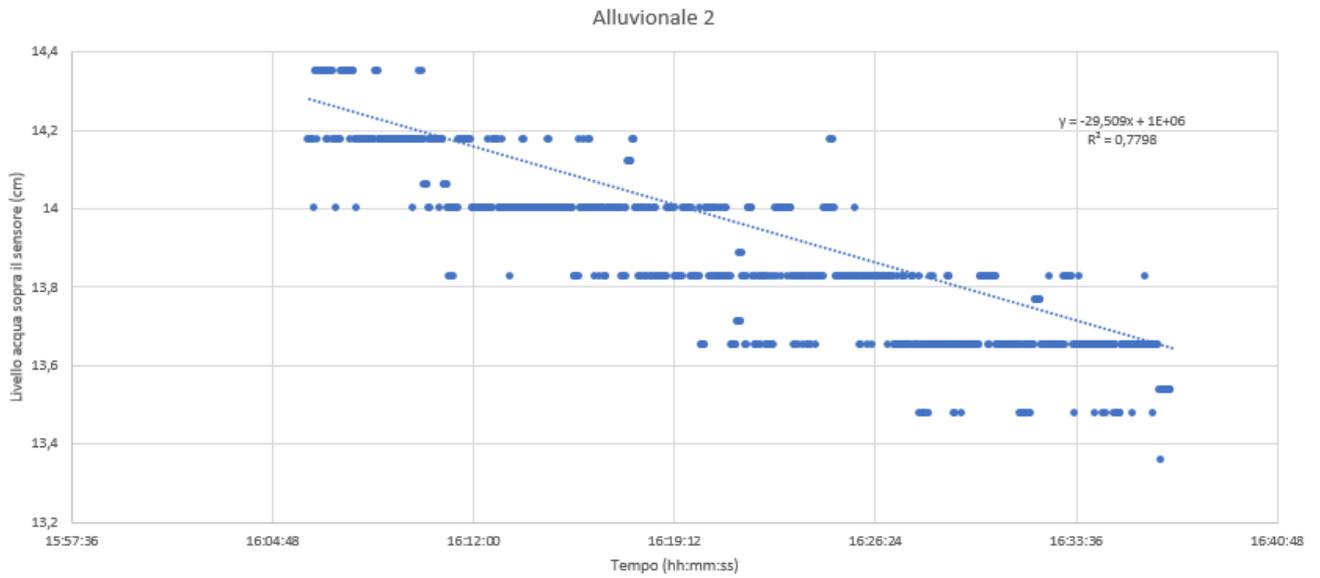


Figura 110. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 2)

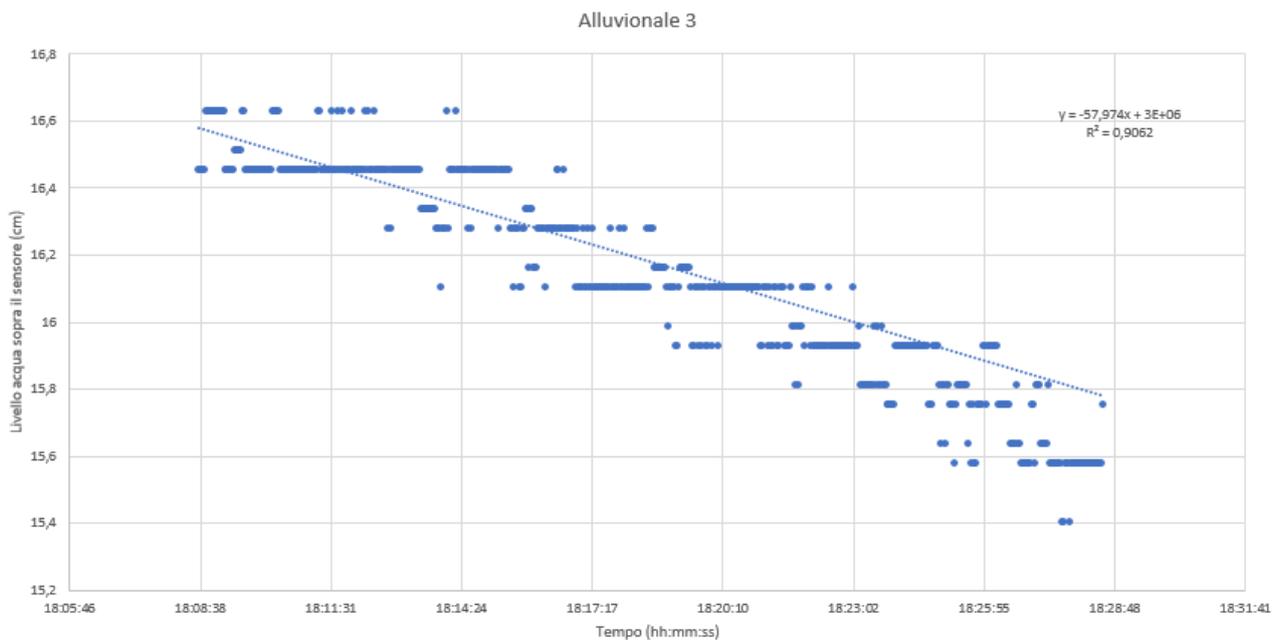


Figura 111. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 3)

Giornata del 20/03/2021 (rilevamento dati ogni 5 s)

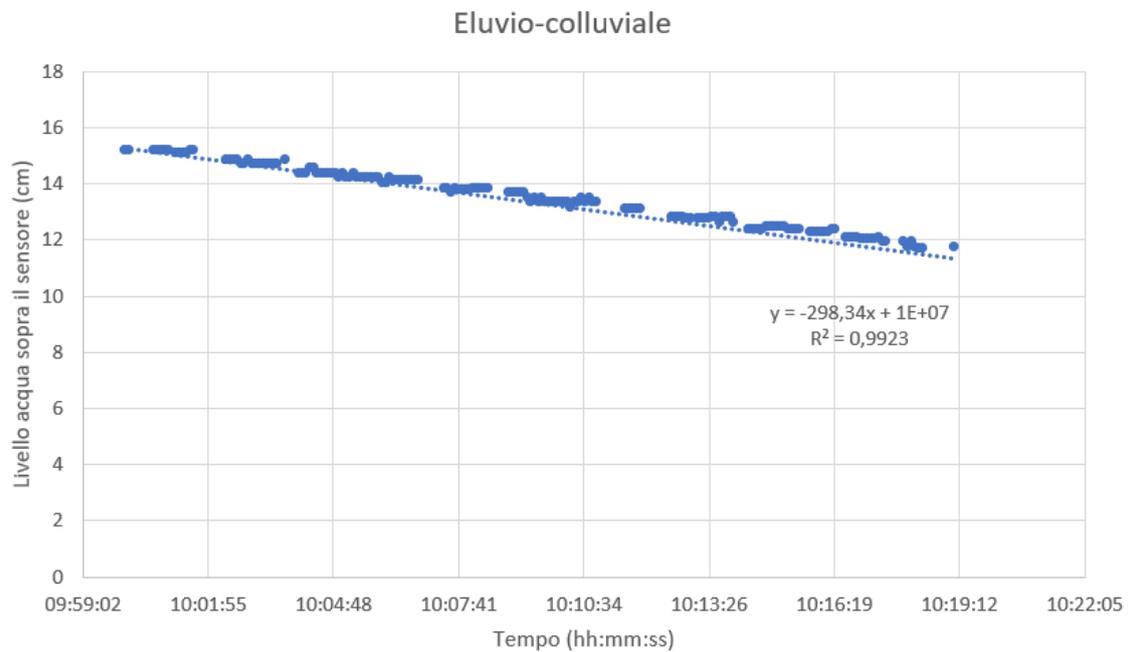


Figura 112. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Eluvio-colluviale)

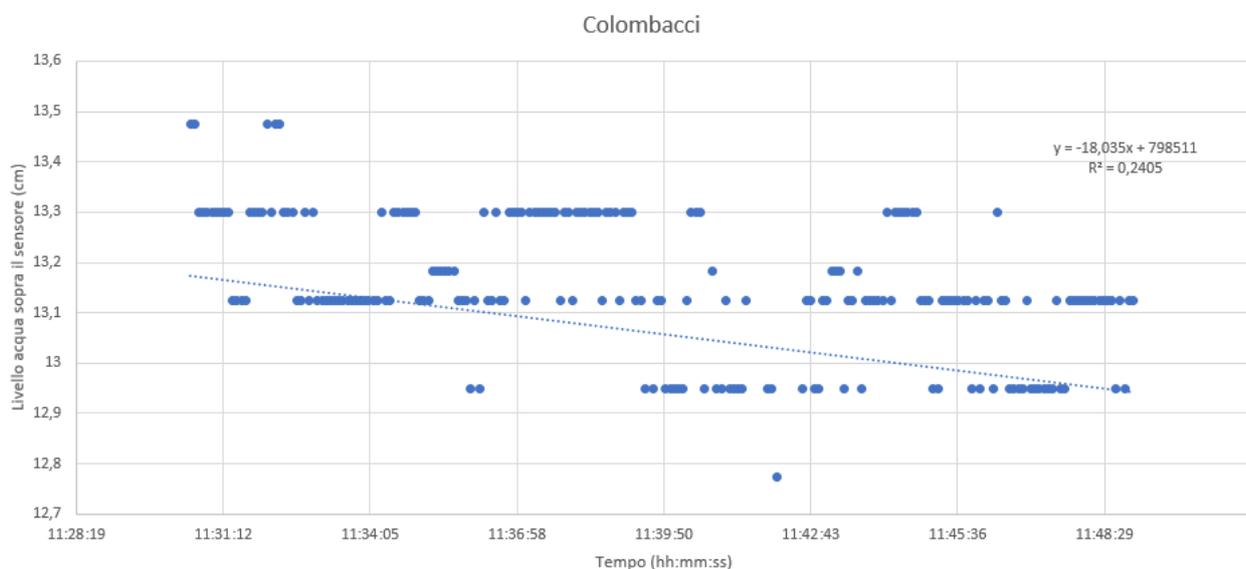


Figura 113. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Colombacci)

In questo grafico è possibile vedere come l' $R^2$  sia molto basso in quanto la retta non interpola bene tutti i punti e ciò è dovuto al fatto che questi ultimi hanno una distribuzione disomogenea, indice di una permeabilità abbastanza bassa.

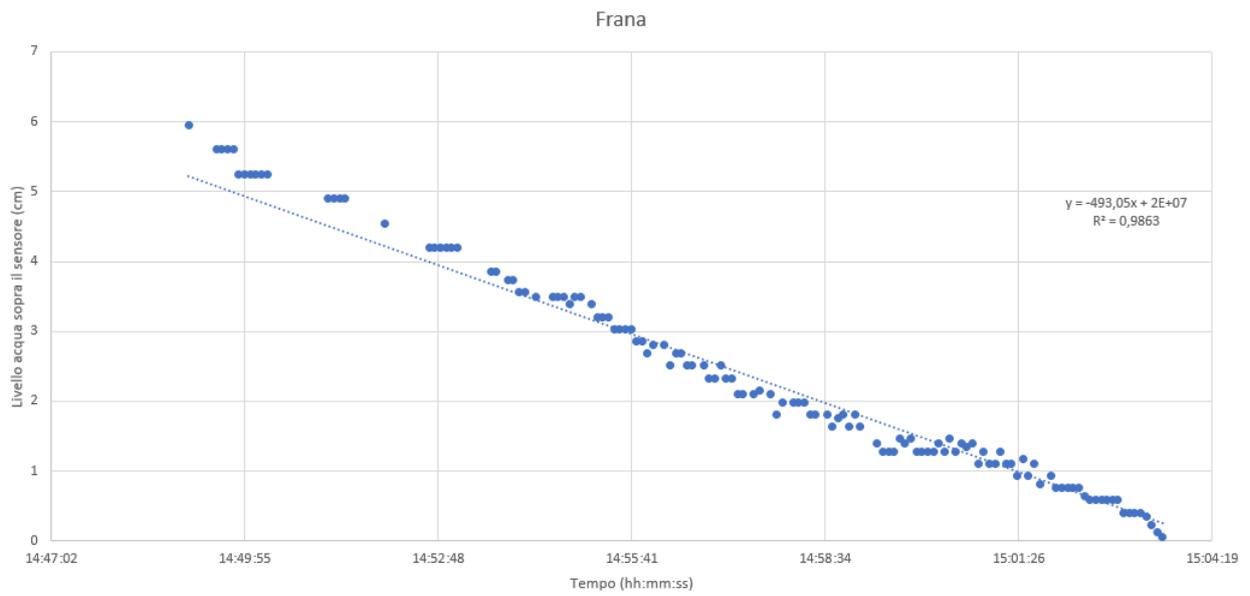


Figura 114. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Terreno in frana)

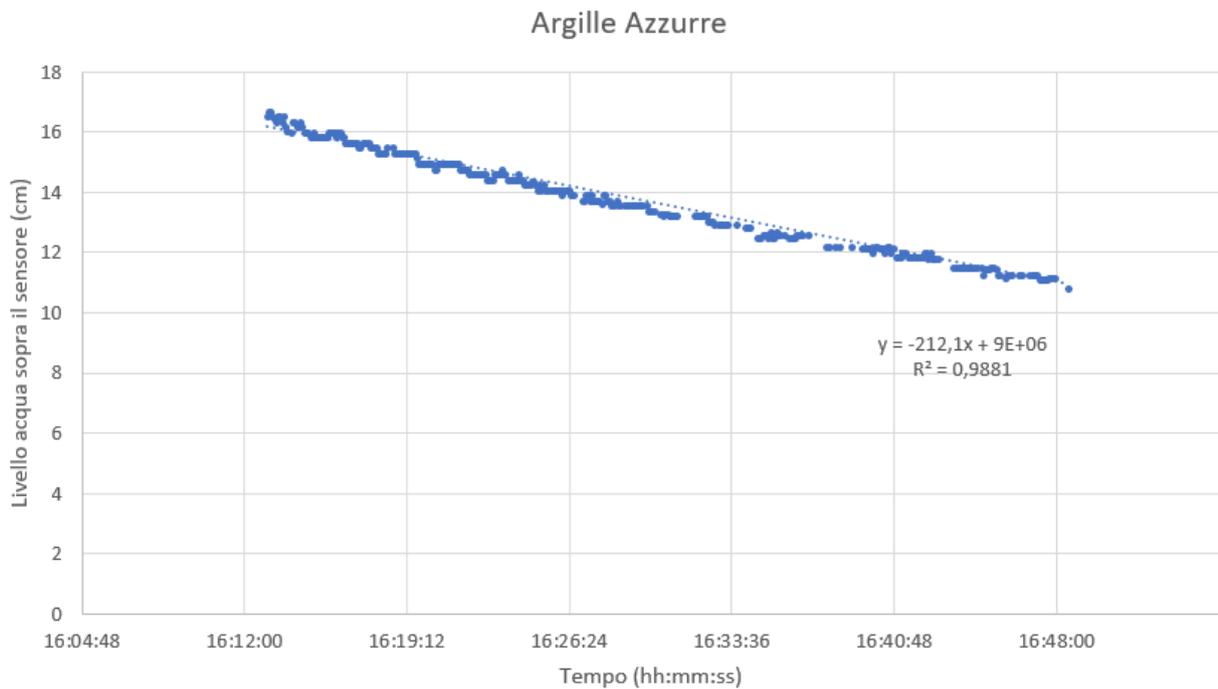


Figura 115. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Argille Azzurre)

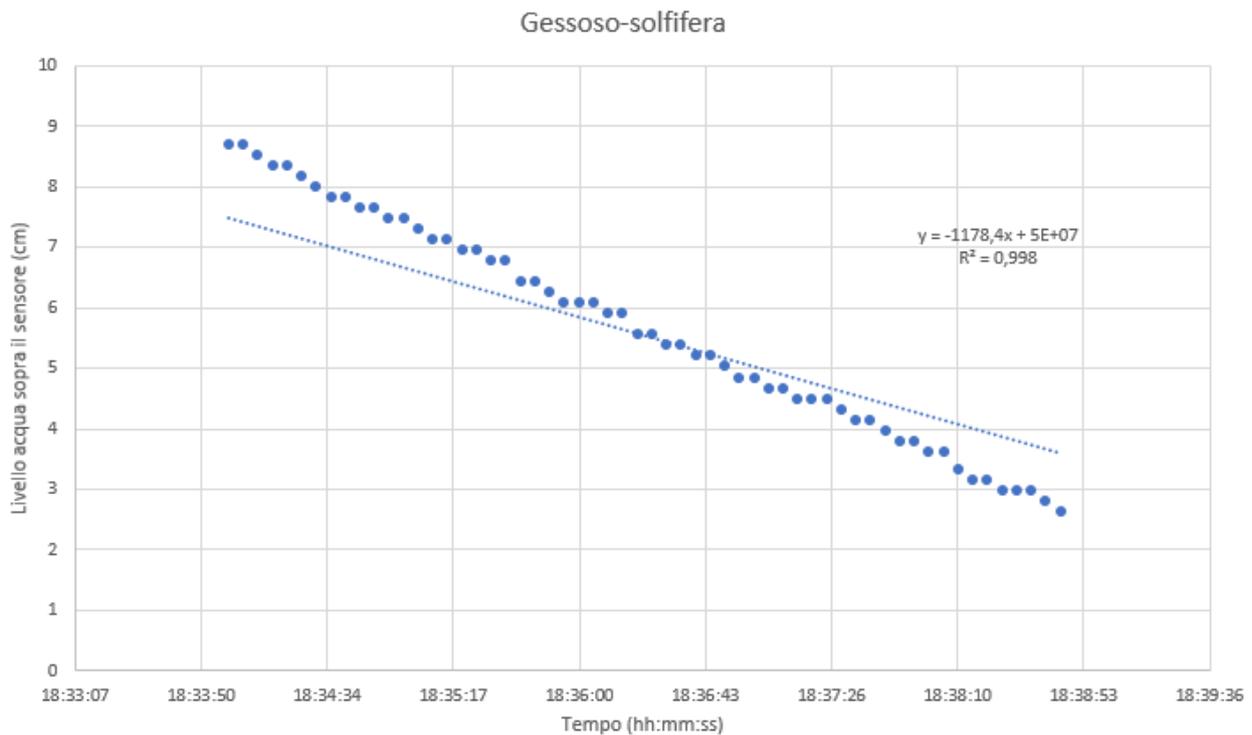


Figura 116. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Gessoso-solfifera)

Per la determinazione della permeabilità invece vanno individuati e analizzati solamente i tratti pendenti, uno per ogni prova presente nel grafico totale (*Fig. 99* e *Fig. 103*), come riportato nei grafici mostrati dalla *Fig. 109* alla *Fig. 116* con la successiva costruzione della retta che le interpola nel miglior modo possibile i punti che corrispondono alle varie misurazioni effettuate dalla sonda (con le metodologie di Excel descritte al *Paragrafo 4.2.2.3*) e determinandone la sua equazione. Da quest'ultima si ricava il coefficiente di permeabilità ( $k_{sat}$ ) individuando il dislivello della retta interpolatrice, ossia facendo la differenza tra un punto iniziale ed un punto finale in termini di altezza in cm della colonna d'acqua presente sopra il sensore quando quest'ultimo effettua le due misurazioni, per poi dividere questa grandezza trovata per i secondi che sono stati trascorsi tra il campionamento del primo punto e quello dell'ultimo punto del tratto analizzato. Ottenendo così la misura del coefficiente di permeabilità in cm/s, per poi portarlo facilmente in m/s.

Si mostra in *Tab. 2* quanto ottenuto dall'elaborazione di dati ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle uscite in campagna nel mese di marzo considerato come mese terminale della stagione delle piogge.

PUNTO	EST	NORD	PROFONDITA' (P.C.) (cm)	INFISSIONE (cm)	QUOTA (m)	k sat(m/s)	DATA	ORARIO
Alluvionale 1	380657	4828592	10	13	29	$3,7*10^{(-5)}$	15/03/2021	13:05-14:50
Alluvionale 2	381209	4828258	9	10	41	$5,5*10^{(-6)}$	15/03/2021	15:57-16:42
Alluvionale 3	381841	4827969	7	7	57	$8,5*10^{(-6)}$	15/03/2021	17:29-18:30
Eluvio-colluviale	380092	4828945	7	6	30	$3,0*10^{(-5)}$	20/03/2021	9:10-10:21
Colombacci	383378	4827516	10	6	175	$4,6*10^{(-6)}$	20/03/2021	11:07-11:49
Frana	382721	4827434	0	6	173	$7,1*10^{(-5)}$	20/03/2021	13:12-15:07
Argille azzurre	382541	4827576	5	6	136	$2,8*10^{(-5)}$	20/03/2021	15:38-16:55
Gessoso-solfifere	383483	4827764	6	8	163	$2,5*10^{(-4)}$	20/03/2021	17:38-18:39

*Tabella 2. Risultati utili per la determinazione dell'umidità del terreno nel mese di marzo*

Dalla permeabilità calcolata nel mese di marzo e riportata in *Tab. 2* per ogni litologia si evince che non ci sono grosse oscillazioni. Il terreno più permeabile è quello con un k sat più alto e corrisponde alla formazione delle Gessoso-solfifere ( $k \text{ sat} = 2,5*10^{-4} \text{ m/s}$ ) al quale corrisponde una pendenza molto elevata nei grafici sopra elencati, mentre quello meno permeabile è la formazione dei Colombacci con un  $k \text{ sat} = 4,6*10^{-6} \text{ m/s}$  più basso rispetto agli altri derivato dalla minima o nulla pendenza mostrata nel grafico della prova. In relazione a quanto scritto nel *Paragrafo 2.5* e alle definizioni date da Coltorti & Nanni (1987) è possibile fare la seguente deduzione: nel bacino analizzato sono presenti solo acquiferi perché le permeabilità individuate sono comprese tra  $10^{-1} \text{ m/s}$  e  $10^{-6} \text{ m/s}$  e non si hanno permeabilità rientranti nei range di: aquiclude o aquitard.

### 5.1.2 Risultati ottenuti nel mese di maggio

Le prove infiltrometriche e le conseguenti pesate dei provini umidi in laboratorio vanno ripetute a distanza di qualche mese dalla prima uscita in campagna in modo da ricavare ulteriori dati e porli a confronto al fine di monitorare come cambiano umidità e permeabilità del terreno in funzione delle piogge.

Le metodologie di esecuzione delle prove, di determinazione delle coordinate e delle varie profondità di scavo e di infissione sono descritte al *Paragrafo 4.2.1.2*, al *Paragrafo 4.2.2* e al *Paragrafo 4.2.3*, determinando poi l'umidità e la permeabilità con le metodologie descritte in precedenza.

### 5.1.2.1 Umidità delle varie coperture

Vengono illustrati in *Tab. 3* i provini prelevati superficialmente nei punti in cui sono state rifatte le infiltrometriche, con tutte le varie tarature e pesature (secco e umido) effettuate una volta che il campione è stato portato in laboratorio al fine di determinare il valore percentuale di umidità presente nel terreno al momento della prova.

FORMAZIONE	LORDO UMIDO	LORDO SECCO	TARA (barattolino)	TARA (vassoio)	NETTO UMIDO	NETTO SECCO	UMIDITA'
/	g	g	g	g	g	g	%
Alluvionale 1	110,00	98,60	13,88	19,14	96,12	79,46	20,97
Alluvionale 2	103,10	99,35	13,88	20,00	89,22	79,35	12,44
Alluvionale 3	103,26	97,87	13,88	19,99	89,38	77,88	14,77
Eluvio-colluviale	91,93	84,77	13,88	18,95	78,05	65,82	18,58
Colombacci	95,10	94,09	13,88	18,77	81,22	75,32	7,83
Frana	132,95	123,39	13,88	18,93	119,07	104,46	13,99
Argille Azzurre	134,13	126,42	13,88	19,31	120,25	107,11	12,27
Gessoso-solfifera	68,75	68,83	13,88	18,95	54,87	49,88	10,00

*Tabella 3. Risultati utili per la determinazione dell'umidità del terreno nel mese di maggio*

Da questa tabella si deduce che l'umidità nel mese di maggio varia da valori minimi riscontrati nella formazione dei colombacci pari a 7,83% a valori massimi di 20,97% ricavati dal terreno Alluvionale 1. Il delta massimo corrisponde ad un 13,14% e un'umidità media delle litologie presenti nel bacino pari a 13,86%.

Avendo noti i dati ottenuti nelle due campagne è possibile effettuare un confronto riferendosi anche alle informazioni ricavate dalla *Fig. 11* presente al *Paragrafo 2.2.3*. Si deduce che nel mese di marzo, il quale è stato caratterizzato dalla caduta di circa 1200 mm di pioggia il terreno in alcune formazioni presenta un tasso di umidità che è

circa il doppio di quello presente nel mese di maggio se non il triplo in alcuni casi. È invece rimasta circa costante l'umidità nelle gessoso-solfifere in quanto sono delle formazioni più permeabili delle altre che hanno quindi permesso il passaggio dell'acqua attraverso di esse senza eccessive trattenute. Dunque nel mese di maggio l'umidità presente all'interno delle litologie nelle quali sono state poi anche effettuate le infiltrometriche è con un massimo pari ad un 14,67% riscontrato nel terreno in frana. Ciò è anche dovuto al fatto che questa coltre con la sua modesta permeabilità ha permesso in minima parte l'evaporazione del suo contenuto d'acqua con l'aumento della temperatura atmosferica e poi anche favorendo il ruscellamento al suo interno verso valle e quindi verso il Torrente Miano.

#### 5.1.2.2 Permeabilità delle varie coperture

Vengono di seguito riportati i grafici delle prove infiltrometriche effettuate nel mese di maggio in data 09/05/2021 (*Fig. 117*) e in data 10/05/2021 (*Fig. 121*) con la sonda settata in laboratorio per effettuare una misurazione ogni 6 s. Per ognuno dei due grafici è possibile individuare l'andamento del livello dell'acqua in cm sopra il sensore (rappresentate nell'asse delle ordinate) in funzione del tempo (rappresentato nell'asse delle ascisse) espresso in hh:mm:ss.

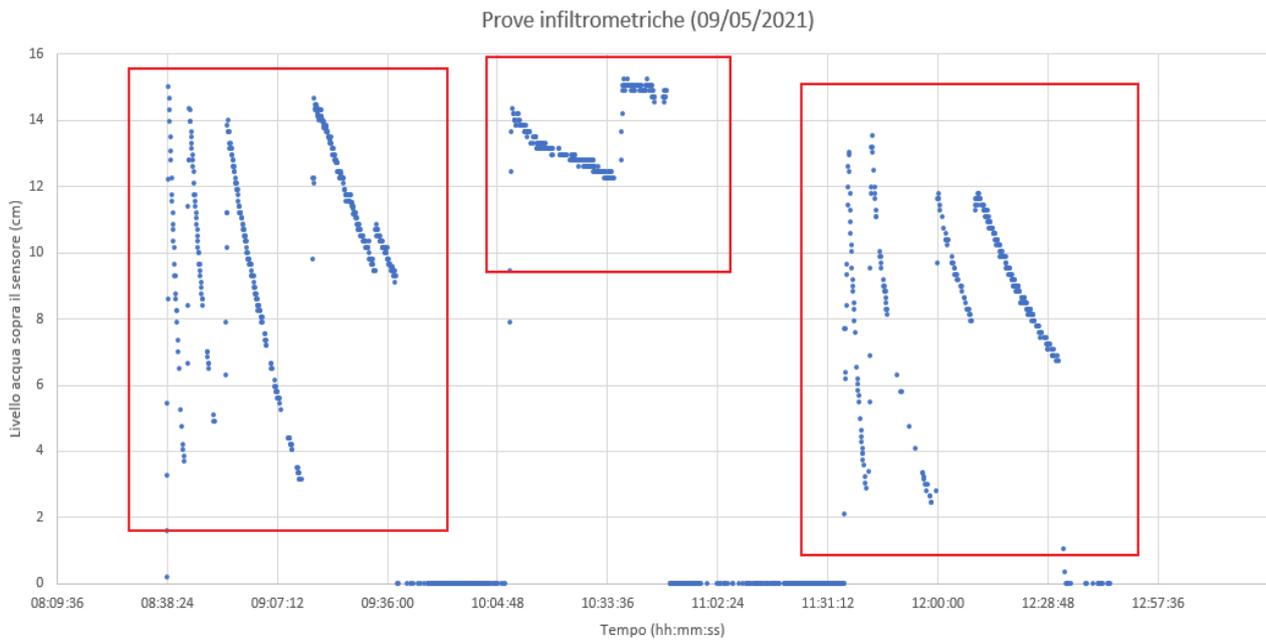


Figura 117. Grafico prove infiltrometriche nel mese di maggio (09/05/2021)

Nella Fig. 117 si possono notare le infiltrometriche fatte nei tre tipi di terreno alluvionali all'interno dei riquadri rossi. Partendo da sinistra con il primo riquadro (in Fig. 118) viene individuato l'andamento della pressione in funzione del tempo per il terreno Alluvionale 2 e si nota come la pendenza dei tratti discendenti è notevolmente cambiata rispetto alle prove di marzo, il che determina un aumento della permeabilità di circa un ordine di grandezza.

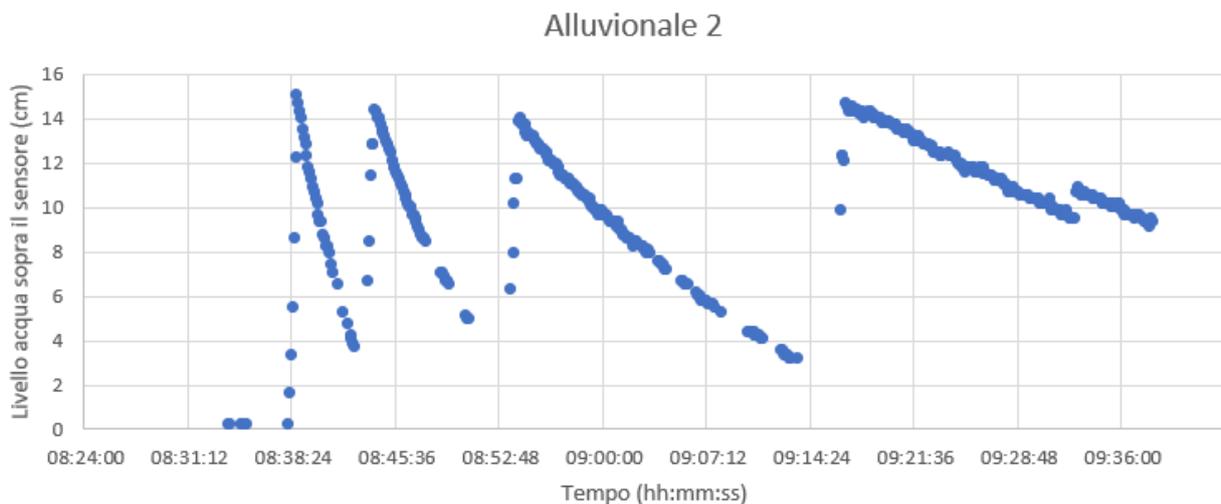
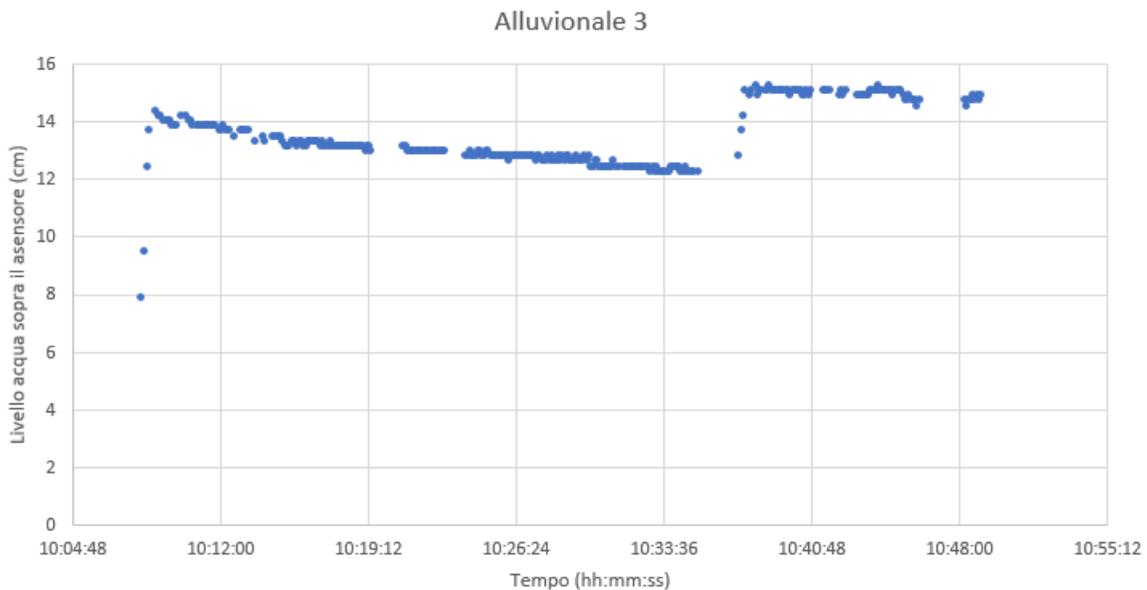


Figura 118. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 2

Nel secondo riquadro (*Fig. 119*) invece è evidenziata la prova effettuata sull'Alluvionale 3 che rispecchia l'andamento del livello nell'infiltrometro a doppio anello riscontrato anche nel mese di marzo con i tratti debolmente pendenti in quanto la permeabilità non ha subito grosse variazioni.



*Figura 119. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 3*

Nell'ultimo riquadro (*Fig. 120*), infine, si rappresenta l'andamento dell'infiltrometrica effettuata nell'Alluvionale 1 che anche questa è conforme all'andamento ottenuto nel mese di marzo con una permeabilità che rimane costante.

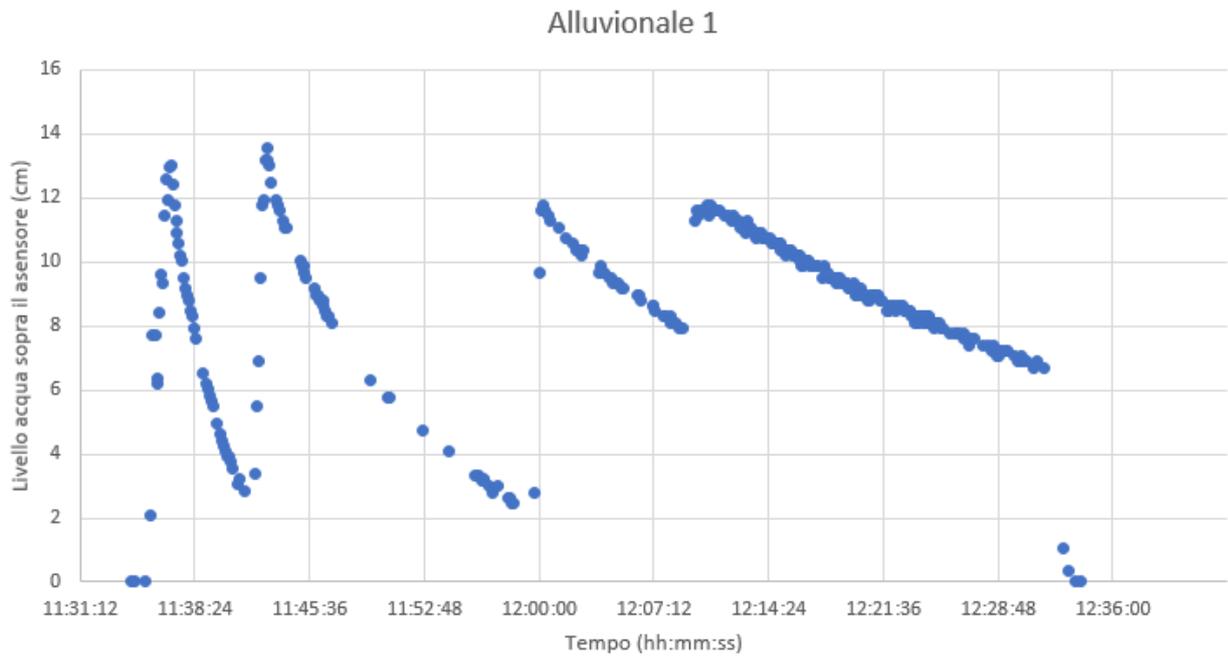


Figura 120. Prova infiltrometrica sull'Alluvionale 1

In Fig. 121 invece, si mettono in evidenza tramite i riquadri le infiltrometriche effettuate nella seconda uscita in campagna del mese di maggio.

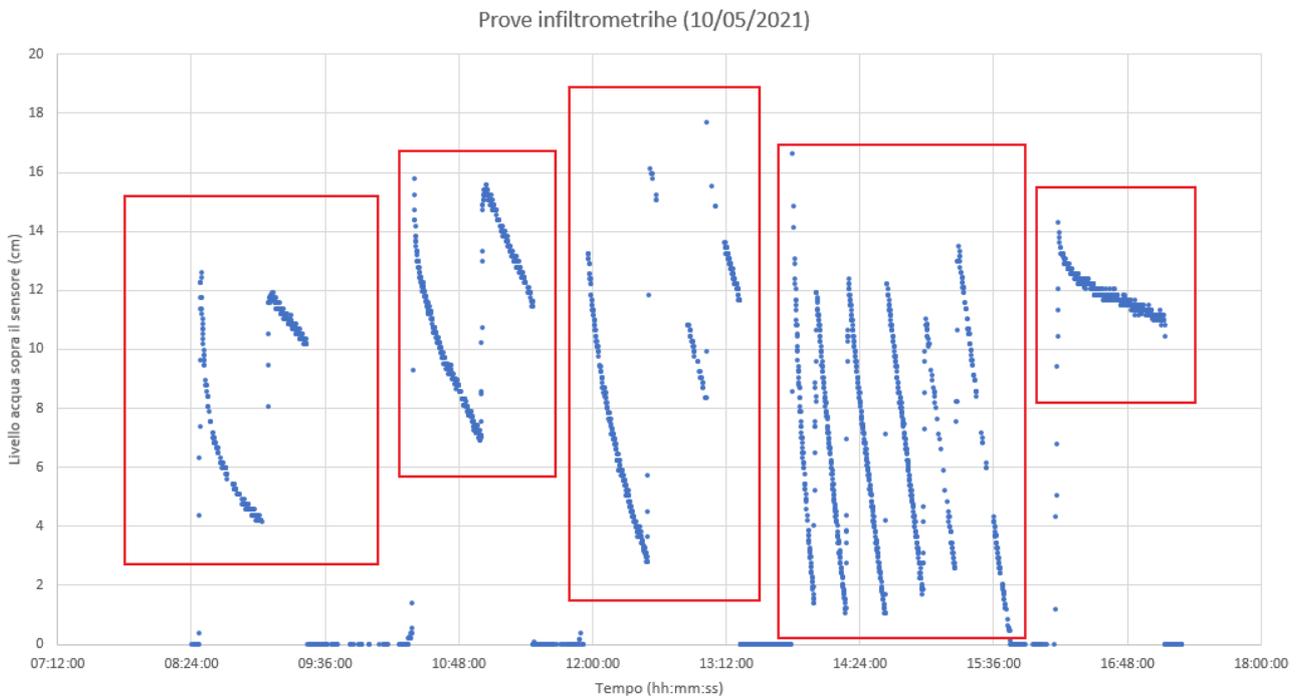
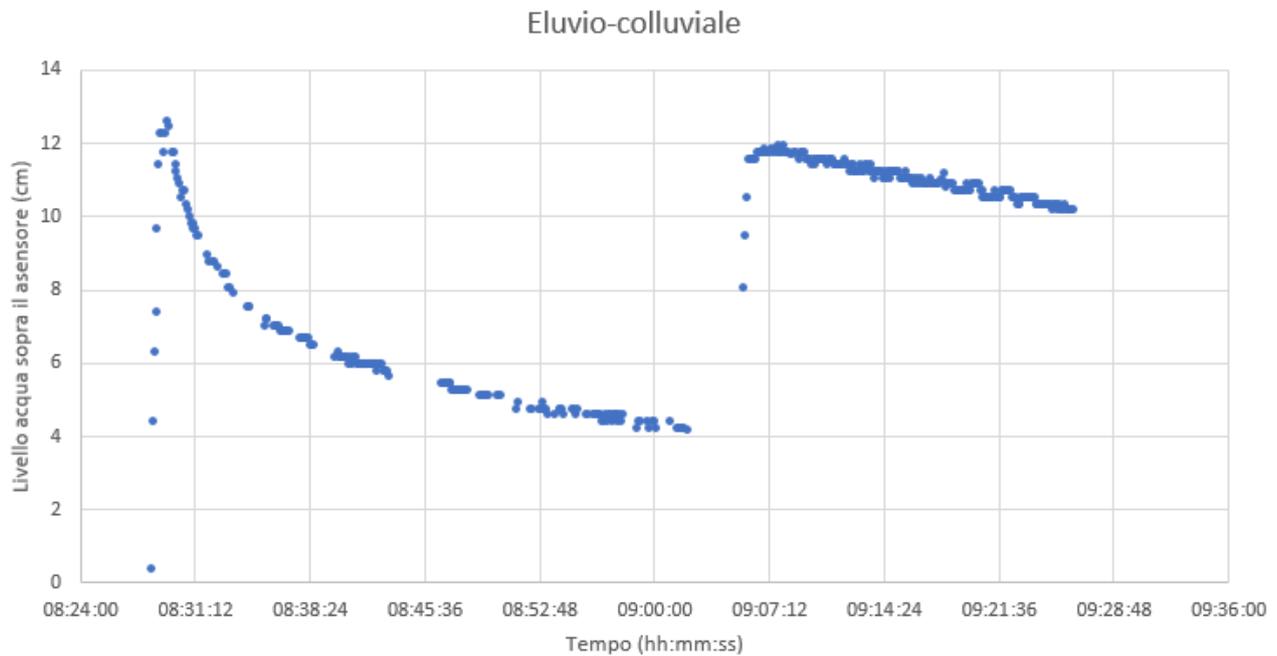


Figura 121. Grafico prove infiltrometriche nel mese di maggio (10/05/2021)

Nel primo riquadro (*Fig. 122*) si ha l'andamento del livello nel tempo per la prova infiltrometrica fatta sull'Eluvio-colluviale, si possono riscontrare similitudini con l'andamento del mese di marzo per questa formazione in quanto la permeabilità del terreno non è cambiata di molto e i tratti discendenti sono rimasti con la stessa pendenza.



*Figura 122. Prova infiltrometrica sull'Eluvio-colluviale*

Nel secondo riquadro (*Fig. 123*) si individua l'infiltrometrica fatta sulle Gessoso-solfifere, notando questa volta una sola ricarica rispetto a quelle di marzo perché la permeabilità è diminuita di un ordine di grandezza nel giro di due mesi.

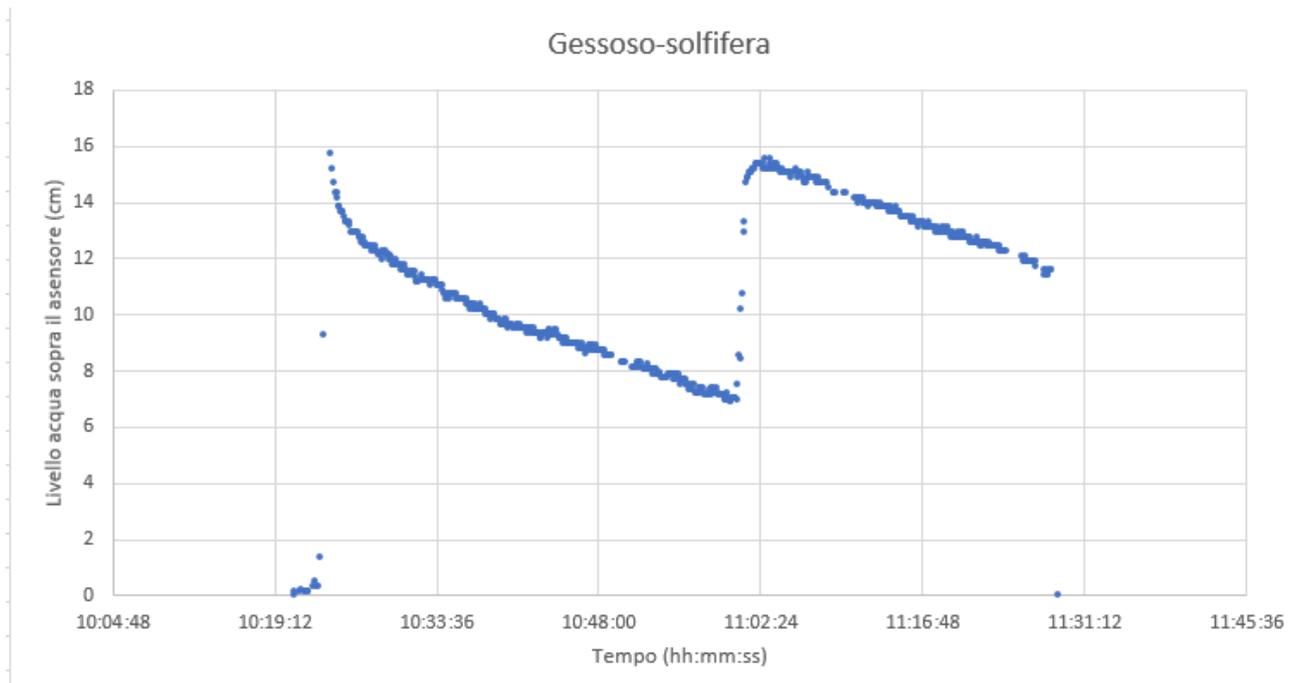


Figura 123. Prova infiltrometrica sulla gessoso-solfifera

Nel terzo riquadro (Fig. 124) si mette in evidenza la prova effettuata sulla formazione delle Argille Azzurre che non rappresenta grosse disuguaglianze con gli andamenti della stessa litologia ricavati nel mese di marzo, infatti si può notare che il coefficiente di permeabilità non è variato di molto.

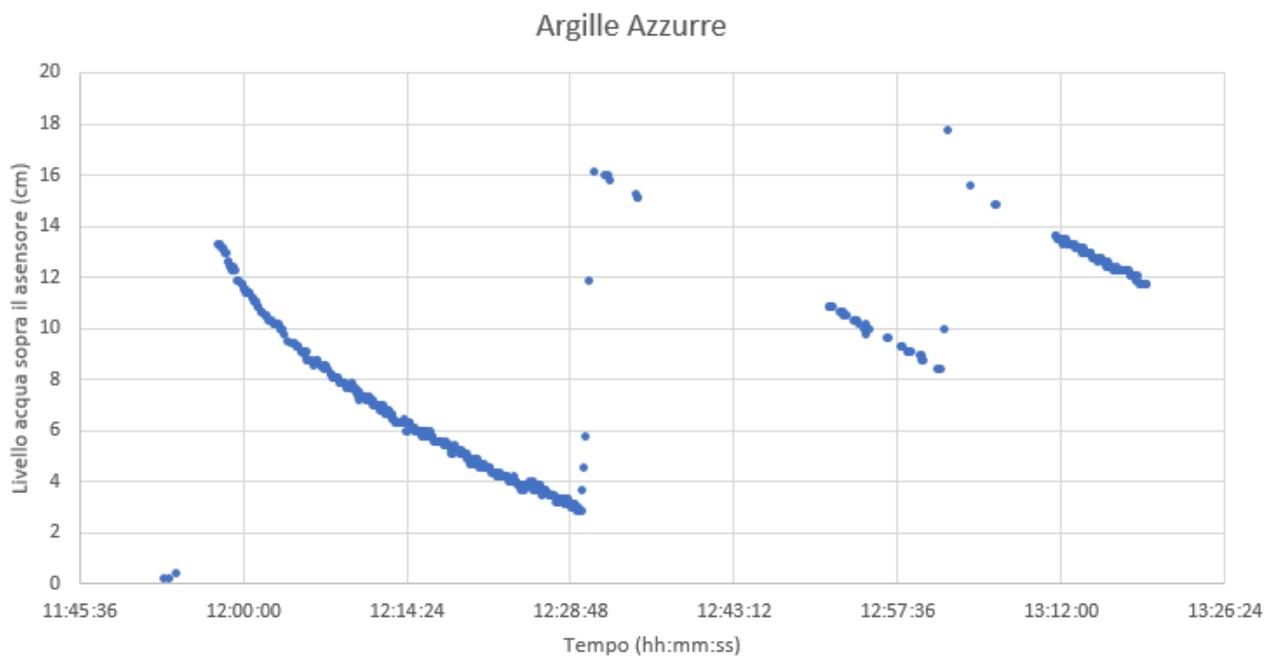
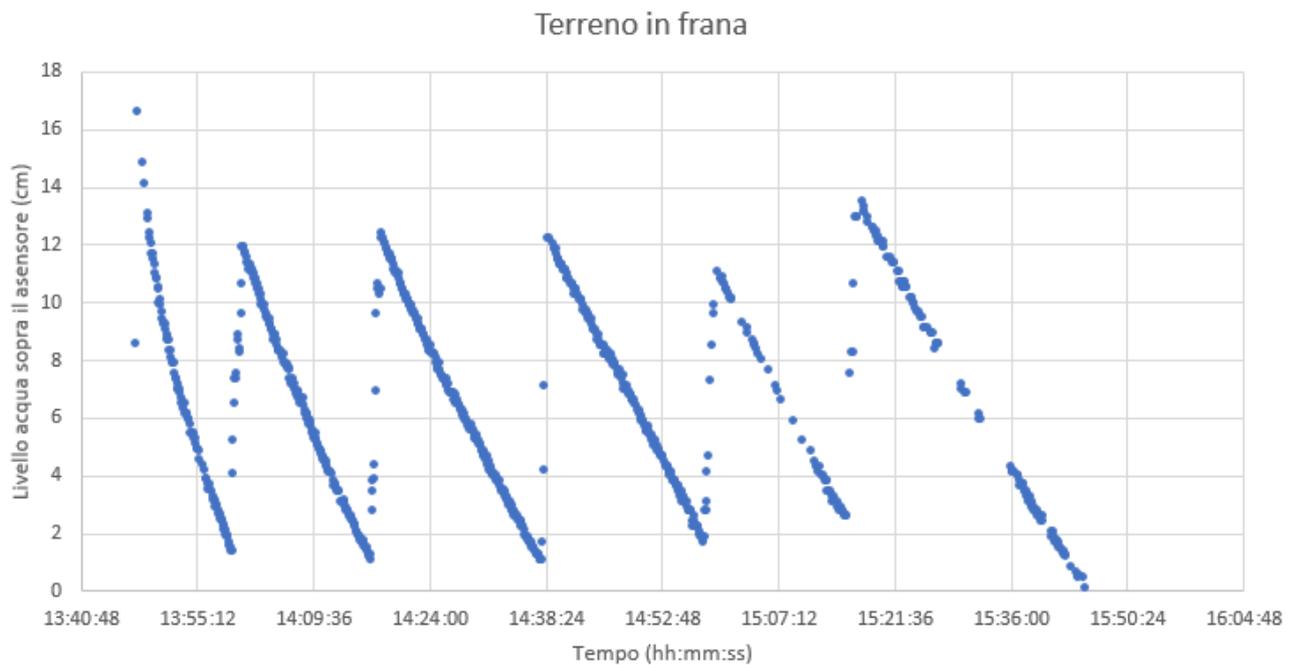


Figura 124. Prova infiltrometrica sulle Argille Azzurre

Nel quarto riquadro rosso (*Fig. 125*) si analizza l'andamento della prova effettuata sul terreno in frana, qui si può notare che con il passare del tempo i tratti pendenti e le ricariche sono in numero maggiore rispetto al mese di marzo e quindi la permeabilità è aumentata nell'arco di tempo analizzato il che potrebbe essere un problema per il livello della falda sottostante descritta nei paragrafi successivi.



*Figura 125. Prova infiltrometrica sul terreno in frana*

Nel quinto ed ultimo riquadro (*Fig. 126*) invece è possibile notare l'andamento della prova infiltrometrica fatta sulla formazione dei Colombacci. Anche qui si nota che rispetto al mese di marzo l'andamento del tratto discendente è rimasto piuttosto costante così come la permeabilità, infatti questa litologia, dalle caratteristiche elencate in precedenza nei paragrafi dedicati è la più impermeabile del bacino.



Giornata del 09/05/2021 (rilevamento dati ogni 6 s)

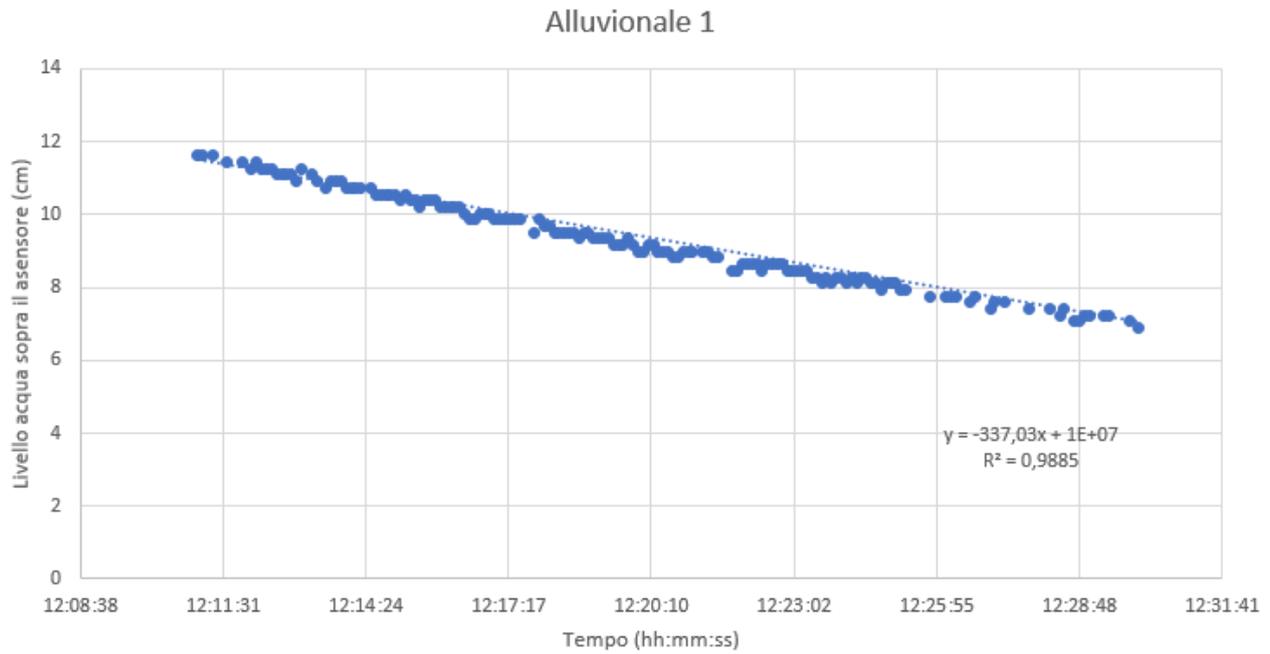


Figura 127. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 1)

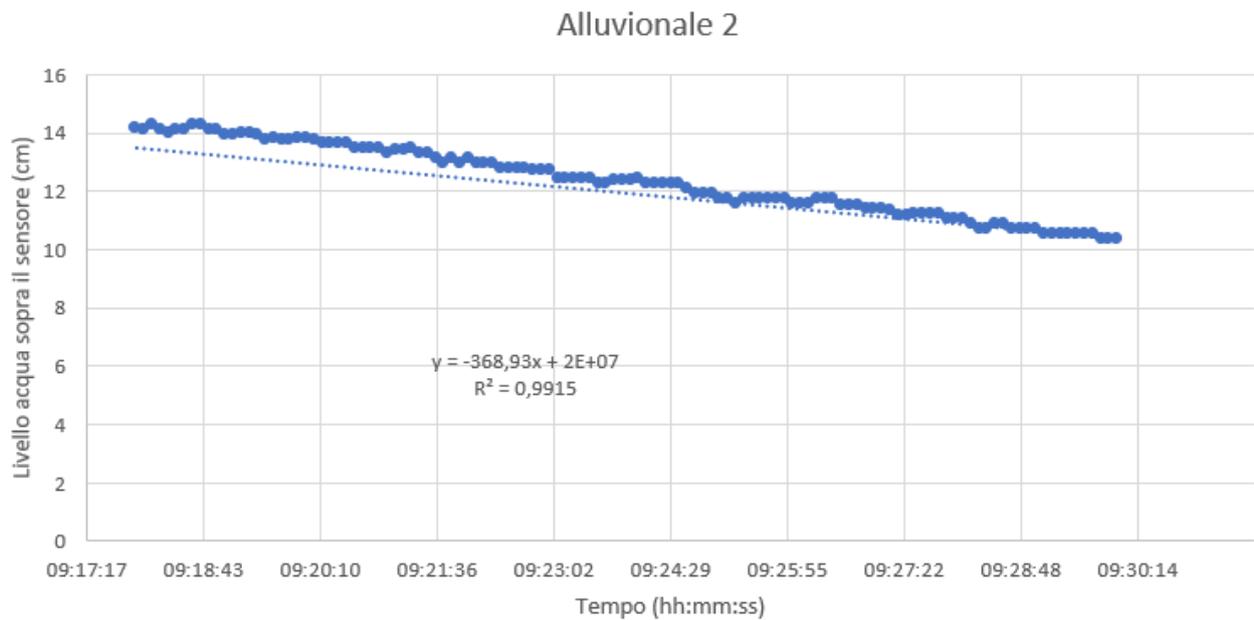


Figura 128. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 2)

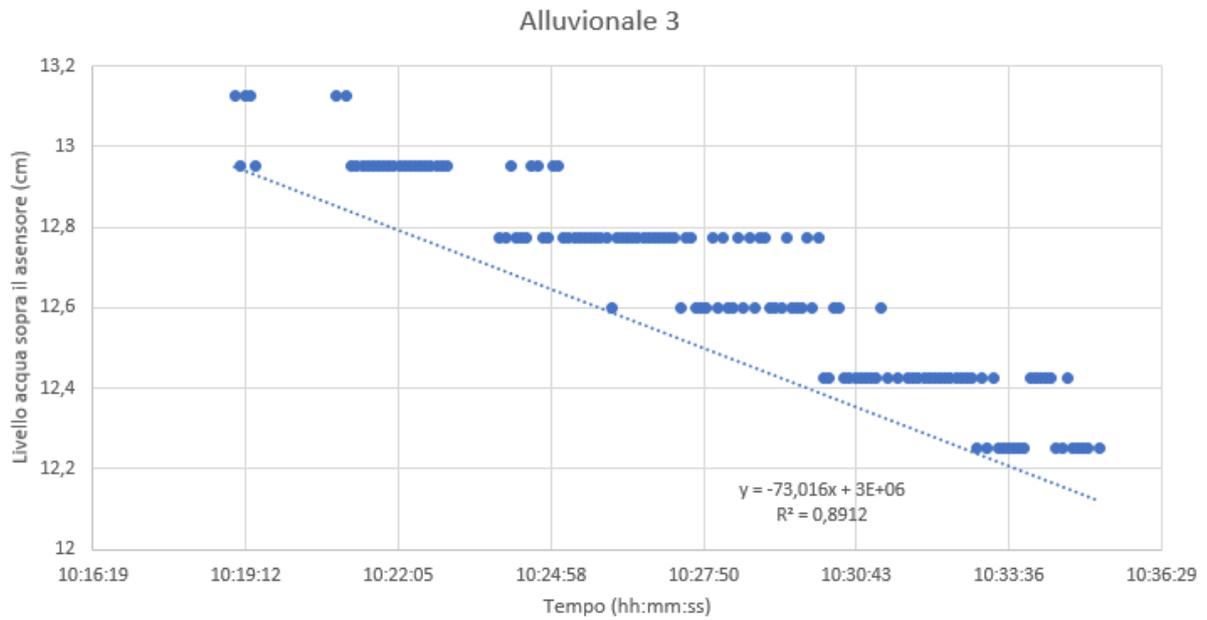


Figura 129. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Alluvionale 3)

Giornata del 10/05/2021 (rilevamento dati ogni 6 s)

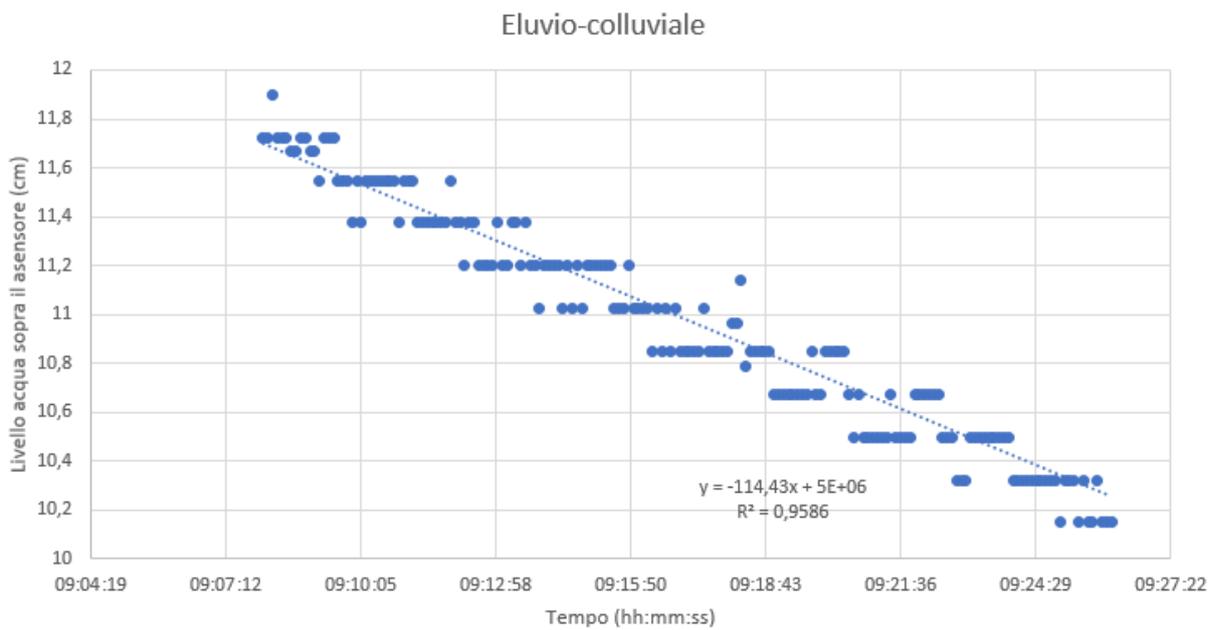


Figura 130. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Eluvio-colluviale)

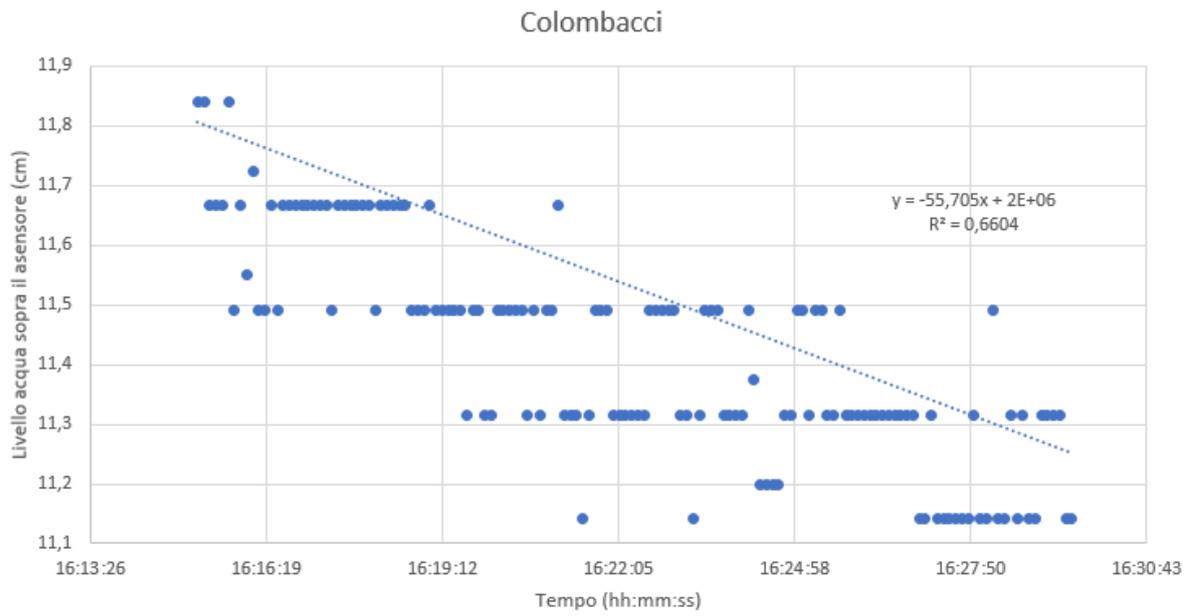


Figura 131. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Colombacci)

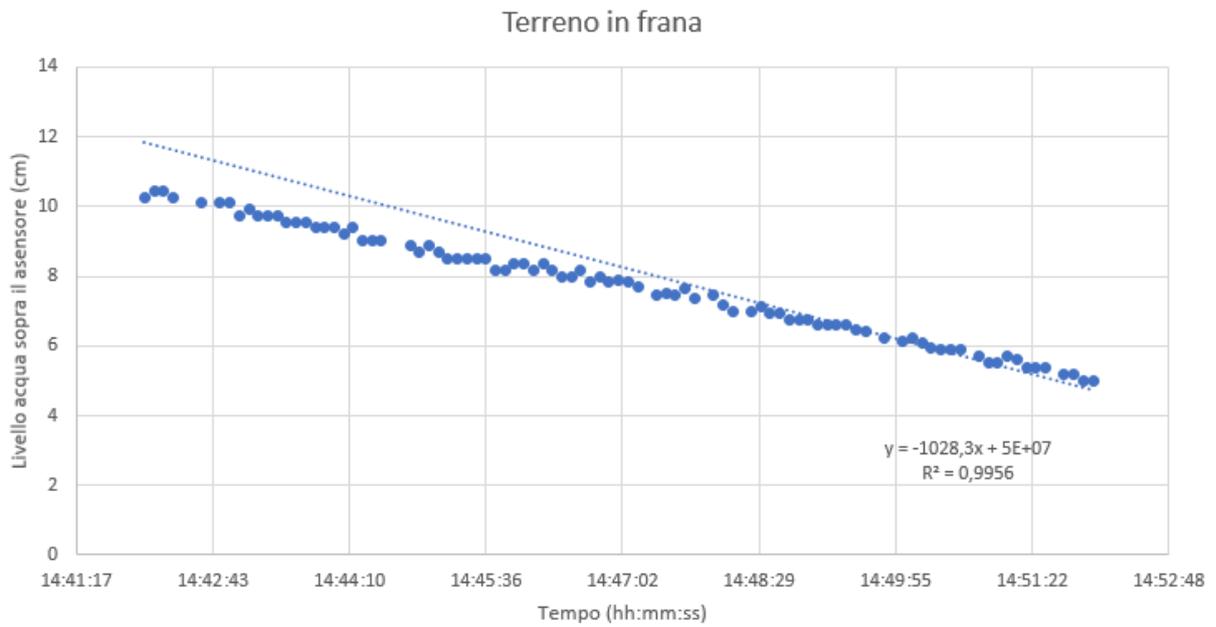


Figura 132. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Terreno in frana)

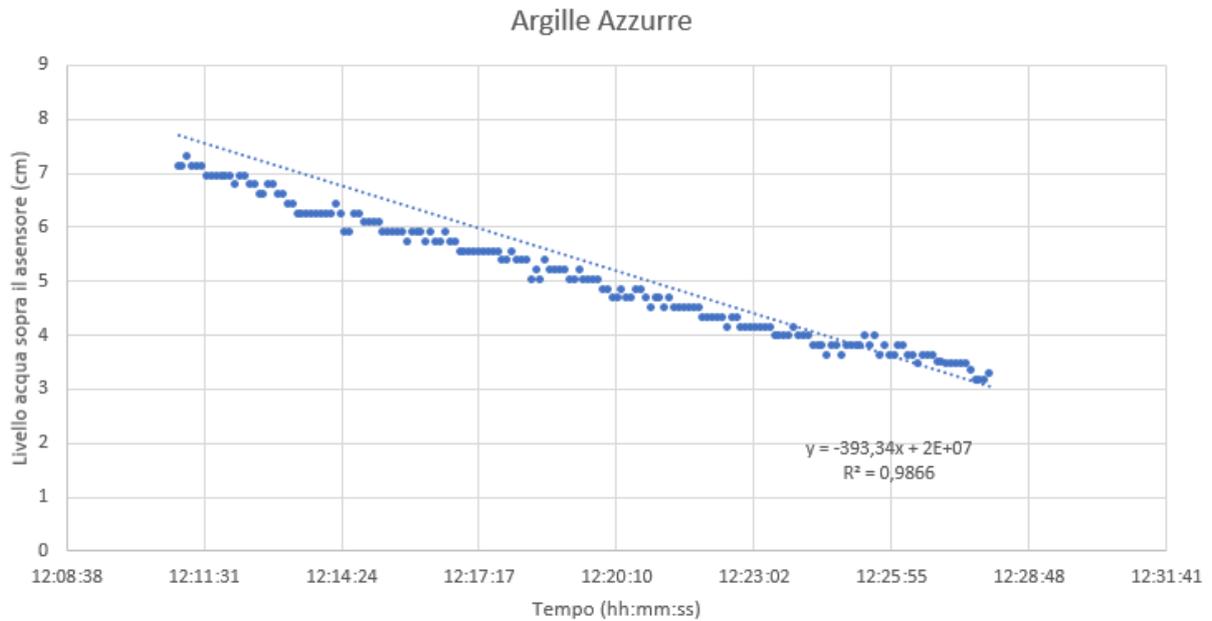


Figura 133. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Argille azzurre)

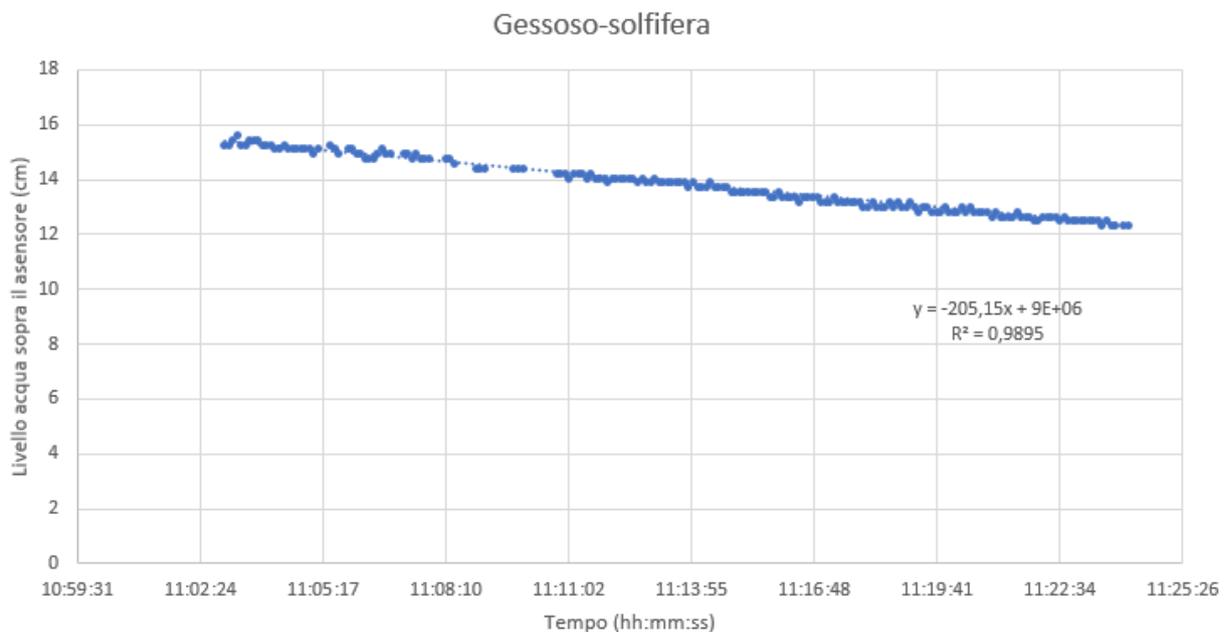


Figura 134. Rappresentazione retta interpolatrice tratto pendente (Gessoso-solfifera)

Come descritto al *Paragrafo 5.1.1* e dall'analisi dei grafici sopraelencati viene illustrato in *Tab. 4* quanto ottenuto dall'elaborazione di dati ottenuti dalle prove di laboratorio e dalle uscite in campagna nel mese di maggio considerato come mese iniziale della stagione estiva e quindi uno dei meno piovosi.

PUNTO	EST	NORD	PROFONDITA' (P.C.) (cm)	INFISSIONE (cm)	QUOTA (m)	k sat(m/s)	ORARIO	DATA
Alluvionale 1	380657	4828592	10	10	29	$4,1 \cdot 10^{-5}$	11:35-12:30	09/05/2021
Alluvionale 2	381209	4828258	9	6	41	$5,4 \cdot 10^{-5}$	08:35-09:35	09/05/2021
Alluvionale 3	381841	4827969	7	6	57	$9,4 \cdot 10^{-6}$	10:07-10:50	09/05/2021
Eluvio-colluviale	380092	4828945	7	7	30	$1,7 \cdot 10^{-5}$	08:27-09:27	10/05/2021
Colombacci	383378	4827516	10	8	175	$8,3 \cdot 10^{-6}$	16:09-17:08	10/05/2021
Frana	382721	4827434	10	8	173	$9,0 \cdot 10^{-5}$	13:47-15:45	10/05/2021
Argille azzurre	382541	4827576	5	7	136	$4,5 \cdot 10^{-5}$	11:54-13:20	10/05/2021
Gessoso-solfifere	383483	4827764	6	6	163	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10:23-11:28	10/05/2021

Tabella 4. Individuazione della permeabilità delle varie litologie ottenuta nel mese di maggio

Dalla Tab. 4 si evince come il terreno più permeabile diventa quello in frana (con un  $k_{sat} = 9,0 \cdot 10^{-5}$  m/s), il che è dovuto soprattutto alle piogge dei mesi precedenti all'indagine di maggio che probabilmente hanno causato dei minimi movimenti influenzando anche la porosità del terreno. Il meno impermeabile invece rimane sempre la formazione dei colombacci con un  $k_{sat}$  pari a  $8,3 \cdot 10^{-6}$  m/s. Rispetto al mese di marzo le variazioni rilevanti registrate nel mese di maggio rispetto al mese di marzo riguardano le seguenti litologie: l'Alluvionale 2 presenta una permeabilità maggiore e pari a  $5,4 \cdot 10^{-5}$  m/s nei confronti del  $k_{sat} = 5,5 \cdot 10^{-6}$  m/s calcolata nel mese di marzo e nella formazione Gessoso-solfifera dove la permeabilità subisce una diminuzione di un ordine di grandezza dai  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s registrati nel mese di marzo ai  $2,3 \cdot 10^{-5}$  m/s individuati nel mese di maggio. Queste variazioni sono anche dovute, oltre che al regime pluviometrico del bacino, alla granulometria molto variabile dei terreni che compongono queste formazioni

## 5.2 Digitalizzazione dei sondaggi geognostici

Si digitalizzano i sondaggi presenti nel censimento dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano di Sciarra, Alessandroni e Boccarossa riportando i risultati nell'*Allegato [A]*. Vengono riportati tutti i sondaggi descritti nel censimento ma ricadenti all'interno del bacino del Torrente Miano. Da questi si nota come è costituito il suolo al di sotto del terreno di copertura e dell'individuazione del livello della falda. Inoltre è possibile anche vedere che la maggior parte dei sondaggi è

situata in zone edificabili per garantire la conoscenza del terreno sottostante e al fine di effettuare una corretta costruzione di centri abitati, per una descrizione più accurata si rimanda al lavoro svolto nella tesi di laurea “Caratterizzazione geomeccanica delle coperture e proprietà geologiche dei terreni in zona Ancona” (Crocetti, 2021).

### 5.3 Livello della falda

Dopo la digitalizzazione effettuata con le modalità descritte nel *Paragrafo 4.2.3.1* è possibile individuare la profondità della falda secondo i sondaggi geognostici effettuati da Sciarra, descritti accuratamente nel suo censimento e dopo la loro digitalizzazione vengono estrapolati solamente quelli con l’individuazione della linea azzurra che sta ad indicare il livello della falda riscontrato all’interno di ogni sondaggio effettuato ottenendo la *Tab. 5*.

RECORD	CODICE	PROFONDITA' FALDA DAL P.C.	COORD. EST	COORD. NORD	QUOTA s.l.m.m	QUOTA FALDA s.l.m.m.
n.	/	m			m	m
17	2,3d,1	6,00	381745	4829046	154,0	148,0
20	2,4d,3	5,50	381696	4828997	150,0	144,5
135	2,5c,20	8,00	380900	4827415	92,0	84,0
137	2,5c,22	5,50	380825	4827636	78,0	72,5
138	2,5c,23	5,30	380791	4827660	78,0	72,7
139	2,5c,24	4,00	380724	4827676	80,0	76,0
140	2,5c,25	4,50	380745	4827709	80,0	75,5
141	2,5c,26	3,00	380793	4827693	79,0	76,0
142	2,5c,27	4,70	380838	4827677	78,0	73,3
170	2,4b,10	3,00	379890	4828666	29,0	26,0
171	2,4b,11	5,00	379862	4828677	30,0	25,0
172	2,4b,12	5,50	379866	4828656	29,0	23,5
265	2,5c,30	8,80	380646	4827929	107,0	98,2
269	2,3b,8	2,00	380100	4829065	15,0	13,0
326	2,3a,22	1,00	378234	4829672	2,0	1,0
327	2,3a,23	1,00	378642	4829196	14,0	13,0
336	2,4b7	5,00	379545	4828131	22,0	17,0
338	2,5c,32	3,00	380322	4827421	105,0	102,0
352	2,3a,18	2,50	378916	4829826	2,0	-0,5
353	2,3a,19	2,00	378949	4829848	2,0	0,0
354	2,3a,20	2,00	378976	4829876	2,0	0,0
355	2,3a,21	3,00	378864	4829855	2,0	-1,0
374	2,3a,17	3,00	378609	4829731	2,0	-1,0
466	2,5c,12	4,00	380901	4827870	100,0	96,0
474	2,4c,8	4,00	381006	4827980	100,0	96,0
528	2,5c,1	6,20	381212	4827360	70,0	63,8
531	2,5c,4	4,80	381011	4827702	83,0	78,2
535	2,4c,3	7,00	380845	4828476	35,0	28,0
536	2,4c,4	6,80	380666	4828598	28,0	21,2
539	2,4c,6	7,50	280405	4828809	24,0	16,5
544	2,3a,3	6,00	378446	4829146	6,0	0,0
547	2,3a,1	8,20	377586	4829210	6,0	-2,2
553	2,3a,2	8,20	378203	4829813	2,0	-6,2
554	2,3a,5	21,40	378681	4829053	67,0	45,6
558	2,3a,6	11,50	378644	4829184	15,0	3,5
559	2,3a,7	3,00	378569	4829243	3,0	0,0

Tabella 5. Vengono mostrati tutti i livelli di falda dei sondaggi presenti nel censimento

Le coordinate, la quota e l'altezza della falda sono dati utilizzati per essere inseriti su GIS in modo da redigere la carta isopiezometrica che individua l'andamento della falda ricavato dai sondaggi geognostici risalenti agli anni passati, quest'operazione non è stata possibile perché purtroppo i sondaggi digitalizzati non ricadevano nell'area di interesse per redigere una corretta carta isopiezometrica e per poter individuare quali falde avrebbero potuto alimentare il torrente.

La redazione della carta isopiezometrica aggiornata con le misure ricavate ultimamente dalle varie campagne effettuate in questo monitoraggio invece, è possibile effettuarla inserendo i dati ottenuti dalle indagini sui pozzi sia nel mese di marzo (*Tab. 6*) che nel mese di maggio (*Tab. 7*) e vedendo come variano le isopiezometriche in funzione dei regimi pluviometrici della zona come mostrato in *Fig. 135* e ben visibile nell'*Allegato [B]*.

NUMERO	COORDINATE (UTM)		QUOTA	QUOTA DEL PELO LIBERO s.l.m.m.
	N	E	m	m
1	4828308	381259	43,0	39,00
2	4828226	381329	44,0	42,00
3	4827956	382141	69,0	67,00
4	4827972	382166	71,0	68,90
5	4827901	382377	79,0	77,00
6	4827865	382745	99,0	97,90
7	4828681	380640	28,0	26,00
8	4827614	383324	152,0	150,10
9	4827705	383222	140,0	132,50
10	4827832	383014	126,0	124,00

*Tabella 6. Si mostrano le coordinate, la quota, e la quota del pelo libero s.l.m.m. (determinati nel mese di marzo) per poi poterli inserire su GIS*

NUMERO	COORDINATE (UTM)		QUOTA	QUOTA DEL PELO LIBERO (s.l.m.m.)
	N	E	m	m
1	4828308	381259	43,0	38,50
2	4828048	381661	44,0	41,70
3	4827956	382141	69,0	66,50
4	4827972	382166	71,0	68,50
5	4827901	382377	79,0	75,10
6	4827865	382745	99,0	98,00
7	4828681	380640	28,0	24,80
8	4827614	383324	152,0	150,20
9	4827705	383222	140,0	129,40
10	4827832	383014	126,0	124,50

Tabella 7. Si mostrano le coordinate, la quota, e la quota del pelo libero s.l.m.m. (determinati nel mese di maggio) per poi poterli inserire su GIS

Già da queste due tabelle sopraelencate si nota che il livello dell'acqua all'interno di alcuni pozzi e quindi anche della falda sotterranea subisce un abbassamento seppur di lieve entità mentre in altri si alza. In funzione del collocamento dei pozzi e anche della litologia nella quale sono situati queste differenze di quota tra i peli liberi dell'acqua all'interno degli stessi sono dimostrate e raffigurate nella carta mostrata successivamente in *Fig. 135*. Da qui si può evincere la direzione del flusso sotterraneo che in funzione delle quote delle linee isopiezometriche nella parte sommitale del bacino è rivolto completamente verso Ovest, con una diminuzione del livello di falda nei mesi estivi rispetto a quelli invernali. Invece nella parte finale del tratto di bacino analizzato si può notare come il livello della falda nei mesi estivi è salito rispetto a quello dei mesi invernali. Ciò è dovuto anche alla permeabilità della litologia presente a sua volta funzione della granulometria. L'Alluvionale 3 essendo il meno permeabile tra gli alluvionali analizzati e trovandosi principalmente in prossimità della sorgente del Torrente Miano, ha evitato che l'acqua si infiltrasse eccessivamente su di esso e quindi il livello dell'acqua nei pozzi invece che alzarsi subisce degli abbassamenti in estate. Il contrario si riscontra nella parte terminale del tratto analizzato ossia nella bassa pianura alluvionale in cui l'acqua caduta nel periodo dell'indagine, trovando formazioni più permeabili rispetto a quelle a quota

più elevata come l'Alluvionale 1 e l'Alluvionale 2, ha causato un innalzamento del livello della falda a tratti anche notevole.

Con la redazione della seguente carta e dall'osservazione delle isopiezometriche si possono ricavare anche le dimensioni dei gradienti idraulici che intercorrono tra una linea ed un'altra. Quest'ultimo sarà maggiore nei punti in cui le linee che indicano il livello della falda sono più ravvicinate e minore in corrispondenza delle isopiezometriche abbastanza distanziate.

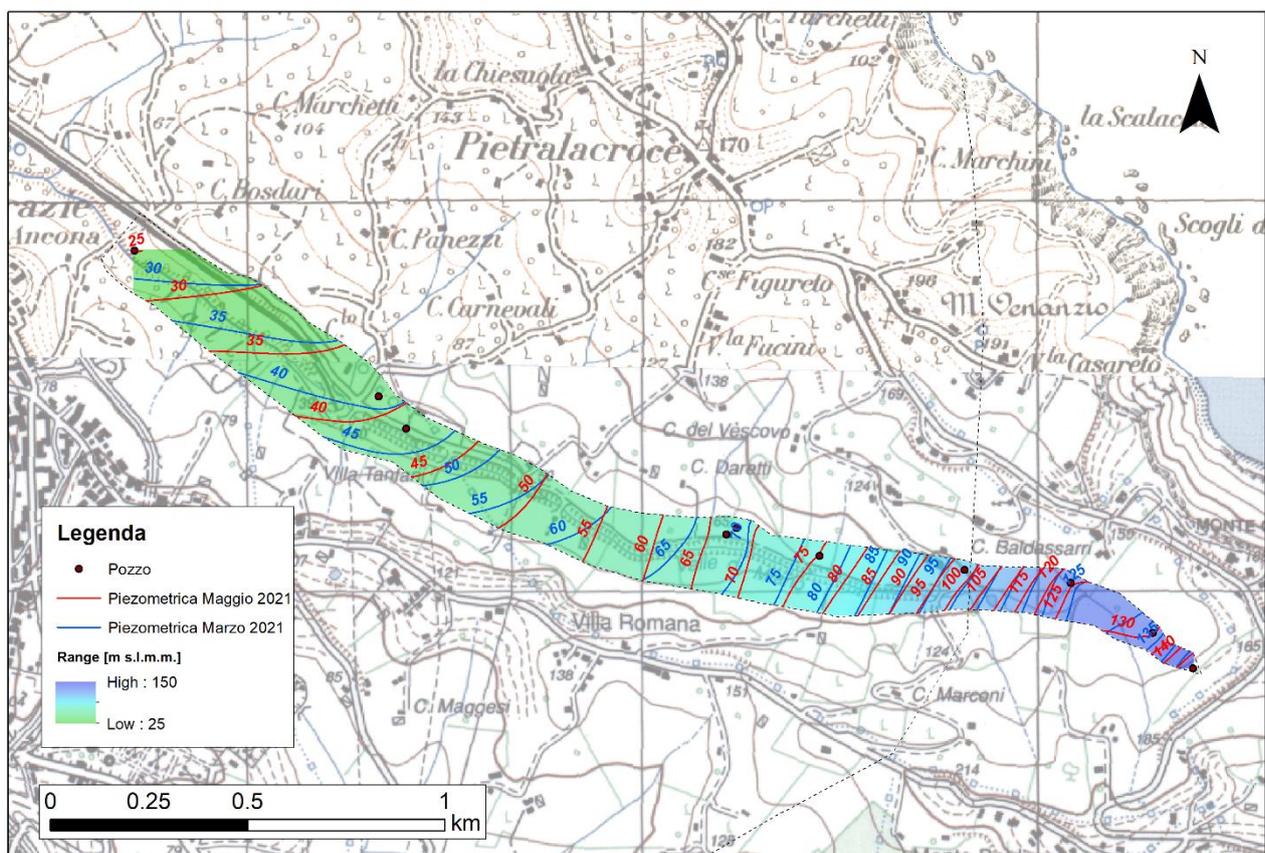


Figura 135. Carta isopiezometrica dell'area riguardante il Torrente Miano plottata sulla carta topografica dell'area riguardante il bacino in esame (prodotto da ArcGIS)

Nella carta mostrata in precedenza vengono evidenziate soprattutto le linee isopiezometriche ricavate dalle indagini fatte nei mesi di marzo e maggio all'interno dell'area colorata, che corrisponde alla zona di coltre alluvionale dove ricadono tutti i pozzi analizzati nei pressi del Torrente Miano, con l'obiettivo di analizzare

l'andamento (ovvero l'abbassamento o l'innalzamento) dell'acqua sotterranea presente all'interno del bacino analizzato in funzione del tempo. Vengono messe entrambe le piezometriche nella stessa carta per facilitarne il confronto. Da ciò si può dedurre che nella parte superiore del bacino, ovvero nei pressi della sorgente del torrente stesso, la falda ha subito un abbassamento nel mese di maggio rispetto al mese di marzo principalmente dovuto alle basse permeabilità delle litologie presenti che non hanno permesso un'infiltrazione eccessiva nei mesi più piovosi. Proseguendo poi verso NO si ha un'inversione di pendenza, probabilmente dovuta a uno spartiacque sotterraneo del bacino idrogeologico e la falda nel mese di maggio cresce nei confronti del livello riscontrato a marzo, in alcuni tratti anche fino a 5 m, ciò potrebbe far suonare il campanello d'allarme in quanto nel caso la piovosità nei mesi invernali fosse sopra le medie registrate si potrebbero verificare fenomeni di instabilità causati alla perdita di aderenza dovuta alla presenza dell'acqua. Focalizzando ora l'attenzione sulle circolazioni idriche sotterranee che generano vere e proprie correnti che alimentano il corso d'acqua, sempre dalla carta, si nota come tracciando delle rette perpendicolari alle isopiezometriche il flusso nella parte iniziale è completamente rivolto verso Ovest mentre nella parte finale si ha un cambiamento di direzione che porta ad un andamento del flusso stesso rivolto completamente verso Nord. Analizzando attentamente le piezometriche rilevate dalle due campagne si deduce che nella parte superiore del tratto evidenziato sono sub-parallele, quindi i flussi hanno entrambi la stessa direzione per il semplice fatto che la pianura alluvionale è abbastanza stretta. Quando invece comincia ad allargarsi muovendosi verso la foce, ossia in media pianura alluvionale, allora tra un periodo tardo invernale o primaverile ed un periodo estivo inizia ad esserci differenza tra le due piezometriche. Si ha infatti la piezometrica di marzo che è più chiaramente rivolta verso nord, mentre a maggio incomincia a rivolgersi verso la foce naturale ossia verso NO.

Osservando ora attentamente le piezometriche ricavate si può dedurre che più queste sono ravvicinate e più il gradiente idraulico che si ottiene è alto così come sarà alta la

velocità di filtrazione attraverso il terreno, ciò si può notare si può notare nel tratto in prossimità della sorgente, mentre nel tratto terminale le isopiezometriche sono abbastanza distanziate il che vuol dire avere una velocità di filtrazione relativamente minore dovuto al fatto che il gradiente idraulico è ridotto rispetto alle precedenti. Inoltre, si deduce che nella parte finale del tratto analizzato il corso d'acqua è principalmente alimentato dalla falda, ossia esce acqua dal letto del fiume. Questo è dovuto al fatto che l'acqua infiltrandosi nel versante in frana, soprattutto in quello a Sud del corso d'acqua in SX idrografica, alimenta la falda di subalveo e di conseguenza grazie all'elevata permeabilità della litologia il deflusso sotterraneo porta direttamente al torrente causandone un accrescimento del livello incontrollabile nel caso di fenomeni metereologici di carattere temporalesco che si prolungano nel tempo. Questo accadimento si andrà poi a sommare all'influenza che hanno le precipitazioni che cadono direttamente nel letto del torrente causando esondazioni e dissesti idrogeologici a volte irreparabili.

## 5.4 Conducibilità elettrica e temperatura

Dopo aver svolto l'indagine sui pozzi come descritta al *Paragrafo 4.2.1.1* e scaricando i dati rilevati dall'apposita sonda, che campiona con un intervallo di tempo regolare pari a 10 s, e ottenendo un file Excel allora si ricavano, dopo averli compensati, i grafici della conducibilità elettrica e della temperatura sottraendo al valore totale di pressione registrato dalla sonda in valore della pressione atmosferica del punto in cui si trova collocato il pozzo dove viene effettuata la misurazione. Da ognuno di essi sarà quindi possibile determinare le due grandezze medie per ogni singolo pozzo. La compensazione è una semplice operazione che consiste nell'eliminare la misura della pressione atmosferica dal campionamento al fine di ottenere solamente la pressione dell'acqua dalla quale poi è possibile ricavare la profondità raggiunta dal sensore durante le misurazioni

### 5.4.1 Risultati del mese di marzo

Una volta scaricata la sonda e aver scremato e compensato in modo opportuno il file Excel allora si procede con la redazione dei grafici che individuano rispettivamente temperatura e conducibilità per ogni pozzo.

#### 5.4.1.1 Temperatura

Successivamente vengono mostrati i grafici dell'andamento della temperatura dell'acqua interna al pozzo campionati dalla sonda. Come si può vedere dalla *Fig. 136* alla *Fig. 145* tutti i grafici presenti mostrano nelle ascisse i valori di temperatura in °C mentre nelle ordinate distanza corrispondente alla profondità dal pelo libero del punto in cui la sonda effettua la misura, cioè i cm di acqua presenti al di sopra del sensore. Questi ultimi sono stati ricavati tramite una compensazione delle misure di pressione che ha effettuato la sonda durante l'uscita in campagna. Bisogna quindi sottrarre nel foglio di calcolo Excel al valore totale di pressione registrato il valore corrispondente alla pressione atmosferica del punto in cui è ubicato il pozzo analizzato come precedentemente descritto.

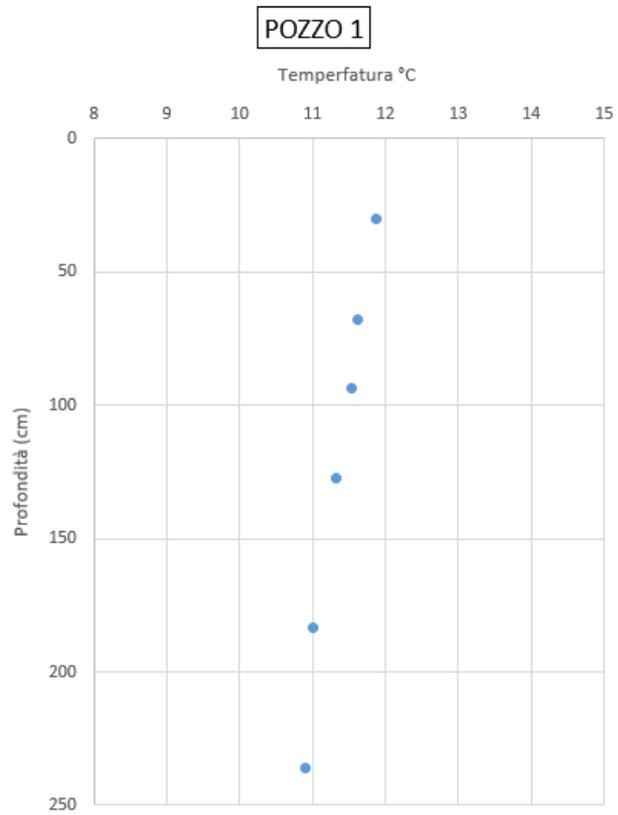


Figura 136. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 1

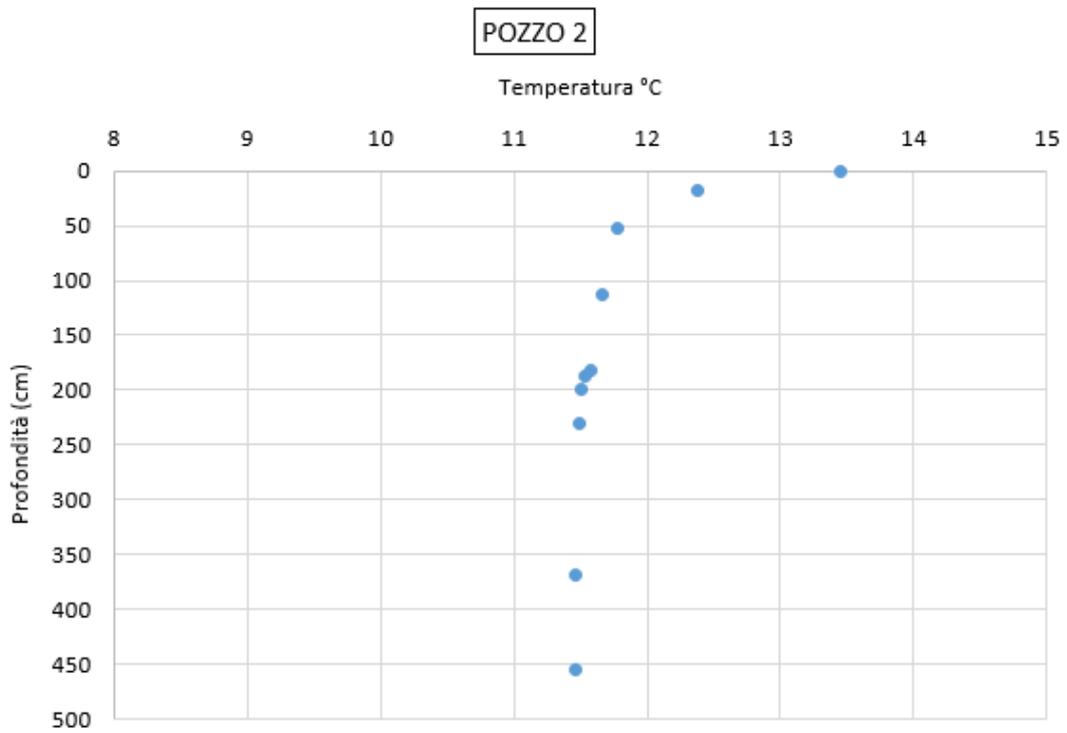


Figura 137. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 2

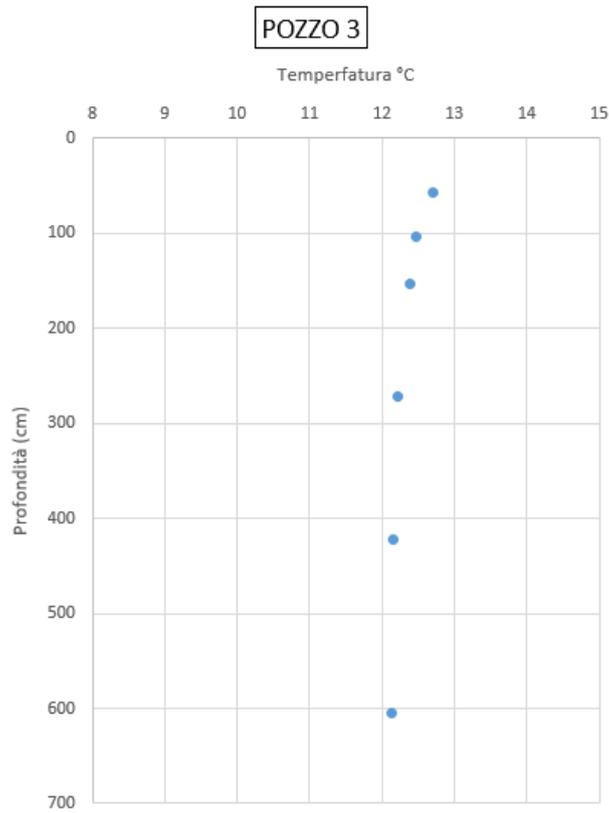


Figura 138. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 2

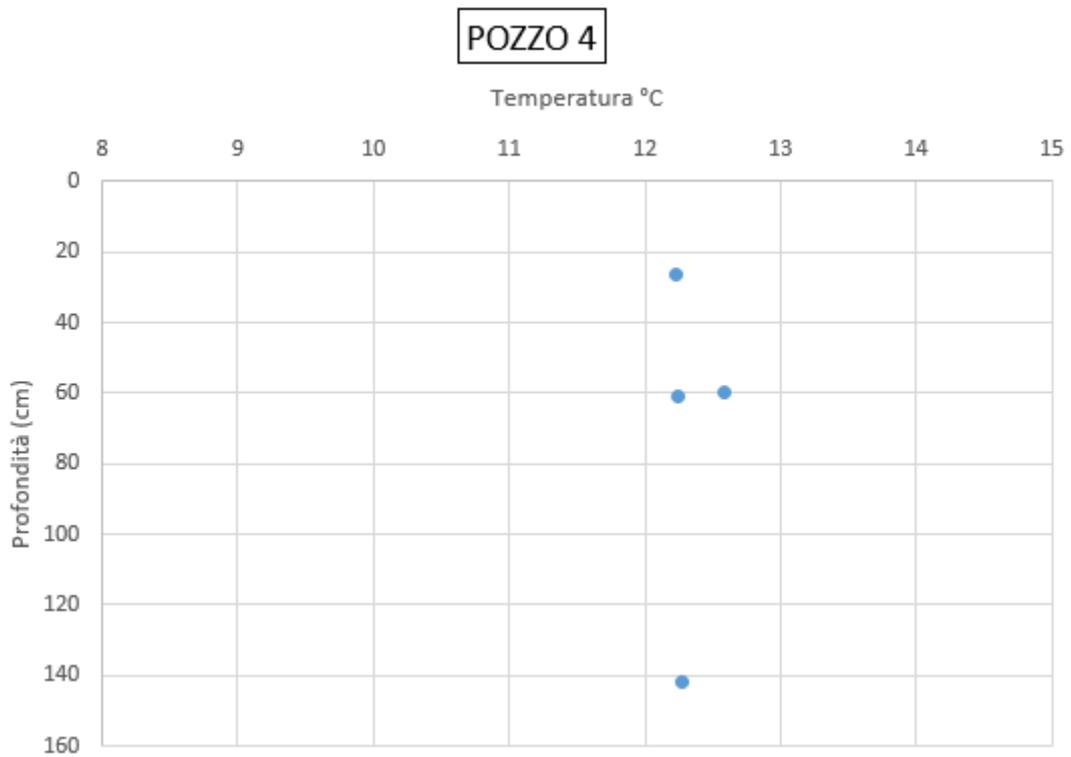


Figura 139. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 4

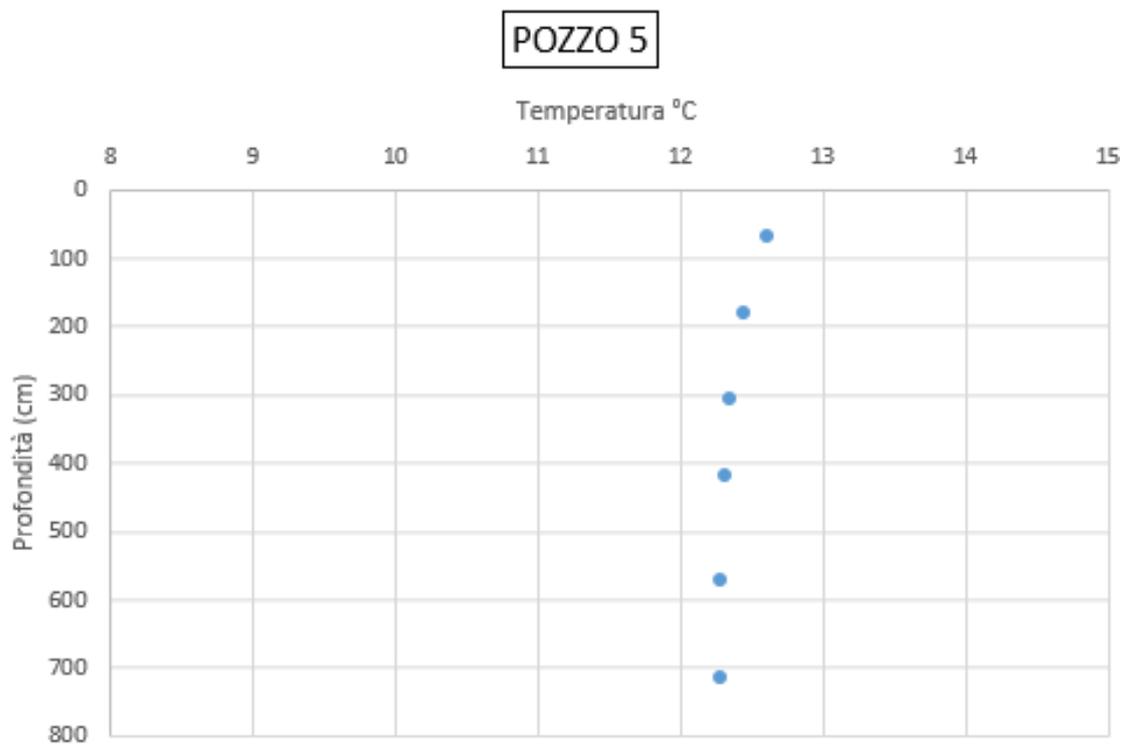


Figura 140. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 5

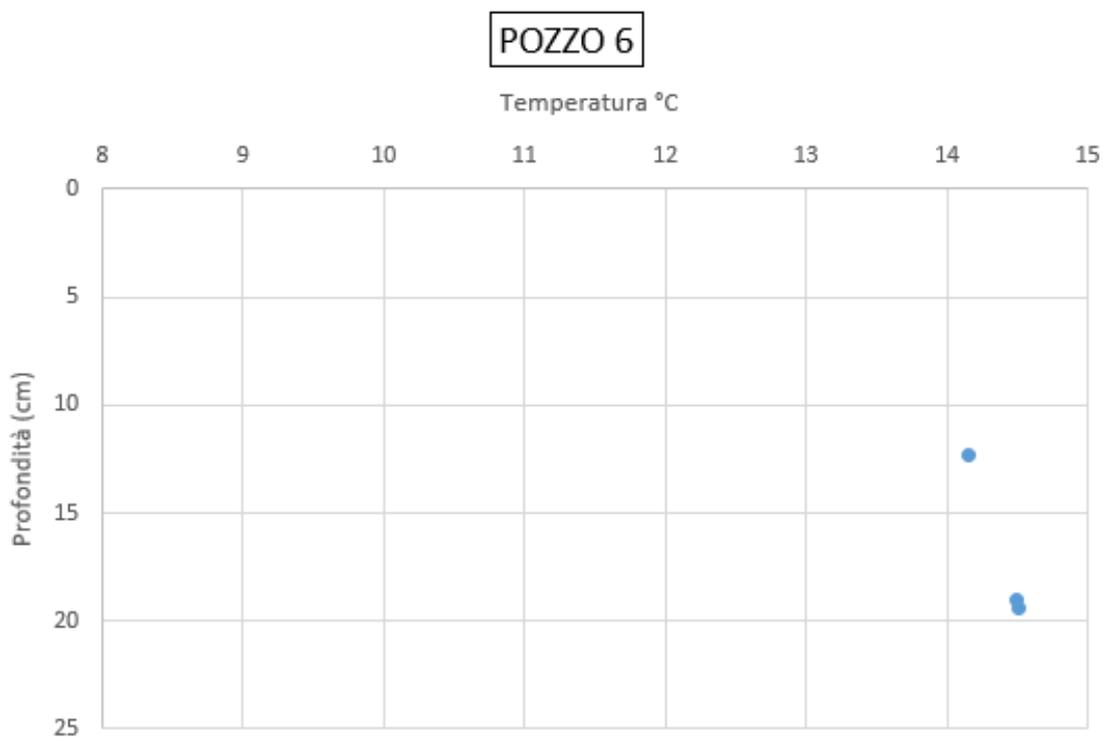


Figura 141. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 6

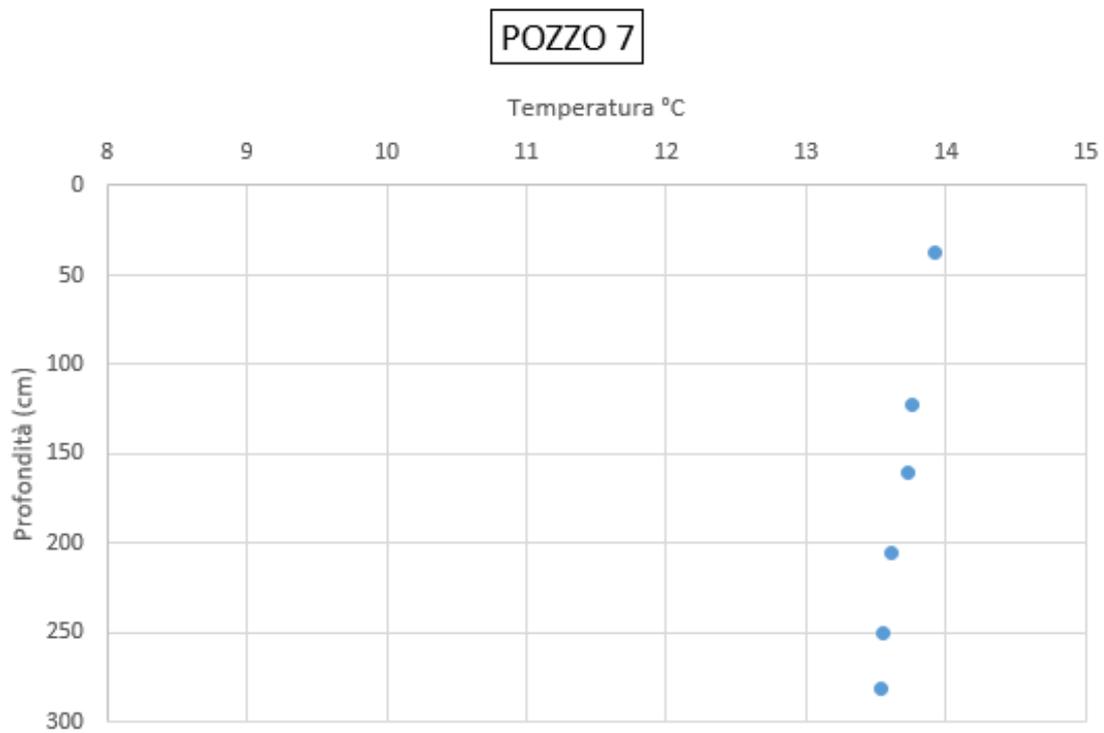


Figura 142. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 7

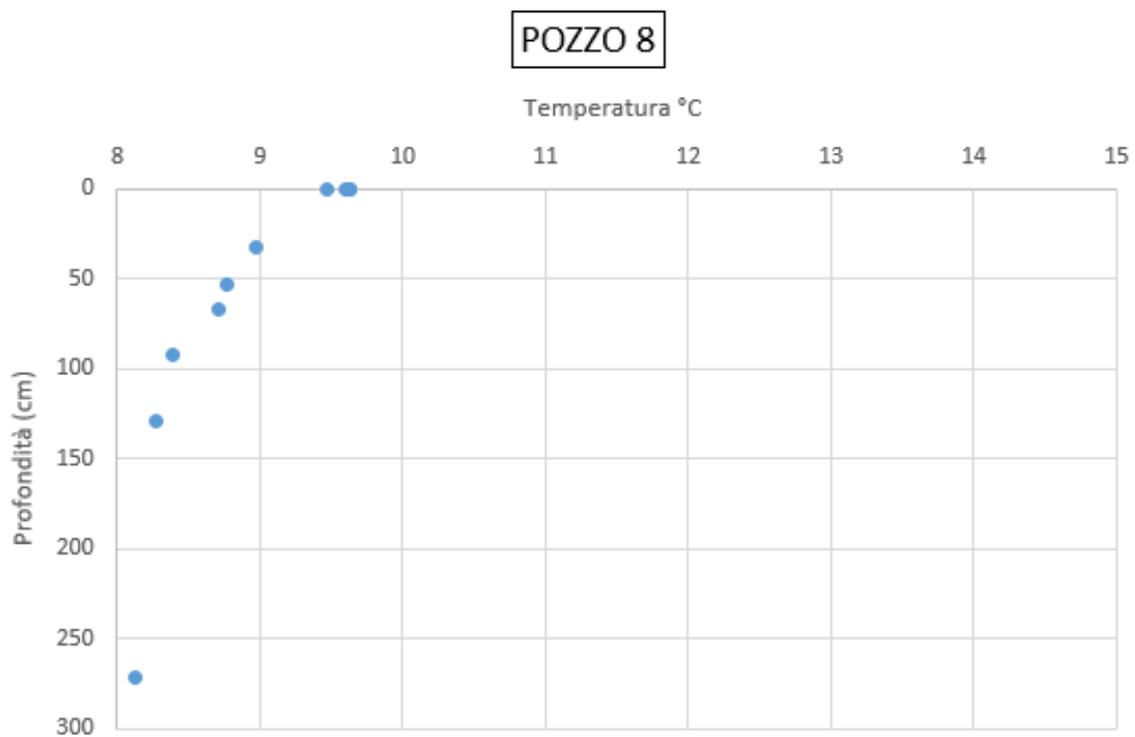


Figura 143. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 8

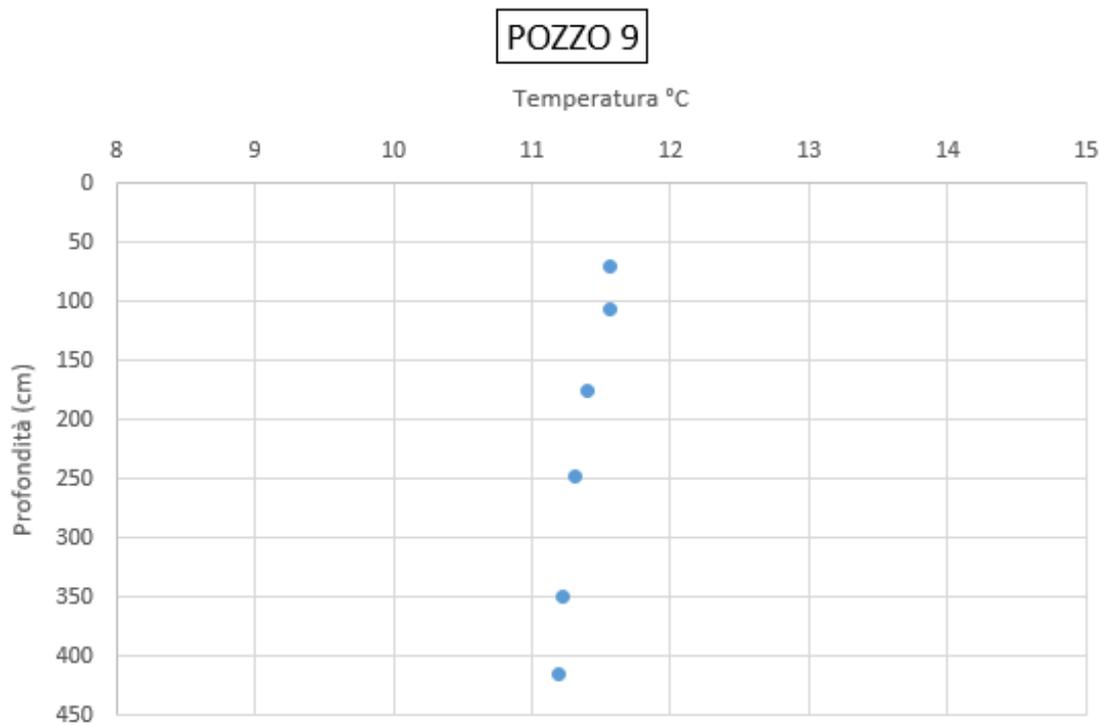


Figura 144. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 9

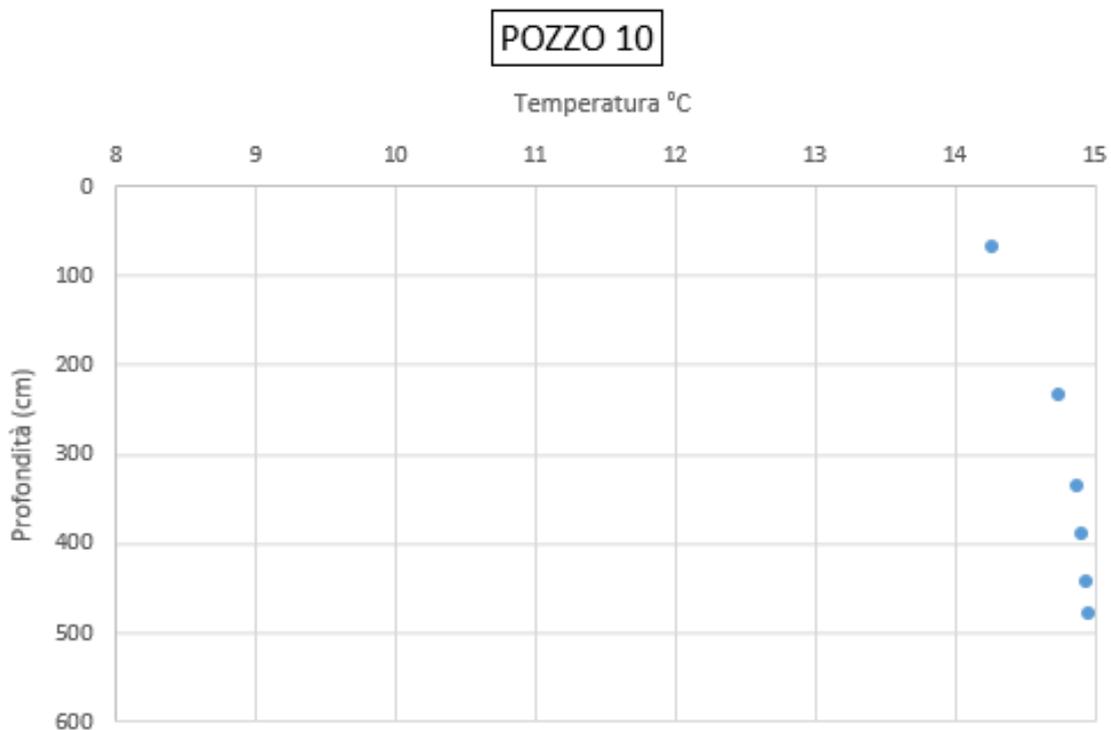


Figura 145. Andamento della temperatura con la profondità del POZZO 10

Dai grafici riportati dalla Fig. 136 alla Fig. 145 è possibile dedurre che l'andamento delle temperature riscontrato nel mese di marzo non è uguale in tutti i pozzi. Si può

notare come nel POZZO 1, POZZO 3, POZZO 5, POZZO 7 e nel POZZO 9 la temperatura diminuisce linearmente con la profondità con variazioni massime di 1 °C. Nel POZZO 10 invece accade il contrario ai pozzi precedentemente elencati perché la temperatura cresce linearmente con la profondità. Nel POZZO 2 e nel POZZO 8 la temperatura si presenta in prossimità del pelo libero con valori abbastanza alti nella parte più superficiale che però si stabilizzano a temperature piuttosto costanti con la profondità, il che vuol dire che la distanza bocca pozzo - pelo libero è minima rispetto agli altri. Nel POZZO 4 e nel POZZO 6 invece la temperatura si mantiene pressoché costante con la profondità rispettivamente intorno ai 12,3 °C e 14,5 °C.

#### 5.4.1.2 Conducibilità elettrica (EC)

Viene rappresentato inoltre per ogni pozzo dopo la compensazione l'andamento della conducibilità elettrica (espressa sull'asse delle ascisse in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) in funzione della profondità della sonda dal pelo libero (espressa in cm sulle ordinate) come mostrato da *Fig. 146* a *Fig. 155*.

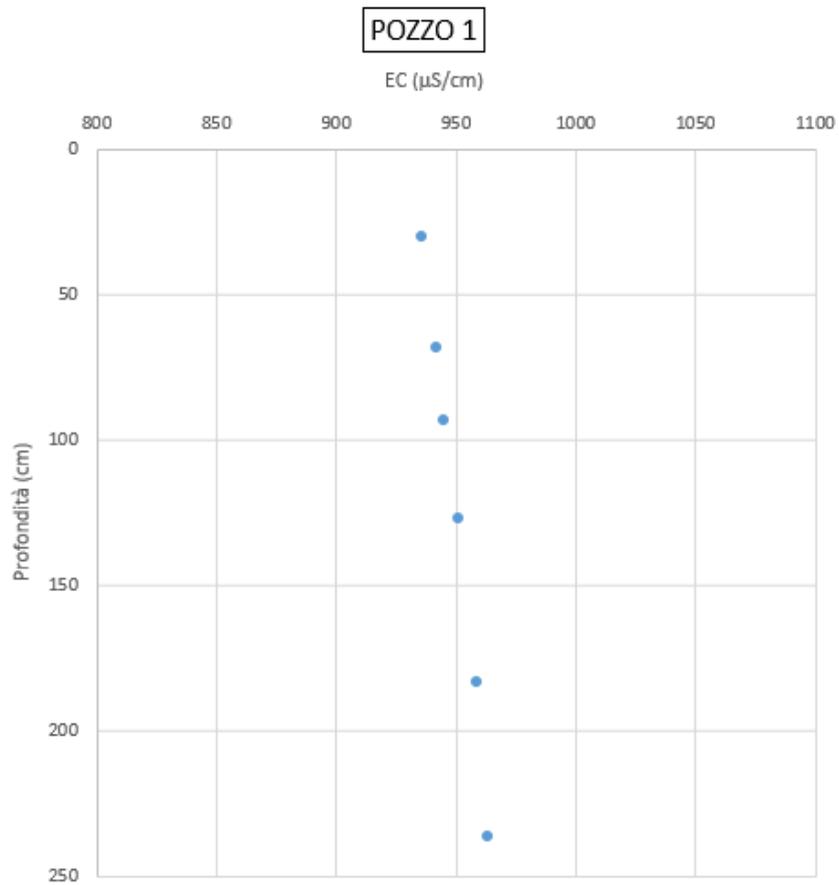


Figura 146. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 1

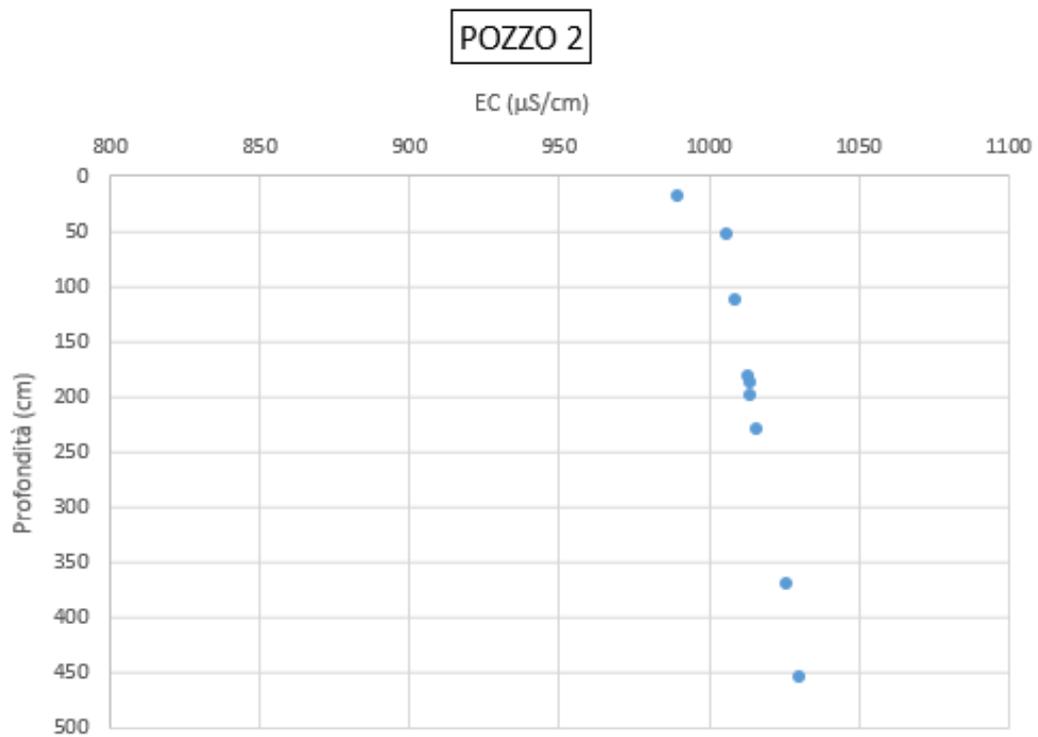


Figura 147. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 2

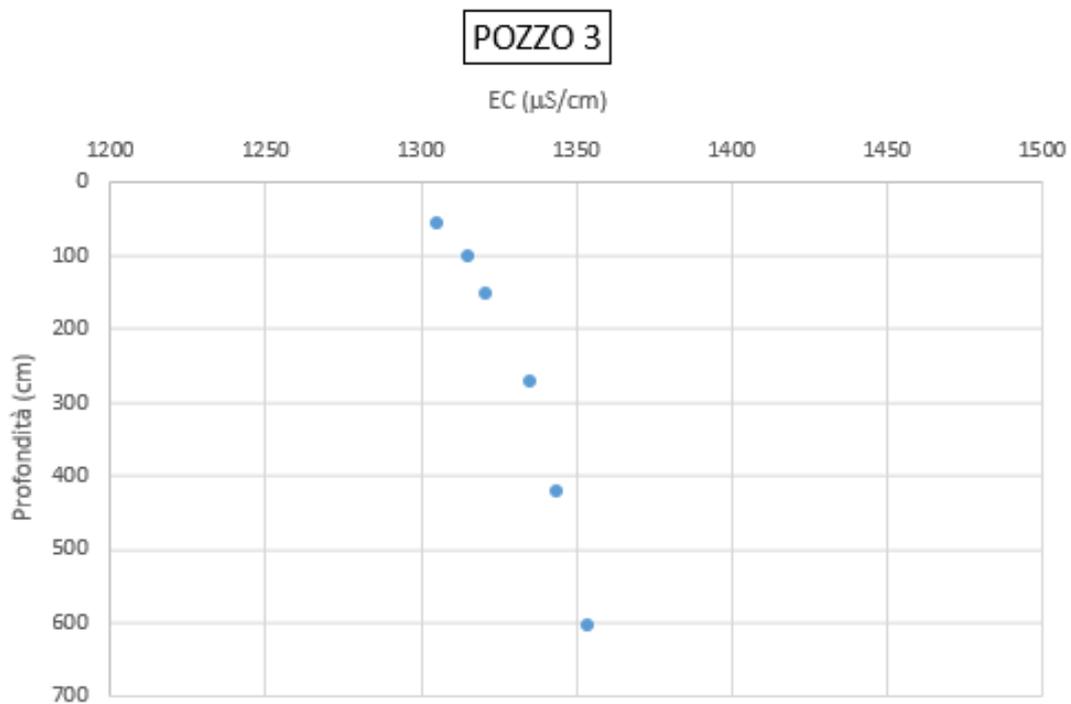


Figura 148. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 3

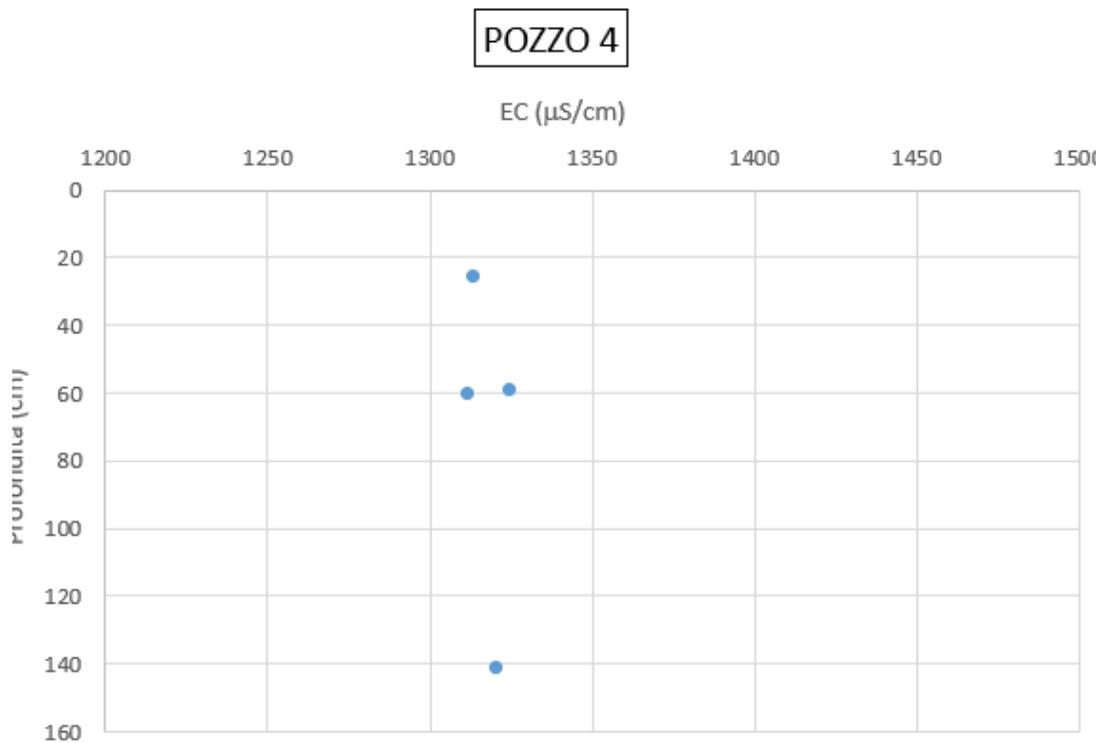


Figura 149. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 4

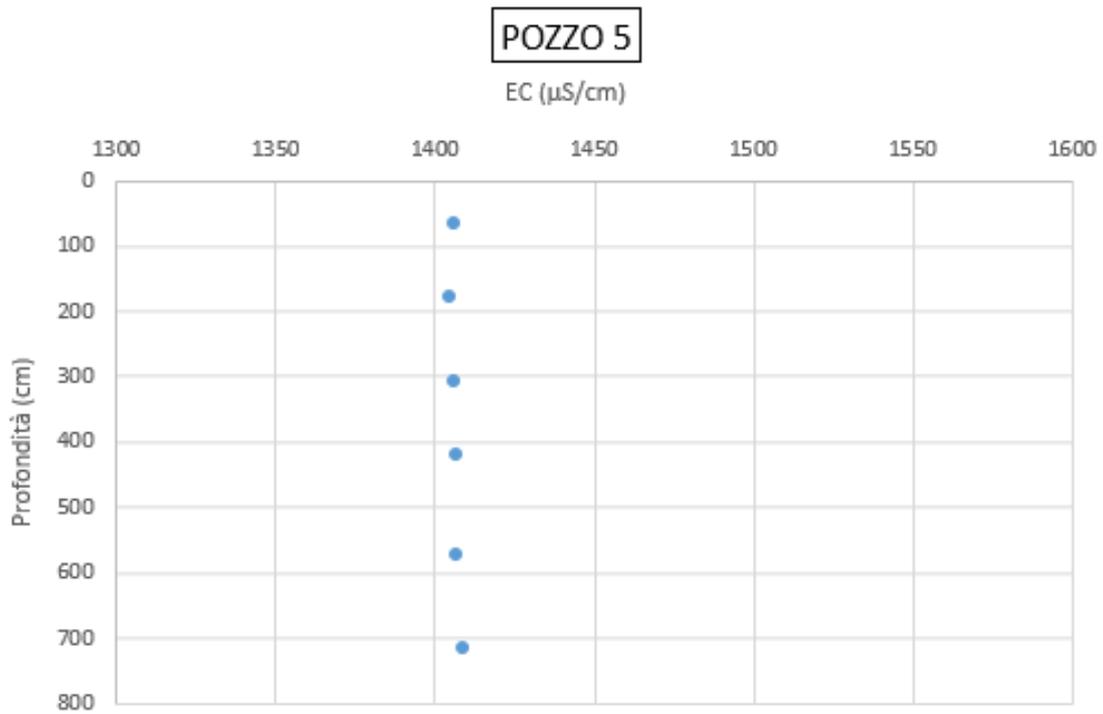


Figura 150. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 5

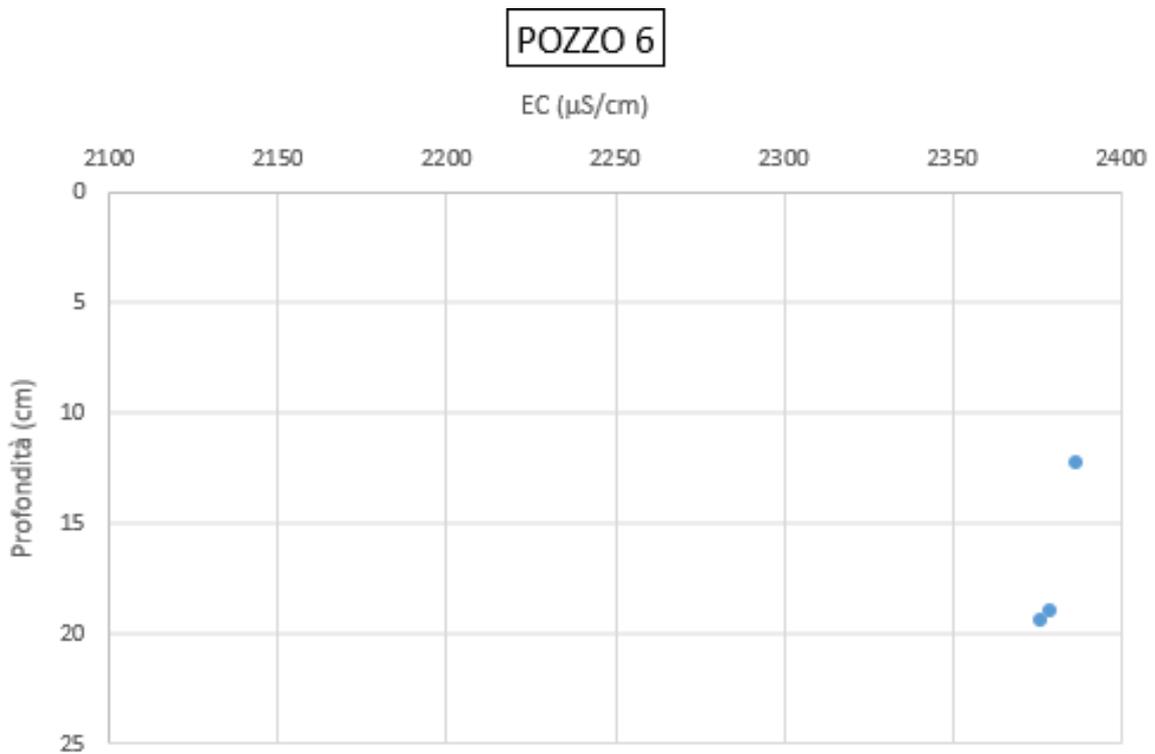


Figura 151. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 6

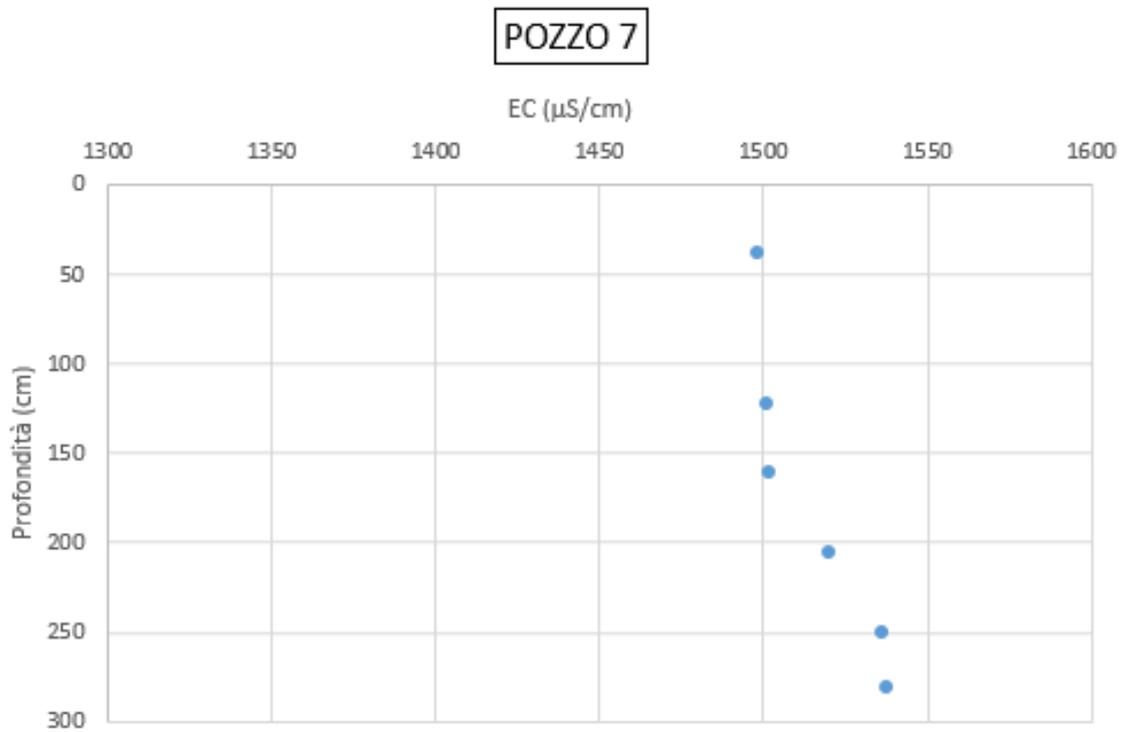


Figura 152. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 7

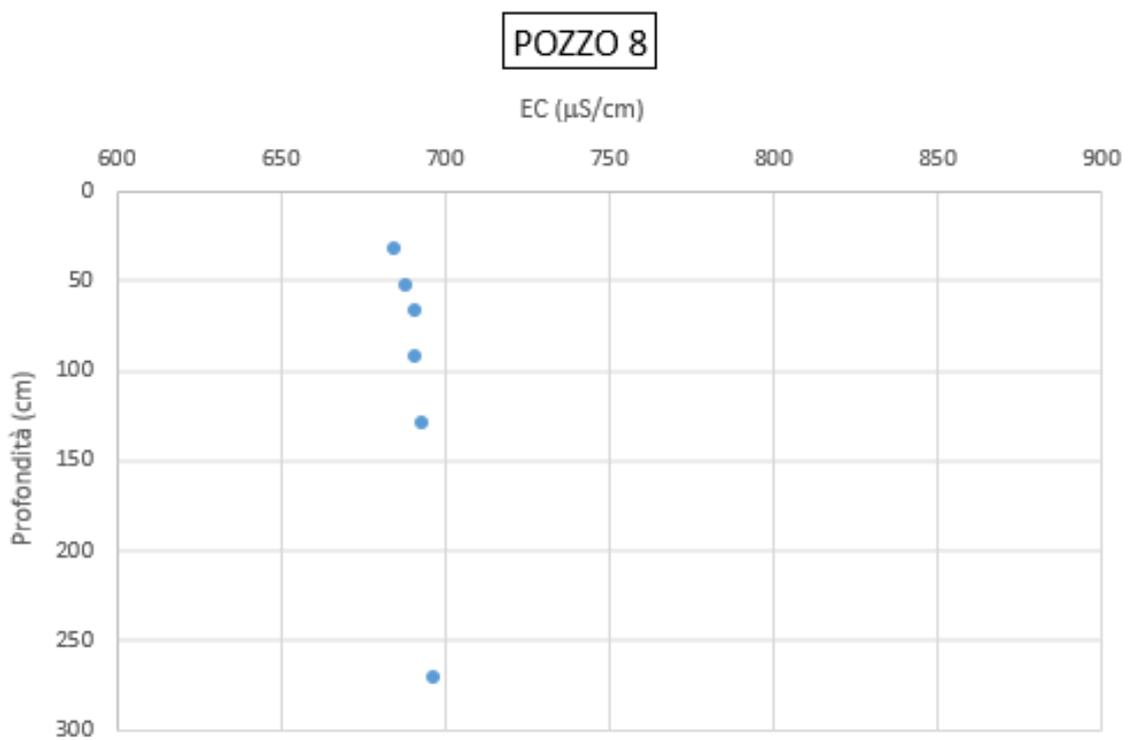


Figura 153. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 8

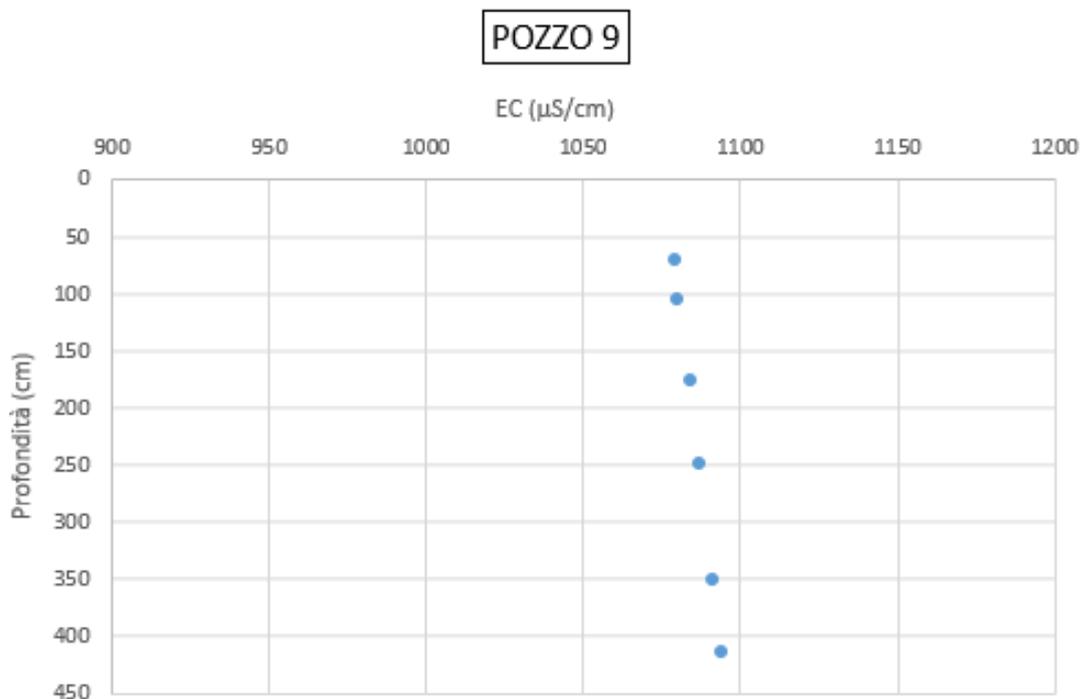


Figura 154. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 9

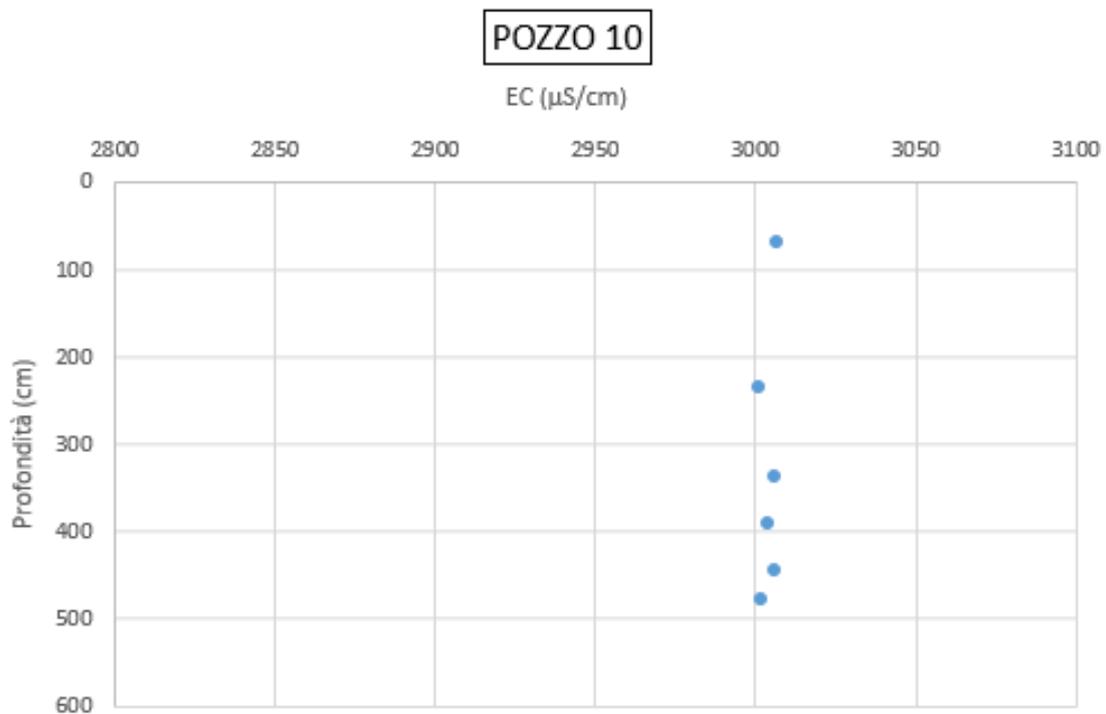


Figura 155. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 10

Dai grafici riportati dalla Fig. 146 alla Fig. 155 si individua che l'andamento della conducibilità elettrica all'interno dei singoli pozzi è variabile con la profondità di

campionamento della sonda mentre i valori possono essere molto variabili da un pozzo ad un altro e raggruppabili in zone, ciò è dovuto anche alla loro vicinanza e all'acquifero dal quale attingono acqua. Si nota quindi che nel POZZO 1, POZZO 2, POZZO 3, POZZO 8 e nel POZZO 9 l'andamento della conducibilità scresce linearmente con la profondità in un intervallo di circa 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nel POZZO 4, POZZO 5, POZZO 6 e nel POZZO 10 la conducibilità rimane pressoché costante con la profondità alla quale la sonda effettua la misurazione. Nel POZZO 7 invece l'andamento della conducibilità è costante fino ad una certa profondità poi subisce un salto pari a circa 45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  per poi stabilizzarsi nuovamente; ciò è probabilmente dovuto al fatto che ad una certa distanza dal pelo libero l'acqua risente meno dell'influenza delle piogge essendo il pozzo totalmente aperto.

#### 5.4.1.3 Analisi risultati ottenuti

Dopo aver fatto le medie delle varie misure e conducibilità che la sonda ha rilevato dal suo ingresso in acqua e fino alla sua uscita è possibile redigere la seguente tabella.

NUMERO	COORDINATE (UTM)		QUOTA	CONDUCIBILITA' ELETTRICA	TEMPERATURA
	N	E			
/			m	$\mu\text{S} / \text{cm}$	$^{\circ}\text{C}$
1	4828308	381259	43,0	949,0	11,3
2	4828048	381661	44,0	1013,1	11,7
3	4827956	382141	69,0	1329,0	12,3
4	4827972	382166	71,0	1323,0	12,4
5	4827901	382377	79,0	1406,7	12,4
6	4827865	382745	99,0	2380,7	14,4
7	4828681	380640	28,0	1515,8	13,7
8	4827614	383324	152,0	690,8	8,5
9	4827705	383222	140,0	1085,8	11,4
10	4827832	383014	126,0	3004,3	14,8

Tabella 8. Sono stati ricavati i valori di conducibilità elettrica e temperatura dell'acqua all'interno di ogni pozzo

Si può notare in Tab. 8 come la temperatura si aggira in media sui 12,3  $^{\circ}\text{C}$  con la massima registrata nel POZZO 10 e la minima registrata nel POZZO 8, entrambi i

pozzi sono collocati nella parte sommitale del bacino, inoltre presentano un range di variabilità pari a 6,3 °C. È possibile notare anche come i pozzi che presentano la stessa temperatura siano pozzi vicini al livello geografico (facendo sempre riferimento alla *Fig. 52*) come si può verificare nel POZZO 3 e nel POZZO 4 ma anche nel POZZO 1 e nel POZZO 2 che si discostano solamente di qualche decina di metri. Queste temperature corrispondenti all'acqua di falda sono in quasi tutti i pozzi maggiori della temperatura media mensile nel mese di marzo registrata nella zona di Ancona e pari a 8,6 °C (come mostrato in *Fig. 9*). Da ciò si può notare come la conducibilità elettrica e la temperatura sono correlate. Più la temperatura è alta all'interno del pozzo allora sarà elevata anche la conducibilità elettrica. Invece controllando cosa accade all'interno di ogni singolo pozzo si nota come la conducibilità elettrica nella maggior parte dei casi aumenta con la profondità e quindi con il diminuire della temperatura. Soffermandosi invece sull'analisi della conducibilità elettrica si può notare la sua variabilità in funzione alla posizione del pozzo, da un minimo di 690,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  presente nel POZZO 8 ad un massimo di 3004,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  riscontrati nel POZZO 10 ed una media di 1469,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Osservando ora i valori medi di conducibilità rilevati all'interno del pozzo si può individuare come detto per la temperatura che per quanto riguarda i pozzi ravvicinati come il POZZO 1 con il POZZO 2 ed il POZZO 3 con il POZZO 4, il POZZO 5 ed il POZZO 7 mostrano una conducibilità elettrica non ha grosse oscillazioni perchè ricadono tutti nella formazione dei depositi alluvionali rispettivamente i primi nella bassa pianura alluvionale e gli altri nella parte più elevata. Inoltre, essendo distanziati di pochi metri ricadono nella stessa direttrice e le uniche differenze sono date dunque dalla profondità alla quale emungono l'acqua dall'acquifero nel quale risiedono. Ad esempio, nel POZZO 1 di profondità pari a 4,00 m la conducibilità misurata è di 949,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mentre vale 1013,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nel POZZO 2 che ha una profondità di ben 7,00 m. Il discorso è equivalente per il POZZO 9 che presenta valori di conducibilità elettrica che non si discostano di molto dai valori individuati nei POZZI 1 e 2, dato che si trova ubicato sempre nella porzione di terreno alluvionale in prossimità della

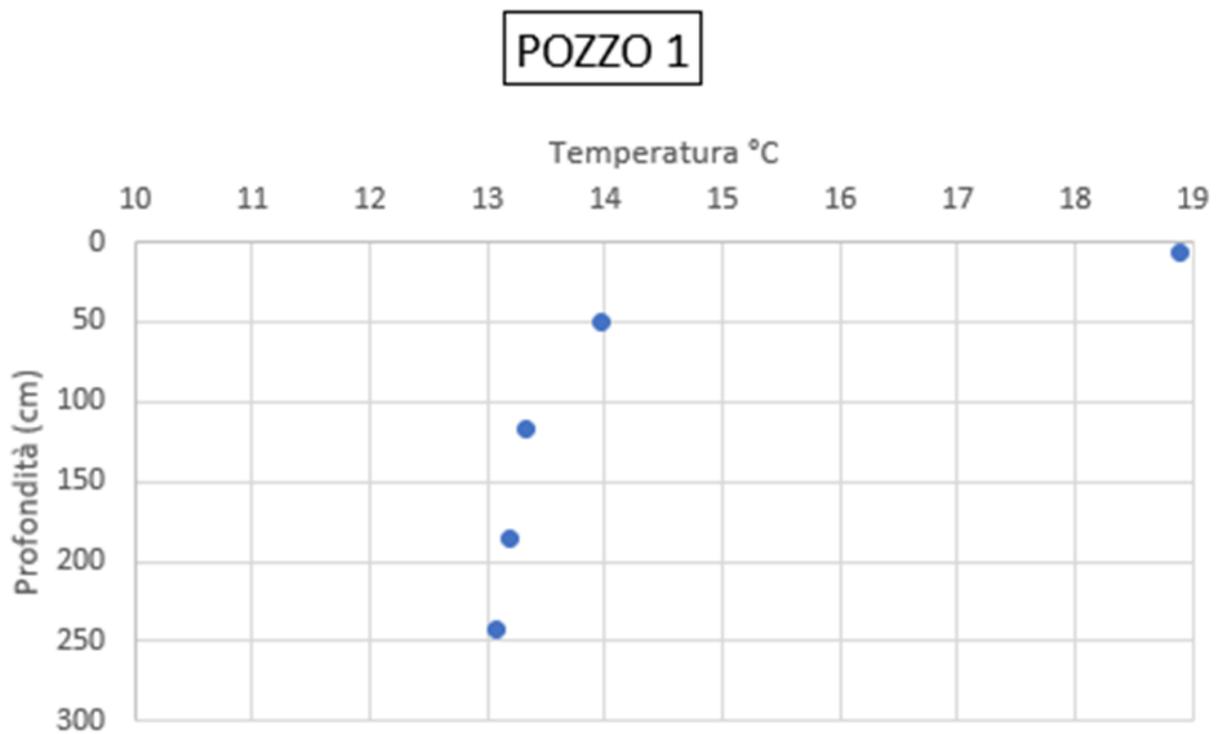
sorgente del Torrente Miano. Le differenze notevoli si hanno soprattutto nei valori riscontrati nel POZZO 6 e nel POZZO 10 che si discostano maggiormente dalla media calcolata. Ciò è funzione del loro posizionamento rispetto all'asse del torrente, ovvero di trovano nel versante di destra idrografica ma in una coltre di terreno formata dai depositi eluvio-colluviale (che sarebbero un'alterazione della formazione sottostante), e la loro profondità è tale da intercettare probabilmente la formazione dei Colombacci al di sotto del deposito sopraelencato che si assottiglia sempre di più lungo i versanti fino ad annullarsi. Questi due pozzi emungono dalla falda presente nelle argille a colombacci che, con la loro salinità maggiore, potrebbero influenzare negativamente l'acqua interna ai rispettivi pozzi causando un innalzamento della conducibilità elettrica a valori che si discostano di molto (circa il triplo) rispetto agli altri pozzi situati in terreni alluvionali. Un pozzo che invece presenta una conducibilità elettrica inferiore agli altri è il POZZO 8 che, essendo sempre nel deposito eluvio-colluviale considerati però come alluvioni perchè in asse con la linea di drenaggio del bacino, presenta il valore di conducibilità elettrica diverso dagli altri pozzi. Il valore così basso rispetto alla media sopra individuata è dovuto al fatto che avendo un ampio diametro e non essendo coperto le recenti precipitazioni seppur di intensità modesta hanno diluito l'acqua al suo interno influenzandone la conducibilità elettrica. I valori medi registrati negli altri pozzi sono abbastanza correlati e ciò è dovuto al fatto che ricadono tutti nella coltre alluvionale.

#### 5.4.2 Risultati del mese di maggio

Dopo aver ripetuto le analisi nei pozzi come descritto nel *Paragrafo 4.2.1.1* in uno dei mesi estivi o prossimi alla stagione meno piovosa e aver scaricato la sonda, questa volta settata in laboratorio per campionare ogni 10 s, è possibile ricavare dopo un'attenta compensazione, i seguenti grafici che stanno ad indicare la conducibilità elettrica e la temperatura dell'acqua all'interno dei pozzi sia al variare del tempo che della profondità.

### 5.4.2.1 Temperatura

Nei grafici presenti dalla *Fig. 156* alla *Fig. 165* vengono mostrati gli andamenti della temperatura all'interno di ogni singolo pozzo in funzione della profondità in cui la sonda effettua la misurazione.



*Figura 156. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 1*

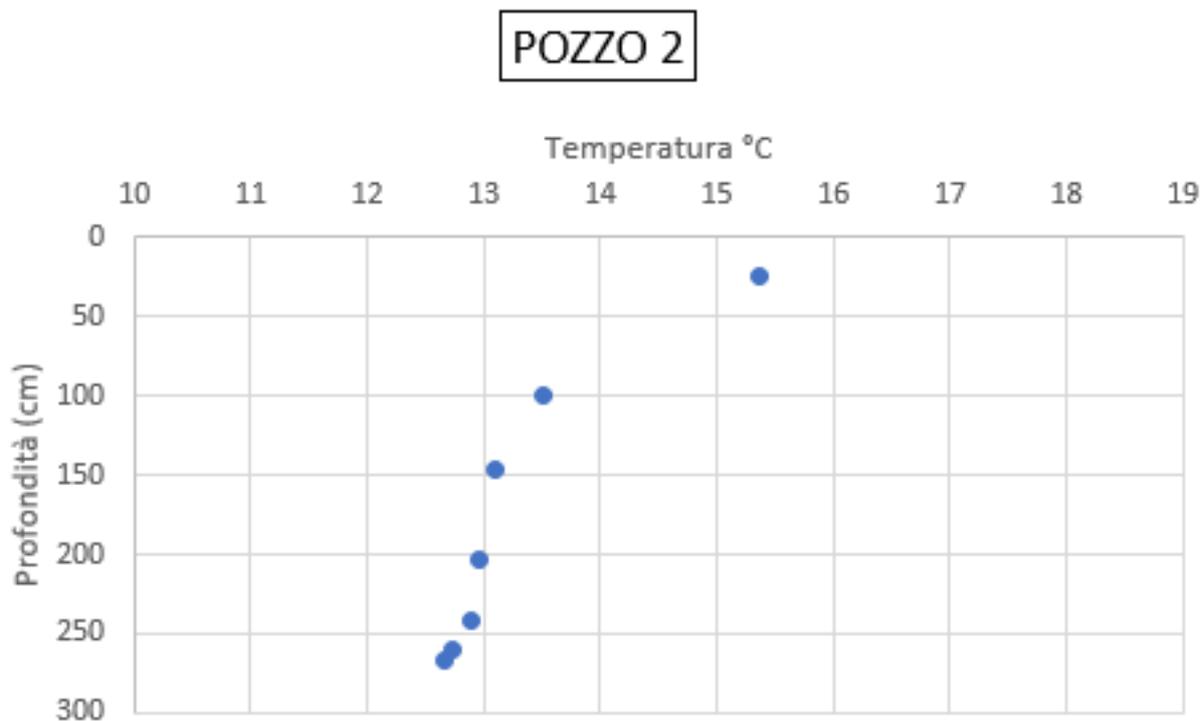


Figura 157. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 2

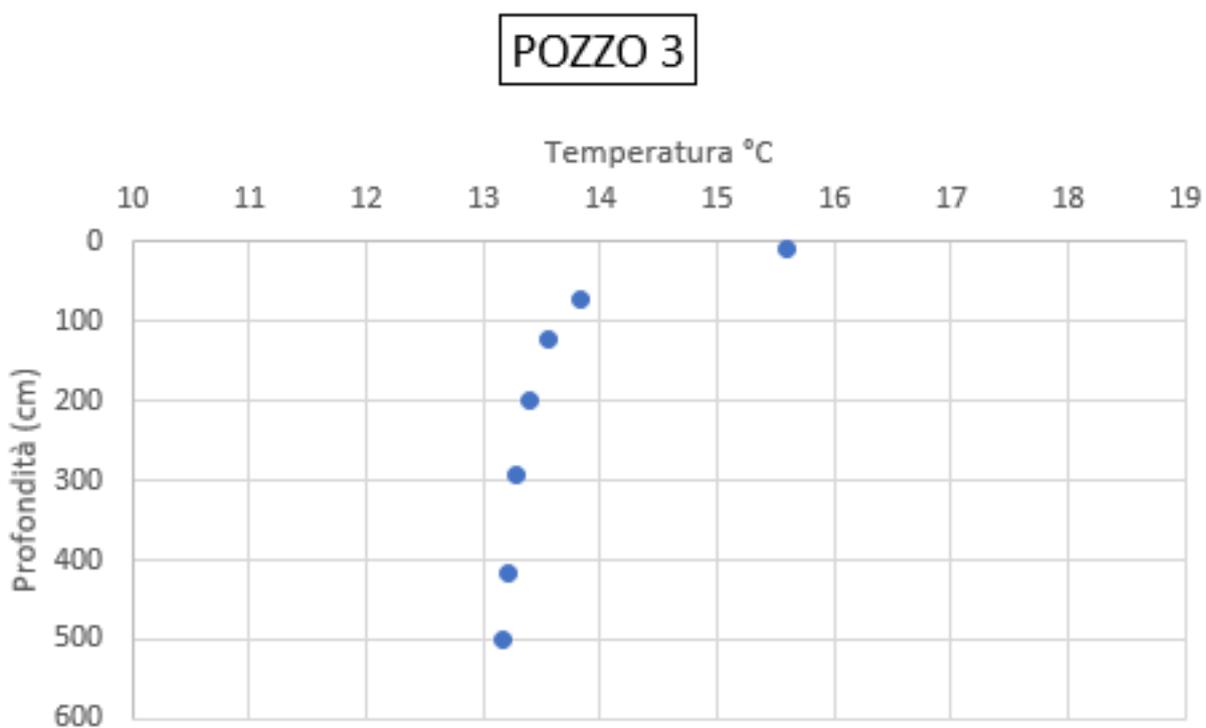


Figura 158. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 3

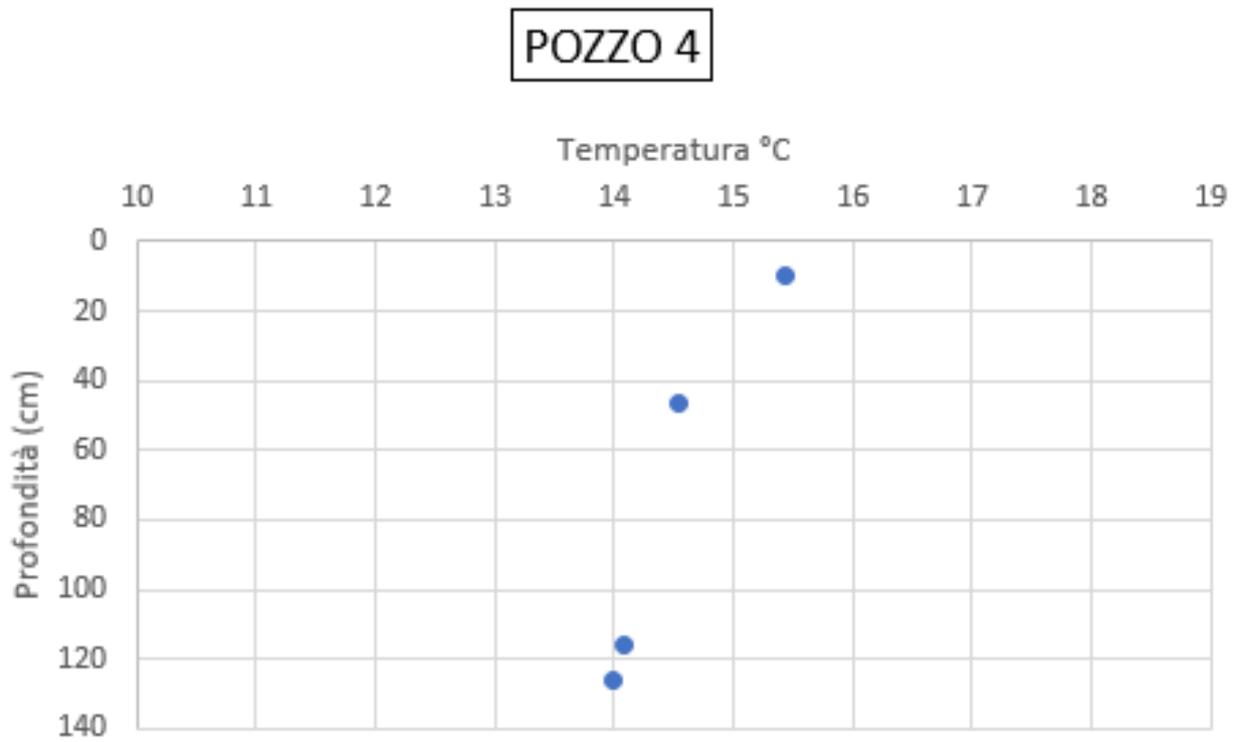


Figura 159. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 4

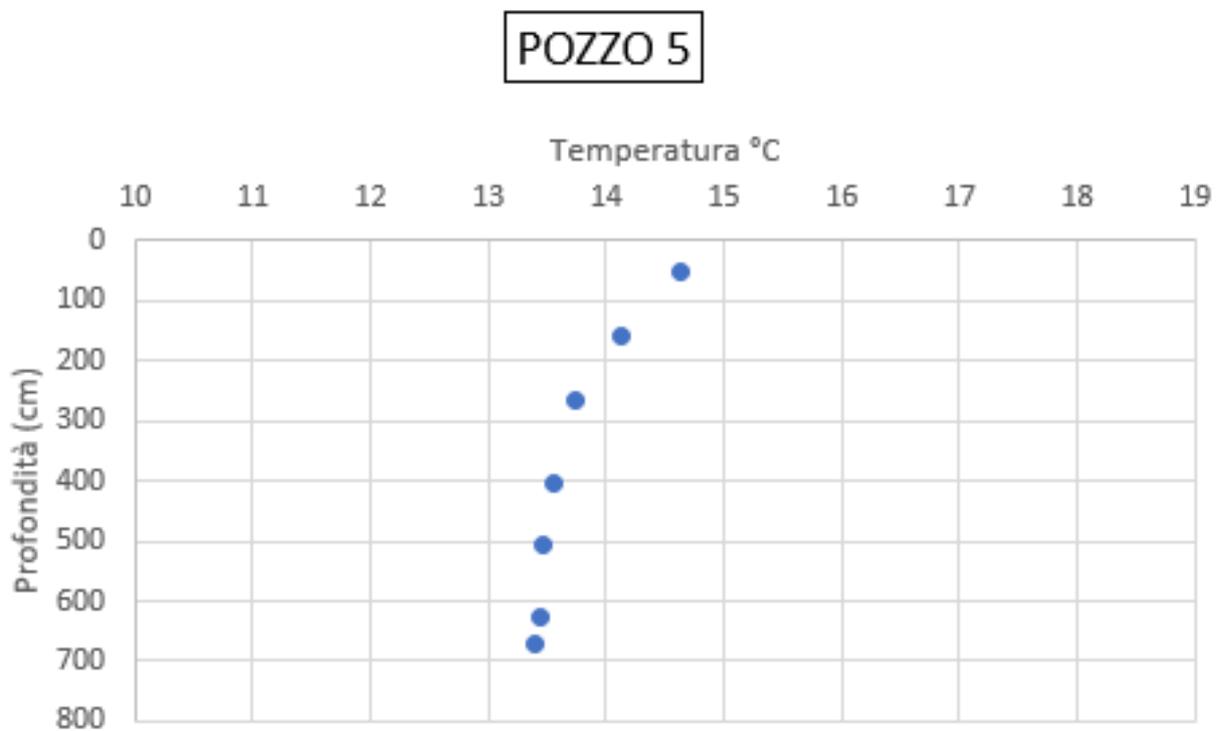


Figura 160. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 5

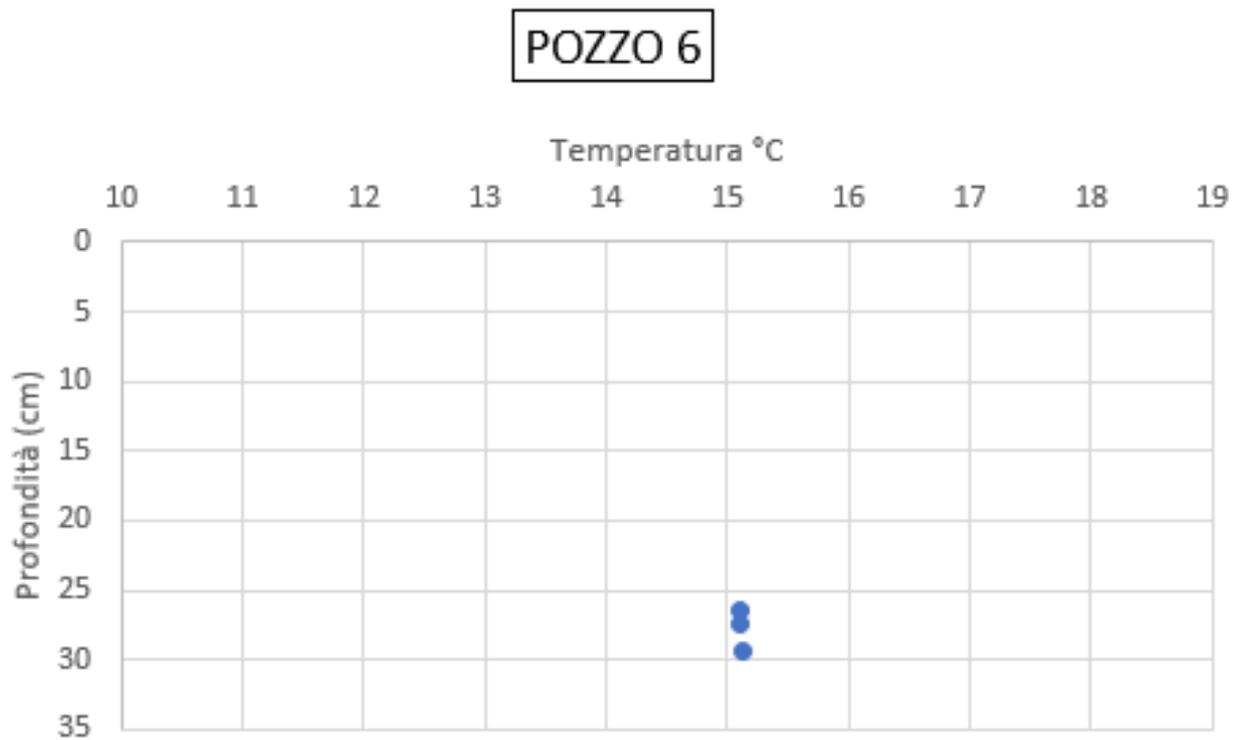


Figura 161. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 6

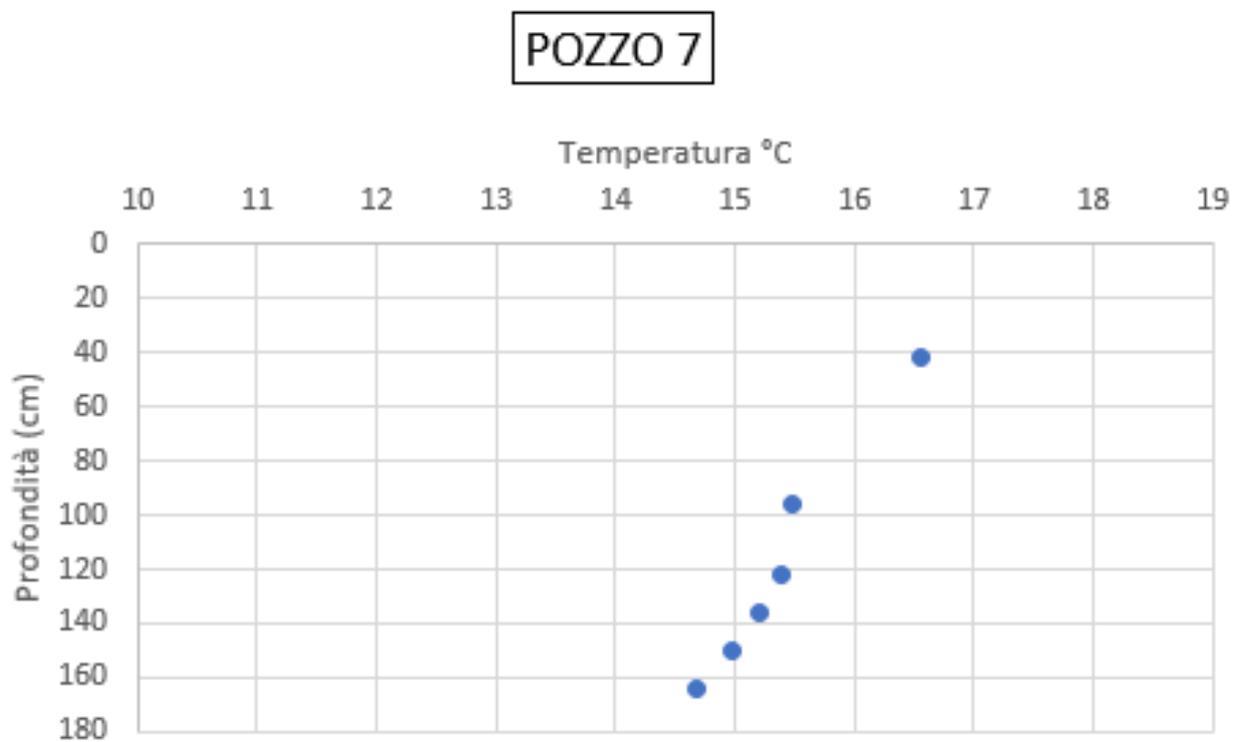


Figura 162. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 7

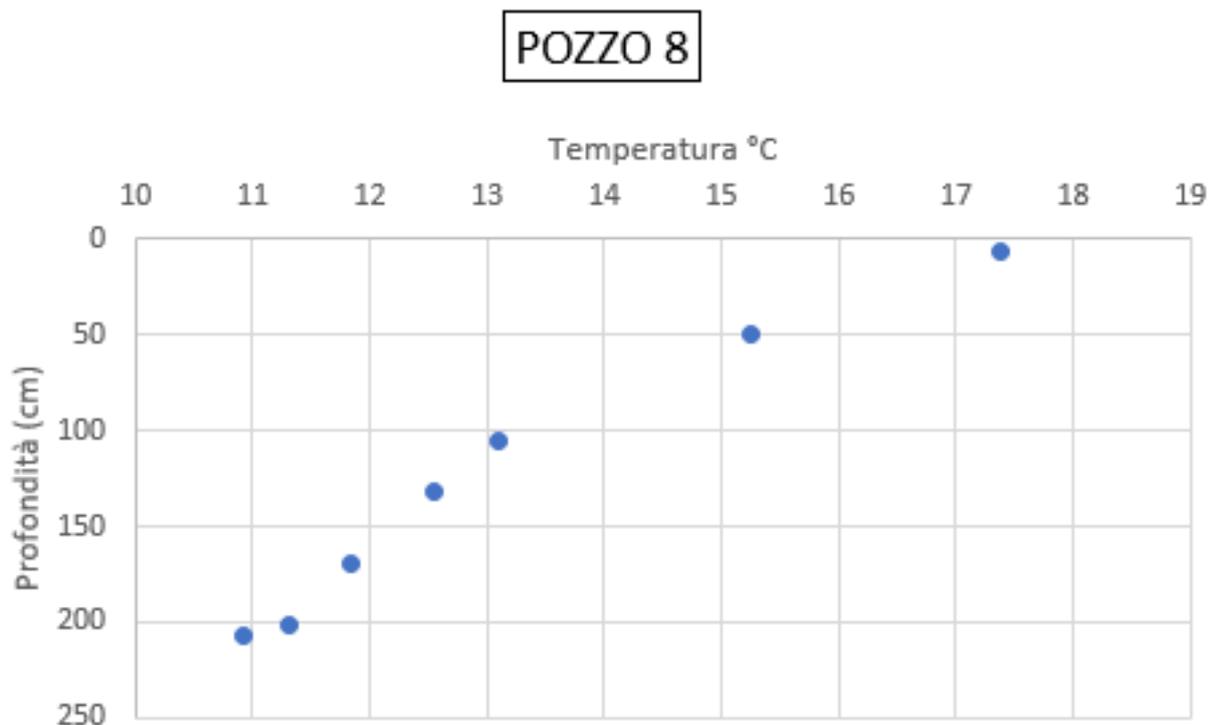


Figura 163. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 8

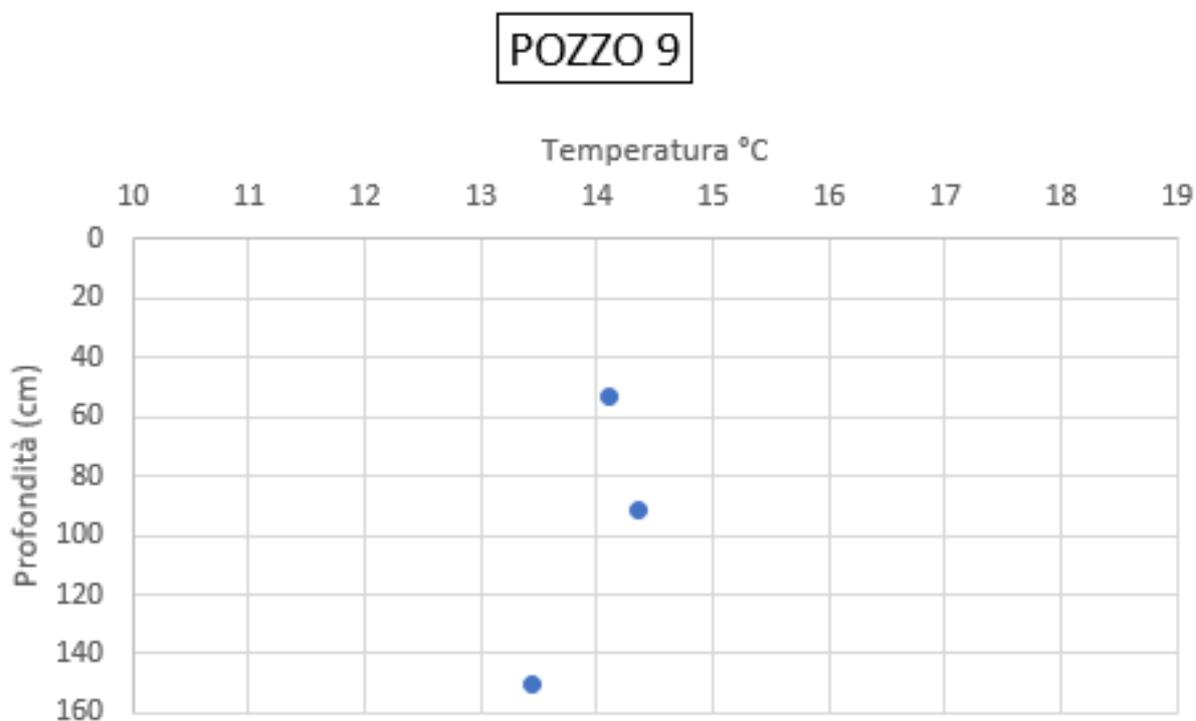


Figura 164. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 9

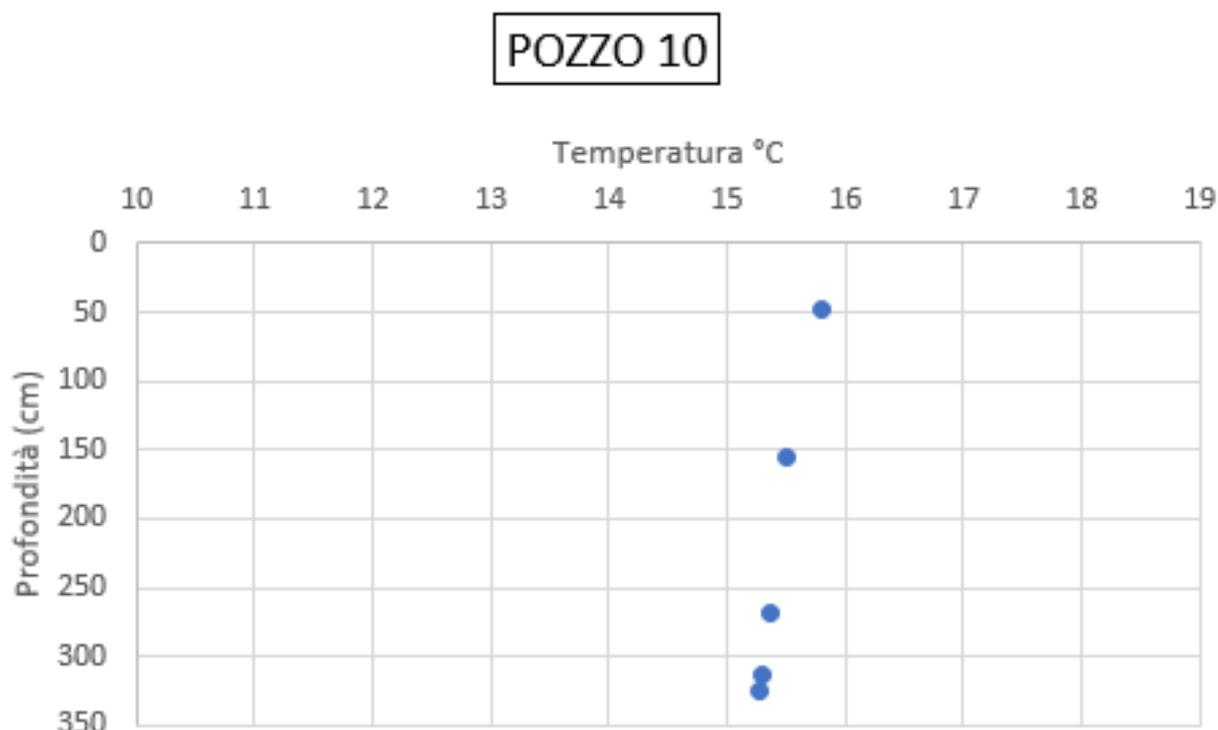


Figura 165. Andamento della temperatura dell'acqua all'interno del POZZO 10

Dai grafici ricavati nell'indagine effettuata a maggio e rappresentati dalla Fig. 156 alla Fig. 165 si possono individuare gli andamenti della temperatura in tutti i pozzi rappresentati dai puntini azzurri hanno subito una traslazione delle ascisse pari a circa 1 °C o al massimo 2 °C in più rispetto al mese di marzo dovuto al fatto che l'analisi è stata condotta in un mese prossimo alla stagione estiva e di conseguenza le temperature medie mensili sono maggiori nei confronti di quelli tardo invernali. Si può notare come nel POZZO 1, POZZO 2, POZZO 3, POZZO 4, POZZO 5 e nel POZZO 7 le temperature decrescono linearmente con la profondità presentando valori elevati in superficie e poi diminuire leggermente subito dopo che la sonda abbia superato i 50 cm di immersione. Nel POZZO 8 invece si riscontra una decrescita lineare della temperatura molto rapida tale da individuare un passaggio dai 18 °C in prossimità del pelo libero fino a circa 11 °C dopo solo due metri di profondità. Il POZZO 9 presenta un andamento che è costante nel primo metro di profondità per poi decrescere di un solo grado centigrado fino a 160 cm di profondità.

Nel POZZO 6 e nel POZZO 10 si riscontra una temperatura costante con la profondità senza notevoli variazioni.

Nei confronti del mese di marzo non si sono riscontrati dei cambiamenti significati dell'andamento della temperatura ad eccezione di alcuni pozzi. Uno tra questi è il POZZO 4 che nel mese primaverile registrava un andamento piuttosto costante con la profondità mentre nel mese di maggio evidenzia una diminuzione della temperatura all'aumentare della profondità una copertura costituita dalla fitta vegetazione trattiene il calore garantendo quindi il riscaldamento della parte di acqua più superficiale. Nel POZZO 8 infine, si riscontra anche una riduzione della temperatura più veloce nel mese di maggio rispetto al mese di marzo sempre nella profondità dei due metri.

#### 5.4.2.2 Conducibilità elettrica (EC)

Ora invece vengono mostrati dalla *Fig. 166* alla *Fig. 175* tutti i grafici che rappresentano l'andamento della conducibilità elettrica all'interno di ogni singolo pozzo in funzione della profondità rispetto alla quota del pelo libero posta uguale a zero in cui il sensore ha effettuato la misurazione.

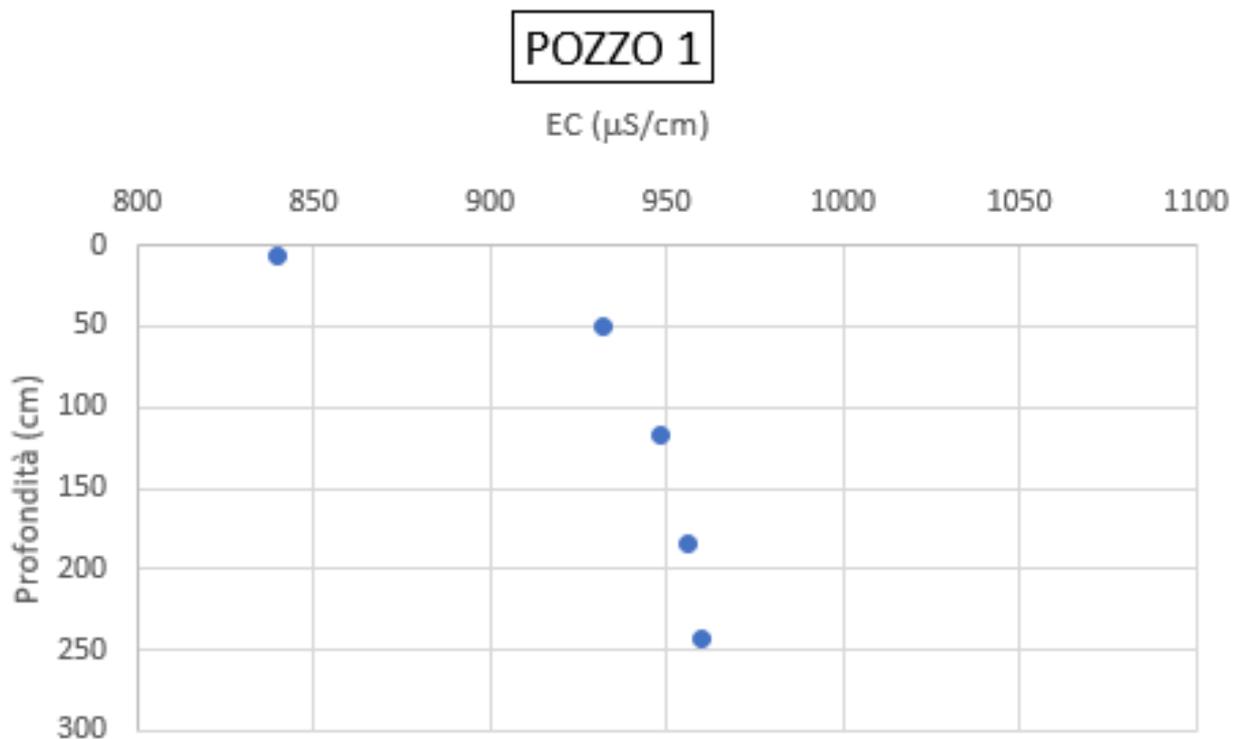


Figura 166. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 1

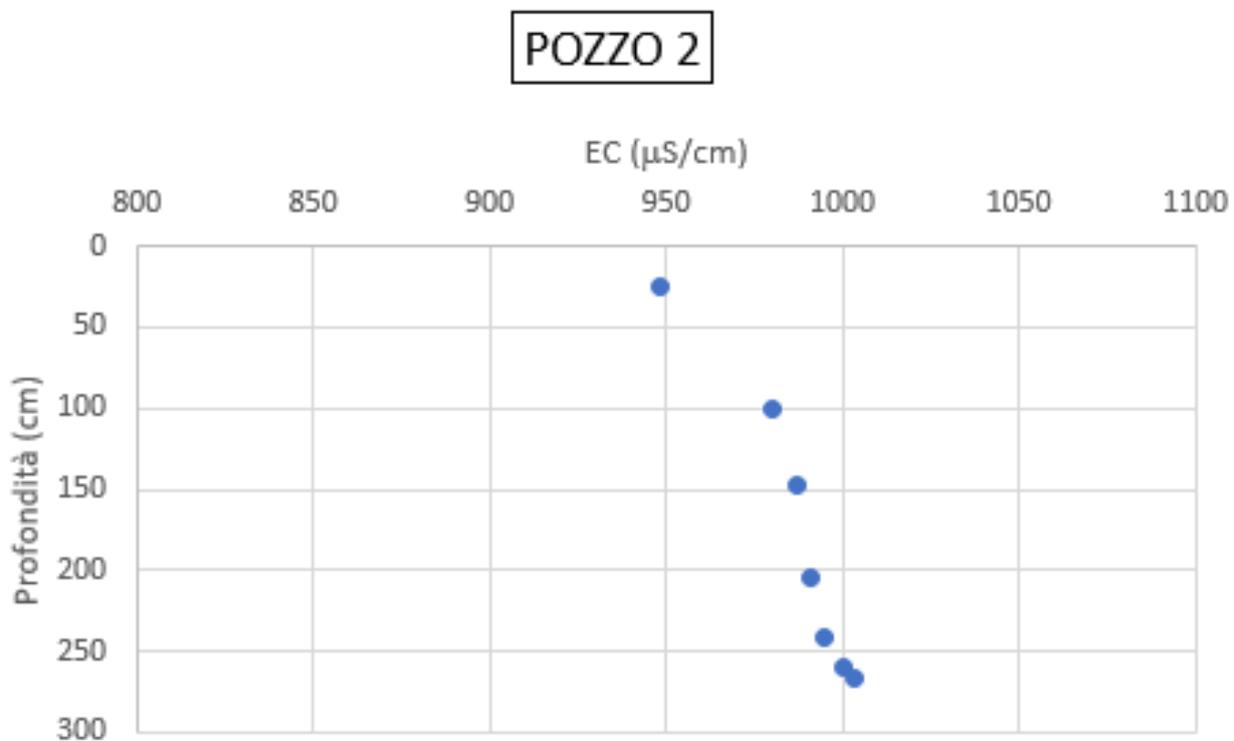


Figura 167. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 2

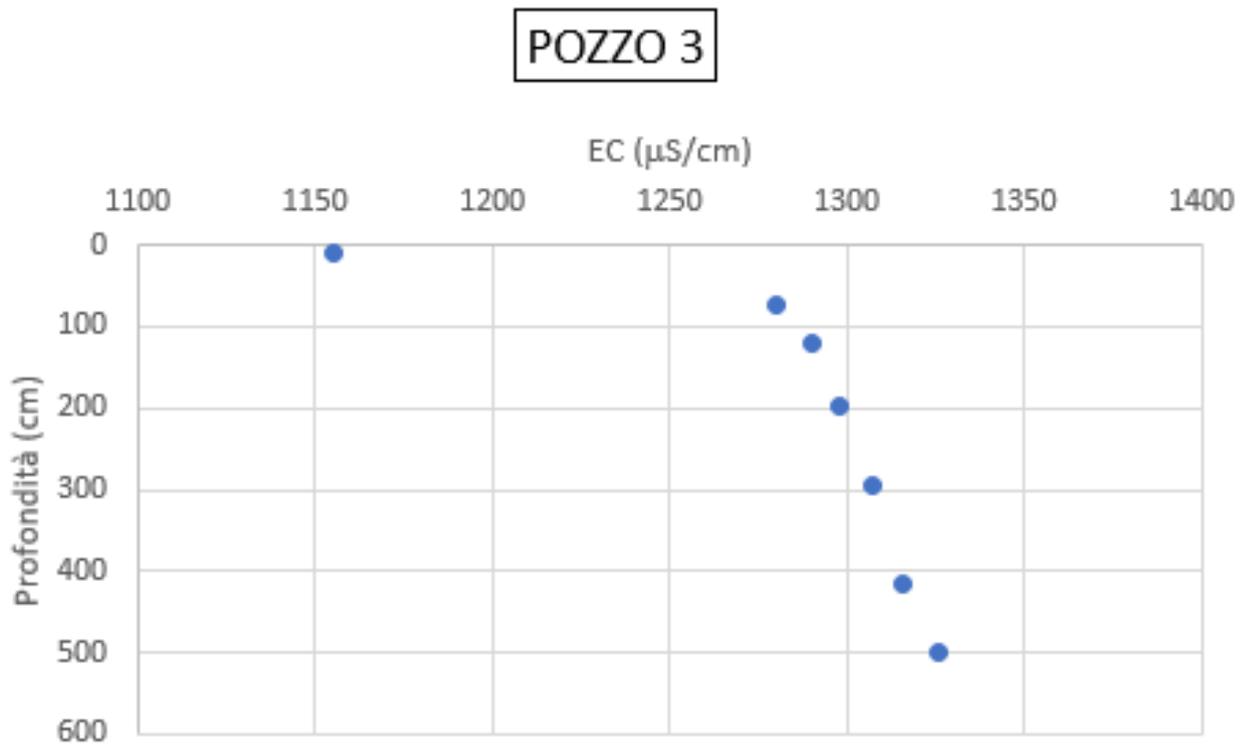


Figura 168. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 3

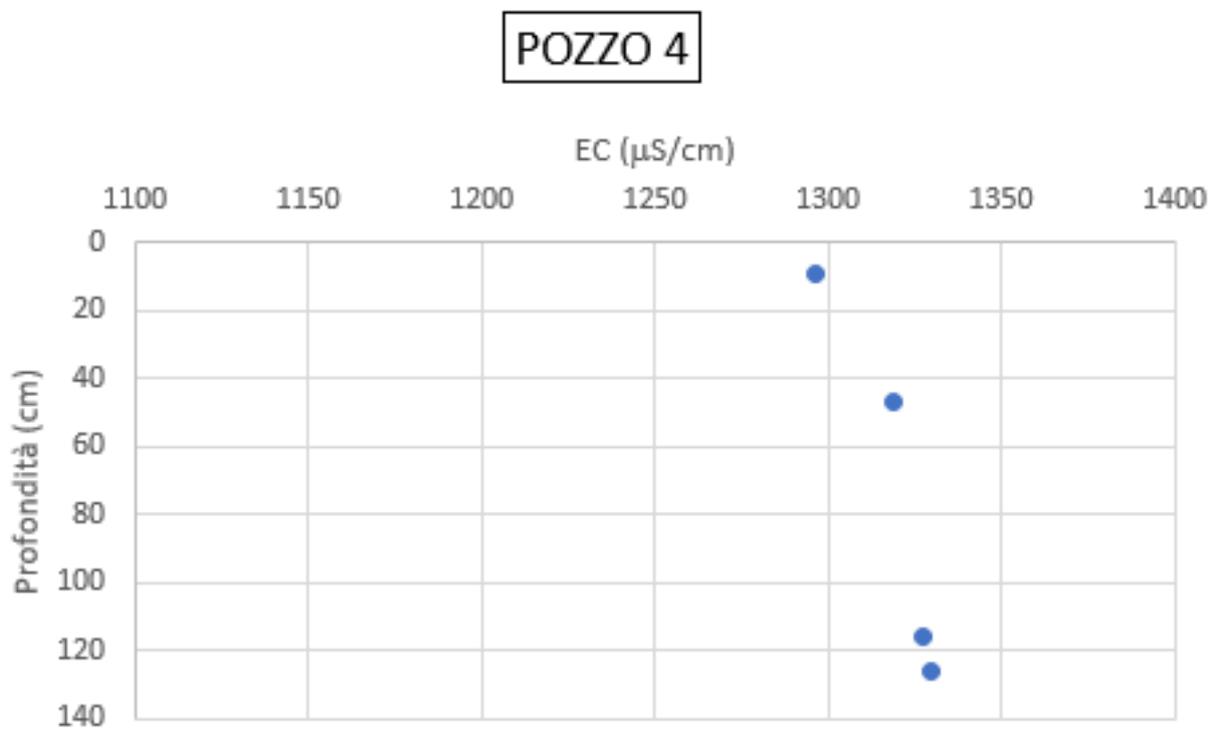


Figura 169. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 4

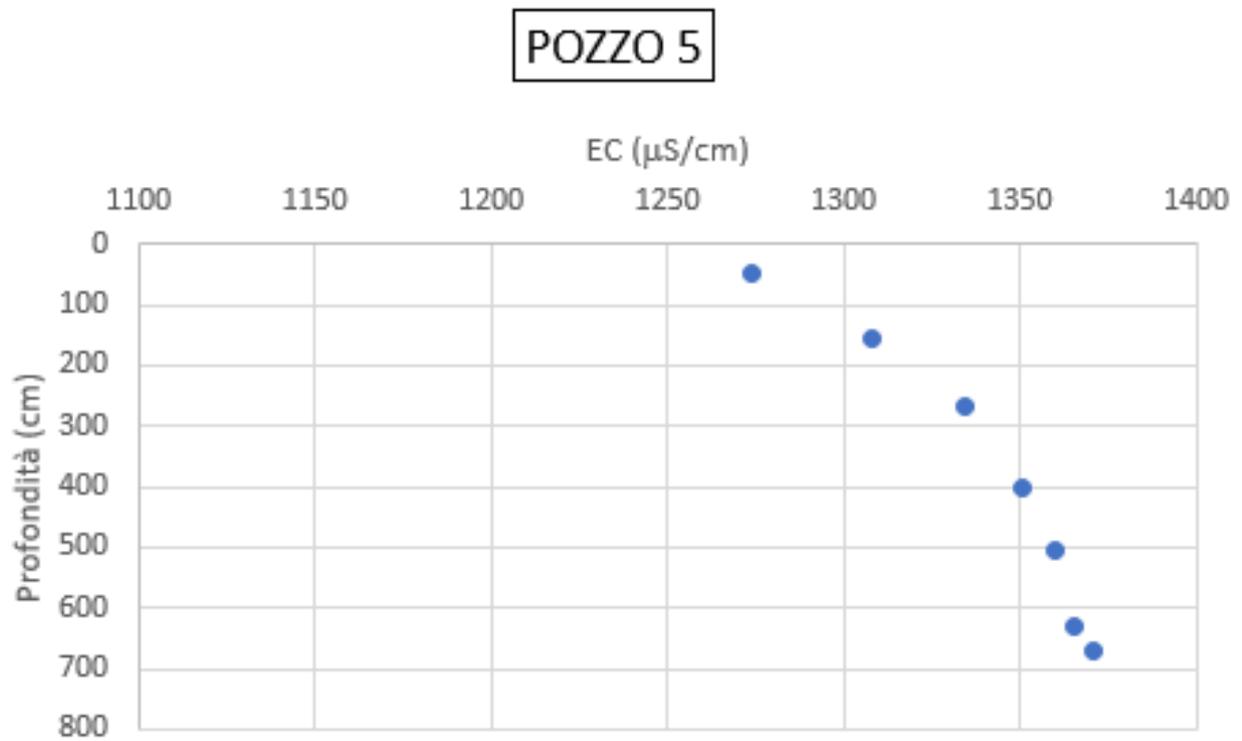


Figura 170. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 5

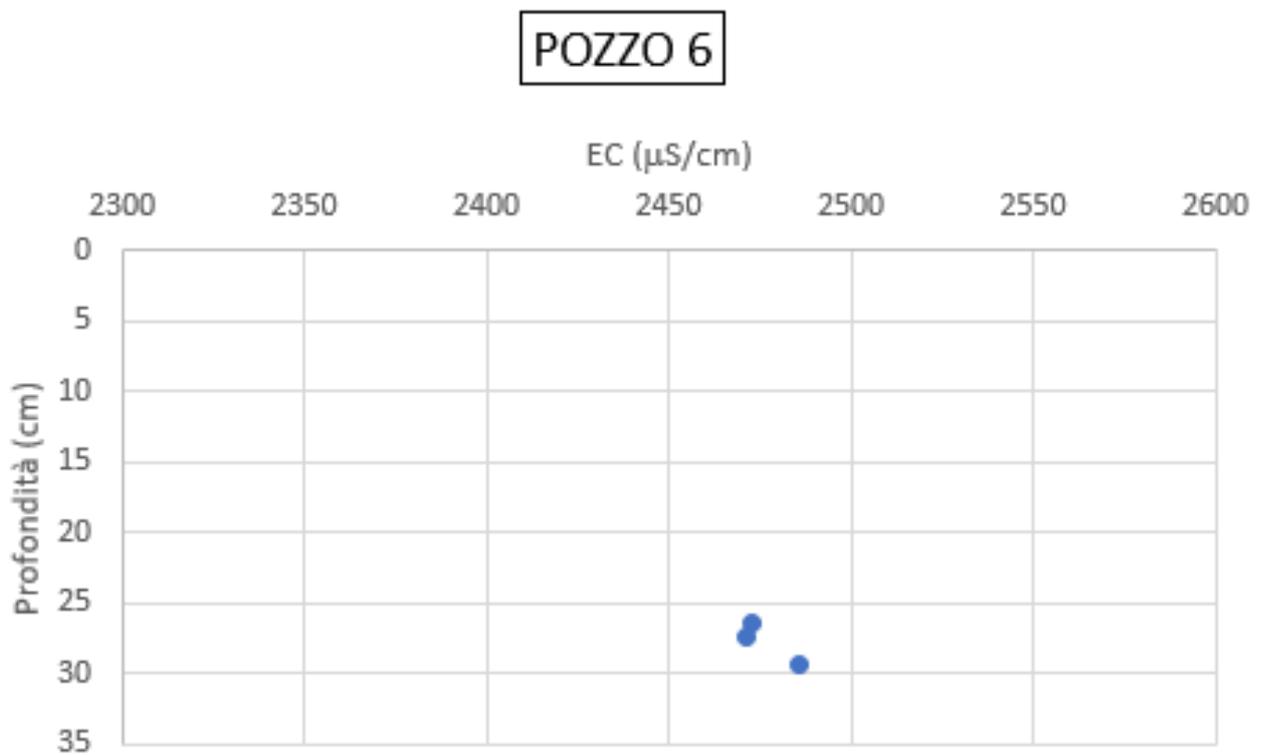


Figura 171. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 6

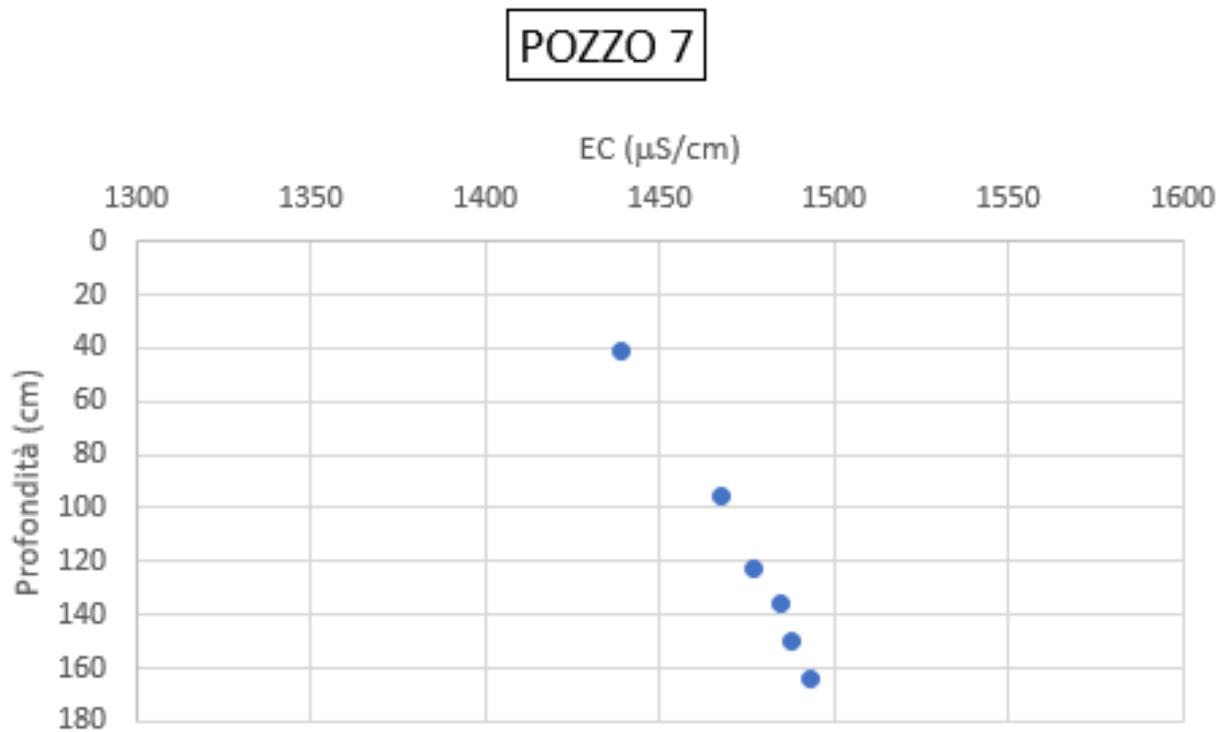


Figura 172. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 7

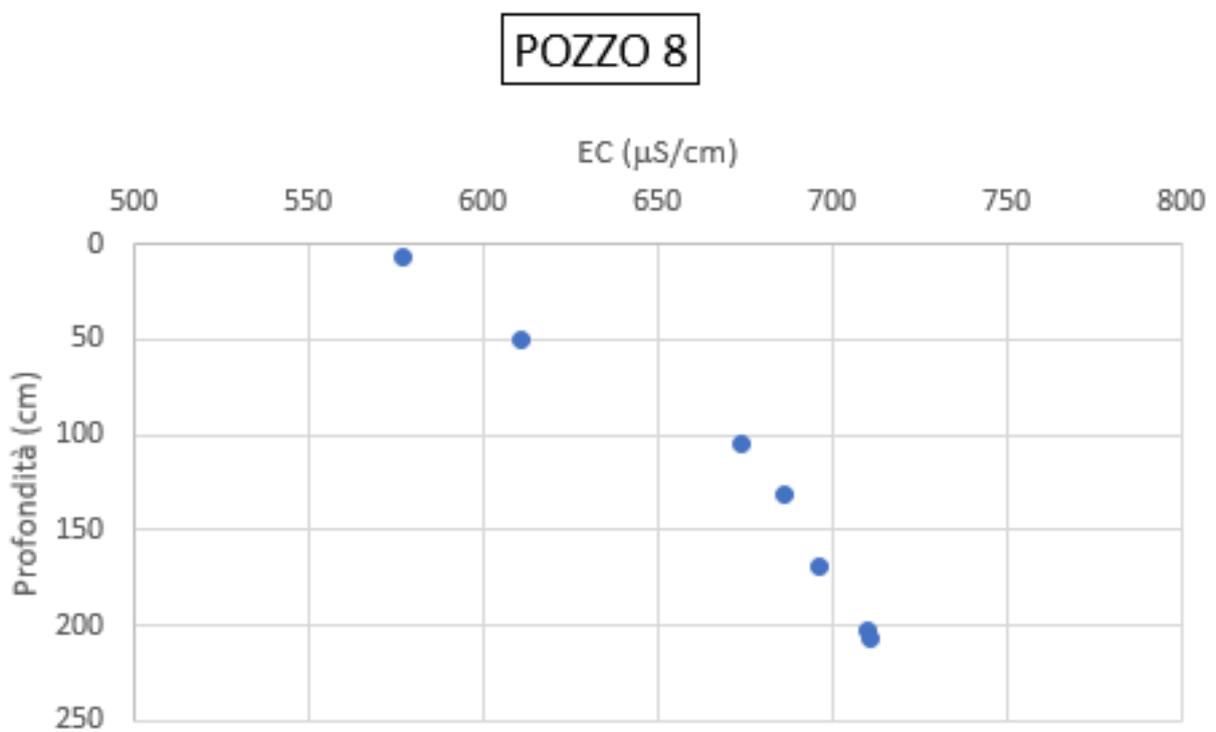


Figura 173. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 8

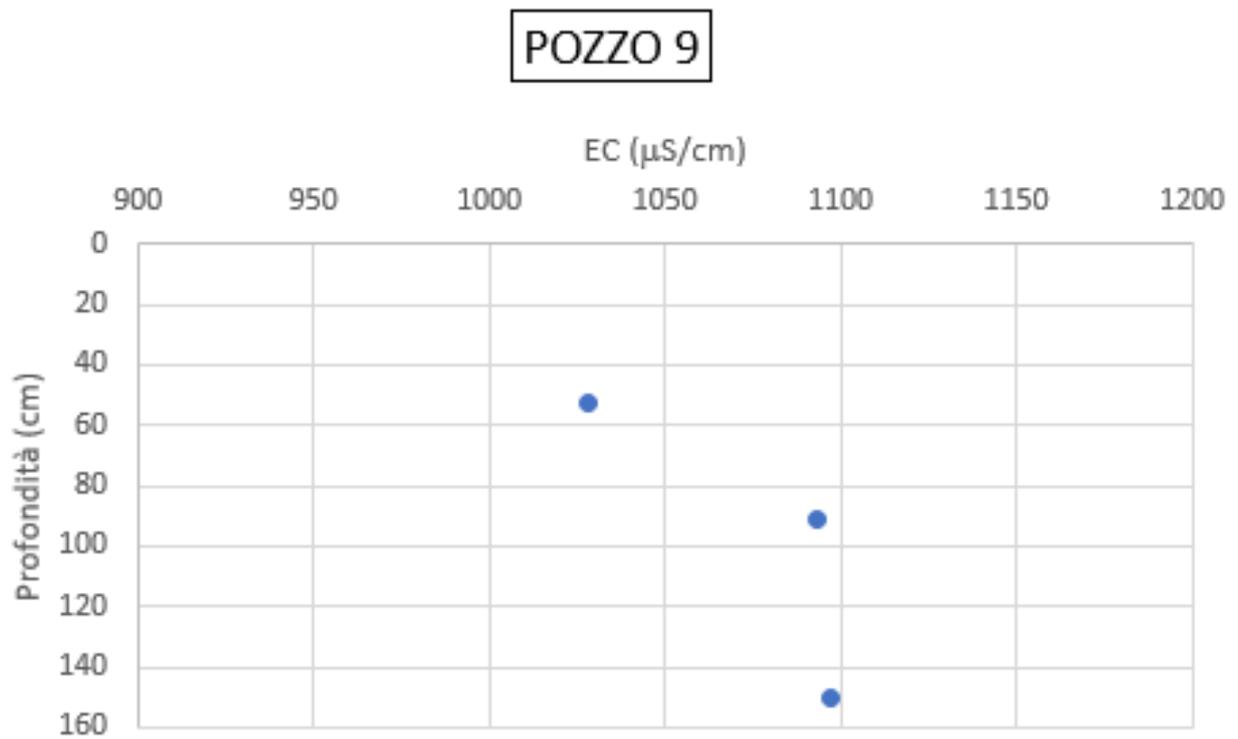


Figura 174. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 9

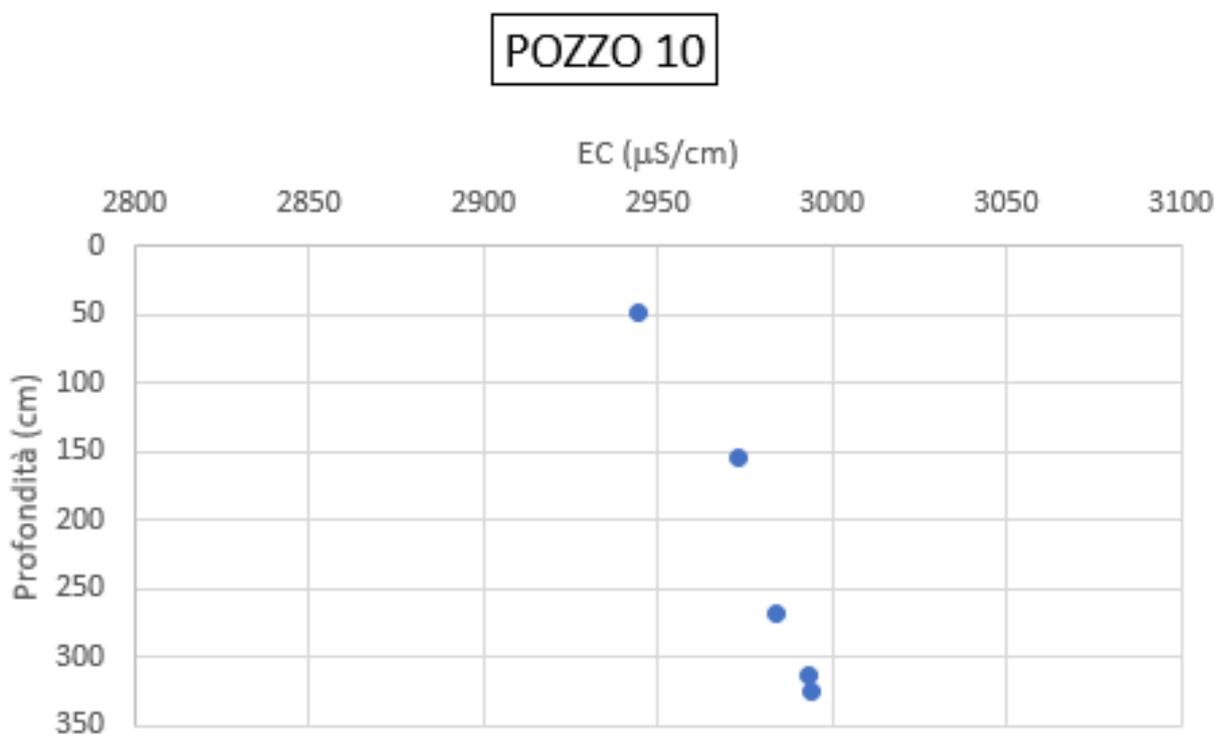


Figura 175. Andamento della conducibilità elettrica con la profondità del POZZO 10

Nei grafici presenti dalla *Fig. 166* alla *Fig. 175* è possibile individuare gli andamenti della conducibilità elettrica all'interno dei vari pozzi nel mese di maggio. Nel POZZO 1, POZZO 2, POZZO 3, POZZO 4, POZZO 7, POZZO 9 e nel POZZO 10 è possibile individuare un andamento lineare crescente con la profondità per un delta massimo corrispondente a circa 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nel POZZO 5 e nel POZZO 8 invece si ha un andamento notevolmente crescente con la profondità con delta rispettivamente di circa 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nel POZZO 6 invece si riscontrano degli andamenti della conducibilità elettrica pressoché costanti con la profondità di campionamento. Confrontando gli andamenti ottenuti a maggio con quelli di marzo si può dedurre che alcuni di essi sono traslati nell'asse delle ascisse. Nel POZZO 1, POZZO 2, POZZO 3 e nel POZZO 4 l'andamento di maggio è coerente con quello del mese di marzo mentre nel POZZO 5 non è rimasto conforme. In questo pozzo la conducibilità elettrica che a marzo ha individuato un andamento costante e intorno ai 1410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nel mese di maggio ha presentato un andamento piuttosto crescente che va dai valori di 1270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a valori di 1370  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , non avendo effettuato le opportune analisi chimiche dell'acqua al suo interno si può ipotizzare che questa non conformità sia data dalla diminuzione delle piogge e quindi una minore diluizione dell'acqua all'interno del pozzo oppure da una minor salinità rilasciata dal terreno dal quale il pozzo stesso emunge. Per quanto riguarda il POZZO 6 l'andamento della conducibilità elettrica è rimasto invariato. Nel POZZO 7 ha subito solamente una traslazione della curva ipotetica di conducibilità elettrica individuata dai puntini diminuendo di una quantità pari a circa 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Il POZZO 8 presenta un andamento coerente in ambedue i mesi. Il POZZO 9 e il POZZO 10, invece presentano nel mese di maggio, come per il POZZO 5, un andamento crescente probabilmente dovuto alle cause descritte in precedenza.

### 5.4.2.3 Analisi dei risultati ottenuti

Dopo aver individuato i valori di conducibilità elettrica e temperatura per ogni pozzo nel mese di maggio allora posso anche fare la media di ogni unità e poi redigere la seguente tabella.

NUMERO	COORDINATE (UTM)		QUOTA	CONDUCIBILITA' ELETTRICA	TEMPERATURA
	N	E			
/			m	$\mu\text{S} / \text{cm}$	$^{\circ}\text{C}$
1	4828308	381259	43,0	927,2	14,5
2	4828048	381661	44,0	986,3	13,3
3	4827956	382141	69,0	1281,7	13,7
4	4827972	382166	71,0	1318,0	14,5
5	4827901	382377	79,0	1337,6	13,8
6	4827865	382745	99,0	2476,7	15,1
7	4828681	380640	28,0	1475,0	15,5
8	4827614	383324	152,0	666,4	14,0
9	4827705	383222	140,0	1072,0	13,2
10	4827832	383014	126,0	2977,6	15,4

Tabella 9. Rappresentazione dei valori medi di temperatura e conducibilità elettrica all'interno di ogni pozzo esaminato

Dalla *Tab. 9* si evince che la temperatura all'interno dei pozzi si aggira intorno alla media di  $14,3^{\circ}\text{C}$  e un delta pari a  $2,2^{\circ}\text{C}$ , con un massimo di  $15,4^{\circ}\text{C}$  registrato nel POZZO 10 ed un minimo di  $13,2^{\circ}\text{C}$  registrati nel POZZO 9. Queste temperature sono di poco sotto la media mensile della provincia di Ancona rappresentate in *Fig. 9* e pari a  $16,3^{\circ}\text{C}$ . Le temperature sono confrontabili nei primi cinque pozzi in quanto si trovano in posizioni molto ravvicinate infatti si ha un delta massimo di  $1,2^{\circ}\text{C}$ . I POZZI 6, 7 e 10 presentano una temperatura simile con delta massimo di  $0,4^{\circ}\text{C}$  nonostante si trovano in posizioni diverse. Nei due pozzi invece situati nella parte superiore dell'area di interesse (ovvero il POZZO 8 e il POZZO 9) la temperatura è conforme se non uguale alla temperatura media dei pozzi presenti e vale rispettivamente  $14,0^{\circ}\text{C}$  e  $13,2^{\circ}\text{C}$ . Analizzando ora la conducibilità elettrica anch'essa oscilla da valori di  $666,4 \mu\text{S}/\text{cm}$  nel POZZO 8 a valori massimi nel POZZO 10 pari a  $2977,6 \mu\text{S}/\text{cm}$  con una media calcolata nei pozzi interni al bacino di

1451,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Questi discostamenti eccessivi dal valore medio e le similitudini di conducibilità tra pozzi diversi sono dovute principalmente alle motivazioni ampiamente descritte al *Paragrafo 5.4.1.3*. È importante ora porre a confronto i valori di temperatura e conducibilità elettrica riscontrati nel mese di maggio rispetto al mese di marzo. Ovviamente si può dedurre già dai valori medi della temperatura che a maggio si ha un incremento medio di circa 2 °C. Le notevoli differenze presentate nell'arco del periodo di indagine si hanno: nel POZZO 8 dove la temperatura media sale di 5,5 °C in quanto questo è dovuto al diametro di notevoli dimensioni e al fatto che il pozzo sia completamente aperto e nel POZZO 1 che anch'esso essendo privo di coperture e avendo una profondità ridotta ed un diametro modesto risente molto delle variazioni di temperatura stagionali con un incremento di 3,2 °C rispetto al mese di marzo. Negli altri pozzi invece l'incremento di temperatura è coerente a quello medio calcolato precedentemente. Per quanto riguarda la conducibilità elettrica si può evidentemente vedere come tutti i valori siano ben distanti dallo standard di acqua potabile (pari a circa 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ed inoltre si individua una diminuzione in tutti i pozzi rispetto al livello di marzo ad esclusione del pozzo numero 6. Il decremento medio registrato nei pozzi rimanenti è pari a 30,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  rispetto al mese di marzo. Il pozzo che presenta una differenza massima di 69,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tra i valori di marzo e quelli di maggio è il POZZO 5 mentre quello che presenta una differenza minima è il POZZO 9 pari a 13,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nel POZZO 6 invece si riscontra un aumento della conducibilità elettrica nel mese di maggio rispetto al mese di marzo pari a 96  $\mu\text{S}/\text{cm}$  perché essendo collocato in un versante, non in linea d'asse con il drenaggio del bacino e quindi come già descritto la sua acqua è influenzata dalla salinità della formazione dei Colombacci dalla quale emunge. Inoltre, essendo un pozzo abbastanza coperto dalla vegetazione risente molto poco dell'influenza dell'acqua piovana e quindi del suo effetto diluente. Si può dedurre quindi che la conducibilità elettrica all'interno della maggior parte dei pozzi presenti nel bacino analizzato diminuisce all'aumentare della temperatura e in funzione delle precipitazioni che ricadono all'interno del bacino. Inoltre dall'analisi

dei risultati ottenuti dalle due campagne si deduce che la temperatura della falda segue l'andamento della temperatura atmosferica stagionale

## 5.5 Curve granulometriche

Si elencano qui di seguito le curve granulometriche ottenute dalla setacciatura per la parte di terreno più grossolana (sabbie e ghiaie), ovvero la frazione trattenuta al setaccio con apertura delle maglie pari a 0,075 mm, e dall'aerometria o sedimentazione per la parte di terreno a grana fine (limi e argille) ossia la frazione passante al setaccio sopraelencato redatte con le modalità del *Paragrafo 4.2.3.4*. Si rimanda all'indagine svolta ed esaminata più dettagliatamente per ogni singola litologia presente nel bacino analizzato nella tesi di laurea "Caratterizzazione geomeccanica delle coperture e proprietà geologiche dei terreni in zona Ancona" (Crocetti, 2021). Si mostrano nel seguente paragrafo tutte le curve granulometriche (sia per la frazione fine che per la frazione grossolana) ottenute dall'analisi di tre campioni prelevati a profondità diverse con la metodologia elencata al *Paragrafo 4.2.1.3* dalla litologia sulla quale ricadono i pozzi elencati in precedenza, quindi prendiamo in esame solamente quella a ridosso del letto del Torrente Miano cioè il terreno alluvionale costituente l'acquifero principale.

### 5.5.1 Frazione grossolana

Vengono ora illustrate le varie curve che rappresentano la distribuzione granulometrica e quindi le dimensioni dei grani del provino prelevato rispettivamente a profondità di circa 10-20 cm, 50-60 cm e 80-90 cm in funzione della possibilità che si ha di penetrare in profondità con la trivella a mano.

Nella *Tab. 10* vengono inseriti i dati di input al foglio di calcolo corrispondenti alle percentuali di passante ad ogni setaccio della specifica serie utilizzata. Queste percentuali sono ottenute inoltre calcolando il peso del trattenuto e dalla sua

sottrazione al peso totale del provino analizzato e poi portandolo in percentuale in modo da inserirlo in tabella.

SERIE 1 (ASTM)		SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]	d [mm]	P [%]
8		3,36	
4		2	
2,8		1,4	
2		1	
1		0,71	
0,71		0,355	
0,425		0,25	
0,25		0,125	
0,149		0,063	
0,075			

*Tabella 10. Serie di setacci utilizzati (normati ASTM)*

Nelle *Tab. 11*, *Tab. 12* e *Tab. 13* vengono elencati tutti i vari dati di input al foglio di calcolo Excel per poi poter redigere le curve mostrate dalla *Fig. 176* alla *Fig. 178* rispettivamente per i tre provini prelevati a profondità diverse.

Provino prelevato a 10-20 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,25
2,8	98,41
2	98,07
1	97,38
0,71	96,84
0,425	96,29
0,25	95,77
0,149	94,86
0,075	92,79

Tabella 11. Serie utilizzata e rispettivi passanti

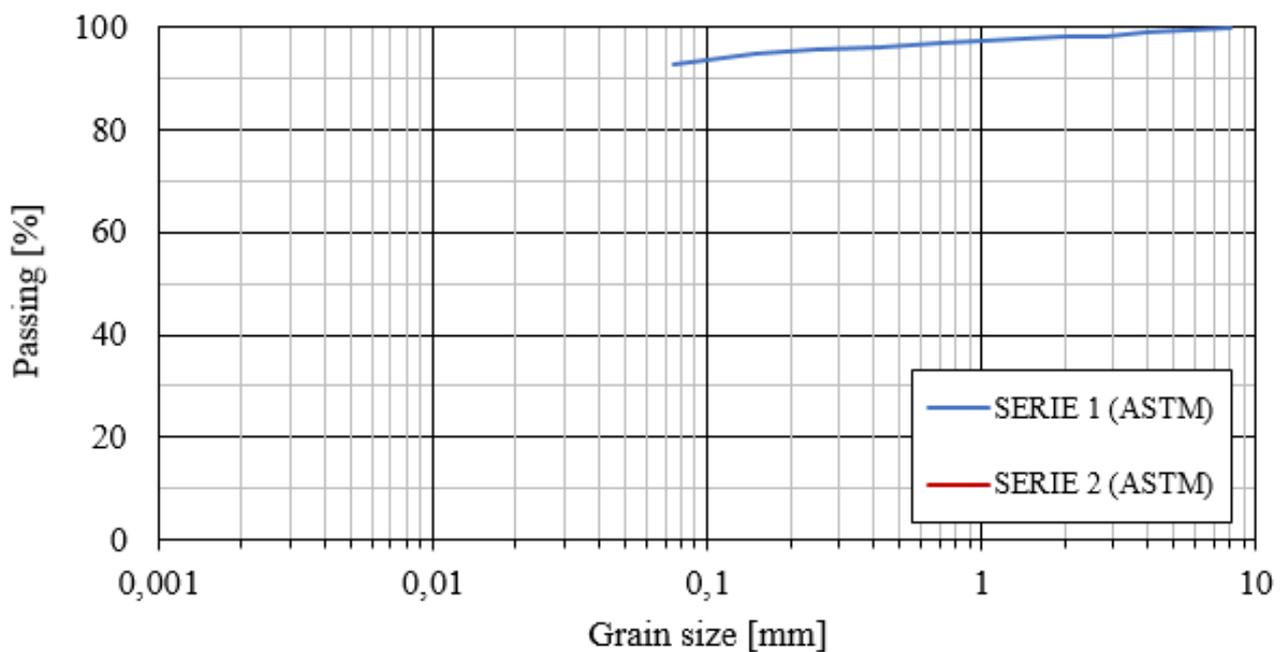


Figura 176. Curva granulometrica della frazione grossolana corrispondente al provino prelevato a 10-20 cm di profondità

Provino prelevato a 40-50 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,28
2,8	98,02
2	97,31
1	96,38
0,71	95,79
0,425	95,07
0,25	94,32
0,149	93,20
0,075	91,04

Tabella 12. Serie utilizzata e rispettivi passanti

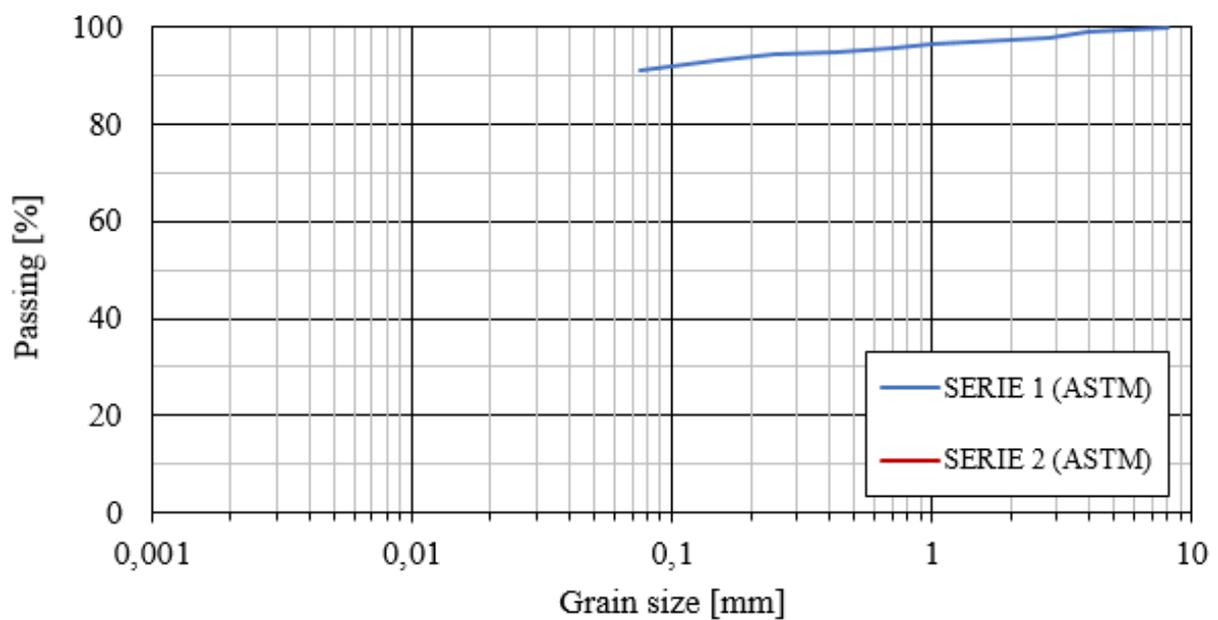


Figura 177. Curva granulometrica della frazione grossolana corrispondente al provino prelevato a 50-60 cm di profondità

Provino prelevato a 80-90 cm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	99,10
2	98,53
1,4	98,19
1	97,86
0,71	97,49
0,355	96,59
0,25	96,08
0,125	94,34
0,063	92,31

Tabella 13. Serie utilizzata e rispettivi passanti

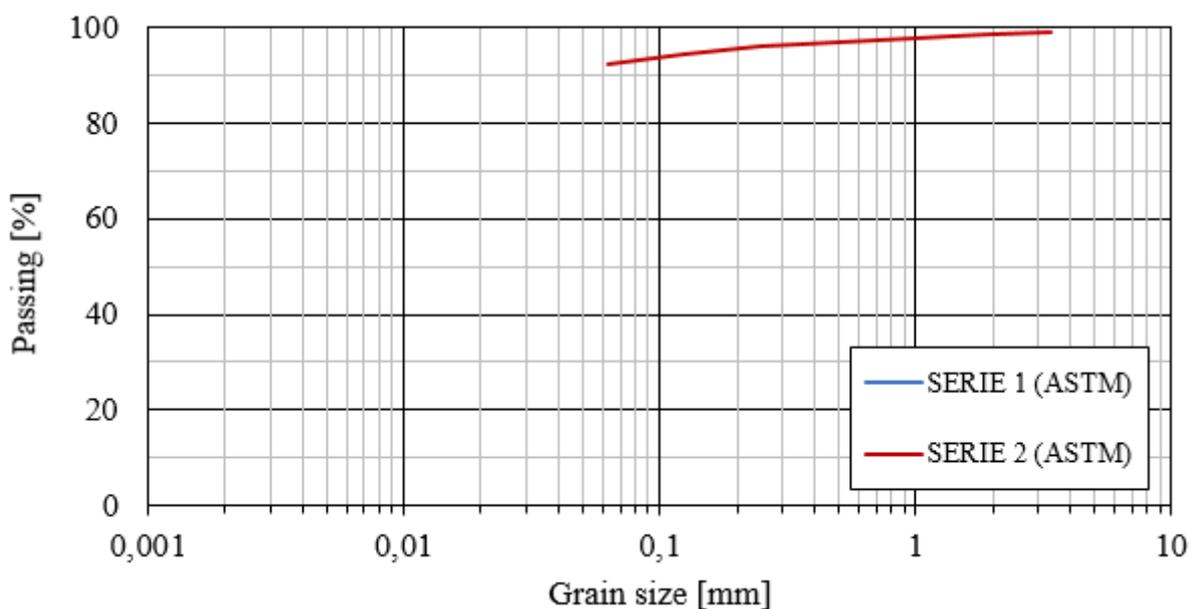


Figura 178. Curva granulometrica della frazione grossolana corrispondente al provino prelevato a 80-90 cm di profondità

Questi grafici sono costruiti inserendo nell'asse delle ordinate le varie percentuali di passante ai setacci utilizzati in percentuale, mentre in ascissa va messa l'apertura delle maglie dei setacci utilizzati in mm ottenendo così le curve mostrate sopra. Da queste ultime si può notare come il passante ai setacci per la frazione grossolana dei

tre provini prelevati a profondità diverse è elevato, sempre maggiore del 90%, il che vuol dire che ci sia poco trattenuto e quindi che il terreno analizzato presenta prevalentemente una frazione fine, ciò rispecchia inoltre anche la permeabilità media determinata dalle varie prove infiltrometriche dei tre tipi di terreni alluvionali che si presenta relativamente bassa dell'ordine di  $10^{-6}$ . Potendo ora confrontare solamente le prime due curve perché effettuate entrambe con la stessa serie di setacci, dalle percentuali di passante si può notare come la frazione fine sia più presente nella parte superficiale della coltre alluvionale piuttosto che in corrispondenza dei 50-60 cm di profondità.

### 5.5.2 Frazione fine

Ora è possibile individuare la curva granulometrica ricavata dalla sedimentazione o dall'aerometria che rappresenta le dimensioni della frazione fine ossia quella passante al setaccio di apertura 0,075 mm rispettivamente per i provini prelevati alle tre diverse profondità individuando così i quantitativi di limi e argille presenti nella litologia analizzata.

Le *Tab. 14*, *Tab. 15* e *Tab. 16* sono utilizzate per l'inserimento delle letture fatte sul densimetro come descritto al *Paragrafo 4.2.2.2* al fine di fornire dati di input al foglio di calcolo Excel per poi redigere le curve mostrate in *Fig. 179*, *Fig. 180* e *Fig. 181*.

Provino prelevato a 10-20 cm

152H	1						
Reading number during sedimentation test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	58,0	19,9	5,0	7,5	0,0506	85,5
2	1,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0370	80,6
3	2,0	53,0	19,9	5,0	8,3	0,0267	77,4
4	4,0	50,0	19,9	5,0	8,8	0,0194	72,6
5	15,0	44,0	19,9	5,0	9,8	0,0106	62,9
6	45,0	40,0	19,9	5,0	10,4	0,0063	56,4
7	120,0	35,0	19,9	5,0	11,3	0,0040	48,4
8	240,0	32,0	19,9	5,0	11,8	0,0029	43,5
9	1440,0	24,0	19,7	5,1	13,1	0,0012	30,5
10	2880,0	24,0	20,1	5,0	13,1	0,0009	30,7
11	8640,0	20,0	20,7	4,8	13,7	0,0005	24,6
12				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
13				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
14				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
15							

Tabella 14. Tabella dei dati in input (intervallo di tempo della lettura, lettura e temperatura della vasca termostatica)

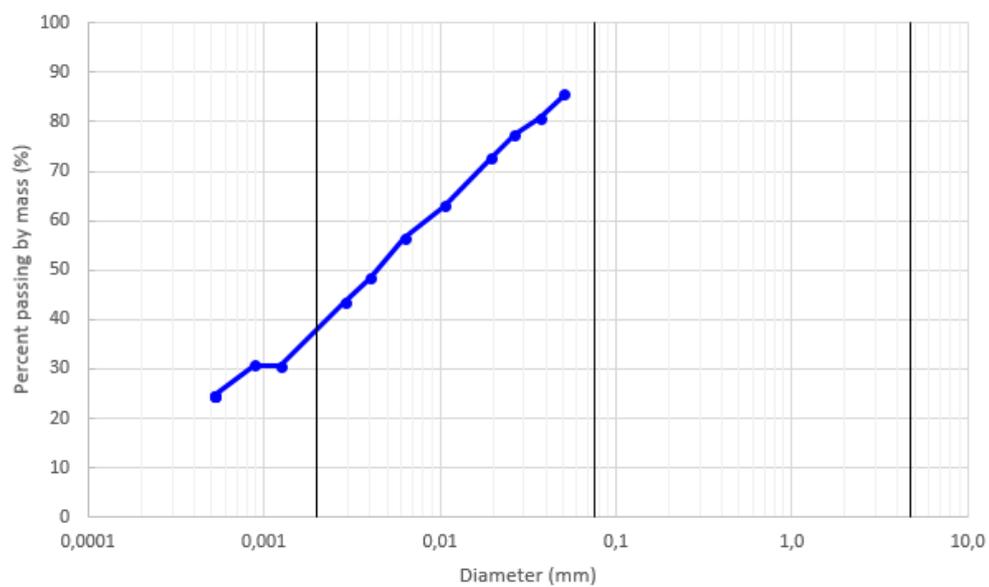


Figura 179. Curva granulometrica della frazione fine passante al setaccio n° 200 per il provino prelevato ad una profondità di 10-20 cm

Provino prelevato a 50-60 cm

152H	2						
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	58,0	19,9	5,0	7,5	0,0506	85,5
2	1,0	57,0	19,9	5,0	7,6	0,0362	83,9
3	2,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0261	80,6
4	4,0	53,0	19,9	5,0	8,3	0,0189	77,4
5	15,0	47,0	19,9	5,0	9,3	0,0103	67,7
6	45,0	42,0	19,9	5,0	10,1	0,0062	59,7
7	120,0	37,0	19,9	5,0	10,9	0,0040	51,6
8	240,0	34,0	19,9	5,0	11,4	0,0029	46,7
9	1440,0	29,0	19,7	5,1	12,3	0,0012	38,6
10	2880,0	27,0	20,1	5,0	12,6	0,0009	35,6
11	8640,0	25,0	20,7	4,8	12,9	0,0005	32,6
12				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
13				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
14				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
15							

Tabella 15. Tabella dei dati in input (intervallo di tempo della lettura, lettura e temperatura della vasca termostatica)

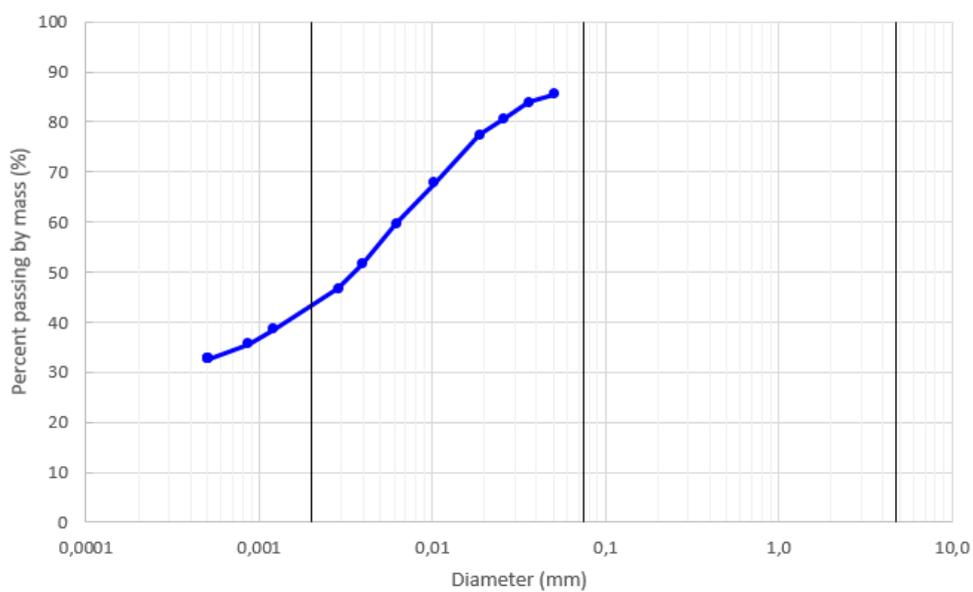


Figura 180. Curva granulometrica della frazione fine passante al setaccio n° 200 per il provino prelevato ad una profondità di 50-60 cm

Provino prelevato a 80-90 cm

152H		3					
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	60,0	19,9	5,0	7,1	0,0495	88,7
2	1,0	57,0	19,9	5,0	7,6	0,0362	83,9
3	2,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0261	80,6
4	4,0	52,0	19,9	5,0	8,4	0,0191	75,8
5	15,0	46,0	19,9	5,0	9,4	0,0104	66,1
6	45,0	42,0	19,9	5,0	10,1	0,0062	59,7
7	120,0	37,0	19,9	5,0	10,9	0,0040	51,6
8	240,0	35,0	19,9	5,0	11,3	0,0028	48,4
9	1440,0	29,0	19,7	5,1	12,3	0,0012	38,6
10	2880,0	27,0	20,1	5,0	12,6	0,0009	35,6
11	8640,0	26,0	20,7	4,8	12,7	0,0005	34,3
12				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
13				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
14				8,4	17,0	#DIV/0!	-13,6
15							

Tabella 16. Tabella dei dati in input (intervallo di tempo della lettura, lettura e temperatura della vasca termostatica)

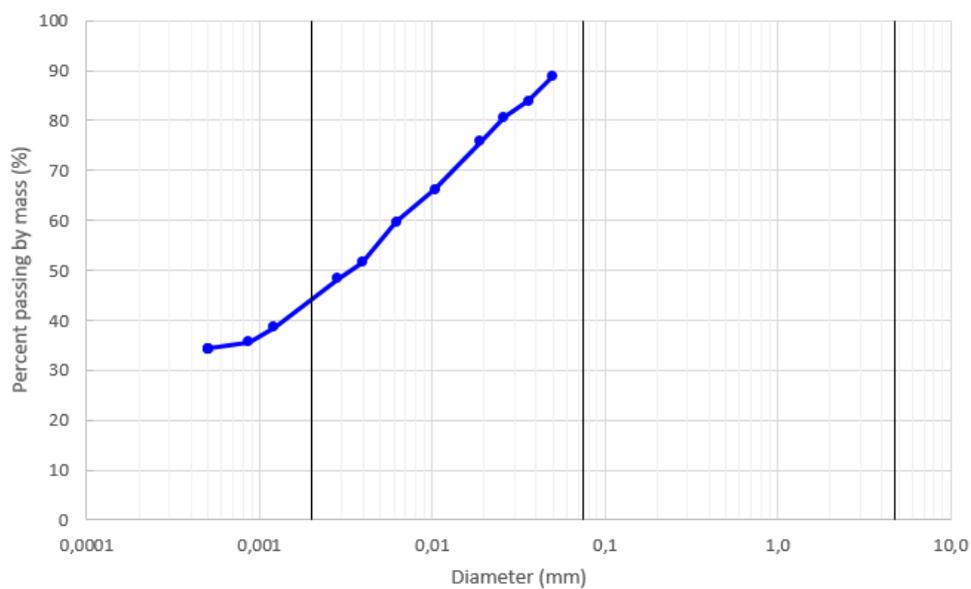


Figura 181. Curva granulometrica della frazione fine passante al setaccio n° 200 per il provino prelevato ad una profondità di 80-90 cm

Nei grafici rappresentati dalla *Fig. 179* alla *Fig. 181* la seconda linea nera partendo da sinistra individua l'apertura del setaccio n° 200 ovvero 0,075 mm mentre la linea che collega i punti all'interno del grafico sta ad indicare la curva granulometrica della frazione fine. Da questi possiamo evincere che in tutti e tre i provini prelevati a profondità diverse il terreno alluvionale presenta prevalentemente diametri minori di 0,075 mm e quindi questa è una condizione necessaria affinché la permeabilità del terreno non sia troppo elevata come è dimostrato dalle prove infiltrometriche.

## **6. Appendice**

[ALLEGATO A] – Carta isopiezometrica con modello falda 2D

[ALLEGATO B] – Digitalizzazione dei sondaggi geognostici ricadenti nel bacino

## 7. Conclusioni

I risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati ricavati dalle diverse campagne che compongono l'indagine effettuata sul bacino del Torrente Miano sono stati fondamentali per capire la correlazione presente tra le acque superficiali e quelle sotterranee. È stato dimostrato come l'influenza delle precipitazioni, più o meno presenti durante il periodo di svolgimento dell'indagine, possa dare un contributo per quanto riguarda l'incremento del livello del Torrente Miano in funzione dell'innalzamento o dell'abbassamento del livello di falda. Dunque, la permeabilità, ricavata dalle varie prove infiltrometriche, è fondamentale per capire quali litologie e quindi quale parte del bacino potrebbe assorbire acqua derivante da fenomeni meteorologici intensi per poi trasferirla tramite deflusso sotterraneo al torrente stesso causando a volte delle vere e proprie catastrofi, come successe nel 1959 proprio nell'area presa in esame. Al fine di evitare il ripetersi dell'accaduto è stato continuato in modo attivo questo monitoraggio da parte di alcuni studenti dell'Università Politecnica delle Marche nel periodo compreso tra i mesi di marzo e giugno con l'obiettivo di tenere sotto un costante controllo il livello della falda presente all'interno del bacino. Al termine di questo, seppur breve ma intenso periodo di indagini, si è potuta ricavare per prima cosa l'umidità delle varie litologie presenti all'interno del bacino e confrontarla in funzione dei due periodi di campionamento. Si è dedotto quindi che con il riscaldamento della temperatura atmosferica, l'umidità nel terreno diminuisce in parte a causa all'evaporazione e in parte a causa dello scorrimento dei flussi sotterranei verso valle, i quali diminuiscono i valori del contenuto d'acqua del terreno stesso. Poi è stata calcolata e analizzata la permeabilità delle varie litologie tramite le prove infiltrometriche in modo da individuare quelle più permeabili e quelle meno, inoltre si è studiata quale tra le formazioni presenti potrebbero contribuire all'incremento del livello del torrente tramite l'instaurarsi di moti di filtrazione sotterranei. Successivamente, dopo aver campionato i pozzi agibili in prossimità del corso d'acqua è stata redatta una carta che permette l'individuazione delle linee isopiezometriche al variare del tempo, in funzione quindi dell'assetto

meteorologico della regione Marche, in particolar modo della Provincia di Ancona. Vengono quindi individuate principalmente due zone: una nella parte della sorgente del corso d'acqua dove il livello della falda nel mese di marzo si trova più in alto rispetto a quello del mese di maggio e la seconda zona che va dalla media pianura alluvionale alla foce, la quale mostra come il livello della falda a maggio è più alto rispetto a quello di marzo. Questa carta ha permesso anche di capire la direzione, e quindi il movimento, dei flussi d'acqua negli acquiferi presenti sotto il terreno e in che punti il corso d'acqua potrebbe manifestare fenomeni di esondazione in seguito a eventi di carattere temporalesco. Si è dedotto inoltre che il bacino, essendo in gran parte collocato in prossimità di versanti in frana, potrebbe essere soggetto ad un elevato rischio idrogeologico che porterebbe alla formazione di colate di fango e detriti dannose per i centri abitati. È stato possibile dimostrarlo anche grazie all'elevata permeabilità del corpo in frana che alimenta piuttosto velocemente la falda sottostante, dando origine ad un flusso idrico sotterraneo che va a collegarsi nella parte terminale del torrente analizzato. Questa procedura di filtrazione piuttosto notevole che si innesca sul corpo franoso del bacino è risultata possibile individuarla anche nelle altre litologie in quanto la permeabilità ricavata non è bassissima e non si hanno aquiclude ma soprattutto presenza di acquiferi che seppur in minima parte contribuiscono all'alimentazione del corso d'acqua. Per ultima cosa è stato anche monitorato l'andamento della conducibilità e della temperatura all'interno dei pozzi ricadenti nei pressi del corso d'acqua. Da quest'analisi si è dedotto come la temperatura della falda varia in funzione della temperatura atmosferica e come la conducibilità varia in base al tipo di acquifero e alla sua salinità da dove il pozzo emunge. Per l'esecuzione di un monitoraggio futuro e di un'ottima previsione di eventi indesiderabili sarebbe ideale controllare costantemente i parametri ricavati dalle indagini svolte in questi mesi, anche attraverso l'aiuto di appositi software automatici che permettono un controllo in continuo dell'andamento delle precipitazioni nel tempo, strumentando il piccolo bacino con appositi pluviometri e con dei piezometri (possibilmente elettronici) che sono ulteriori strumenti utili ai fini

della misurazione del carico idraulico della falda ad una certa profondità, con la possibilità di fornire in tempi più brevi la ricostruzione della piezometrica della falda stessa, cioè la superficie lungo la quale la pressione dell'acqua è pari a quella atmosferica. Tramite l'utilizzo di queste apparecchiature è così possibile effettuare una previsione sul possibile andamento del livello della falda sotto il bacino in esame che generalmente da quanto emerso dall'indagine appena realizzata cresce nei mesi estivi, dovuto al fatto che in precedenza l'acquifero ha subito una ricarica mentre si abbassa nei mesi successivi all'estate in quanto quest'ultima è considerata una stagione piuttosto asciutta. Inoltre, continuando il monitoraggio anche con l'esecuzione delle prove infiltrometriche è possibile tenere sotto controllo le variazioni di permeabilità delle varie litologie presenti, risultando fondamentale anche per l'individuazione e la previsione dei possibili flussi idrici che avvengono sotto il terreno e che non sono visibili superficialmente. Da questo studio si deduce quindi che in caso di forti piogge a carattere temporalesco il bacino potrebbe essere soggetto ad un elevato rischio idrogeologico dovuto all'innalzamento del livello della falda nei pressi del torrente con conseguente eccessiva alimentazione dello stesso e forte instabilità dei versanti; per far sì che ciò non si verifichi si tiene conto degli effetti previsionali garantiti da un ottimo monitoraggio in continuo.

## 8. Bibliografia

Pinna M. (1978) - L'atmosfera e il clima, p. 478

Amici M., Spina R. (2002) – Campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche per il periodo 1950 – 2000, Regione Marche.

F. Acquotta, S Fratianni (2017) - Landscapes and landforms of Italy

Cantù V. (1977) - The climate of Italy. In: Wallén CC (ed) Climate of central and southern Europe. vol 6, pp 127–184

Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2006) Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series. In J. Clim 26: p. 345–381

Bugarini S. & Romagnoli R. (2014) - Climatologia dell'area Medio-Adriatica: l'influenza del Monte Conero

Centamore E. & Miccarelli A. (1991) – Stratigrafia. In L'ambiente fisico delle marche. Regione Marche-Giunta Regionale, Assessorato Urbanistica-Ambiente, S.E.L.C.A., Firenze, 5-58

Parisi G. & Montanari A. (2000) – Progetto CARG – ISPRA

Centamore E., Calamita F., Deiana G., Miccarelli A. (1986) – Evoluzione tettonico – sedimentaria dell'area umbro – marchigiana dal Trias al Pleistocene. Studi Geologici Camerti, vol. spec. “La Geologia delle Marche”, p. 86 – 90

Bigi S., Centamore E., Nisio S. (1996) – Caratteri geologico – strutturali dell'area pedeappenninica marchigiano – abruzzese durante il Pleistocene. Studi Geologici Camerti, XIV, pp. 193 – 200

Chelli S., Wellstein C., Campetella G., Canullo R., Tonin R., Zerbe S., Gerdol R. (2017) - Climate change response of vegetation across climatic zones in Italy

Cantalamesa G., Casnedi R., Centamore E., Chiocchini U., Colalongo M.L., Crescenti U., Micarelli A., Nanni T., Pasini G., Potetti M., Ricci Lucchi F. (con la collaborazione di AGIP, Cristallini C. & Di Lorito R.) (1986) – Il Plio - Pleistocene marchigiani – abruzzese. 73° Congr. Soc. Geol. It., Dip. Scienze della Terra, Università di Camerino, Guida alle escursioni del 7 – 10 ottobre.

Crescenti U., (1972) – Sulla deviazione dei fiumi adriatici marchigiani. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. 7, pp. 45 – 55.

Baiocchi A., Lotti F., Piscopo V., Rocchetti I. (2008) – Interazione tra acque sotterranee e fiume Marta (Italia centrale) e problematiche connesse con la determinazione del deflusso minimo vitale. In conclusioni, p. 54

Nanni T., Vivalda P. (1986a) – Caratteri idrogeologici schematici delle falde di subalveo e delle unità arenacee plio – pleistoceniche nelle Marche. Mem. Soc. Geol. It., vol. 35, pp. 957 – 978.

Nanni T., Vivalda P. (1986b) – Inquadramento idrogeologico ed influenza della tettonica sugli acquiferi di subalveo delle pianure marchigiane. Studi Geol. Camerti, vol. spec., pp. 105 – 131.

Coltorti M., Nanni T. (1987) – La bassa Vallesina: geomorfologia, idrogeologia, neotettonica. Boll.Soc.Geol.It., vol. 106, pp. 35 – 51.

Tazioli A., Nanni T., Vivalda P. (2013) - Problems in the application of environmental isotopes to the hydrogeology of high mountain aquifers. In Lithostructural and hydrogeological setting, p. 58

Cantalamesa G., Casnedi R., Centamore E., Chiocchini U., Colalongo M.L., Crescenti U., Micarelli A., Nanni T., Pasini G., Potetti M., Ricci Lucchi F. (con la collaborazione di AGIP, Cristallini C. & Di Lorito R.) (1986) – Il Plio – Pleistocene marchigiani – abruzzese. 73° Congr. Soc. Geol. It., Dip. Scienze della Terra, Università di Camerino, Guida alle escursioni del 7 – 10 Ottobre.

Coltorti M., Nanni T. (1983) – Hydrogeology and neotectonics of the lower Esino basin. Paper of the Int. Conf. Groundwater and Man, 3 - 9 december, Sydney

Coltorti M., Nanni T. (1987) – La bassa Vallesina: geomorfologia, idrogeologia, neotettonica. Boll.Soc.Geol.It., vol. 106

La Vigna F. (2013) - Idrogeologia e protezione civile, cosa dovrebbe voler dire “rischio idrogeologico”

Ugolini M. (2012) - Dissesto idrogeologico in Italia: calamità o insipienza umana?

Tagnani C., Sini F., Pellegrini M. (2014) - Un GIS per la valutazione della vulnerabilità idrogeologica di un bacino della Regione Marche - mediaGEO - Open Conference Systems, Atti della 15<sup>a</sup> Conferenza Italiana Utenti Esri

Pialli P. (1969a) – Un episodio marnoso del Lias superiore nel bacino Umbro-Marchigiano: Le marne del M. Serrone

Castany G. (1985) - Idrogeologia, principi e metodi. Dario Flaccovio Editore

Rapporto ISPRA & Catenacci V. (1992) - Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990. In 5-6 settembre 1992, p. 134

Bisci C. & Dramis F. (1991) - La Geomorfologia delle Marche. In: Minetti A., Nanni T., Perilli F., Polonara L. & Principi M. (Eds.), L'Ambiente Fisico delle Marche. Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia. Regione Marche, Giunta Regionale, Assessorato Urbanistica-Ambiente, pp. 81-113

Nanni T. & Vivalda P. (1987) - Influenza della tettonica trasversale sulla morfogenesi delle pianure alluvionali marchigiane

Di Matteo L., Dragoni W., Pierucci L., Valigi D. (2006) - Studio idrogeologico e climatico del bacino del lago di Montedoglio (F. Tevere, Arezzo – Italia Centrale) In Giornale di Geologia Applicata 3, Bilancio idrogeologico

Celico P. (1986) - PROSPEZIONI IDROGEOLOGICHE. VOL. 1-2 Casa editrice Liguori

Braca G., Bussetini M., Lastoria B., Mariani S., Piva F. (2021) - Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 339/21, Roma

Pippa G. S. (1998) - Generazione di un DTM da immagini telerilevate per l'applicazione di modelli idrologici afflussi-deflussi e definizione di aree perfluviiali a rischio di inondazione

Salemi E., Tessari U., Mastrocicco M., Colombani N. (2009) - Implementazione di un metodo di separazione granulometrica gravitazionale – ECOMONDO: XIII Fiera internazionale del recupero di materia ed energia e dello sviluppo sostenibile

Sciarra N., Alessandrini G., Boccarossa S. (1985) – Cartografia geologico-tecnica ai fini urbanistici del territorio del comune di Ancona. In: Censimento dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano

Colombo P. & Colleselli F. (2004) – Elementi di Geotecnica, Editore: Zanichelli, terza edizione. in cap. 3.1 e 11.2

Lughezzani F., Princivalle D. (2018) – Clippy per nuova ECDL. In cap. 4 pp.275

Crocetti A. (2021) - Caratterizzazione geomeccanica delle coperture e proprietà geologiche dei terreni in zona Ancona

Osimani F. (2021) – Analisi e valutazione del rischio da frana nel bacino del T. Miano: redazione della carta geomorfologica di dettaglio

## 9. Sitografia

[www.ambiente.regione.marche.it](http://www.ambiente.regione.marche.it)

[www.assam.it](http://www.assam.it)

[www.climate-dat.org](http://www.climate-dat.org)

[www.autoritabacino.marche.it](http://www.autoritabacino.marche.it)

[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

[www.protezione.civile.regione.marche.it](http://www.protezione.civile.regione.marche.it)

[www.regione.marche.it](http://www.regione.marche.it)

[www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

[www.vigilidelfuoco.tv](http://www.vigilidelfuoco.tv)

[www.treccani.it](http://www.treccani.it)

[www.chimica-online.it](http://www.chimica-online.it)

[www.gslunense.it](http://www.gslunense.it)

[www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)

[www.modis.gsfc.nasa.gov](http://www.modis.gsfc.nasa.gov)

[www.aquasearch.it](http://www.aquasearch.it)

[www.catalogo.abctools.it](http://www.catalogo.abctools.it)

[www.stanley.com](http://www.stanley.com)

[www.ecosearch.info](http://www.ecosearch.info)

[www.borgione.it](http://www.borgione.it)

[www.chimica.instruments.it](http://www.chimica.instruments.it)

[www.packservices.it](http://www.packservices.it)

[www.biosigma.it](http://www.biosigma.it)

[www.rs-online.com](http://www.rs-online.com)

[www.geass.com](http://www.geass.com)

[www.aato2.marche.it](http://www.aato2.marche.it)

[www.apps.apple.com](http://www.apps.apple.com)

[www.oppo.it](http://www.oppo.it)

[www.sigmaprecision.it](http://www.sigmaprecision.it)

[www.riels.it](http://www.riels.it)

[www.lightinthebox.com](http://www.lightinthebox.com)

[www.colaver.it](http://www.colaver.it)

[www.inlabo.com](http://www.inlabo.com)

[www.autodesk.it](http://www.autodesk.it)

[www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)

[www.verytech.smartworld.it](http://www.verytech.smartworld.it)

[www.esri.com](http://www.esri.com)

[www.idrochimica.com](http://www.idrochimica.com)

[www.igmspa.com](http://www.igmspa.com)

[www.faichim.com](http://www.faichim.com)

[www.mgindustry.it](http://www.mgindustry.it)