



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

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

**ANALISI PRELIMINARE DELLA SORGENTE  
GORGOVIVO: MISURE E DATI PER DELIMITARE  
L'AREA DI RICARICA**

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE GORGOVIVO SPRING:  
MEASUREMENTS AND DATA TO DELINEATE THE RECHARGE AREA

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

Tesi di Laurea di:  
**Recanatesi Michele**

Correlatore: Chiar.mo  
Prof. **Fronzi Davide**

A.A. 2023/2024



## Sommario

1_INTRODUZIONE .....	4
1.1_PREMESSA .....	4
1.1.1_INDICE SPI .....	5
1.1.2_STUDI FATTI IN BASE ALL'INDICE SPI.....	5
1.1.3_CONSEGUENZE DEL SISMA SUI PERCORSI DI CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA.....	7
1.1.4_METODI DI DELIMITAZIONE DELLE AREE DI ALIMENTAZIONE .....	7
1.2_SCOPO DELLA TESI.....	9
1.3_BILANCIO IDROGEOLOGICO.....	9
1.3.1_COS'E' UN BILANCIO IDROGEOLOGICO.....	9
1.3.2_IL CICLO DELL'ACQUA .....	10
1.3.3_PERIODO DI ACQUISIZIONE E ANNO IDROGEOLOGICO .....	12
2_INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO .....	14
2.1_INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	14
2.1.1_INQUADRAMENTO GEOGRAFICO AREA DI INTERESSE .....	14
2.2_INQUADRAMENTO CLIMATICO .....	16
2.2.1_IL CLIMA MARCHIGIANO .....	17
2.3_INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	18
2.3.1_FOCUS SULLA SUCCESSIONE UMBRO MARCHIGIANA .....	19
2.3.1.1_TRIASSICO SUPERIORE (220-205 mln di anni fa) .....	19
2.3.1.2_GIURASSICO (205-145 mln di anni fa).....	19
2.3.1.3_CRETACEO-PALEOCENE (145-22 mln di anni fa).....	21
2.3.1.4_MIOCENE (22-5 mln di anni fa).....	25
2.3.1.5_PLIOCENE E PLEISTOCENE (5-1,65 mln di anni fa) .....	26
2.5_INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	26
2.5.1_COMPLEXO CALCAREO BASALE INDIFFERENZIATO.....	27
2.5.2_COMPLEXO DELLA MAIOLICA .....	27
2.5.3_COMPLEXO DELLA SCAGLIA CALCAREA.....	27
3_MATERIALI E METODI .....	29
3.1_MISURE DI PORTATA FLUVIALE.....	29
3.1.1_MATERIALI .....	29
3.1.2_FOCUS SUI MATERIALI.....	30
3.1.2.1_SONDA .....	30
3.1.2.2_TRACCIANTE FLUORESCEINA.....	32

3.1.2.2.1	_ TRACCIANTI E TIPI DI TRACCIANTE.....	33
3.1.2.2.2	_ IPOTESI DI TRACCIANTE IDEALE.....	33
3.1.2.2.3	_ IMMISSIONE DEL TRACCIANTE E CURVE DI CONCENTRAZIONE .....	34
3.1.2.3	_ PROVETTA DI PLASTICA TRASPARENTE.....	36
3.1.2.4	_ CRONOMETRO.....	37
3.1.2.5	_ SECCHIO MISCELATORE.....	37
3.1.2.6	_ SOFTWARE DI TRATTAMENTO DATI.....	38
3.1.3	_ METODI E DINAMICA DELLA PROVA .....	38
3.1.4.1	_ NOZIONE DI BILANCIO DI MASSA E FORMULA PER IL CALCOLO DI Q .....	39
3.2	_ PROVE INFILTROMETRICHE CON DOPPIO ANELLO (ASTM-d3385).....	41
3.2.1	_ MATERIALI .....	41
3.2.2	_ FOCUS SUI MATERIALI.....	42
3.2.2.1	_ STRUMENTI PER PULIZIA DELL'AREA E INFISSIONE .....	42
3.2.2.1.1	_ STRUMENTO DA GIARDINAGGIO.....	42
3.2.2.1.2	_ MAZZETTA (IMPACT-ABSORBING HAMMER) .....	42
3.2.2.1.3	_ TESTA DI BATTUTA .....	43
3.2.2.2	_ STRUMENTI DI MISURA E VERIFICA.....	44
3.2.2.2.1	_ LIVELLA A BOLLA.....	44
3.2.2.2.2	_ METRO A FETTUCCIA .....	44
3.2.2.2.3	_ CROMOMETRO.....	45
3.2.2.3	_ STRUMENTAZIONE DI PROVA .....	45
3.2.2.3.1	_ ANELLI DI ACCIAIO ALTI 20cm CON DIAMETRI DIVERSI E BORDO INFERIORE TAGLIENTE.....	45
3.2.2.3.2	_ TANICA D'ACQUA.....	46
3.2.2.3.3	_ FONDELLO IN ACCIAIO FORATO.....	46
3.2.2.3.4	_ TABELLA PER LA REGISTRAZIONE DELLE MISURE.....	47
3.2.2.3.5	_ BARO-LOGGER.....	47
3.2.2.3.6	_ TRIVELLA MANUALE PER LA RACCOLTA DEI CAMPIONI.....	48
3.2.2.3.7	_ CONTENITORE IN ACCIAIO PER CAMPIONI DI TERRENO .....	48
3.2.3	_ METODI E DINAMICA DELLA PROVA .....	49
3.2.3.1	_ OSSERVAZIONI SULLA PROVA INFILTR E DRAWBACK.....	52
3.2.3.2	_ COME SI INFILTRA L'ACQUA NEL TERRENO.....	52
3.2.3.3	_ LEGGE DI DARCY ED ESPERIENZA DI DARCY.....	52
3.2.3.3.1	_ ESPERIENZA DI DARCY E IPOTESI .....	52

3.3_ RETE IDROPLUVIOMETRICA .....	54
3.3.1_ COS'E E A COSA SERVE .....	54
3.3.2_ CASO SPECIFICO DELL'AREA DI STUDIO .....	54
3.3.3_ STRUMENTI .....	55
3.3.3.1_ FOCUS SUGLI STRUMENTI.....	55
3.3.3.1.1_ TERMOMETRO DIGITALE .....	55
3.3.3.1.2_ PLUVIOMETRO A BASCULA .....	56
3.3.3.1.3_ SITO DEL "SIRMIP" .....	57
3.3.4_ PROCEDURA .....	58
3.3.4.1_ INQUADRAMENTO DELLE STAZIONI.....	58
3.3.5.1_ INQUADRAMENTO PLANO-ALTIMETRICO STAZIONI.....	58
4_ RISULTATI.....	60
4.1_ MISURE DI PORTATA FLUVIALE.....	60
4.1.2_ ANALISI DEI RISULTATI .....	60
4.2_ PROVE INFILTROMETRICHE .....	63
4.2.1_ ANALISI DEI RISULTATI .....	63
4.2.1.1_ DETERMINAZIONE DEL GRADO DI UMIDITÀ DEL TERRENO .....	63
4.2.1.2_ TABELLE E GRAFICI RELATIVI ALLE PROVE INFILTROMETRICHE ..	64
4.3_ RETE IDROPLUVIOMETRICA .....	68
4.3.1_ GRAFICI DI TEMPERATURA DELLE SINGOLE STAZIONI.....	68
4.3.2_ RISULTATI SULLE TEMPERATURE .....	74
4.3.2_ GRAFICI DELLE PRECIPITAZIONI CUMULATE DELLE SINGOLE STAZIONI .....	75
4.3.3_ RISULTATI SULLE CUMULATE .....	82
4.3.4_ RISULTATI SULL'ANALISI METEOROLOGICA.....	83
5_ CONCLUSIONI .....	85
6_ SITOGRAFIA E BIBLIOGRAFIA .....	87
6.1_ SITOGRAFIA.....	87
6.2_ BIBLIOGRAFIA.....	88

# 1\_INTRODUZIONE

L'acqua costituisce il tassello fondamentale che permette la vita sul nostro pianeta. Nonostante la semplicità della sua formula chimica, questa molecola sta alla base di innumerevoli meccanismi fondamentali di cui ogni giorno il nostro organismo si serve per il suo sostentamento. Utilizzata nei campi più disparati come agricoltura, industria, produzione energetica e ambito igienico sanitario ha garantito lo sviluppo delle civiltà che ne hanno saputo apprezzare l'importanza.

Comprendere le dinamiche che regolano il suo ciclo in termini di volumetrie e qualità è un primo passo per poter sfruttare al meglio e nella forma più rispettosa possibile questa risorsa indispensabile. Lo scopo che si pone questo studio è proprio quello di far luce su alcuni degli aspetti sopra citati, ossia fornire un solido punto di partenza o di ausilio che studi successivi potranno utilizzare per portare più prestigio a questo argomento purtroppo ancora oggi poco conosciuto.

Non a caso si è fatto uso della parola "ciclo" nelle righe precedenti, in quanto l'acqua, al pari degli organismi che alimenta, è soggetta ad un insieme di processi ciclici con periodi più o meno lunghi. Lo strumento al servizio di tale studio, e argomento principale della presente tesi, è il bilancio idrogeologico, un tool molto flessibile e prezioso al servizio della gestione della risorsa.

## 1.1\_PREMESSA

Lo stigma delle società moderne, fa sì che l'acqua sia vista come un bene inesauribile, e resiliente alle sollecitazioni di carattere antropico.

La crisi idrica a cui si sta assistendo negli ultimi decenni sul nostro territorio ha dato inizio, seppur troppo tardi, alla ricerca di approcci alternativi per lo studio della risorsa idrica e ad una sua più lungimirante gestione in termini quantitativi. La situazione risulta esacerbata dal perpetuarsi di dinamiche sia antropologiche che climatiche che inevitabilmente vanno ad ostacolare la ricerca di tali approcci.

Le pressioni e gli impatti apportati dall'attività antropica, anche in maniera indiretta, sullo stato delle acque superficiali è risultata in una drastica diminuzione delle volumetrie erogabili alla popolazione. Tali pressioni sono il frutto della crescita demografica che si è verificata negli ultimi decenni, unita all'emigrazione della popolazione verso le zone più esterne del territorio, che ha portato le città costiere a dover far fronte ad una sempre maggior richiesta di portata idrica. La velocità con la quale questi fenomeni si sono verificati e si stanno verificando, non ha dato la possibilità di poter potenziare ed aggiornare le reti di captazione, stoccaggio e distribuzione della risorsa che dinnanzi a queste dinamiche si presentano inadeguate e vetuste.

Risalendo verso l'alto la filiera dell'acqua, ci accorgiamo che il problema non risiede esclusivamente nell'inadeguatezza della rete, ma anche nella scarsità delle precipitazioni. Questa constatazione è fatta sulla base di numerosi studi metereologici portati avanti da diversi enti regionali di protezione civile. Tali studi si concentrano sulla stima dell'indice standardizzato di precipitazione (SPI).

### 1.1.1 \_INDICE SPI

L'SPI è un indice omnicomprensivo del carattere e della serietà dell'episodio siccitoso in una data zona rispetto alla climatologia dell'area in esame stabilita su base statistica a partire da una base line di dati che si estende per un certo periodo di tempo.

(Bollettino siccità ISPRA 2024)

Esso è determinabile a 4 diverse scale temporali che possono essere su base trimestrale, semestrale, annuale o biennale, e a seconda della scala scelta si distinguono appunto quattro SPI (SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-24). Il calcolo dell'SPI richiede delle serie temporali abbastanza lunghe, di solito di almeno 30 anni detta baseline (molte delle pubblicazioni riguardanti la crisi idrica marchigiana hanno come baseline la famiglia di dati appartenenti alla serie 1961-1990). L' SPI è inoltre utilizzato per derivare un indicatore in grado di valutare, dalla scala locale alla scala nazionale, l'impatto dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica, attraverso il calcolo delle variazioni nella percentuale di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche.

L'indice SPI (nello specifico l'SPI-6) può essere riassunto in delle classi di severità dell'episodio siccitoso riportate nella tabella 1.1. (McKeel et al., 1993).

Valori SPI	Classe
$SPI \geq 2.0$	Umidità estrema
$1.5 \leq SPI < 2.0$	Umidità severa
$1.0 \leq SPI < 1.5$	Umidità moderata
$-1.0 < SPI < 1.0$	Umidità nella norma
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	Siccità moderata
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	Siccità severa
$SPI \leq -2.0$	Siccità estrema

Tabella 1.1 Classi di severità dell'episodio siccitoso (McKee et al., 1993)

In Italia, il calcolo e la pubblicazione dell'indice SPI vengono effettuati dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

### 1.1.2 \_STUDI FATTI IN BASE ALL'INDICE SPI

Numerosi studi portati avanti dagli enti di protezione civile regionali, o dall'ISPRA fanno notare un trend di natura decrescente dell'indice SPI esteso a tutta la regione. Gli studi fanno specialmente riferimento agli anni 2002, 2003, 2007, 2021, 2022 durante i quali si sono riscontrati valori dell'SPI negativi. Tali studi sono stati effettuati facendo uso dell'indice SPI-6 (riferito al primo semestre gennaio-giugno) avente come baseline l'insieme delle letture registrate dall'inizio degli anni '60, fino all'inizio degli anni '90 (trenta anni). Di seguito si riporta il grafico con i valori e l'andamento dell'indice SPI nei cinque anni oggetto di studio (Grafico 1.1).

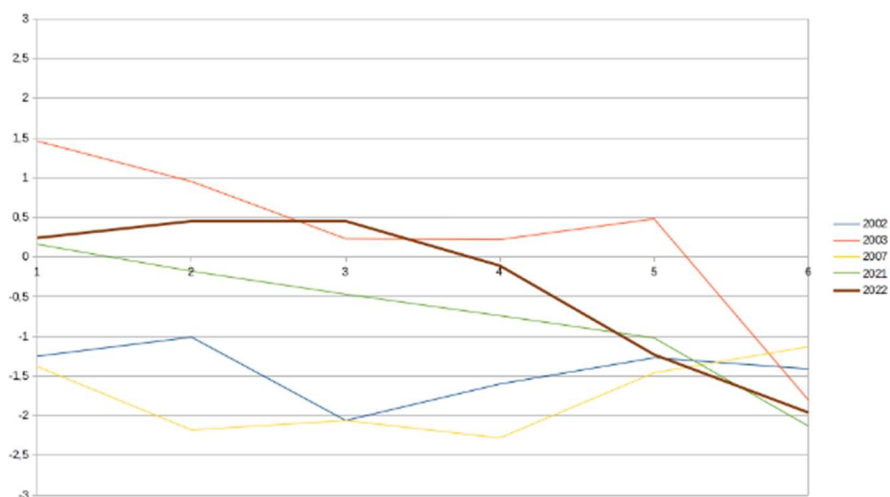


Grafico 1.1 Rappresentazione dell'andamento dell'indice SPI-6 durante il semestre di ricarica ([www.meteo.marche.it](http://www.meteo.marche.it))

Nel grafico si vede come il comportamento di tutti gli indici abbia un trend decrescente durante tutto il periodo di riferimento (6 mesi), fino ad arrivare addirittura a valori negativi al sesto mese di osservazione. Tali valori suggeriscono una situazione di siccità moderata in via di peggioramento su tutto il territorio regionale. Come viene illustrato nella figura seguente, tutto il territorio regionale si trova in una situazione di severità idrica bassa, ma con una tendenza al peggioramento. (fig. 1.1)

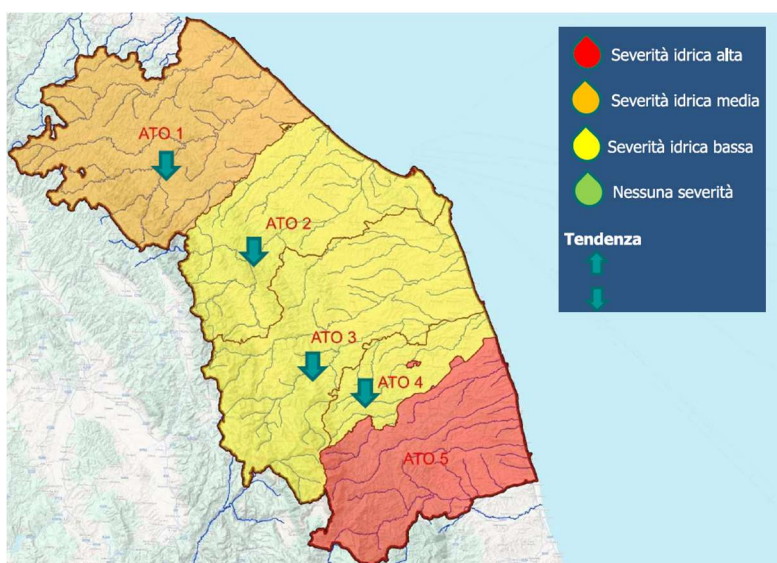


Figura 1.1 Mappa dello stato della risorsa idrica e di severità idrica in cui si vede che tutti i territori delle ATO sono in stato di criticità basso, con una tendenza a peggiorare (Aggiornamento sullo stato della risorsa idrica, Reg. Marche 2024)

La persistenza di un tale comportamento climatico caratterizzato da precipitazioni più scarse ha in effetti portato ad un calo delle portate medie mensili registrate in alcune sorgenti del territorio regionale. In effetti, la sorgente Gorgovivo ha registrato i valori livello di falda medi inferiori alla media del periodo. L'assenza di precipitazione non ha quindi permesso la tipica risalita invernale dei livelli di falda, portando quindi ad una decrescita della quota piezometrica.

(Bocchino et al., 2024)



### 1.1.3 \_CONSEGUENZE DEL SISMA SUI PERCORSI DI CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA

A questo quadro già complicato si aggiunge anche la modifica dei percorsi di circolazione idrica sotterranea degli acquiferi della parte appenninica ad opera della sequenza sismica che ha colpito la regione nell'agosto del 2016.

Tra gli effetti più rilevanti riscontrati c'è la diminuzione della portata erogata da alcune sorgenti, o addirittura la loro scomparsa nel caso delle sorgenti minori. Le cause di tali cambiamenti, sebbene i meccanismi non siano ancora del tutto chiariti, sono dovuti all'apertura di nuovi sistemi di frattura o alla modifica della permeabilità d'insieme dell'acquifero che costituiscono una nuova via di percorrenza preferenziale per l'acqua nel mezzo poroso.

Questi effetti sulle sorgenti rappresentano elementi di forte criticità per quanto riguarda la gestione delle risorse idriche. Oltre alle sorgenti scomparse, che renderanno necessario il reperimento di nuove fonti di approvvigionamento o ad un aumento nei volumi captati in quelle esistenti (con tutte le problematiche ambientali e normative connesse), ad aumenti di portata che corrisponderanno necessariamente diminuzioni nei tempi di residenza e di immagazzinamento della risorsa idrica: tutto ciò comporterà una seria riflessione sui piani di sfruttamento futuri.

(Aringoli et al., 2018)

In questo contesto risulta di primaria importanza uno studio approfondito della risorsa idrica al fine di una sua più accorta amministrazione. Tale studio dovrebbe essere incentrato sull'individuazione degli approcci atti a salvaguardare il benessere dei corpi idrici sotterranei dai quali la regione attinge, oltre che sull'ammodernamento della rete di distribuzione e su un utilizzo più oculato delle volumetrie. Un progetto del genere richiederebbe una prima fase di individuazione e classificazione delle zone di alimentazione delle falde acquifere, tramite la quale sarà possibile delimitare i confini delle aree di rispetto. Tale obiettivo sarà raggiunto solo al termine di uno studio sui volumi che transitano nel sistema idrogeologico, affiancato da uno studio sul chimismo delle acque sotterranee per definirne l'area di provenienza.

### 1.1.4 \_METODI DI DELIMITAZIONE DELLE AREE DI ALIMENTAZIONE

La delimitazione su base idrogeologica delle aree di alimentazione degli acquiferi e delle zone di rispetto dei pozzi e delle sorgenti costituisce uno degli aspetti fondamentali per la protezione degli acquiferi. Nonostante ciò, la delimitazione delle aree di rispetto segue delle metodologie con un notevole grado di incertezza legato all'assenza di una metodologia univoca. In particolare, l'individuazione del bacino di alimentazione delle sorgenti presenta spesso un ampio margine di incertezza soprattutto quando l'idrostruttura e le soglie di permeabilità non sono chiaramente definite, ma in prima approssimazione è possibile affermare che i principali livelli impermeabili in grado di separare un acquifero superficiale da uno profondo sono quelli che individuano i limiti delle aree di ricarica. Infatti, come è possibile vedere nella figura sottostante, è la venuta a giorno dello strato

impermeabile sottostante a delimitare la zona superficiale dove l'acqua si può infiltrare entrando in contatto con rocce a maggior permeabilità (fig. 1.2).

(De Luca e Lasagna, 2005)

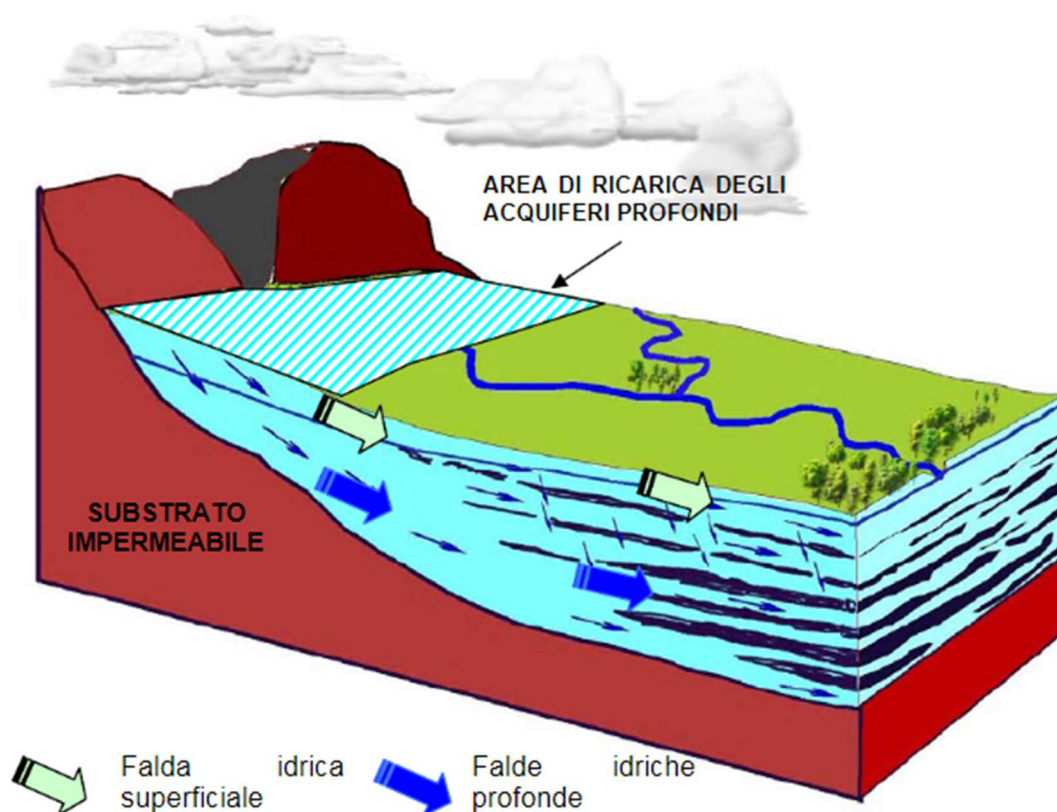


Figura 1.2 Schematizzazione delle aree di ricarica dell'acquifero freatico e di quello profondo ([https://www.researchgate.net/publication/281107354\\_Criteri\\_per\\_l'identificazione\\_delle\\_principali\\_ree\\_di\\_ricaric\\_a\\_e\\_prima\\_individuazione\\_nella\\_Region\\_Piemonte](https://www.researchgate.net/publication/281107354_Criteri_per_l'identificazione_delle_principali_ree_di_ricaric_a_e_prima_individuazione_nella_Region_Piemonte))

Nonostante ciò, esistono diverse metodologie atte alla delimitazione delle zone da cui la risorsa si infiltra.

I primi sono i metodi geometrici, con i quali si definisce la zona di rispetto sulla base di figure geometriche di dimensione prestabilita, tramite la definizione di un'estensione a monte della sorgente entro la quale probabilmente la zona di ricarica ricade (secondo il D.lgs. 152/06 la distanza di riferimento è di 200 m). Però, l'adozione di questo metodo ci restituisce un'area di ricarica senza alcun legame con le caratteristiche morfologiche e idrogeologiche della zona. Una versione un po' più sofisticata di questa metodologia potrebbe essere quella degli approcci morfologici tramite i quali la zona di ricarica è identificata meramente dalle caratteristiche morfologiche della zona circostante alla sorgente. In sostanza, secondo tale metodo, è la morfologia del paesaggio circostante che detta i limiti della zona di ricarica della falda, non considerando vincoli geologici o idrogeologici. Questo potrebbe portare ad errori di sovrastima della superficie di ricarica.

Altri approcci, ulteriormente sofisticati sono quelli basati su studi di natura idrogeologica che delineano i confini dell'area di ricarica sulla base di caratteristiche idrogeologiche. Sebbene questo sia un metodo molto meno speditivo rispetto ai precedenti, consente di

individuare le zone di ricarica con un buon grado di precisione. Tali metodi sono di natura quantitativa, e sono sorretti da rigorose formulazioni analitiche che si basano sulla conoscenza della portata sorgiva e del coefficiente di infiltrazione, calcolato rispetto alle piogge efficaci, oppure basati sulla conoscenza del coefficiente di infiltrazione calcolato rispetto all'afflusso meteorico totale. Dalla conoscenza di questi due parametri è possibile risalire ad un'estensione dell'area di ricarica di prima battuta con forma circolare che avrà sul suo perimetro proprio il punto in cui la sorgente viene a giorno. A valle di un rilevamento geologico e idrogeologico dettagliato, sarà poi possibile plasmare il perimetro dell'area di ricarica in maniera più precisa (immersione delle stratificazioni, limiti di permeabilità dell'ammasso roccioso...).

In fine, si definiscono i metodi ibridi, entrati ultimamente nel campo della ricerca per cercare di far fronte alle debolezze e alle lacune dei singoli metodi illustrati precedentemente e adattarli meglio ai singoli casi specifici di studio. Questo genere di metodo è forse il più flessibile, poiché nonostante non sia uno dei più speditivi, ci restituisce un'immagine abbastanza fedele di quella che è la zona di ricarica della falda.

(Piccini et al., 2016)

## 1.2 \_SCOPO DELLA TESI

La presente tesi di laurea si prefigge lo scopo di impostare una banca dati che potrà essere usata in futuro come punto di partenza per la redazione di un bilancio idrogeologico più complesso, o la delimitazione dell'area di ricarica delle falde presenti nella zona circostante alla sorgente di Gorgovivo. La detta banca dati conterrà informazioni di tipo quantitativo sui contributi di apporto e sottrazione della risorsa idrica dall'area di studio, quali:

- Portata transitante lungo una data asta fluviale;
- Prove infiltrometriche in vari punti in diversi periodi dell'anno, per la stima della velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno;
- Studio statistico dell'altezza di precipitazione cumulata che mediamente si riversa sull'area di studio al variare della quota, a partire dai dati storici reperiti dalle stazioni metereologiche sparse nella zona di interesse;
- Studio statistico della temperatura puntuale media caratterizzante la zona di studio, a partire dall'elaborazione di dati storici reperiti dalle stazioni metereologiche presenti sull'area di studio.

## 1.3 \_BILANCIO IDROGEOLOGICO

In questo paragrafo si prova ad illustrare brevemente ed esaustivamente cos'è un bilancio idrogeologico, in che campi è utilizzato, e su quali principi si basa.

### 1.3.1 \_COS'E' UN BILANCIO IDROGEOLOGICO

L'idea alla base del bilancio idrogeologico è simile a quella di un conto corrente. Il nostro conto è rappresentato dalla porzione di ambiente che andiamo a considerare. Esso sarà caratterizzato da delle entrate e delle uscite. La parte attiva del bilancio racchiude al suo interno tutti gli eventi metereologici, che in qualche modo, hanno apportato un certo

volume di acqua all'interno del nostro ambiente sia in maniera palese (pioggia, neve, grandine) che in maniera occulta (brina, rugiada, nebbia). La parte passiva, di contro, consiste nei fenomeni che vanno sottrarre parte del volume d'acqua, che in precedenza era stata immessa dagli apporti, come il ruscellamento, l'infiltrazione e l'evapotraspirazione.

Il concetto di bilancio idrogeologico dal punto di vista quantitativo può essere espresso dalla "semplice" equazione di seguito riportata

$$P_{tot} - ETR = R + IE - Q$$

Dove;

- $P_{tot}$  rappresenta la Precipitazione totale, e che rappresenta la principale forma di apporto;
- ETR invece è l'evapotraspirazione effettiva, ossia la volumetria (o la portata se volessimo rapportarla all'anno idrogeologico) che per effetto del cambiamento di stato dell'acqua, oppure per effetto del metabolismo della flora rientra in atmosfera sotto forma di vapore;
- R è il ruscellamento, ossia la portata di acqua che verrà sottratta all'ambiente proprio ad opera dei corsi d'acqua presenti nel bacino;
- IE rappresenta la parte di infiltrazione efficace, ovvero l'aliquota d'acqua che riesce ad infiltrarsi nel sottosuolo e che prima o poi correrà nella falda idrica;
- Q è invece dato dall'insieme dei prelievi della risorsa o degli apporti esterni di portata, che di solito sono di origine antropica. Infatti, tale addendo è divisibile in due contributi, uno di apporto esterno ( $Q_{IN}$ ), e uno di prelievo verso l'esterno ( $Q_{OUT}$ ). Nel suo insieme tale parametro può assumere valori positivi o negativi.

La formula prima riportata è riscrivibile in forma più compatta andando ad eseguire una semplificazione. Infatti, considerando la sottrazione tra la precipitazione totale, e l'evapotraspirazione, ci si accorge che si ha a che fare con un nuovo parametro corrispondente alla precipitazione efficace  $P_{EFF}$ , ossia la precipitazione totale (palese e occulta) al netto della componente di evapotraspirazione. In formule:

$$P_E = P_{tot} - ETR$$

Questo passaggio ha uno scopo pratico, in quanto la stima del contributo di evapotraspirazione sarebbe solo indicativa. Alla luce di quanto detto, l'equazione del bilancio idrologico diviene:

$$P_E = R + IE - Q$$

### 1.3.2 IL CICLO DELL'ACQUA

L'acqua nei suoi vari stati fisici è presente in natura in una quantità valutabile attorno ai  $1350 \cdot 10^6 \text{ Km}^3$  dei quali oltre il 93% è contenuto nei bacini oceanici. Il ciclo dell'acqua nel suo insieme, indica quella serie di processi attraverso i quali parte dell'acqua abbandona gli oceani, entra nell'atmosfera, raggiunge i continenti e ritorna nuovamente al mare (fig.1.3).

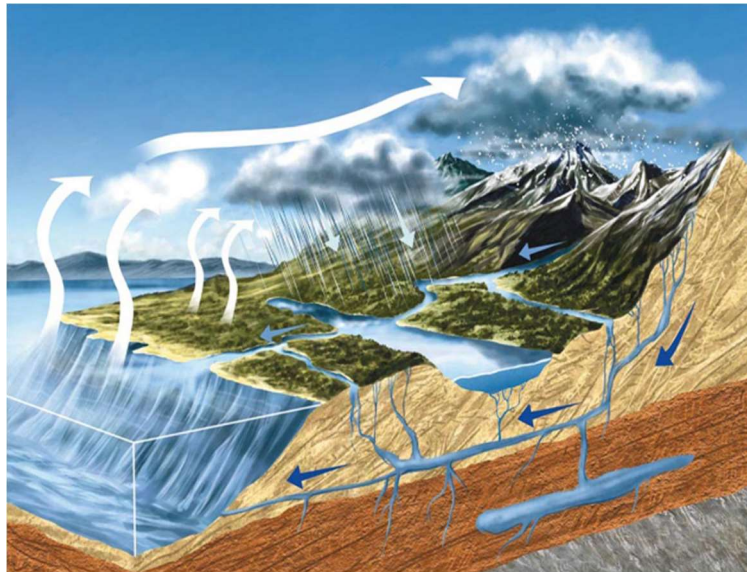


Figura 1.3 Schema visivo del ciclo dell'acqua (<https://fontebracca.it/it/uomo-e-acqua/il-ciclo-dell-acqua.html>)

Questo ciclo è tenuto in vita dall'energia solare e, per quanto complesso, può essere riassunto nelle seguenti fasi:

- L'acqua evapora dalla superficie degli oceani e forma le nubi;
- Le nubi si spostano verso i continenti e danno luogo a delle precipitazioni la maggior parte delle quali ricade in mare, e la parte rimanente sulle terre emerse. Le precipitazioni possono avvenire sotto forma di pioggia o neve;
- Circa il 64% delle acque cadute sulle terre emerse, viene temporaneamente intercettato e trattenuto dalle vegetazioni e dal suolo finché ritorna nell'atmosfera mediante i processi di evapo-traspirazione. Il restante 36% scorrendo sulla superficie del suolo (25%) o muovendosi attraverso le rocce del sottosuolo in cui si è infiltrato (11%), confluisce nei laghi e nei fiumi e ritorna (più o meno) lentamente al mare.

Anche quest'acqua però, durante il suo tragitto, in parte evapora e torna nell'atmosfera prima di giungere al mare.

Su scala mondiale, i volumi d'acqua coinvolti in ciascuna fase del ciclo sono relativamente costanti.

Su aree limitate, come ad esempio un bacino fluviale, le quantità d'acqua mobilizzate in ciascuna parte del ciclo possono invece subire sensibili variazioni. Il ciclo dell'acqua limitato ad un bacino idrografico è riassunto nello schema sottostante (fig. 1.4), ove sono indicati vari processi che vi si svolgono dall'inizio delle precipitazioni fino alla comparsa dei deflussi negli alvei fluviali.

(Ciabatti, 1982)



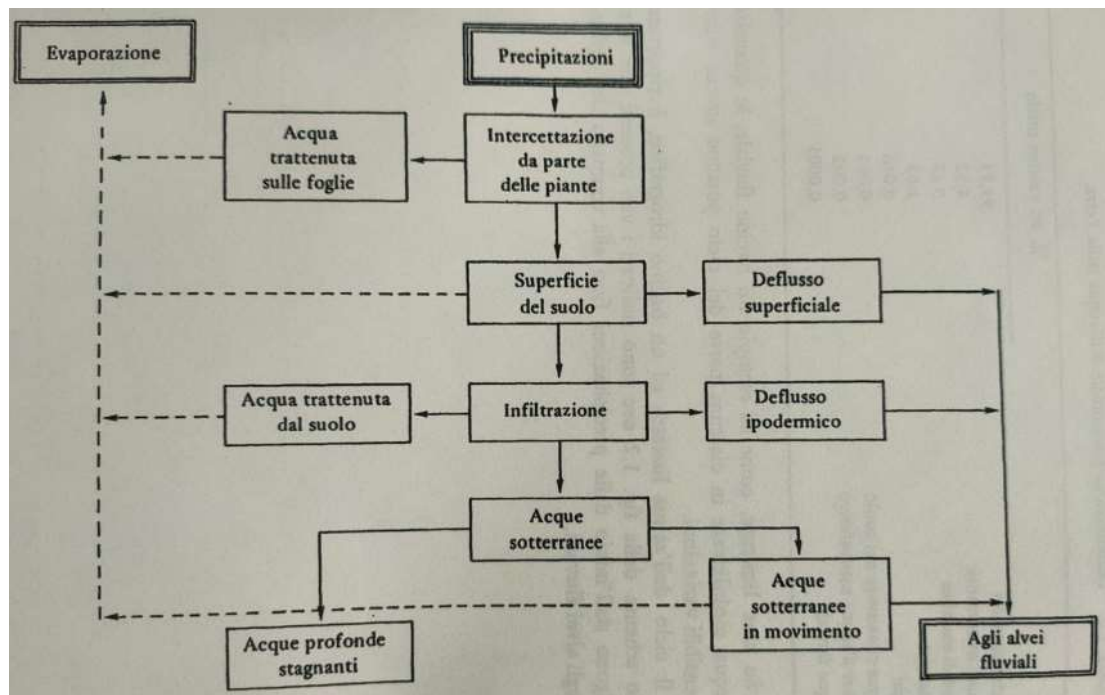


Figura 1.4 Mappa concettuale del ciclo dell'acqua (M. Ciabatti 1982)

### 1.3.3 PERIODO DI ACQUISIZIONE E ANNO IDROGEOLOGICO

È necessario fare una distinzione tra il periodo di raccolta dati e l'anno idrogeologico.

Il primo consiste sostanzialmente nella lunga serie di anni durante i quali si sono raccolti e registrati i dati che poi sono utilizzati per la stesura del bilancio. Per ottenere dei risultati significativi, di sicura affidabilità ed estrapolabili, basi delle valutazioni e delle previsioni a medio e lungo termine, è necessario disporre di valori medi, generalmente a scala annuale. Tali misurazioni si riferiscono all'intervallo di tempo (periodo di acquisizione) comune a tutti parametri del sistema (precipitazioni, temperature...). L'elaborazione dei dati deve rispondere a due condizioni imperative:

- Periodo idrologico più lungo possibile, scelto in rapporto alla durata della serie storica di misure, di almeno dieci anni.
- Frequenza più breve possibile compatibile con quella delle misure: giornaliera, settimanale, mensile o annuale.

Queste due condizioni sono soddisfatte con l'acquisizione di serie cronologiche continue ottenute per mezzo di apparecchi registratori: pluviometri, termografi, limnografi (per la misura del livello idrico in un alveo), piezometri.

(Idrogeologia principi e metodi G. Castany 1982)

Il secondo invece, rappresenta la grandezza temporale rispetto alla quale il bilancio idrologico sarà riferito, e si differenzia dall'anno legale nonostante anche questo sia costituito da dodici mesi. La scelta di questa durata non è casuale, poiché legata ad alcune esigenze; infatti, l'anno idrologico è diviso in due stagioni, una di ricarica, e una di

esaurimento. La prima va dal periodo di novembre fino a quello di aprile, mentre il secondo (di esaurimento) va da maggio a ad ottobre.

(Ciabatti, 1982)

## 2\_INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO

Si identificano ora le caratteristiche specifiche dell'area soggetto di studio dal punto di vista geografico, climatico, geologico e idrogeologico partendo da una visione più ampia a scala regionale e nazionale.

### 2.1\_INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio marchigiano è caratterizzato da una ristretta pianura costiera, la cui larghezza varia da poche centinaia di metri a qualche decina di chilometri, sovrastata da una fascia di colline piuttosto basse intorno ai 300-400 m, che sono attraversate da valli trasversali percorse da fiumi per lo più a carattere torrentizio. Alla zona collinare seguono le prime pendici della dorsale appenninica, con un'altitudine di 600-800 m; la retrostante barriera montana raggiunge in più tratti i 1500-1800 m, fino a superare i 2000 m nella catena dei Monti Sibillini, la cui cima più alta, il M. Vettore, tocca i 2476 m. Numerosi valichi e passi fra i 600 e i 100 m interrompono la continuità dei rilievi permettendo agevoli comunicazioni tra le marche e le regioni limitrofe. L'Appennino marchigiano ha una struttura molto complessa, costituito com'è da diverse linee orografiche con andamento pressoché parallelo e direzione N/NW – S/SE. Si distinguono così la linea del Falterona, tra il Colle dei Mandrioli e quello di Scheggia; la linea del Catria, che si estende dal monte omonimo al Pennino; la linea del S. Vicino, che si prolunga fino ai Sibillini; le due linee minori del Montefeltro, una delle quali comprende il Monte Carpegna; quindi, al centro la linea che culmina con il Monte Acuto e, infine, più ad est quella più breve del Monte Conero, che si affaccia sull'Adriatico. Tra queste linee orografiche ed il mare si distende la zona delle colline, una successione trasversale di rilievi digradanti dall'Appennino verso il litorale. Le loro sommità sono arrotondate e debolmente ondulate con forme morbide ed attenuate, mentre sui loro pendii compaiono a volte i tipici "calanchi", ossia profondi solchi scavati dalle acque dilavanti. Tale fascia collinare è incisa da lunghi e tortuosi avvallamenti, nei quali scorrono i fiumi che hanno un corso breve, con pochi affluenti ed a carattere saltuario. Il corso superiore è incassato tra i monti del retrostante Appennino, mentre quello inferiore si allarga su fertili vallate, i cui nomi sono quelli dei rispettivi fiumi: tra le principali, la Valle del Foglia, del Metauro, dell'Esino, del Potenza, del Chienti, del Tenna, dell'Aso e del Tronto

(Spina et al., 2002)

#### 2.1.1\_INQUADRAMENTO GEOGRAFICO AREA DI INTERESSE

La zona sulla quale la ricerca è incentrata ricade nell'entroterra della regione Marche, nello specifico, essa si trova sul fronte appenninico che delimita la valle del fiume Esino. L'area di studio abbraccia più comuni all'interno delle provincie di Macerata e Ancona, tra i quali: Genga, Serra S. Quirico, Camerino, Fabriano. Parte della zona ricade all'interno del parco naturale Gola della Rossa, istituito a seguito di una legge regionale risalente al 1997 che ne ha delimitato i confini. La zona è identificata approssimativamente nelle figure 2.1 e 2.2.



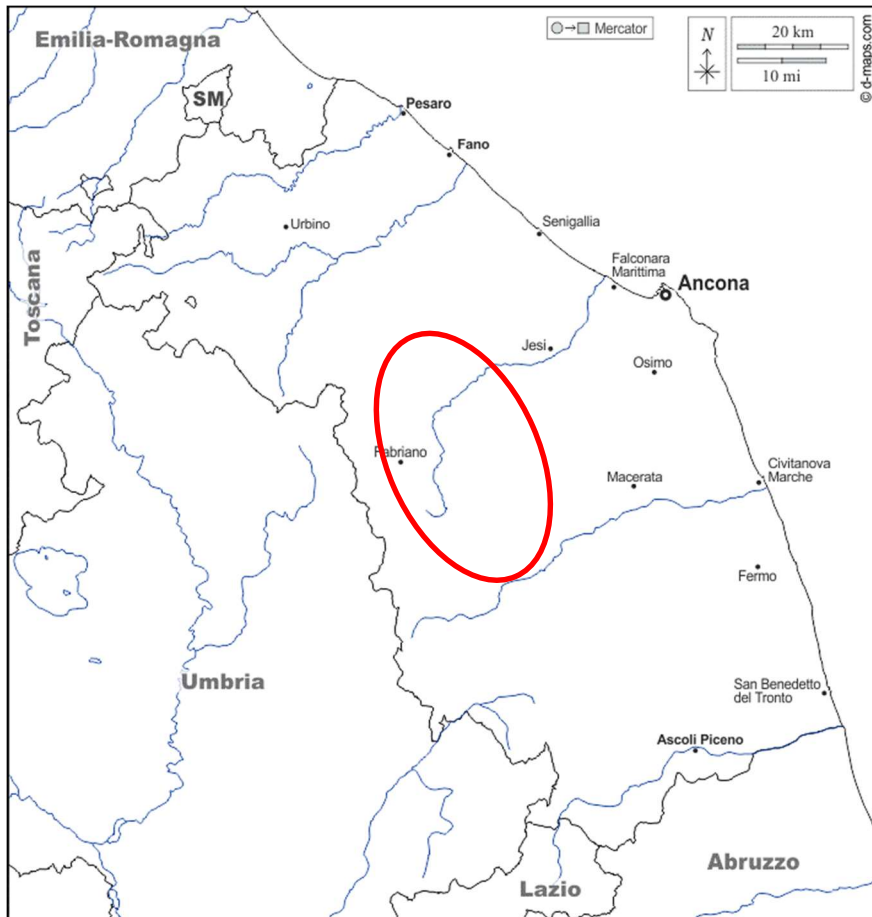


Figura 2.1 Inquadramento area di interesse su cartina politica ([https://d-maps.com/carte.php?num\\_car=17287&lang=it](https://d-maps.com/carte.php?num_car=17287&lang=it))



Figura 2.2 Inquadramento area di interesse su immagine satellitare ([www.google.earth.com](http://www.google.earth.com))

## 2.2\_INQUADRAMENTO CLIMATICO

Partendo da un inquadramento più generale si comincia con il parlare del clima della penisola italiana, la quale ricade nell'ambito del clima Mediterraneo. Esso è caratterizzato da estati secche e siccitose e da inverni e autunni miti e umidi. La presenza del mare contribuisce ad attenuare l'entità delle escursioni termiche che in media non superano i 20° proprio a causa dell'effetto mitigante della massa d'acqua. La massa d'acqua mediterranea in effetti funge da serbatoio di calore che assorbe calore durante la buona stagione impedendo così l'aumento delle temperature sopra una certa soglia (specialmente lungo la zona costiera), mentre rilascia calore durante le stagioni più fredde impedendo così il crollo delle temperature. Si può vedere nella figura seguente una suddivisione alternativa delle regioni climatiche italiane (fig. 2.3).



Figura 2.3 Mappa delle regioni climatiche italiane (<https://www.gmpe.it/node/169>)

## 2.2.1 \_IL CLIMA MARCHIGIANO

Le caratteristiche climatiche del territorio marchigiano sono influenzate ad oriente dall'esposizione verso l'Adriatico, che esercita la sua azione debolmente mitigatrice nei confronti degli afflussi di masse d'aria relativamente fredda da nord e da est, e ad ovest dalla presenza dell'Appennino, il quale ostacola il corso delle correnti occidentali, per lo più temperate ed umide, predominanti alle nostre latitudini. Essendo l'Adriatico un mare quasi chiuso, incassato e poco profondo, il carattere di marittimità delle aree costiere risulta attenuato e per qualche aspetto diviene addirittura ininfluente, specie nelle zone a nord del Monte Conero e nel corso dell'inverno. In sintesi, la dinamica dei fenomeni meteorologici sulle Marche nelle varie stagioni può essere così schematizzata:

- In inverno, il tempo perturbato proviene solitamente da est o nordest: afflussi di aria fredda dall'Europa balcanico-danubiana causano neviccate anche sulle coste. Nondimeno, i periodi di brutto tempo abbastanza intensi e prolungati si hanno in correlazione con la formazione e l'approfondimento di depressioni sul Tirreno, che richiamando aria umida dal Mediterraneo e aria fredda da settentrione, generano corpi nuvolosi, che risalgono la penisola italiana secondo un moto ciclonico e scaricano il loro contenuto di acqua precipitabile sulle Marche sotto forma di piogge frequenti e copiose;
- In primavera, le condizioni meteorologiche sono all'insegna della variabilità, a causa dei reiterati ritorni di masse d'aria fredda da nordest e dell'arrivo di aria umida di origine atlantica, che portano tempo instabile; l'espansione o il regresso dell'area anticiclonica delle Azzorre dal Mediterraneo condiziona in modo determinante, rispettivamente, il perdurare del bel tempo o di quello caratterizzato dalle piogge e dagli acquazzoni primaverili;
- In estate, la regione può avere tempo perturbato soprattutto ad opera dell'instabilità a carattere locale, perché le depressioni atlantiche in transito da ovest verso est seguono traiettorie più settentrionali, interessando marginalmente l'alto Adriatico. Possono comunque verificarsi rapide variazioni diurne della nuvolosità, più accentuate lungo la fascia appenninica ove si formano cumuli imponenti;
- In autunno, si raggiunge il massimo apporto delle precipitazioni, per il fatto che sia le perturbazioni atlantiche provenienti da nordovest, che le depressioni mediterranee vanno ad interessare direttamente la regione; inoltre le perturbazioni risultano particolarmente attive, poiché le masse di aria subiscono l'intensa azione destabilizzatrice del Mar Mediterraneo, che, a fine estate ed inizio autunno, ha ancora una temperatura relativamente alta e quindi elevato risulta il suo contributo in vapor d'acqua.

(Spina et al., 2002)

## 2.3\_INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La zona di nostro interesse risulta essere compresa nell'ambito della ben nota "successione umbro marchigiana", ossia una sequenza di rocce di origine sedimentaria depositatasi in una finestra temporale che va da 210 a 15 mln di anni fa. All'interno di essa possiamo distinguere sedimenti di origine Miocenica superiore (o triassica superiore) fino anche a quelli di natura continentale quaternaria. La più antica specie geologica affiorante nella successione risulta essere quella del calcare massiccio risalente al periodo tra 205-195 mln di anni fa. A seguire si registra la presenza dei calcari diasprini e della Corniola entrambi di origina giurassica. Di seguito si riporta uno schema riassuntivo dell'ordine e degli spessori dei singoli strati (fig. 2.4)

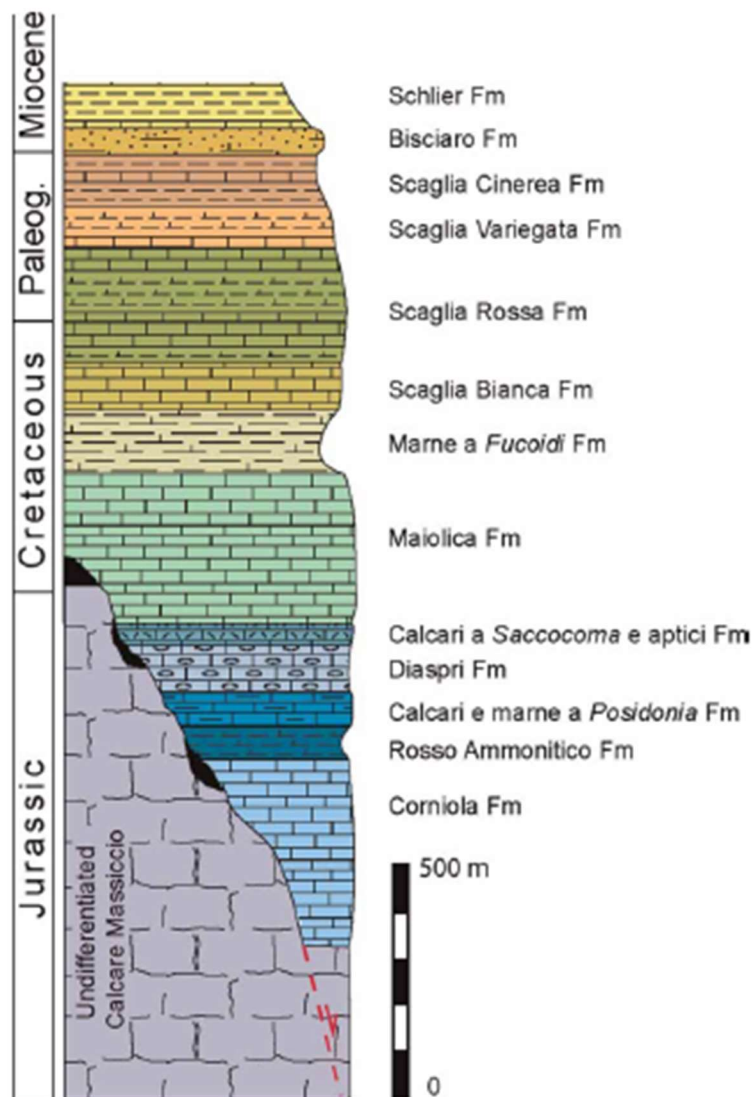


Figura 2.4 Schema riportante in ordine cronologico la deposizione delle specie geologiche componenti la successione (S. Fabbi 2014)

## 2.3.1\_FOCUS SULLA SUCCESSIONE UMBRO MARCHIGIANA

In base all'era storica di deposizione, la successione umbro marchigiana risulta essere composta da cinque gruppi geologici divisi in base al periodo durante il quale essi si sono depositati, ossia:

- Triassico superiore
- Giurassico
- Cretaceo
- Miocene
- Pliocene e Pleistocene

### 2.3.1.1 TRIASSICO SUPERIORE (220-205 mln di anni fa)

Durante questo periodo si vanno a depositare gli strati che compongono la piattaforma sulla quale poi l'intera successione stratigrafica andrà poi a vertere.

- Anidriti di Burano: appartengono alla famiglia dei gessi, quindi delle rocce evaporitiche. Individuabili solo tramite sondaggi profondi (ricerca di idrocarburi) nelle varie zone sotto forma di alternanza di gessi e dolomie o come breccie calcaree;
- Calcarea massiccio (fig. 2.5): costituito da calcari di colore bianco-grigiastro depositatisi in ambiente di mare basso. I suoi spessori sono particolarmente imponenti, con altezze che arrivano anche fino a 600m. questo affioramento geologico costituisce lo scheletro delle strutture appenniniche marchigiane.

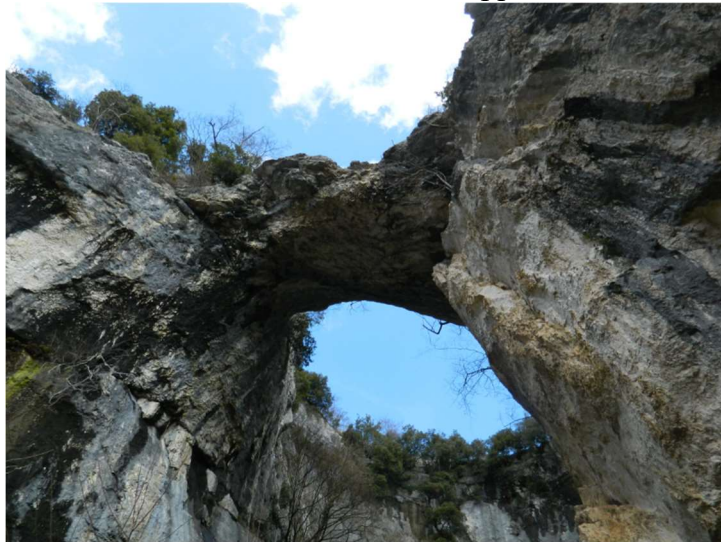


Figura 2.5 Calcarea massiccio ([www.altemarchcreative.it](http://www.altemarchcreative.it))

### 2.3.1.2 GIURASSICO (205-145 mln di anni fa)

è il periodo di sedimentazione delle successioni pelagiche, in quanto durante questo periodo la piattaforma marchigiana sprofonda a causa della tettonica distensiva fino ad arrivare ad un ambiente di mare profondo.



- Corniola (fig. 2.6): è un calcare poroso costituito da calcari micritici di ambiente pelagico di colore grigio avana con stratificazione netta e di entità modesta non superiore ai 40cm;



*Figura 2.6 Corniola (Fabbi 2014)*

- Marne di Monte Serrone: calcilutiti marnose e calcareniti, che andando verso l'alto passano a marne e argille rossastre per poi cedere il posto al rosso ammonitico;
- Rosso Ammonitico (2.6): costituito da marne o marne argillose di colore rossastro con intrusioni carbonatiche. Sono ricche di fossili come le Ammoniti (fig. 2.7), le quali sono possibili da vedere anche durante i sopralluoghi in campagna;



*2.6 Rosso ammonitico ([www.iluoghidelsilenzio.it](http://www.iluoghidelsilenzio.it))*



*Figura 2.7 Ammoniti ([www.iluoghidelsilenzio.it](http://www.iluoghidelsilenzio.it))*

- Calcari a Posidonia: sono una formazione di origine calcarea micritica di colore rosato, al quale interno non sono rare inclusioni di origine marnosa nella parte

bassa dello strato, inoltre essi sono anche caratterizzati dalla presenza sparsa di fossili “posidonia” dal quale lo strato prende il nome;

- Calcari diasprigni (fig. 2.8) e calcari ad aptici: appartenenti alla classe dei calcari di tipo marnoso (presenza di argilla). Sono sottilmente stratificati e possiedono un tipico colore grigio verde.



*Figura 2.8 Calcari diasprigni (Fabbi 2014)*

### *2.3.1.3 \_CRETACEO-PALEOCENE (145-22 mln di anni fa)*

Durante questo periodo la piattaforma si sposta in ambiente di mare basso, consentendo così la deposizione degli strati più superficiali della successione che prendono appunto il nome di “successioni pelagiche”.

- Maiolica: affioramento calcareo a tessitura fine risalente al cretaceo. Essa risulta costituita da calcari selciferi (quindi con discreto tenore di silice) di colore biancastro ben stratificate con presenza di noduli di selce di tonalità scura (fig. 2.9). La presenza della selce e quindi della silice suggerisce che durante questo periodo la piattaforma di deposizione si sia spostata verso l’alto fino ad arrivare alla condizione di mare basso, in quanto la silice derivante dalla sovrapposizione di strati di organismi morti con esoscheletro siliceo può depositarsi solo a profondità coincidenti con la condizione di mare basso;



*Figura 2.9 Maiolica (Fabbi 2014)*

- Marne a fucoidi (fig. 2.10): sono marne e argille marnose di vari colori (tendente al color antracite) caratterizzate dall'alta presenza di fossili, i quali danno il nome allo strato;



*Figura 2.10 Marne a fucoidi (Fabbi 2014)*

- Scaglia: la conformazione della scaglia comprende strati di diversa natura con spessori significativi. Infatti, a sua volta questo strato viene spesso distinto in quattro sotto strati quali:
  - 1) Scaglia Bianca (fig. 2.11): Formazione di origine calcarea (calcarei micritici) caratterizzata da un tipico colore biancastro dal quale prende il suo nome. Si presenta in campagna con spessori anche considerevoli di 50-70 m;





*Figura 2.11 Scaglia bianca (Fabbi 2014)*

- 2) Scaglia Rossa: come la scaglia bianca, è una formazione calcarea di colore rossastro conferitogli da calcari micritici di colore rosa che contiene. Nel paesaggio marchigiano e umbro non sono rari gli affioramenti di questa specie calcarea che possono raggiungere anche i 400 m di spessore (fig. 2.12);



*Figura 2.12 Scaglia rossa (Fabbi 2014)*

- 3) Scaglia Variegata (fig. 2.13): costituita da calcari marnosi e marne calcaree molto resistenti. La paletta di colori varia dal rosa al bianco, e dal bianco al grigio-verde. Gli affioramenti possono raggiungere spessori di 20-40 m;



*Figura 2.13 Scaglia variegata ([www.altemarchecreative.it](http://www.altemarchecreative.it))*

- 4) Scaglia Cinerea (fig. 2.14): costituita da calcari marnosi e marne di colore grigio o grigio-verde. Risulta una roccia meno resistente rispetto agli altri tipi di scaglie proprio a causa del suo alto tenore di argilla (rottura fogliettata).



*Figura 2.14 Scaglia cinerea (Fabbi 2014)*



#### 2.3.1.4 MIOCENE (22-5 mln di anni fa)

Questa epoca geologica è caratterizzata da un forte attività tettonica di carattere compressivo che tende ad innalzare gli strati che fino ad ora si sono depositati.

- Bisciaro (fig. 2.15): è uno strato composto da un'alternanza di marne e calcari marnosi di colore grigiastro ben stratificati. Nella parte inferiore degli strati non sono rare le inclusioni di scaglia cinerea con la quale confina;



Figura 2.15 Bisciaro ([www.altemarchecreative.it](http://www.altemarchecreative.it))

- Schlier (fig. 2.16): caratterizzato dall'alternanza di tre lito facies di tipo calcareo come marne argillose grigio-azzurre, marne calcaree bianco-giallastre e marne calcaree e calcari marnosi bianco giallastri tendenti al grigio verdastro.

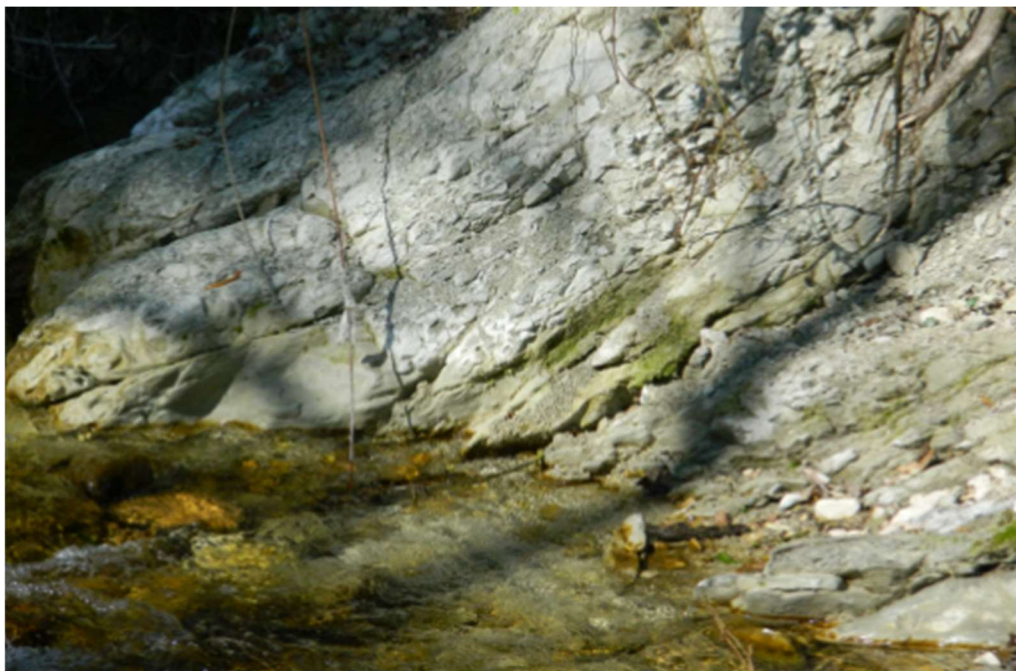


Figura 2.16 Schlier ([www.alternamarchecreative.it](http://www.alternamarchecreative.it))

### 2.3.1.5 *PLIOCENE E PLEISTOCENE (5-1,65 mln di anni fa)*

Questi depositi si estendono su due ere, quella terziaria e quella quaternaria.

- Depositi marini pliocenici: composti da argille (argille di Fabro), sabbie (sabbie di Flabelliopecten), conglomerati (conglomerati di città della pieve)
- Depositi colluviali: presenti sui versanti e spesso sfumano nello strato di alterazione superficiale
- Depositi eluviali: sono depositi che spiccano dal paesaggio circostante grazie alla loro caratteristica colorazione rossa. Si trovano spesso in aree depresse o in conche di natura carsica.
- Detrito di falda: presente in strati di vario spessore, essi sono costituiti da frammenti rocciosi a spigoli vivi (di taglia nell'ordine del centimetro) talvolta anche parzialmente cementati (brecce).
- Coni di detrito: composti a loro volta da altre
  - 1) Conoidi di deiezione: rientra nella famiglia dei depositi di detrito di versante. Si trovano di solito alla base dei pendii più acclivi. Essi sono composti dalle specie geologiche che hanno subito il processo di disaggregazione ad opera degli agenti esogeni.
  - 2) Depositi fluvio-lacustri, lacustri e palustri: sono composti di limi sabbiosi intervallati di solito da orizzonti di ghiaie e conglomerati. Di solito sono peculiari di aree depresse o conche.
  - 3) Alluvioni recenti: di solito si trovano nelle aree golenali dei corsi d'acqua principali. Sono composti da depositi incoerenti con pezzatura medio-grossolana.
  - 4) Travertini: sono rocce carbonatiche continentali di tipo sedimentaria chimica molto porose con all'interno molte cavità generate dalla materia organica che si è decomposta e ha lasciato il posto a dei vacuoli.

(L. Gregori 2013)

(S. Fabbi 2014)

(F. Calamita, E. Centamore, G. Deiana, 1986)

## 2.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La complessità degli acquiferi presenti nella Regione Marche è evidente, come del resto varia è la potenzialità: da un lato gli acquiferi profondi presenti nei terreni calcarei delle dorsali appenniniche di buona qualità, dall'altro quelli presenti nelle numerose vallate alluvionali di qualità inferiore che sono sottoposti agli effetti di una intensa antropizzazione, entrambi con buone potenzialità e con una vulnerabilità intrinseca molto elevata; a questi si possono aggiungere quelli non ancora sfruttati, relativi ai complessi idrogeologici dei depositi terrigeni mio-pliocenici, e plio-pleistocenici meno conosciuti ma definiti interessanti, con una vulnerabilità intrinseca media.

(estratto del PTA Marche, 2006)

In generale, a livello regionale sono distinguibili chiaramente tre complessi calcarei tra loro sovrapposti, formati da calcari dotati di particolare attitudine all'assorbimento, invaso e restituzione delle acque di origine meteorica in corrispondenza di sorgenti puntuali, lineari o diffuse. Nello specifico:

- 1) Complesso calcareo basale indifferenziato
- 2) Complesso della maiolica
- 3) Complesso della scaglia calcarea

Tali complessi costituiscono, nelle aree in cui affiorano, delle vaste superfici di infiltrazione, e nel sottosuolo, estesi acquiferi in corrispondenza dei settori saturati da una falda. Questi complessi sono tra loro separati da altri complessi a minore permeabilità che fungono da acquicludi o da aquitard, in relazione alla loro capacità di costituire dei limiti o degli impedimenti al flusso che scaturisce tra acquiferi confinanti. Infatti, in letteratura si fa riferimento ad acquiferi indipendenti, tra loro sovrapposti e con diversa emergenza e potenzialità. Le condizioni di isolamento completo o parziale sono dovute in gran parte all'assetto strutturale locale, che ha determinato i reciproci rapporti giacaturali tra masse litoidi con caratteri differenti e ne ha modificato anche le originarie proprietà litologiche. Nonostante siano state definite le caratteristiche principali degli acquiferi principali, sono ancora in fase di definizione caratteristiche come limiti, dimensioni e velocità di propagazione della risorsa attraverso il mezzo poroso.

### 2.5.1 \_ COMPLESSO CALCAREO BASALE INDIFFERENZIATO

Consiste di calcari micritici bioclastici in grandi banchi, calcari nodulari, calcari micritici stratificati con orizzonti pelitici. Questo complesso comprende le formazioni del Calcare Massiccio, della Corniola, del Bugarone e della Maiolica. Ha spessori molto variabili, sempre superiore a diverse centinaia di metri. In questo complesso ha sede l'acquifero basale che satura i terreni più antichi affioranti nella regione, e che alimenta importanti sorgenti lineari.

### 2.5.2 \_ COMPLESSO DELLA MAIOLICA

Costituito dai calcari micritici bianchi della Formazione della Maiolica, ben stratificati, con sottilissimi orizzonti marnosi lungo i giunti di stratificazione e liste e noduli di selce. Gli spessori sono molto variabili, e vanno da qualche decina a qualche centinaio di metri di estensione. Questo complesso calcareo ospita acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie comprese tra 150 e 250 l/s.

### 2.5.3 \_ COMPLESSO DELLA SCAGLIA CALCAREA

Calcari micritici e calcari marnosi in varia proporzione, bianchi e rosati, con liste e noduli di selce, ben stratificati della Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Bianca. Spessore variabile tra 250 e 400 m. I caratteri litologici di questo complesso non sono omogenei nell'area considerata, perché dipendono dalla locale abbondanza di componente marnosa e dello stato di laminazione prodotto da motivi tettonici compressivi. È dotata di buona permeabilità d'insieme, che facilita il processo d'infiltrazione delle acque meteoriche e l'immagazzinamento di acque sotterranee.

Questo complesso assume quindi il ruolo di area di infiltrazione dove si trova in affioramento. Dove l'assetto strutturale è favorevole, il Complesso della Scaglia calcarea dà origine ad estesi acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie di alcune centinaia di l/s. Nelle zone in cui la tettonica compressiva ha compattato la roccia, il complesso della scaglia assume un carattere tipico di una roccia compatta e di limitata permeabilità e capacità di immagazzinamento.

(Terragoni et al, 2008)



## 3\_MATERIALE E METODI

Nel seguente paragrafo si andranno ad illustrare tutte le metodologie che sono state adottate durante le prove, spiegando nel dettaglio le dinamiche d'esecuzione seguite durante le uscite in campagna.

### 3.1\_MISURE DI PORTATA FLUVIALE

Le misure di portata ricadono nell'ambito delle misurazioni quantitative a servizio del bilancio idrogeologico.

Nel nostro caso specifico, le prove sono state eseguite nella pertinenza del Parco Naturale Regionale Gola della Rossa, nello specifico lungo l'asta fluviale del fiume Esino compresa tra l'abitato di Serra S. Quirico Stazione e l'Eremo di Grottafucile ricadente nel comune di Fabriano.

L'asta fluviale indagata è lunga approssimativamente 400,00m e, come si può osservare nella figura 3.1, essa è delimitata da due sezioni.



Figura 3.1 Asta fluviale soggetta a misure di portata fluviale (<https://www.google.it/intl/it/earth/index.html>)

#### 3.1.1\_MATERIALE

Di seguito è riportato un elenco degli strumenti e dei materiali utilizzati per le prove di portata.

- 1) Sonda modello "PME Cyclops-7 LOGGER"
- 2) Tracciante fluoresceina
- 3) Provetta in plastica trasparente per il trasporto del tracciante
- 4) Cronometro
- 5) Secchio miscelature
- 6) Software trattamento dei dati

## 3.1.2\_FOCUS SUI MATERIALI

In questo paragrafo sono riportate delle descrizioni delle strumentazioni e del loro utilizzo nell'ambito della prova.

### 3.1.2.1\_SONDA

La sonda (fig. 3.2 e fig. 3.3) viene immessa nel corso d'acqua nella sezione nella quale si vuole conoscere la portata, e che prende il nome di "sezione di valle". La sezione di valle deve essere scelta opportunamente lungo l'asta fluviale. Infatti, essa non dovrà essere troppo vicina alla sezione di immissione del tracciante, poiché altrimenti non si avrebbe rispettata la condizione di perfetta miscelazione del tracciante con l'acqua, perché la distanza tra le due sezioni risulta inferiore alla distanza di buona miscelazione (distanza minima da rispettare per garantire la dispersione del tracciante). La sonda ha il compito di registrare ad intervalli di tempo regolari la concentrazione del tracciante all'interno dell'acqua. La fase di lettura delle concentrazioni è preceduta da una fase preliminare di taratura della sonda il cui scopo è far registrare alla sonda almeno due valori di concentrazione del tracciante. La prima lettura consiste nel far acquisire alla sonda il così detto valore di "bianco" della concentrazione, in cui il tenore del tracciante nell'acqua è pari a 0 (questo step è fondamentale al fine di evitare letture negative delle concentrazioni). La seconda lettura invece serve per dare alla sonda un altro valore di riferimento della concentrazione del tracciante. La sonda è anche dotata di una memoria interna, dentro la quale sono trascritti i dati che poi saranno elaborati dal software.



Figura 3.2 Sonda PME Cyclops-7 (<https://www.fondriest.com/pme-cyclops-7-logger.htm>)





Figura 3.3 (Sonda PME Cyclops-7 LOGGER in mano all'operatore)

La sonda utilizzata nella prova appartiene alla tipologia PME Cyclops-7 serie Logger, le cui specifiche sono riportate nelle schede tecniche seguenti (tab. 1 e tab. 2)

SPECIFICHE DELLA SONDA "CYCLOPS-7 LOGGER"	
Peso	0,73 Kg
Lunghezza	52,71 cm
Diametro	4,45 cm
Profondità di utilizzo	100 m
Intervallo di misurazione	5 s (fino a 24h)

Tabella 3.1 Tabella con le specifiche della sonda ([https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME\\_CFLUORDataSheet\\_05.2024.pdf](https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME_CFLUORDataSheet_05.2024.pdf))

Grandezze rilevabili	Range	Sensibilità
Temperatura	0-35 °C	0,2 °C
Clorofilla	0-500 µg/L	0,3 µg/L
Rodamina	0-200 ppb	0,03 ppb
Fluoresceina	0-150 ppb	0,02 ppb
Torbidità	0-200 NTU	0,1 NTU
Ficocianina	0-4500 ppb	0,8 ppb

Tabella 3.2 Tabella con i range di misura della sonda ([https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME\\_CFLUORDataSheet\\_05.2024.pdf](https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME_CFLUORDataSheet_05.2024.pdf))

### 3.1.2.2 TRACCIANTE FLUORESCEINA

Il tracciante utilizzato durante l'esecuzione della prova è la “fluoresceina sodica” o “uranina” (fig. 3.4 e fig. 3.5) con formula chimica “ $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ ”. A temperatura ambiente, il tracciante si presenta come un solido pulvirulento di colore rosso bruno inodore. Se sottoposto ad eccitamento da parte di raggi ultravioletti, esso sprigiona un'intensa fluorescenza di colore giallo-verde molto caratteristica. La fluoresceina è un colorante artificiale utilizzato ad alte diluizioni in campi come la speleologia, l'idrogeologia, o l'idrologia dei corsi d'acqua superficiali.



Figura 3.4 Barattolo di Fluoresceina sodica



Figura 3.5 Figura di dettaglio della fluoresceina sopra ad un cucchiaino

Le specifiche del composto sono riassunte brevemente nella tabella di seguito riportata (tab. 3.3).

FLUORESCINA SODICA	
Nome alternativo	URANINA
Tipo di composto	Organico
Formula chimica	$C_{20}H_{10}Na_2O_5$
Massa molecolare	376,28 g/mol
Stato di aggregazione a temperatura ambiente	solido pulvirulento
Colore	Rosso Bruno
Solubilità a 20 °C	500 g/L
Temperatura di fusione	360 °C (633,15 K)

Tabella 3.3 Specifiche della fluoresceina ([https://it.wikipedia.org/wiki/Fluoresceina\\_sodica](https://it.wikipedia.org/wiki/Fluoresceina_sodica))

### 3.1.2.2.1 TRACCIANTI E TIPI DI TRACCIANTE

Un tracciante si può descrivere come una sostanza naturale o artificiale facile da individuare che consente di conoscere direzione e velocità di un flusso al quale si miscelerà tramite letture di una sonda. La suddivisione in gruppi dei traccianti può essere fatta in base a molti aspetti che li caratterizzano. Tra cui:

- Naturale: ossia una sostanza già presente nell'acqua il cui tenore, e la sua variazione nel tempo sono misurati da una sonda.
- Artificiale: sostanza aggiunta dall'uomo in quantità nota all'interno del corso d'acqua. Tra i più usati negli studi idrologici troviamo la Fluoresceina, spore o DNA (traccianti biologici), Sali (ioni) e varie tipologie di isotopi (stabili o radioattivi)

### 3.1.2.2.2 IPOTESI DI TRACCIANTE IDEALE

Un tracciante artificiale per essere usato deve rispondere ai requisiti del “tracciante ideale”.

Un tracciante ideale:

- Perfetta miscelazione con l'acqua: in questo modo le particelle di tracciante viaggeranno alla stessa velocità e nella stessa direzione del flusso. Per garantire questo si impone che la distanza tra la sonda e il punto di immissione siano abbastanza distanti. Tale distanza è detta “distanza di buona miscelazione”
- Facilmente individuabile dalla sonda
- Non assorbibile dallo scheletro solido del letto del fiume: se così non fosse si avrebbero delle discrepanze tra il quantitativo di tracciante immesso a monte e quello passante alla sezione di valle, proprio perché un'aliquota è stata trattenuta durante il percorso

- Non deve subire alterazioni date da reazioni con altre specie chimiche nell'acqua: se così non fosse i nuovi composti che si andrebbero a creare nell'acqua potrebbero non essere rilevabili dalla sonda
- Non nocivo per l'ambiente: al fine di salvaguardare la salubrità della flora e della fauna del corso d'acqua
- Economicamente vantaggioso

### 3.1.2.2.3 IMMISSIONE DEL TRACCIANTE E CURVE DI CONCENTRAZIONE

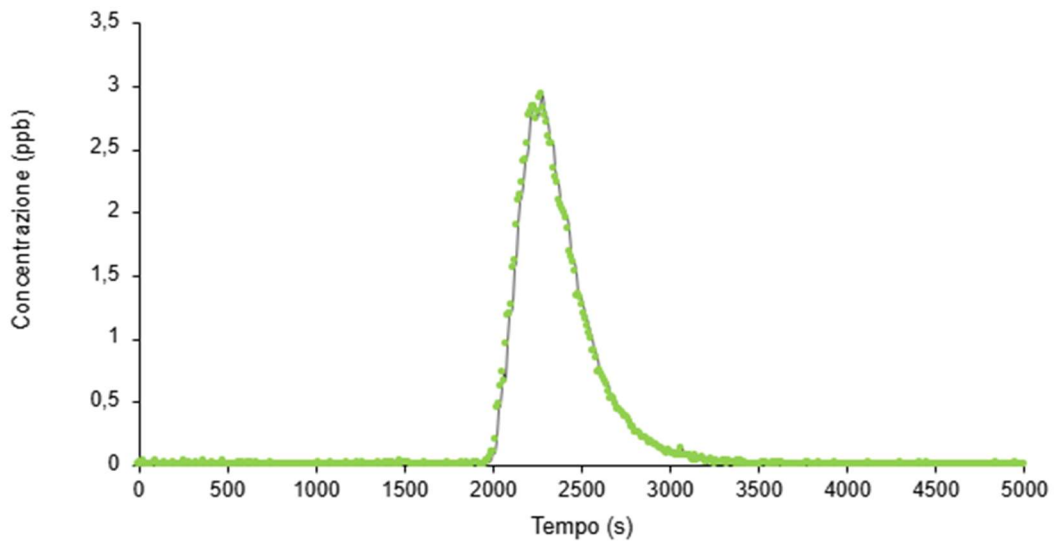
L'immissione del tracciante nella sezione di monte può avvenire secondo due configurazioni.

- Immissione prolungata: il rilascio avviene ad opera di una cisterna con un rubinetto regolabile in grado di rilasciare una precisa portata di tracciante nell'alveo
- Immissione istantanea (o INTEGRAZIONE): è la tecnica usata per la prova in esame (fig. 3.6). L'immissione avviene istantaneamente tramite un secchio. Questa tecnica è preferibile poiché è richiesto un minor quantitativo di tracciante.



*Figura 3.6 Momento dell'immissione del tracciante alla sezione di monte*

Recuperati i dati dalla memoria della sonda, e dopo averli plottati sul foglio di lavoro, è possibile costruire un grafico con le letture della concentrazione al variare del tempo. Tale curva prende il nome di “curva di concentrazione”, ed ha un andamento caratteristico a campana (Grafico 3.1). Nel caso di immissione istantanea, la curva si presenta composta da vari tratti ciascuno descrivente la situazione in alveo.



*Grafico 3.1 Tipico andamento della curva di concentrazione*

Possiamo distinguere quattro tratti della curva:

- 1) Tratto a concentrazione nulla: il tracciante è appena stato immesso nel flusso, ma ancora la nuvola di fluoresceina non ha raggiunto la sonda. La concentrazione segnalata corrisponde al “valore di bianco”
- 2) Tratto ascendente: la nuvola di tracciante è giunta alla sonda che inizia a registrare i primi valori (bassi) di concentrazione. Questo tratto è caratterizzato da una pendenza iniziale molto dolce che poi tende ad impennarsi rapidamente negli istanti dopo.
- 3) Picco: (o plateau nel caso di immissione continuata del tracciante) segna i massimi valori di concentrazione della fluoresceina. Questo sta a significare che la regione della nuvola di tracciante dove la concentrazione è più elevata sta attraversando la sezione con la sonda
- 4) Ramo di esaurimento: costituisce la coda della curva. Sta a significare che la concentrazione della fluoresceina nell’alveo sta diminuendo. Questo tratto è caratterizzato da una pendenza molto più lieve del tratto ascendente (ciò ci suggerisce che la nuvola di tracciante, a causa dei contributi di turbolenza e di attrito, ha una forma affusolata) questo tratto è particolarmente lungo e termina con ritorno alla condizione iniziale di concentrazione nulla (quasi)



### *3.1.2.3\_PROVETTA DI PLASTICA TRASPARENTE*

Ha lo scopo di agevolare il trasporto del tracciante fino al punto di immissione. Il contenitore ha un tappo avvitabile sulla parte superiore (fig. 3.7) che impedisce al solido pulvirulento di volatilizzare a causa delle vibrazioni durante il trasporto. Inoltre, la provetta consente di trasportare una precisa e prestabilita quantità di materiale al suo interno, facilitando le procedure di miscelazione in campo (fig. 3.8). Il materiale di cui è composto deve garantire che non vi sia interazione chimica con il materiale contenuto al suo interno.



*Figura 3.7 Dettaglio della provetta vuota*



*Figura 3.8 Dettaglio della provetta con al suo interno il tracciante in mano all'operatore*

### 3.1.2.4\_CRONOMETRO

Strumento utilizzato per misurare il tempo trascorso dall'immissione del tracciante alla sezione di monte, fino al momento dell'estrazione della sonda dal corso d'acqua.



Figura 3.9 Dettaglio del cronometro ([www.google.com](http://www.google.com))

### 3.1.2.5\_SECCHIO MISCELATORE

Consiste nel contenitore in plastica in cui è avvenuta la miscelazione del tracciante (fig. 3.10). Al suo interno (dopo un attento lavaggio) viene raccolto un certo volume di acqua prelevato dal corso d'acqua alla quale viene poi additivato il tracciante in quantità nota.



Figura 3.10 Dettaglio del secchio miscelatore

La fase di miscelazione deve avvenire al riparo dalle turbolenze del corso d'acqua poiché si deve garantire il perfetto scioglimento del tracciante e la scomparsa di alcuni grumi che potrebbero falsare le letture. Alla fine della miscelazione (che può avvenire anche con un bastoncino) la colorazione dell'acqua all'interno del secchio si presenta di un forte e caratteristico colore giallo verde tipico della fluoresceina come si vede in fig. 3.11.



Figura 3.11 Miscelazione del tracciante nel secchio al riparo dalla corrente

### 3.1.2.6 SOFTWARE DI TRATTAMENTO DATI

Il software a disposizione del trattamento dati è MS EXCEL di office 365, ossia uno strumento di calcolo altamente versatile che consente il trattamento della grande mole di dati scaricati dalla memoria della sonda, e permette anche di costruire la così detta curva di concentrazione grazie alla quale poi sarà possibile calcolare la portata in quella data sezione.



Figura 3.12 Icona del software utilizzato (MICROSOFT EXCEL)

### 3.1.3 METODI E DINAMICA DELLA PROVA

La metodologia utilizzata è quella detta delle prove di tracciamento. Le prove di tracciamento ricadono nell'ambito delle misurazioni di tipo quantitativo delle volumetrie e delle portate di acqua che transitano in un dato segmento di un'asta fluviale.

La prova consiste dunque nell'immettere il tracciante, opportunamente diluito e miscelato all'interno del secchio di miscelazione, all'interno del corso d'acqua in corrispondenza della sezione di monte (fig. 3.13). Per le ipotesi di tracciante ideale, la nuvola di fluoresceina si andrà a miscelare perfettamente all'interno del corso d'acqua (infatti già dopo qualche secondo dall'immissione del tracciante avvenuta in maniera istantanea



secondo la procedura di “integrazione” la nuvola di colore giallo fosforescente non è più visibile ad occhio nudo).



Figura 3.13 Sequenza operativa della prova

### 3.1.4.1 *NOZIONE DI BILANCIO DI MASSA E FORMULA PER IL CALCOLO DI Q*

Il concetto di bilancio di massa si rifà al principio di conservazione della massa, secondo il quale la massa (e nello specifico la massa del tracciante immesso nell'alveo) non può essere né creata né distrutta. Preso un ambiente aperto; ossia una regione di spazio appartenente al sistema universo ma separata da quest'ultimo tramite un volume di controllo, esso scambierà con il sistema universo materia (ed energia).

È dunque possibile, a seguito di questa definizione introdurre la nozione di carico di massa, relativo alle masse (quindi alle concentrazioni) dei traccianti immessi nel corso d'acqua in maniera istantanea.

Preso il volume in ingresso  $V_{IN}$ , all'interno del quale è disciolta una certa concentrazione ( $C_{IN}$ ) del tracciante (adeguatamente scelto). Tale volume è iniettato molto velocemente, in una sezione trasversale, localizzata all'inizio dell'asta fluviale che si intende indagare. È possibile dare la definizione del “carico di massa”  $L_{IN}$  dato dal prodotto del volume in ingresso con la concentrazione. In formule

$$L_{IN} = V_{IN} \cdot C_{IN}$$

Questa nuova grandezza costituisce la massa di tracciante che entra nel nostro sistema.

Ragionamento analogo può essere fatto per il volume di acqua (nella quale è disciolto il tracciante) in uscita dal volume di controllo e per il carico di massa che rimane all'interno del volume di controllo detto di accumulo

$$L_{OUT} = V_{OUT} \cdot C_{OUT}$$

$$L_{ACC} = V_{ACC} \cdot C_{ACC}$$

Dove  $C_{ACC}$  rappresenta la concentrazione del tracciante all'interno del volume di controllo.

È dunque possibile, tramite il principio di conservazione della massa, scrivere che la massa del tracciante in ingresso al volume di controllo ( $L_{IN}$ ), è pari alla massa di tracciante in uscita alla sezione di valle del volume considerato ( $L_{OUT}$ ) a patto di considerare valida l'ipotesi di accumulo nullo ( $L_{ACC} = 0\text{Kg}$ ) all'interno del volume di controllo (tale condizione è garantita dalla definizione di tracciante ideale secondo la quale, il tracciante non viene adsorbito dallo scheletro solido del letto del fiume). In formule

$$L_{IN} = L_{OUT} - L_{ACC} (= 0)$$

Quindi

$$L_{IN} = L_{OUT}$$

Andando a normalizzare tale equazione nell'unità di tempo, otteniamo il carico di massa come massa di tracciante (in ingresso o in uscita) nell'unità di tempo (secondi, minuti, ore, giorni...). Questo passaggio fa sì che nella definizione generica di carico di massa, il volume diventi una portata di massa del tracciante (data appunto dal rapporto di una massa per un'unità di tempo). È quindi possibile riscrivere l'equazione del carico di massa normalizzato alla variabile tempo.

$$L(M/T) = Q(V/T) \cdot C(M/V)$$

Alla luce di quanto detto, si può scrivere la relazione che ci permetterà di ricavare la portata transitante.

$$C_{IN} \cdot V_{IN} = Q_{OUT} \cdot C_{OUT}(t)$$

Dove  $C_{in}$  e  $V_{in}$  sarebbero il volume e la concentrazione dal tracciante nel secchio miscelatore al momento dell'immissione (entrambi noti), mentre  $Q_{out}$  e  $C_{out}$  sono le grandezze che si riscontrano a valle. In particolare,  $C_{out}$  presenterà una dipendenza dal tempo (che verrà poi meno nel momento in cui si risolverà l'integrale). Quindi la formula diventa

$$C_{IN} \cdot V_{IN} = Q_{OUT} \cdot \int_0^{\infty} C_{OUT}(t) dt$$

Risolvendo l'integrale è possibile ricavare la  $Q_{out}$  che coincide con la  $Q$  transitante in quella precisa sezione

$$Q = \frac{C_{IN} \cdot V_{IN}}{\int_0^{\infty} C_{OUT}(t) dt}$$

(Bolognesi, 2006)

## 3.2\_PROVE INFILTROMETRICHE CON DOPPIO ANELLO (ASTM-d3385)

L'infiltrazione è il processo di penetrazione dell'acqua nella superficie del terreno. L'intensità di questo processo è chiamata tasso di infiltrazione. Il tasso di infiltrazione è espresso in termini di volume d'acqua per superficie del terreno e per unità di tempo (L/T, come ad esempio mm/min). la capacità di infiltrazione del terreno indica il tasso massimo di infiltrazione in un determinato momento. In determinate circostanze, può essere necessario determinare la capacità di infiltrazione del suolo, ad esempio nelle aree di infiltrazione o nei bacini di infiltrazione. Il principio di base della prova è illustrato nella figura 3.14.



Figura 3.14 Rappresentazione schematica del funzionamento della prova ([www.google.com](http://www.google.com))



Figura 3.15 Strumentazione di prova (A. Scotti Relazione geologica di PGT - Aggiornamento alla Variante Generale, 2019)

### 3.2.1\_MATERIALI

- 1) Strumento da giardinaggio
- 2) Anelli in acciaio alti 20 cm con diametri diversi e bordo inferiore tagliente
  - Anello esterno con diametro di 53 cm
  - Anello interno con diametro di 28 cm
- 3) Mazzetta per infissione (impact-absorbing hammer)

- 4) Testa di battitura (placca in acciaio)
- 5) Livella a bolla
- 6) Metro a fettuccia
- 7) Cronometro
- 8) Tuniche d'acqua
- 9) Tabella per registrazione delle letture
- 10) Fondello forato in acciaio
- 11) Baro-Logger con supporto
- 12) Trivella manuale per la raccolta dei campioni di terreno
- 13) Contenitori in acciaio per i campioni di terreno (pesati vuoti prima dell'inizio della prova)

## 3.2.2 \_ FOCUS SUI MATERIALI

### 3.2.2.1 \_ STRUMENTI PER PULIZIA DELL'AREA E INFISSIONE

#### 3.2.2.1.1 \_ STRUMENTO DA GIARDINAGGIO

Lo strumento da giardinaggio in questione è una zappetta a doppia mano (fig.3.16). Il suo scopo è quello di ripulire la superficie sulla quale si andrà ad effettuare la prova, e liberarla da copertura erbosa, ciottoli o ramoscelli che potrebbero andare ad influenzare la capacità assorbente del terreno, o ostacolare l'infissione degli anelli.



Figura 3.16 Immagine dello strumento da giardinaggio ([www.google.com](http://www.google.com))

#### 3.2.2.1.2 \_ MAZZETTA (IMPACT-ABSORBING HAMMER)

Come detto, il terreno da attraversare può presentarsi particolarmente consistente e difficile da penetrare (soprattutto se il terreno risulta arido). Perciò si usa una mazzetta (fig. 3.17) per infiggere, tramite una testa di battuta, gli anelli nel terreno.



*Figura 3.17 Immagine della mazzetta per l'infissione*

### 3.2.2.1.3 \_TESTA DI BATTUTA

È costituita da una croce di acciaio al cui centro vi è la testa di battuta (fig. 3.18). I rami della croce sono posti perpendicolarmente tra di loro in modo che essi vadano ad appoggiarsi sul bordo superiore dell'anello. La sua forma a croce fa sì che l'energia scaturita dall'impatto tra la mazzetta e la testa di battitura sia equamente distribuita sul bordo dell'anello per garantirne al meglio l'infissione (fig. 3.19).



*Figura3.18 Testa di battuta*



*Figura 3.19 Immagine della testa di battuta posta sopra gli anelli prima della loro infissione*



### 3.2.2.2 \_STRUMENTI DI MISURA E VERIFICA

#### 3.2.2.2.1 \_LIVELLA A BOLLA

Serve per verificare l'orizzontalità del piano passante per il bordo superiore degli anelli, e la verticalità delle pareti degli anelli rispetto al piano di campagna. Inoltre, serve anche per verificare che entrambi gli anelli siano stati infissi alla stessa profondità (fig. 3.21).



Figura 3.20 Dettaglio della livella a bolla ([www.google.com](http://www.google.com))



Figura 3.21 Immagine che rappresenta il momento in cui si verifica che i due anelli sono posti alla stessa profondità

#### 3.2.2.2.2 \_METRO A FETTUCCIA

Il metro a fettuccia serve per misurare la profondità di infissione dei due anelli.



Figura 3.22 Dettaglio del metro a fettuccia ([www.google.com](http://www.google.com))

### 3.2.2.2.3\_CROMOMETRO

Il cronometro ha una duplice funzionalità, ossia quella di misurare il tempo dall'inizio della prova, sia quella di misurare il tempo intercorso tra due misurazioni consecutive o due ripristini del livello consecutivi.



Figura 3.23 Dettaglio del cronometro ([www.google.com](http://www.google.com))

### 3.2.2.3\_STRUMENTAZIONE DI PROVA

#### 3.2.2.3.1\_ANELLI DI ACCIAIO ALTI 20cm CON DIAMETRI DIVERSI E BORDO INFERIORE TAGLIENTE

I due anelli da cui la prova prende il nome sono costituiti di acciaio, e vengono infissi nel terreno fino ad una data profondità dal piano campagna (fig. 3.24). L'infissione nel terreno, che può essere anche particolarmente consistente e difficile da penetrare, è agevolata dal bordo inferiore tagliente dei due anelli che facendo strada dei primi cm di terreno vegetale andranno a tranciare radici e ramoscelli che non sono stati rimossi durante la fase di pulizia dell'area di prova (fig. 3.25). L'infissione dei due anelli si spinge fino a qualche cm dal piano campagna partendo da quello esterno (più grande) con un diametro di 53 cm per poi passare a quello interno (più piccolo) con diametro di 28 cm.



Figura 3.24 Asset di prova



Figura 3.25 Dettaglio del bordo inferiore tagliente

### 3.2.2.3.2\_TANICA D'ACQUA

È il serbatoio dal quale si accinge l'acqua per la prova. Il suo volume deve essere abbastanza considerevole (intorno ai 20 L), considerando il numero di ripristini del livello e la durata della prova, che può raggiungere anche le due ore.



Figura 3.26 Tanica ([www.google.com](http://www.google.com))

### 3.2.2.3.3\_FONDELLO IN ACCIAIO FORATO

Caratterizzato da un diametro pari a quello dell'anello interno, il suo scopo è quello di ridurre il grado di disturbo arrecato dall'acqua al momento dell'impatto con il suolo. Inoltre, esso ha anche lo scopo di omogeneizzare lo spargimento dell'acqua nel cilindro al fine di simulare al meglio l'effetto della precipitazione.



Figura 3.27 Fondello di acciaio forato (A. Scotti Relazione geologica di PGT - Aggiornamento alla Variante Generale, 2019)

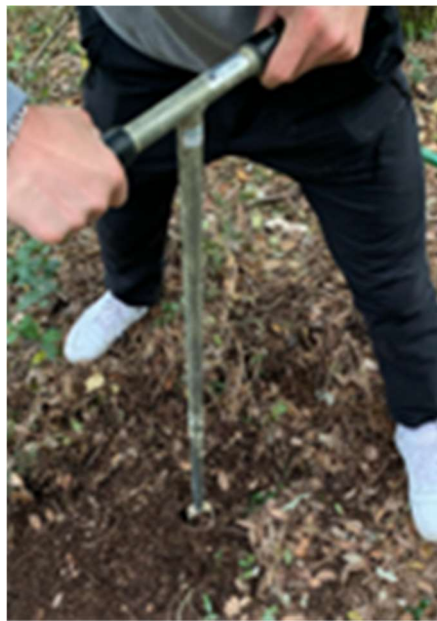




*Figura 3.28 Baro-Logger*

### 3.2.2.3.6 TRIVELLA MANUALE PER LA RACCOLTA DEI CAMPIONI

Questo strumento ci consente di estrarre dei campioni di terreno (altamente disturbati) tramite l'applicazione di un momento torcente. Alla base dello strumento vi è una trivella elicoidale, che girando su se stessa si fa strada nei primi centimetri di terreno tagliandolo con i bordi taglienti dell'elica (fig. 3.29).



*Figura3.29 Trivella manuale per il prelievo di campioni*

### 3.2.2.3.7 CONTENITORE IN ACCIAIO PER CAMPIONI DI TERRENO

Il contenitore di acciaio consente di prelevare dei campioni di terreno (fortemente disturbati) dal sito in quale si effettua la prova. Il prelievo dei campioni è fondamentale per stabilire, tramite analisi di laboratorio, le caratteristiche del terreno al momento della prova come, ad esempio, il grado di umidità percentuale del terreno. La determinazione di tali parametri consente di avere una visione delle condizioni al contorno della prova. Il contenitore deve essere chiuso in maniera ermetica in modo tale da preservare le



caratteristiche di umidità del campione, e per evitare l'intrusione di materiale estraneo. Come si può vedere nella figura seguente, ad ogni campione è associato un codice univoco per determinare la prova e la zona del prelievo (fig. 3.30)



*Figura 3.30 Contenitore per campioni di terreno chiuso ermeticamente in mano all'operatore*

### 3.2.3 METODI E DINAMICA DELLA PROVA

La prova a doppio anello è un test che restituisce una lettura puntuale della velocità di infiltrazione del terreno. Infatti, solitamente tale prova è ripetuta in vari punti della zona al fine di ricavare un andamento del comportamento del terreno. Nel nostro caso specifico sono stati saggiati diversi tipi di affioramento in diversi punti dell'area di interesse. Gli affioramenti sono di seguito riportati

- Calcare massiccio 1 (affioramento locato nelle vicinanze del cimitero di Castelletta);
- Calcare massiccio 2 (affioramento localizzato nei pressi di Precicchie);
- Scaglia 1 (prova effettuata nei pressi della zona industriale di Serralta precisamente lungo la strada provinciale 14);
- Scaglia 2 (affioramento nell'abitato di San Pietro);
- Maiolica 1 (affioramento nei pressi della frazione di Fosso Pezze facente parte del comune di Fabriano);
- Maiolica 2 (affioramento nei pressi dell'abitato di Castelletta).

Tali affioramenti, poi sono stati saggiati in due diversi punti per avere una visione di insieme della capacità di infiltrazione dell'acqua su una data specie geologica. Di seguito si riporta una mappa con i punti nei quali sono state effettuate le prove e i campionamenti del terreno (fig. 3.31).



Figura 3.31 Mappa con i punti delle prove infiltrometriche

Per prima cosa, individuata la formazione rocciosa e trovato un luogo idoneo alla prova si preleva un campione di terreno tramite la trivella manuale e lo si pone dentro il contenitore per campioni (fig. 3.29 e fig. 3.30).

La procedura consiste nella preventiva eliminazione del manto erboso dalla superficie di prova (lo sfalcio poi deve essere rimosso) e nella verifica dell'orizzontalità della superficie. In seguito, si procede all'infissione del primo anello esterno fino ad una profondità approssimativa di 10 cm tramite battitura con la mazzetta e con la testa di battitura. Raggiunta questa profondità, si procede a verificare che l'infissione sia avvenuta in modo tale che le pareti dell'anello siano verticali tramite la livella a bolla. In seguito, si passa all'infissione dell'anello più piccolo in maniera analoga a quella adottata per l'anello esterno. Infine, si verifica che i bordi superiori dei due anelli siano allo stesso livello (vedi fig. 3.21). Nella fase successiva, si procede a posizionare il diver con il Baro-Logger sul fondo del cilindro. Il setup della prova è riportato nella figura 3.32.



Figura 3.32 Setup iniziale della prova infiltrometrica

Si versa quindi acqua pulita nel cilindro esterno fino ad arrivare ad un'altezza di 10 cm sopra il fondo, per poi proseguire, come si può vedere nella figura 3.33, con il riempimento del cilindro interno, sempre fino ad un'altezza di 10 cm.



*Figura 3.33 L'operatore versa l'acqua dalla tanica dentro il cilindro interno (A. Scotti Relazione geologica di PGT - Aggiornamento alla Variante Generale, 2019)*

Per diminuire il disturbo arrecato dall'impatto dell'acqua con il fondo, su di esso è stato posto un cilindro di acciaio forato con lo stesso diametro del cilindro interno (fig. 3.27). Il motivo del valore contenuto di altezza della colonna d'acqua nei due anelli (ovvero qualche cm) serve a favorire la verticalità del flusso. Proprio per questo, lo scopo dell'anello esterno e quello di mantenere verticale il flusso d'acqua fungendo da confinamento laterale. Di seguito è riportata la serie delle procedure eseguite fino ad ora (fig. 3.34).



*Figura 3.34 Sequenza di preparazione della prova*

Appena raggiunto il livello di partenza si fa partire il cronometro e si iniziano a raccogliere i dati con i quali si riempiranno la tabella. Con l'abbassamento del livello di acqua nel cilindro interno, dovuto all'infiltrazione nel terreno, si effettuano i ripristini del livello e si misurano le altezze delle colonnine d'acqua che percolano nel suolo. La prova si può considerare conclusa quando si riscontrano tre misure identiche consecutive della velocità di infiltrazione. Ciò sta ad indicare che il terreno è passato dalla condizione transitoria a quella saturata.

(Scotti, 2019)

### *3.2.3.1\_OSSERVAZIONI SULLA PROVA INFILTR E DRAWBACK*

Come ogni prova in sito essa è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali al contorno quali

- Umidità del terreno al momento della prova;
- Natura del substrato roccioso (alcune rocce sono più permeabili di altre);
- Temperatura e pressione atmosferica istantanee;
- Presenza di manto erboso;
- Sul lungo periodo la condizione di moto di infiltrazione verticale viene meno;
- Inoltre, non sono rare le discrepanze (che possono arrivare anche a due ordini di grandezza di differenza) dei valori di permeabilità ricavati dalle prove in laboratorio.

(Scotti, Relazione geologica di PGT - Aggiornamento alla Variante Generale, 2019)

### *3.2.3.2\_COME SI INFILTRA L'ACQUA NEL TERRENO*

La risorsa idrica può arrivare all'acquifero (e diventare dunque parte della falda) muovendosi nei mezzi rocciosi tramite due tipi di permeabilità:

- Permeabilità primaria: dovuta alle caratteristiche granulometriche del terreno e alla sua matrice;
- Permeabilità secondaria: scaturita invece da fratture o canali presenti nel mezzo roccioso e dove l'acqua è libera di scorrere.

### *3.2.3.3\_LEGGE DI DARCY ED ESPERIENZA DI DARCY*

In generale, la legge che approssima meglio il comportamento dell'acqua che si infiltra nel terreno è la legge di Darcy, per la quale il modulo della velocità "v" proporzionale alla cadente idraulica "i" (che consiste sostanzialmente al rapporto tra la differenza di carico tra due punti diviso la distanza che li separa) tramite il coefficiente di permeabilità del terreno "K" (che a sua volta dipenderà dal tipo di terreno e dalla natura del fluido che lo attraversa).

#### *3.2.3.3.1\_ESPERIENZA DI DARCY E IPOTESI*

L'esperimento di Darcy consiste nel far attraversare all'acqua un tubo a sezione costante pieno di un mezzo poroso sotto l'azione di un gradiente idraulico dato dalla differenza di carico imposta alle due estremità del tubo. Il setup dell'esperienza di Darcy è illustrato nella figura seguente (fig. 3.35)

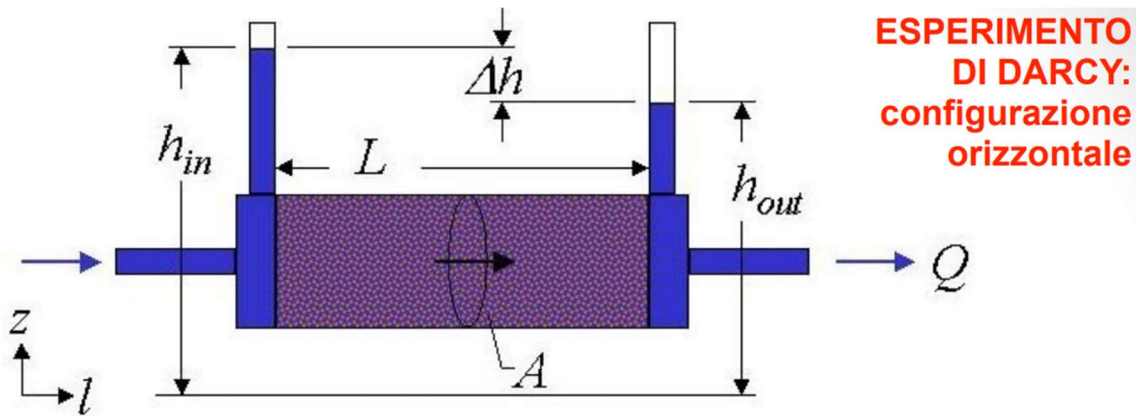


Figura 3.35 Rappresentazione schematica dell'esperimento di Darcy ([www.google.com](http://www.google.com))

Le ipotesi alla base di tale esperimento si concentrano sul tipo di flusso e sulla natura del mezzo poroso (che nel caso specifico dell'esperienza di Darcy risulta essere una sabbia con porosità del 38%). Esse sono:

- Moto laminare del fluido: questa condizione è rispettata per bassi valori del numero di Reynolds che dipenderà dalla natura del fluido (nello specifico dalla sua viscosità cinematica), e dal diametro medio dei pori nel mezzo poroso;
- Mezzo omogeneo: la permeabilità in ogni punto del mezzo poroso è la stessa;
- Mezzo isotropo: la permeabilità in ciascun punto è indipendente dalla direzione;
- Gradiente idraulico imposto da una differenza di potenziale, ovvero la pendenza della linea piezometrica che unisce le due sezioni;

Dall'esecuzione della prova è stato possibile ricavare l'enunciato il quale dice che:

In un acquifero a moto laminare, omogeneo e isotropo, sotto l'azione di una cadente idraulica, la portata  $Q$  che transita nell'acquifero è proporzionale alla sezione di deflusso "A", all'entità della cadente "i" e al valore del coefficiente di permeabilità "K" dipendente dal mezzo e dal fluido. In formule

$$Q = A \cdot i \cdot K$$

Dalla formula è facile risalire al calcolo della velocità media "v" andando a dividere ambo i membri per la superficie della sezione.

$$\frac{Q}{A} = i \cdot K$$

Da cui:

$$v = i \cdot K$$

(Idrologia principi e metodi, G. Castany 1982)



## 3.3\_RETE IDROPLUVIOMETRICA

### 3.3.1\_COS'E E A COSA SERVE

Una rete idropluviometrica è uno strumento molto flessibile al servizio della stesura di un bilancio idrogeologico. Consiste nella raccolta dei dati di temperatura e di precipitazione piovosa (e nevosa opportunamente convertita in precipitazione piovosa) relativi ad una zona più o meno estesa del territorio. Lo scopo è quello di definire un andamento di massima del comportamento delle due grandezze prima citate, al variare delle coordinate spaziali (latitudine e longitudine), ma soprattutto della quota. Per fare ciò è dunque necessaria una fase preliminare di raccolta dei dati, effettuata sulle stazioni meteorologiche disposte sul territorio al servizio del "SIRMIP", per un sufficiente periodo di tempo.

### 3.3.2\_CASO SPECIFICO DELL'AREA DI STUDIO

Nel nostro caso specifico, il lasso di tempo considerato consiste nel periodo che va da inizio del 2010, fino alla fine del 2023. La fase di raccolta dati ha interessato un totale di 17 stazioni meteorologiche disposte sul territorio delle province di Ancona e Macerata (fig. 3.37).

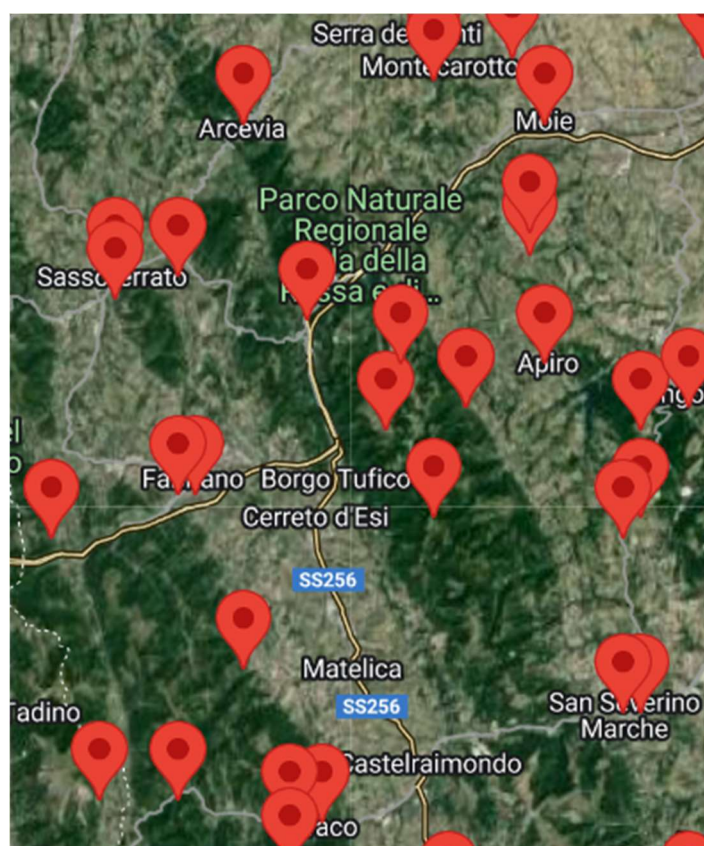


Figura 3.36 Visione di insieme delle stazioni pluviometriche disponibili nell'area

Purtroppo, non tutte le stazioni presenti nell'immagine 3.36 rispondevano ai requisiti minimi di indagine, quindi il numero delle stazioni trattate risulta essere inferiore all'effettivo numero di stazioni presenti in zona (fig. 3.37).

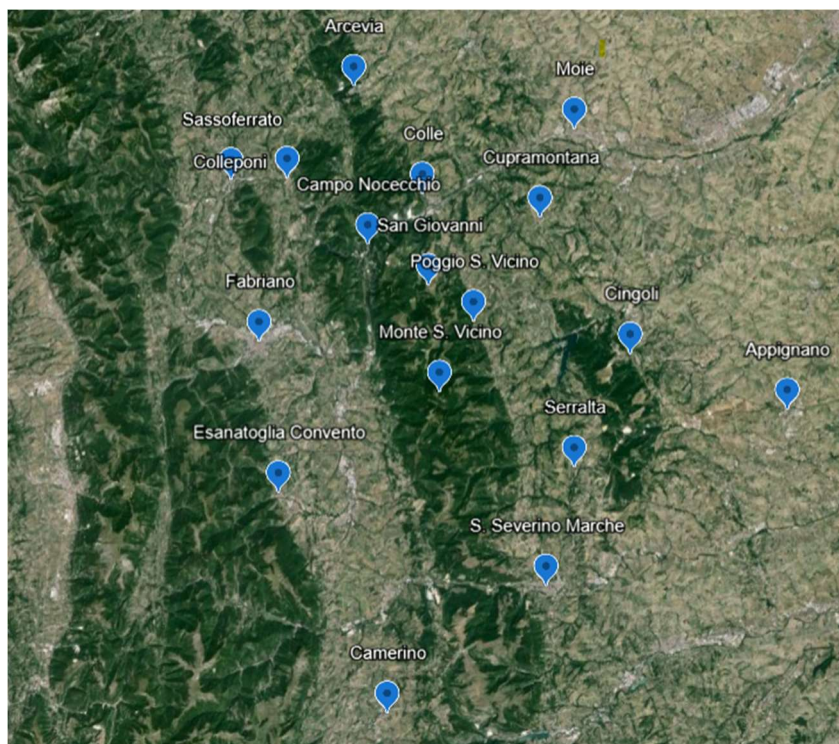


Figura 3.37 Visione di insieme delle effettive stazioni che rispondono ai requisiti sulla continuità delle misurazioni (17 stazioni)

### 3.3.3 STRUMENTI

- Termometro: strumento installato nelle stazioni metereologiche che serve per la misurazione della temperatura. Al termometro è associato una memoria per la raccolta dei dati al variare del tempo;
- Pluviometro elettronico a bascula: strumento utilizzato in campo idrologico per misurare le altezze di precipitazione e le loro intensità;
- Sito del “SIRMIP” (<http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it>)

#### 3.3.3.1 FOCUS SUGLI STRUMENTI

##### 3.3.3.1.1 TERMOMETRO DIGITALE

Questo strumento è montato all'interno della stazione metereologica, e registra in maniera continua la temperatura puntuale istantanea. Il termometro, coadiuvato da una memoria è in grado di registrare le temperature con un intervallo di tempo di 15 minuti. Inoltre, tramite i programmi appositi è possibile mettere in evidenza la temperatura media registrata in quel giorno, e le due temperature estreme registrate (massima e minima)



Figura 3.38 Termometro digitale

### 3.3.3.1.2\_PLUVIOMETRO A BASCULA

Consiste in una versione più moderna dei pluviometri ad imbuto, dove non era possibile ricavare l'intensità dell'evento di precipitazione. Questa nuova versione monta al suo interno un bilancino basculante incernierato su un perno (fig. 3.39). Alle due estremità delle bascule sono montate delle coppette per la raccolta della pioggia tarate in modo tale che, quando nella coppetta si raggiunge un peso pari a 0,2 mm di precipitazione, questa scende andando ad attivare un interruttore che tramite un impulso registra che sono caduti 0,2 mm di pioggia. Inoltre, nel pluviometro vi è incorporato anche un cronometro che serve per misurare il tempo intercorso tra due impulsi consecutivi. Alla fine della sessione di raccolta dati, il computer è in grado di costruire un grafico che ha sulle ascisse la variabile tempo, mentre sulle ordinate ha l'altezza di pioggia in mm. A seconda che il grafico sia più o meno ripido, riusciamo a capire se l'evento di pioggia appena concluso sia stato più o meno intenso. Inoltre, il punto più alto del grafico ci restituisce l'altezza di precipitazione cumulata dell'intera giornata piovosa.



Figura 3.39 Visualizzazione del meccanismo di un pluviometro a bascula



Figura 3.40 Aspetto esteriore del pluviometro

### 3.3.3.1.3 \_SITO DEL “SIRMIP”

Il sito del “SIRMIP” (Servizio Informativo Meteo Idro Pluviometrico), è una piattaforma creata dalla protezione civile della regione marche, e al suo interno racchiude tutte le documentazioni relative a dati meteorologici registrati anche a partire dagli anni '50. Dal sito si ha accesso a due tipi di dati: dato originale (ossia il dato grezzo raccolto dalla stazione senza una prima fase di elaborazione), e dato validato (ossia l'insieme dei dati che sono stati sottoposti ad un processo di pulizia e rimozione dei dati inverosimili). Ad oggi sulla piattaforma sono disponibili dati relativi alle precipitazioni (nevose e piovose), temperature, pressione atmosferica radiazione solare e direzione ed intensità del vento. Ai nostri scopi sono state sufficienti le letture dei dati validati relativi a temperature e precipitazioni.

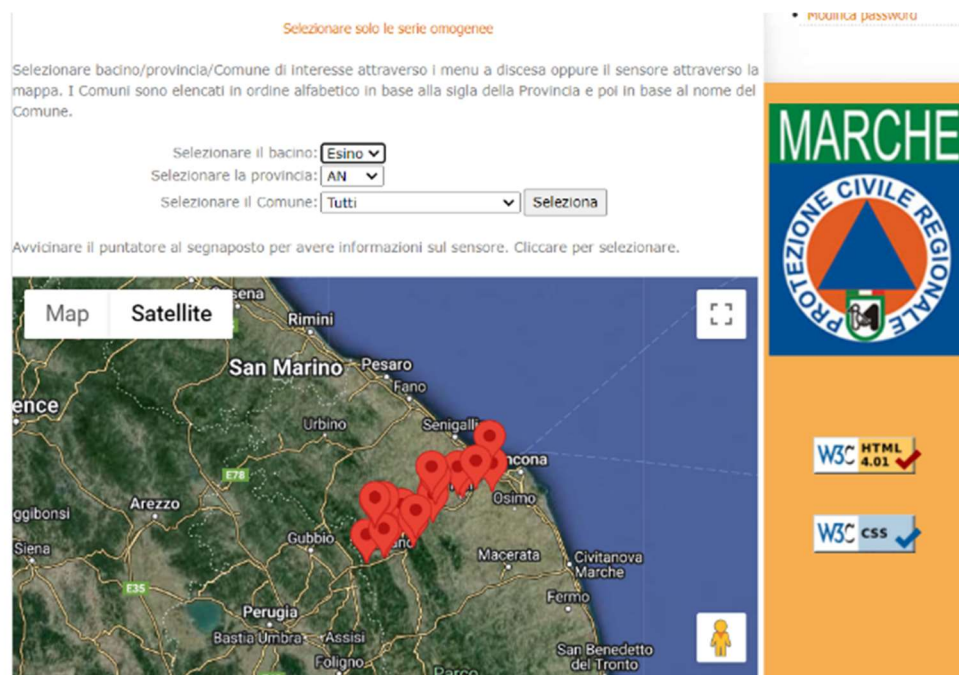


Figura 3.41 Schermata iniziale del sito del SIRMIP dove sono visibili alcune delle stazioni meteorologiche presenti sul territorio (<http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexis.sol?lang=it>)



Nella schermata (fig. 3.41) è visibile una mappa con la posizione alcune delle stazioni meteorologiche presenti sul territorio affiancate dalle specifiche della stazione come il nome e il codice della stazione, la sua posizione planimetrica espressa in latitudine e longitudine, e la sua quota riferita al livello medio del mare.

### 3.3.4 PROCEDURA

I dati raccolti fanno riferimento, come già detto, al periodo che intercorre tra l'inizio dell'anno 2010, e la fine dell'anno 2023 (per un totale di 14 anni di misurazioni), e comprendono un totale di 17 stazioni disposte su entrambe le province di Ancona e Macerata.

Le letture sono riassunte sinteticamente in delle tabelle che comprendono:

- Nome della stazione;
- Posizione planimetrica della stazione (latitudine e longitudine);
- Quota della stazione (misurata in msmm);
- Altezza di pioggia cumulata mensile: questo dato consiste nella media mensile delle letture delle precipitazioni cumulate in una stazione al variare dei mesi;
- Temperature medie mensili: ossia la media estesa ad ogni mese delle temperature medie giornaliere;
- Altezza di pioggia cumulata: consiste nella sommatoria delle letture delle cumulate medie mensili di cui al terzo punto;
- Precipitazione nevosa: risulta apprezzabile solo per le stazioni con quota pari o superiore ai 950,00 msmm. L'entità della precipitazione nevosa non deriva da letture dirette registrate dalle stazioni, bensì da una relazione lineare empirica che ci restituisce l'altezza di precipitazione nevosa al variare della quota. Successivamente, tali valori sono stati trasformati in altezza di precipitazione piovosa tramite un'altra relazione lineare per la quale ogni 10mm di neve corrispondono ad un'altezza di pioggia di 1mm;
- Precipitazione totale: ossia la somma delle letture dei due punti precedenti. Questo dato ci restituisce una stima di precipitazione al lordo di quella nevosa;
- Temperatura media annua: consiste nella media delle temperature medie mensili calcolate in precedenza (consiste sostanzialmente nella temperatura media che si ha in quel punto).

#### 3.3.4.1 INQUADRAMENTO DELLE STAZIONI

C'è da specificare che i dati fino ad ora raccolti ed elaborati non ci danno un comportamento generale relativo alla zona, ma solo un'osservazione puntuale. Infatti, i risultati saranno poi ulteriormente trattati dal Q-gis che consentirà di avere una visione di insieme della zona in esame.

#### 3.3.5.1 INQUADRAMENTO PLANO-ALTIMETRICO STAZIONI

Di seguito si riporta una tabella (tab. 3.5) che illustra la posizione plano-altimetrica delle stazioni di monitoraggio.



Stazione	Longitudine	Latitudine	Quota (msmm)
Moie	13°7'	49°29'	104,43
Campo Nocecchio	12°58'	43°24'	189,22
Appignano	13°20'	43°21'	195,00
San Severino Marche	13°11'	43°13'	220,00
Colleponi	12°54'	43°26'	253,50
Colle	13°3'	43°32'	350,00
Fabriano	12°54'	43°19'	354,00
Sassoferrato	12°51'	43°25'	386,00
Cupramontana	13°6'	43°26'	510,00
Arcevia	12°56'	43°29'	535,00
Serralta	13°11'	43°18'	549,00
Poggio San Vicino	13°4'	43°22'	580,00
Camerino	13°4'	43°8'	581,00
Esanatoglia Convento	12°56'	43°15'	608,00
San Giovanni	13°2'	43°23'	625,00
Cingoli	13°11'	43°21'	790,00
Monte San Vicino	13°3'	43°19'	1220,00

Tabella 3.5 Tabella riassuntiva della posizione delle stazioni

Si pone attenzione sul fatto che le stazioni sono state poste in ordine crescente di quota (grafico 3.2), andando da quella a quota minore (Moie), fino ad arrivare a quella con quota maggiore (Monte S. Vicino).

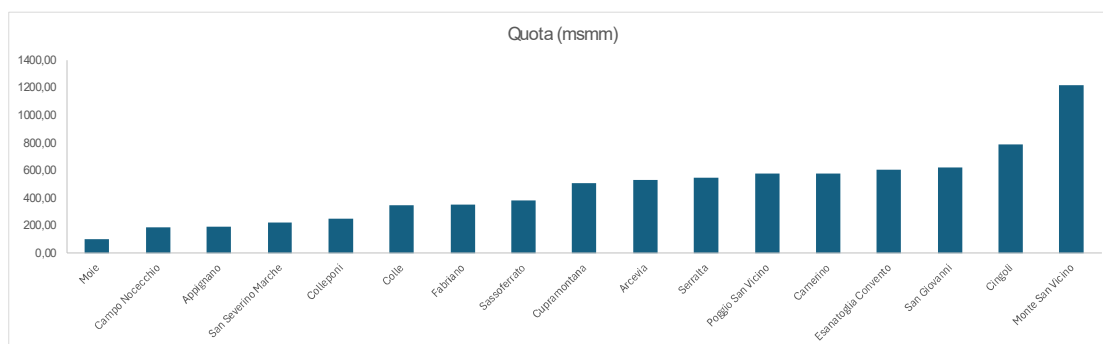


Grafico 3.2 Rappresentazione visiva della collocazione altimetrica delle stazioni

## 4\_RISULTATI

Nel seguente capitolo andremo ad illustrare e commentare i risultati ottenuti dai tre studi condotti.

### 4.1\_MISURE DI PORTATA FLUVIALE

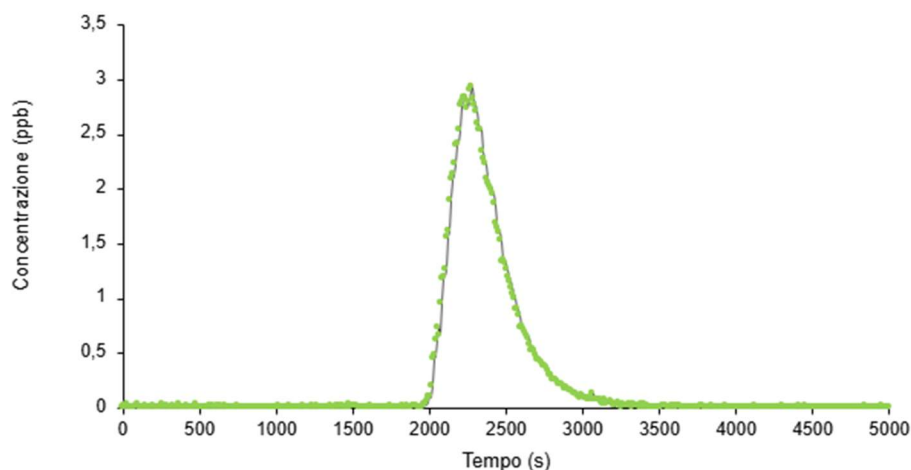
#### 4.1.2\_ANALISI DEI RISULTATI

In questo paragrafo si vanno ad illustrare e commentare i risultati della misura di portata fluviale.

La prova è stata eseguita il giorno 04/04/2024 (durante il periodo di magra) precisamente lungo l'asta fluviale del fiume Esino compresa tra l'abitato di Serra San Quirico stazione, l'eremo di Grottafucile situato nel comune di Fabriano.

L'asta fluviale nella quale è stata effettuata la prova è lunga approssimativamente 400,00 m, ed è delimitata a monte dalla Briglia dell'Enel (Sezione di immissione istantanea del tracciante) e a valle dalla Briglia di monte di Gorgovivo (sezione di lettura).

I dati risultanti dalla prova sono stati plottati in maniera tale da ricostruire la curva di concentrazione del tracciante. Il grafico è disegnato per punti sulla base delle letture di concentrazione della sonda, e presenta sulle ordinate la concentrazione rilevata dalla sonda espressa in ppb (parti per miliardo) che poi è stata convertita secondo i dettami del sistema internazionale (M/V), mentre sulle ascisse sono presenti gli istanti delle misurazioni espressi in secondi. Di seguito si riporta il grafico di concentrazione (grafico 4.1).



*Grafico 4.1 Curva di concentrazione*

Come anticipato, la curva si compone di quattro tratti principali:

- Nel primo tratto della curva (indicativamente da 0 a 2000 secondi), la sonda registra il così detto valore di bianco, il valore di pavimento della concentrazione del tracciante;

- Nella seconda parte del grafico, indicativamente tra 2000 e 2250 secondi, identifichiamo il ramo di crescita della concentrazione della fluoresceina nel corso d'acqua. Questo tratto si presenta con una pendenza abbastanza elevata, e ciò sta ad indicare che la nuvola di tracciante sta attraversando la sezione di valle.
- La fase ascendente del tenore della fluoresceina culmina con il raggiungimento del valore di picco della concentrazione del tracciante (2250 secondi). In questo momento la sonda sta rilevando i valori più alti;
- L'ultima parte consiste nel ramo di esaurimento della nuvola di fluoresceina (da 2250 secondi in poi). Il livello di tracciante all'interno dell'alveo sta tornando al valore iniziale.

Avendo a disposizione informazioni come

- Massa iniziale di fluoresceina immessa in alveo (M)
- Valore istantaneo della concentrazione di tracciante (C(t))

È dunque possibile impostare un “bilancio di massa” per risalire alla portata  $Q(m^3/s)$  che transita nell'alveo (vedi paragrafo 3.1.4.1).

Di seguito si riporta la tabella con i valori delle concentrazioni istantanee, e dell'area cumulativa sottesa dalla curva (tab. 4.1).

tempo (s)	concentrazione istantanea (ppb)	area del trapezio i-esimo	area cumulativa sottesa
0	0,000	0,000	0,000
...	...	...	3,590
500	0,000	0,000	
...	...	...	5,296
1000	0,000	0,051	
...	...	...	7,994
1500	0,021	0,105	
...	...	...	11,935
2000	0,108	0,819	
...	...	...	941,100
2500	1,320	13,363	
...	...	...	1195,562
3000	0,119	1,041	
...	...	...	1215,973
3500	0,003	0,015	
...	...	...	1218,808
4000	0,007	0,034	
...	...	...	1220,615
4500	0,009	0,047	
...	...	...	1221,608
5000	0,000	0,000	
...	...	...	1222,882
5500	0,000	0,016	
...	...	...	1327,429
5700	0,000	0,000	1327,429

Tabella 4.1 Valori di concentrazione istantanei e area sottesa dalla curva di concentrazione

A questo punto, sapendo che un carico di massa è dato dalla moltiplicazione della concentrazione per la portata possiamo impostare l'equazione (vedi paragrafo 3.1.4.1).

$$M (Kg) = Q (m^3/s) \cdot \int_0^{\infty} C(t) dt$$

Da cui possiamo ricavare Q

$$Q (m^3/s) = \frac{M (Kg)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

Dai dati raccolti e dalle considerazioni effettuate, è stato possibile risalire alla portata transitante nella sezione di valle.

I calcoli della portata sono stati effettuati a valle della conversione della concentrazione da ppb a g/L (in accordo con il Sistema Internazionale). Di seguito si riportano le tabelle con i risultati della prova (tab. 4.2).

Massa di tracciante immesso (g)	6,1
Area sottesa dalla curva (ppb)	1327,429
Area sottesa dalla curva (g/L)	0,001327
Portata (L/s)	4595,351
Portata (m <sup>3</sup> /s)	4,595

*Tabella 4.2 Risultati della prova di tracciamento*

Dalla prova si evince che la portata transitante nel segmento fluviale dell'Esino che va dall'abitato di Serra S. Quirico stazione e l'eremo di Grottafucile situo nel comune di Fabriano risulta essere di 4,595 m<sup>3</sup>/s durante il periodo di morbida. La prova di portata è stata eseguita facendo uso del tracciante artificiale Fluoresceina sodica.

## 4.2\_PROVE INFILTROMETRICHE

### 4.2.1\_ANALISI DEI RISULTATI

Le misurazioni sono state eseguite in data 09/05/2024 durante il periodo di ricarica della falda.

La prova è stata eseguita in diversi punti ricadenti all'interno dell'area di interesse, dove è stato possibile saggiare la capacità di infiltrazione del terreno al variare della specie geologica affiorante, di seguito si riporta la posizione dei punti delle prove (fig. 4.1).

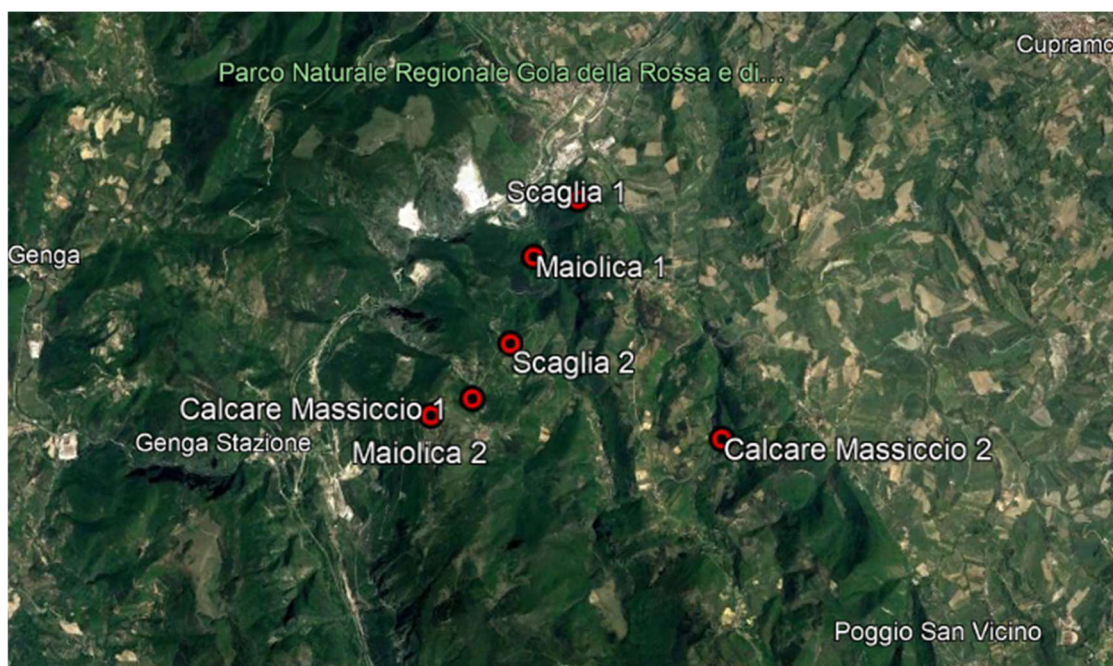


Figura 4.1 Disposizione dei punti delle prove infiltrometriche

Le prove infiltrometriche sono state effettuate su diversi tipi di affioramenti. Nello specifico:

- Calcarea massiccio
- Maiolica
- Scaglia

Ciascuno degli affioramenti è stato testato in un secondo punto per avere una visione generale della velocità di infiltrazione della roccia.

#### 4.2.1.1\_DETERMINAZIONE DEL GRADO DI UMIDITÀ DEL TERRENO

La prova infiltrometrica è stata affiancata da prove di laboratorio atte a stabilire il grado di umidità del terreno al fine di determinare la condizione di umidità di quest'ultimo. Di seguito sono riportate le tabelle illustranti le caratteristiche dei campioni prelevati in sito sia nelle condizioni umide (tab. 4.3), sia in quelle secche (tab. 4.4), più una tabella riassuntiva del grado di umidità del campione (tab.4.5).



	Formazione	campione (n°)	campione + tara (g)	tara (g)	campione umido (g)
umido	Scaglia 1	204	58,7	31,2	27,5
	Maiolica 1	305	88	32,3	55,7
	Calcare Massiccio 1	52	111,2	29,9	81,3
	Maiolica 2	214	96,9	32,2	64,7
	Scaglia 2	206	93,1	31,4	61,7
	Calcare Massiccio 2	360	97,3	31	66,3

Tabella 4.3 Riassunto delle caratteristiche del campione in condizioni umide

	Formazione	campione (n°)	campione + tara (g)	tara (g)	campione secco (g)
secco	Scaglia 1	204	46,8	31,2	15,6
	Maiolica 1	305	77,4	32,3	45,1
	Calcare Massiccio 1	52	97,9	29,9	68
	Maiolica 2	214	84,7	32,2	52,5
	Scaglia 2	206	85,1	31,4	53,7
	Calcare Massiccio 2	360	86,6	31	55,6

Tabella 4.4 Riassunto delle caratteristiche del campione in condizioni secche (dopo essiccazione in stufa a 105°)

Il calcolo del grado di umidità del campione è ricavabile dal rapporto dato dalla differenza tra il peso umido del campione (tab. 4.3) e il peso secco di quest'ultimo (tab. 4.4) diviso il peso del campione umido (tab. 4.4). di seguito si riporta la tabella dei gradi di umidità dei campioni prelevati (tab. 4.5).

campione (n°)	umidità (%)
204	43,27
305	19,03
52	16,36
214	18,86
206	12,97
360	16,14

Tabella 4.5 Gradi di umidità dei campioni

#### 4.2.1.2 TABELLE E GRAFICI RELATIVI ALLE PROVE INFILTROMETRICHE

A valle della prova è stato possibile costruire dei grafici in cui risulta evidente l'andamento del comportamento del terreno sottoposto a prova infiltrometrica al variare del tipo di affioramento. Di seguito si riportano i grafici relativi alle prove effettuate (grafici da 4.2 a 4.7).

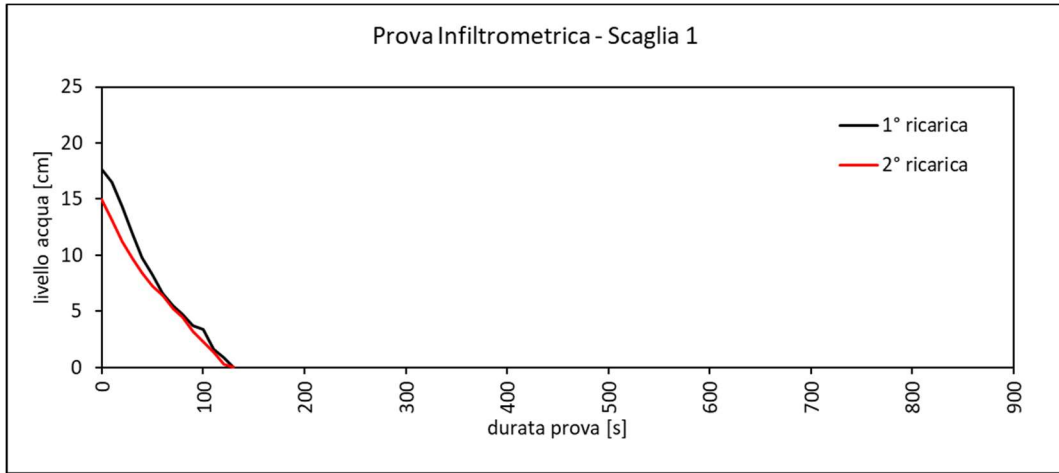


Grafico 4.2 Prova infiltrometrica effettuata sul primo campione di Scaglia

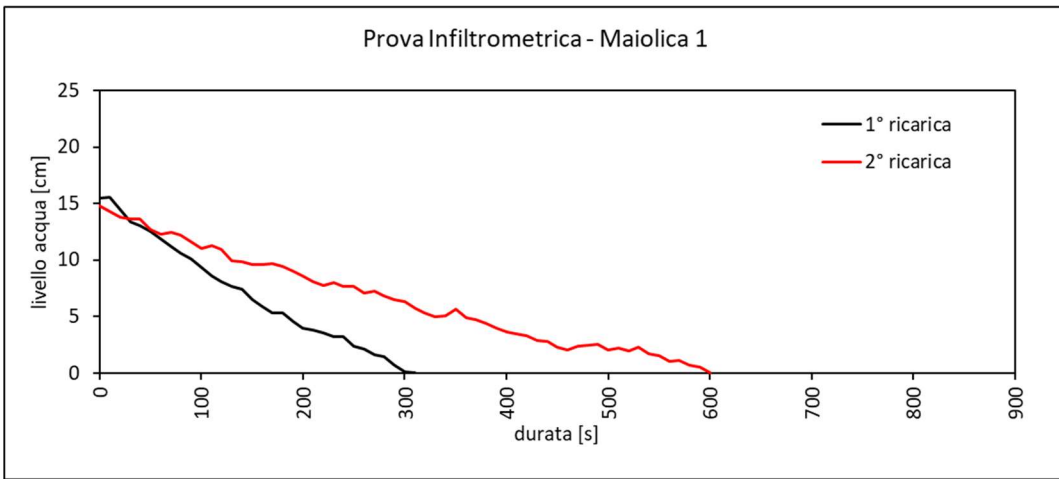


Grafico 4.3 Prova infiltrometrica effettuata sul primo campione di Maiolica

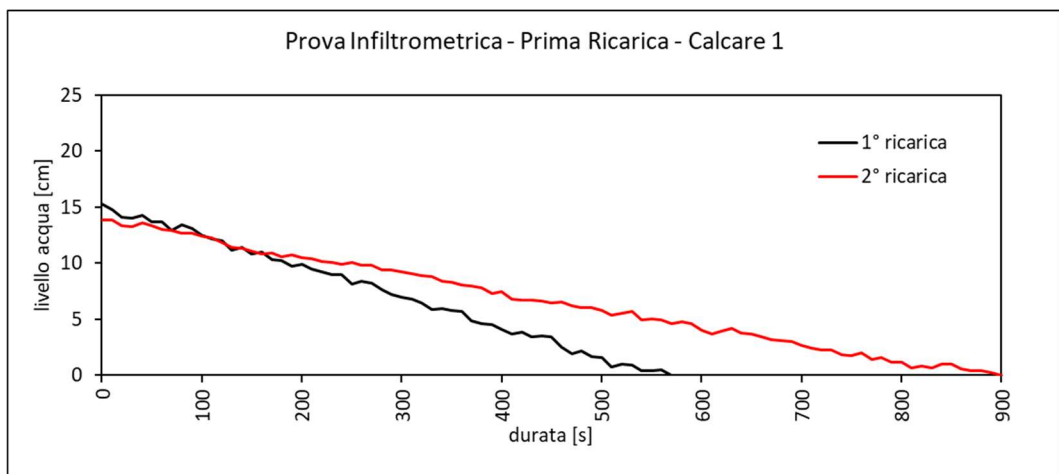


Grafico 4.4 Prova infiltrometrica effettuata sul primo campione di Calcare Massiccio

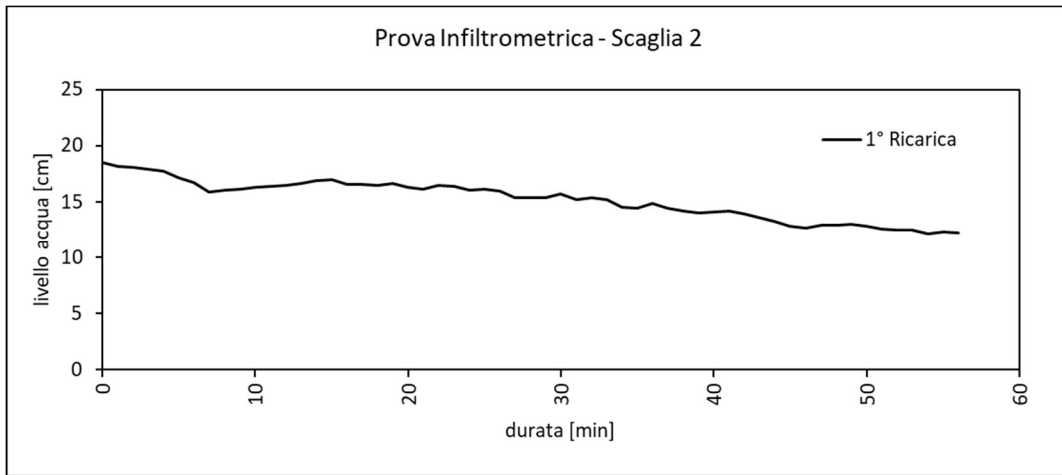


Grafico 4.5 Prova infiltrometrica effettuata sul secondo campione di Scaglia

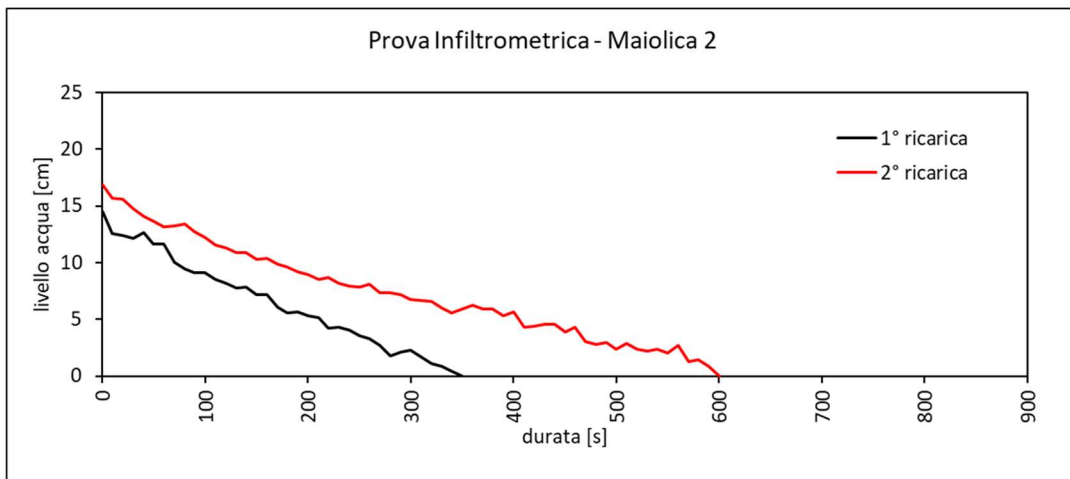


Grafico 4.6 Prova infiltrometrica effettuata sul secondo campione di Maiolica

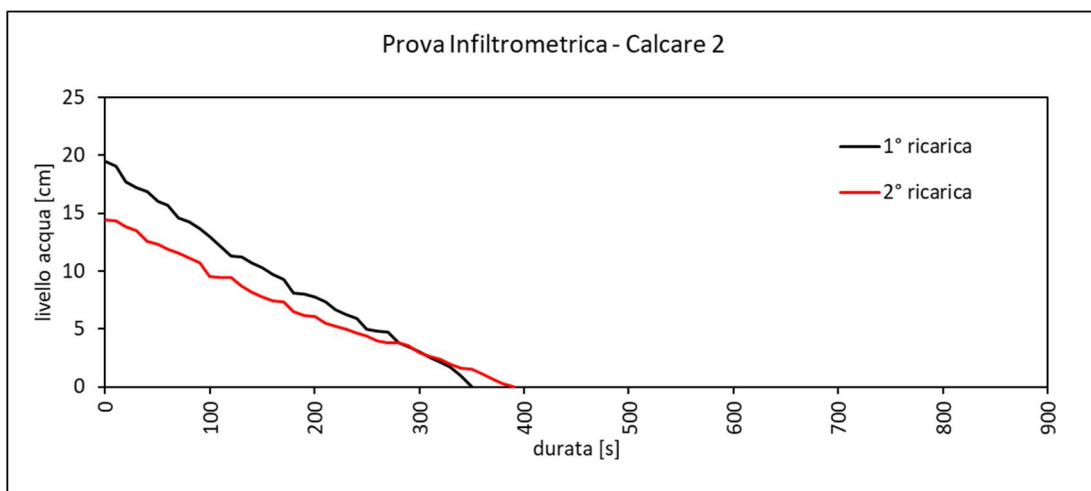


Grafico 4.7 Prova infiltrometrica effettuata sul secondo campione di Calcarea Massiccio

I dati ricavati dalle prove infiltrometriche sono stati poi riportati nella tabella seguente (tab. 4.6).

		livello iniziale (cm)	livello finale (cm)	durata prova (s)	infiltrazione (m/s)
Scaglia 1	1° ricarica	13,8086875	0	102	1,35E-03
	2° ricarica	16,6666875	1,0336875	152	1,03E-03
	3° ricarica	15,6166875	0	166	9,41E-04
Maiolica 1	1° ricarica	17,19802817	12,82302817	2560	1,71E-05
	2° ricarica				
Calcere 1	1° ricarica	18,88162264	3,947622642	952	1,57E-04
	2° ricarica	18,29762264	1,381622642	1258	1,34E-04
Maiolica 2	1° ricarica	15,34019048	1,107190476	914	1,56E-04
	2° ricarica	16,09819048	2,390190476	1082	1,27E-04
Scaglia 2	1° ricarica	16,00773684	6,907736842	3644	6,36E-06
	2° ricarica				
Calcere 2	1° ricarica	17,20398684	0	1488	1,16E-04
	2° ricarica				

*Tabella 4.6 Riassunto delle letture delle prove infiltrometriche*

Alla luce della prova effettuata, tramite l'interpretazione dei grafici plottati dal sensore Baro-Logger, è stato possibile stabilire la velocità di infiltrazione dell'acqua attraverso lo strato di roccia al variare dei litotipi. I risultati di tale interpretazione sono visibili nella tabella sovrastante (tab. 4.6). Possiamo notare in tutti i casi in cui è stata effettuata la seconda ricarica (per il ripristino del livello dell'acqua nell'anello) che la velocità di infiltrazione è diminuita. Ciò è imputabile al fatto che la permeabilità del terreno tende a diminuire con il protrarsi dell'evento piovoso fino a raggiungere la condizione satura.

## 4.3\_RETE IDROPLUVIOMETRICA

Nel presente paragrafo si andranno ad illustrare quantitativamente i dati di temperatura e precipitazione relativi alle stazioni termometriche nella zona di studio.

Lo studio è stato fatto su un totale di 17 stazioni metereologiche di cui di seguito si riporta una mappa con le posizioni (fig. 4.2), e i dati raccolti sono riferiti ad una finestra temporale di 14 anni (da inizio 2010 a fine 2023).

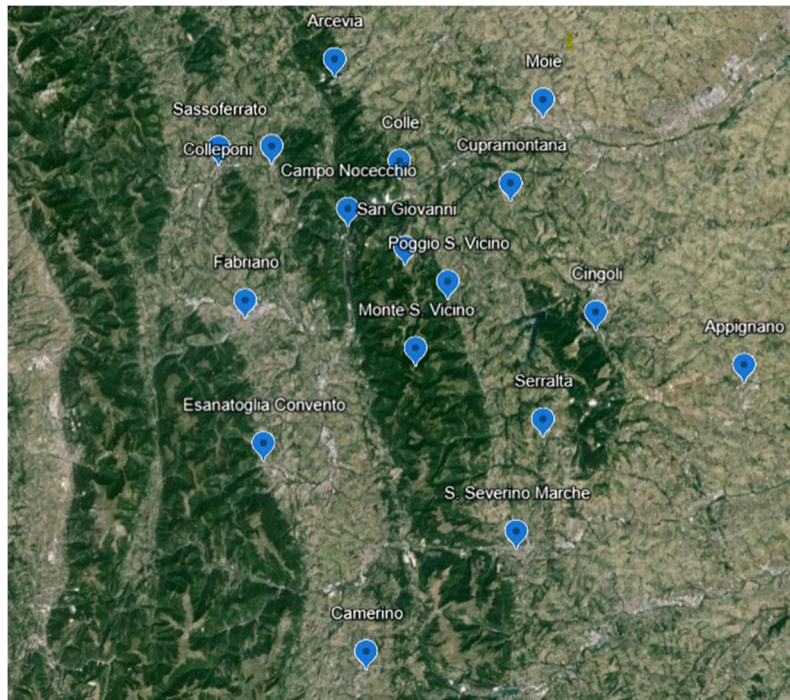


Figura 4.2 Mappa della posizione delle stazioni metereologiche

### 4.3.1\_GRAFICI DI TEMPERATURA DELLE SINGOLE STAZIONI

In questo paragrafo si riportano i grafici con gli andamenti delle temperature medie calcolate per ogni stazione al variare dei mesi all'interno della finestra temporale (fatta eccezione per quella di Cupramontana di cui è stato impossibile reperire i dati).

I grafici qui di seguito (Grafici da 4.8 a 4.23) riportano i dati rilevati al periodo compreso tra inizio del 2010 fino alla fine del 2023. Sulle ascisse saranno indicate le date (mm/yy) ai quali le misurazioni sono riferite, mentre sulle ordinate vi saranno i valori delle temperature medie riportate in °C. Inoltre, sui grafici sono riportate le rette di tendenza con annessa equazione lineare per avere una visione di insieme sull'andamento delle temperature durante il periodo di osservazione.



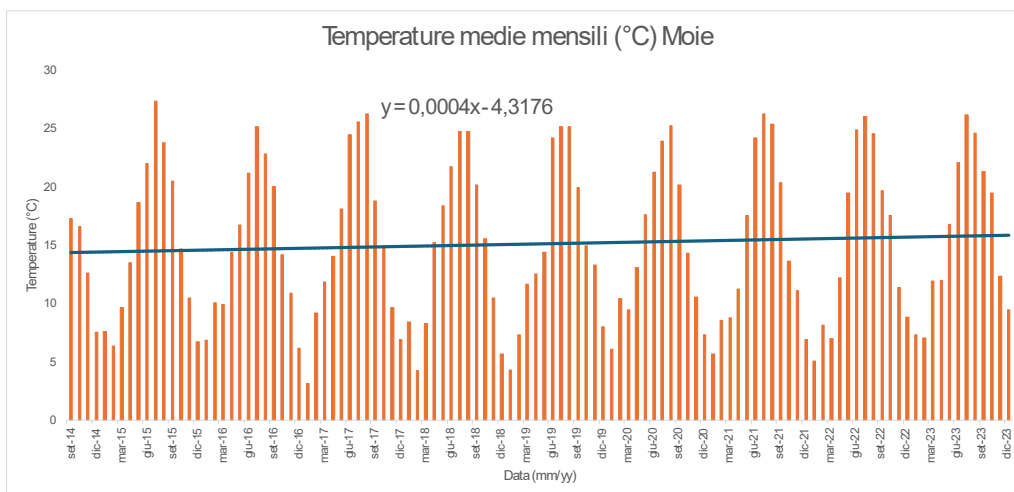


Grafico 4.8 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Moie (An)

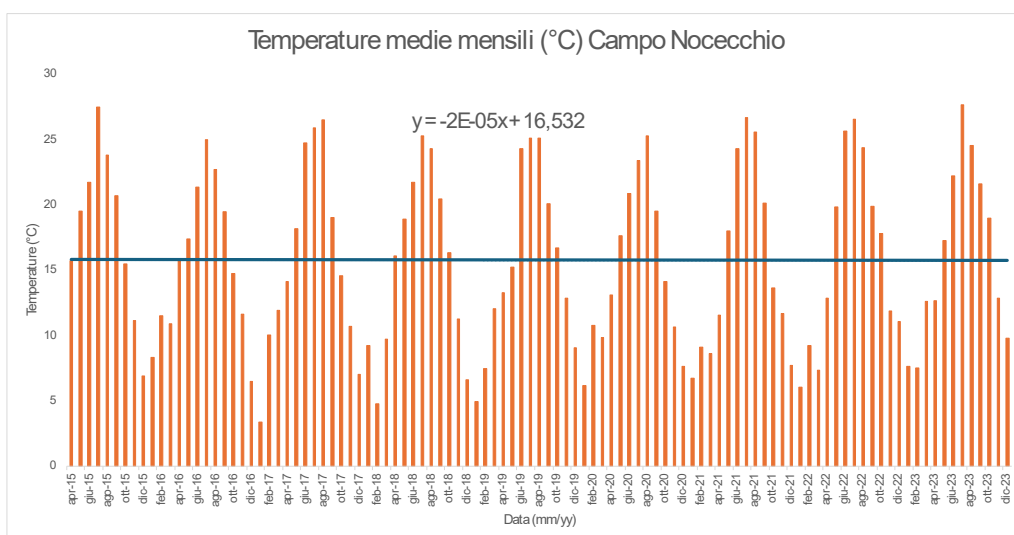


Grafico 4.9 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Campo Nocechio (An)

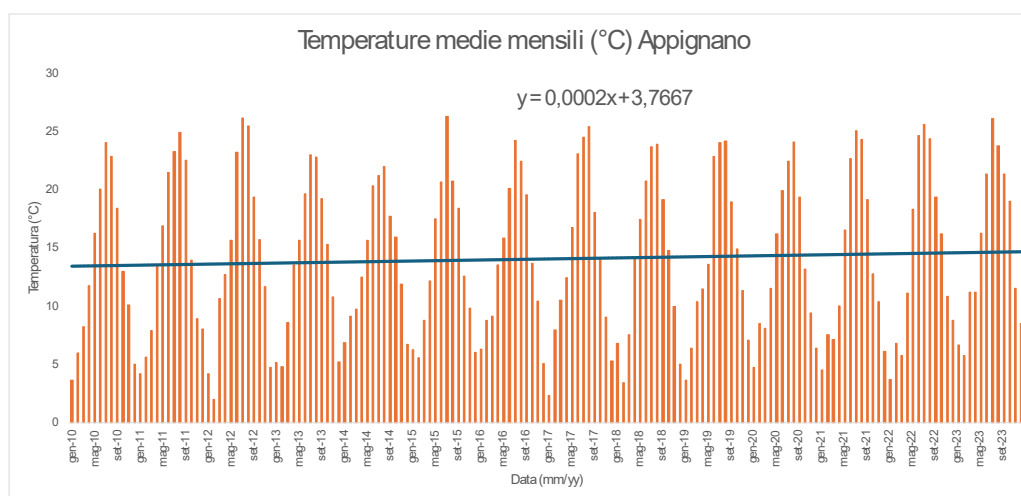


Grafico 4.10 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Appignano (Mc)

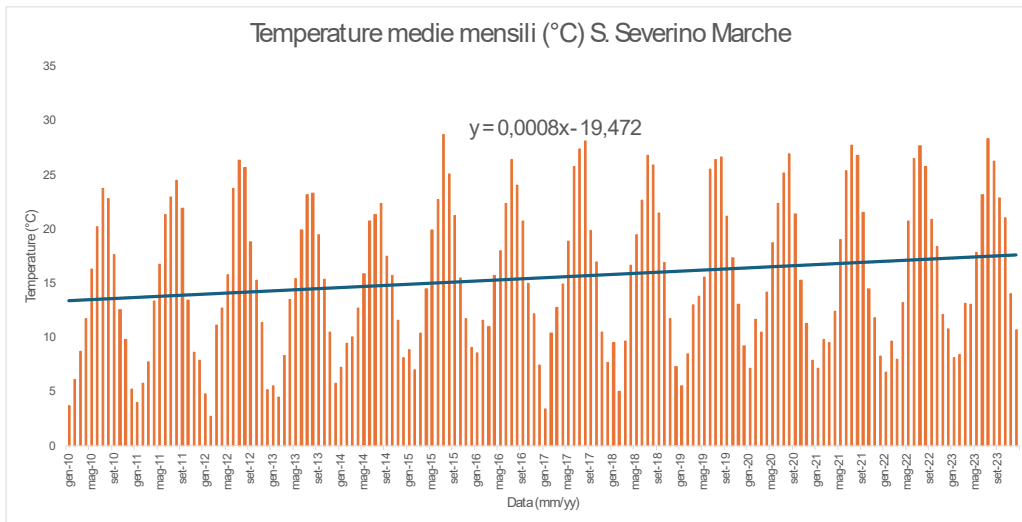


Gráfico 4.11 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di San Severino Marche (Mc)

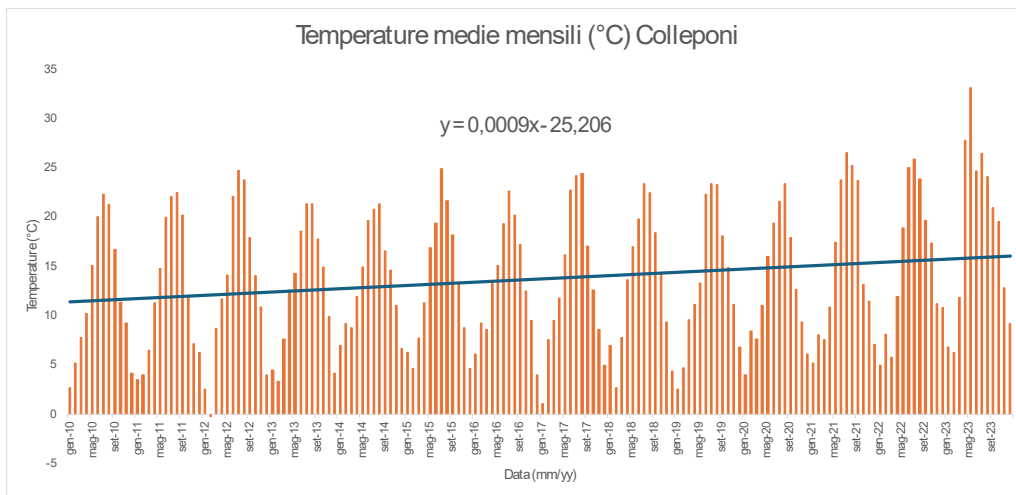


Gráfico 4.12 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Colleponi (An)

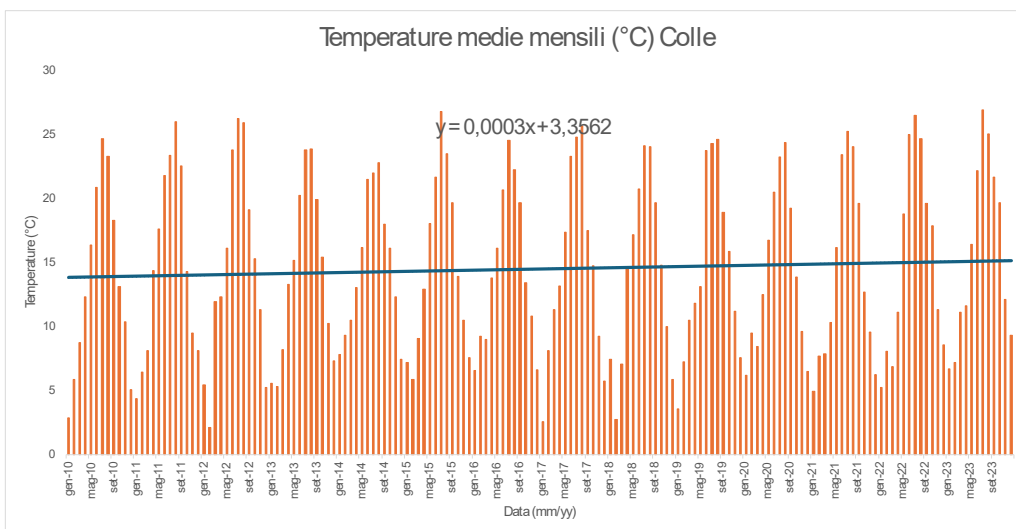


Gráfico 4.13 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Colle (An)

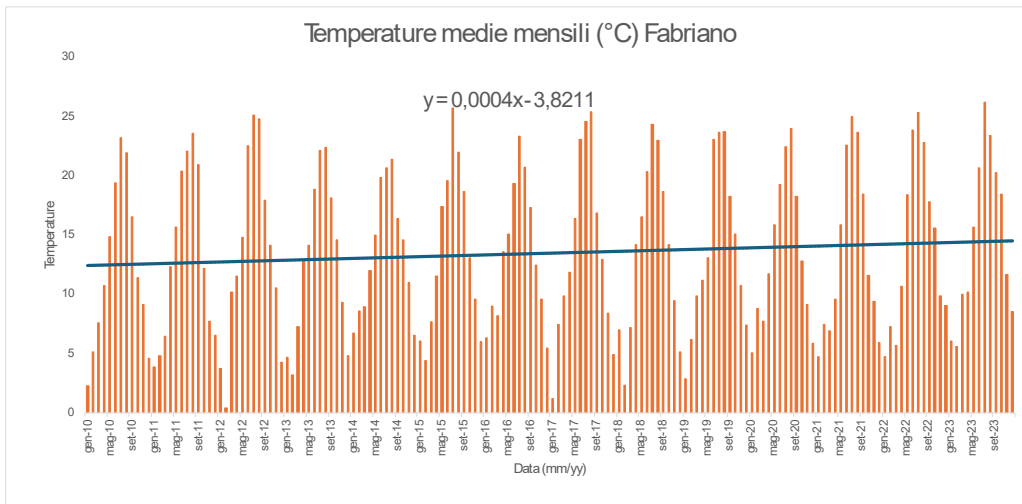


Grafico 4.14 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Fabiano (An)

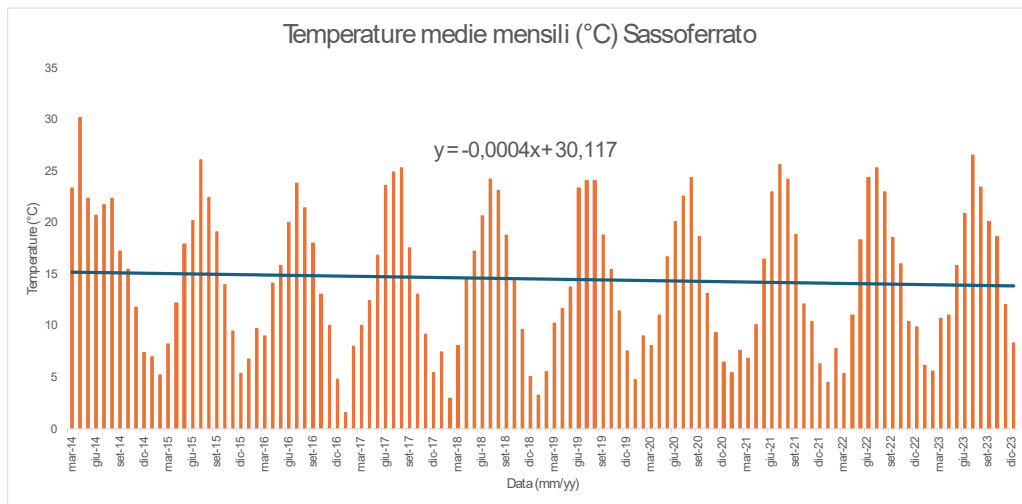


Grafico 4.15 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Sassoferrato (An)

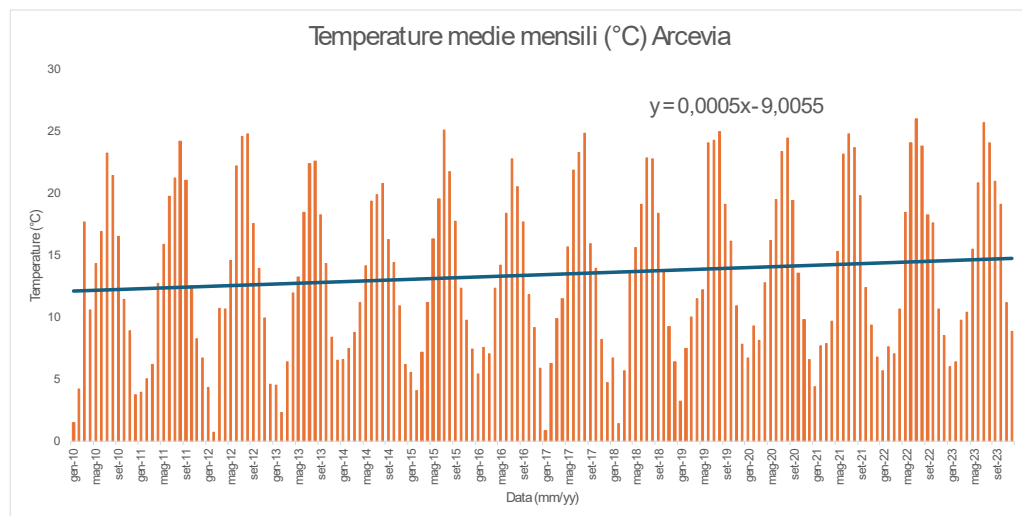


Grafico 4.16 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Arcevia (An)

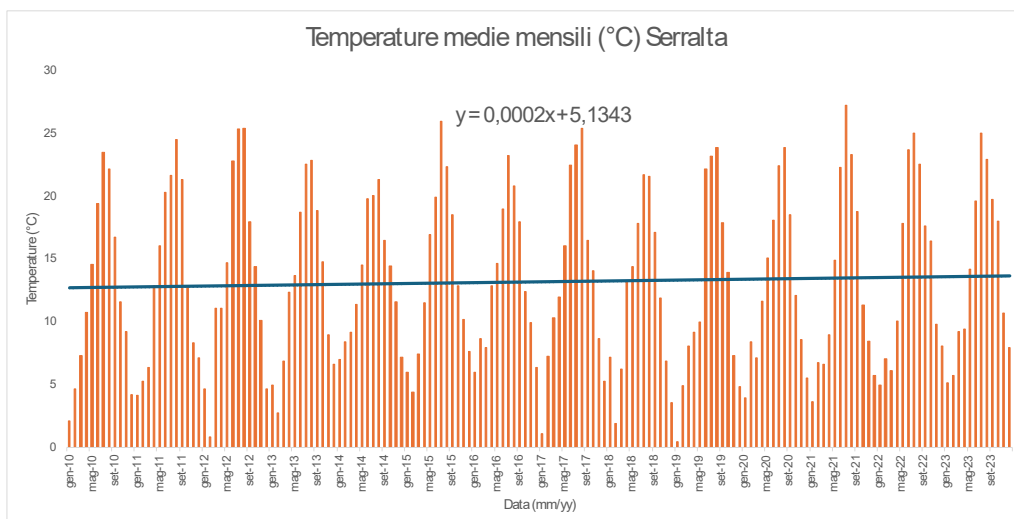


Grafico 4.17 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Serralta (Mc)

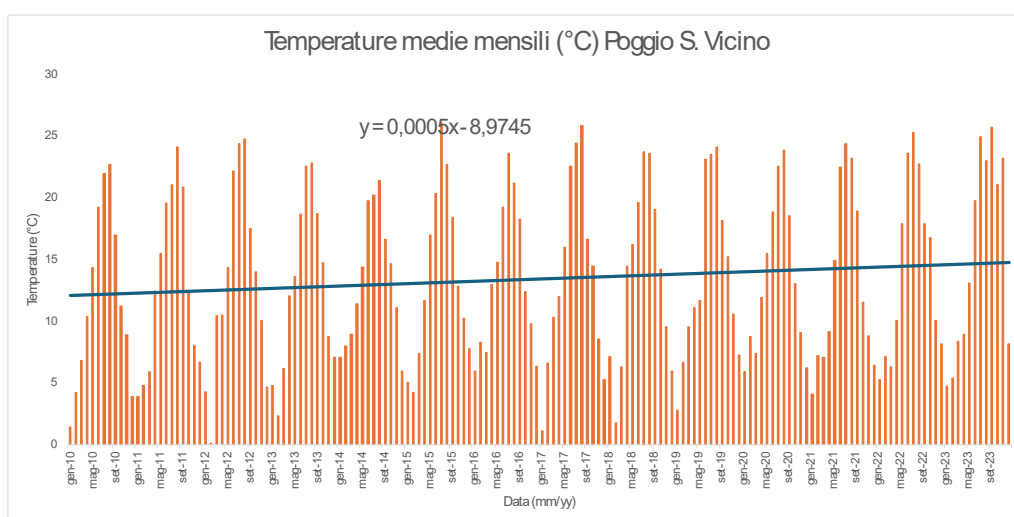


Grafico 4.18 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Poggio San Vicino (Mc)

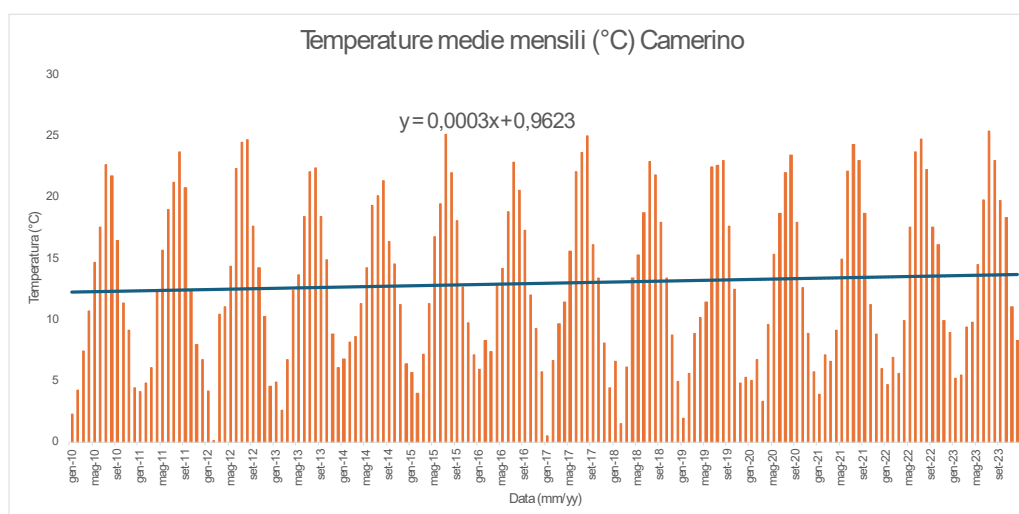


Grafico 4.19 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Camerino (Mc)

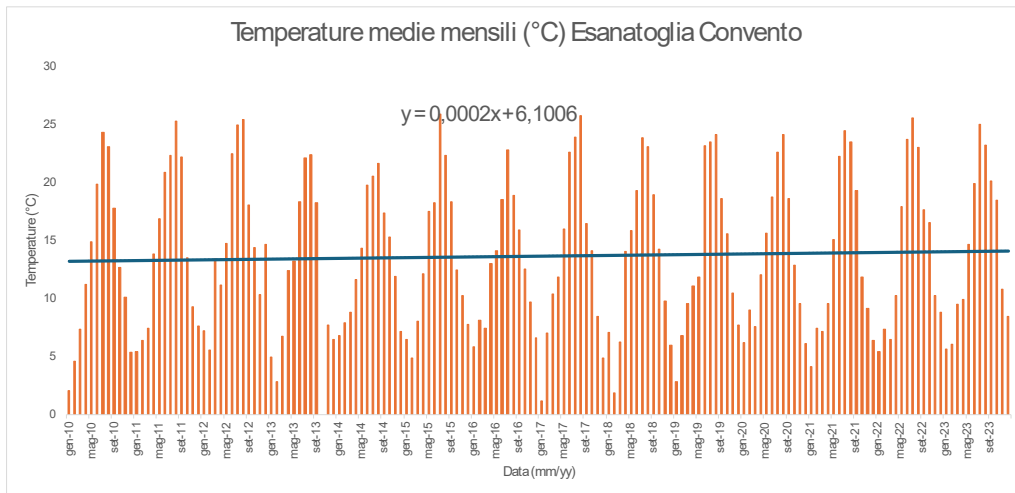


Grafico 4.20 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Esanatoglia Convento (Mc)

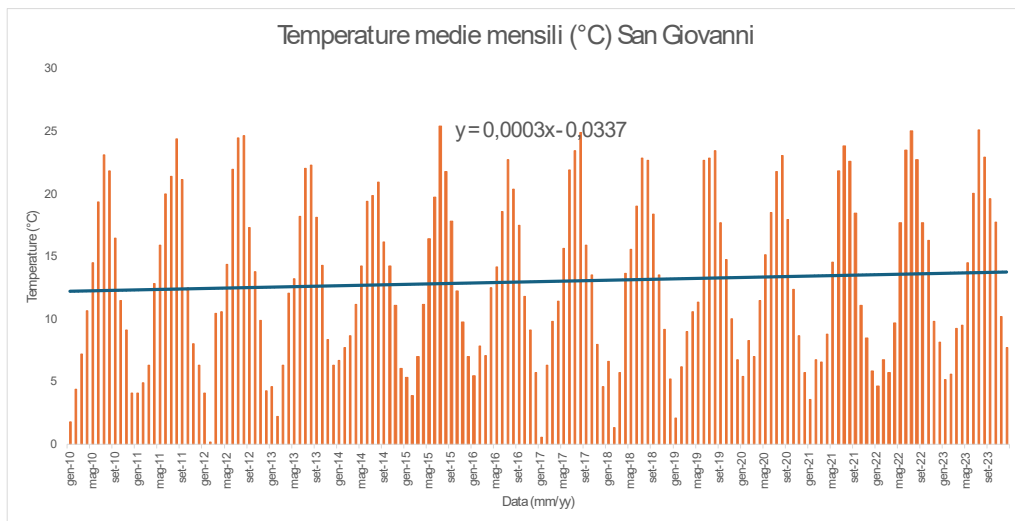


Grafico 4.21 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di San Giovanni (An)

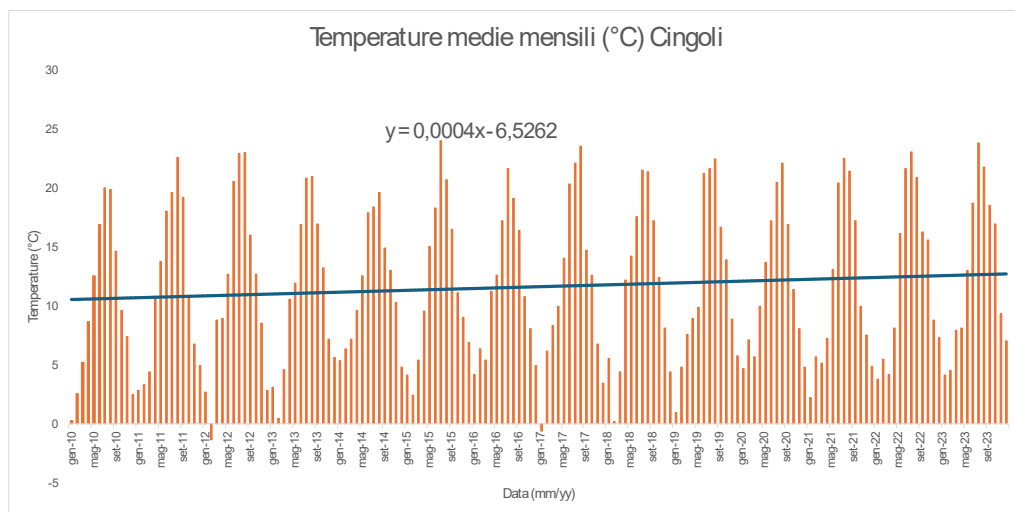


Grafico 4.22 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Cingoli (Mc)



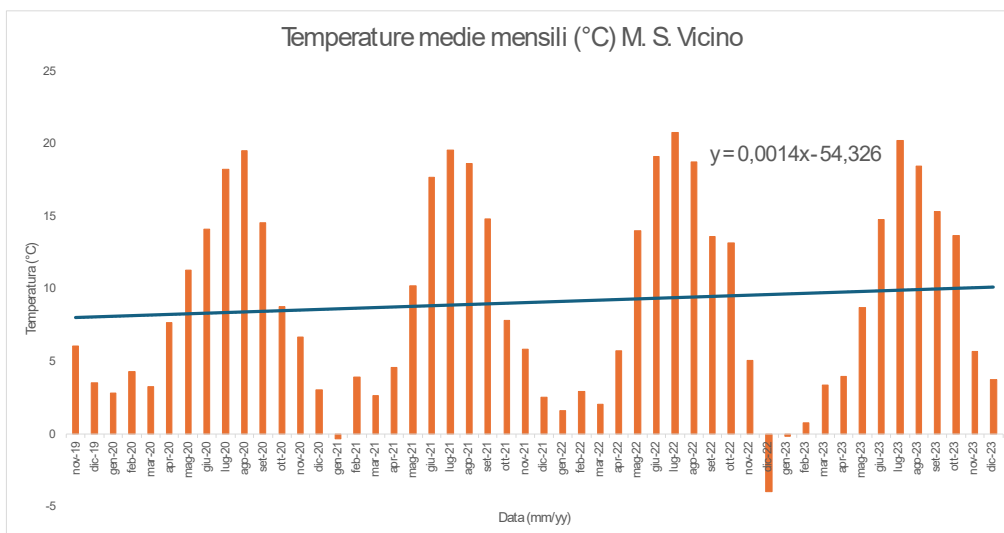


Grafico 4.23 Andamento delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Monte S. Vicino (Mc)

Nella quasi totalità dei casi analizzati, fatta eccezione per le stazioni di Campo Nocechchio e Cupramontana (poiché mancano i dati delle temperature), possiamo notare che il trend di variazione delle temperature medie mensili durante il periodo di osservazione è di carattere positivo. Quindi si è registrato un aumento delle temperature medie.

### 4.3.2 RISULTATI SULLE TEMPERATURE

Di seguito si riporta la tabella contenente le temperature medie mensili calcolate per ogni stazione (tab 4.7). I dati, espressi per ogni mese e per ogni stazione, ci dicono quali sono le temperature medie di un dato mese in una data stazione, facendo riferimento ai dati storici scaricati dal SIRMIP.

TEMPERATURE(°C)												
Stazione	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Moie	6,055	7,932	9,839	13,128	17,491	22,848	25,563	24,689	19,779	15,571	11,275	7,359
Campo Nocechchio	6,538	8,764	10,337	13,847	17,933	22,904	25,808	24,597	20,022	15,764	11,581	8,006
Appignano	4,929	6,300	8,834	12,248	16,344	21,489	24,272	23,673	19,330	14,641	10,443	6,287
San Severino Marche	6,457	7,903	10,275	13,727	17,727	22,993	25,832	25,263	20,446	15,924	11,442	7,905
Colleponi	4,542	5,767	8,208	12,840	16,882	21,124	23,521	22,718	18,535	14,031	9,978	5,903
Colle	5,449	6,759	9,185	12,652	16,516	22,083	24,739	24,276	19,511	15,075	10,572	6,929
Fabriano	4,658	5,763	8,125	11,732	15,641	20,952	23,896	23,104	18,209	13,819	9,697	6,083
Sassoferrato	5,229	6,846	10,010	13,837	17,116	21,664	24,463	23,353	18,554	14,530	10,375	6,669
Cupramontana												
Arcevia	4,670	5,541	8,735	11,480	15,127	20,521	23,531	23,191	18,356	14,090	9,616	6,482
Serralta	4,386	5,495	7,853	11,218	14,790	20,389	23,592	23,021	18,121	13,632	9,199	6,060
Poggio San Vicino	4,515	5,371	7,725	11,343	14,937	20,635	23,463	23,284	18,727	14,161	10,457	6,389
Camerino	4,398	5,140	7,357	11,051	14,823	20,112	23,072	22,638	17,838	13,495	9,011	6,022
Esanatoglia Convento	5,092	6,127	8,303	11,711	15,162	20,511	23,646	23,225	18,355	16,322	9,843	7,435
San Giovanni	4,318	5,195	7,596	11,161	14,802	20,307	23,095	22,722	17,849	13,554	9,285	6,007
Cingoli	3,103	3,887	6,031	9,562	13,234	18,776	21,587	21,371	16,577	12,429	8,205	5,026
Monte San Vicino	0,980	2,958	2,828	5,481	11,008	16,388	19,654	18,787	14,536	10,824	5,854	1,781

Tabella 4.7 Riassunto delle temperature medie mensili misurate nelle stazioni

Andando ad eseguire un'analisi più approfondita, non considerando la singola stazione, ma effettuando la media riferita ai singoli mesi, si può ricostruire un andamento delle temperature medie lungo i vari mesi dell'anno.

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Temperatura Media (°C)	4,708	5,984	8,203	11,688	15,596	20,856
Mese	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Temperatura Media (°C)	23,733	23,120	18,422	14,241	9,802	6,272

Tabella 4.8 Medie delle temperature medie mensili a prescindere dalla stazione

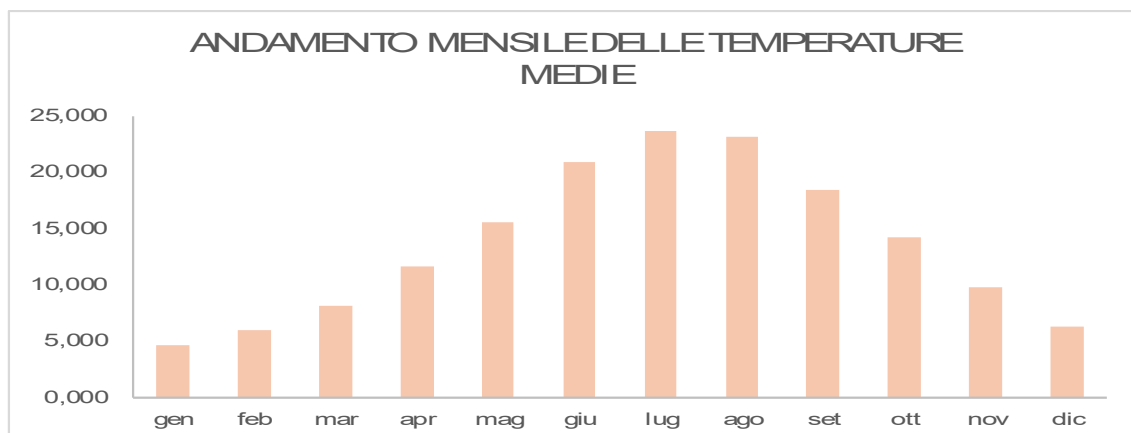


Grafico 4.24 Rappresentazione dell'andamento delle temperature medie mensili della tabella precedente (tab4.8)

Il grafico ha una sua caratteristica forma sinusoidale che presenta il suo massimo in corrispondenza del mese più caldo (luglio) con 23,73 °C, mentre presenta le temperature più basse in corrispondenza del mese di gennaio con 4,71 °C.

### 4.3.2\_ GRAFICI DELLE PRECIPITAZIONI CUMULATE DELLE SINGOLE STAZIONI

In questo paragrafo si riportano i grafici con gli andamenti delle precipitazioni cumulate medie mensili, calcolate per ogni stazione al variare dei mesi all'interno della finestra temporale.

Ogni grafico di seguito (Grafici da 4.25 a 4.41) riportato i dati rilevati al periodo compreso tra inizio del 2010 fino alla fine del 2023. Sulle ascisse saranno indicate le date (mm/yy) ai quali le misurazioni sono riferite, mentre sulle ordinate vi saranno i valori delle precipitazioni cumulate mensili espressi in mm. Inoltre, sui grafici sono riportate le rette di tendenza con annessa equazione lineare per avere una visione di insieme sull'andamento delle precipitazioni durante il periodo di osservazione.

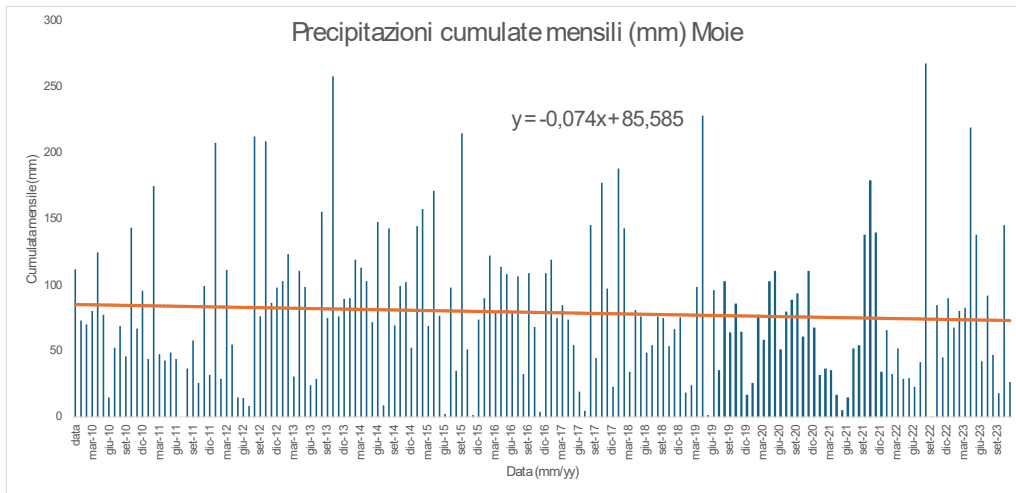


Grafico 4.25 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Moie (An)

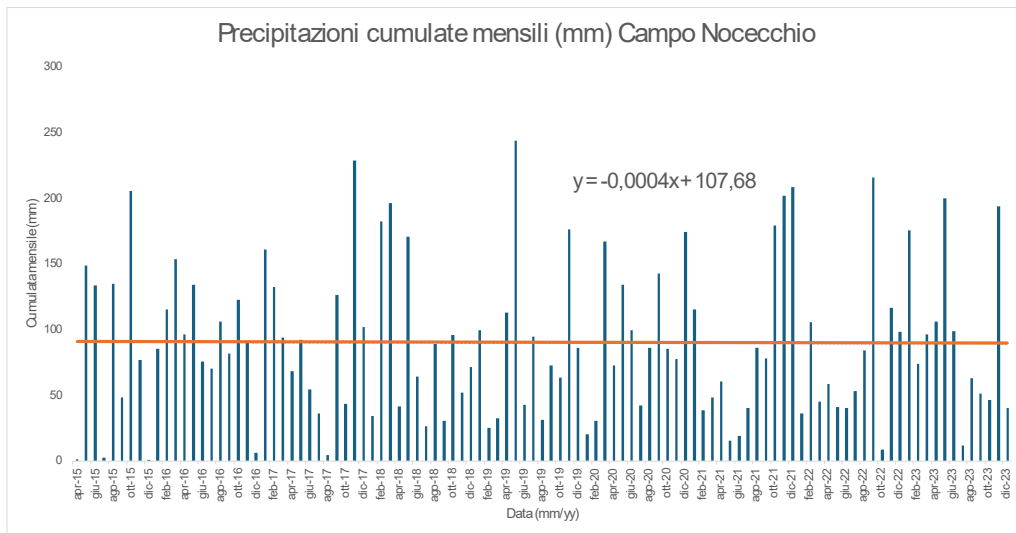


Grafico 4.26 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Campo Nocechio (An)

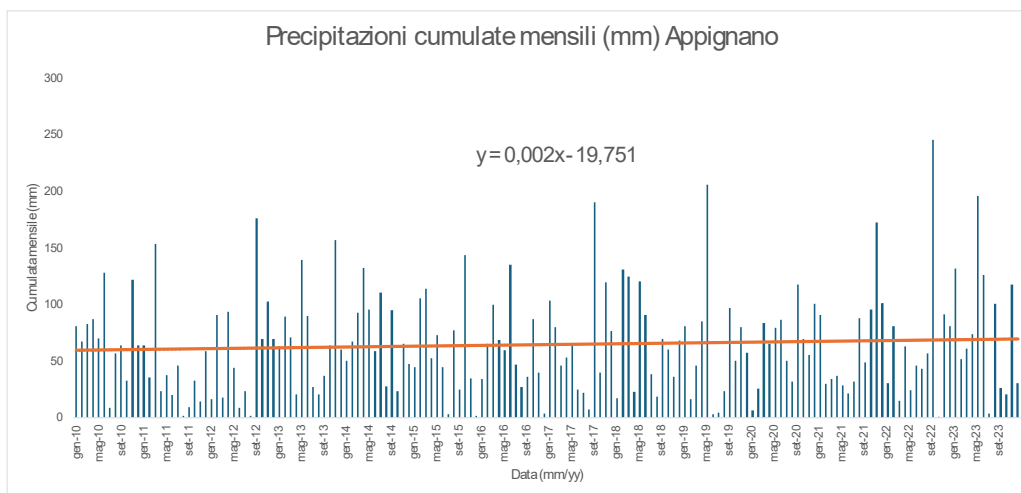


Grafico 4.27 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Appignano (Mc)

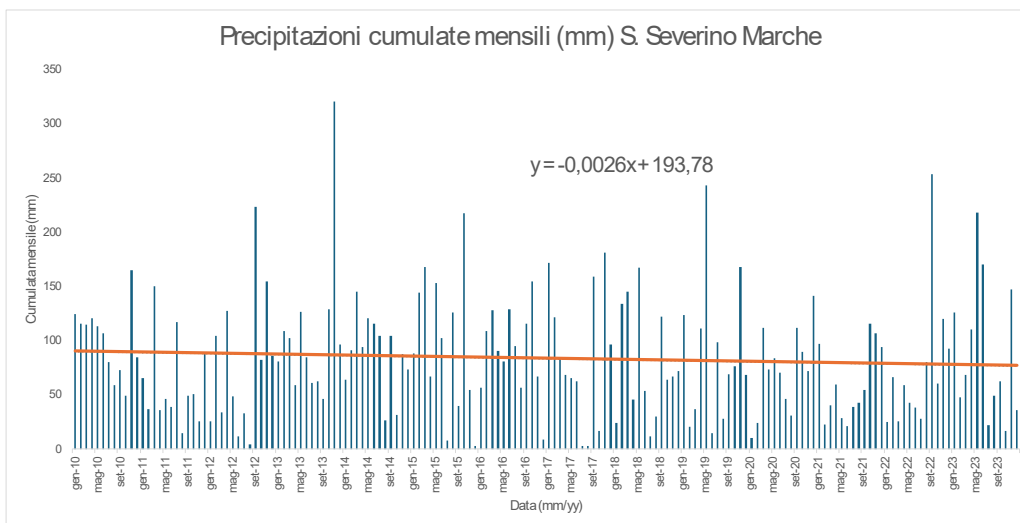


Grafico 4.28 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di S. Severino Marche (Mc)

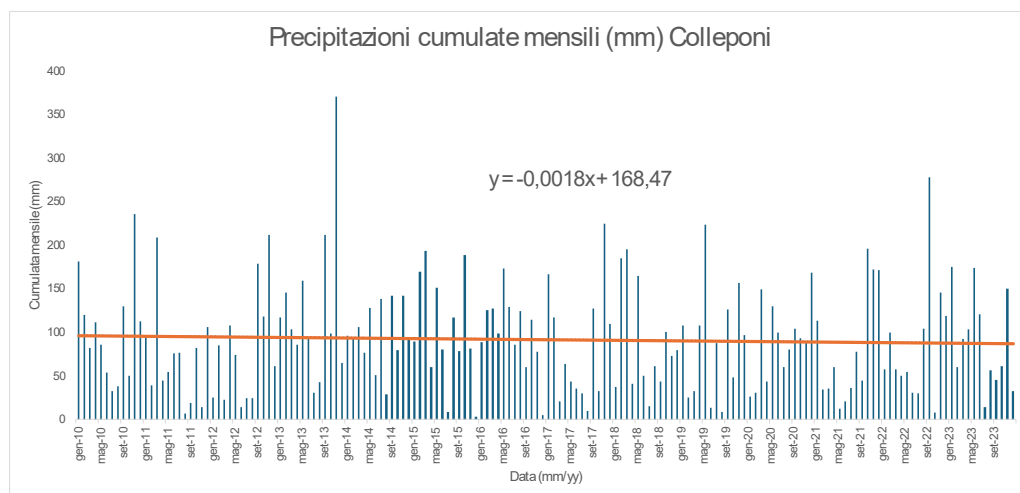


Grafico 4.29 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Colleponi (An)

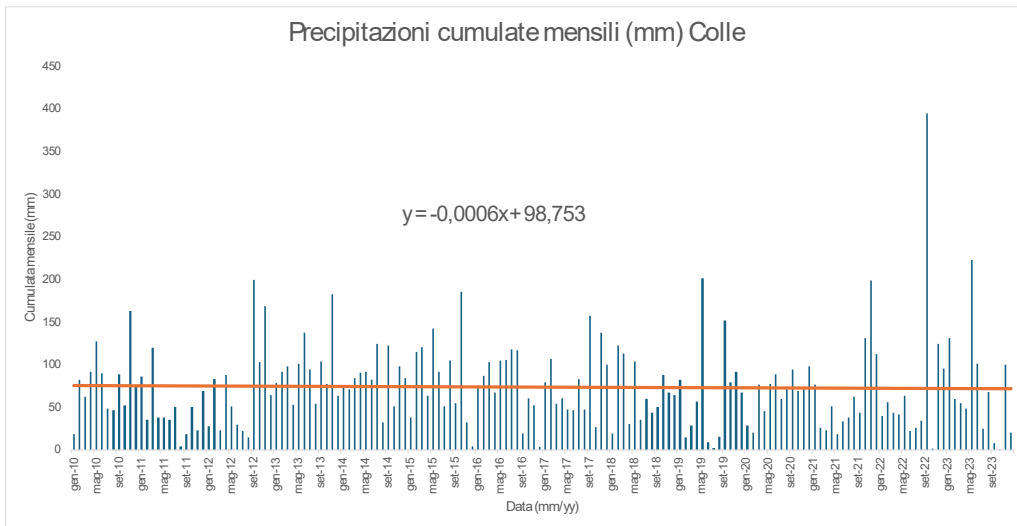


Grafico 4.30 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Colle (An)

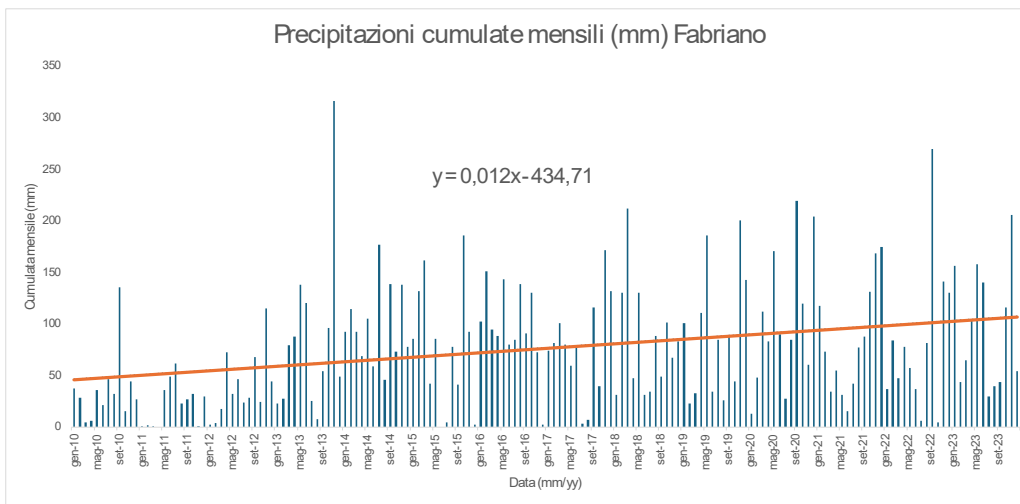


Grafico 4.31 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Fabriano (An)

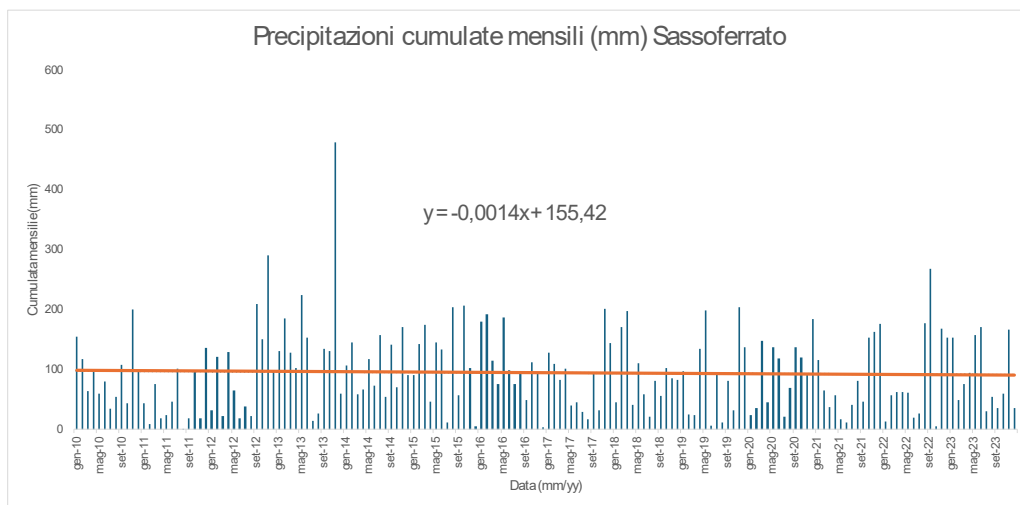


Grafico 4.32 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Sassoferrato (An)



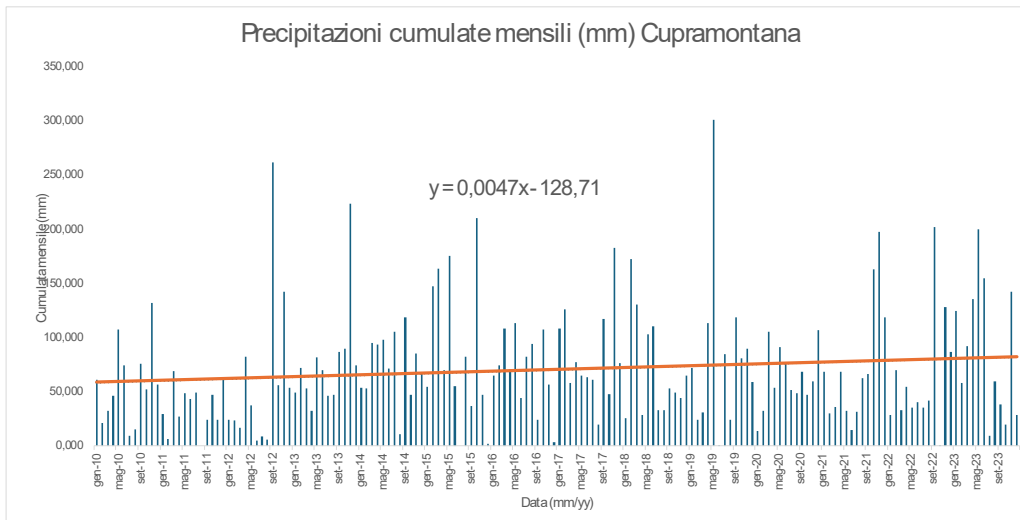


Grafico 4.33 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Cupramontana (An)

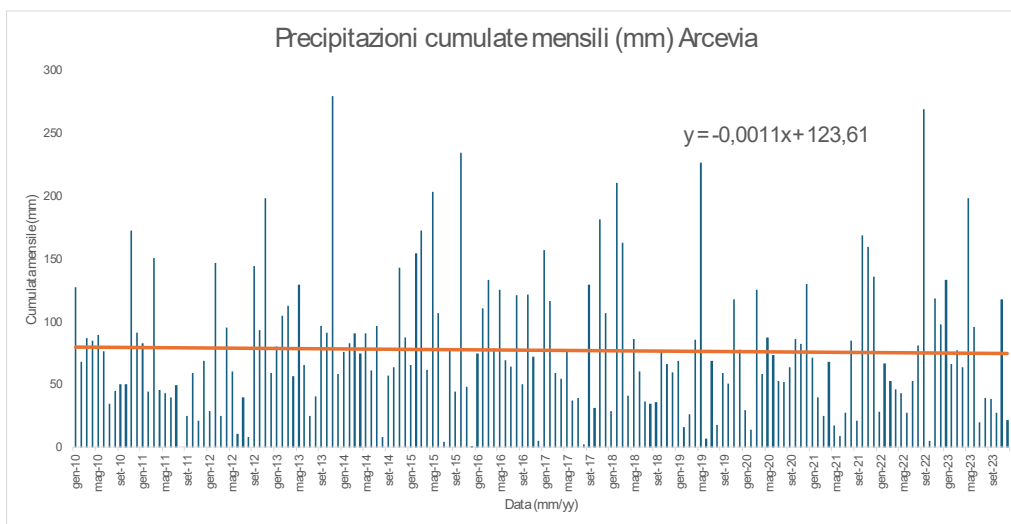


Grafico 4.34 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Arcevia (An)

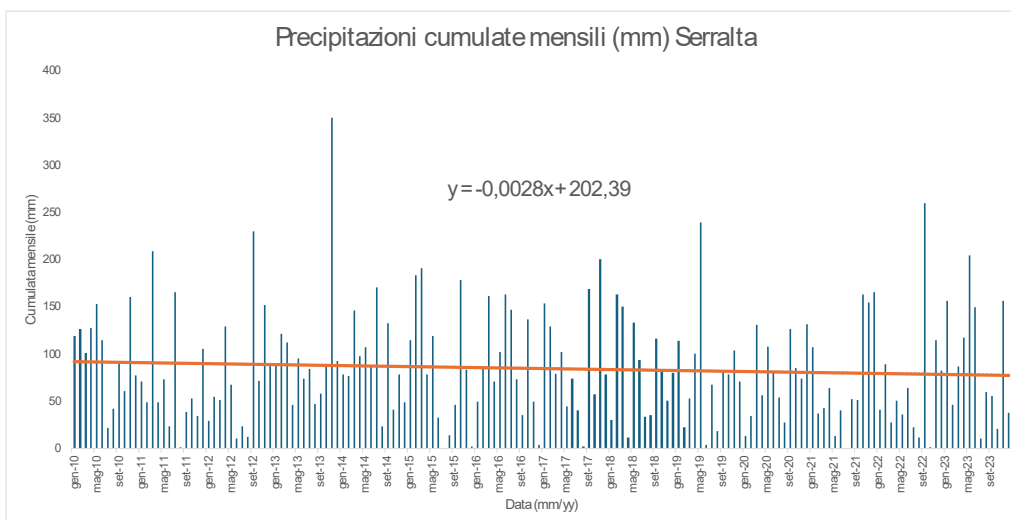


Grafico 4.35 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Serralta (Mc)

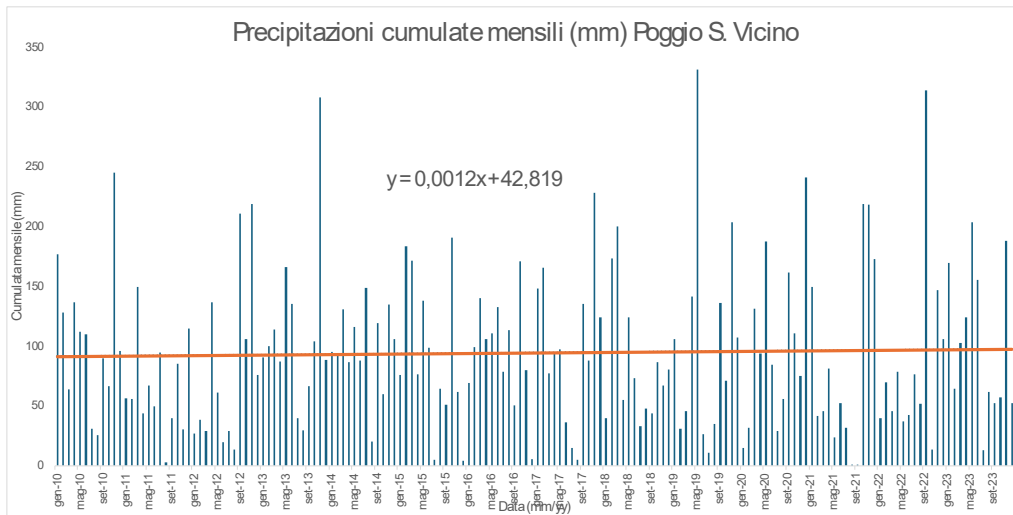


Grafico 4.36 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Poggio S. Vicino (Mc)

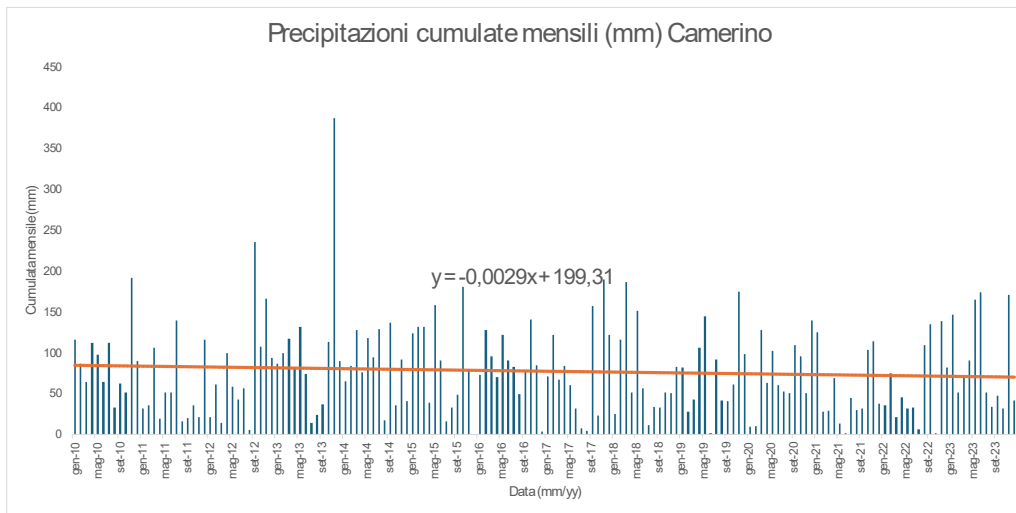


Grafico 4.37 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Camerino (Mc)

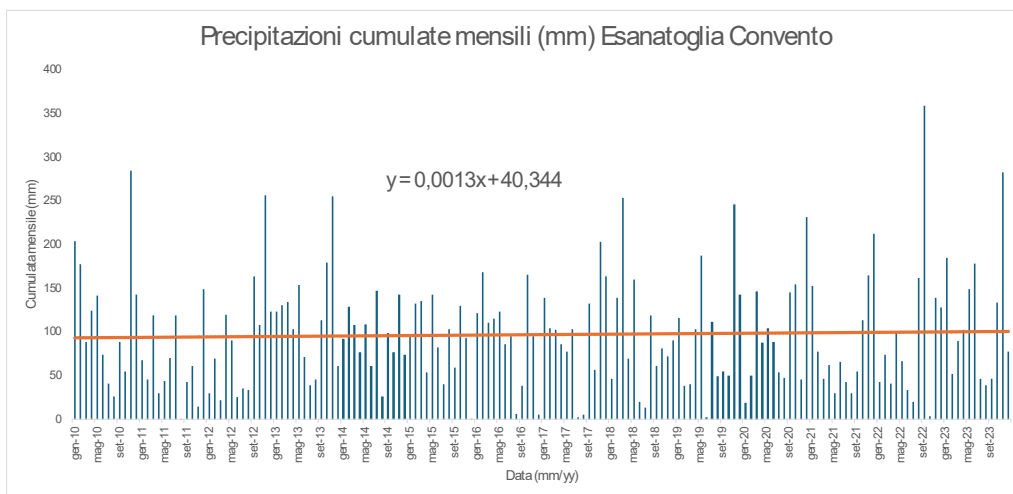


Grafico 4.38 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Esanatoglia Convento (Mc)

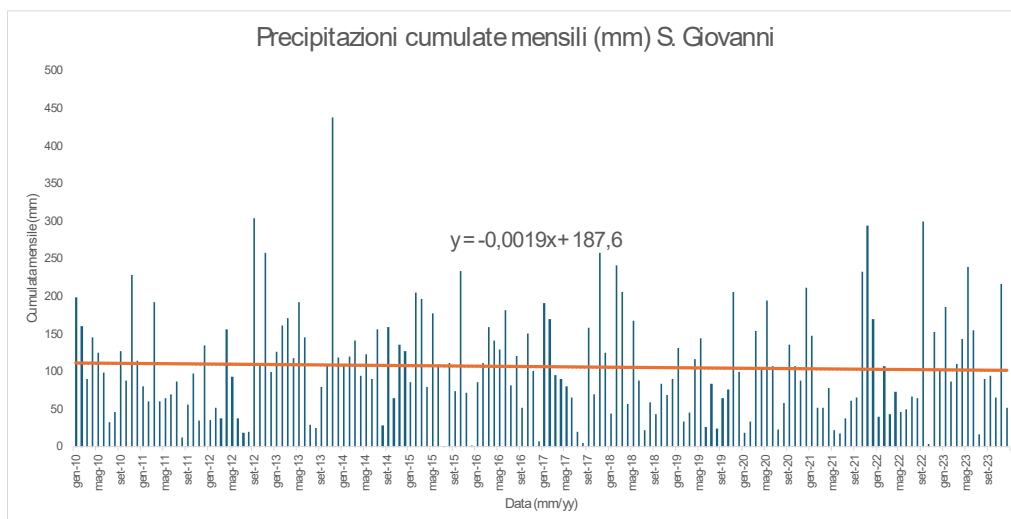


Grafico 4.39 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di S. Giovanni (An)

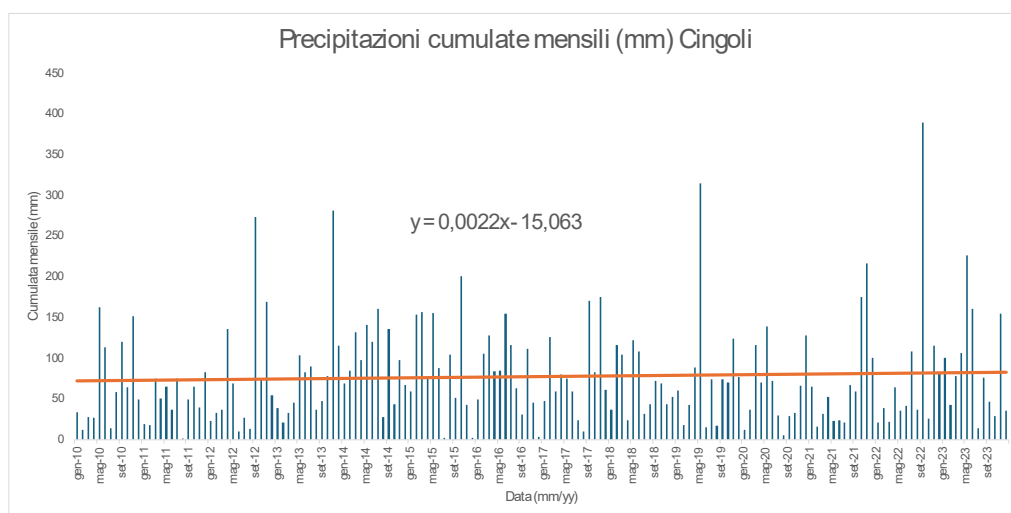


Grafico 4.40 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Cingoli (Mc)

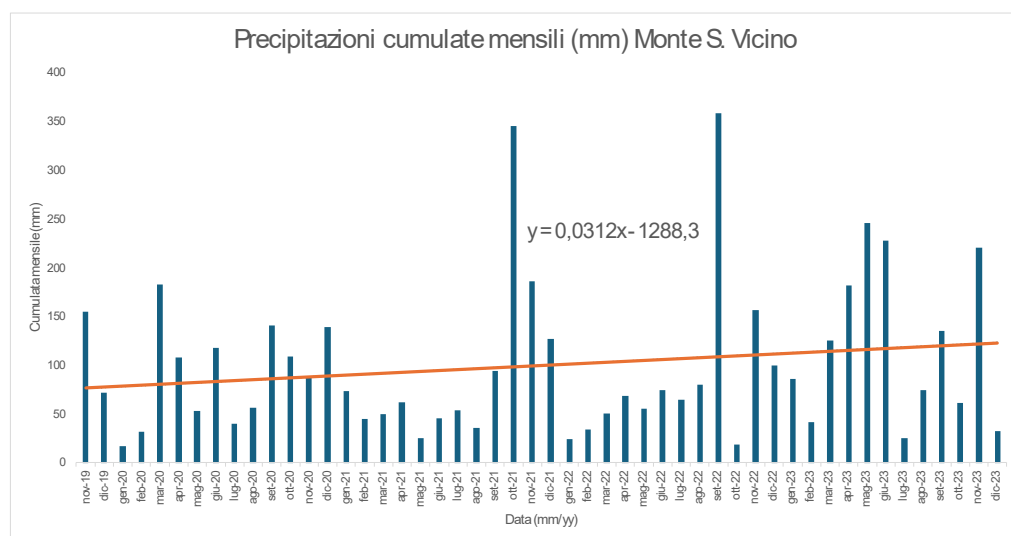


Grafico 4.41 Andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili durante il periodo di osservazione nella stazione di Monte S. Vicino (Mc)

Si può notare che in 10 casi su 17 l'andamento delle precipitazioni medie cumulate mensili segue un andamento decrescente, mentre nelle rimanenti 7 stazioni risulta che l'andamento rimane costante oppure subisce una lieve diminuzione.

### 4.3.3 \_RISULTATI SULLE CUMULATE

Di seguito si riporta la tabella contenente le cumulate medie mensili calcolate per ogni stazione (tab. 4.9). I dati, espressi per ogni mese e per ogni stazione, ci dicono quali sono le precipitazioni cumulate medie di un dato mese in una data stazione, facendo riferimento ai dati storici scaricati dal SIRMIP. La parte celeste della tabella 4.9 contrassegna le stazioni ad una quota maggiore di 950,00m, quindi sono quelle alle quali è stata associata una precipitazione nevosa che poi è stata tramutata in precipitazione piovosa.

CUMULATE(mm)												
Stazione	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Moie	69,157	90,643	90,343	69,786	105,100	65,271	44,443	47,443	104,714	77,243	117,329	70,529
Campo Noceccchio	90,800	87,900	104,075	68,733	131,089	69,778	41,956	76,067	94,133	94,511	134,933	87,467
Appignano	58,200	66,800	74,357	62,686	88,414	63,043	32,843	38,471	88,257	56,243	86,114	58,629
San Severino Marche	77,186	81,786	96,657	80,057	109,829	72,757	53,286	43,757	105,857	82,257	123,943	74,386
Colleponi	98,586	95,186	102,057	75,557	116,600	62,286	48,157	56,014	113,500	91,057	153,186	87,500
Colle	60,829	69,229	71,600	58,957	99,286	64,629	57,314	51,186	107,414	69,557	107,871	65,671
Fabriano	62,386	67,243	75,371	65,929	97,757	57,214	46,514	54,129	102,186	79,557	128,143	82,486
Sassoferrato	93,414	101,543	89,900	76,343	109,986	73,571	49,500	67,629	102,329	93,629	173,557	99,986
Cupramontana	55,429	64,871	72,943	67,871	106,157	58,671	43,343	38,800	92,000	72,529	110,786	61,157
Arcevia	75,329	88,900	93,057	65,429	105,800	53,086	43,814	43,971	77,657	83,086	127,257	71,657
Serralta	83,300	87,029	110,114	78,400	106,614	72,157	59,871	29,786	106,543	79,514	125,786	76,043
Poggio San Vicino	89,800	91,000	103,114	95,643	126,486	78,686	45,429	37,714	104,943	101,829	157,129	97,943
Camerino	72,543	75,443	85,814	71,957	100,514	61,914	58,329	34,486	83,829	73,914	136,629	74,271
Esanatoglia Convento	102,414	99,000	102,200	87,657	112,471	68,471	57,471	49,329	103,857	97,386	163,514	114,086
San Giovanni	105,786	113,914	121,071	104,286	128,529	88,800	48,486	52,129	122,400	106,757	182,157	103,829
Cingoli	45,300	58,557	74,443	71,157	122,371	77,557	56,157	39,943	110,400	80,071	122,900	64,829
Monte San Vicino	50,250	38,050	102,150	105,150	95,000	116,350	45,900	61,800	181,850	133,368	161,118	94,076

Tabella 4.9 Cumulate mensili medie delle stazioni durante il periodo di osservazione

Stesso ragionamento adottato per le temperature, può essere adottato anche per le precipitazioni cumulate. Tale operazione ci restituisce il grafico con l'andamento delle cumulate medie al variare dei mesi (tab. 4.10 e Grafico 4.42).

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Cumulata Mensile Media (mm)	75,924	81,005	92,310	76,800	109,530	70,838
Mese	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Cumulata Mensile Media (mm)	48,989	48,391	105,992	86,618	136,021	81,444

Tabella 4.10 Medie delle precipitazioni cumulate medie a prescindere dalle stazioni

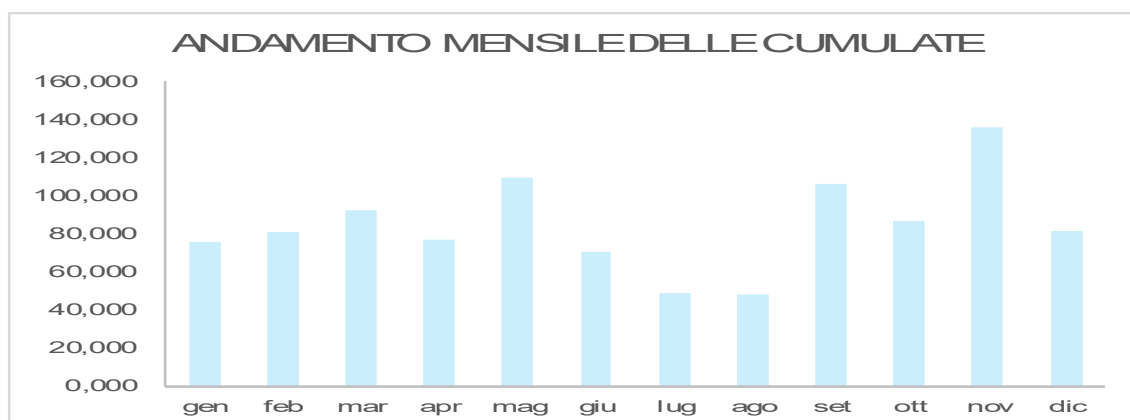


Grafico 4.42 Andamento delle medie delle cumulate medie mensili della tabella precedente

Notiamo dei valori di precipitazione significativamente più alti nei periodi coincidenti con la fase di ricarica della falda (ossia maggio e novembre). In particolare, i valori di precipitazione rimangono compresi tra i valori di 136,02 mm e 48,39 mm, rispettivamente nei mesi di novembre e agosto.

#### 4.3.4 RISULTATI SULL'ANALISI METEOROLOGICA

A valle delle elaborazioni eseguite, è stato possibile riassumere sinteticamente i dati ricavati nella tabella sottostante (tab 4.11)

Stazione	Quota (msmm)	Pioggia (mm)	Neve (mm di pioggia)	Pioggia+Neve (mm)	Temperatura (°C)
Moie	104,430	952,000		952,000	15,127
Campo Nocechio	189,220	1081,442		1081,442	15,508
Appignano	195,000	774,057		774,057	14,066
San Severino Marche	220,000	1001,757		1001,757	15,491
Colleponi	253,500	1099,686		1099,686	13,671
Colle	350,000	883,543		883,543	14,479
Fabriano	354,000	918,914		918,914	13,473
Sassoferrato	386,000	1131,386		1131,386	14,387
Cupramontana	510,000	844,557	12,443	857,000	
Arcevia	535,000	929,043	15,713	944,756	13,445
Serralta	549,000	1015,157	17,5442	1032,701	13,146
Poggio San Vicino	580,000	1129,714	21,599	1151,313	13,417
Camerino	581,000	929,643	21,7298	951,373	12,913
Esanatoglia Convento	608,000	1157,857	25,2614	1183,119	13,811
San Giovanni	625,000	1278,143	27,485	1305,628	12,991
Cingoli	790,000	923,686	49,067	972,753	11,649
Monte San Vicino	1220,000	1185,062	105,311	1290,373	9,257

Tabella 4.11 Riassunto delle elaborazioni effettuate sulle temperature e sulle precipitazioni cumulate.

Inoltre, tali dati sono stati rappresentati sotto forma di grafici a dispersione. I punti di ogni grafico sono stati poi interpolati da una retta di regressione che mette in relazione la grandezza indagata con la variabile quota (Grafico 4.43 e 4.44).

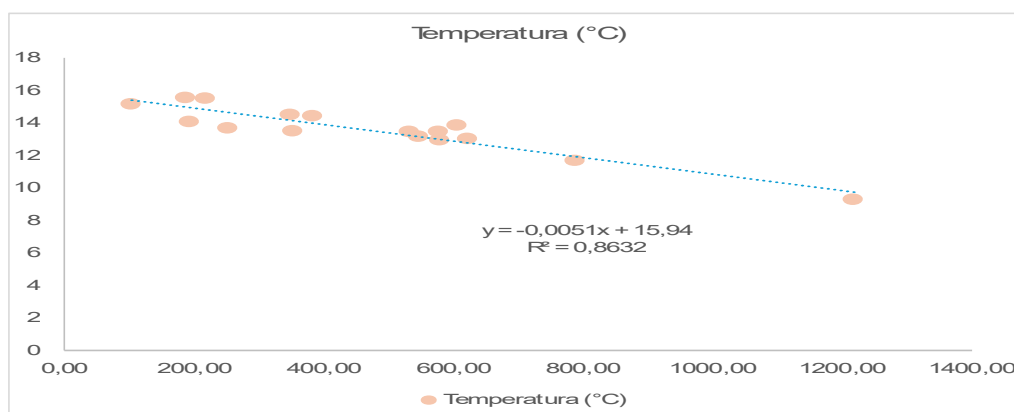
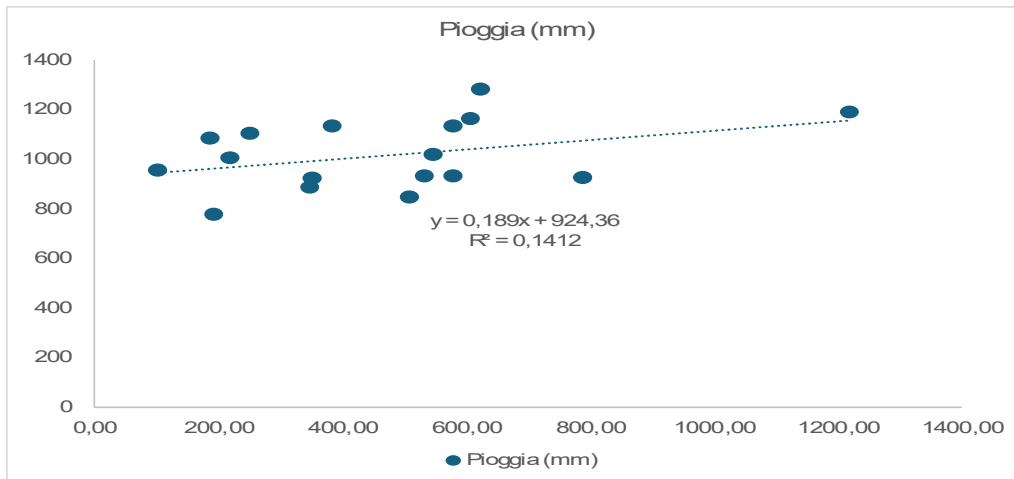


Grafico 4.43 Andamento delle temperature medie al variare della quota della stazione



*Grafico 4.44 Andamento delle precipitazioni cumulate al variare della quota della stazione*

Dall'analisi dei due grafici di dispersione è possibile definire un comportamento di massima delle temperature e delle precipitazioni cumulate. Ne risulta infatti che le temperature medie diminuiscono con l'aumentare della quota della stazione, mentre le precipitazioni cumulate seguono un andamento crescente con l'aumentare della quota della stazione.



## 5\_ CONCLUSIONI

Dalla ricerca condotta e grazie alle metodologie e alle conoscenze messe a disposizione da studi precedenti e documentazioni reperite, si sono potuti svolgere ed indagare tutti gli obiettivi preposti.

Grazie ad una dettagliata selezione dei materiali e dei mezzi bibliografici, si è riuscito nell'intento di redigere un'esaustiva, seppur preliminare, banca dati utilizzabile nell'ambito della delimitazione della zona di ricarica della sorgente Gorgovivo.

Le indagini svolte lungo il segmento fluviale dell'Esino hanno permesso conoscere la portata media transitante nell'alveo nel periodo di morbida tramite misure di portata eseguite con traccianti. Nello specifico l'indagine ha dimostrato che lungo il segmento fluviale studiato, la portata risulta essere di 4,595 m<sup>3</sup>/s.

È poi seguita una fase di studio della capacità d'infiltrazione del terreno. Le prove sono state eseguite su diversi litotipi affioranti nell'area di interesse, quali Calcare Massiccio, Scaglia e Maiolica. Ciascuno dei tre litotipi è stato sottoposto a due letture in due punti diversi della zona al fine di determinare un comportamento di massima relativo al singolo litotipo. La prova eseguita risulta essere la prova di infiltrazione a doppio anello ASTM-d3385 semplificata. I risultati della prova hanno evidenziato che gli affioramenti hanno subito una diminuzione della velocità di infiltrazione dell'acqua nel mezzo poroso. Questo risultato è imputato al fatto che la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno tende a diminuire con l'aumento della durata dell'evento piovoso fino ad arrivare ad un valore prossimo allo 0, poiché il terreno tende a raggiungere la condizione satura.

L'ultima parte di studio effettuata concerne l'analisi dei dati meteorologici storici ricavati dalle stazioni termometriche e pluviometriche ricadenti all'interno dell'area di studio. Lo studio ha evidenziato come variano le grandezze meteorologiche (temperatura e precipitazione cumulata) al variare della quota. Nello specifico le temperature tendono a diminuire con l'aumentare della quota della stazione, mentre le precipitazioni cumulate seguono un trend decrescente all'aumentare della quota. Inoltre, lo studio ha anche permesso di mettere in evidenza come i cambiamenti climatici in atto abbiano cambiato la natura e l'intensità degli eventi meteorologici. Nello specifico si è riscontrato un aumento delle temperature medie mensili nella quasi totalità dei casi analizzati fatta eccezione per le stazioni di Campo Nocechchio (che ha riscontrato invece una diminuzione delle temperature medie mensili) e di Cupramontana (stazione termometrica nella quale non è stato possibile reperire i dati di temperatura), mentre si è riscontrato che in 10 casi su 17 l'entità delle cumulate medie mensili ha registrato un calo durante il periodo di osservazione (in concordanza con quanto stabilito dal PTA della regione Marche e con i vari studi di letteratura consultati).

La diminuzione delle precipitazioni unita all'aumentare delle temperature andrà, senza dubbio, ad incidere negativamente sul contributo di precipitazione efficace ( $P_{EFF}$ ), ovvero l'aliquota di precipitazione che effettivamente riesce ad infiltrarsi nel sottosuolo per poi corrivare in falda. In primo luogo, la diminuzione delle precipitazioni andrà a ridurre l'apporto volumetrico di risorsa idrica che effettivamente si riversa sul territorio (quindi avremo una diminuzione del termine  $P_{TOT}$ ), mentre un aumento delle temperature

comporterà una crescita del valore di evapo-traspirazione (ETR), in quanto le temperature più alte faranno sì che una sempre maggiore quantità d'acqua torni in atmosfera sotto forma di vapore. L'unione di queste due dinamiche, come già detto, andrà a diminuire il contributo di precipitazione efficace ( $P_{EFF}$ ) che corrisponde al principale fattore di apporto nell'equazione del bilancio idrogeologico (vedi paragrafo 1.3.1).

Lo studio portato a termine consiste in un'analisi preliminare atta alla stesura di una banca dati di natura quantitativa che farà da base a studi futuri e più approfonditi sull'argomento della delimitazione dell'area di ricarica della sorgente Gorgovivo.

La delimitazione delle zone di apporto della risorsa idrica nelle falde è solo il primo passo mosso verso un'ottica di salvaguardia del patrimonio idrico che caratterizza la nostra regione.

Le rapide variazioni climatiche alle quali stiamo assistendo, unite a scenari di siccità (in peggioramento) non fanno presagire un epilogo positivo. È dunque di vitale importanza agire in maniera preventiva per tamponare quelle che saranno le ripercussioni del cambiamento climatico.

# 6\_SITOGRAFIA E BIBLIOGRAFIA

## 6.1\_SITOGRAFIA

<https://www.altemarchecreative.it/geologia/>

<https://www.didalms.it/wordpress/2018/01/26/la-succeSSIONE-stratigrafica-umbro-marchigiana/>

<https://fc79.gw-project.org/italiano/capitolo-2/>

<https://invarianza-idraulica.it/category/prove-infiltrometriche/#:~:text=Le%20prove%20infiltrometriche%20a%20doppio,dell'infiltrometro%20ad%20anello%20singolo>

<http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it>

[https://opac.biblio.polimi.it/sebina/repository/link/oggetti\\_digitali/fullfiles/PERL-TDDE/TESI\\_D01721.PDF](https://opac.biblio.polimi.it/sebina/repository/link/oggetti_digitali/fullfiles/PERL-TDDE/TESI_D01721.PDF)

[https://www.regione.marche.it/Portals/0/Ambiente/PTA/2010\\_DACR\\_145.pdf](https://www.regione.marche.it/Portals/0/Ambiente/PTA/2010_DACR_145.pdf)

<https://www.google.it/intl/it/earth/index.html>

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

[https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME\\_OS\\_CYCLOPS7\\_06.2024.pdf](https://www.pme.com/wp-content/uploads/PME_OS_CYCLOPS7_06.2024.pdf)

[www.d-maps.com](http://www.d-maps.com)

<http://www.meteo.marche.it/blog/post/2022/07/01/Analisi-della-siccita-nel-primosemestre-degli-anni-2002-2003-2007-2021-e-2022-nelle-Marche.aspx>

[https://www.regione.marche.it/portals/0/Protezione\\_Civile/Manuali%20e%20Studi/2017-siccita.pdf](https://www.regione.marche.it/portals/0/Protezione_Civile/Manuali%20e%20Studi/2017-siccita.pdf)

[https://www.isprambiente.gov.it/pre\\_meteo/siccitas/index.html#:~:text=L'indice%20SPI%20quantifica%20il,%2C%2012%20e%2024%20mesi](https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/index.html#:~:text=L'indice%20SPI%20quantifica%20il,%2C%2012%20e%2024%20mesi)

[https://pubblicazioni.unicam.it/bitstream/11581/446124/1/2018\\_Geologia-Marche.pdf](https://pubblicazioni.unicam.it/bitstream/11581/446124/1/2018_Geologia-Marche.pdf)

[https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Piccinini/publication/286234363\\_Hydrogeological\\_protection\\_of\\_non\\_karstic\\_fractured\\_aquifers/links/56e08be808aec4b3333d0fb1/Hydrogeological-protection-of-non-karstic-fractured-aquifers.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Piccinini/publication/286234363_Hydrogeological_protection_of_non_karstic_fractured_aquifers/links/56e08be808aec4b3333d0fb1/Hydrogeological-protection-of-non-karstic-fractured-aquifers.pdf)

## 6.2\_BIBLIOGRAFIA

- G. CASTANY, 1982. “Idrologia, principi e metodi”
- M. CIABATTI, 1982. “Elementi di idrologia superficiale”
- A. BOLOGNESI, 2006. “Indagine sperimentale sulle misure di portata mediante tracciante nelle correnti a pelo libero ed applicazioni ingegneristiche ai sistemi fognari”
- A. SCOTTI, 2019. “Relazione geologica di PGT - Aggiornamento alla Variante Generale”
- C. F. BONI, C. TARRAGONI, L. MARTARELLI, 2008. “Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini (Marche)”
- S. ANGELINI, P. FARABOLLINI, 2006. “Proposta di cartografia geo-turistica del parco delle Gola della Rossa e di Frasassi (Ancona, Marche centrali)”
- F. BOCCHINO, 2024. “Stato della risorsa idrica e della severità idrica aggiornamento fine maggio-metà giugno 2024”
- D. DE LUCA, M. LASAGNA 2005. “Criteri per l’identificazione delle principali aree di ricarica e prima individuazione nella Regione Piemonte”
- S. FABBI, 2014. “Geology and Jurassic paleogeography of the Mt. Primo-Mt-Castel Santa Maria ridge and neighbouring areas (Northern Appenines, Italy)”
- F. CALAMITA, E. CENTAMORE, G. DEIANA & A. MICARELLI, 1986. “La geologia delle Marche” (Studi Camerti)
- L. PICCINI et al., 2016. “Protezione idrogeologica di sorgenti in acquiferi fratturati non carsici”
- D. ARINGOLI et al., 2018, “La sequenza sismica 2016-2018 nel Centro-Italia” (Periodico Ordine dei geologi delle Marche)
- R. SPINA et al., 2002. “Caratterizzazione climatologica delle Marche: campo medio della temperatura per il periodo 1950-200” (Centro di Ecologia e Climatologia)