

**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE
MARCHE**

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**INDAGINI IDROGEOLOGICHE NELLE
SORGENTI CAPTATE DI
FOCE, PESCARA E CAPODACQUA
APPARTENENTI AL MASSICCO DEI MONTI
SIBILLINI:
METODOLOGIE PER LE MISURE DI
PORTATA**

**Hydrogeological studies on the captured springs of
Foce, Pescara and Capodacqua in the Sibillini
Mountains: methodologies for flow measurements**

Relatore:

Dott.ssa Paola Maria Vivalda

Laureanda:

Giovanna Silvi

Correlatore:

Mirco Marcellini

Anno Accademico 2018/2019

A Marco e Francesco

Indice:

- **Premessa**
- **Capitolo 1: Le Sorgenti**
 - 1.1 Ubicazione e caratteristiche geologiche delle aree di emergenza delle sorgenti

Prima parte – Generalità sulle misure di portata

- **Capitolo 2: Cenni sulle metodologie per la determinazione della portata di sorgenti e corsi d'acqua**
 - 2.1 Strumenti e metodi di misura delle portate
 - 2.1.1 Metodo volumetrico
 - 2.1.2 Mulinello idrometrico
 - 2.2.3 Traccianti artificiali
 - 2.2.4 Stramazzi
 - 2.2.5 Misuratore ad ultrasuoni

Seconda parte – Indagini di campagna e prove di laboratorio

- **Capitolo 3: Prima prova – Sorgente Foce di Montemonaco, calcolo della portata d'acqua con il metodo dei traccianti artificiali**
 - 3.1 Fase preparatoria
 - 3.2 Prova di campagna
 - 3.3 Acquisizione di alcuni parametri
 - 3.4 Analisi di laboratorio
 - 3.4.1 Cromatografo
Descrizione dell'analisi al cromatografo
 - 3.4.2 Elettrodo iono-selettivo

Descrizione dell'analisi con elettrodo iono-selettivo

3.4.3 Spettrofotometro ad assorbimento atomico

Descrizione dell'analisi con spettrofotometro ad assorbimento atomico

- **Capitolo 4: Seconda prova – Sorgente Capodacqua calcolo della portata d'acqua con il micromulinello**
 - 4.1 Acquisizione di alcuni parametri

- **Capitolo 5: Terza prova – Sorgente Pescara Misura di portata attraverso lo stramazzo**
 - 5.1 Acquisizione di alcuni parametri

- **Conclusioni**

- **Lavori citati**

PREMESSA

I Sibillini costituiscono un complesso montuoso ubicato nell'area Sud Occidentale della regione marchigiana laddove la dorsale umbro-marchigiana e quella marchigiana si fondono a formare un unico e complesso elemento morfologico.

Il Massiccio dei M. Sibillini è caratterizzato da condizioni idrogeologiche ottimali per la presenza di estesi bacini sotterranei con ingenti risorse idriche.

Nell'ambito degli studi che il Dipartimento SIMAU (Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica) sta svolgendo, si inserisce la mia esperienza di tirocinio e tesi di laurea basata su: ricerca bibliografica, misure sperimentali di campagna condotte in diversi periodi dell'anno e prove di laboratorio.

Il mio studio ha lo scopo di porre a confronto le diverse metodologie (traccianti artificiali, mulinello idrometrico, etc.), per la determinazione della portata d'acqua di sorgenti captate ad uso idropotabile.

Le sorgenti in esame sono Pescara, Capodacqua, e Foce facenti parte del Consorzio Idrico Intercomunale Piceno (CIIP-Vettore), le quali riforniscono di acqua l'intera provincia di Ascoli Piceno.

CAPITOLO 1: LE SORGENTI

1.1 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELLE AREE DI EMERGENZA DELLE SORGENTI

La sequenza litostratigrafica dei Monti Sibillini è data da calcari massivi di piattaforma carbonatica giurassica inferiore a cui seguono calcari micritici, calcari e calcari marnosi giurassico-oligocenici con i depositi terrigeni miocenici sovrastanti (Fig.1).

La formazione più antica affiorante è il Calcarea Massiccio di piattaforma su cui si depositano i sedimenti delle serie completa e condensata tra cui i calcari della Maiolica e delle Scaglie (bianca, rossa, variegata), (Pierantoni et al., 2013). In generale l'assetto strutturale della zona è caratterizzato da pieghe, faglie e sovrascorrimenti, tra cui quello che delimita il versante occidentale del massiccio ad andamento arcuato, direzione NNW-SSE e confine tra dominio carbonatico e depositi terrigeni (Mio-Pliocene) della zona pede-appenninica adriatica.

Nel complesso montuoso dei Sibillini, come nel resto dell'Appennino Umbro-Marchigiano sono presenti i complessi idrogeologici del Massiccio, della Maiolica e della Scaglia.

Dal complesso del Massiccio (complesso di base) emergono le più importanti sorgenti della zona, mentre le sorgenti emergenti dalla Scaglia sono spesso in quota e a regime stagionale (Nanni & Vivalda, 2005).

Le sorgenti in esame su cui sono state condotte le prove oggetto della tesi sono: Foce, Pescara e Capodacqua.

Le caratteristiche geologico - strutturali della zona di emergenza delle sorgenti sono le seguenti.

La sorgente di **Foce** (quota 967 m) è ubicata nella zona centro meridionale del Massiccio dei Sibillini nei pressi dell'abitato di Foce (Comune di Montemonaco) (Figg.1 e 2), alla base del versante meridionale del Monte Sibilla e di quello orientale del Palazzo Borghese e dell'Argentella, in un'area caratterizzata dalla presenza di estesi depositi di detriti di falda. Le acque derivano dal complesso idrogeologico di base del Massiccio, rappresentato nell'area in esame dai calcari di piattaforma del Calcarea Massiccio e da quelli pelagici della Corniola. La zona di emergenza è ubicata in prossimità del sovrascorrimento che mette a contatto il Massiccio dei Sibillini con la sequenza terrigena del fronte adriatico. Nella

zona circostante l'emergenza si hanno imponenti affioramenti di Calcarea Massiccio e della serie giurassica completa con Corniola, Rosso Ammonitico e Marne del Serrone, Calcari diasprigni e Calcari a Posidonia (Fig.1). La sorgente è captata dal Consorzio Idrico Intercomunale del Piceno con una galleria che si sviluppa tutta all'interno del più antico e potente complesso idrogeologico carbonatico marchigiano.

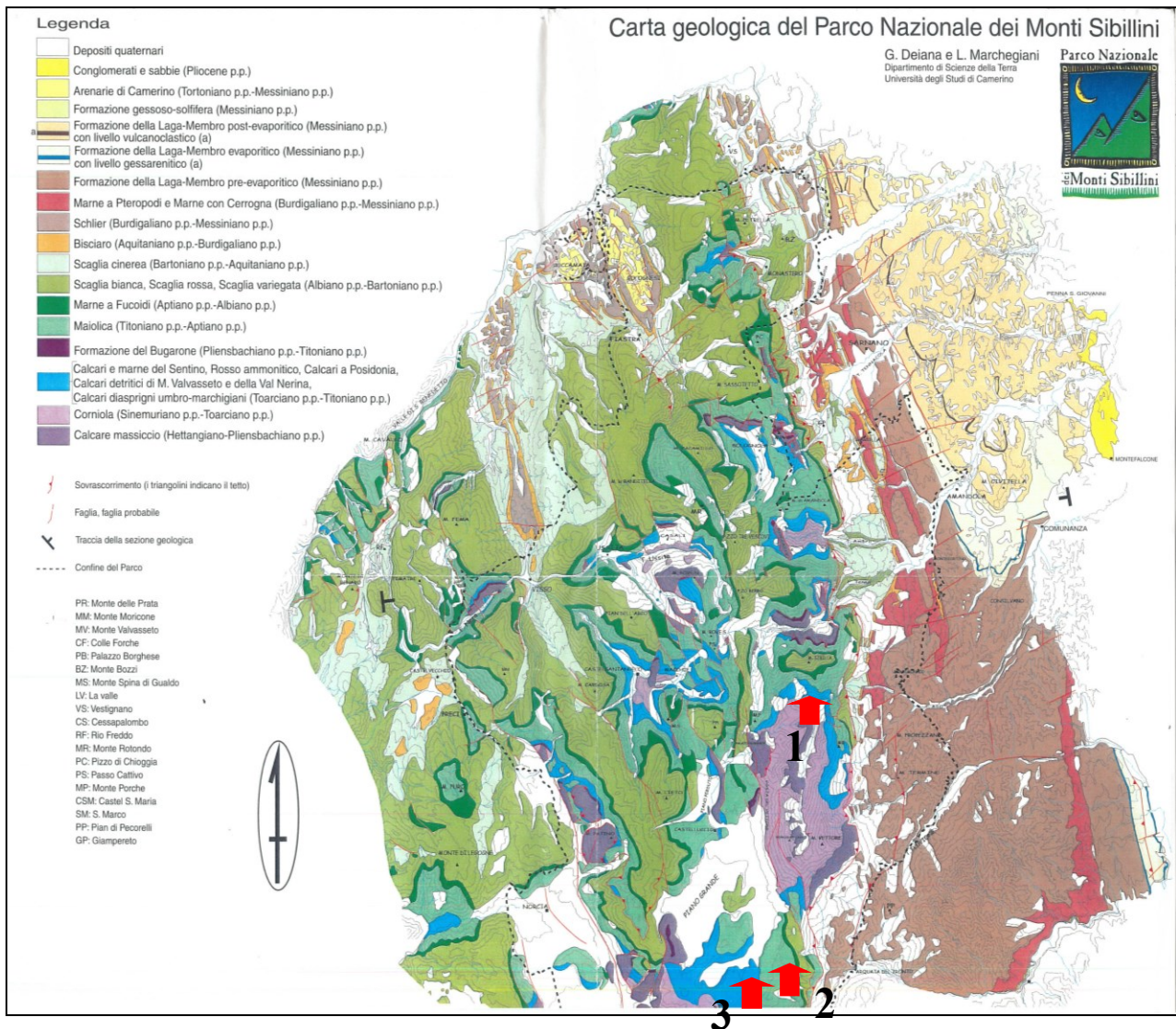


Fig.1 – Carta geologica del Parco Nazionale dei Monti Sibillini
 1:Sorgente di Foce di Montemonaco
 2:Sorgente di Pescara
 3:Sorgente di Capodacqua

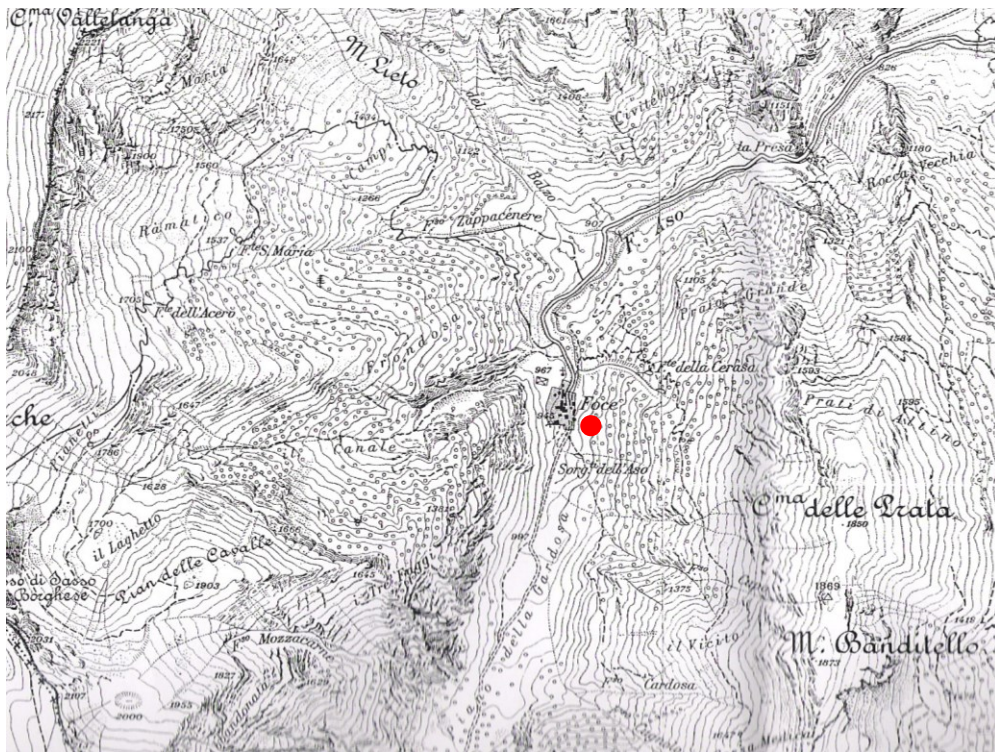


Fig. 2 – Stralcio di carta topografica del foglio 132 I quadrante SO “Montemonaco” (sorgente Foce)

La sorgente di **Pescara** (quota 885 m) è ubicata nella zona meridionale del gruppo dei Sibillini, nelle vicinanze dell’abitato di Pescara del Tronto (comune di Arquata del Tronto, zona fortemente colpita dall’evento sismico del 24 Agosto 2016 e successivi), sul versante orientale del Monte Macchialta nella parte più montana del bacino del fiume Tronto (Fig.3). Fa parte del Consorzio Idrico Intercomunale del Piceno e nelle gallerie di captazione le acque emergono nella zona interessata dal sovrascorrimento che mette a contatto la Maiolica con la Scaglia. Tutta l’area di emergenza è intensamente fratturata e fessurata (Fig.1).

La sorgente di **Capodacqua** (quota 830 m) è ubicata nell’estrema propaggine meridionale del massiccio dei Sibillini nei pressi dell’abitato di Capodacqua nella zona del comune di Arquata del Tronto, alla base del versante orientale del Monte Serra (Fig.3). Anche tale sorgente fa parte del Consorzio Idrico Intercomunale del Piceno e nelle gallerie di captazione le acque sorgive emergono nella zona di contatto tra la formazione della Marnosa Arenacea, che funge da acquiclude in tutta l’area, e i litotipi della Corniola. La zona di emergenza originaria era ubicata lungo il fosso Capodacqua nell’area del sovrascorrimento che mette a contatto Scaglia e Marnosa Arenacea (Fig.1).



Fig.3 – Stralcio di carta topografica del foglio 132 Il quadrante NO Arquata del Tronto (sorgenti Pescara e Capodacqua)

PRIMA PARTE

Generalità sulle misure di portata

CAPITOLO 2: CENNI SULLE METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI SORGENTI E CORSI D'ACQUA

Per portata di una sorgente o di un corso d'acqua si intende il volume d'acqua che passa, in una determinata sezione, nell'unità di tempo. Viene generalmente espressa in litri al secondo (l/s) o in metri cubi al secondo (m³/s).

La misura può essere eseguita negli alvei e nei canali naturali, in canali artificiali appositamente regolarizzati, in sezioni opportunamente modellate, con metodi volumetrici, oppure con apposite strumentazioni.

Le misure di portata assumono grande importanza negli studi idrogeologici perché consentono di risalire al regime di falde, sorgenti e corsi d'acqua e di acquisire dati indispensabili per il calcolo ed il controllo dei bilanci idrologici.

Un'approssimazione delle misure dell'ordine del 5% è ritenuta perfettamente tollerabile nei calcoli idrologici. C'è però da considerare che non sempre è possibile raggiungere questo ordine di incertezza, per vari motivi legati alla metodologia utilizzata o alle irregolarità delle sezioni di misura.

2.1 STRUMENTI E METODI DI MISURA DELLE PORTATE

Tra le varie metodologie esistenti per la misura della portata di un corso d'acqua e di una sorgente troviamo:

- *Metodo volumetrico*
- *Mulinello idrometrico*
- *Traccianti artificiali*
- *Stramazzi*
- *Ultrasuoni*

2.1.1 METODO VOLUMETRICO

Il metodo volumetrico è uno dei più semplici per il calcolo delle portate (Q); infatti sono sufficienti un recipiente di capacità determinata (V) ed un cronometro con il quale viene misurato il tempo (t) di riempimento:

$$Q = V/t$$

Questo metodo viene generalmente utilizzato per piccole sorgenti e soltanto quando è possibile inserire velocemente, sotto il getto d'acqua, un secchio o un sacchetto impermeabile.

2.1.2 MULINELLO IDROMETRICO

I mulinelli idrometrici sono apparecchi costituiti essenzialmente da un corpo fisso avente forma aerodinamica e da un'elica molto sensibile, caratteristica legata al tipo di flusso (flusso laminare). Sono utilizzati per la misura della velocità della corrente, basati sul conteggio elettronico dei giri dell'elica, su un intervallo temporale prestabilito (Fig.4).

L'elica viene immersa nella corrente da misurare con l'asse parallelo alle linee di deflusso e con le pale poste al senso del moto. Per azione della spinta della corrente sulle pale, l'elica ruota. Il numero di giri sulla base temporale impostata viene contato mediante il collegamento elettrico tra lo strumento ed una centralina che è retta dall'operatore.

Mediante l'equazione della curva di taratura, fornita dal costruttore unitamente a ciascuna elica, si calcola la velocità del deflusso idrico, per mezzo della quale si ricava la portata fluente attraverso una data sezione trasversale misurata in precedenza della quale la misura è effettivamente rappresentativa.

La sommatoria delle Q_i portate calcolate sulle i sottosezioni distinte fornisce la portata istantanea globale:

$$Q = \sum V_i A_i$$

Su sezioni di misura irregolari, conviene operare nella seguente maniera:

- Scandire la sezione mediante scandaglio e riportarla in diagramma cartesiano
- Suddividere la sezione in sezioni parziali, tanto più numerose quanto più la sezione è accidentata
- Per ciascuna sezione parziale, operare una misura di velocità al fondo, una in superficie e una o più intermedie
- Costruire le curve di eguale velocità del fluido (isotachie) in corrispondenza della sezione
- Calcolare la portata istantanea (Q) in base all'area delle diverse parti della sezione delimitate dalle diverse isotachie.

Mediante misure con mulinelli su una data sezione in diverse condizioni di deflusso, è possibile costruire una curva di taratura specifica che mette in relazione le altezze idrometriche del pelo libero con le portate. Ciò permette di ottenere misure di portata di canali e corsi d'acqua in base a semplici letture di livello. La correlazione tra misure di portata ed altezze idrometriche è legata alla inalterabilità del profilo di fondo (da Civita, 2005).

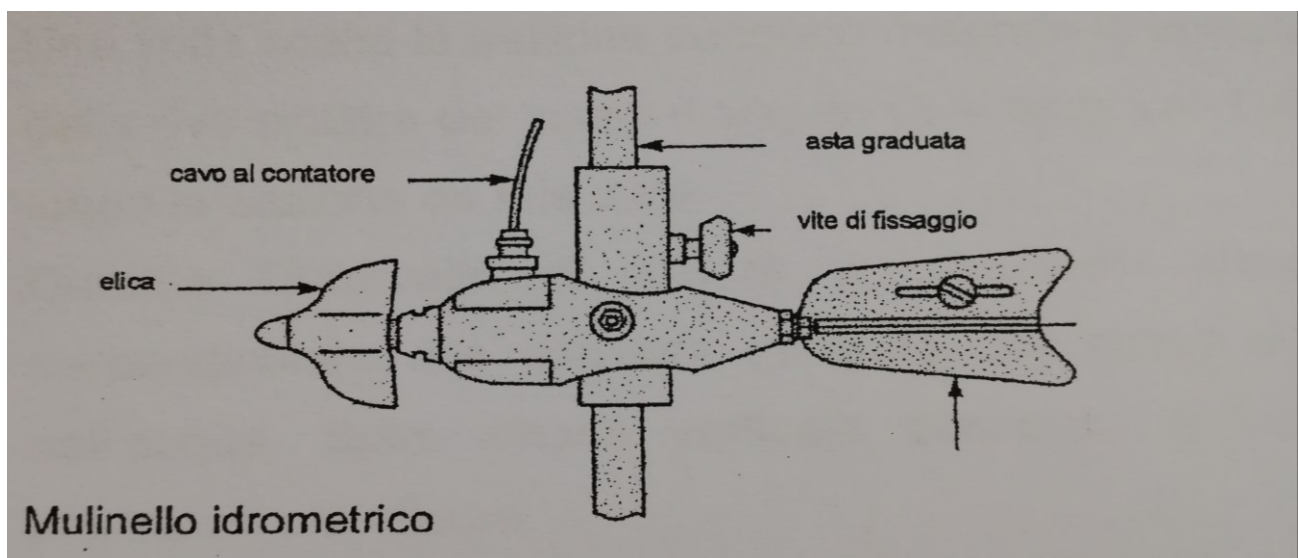


Fig. 4 – Schema di mulinello idrometrico

2.2.3 TRACCIANTI ARTIFICIALI

Si dicono traccianti quelle sostanze che possono essere facilmente immesse e rilevate nelle acque sotterranee al fine di comprendere i principali aspetti idrodinamici e determinare alcuni parametri idrogeologici dell'acquifero.

Essi vengono utilizzati per riconoscere le comunicazioni sotterranee (per esempio tra un inghiottitoio e una sorgente), per individuare i possibili punti di immissione di eventuali inquinanti, per determinare le direzioni principali di flusso delle acque, per calcolare la velocità e la portata delle falde ed, infine, per determinare la permeabilità e la trasmissività dell'acquifero.

Le sostanze che possono essere utilizzate come tracciante devono presentare caratteristiche prossime a quelle di un tracciante ideale ovvero:

- Possedere un'altissima solubilità in acqua ed in tempi brevi al fine di poter considerare istantanea l'immissione;
- essere chimicamente neutro, non subire quindi fenomeni di adsorbimento o reazioni chimiche che ne diminuiscano la concentrazione;
- essere fisicamente neutro, quindi non separarsi per gravità o rimanere intrappolato nella matrice litologica;
- non modificare le caratteristiche dinamiche dell'acqua (viscosità, densità);
- possedere un limite di rilevazione molto basso;
- essere facilmente analizzabile con metodi semplici e poco costosi;
- non essere assolutamente tossico.

I traccianti artificiali attualmente più in uso hanno un comportamento che si approssima a quello ideale, ma ognuno di loro presenta alcune controindicazioni. Le sostanze reperibili sul mercato sono :

- gli isotopi radioattivi molto validi ma d'uso strettamente controllato da parte delle autorità sanitarie, tale che il loro impiego risulta poco pratico, a volte impossibile;
- i traccianti chimici (cloruro di sodio, bromuri), che possono alterare le caratteristiche dinamiche dell'acqua e obbligano spesso all'uso di rilevanti quantità di ioni poco comuni;
- i traccianti biologici, di difficile reperibilità in Italia costosi e di difficile utilizzo;

- i traccianti fluorescenti, i più utilizzati, pur con alcuni inconvenienti (sospetta tossicità ed eccessiva colorazione).

Nell'ambito di studi di idrogeologia a scelta del tipo di tracciante dipende dalle caratteristiche proprie del tracciante, in relazione alla problematica da sviluppare e alla natura delle rocce che esso deve attraversare. Per esempio, nelle rocce porose sono da escludere le sostanze che vengono trattenute dai mezzi filtranti; in presenza di argille non si devono utilizzare sostanze soggette a fenomeni di adsorbimento o di scambio di basi; per i tempi di deflusso lunghi sono da escludere i radioisotopi con periodo di dimezzamento molto breve, ecc.

I punti di immissione dei traccianti possono essere rappresentati da inghiottitoi fossi a fondo permeabile, zone di irrigazione, scarichi inquinanti, corsi d'acqua, pozzi, sondaggi, ecc. I punti di prelievo dei campioni sono quelli di recapito naturale e quelli di passaggio delle acque sotterranee.

I metodi di iniezione dei traccianti nelle acque sotterranee sono essenzialmente due: iniezione continua e iniezione istantanea.

L'iniezione continua consiste nell'immissione, per un certo lasso di tempo (t), di una soluzione a concentrazione iniziale (C_0) con una portata costante (Q_0).

Questa metodologia è utile quando si deve verificare l'esistenza o meno di infiltrazioni non concentrate quali potrebbero essere, per esempio, quelle di un corso d'acqua verso la falda posta a quota inferiore. Infatti consente di omogeneizzare la soluzione nel fiume facendo sì che pori e fessure del suo alveo siano tutti interessati dal tracciante.

L'iniezione istantanea, utilizzata in particolare nelle prove effettuate nell'ambito di questo lavoro di tirocinio e tesi, consiste nell'immissione di tutta la soluzione in tempi brevissimi. In genere questa metodologia è più frequentemente utilizzata laddove esistono punti di assorbimento concentrati come inghiottitoi o pozzi. Offre il vantaggio di una più rapida esecuzione della prova e di un minore consumo di tracciante; all'arrivo del tracciante, consente di ottenere delle curve di concentrazione più nette rispetto a quelle della metodologia precedente.

E' possibile risalire alla portata Q attraverso le sole concentrazioni del tracciante.

Nell'ipotesi di una iniezione continua il calcolo di Q può essere eseguito con la seguente formula:

$$Q = (C_0/C) Q_0$$

dove:

C = concentrazione finale media della soluzione

C₀ = concentrazione iniziale della soluzione

Q₀ = portata costante di iniezione

Se l'iniezione del tracciante è istantanea, la portata (Q) del deflusso sotterraneo è valutabile con la formula seguente:

$$Q = P / \int C (t) dt$$

dove:

P = peso del tracciante iniettato;

C = concentrazione della soluzione in corrispondenza del punto di prelievo.

t = tempo

Affinché queste due espressioni risultino valide, è necessario che la concentrazione finale (C) non risulti falsata; è quindi indispensabile che tutta la portata attraversi la sezione di prelievo dei campioni e che non vi siano perdite e/o assorbimenti di tracciante durante il percorso (da P. Celico, 1986 e M. Civita, 2005).

2.2.4 STRAMAZZI

Uno stramazzo costituisce uno sbarramento trasversale retto della corrente liquida sormontato da una luce aperta verso l'alto. Si distinguono stramazzi in parete grossa e stramazzi in parete sottile, con una luce rettangolare (Bazin) (Fig. 5), triangolare (Thompson), con vari valori dell'angolo del vertice inferiore; a trapezio (Cipolletti). L'acqua incanalata è costretta a passare per la luce dello stramazzo.

Le espressioni che consentono di calcolare la portata in base alle caratteristiche geometriche dello stramazzo attraverso la misura dell'altezza del pelo libero sopra la soglia, a monte, sono:

- Bazin

Data L la larghezza della luce e h_m l'altezza d'acqua misurata a monte (entrambe in cm), si ha:

$$Q = 0,0175 L h_m^{1,5} \quad \text{l/s}$$

- Triangolare (Thompson)

Sia α l'angolo della luce dello stramazzo e h_m l'altezza d'acqua misurata a monte (cm):

$$Q = 0,0142 \operatorname{tg}(\alpha/2) h_m^{2,5} \quad \text{l/s}$$

I valori dell'angolo al vertice inferiore usati più di frequente sono: 90° , 60° e 45° .

- Cipolletti

Lo stramazzo ha forma a trapezio, con la base maggiore verso l'alto e pendenza delle sponde 1:4, L è la larghezza della base minore del trapezio e h_m l'altezza dell'acqua misurata a monte, si ha:

$$Q = 0,0186 L h_m^{3/2} \quad \text{l/s}$$

(da Civita, 2005)



Fig. 5 - Stramazzo (Bazin) ubicato all'interno dell'opera di captazione della sorgente Pescara

2.2.5 MISURATORE A ULTRASUONI

Questo metodo, basato su una tecnologia che sfrutta gli ultrasuoni, fornisce una misura accurata della portata di un corso d'acqua attraverso una sezione retta, scandita.

Il sistema di misura a ultrasuoni fornisce, come dato immediato, la velocità del deflusso misurando la differenza di tempo che il segnale acustico impiega a percorrere la distanza fra due trasduttori posti sulle opposte rive del corso d'acqua.

Il segnale sonoro impiega un tempo minore, quando percorre la distanza fra i due sensori in direzione del deflusso idrico, rispetto al percorso inverso. Essendo la differenza tra i tempi di percorrenza proporzionale alla velocità dell'acqua, si determina la portata che attraversa una nota sezione dell'alveo.

I sensori, al minimo due, possono diventare anche 3 o 4 in funzione delle necessità di precisione della forma, sia della sezione, sia del tronco di corrente da misurare. Per la configurazione minima, i sensori vengono posti trasversalmente alla sezione di misura.

Il calcolo della velocità si ottiene dall'espressione :

$$V = (L_{1,2}/2 \cos\varphi_{1,2}) (1/t_{1,2} - 1/t_{2,1}) \quad \text{m/s}$$

In cui V è la velocità del deflusso, $t_{1,2}$ $t_{2,1}$ è il tempo di percorrenza del segnale tra il sensore 1 ed il sensore 2 e viceversa, $L_{1,2}$ è la distanza tra i sensori, φ è l'angolo tra la direzione della corrente, ortogonale alla sezione scandita, e la linea che unisce i sensori.

Misurata la velocità del deflusso, la portata si ottiene dall'espressione :

$$Q = V \cdot K \cdot A$$

Nella quale A è, ovviamente, l'area della sezione bagnata, e K un fattore di calibrazione (da Civita, 2005).

SECONDA PARTE
Indagini di campagna e prove di
laboratorio

CAPITOLO 3: PRIMA PROVA - SORGENTE FOCE DI MONTEMONACO, CALCOLO DELLA PORTATA D'ACQUA CON IL METODO DEI TRACCIANTI ARTIFICIALI

La prima prova eseguita il 21/06/07 riguarda la misura della portata d'acqua nell'opera di captazione della sorgente "Foce di Montemonaco" mediante l'immissione istantanea del tracciante artificiale bromuro di potassio (KBr).

Tale prova si articola in:

- fase preparatoria
- prova di campagna
- analisi di laboratorio sui campioni

3.1 FASE PREPARATORIA

Tale fase è data dalla preparazione del tracciante da immettere nell'opera di captazione ed è stata effettuata nel laboratorio di Geochimica del SIMAU (Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica). Essa consiste nella diluizione del tracciante KBr nell'acqua di Foce precedentemente prelevata.

Si è scelto di sciogliere 1kg di tracciante (Fig.6), in particolare sono stati presi due contenitori da 500g ed è stato calcolato il loro reale peso netto facendo le pesate dei contenitori pieni e dei vuoti:

- peso lordo del 1° contenitore = 562,21g
- peso lordo del 2° contenitore = 564,39g

- peso vuoto del 1° contenitore = 61,44g
- peso vuoto del 2° contenitore = 52,64g

Perciò il peso effettivo del bromuro di potassio è calcolato come somma dei due pesi netti:

$$500,77g + 511,75g = 1012,52 g$$

Per determinare la quantità d'acqua necessaria per procedere alla diluizione del bromuro di potassio, sono state calcolate le seguenti

proporzioni su i due pesi netti, conoscendo la solubilità del bromuro di potassio espressa in g/100 ml :

per il 1° peso netto $39,73 \text{ g/ml} : 100 \text{ ml} = 500,77 \text{ g} : X$ $X = 1,26 \text{ l}$

per il 2° peso netto $39,73 \text{ g/ml} : 100 \text{ ml} = 511,75 \text{ g} : X$ $X = 1,28 \text{ l}$

Visti i risultati e considerata la temperatura dell'ambiente si è deciso di sciogliere l'intero quantitativo di KBr in 2 l di acqua di Foce

Terminata la preparazione del tracciante sono state pulite e numerate progressivamente 30 bottigliette per il campionamento delle acque.



Fig.6 - Fase di miscelazione del tracciante

3.2 PROVA DI CAMPAGNA

Questa fase della prova è stata svolta all'interno dell'opera di captazione della sorgente di Foce.

Inizialmente è stata posizionata nella galleria a valle (Fig.7) tutta la strumentazione necessaria per il rilevamento istantaneo dei dati e per il prelievo di campioni.



Fig.7 - Galleria a valle (Sorgente di Foce di Montemonaco)

Tale strumentazione si compone di (Fig.8):

- canna da pesca con tubicino per il prelievo
- pompa
- elettrodo iono-selettivo per bromuri
- elettrodo di riferimento
- analizzatore iono-selettivo
- computer portatile
- bottigliette per il campionamento
- matraccio contenente la soluzione KBr

Nell'opera, a valle, la canna da pesca con il tubicino è stata attaccata alla balaustra, in modo da prelevare l'acqua in un tratto di sezione omogenea dove non vi era turbolenza.



Fig.8 - Strumentazione

Successivamente è stato immesso il tracciante nell'opera di presa (a monte) precisamente alle ore 12 10' 30" del 21/06/07 (Fig.9 e 9a).



Fig.9 - Immissione del tracciante nel punto a monte



Fig.9a – Visione della galleria (a monte)

Il campionamento è iniziato 15 minuti dopo l'immissione del tracciante e più precisamente alle ore 12 25' 30". L'acqua prelevata grazie all'aspirazione della pompa, passava attraverso la cella contenente gli elettrodi (di riferimento e di bromuro), (Fig.10 e 10a); grazie all'analizzatore iono-selettivo (Fig.11) è stato possibile leggere in mV la concentrazione del tracciante e quindi osservare attraverso questi valori l'arrivo della nube. Contemporaneamente attraverso il computer portatile collegato al rilevatore è avvenuta la memorizzazione dei dati espressi in mV in tempo reale.



Fig.10
- Particolare del riempimento delle bottigliette permesso da una piccola ramificazione del tubicino da cui fuoriusciva acqua



Fig.10a
- Elettrodi di riferimento e di bromuro



Fig. 11 – Analizzatore iono-selettivo

In particolare il campionamento è avvenuto con i seguenti intervalli di tempo:

Dal n°1 al n°10 (compreso) ogni 30"

dal n°11 al n°27 ogni 60"

tra il n°27 e il n°28 sono trascorsi 3'

tra il n°28 e il n°29 sono trascorsi 5'

tra il n°29 e il n°30 sono trascorsi 10'

(Fig.12)

La fine del campionamento è avvenuta alle ore 13 10 ' 45"



Fig. 12 – Campioni di acqua prelevati

3.3 ACQUISIZIONE DI ALCUNI PARAMETRI

Al termine della prova, nella galleria a valle sono stati rilevati alcuni parametri utili:

- pH
- conducibilità elettrica
- temperatura
- livello

Il pH è stato misurato attraverso un pHmetro (Fig.13) che ha fornito oltre al valore di pH pari a 7,87 anche quello della temperatura di 6,7°C.

Per la conducibilità elettrica e ancora una volta per la temperatura è stato utilizzato un apparecchio (Fig.14) posizionato lungo la galleria; i risultati sono stati per la conducibilità elettrica di 247µS/cm e per la temperatura 6,7°C (confermando quindi quanto osservato precedentemente con il pHmetro).

Il livello invece è stato rilevato con un semplice metro rigido da una parte e dall'altra della paratia ed ha riportato i risultati illustrati nello schema di figura 15.



Fig-13 – pHmetro

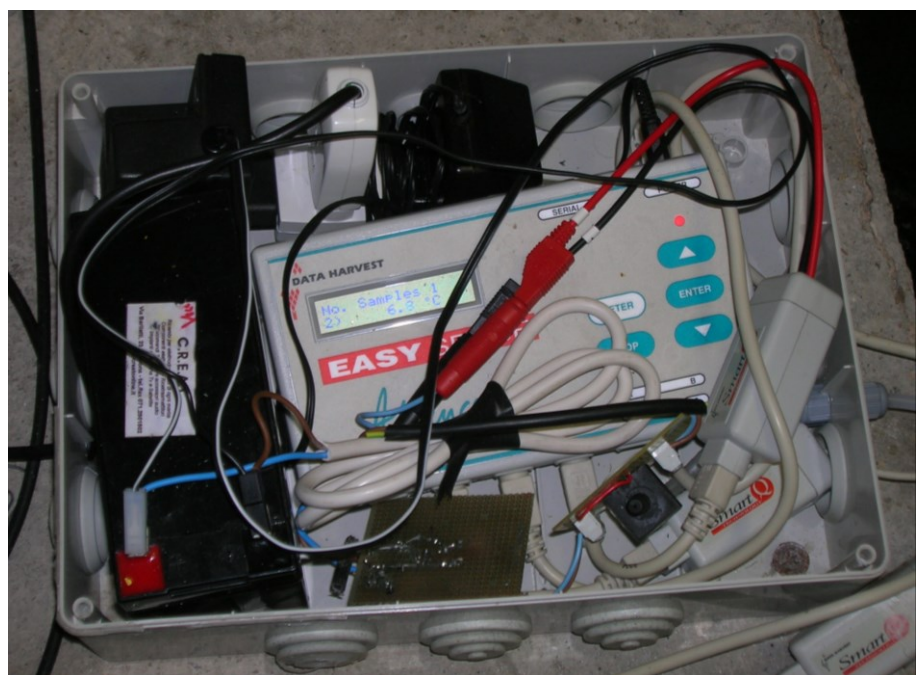


Fig.14 – Strumento per la misura di temperatura e conducibilità

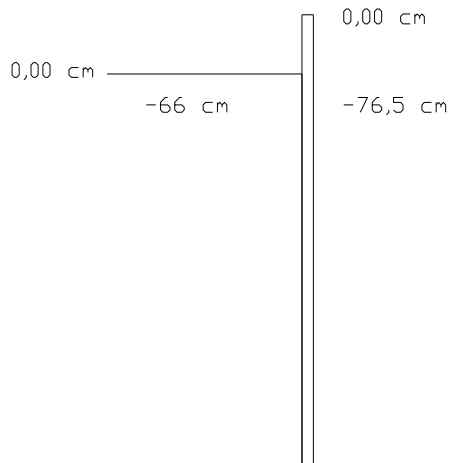


Fig. 15 - Schema della paratia con misura del livello idrometrico

3.4 ANALISI DI LABORATORIO

Le analisi chimiche dei campioni prelevati con le prove di portata sono state eseguite all'interno del laboratorio di Geochimica del SIMAU (Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica) dell'Università Politecnica delle Marche.

In questa fase sono state determinate le concentrazioni di bromuro all'interno di ogni campione attraverso l'uso di due diverse strumentazioni, il **cromatografo** e l'analizzatore **iono-selettivo**, mentre la concentrazione di potassio è stata rilevata mediante lo **spettrofotometro ad assorbimento atomico**.

Prima della descrizione della prova di laboratorio vengono riportate alcune informazioni di carattere generale sulle metodologie di analisi eseguite.

3.4.1 CROMATOGRAFO

La cromatografia ionica è una tecnica che permette di separare i componenti a carattere ionico di una miscela sfruttando le diverse caratteristiche di reazione degli analiti cercati.

Il cromatografo si compone delle seguenti parti (Fig. 16):

- **POMPA:** lo scopo di essa è di inviare l'eluente scelto (es. tampone carbonato/bicarbonato di sodio) al circuito e quindi in colonna.

- **ELUENTE:** costituisce la fase mobile. All'interno dello strumento la migrazione e la separazione dei diversi componenti ionici sono dovute alla distribuzione di ciascuno fra due fasi, mobile (in genere, una soluzione tampone) e stazionaria (la resina a scambio ionico). Il comportamento di uno ione durante la separazione dipende dall'equilibrio che esso stabilisce con i gruppi attivi (carichi) della resina, che prima di introdurre il campione si trovano associati a un determinato tipo di controione.

- **VALVOLA DI INIEZIONE:** in tale zona viene introdotto l'eluente nel circuito e il campione che viene immesso nella colonna.

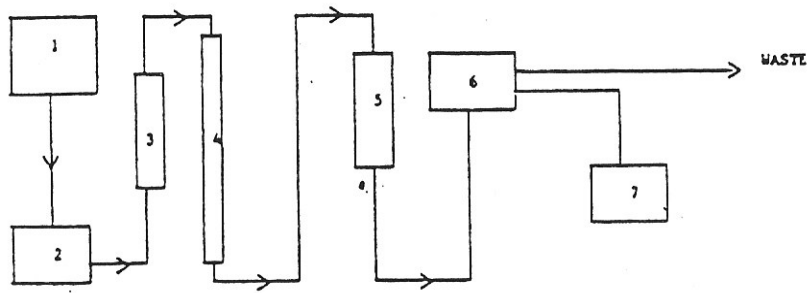
- **COLONNA E PRECOLONNA ANIONICA DIONEX AS4**

- **SOPPRESSORE:** il soppressore è un particolare strumento che permette di evidenziare maggiormente gli ioni analizzati dal segnale del fondo dovuto all'eluente e permette quindi la distinzione del cromatogramma dei picchi del campione da parte del detector.

- **DETECTOR (in questo caso a conducibilità):** è lo strumento che permette di discriminare gli ioni in uscita dal soppressore.

Il cromatografo fornisce in uscita un cromatogramma in cui saranno visibili i picchi per ogni specie ionica (le cui aree sono proporzionali alle concentrazioni).

Calibrando lo strumento con standard a concentrazione nota, si ricavano i risultati analitici espressi direttamente in mg/l.



- 1- Eluente
- 2- Pompa
- 3- Precolonna
- 4- Colonna di separazione
- 5- Soppressore
- 6- Detector
- 7- Registratore dati

Fig. 16 - Schema delle parti di un cromatografo

DESCRIZIONE DELL'ANALISI AL CROMATOGRAFO

L'analisi con il cromatografo (Fig.17) è stata svolta al fine di ottenere la concentrazione di bromuro nel tempo, necessaria per arrivare al calcolo della portata d'acqua.



Fig.17 – Cromatografo con cui è stata eseguita l'analisi

Il cromatografo inizialmente è stato impostato ovvero è stata creata una curva di taratura attraverso soluzioni standard.

In particolare partendo da una soluzione madre a 1000 ppm ed effettuando alcune diluizioni si sono ottenuti tre standard (numero minimo per costruire una curva di lavoro):

- 2,5 mg/l di Br-
- 5 mg/l di Br –
- 10mg/l di Br-

I tre standard sono stati portati a volume con acqua della sorgente di Foce per considerare anche la presenza dei bromuri nella stessa; quindi sono stati chiusi ed agitati dentro dei matracci.

In tale fase i campioni dovrebbero essere filtrati per l'eliminazione di eventuale materiale in sospensione (mentre per gli standard tale operazione non è necessaria). La filtrazione è importante perché si potrebbero danneggiare le colonne dello strumento a causa dell'intrappolamento di materiale fine che provocherebbe un aumento della pressione variando quindi le impostazioni iniziali dello strumento, ovvero una pressione di esercizio costante e quindi un flusso dell'eluente costante.

Come eluente è stata usata una soluzione tampone di bicarbonato di sodio 25 millimolare mentre come rigenerante per il soppressore è stato usato acido solforico 25 millimolare.

A questo punto è stato possibile iniziare la prova. Inizialmente sono stati inseriti gli standard per la creazione della curva di lavoro, successivamente si è passati ai campioni per i quali l'apparecchio identifica un'area tra i picchi creati con gli standard (Area*) e quindi una concentrazione (C*) (Fig. 18).

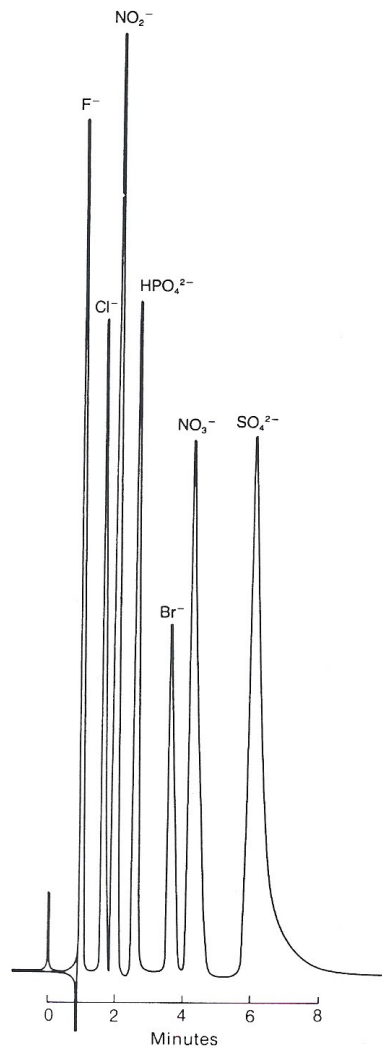


Fig. 18 – Tipico profilo di un cromatogramma

In base al presunto tempo di uscita si identifica un picco e quindi una finestra che corrisponde all'anione che si sta cercando (nel nostro caso bromuri).

In particolare, per quanto riguarda l'iniezione degli standard e dei campioni è stata utilizzata una piccola siringa che si inserisce nello strumento e che spinge i volumi da analizzare all'interno del cromatografo dove poi verranno processati.

Il volume minimo da iniettare corrisponde al volume necessario del loop dello strumento; la quantità in eccesso va a scarico. E' comunque consigliabile tenersi al di sopra di questo limite per essere sicuri del suo raggiungimento, tanto più che il volume in eccesso è sfruttato per la pulizia dal precedente ciclo.

Analizzati tutti i campioni, si è ottenuto in uscita dallo strumento il cromatogramma (Fig.18).

I risultati ottenuti sono riportati in tab.1 e visualizzati in Fig.19.

TEMPO (s)	C (Mg/l) BROMURO	C (g/l) BROMURO	AREE PARZIALI	INTEGRALE	INTEGRALE X 60
0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
15,5	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
16,5	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
17,5	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
18,5	0	0	0,0003205	0,0003205	0,01923
19	1,282	0,001282	0,0008945	0,001215	0,0729
19,5	2,296	0,002296	0,005936	0,007151	0,42906
12.00	3,64	0,00364	0,003773	0,010924	0,65544
22,5	3,906	0,003906	0,0035775	0,0145015	0,87009
23,5	3,249	0,003249	0,0026875	0,017189	1,03134
24,5	2,126	0,002126	0,00176	0,018949	1,13694
25,5	1,394	0,001394	0,001083	0,020032	1,20192
26,5	0,772	0,000772	0,000738	0,02077	1,2462
27,7	0,458	0,000458	0,0003016	0,0210716	1,264296
28,5	0,296	0,000296	0,0002295	0,0213011	1,278066
29,5	0,163	0,000163	0,000129	0,0214301	1,285806
30,5	0,095	0,000095	0,0000815	0,0215116	1,290696
31,5	0,068	0,000068	0,000051	0,0215626	1,293756
32,5	0,034	0,000034	0,000017	0,0215796	1,294776
33,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
34,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
35,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
36,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
39,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
44,5	0	0	0	0,0215796	1,294776
49,5	0	0	0	0,0215796	1,294776

Tab.1 – Risultati ottenuti mediante l'analisi con il cromatografo ionico

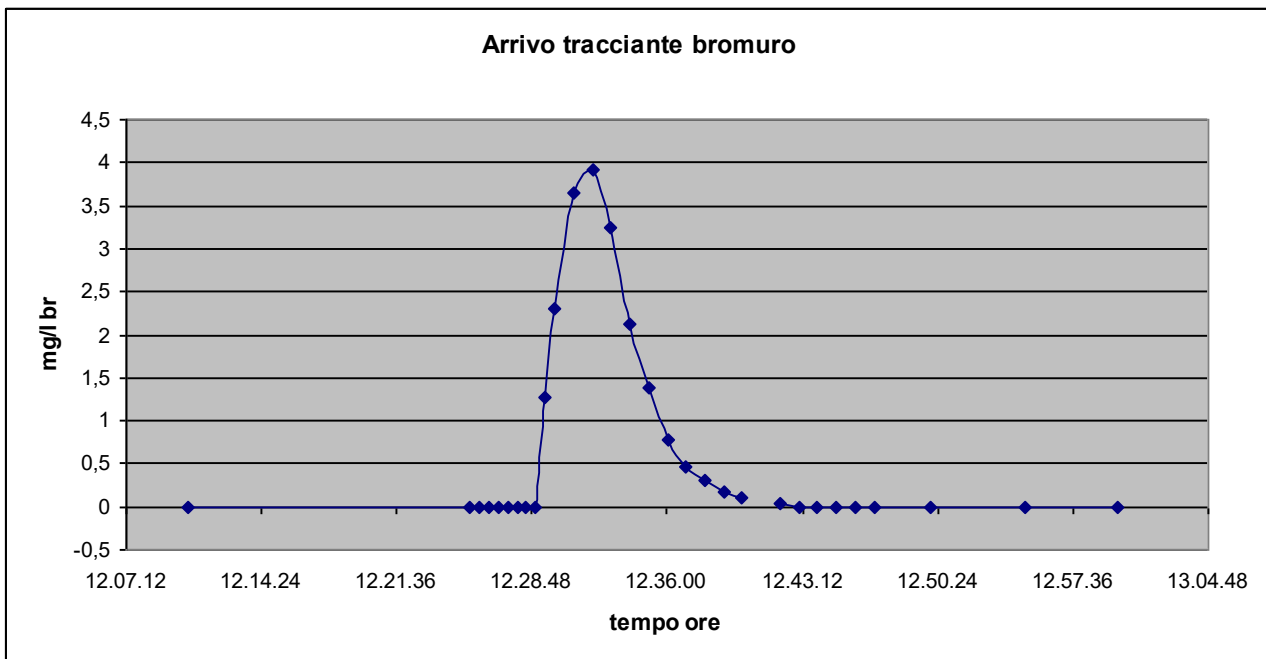


Fig. 19 - Grafico per l'osservazione dell'andamento della concentrazione di bromuro

Per il calcolo della portata è stata applicata la formula

$$Q = M / \int C(t) dt$$

relativa all'immissione istantanea dove:

$$\text{Massa Br} = 679,8118\text{g}$$

$$\int C(t) dt = 1,2948$$

dalla quale cui si è ottenuto questo risultato:

$$Q = 525 \text{ l/s}$$

In particolare la massa del bromo è stata calcolata con la seguente proporzione:

$$\begin{aligned} \text{Massa KBr} : \text{Massa Br} &= \text{PM KBr} : \text{PM Br} \\ 1012,52 \text{ g} : \text{Massa Br} &= 119,01 : 79,904 \\ \text{Massa Br} &= 679,8118 \text{ g} \end{aligned}$$

PM = peso molecolare

3.4.2 ELETTRODO IONO-SELETTIVO

Un elettrodo ione selettivo è simile ad un elettrodo pH, la grande differenza sta nell'elemento sensibile: per il pH esiste la membrana di vetro, permeoselettiva agli ioni idrogeno, mentre per gli elettrodi ione-selettivi vi sono diversi tipi di membrane. Il funzionamento degli elettrodi ione-selettivi sfrutta la proprietà comune a diversi materiali di scambiare ioni; in genere tali materiali sono usati sotto forma di membrana. Gli elettrodi ione-selettivi possono essere combinati e non combinati.

ELETTRODI CON MEMBRANA A STATO SOLIDO: Fluoruri, Cloruri, Bromuri. Le membrane di questi elettrodi sono costituite da un sale composto da uno ione della specie da determinare, ad esempio per i cloruri la membrana contiene Cloruro di Argento.

ELETTRODI CON MEMBRANA A MATRICE POLIMERICA: Nitrati, Ammonio, Potassio, Calcio. La superficie della membrana di questi elettrodi è formata da un polimero speciale costituito in modo tale da presentare alta selettività nei confronti di un preciso ione. Una finissima rete viene aggiunta alla membrana per migliorarne la stabilità e la durata.

ELETTRODI CON MEMBRANA DI VETRO: Sodio. La costruzione di questo elettrodo è molto simile a quella dell'elettrodo a vetro per pH, cambia la membrana che è particolarmente sensibile agli ioni Na^+ .

ELETTRODI GAS SENSIBILI: anidride carbonica, ammoniaca, ossidi di azoto. Questi in realtà sono elettrodi pH speciali, in cui la membrana vetro è immersa in una soluzione elettrolitica separata dalla soluzione di misura da una membrana permeoselettiva. Il gas diffonde attraverso la membrana e cambia il pH della soluzione elettrolitica. La variazione di pH così misurata è in diretta relazione con la concentrazione di gas disciolto nel campione.

L'aspetto fondamentale che riguarda tutte le misure fatte con elettrodi ione-selettivi prevedono l'utilizzo di ISA cioè una soluzione che regola il pH e la forza ionica del campione.

DESCRIZIONE DELL'ANALISI CON ELETTRODO IONOSELETTIVO

Nel nostro caso l'analisi prevede come obiettivo la determinazione della concentrazione di bromuro, sono stati quindi utilizzati elettrodi combinati con membrana a stato solido.

La strumentazione utilizzata (Fig.20) si compone di un elettrodo di riferimento ed un elettrodo di bromo, becher dove verranno immessi standard e campioni da analizzare, pipetta da 25 ml, ancoretta e agitatore per facilitare il miscelamento, e analizzatore ione-selettivo da laboratorio.

Per poter procedere alla taratura dello strumento sono state opportunamente preparate tre soluzioni standard partendo da una soluzione madre a 100 ppm:

- 10 ppm (portati a volume con acqua distillata)
- 1 ppm (portati a volume con acqua distillata)
- acqua distillata (soluzione a 0 ppm)

Gli standard ed i campioni sono stati uno alla volta prelevati con la pipetta ed immessi nel becher con l'ancoretta successivamente il becher veniva posto sopra l'agitatore con gli elettrodi immersi nella soluzione.

La soluzione ISA è stata realizzata sciogliendo in 100 ml di acqua distillata 42,5 g di nitrato di sodio (NaNO_3), di tale soluzione ne sono stati immessi 2 ml in ogni campione da analizzare per mantenere costante la forza ionica. Tra un campione e l'altro, il becher, l'ancoretta e gli elettrodi sono stati lavati con acqua distillata per evitare la contaminazione tra vari campioni.

Per ogni campione il risultato è stato registrato dopo circa 5 minuti dall'immersione degli elettrodi, il tempo necessario all'analizzatore per ottenere una risposta stabile.



Fig.20 - Strumentazione utilizzata in laboratorio per l'analisi con elettrodo iono-selettivo.

I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 2 e visualizzati in Fig.21

TEMPO	C mg/l	C mg/l senza il fondo	g/l	AREE PARZIALI	INTEGRALE C(t) [g/l]
900	0	0	0	0	0
930	0	0	0	0	0
960	0	0	0	0	0
990	0	0	0	0	0
1020	0,025	0,025	0,000025	0,00162	0,00162
1050	0,083	0,083	0,000083	0,00657	0,00819
1080	0,238	0,355	0,000355	0,09412	0,10231
1210	1,21	1,093	0,001093	0,03939	0,1417
1240	1,65	1,533	0,001533	0,06144	0,20314
1270	2,68	2,563	0,002563	0,19158	0,39472
1330	3,94	3,823	0,003823	0,24138	0,6361
1390	4,34	4,223	0,004223	0,23178	0,86788
1450	3,62	3,503	0,003503	0,17658	1,04446
1510	2,5	2,383	0,002383	0,12018	1,16464
1570	1,74	1,623	0,001623	0,07788	1,24252
1630	1,09	0,973	0,000973	0,04644	1,28896
1690	0,692	0,575	0,000575	0,02874	1,3177
1750	0,5	0,383	0,000383	0,01608	1,33378
1810	0,27	0,153	0,000153	0,00765	1,34143
1870	0,219	0,102	0,000102	0,00846	1,34989
1990	0,156	0,039	0,000039	0,00486	1,35475
2110	0,159	0,042	0,000042	0,0045	1,35925
2230	0,15	0,033	0,000033	0,00732	1,36657
2470	0,145	0,028	0,000028	0,0126	1,37917
3370	0	0	0	0	1,37917

Tab. 2 – Risultati ottenuti mediante l'analisi effettuata con elettrodo iono-selettivo

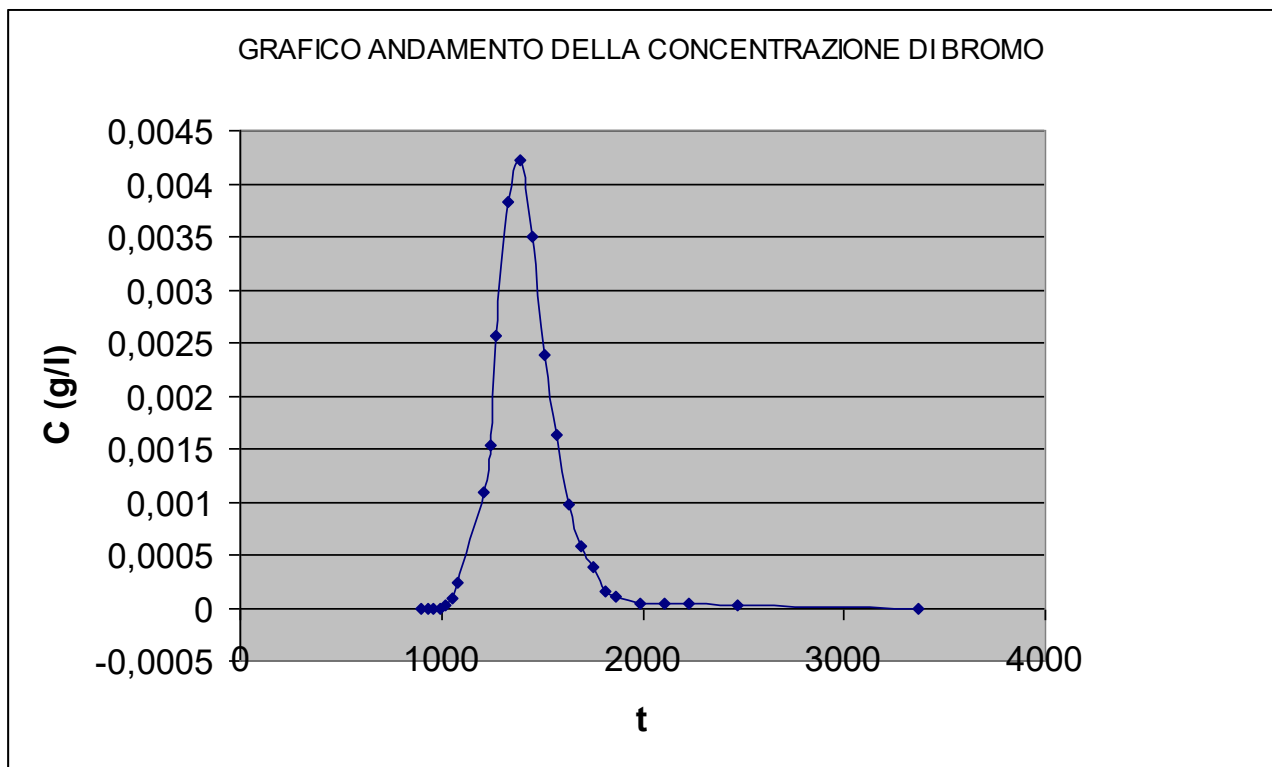


Fig.21 – Grafico per l'osservazione dell'andamento della concentrazione di bromuro

Per il calcolo della portata è stata applicata la formula

$$Q = M / \int C(t) dt$$

relativa all'immissione istantanea dove:

$$\text{Massa Br} = 679,8118\text{g}$$

$$\int C(t) dt = 1,37917$$

dalla quale cui si è ottenuto questo risultato:

$$Q = 493 \text{ l/s}$$

In particolare la massa del bromo è stata calcolata con la seguente proporzione:

$$\text{Massa KBr} : \text{Massa Br} = \text{PM KBr} : \text{PM Br}$$

$$1012,52 \text{ g} : \text{Massa Br} = 119,01 : 79,904$$

$$\text{Massa Br} = 679,8118 \text{ g}$$

3.4.3 SPETTROFOTOMETRO AD ASSORBIMENTO ATOMICO

La spettrofotometria ad assorbimento atomico è una tecnica analitica impiegata per la determinazione sia quantitativa che qualitativa di ioni metallici in soluzione. Il principio chimico-fisico su cui si basa questa tecnica è il fatto che i livelli energetici atomici sono discreti, pertanto le transizioni elettroniche permesse per l'eccitazione radioattiva ($E = h\nu$) sono caratteristiche per ogni atomo. A differenza delle molecole però, gli atomi non contengono sottostrutture rotazionali o vibrazionali e pertanto l'assorbimento di una radiazione elettromagnetica per eccitazione ad un livello energetico superiore non avviene in una banda di frequenze ma ad una e una sola frequenza e lunghezza d'onda. Tutto ciò implica che ogni atomo avrà il suo spettro di assorbimento caratteristico e per ogni lunghezza d'onda a cui corrisponde una transizione sufficientemente probabile è possibile effettuare misure quantitative applicando la legge di Lambert-Beer.

Il funzionamento dello spettrofotometro si articola nel seguente modo:

- **SORGENTE DI RADIAZIONE ELETTROMAGNETICHE:** la sorgente deve necessariamente essere monocromatica rispetto alle radiazioni caratteristiche dell'atomo che si analizza. Per permettere questo si utilizzano delle lampade che emettono nel campo spettrale caratteristico dell'atomo che si sta analizzando. Tali lampade sono dette *lampade a catodo cavo* e sono costituite da un catodo di forma cilindrica a cui è applicata una forte differenza di potenziale elettrico rispetto ad un anodo metallico posto nelle sue vicinanze. Quando viene applicata una differenza di potenziale agli elettrodi, il gas di riempimento ovvero l'argon, si ionizza parzialmente. Gli ioni positivi, accelerati dal campo elettrico, urtano il catodo e provocano l'espulsione degli atomi superficiali. A questo punto lo ione metallico carico tende a ritornare in una situazione di neutralità più stabile emettendo energia sotto forma di radiazione luminosa. Questa radiazione viene raccolta e inviata al comparto di atomizzazione dove sono presenti gli atomi del campione da analizzare.
- **SISTEMA DI ATOMIZZAZIONE:** è il sistema mediante il quale il campione in analisi, viene nebulizzato ed inviato all'interno di una

fiamma (acetilene e aria) dove avverrà l'atomizzazione, misurando la differenza di intensità della radiazione elettromagnetica prima e dopo il passaggio attraverso il campione atomizzato il quale assorbe energia mediante gli elettroni del guscio più esterno.

- **MONOCROMATORE:** è un sistema basato sui fenomeni di diffrazione della luce che permette di selezionare una sola lunghezza d'onda di interesse per l'analisi che si vuole effettuare. Grazie ad una serie di dati che vengono impostati il monocromatore, tramite una serie di specchi e lenti mobili, può isolare una componente cromatica (lunghezza d'onda) per poi utilizzarla. La necessità di selezionare una determinata lunghezza d'onda in fase di analisi nasce dal fatto che l'accuratezza della lettura aumenta notevolmente in quanto l'intensità della frequenza di interesse non viene mascherata, in parte, dalle altre frequenze; quindi tanto più un monocromatore riesce a scindere la radiazione policromatica in una ben determinata lunghezza d'onda tanto maggiore sarà la sensibilità dello strumento.
- **RIVELATORE:** è l'organo sensoriale dell'apparecchio, solitamente si tratta di un fotoelettrodo che sfrutta la proprietà particellare della luce per evidenziare una radiazione incidente su un elettrodo mediante una differenza di potenziale; talvolta però le differenze possono essere minime perciò si ricorre ad un fotomoltiplicatore che moltiplica di molte volte il segnale originale permettendo una migliore interpretazione.
- **SISTEMA DI ELABORAZIONE:** che serve per l'interpretazione, il calcolo e il salvataggio dei dati. Il PC elabora il segnale elettrico proveniente dal rivelatore e esprime il risultato della misura in unità di assorbanza, che è la capacità degli atomi e delle molecole di assorbire energia da una radiazione elettromagnetica.

DESCRIZIONE DELL'ANALISI CON SPETTROFOTOMETRO AD ASSORBIMENTO ATOMICO

Anche per questo strumento come per i precedenti per poter procedere all'analisi sono state preparate tre soluzioni standard:

- 1 ppm
- 2 ppm
- 3 ppm

Tutti i campioni in oggetto sono stati acidificati con acido nitrico concentrato. Successivamente, standard e campioni sono stati messi nelle provette ed a questo punto è iniziata la prova, che a livello pratico, consisteva nell'inserimento del tubicino di aspirazione del nebulizzatore, facente parte dello strumento, in ogni provetta e nell'attesa di qualche secondo per ognuna ovvero il tempo necessario per consentire al pc di fornire tre valori di concentrazione per ogni campione, di cui poi nell'elaborazione dei dati è stata fatta una media (Fig.22).



Fig.22 – Spettrofotometro ad assorbimento atomico utilizzato per l'analisi in laboratorio

La prova ha condotto ai seguenti risultati riportati in Tab.3 e visualizzati in Fig.23

CAMPIONI	TEMPO (s)	C mg/l POTASSIO	C mg/l SENZA ⁽¹⁾ FONDO	C g/l POTASSIO	AREE PARZIALI	INTEGRALE
1	900	0,34	-0.004	0	0	0
2	930	0,342	-0.002	0	9,45E-05	9,45E-05
3	960	0,35	0.006	0	0,00017325	0,00026775
4	990	0,387	0,005	0,00005	0,00017325	0,000441
5	1020	0,39	0,006	0,00006	0,0002205	0,0006615
6	1050	0,4	0,008	0,00008	0,000315	0,0009765
7	1080	0,45	0,012	0,00012	0,00935025	0,01032675
8	1210	0,6	0,125	0,00125	0,00949725	0,019824
9	1240	0,929	0,478	0,00478	0,023247	0,043071
10	1270	1,474	0,998	0,00998	0,087066	0,130137
11	1330	2,11	1,766	0,00176	0,114597	0,244734
12	1390	2,392	1.872	0,00187	0,107919	0,352653
13	1450	2,011	1,554	0,00155	0,081207	0,43386
14	1510	1,461	1,024	0,00102	0,053109	0,486969
15	1570	1,16	0,662	0,00066	0,035847	0,522816
16	1630	0,933	0,476	0,00471	0,0254835	0,5482995
17	1690	0,677	0,333	0,00333	0,017829	0,5661285
18	1750	0,613	0,233	0,00233	0,0121905	0,578319
19	1810	0,579	0,157	0,00157	0,0077805	0,5860995
20	1870	0,437	0,093	0,00093	0,0053235	0,591423
21	1930	0,42	0,076	0,00076	0,009135	0,600558
23	2050	0,413	0,069	0,00069	0,006867	0,607425
25	2170	0,384	0,040	0,00040	0,005607	0,613032
27	2290	0,393	0,049	0,00049	0,020664	0,633696
29	2770	0,423	0,033	0,00031	0,00252	0,636216
30	2870	0,435	0,015	0.00015	0,00574875	0,64196475

(1) Il "fondo" viene sottratto perché esso comporta una quantità di potassio che appartiene al tracciante ma del chimismo dell'acqua stessa

Tab.3 – Risultati ottenuti mediante l'analisi con spettrofotometro ad assorbimento atomico

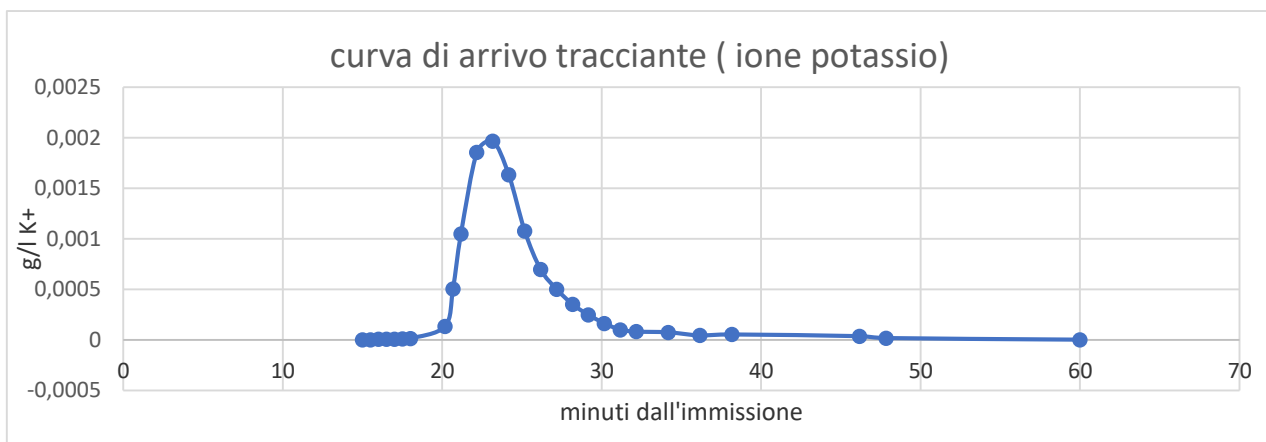


Fig. 23 – Grafico per l'osservazione dell'andamento della concentrazione di potassio

Per il calcolo della portata è stata applicata la formula

$$Q = M / \int C(t) dt$$

relativa all'immissione istantanea dove:

Massa k = 332,7082 g

$\int C(t) dt = 0,641965$ (risultato ottenuto con il calcolo in tab.3)

la massa del potassio è stata calcolata con la seguente proporzione:

Massa KBr : Massa k = PM KBr : PM K

1012,52 g : Massa K = 119,01 : 39,102

Massa k = 332,7082 g

Dalla quale si è ottenuto questo risultato:

$$Q = 518 \text{ l/s}$$

I risultati ottenuti dalle prove descritte sono visualizzati in tab.4.

RICERCA DI BROMURO ATTRAVERSO L'USO DEL CROMATOGRAFO	525 l/s
RICERCA DI BROMURO ATTRAVERSO L'USO DI ELETTRODO IONO-SELETTIVO	493l/s
RICERCA DI POTASSIO ATTRAVERSO L'USO DI SPETTROFOTOMETRO AD ASSORBIMENTO ATOMICO	518l/s

Tab.4 – Valori di portata della sorgente Foce ottenuti con diverse metodologie di laboratorio

Si precisa che i valori riportati in tabella si riferiscono ad un periodo antecedente il sisma del 2016 che ha interessato la zona dei Monti Sibillini. Le portate rilevate nel periodo post-sisma risultano dimezzate con valori fino a circa 225 l/s (Chiaraluce et al., 2019)

CAPITOLO 4: SECONDA PROVA - SORGENTE CAPODACQUA, CALCOLO DELLA PORTATA D'ACQUA CON IL MICROMULINELLO

Nella sorgente Capodacqua (Fig.24) per la misura della portata è stato utilizzato il micromulinello idrometrico modello OTT C31.



Fig. 24 – Tratto di galleria dell'opera di presa della sorgente di Capodacqua

Il posizionamento dello strumento è stato effettuato con metro rigido sul fondo, sul quale viene fatto scorrere il mulinello.

Tra le operazioni preliminari è stata effettuata la misura dell'altezza idrometrica e sono state individuate le profondità della sezione su cui condurre le successive misure con il mulinello (profondità individuate ad intervalli di 10 cm tranne l'ultima che dista dalla precedente 75 cm per la conformazione dell'opera dell'acquedotto). Le operazioni di misura consistevano nel posizionamento verticale dell'asta e in direzione parallela ai filetti fluidi del mulinello in corrispondenza di ciascuna profondità (Fig. 25), esecuzione della misura, registrazione della misura e registrazione dei dati.

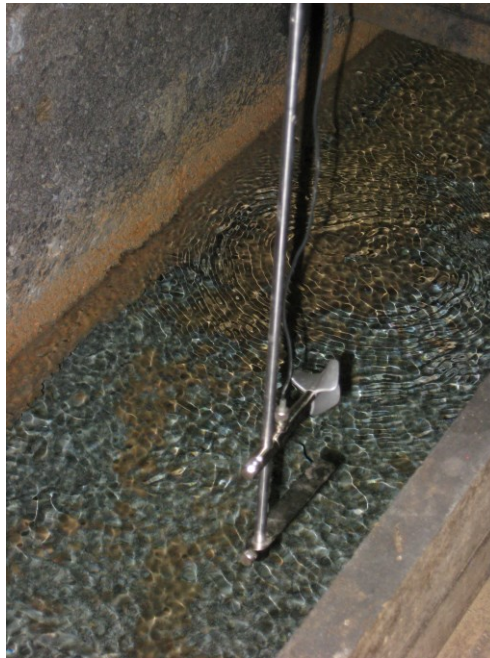


Fig.25 - Posizionamento del mulinello in direzione parallela ai filetti fluidi

Il risultato della misura era il numero di giri effettuati dall'elica in un prefissato intervallo di tempo, assunto da noi pari a 30 secondi . Sono state effettuate tre serie di misure per ogni posizione, il calcolo della portata è stato condotto quindi attraverso le velocità medie della corrente fluida. I risultati ottenuti con la prova sono stati riportati ed elaborati in tab. 4a e 4b.

DISTANZA DALLA SPONDA	PROFONDITA' (CM)	TEMPO (s)	POSIZIONE DELL'ELICA
10	35	30	10
20	39	30	10
30	39	30	10
40	40	30	10
50	39	30	10
60	39	30	10
70	39	30	10
80	40	30	10
155	39	30	10

Tab. 4a - Dati di impostazione per la prova

n°GIRI	n° GIRI AL SECONDO	VELOCITA' (m/s)	POSIZIONE DELL'ELICA	n°GIRI	n° GIRI AL SECONDO	VELOCITA' (m/s)	POSIZIONE DELL'ELICA
28	0,933333	0,2412	20	31	1,033333	0,2664	30
25	0,833333	0,216	20	35	1,166667	0,3	30
33	1,1	0,2832	20	36	1,2	0,3084	30
31	1,033333	0,2664	20	37	1,233333	0,3168	30
33	1,1	0,2832	20	40	1,333333	0,342	30
33	1,1	0,2832	20	43	1,433333	0,3672	30
32	1,066667	0,2748	20	42	1,4	0,3588	30
34	1,133333	0,2916	20	40	1,333333	0,342	30
31	1,033333	0,2664	20	35	1,166667	0,3	30

n°GIRI	n° GIRI AL SECONDO	VELOCITA' (m/s)	VELOCITA' MEDIA IN OGNI POSIZIONE
27	0,9	0,2328	0,2468
35	1,166667	0,3	0,272
39	1,3	0,3336	0,3084
41	1,366667	0,3504	0,3112
45	1,5	0,384	0,3364
42	1,4	0,3588	0,3364
41	1,366667	0,3504	0,328
50	1,666667	0,426	0,3532
35	1,166667	0,3	0,2888

Tab. 4b - Dati ottenuti attraverso la prova con micromulinello

La portata è data dalla formula $Q = V \cdot A$.

L'equazione di taratura per il micromulinello utilizzata per il calcolo delle velocità è la seguente:

$V = 0,2520 \cdot n + 0,006$ per n° di giri dell'elica 30-90.

Questa equazione è applicata a tutti i valori registrati del numero dei giri.

Successivamente si calcola la velocità media in ogni posizione (9 posizioni), poi la velocità media complessiva per tutte le posizioni.

Somma delle velocità medie in ogni posizione = 2,7812 m/sec

$V_{media} = 2,7812 \text{ m/sec} / 9 = 0,309022 \text{ m/sec}$

Essendo la sezione in esame pari a 0,58 m² la portata risulta essere:

$Q = 0,309022 \text{ m/sec} \cdot 0,58 \text{ m}^2 = 0,179232 \text{ m}^3/\text{sec} \approx 0,180 \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q = 180 \text{ l/sec}$

4.1 ACQUISIZIONE DI ALCUNI PARAMETRI

Il rilevamento dei parametri chimico-fisici nella sorgente di Capodacqua è stato possibile, come per Foce, grazie al funzionamento continuo di uno strumento che rimane sempre fisso in sito, il controllo dello strumento ha portato ai seguenti risultati:

- conducibilità 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- temperatura 8,4 °C.

Anche in questo caso come per la precedente sorgente le misure di portata rilevate nel periodo post-sisma 2016 evidenziano una riduzione dei valori.

CAPITOLO 5: TERZA PROVA - SORGENTE PESCARA

MISURA DI PORTATA ATTRAVERSO LO STRAMAZZO

In questa sorgente la misura della portata è avvenuta automaticamente grazie ad una strumentazione (CIIP) costituita da stramazzo di tipo Bazin (Fig.26) e sensore ad ultrasuoni posizionato sulla verticale dello stramazzo. Tale sensore emette un ultrasuono che dopo aver colpito il battente dell'acqua sopra lo stramazzo ritorna al sensore stesso e la portata viene visualizzata sul dispositivo elettronico (Fig. 27). Nell'ottobre 2007 la portata ha registrato un valore pari a **48,5 l/s**.

La suddetta portata si riferisce al periodo pre-sisma e più precisamente ad un periodo di magra (la sorgente raggiungeva infatti valori fino a circa 450 l/s). Dopo il sisma del 2016, inizialmente si è registrato un evidente incremento (fino a 420 l/s) poi si è verificato un decremento continuo fino a valori minimi di circa 50 l/s attuali (Petitta et al.,2018; Chiaraluce et al., 2019; Fronzi et al.,2019).



Foto 26 – Stramazzo di tipo Bazin



Fig. 27 – Strumento che fornisce il valore di portata

5.1 ACQUISIZIONE DI ALCUNI PARAMETRI

Lo strumento per il rilevamento di temperatura e conducibilità (Fig. 28) è lo stesso visto anche per la sorgenti di Foce e Capodacqua (descritto a pag.18).

In questo caso ha fornito i seguenti dati:

- conducibilità condensata 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($T = 25\text{ }^\circ\text{C}$)
- conducibilità effettiva 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (alla temperatura del sito)
- temperatura 8,3 $^\circ\text{C}$



Fig. 28 – Strumento per il rilevamento di conducibilità e temperatura

CONCLUSIONI

Sulla base dei dati ottenuti attraverso le prove di portata eseguite nell'ambito della presente esperienza di tirocinio e di tesi, si può concludere che i metodi applicati (traccianti artificiali, mulinello idrometrico e stramazzi) risultano tutti validi e la scelta con riferimento alle sorgenti, ricade quindi sulla conformazione strutturale di ognuna.

Per quanto riguarda i risultati della misura di portata della sorgente di Foce con il metodo dei traccianti, si può affermare che le tre diverse metodologie di laboratorio utilizzate si dimostrano tutte valide. Sono stati infatti ottenuti valori del tutto comparabili tra loro, mostrando lievi variazioni in percentuale dell'ordine del 5%.

Con riferimento alle misure di portata eseguite con il micromulinello idrometrico all'interno della sorgente di Capodacqua, esse rientrano nell'ordine dei valori riscontrati nell'ambito di altri studi, a dimostrazione della validità del noto metodo. L'uso del mulinello idrometrico si dimostra inoltre speditivo e la metodologia è di semplice esecuzione. Anche l'elaborazione dei dati ottenuti con questo metodo è piuttosto immediata prevedendo soltanto un rapido calcolo, rispetto alla prova con i traccianti artificiali che, implicando analisi di laboratorio, si dimostra più impegnativa.

L'uso degli stramazzi infine risulta essere, come è noto, un metodo veloce per la misura di portata di sorgenti captate. Una volta ben installata la strumentazione, consente infatti di acquisire la portata in continuo senza l'esecuzione di operazioni particolarmente elaborate che richiedono la presenza di personale specializzato.

LAVORI CITATI

- Celico P. (1986) - *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori editore Napoli
- Chiaraluce L., Stefano R.D., Tinti E., Scognamiglio L., Michele M. Casarotti E., Cattaneo M., Gori, P.D. Chiarabba C., Monachesi, G., Lombardi A., Valoroso L., Latorre D., Marzorati S.(2017) – *The 2016 Central Italy Seismic Sequence: A First Look at the Mainshocks, Aftershocks, and Source Models*. Seismological Research Letters 88(3), 1-15.
- Civita M. (2005) - *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa editrice Ambrosiana
- Fronzi D., Banzato F., Cambi C., Cardellini C., Checcucci R., Mastrorillo L., Mirabella F., Nanni T., Petitta M., Tazioli A., Valigi D., (2019)- *Response of the main springs of the Sibillini Mountains area to the 2016-2017 seismic sequence*. Flowpath National meeting of Hydrogeology, 12th-14th June 2019 Milano
- Nanni T., Vivalda P. (2005) – *The aquifers of the Umbria-Marche Adriatic region: relationships between structural setting and groundwater chemistr*. Boll.Soc.Geol.It.,124: 523-542
- Pierantoni P.P., Deiana G. Galdenzi S. (2013) – *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Montains (Umbria - Marche Apennines, Italy)*. Ital. J. Geosci 132(3); 497-520, doi:10.330/IJG.2013.08
- Petitta M., Mastrorillo L., Preziosi E., Banzato F., Barberio M. D., Billi A.,...& Di Salvo C., (2018) – *Water-table and discharge changes associated with the 2016-2017 seismic sequence in central Italy: hydrogeological data and conceptual model for fractured carbonate aquifers*. Hydrogeol. J., 1-18.

“Vivi con pazienza, sii forte e credi in te stesso. Non sei in ritardo né in anticipo sei nel tuo tempo.” (Cit.)

RINGRAZIAMENTI:

Ringrazio la mia Relatrice la Prof.ssa Paola Maria Vivalda per la sua disponibilità, gentilezza e grande umanità, per avermi trasmesso la passione, la dedizione, per aver accettato di seguirmi e sostenermi in tutta la fase finale del mio percorso di studi.

Ringrazio il mio correlatore Sig. Mirco Marcellini, per avermi seguito durante questa importante esperienza e per i suoi preziosi consigli di cui faccio tesoro.

Un ringraziamento particolare va al Prof. Torquato Nanni, grande punto di riferimento.

Ringrazio i miei genitori e mia sorella Laura per aver sempre creduto in me, senza dubitare mai, soprattutto per avermi aiutata a credere in me stessa.

Ringrazio i miei adorati nonni che in questo momento mancano più che mai... ovunque essi siano sono sicura saranno orgogliosi di me.

Ringrazio mio marito Marco, per essere stato al mio fianco in ogni istante, per aver gioito dei miei successi e per aver sdrammatizzato con la sua leggerezza i miei momenti di sconforto... senza di lui non sarei mai riuscita a coronare il mio sogno.

Per ultimo, ma più importante, ringrazio mio figlio Francesco, perché è solo grazie alla sua allegria e spontaneità, alle sue chiare e dirette affermazioni che ho avuto il coraggio di riprendere e concludere i miei studi.