



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

**Realizzazione di un laboratorio di campo permanente per lo
studio dei processi di infiltrazione in acquiferi porosi**

**Realization of a permanent field laboratory for the study of
infiltration processes in porous aquifers**

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

Tesi di Laurea di:
Minuti Camilla

Correlatore:
Dott. **Fronzi Davide**

A.A. 2021 / 2022

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO	5
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	10
2.3.1 ALTITUDINE	10
2.3.2 ACCLIVITA'	12
2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	13
2.5 INQUADRAMENTO CLIMATICO	16
3. MATERIALI E METODI	19
3.1 STRUMENTI	20
3.1.1 Strumenti meccanici	20
3.1.2 Strumenti per la misurazione in situ	25
3.1.3 Strumenti elettronici	28
3.1.4 Strumenti informatici	33
3.2 METODI D'INDAGINE	34
3.2.1 Scaricamento dati da ZL6	34
3.2.2 Misura della superficie piezometrica	35

3.2.3	Misura e campionamento piez. profondo	36
3.2.4	Lettura dei tensiometri	37
3.2.5	Lettura dei lisimetri	38
3.2.6	Prova di infiltrazione a doppio anello	39
4.	ELABORAZIONE DATI E DISCUSSIONE	41
4.1	DATI RILEVATI DAI TENSIOMETRI	41
4.2	DATI RILEVATI DAI PIEZOMETRI	51
4.3	DATI RILEVATI DAI SENSORI ELETTRONICI ..	54
4.4	PROVA INFILTROMETRICA	59
5.	CONCLUSIONE	61
6.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	63

1. INTRODUZIONE

L'acqua è uno dei beni primari della società ma la sua disponibilità è ai limiti della sufficienza, e ciò è dovuto da una parte alle numerose esigenze per cui essa è richiesta, dall'altra alle difficoltà tecnico-economiche che si hanno nel recuperarla in luoghi differenti da quelli dove la risorsa è presente.

Secondo i dati Istat raccolti nel 2019, la più grande risorsa idrica di acqua potabile in Italia proviene dalle acque sotterranee, che coprono l'84% del fabbisogno nazionale. (Rusi et al., 2022)

Viene definito "acquifero" una formazione geologica che ha la capacità di immagazzinare acqua all'interno dei suoi pori o delle sue fessure e di consentirne la circolazione in quantità utilizzabili dall'uomo. Esso è costituito da due fasi che interagiscono tra loro: il serbatoio e l'acqua. Ci sono di conseguenza tre condizioni che si dovranno verificare simultaneamente tra loro affinché si possa parlare di acquifero:

1. Capacità di immagazzinamento;
2. Capacità di flusso;
3. Possibilità di utilizzo in termini economici.

I primi due punti di tale elenco sono definiti da proprietà come porosità e conducibilità idraulica.

L'acqua all'interno dell'acquifero dà vita ad una falda idrica, e a seconda della pressione che viene esercitata dal terreno circostante sul liquido si può parlare di:

- Falda libera o freatica (la pressione esercitata è pari a quella atmosferica);
- Falda in pressione (la pressione esercitata è maggiore di quella atmosferica).

Perciò un acquifero è per definizione una formazione i cui pori sono totalmente riempiti d'acqua, pertanto viene anche identificato come una formazione a saturazione unitaria o mezzo saturo. (Di Molfetta e Sethi, 2012)

Fenomeno fondamentale affinché si abbia la formazione dell'acquifero e la sua successiva e continua ricarica è quello dell'infiltrazione.

Quando un fluido bagnante entra in contatto con un mezzo poroso secco, il flusso è indotto nel materiale poroso a causa del fenomeno di capillarità. Se il processo avviene in assenza di forze di gravità allora si parla di processo di "assorbimento", mentre se la gravità è presente allora è considerato un processo di "infiltrazione", definito come l'ingresso di acqua nella superficie del suolo e il suo successivo movimento verticale attraverso il profilo del suolo.

Dopo aver attraversato uno strato insaturo di terreno, una parte dell'acqua infiltrata

sarà trattenuta dal suolo per far sì che organismi viventi come piante ed animali in esso possano usufruirne; un'altra parte invece andrà ad alimentare le falde idriche sottostanti.

L'infiltrazione è un processo complesso che dipende da un elevato numero di fattori, come ad esempio la composizione chimica del suolo e dell'acqua, le condizioni iniziali e al contorno, la topografia, la temperatura, il tempo trascorso dall'inizio dell'applicazione dell'acqua ... (Assouline, 2013)

È a seguito di eventi meteorici come pioggia, grandine, neve, che il fenomeno di infiltrazione può avere atto.

La carenza o l'assenza di precipitazioni andrà a modificare il livello e il mantenimento della falda sotterranea. Si può parlare in questo caso di siccità, che viene definita come:

- un periodo di tempo anormalmente asciutto sufficientemente prolungato per la mancanza di precipitazioni tale da causare un grave squilibrio idrologico nell'area interessata (siccità meteorologica);
- un periodo di contenuto idrico inferiore alla media in corsi d'acqua, bacini idrici, acquiferi, laghi e suoli (siccità idrologica);
- un'escursione climatica che comporta una carenza di precipitazioni sufficienti a influire negativamente sulla produzione agricola (siccità agronomica). (Baglioni, 2021)

Se ci si concentra sulla Regione Marche, secondo delle analisi svolte sul periodo 1961 - 2009, si è notato che la maggior frequenza di eventi siccitosi ha cadenza semestrale, specie nel periodo invernale, dal mese di ottobre a quello di marzo. Gli eventi estremamente siccitosi mostrano una frequenza del 2-3% con un picco di 3,1% nel semestre estivo (da aprile a settembre). Oscillazioni più ampie per gli eventi severamente siccitosi, tra 2,7%-6,1%. (Leonesi e Tognetti, 2010)

Essendo già di per sé la ricarica dell'acquifero non rapida, è chiaro che gli eventi siccitosi produrranno un ulteriore rallentamento del processo, a tal punto da raggiungere livelli d'acqua sotterranei bassi o addirittura l'assenza di essi.

Altro problema è quello dello sfruttamento antropico del terreno nell'ambito dell'agricoltura, che ha portato al peggioramento delle condizioni del suolo e di conseguenza degli acquiferi che esso contiene. L'irrigazione, soprattutto nelle aree in cui l'agricoltura è fortemente industrializzata ed sono inevitabili gli apporti di concimi ed ammendanti, può rappresentare una pratica che dà vita alla degradazione del suolo e delle acque delle falde superficiali e/o profonde. Senza un'attenta

amministrazione degli interventi irrigui e delle fertilizzazioni si possono indurre nel terreno gravi modificazioni, che accumulandosi nel tempo produrranno inconvenienti sotto il profilo chimico, fisico e idrologico. Occorrerebbe perciò improntare la gestione dello spazio agricolo con criteri di sostenibilità nell'uso del terreno e delle acque, basandosi su una solida conoscenza dell'assetto idrologico e idraulico delle terre e dei processi atmosferici. (Piccini et al.)

Da tutto ciò si deduce che i meccanismi d'infiltrazione siano dei processi estremamente complessi ed è fondamentale il loro studio, attraverso il quale è possibile comprendere il funzionamento delle falde acquifere sotterranee e trovare soluzioni alle problematiche essenziali che le riguardano.

Per avere una risposta a ciò, l'Università Politecnica delle Marche ha predisposto un campo prova in cui sono installati strumenti e sensori di monitoraggio continuo all'interno di un campo pozzi, volto ad analizzare le capacità di assorbimento d'acqua a diversi livelli di profondità in relazione al torrente Betelico, affluente di sinistra del fiume Aspigo, locato in provincia di Ancona, Marche, Italia.

L'Aspigo ha un ampio bacino idrografico che comprende le zone di Ancona, Osimo e Monte Conero e si estende per una superficie totale di 270 km², ma in questo documento ci si concentrerà su uno dei suoi affluenti, il Betelico, che comprende un sottobacino di 14 km² ed è caratterizzato da due falde acquifere: una ospitata nei depositi alluvionali ed una nelle formazioni carbonatiche.

Come sottolineato in precedenza, i fenomeni siccitosi hanno colpito anche la zona interessata dallo studio.

Negli ultimi anni le temperature globali medie sono aumentate notevolmente rispetto al periodo antecedente la rivoluzione industriale, per la precisione di 1,1°C, e di 0,2°C rispetto al 2011-2015. A risentire di questi cambiamenti sono anche i corsi d'acqua locali, tra cui il torrente Betelico che negli ultimi anni, in superficie, si è quasi completamente prosciugato.

Come riportato nel 2016 Corine Land Cover (CLC) il sottobacino del Betelico è composto per il 50% da foreste, per il 49,5% da aree agricole e solamente per lo 0,5% da insediamenti urbani; si va quindi a sottolineare una situazione differenziata e particolare rispetto a quella degli altri sottobacini del Fiume Aspigo. (Fronzi et al., 2022)

Per lo studio dei processi di infiltrazione negli acquiferi del sottobacino sono stati raccolti dei dati nel periodo compreso tra i mesi di Marzo e Settembre 2022,

prelevando campioni di terreno e monitorando la falda attraverso l'uso di piezometri, tensiometri, lisimetri, sensori elettronici e prove meccaniche normate (infiltrometro a doppio anello). L'effettuazione di misure in campagna è avvenuta in un periodo lungo 7 mesi in modo da avere uno sguardo su più periodi idrologici, e l'utilizzo di diversi strumenti permetterà di confrontare tra loro i vari dati rilevati, sperando di individuare una coerenza d'insieme.

Lo scheletro dell'elaborato prevederà 3 capitoli principali: nel primo si inquadrerà il sottobacino di interesse da un punto di vista geografico, geologico, geomorfologico, idrologico e climatico; nel secondo capitolo verranno descritti i vari strumenti impiegati per la rilevazione e per le prove in situ, seguiti dalla delineazione delle attività di campo e le procedure di raccolta dati; infine, un terzo capitolo in cui saranno riportati i risultati raccolti, la loro elaborazione e le osservazioni che li riguardano, da cui trarre poi le conclusioni.

2. INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO

Si identificano ora le caratteristiche del bacino di interesse, quello del torrente Betelico, da vari punti di vista: geografico, geologico, geomorfologico, idrologico e climatico.

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino idrografico del fiume Aspio, e di conseguenza il sottobacino del torrente Betelico sono situati nel centro Italia, a est nella regione Marche. Il torrente a cui faranno riferimento i dati e le riflessioni di questo documento ha la sorgente situata nella riserva del Monte Conero, di preciso nella località il Poggio di Ancona. Esso poi fluirà per un totale di 6,28 chilometri fino a sfociare nell'Aspio, di cui diventerà affluente. (www.it.geoview.info)



FIG. 2.1 Inquadramento geografico su scala nazionale (www.d-maps.com)

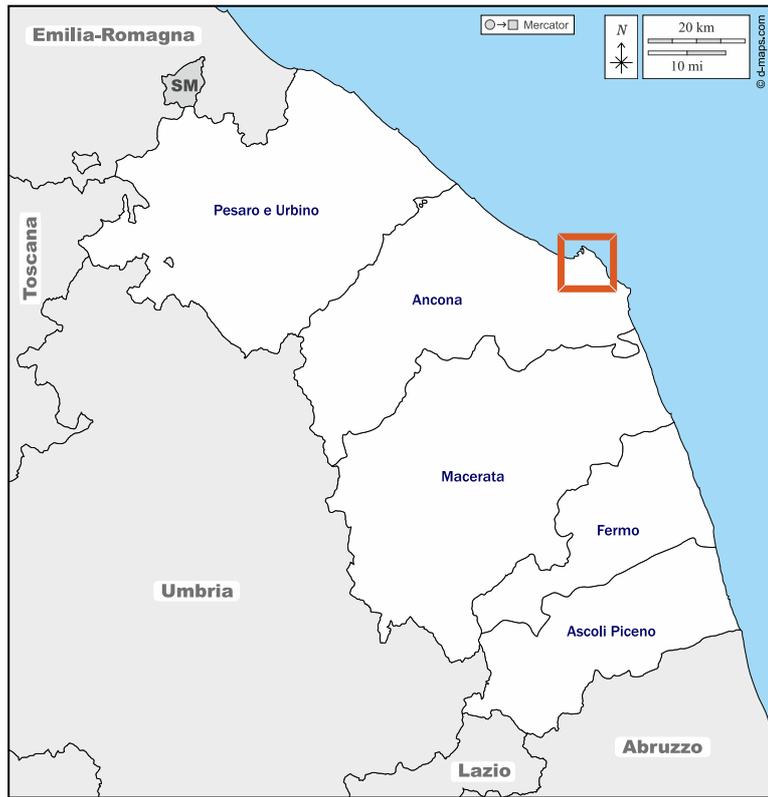


FIG 2.2 Inquadramento geografico su scala regionale (www.d-maps.com)

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Con il termine geologia si studiano la struttura e l'evoluzione della crosta terrestre. In termini generali, le terre emerse sul pianeta Terra si sono formate attraverso successive sedimentazioni durante il corso delle così dette ere geologiche, che hanno portato alla formazione di vari e diversificati strati.

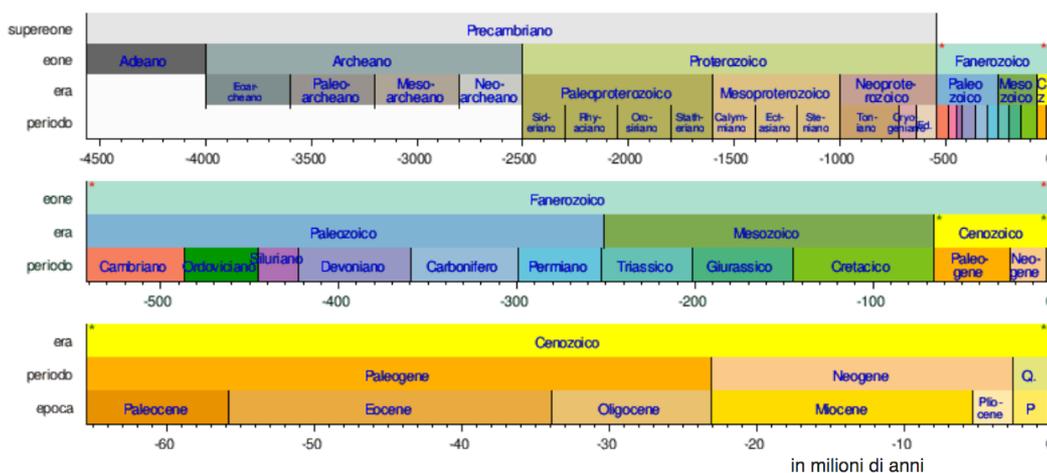


FIG 2.3 Scala dei tempi geologici (Wikipedia)

Il bacino idrografico del fiume Aspio, e di conseguenza quello del torrente Betelico, entrambi situati nella regione Marche (centro Italia), sono di conseguenza caratterizzati da una stratigrafia denominata “umbro-marchigiana”.

Essa è una successione sedimentaria meso-cenozoica. Lo scheletro dell'Appennino Umbro-Marchigiano è formato da una successione sedimentaria deposta su crosta di tipo continentale africana (microplacca di Andria). (Tazioli, 2019, slide)

Se ci si concentra sull'area di interesse seguiranno le seguenti specifiche successioni (Centamore et al., 1986):

- La formazione più antica del bacino considerato è la Scaglia Rossa: è spessa circa 200-250 m nelle dorsali e raggiunge 350-450 m nelle depressioni bacinali, e tende ad avere solitamente una stratificazione netta; è formata da calcari micritici rosati e rossi con intercalazioni sottili e regolari di marne e di selce. In essa si distinguono tre membri principali:
 1. Lo strato inferiore è calcareo-selcifero: formato da calcari e calcari marnosi rosati con bande polimeriche biancastre, selce rossa ma alla base anche verdolina o beige in liste e noduli;

2. Lo strato mediano è calcareo-marnoso o marnoso: ha uno spessore rilevante ed è composto per la maggioranza da marne e marne calcaree di colore rosato a frattura scagliosa o concoide;
3. Lo strato superiore è di nuovo calcareo-selcifero: è composto da calcari e calcari marnosi rossastri, con selce rossa in liste e noduli.

- La Scaglia Rossa aumenta gradualmente di litotipi argillosi e marnosi, passando poi alla Scaglia Variegata e infine alla Scaglia Cinerea: la prima è composta da calcari marnosi e marne stratificate; la seconda invece ha uno spessore variabile da 100 a 250 m ed è composta da calcari marnosi e marne sottilmente stratificate con intercalazioni di argille fogliettate grigie o grigio-verdastre. La formazione di Scaglia Cinerea è a sua volta suddivisibile in tre sezioni, di solito nettamente suddivise:

1. La parte inferiore caratterizzata da più formazioni calcaree e da una colorazione rossastra;
2. La parte mediana è in prevalenza marnosa e di colore grigio-verdastro;
3. La parte superiore è formata da soprattutto da marne argillose grigiastre.

- Durante il Miocene la sedimentazione procede e vengono depositi i seguenti strati:

1. Bisciario: ha spessore variabile (da 30-40 m nelle zone marginali fino a 100-120 m nelle zone bacinali) ed è formato da marne che si alternano a calcari marnosi di colore grigio e grigio-verdastro, oltre ad alcuni strati di selce nera e livelli di cineriti nella parte inferiore della formazione;
2. Schlier: formata da marne e marne argillose che si alternano, e da marne calcaree e calcari marnosi biancastri finemente detritici.

Queste formazioni sono largamente presenti nel lato ovest del Monte Conero, in cui si estende il torrente Betelico.

- I depositi più recenti del Pliocene e Pleistocene-Quaternario sono di tipo:

- A. Colluviali: presenti nei versanti, spesso sfumano nello strato d'alterazione superficiale;
- B. Eluviali: frequenti in ampie depressioni o in piccole conche;

- L'Olocene infine è caratterizzato da depositi alluvionali, e depositi colluviali ed eluviali nelle aree piane vicino ai corsi d'acqua.

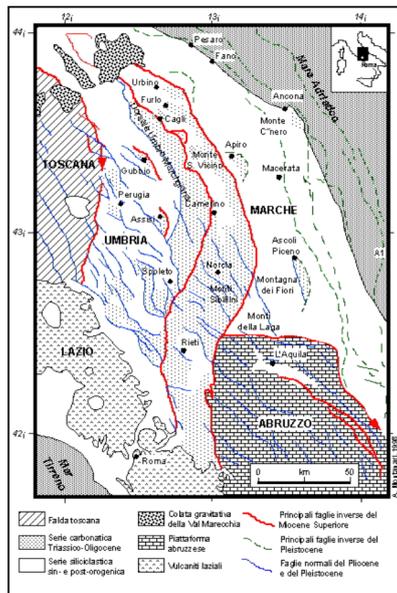


FIG 2.4 Successione Umbro-Marchigiana (www.didalms.it)

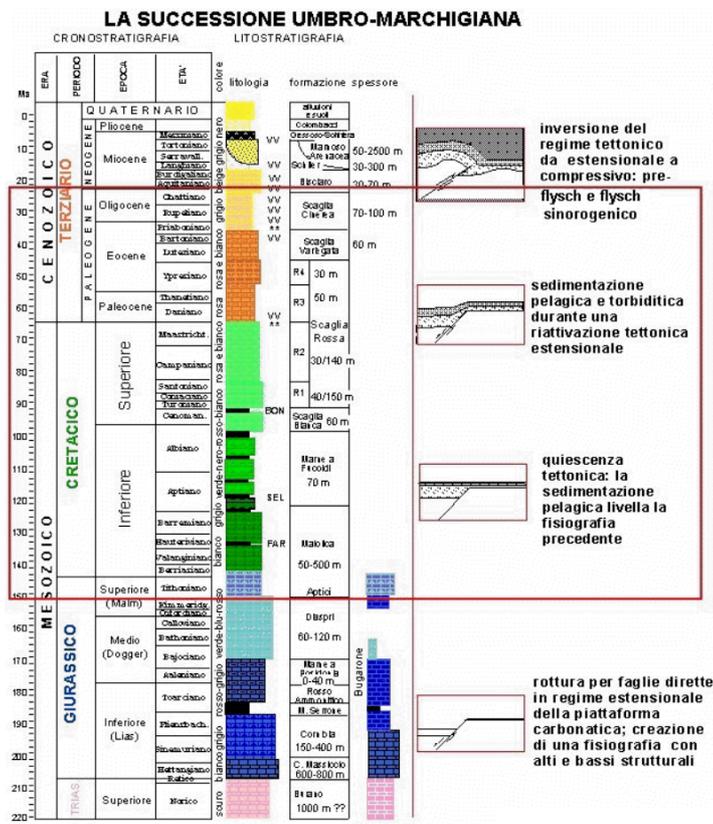


FIG 2.5 Successione Umbro-Marchigiana (www.didalms.it)

2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La geomorfologia è la materia che si occupa delle forme riguardanti la crosta terrestre e dei vari processi che la modificano. Verranno fornite ora alcune proprietà al fine di caratterizzare il bacino in esame.

2.3.1 ALTIMETRIA

La Regione Marche è caratterizzata da una ristretta pianura costiera, che in base alla zona varia da poche centinaia di metri a qualche decina di chilometri. Oltre essa una fascia di colline piuttosto basse (300-400 m) che contengono valli trasversali percorse da fiumi. A seguire poi le prime pendici della dorsale appenninica, con altitudini variabili dai 600 agli 800 m, fino ad una successiva barriera montana che 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 Monte Vettore, tocca i 2476 m.

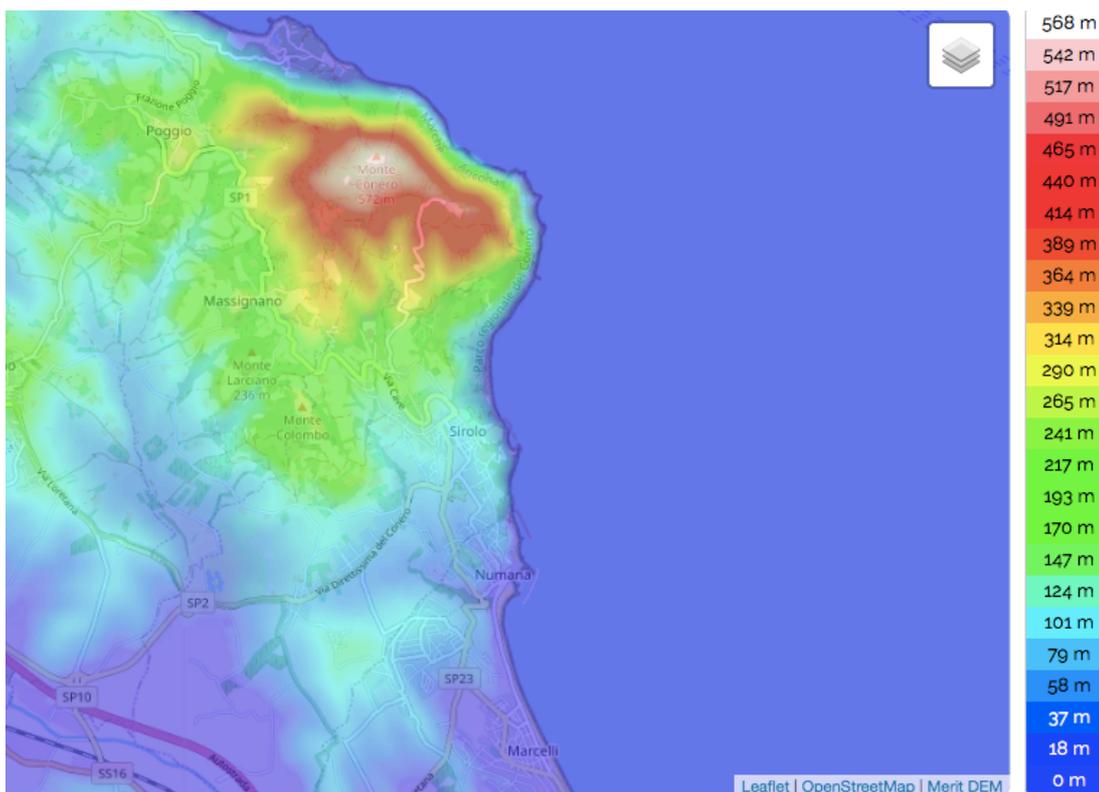


FIG 2.6 Distribuzione in fasce altimetriche del bacino dell'Aspio e relativa legenda
(www.it-ch.topographic-map.com)

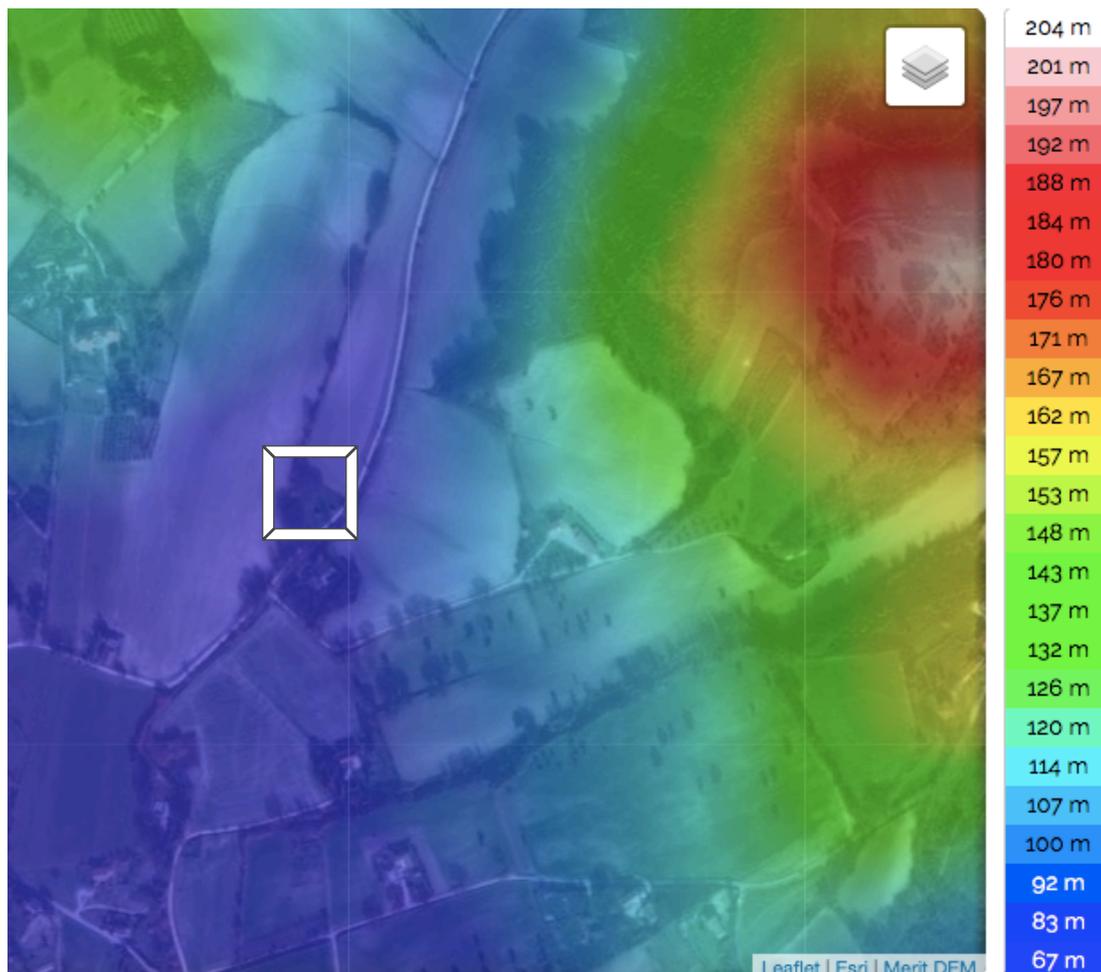


FIG 2.7 Distribuzione altimetrica campo prove permanente
(www.it-ch.topographic-map.com)

Concentrandosi sul territorio anconetano e sull'ampio bacino del fiume Aspio, delle analisi hanno dimostrato che l'80% di esso ha un'altitudine compresa tra 0,5 e 150 m s.l.m.m., di cui un 20% tra i 60 e 90 m s.l.m.m. e un 17% tra i 30 e i 60 m s.l.m.m. Il Poggio di Ancona è la località italiana in cui sorge il torrente Betelico e si trova ad un'altitudine di 258 m s.l.m.m. (Amici e Spina, 2002).

Se invece si osserva la posizione precisa del campo prove, situato in Via Bagnolo nel comune di Camerano in Provincia di Ancona, notiamo che l'altitudine è compresa tra i 67 e gli 83 m s.l.m.m.

2.3.2 ACCLIVITA'

L'acclività è la pendenza di una superficie topografica, montuosa o collinare.

Si fa in questo caso riferimento alla carta delle acclività riportata nella successiva figura:

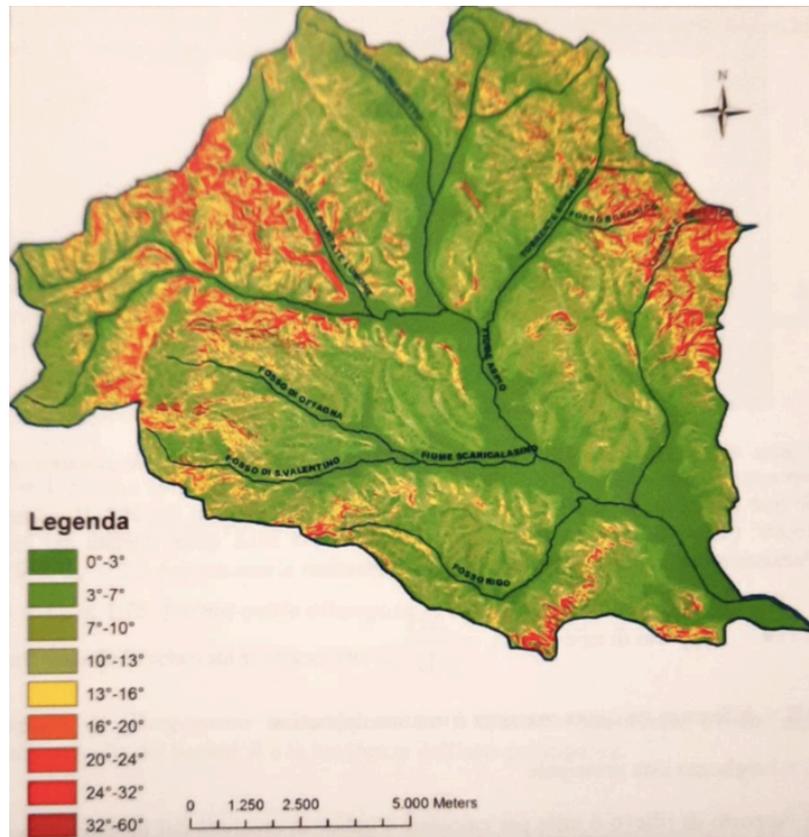


FIG 2.8 Carta delle acclività del bacino del Fiume Aspio

Da questa carta si può facilmente notare che la zona del Monte Conero è quella caratterizzata da un'acclività maggiore (superiore al 16°) mentre la maggior parte del bacino, compresa la zona in cui è situato il campo prove permanente a cui si fa riferimento in questo documento, presenta bassi livelli di acclività, ovvero delle basse pendenze, in alcuni casi anche inesistenti.

Da un punto di vista strutturale il Monte Conero è un anticlinale asimmetrico, che è caratterizzato da una stratificazione quasi verticale sul lato orientale che si affaccia sul Mare Adriatico mentre nel lato occidentale (dove si trova anche il corso d'acqua Betelico) gli strati hanno un'inclinazione di meno di 25°.

2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Se si analizza il reticolo idrografico della Regione Marche si può notare che i fiumi sono rivolti per la maggior parte nella stessa direzione, paralleli tra loro in direzione SO-NE (ad esclusione di quelli nella parte più montana), per questo esso prende il nome di reticolo ‘a pettine’.

I principali che si possono individuare sono: l’Aso, il Cesano, il Chienti, il Conca, l’Esino, il Foglia, il Marecchia, il Metauro, il Misa, il Musone, il Potenza, il Tenna e il Tronto. Oltre ad essi numerosi corsi secondari. (www.geomarche.it)

Concentrandosi su un unico bacino, per caratterizzarlo è necessario classificare le formazioni idrologiche dividendole in 3 gruppi: permeabili, impermeabili e semi-permeabili.

Le formazioni permeabili sono quelle che contengono gli acquiferi, ovvero permettono lo scorrere dell’acqua al loro interno e quindi ospitano le falde (che possono suddividersi a loro volta in freatiche ed artesiane).

Le falde freatiche sono assimilabili idraulicamente a un canale a superficie libera, mentre al contrario quelle artesiane associano il loro comportamento a condotte in pressione.

L’aquitard invece è una formazione idrogeologica a permeabilità bassa che in alcuni casi funge da acquifero e in altri casi da aquiclude; essa rientra nella classe di terreni scarsamente permeabili, con depositi caratterizzati da un coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-4} e 10^{-7} cm/s, come sabbie-limose o limi-sabbiosi.

Infine c’è l’aquiclude cioè una classe a bassissima permeabilità che funge da limite per la circolazione idrica sotterranea; sono depositi caratterizzati da un coefficiente di permeabilità inferiore ai 10^{-7} cm/s. Di questa classe fanno parte gli orizzonti più fini (limi-argilloso-sabbiosi, limi argillosi e argille limose) presenti all’interno del substrato (Coltorti e Nanni, 1987).

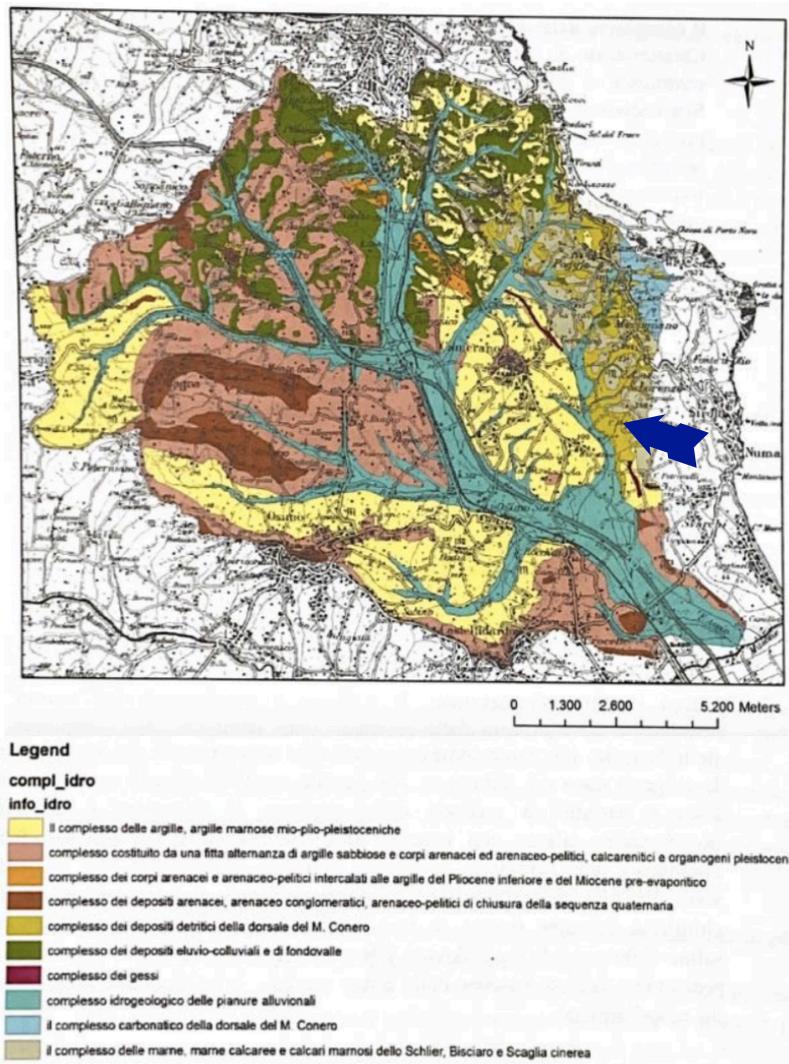


FIG 2.9 Carta dei complessi idrologici (segnalazione sul torrente Betelico)

L'assetto idrogeologico dell'area analizzata consiste in due acquiferi principali: il primo è ospitato nella Scaglia Rossa che si trova sotto le unità marnose delle Marne a Fucoidi; se ci si sposta verso ovest dalla cima del Monte Conero si può notare che la formazione di Scaglia Rossa è semi confinata dal complesso idrogeologico formato da Scaglia Variegata, Scaglia Cinerea, Bisciario e Schlier, che insieme agli strati argillosi del Pliocene e Pleistocene separano idraulicamente il primo acquifero (della Scaglia Rossa) dall'acquifero del Quaternario che è invece poco profondo.

La permeabilità dell'acquifero della Scaglia Rossa è regolata dalla presenza di fessure e microcarsico, mentre l'acquifero poco profondo è responsabile della perenne presenza di una superficie d'acqua nel ruscello e nutre il corso d'acqua attraverso una presenza diffusa di sabbia limacciosa, limo sabbioso e ghiaia con strati di sabbia.

Sia l'acquifero della Soglia Rossa che quello nel Quaternario vengono toccati dalle compagnie di fornitura d'acqua e prevedono a coprire il fabbisogno di alcune piccoli insediamenti del loco. (Fronzi et al., 2022)

2.5 INQUADRAMENTO CLIMATICO

L'Italia è collocata nell'emisfero nord del pianeta terra, perciò il clima che la caratterizza è temperato, precisamente chiamato 'clima mediterraneo', in cui si avranno inverni non troppo freddi ed estati non troppo calde. Ad influenzare tale clima sono latitudine ed 'effetto serra', ovvero gli effetti dei gas che l'uomo produce e che vengono immessi nell'atmosfera.

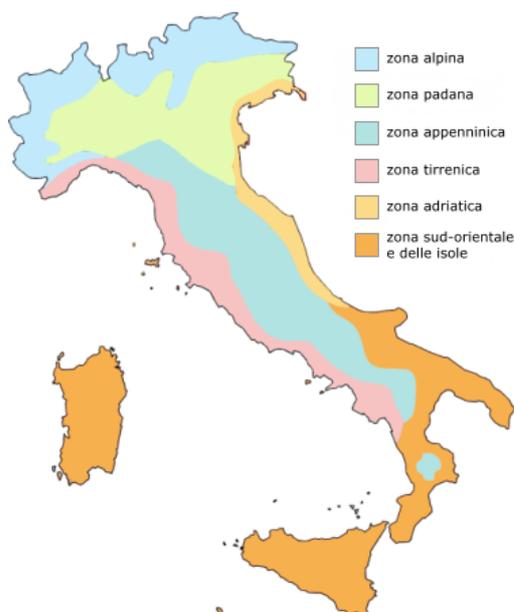


FIG 2.10 Zone climatiche dell'Italia (www.gmpe.it)

In Italia sono individuabili di preciso 6 zone climatiche: zona alpina, zona padana, zona appenninica, zona tirrenica, zona adriatica e zona mediterranea. (Acquaotta e Fratianni, 2017).

Quella che identifica la zona a noi interessata, ovvero l'area litorale-collinare anconetana, è la zona adriatica caratterizzata da inverni freddi ed estati calde ma ventilate, con precipitazioni abbondanti un pò in tutte le stagioni.

Nella provincia di Ancona il range di temperature in genere va da 2°C a 28°C, con rari picchi inferiori al -2°C e superiori al 32°C. (www.it.weatherspark.com)

Le caratteristiche climatiche del territorio marchigiano sono influenzate dall'esposizione della regione sul Mare Adriatico ad oriente, il quale esercita un'azione mitigatrice verso gli afflussi di masse d'aria relativamente fredda da nord e da est, mentre ad ovest dalla presenza dell'Appennino, che ostacola il corso delle

correnti occidentali, per lo più temperate ed umide. Essendo l'Adriatico un mare quasi completamente incassato e poco profondo, il carattere di marittimità delle aree costiere risulta attenuato.

In sintesi, i fenomeni meteorologici sulle Marche nelle varie stagioni possono essere così schematizzati:

- Nella stagione invernale le perturbazioni provengono solitamente da est o nordest;
- Nella stagione primaverile il clima è variabile, a causa dei ritorni di masse d'aria fredda da nordest e dell'arrivo di aria umida di origine atlantica, che portano tempo instabile;
- Durante la stagione estiva 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 dell'Adriatico, ma possono comunque verificarsi rapide variazioni diurne della nuvolosità, più accentuate lungo la fascia appenninica;
- In autunno infine 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 (Amici e Spina, 2002).

L'ASSAM (Agenzia Servizi al Settore Agroalimentare delle Marche) ci fornisce un quadro sulle temperature e sulle precipitazioni della regione, mettendo in evidenza come negli ultimi anni esse stiano cambiando, messe a confronto con quelle del periodo 1981-2010.

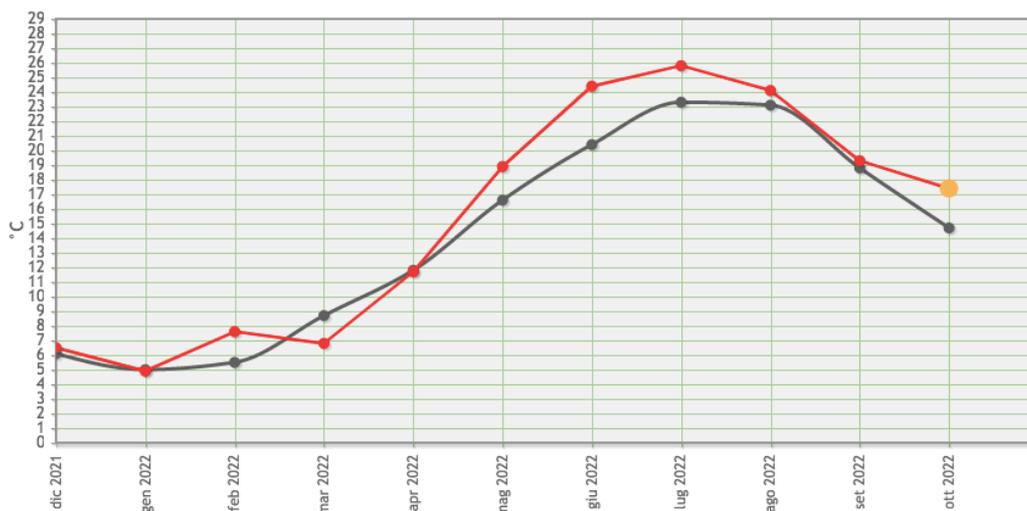


FIG 2.11 Temperatura mensile, media regionale, a confronto con la media 1981-2010:
 Linea rossa: temperatura mensile dell'anno attuale (°C)
 Linea grigia: temperatura mensile di riferimento media 1981-2010 (°C)
 (Il pallino giallo indica il mese di Ottobre che è ancora in fase di rilevamento)
 (www.meteo.regione.marche.it)

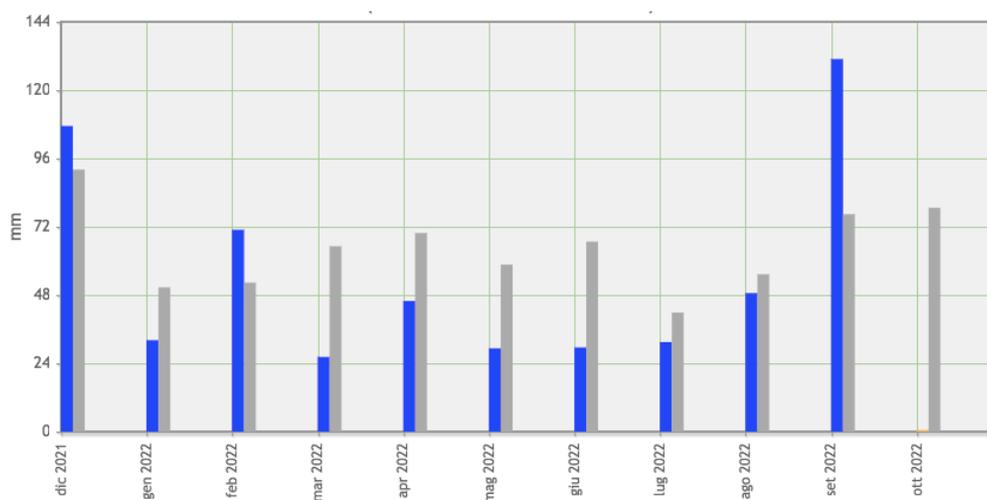


FIG 2.12 Precipitazione mensile regionale a confronto con la media 1981-2010:
 Barra blu: precipitazione mensile anno attuale (mm)
 Barra grigia: precipitazione mensile di riferimento media 1981-2010 (mm)
 (Il mese di Ottobre è ancora in fase di rilevamento)
 (www.meteo.regione.marche.it)

Si nota così come a livello regionale negli ultimi anni ci siano state temperature oltre la media nei periodi estivi e notevoli eccessi/carenze di precipitazioni, rispetto alle medie passate.

3. MATERIALI E METODI

Per monitorare ed analizzare gli acquiferi porosi presenti nel bacino del torrente Betelico si è usufruito di un campo prove permanente situato in Provincia di Ancona. Al suo interno sono stati impiantati nel terreno diversi strumenti che permettono la raccolta dati per lo studio dei processi di infiltrazione che riguardano la zona.



FIG 3.1 Campo prove (www.earth.google.com)

Di seguito vengono illustrati gli strumenti utilizzati e le loro caratteristiche, e a seguire un'esplicazione sui metodi d'indagine.

3.1 STRUMENTI

Suddividiamo la strumentazione in più categorie: strumenti meccanici, strumenti per la misurazione in situ, strumenti elettronici e strumenti informatici.

3.1.1 STRUMENTI MECCANICI

STRUMENTI DI LABORATORIO

Gli strumenti di laboratorio utilizzati sono numerosi, a seguire un elenco:

- Bottiglia spruzzetta che consentirà di versare piccole quantità di liquido in maniera precisa, consentendo ad esempio il riempimento delle vaschette superficiali dei tensiometri.



FIG 3.2 Bottiglia a spruzzetta (www.bioscientifica.it)

- Boccette da 100ml per campioni liquidi, provenienti da piezometri



FIG. 3.3 Boccette da 100ml (www.packservices.it)

- Tuniche in plastica per il trasporto dell'acqua da utilizzare nella prova infiltrometrica a doppio anello



FIG 3.4 Tuniche in plastica di diverse dimensioni (www.packservices.it)

POMPA PRESSIONE/VUOTO

È uno strumento utilizzato per creare il vuoto all'interno dei lisimetri, al fine di raccogliere il campione dal terreno. Inoltre, con un semplice meccanismo, si trasforma in una pompa a pressione per consentire l'evacuazione del campione dal sistema. È anche dotata di un manometro che permette di verificare lo stato pneumatico del sistema. (www.ecosearch.info)



FIG 3.5 Pompa manuale

CAMPIONATORE BAILER

Il bailer è uno strumento semplice ed efficace: consiste in un tubo aperto all'estremità superiore e con una valvola a sfera all'estremità inferiore. Viene utilizzato per prelevare campioni di acque sotterranee attraverso pozzi o piezometri. In fase di discesa nell'elemento liquido la valvola viene spinta verso l'alto e mantenuta aperta dalla pressione del liquido, mentre in fase di risalita sarà il peso del campione prelevato a mantenere chiusa la valvola, con la complicità della pressione esercitata dagli strati liquidi superiori attraverso l'apertura al vertice opposto. (www.extratech.it)



FIG 3.6 Campionatore bailer (www.egeolab.it)

PARAFILM

Il parafilm è una pellicola in poliolefine e cera paraffinica usata in questo caso per sigillare ermeticamente e proteggere dall'umidità i tubi in gomma che permettono di mettere sotto vuoto i lisimetri. (www.it.wikipedia.org)



FIG 3.7 Scatola di parafilm (www.perlabo.it)

INFILTROMETRO A DOPPIO ANELLO

L'infiltrometro a doppio anello è uno strumento semplice per effettuare misure di velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo.

Il kit standard include 6 anelli di acciaio di vari diametri che consentono di effettuare misure contemporaneamente, oltre agli accessori necessari all'installazione e all'effettuazione di misure (staffa ad "X" per infissione, staffa porta sensore, mazza battente...). Due cilindri, interno ed esterno, vengono spinti per alcuni centimetri nel suolo grazie all'utilizzo di un'apposita placca e poi entrambi vengono riempiti d'acqua. L'acqua tenderà a scorrere verticalmente nel cilindro interno, tendendo a espandersi lateralmente, trovando resistenza nel cilindro esterno che avrà la funzione di contenere l'espansione laterale dell'acqua. (www.ecosearch.info)



FIG 3.8 Infiltrometro a doppio anello

FREATIMETRO

Il freatimetro è uno strumento volto alla misurazione del livello statico dell'acqua (o soggiacenza della falda) all'interno di pozzi, piezometri, serbatoi, cisterne, bacini, corsi d'acqua...

Semplici e veloci da utilizzare, sono costituiti da: una sonda (chiamata anche puntale) montata su un nastro o su un cavo graduato (millimetrato o centimetrato) contenente dei conduttori elettrici; un circuito elettronico di rilevamento e segnalazione; un avvolgicavo che contiene il tutto. Gli strumenti più moderni contengono anche un potenziamento di regolazione che consente di aumentare o diminuire la sensibilità della sonda, per una maggior accuratezza.

Il puntale del freatimetro è formato da due elettrodi che quando entrano in contatto con l'acqua permettono al circuito elettrico di attivare un segnale acustico e luminoso. Di conseguenza, una volta percepito il segnale, l'operatore può leggere sul nastro graduato la profondità della superficie dell'acqua rispetto alla testa del pozzo. (www.egeolab.it)



FIG 3.9 Freatimetro (www.egeolab.it)

GRASSI SILICONICI PER ALTO VUOTO

Sono una pasta siliconica composta da olii siliconici e cariche inerti.

Il grasso al silicone per alto vuoto è ideale per applicazioni di lubrificazione per apparecchiature, tappi, valvole che lavorano sottovuoto e in pressione. Presenta una buona resistenza all'ossidazione, alla corrosione e all'umidità.

(www.siliconiitalia.it)

3.1.2 STRUMENTI PER LA MISURAZIONE IN SITU

PIEZOMETRO

Esso è un dispositivo che consente di individuare la quota piezometrica di una massa liquida. Consiste in un tubo verticale di piccolo diametro (ma abbastanza grande da evitare il fenomeno di capillarità) collegato alla condotta di cui si vuole effettuare la misura della quota piezometrica, ovvero la determinazione della pressione alla quale è sottoposto il liquido.

I piezometri moderni sono formati da un cilindro rivestito da un setto poroso avente una determinata permeabilità prestabilita e da un sensore volto a misurare la pressione d'acqua che riempie la civiltà. Viene inserito in una porzione di foro riempita con sabbia e isolata dal tratto restante mediante la bentonite.

Il suo utilizzo è volto al monitoraggio della superficie piezometrica.

(www.it.wikipedia.org)

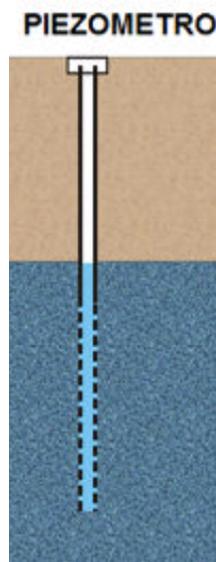


FIG 3.10 Raffigurazione piezometro (www.arpa.vda.it)

TENSIOMETRO

Il tensiometro è uno strumento che permette di misurare il carico di suzione, ovvero la forza con cui l'acqua viene attratta e trattenuta dal terreno. Oltre a ciò permette di misurare anche il fronte bagnato, ovvero la profondità a cui il terreno può essere ritenuto saturo (i pori sono pieni di acqua).

Lo strumento è composto da un tubo con una punta porosa, esso va riempito di acqua e infilato nel terreno. Per far sì che la prova sia efficace saranno utilizzati 4 tensiometri per rilevare diversi livelli di profondità, rispettivamente a 30 centimetri, 60 centimetri, 120 centimetri e 150 centimetri dal piano campagna.

Se il terreno risulta saturo, all'interno dello strumento il livello d'acqua non diminuirà e lo strumento misurerà il valore "zero"; viceversa se il terreno è insaturo l'acqua all'interno del tensiometro inizierà a permeare verso il terreno, permettendo allo strumento di misurare la pressione interstiziale.

Si deduce che a seconda della pressione misurata si deduce il carico di suzione, e in base all'altezza in cui viene misurato lo "zero" si comprendono i livelli saturi e quelli insaturi. (www.it.wikipedia.org)

Nel caso in questione, all'interno del campo prove Betelico sono presenti quattro tensiometri, che analizzano diverse profondità del terreno, situati a 30 centimetri, 60 centimetri, 120 centimetri e 150 centimetri.



FIG 3.11 Tensiometro (www.agriexpo.online)

LISIMETRO

Il lisimetro è uno strumento che permette di campionare liquidi presenti in soluzione nel terreno. Il campionamento di questi liquidi consente di valutare gli elementi nutritivi disciolti, la salinità, il pH ed altri parametri importanti utili alla crescita delle piante.

Lo strumento è costituito da una punta in ceramica porosa inerte, un tubo in plastica trasparente cavo dove viene creato il vuoto e un tubicino in gomma che permette di creare il vuoto ed aspirare il campione.

Il sistema a suzione permette di estrarre la soluzione dal terreno creando un vuoto all'interno del tubo trasparente, di entità maggiore rispetto alla tensione dell'acqua nel suolo. Questo vuoto richiama il liquido dal terreno circostante che può essere poi facilmente estratto e versato all'interno di una provetta.

La ceramica porosa può essere usata in tutti i tipi di suolo e non reagisce con gli elementi presenti nel liquido, perciò viene garantita una soluzione sempre pulita e non inquinata che assicurerà dei risultati precisi ed attendibili. (www.scubla.it)

Nel caso in questione, all'interno del campo prove Betelico sono presenti sei lisimetri, che analizzano diverse profondità del terreno:

- 60 centimetri
- 120 centimetri
- 180 centimetri
- 230 centimetri
- 320 centimetri
- 430 centimetri



FIG 3.12 Lisimetri (www.vetroscientifica.com)

3.1.3 STRUMENTI ELETTRONICI

ZL6

ZL6 è un software per la registrazione di dati, con cui sono compatibili sensori che permettono di misurare parametri ambientali in modo accurato ed efficiente. Fa parte di ZENTRA System.

La cella di contenimento che lo compone è resistente al clima, e ciò lo rende adatto alle operazioni esterne estese nel tempo; viene usato soprattutto per ricerche ambientali e di agricoltura commerciale. Include anche un circuito interno per la ricarica delle batterie che avviene attraverso l'energia prodotta da due pannelli solari integrati. I dati registrati vengono poi trasmessi a ZENTRA Cloud, una piattaforma WEB per l'acquisizione e la visualizzazione dei dati raccolti dallo strumento.

ZL6 può collezionare i dati raccolti da 6 sensori, tutti di tipologia METER, analogici, digitali o a impulso. È bene tornare periodicamente sul luogo di installazione per controllare le operazioni e recuperare i dati da esso immagazzinati. La memoria è di 8 MB, e non è necessario cancellare i dati al suo interno perché una volta che essa si riempie ZL6 inizierà a sovrascrivere i dati partendo dai più vecchi.

La raccolta dati avviene in intervalli che possono variare dai 5 minuti alle 12 ore. (www.misure.net)



FIG 3.13 e 3.14 Cella ZL6 e sistema interno ZL6 (www.misure.net)

TEROS 21

TEROS 21 è un sensore per la misura del potenziale idrico nel terreno, realizzato per raccogliere dati a lungo termine ed in continuo nelle misure di campo. Esso permette di rilevare la permittività dielettrica di una matrice solida, in modo da determinare il contenuto di acqua in essa.

La relazione tra contenuto d'acqua e potenziale matriciale, conosciuta come curva caratteristica dell'umidità del suolo, è usata per calcolare il potenziale matriciale del suolo. L'approccio di misurazione insieme al processo di calibrazione usato durante la produzione dello strumento consentono di ottenere misure accurate del potenziale idrico.

Water Potential	
Range:	-9 to -100,000 kPa (1.96 to 6.01 pF)
Resolution:	0.1 kPa
Accuracy:	±(10% of reading + 2 kPa) from -9 to -100 kPa
Temperature	
Range:	-40 to 60 °C
Resolution:	0.1 °C
Accuracy:	±1 °C
Operating Temperature	
-40 to 60 °C (0%–100% RH) No water potential measurement <0 °C NOTE: Sensors may be used at higher temperatures under certain conditions; contact Customer Support for assistance.	
Power Requirements	
3.9 to 15.0 VDC, 0.03 mA quiescent, 10 mA max during 150-ms measurement	

FIG 3.15 Specifiche di misurazione del TEROS 21 (www.misure.net)

Il sensore misura il potenziale idrico e la temperatura del suolo con dei dischi ceramici porosi; per la precisione ne vengono usati 2 per misurare il contenuto di umidità, che sono compresi tra schermi di acciaio inossidabile ed il circuito.

Questi sensori hanno requisiti di bassa potenza che li rendono ideali per essere infissi nel terreno permanentemente, in modo da avere una lettura continua dei dati. (www.misure.net)



FIG 3.16 TEROS 21 (www.metergroup.com)

TEROS 12

È un sensore combinato per la misura del contenuto volumetrico di acqua, della temperatura e della salinità del terreno. Viene installato nei terreni minerali e altri materiali porosi. (www.misure.net)

Volumetric Water Content (VWC)	
Range	
Mineral soil calibration	0.00–0.70 m ³ /m ³
Soilless media calibration	0.0–1.0 m ³ /m ³
Apparent dielectric permittivity (ϵ_s)	1 (air) to 80 (water)
NOTE: The VWC range is dependent on the media the sensor is calibrated to. A custom calibration will accommodate the necessary ranges for most substrates.	
Resolution	0.001 m ³ /m ³
Accuracy	
Generic calibration	±0.03 m ³ /m ³ typical in mineral soils that have solution EC <8 dS/m
Medium specific calibration	±0.01–0.02 m ³ /m ³ in any porous medium
Apparent dielectric permittivity (ϵ_s)	1–40 (soil range) , ±1 ϵ_s (unitless) 40–80, 15% of measurement
Dielectric Measurement Frequency	
70 MHz	
Temperature	
Range	–40 to 60 °C
Resolution	0.1 °C
Accuracy	±1 °C
Bulk Electrical Conductivity (EC _b)	
Range	0–10 dS/m (bulk)
Resolution	0.001 dS/m
Accuracy	±5% of measurement

FIG 3.17 Specifiche di misurazione Teros 12 (www.misure.net)

Per misurare l'umidità del terreno, la temperatura e la conducibilità elettrica usa degli aghi di acciaio inossidabile: l'umidità viene misurata tra il primo ago (quello più in profondità) ed il secondo (ago centrale); la conditibilità invece tra il secondo ago ed il terzo (quello più in superficie); la temperatura viene misurata con termistore incorporato nel secondo ago.

Questi sensori hanno requisiti di bassa potenza che li rendono ideali per essere infissi nel terreno permanentemente, in modo da avere una lettura continua dei dati.



FIG 3.18 Teros 12 (www.metergroup.com)

5TE

È un sensore a basso costo ed accurato, utilizzato per monitorare la conducibilità elettrica, il contenuto volumetrico d'acqua e la temperatura del suolo, tutte e tre in modo indipendente. Il sensore utilizza una frequenza di 70 MHz che minimizza gli effetti di tessitura e salinità, rendendo il 5TE accurato nella maggior parte dei terreni. Esso misura la temperatura utilizzando un termistore incorporato, e la conducibilità elettrica attraverso un assordimento di elettrodi in acciaio inossidabile. (www.publications.metergroup.com)

Volumetric Water Content (VWC)		Temperature	
Range		Range	-40 to +60 °C
Mineral soil calibration	0.0–1.0 m ³ /m ³	Resolution	1 °C
Soilless media calibration	0.0–1.0 m ³ /m ³	Accuracy	±1 °C
Apparent dielectric permittivity (ϵ_v)	1 (air) to 80 (water)	Bulk Electrical Conductivity	
Resolution	0.0008 m ³ /m ³ from 0%–50% VWC	Range	0–23 dS/m
Accuracy		Resolution	0.01 dS/m from 0–7 dS/m 0.05 dS/m from 7–23 dS/m
Generic calibration	±0.03 m ³ /m ³ typical	Accuracy	±10% from 0–7 dS/m user calibration required from 7–23 dS/m
Medium-specific calibration	±0.02 m ³ /m ³		
Apparent dielectric permittivity (ϵ_v)	1–40 (soil range), ±1 ϵ_v (unitless) 40–80, 15% measurement		

FIG 3.19 Specifiche di misurazione 5TE (www.metergroup.com)

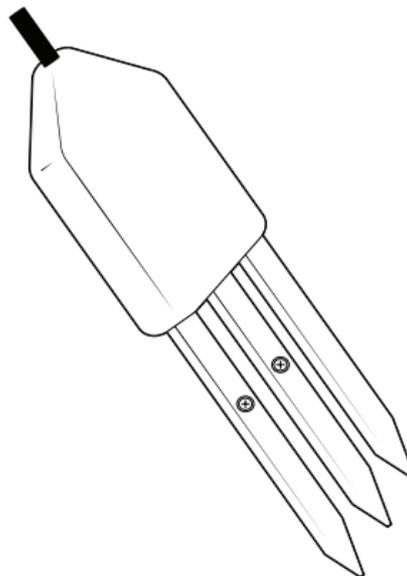


FIG 3.20 5TE (www.metergroup.com)

SENSORE PIEZOMETRICO

È uno strumento in grado di misurare una grandezza o forma di energia e convertirla come segnale in uscita in un'altra grandezza fisica. Il rapporto di conversione è regolato da una funzione matematica.

In questo caso il sensore converte la misurazione della pressione in entrata in un segnale elettrico analogo in uscita.

La misurazione può essere relativa a un valore di riferimento o ad una scala:

- Misura della pressione assoluta: quando la misura è riferita alla condizione di vuoto assoluto con conseguente pressione nulla. È molto difficile da ottenere, per questo è una misurazione considerata teorica e gli strumenti che utilizzano questa misurazione sono utilizzati anche per la misura di livelli barometrici;
- Misura della pressione relativa: quando vengono confrontate le misurazioni con i valori della pressione atmosferica, ottenendo così una misura definita e relativa.

Nel nostro caso misura la pressione assoluta idrostatica attraverso una cella in ceramica: la pressione agisce sulla membrana ceramica capacitiva e crea in essa uno spostamento, che verrà tradotto in una variazione della capacità e che verrà poi convertito dal sensore in segnale.



FIG 3.21 Sensore DIVER (www.aquasearch.it)

3.1.4 STRUMENTI INFORMATICI

EXCEL

Si tratta di un software sviluppato dall'azienda americana Microsoft Corporation e fa parte dei software di produttività Microsoft Office. Permette di realizzare e gestire dei fogli elettronici su cui si possono effettuare calcoli, creare rappresentazioni grafiche ed elaborare dati anche di grandi dimensioni.

Visivamente appare come una tabella formata da migliaia di celle su cui si possono inserire numeri, testi e formule. Le celle sono la base di un foglio e vengono identificate da una lettera (che indica la colonna) e da un numero (che indica la riga).

(www.excel-facile.info)

3.2 METODI D'INDAGINE

A intervalli di tempo quasi mensili sono stati raccolti dei dati ed effettuate indagini nel campo prove 'Betelico'. Le procedure di indagine sono sempre state le stesse, ripetute ad ogni sopralluogo, ad esclusione della prima seduta in cui è avvenuto lo spurgo degli strumenti (tensiometri e lisimetri).

Di seguito una esplicazione dei vari procedimenti.

3.2.1 SCARICAMENTO DATI DA ZL6

All'interno del campo prove è situata una stazione di raccolta dati, composta dal software ZL6, descritto precedentemente al capitolo 3.1.3. Al suo interno vi sono 6 porte, a cui sono di conseguenza collegati diversi sensori che mi permettono di rilevare differenti parametri:

- Nella porta 1 vi è collegato un TEROS 21, infisso nel terreno a una profondità di 170 centimetri, che mi permette di rilevare temperatura e potenziale matriciale;
- Nella porta 2 vi è collegato un secondo TEROS 21, infisso nel terreno ad una profondità di 60 centimetri, che mi permette di rilevare temperatura e potenziale matriciale;
- La porta 3 è libera;
- Nella porta 4 vi è collegato un TEROS 12, infisso nel terreno a una profondità di 60 centimetri, che permette di rilevare il contenuto d'acqua, la conducibilità elettrica e la temperatura;
- Nella porta 5 vi è collegato un 5TE, infisso nel terreno a una profondità di 175 centimetri, che permette di rilevare il contenuto d'acqua, la conducibilità elettrica e la temperatura;
- Nella porta 6 vi è collegato un secondo TEROS 12, infisso nel terreno a una profondità di 90 centimetri, che permette di rilevare contenuto d'acqua, conducibilità elettrica e temperatura.

Tutte le tipologie di sensori vengono descritte al capitolo 3.1.3.

3.2.2 MISURA DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

All'interno del campo prove 'Betelico' è presente un piezometro da cui viene rilevato, attraverso l'utilizzo di un freatimetro, il livello della superficie piezometrica nel terreno.

Una volta aperta l'estremità superiore dello strumento, la sonda del freatimetro viene fatta calare all'interno di esso attraverso l'utilizzo di un cavo graduato. Una volta che la sonda entrerà in contatto con l'acqua, il freatimetro emetterà un segnale acustico e di conseguenza l'operatore potrà andare a leggere la profondità sul cavo graduato.

La misura rilevata indicherà la distanza dalla superficie piezometrica al bocca tubo. Essendo il bocca tubo rialzato rispetto al piano campagna di 35 centimetri, sarà necessario andare a sottrarre tale distanza alla misura rilevata nel caso si volesse individuare la profondità della superficie piezometrica dal piano campagna.



FIG 3.22 e 3.23 Inserimento della sonda del freatimetro all'interno del piezometro e discesa del cavo graduato dall'interno del piezometro

3.2.3 MISURA E CAMPIONAMENTO CON BAILER DEL PIEZ. PROFONDO

Lungo la via adiacente al campo pozzi ‘Betelico’ è presente un secondo piezometro, nominato piezometro Fiume, all’interno del quale vi è una sonda di rilevamento dati permanente. Anche qui dopo aver aperto l’estremità superiore del piezometro di profondità e aver rimosso la sonda per lo scaricamento dei dati, la quale è collegata ad una corda ed immersa nella falda, si utilizza il freatimetro per la determinazione della profondità del corso idrico attraverso lo stesso procedimento utilizzato per il piezometro all’interno del campo pozzi.

Per la caratterizzazione chimico-qualitativa delle acque sotterranee sono stati eseguiti dei campionamenti con l’utilizzo del bailer. Esso viene calato attraverso l’uso di una corda all’interno del piezometro fino a raggiungere il liquido. A quel punto, prima di essere tirato nuovamente in superficie, viene riempito attraverso la valvola a sfera situata sul fondo dello strumento.

Una volta riportato in superficie lo strumento, il liquido prelevato viene travasato dallo strumento in delle bottiglie da 100ml, in modo da ottenere così dei campioni da poter analizzare in laboratorio.

Prima di realizzare il campione, è bene creare “l’ambiente” all’interno della bottiglia riempiendola e svuotandola un paio di volte con il liquido prelevato; poi si può procedere alla realizzazione del vero e proprio campione riempiendo il flacone e sigillandolo ermeticamente con doppio tappo, eliminando aria e vuoti.

Analisi e interpretazione di tali dati idro-chimici non saranno oggetto di questa tesi.



FIG 3.24 e 3.25 Inserimento ed estrazione bailer da piez. Fiume

3.2.4 LETTURA TENSIOMETRI

I tensiometri permettono la misurazione del carico di suzione e del fronte bagnato.

All'interno del campo pozzi 'Betelico' sono presenti quattro tensiometri che raggiungono quattro diverse profondità:

- 30 centimetri
- 60 centimetri
- 120 centimetri
- 150 centimetri

Come prima cosa ad ogni sopralluogo è avvenuta una lettura della pressione sul manometro dello strumento (in centibar) che mi determinano la forza con cui l'acqua è trattenuta dal terreno.

Di conseguenza si è controllato se lo strumento fosse ancora pieno di acqua o meno: se l'acqua è ancora presente al suo interno ciò sta ad indicare che il livello di profondità interessato è saturo, e di conseguenza la pressione indicata sul manometro dovrebbe indicare lo zero; nel caso in cui l'acqua non sia più presente all'interno dello strumento, ciò sta ad indicare che essa è permeata verso il terreno e sarà quindi necessario ricaricare lo strumento attraverso l'uso di una bottiglia a spruzzetta. Si apre la testa dello strumento coperta da una membrana e si reinserisce l'acqua, spinta fino all'estremità inferiore del tensiometro attraverso un sistema di pompaggio situato in cima allo strumento.

Dopo aver riempito di nuovo lo strumento ed averlo ermeticamente richiuso, viene fatta una seconda lettura della pressione sul manometro.



FIG 3.26 Estremità superiore del tensiometro e manometro

3.2.5 LETTURA LISIMETRI

I lisimetri a suzione mi permettono di campionare i liquidi in soluzione presenti nel terreno.

Ad ogni sopralluogo come prima operazione, attraverso l'uso di una pompa, è stata misurata la pressione in kPa presente all'interno dello strumento: in teoria se la pressione interna ha raggiunto lo zero il lisimetro dovrebbe aver raccolto acqua e quindi si dovrebbe riuscire a campionare. Se questo è possibile, attraverso l'uso di una pompa manuale si travasa l'acqua raccolta all'interno di una provetta da 100 ml; anche in questo caso è bene creare l'ambiente all'interno di essa, riempiendola e svuotandola un paio di volte, prima di creare il vero campione e sigillarlo ermeticamente eliminando acqua e vuoti dall'interno della boccetta. Non sempre questo è però possibile: è capitato che l'acqua raccolta non fosse abbastanza da poter creare l'ambiente e di conseguenza è stato effettuato il campione direttamente.

È anche successo alcune volte che nonostante la pressione segnata inizialmente dallo strumento fosse di 0 kPa esso non contenesse acqua. Si è cercato di capire se lo strumento tenesse il vuoto da noi imposto e si è fatto uso di:

- Parafilm: per sigillare meglio il tubicino di gomma utilizzato per mettere in pressione lo strumento
- Grasso siliconi per alto vuoto: spalmato sul tappo all'estremità superiore del lisimetro per far sì che esso tenga meglio il vuoto

È stato usato il freatimetro per capire se fosse o meno presente acqua all'interno del lisimetro, calato all'interno del tubo in plastica fino a raggiungere la punta porosa o l'eventuale livello d'acqua.

Dopo l'eventuale campionamento o l'essersi accertati che non ci fosse acqua da prelevare, lo strumento è stato nuovamente chiuso e attraverso la pompa messo sotto vuoto, ovvero portato ad una pressione prestabilita.





FIG 3.27 e 3.28 Estremità superiore del lisimetro e messa in pressione dello strumento attraverso la pompa

Le precedenti operazioni vanno ripetute per tutti e sei i lisimetri all'interno del campo pozzi, che analizzano diverse profondità del terreno sottostante.

3.2.6 PROVA INFILTROMETRICA A DOPPIO ANELLO

La prova infiltrometrica si effettua per analizzare la capacità di infiltrazione dell'acqua nel terreno in modo da ottenere il coefficiente di permeabilità del sito in questione.

Bisogna come primo passo scegliere la zona in cui eseguire la prova assicurandosi che sia il più possibile pianeggiante e priva di impurità (foglie, rami, radici ma anche pietre). Poi si scelgono i due anelli metallici, e si posizionano in modo tale che quello di diametro minore sia all'interno del maggiore, cercando di centrarlo il più possibile. Si prende la piastra a forma di "X", si posiziona sui due anelli e con una mazza apposita si inizia a battere sul centro di essa; ciò fa sì che i due anelli inizino ad affondare all'interno del terreno, e si procede fino ad ottenere una profondità compresa tra i 5 e i 10 centimetri. Si misura la profondità sottraendo all'altezza laterale dei provini (circa 25 centimetri) la parte che rimane fuori terra a seguito dell'operazione.

A seguire si fa uso di una staffa che verrà posizionata sopra l'anello interno, quello con diametro inferiore, alla quale si fissa con una corda un trasduttore di pressione. Nel frattempo si preparano numerose taniche piene di acqua, che serviranno a riempire poi i due anelli contemporaneamente, in modo da sommergere la sonda e saturare completamente il volume interno dei due anelli. Ogni volta che il livello all'interno degli anelli scende viene rimboccato. Se capita che il livello esterno scenda maggiormente di quello interno si riempie solamente l'anello di dimensioni maggiori per garantire un abbassamento omogeneo dei due livelli. È importante che il trasduttore (situato all'estremità della sonda) non rimanga mai asciutto, altrimenti sarà necessario scartare delle misure.



FIG 3.29 e 3.30 Riempimento dei due anelli e attesa della stabilizzazione dell'infiltrometro

Quando il livello all'interno degli anelli inizia a stabilizzarsi allora significa che il terreno sottostante ha raggiunto la saturazione e quindi la prova può terminare. Viene prima rimossa la sonda e poi i due anelli.

4. ELABORAZIONE DEI DATI E DISCUSSIONE

Nel seguente capitolo sono elencati e commentati i risultati ottenuti dalle indagini che gli strumenti hanno effettuato all'interno del campo prove.

4.1 DATI RILEVATI DAI TENSIOMETRI

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	2	0
60	0	6
120	0	0
150	0	12

TAB 4.1 Dati rilevati dai tensiometri il 02 - 03 - 2022

Durante questo primo rilevamento si nota che all'arrivo sul campo prove i quattro tensiometri hanno quasi tutti raggiunto lo zero, escluso il tensiometro più superficiale, situato a 30 centimetri di profondità che segnala una tensione di 2 centibar. Questo dovrebbe significare che l'acqua sia permeata nel terreno a tutte le profondità indagate, ed infatti i tensiometri a 60 centimetri e a 150 centimetri sono risultati completamente vuoti, mentre quelli a 30 centimetri e 120 centimetri ancora contenevano un basso livello d'acqua.

È stato necessario ricaricare tutti e quattro gli strumenti inserendo acqua con la bottiglia a spruzzetta e attraverso un sistema di pompaggio assicurarsi che si espanda per tutta la lunghezza dello strumento.

A seguito di tale procedimento i manometri dei tensiometri a 60 e 150 centimetri è aumentata.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	10	0
60	4	6
120	2	0
150	0	10

TAB 4.2 Dati rilevati dai tensiometri il 24 - 03 - 2022

La seconda misurazione è avvenuta in data 24 Marzo 2022, a 22 giorni di distanza dalla prima indagine.

Qui si può notare come solamente il tensiometro più profondo, quello che raggiunge una profondità di 150 centimetri, abbia raggiunto lo zero che indica una totale permeazione del contenuto d'acqua verso il suolo, ed infatti lo strumento è stato trovato completamente vuoto ed è stato necessario riempirlo nuovamente.

Anche alla profondità di 60 centimetri l'acqua è stata acquisita dal suolo ed è stato necessario un riempimento parziale dello strumento, nonostante la tensione non abbia raggiunto lo zero.

Gli altri due tensiometri invece, situati a 30 centimetri e 120 centimetri, hanno riportato delle tensioni rispettivamente di 10 centibar e 2 centibar, ma nonostante ciò il loro riempimento non è stato necessario perché gli strumenti sono stati entrambi trovati ancora pieni d'acqua. Dopo un pompaggio di controllo, la pressione nei due manometri è scesa allo zero, a differenza degli altri due strumenti che sono stati riempiti, dove invece la tensione è aumentata.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	38	0
60	0	1
120	6	0
150	0	8

TAB 4.3 Dati rilevati dai tensiometri il 14 - 04 - 2022

La terza misurazione è avvenuta in data 14 Aprile 2022, a 21 giorni di distanza dalla precedente.

In questo caso la misurazione è abbastanza analoga alla precedente: i tensiometri situati alle profondità di 60 e 150 centimetri hanno raggiunto lo zero, e quindi il terreno insaturo è stato saturato con l'acqua che prima era contenuta nello strumento; di conseguenza è stato necessario un loro riempimento e ne è seguito, a seguito del pompaggio, un innalzamento della tensione segnalata sui manometri.

Gli strumenti situati alle profondità di 30 e 120 centimetri sono invece stati ritrovati pieni d'acqua, ad indicare che gli strati di terreno interessati fossero già naturalmente saturi, e nessuno dei due manometri ha misurato durante questi 21 giorni una tensione pari a zero. Anche in questo caso però, dopo un pompaggio in testa allo strumento, entrambi i manometri hanno raggiunto un valore di tensione pari a zero.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	60	0
60	0	4
120	12	0
150	0	11

TAB 4.4 Dati rilevati dai tensiometri il 10 - 05 - 2022

La quarta indagine è avvenuta in data 10 Maggio 2022, a una distanza di 26 giorni dalla precedente.

La situazione è la stessa dei due casi precedenti: gli strati di terreno saturati e che quindi hanno permesso allo strumento di segnalare lo zero sul manometro sono stati quelli alle profondità di 60 e 150 centimetri. All'interno del primo era ancora presente un basso livello d'acqua, mentre il secondo è stato ritrovato completamente vuoto. Entrambi sono stati riempiti attraverso la bottiglia a spruzzetta e dopo aver pompato l'acqua in profondità e richiuso lo strumento, la tensione nei due manometri è salita segnalando nel tensiometro a 60 centimetri un valore di 4 centibar, mentre in quello a 150 centimetri un valore di 11 centibar.

Lo strumento meno profondo ha segnato una tensione di 60 centibar, e come ci si aspettava è stato ritrovato completamente pieno d'acqua, ad indicare che lo strato di terreno posto a 30 centimetri non ha avuto bisogno dell'acqua contenuta dallo strumento per raggiungere la saturazione.

Stesso ragionamento per lo strumento posto a 120 centimetri, che è stato ritrovato pieno con il manometro che segnalava una tensione di 12 centibar.

La tensione in questi ultimi due strumenti, dopo un pompaggio di controllo, è scesa fino a segnalare 0 centibar.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	0	20
60	0	5
120	6	4
150	0	12

TAB 4.5 Dati rilevati dai tensiometri il 30 - 06 - 2022

La quinta indagine è avvenuta in data 30 Giugno 2022, a 51 giorni di distanza dalla precedente.

La situazione qui inizia a variare da quelle incontrate nei mesi passati: tutti e quattro gli strumenti sono stati trovati completamente vuoti, ad indicare che tutti gli strati analizzati fossero insaturi, e che quindi hanno avuto la necessità di assorbire l'acqua interna allo strumento per raggiungere la saturazione. Probabilmente questo è dovuto all'innalzamento delle temperature, che come possiamo vedere in figura 2.11 sono aumentate di diversi gradi a causa dell'arrivo della calda stagione estiva. Lo stesso vale per le precipitazioni, dato che nel mese di Giugno 2022 i millimetri piovuti sono notevolmente inferiori a quelli registrati negli anni precedenti (come visibile in figura 2.12). I due fenomeni uniti tra loro hanno portato quindi il terreno ad essiccarsi, sia in superficie che in profondità.

Tutti e quattro i tensiometri hanno quindi avuto bisogno di essere di nuovo completamente riempiti, e a seguito di ciò la tensione misurata nei manometri è aumentata, escluso quello situato ad una profondità di 120 centimetri che invece ha registrato un leggero calo di valore 2 centibar.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	0	22
60	1	8
120	6	0
150	0	12

TAB 4.6 Dati rilevati dai tensiometri il 18 - 07 - 2022

La sesta misurazione è avvenuta in data 18 Luglio 2022, a 18 giorni dalla precedente. La situazione è analoga all'ultima analizzata, anche qui tutti e quattro gli strumenti sono stati trovati vuoti, l'acqua è completamente permeata verso gli strati esterni.

I tensiometri situati a 30 e 150 centimetri hanno raggiunto lo zero come previsto, mentre quelli a 60 e 120 centimetri segnavano una tensione di rispettivamente 1 e 6 centibar, il che è una particolarità dato che entrambi sono stati trovati completamente vuoti. Una spiegazione a tale evento potrebbe essere quella data dal fatto che il mese di Luglio 2022 sia stato caratterizzato dalle temperature più alte registrate in tutta la stagione estiva, e di conseguenza parte dell'acqua è permeata verso gli strati di terreno circostanti insaturi mentre parte sia evaporata a causa del caldo.

Tutti e quattro gli strumenti sono stati ricaricati, e dopo ciò i manometri hanno riportato un aumento della tensione, escluso quello in riferimento allo strumento situato a 120 centimetri di profondità che invece ha registrato un valore di 0 centibar.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	0	0
60	0	2
120	0	0
150	0	10

TAB 4.7 Dati rilevati dai tensiometri il 09 - 09 - 2022

La settima indagine è stata effettuata il 9 Settembre 2022, precisamente a una distanza di un mese e 22 giorni dalla precedente.

Le temperature che caratterizzano il periodo si sono abbassate rispetto a quelle rilevate nei mesi estivi ma il terreno rimane ancora secco.

Tutti e 4 gli strumenti hanno raggiunto lo zero, e di conseguenza il terreno è stato dichiarato insaturo a tutte e 4 le profondità indagate. Tutti e 4 i tensiometri hanno avuto bisogno quindi di essere riempiti, e dopo tale operazione, i manometri degli strumenti situati a 60 e 150 centimetri hanno rilevato un aumento di tensione, il primo è salito a 2 centibar mentre il secondo a 10 centibar.

PROFONDITA' [cm]	TENSIONE PRIMA DELL'EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]	TENSIONE DOPO EVENTUALE RIEMPIMENTO DELLO STRUMENTO [centibar]
30	2	0
60	0	3
120	18	2
150	0	10

TAB 4.8 Dati rilevati dai tensiometri il 30 - 09 - 2022

L'ultima indagine è stata effettuata il 30 Settembre 2022, a distanza di 21 giorni dalla precedente.

A termine del mese di Settembre, come è visibile in figura 2.12, è stata rilevata una precipitazione mensile media anomala rispetto alle medie rilevate negli anni precedenti, tanto da registrare pioggia per oltre 120 millimetri.

Il tensiometro posto a 30 centimetri di profondità ha registrato una tensione di 2 centibar ed è stato trovato completamente carico, ad indicare che il terreno circostante non ha avuto bisogno di assorbire l'acqua dallo strumento per saturarsi. Dopo un pompaggio in testa allo strumento, il manometro ha segnato lo zero.

Lo strato di terreno a 60 centimetri ha invece assorbito l'acqua interna allo strumento, ed è stato necessario un riempimento del tensiometro che poi ha segnato sul manometro una tensione di 3 centibar.

Lo stesso è avvenuto nello strumento situato a 150 centimetri di profondità e dopo un riempimento il manometro ha segnato una tensione di 10 centibar.

Per quanto riguarda invece lo strumento a 120 centimetri di profondità, la tensione rilevata prima del riempimento è stata di 18 centibar nonostante lo strumento si fosse parzialmente svuotato; dopo il riempimento la tensione nel manometro è scesa fino a segnalare un valore di 2 centibar.

I dati vengono ora inseriti in dei grafici:

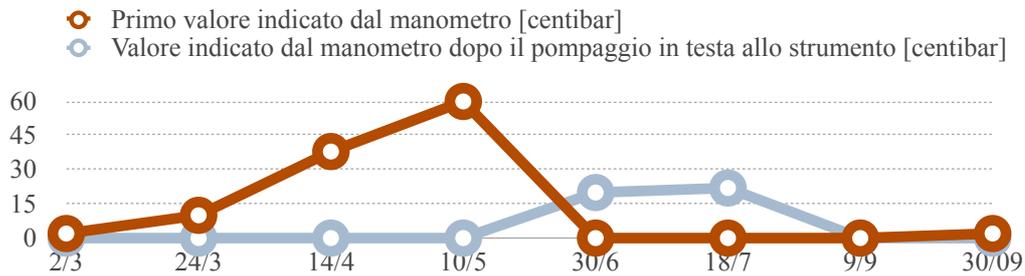


GRAFICO 4.1 Valori di tensione a 30 centimetri di profondità

A 30 centimetri di profondità lo strato di terreno è stato insaturo solamente durante quattro misurazioni: quelle del 2 Marzo, 30 Giugno, 18 Luglio e 9 Settembre. Il risultato delle ultime tre è probabilmente dovuto alle alte temperature dei mesi estivi che hanno seccato il suolo sottostante.

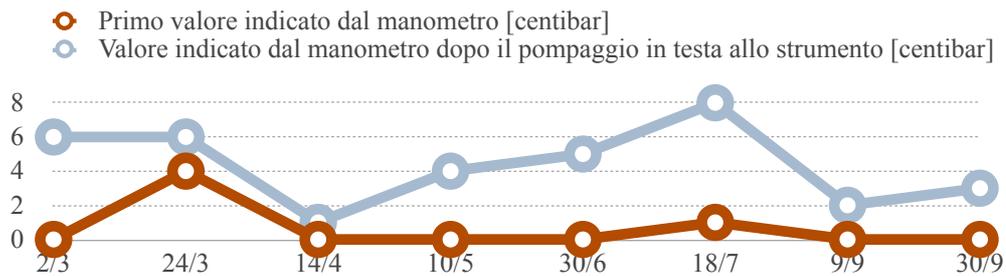


GRAFICO 4.2 Valori di tensione a 60 centimetri di profondità

A 60 centimetri di profondità il terreno si è dimostrato sempre insaturo, dato che è stato sempre necessario un riempimento dello strumento, parziale o totale.

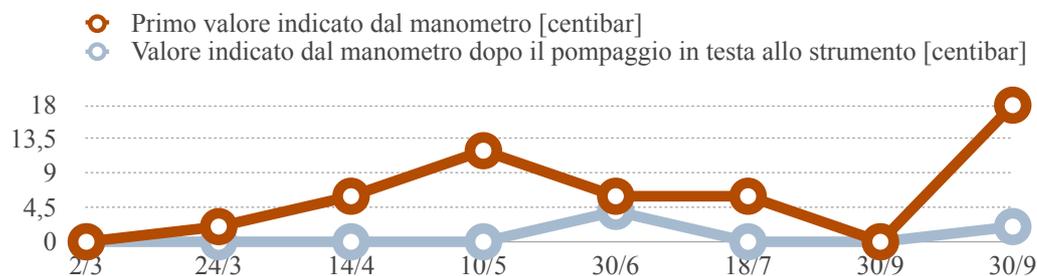


GRAFICO 4.3 Valori di tensione a 120 centimetri di profondità

A 120 centimetri di profondità la situazione è quasi analoga a quella registrata a 30 centimetri di profondità, esclusa la seconda misurazione effettuata nel mese di

Settembre 2022 in cui si è registrata una tensione elevata, di 18 centibar, nonostante il terreno abbia comunque fatto uso dell'acqua interna allo strumento per raggiungere la completa saturazione.

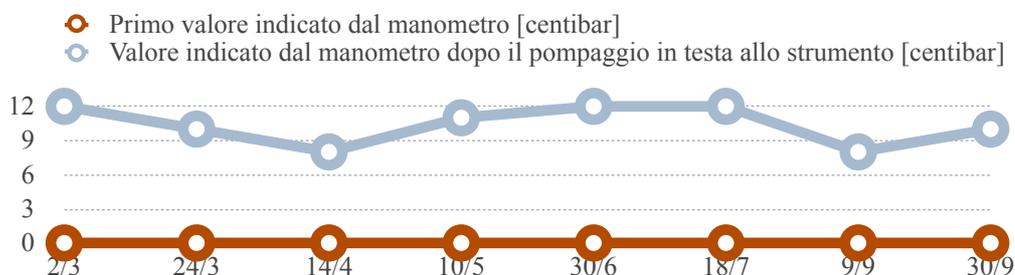


GRAFICO 4.4 Valori di tensione a 150 centimetri di profondità

A 150 centimetri di profondità il terreno si è sempre dimostrato insaturo e ad ogni misurazione il manometro ha segnato il valore di 0 centibar, ad indicare il totale trasferimento dell'acqua interna allo strumento verso lo strato esterno di terreno.

Inoltre si può anche notare come solitamente dopo gli eventuali riempimenti dello strumento, la tensione iniziale che era pari a 0 centibar tende a risalire; invece se il riempimento non si è reso necessario a causa dello strumento rimasto carico di acqua, dopo un pompaggio di sicurezza la tensione inizialmente elevata tende a scendere verso lo zero.

4.2 DATI RILEVATI DAI PIEZOMETRI

All'interno del campo prove vi è impiantato nel terreno un piezometro che ha rilevato i seguenti dati di profondità della falda idrica sotterranea:

DATA	PROFONDITA' FALDA DA BOCCATUBO [m]	PROFONDITA' FALDA DA PIANO CAMPAGNA [m]
02/03	-6,52	-6,17
24/03	-6,32	-5,97
14/04	-7,00	-6,65
10/05	-7,55	-7,20
30/06	-8,87	-8,52
18/07	-9,18	-8,83
09/09	-9,20	-8,85
30/09	-9,06	-8,71

TAB 4.9 Dati rilevati da piezometro Betelico

Per trovare la distanza tra la falda e il piano campagna, essendo il boccatubo rialzato, è stato necessario togliere 35 centimetri alla misura rilevata.

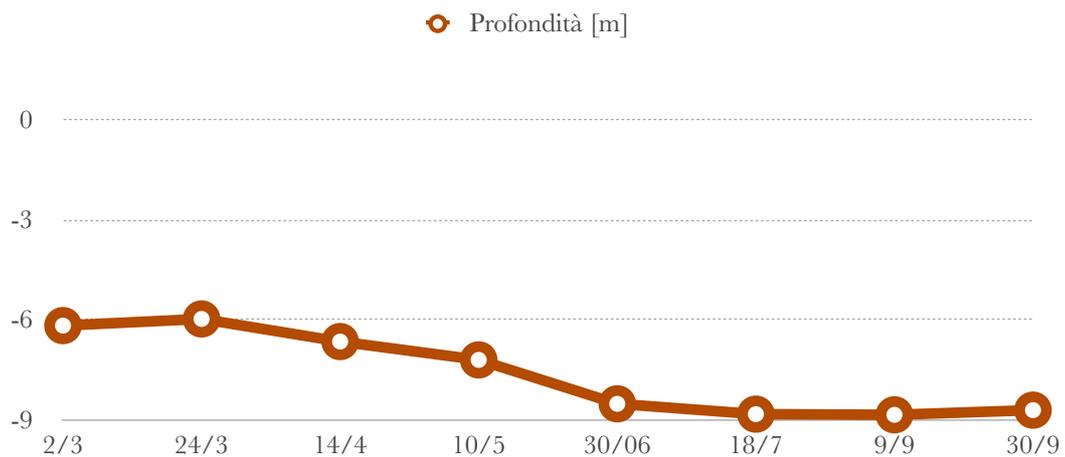


GRAFICO 4.5 Profondità della falda attraverso i dati rilevati dal piezometro

Come già sottolineato in precedenza a causa delle variazioni climatiche degli ultimi anni il livello idrometrico del torrente Betelico in superficie è pari a zero. La falda invece, situata nel sottosuolo, continua ad essere esistente e a variare il suo livello di soggiacenza col passare del tempo.

Durante il periodo di osservazione e rilevazione, che va dal mese di Marzo al mese di Settembre 2022, si può notare che il livello della falda dopo un primo innalzamento verso la fine di Marzo, ha subito un drastico calo di livello fino a raggiungere un punto di minimo durante la rilevazione del 9 Settembre.

L'ultima indagine fatta invece ha permesso di rilevare un ulteriore innalzamento del livello della falda di oltre una decina di centimetri, probabilmente dettato dalle piogge abbondanti che sono cadute sul territorio marchigiano nel mese di Settembre 2022, così come segnalato in figura 2.12.

Oltre a questi dati misurati a mano attraverso l'uso di un freatometro, sono disponibili anche altre misurazioni ottenute attraverso l'uso di un sensore DIVER in un piezometro di profondità situato poco distante dal campo prove. A differenza del piezometro precedente, questo ha un diametro interno di maggiore ampiezza tanto da permettere il campionamento con il bailer.

Il sensore DIVER è posizionato in modo permanente all'interno del piezometro e rileva dati in modo continuo, con una frequenza di 15 minuti.

La serie di dati rilevati ed immagazzinati inizia dall'anno 2015 e prosegue in modo quasi continuo fino ad oggi.

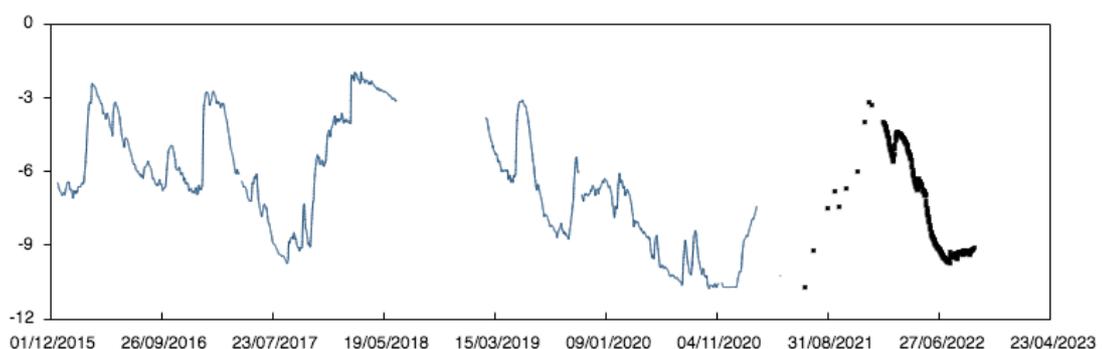


GRAFICO 4.6 Profondità della falda rilevata con il sensore DIVER nel piezometro di profondità

Facile notare come il livello della falda non sia stato costante lungo gli anni: si è mantenuto alto durante il primo periodo per poi avere un drastico calo nell'estate 2017; la serie si è poi interrotta il 19/05/2018 per poi riprendere il 15/03/2019, in cui il livello idrico ha continuato a subire un notevole salto scendi; i punti stanno ad indicare un periodo in cui la misura è avvenuta in maniera manuale, a causa del furto del sensore che è poi stato sostituito ed ha ripreso a rilevare dati nel 2022.

È facile notare come il livello idrico risenta dei cambiamenti stagionali, risalendo durante i mesi invernali ed abbassandosi drasticamente nei mesi estivi a causa della siccità che colpisce non solo il territorio marchigiano ma quasi l'intera penisola italiana.

4.3 DATI RILEVATI DAI SENSORI ELETTRONICI

All'interno del campo prove è presente un ZL6, software per la registrazione dei dati, al quale sono collegati 5 sensori di vario tipo, infissi a diverse profondità nel terreno sottostante:

PORTA	TIPO DI SENSORE	PROFONDITA' [cm]
1	TEROS 21	170
2	TEROS 21	60
4	TEROS 12	60
5	5TE	175
6	TEROS 12	90

TAB 4.10 Sensori contenuti da ZL6

I vari tipi di sensori sono descritti al capitolo 3.1.3.

I dati da essi rilevati si possono trascrivere in grafici:

- Ogni grafico contiene i dati rilevati nel periodo compreso tra il primo Gennaio 2022 e il 30 Settembre 2022;
- Le linee verdi indicheranno i valori rilevati dalle sonde ad una profondità di 60 centimetri;
- Le linee gialle indicheranno i valori misurati dal sensore TEROS 12 a una profondità di 90 centimetri;
- Le linee rosse indicheranno i dati rilevati dai sensori posti ad una profondità di 170 centimetri;
- La linea tratteggiata nel primo grafico che seguirà indica la temperatura dell'aria;
- Sulla sinistra di ogni grafico saranno indicati i millimetri di pioggia caduta.

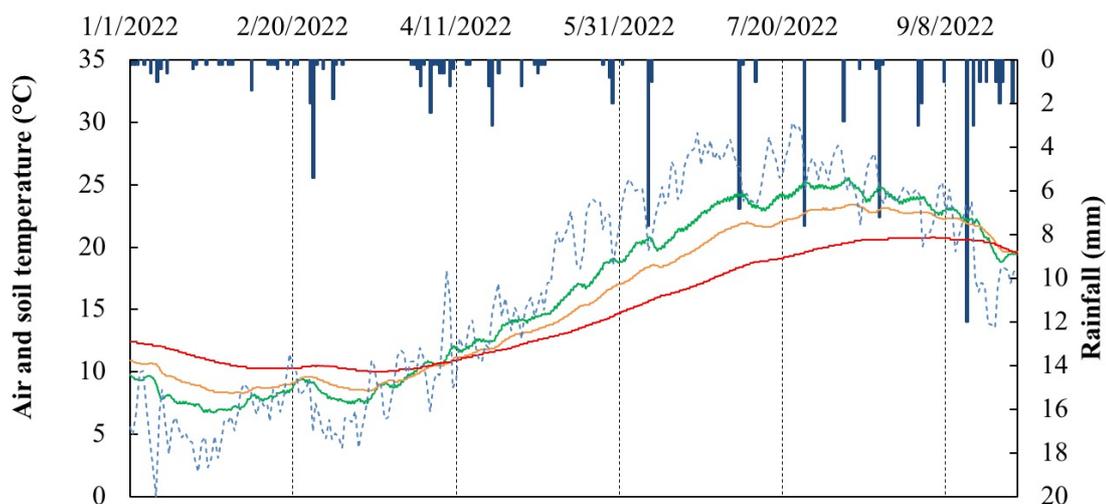


GRAFICO 4.7 Dati rilevati delle temperature di aria e suolo

Sulla destra del grafico sono segnalati i millimetri di pioggia caduta mentre sulla sinistra una scala delle temperature in °C.

È possibile notare come durante il periodo iniziale (dai primi di Gennaio a fine Marzo) date le basse temperature esterne, gli strati superficiali siano quelli caratterizzati da una temperatura minore, che va aumentando mano a mano che si scende in profondità.

Il trend si inverte da aprile in poi: ovviamente con l'innalzamento delle temperature dell'aria anche gli strati più superficiali del suolo tenderanno a scaldarsi, mentre quelli posti più in profondità tenderanno a mantenere temperature più fresche.

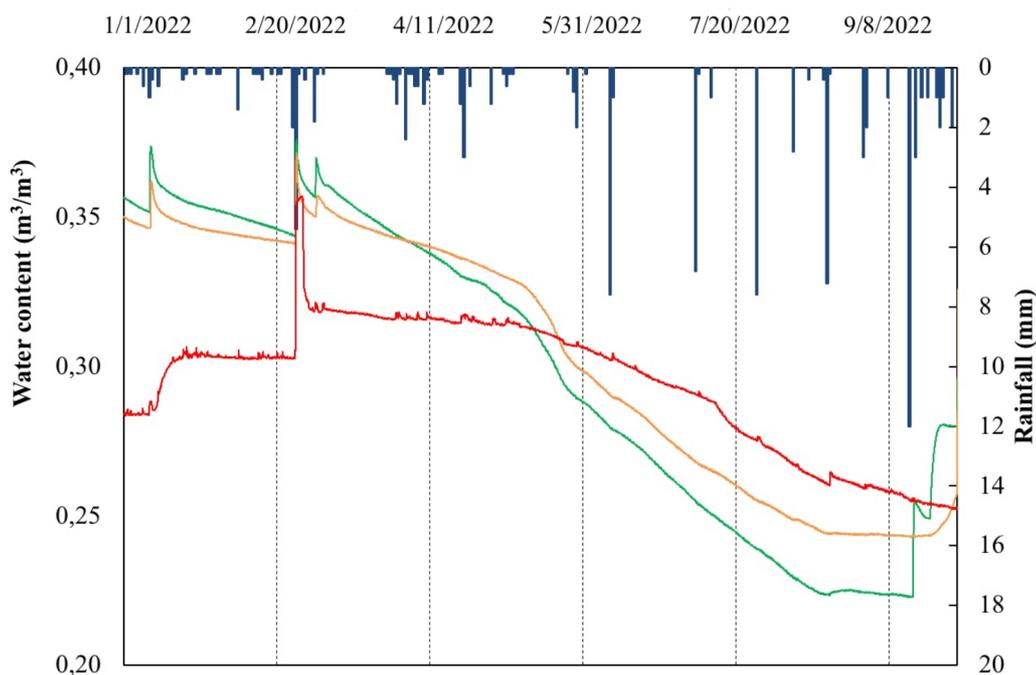


GRAFICO 4.8 Dati rilevati del contenuto d'acqua nel suolo

Sulla destra del grafico sono segnalati i millimetri di pioggia caduta mentre sulla sinistra una scala del contenuto d'acqua in m^3/m^3 .

Il contenuto d'acqua alle varie profondità di terreno è un dato interessante da analizzare: se messo a confronto con i millimetri di pioggia come in questo caso, possiamo facilmente notare che solamente eventi meteorologici di elevata intensità avranno una risposta agli strati più profondi analizzati, ovvero a 170 centimetri dal piano campagna. Per gli strati più superficiali invece si avranno incrementi del contenuto d'acqua anche a seguito di singoli e non intensi eventi di pioggia.

Con il cambiamento stagionale poi il suolo inizia a seccarsi a tutte e tre le profondità in analisi, ovviamente a 170 centimetri questo processo avviene più lentamente perché l'umidità e il contenuto d'acqua si mantengono più a lungo nel tempo.

Tutti gli eventi avvenuti tra fine Marzo e fine Settembre non danno alte risposte a nessuna delle profondità in analisi e quindi non avviene un'elevata infiltrazione. L'unica spiegazione a questo fenomeno è che la maggior parte dell'acqua piovuta ruscella in superficie oppure viene sottoposta al processo di evapotraspirazione.

Con l'alluvione che ha colpito la zona di interesse a metà Settembre si nota un ultimo innalzamento del contenuto d'acqua, ma solamente alla profondità di 60 centimetri.

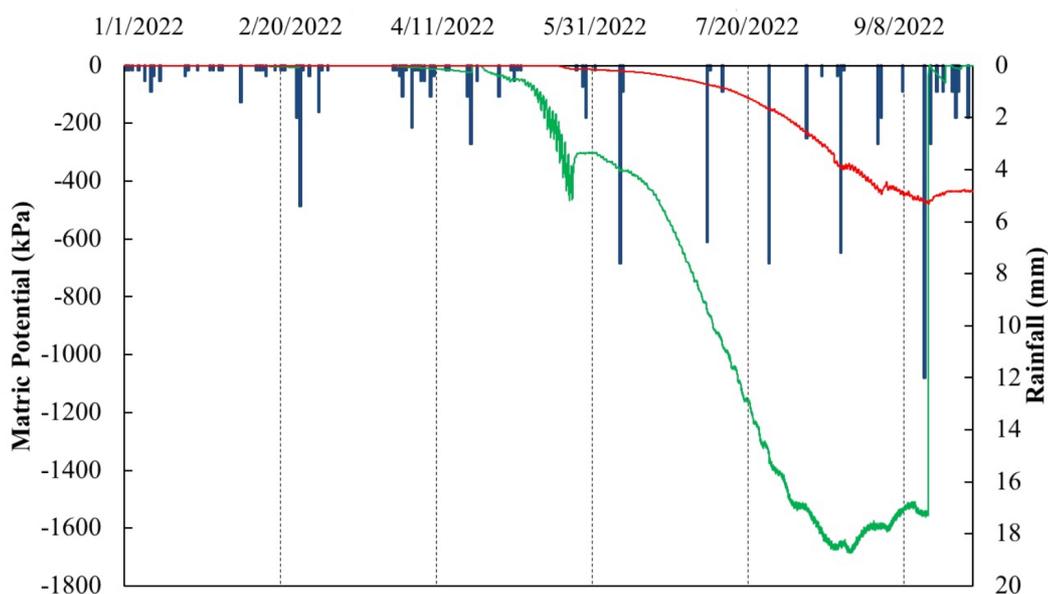


GRAFICO 4.9 Dati rilevati del potenziale matriciale nel suolo

Sulla destra del grafico sono segnalati i millimetri di pioggia caduta mentre sulla sinistra una scala del potenziale matriciale espresso in kPa.

Con potenziale matriciale si intende l'energia che occorre per estrarre acqua dal suolo. È possibile notare come essa diminuisca mano a mano che il suolo si secca, soprattutto negli strati superficiali dove si registra un calo drastico a partire da fine Marzo, raggiungendo picchi negativi in piena estate, ed infine risalendo con una linea verticale a seguito dell'alluvione che ha interessato la zona a metà Settembre.

Lo stesso comportamento avviene ad una profondità maggiore, solamente in quantità minori dato che il livello di essiccazione è inferiore rispetto a quello negli strati più in superficie dell'area. A questa profondità infatti si può notare come il terreno non abbia eccessivamente risentito dell'alluvione di metà Settembre, in cui si può registrare solo un leggero aumento del potenziale matriciale, che tende a rimanere abbastanza costante.

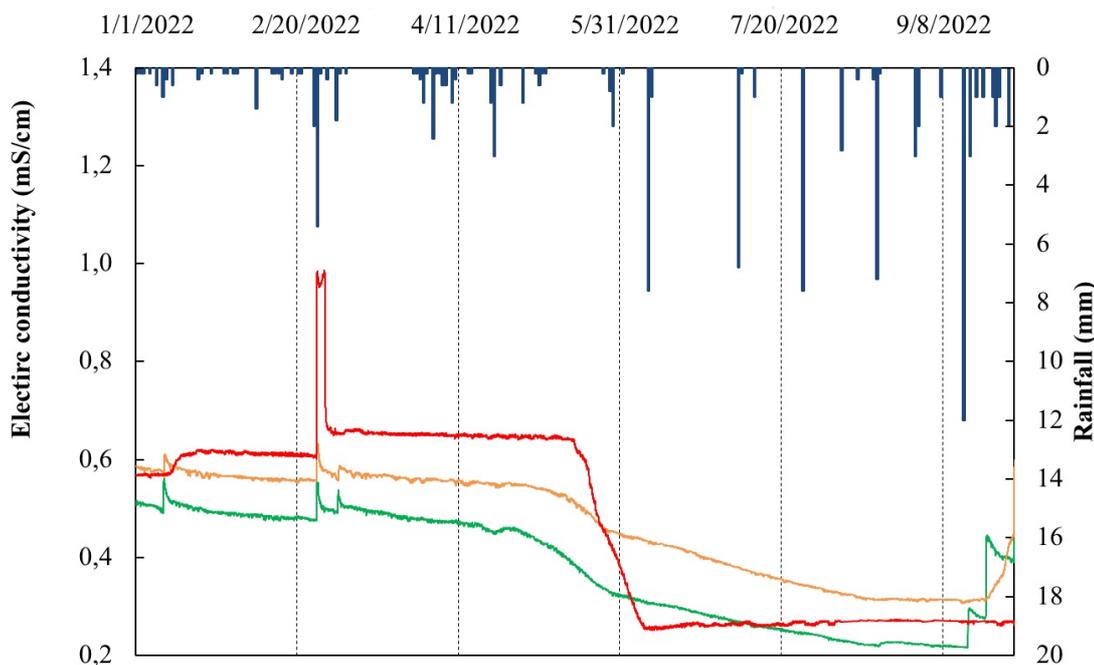


GRAFICO 4.10 Dati rilevati della conducibilità elettrica del suolo

Sulla destra del grafico sono segnalati i millimetri di pioggia caduta mentre sulla sinistra una misura della conducibilità elettrica del suolo espressa in mS/cm.

La conducibilità elettrica mima il comportamento del contenuto d'acqua visibile sul grafico 4.8: quando l'acqua non si infiltra nel terreno esso porta gli ioni in soluzione, e ad ogni evento di pioggia quindi all'aumentare del contenuto d'acqua aumenterà la conducibilità elettrica nel terreno.

Fino a circa il mese di Maggio essa sarà maggiore negli strati più profondi analizzati, poi quando a 170 centimetri si inizierà ad avere un terreno secco il trend si invertirà e saranno gli strati a 60 e 90 centimetri quelli che godranno di una maggiore conducibilità elettrica.

4.4 PROVA INFILTROMETRICA

La prova infiltrometrica è stata effettuata il giorno 10 Maggio 2022.

Il procedimento con cui si è svolta la prova è spiegato al capitolo 3.2.6.

La prima ricarica dello strumento è stata fatta alle ore 8:32, come possiamo vedere nel grafico sottostante (la freccia blu indica la prima ricarica).

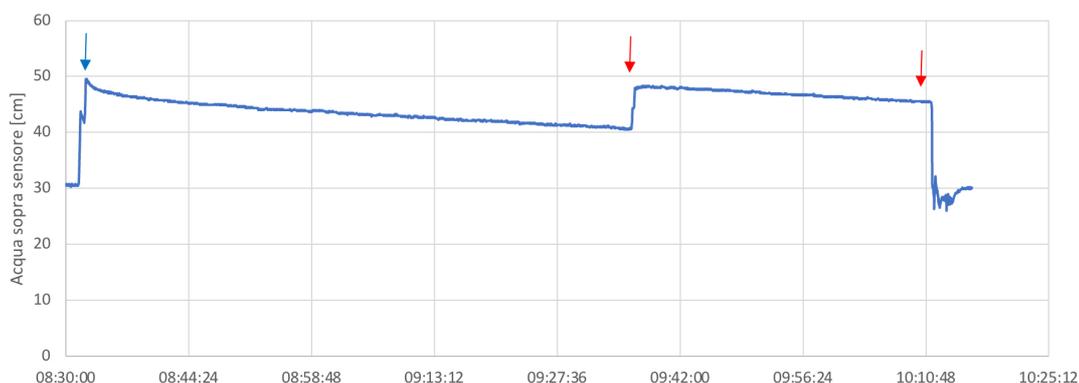


GRAFICO 4.11 Abbassamento del livello idrico all'interno dell'anello nel tempo

Dopo la prima ricarica il livello idrico all'interno dell'anello di diametro inferiore ha iniziato a scendere lentamente, ovvero a penetrare i pori del terreno sottostante, fino a che non è stato ritenuto necessario un secondo riempimento, avvenuto alle 9:38:09. Le due frecce di colore rosso indicano l'istante in cui è avvenuto il secondo riempimento e il momento in cui si termina la prova, dato che come si può notare le due rette ottenute, la prima compresa tra la freccia blu e la prima freccia rossa, e la seconda compresa tra le due frecce rosse, sono tra loro parallele ad indicare una condizione di stabilità. Il suolo ha così raggiunto la saturazione e l'abbassamento della colonna d'acqua nel tempo avverrà in modo costante.

Si analizzano ora i dati ottenuti dal momento della seconda ricarica:

Momento di inizio	9:38:09
Momento di fine	10:11:09
Secondi totali	1980
Abbassamento livello [cm]	3,793
Abbassamento livello in tale intervallo [cm/s]	$1,92 \cdot 10^{-3}$
Abbassamento livello in tale intervallo [m/s]	$1,92 \cdot 10^{-5}$

TAB 4.11 Analisi dei dati registrati durante la seconda ricarica

TIPO DI TERRENO	k (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} - 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} - 10^{-5}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} - 10^{-4}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} - 10^{-10}$

TAB 4.12 Valori di conducibilità idraulica nelle varie tipologie di terreni
(www.progeosas.net)

Di conseguenza se andiamo a confrontare il risultato evidenziato in tabella 4.11 con i valori di conducibilità idraulica elencati in tabella 4.12, possiamo classificare il terreno del campo prove sottostante all'aria analizzata dalla prova infiltrometrica come un limo o sabbia argillosa. Il risultato combacia perfettamente con dei campioni analizzati in laboratorio provenienti dalla medesima aria di indagine.

5. CONCLUSIONE

L'elaborato aveva lo scopo di analizzare e monitorare i processi d'infiltrazione riguardanti il sottobacino del torrente Betelico, attraverso l'uso di diversi metodi d'indagine al fine di avere un chiaro inquadramento della situazione idrogeologica del terreno e della falda acquifera.

Si è potuto notare che il livello della falda sottostante al campo prove non ha andamento costante ma subisce delle modifiche in base alle variazioni climatiche stagionali, in modo da riportare innalzamenti nelle stagioni invernali e drastici abbassamenti con gli aumenti di temperatura del periodo estivo, caratterizzato da poche piogge e maggior siccità; questo comportamento conferma che la falda in subalveo è alimentata da piogge locali.

A risentire di queste variazioni stagionali e climatiche, seppur in modalità differenti, sono anche i vari livelli di sottosuolo presenti nel campo prove: pur utilizzando diversi strumenti di analisi, come tensiometri e sensori elettronici, è possibile intravedere una congruenza nei dati che sono stati raccolti.

Gli strati di suolo posti più in superficie tendono a saturarsi e a seccarsi più rapidamente in base al clima che caratterizza il periodo. Risentono maggiormente delle piogge che li portano a saturarsi quasi immediatamente, mentre nei periodi caldi sono quelli a risentire maggiormente della temperatura dell'aria che se elevata li porta a rapidamente a seccarsi. Questi processi sono stati ancora più accentuati nel 2022, caratterizzato sia da precipitazioni oltre la norma sia da un'elevata siccità, soprattutto nel periodo estivo, in cui i terreni sono stati talmente secchi da non riuscire nemmeno ad immagazzinare acqua.

Gli strati di suolo e sottosuolo che si trovano ad una maggiore profondità invece hanno un comportamento del tutto opposto: in questo caso le variazioni di temperatura e contenuto d'acqua nel terreno sono meno accentuate. Essendo i processi di infiltrazione non rapidi, così come la ricarica della falda idrica sotterranea, si deduce che maggiore è la profondità dal piano campagna inferiore sarà il contenuto d'acqua nel terreno, che subisce bruschi innalzamenti solamente durante eventi meteorici di grande entità. Inoltre gli strati di sottosuolo situati a maggiori profondità risentono meno delle temperature esterne e hanno di conseguenza un potenziale matriciale inferiore rispetto agli strati sovrastanti.

In conclusione, dopo aver unito, elaborato e confrontato tra loro i dati raccolti durante il periodo di analisi, è facile notare come essi siano tra loro coerenti, offrendo così una base di informazioni adeguata per lo studio dei processi di infiltrazione e per la risoluzione ed analisi dei problemi ad essi legati.

6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Fronzi D., Gaiolini M., Mammoliti E., Colombani N., Palpacelli S., Marcellini M., & Tazioli A. (2022). Groundwater-surface water interaction revealed by meteorological trends and groundwater fluctuations on stream water level. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*, 11(2), 19-28.

Centamore E., Calamita F., Deiana G., Micarelli A. (1986) — Evoluzione tettonico-sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene. *Studi geologici Camerti*, vol. spec. "La Geologia delle Marche", p. 86-90

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

Acquaotta F., Fratianni S. (2017) — Landscapes and landforms of Italy

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

Troisi S., Fallico C., Maiolo M., & Coscarelli R. (1993) — Campo prove per lo studio sperimentale di fenomeni idrodispersivi in acquiferi porosi. Dipartimento Difesa del Suolo-Università della Calabria, Montalto Uffugo.

Leonesi S., & Tognetti D. — La siccità nelle Marche nel periodo 1961-2009.

Baglioni L. (2021) — Analisi degli effetti del sisma 2016 sulla disponibilità delle risorse idriche nella porzione appenninica centro meridionale della regione.

Huschke R.E., ed. 1959 — Glossary of meteorology: Boston, American Meteorological Society, pg.638

Yevjevich Vujica, Hall W.A., and Salas J.D., eds. 1977 — Drought research needs. In: *Proceedings of the Conference on Drought Research Needs*, December 1215, 1977: Colorado State University, Fort Collins, Colorado, pg. 276

Rosenberg N.J., ed. 1979 — Drought in the Great Plains –Researchon impact and strategies: *Proceedings of the Workshop on Researchin Great Plains Drought*

Management Strategies, University of Nebraska, Lincoln, March 26-28: Littleton, Colorado, Water Resources Publications, pg. 225

Rusi, S., Alberti, L., Da Pelo, S., De Filippis, G., Di Curzio, D., Forte, G., ... & Vincenzi, V. (2022) — Is there a solution to the drought? Recurrent water crises and the role of groundwater. *ACQUE SOTTERRANEE*, 11(2), 67-68.

Di Molfetta, A., & Sethi, R. (2012). *Ingegneria degli acquiferi*. Springer Science & Business Media.

Assouline, S. (2013). Infiltrazione nei suoli: approcci e soluzioni concettuali. *Ricerca sulle risorse idriche*, 49 (4), 1755-1772.

Piccini, C., & Marchetti, A. — *Agricoltura, conservazione del suolo e qualità delle acque di falda*.

Croceri L. (2021) — *Uso di una banca dati, in un bacino attrezzato, per la valutazione del rischio idrogeologico*

Marianetti A. (2021) — *Analisi del trasporto solido fluviale in piccoli bacini idrografici*.

SITOGRAFIA

- www.it.geoview.info
- www.d-maps.com
- www.didalms.it
- www.it-ch.topographic-map.com
- www.geomarche.it
- www.meteo.regione.marche.it
- www.bioscientifica.it
- www.packservices.it
- www.ecosearch.info
- www.extratech.it
- www.egeolab.it
- www.it.wikipedia.org
- www.perlabo.it
- www.siliconiitalia.it
- www.arpa.vda.it
- www.agriexpo.online
- www.scubla.it
- www.vetroscientifica.com
- www.misure.net
- www.metergroup.com
- www.progeosas.net
- www.aquasearch.it
- www.excel-facile.info