



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

**Utilizzo di una banca dati, in un bacino attrezzato, per la valutazione del
rischio idrogeologico**

**Use of a database, in an equipped basin, for the assessment of
hydrogeological risk**

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

Tesi di Laurea di:
Croceri Letizia

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

A.A. 2020 / 2021

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	3
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2.2	INQUADRAMENTO CLIMATICO	4
2.3	ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE SUL TERRITORIO MARCHIGIANO.....	5
2.4	REGIME PLUVIOMETRICO ANNUO NEL TERRITORIO MARCHIGIANO	6
2.5	INQUADRAMENTO CLIMATICO DEL BACINO DEL FIUME ASPIO	7
2.6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
2.7	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	14
2.7.1	Altimetria	14
2.7.2	Acclività'	16
2.7.3	Forme Del Territorio Di Influenza Strutturale	16
2.8	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	17
3.	STATO DELL'ARTE.....	21
3.1.	RISCHIO IDROGEOLOGICO.....	21
3.2.	MONITORAGGIO BACINI E BANCHE DATI	24
4.	MATERIALI E METODI.....	26
4.1	STRUMENTI.....	26
4.3.1.	Strumenti Meccanici	26
4.3.2.	Strumenti Elettronici	30
4.3.3.	Strumenti Informatici	34

4.3.4.	Strumenti Chimici	36
4.2	METODI D'INDAGINE	36
4.2.1.	Prove in situ.....	36
4.2.1.1.	Raccolta provini	36
4.2.1.2.	Misure di portata	37
4.2.1.3.	Prova infiltrometrica	43
4.2.2.	Prove di laboratorio.....	46
4.2.2.1.	Contenuto di umidità.....	47
4.2.2.2.	Analisi granulometrica per vagliatura	48
4.2.3.	Digitalizzazione ed elaborazione dati	52
4.2.3.1.	Dati idrometrici e pluviometrici.....	52
4.2.3.2.	Permeabilità	52
4.2.3.3.	Curve granulometriche.....	53
4.5.3.4.	Portata con tracciante	53
4.2.3.5.	Scala di deflusso.....	53
5.	RISULTATI E DISCUSSIONE.....	54
5.1.	UMIDITÀ E GRANULOMETRIA	54
5.1.1.	Umidità.....	54
5.1.2.	Granulometria	55
5.1.2.1.	Campione 0-30 cm	55
5.1.2.2.	Campione 30-60 cm	55
5.1.2.3.	Campione 60-90 cm	56
5.1.2.4.	Campione 90-120 cm	57
5.1.2.5.	Campione 120-150 cm	58
5.1.2.6.	Campione 150-180 cm	58
5.1.2.7.	Curve granulometriche a confronto	59

5.2.	PERMEABILITÀ	60
5.3.	LIVELLI IDROMETRICI E PIOGGIE.....	65
5.3.1.	Grafici annuali.....	65
5.3.2.	Grafici picchi.....	68
5.4.	SCALA DI DEFLUSSO E PORTATE.....	75
5.4.1.	Dati di portata.....	75
5.4.2.	Grafico scala di deflusso	77
5.5.	BANCA DATI	78
5.5.1.	Stazioni di misura del livello piezometrico.....	78
5.5.1.1.	Betelico	78
5.5.1.2.	Monteacuto e Vallemiano	78
5.5.2.	Stazioni idrometriche	78
5.5.3.	Stazioni pluviometriche.....	79
5.5.4.	Grafici	81
5.5.4.1.	Betelico	81
5.5.4.2.	Vallemiano	82
5.5.4.3.	Monteacuto	83
5.5.4.4.	Osservazioni.....	84
6.	CONCLUSIONE.....	85
7.	BIBLIOGRAFIA.....	87
8.	SITOGRAFIA.....	89

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi ha come oggetto di studio il bacino del Fiume Aspigo, situato nel comune di Ancona, nella regione Marche.

In passato con il susseguirsi di eventi meteorologici importanti si sono verificate molteplici esondazioni che hanno causato gravi danni e vittime, nonostante le esigue dimensioni del torrente; per questo motivo è stato inserito nell'elenco dei bacini idrografici regionali del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) delle Marche.

Tale bacino è stato già attrezzato dall'Università Politecnica delle Marche, al fine di compiere delle indagini di carattere geologico e idrogeologico.

Obiettivo della seguente elaborazione è la creazione di una banca dati per il monitoraggio del rischio idrogeologico.

Una banca dati ha la funzione di strutturare e sistemare un patrimonio informatico, rendendolo facilmente consultabile agli utenti. L'esigenza di organizzare dati idrologici e idrogeologici mediante l'uso di banche dati è sentita da più di un ventennio. L'organizzazione di dati provenienti da fonti diverse e relative a differenti periodi di osservazione ha richiesto un'accurata ricerca bibliografica e numerosi sondaggi sul terreno per verificare l'attendibilità e la correttezza dei dati di partenza, che dovrebbero essere precisi e affidabili. (Barazzuoli et al., 1999)

I dati idrogeologici, se gestiti mediante banche dati su lungo periodo, sono utili non solo dal punto di vista scientifico (taratura modelli idrogeologici), ma anche gestionale. L'estensione, in ambito territoriale, dei campi di applicabilità dei modelli di gestione delle acque superficiali e sotterranee è garantita principalmente dalla calibrazione e il costante aggiornamento delle banche dati locali o nazionali. (Feinstein et al., 2010)

Tale lavoro vuole valutare i fattori che contribuiscono alla formazione della portata fluviale in un bacino di 167 km² di estensione e in che modo tali fattori incidono sull'aumento del rischio idraulico, relazionati alla durata e all'intensità degli eventi meteorici.

Si svolge una campagna di monitoraggio per ottenere un set di dati sufficienti ad implementare i dati raccolti dall'università e dalla rete di monitoraggio regionale gestita dalla Protezione Civile, mediante indagini in campagna e prove di laboratorio.

In particolare, si svolgono misure di portata del Torrente di Vallemiano, dove è presente un sensore dell'università sia per la misura del livello idrometrico, che uno per quello piezometrico, periodicamente scaricati; nel sito del Betelico, all'interno del Campo Pozzi di Viva Servizi, si svolge una prova infiltrometrica e vengono raccolti campioni di terreno, inoltre si scaricano i livelli di falda da sensore posto in sito; in laboratorio si effettua l'analisi granulometrica dei provini raccolti.

La struttura dell'elaborato si compone di quattro capitoli; nel primo si inquadra il bacino d'interesse dal punto di vista geografico, geologico, geomorfologico, idrologico e idrogeologico; si passa poi al secondo in cui si affronta il rischio idrogeologico e come questo sia strettamente legato alla necessità di una rete di monitoraggio e alla creazione di una banca dati; nel terzo capitolo vengono elencati tutti gli strumenti e i metodi utilizzati per svolgere le indagini in situ, in laboratorio e per la loro elaborazione; infine nel quarto capitolo sono riportati i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati ricavati dalle prove, accompagnati da una discussione.

Lo scopo finale è osservare se l'innalzamento dei livelli idrometrici, con conseguenti eventi di piena, possa essere determinato sia dalle precipitazioni, che dalle condizioni della falda, risentendo anch'essa dagli eventi meteorici. Se tale osservazione risultasse vera, implicherebbe la necessità di possedere varie stazioni di misura nel bacino di interesse, al fine di monitorare, gestire e prevenire eventi collegati al rischio idrogeologico.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

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

2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino del fiume Aspio si colloca nell'Italia centro-orientale, precisamente all'interno della regione Marche (*Figura 2.1.1*), in provincia di Ancona. La porzione del torrente Aspio presa in esame ha un'estensione principale in lunghezza di circa 16 Km e sottende un'area di circa 85 Km².



Fig. 2.1.1 Inquadramento geografico su scala nazionale (www.d-maps.com)

Il fiume Aspio nasce alla confluenza dei fossi di Offagna, Polverigi e Gallignano per poi raccogliere le sue acque attraversando le località di Ancona, del Monte Conero e di Osimo. Il torrente ha come affluenti principali: a sinistra il Rio Marganetto ed a destra Rio Scaricalasino (*Figura 2.1.2*).

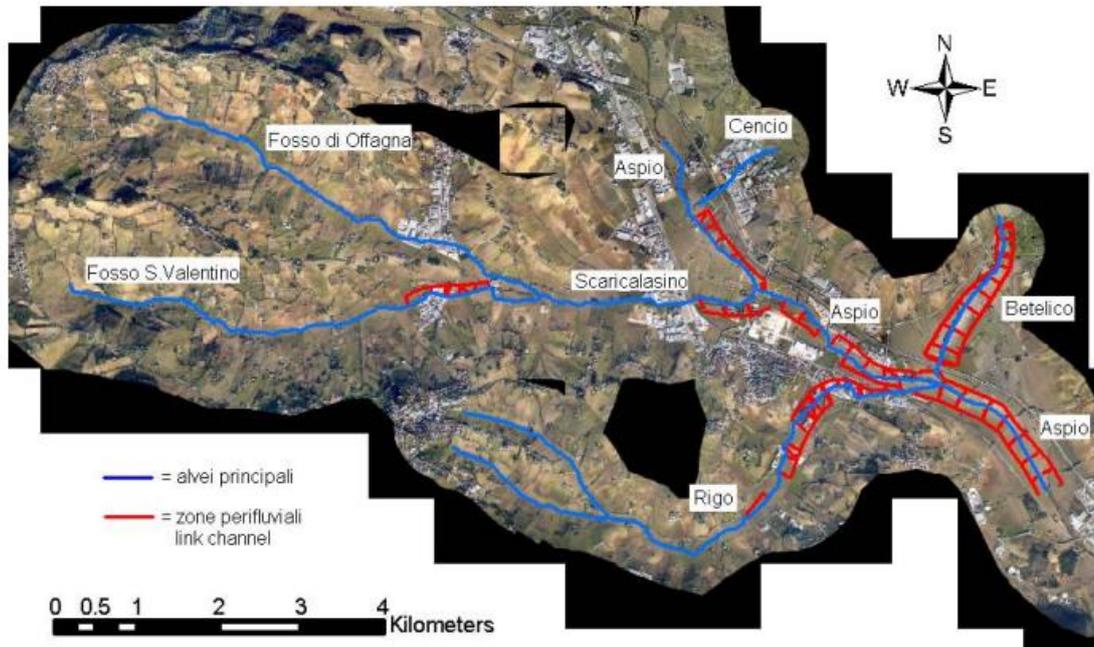


Fig. 2.1.2 Bacino idrografico del fiume Aspio (www.regione.marche.it)

2.2. INQUADRAMENTO CLIMATICO

L'Italia si colloca nella zona tra l'equatore e il Polo Nord, questo determina un clima temperato, detto clima mediterraneo, caratterizzato da inverni non troppo freddi ed estati non troppo calde. Il clima è però influenzato dalla forte concentrazione di gas immessi in atmosfera, fenomeno anche detto di "effetto serra" e dalla distanza della nazione dall'equatore, quindi dalla latitudine.

Detto ciò, possiamo quindi trovare picchi di temperature che vanno dai 40° in estate ai 5° in inverno, in relazione alla zona della nazione in cui ci si trova. (Cantù, 1977; Pinna, 1978).

A causa della variabilità climatica dell'Italia è possibile individuare sei diverse zone climatiche (Figura 2.2.1).



Figura 2.2.1 Zone climatiche italiane (www.clima.net)

In Italia le zone climatiche sono le seguenti (Acquaotta e Fratianni, 2017): zona alpina, zona padana, zona adriatica, zona appenninica, zona tirrenica, zona mediterranea.

Ponendo l'attenzione sulla regione Marche, ove è situato il bacino in esame, questa può essere suddivisa in tre ulteriori fasce climatiche: nella fascia costiera e medio-collinare si avrà un clima di tipo mediterraneo, mentre man mano che ci si avvicina verso l'interno della regione il clima tenderà a diventare sub-mediterraneo fino ad arrivare alle zone montuose dove il clima sarà oceanico (www.ambiente.marche.it)

2.3. ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE SUL TERRITORIO MARCHIGIANO

Andando ad analizzare nello specifico le temperature che caratterizzano il clima della regione Marche, si può notare dalla *Fig. 2.3* che queste oscillano tra i 5° nei mesi di gennaio-febbraio e i 32° nei mesi di luglio-agosto.

L'agenzia Servizi al Settore Agroalimentare delle Marche (ASSAM) ci fornisce a tal proposito l'andamento della temperatura media mensile, registrata negli ultimi 60 anni, nel territorio marchigiano (*Figura 2.3.1*).

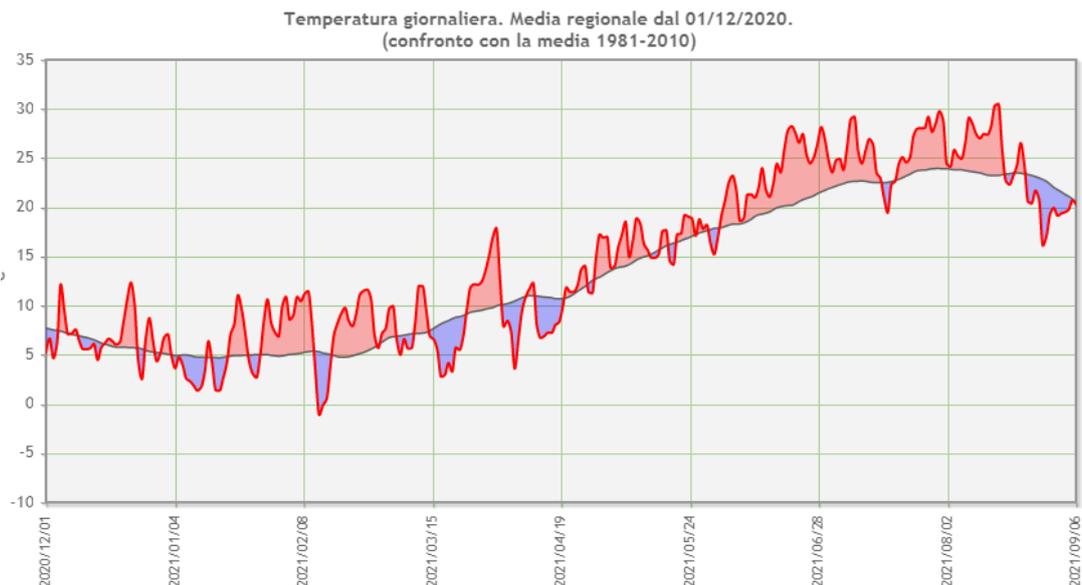


Figura 2.3.1 (meteo.regione.marche.it)

Linea rossa: temperatura giornaliera anno attuale (C°)

Linea grigia: temperatura giornaliera di riferimento 1981-2010 (C°)

Bande rosse: periodi più caldi, cioè quando la temperatura si mantiene al di sopra della norma.

2.4. REGIME PLUVIOMETRICO ANNUO NEL TERRITORIO MARCHIGIANO

Il CEC OGMS (Centro di Ecologia e Climatologia Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata) ha effettuato diversi studi da cui è emerso che le precipitazioni medie annue differiscono tra le varie zone della regione Marche, in particolare ne sono state individuate tre, con una sostanziale differenza nel regime delle piogge tra la zona costiera e quella appenninica.

Nella zona litoranea, infatti, il valore delle precipitazioni è relativamente basso (zona meno piovosa con valori tra i 500 mm e 700 mm).

Nella zona medio-basso collinare, il valore delle precipitazioni medie annue è maggiore rispetto la prima zona (fino ai 900 mm).

Infine, nella zona appenninica, ad un'altitudine maggiore dei 1700 m.s.l.m.m. si avranno precipitazioni abbondanti, anche fino ai 1700 mm annui (Amici e Spina, 2002).

Andando ad analizzare il grafico fornitoci dall'ASSAM, in *Figura 2.4.1*, possiamo notare che il regime pluviometrico della regione Marche è notevolmente cambiato nel

corso dei decenni; infatti, se negli anni '70 si è raggiunto un picco massimo di 1100 mm di pioggia, nel 2020 abbiamo un picco di circa 780 mm.

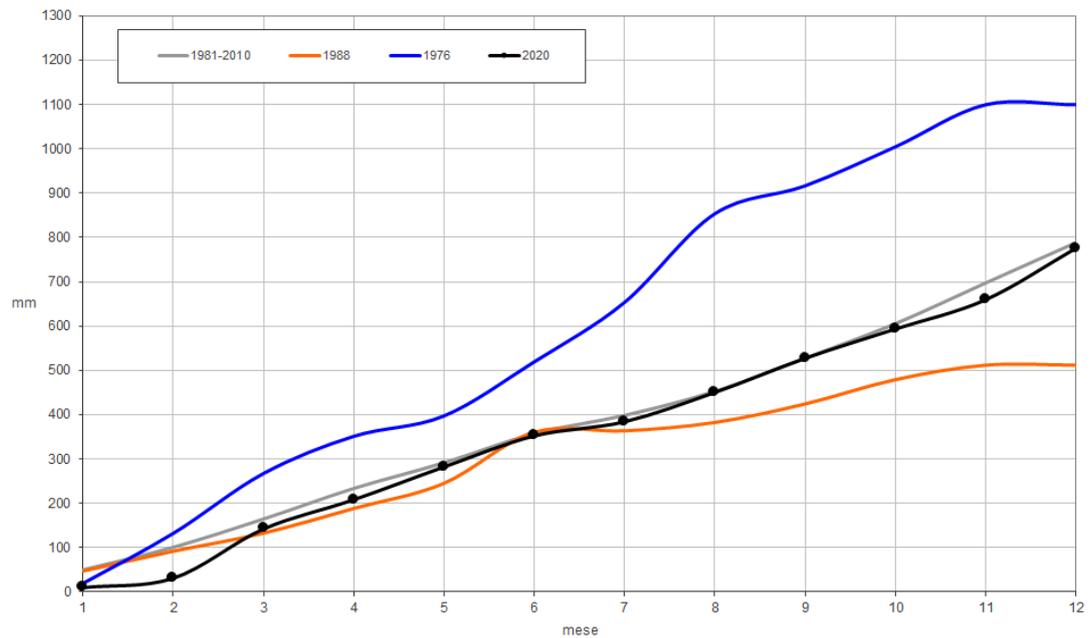


Figura 2.4.1 Andamento della precipitazione cumulata mensile (mm) (www.assam.it)

2.5. INQUADRAMENTO CLIMATICO DEL BACINO DEL FIUME ASPIO

Attingendo ai dati raccolti dal SIRMIP (Sistema informativo Regionale Meteo Idro-Pluviometrico), è possibile valutare il regime pluviometrico insistente nell'area del bacino del fiume Aspio. In particolare, della *Figura 2.5.1* si andrà a valutare il regime di pioggia nell'anno 2020: i picchi più alti si possono rilevare nei mesi di Aprile e Novembre (fino a circa 80 mm di pioggia), mentre quelli più bassi si trovano nei mesi di Dicembre e Gennaio.

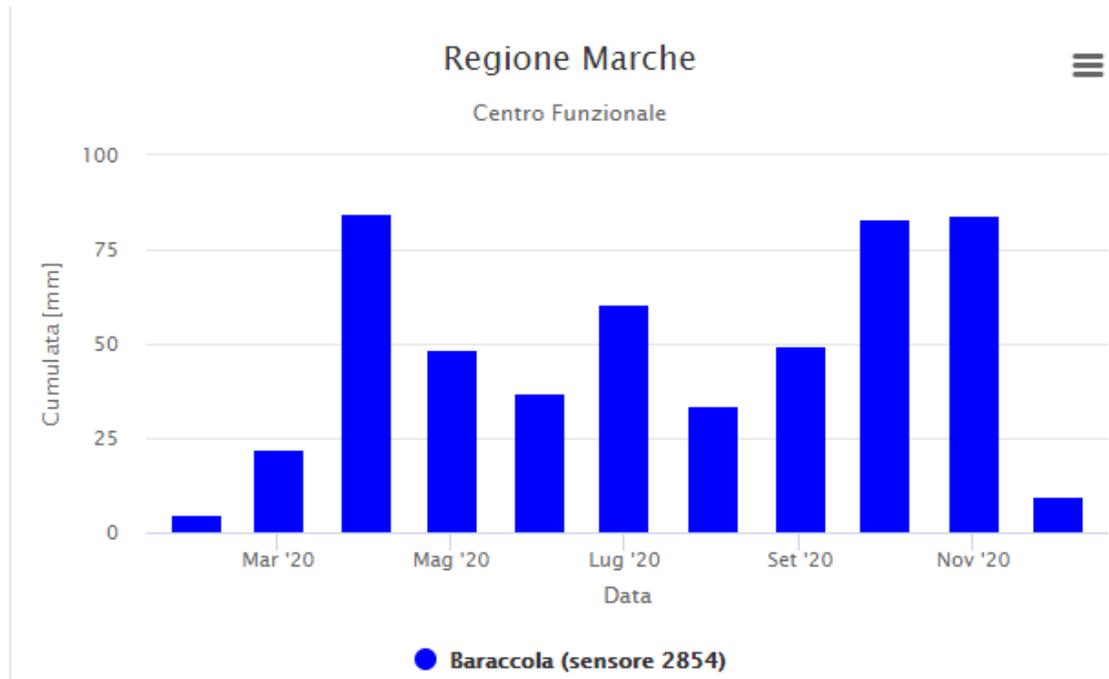


Figura 2.5.1 Regime di pioggia cumulata mensile, anno 2020 (www.regionemarche.it)

Essendo situato nella provincia di ancona ed essendo, il bacino, di modeste dimensioni, le sue condizioni atmosferiche non variano lungo tutta la sua estensione. Avremo, quindi, le massime temperature nei mesi di luglio- agosto, le minime temperature nei mesi di gennaio-febbraio (Bugarini e Romagnoli, 2014) (Fig. 2.5.2).

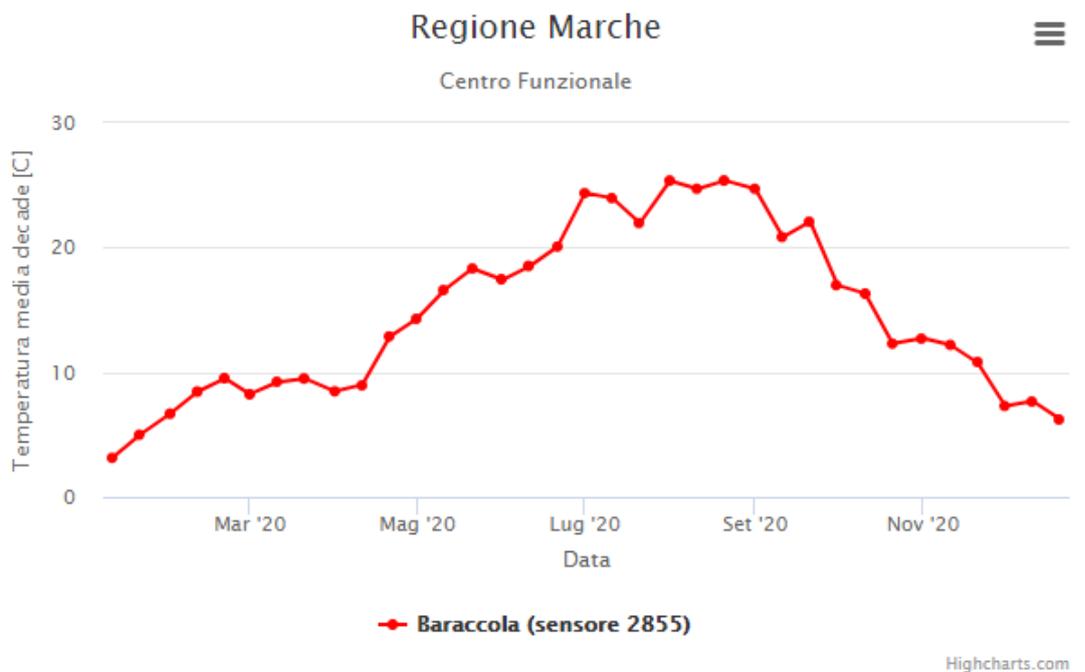


Figura 2.5.2 Rilevazione temperatura anno 2020 (www.regionemarche.it)

2.6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Prendendo in considerazione un quadro generale, le terre emerse del pianeta Terra, si sono formate con il susseguirsi di sedimentazioni e stratificazioni durante le diverse ere geologiche (*Figura 2.6.1*).

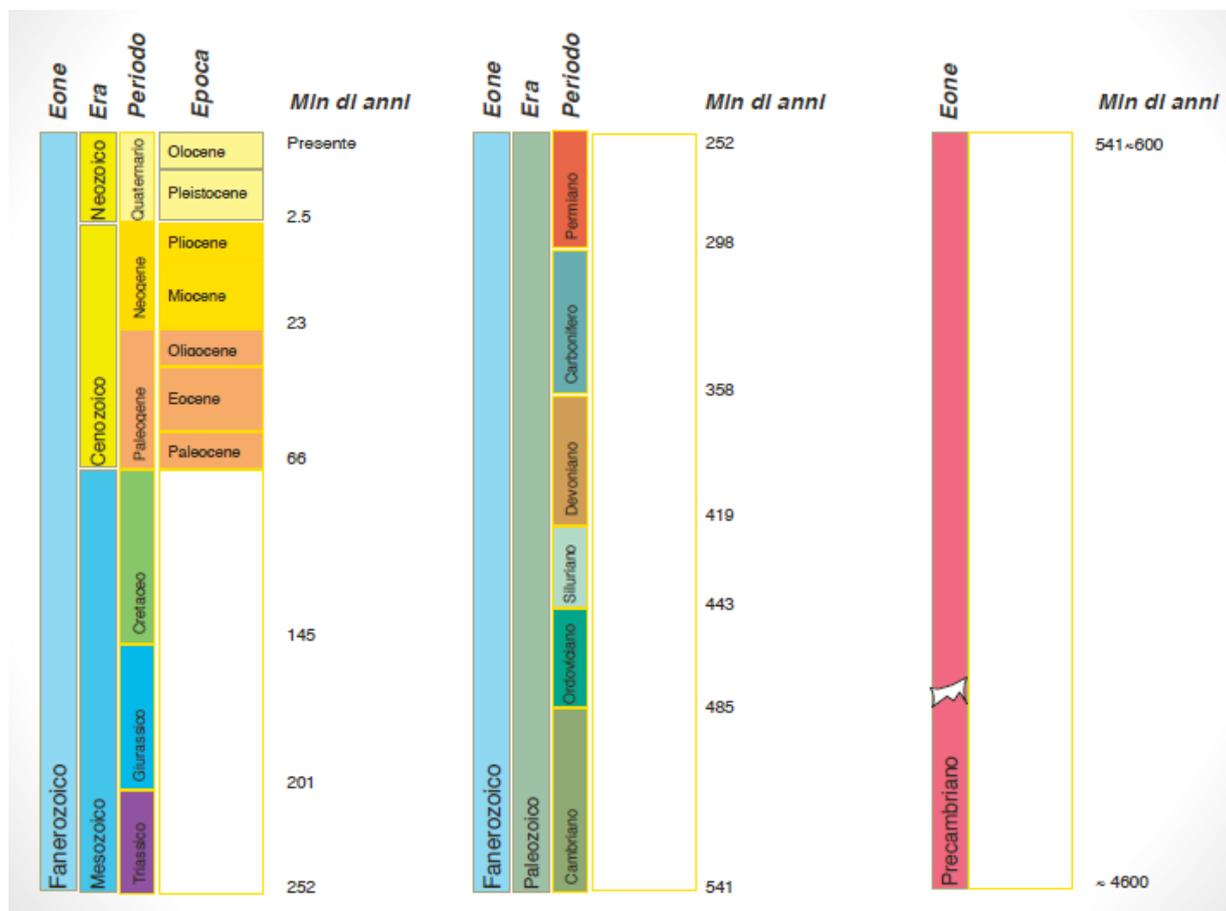


Figura 2.6.1 Scala dei tempi geologici (Tazioli, 2019, slide)

Il bacino del fiume Aspio è situato nella regione Marche (Italia centro-orientale) quindi dal punto di vista geologico è caratterizzato da una stratigrafia detta “umbro-marchigiana”, successione sedimentaria meso-cenozoica. L’ossatura dell’appennino Umbro-Marchigiano è formata da una successione sedimentaria, deposta su crosta di tipo continentale africana (microplacca di Andria) (Tazioli, 2019, slide).

Si riporta di seguito la successione Umbro-Marchigiana (*Figura 2.6.2*):

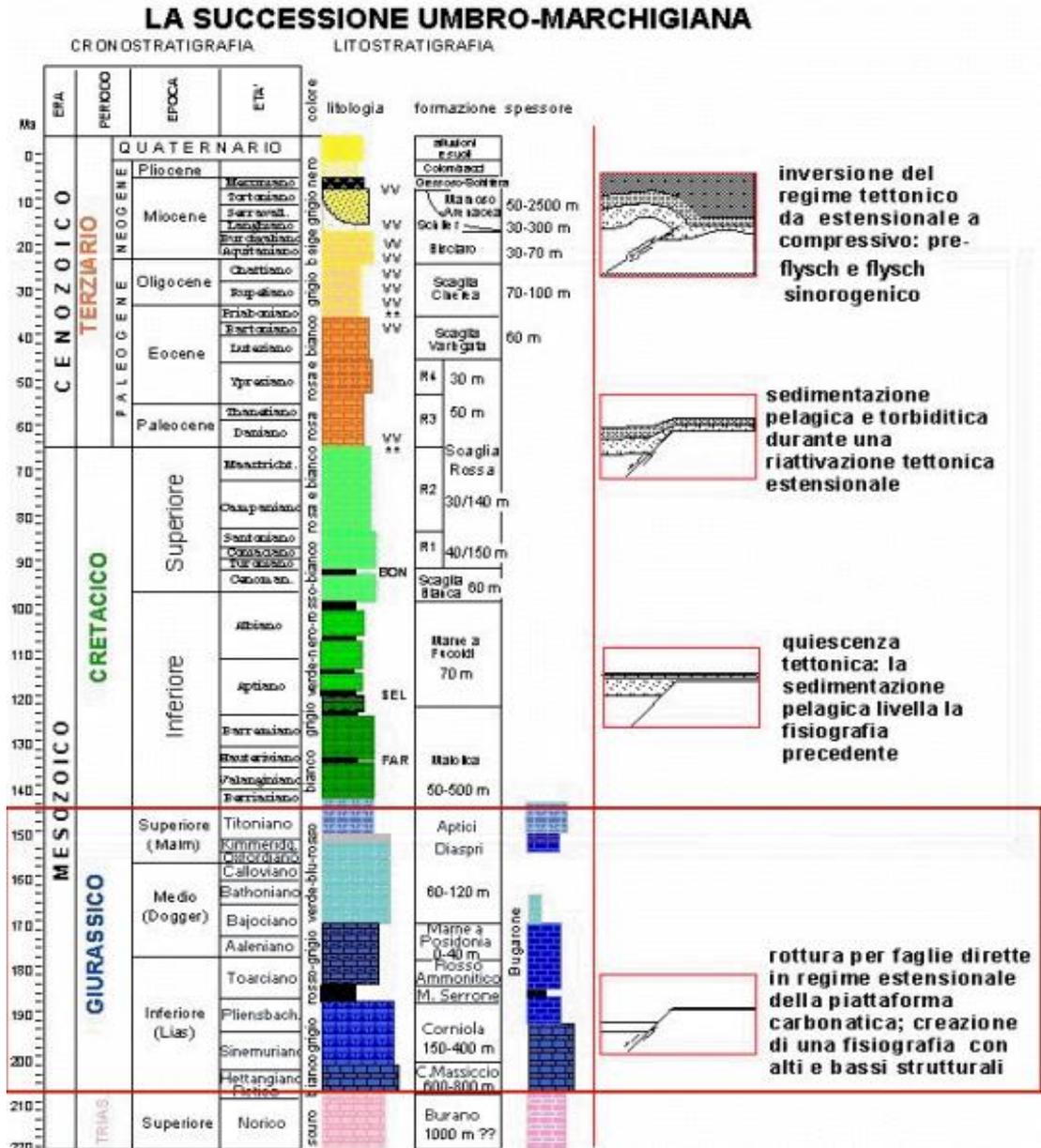


Figura 2.6.2 Successione Umbro-Marchigiana (Tazioli, 2019, slide)

Si andranno a descrivere nello specifico tutti i vari tipi di formazioni che si sono susseguite nel tempo (Centamore et al., 1986):

Anidridi del Burano: affiorano raramente in superficie come alternanze di gesso e dolomia o come breccie calcaree residuali;

Calcare Massiccio: si differenzia in Calcare Massiccio del Burano ed in Calcare Massiccio del Monte Nerone, gli affioramenti che si presentano nel territorio possono avere anche una buona esposizione come nelle Gole di Frasassi. La stratificazione del primo tipo è indistinta negli strati più stretti e netta in quelli medi. Il secondo tipo, invece, si presenta negli strati molto spessi. La colorazione di questo tipo di roccia è variabile tra

il biancastro ed il nocciola chiaro. L'alta permeabilità è dovuta sia alla porosità primaria intergranulare, che a quella secondaria per fratturazione e carsismo. L'infiltrazione media annua efficace stimata è di circa 26 l/s per Km², infatti il ruscellamento è estremamente ridotto. Le falde che sono presenti in questo complesso costituiscono il livello di base del sistema idrogeologico delle dorsali carbonatiche e sono alimentate dagli acquiferi dei complessi idrogeologici sovrastanti;

Corniola: lo spessore di questo tipo di formazione è variabile da pochi metri fino a 150-400 metri. L'unità in considerazione è formata da elementi di vario tipo e colore, dai calcari micritici di colore biancastro alla selce bruna o nerastra nei noduli o liste, sono anche presenti intercalazioni grigio-verdastre e calcari nodulari rosei in sommità. La stratificazione che si può notare è ben visibile e di diverso spessore: da sottile a molto spessa;

Marne di M. Serrone/Rosso Ammonitico: questa unità è costituita prevalentemente da marne e marne argillose rossastre ricche di fossili (con intercalazioni carbonatiche). Il colore rossastro della stratificazione, dovuto alle marne, rende la stratificazione ben visibile in campagna;

Calcari e Marne a Posidonia: lo spessore di questa formazione varia da 20 a 50 metri. Essa è formata da calcari micritici rosati negli strati medi o sottili con delle componenti marnose verso il basso (costituiti a loro volta da delle lamelle fossili). Negli strati medio-spessi, invece, lo strato è costituito da calcari micritici biancastri o beige, con selce policroma in liste e noduli. Alla base e alla sommità si possono notare intercalazioni detritiche e balconi di calcareniti;

Calcari Diaspri e Calcari ad Aptici: lo spessore di questa formazione va dai 80 e 150 metri, l'unità è costituita da calcari marnosi e sottilmente stratificati, di colore grigio-verde, con selce policroma, inoltre avremo un alto contenuto di silice per tutto lo spessore. La stratificazione è ben visibile e sottile nelle litofacies più calcaree e più irregolare e rigonfiata in quelle silicee. L'unità è infine formata da litotipi a bassa permeabilità, che sostengono gli acquiferi in seno alla Maiolica;

Maiolica: gli spessori di questa stratificazione possono variare a seconda dell'ambiente di sedimentazione dai 100 ai 600 metri. L'unità risale al Cretaceo e con essa si conclude la sedimentazione prevalentemente carbonatica-silicea giurassica. Negli strati medi avremo una prevalenza di calcilutiti biancastre e da selce nera nei noduli e liste. La maiolica è formata da litotipi carbonatici racchiusi tra l'acquicluda delle Marne a Fucoidi ed i sottostanti litotipi delle Formazioni delle Marne del Sentino (entrambe

caratterizzate da una bassa permeabilità). La circolazione idrica all'interno della stratificazione avviene per fratturazione e l'infiltrazione media annua stimata è di 17.5 l/s per Km²;

Marne a Fucoidi: lo spessore è suddivisibile in due membri, uno inferiore di 40-50 metri prevalentemente marnoso, uno superiore di 60-70 metri prevalentemente calcareo-marnoso. Il primo strato ha un colore rossastro alla base e verdastro al tetto dovuto alla formazione di marne e marne argillose, il secondo strato è invece formato da alternanze di calcari, calcari marnosi, marne e marne calcaree che gli conferiranno un colore biancastro o verde (si possono notare tra questi: bande policromatiche, liste e noduli di selce di colore diverso). Con l'aumento della selce e la sparizione delle argille verso l'altro, avremo un aumento del contenuto calcareo, mentre verso il basso le marne argillose posseggono ottime caratteristiche di acquiclude a sostegno degli acquiferi sovrastanti. L'unità consente la fuoriuscita di portate massime di 10 l/s a causa della tettonica caratteristica;

Scaglia bianca: ha uno spessore variabile da 15 a 40 m. rappresentata da calcari micritici biancastri, divisi da piccoli strati sottili e medi di selce nera, nella parte alta invece è costituita da argilliti e siltiti; sono inoltre presenti intercalazioni detritiche grossolane. Al tetto è presente uno strato bituminoso ittiolitico spesso circa 1-2 m, noto come livello Bonarelli;

Scaglia rossa: spessa circa 200-250 m nelle dorsali, raggiunge 350-450m nelle depressioni bacinali; è rappresentata da calcari micritici rosati e rossi con intercalazioni sottili e regolari di marne e di selce. In tale formazione definita anche Scaglia Rosata si distinguono tre membri, l'inferiore calcareo-selcifero, il mediano calcareo-marnoso o marnoso ed il superiore di nuovo calcareo-selcifero. Il primo è costituito da calcari e calcari marnosi rosati con bande policrome biancastre, con selce rossa, ma alla base anche verdolina o beige, in liste e noduli. Il secondo, di spessore rilevante, è composto in gran parte da marne e marne calcaree di colore rosato, a frattura scagliosa o concoide. Lo strato superiore, infine, è formato da calcari e calcari marnosi rossastri, con selce rossa in liste e noduli. La scaglia rossa presenta una stratificazione che in genere è netta, in strati sottili e medi;

Scaglia variegata: è formata da calcari marnosi e marne stratificate; la circolazione idrica sotterranea avviene per fratturazione e nei sistemi di fagliazione; l'infiltrazione media annua di tale complesso è di circa 17,5 l/s per km²;

Scaglia cinerea: presenta uno spessore variabile da 100 a 250 m; è composta da calcari marnosi e marne sottilmente stratificati, con intercalazioni di argilliti fogliettate, di colore grigio o grigio-verdastro. La formazione è suddivisibile in tre sezioni: l'inferiore caratterizzata da litofacies più calcaree e da una colorazione rossastra; la sezione mediana, di spessore maggiore prevalentemente marnoso di colore grigio verdastro; quella superiore, infine, costituita in prevalenza da marne argillose grigiastre. La stratificazione è netta in strati sottili e medi trovando al suo interno minerali femici e vulcanoclastiti;

Bisciaro: gli spessori sono in stretta relazione ai bacini di sedimentazione, variando da 30-40 m nelle zone marginali fino a 100-120 m in quelle bacinali; costituito da marne alternate a calcari marnosi di colore grigio e grigio-verdastro ben stratificati; nella parte inferiore della formazione sono presenti strati selce nera e livelli di cineriti;

Schlier: è formata da alternanze di marne e marne argillose, secondariamente da marne calcaree e calcari marnosi biancastri finemente detritici; tale formazione ha una circolazione idrica limitata, collegata al grado di fratturazione delle rocce, che presentano scarse caratteristiche idrogeologiche; l'infiltrazione è limitata ai litotipi carbonatici, mentre il ruscellamento prevale nelle marne.

Infine, abbiamo i depositi più recenti del Pliocene e Pleistocene-Quaternario come: *Depositi marini*: della serie pliocenica di Argille di Fabro, sabbie a Flabelliopecten, Conglomerato di Città della Pieve;

Depositi colluviali: sono presenti su gran parte dei versanti e spesso sfumano nello strato d'alterazione superficiale;

Depositi eluviali (Terra rossa): sono frequenti nelle ampie depressioni o nelle piccole conche prevalentemente di natura carsica;

Detrito di falda: è presente al piede dei versanti più acclivi in coltri di spessore variabile, talvolta considerevole; sono dei frammenti rocciosi a spigoli vivi (ordine del centimetro), in una matrice rossastra, localmente cementati. I depositi di versanti possono essere divisi in stratificati originati da processi di gelivazione e in conoidi detritici; questi ultimi sono riconoscibili facilmente grazie alla loro forma a ventaglio, si possono notare più frequentemente in corrispondenza dei raccordi tra le valli montane ed i fianchi dei maggiori rilievi. Altri depositi di versante di natura eluvio-colluviale sono costituiti da materiali fini che ricoprono i versanti argillosi e gli impluvi del Bacino Marchigiano più esterno.

Le strutture a direzione antiappenninica hanno ricoperto un ruolo molto importante per ciò che riguarda l'evoluzione geomorfologica marchigiana; la fase tettonica da cui è stata più influenzata è stata quella finale. La tipica conformazione di alti e bassi strutturali rappresentati dalle vallate e dei fiumi è stata generata dai movimenti lungo le faglie orizzontali. (Bigi et al., 1996).

Si vuole tener nota del fatto che generalmente nei piccoli bacini idrografici, che possiedono una pianura alluvionale ben sviluppata, la superficie piezometrica induce la ricarica del fiume e questo denota l'importanza del monitoraggio delle acque sotterranee, per l'indagine di pericolosità idrogeologica. (Tazioli et al., 2015)

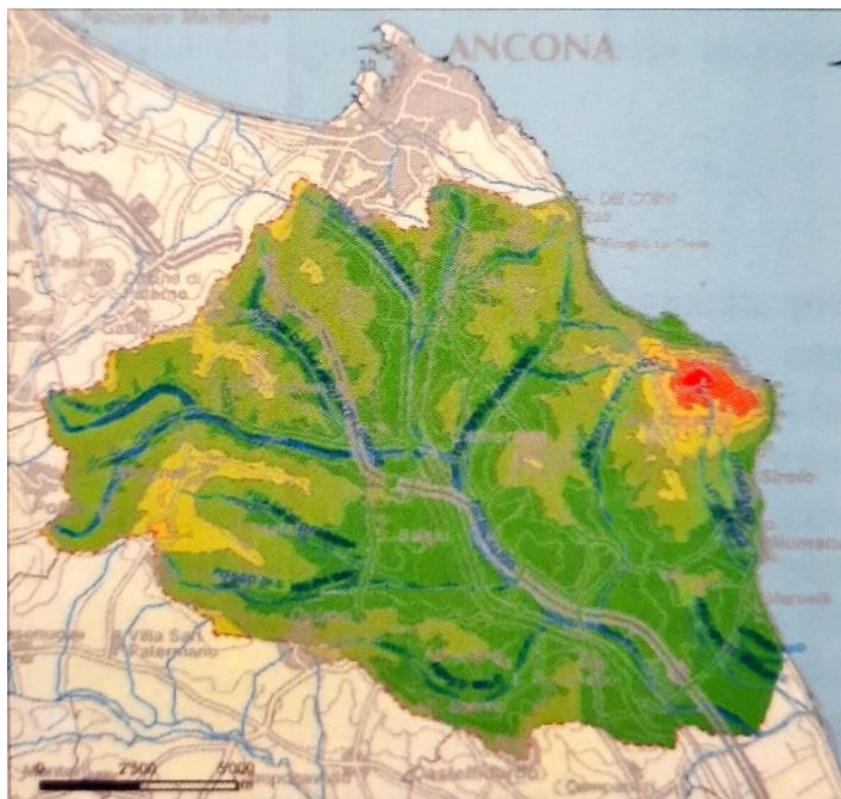
2.7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le proprietà geomorfologiche, tra cui quelle lineari ed areali del bacino, controllano i processi idrologici e di dissesto dei versanti. Si forniscono di seguito alcune proprietà del rilievo al fine di trarne indicazioni di tipo qualitativo sul comportamento idraulico del bacino (Mattioli, 2014).

2.7.1 Altimetria

Le analisi condotte sull'area del bacino in esame hanno evidenziato che l'80% di questo ha un'altitudine tra gli 0.5 m s.l.m.m. e i 150 m s.l.m.m., in particolare il 20% del bacino è compreso tra i 60 e 90 m s.l.m.m e il 17 % tra i 30 e 60 m s.l.m.m.

Dal DTM è stato possibile ricavare la distribuzione del bacino in fasce altimetriche con equidistanza di 100 m (*Figura 2.7.1*).



ALTIMETRIA		
Fascia	area (mq)	%
0-100 m	102'386'984	54.77%
101-200 m	64'927'214	34.73%
201-300 m	15'070'806	8.06%
301-400 m	2'666'545	1.43%
401-500 m	1'576'918	0.84%
> 500 m	312'582	0.17%
TOTALE	186'941'049	100.00%

Figura 2.7.1 Distribuzione in fasce altimetriche del bacino e relativa legenda

Dall'osservazione dei dati sulla distribuzione altimetrica del bacino, si nota che il bacino del F. Aspio è prevalentemente collinare ed infatti si ha una prevalenza in percentuale di zone di altitudine comprese tra i 0 ed i 300 m, mentre il Monte Conero coinciderà con il picco di altezza presente nella mappa per un'area di circa il 3 % sul totale del bacino.

2.7.2 Acclivita'

Per esaminare e studiare l'acclività del bacino del F. Aspio si fa riferimento alla carta delle acclività riportata in Fig. 2.7.2.

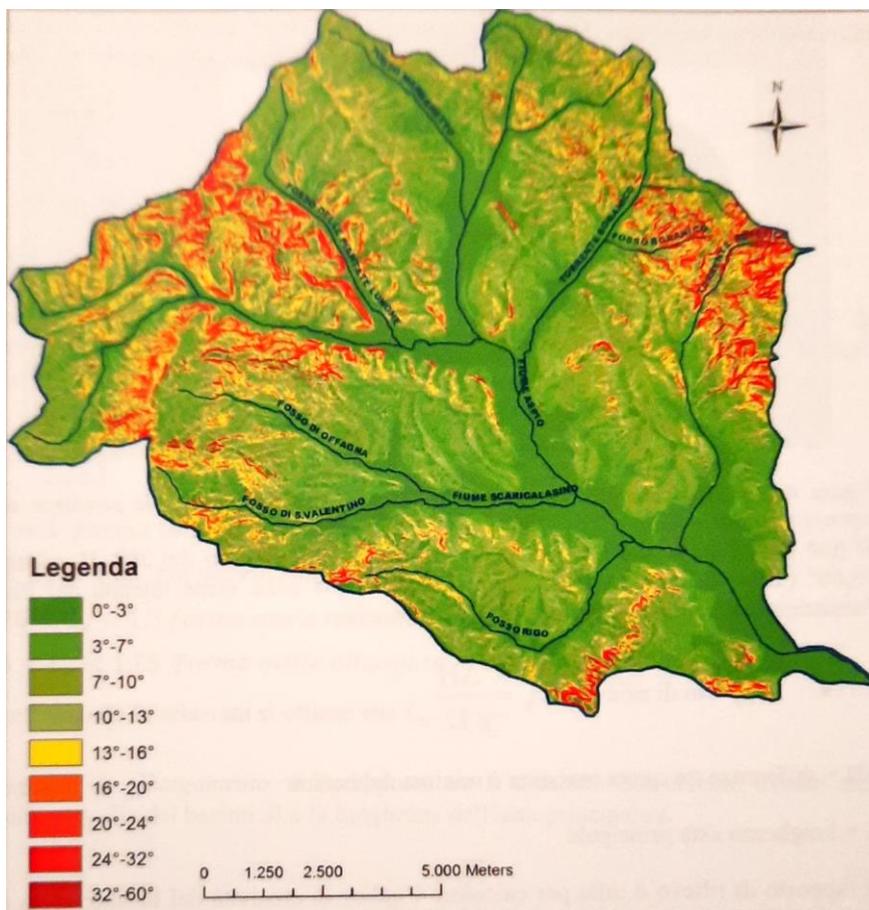


Fig. 2.7.2 Carta delle acclività del bacino del F. Aspio

Da questa si evidenzia che la fascia del Monte Conero è quella costituita da un'acclività maggiore (superiore a 20°), mentre nel resto del bacino del F. Aspio si può notare una diminuzione delle pendenze (inferiore a 20°). In particolare, esprimendo la distribuzione delle fasce di pendenza in %, le zone con acclività inferiore a 20° costituiscono il 97% della superficie totale, mentre quelle con acclività superiori ai 20° costituiscono il 3%.

2.7.3 Forme Del Territorio Di Influenza Strutturale

Analizzando il bacino del F. Aspio si può osservare un forte distacco tra la zona del M. Conero e le zone più interne dell'area interessata, in particolare nella prima citata si ha un assetto strutturale tale da conferirgli un elevato rilievo mentre nelle seconde si notano dei versanti più dolci. Le variazioni litologiche hanno causato, in entrambe le fasce, delle rotture evidenti di pendio. L'intero assetto strutturale del bacino è influenzato, non solo

dalla giacitura e disposizione dei vari affioramenti rocciosi, ma anche dalla presenza o meno di faglie, questo vale principalmente nel versante meridionale del M Conero dove si possono trovare numerose scarpate di faglia.

È curioso notare che nella zona interna del bacino esiste una correlazione tra le linee tettoniche e la distribuzione delle principali linee di drenaggio, questo fenomeno è dovuto alla maggiore intensità dei processi erosivi, da parte degli agenti meteorici, in corrispondenza delle zone fratturate; ne sono alcuni esempi il Rio Boranico ed il F.sso di Monte Acuto.

Nelle zone carbonatiche e in alcune zone terrigene del bacino si ha una forte energia di rilievo, questa insieme alle coltri eluvio-colluviali e alla presenza di litotipi a permeabilità differenti, causano l'attivazione di frequenti fenomeni franosi. Dal Piano di Assetto Idrologico della Regione Marche, relativo al bacino in esame, risulta che il 15 % dell'area del bacino rappresenta l'area di frana. Nell'area de M. Conero, dove sono presenti litotipi di tipo calcareo e calcareo-marnosi, i movimenti rotazionali di piccole dimensioni attivano frequenti scivolamenti traslazionali. Le frane di crollo invece si avranno nei versanti più acclivi, soprattutto nel tratto di costa esterno al bacino, dove il moto ondoso erode il versante alla base della falesia.

Altri effetti non trascurabili vengono indotti dal terremoto, in particolare ne è un esempio la scossa sismica del 22 agosto 2013 che ha causato dei crolli nella spiaggia di Sirolo e Mezzavalle.

2.8 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il reticolo idrografico della Regione Marche è definito “a pettine” per la caratteristica direzione dei fiumi marchigiani. I fiumi principali hanno un andamento tra loro parallelo con la direzione delle aste fluviali SO-NE (con alcune eccezioni di fiumi nella parte iniziale montana) e sono: il Conca, Marecchia, Foglia, Metauro, Cesano, Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso e il Tronto. Oltre a questi bacini se ne aggiungono altri di dimensioni minore, ma che allo stesso tempo sono importanti a causa dei rischi idrologici ad essi collegati. (www.geomarche.it)

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

Tutte le formazioni permeabili di un bacino sedimentario contengono acquiferi, che sono formazioni idrogeologiche a permeabilità medio-alta (con coefficiente di

permeabilità compreso tra 10 e 10^{-4} cm/s), sede di una falda acquifera (freatica o 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, rientra nella classe di terreni scarsamente permeabili, tra i quali abbiamo depositi caratterizzati da un coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-4} e 10^{-7} cm/s come 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).

Nel bacino in esame, cioè il bacino del Fiume Aspio, sono presenti acquiferi le cui acqua in passato sono state fondamentali per scopi idropotabili e produttivi.

I principali acquiferi sono presenti nella pianura alluvionale del F. Aspio, nelle formazioni carbonatiche del M. Conero e nei depositi di chiusura della sequenza pleistocenica. (Mattioli, 2014)

L'assetto idrogeologico dell'area è caratterizzato dalla presenza di complessi idrogeologici di diversa natura, in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche che si individuano nelle diverse aree del bacino.

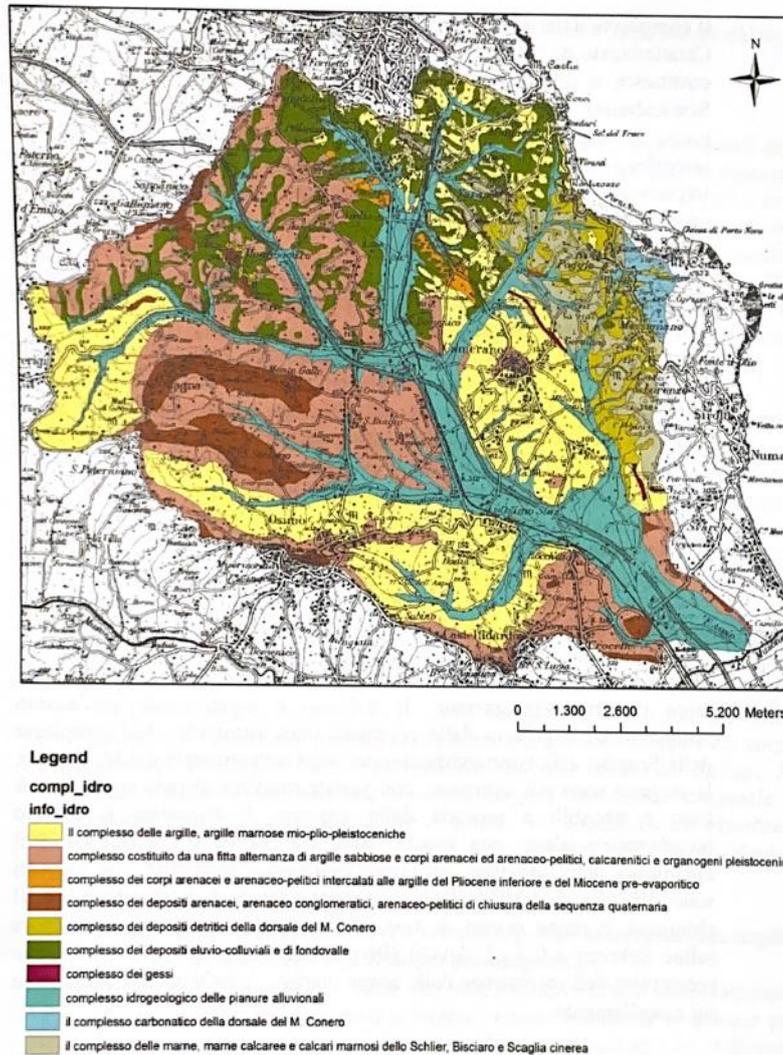


Fig. 2.8.1 Carta dei complessi idrogeologici

Nell'area del bacino, le condizioni idrogeologiche che consentono la presenza degli acquiferi si hanno principalmente nella sequenza carbonatica del M. Conero, nella sequenza del Pliocene inferiore, nella sequenza plio-pleistocenica e nelle alluvioni.

Nella pianura alluvionale del Fiume Aspio e del Torrente del Betelico è presente una falda di subalveo di tipo monostrato; è alimentata da piogge, dagli acquiferi di fondo valle e anche dalle acque fluviali del F. Aspio. (Mattioli, 2014)

In riferimento a quanto detto, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) è un modello fisico utilizzato per simulare le acque superficiali e sotterranee, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, con lo scopo di fornire una previsione futura di quei processi

idrologici che potrebbero caratterizzare i bacini idrografici. Questo modello viene applicato proprio al bacino del fiume Aspio, per ottenere le migliori prestazioni del modello vengono studiate tre configurazioni di simulazione (SL1, SL2 e SL3), viene poi scelta quella più rappresentativa del flusso dello spartiacque, in questo caso la SL1. In questo modo è stata redatta una mappa di suscettibilità al deflusso per tutto il bacino del fiume Aspio suddividendo il territorio in cinque classi: da suscettibilità molto bassa a molto alta (Fronzi et alii, 2019).

3. STATO DELL'ARTE

3.1. RISCHIO IDROGEOLOGICO

Definizione

Il rischio è la probabilità che accada un certo evento capace di causare un danno alle persone. La nozione di rischio implica l'esistenza di una sorgente di pericolo e delle possibilità che essa si trasformi in un danno.

In generale, può essere calcolato attraverso la seguente formula (ISPRA, 2016):

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

Dove P = Pericolosità, la probabilità che un fenomeno di una determinata intensità si verifichi in un certo periodo di tempo, in una data area; V = Vulnerabilità, la propensione a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità; E = Esposizione o valore esposto, il numero di unità di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area.

Riuscire a quantificarlo permette di avere informazioni sul possibile evento e sulle misure di sicurezza da progettare e mettere in opera.

La mappa, in *Figura 3.1.1*, è stata creata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che ha realizzato uno studio sul rischio idrogeologico in Italia per determinare le classi di pericolosità proprie di ogni area, fondamentali per la gestione di questo rischio.

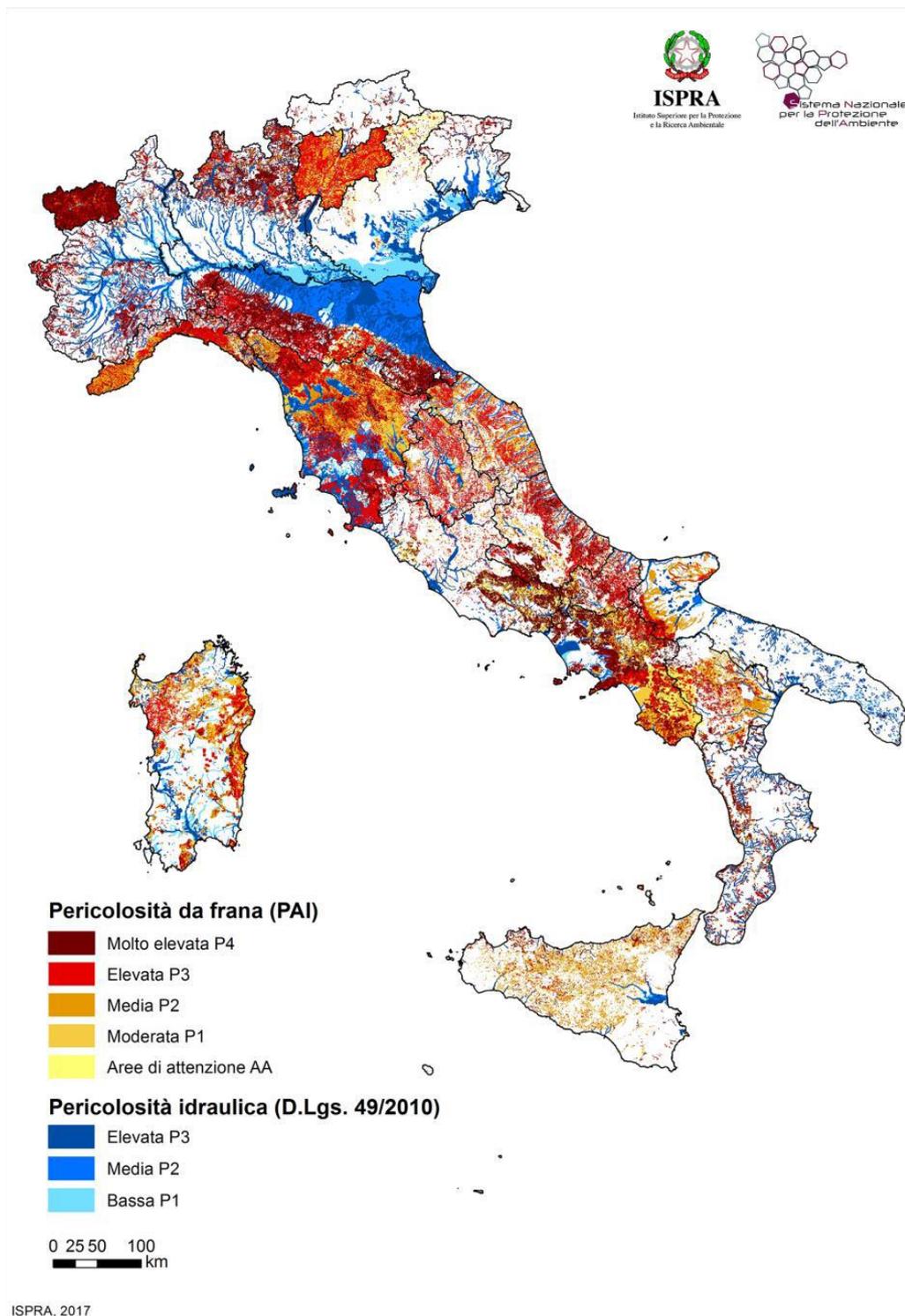


Figura 3.1.1 Mappa del rischio da frana e idraulico in Italia, secondo l'ISPRA (2017)

Il rischio idrogeologico è uno dei principali rischi presenti in Italia, interessa i terreni e le acque, sia sotterranee che superficiali, e può provocare, nei casi più gravi, ingenti danni

alle persone, ai servizi e alle attività dell'uomo. La conformazione geologica e geomorfologica dell'Italia è uno dei fattori determinanti, è infatti costituita da un'orografia complessa e bacini idrografici tipicamente di piccole dimensioni; quest'ultimi sono quindi caratterizzati da tempi di risposta alle precipitazioni molto rapidi. L'unione di eventi metereologici localizzati e intensi e delle caratteristiche del territorio può comportare il manifestarsi di fenomeni violenti.

Altro fattore che condiziona il rischio idrogeologico è l'azione dell'uomo; il territorio è diventato più fragile a seguito di una progressiva urbanizzazione, del disboscamento, della mancata manutenzione di versanti e corsi d'acqua, aumentando così l'esposizione ai fenomeni. In particolare, un bacino idrografico di piccole dimensioni, come quello del fiume Aspio è esposto ad un rischio maggiore, risentendo in maniera più amplificata dell'azione dell'uomo. (Fronzi e Tazioli, 2019)

La superficie complessivamente interessata da eventi idrogeologici censiti è di circa 20.591 km², pari al 6,7% del territorio nazionale; in *Figura 3.1.2* è riportato l'Indice di evento totale (IET%), espresso come rapporto tra area interessata da eventi sull'area totale regionale. È possibile osservare che le Marche, con il 20%, risulta la regione con il più alto indice, cioè la più soggetta ad eventi di carattere gravoso.

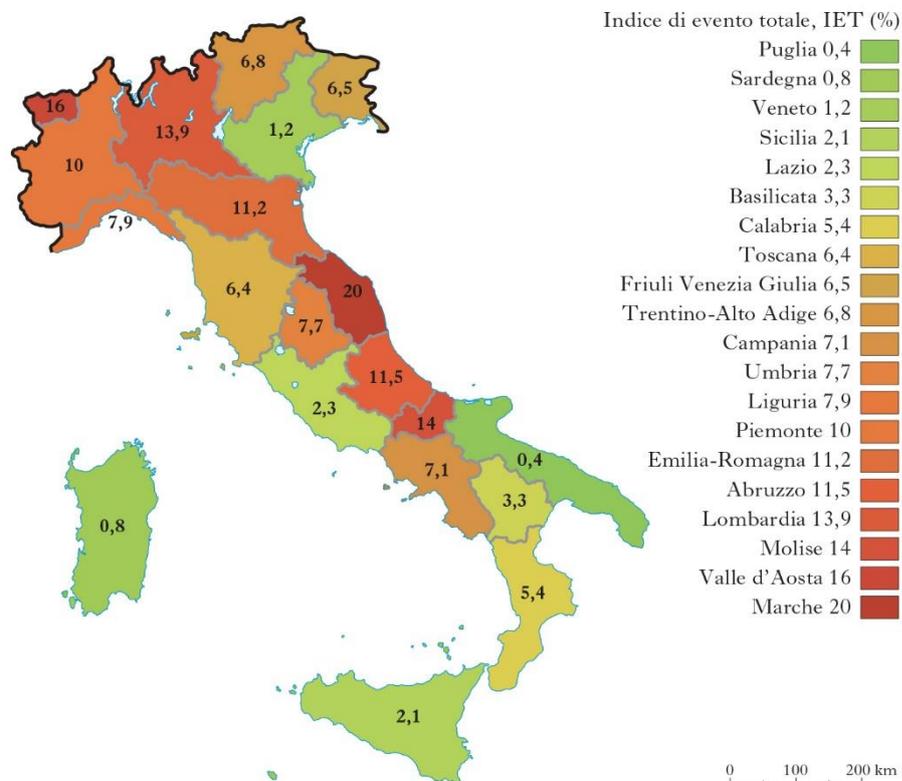


Figura 3.1.2 Mappa dell'indice di evento totale, IET (%) (www.treccani.it)

3.2. MONITORAGGIO BACINI E BANCHE DATI

I frequenti episodi di dissesto idrogeologico, che in tutto il territorio italiano hanno causato la perdita di vite umane e ingenti danni ai beni, impongono l'adozione di una politica differente, incentrata sull'individuazione delle condizioni di rischio e interventi per la sua riduzione, piuttosto che sulla riparazione dei danni.

Alcuni provvedimenti normativi hanno imposto la perimetrazione delle aree a rischio, si è inoltre sviluppato un sistema di allertamento e sorveglianza dei fenomeni che, assieme a un'adeguata pianificazione comunale di protezione civile rappresenta una risorsa fondamentale per la mitigazione del rischio, dove non si possa intervenire con misure strutturali.

Nelle Marche, la rete di monitoraggio è nata nel 1916 ad opera del SIMN, Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale; regione che apparteneva al compartimento di Bologna, i bacini idrografici di interesse andavano dal Reno al Tronto. Si tratta di un servizio tecnico dello Stato, articolato nel territorio nazionale (ufficio centrale e uffici periferici) con il compito di collocare strumenti, raccogliere misure, elaborare dati e pubblicare sistematicamente i risultati negli Annali Idrologici. (www.isprambiente.gov.it) A seguito del trasferimento alle regioni delle competenze degli uffici periferici del SIMN, e con la deliberazione della Giunta Regionale n.2748 del 20/11/2001, il servizio di Protezione Civile della Regione Marche è stato incaricato di assolvere alle funzioni di raccolta dei dati a partire dal 2002; in accordo con enti nazionali, per prevenire le varie tipologie di rischio, si avvale della redazione di diversi piani di monitoraggio, tra i quali il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e varie mappe statistiche di individuazione delle zone soggette a rischio. (app.protezionecivile.marche.it)

Il PAI, richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, si configura come stralcio funzionale del settore della pericolosità idraulica ed idrogeologica del Piano generale di bacino previsto dalla L. 183/89 e dalla L.R. 13/99; il suo obiettivo prioritario è la riduzione del rischio idrogeologico; contiene al suo interno il quadro completo degli interventi strutturali di carattere intensivo ed estensivo, la definizione degli interventi a carattere non strutturale, il completamento della delimitazione delle fasce fluviali sui corsi d'acqua principali del bacino, l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (territorio collinare e montano).

L'ambito di applicazione del PAI è relativo ai bacini idrografici regionali elencati e cartografati nell'Allegato B della L.R. 13/99, tra i quali è presente il bacino del fiume Aspio. (www.autoritadistrettoac.it)

L'informazione ambientale proveniente dalle attività di monitoraggio è gestita tramite banche dati tecniche, le quali permettono l'archiviazione e la consultazione, da parte di personale autorizzato, dei principali indicatori ambientali e del loro trend evolutivo nel tempo. Il SIRMIP online, come verrà descritto al *Paragrafo 4.1.3*, è la banca dati della regione Marche gestita dalla Protezione Civile.

4. MATERIALI E METODI

Per la caratterizzazione idrologica, geologica e geomorfologica del bacino del fiume Aspio sono state realizzate varie campagne col fine di ottenere un set di dati sufficienti, che andranno ad implementare dati raccolti durante altre indagini da studenti dell'Univpm ed enti pubblici negli anni precedenti.

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

4.1 STRUMENTI

Possiamo suddividere gli strumenti utilizzati in quattro principali categorie.

4.3.1. Strumenti Meccanici

Strumenti di laboratorio

Gli strumenti di laboratorio utilizzati sono il cilindro graduato e l'imbuto in plastica, contenitori in acciaio e alluminio (*Figura 4.1.1*), le taniche in plastica per il trasporto dell'acqua nella prova infiltrometrica (*Figura 4.1.2*),



Figura 4.1.1

Foto del Cilindro graduato e dell'imbuto utilizzati per la prova granulometrica

(www.packservices.it)

Vaschetta di alluminio utilizzata per la prova granulometrica (www.zenick.it)



Figura 4.1.2 Tuniche in plastica da 20 e 25 litri (www.packservices.it)

Setacci per l'analisi granulometrica

Il setaccio è costituito da una rete metallica a maglie quadrate più o meno fitte e da due fasce metalliche che garantiscono la tensione della rete e l'assenza di interstizi con ristagno di materiale. Il suo scopo è quello di separare le particelle dal diametro più grande da quelle con diametro più piccolo rispetto alla dimensione di apertura delle maglie, così da effettuare una caratterizzazione attraverso la distribuzione granulometrica di un campione. La serie di setacci varia in base alla normativa di riferimento, nelle prove è stata applicata la norma americana ASTM, acronimo di American Society for Testing and Materials. (www.geosald.com)



Figura 4.1.3 Pila di setacci per la prova granulometrica

Attrezzi agricoli

Gli attrezzi in *Figura 4.1.4* vengono utilizzati per lavorare il terreno durante le uscite in campagna, in particolare per effettuare la prova infiltrometrica.



Figura 4.1.4 Attrezzi agricoli (www.leroymerlin.it)

Flessometro

È uno strumento molto comune costituito da una rotella metrica, con nastro in acciaio, in cui una molla arrotola automaticamente il nastro all'interno dell'arrotolatore; è utilizzato per la misurazione delle lunghezze e la scala di riferimento è espressa in metri.

Trivella a meccanica

La trivella meccanica (*Figura 4.1.6*) è uno strumento utilizzato per la raccolta di campioni di terreno a profondità prestabilite (*Paragrafo 4.2.2.1*), che verranno poi sottoposti ad un'analisi granulometrica; a differenza di una trivella manuale, sfrutta la potenza del motore e la sua punta ad elica per perforare il suolo a maggiore profondità.



Figura 4.1.6 Trivella meccanica utilizzata per la raccolta di provini di terreno

www.manomano.it

Mazza battente

Lo strumento, in *Figura 4.1.7*, è utilizzato per conferire ad un oggetto la sua energia battente, in questo caso per conficcare gli anelli della prova infiltrometrica.



Figura 4.1.7 Mazza battente (www.manomano.it)

Infiltrometro a doppio anello

L'infiltrometro a doppio anello (*Figura 4.1.8*) è uno strumento che, con semplicità, permette di effettuare misure della velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo, è adatto a quasi tutti i tipi di terreno e viene applicato in progetti per la determinazione del coefficiente di permeabilità saturo (K_{sat}).

Gli accessori necessari all'installazione ed all'effettuazione delle misure sono: due anelli di acciaio inox di diverso diametro, uno da posizionare all'interno ed uno all'esterno, una staffa che permette di sorreggere il diver, una piastra battente, necessitante di una mazza. Gli anelli vanno infissi nel terreno per una profondità proporzionale alle loro dimensioni, tenendo conto del fatto che l'anello esterno ha la funzione di contenere l'espansione laterale dell'acqua, e l'anello interno invece delimita il terreno destinato alla prova di infiltrazione.

Il valore della conducibilità idraulica viene determinato dal rapporto fra la riduzione del tirante idrico [mm] e l'intervallo temporale in cui tale abbassamento si manifesta [s; min; h]. (Zimbone, 2008-2009, slide)



Figura 4.1.8 Infiltrometro a doppio anello

4.3.2. Strumenti Elettronici

Bilancia da laboratorio

La bilancia da laboratorio (*Figura 4.1.9*) si distingue per l'alta risoluzione e precisione; si utilizza per determinare la massa dei provini presi in esame, posizionandoli sopra di essa; ha una precisione del centigrammo (cg).



Figura 4.1.9 Bilancia da laboratorio

Stufa da laboratorio

La stufa da laboratorio (*Figura 4.1.10*) è solitamente un armadio costruito in acciaio inossidabile ed equipaggiato con uno sportello termico, al suo interno ci sono piani forati

per aiutare la circolazione dell'aria; in particolare le pareti interne sono coibentate. Per il tipo di lavoro che svolgono, le stufe da laboratorio raggiungono temperature estreme che vanno dai 200° ai 350°.

All'interno si introducono vari tipi di sostanze e materiali che possono essere soggetti a una ampia serie di test e processi, principalmente essiccare, asciugare o stagionare provini.

Sfruttando il principio di convezione, l'elemento riscaldante non si trova nella stessa camera interna del forno, ma in un involucro esterno e separato e in questo modo il calore radiante non influisce sull'integrità del materiale, del composto o del prodotto da testare (www.dellamarca.it).



Figura 4.1.10 Stufa da laboratorio (www.strumentidalaboratorio.com)

Trasduttore di pressione

I sensori o trasduttori sono degli strumenti in grado di misurare una determinata grandezza o forma di energia e convertirla come segnale in uscita in un'altra grandezza fisica, il rapporto di conversione è regolato da una precisa funzione matematica.

Nel caso del trasduttore di pressione, il sensore converte la misurazione della pressione in entrata in un segnale elettrico analogico in uscita; nel nostro caso è stato utilizzato nelle prove infiltrometriche.

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

- Misurazione della pressione assoluta: è riferita alla condizione di vuoto assoluto, dove non c'è materia nell'atmosfera, pressione è nulla. È più una misurazione teorica in quanto è molto difficile da raggiungere una pressione nulla; questo tipo di sensori, che devono avere delle specifiche molto rigorose, sono utilizzati per la misurazione dei valori barometrici.

- Misurazione della pressione relativa: si ottiene confrontando i valori ottenuti dalla misurazione con i valori della pressione atmosferica, per questo quindi viene definita relativa.

(www.misurazioneindustriale.it)

Durante le indagini svolte, il sensore utilizzato per il monitoraggio è un diver di Aquasearch (*Figura 4.1.11*), strumento che possiede una tecnologia avanzata, è un datalogger con una memoria di 72000 letture, la sua programmazione è semplice e gestibile tramite un computer portatile o un palmare. (www.aquasearch.it)



Figura 4.1.11 Trasduttore di pressione con datalogger interno per la registrazione dei dati

Sensore di conducibilità elettrica

Il sensore di conducibilità elettrica utilizzato nella misura di portata con NaCl è il Diver CTD di Aquasearch (*Figura 4.1.12*). È un datalogger sommergibile per il monitoraggio in continuo di livello, temperatura e, in particolare, di conducibilità elettrica; è dotato di un sensore a quattro elettrodi che permette la misurazione della conducibilità da 0 a 120 mS/cm e può memorizzare 48.000 misurazioni.



Figura 4.1.12 Sensore di conducibilità elettrica (www.aquasearch.it)

Sonda fluorimetrica

La sonda fluorimetrica impiegata nelle prove di portata con tracciante (fluoresceina), durante le indagini in campagna è la PME Cyclops-7 (Figura 4.1.14); registra la misurazione del sensore, l'ora, la data, la tensione e il guadagno della batteria del logger, le frequenze di campionamento possono essere regolate dall'utente, con un intervallo di tempo minimo di 5 secondi; i dati vengono scaricati dal registratore a un computer tramite un cavo USB standard. (www.fondriest.com)



Figura 4.1.14 Sonda fluorimetrica utilizzata per le misure di portata con tracciante

Mulinello idrometrico

Il mulinello idrometrico ha la funzione di misurare la velocità della corrente in canali artificiali o naturali; può essere utilizzato per ricostruire la scala di deflusso di una determinata sezione di un corso d'acqua o per valutare la portata puntuale di un reticolo idrico. Consta di due parti: un equipaggio mobile che, investito dalla corrente, ruota ad una velocità che è funzione della velocità della corrente; un dispositivo utilizzato per contare il numero di giri, che provoca la chiusura di un contatto elettrico.

Durante le indagini in situ, per la misurazione di portata è stato utilizzato il mulinello idrometrico SIAP, che garantisce la misura sia per piccole che grandi velocità.



Figura 4.1.12 Mulinello idrometrico SIAP (www.ott.com)

4.3.3.Strumenti Informatici

Excel

Excel è un software sviluppato dall'azienda americana Microsoft Corporation, fa parte dei software di produttività personale Microsoft Office, permette di produrre e gestire fogli elettronici.

Il foglio elettronico è un programma che permette di effettuare calcoli, creare rappresentazioni grafiche ed elaborare dati, anche di grandi dimensioni; appare come una tabella formata da migliaia di celle in cui si possono inserire numeri, testi o formule. Le celle sono la base di un foglio e sono identificate da una lettera (che rappresenta la colonna) e da un numero (che indica la riga). (www.excel-facile.info)

SIRMIP online

Il SIRMIP (Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico) online è una banca dati gestita dalla Protezione Civile della regione Marche.

Sono disponibili dati di temperatura, precipitazione, livello idrometrico (e di portata nel caso sia stata definita la scala di deflusso relativa alla sezione idrometrica), pressione atmosferica, umidità relativa, radiazione solare, direzione e velocità del vento ed altezza del manto nevoso (*Figura 4.1.14*). L'accesso è limitato alle persone regolarmente registrate al Servizio; per registrarsi è necessario fornire i campi username, nome, cognome ed email. I dati presenti nel database possono subire variazioni, anche sostanziali, in fase di revisione e validazione. La gran parte delle elaborazioni relative a temperatura, precipitazione e livello idrometrico presenti sugli Annali Idrologici parte I e II e pubblicati dalla Regione Marche possono essere estratte dal Sistema, sia attraverso file di testo (campi separati da virgola), foglio di calcolo tipo excel ed in formato grafico. (www.regione.marche.it)

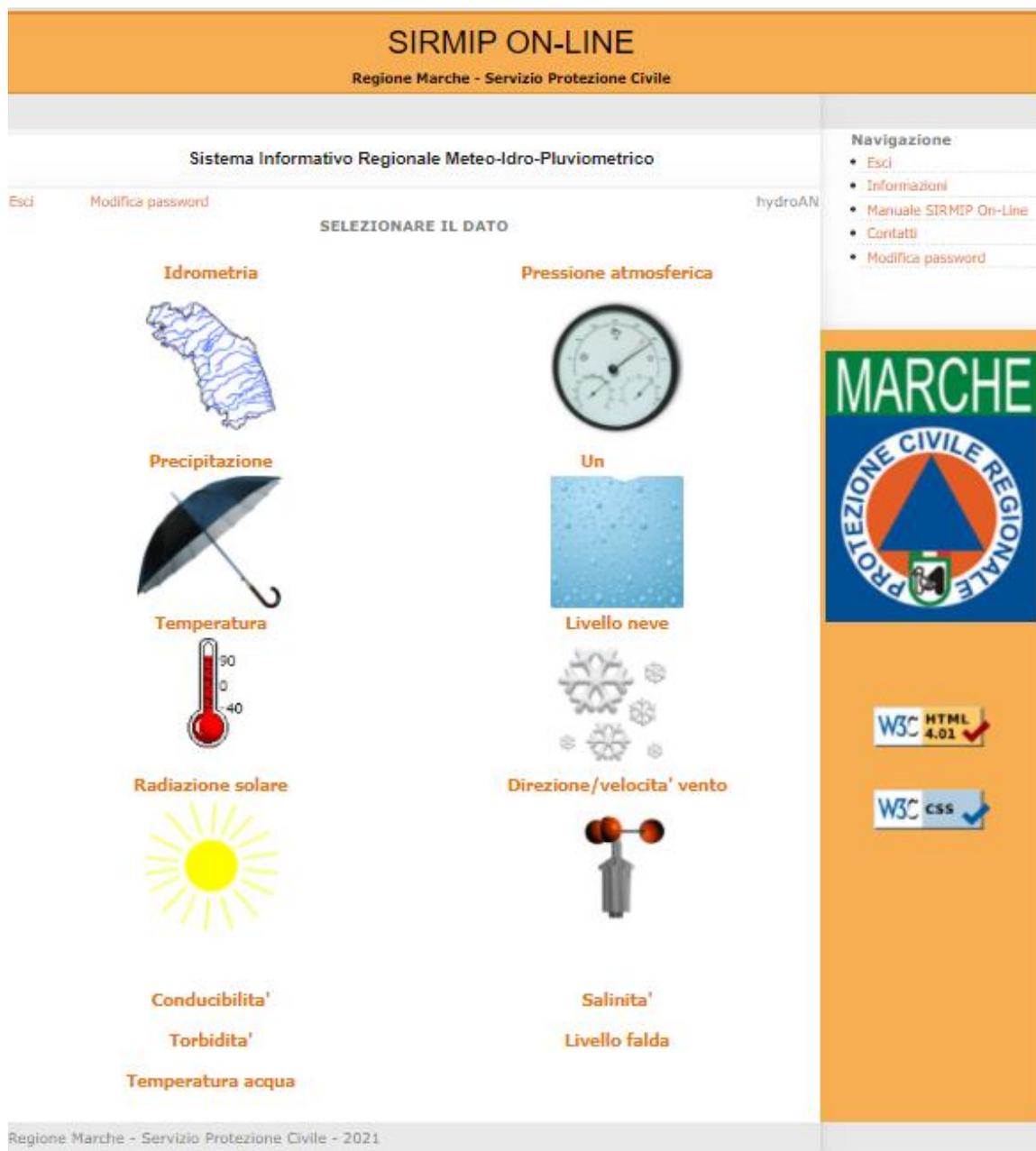


Figura 4.1.14 Portale del SIRMIP online (app.protezionecivile.marche.it)

Diver-Office SW

Diver Office è un pacchetto di software di misura, consente di leggere e programmare i datalogger, avviare e fermare i Diver con vari metodi, calibrare il Diver CTD, importare ed esportare i dati in formati multipli, visualizzare le serie temporali in formato grafico o tabellare, effettuare le compensazioni barometriche. (www.aquasearch.it)

4.3.4.Strumenti Chimici

Sodio esametafosfato ($(NaPO_3)_6$)

Tale sostanza si presenta come polvere bianca, solubile in acqua, ma non nella soluzione organica; si ottiene per riscaldamento del fosfato monosodico, risulta altamente igroscopico e diviene appiccicoso quando assorbe umidità nell'aria.

È stato utilizzato nella prova granulometrica sfruttando le sue proprietà sequestranti, fluidificanti e disperdenti. (www.igmaspa.it)

Cloruro di Sodio ($NaCl$)

Il Cloruro di Sodio, comunemente chiamato sale da cucina, si trova in natura allo stato solido o liquido e viene ottenuto mediante estrazione del salgemma dalle miniere, evaporazione delle soluzioni naturali (sorgenti di acque salse, acqua del mare) o di quelle provenienti dalla dissoluzione del salgemma (calore). A temperatura ambiente è un solido cristallino incolore, con odore e sapore caratteristici, una sua caratteristica peculiare è la conducibilità elettrica; infatti, è stato impiegato come tracciante nelle prove di portata.

Fluoresceina ($C_{20}H_{12}O_5$)

La Fluoresceina sodica, o Uranina, è un composto chimico prodotto per condensazione a caldo di resorcina e anidride ftalica; si scioglie facilmente in acqua ed è fortemente fluorescente, grazie a questa proprietà viene utilizzata come tracciante durante le prove di portata.

4.2 METODI D'INDAGINE

Le indagini svolte nell'area del fiume Aspio possono essere distinte in prove in situ, di laboratorio e digitalizzazione ed elaborazione dati.

Le indagini che verranno analizzate di seguito sono state svolte a partire dal mese di Aprile 2021 fino al mese di Settembre 2021; in questo modo è stato possibile confrontare i risultati ottenuti, il clima risulta infatti un fattore determinante.

4.2.1.Prove in situ

Durante le uscite in campagna, nella zona interna al bacino d'interesse, sono state realizzate diverse prove, che sono state descritte nei paragrafi successivi.

4.2.1.1. Raccolta provini

La fase di raccolta dei provini consiste nell'estrazione di campioni di terreno per scopi di laboratorio, quali le analisi granulometriche; è stata svolta nel sito del Betelico (campo pozzi di VivaServizi).

Con l'ausilio di una trivella meccanica si effettua il prelievo di campioni di terreno a diverse profondità fino a 180 cm, con intervalli discreti di 30 cm. I sei provini ottenuti si inseriscono nei sacchetti ermetici richiudibili come mostrato in *Figura 4.2.1*.



Figura 4.2.1 Campioni di terreno raccolti

4.2.1.2. Misure di portata

Portata volumetrica

La portata volumetrica, Q , rappresenta una grandezza fisica, indica il volume di fluido, V , che attraversa una sezione in un certo intervallo di tempo, Δt ; si calcola con la seguente formula: $Q = \frac{V}{\Delta t}$.

L'unità di misura può essere m^3/s oppure l/s , nelle nostre prove abbiamo adottato la seconda.

La prova in campagna è stata svolta il 28 Luglio 2021 nella zona di Vallemiano, la misura è stata poi ripetuta il 23 e il 28 Settembre 2021.

Gli strumenti necessari sono un secchio di plastica graduato e un cronometro; per prima cosa si sceglie un punto del corso d'acqua accessibile facilmente.

Una volta sicuri che tutta l'acqua che scorre riesca ad essere presa dal secchio (*Figura 4.2.2*), si fa partire il cronometro fermandolo dopo un intervallo di tempo prestabilito, il secchio viene poi svuotato in un cilindro graduato e si annota il livello (*Figura 4.2.3*). Si ripete la misura per tre volte, poi si fa la media per ottenere un risultato accettabile.

Esempio: Vallemiano 23/09/2021

Misura	Tempo (s)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	30	9.85	0.328
2	30	10.78	0,359
3	30	10.89	0,363

Media = 0,35 l/s



Figura 4.2.2 Prelievo di portata



Figura 4.2.3 Misura del volume di acqua

Portata con metodo geometrico

Nei canali aperti è possibile calcolare attraverso il metodo geometrico la portata che transita attraverso la sezione; sono infatti note sia la geometria di quest'ultima che delle relazioni tra alcune caratteristiche dimensionali.

Nel caso di Vallemiano, la sezione presenta una forma trapezoidale (*Figura 4.2.4*), la formula da utilizzare per calcolare la portata è l'equazione di Gauckler-Strickler per moto uniforme:

$$Q = kA R_H^{2/3} S_o^{1/2}$$

Q=portata da determinare (m³/s)

k=coefficiente di scabrezza (m/s)

A= area liquida (m²)

R_H= raggio idraulico (m)=P/A

S_o= pendenza del fondo (m/m)

(Borga M., 2013-2014, slide 1-3)



Figura 4.2.4 Sezione trapezia del Fosso di Vallemiano

Portata con tracciante fluoresceina

La misura di portata, nel sito di Vallemiano il 28/09/21, è stata effettuata anche mediante l'utilizzo di un tracciante organico artificiale, la fluoresceina (vedi *Paragrafo 4.1.4*).

La prima fase della prova è la taratura della sonda fluorimetrica (descritta nel *Paragrafo 4.1.2*): si immerge in un contenitore con acqua naturale del fiume, il cosiddetto bianco, che corrisponde alla concentrazione nulla e poi si immerge in una concentrazione

nota di fluoresceina , pari a 100 ppb (ml/l) (*Figura 4.2.5*) . A questo punto la sonda può essere posizionata nella sezione di valle del corso d'acqua.

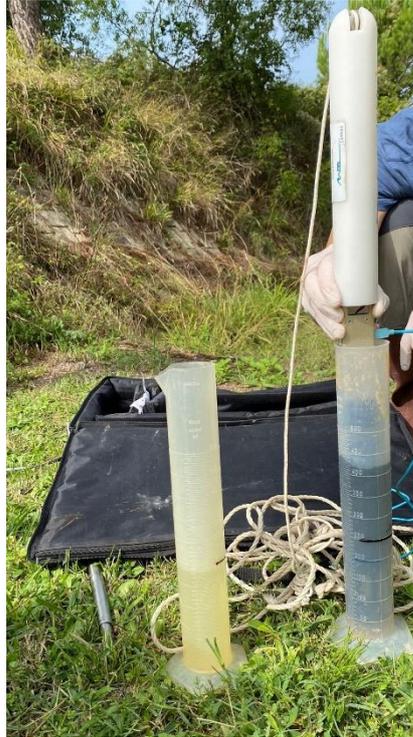


Figura 4.2.5 Taratura della sonda fluorimetrica

Il passo successivo è la scelta della distanza tra il punto di immissione (monte) e la sezione di valle, per garantire una corretta miscelazione del tracciante.

Successivamente si scioglie il quantitativo di fluoresceina preparato in laboratorio, in questo caso 0.24g, in un secchio contenente acqua del fiume, come mostrato in *Figura 4.2.6* , e si procede allo sversamento dal punto stabilito (*Figura 4.2.7*), segnando l'orario.



Figura 4.2.6 Miscelazione della fluoresceina in acqua di fiume



Figura 4.2.7 Immissione del tracciante nel corso d'acqua

Quando tutto il tracciante ha attraversato la sezione di valle, si rimuove la sonda, si scaricano i dati collegandola con un cavo USB al computer; si ottiene così una curva di restituzione del tracciante, in cui è possibile osservare l'andamento della concentrazione di fluoresceina nel tempo.

Portata con soluzione salina

Tale metodo di misura si adotta nei casi in cui la forte turbolenza e/o i bassi tiranti idrici non consentono la misura della portata con metodi invasivi (es. mulinelli), come nel caso del Fosso di Vallemiano.

Infatti, in data 28/09/2021, è stata realizzata una misura di portata mediante soluzione salina. Per prima cosa è stato posizionato il Diver CTD, descritto nel *Paragrafo 4.1.1*, precedentemente programmato; poi è stata calcolata, mediante apposite formule, la distanza di 'buon mixaggio', ovvero la distanza che deve intercorrere tra il punto di immissione e il punto di misura, tale da garantire l'adeguata miscelazione tra soluto immesso e solvente. Si procede poi preparando una soluzione (*Figura 4.2.8*), con 327 g di Cloruro di Sodio sciolti in 5 litri di acqua del fiume, che viene sversata dal punto stabilito per l'immissione (*Figura 4.2.9*), annotando l'orario.



Figura 4.2.8 Miscelazione del Cloruro di Sodio con acqua del fiume



Figura 4.2.9 Versamento della soluzione salina nel torrente

Quando tutta la soluzione salina avrà attraversato la stazione di misura, la sonda verrà tolta e verranno scaricati i dati, successivamente verranno elaborati, ricavando la misura della portata.

L'immissione istantanea in alveo di una quantità nota di un tracciante solubile in acqua (NaCl) determina la rapida diluizione della sostanza ed una conseguente variazione della conducibilità elettrica dell'acqua del torrente, rilevabile grazie al conducimetro (Diver CTD). Considerando un legame lineare tra concentrazione e conduttività, è quindi possibile ricavare la portata sulla base della curva di variazione della conduttività della soluzione.

4.2.1.3. Prova infiltrometrica

La prova infiltrometrica simula le condizioni di effettivo drenaggio del terreno e viene utilizzata per definire sperimentalmente i coefficienti di permeabilità del terreno.

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione di tale prova è essenzialmente un infiltrometro a doppio anello (*Paragrafo 4.1.1*), un diver (*Paragrafo 4.1.2*) collegato ad un'asta di metallo, un'elevata quantità di acqua e degli strumenti agricoli (*Paragrafo 4.1.1*).

Di seguito si descrive la prova svolta nel campo pozzi di VivaServizi, nel sito del Betelico (Ancona), in data 26 Luglio 2021.

Per prima cosa è necessario rendere il terreno idoneo alla prova, quindi pianeggiante e privo di impurità (foglie, rami, pietre, ...); si prendono poi i due anelli metallici che vengono posizionati in maniera concentrica (*Figura 4.2.10*) e vengono infissi nel terreno

per una profondità di circa 10 cm, attraverso l'ausilio di una piastra a forma di croce e una mazza battente (*Figura 4.2.11*).



Figura 4.2.10 Posizionamento anelli



Figura 4.2.11 Infissione anelli

Successivamente si inserisce la staffa reggi sonda nell'anello più piccolo, incastrandola negli appositi punti e si lega ad essa il trasduttore di pressione, in modo che

la punta di questo sia il più possibile vicino al terreno, senza toccarlo (*Figura 4.2.12*).
Precedentemente il sensore è stato programmato per raccogliere dati ogni 5 sec.

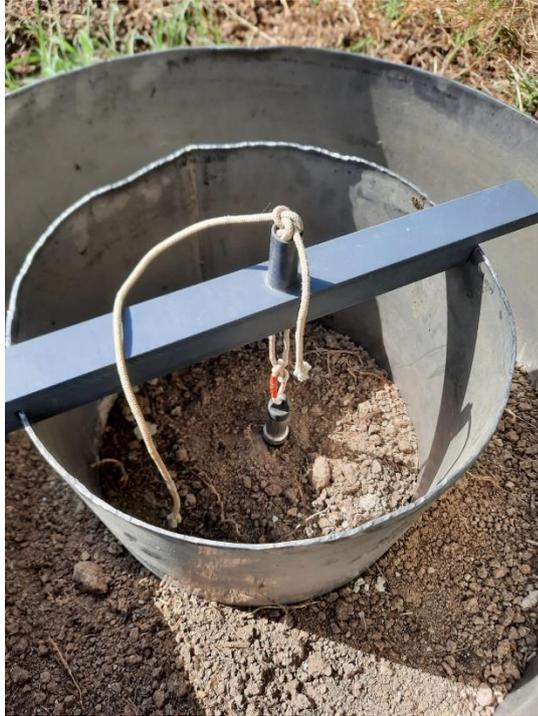


Figura 4.2.12 Posizionamento trasduttore di pressione

Si procede poi riempiendo di acqua i due anelli contemporaneamente con le taniche, fino a sommergere la sonda, saturando tutto il volume al loro interno, come mostrato in *Figura 4.2.13*. In funzione del tipo di terreno e quindi della sua permeabilità si rimbocca l'acqua negli anelli ogni volta che il livello è sceso notevolmente.



Figura 4.2.13 Riempimento del doppio anello con acqua

Durante la prova il tirante idrico viene mantenuto identico nei due anelli. L'anello esterno ha la funzione di ridurre al minimo la componente orizzontale del flusso idrico; mentre quello interno confina il suolo destinato alla prova di infiltrazione. (Zimbone, 2008-2009, slide)

La prova si considera conclusa quando il livello del battente idrico nell'anello interno non scende più in maniera significativa, risulta quasi impercettibile, il terreno sottostante risulterà quindi saturo.

A questo punto è possibile togliere la sonda, scaricare i dati ed elaborarli su fogli di calcolo excel; verranno poi tolti anche i due anelli e si cercherà di riportare il terreno alle condizioni antecedenti la prova.

4.2.2. Prove di laboratorio

Tali prove sono state eseguite nel dipartimento SIMAU (Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente e Urbanistico), presso l'Università Politecnica delle Marche, in particolare nel Laboratorio di Idrogeologia applicata e di Geotecnica.

Nei paragrafi successivi verranno descritte le due prove che sono state realizzate, ovvero la determinazione del contenuto di umidità e l'analisi granulometrica, col fine di ricavare la curva granulometrica. Entrambe le prove fanno riferimento ai campioni di terreno estratti nel sito del Betelico, come descritto nel *Paragrafo 4.2.1.1.*

4.2.2.1. Contenuto di umidità

Questa prova si esegue su campioni umidi, cioè i sei provini prelevati a diverse profondità, che sono stati trasferiti in laboratorio grazie a sacchetti ermetici.

Per prima cosa vengono tarate le vaschette di alluminio, sono poi prelevati da ogni sacchetto circa 200 g di terreno per essere messi nelle vaschette (*Figura 4.2.14*) e si annota il peso della vaschetta con il campione.



Figura 4.2.14 Vaschette di alluminio contenenti campioni di terreno umido

Successivamente i campioni vengono messi in forno a 105°C, per 24 ore (*Figura 4.2.15*), al fine di garantire la corretta evaporazione del contenuto di acqua presente.



Figura 4.2.15 Provini inseriti in forno a 105° per 24 ore

Al termine di questo arco di tempo il campione essiccato viene pesato nuovamente, si ottiene così il peso lordo secco. È importante che la fase di pesatura avvenga subito dopo l'estrazione dei provini dal forno; infatti, se quest'ultimi fossero esposti a lungo all'aria acquisirebbero l'umidità dell'ambiente circostante, rendendo così inutilizzabili i dati ottenuti.

Tutte le misure eseguite, attraverso specifiche formule, verranno utilizzate per determinare l'umidità del provino nei capitoli successivi, dedicati all'elaborazione dei dati.

4.2.2.2. Analisi granulometrica per vagliatura

L'analisi granulometrica consente di raggruppare in diverse classi di grandezza le particelle costituenti il terreno in esame e di determinare successivamente (paragrafo successivo) le percentuali in peso di ciascuna classe riferendole al peso secco del campione iniziale.

In particolare, i provini analizzati in laboratorio hanno subito un processo di vagliatura, la normativa di riferimento per tale prova è l'ASTM D6913, i granuli trattenuti

hanno un diametro superiore dell'apertura dell'ultimo setaccio, il n° 200 ASTM, che corrisponde a un diametro dei granuli di 0.075 mm; di seguito verrà descritta la procedura.

Preparazione setacci

Secondo la normativa di riferimento i setacci utilizzati per questa prova hanno la seguente apertura delle maglie e il seguente ordine nella pila:

- I. 8.0 mm (setaccio n° 5/6'' ASTM)
- II. 4.0 mm (setaccio n° 5 ASTM)
- III. 2.8 mm (setaccio n° 7 ASTM)
- IV. 2.0 mm (setaccio n° 10 ASTM)
- V. 1.0 mm (setaccio n° 18 ASTM)
- VI. 710 µm (setaccio n° 25 ASTM)
- VII. 425 µm (setaccio n° 40 ASTM)
- VIII. 250 µm (setaccio n° 60 ASTM)
- IX. 149 µm (setaccio n° 100 ASTM)
- X. 75 µm (setaccio n° 200 ASTM)

Preparazione provini

I campioni di terreno, essiccati in forno (procedura descritta nel *Paragrafo 4.2.2.1*), sono molto addensati, risulta quindi difficoltoso il passaggio fra le maglie dei setacci. La soluzione adottata è di aggiungere alle vaschette una soluzione disperdente: il sodio esametafosfato in soluzione, con dosaggio di 5 g per litro di acqua aggiunta (*Figura 4.2.16*).

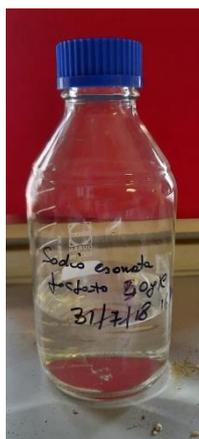


Figura 4.2.16 Soluzione di sodio esametafosfato

Si aspetta poi che il campione diventi lavorabile, con una spatola per vaschetta si procede alla separazione delle particelle, fino a che non si giunga alla consistenza in

Figura 4.2.17. È bene accertarsi che non vi siano residui di materiale sulle spatole perché costituirebbe una perdita, alterando la distribuzione granulometrica.



Figura 4.2.17 Campione di terreno sciolto con sodio esametfosfato

Vagliatura

Si prendono i setacci e si dispongono in pila uno sopra all'altro, dall'apertura più grande (setaccio 5/6'' ASTM) a quella più piccola (setaccio 200 ASTM), sopra una vasca di metallo (*Figura 4.1.3*); si versa il primo campione di terreno, facendo attenzione a non lasciare residui nella vaschetta mediante l'ausilio di uno spruzzino con acqua e delle spatole.

Si procede poi sciacquando con acqua e muovendo i granuli presenti nel primo setaccio (*Figura 4.2.18*) in questo modo quelli con una dimensione maggiore rispetto alle maglie verranno trattenuti, mentre quelli più piccoli passeranno al setaccio successivo.



Figura 4.2.18 Lavaggio del trattenuto di un setaccio mediante spruzzino, con ausilio di una spatola

Il setaccio con il trattenuto privo di residui di terreno viene messo in forno a circa 80°C affinché si asciughi. Tale procedimento viene ripetuto fino all'ultimo setaccio.

Il passante al setaccio n°200, che viene raccolto in una vasca di metallo, non è oggetto di indagine nella prova svolta, viene quindi trascurato e buttato via.

Al termine della vagliatura tutti i setacci sono disposti in forno, non appena asciutti vengono pesati, sarà quindi possibile ottenere il peso secco del trattenuto per sottrazione (Figura 4.2.19).

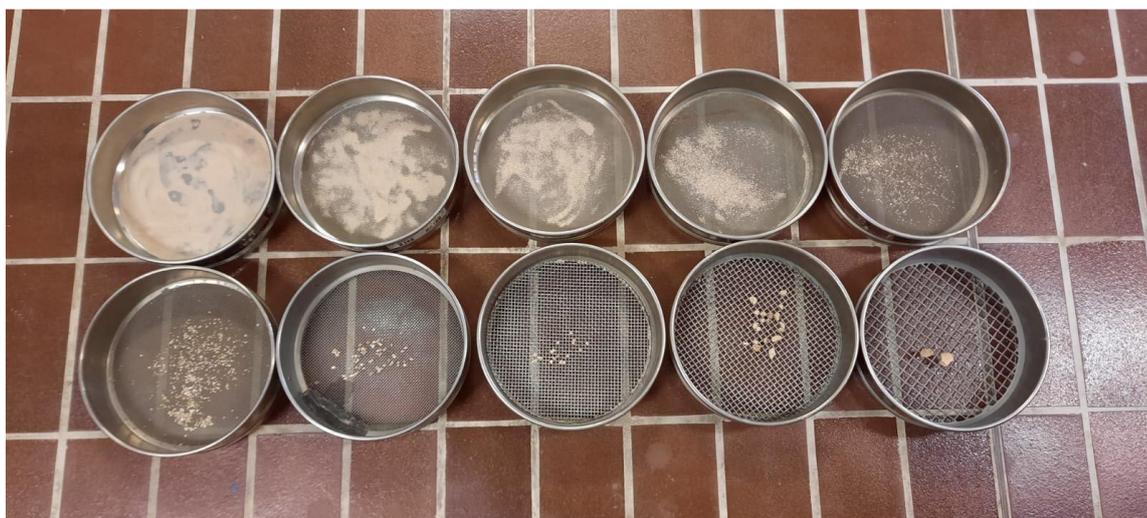


Figura 4.2.19 Setacci con trattenuto secco

Fondamentale risulta anche il rapporto in massa del trattenuto a ogni setaccio rispetto al totale secco che determinerà poi la percentuale di passante a quell'apertura della

maglia; si potrà quindi predisporre una curva di distribuzione della dimensione dei granuli del campione, giungendo al compimento dello scopo preposto.

Questa procedura è stata svolta per i sei campioni di terreno, prelevati nel sito del Betelico.

4.2.3. Digitalizzazione ed elaborazione dati

Dopo aver svolto le uscite in campagna e le prove di laboratorio è stato possibile, mediante software (già elencati al *Paragrafo 4.1.3*), digitalizzare ed elaborare i dati raccolti, sfruttando le loro capacità di calcolo e l'elevata precisione, i risultati di tali elaborazioni sono stati riportati nel capitolo seguente.

4.2.3.1. Dati idrometrici e pluviometrici

Per la determinazione dei dati di pioggia e livello idrometrico si accede al portale del SIRMIP online, descritto precedentemente al *Paragrafo 4.1.3*, si ricercano i sensori più vicini al bacino idrografico del Fiume Aspio; per i dati idrometrici si fa riferimento alle stazioni di Svarchi, Crocette e Aspio Terme, per i dati pluviometrici alle stazioni di Svarchi, Baraccola, Ancona-Regione e Osimo Monteragolo.

Sono stati scaricati, come fogli di calcolo Excel, i dati giornalieri del livello idrometrico e di pioggia dal 01/01/2015 al 01/09/2020 per tutte le stazioni prese in considerazione; dopo aver ripulito i dati da quelli non necessari, sono stati inseriti in un grafico che ha come ascissa le date giornaliere e come ordinata il livello o la pioggia.

Sono poi stati uniti i grafici annuali sia delle stazioni idrometriche, che pluviometriche per osservare l'andamento complessivo e rilevare i picchi comuni.

È stato possibile studiare eventi meteorici che hanno interessato le tre stazioni idrometriche, abbinate alle stazioni pluviometriche più vicine (Svarchi-Svarchi, Crocette-Svarchi, Aspio Terme-Osimo Monteragolo); gli eventi esaminati sono stati in vari periodi dell'anno per evidenziare la variabilità stagionale delle piogge e delle conseguenti piene, in particolare per l'autunno il picco del 10/10/15, per l'inverno il 17/01/17 e per la primavera il 23/03/16.

4.2.3.2. Permeabilità

La procedura per calcolare la permeabilità del terreno si basa sull'utilizzo del programma Excel, col fine di realizzare un grafico contenente una retta che interpola dei punti. In seguito alla prova infiltrometrica vengono scaricati i dati del DIVER, mediante il software apposito, Diver Office (*Paragrafo 4.1.3*). Dai dati grezzi si ottengono, dopo parziali scremature, i dati necessari con i quali creare un grafico; mediante la funzione 'Linea di tendenza' di Excel è possibile ottenere la retta che interpola nel miglior modo i

dati posseduti (R^2 prossimo all'unità). Da quest'ultima, con un semplice passaggio matematico, si determina il K_{sat} (m/s), cioè il coefficiente di permeabilità del terreno preso in esame. Si effettua questa elaborazione per entrambe le prove infiltrometriche svolte nel sito del Betelico in stagioni differenti (estate/autunno).

4.2.3.3. Curve granulometriche

La costruzione delle curve granulometriche è normata dall'ASTM, per mezzo di file Excel si inseriscono i dati ottenuti dall'analisi granulometrica (al *Paragrafo 4.2.2.2*); il fine è ottenere una curva che tenga conto delle varie frazioni granulometriche (ghiaia, sabbia, limo, argilla), presenti all'interno del campione di terreno esaminato. La redazione della curva viene effettuata per ogni campione di terreno prelevato nel sito del Betelico, procedura già descritta nel *Paragrafo 4.2.2.1*.

4.5.3.4. Portata con tracciante

Il calcolo della portata nella prova con fluoresceina e con il sale segue lo stesso procedimento; una volta scaricati i dati dai sensori, questi vengono riportati in un foglio di calcolo Excel e vengono inseriti in un grafico che ha come ascissa il tempo e come ordinata la concentrazione/conducibilità, la forma che assume è quella di una gaussiana. La portata viene calcolata facendo il rapporto fra l'area sottesa al grafico e la massa di tracciante immesso.

4.2.3.5. Scala di deflusso

La scala di deflusso è la relazione che lega la portata e il livello idrometrico; i dati di livello sono scaricati da un trasduttore di pressione, mentre i dati di portata sono ricavati utilizzando diversi metodi, elencati al *Paragrafo 4.2.1.2*; questi vengono inseriti in un file Excel rispettivamente lungo l'ascissa e l'ordinata, sfruttando la funzione 'Linea di Tendenza' si interpolano i punti ottenendo una retta (R^2 prossimo all'unità), questa è proprio la scala di deflusso. Tale procedura è stata svolta per il sito di Vallemiano, i dati idrometrici provengono da un diver gestito dall'Università, mentre quelli di portata dalle prove in situ e da elaborazioni.

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel seguente Capitolo sono elencati e commentati i risultati ottenuti dalle indagini effettuate nel bacino del Fiume Aspio, ai fini di avere un corretto monitoraggio per la previsione e la prevenzione del rischio idrogeologico.

5.1. UMIDITÀ E GRANULOMETRIA

L'individuazione delle caratteristiche del terreno e del contenuto d'acqua presente nel suolo forniscono un ulteriore strumento per comprendere come le precipitazioni possano trasformarsi in un aumento del livello idrometrico in un fiume e quindi come contribuiscano alla formazione degli eventi di piena.

Le informazioni che si ricavano, se associate ad una rete di monitoraggio (precipitazioni e livelli idrometrici) possono essere sfruttate per la previsione e la gestione del rischio idrogeologico

Vengono riportate di seguito le varie tabelle e i grafici utili alla determinazione dell'umidità e della granulometria dei provini rappresentativi il terreno studiato.

5.1.1. Umidità

Sono illustrate in *Tabella 1* le caratteristiche dei provini raccolti nel Campo Pozzi del T. Betelico di Viva Servizi, procedura descritta nel capitolo precedente al *Paragrafo 4.2.2.1*; sono state riportate tutte le varie pesature eseguite in laboratorio al fine di determinare la percentuale di umidità contenuta nel terreno.

Campione	Tara (g)	Lordo umido (g)	Netto umido (g)	Netto secco (g)	Contenuto acqua	w (%)
0-30 cm	11.34	223.34	212	149.14	62.86	30%
30-60 cm	11.35	219.1	207.75	153.44	54.31	26%
60-90 cm	11.31	215.11	203.8	150.83	52.97	26%
90-120 cm	12.47	214.64	202.17	144.39	57.78	29%
120-150 cm	12.44	223.24	210.8	153.19	57.61	27%
150-180 cm	12.46	221.05	208.59	147.99	60.6	29%

Tabella 1

L'umidità percentuale viene calcolata in funzione del peso umido e del peso secco (dopo essiccazione a 105°C) del provino, mediante la seguente formula:

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

5.1.2. Granulometria

Si elencano di seguito le curve granulometriche ottenute dalla setacciatura per ogni campione di terreno esaminato, prelevato ad intervalli discreti di 30 cm fino ad una profondità di 180 cm (metodologia riportata nel *Paragrafo 4.2.2.2*), dalla *Figura 5.1.1* a *5.1.6*; inoltre dalla *Tabella 2* alla *7* sono riportati i risultati della prova granulometrica.

5.1.2.1. Campione 0-30 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6''	8	459.8	464.77	4.97	3.332439319	96.6675
5	4	448.79	455.98	7.19	4.820973582	91.8465
7	2.8	375.14	377.79	2.65	1.776853963	90.0697
10	2	424.79	427.39	2.6	1.743328416	88.3264
18	1	453.33	457.01	3.68	2.46748022	85.8589
25	0.71	343.85	346.06	2.21	1.481829154	84.3770
40	0.425	302.4	306.02	3.62	2.427249564	81.9498
60	0.25	285.14	289.57	4.43	2.970363417	78.9794
100	0.149	387.98	393.51	5.53	3.707925439	75.2715
200	0.075	269	379.72	110.72	74.2389701	1.0325

Tabella 2 Risultati prova granulometrica campione 0-30 cm

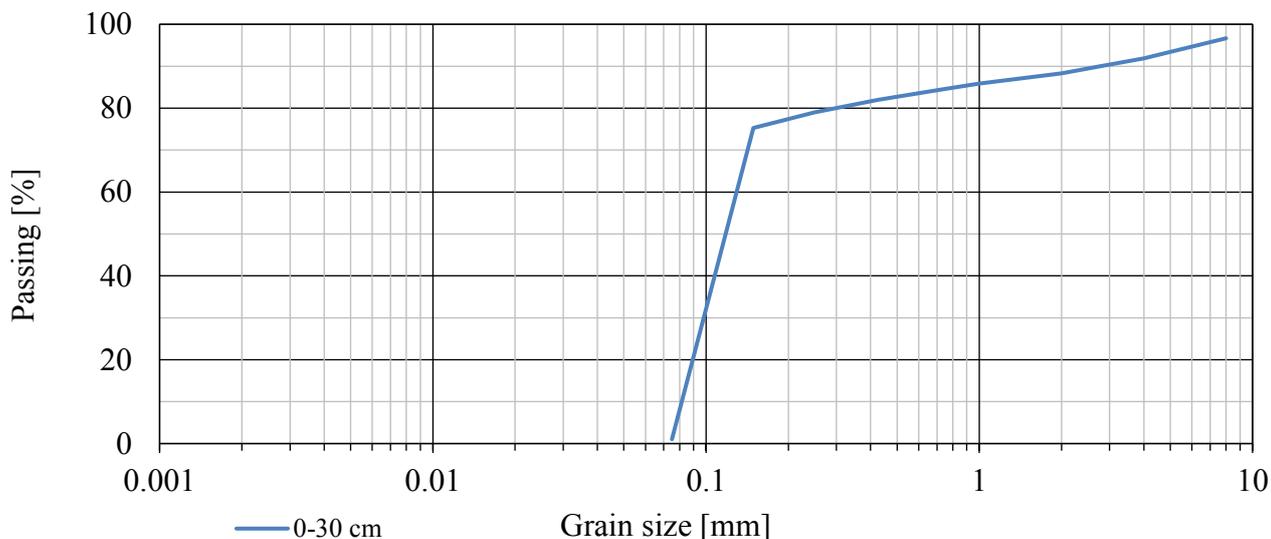


Figura 5.1.1 Curva granulometrica del provino prelevato a 0-30 cm di profondità

5.1.2.2. Campione 30-60 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6''	8	459.8	465.72	5.92	3.85818561	96.1418
5	4	448.8	453.12	4.32	2.815432742	93.3263
7	2.8	375.12	380.06	4.94	3.219499479	90.1068
10	2	424.73	427.62	2.89	1.883472367	88.2234
18	1	453.39	458.32	4.93	3.212982273	85.0104

25	0.71	343.86	346.17	2.31	1.505474453	83.5049
40	0.425	302.4	306.25	3.85	2.509124088	80.9958
60	0.25	285.14	289.65	4.51	2.939259645	78.0565
100	0.149	387.98	393.42	5.44	3.54535975	74.5112
200	0.075	259.87	279.5	19.63	12.79327424	61.7179

Tabella 3 Risultati prova granulometrica campione 30-60 cm

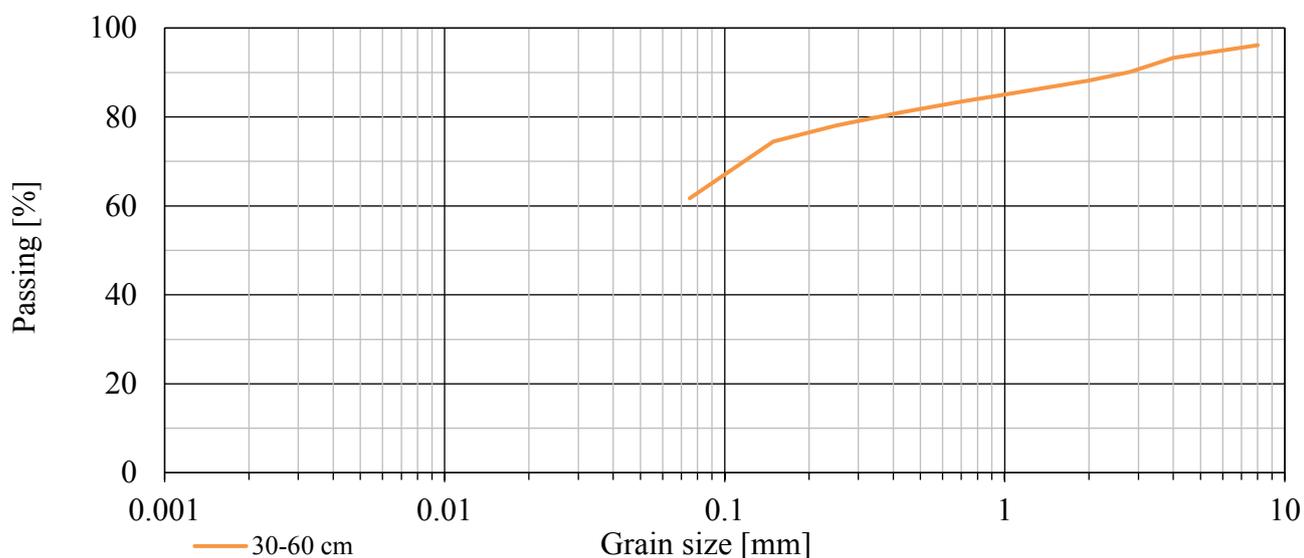


Figura 5.1.2 Curva granulometrica del provino prelevato a 30-60 cm di profondità

5.1.2.3. Campione 60-90 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6"	8	459.89	462.37	2.48	1.644235232	98.3558
5	4	448.83	453.81	4.98	3.301730425	96.6983
7	2.8	375.1	377.99	2.89	1.916064443	98.0839
10	2	424.69	426.88	2.19	1.451965789	98.5480
18	1	453.42	455.34	1.92	1.272956308	98.7270
25	0.71	343.86	345.87	2.01	1.332626135	98.6674
40	0.425	302.39	305.75	3.36	2.22767354	97.7723
60	0.25	285.26	296.55	11.29	7.485248293	92.5148
100	0.149	388.29	397.72	9.43	6.252071869	93.7479
200	0.075	269.04	278.47	9.43	6.252071869	93.7479

Tabella 4 Risultati prova granulometrica campione 60-90 cm

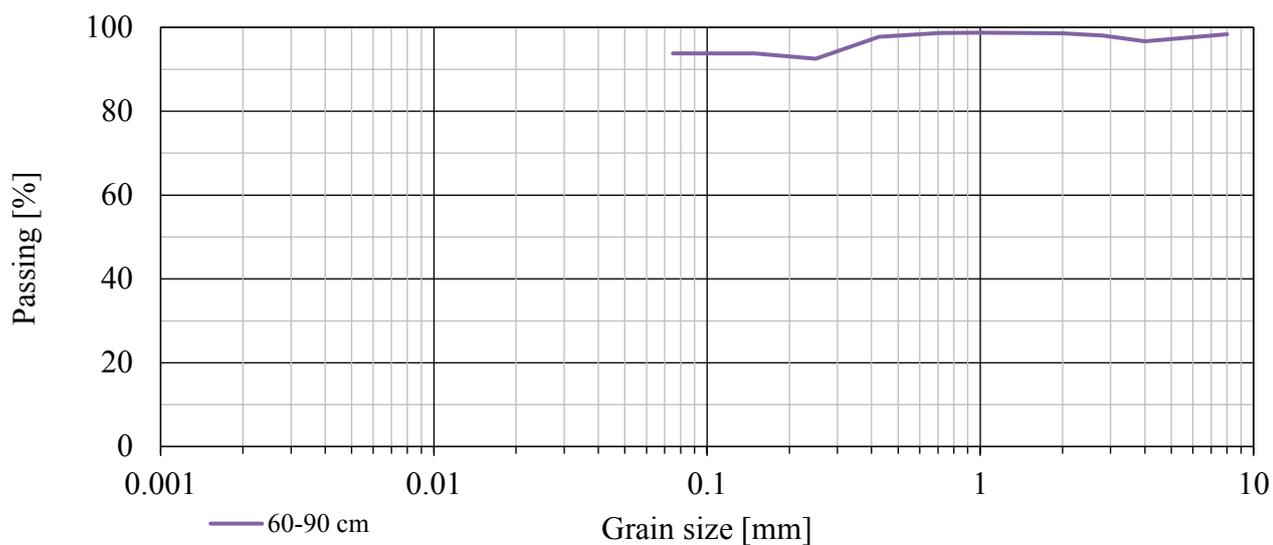


Figura 5.1.3 Curva granulometrica del provino prelevato a 60-90 cm

5.1.2.4. Campione 90-120 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6"	8	460.09	462.78	2.69	1.863009904	98.1369
5	4	448.92	451.77	2.85	1.973820902	96.1631
7	2.8	375.09	376	0.91	0.630237551	95.5329
10	2	424.66	425.55	0.89	0.616386176	94.9165
18	1	453.48	455.47	1.99	1.378211788	93.5383
25	0.71	343.88	344.59	0.71	0.491723804	93.0466
40	0.425	302.38	303.97	1.59	1.101184293	91.9454
60	0.25	285.23	287.38	2.15	1.489022786	90.4564
100	0.149	388.83	392.15	3.32	2.299328208	88.1570
200	0.075	269.03	277.89	8.86	6.136159014	82.0209

Tabella 5 Risultati prova granulometrica campione 90-120 cm

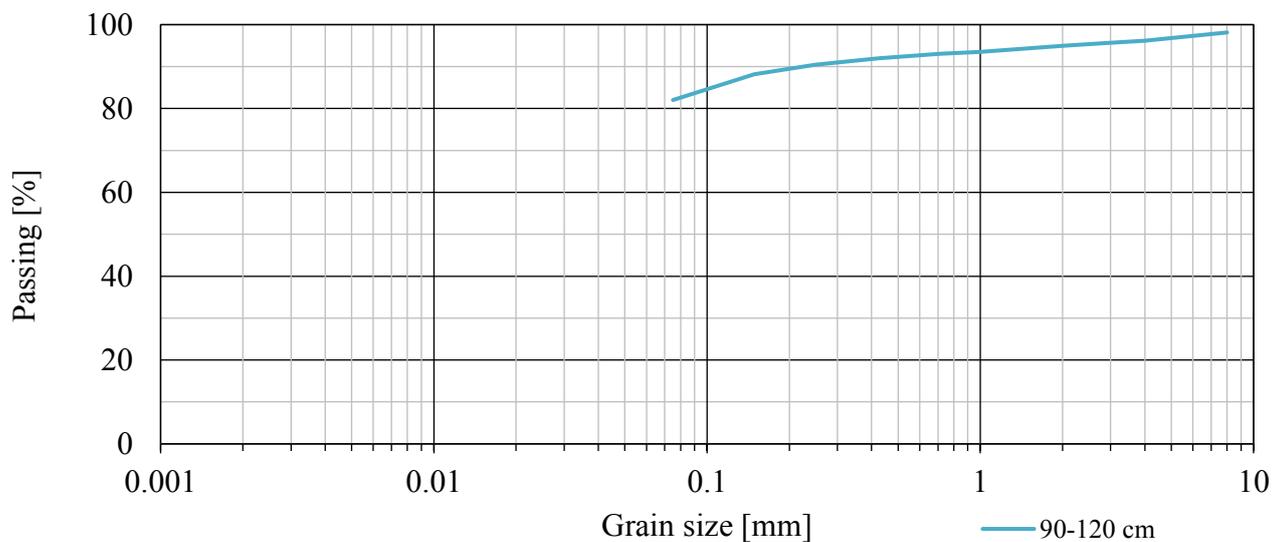


Figura 5.1.4 Curva granulometrica del provino prelevato a 90-120 cm

5.1.2.5. Campione 120-150 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6''	8	459.86	470.22	10.36	6.762843528	93.2371
5	4	448.88	452.04	3.16	2.062797833	91.1743
7	2.8	375.05	376.19	1.14	0.744173902	90.4301
10	2	424.65	425.73	1.08	0.705006854	89.7251
18	1	453.68	455.11	1.43	0.933481298	88.7916
25	0.71	343.81	344.71	0.9	0.587505712	88.2041
40	0.425	302.34	303.89	1.55	1.011815393	87.1923
60	0.25	285.15	287.17	2.02	1.318623931	85.8737
100	0.149	387.95	390.76	2.81	1.834323389	84.0394
200	0.075	269	276.78	7.78	5.078660487	78.9607

Tabella 6 Risultati prova granulometrica campione 120-150 cm

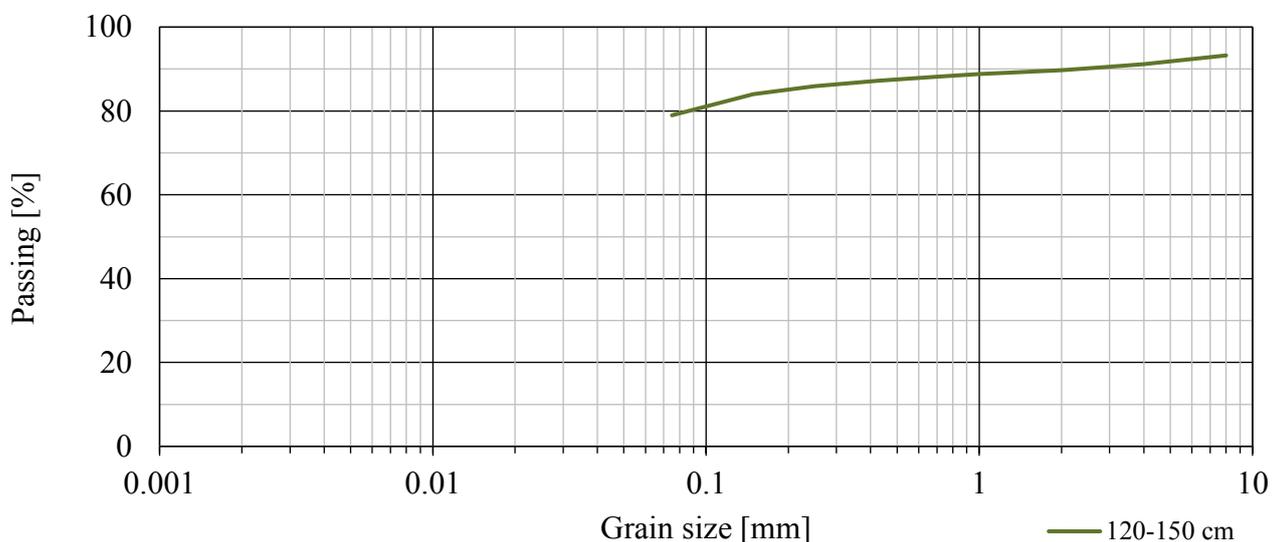


Figura 5.1.5 Curva granulometrica del provino prelevato a 120-150 cm

5.1.2.6. Campione 150-180 cm

n° setaccio	Dim. setaccio (mm)	Tara (g)	Lordo secco (g)	Netto secco (g)	Trattenuto %	Passante%
5/6''	8	459.85	463.97	4.12	2.78397189	97.2160
5	4	448.83	452.41	3.58	2.41908237	94.7969
7	2.8	375.02	375.59	0.57	0.38516116	94.4117
10	2	424.66	425.74	1.08	0.729779039	93.6820
18	1	453.53	455.71	2.18	1.473072505	92.2089
25	0.71	343.81	344.97	1.16	0.783836746	91.4250
40	0.425	302.33	304.62	2.29	1.547401851	89.8776
60	0.25	285.16	287.48	2.32	1.567673491	88.3100
100	0.149	387.87	391.11	3.24	2.189337117	86.1206
200	0.075	268.94	278.07	9.13	6.169335766	79.9513

Tabella 7 Risultati prova granulometrica campione 150-180 cm

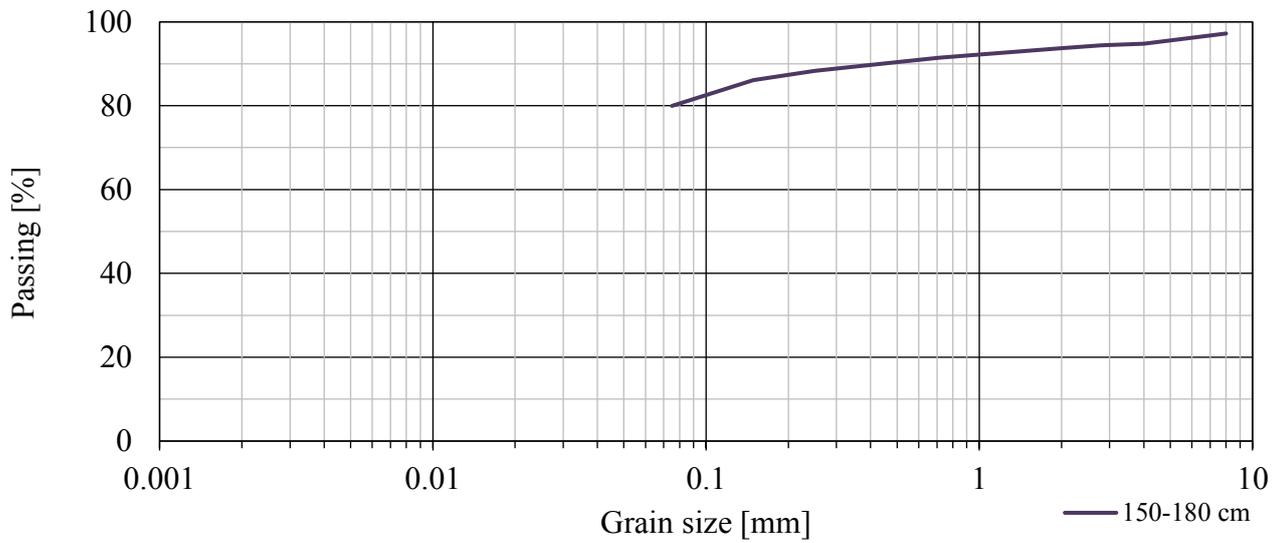


Figura 5.1.6 Curva granulometrica del provino prelevato a 150-180 cm

5.1.2.7. Curve granulometriche a confronto

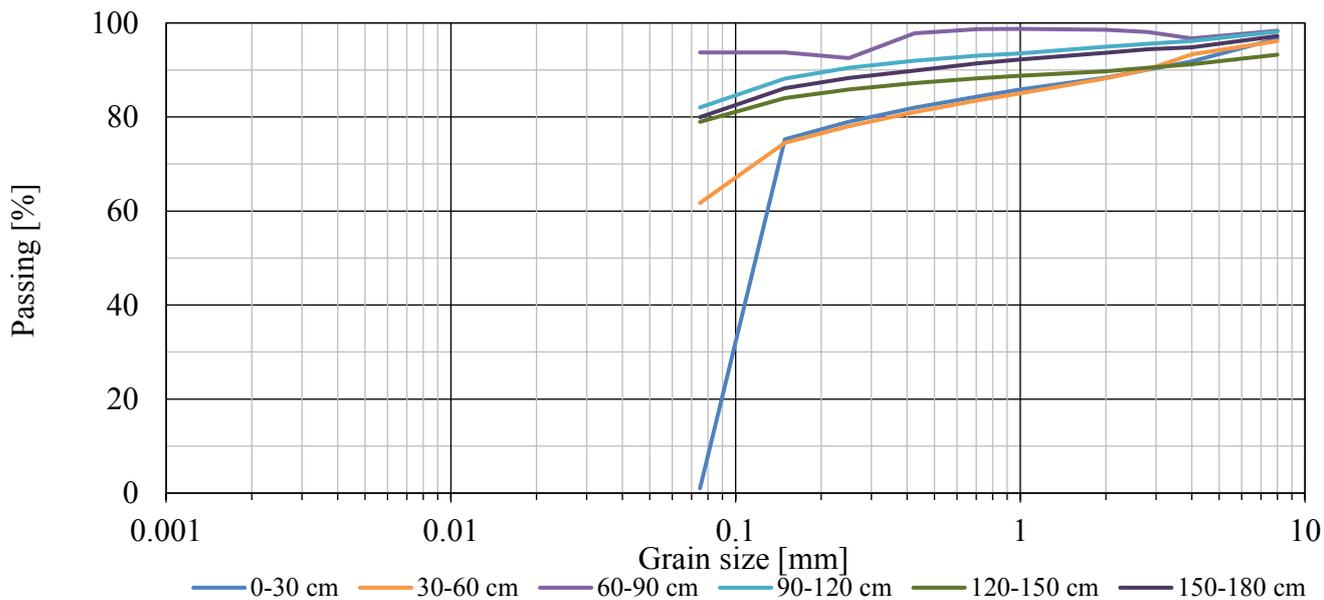


Figura 5.1.7 Unione delle curve granulometriche in un unico grafico

Questi grafici sono costruiti inserendo nell'asse delle ordinate le diverse percentuali di passante ai setacci utilizzati (%), mentre in ascissa l'apertura delle maglie dei setacci utilizzati (mm), ottenendo così le curve mostrate sopra.

Dall'unione di queste ultime, in *Figura 5.1.7*, si può notare che il campione 0-30 cm ha una granulometria di tipo grossolano, il passante al setaccio 200 ASTM è circa zero; mentre gli altri campioni hanno un passante sempre superiore al 60%, sono quindi

caratterizzati da una granulometria di tipo fine. In particolare, il campione 60-90 cm ha un passante pari al 94%, risulta quindi costituito dalla frazione più fine, mentre il campione 30-60 cm, con un passante del 62% dalla frazione meno fine.

5.2. PERMEABILITÀ

Il coefficiente di permeabilità del suolo è importante per definire le caratteristiche di infiltrazione e per definire la parzializzazione dei singoli eventi piovosi in infiltrazione e ruscellamento. Si riportano di seguito i grafici delle prove infiltrometriche (*Paragrafo 4.2.1.3*) svolte in data 28/07/2021 (*Figura 5.2.1*) e in data 28/09/2021 (*Figura 5.2.2*), dove si individua l'andamento del livello d'acqua sopra il sensore (cm) in funzione del tempo (hh:mm:ss); per entrambe le prove la sonda è stata settata in laboratorio per effettuare una misurazione ogni 5 s.

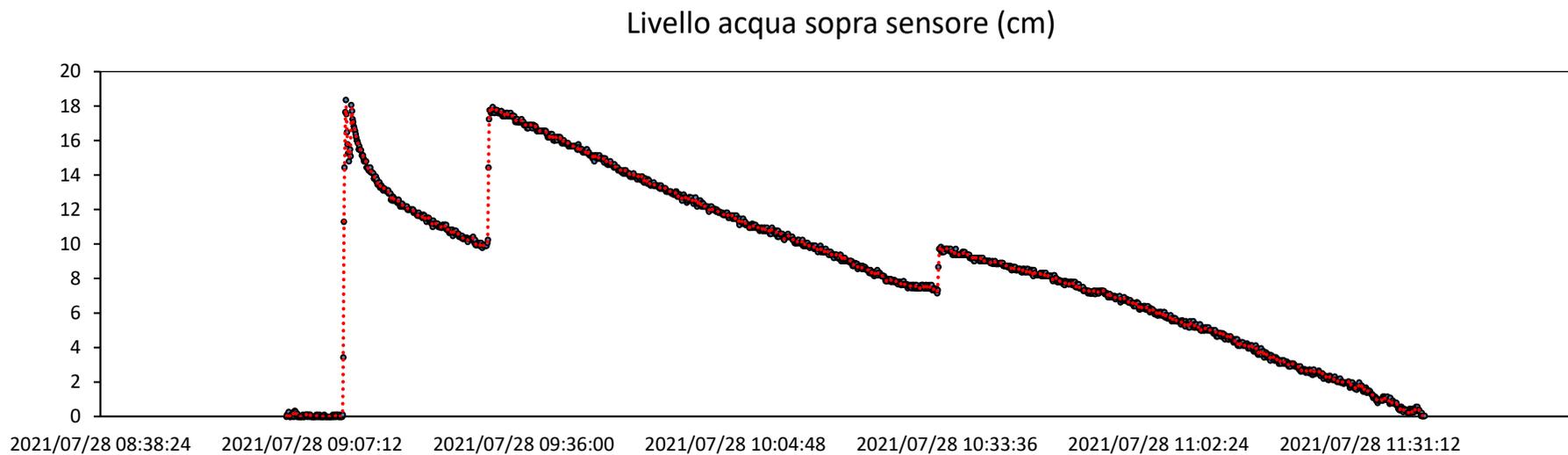


Figura 5.2.1 Grafico relativo alla prova infiltrometrica del 28/07/2021

Livello acqua sopra sensore (cm)

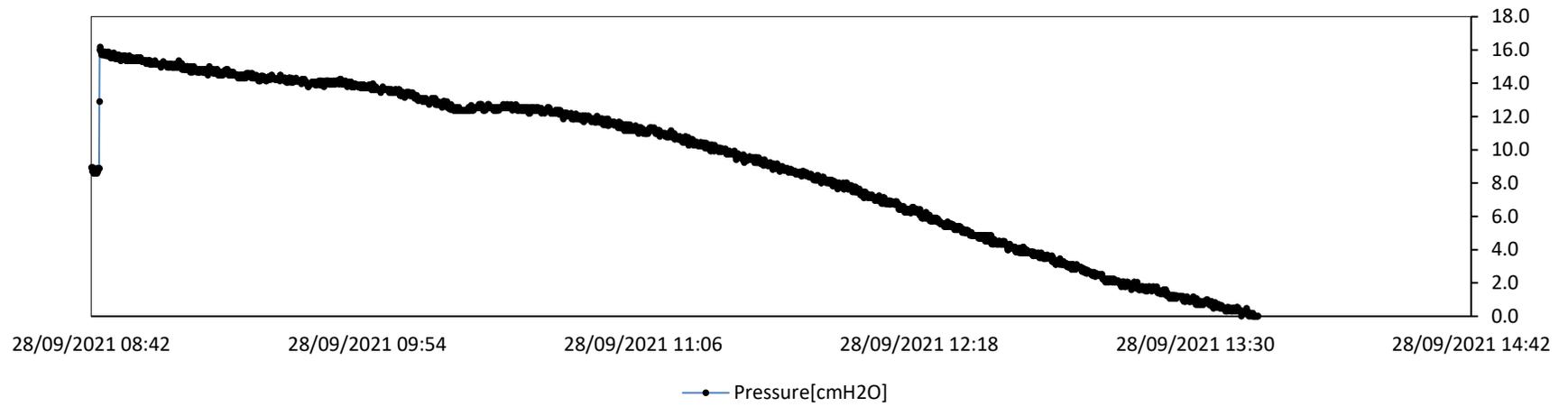


Figura 5.2.2 Grafico relativo alla prova infiltrometrica del 28/09/2021

granulometria del terreno, dai risultati dell'analisi granulometrica sappiamo che lo strato superficiale (0-30 cm) nel sito del Betelico è costituito da una frazione grossolana, possiamo quindi assumere che i coefficienti ottenuti dall'elaborazione dei dati sono coerenti ai valori teorici per questo tipo di terreno.

5.3. LIVELLI IDROMETRICI E PIOGGIE

Nel seguente Paragrafo sono inseriti i grafici relativi all'elaborazione dei dati idrometrici e pluviometrici, scaricati dal SIRMIP online, tale procedura è stata ampiamente descritta nel *Paragrafo 4.2.3.1*.

È essenziale capire la modalità con cui le precipitazioni influiscono sulle portate fluviali, ovvero sull'innalzamento del livello idrico. Solo trovando la correlazione fra questi due dati sarà possibile rilevare correttamente i parametri e i fattori che influiscono sul rischio da esondazione.

La soluzione più immediata è la ricostruzione dell'andamento del livello in funzione del tempo; al contrario non è sempre possibile costruire un idrogramma, cioè l'andamento della portata nel tempo, in quanto la misurazione della portata in continuo è un'operazione troppo onerosa, l'unica soluzione è la costruzione di una scala di deflusso, ottenendo così una misura della portata in maniera indiretta.

5.3.1. Grafici annuali

Sono riportati di seguito i grafici con dati annuali in relazione alle stazioni idrometriche e pluviometriche, rispettivamente abbinate per criterio di vicinanza, ovvero Svarchi-Svarchi (*Figura 5.3.1*), Crocette-Svarchi (*Figura 5.3.2*) e Aspio Terme-Osimo Monteragolo (*Figura 5.3.3*).

Inoltre, è stato inserito il grafico in *Figura 5.3.4*, che mostra l'unione dei dati idrometrici annuali delle tre stazioni prese in considerazione; in questo modo è possibile osservare i picchi di livello comuni che sono stati rilevati. In particolare, ne sono stati individuati tre, che verranno descritti successivamente.

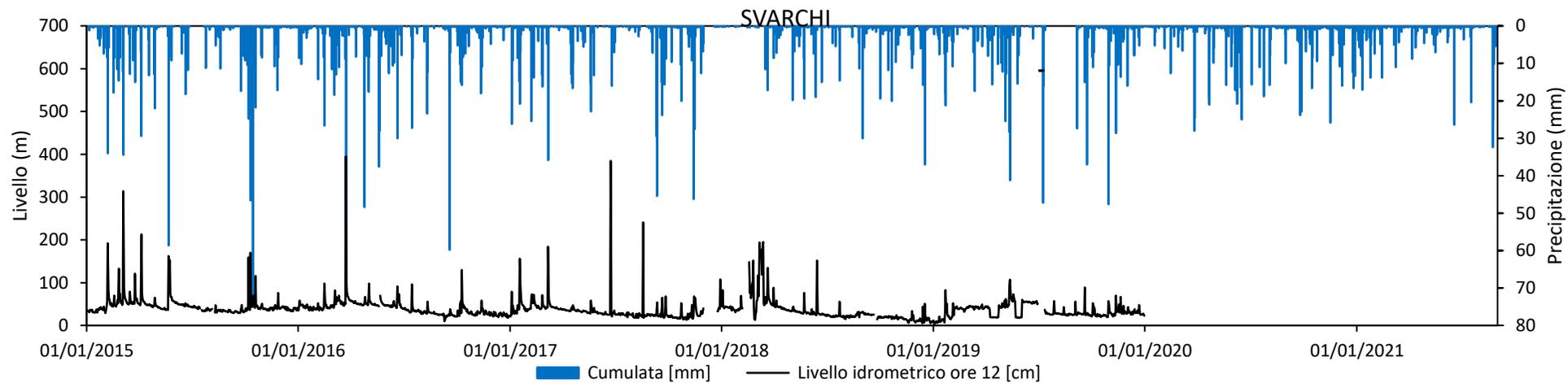


Figura 5.3.1

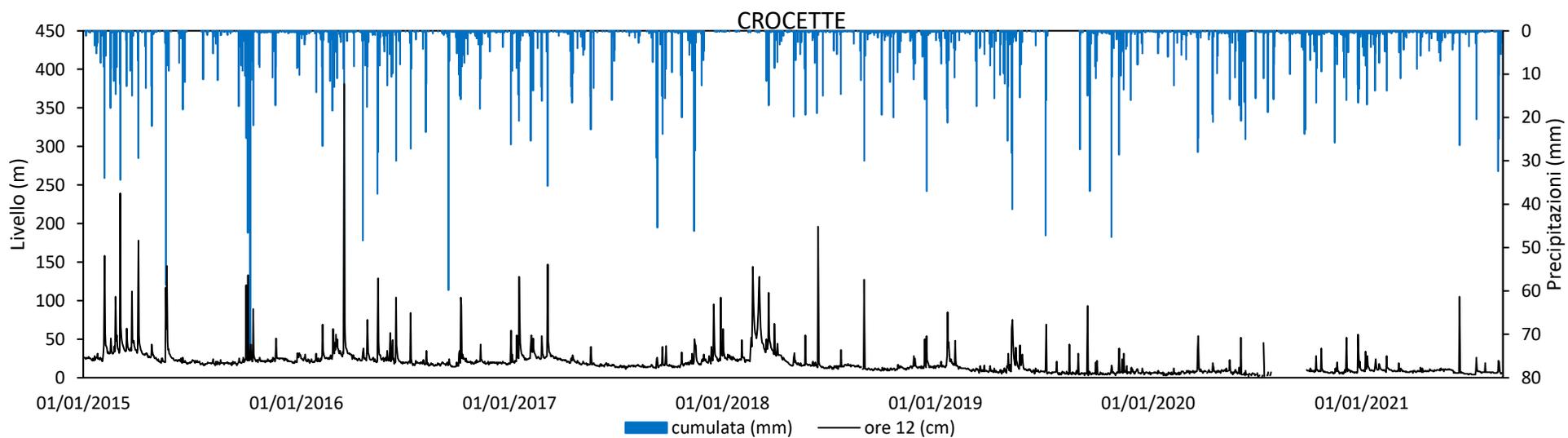


Figura 5.3.2

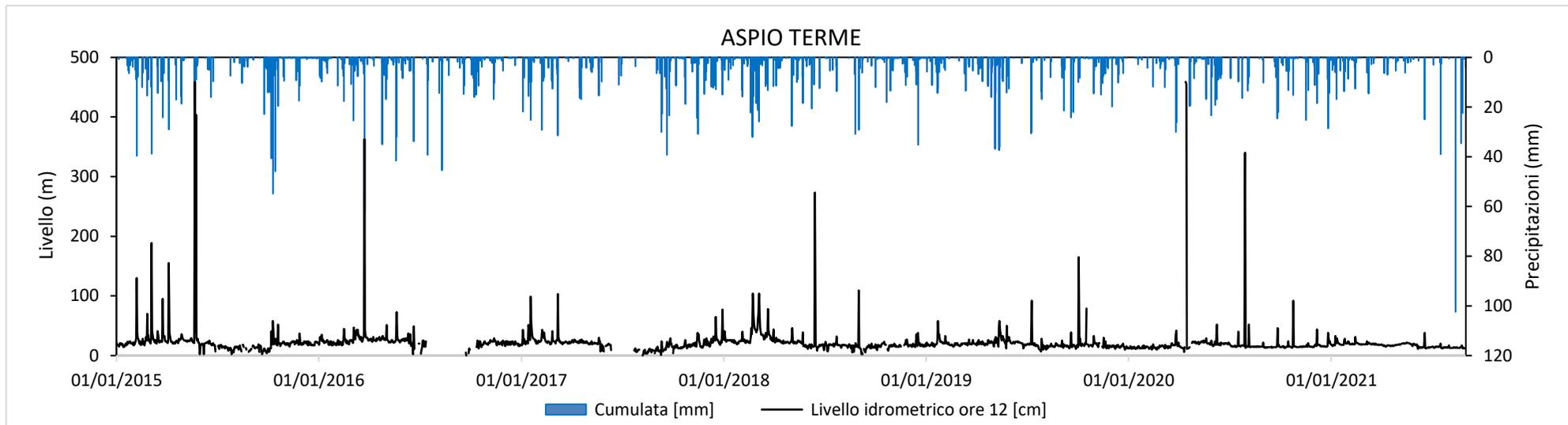


Figura 5.3.3

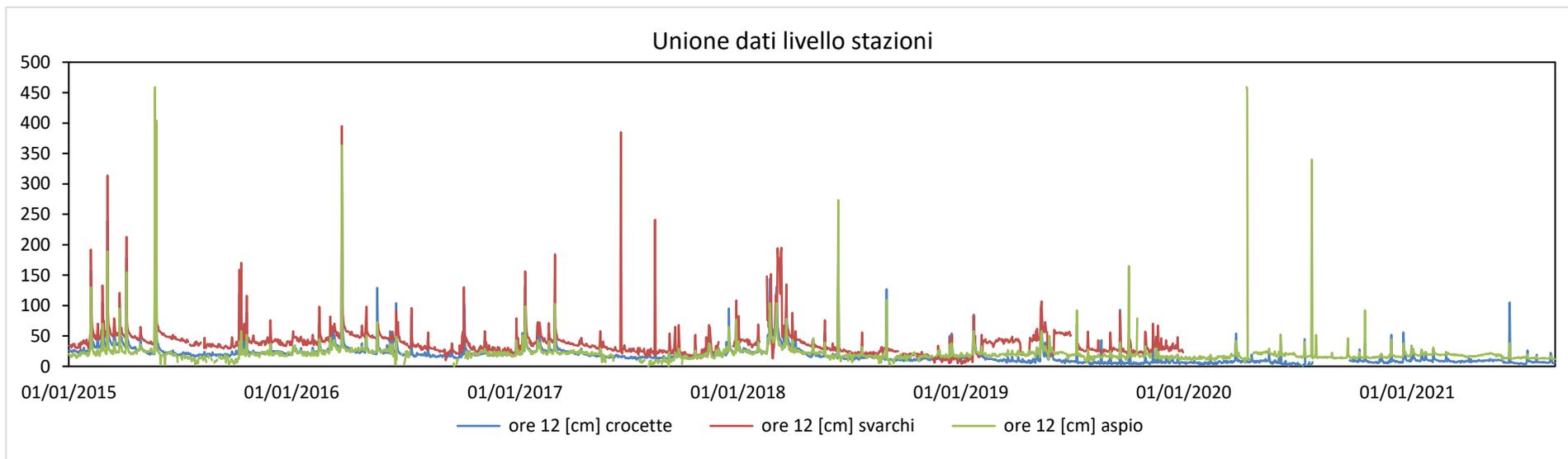


Figura 5.3.4

5.3.2. Grafici picchi

Come anticipato, sono mostrati di seguito i grafici ricavati dalla selezione di dati di pioggia e livello in riferimento a picchi comuni; le date interessate sono il 10/10/15 (dalla *Figura 5.3.5* alla *5.3.7*), il 23/03/16 (dalla *Figura 5.3.8* alla *5.3.10*) e il 17/01/17 (dalla *Figura 5.3.11* alla *5.3.13*), per ogni stazione scelta.

La prima data presa in considerazione è il 10/10/15, si osserva come il livello idrometrico più alto, 1.7 m, è stato rilevato dalla stazione di Svarchi, pur avendo il più piccolo dato massimo di pioggia, 5.8 mm; mentre la stazione di Aspio Terme ha rilevato il più basso livello idrometrico, 1.17 m, pur avendo il più alto dato massimo di pioggia, 8.8 mm.

La motivazione della diversa risposta del terreno alle precipitazioni deve essere ricercata nella sua distribuzione granulometrica, nella ricarica della falda, nell'umidità e nell'infiltrazione. Queste osservazioni verranno trattate in maniera più approfondita nella tesi di Palleri M. 'Analisi dei processi di infiltrazione nell'area del Monte Conero'.

La seconda data scelta è il 23/03/16, si nota come in tutte e tre i casi l'idrogramma abbia un andamento 'teorico', ovvero la precipitazione aumenta fino ad un massimo per poi diminuire e il livello, dopo un certo intervallo di tempo, definito tempo di risposta, raggiunge il picco, è evidente quindi il sia il ramo di crescita che di decrescita della piena.

L'ultima data presa in considerazione è il 17/01/17, studiando i dati elaborati si nota come l'evento di pioggia ha interessato anche il giorno precedente e quello successivo il picco; l'andamento del livello ha subito una crescita graduale fino ad un primo picco (massimo rilevato=1.72 m Svarchi), si osserva però che poi il livello non ha avuto tempo di tornare al suo regime di magra, perché le precipitazioni del 18/01/17 anche se inferiori di intensità hanno generato un nuovo picco, ovviamente minore del precedente.

L'analisi e le osservazioni fatte di questi tre eventi, anche se distribuiti negli anni, ci permette di capire la fondamentale importanza di un monitoraggio continuo e capillare del bacino di interesse, nel caso specifico, e in generale del territorio. Solo attraverso una rete di monitoraggio ben distribuita nel territorio è possibile avere un quadro della variabilità stagionale dell'andamento del livello idrometrico e delle correlazioni con gli eventi meteorici; in particolare in riferimento alla completezza dei dati; infatti, i sensori non sempre garantiscono un monitoraggio continuo a causa di possibili errori di misura o malfunzionamenti. Inoltre, risulta fondamentale l'analisi di singoli eventi di piena e della distribuzione di precipitazioni, livello di falda e umidità nel suolo prima, durante e dopo ciascun evento.

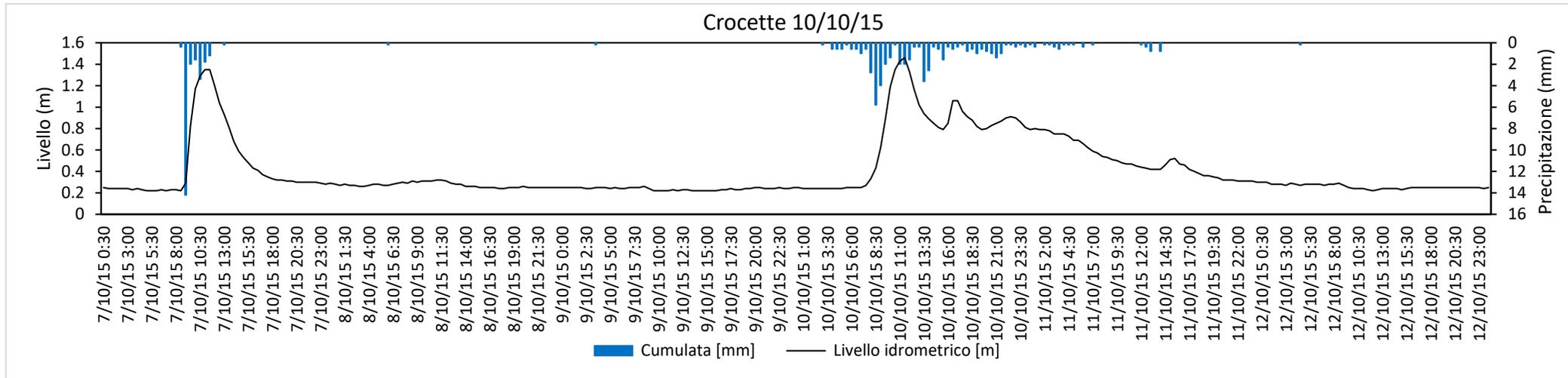


Figura 5.3.5

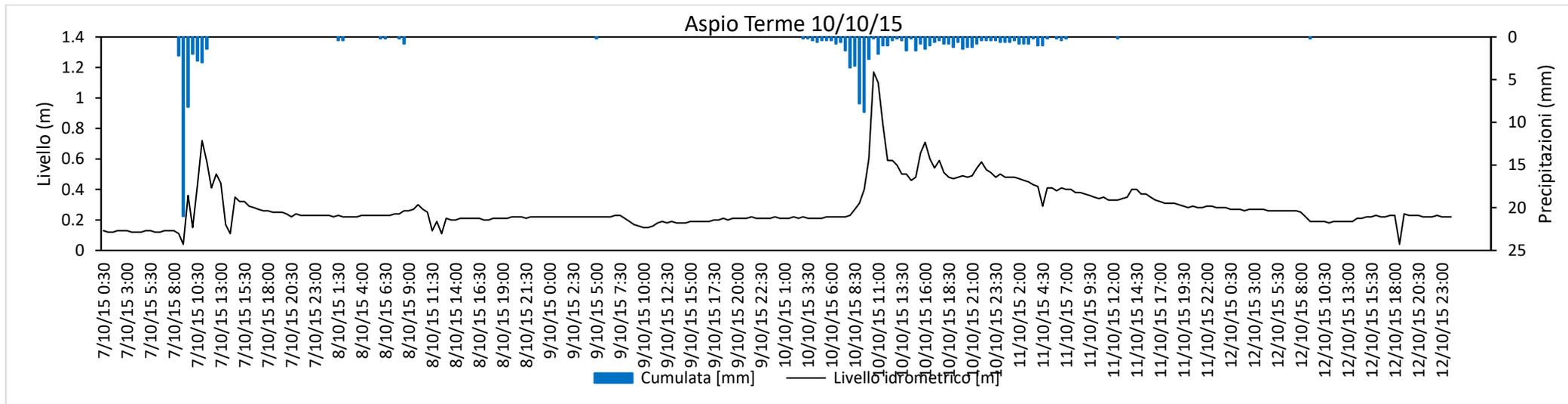


Figura 5.3.6

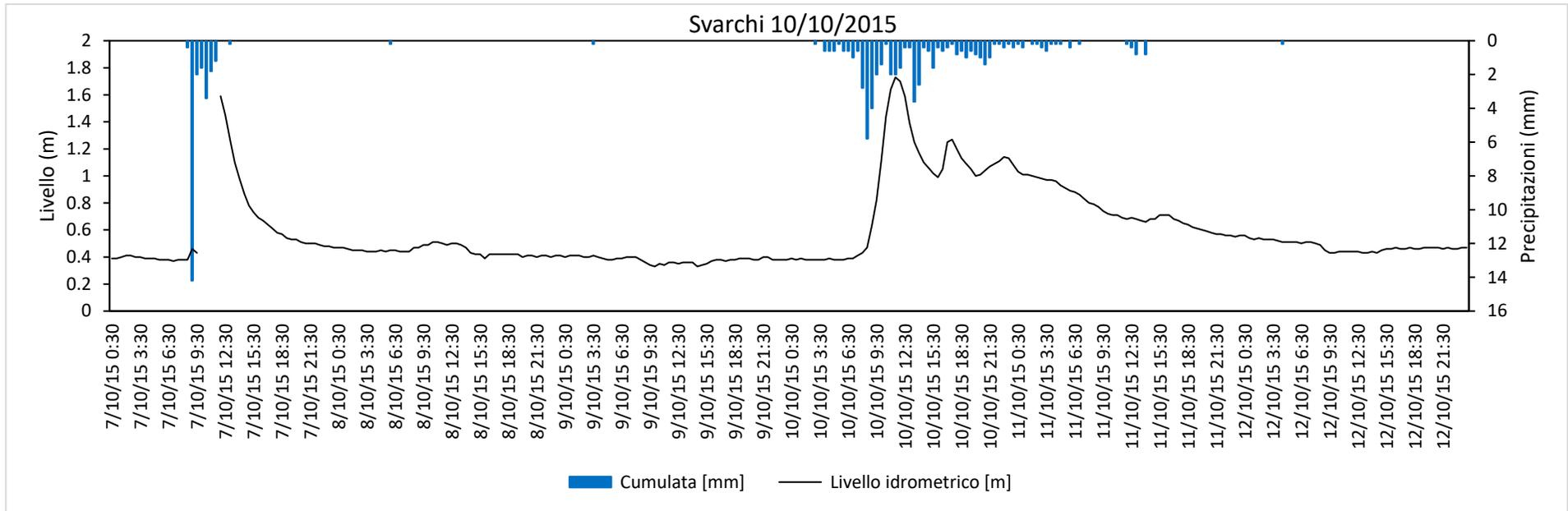


Figura 5.3.7

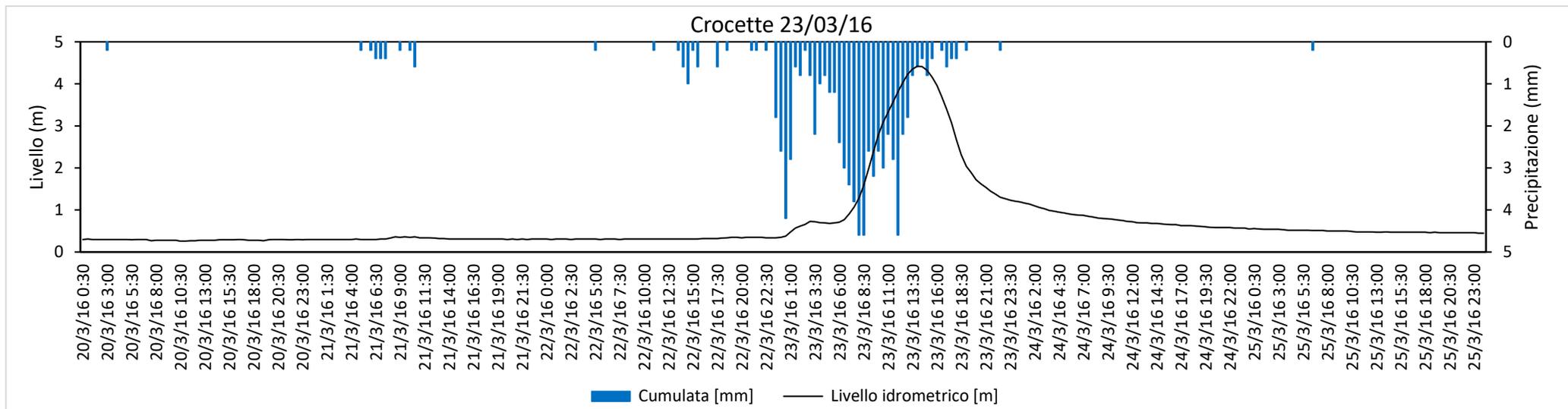


Figura 5.3.8

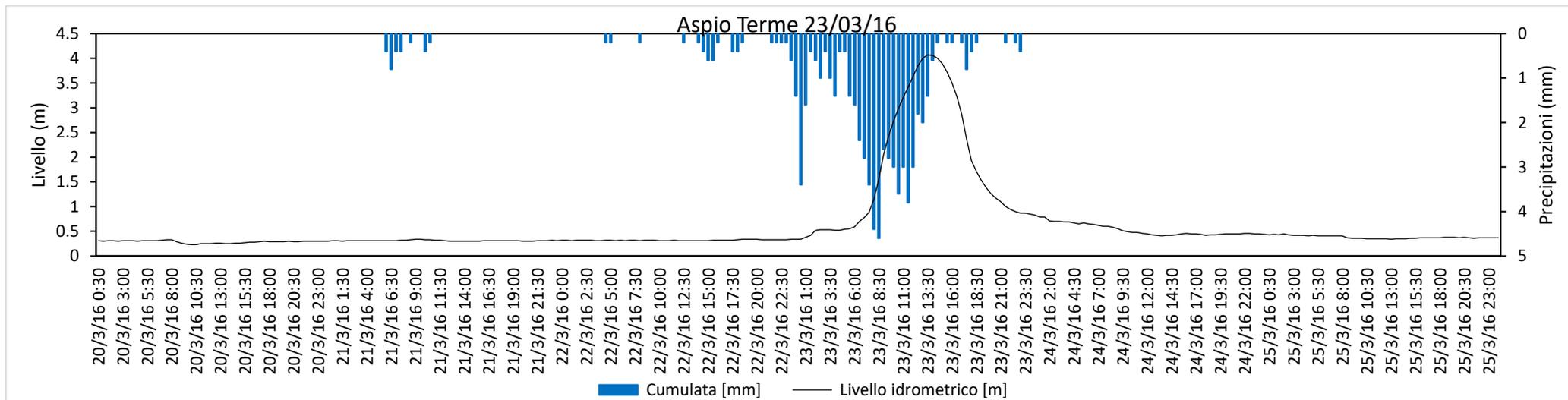


Figura 5.3.9

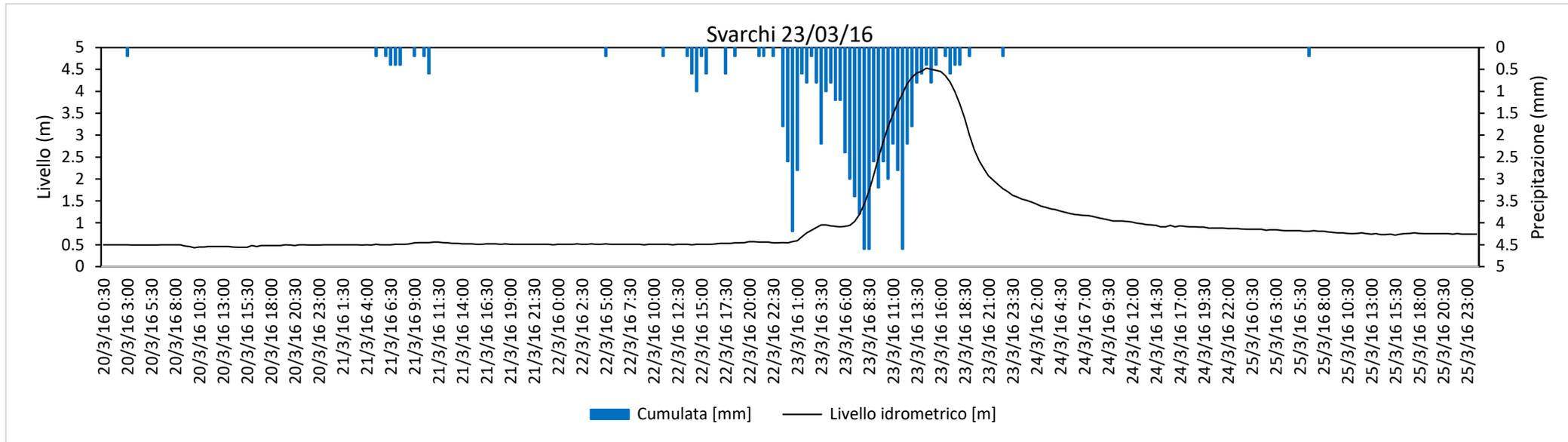


Figura 5.3.10

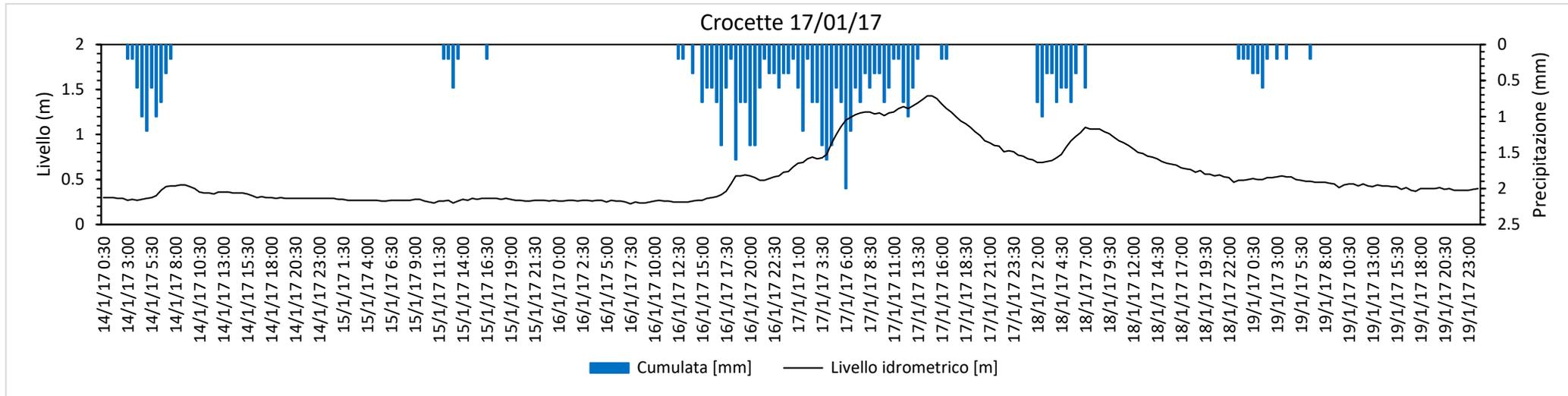


Figura 5.3.11

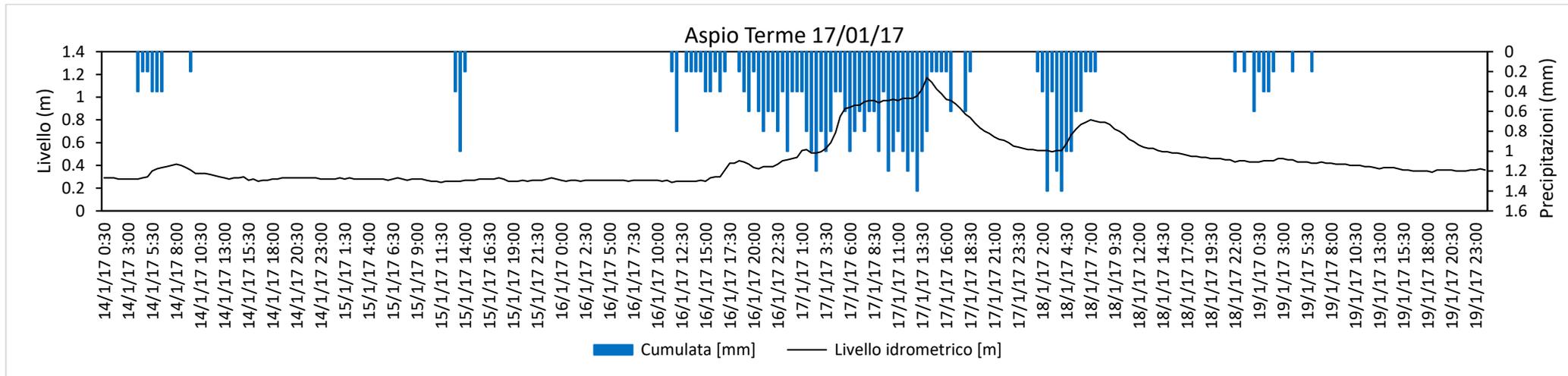


Figura 5.3.12

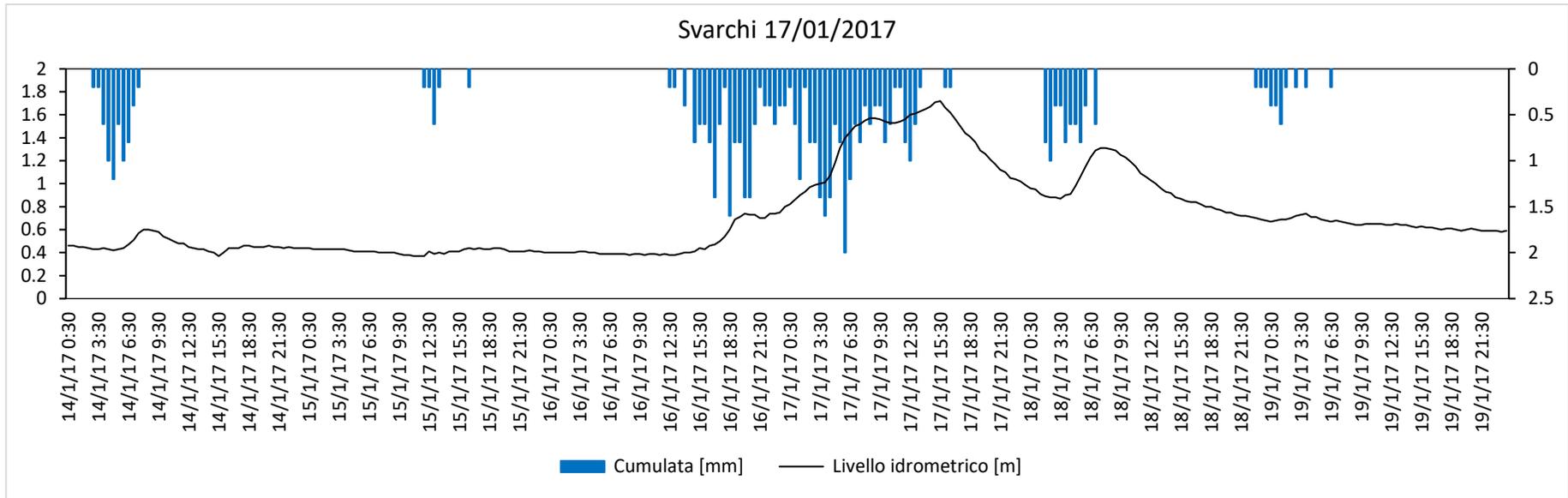


Figura 5.3.13

5.4. SCALA DI DEFLUSSO E PORTATE

Per l'analisi delle condizioni di rischio idrogeologico all'interno di un bacino spesso sono sufficienti dati di livello attendibili, con serie storiche significative; a volte però è necessario riferirsi a valori di portata, sia per effettuare valutazioni progettuali specifiche, sia per applicare modelli idrologici di previsione.

Come descritto nel *Paragrafo 4.2.3.5*, la scala di deflusso rappresenta l'andamento della portata in funzione del livello idrometrico, ed è necessaria per "trasformare" i valori di livello misurati in continuo dalle stazioni idrometriche in valori di portata; per la costruzione di questa è stato necessario, nel sito di Vallemiano, scaricare dati di livello e ottenere misure di portata, con le modalità elencate al *Paragrafo 4.2.1.2*.

5.4.1. Dati di portata

Portata volumetrica

I risultati che sono stati riportati si riferiscono alle seguenti date: 28 Luglio 2021 (*Tabella 8*), 23 Settembre 2021 (*Tabella 9*), 28 Settembre 2021 (*Tabella 10*).

Misura	Tempo (s)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	30	9.85	0.328
2	30	10.78	0.359
3	30	10.89	0.363
		Media	0.35

Tabella 8 Portata volumetrica del 28/07/2021 del Fosso di Vallemiano

Misura	Tempo (s)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	5	1.75	0.35
2	5	2.85	0.57
3	5	1.40	0.28
		Media	0.41

Tabella 9 Portata volumetrica del 23/09/2021 del Fosso di Vallemiano

Misura	Tempo (s)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	5	3.15	0.63
2	5	3.95	0.79
3	5	4.2	0.84

Media	0.75
-------	------

Tabella 10 Portata volumetrica del 28/09/2021 del Fosso di Vallemiano

Per controllare l'attendibilità di questi dati, in quanto il metodo volumetrico potrebbe essere affetto da errori (assenza di ostacoli lungo il percorso del fiume, possibilità di captare tutta l'acqua passante dalla sezione in esame, fattori climatici che possono influenzare la turbolenza nella sezione), sono stati utilizzati anche metodi differenti per il calcolo della stessa. **Metodo geometrico**

Come descritto nel paragrafo *Paragrafo 4.2.1.2*, si riporta il risultato del calcolo della portata avendo adottato $k=15$, per alvei torrentizi caratterizzati da perimetro bagnato e composto da segmenti a scabrezza differenziata; mentre il livello idrometrico scaricato in data 28/07/2021 risulta pari a 1 cm.

Vallemiano 28/07/2021

k	15 m ^{1/3}
A	0,0161 m ²
S _o	0,001 m/m
R _H	0,0097 m
Q	0,000347348 m ³ /s
	0,347348124 l/s

Tabella 11 Portata calcolata con metodo geometrico

Il risultato risulta coerente con la misura volumetrica eseguita nella stessa data.

Metodo con tracciante (NaCl):

In *Figura 5.4.1* è riportato il grafico ottenuto mediante la misurazione di portata con Cloruro di Sodio (*Paragrafo 4.2.1.2*), svolta in data 28/09/2021 nel sito di Vallemiano.

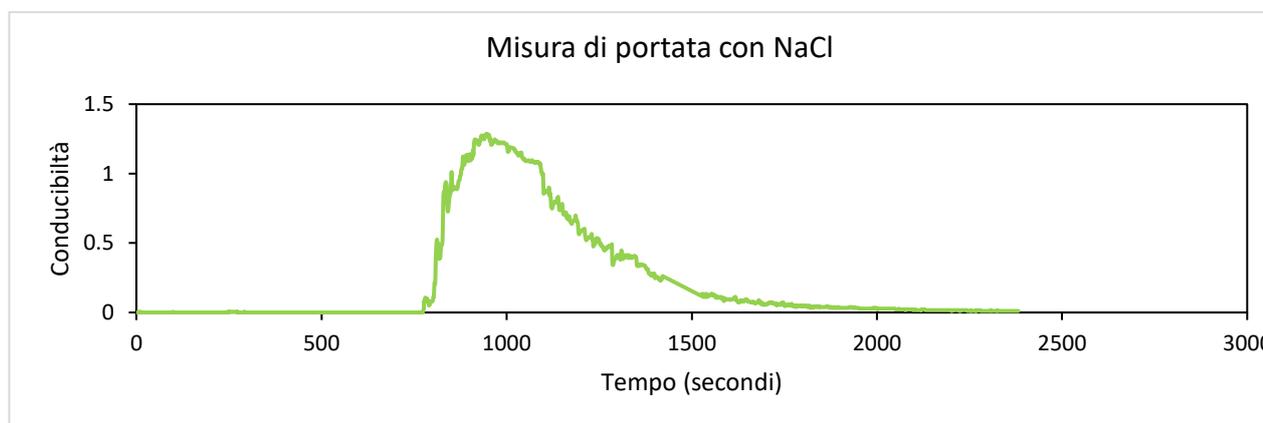


Figura 5.4.1 Andamento della conducibilità dell'acqua del fiume in funzione del tempo

In *Tabella 12*, si riporta il calcolo effettuato, utilizzando la seguente formula:

$$Q = \frac{\text{Massa del tracciante}}{\text{Area sottesa al grafico}}$$

Area sottesa al grafico	535.042765
Massa di tracciante (g)	327.72
Portata (l/s)	0,61

Tabella 12 Calcolo della portata con metodo del tracciante

Per ottenere la misura di portata da confrontare col valore della prova volumetrica in data 28/09/2021, si fa riferimento anche al valore ricavato dalla prova di portata con fluoresceina, descritta in maniera approfondita nella tesi di Palleri M. ‘Analisi dei processi di infiltrazione nell’area del Monte Conero’. La media tra la misura con fluoresceina, pari 0.88 l/s, e la misura con Cloruro di Sodio, pari a 0.61 l/s, risulta pari a 0.75 l/s, dato coerente con la portata volumetrica.

5.4.2. Grafico scala di deflusso

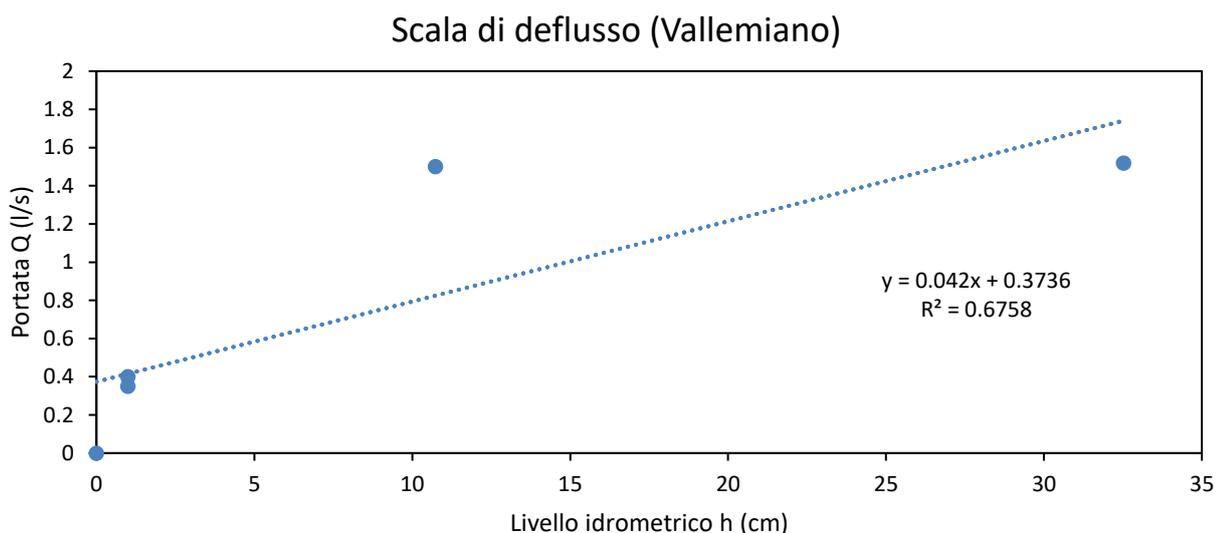


Figura 5.4.2 Scala di deflusso del sito di Vallemiano

La scala di deflusso, in *Figura 5.4.2*, è uno strumento utile per ricavare il valore della portata, noto il valore del livello idrometrico.

Se questa viene abbinata ad un set di dati di livello scaricati periodicamente, è possibile non solo conoscere la misura di portata in relazione ad un livello noto, ma è possibile conoscere il livello oltre il quale si potrebbe verificare una portata elevata, con conseguente piena/esondazione.

Risulta evidente, ancora una volta, come il monitoraggio continuo di un corso d'acqua ci fornisca uno strumento aggiuntivo alla prevenzione e alla protezione da fenomeni gravosi, che contribuirebbero al dissesto idrogeologico.

5.5. BANCA DATI

Un monitoraggio delle altezze idrometriche, delle portate, delle precipitazioni e dei livelli piezometrici è indispensabile per valutare tutti gli aspetti del rischio idrogeologico; risulta quindi essenziale possedere una banca dati aggiornata.

Nel seguente Paragrafo viene presentato un esempio di banca dati con più punti di misura, le stazioni interessate sono Vallemiano, Monteacuto e Betelico, per i dati di livello idrometrico e piezometrico, mentre per i dati pluviometrici Ancona-Regione, Baraccola e Monte Conero.

5.5.1. Stazioni di misura del livello piezometrico

5.5.1.1. Betelico

La stazione è costituita da un sensore di livello e temperatura di tipo diver (*Paragrafo 4.1.2*), posto ad una certa profondità, al di sotto della massima escursione del livello piezometrico, che in grado di registrare ogni 15 min la variazione di livello e temperatura della falda; il piezometro è profondo circa 30 m, costituito da un tubo in pvc, finestrato, di diametro 80 mm; è ubicato in *Figura 5.5.4*.

5.5.1.2. Monteacuto e Vallemiano

Le due stazioni presentano la stessa struttura, come strumentazione è presente un sensore di temperatura e livello di tipo diver, inserito in un pozzo per uso agricolo, quindi profondo pochi metri; il livello della falda è abbastanza superficiale.

La stazione di Monteacuto è ubicata in *Figura 5.5.2*, mentre la stazione di Vallemiano in *Figura 5.5.3*. Vallemiano.

5.5.2. Stazioni idrometriche

Le stazioni prese in considerazione sono Monteacuto e Vallemiano, in entrambe è presente un diver, sensore di livello e temperatura installato nel corso d'acqua, mediante l'inserimento in un tubo di ferro.

Nella prima stazione è posizionato nella sponda sinistra in cemento del torrente, come mostrato in *Figura 5.5.1*; nella seconda stazione si trova sotto il ponte. Le due stazioni sono rispettivamente geolocalizzate in *Figura 5.5.2* e in *Figura 5.5.3*.



Figura 5.5.1 Posizione del sensore per il livello idrometrico, nel Torrente di Vallemiano

5.5.3. Stazioni pluviometriche

Per i dati pluviometrici sono state utilizzate due stazioni della Protezione Civile della Regione Marche, ovvero Baraccola, collegandola a Montecauto, e Ancona-Regione per Vallemiano; inoltre, si è presa in considerazione la stazione del Monte Conero, attrezzata dall'università. Le tre stazioni sono ubicate in ordine in *Figura 5.5.2*, *Figura 5.5.3* e *Figura 5.5.4*.

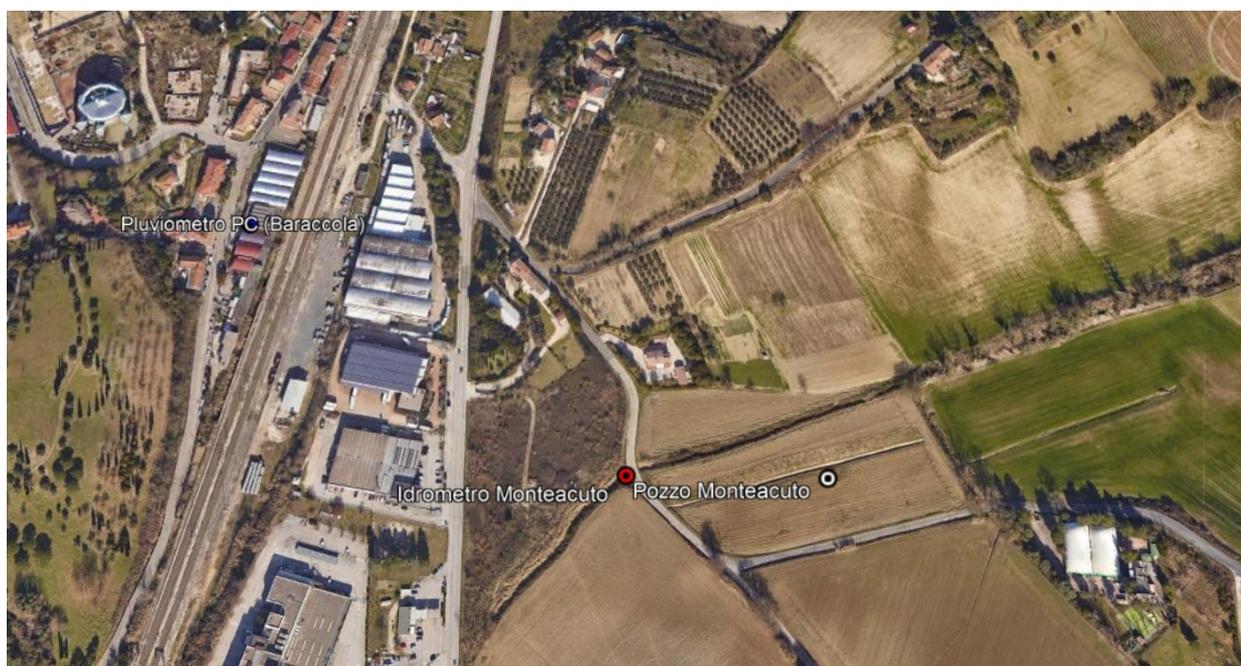


Figura 5.5.2 Ubicazione delle stazioni nella zona di Montecauto (GoogleHeartPro)

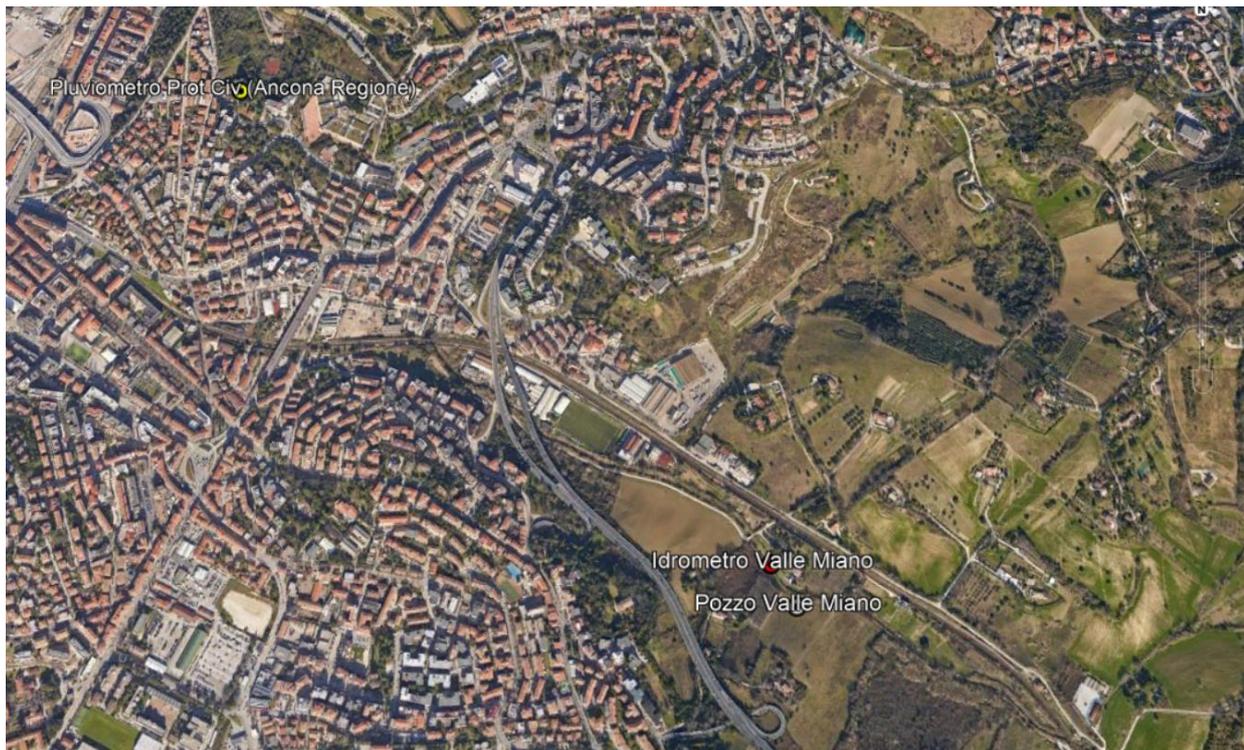


Figura 5.5.3 Ubicazione delle stazioni nella zona di Valle Miano (GoogleHeartPro)

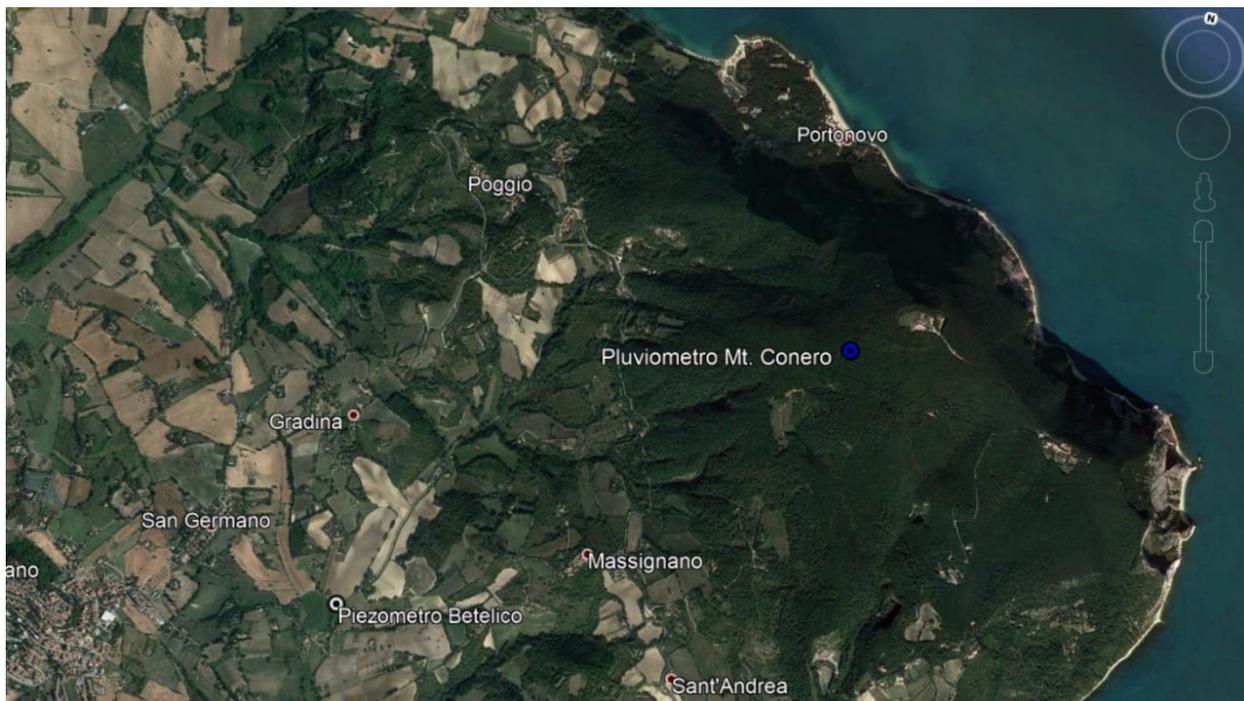


Figura 5.5.4 Ubicazione delle stazioni nella zona del Betelico (GoogleHeartPro)

5.5.4. Grafici

5.5.4.1. Betelico

In *Figura 5.5.5* si riporta il grafico che rappresenta il confronto fra l'andamento del livello piezometrico negli anni, dati ricavati dal pozzo descritto al *Paragrafo 5.5.1.1*, e lo iettogramma delle precipitazioni mensili, ricavate dalla stazione pluviometrica del Monte Conero.

Si osserva come l'andamento del livello piezometrico, dal 2016 in poi, decresce in ragione di una diminuzione delle precipitazioni, denotando un forte collegamento idraulico fra la ricarica della falda e gli eventi meteorici.

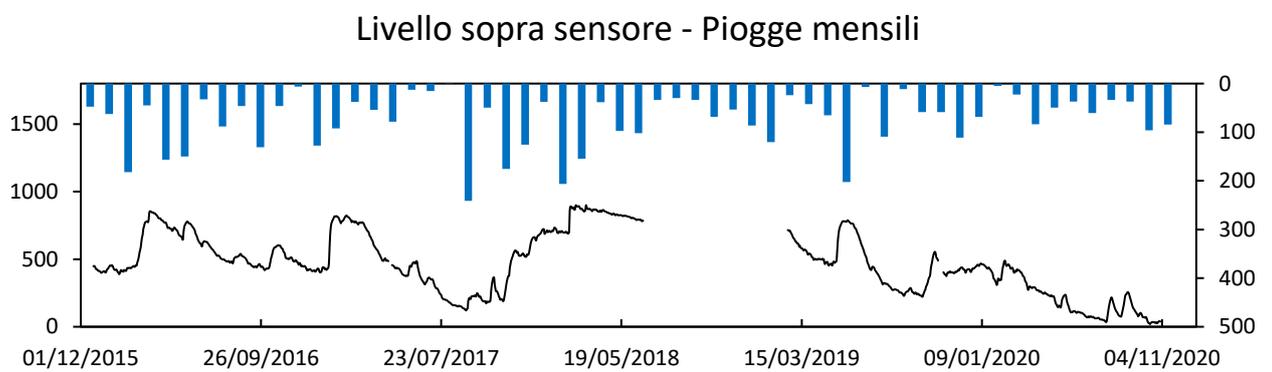


Figura 5.5.5 Andamento del livello piezometrico e delle precipitazioni negli anni, nella zona del Betelico

5.5.4.2. Vallemiano

In *Figura 5.5.6* è illustrato il grafico dell'unione dell'andamento annuale dei livelli idrometrici e piezometrici e della cumulata delle precipitazioni, nella zona di Vallemiano.

Si può osservare nel rettangolo evidenziato in giallo, ingrandito in *Figura 5.5.8*, come il picco di pioggia verificatosi il 12/05/2019 ha determinato non solo l'innalzamento del livello della falda, ma anche un incremento del livello nel corso d'acqua.

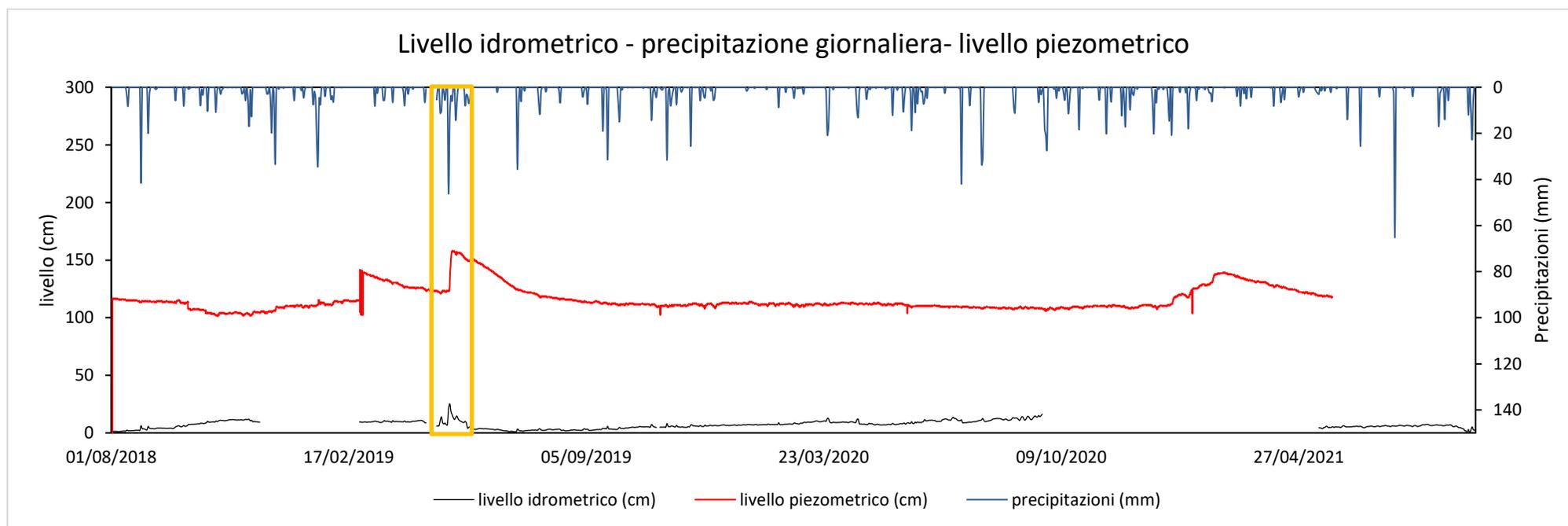


Figura 5.5.6 Unione del livello idrometrico, piezometrico e delle precipitazioni nella zona di Vallemiano

5.5.4.3. Montecatino

Si riporta in *Figura 5.5.7* un grafico che rappresenta l'andamento annuale del livello piezometrico, idrometrico e pluviometrico in riferimento alla zona di Montecatino.

Il riquadro giallo, ingrandito in *Figura 5.5.9*, individua che in una fase di minimo del livello piezometrico, si è verificato un evento di pioggia di 24,8 mm, che ha comportato un incremento della falda di 12,567 cm, contestualmente ad un evento di piena di 51,7 cm, comparabile con le piene massime registrate nell'intero periodo di monitoraggio.

Si nota quindi come quando il livello della falda è alto, i singoli eventi di pioggia non influiscono sul livello, mentre quando è al minimo gli eventi contribuiscono all'innalzamento dello stesso.

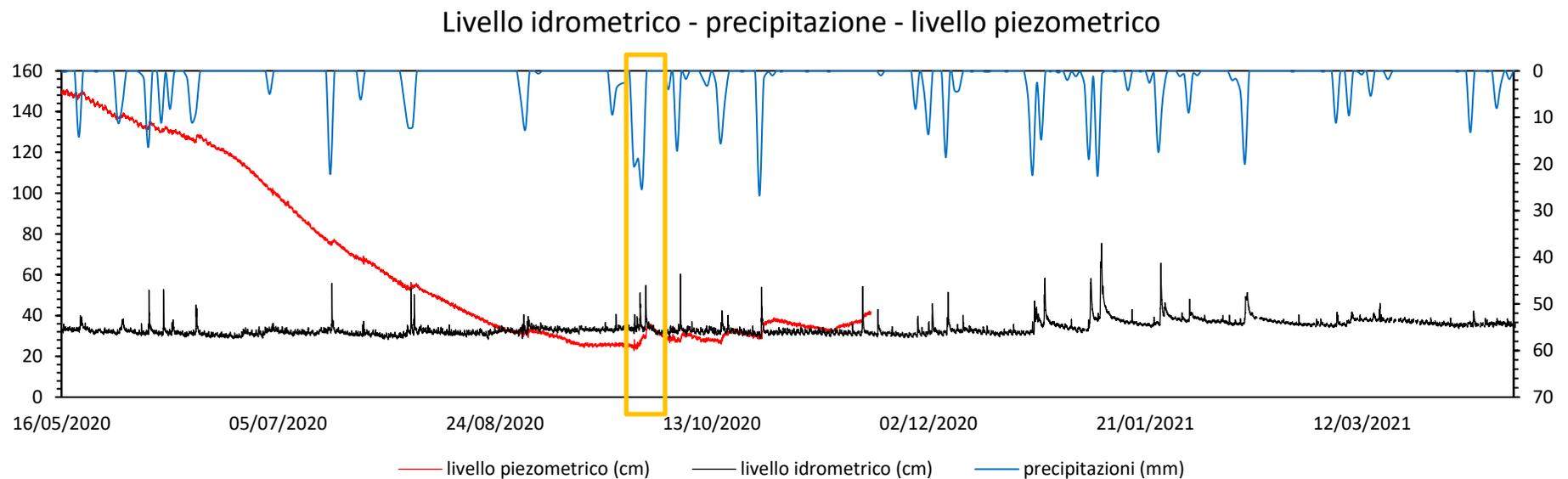


Figura 5.5.7 Unione del livello idrometrico, piezometrico e delle precipitazioni nella zona di Montecatino

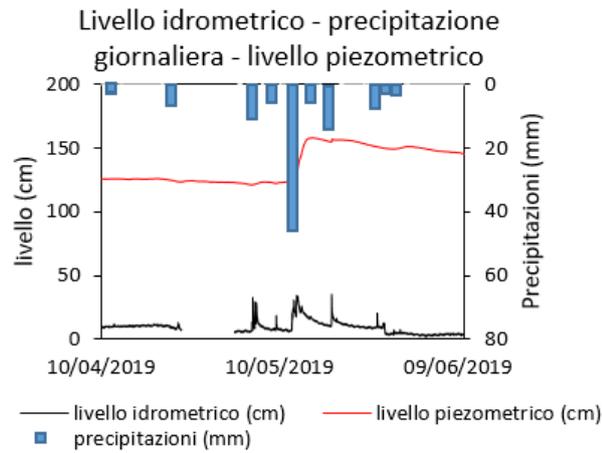


Figura 5.5.8 Ingrandimento grafico Vallemiano

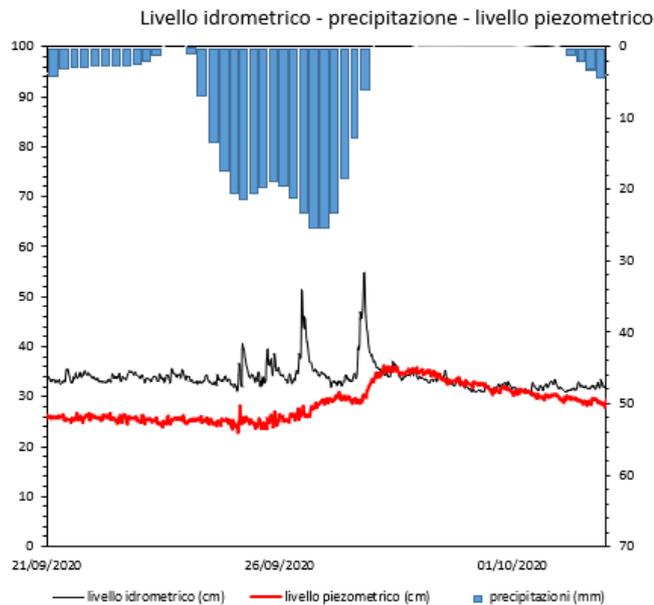


Figura 5.5.9 Ingrandimento grafico Montecatino

5.5.4.4. Osservazioni

L'esempio di questa banca dati permette di capire la sua grande utilità come strumento di monitoraggio e previsione di zone a rischio idrogeologico. Mettendo a confronto dati di livello (idrometrico e piezometrico) e di precipitazione, risulta non solo un contenitore di dati originariamente non collegati fra loro, ma anche uno strumento dinamico, che può essere aggiornato grazie allo scaricamento periodico dei sensori, diventando così lo strumento di riferimento per l'Ente incaricato della gestione dei dati.

6. CONCLUSIONE

Lo scopo di questo elaborato era creare una banca dati per il monitoraggio del rischio idrogeologico in bacino idrografico attrezzato; la gestione dei dati idrogeologici mediante banche dati permette infatti di possedere i dati quantitativi e qualitativi per un periodo prolungato, pur provenendo anche da fonti e tipologie diverse. (Bonomi et al., 2014)

L'esecuzione delle indagini in situ e in laboratorio e la loro elaborazione aveva invece l'obiettivo di scoprire se la causa dell'innalzamento dei livelli idrometrici e gli eventi di piena ad esso collegati, fosse da ricercare non solo nelle precipitazioni, ma anche nello stato della falda.

Tali indagini sono state effettuate a partire da misure dirette, dati ricavati da stazioni gestite dalla Protezione civile e da UNIVPM, campioni di suolo prelevati all'interno del bacino idrografico del F. Aspio (o nelle immediate vicinanze). Tale bacino attrezzato è un esempio di gestione integrata del rischio idrogeologico su un territorio caratterizzato da forte antropizzazione in alcune parti e naturalità in altre zone (Busico et al., 2020).

I risultati ottenuti dalle indagini effettuate nel bacino del Fiume Aspio hanno dimostrato la stretta correlazione tra gli indicatori ambientali considerati nella formazione di eventi di piena, ovvero il livello idrometrico, piezometrico e i dati pluviometrici.

Punto fondamentale è stato lo studio dell'andamento del livello idrometrico in relazione alle precipitazioni. Dopo aver selezionato le stazioni idrometriche e pluviometriche presenti nel bacino, sono stati scaricati i dati d'interesse dal SIRMIP Online e dal database dell'Università Politecnica delle Marche (gruppo di Geologia applicata). La panoramica annuale e il focus su tre particolari eventi di piena, selezionati in tre stagioni differenti, sono la prova che il livello idrometrico risente effettivamente dell'andamento delle precipitazioni nel tempo, in un tempo molto breve.

Altro elemento importante è stato dedotto dall'analisi delle stazioni di Vallemiano, Betelico e Monteacuto, installate e gestite da UNIVPM e che costituiscono un esempio di applicazione di una banca dati allo studio ed analisi del rischio idrogeologico. Oltre ai dati idrometrici e pluviometrici, sono stati rilevati i livelli piezometrici registrati in continuo all'interno di pozzi e piezometri. È stato evidenziato come i fenomeni di piena

possano verificarsi non solo in relazione all'aumento del livello idrometrico, ma anche in funzione dello stato iniziale della falda.

Entrano quindi in gioco sia l'umidità del terreno che la conducibilità idraulica, entrambi fattori correlati alla condizione del suolo prima di ogni evento meteorico e che quindi influiscono sulla quantità e sulle modalità di ricarica della falda. L'approfondimento su come l'infiltrazione dell'acqua nel suolo e nel sottosuolo influenza il livello idrico e le portate nei corsi d'acqua, nel bacino del Fiume Aspio, non è stato trattato in questa tesi; si rimanda alla tesi di Palleri M. 'Analisi di infiltrazione nell'area del Monte Conero'.

Essendo i dati ricavati ottenuti in contesti misurabili, questi risultano accettabili, garantendo così un quadro abbastanza esaustivo delle condizioni idrauliche del bacino e permettendo così di compiere azioni per limitare il verificarsi di fenomeni legati al dissesto idrogeologico.

Dalla seguente elaborazione si evince che solo un monitoraggio continuo e puntuale riesce a garantire un set di dati sufficienti per la gestione e la prevenzione dei bacini a rischio idrogeologico.

Risulta quindi fondamentale ampliare la rete di monitoraggio, incrementando il numero di stazioni e scaricando periodicamente i dati, soprattutto aggiungendo parametri (come la condizione del suolo o il livello delle falde) che possano permettere così un'elaborazione, mediante appositi software, quasi in tempo reale, garantendo un tempestivo intervento in caso di criticità rilevate. Tale rete, inoltre, è di fondamentale importanza nella fase di prevenzione, che riguarda soprattutto la possibilità di studiare i singoli fenomeni che compongono il cosiddetto rischio idrogeologico, i loro rapporti e come concorrono alla formazione di fenomeni di piena all'interno di un bacino idrografico.

7. BIBLIOGRAFIA

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

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

Barazzuoli P., Bouzelboudjen M., Cucini S., Kiraly L., Menicori P., Salleolini M. (1999) - Olocenic alluvial aquifer of the River Cornia coastal plain (southern Tuscany, Italy): database design for groundwater management, *Environmental Geology* 39 (2), 123-143

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

Bonomi T., Fumagalli L., Rotiroti M., Bellani A., Cavallin A. (2014) - Banca dati idrogeologica TANGRAM©: strumento per elaborazioni quantitative di dati per la valutazione delle acque sotterranee, *Articolo in Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*

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

Busico G., Colombani N., Fronzi D., Pellegrini M., Tazioli A., Mastrocicco M. (2020) - Evaluating SWAT model performance, considering different soils data input, to quantify actual and future runoff susceptibility in a highly urbanized basin, *Journal of Environmental Management*, 266, art. no. 110625

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

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

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

Feinstein D. T., Hunt R. J., Reeves H. W. (2010) - Regional Groundwater-Flow Model of the Lake Michigan Basin in Support of Great Lakes Basin Water Availability and Use Studies, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5109, 379 p.

Mattioli A. (2014) – Il bacino del Fiume Aspio: assetto geostrutturale, geomorfologia e idrogeologia nell’analisi delle pericolosità idrogeologiche, tesi di dottorato

Palleri M. (2021) - Analisi di infiltrazione nell’area del Monte Conero

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

Tazioli A. (2019) – Corso di Geologia applicata, elementi di geologia, slide

Tazioli, A., Mattioli, A., Nanni, T., Vivalda, P.M. (2015) - Natural hazard analysis in the aspio equipped basin, Engineering Geology for Society and Territory - Volume 3: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources, pp. 431-435.

Zimbone S. M. (2008-2009) – slide del corso Idraulica e Idrogeologia Forestale

8. SITOGRAFIA

www.ambiente.marche.it
www.app.protezionecivile.marche.it
www.aquasearch.it/diver
www.assam.it
www.autoritadistrettoac.it/pianificazione/bacino-idrografico/bacini-marchigiani/pai
www.clima.net
www.dellamarca.it/stufe-da-laboratorio-cosa-sono-e-a-cosa-servono/
www.d-maps.com
www.ecosearch.info/infiltrometro-doppio-anello
www.excel-facile.info/cosa-e-excel-foglio-elettronico/
www.fondriest.com/pme-cyclops-7-logger.htm
www.geomarche.it/fiumi/
www.geosald.com/prodotti/terreni/setacci-per-analisi-granulometrica/
www.geosat.org/geosat/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=47
www.igmaspa.it/our_project/sodio-esametafosfato/
www.isprambiente.gov.it
www.leroymerlin.it/prodotti/giardino-e-terrazzo/attrezzi-da-giardino
www.manomano.it
www.meteo.regione.marche.it/dati/clima/#
www.misurazioneindustriale.it/trasduttore-di-p pressione
www.ott.com/it-it/portata-corrtek/
www.packservices.it
www.pce-instruments.com/italiano/strumento-per-pesare/bilancia/bilancia-da-laboratorio-kat_100099.htm
www.regione.marche.it
www.stanley.com

www.scubla.it/it/gestione-ambientale/campionamento-e-analisi-del-terreno/trivelle-manuali-semplificati-2349/

www.strumentidalaboratorio.com/strumenti-da-laboratorio-pagine/stufe/stufam120.html

www.treccani.it/enciclopedia/il-dissesto-idrogeologico_%28L%27Italia-e-le-sue-Regioni%29/

www.zenick.it/vaschetta-alluminio