



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

“Analisi dei processi di infiltrazione nell’area del Monte Conero”

“Analys of infiltration processes in the Monte Conero area”

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

Tesi di Laurea di:
Palleri Marianna

Correlatore:
Dott. **Fronzi Davide**

A.A. 2020 / 2021

INDICE

1. Introduzione.....	1
2. Inquadramento dell'area in studio.....	6
2.1 Inquadramento geografico.....	7
2.2 Inquadramento climatico.....	8
2.3 Andamento delle temperature sul territorio marchigiano.....	9
2.4 Regime pluviometrico annuo nel territorio marchigiano.....	9
2.5 Inquadramento climatico del bacino del fiume Aspio.....	10
2.6 Inquadramento geologico.....	12
2.7 Inquadramento geomorfologico.....	16
2.7.1 Altimetria.....	16
2.7.2 Acclività.....	18
2.7.3 Forme del territorio di influenza strutturale.....	19
2.8 Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	19
3. Stato dell'arte.....	23
3.1 Il bilancio idrologico.....	23
3.2 Il rischio.....	24
3.1.1 Rischio idrogeologico sul bacino del fiume Aspio.....	25
3.1.2 Rischio alluvione.....	26
3.1.3 Rischio frana.....	30
4. Materiali e metodi.....	34
4.1 Strumenti utilizzati.....	34
4.1.1 Strumenti meccanici.....	34
4.1.2 Strumenti elettronici.....	39
4.1.3 Strumenti informatici.....	44
4.1.4 Materiali chimici.....	45
4.2 Metodi d'indagine.....	47
4.2.1 Prove in situ.....	48
4.2.1.1 Prova infiltrometrica.....	48

4.2.1.2 Raccolta dei campioni in sito.....	52
4.2.1.3 Misurazione della portata.....	53
4.2.2 Analisi in laboratorio.....	63
4.2.2.1 Determinazione del contenuto d'acqua naturale dei provini.....	63
4.2.2.2 Analisi granulometriche.....	65
4.2.3 Elaborazione dei dati.....	69
4.2.3.1 Determinazione della permeabilità.....	69
4.2.3.2 Determinazione dei livelli idrici e delle piogge.....	69
4.2.3.3 Determinazione portata con fluoresceina e soluzione salina.....	70
4.2.3.4 Costruzione scala di deflusso.....	70
4.2.3.5 Curve granulometriche.....	70
5. Risultati e discussioni	72
5.1 Curve granulometriche.....	72
5.1.1 Campione 0-30 cm.....	75
5.1.2 Campione 30-60 cm.....	76
5.1.3 Campione 60-90 cm.....	77
5.1.4 Campione 90-120 cm.....	78
5.1.5 Campione 120-150 cm.....	79
5.1.6 Campione 150-180 cm.....	80
5.1.7 Curve granulometriche a confronto.....	81
5.2 Determinazione K_{sat}	82
5.2.1 Risultati prova 28 luglio 2021.....	83
5.2.2 Risultati prova 28 settembre 2021.....	83
5.2.3 Determinazione coefficiente di conducibilità idraulica.....	84
5.3 Calcolo della portata.....	85
5.3.1 Portata con metodo volumetrico.....	86
5.3.2 Portata con metodo geometrico.....	86
5.3.3 Portata con tracciante.....	87
5.4 Livelli idrici e piogge.....	88
5.4.1 Livelli idrometrici a confronto.....	89
5.4.2 Aspigo Terme – Osimo Monteragolo.....	91
5.4.3 Svarchi – Svarchi.....	91
5.4.4 Crocette – Svarchi.....	92
5.4.5 Picco 10 ottobre 2015.....	94

5.4.6 Picco 23 marzo 2016.....	97
5.4.7 Picco 17 gennaio 2017.....	100
5.4.8 Osservazioni generali.....	102
5.5 Scala di deflusso.....	103
6. Conclusioni.....	105

1. INTRODUZIONE

L'oggetto di studio di questa tesi è il bacino del fiume Aspio, situato in provincia di Ancona nella regione Marche. Questo si estende per circa 270 Km² includendo le zone di Ancona, Monte Conero e Osimo.

Nonostante questo bacino non si estenda per una superficie troppo ampia, risulta di notevole interesse per l'Autorità di Bacino della Regione Marche per ciò che riguarda la prevenzione del dissesto idrogeologico, cioè l'insieme dei processi che possono portare alla degradazione del suolo e sottosuolo. L'equilibrio degli ecosistemi e della biosfera sono regolati dal suolo, attraverso cui avvengono scambi con l'atmosfera, l'idrosfera e la biosfera.

La formazione del suolo avviene in seguito alla degradazione della roccia affiorante, e risulta dipendente da tutti gli altri comparti ambientali (Casucci, 2016-2017, dispense).

Il sottosuolo rappresenta, invece, lo strato più profondo che, nel territorio di studio, è composto principalmente da limi e argille di natura alluvionale. I problemi riguardanti questa matrice riguardano principalmente: l'occupazione del suolo per l'urbanizzazione; l'inquinamento dovuto alle industrie locali ed il dissesto idrogeologico.

In generale, negli ultimi anni l'attenzione degli studiosi si è incentrata molto sullo studio dell'evoluzione dei parametri che influiscono sul rischio idrogeologico in contesti più "misurabili", a scala ridotta, in modo da studiare i fenomeni in modo controllato e poter quindi ricavare indicazioni di massima applicabili anche in contesti più grandi.

Nel corso della presente tesi di laurea, in particolare, si sono studiati alcuni dei processi che influiscono sulla formazione delle piene dei corsi d'acqua che alimentano il fiume Aspio. Una piena si osserva quando l'andamento del livello idrometrico nel tempo mostra un "picco", di conseguenza anche la portata in quel frangente di tempo subirà un incremento.

Il livello idrometrico del fiume Aspio, come per tutti i fiumi marchigiani, è alimentato dalla falda sotterranea quindi si pone l'obiettivo di studiare le modalità di infiltrazione dell'acqua nel suolo e con che velocità questa filtra nel terreno alle diverse profondità, anche attraverso lo studio della granulometria del terreno, a cui questo fenomeno è fortemente collegato.

La ricarica della falda avviene principalmente tramite acqua proveniente dalle precipitazioni, che non raggiungerà totalmente la falda ma esistono dei fattori che

contribuiscono al diverso destino, questi si ricercano in ambito idrogeologico, idrologico, geomorfologico (Formentin, 2013). In natura, generalmente, l'acqua piovana si distribuisce nella maniera seguente: una piccola parte defluisce superficialmente, per una percentuale che va da 0% al 20%, mentre la gran parte dell'acqua o evapora o si infiltra tale da ricaricare la falda acquifera sotterranea. L'insieme di questi fenomeni prendono il nome di ciclo dell'acqua in condizioni naturali. Nelle aree fortemente urbanizzate la situazione si ribalta e la percentuale di precipitazione che defluisce superficialmente aumenta, fino ad arrivare al 90% (Kompatscher, 2008). Nel caso del bacino del fiume Aspio si fa riferimento alla prima casistica elencata, cioè quella del ciclo dell'acqua in condizioni naturali e si definiscono le modalità in cui la parte di pioggia infiltrata ricarica la falda sotterranea presente.

Per prima cosa il regime di precipitazione e la morfologia della zona in esame definiscono la componente del ruscellamento, cioè quella componente che naviga a pelo della superficie del terreno fino a raggiungere corsi d'acqua superficiali o depressioni. A questo proposito il f. Aspio, lungo il suo percorso, riceve acqua da numerosi fossi che poi scendono lungo versanti collinari nelle zone di Offagna, Polverigi, Agugliano, Sappanico per poi entrare nel comune di Camerano. Il fiume prende corpo da NE dal Rio Boranico per poi dirigersi verso SE. Prima del punto di affluenza con il Rio Marganetto, il bacino imbrifero ammonta a 26 Km², mentre, una volta superato il punto di affluenza arriva anche a 66 Km²; si può dedurre un apporto idrico consistente, pur considerando i termini di dispersione dovuto alle infiltrazioni e all'evapotraspirazione entrambi circa del 30% (Chielli, 2011).

La percentuale riferita al termine di evapotraspirazione risulta comunque importante quindi si deve tenere conto dell'acqua che evapora la quale, però, è di difficile determinazione soprattutto quando la zona in esame è un'area vegetata in cui ci si trova a separare l'evaporazione diretta dal suolo da quella proveniente dagli stomi delle piante. Per questo motivo a scopi idrologici il fenomeno è chiamato nel complesso evapotraspirazione (Formentin, 2013).

Dalle precedenti righe risulta ovvia l'importanza dello stato di umidità del suolo nella sua forma naturale ai fini dello studio dell'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

La prima fase del lavoro effettuato per l'elaborazione di questa tesi è proprio la determinazione del contenuto naturale d'acqua nel suolo e nel sottosuolo insaturo del bacino; a questo scopo sono stati prelevati diversi provini di terreno, a diverse profondità, nel campo prova del t. Betelico, allestito da UNIVPM per studiare i processi di infiltrazione e percolazione attraverso la cosiddetta Critical Zone in acquiferi alluvionali, cioè quella zona che si estende dal limite più esterno della vegetazione fino al luogo in cui le acque sotterranee

circolano (Ruta et alii, 2013). L'infiltrazione, e la modalità con cui tale processo avviene è notevolmente influenzata dal contenuto di umidità del terreno, la quale, per gli scopi di questa tesi, si ricava dai provini raccolti in sito prima di sottoporli alle successive analisi granulometriche.

Quindi viene in seguito studiata la granulometria del terreno fino ad una profondità di 180 cm tramite analisi granulometriche; studiare la granulometria significa definire le dimensioni delle particelle che compongono il sedimento in esame.

La tipologia di questo tipo di analisi è varia e dipende principalmente dal tipo di lavoro da svolgere e dalle analisi che è già stato svolto nella stessa area, infatti, i dati devono essere confrontabili il più possibile. Il sistema di suddivisione della tipologia dei granuli più utilizzato è quello di Udden (1898) e poi rielaborato da Wentworth nel 1922, in cui per ogni intervallo di dimensione dei granuli viene definita la classe granulometrica (Magno et alii, 2016).

Questo lavoro viene svolto per questa tesi sui campioni prelevati dal campo prova del t. Betelico tramite "vagliatura", cioè mediante l'utilizzo di una serie di vagli ASTM in conformità con la normativa di riferimento ASTM E11. Il fine ultimo di queste analisi è di riportare in maniera grafica come si compone, in termini dimensionali, il terreno esaminato.

Le analisi granulometriche combinate alle prove di infiltrazione sono necessarie per la comprensione della modalità di infiltrazione dell'acqua nel suolo.

La permeabilità del terreno sopra la falda, quindi del terreno non saturo, può essere studiata tramite diverse metodologie tra cui, una prova molto utilizzata per la sua semplicità e affidabilità, è quella basata sull'uso di infiltrometri; nello specifico, per l'elaborazione di questa tesi, è stata effettuata una prova con infiltrometro a doppio anello tramite la quale si sono ottenute informazioni sulla permeabilità verticale del terreno (Villa, 2011).

La prova infiltrometrica è stata effettuata, nei pressi del campo pozzo di Vivaservizi di Ancona, in due stagioni differenti per valutare la variabilità della velocità di infiltrazione ottenuta in funzione dell'umidità del terreno in periodi differenti. Si analizza l'effetto della variabilità di questi risultati con i dati di livello e di pioggia scaricati per ogni stagione, così da poterne ricavare una connessione fisica. Dall'elaborazione di questi dati si definiscono quanto effettivamente le precipitazioni influiscono sull'aumento di portata dei corsi d'acqua presenti sul bacino.

A tal proposito nel corso della tesi, in mancanza di dati di portata sul t. Betelico che dal 2018 non si riattiva, si sono analizzati i dati relativi al torrente di Vallemiano che, il 6 settembre del 1959, a seguito di un'alluvione, è esondato, trasportando lungo il torrente materiale melmoso, inondando un campo sportivo a valle dello stesso e formando un invaso d'acqua;

questo fenomeno ha causato danni alle reti ferroviarie a valle e demolito alcune case, provocando anche una vittima.

Su di esso, per completezza di analisi, si è ricostruita la proporzionalità esistente tra livello idrometrico e portata tramite la redazione di una scala di deflusso cioè si è espresso il legame tramite una formula di resistenza dipendente dalla geometria e dalla scabrezza della sezione d'alveo (Carravetta, 2007, slide). Questa non fornisce informazioni rilevanti sulla ricarica della falda o sull'infiltrazione del suolo, ma è utile per definire in fase di analisi del rischio idrogeologico, le soglie di limite critico di portata e di livello idrico del torrente. Per ottenere questa relazione si sono fatte cinque misure di portata, utilizzando metodi differenti tra cui: volumetrico, cioè il metodo più semplice ed intuitivo, basato sulla raccolta di un volume di acqua torrentizia in un dato lasso di tempo; geometrico, utilizzando le formule note dall'idraulica; l'utilizzo di due tipi differenti di traccianti cioè sostanze in soluzione che vengono immesse a monte del corso d'acqua in movimento per seguirne il percorso e rilevarne la velocità (De Luca et alii, 2011), questo metodo viene adottato come nel caso del t. Miano il livello idrometrico non è abbastanza alto per utilizzare i mulinelli idrometrici.

Per sviluppare la ricerca sull'infiltrazione dell'acqua all'interno del bacino del fiume Aspio, si compone l'elaborato in 4 capitoli.

Per prima cosa si riporta l'inquadramento geologico, idrologico e geomorfologico dell'area in esame così da avere un quadro generale completo di informazioni sullo sviluppo territoriale della zona. Quindi sono analizzate le componenti rocciose tipiche della successione umbro-marchigiana, l'acclività e l'altimetria tipici del bacino in esame. Questi saranno fortemente incisivi sull'aspetto di alimentazione dei corsi d'acqua presenti sul bacino, i quali saranno elencati e geolocalizzati alla fine dello stesso capitolo.

In seguito, viene riportato lo stato dell'arte riguardante il dissesto idrogeologico del bacino del fiume Aspio. Sono state riportate le mappe di rischio idrogeologico, ponendo principale interesse al rischio alluvione ed analizzando eventi storici significativi che hanno causato ingenti danni economici ed ambientali nella zona in esame.

Sono analizzati poi le modalità e gli strumenti con cui si eseguono sia le prove in laboratorio che le analisi in sito, spiegando nel dettaglio le fasi di elaborazione al fine di raggiungere i risultati riguardanti: le analisi granulometriche, la prova di infiltrazione a doppio anello, le prove di misurazione di portata e l'acquisizione dei dati di livello e di precipitazione.

I risultati sono poi elaborati e commentati, andando ad utilizzare i dati numerici per capire come l'infiltrazione nel suolo influenza la falda e di conseguenza anche il livello idrico e le portate dei corsi d'acqua esaminati.

L'obiettivo finale di questa tesi è quindi l'analisi dei processi di infiltrazione nell'area del Monte Conero, in particolare nel bacino del fiume Aspio, al fine di prevedere le modalità con cui la falda sotterranea si ricarica e come questa infiltrazione influisce sui livelli e le portate dei corsi d'acqua che alimentano lo stesso fiume.

Tale obiettivo sarà perseguito tramite l'analisi dettagliata dei risultati ottenuti in situ ed in laboratorio, in particolar modo quelli relativi alle prove di infiltrazione, umidità e granulometria del suolo in esame.

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 (*Fig. 2.1*), 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 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 (Fig. 2.2)

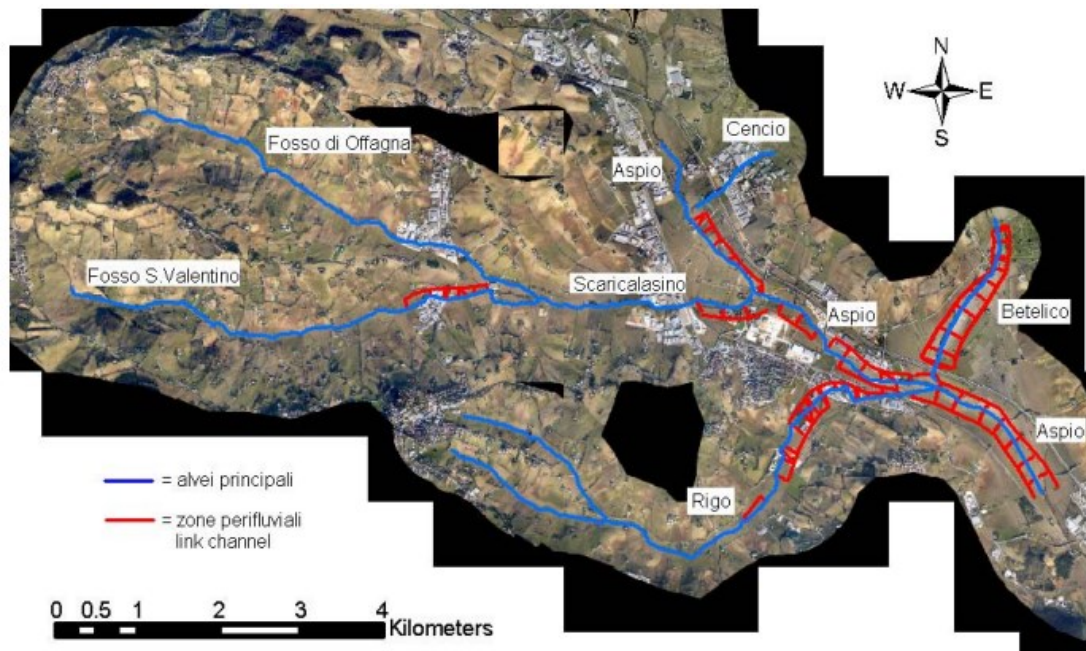


Fig. 2.2 Bacino idrografico del fiume Aspio (www.regione.marche.it)

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.

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 (Fig. 2.2).



Fig. 2.2 Zone climatiche italiane ((www.clima.net))

In Italia le zone climatiche sono le seguenti (Acquaotta & 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 (Fig. 2.3).

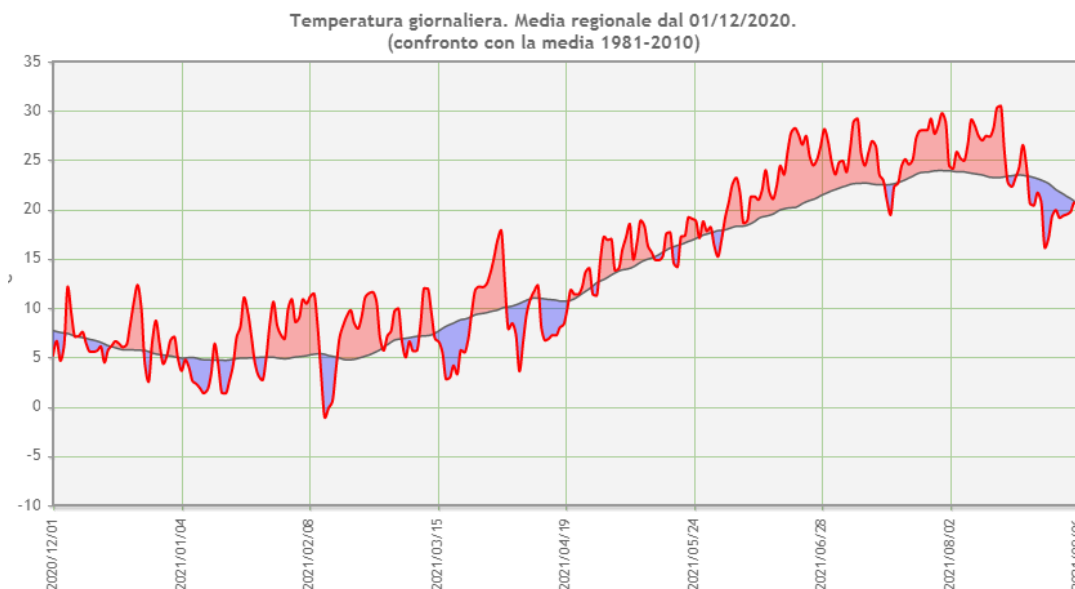


Fig. 2.3 (meteo.regione.marche.it)

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 & Spina, 2002).

Andando ad analizzare il grafico fornitoci dall'ASSAM in *Fig. 2.4* 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.

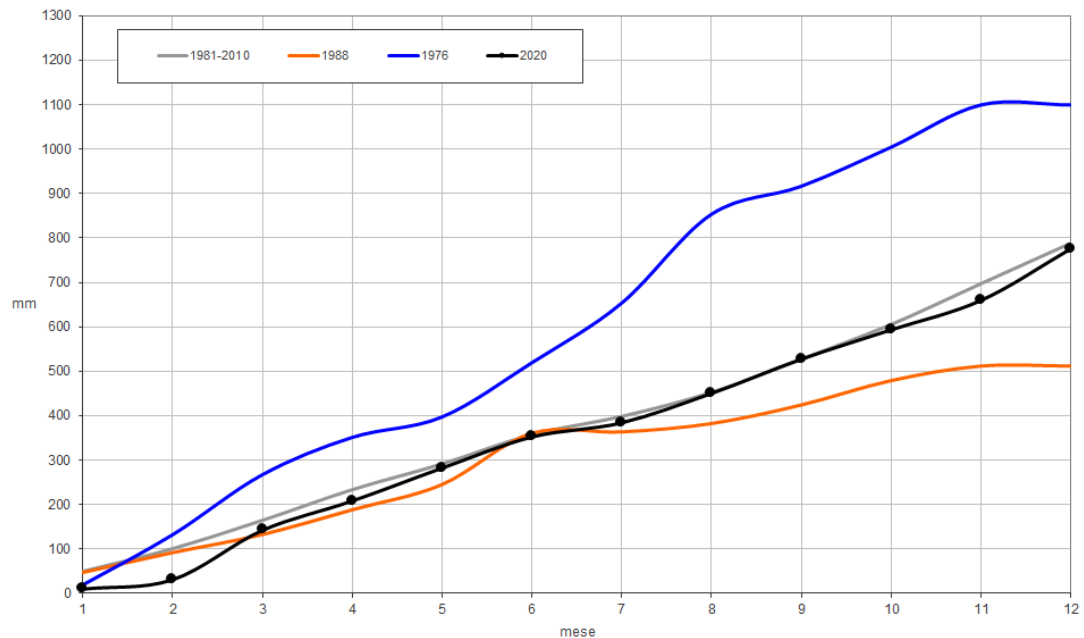


Fig. 2.4 Andamento della precipitazione cumulata mensile (mm) (www.assam.it)

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 *Fig. 2.6*, 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.

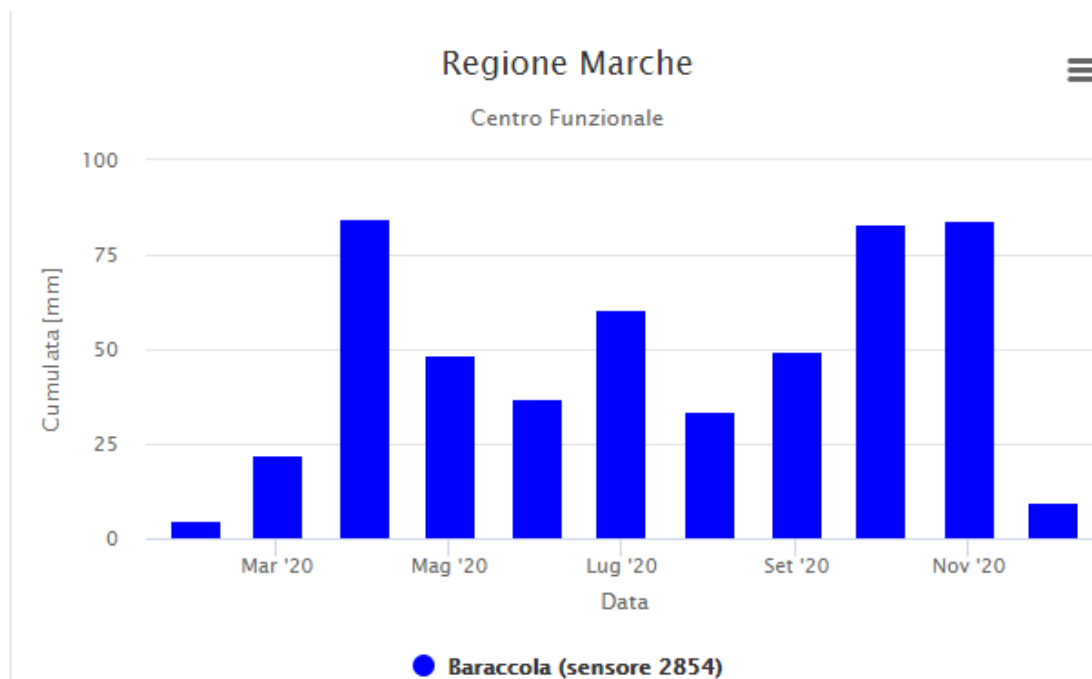


Fig. 2.6 Regime di pioggia cumulata mensile, anno 2020 (www.regionemarche.it)

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 & Romagnoli, 2014) (Fig. 2.5).

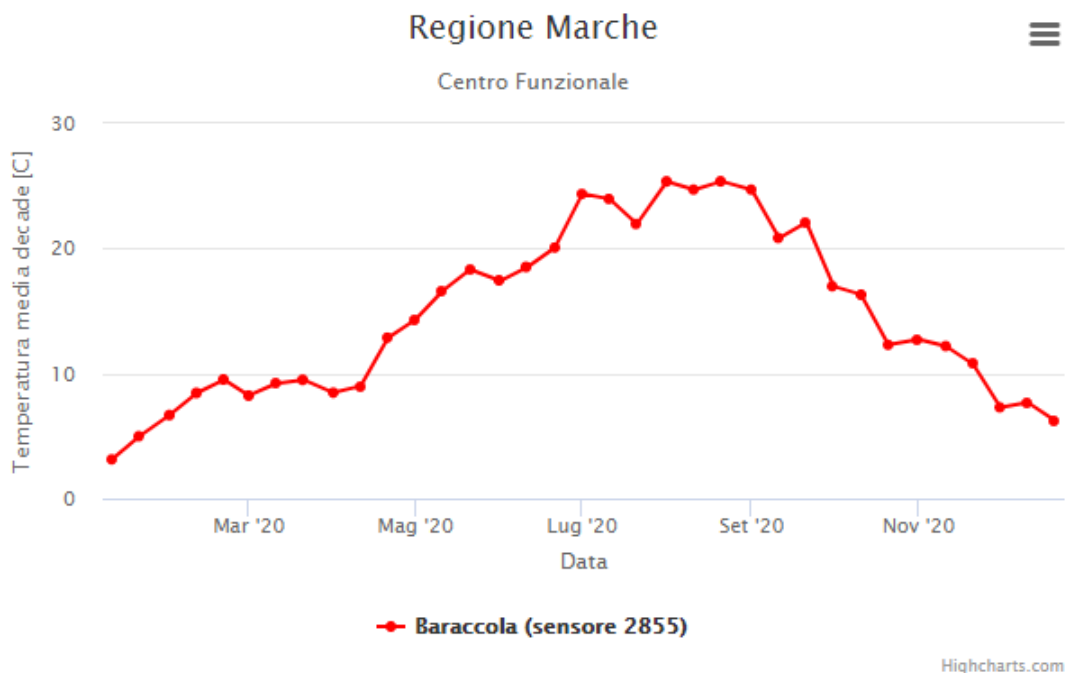


Fig.2.5 Rilevazione temperatura anno 2020 (www.regionemarche.it)

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 (Fig. 2.6).

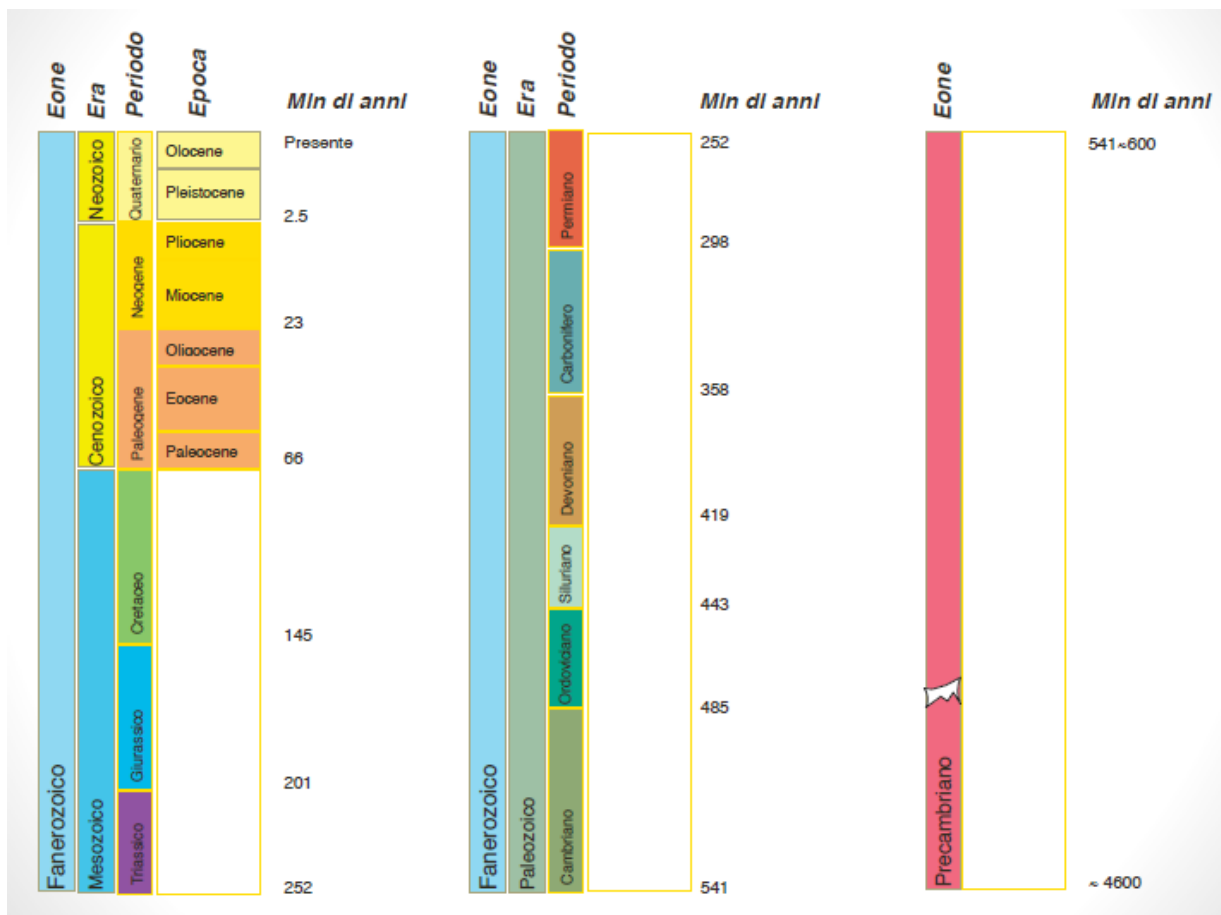


Fig. 2.6 Scala dei tempi geologici (Prof. Tazioli, 2019)

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 (Fig. 2.7):

LA SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANA

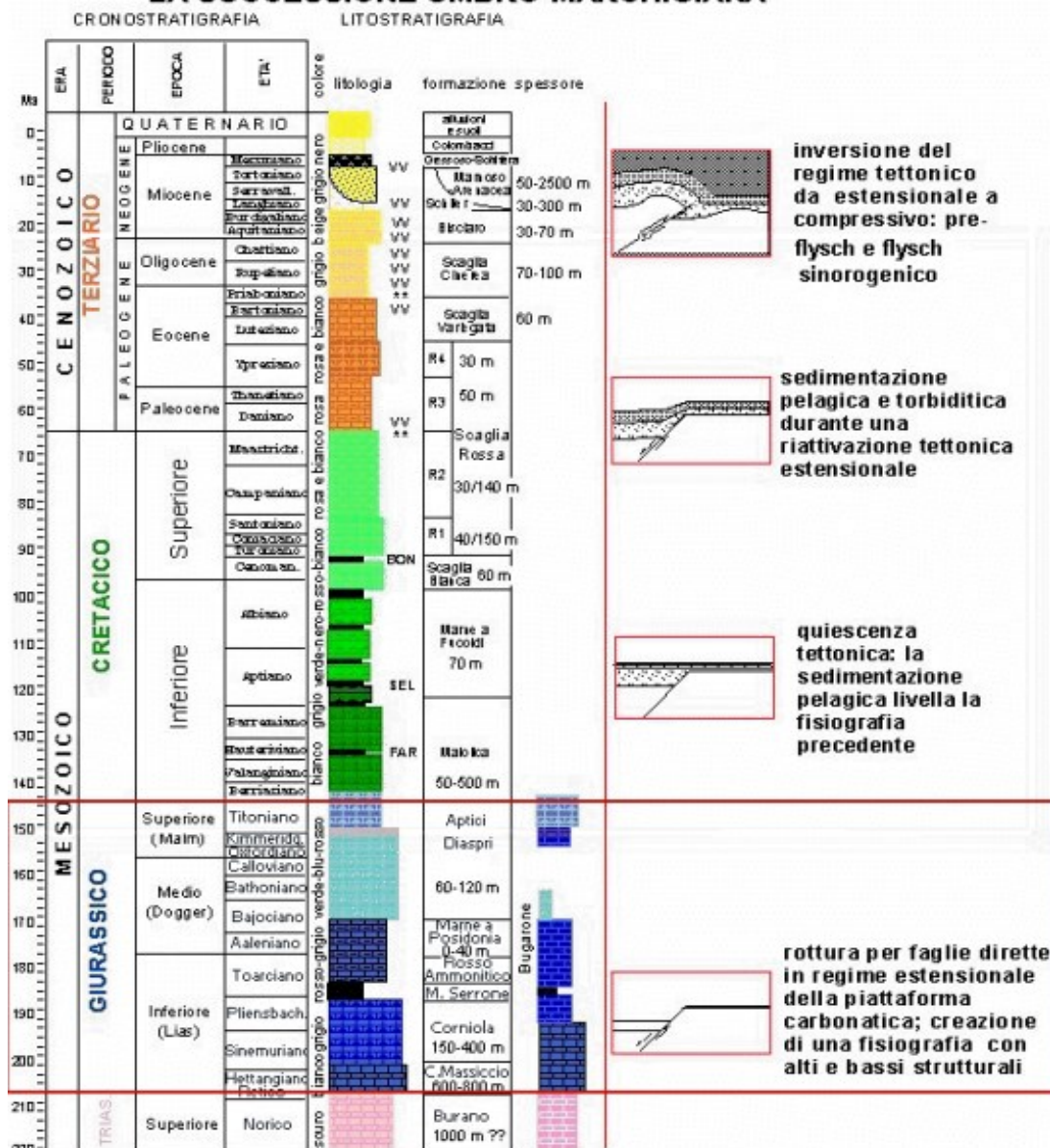


Fig. 2.7 Successione Umbro-Marchigiana (Prof. Tazioli, 2019)

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).

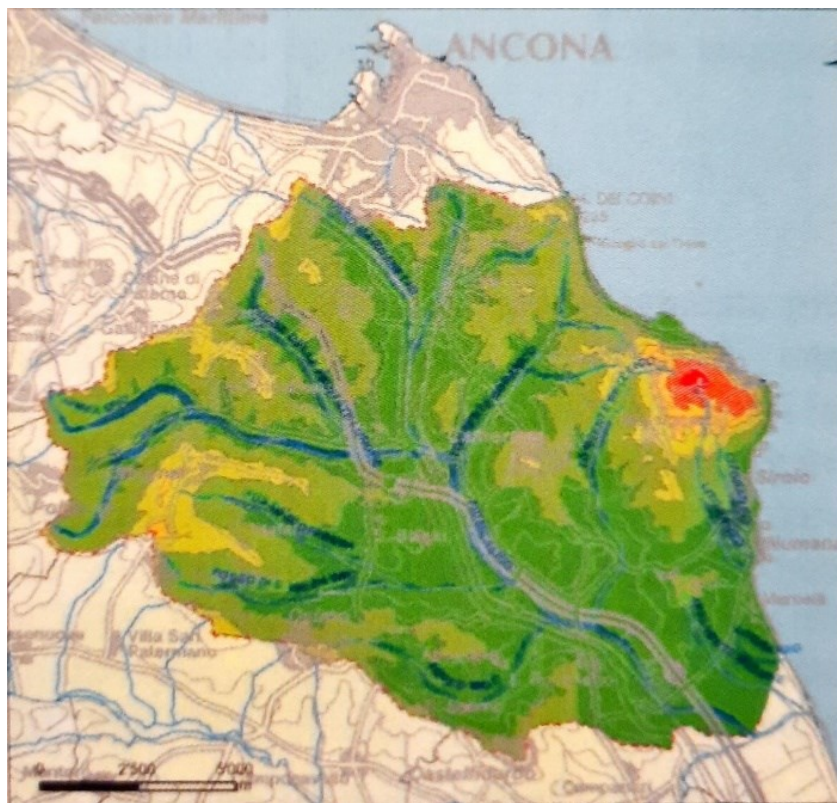
2.7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

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 (Fig. 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%

Fig. 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.

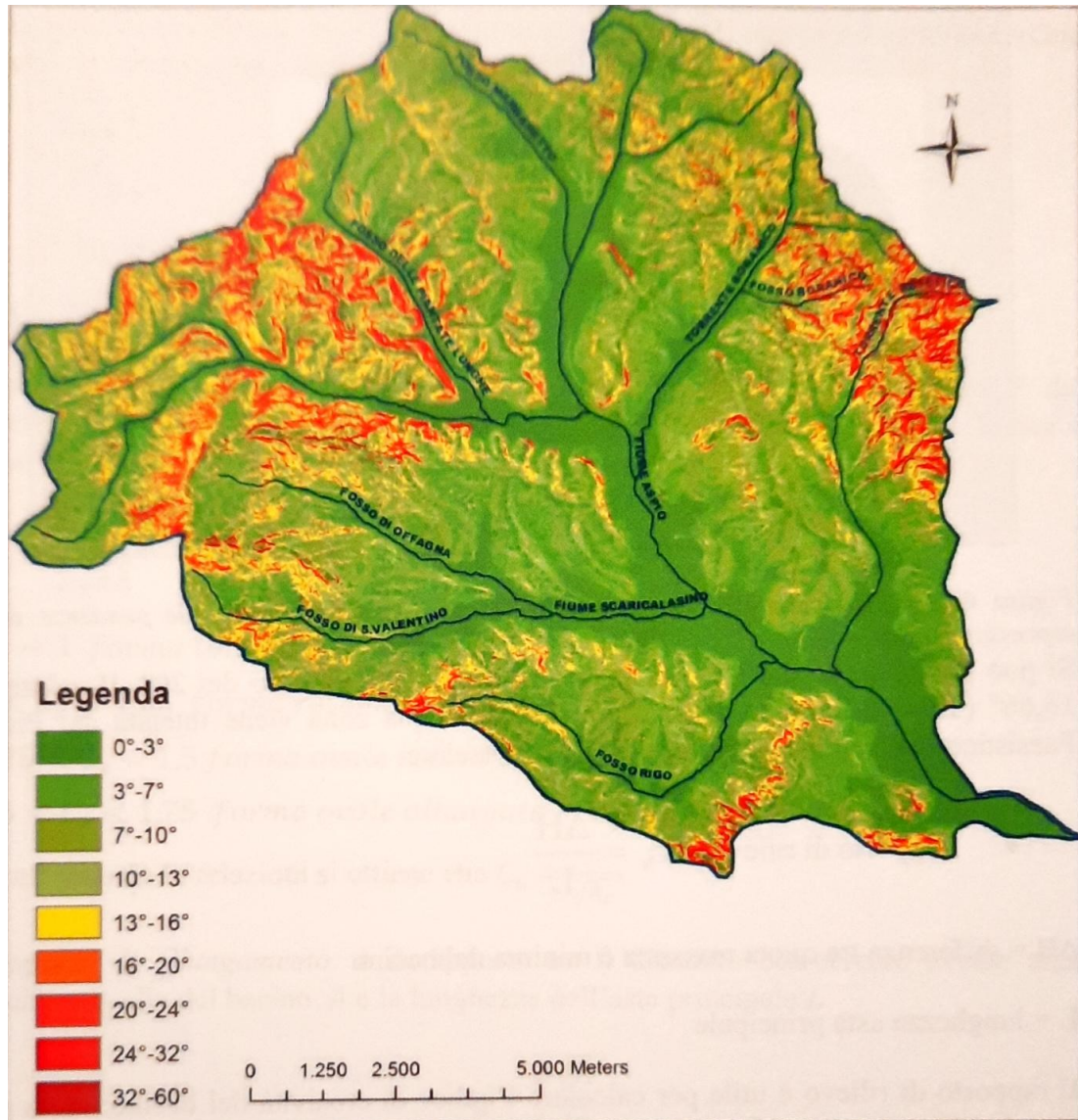


Fig. 2.7.2 Carta delle acclività del bacino del F. Aspio

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.

E' 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^{-4} e 10^{-3} cm/s), sede di una falda acquifera (freatica o in pressione).

L'acquitarzo invece è una formazione idrogeologica a permeabilità bassa che in alcuni casi funge da acquifero e in altri casi da acquiclude, 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.

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

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.

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.

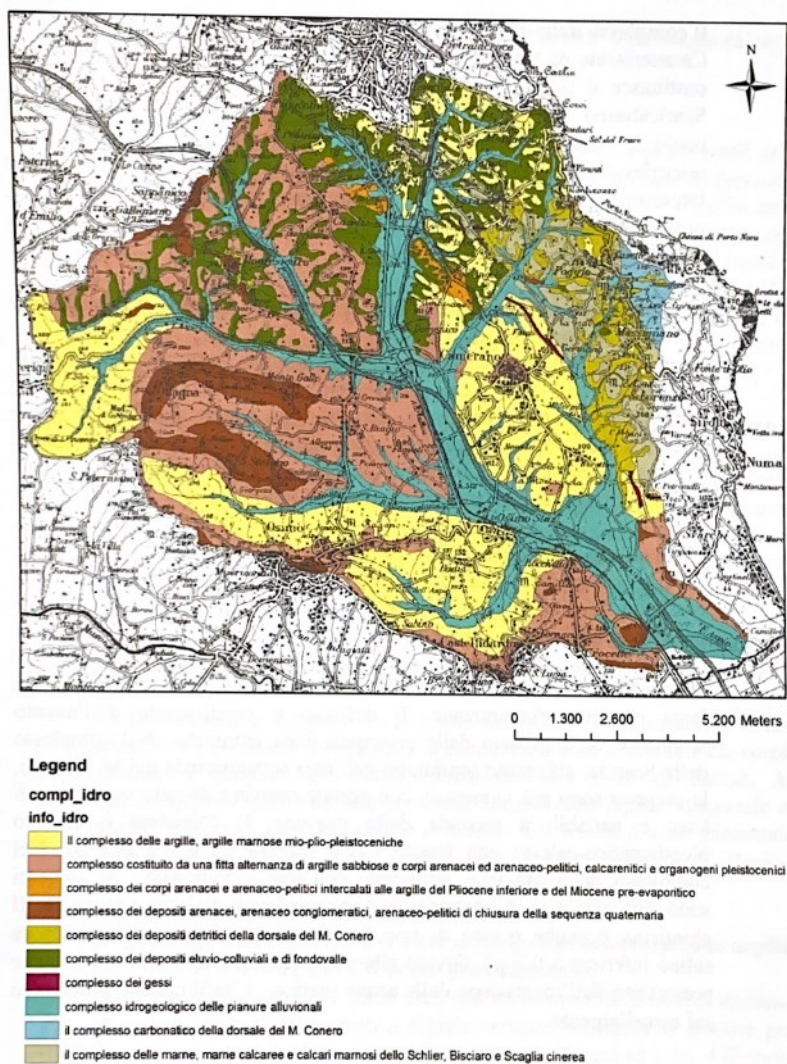


Fig. 2.8.1 Carta dei complessi idrogeologici

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).

A tal proposito si fa riferimento a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) che è utilizzato come modello fisico al fine di dare 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, 2020).

3.STATO DELL'ARTE

Tenendo conto degli aspetti geomorfologici, geologici, idrologici e idrogeologici del bacino esposti nel capitolo 2, questo capitolo ha l'obiettivo di analizzare i rischi di tipo idrogeologico che ne conseguono.

Il rischio idrogeologico è estremamente attuale in Italia poiché interessa gran parte delle zone del paese, in particolar modo durante eventi di maltempo estremi diventati, ormai, sempre più frequenti a causa dell'urbanizzazione e dei cambiamenti climatici che causano un indebolimento del terreno.

Per determinare questo tipo di rischio si effettuano vari tipi di analisi, tra cui: la determinazione della permeabilità, l'umidità, la distribuzione granulometrica caratteristici del terreno di studio. I principali fenomeni di dissesto causati conseguenti al rischio idrogeologico sono: frane, alluvioni ed esondazioni. La gestione e lo studio di tali eventi includono interventi di monitoraggio sia sui pendii soggetti a eventi franosi che su corsi d'acqua soggetti ad esondazione.

L'insorgere di fenomeni idrogeologici è influenzato da diversi fattori tra cui: la naturale conformazione del terreno (geologica e geomorfologica) che può portare ad eventi catastrofici se combinato ad alluvioni o altri fenomeni intensi; gli interventi di urbanizzazione che si sono susseguiti nel corso della storia che hanno avuto l'effetto di peggiorare l'assetto ambientale naturale del territorio (Alecci, 2017-2018, pp. 1-3).

A tal proposito un metodo per determinare i parametri idrogeologici di un acquifero, soprattutto nelle pianure di origine alluvionale, è la prova con tracciante; negli ultimi anni sono stati sviluppati nuovi traccianti, come quelli del DNA, in ambito idrologico e geologico, che possono essere utilizzati come i traccianti tradizionali (Tazioli et alii, 2019).

3.1 IL BILANCIO IDROLOGICO

Il bilancio idrologico esprime il principio di conservazione della massa e, fissato un volume di controllo, determina la relazione tra flussi idrologici e la variazione della quantità di acqua contenuto nel dato volume.

I tempi caratteristici in gioco dipendono dalle dimensioni del volume di controllo, nel caso di un sistema globale si parla di tempi annui o stagionali, mentre nel caso di bacini idrografici i tempi rilevanti sono quelli relativi alle piogge (dell'ordine delle ore).

Il volume di controllo è delimitato da varie superfici, una di queste coincide con la superficie del suolo tale si osservano le seguenti componenti di flusso dell'acqua: dall'atmosfera alla superficie; sulla superficie terrestre; dall'atmosfera al suolo; all'interno del suolo; dal suolo all'atmosfera attraverso la vegetazione; dalla superficie del suolo all'atmosfera.

I termini di accumulo che si individuano sono: umidità del suolo; acqua di falda; acqua negli oceani; invasi superficiali.

Per un volume di controllo delimitato superiormente dalla superficie del suolo ed inferiormente da una superficie a flusso nullo è valida la seguente relazione:

$$dV/dt = P - S - F - ET$$

Dove: V rappresenta tutti i termini di accumulo all'interno del volume di controllo; P rappresenta la precipitazione espressa come un'altezza per unità di tempo; F è il deflusso sotterraneo; ET è l'evapo-traspirazione.

Si nota che il termine riferito all'infiltrazione non compare direttamente nel bilancio, ma, poiché determina la ripartizione delle acque meteoriche in deflusso superficiale e deflusso sotterraneo, compare in maniera implicita.

Il ciclo idrologico è caratterizzato da un continuo cambio di stato dell'acqua, questo comporta che il bilancio di massa riferito al volume di controllo sia fortemente correlato al bilancio di energia dello stesso (Marani, 2017).

3.1 IL RISCHIO

Dalle considerazioni effettuate nasce la necessità di quantificare il rischio in modo da gestire eventuali eventi estremi prevenendo danni che potrebbero causare fenomeni di dissesto nel territorio. Ci si approccia ad un sistema di tipo probabilistico del rischio poiché di solito le informazioni necessarie al calcolo di questo sono dedotte da delle analisi sul campo e da dati storici e non sono certe (Alecci, 2017-2018, pp. 3).

In generale, il rischio è definito come il prodotto tra la pericolosità (P) probabilità che un dato evento accada con un dato tempo di ritorno nel luogo di studio, la vulnerabilità (V) cioè la capacità di opporsi all'evento incombente e l'esposizione (E):

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

I due fattori possono essere quantificati tramite vari metodi. Per quanto riguarda la progettazione e la verifica di opere di sostegno e/o contenimento, i fattori vengono scelti in base all'opera in modo da ottenere una sicurezza di progetto adeguata.

A questo proposito l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Sicurezza Ambientale) ha effettuato delle valutazioni di rischio idrogeologico su tutto il territorio nazionale, determinando le rispettive classi di pericolosità in base al rischio R ottenuto. In ambito idrologico si parla di pericolosità idraulica quando le piogge combinate con l'assetto territoriale causano fenomeni di dissesto come frane o esondazioni, in questo caso si parla di rischio idrogeologico o idraulico (Scarponi, 2021, pp.43).

Lo studio del rischio idraulico accomuna ricercatori di diverse discipline, soprattutto per quanto riguarda i seguenti ambiti: scambi delle acque superficiali-sotterranee; flusso dei torrenti; erosione collegata ai corsi d'acqua; morfologia e gestione dei fiumi; colate di materiale detritico; valutazione delle risorse idriche; tutto ciò che riguarda il funzionamento di opere idrauliche come le dighe; la produzione di energia elettrica tramite l'utilizzo dell'energia dei corsi d'acqua ed infine i rischi alluvione. Per questi ultimi vengono approfondite le ricerche sul controllo delle stesse e la gestione dei corsi d'acqua che possono essere soggetti al rischio inquinamento (Fronzi, Tazioli, 2019).

3.1.1 RISCHIO IDROGEOLOGICO SUL BACINO DEL FIUME ASPIO

Questo tipo di rischio interessa principalmente le aree costituite da acque superficiali ed un terreno principalmente instabile. Le alluvioni, esondazioni e le frane sono i dissesti idrogeologici principali che si analizzano. Questi, insieme alla complessità idrogeologica e geostrutturale che caratterizza l'area del Monte Conero, influiscono in maniera sostanziale all'assetto di ricarica degli acquiferi. A tal proposito sono stati fatti, su scala ridotta, delle indagini idrogeologiche per identificare le aree di infiltrazione dell'acquifero sulla base dello studio delle diverse formazioni rocciose, le quali dimostrano un diverso comportamento in termini idrogeologici. Sulla stessa area inoltre sono stati fatti dei campionamenti di acque sotterranee per un periodo di 4 anni a diverse quote al fine di studiarne la composizione isotopica. Questi studi hanno dato come risultati un'altitudine media di ricarica dell'acquifero di circa 100 m in cui la stragrande maggioranza dell'afflusso nell'acquifero è possibile grazie alle parti permeabili della falda costituite dal il 20 % delle rocce affioranti in superficie (Mussi, 2017).

3.1.2 RISCHIO ALLUVIONE

L'alluvione è definita come l'allagamento di quelle zone che sono soggette a fenomeni piovosi molto intensi che possono durare anche per settimane. I danni causati da questi eventi possono riguardare sia le aree boschive che quelle urbanizzate (Alecci C., 2017-2018, pp. 3).

A tal proposito si riporta l'esempio dell'alluvione del 16 settembre 2006 avvenuta nella provincia di Ancona che provocò l'esonazione dei fiumi Aspio e Potenza. Le precipitazioni di breve durata (scrosci) si sono presentate in maniera violenta con cumulate superiori a 100 mm nelle 4 ore, provocando l'esonazione dei fossi e l'allagamento di vaste zone nei comuni di Camerano, Osimo, Offagna e Castelfidardo. Facendo riferimento ai dati raccolti dalle stazioni pluviometriche presenti nella Regione Marche si studiano le precipitazioni antecedenti all'evento di pioggia. Si osserva che: nel mese di Agosto 2006 le precipitazioni medie cumulate sono di 100 mm, con picchi maggiori di 150 mm; dalla seconda metà di Agosto a inizio Settembre, si osservano piogge cumulate medie di 50 mm con picchi massimi di 100 mm (Fig. 3.1); dieci giorni prima dell'evento le piogge cumulate sono invece di 20 mm (Fig. 3.2). Prendendo in esame la pioggia cumulata sulle 24 ore del 16 settembre 2006 (Fig 3.3) è importante affermare che la maggior parte della precipitazione è avvenuta nell'arco di quattro ore (Amici et alii., 2006).

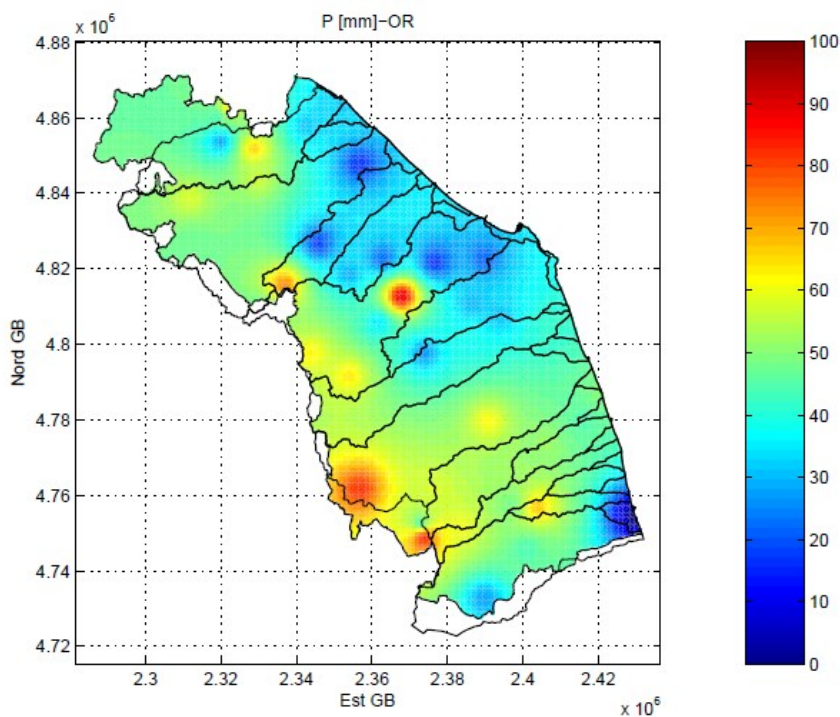


Fig. 3.1 Mappa di precipitazione cumulata (mm) 30 giorni prima l'evento di alluvione

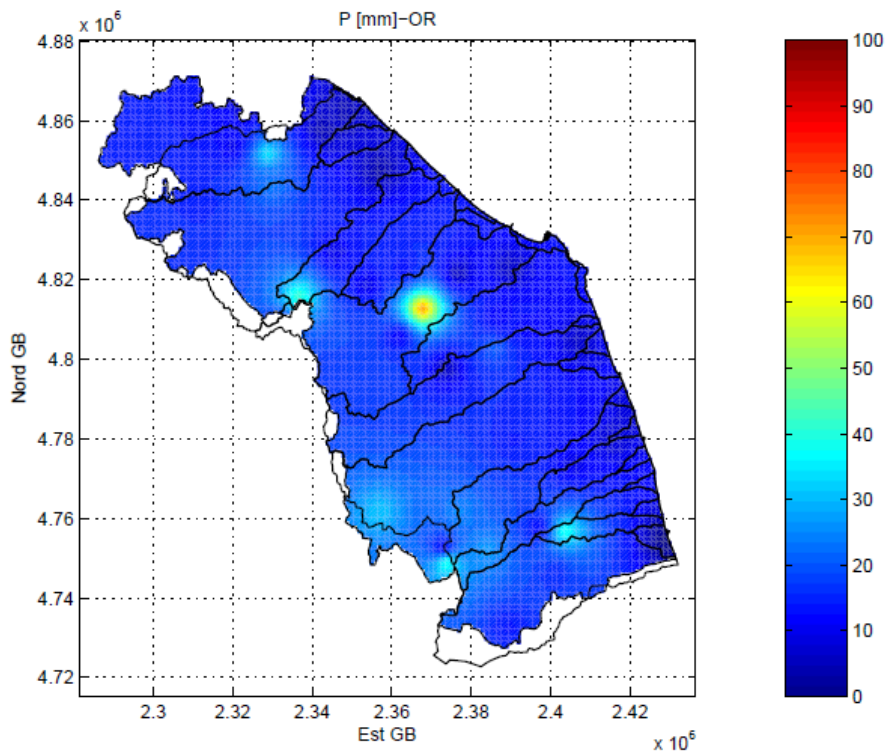


Fig. 3.2 Mappa di precipitazione cumulata (mm) nei 10 giorni prima l'evento di alluvione

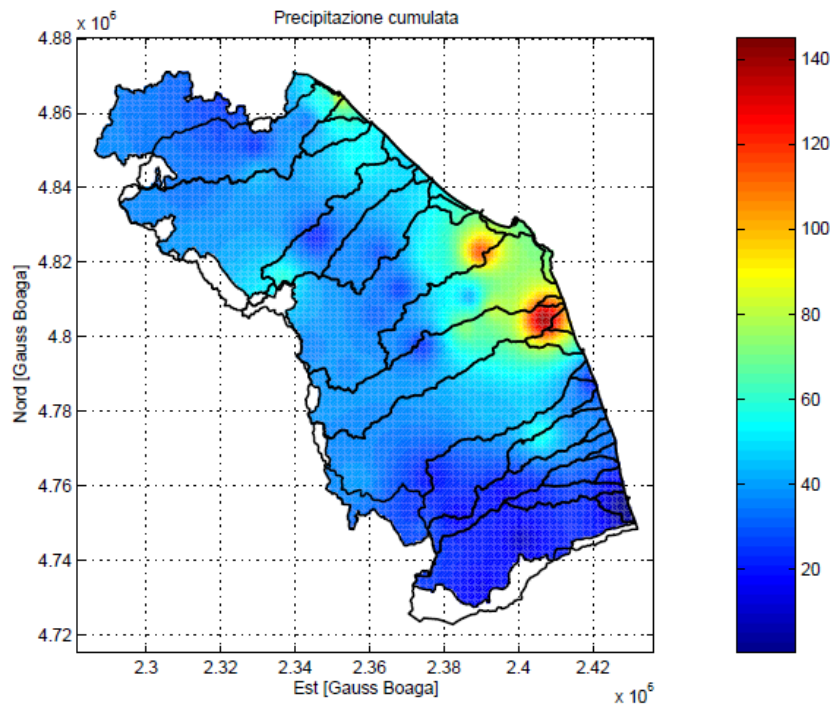


Fig. 3.3 Mappa precipitazione cumulata nelle 24 ore antecedenti l'evento

Il bacino del F. Aspio, a causa della sua struttura geomorfologica e dell'elevato sviluppo di attività industriali sul territorio, è fortemente soggetto a criticità idro-geologiche.

Il territorio è costituito prevalentemente da rocce risalenti al Pliocene inferiore che conferiscono al terreno una impermeabilità tale da non facilitare la filtrazione dell'acqua nel sottosuolo e mantenendola in superficie. La forte impermeabilità del terreno del bacino del F. Aspio è influenzata anche dalla forte cementificazione e all'attività di aratura sul territorio che è priva di solchi trasversali, non consentendo così la diminuzione del deflusso superficiale. Lo stato di questi terreni ad uso agricolo, insieme ai forti eventi di pioggia, ha favorito il trasporto solido di materiale verso le quote più basse, colpendo la zona industriale e andando ad occludere i tombini. A causa dello sbarramento che si è creato il normale deflusso delle acque verso il F. Aspio è stato bloccato.

Le conseguenze di questo fenomeno possono osservarsi dalla serie di immagini riportate: sul ponte del F. Aspio (*Fig. 3.4 e Fig 3.5*), nei pressi della zona industriale (*Fig. 3.6*), nella rete ferroviaria (*Fig. 3.7*) (Amici et alii., 2006).



Fig. 3.4 Livello a valle del ponte del Fiume Aspio



Fig. 3.5 Occlusione a monte del ponte del Fiume Aspio



Fig. 3.6 Effetti dell'alluvione nella zona industriale



Fig. 3.7 Effetti dell'allagamento sulla rete ferroviaria

3.1.3 RISCHIO FRANA

Per prima cosa si definisce “frana” il distacco con conseguente movimento, lento o veloce, di materiale roccioso, o sciolto, da un versante. Vi possono essere due tipi di cause: predisponenti cioè connesse alla geologia, alla morfologia e all'idrogeologia stessa del terreno; determinanti cioè connessi all'urbanizzazione, alla vegetazione o al succedersi di eventi catastrofici sul territorio.

Molto spesso è proprio l'azione dell'uomo, in concomitanza con il maltempo, a causare eventi di frana, mentre altre volte questo tipo di eventi sono causati dalla morfologia stessa del terreno.

La tempestività degli interventi sul luogo e le caratteristiche urbanistiche della zona interessata alla frana (come la presenza di centri abitati nelle vicinanze), influenzano l'entità dei danni in maniera molto significativa.

Di una frana si identificano tre parti principali: la zona in cui si ha separazione di materiale detta “zona di distacco”; la zona in cui il materiale compie il suo movimento detta “alveo di frana”; il punto finale, dove il materiale tende ad accumularsi, si dice cumulo di frana (*Fig.3.8*) (Alecci, 2017-2018, pp. 15-19).

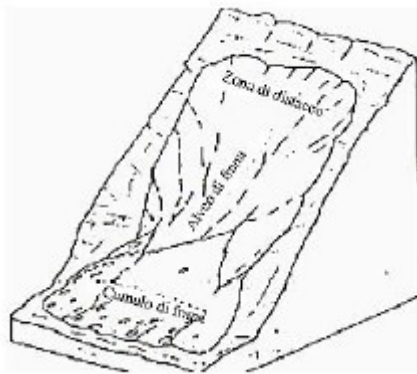


Fig. 3.8 Componenti di un movimento franoso

Per studiare il processo di frana e per controllarne l'evoluzione si utilizzano vari metodi di monitoraggio, ognuno di questi ha una diversa finalità tra cui: valutare lo spostamento della massa franosa, ricavare la variazione di pressione interstiziale all'interno di essa o sulla falda oppure per semplice controllo della buona riuscita degli interventi di contenimento effettuati sulla zona interessata.

Il Servizio Geologico Nazionale, al fine di determinare la "propensione al dissesto" dei territori comunali, utilizza la seguente metodologia.

Per prima cosa viene realizzata la Carta della propensione al dissesto della litologia affiorante; questo è possibile grazie alla sovrapposizione dei dati AVI georeferenziati (informazioni relative ai fenomeni franosi) con la Carta geologica del territorio.

Si calcola l'indice di franosità per ogni formazione geologica, cioè il rapporto tra il numero di frane sulla formazione stessa e la superficie affiorante. Il terreno nazionale viene classificato con: basso, medio o alto propensione al dissesto.

Successivamente si calcola per ogni singolo comune quale è la sua propensione al dissesto, andando a sovrapporre la mappa geografica locale con la Carta della propensione al dissesto e quindi ricavando il rischio idrogeologico di frana (basso, medio o alto) che ogni comune possiede.

A seconda del valore dell'indice si ha la seguente suddivisione in tabella 3.1:

Classe	Propensione al dissesto del comune
7	Molto alta
6	Alta
5	Medio-alta
4	Media
3	Medio-bassa
2	Bassa
1	Molto bassa

Tabella 3.1 Suddivisione livello di rischio

Per quanto riguarda la Suddivisione della regione Marche sulla propensione al dissesto idrogeologico si può notare in *Fig. 3.9 e Fig. 3.10* che i numeri di comuni a rischio varia per ogni provincia, il numero più alto di comuni a rischio si hanno nella provincia di Pesaro-Urbino, mentre il numero più basso lo detiene la provincia di Ancona. Viene inoltre riportata la percentuale dei comuni a rischio sul numero dei comuni totali presenti nel territorio provinciale (Servizio per la Difesa del Territorio, 2000, p. 10).

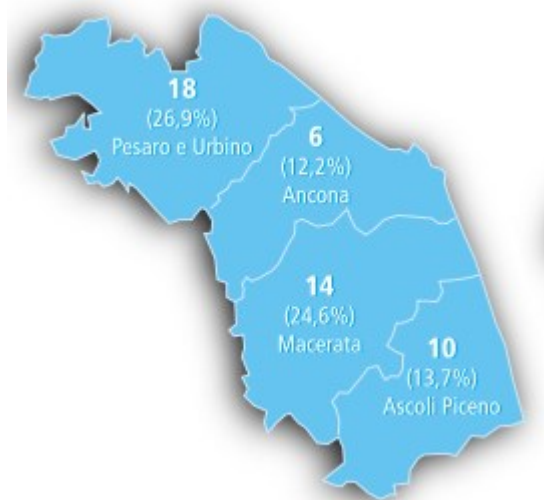


Fig. 3.9 Livello di rischio "Molto elevato" nella regione Marche

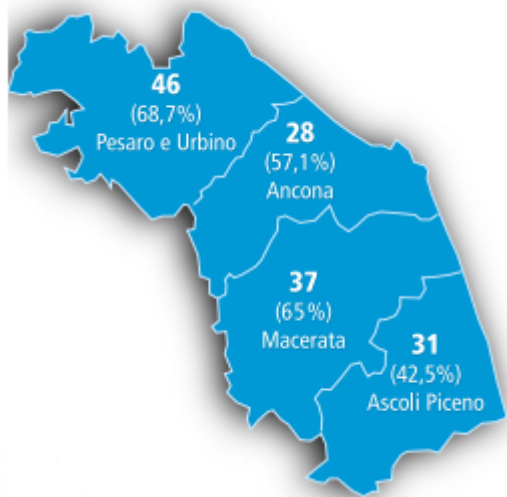


Fig. 3.10 Livello di rischio da Elevato a Molto Elevato nella regione Marche

Infine si può constatare che più della metà dei comuni presenti sul territorio regionale possiede un rischio idrogeologico molto elevato, quindi è soggetto più facilmente a dissesti di tipo franosi o alluvioni. Nella provincia di Ancona, dove si colloca il bacino del F. Aspicio, 6 comuni risultano a rischio molto elevato e 28 comuni tra rischio elevato e molto elevato. Tenendo conto il numero di comuni totali presenti nella provincia: il 12.2% è a rischio Molto elevato e il 57.1 % risulta a cavallo tra il rischio molto elevato ed il rischio elevato (Servizio per la Difesa del Territorio, 2000, p. 42).

4.MATERIALI E METODI

In questo capitolo sono descritte le procedure di analisi utilizzate durante le prove in situ e in laboratorio al fine di caratterizzare sia dal punto di vista idrologico, geologico ed idrogeologico il bacino del fiume Aspio, sono state effettuate varie prove e sono stati raccolti ed elaborati i dati forniti dalle varie stazioni di monitoraggio. Per questa tesi ci si è concentrati principalmente sull'aspetto idrologico e di permeabilità dell'area presa in considerazione.

4.1 STRUMENTI UTILIZZATI

Per ogni prova che si è svolta sia in situ che in laboratorio sono state utilizzate strumentazioni differenti.

Di seguito verranno elencati i vari tipi di strumenti utilizzati per eseguire le suddette analisi: strumenti meccanici; strumenti elettronici; strumenti informatici; strumenti chimici.

4.1.1 STRUMENTI MECCANICI

Flessometro

Il flessometro è uno strumento di misurazione delle lunghezze, questo è costituito da un nastro graduato in metri secondo il sistema internazionale SI.

Strumenti agricoli

Gli strumenti agricoli vengono utilizzati per preparare il terreno superficiale alle successive prove, andando ad estirpare elementi di intralcio ed a livellare il terreno, sono stati utilizzati: rastrello (Fig. 4.1) e zappa (Fig 4.2).



Fig. 4.1 Zappa



Fig. 4.2 Rastrello

Trivella meccanizzata

La trivella (*Fig. 4.3*) è uno strumento che viene utilizzato per la raccolta di campioni di terreno. Questa è in grado di perforare il terreno in maniera superficiale grazie alla sua punta di forma elicoidale, questa è collegato ad un sistema motorizzato che ne permette l'infissione in maniera più profonda rispetto ad una trivella a mano. I campioni raccolti avranno una lunghezza di circa 2 metri. È uno strumento molto utile alla raccolta di provini in campagna.



Fig. 4.3 Trivella meccanica (www.agrieuro.com)

Mazza battente

La mazza battente (Fig. 4.4) è utilizzato per trasmettere energia battente ad un elemento o, nel nostro caso, ad uno strumento.



Fig. 4.4 Mazza battente (www.manomano.it)

Infiltrometro a doppio anello

L'infiltrometro a doppio anello (Fig. 4.5) è un semplice strumento tramite il quale si è in grado studiare la permeabilità del terreno in considerazione, si potrà stimare, tramite una misurazione diretta in situ, i parametri di una espressione approssimata di infiltrazione potenziale (Zimbone 2008-2009, slide 34-41).

Questo strumento è costituito da: due anelli concentrici in acciaio INOX che dovranno essere infissi nel terreno per una stessa profondità proporzionale alle loro dimensioni; una

staffa per consentire alla sonda di essere sorretta e mantenere la propria posizione verticale; una piastra in acciaio a croce utile per l'infissione dello strumento nel terreno tramite mazza battente, garantendo la buona diffusione dell'energia battente senza rovinare lo strumento.

L'utilità di questo strumento sta nel poter ricavare il coefficiente di saturazione (K_{sat}) del terreno; per fare ciò ci si serve dell'apposito sensore posizionato al centro e si andrà a mantenere uno stesso tirante all'interno di entrambi i cerchi per tutta la durata della prova.



Fig. 4.5 Infiltrometro a doppio anello

Strumenti da laboratorio

Setacci da laboratorio per l'analisi granulometrica ASTM E11 (American Society Standard Materials)

Il setaccio, o vaglio, è uno strumento utilizzato per separare le particelle di un materiale granulare (*Fig. 4.6*). Ogni vaglio è formato da un anello in acciaio in cui alla base è saldata una rete metallica, che può avere aperture di diversa grandezza. La serie ASTM, utilizzata per lo studio della granulometria dei campioni in esame, è costituita da dieci setacci aventi aperture di dimensioni differenti; la disposizione di questi sarà in ordine decrescente, verranno quindi disposti a partire dall'alto dal vaglio di dimensioni più grandi (8mm) a quello di dimensioni più piccole (75 micron).



Fig. 4.6 Esempio di setacci (www.colaver.it)

Contenitori in plastica

I contenitori da 5 litri, 25 litri e 30 litri vengono utilizzati per travasare l'acqua utile alla prova infiltrometrica tramite l'infiltrometro a doppio anello.

Cilindro graduato (Fig. 4.7) utilizzato per misurare il volume di campioni dei liquidi; imbuto (Fig.4.8) per travasare i fluidi da un recipiente ad un altro; vaschette in alluminio (Fig.4.9) per contenere qualsiasi tipo di campione, sia solido che liquido.



Fig. 4.7 (www.vetro-e-plastica.it)



Fig. 4.8 (www.vetro-e-plastica.it)



Fig. 4.9 (www.monosodirect.it)

4.1.2. STRUMENTI ELETTRONICI

Trasduttore di pressione Diver

Il trasduttore di pressione (*Fig.4.10*) è uno strumento elettronico in grado di misurare delle grandezze come: viscosità, livello, pressione, temperatura, pressione ecc..

Questo sensore definito anche come “sensore di pressione”, misura la grandezza in ingresso e la traduce come segnale in uscita in un’altra grandezza fisica. Questo è possibile grazie a funzioni matematiche e nel caso del sensore di pressione, questo converte la misura della pressione in ingresso in un segnale elettrico analogo in uscita.

I trasduttori di pressione possono essere utilizzati in più ambiti, la loro versatilità è dovuta alle varie misurazioni di pressione che si possono ottenere, come:

- misurazione della pressione relativa: la pressione relativa è la pressione al di sopra della pressione atmosferica, si misura quindi considerando la pressione dell’ambiente come lo zero di riferimento, per questo motivo la pressione relativa è definita anche come sovrappressione; (*blog.wika.it*)
- misurazione della pressione assoluta: misura della pressione riferito ad una condizione di vuoto cioè dove la pressione atmosferica è pari a zero e non c’è materia nell’ambiente considerato; (*blog.wika.it*)

- misurazione della pressione differenziale: la misurazione della pressione differenziale si ottiene tramite la differenza di pressione tra due differenti punti del processo considerato. (*blog.wika.it*).

Il trasduttore, utilizzato per le misurazioni nel bacino del F. Aspio, è un prodotto di Aquasearch, denominato DIVER. Il diametro dello strumento è di circa 18 mm, mentre la sua lunghezza è di 88 mm; è in grado di effettuare 48000 misure per una frequenza di campionamento da 0.5 secondi a 99 ore. Il DIVER è prodotto in acciaio INOX 316L e pesa 45 g; è in grado di misurare temperature dai -20°C ai +80 °C. La vita di utilizzo di questo tipo di sensore è pari a 10 anni e coincide con la durata della batteria (www.aquasearch.it).



Fig. 4.10 Trasduttore di pressione

Diver CTD

Il Diver CTD (*Fig. 4.11*) è uno strumento elettronico in grado di misurare: livello, temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua, risulta essere adatto per studi di intrusioni saline oppure per quantificare la contaminazione dei siti.

Si tratta di uno strumento prodotto da Aquasearch ed è costruito interamente in ceramica, è lungo 135 mm per un diametro di 22 mm. La memoria del sensore è pensata per registrare 48000 misure, per un range di conducibilità 0-120 mS/cm, mentre la frequenza di campionamento varia da 1 secondo a 99 ore (www.aquasearch.it).



Fig. 4.11 Diver CTD (www.aquasearch.it)

Stufa da laboratorio

Il forno o stufa da laboratorio (Fig. 4.12) viene utilizzata principalmente al fine di essiccare, asciugare o stagionare i provini ad una certa temperatura.

Questi forni raggiungono dai 250° ai 300° di temperatura, provvedendo poi a mantenerle costanti nel tempo fino a che il provino in esame non sarà completamente asciutto. Solitamente sono costituite da sportelli in acciaio inossidabile, sportello termico e ripiani interni forati (tali da consentire la giusta propagazione del calore).

Il principio di funzionamento delle stufe da laboratorio è quello di convezione: l'elemento riscaldante è contenuto all'interno di una camera separata dal forno, questo consente di mantenere integro il provino, il calore verrà trasmesso all'interno del forno tramite gravità oppure tramite convezione meccanica.



Fig. 4.12 (www.strumentidalaboratorio.com)

Bilancia da laboratorio

La bilancia da laboratorio (*Fig. 4.13*) viene utilizzata per misurare la massa dei campioni presi in esame, che verranno a tal scopo posizionati sopra di questa. La bilancia che è stata utilizzata per i nostri dati ha riportato il peso in centigrammi.



Fig. 4.13 Bilancia da laboratorio

Mulinello idrometrico SIAP

Il Mulinello idrometrico è utilizzato per la determinazione della velocità della corrente in canali naturali o artificiali dalla quale si può ricavare la scala di deflusso o la portata dello stesso (www.faberingegneria.it).

Il mulinello SIAP (*Fig. 4.14*) consente una totale sicurezza di utilizzo delle componenti elettriche del sistema, inoltre offre una precisione di misura molto ampia per quanto riguarda le portate più piccole. Lo strumento può essere utilizzato sia in corsi di acqua naturali che in quelli artificiali caratterizzati da ogni tipo di superficie, da quella più limpida a quella più torbida.

La velocità del corso d'acqua viene misurata tramite i giri che l'elica compie in un determinato lasso di tempo. Il numero di giri è noto tramite ad un contatore che può contare ogni giro o ogni mezzo giro, mentre il tempo viene calcolato tramite un cronometro sincronizzato con un interruttore.

Data la finezza dello strumento nel controllo del moto dell'elica, questo è particolarmente adatto alla misura simultanea in più punti della sezione (www.brera.mi.astro.it).

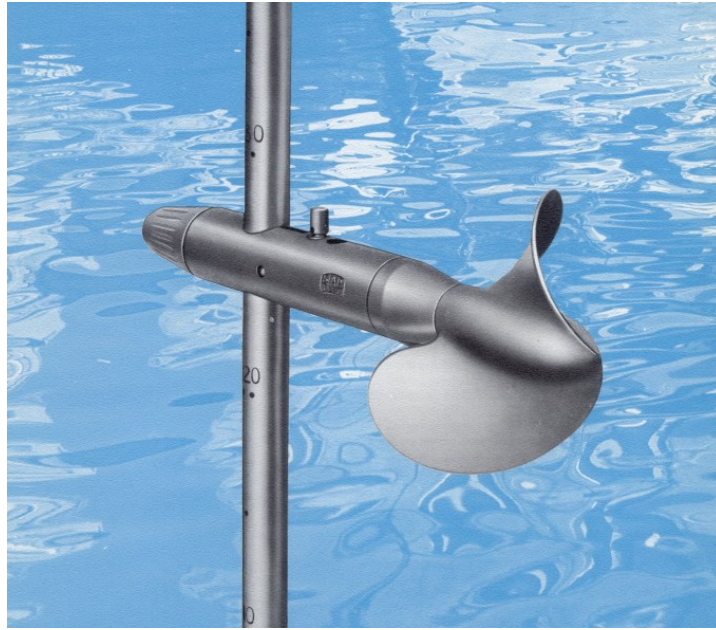


Fig. 4.14 Mulinello idrometrico SIAP (www.brera.mi.astro.it)

Sonda Fluorimetrica PME Cyclops-7 Logger

La Sonda fluorimetrica PME Cyclops-7 Logger (Fig. 4.15) è un registratore che, insieme alla sonda Turner Designs Cyclops-7F registra e restituisce una serie di dati, in maniera compatta e autonoma, sulla qualità dell'acqua in cui questo è immerso.

La sonda ha le seguenti caratteristiche: registra le misure effettuate dal sensore, l'ora e la data in cui queste sono state registrate, il guadagno e la tensione della batteria del logger; si possono effettuare campionamenti in maniera regolata, con un intervallo di tempo minimi gli uni dagli altri di 5 secondi; i dati registrati vengono scaricati dal sensore tramite un cavo USB (www.fondriest.com).



Fig. 4.15 Sonda Fluorimetrica (www.fondriest.com)

4.1.3 STRUMENTI INFORMATICI

Excel

Excel è un programma di Microsoft utilizzato per gestire e creare fogli di calcolo. Questo fa parte del pacchetto di software di Microsoft Office, disponibile sia per sistemi windows che macOS.

Il foglio di calcolo è costituito da un numero infinito di caselle divise per righe e colonne, queste sono contrassegnate in orizzontale tramite lettere (A,B,C...) ed in verticale tramite numeri (1,2,3...).

Avendo a disposizione un certo numero di dati all'interno delle caselle del programma, Excel consente la creazione e la visione di grafici e tabelle oltre che consentire la possibilità di effettuare qualsiasi tipo di calcolo e/o operazione algebrica.

SIRMIP online

Il SIRMIP (Fig.4.16) è una piattaforma online di banca dati (meteo, di livelli e portate dei corsi d'acqua) di tutta la regione Marche.

Tramite delle credenziali (username e password) si può accedere alla banca dati, dopodiché si potrà scegliere tra le varie sezioni presenti al suo interno (Fig.4.17).

Nella regione Marche la raccolta di questi dati è gestita dalla protezione civile che riporta gli stessi in maniera aggiornata.

Una volta selezionata la sezione si potrà poi procedere andando a scegliere la stazione di interesse sulla relativa mappa presente nel sito ed infine si potranno scaricare i dati (pluviometrici, di livello, di umidità ...), sia sottoforma di foglio di calcolo excel che sottoforma di immagine del grafico finale.

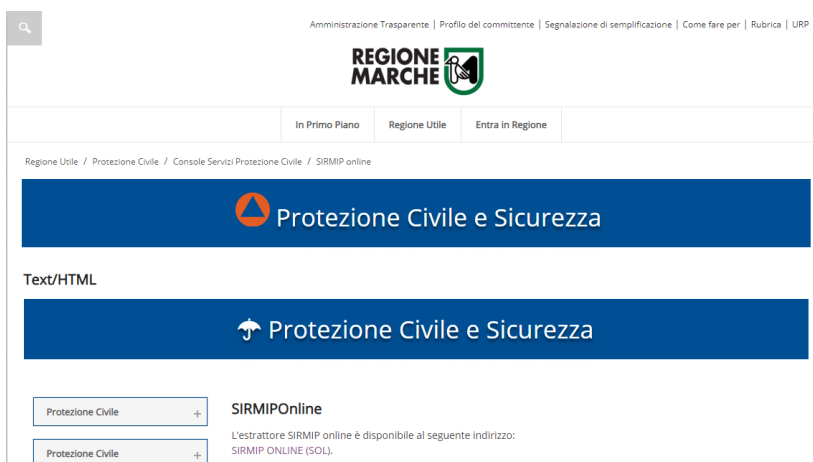


Fig. 4.16 Pagina web della protezione civile regione Marche

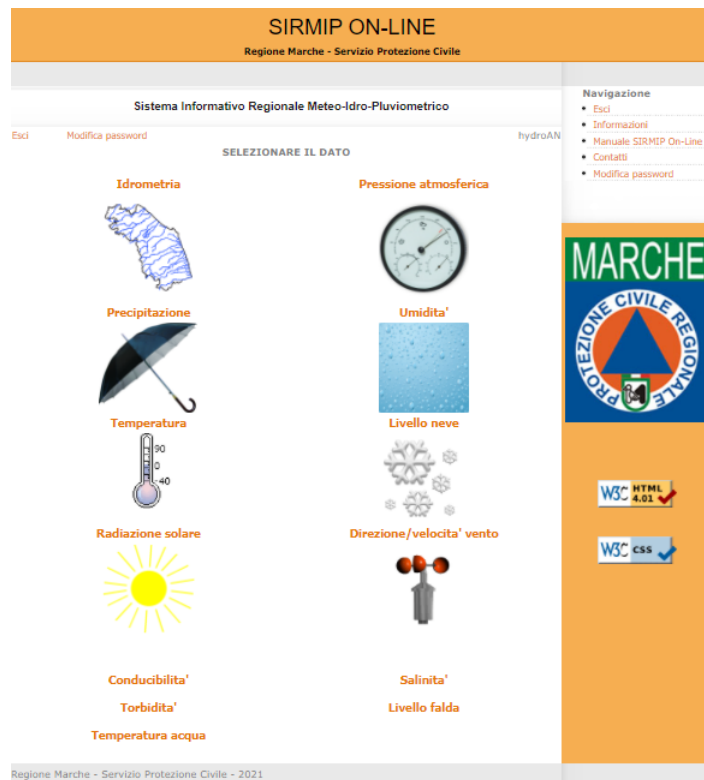


Fig. 4.17 SIRMIP online

Diver Office

Diver Office è un pacchetto software di misura per la ricezione dei dati acquisiti dal Diver (trasduttore di pressione descritto nel paragrafo 4.1.2). Questo programma è necessario per la gestione di più Diver ed il monitoraggio dei dati acquisiti tramite PC. Questi dati possono essere esportati su programmi di modellazione.

Il Diver Office consente le seguenti operazioni: effettuare compensazioni barometriche; visualizzare le serie temporali in formato grafico o tabellare; importare ed esportare i dati in formati multipli; calibrare il sensore Diver CTP; avviare e stoppare i sensori; leggere e programmare i datalogger (www.aquasearch.it).

4.1.4 MATERIALI CHIMICI

Esametafosfato di sodio

Il sodio esametafosfato (Calgon) (Fig.4.18), è ottenuto per riscaldamento del fosfato monosodico. Il processo di formazione della sostanza inizia sopra i 650 °C, quando le formazioni cristalline tipiche del Sale di Madrell cambiano il loro stato e si fondono. Il sodio

esametafosfato si presenta normalmente sottoforma di polvere fine e solubile in acqua ed ha numerose proprietà tra cui: sequestranti, fluidificanti e disperdenti. La sostanza permette di ottenere un'immediata dispersione delle particelle di materiale, trova infatti un ampio impiego sia in edilizia come inibitore di corrosione, che nel settore delle vernici ad alto contenuto di PVC (www.igmaspa.it).



Fig. 4.18 Esametafosfato di sodio (www.laboratoriumdiscounter.nl)

Fluoresceina

La fluoresceina (*Fig. 4.19*) è un sale sodico cioè una sostanza fluorescente di tipo organico, questa viene utilizzata per la determinazione della portata nei corsi d'acqua superficiali e sotterranei. Questa sostanza si trova in commercio sottoforma di polvere, inoltre, a seconda della diluizione, assume colori dal giallo al verde intenso. La fluoresceina trova difficoltà ad aderire a rocce come marmi, porcellane o cemento, per questo motivo è più indicata al tracciamento di acque sotterranee. Sotto la luce tende a dissolversi completamente in poco tempo, quindi è particolarmente ideale per controlli e marcatura in corsi a cielo aperto (it.trotec.com).



Fig. 4.19 Fluoresceina in polvere

NaCl

Il cloruro di sodio (o sale) è una sostanza chimica, nello specifico un minerale che a temperatura ambiente si presenta come un solido incolore. Il sale utilizzato comunemente in cucina è ricavabile da acqua di mare oppure dall'estrazione in miniera tramite evaporazione, poi, a seguito di processi di raffinazione, si ottiene, dal sale "grezzo", il sale raffinato (contenente cloruro di sodio al 98%) (www.issalute.it).

Tante reazioni chimiche possono produrre i Sali, a seconda del livello di sostituzione della componente anionica e cationica del composto si possono ottenere sali acidi o basici, quello più semplice è proprio il cloruro di sodio NaCl.

Il cloruro di sodio è un conduttore di elettricità e trasmissione neurologica.

4.2 METODI D'INDAGINE

Nell'area studio presa in considerazione (bacino del fiume Aspio), sono state fatte varie tipi di indagini: Prove in situ; Indagini di laboratorio; Raccolta ed elaborazione dei dati.

Di seguito verranno analizzate le fasi di indagine che sono state svolte a partire da Aprile 2021 fino al mese di settembre 2021.

4.2.1 PROVE IN SITU

Tenendo conto degli strumenti descritti nel paragrafo precedente, si andranno a descrivere le prove effettuate sull'area in esame.

Le prove in situ che sono state effettuate sono le seguenti: Prova infiltrometrica a doppio anello; Misurazione della portata tramite metodo volumetrico; Raccolta di campioni di terreno nell'area in esame.

4.2.1.1 PROVA INFILTROMETRICA

Per l'analisi del comportamento idraulico del terreno che caratterizza il bacino del fiume Aspigo sono state svolte delle prove infiltrometriche a doppio anello, queste sono state fatte con lo scopo di stimare la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno; inizialmente esso non sarà saturo, poi, quando il terreno sottostante ai due anelli sarà totalmente saturo di acqua, si andrà a determinare il coefficiente di permeabilità saturo (K_{sat}) (Avanzi, gennaio 2016).

La prova infiltrometrica a doppio anello va effettuata più volte su uno stesso terreno a distanza di qualche mese l'una dall'altra in modo da poter confrontare i risultati ottenuti in condizioni ambientali variabili. In particolare, si descrive di seguito la prova svolta il 28 luglio 2021 in provincia di Ancona all'interno dell'area del campo pozzi di Vivaservizi SpA (Fig. 4.20).



Fig. 4.20 Sito di svolgimento

Come prima cosa si andrà a ripulire il terreno su cui si eseguirà la prova da eventuali impurità, come foglie, erbacce, rami, in modo che questi non possano compromettere la prova; dopodiché si andranno a posizionare i due cerchi in acciaio descritti nel paragrafo 4.1.1: per primo si posizionerà il cerchio con diametro maggiore e poi, all'interno di questo, il secondo cerchio con diametro minore, questi dovranno essere il più possibile concentrici (Fig.4.21).



Fig. 4.21 Posizione degli anelli in acciaio per le prova infiltrometrica

Lo step successivo per la buona esecuzione della prova è di affondare entrambi gli anelli nel terreno per una profondità di circa 8 cm, questo si ottiene utilizzando una piastra in metallo a forma di “X” che deve essere posizionata, in maniera centrata, sopra entrambi i cerchi.

La mazza battente, illustrata nel paragrafo 4.1.1, viene utilizzata dall’operatore per immergere i cerchi nel terreno tramite energia battente (*Fig. 4.22*).



Fig. 4.22 Infissione doppio anello

Successivamente si va a posizionare il trasduttore di pressione (descritto nel paragrafo 4.1.2), dopo che è stato programmato alla raccolta di dati per un Δt pari a 5 secondi, al centro del cerchio più interno tramite una cordicella legata ad una staffa, che viene utilizzata per mantenere il trasduttore centrale e verticale durante la prova (*Fig. 4.23*).



Fig. 4.23 Posizionamento trasduttore di pressione

Si prosegue dunque riempiendo le taniche (paragrafo 4.1.1) di acqua per poi travasare la stessa sia nello spazio tra i due cerchi che all'interno dello spazio circoscritto al cerchio più piccolo, fino a raggiungere in entrambi i casi lo stesso battente (Fig. 4.24). Si deve garantire per tutta la durata della prova che la sonda rimanga completamente sommersa per far sì che i risultati rilevati non siano affetti da errori (Fig. 4.25).



Fig. 4.24 Acqua travasata all'interno del doppio anello



Fig. 4.25 Battente idrico iniziale

Il livello del battente idrico deve rimanere costante, quindi quando questo inizia a scendere a causa della permeabilità del terreno, l'operatore deve prontamente rimboccare ulteriore acqua affinché il trasduttore di pressione non rimanga all'asciutto. Se il battente si dovesse abbassare solo nello spazio più esterno, compreso tra i due cerchi, l'acqua deve essere riportata allo stesso livello del battente iniziale in modo da garantirne uno stesso abbassamento.

La prova giunge al termine quando il livello dell'acqua scende in maniera molto più rallentata rispetto l'inizio della stessa, in questo caso infatti il terreno si può considerare saturo e quindi si può ricavare il coefficiente di permeabilità idraulica in condizioni sature (K_{sat}).

Quando l'acqua è tutta infiltrata nel terreno sottostante, si può prelevare il trasduttore di pressione dalla staffa e da questo si possono scaricare i dati di livello e di pressione che poi andranno riportati ed elaborati su foglio di calcolo.

Nei capitoli successivi si approfondisce l'aspetto di analisi dei dati ottenuti dalla prova infiltrometrica dai quali si ricava il K_{sat} .

4.2.1.2 RACCOLTA DEI CAMPIONI IN SITO

Il prelievo dei campioni consiste nel prendere delle porzioni di terreno all'interno del bacino in esame. In questo caso vengono raccolti dei campioni di terreno all'interno del sito del Betelico, lo stesso anche per la prova infiltrometrica a doppio anello.

I campioni sono prelevati con un sondaggio effettuato tramite trivella motorizzata fino ad una profondità di 180 cm, ad intervalli discreti di 30 cm l'uno dall'altro, per un totale di sei campioni:

- 1° campione: 0-30 cm
- 2° campione: 30-60 cm
- 3° campione: 60-90 cm
- 4° campione: 90-120 cm
- 5° campione: 120-150 cm
- 6° campione: 150-180 cm

Ciascuno di questi campioni di terreno viene raccolto e conservato all'interno di sacchetti ermetici, viene riportato l'intervallo di profondità sopra di questi, per poi essere trasportati in laboratorio (Fig.4.26).

Il fine ultimo è quello di ricostruire la curva granulometrica del terreno in esame, andando ad effettuare le analisi granulometriche di ogni provino.



Fig. 4.26 Campioni di terreno conservati in sacchetti ermetici

4.2.1.3 MISURAZIONE DELLA PORTATA

Per prima cosa si definisce portata (Q), la grandezza che esprime il volume di fluido (V), che attraversa la sezione di un condotto nell'unità di tempo (t):

$$Q = V/t$$

Questa può essere espressa sia in l/s (o ml/s) che in m³/s, nel caso in esame si è scelto la prima per tutte le misure effettuate.

Misura di portata con metodo volumetrico

La misura è avvenuta in campagna nella zona di Vallemiano (T. Miano) nei periodi di luglio 2021 e settembre 2021.

La portata è valutata secondo il metodo volumetrico, questo consiste nel determinare la quantità di acqua passante per una sezione rappresentativa del corso d'acqua in esame in un determinato intervallo di tempo.

Si sceglie la sezione di alveo per la quale si è più agevolati alla raccolta dell'acqua, nel caso di Vallemiano si è scelta una sezione caratterizzata da un risalto idraulico (*Fig. 4.27*).



Fig. 4.27 Captazione dell'acqua dalla sezione rappresentativa (Vallemiano)

Da questa sezione si capta l'acqua, tramite un secchio, per un intervallo di tempo pari a 30 secondi per poi travasarla in un contenitore tarato e misurarne il volume in litri (*Fig. 4.28*).



Fig. 4.28 Misurazione dell'acqua captata

La procedura deve essere ripetuta per almeno tre volte, in modo da avere una serie di valori confrontabili tra loro, per poi fare una media dei risultati ottenuti. Di seguito viene riportato un esempio di calcolo di portata tramite metodo volumetrico riferito al fosso di Vallemiano il 23 settembre 2021 (*Tabella 1*).

N° misura	Durata (sec)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	5	1,75	0,350
2	5	2,85	0,570
3	5	1,40	0,280
Portata media			0,40

Tabella 1 Esempio 23 settembre 2021

Misura di portata con metodo geometrico

Un ulteriore metodo di misura della portata che si può utilizzare è il metodo geometrico, questo consiste nel calcolare la portata passante per una sezione tramite le formule dettate dalle leggi dell'idraulica. Nello specifico si utilizzano le equazioni di Gauckler-Strickler per moto uniforme:

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

Dove: k è il coefficiente di scabrezza del materiale in cui scorre l'acqua; A è l'area liquida della sezione di riferimento; R_H rappresenta il raggio idraulico cioè il rapporto tra l'area liquida e il perimetro di questa; S_o è la pendenza al fondo della sezione.

Questa formula si può utilizzare per vari tipi di sezione geometriche, tra cui quella rettangolare, quadrata, circolare e trapezoidale, per la risoluzione di problemi di progettazione e di verifica (Borga M., 2013-2014, slide 1-3).

Nel caso in esame, per l'affluente di Vallemiano, si applica la formula per il calcolo della portata ad una sezione trapezoidale; le dimensioni di questa sono: 30 cm per i lati obliqui; 80 cm per la base minore; 115 cm per la base maggiore (Fig. 4.29).



Fig. 4.29 Sezione di alveo trapezoidale (Vallemiano)

Il calcolo della portata ottenuto tramite metodo geometrico nel corso di Vallemiano è stato effettuato con riferimento ai livelli ricavati dal sensore Diver nelle date del 28 luglio 2021 e del 23 settembre 2021.

Misura di portata tramite traccianti artificiali

Tra i metodi più utilizzati per la misura della portata troviamo “area – velocità”, questo metodo consiste nel ricavare la velocità di un corso d'acqua utilizzando mulinelli posizionati in vari punti di una sezione. In generale si possono trovare determinati casi in cui la natura del corso è turbolenta oppure la pendenza al fondo è eccessivamente elevata, in tali occasioni la sezione risulta troppo irregolare per l'utilizzo di mulinelli tradizionali o ad elica. Tra l'altro, il metodo appena accennato, risulta impraticabile in piccoli corsi d'acqua a causa dell'incertezza di misura dovuta ai livelli idrici troppo bassi.

Si ricerca quindi l'utilizzo di altri metodi di misura, tra cui quello mediante tracciante in quanto è economico e di semplice metodologia dal punto di vista operativo. Ci sono due metodi di immissione di tracciante all'interno di un corso d'acqua (superficiale o sotterraneo): l'iniezione di tipo costante o l'iniezione di tipo istantanea (Bolognesi A., 2006).

Nel caso della misura di portata del 29 settembre 2021 a Vallemiano, si è scelto di utilizzare il secondo metodo di misura di portata: ad iniezione istantanea.

Questa prova consiste nell'iniettare nel corso d'acqua, in una sezione di monte, una quantità (massa o volume) nota di tracciante, per poi misurare la sua diluizione in un'altra sezione a valle dove il mescolamento è completato con successo e dove tutto il tracciante è riuscito a passare.

Si pesa una quantità di fluoresceina in polvere (descritta nel paragrafo 4.1.4) pari a 0.24 g, questa è diluita in una quantità nota di volume d'acqua captata dal fosso di Vallemiano pari a 1.5 litri, si miscela il tracciante con l'acqua all'interno di un contenitore di plastica fino a quando non si ottiene un colore verde fosforescente (*Fig.4.30*).



Fig.4.30 Soluzione di Fluoresceina e acqua

Viene tarata la sonda fluorimetrica, la quale ha il compito di misurare la concentrazione di tracciante passante nella sezione di valle in cui è posizionata, in modo tale da avere uno standard di 100 ppb cioè 100 ml/l. Per ottenere uno standard di questo tipo si programma la

sonda in modo che questa legga il colore bianco dell'acqua passante per la sezione come concentrazione nulla di tracciante (*Fig. 4.31*).

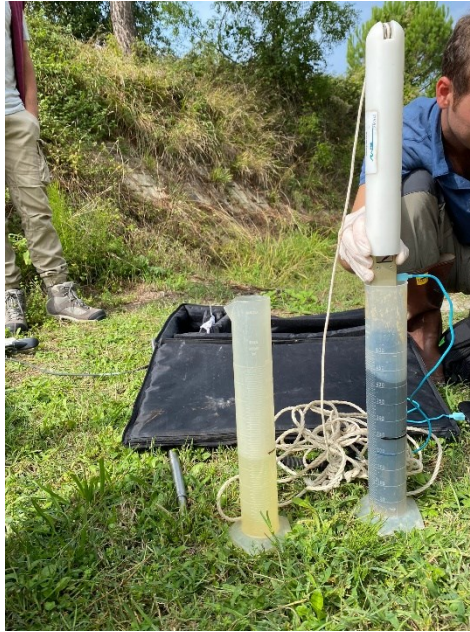


Fig. 4.31 Taratura della sonda fluorimetrica

Il tracciante diluito viene versato alle ore 12.36, nella sezione di monte, in maniera istantanea circa 15 metri dalla sezione di posizionamento della sonda fluorimetrica a valle. In questo modo tutto il corso compreso in questa distanza si colora pian piano di verde. Tutta l'acqua in questione viene portata dalla corrente a passare attraverso la sezione della sonda, la quale registra la concentrazione di tracciante all'interno del volume di acqua (*Fig.4.32*).



Fig. 4.32 T. Miano dopo l'immissione della soluzione tracciante

La prova termina quando l'acqua passante per il sensore torna ad essere del suo colore naturale e si provvede a prelevare il sensore, tenendo presente di doverlo asciugare attentamente.

Collegando il sensore ad un computer tramite porta USB si ricava l'andamento della concentrazione di tracciante in funzione del tempo di durata della prova (*Fig. 4.33*); l'andamento che si ottiene è una curva "gaussiana" avente: un ramo iniziale di incremento, un picco massimo e un ramo finale di decremento.



Fig. 4.33 Raccolta dati dalla sonda PME

Quando tutto il tracciante passa attraverso la sezione trasversale di campionamento, è vera la seguente equazione:

$$M = V c_1 = Q \int_{t_a}^{-\infty} c_2(t)$$

Dove: M è la massa (g) di tracciante utilizzato; Q è la portata del canale; V è il volume della soluzione iniettata; c_1 è la concentrazione di tracciante all'interno della soluzione iniettata; $c_2(t)$ è la concentrazione di tracciante che si trova nella sezione di valle in un determinato tempo; t_a è il tempo di arrivo delle prime particelle di soluzione.

L'integrale presente nella formula rappresenta l'area sottesa alla curva di andamento della concentrazione e richiede che il tracciante sia distribuito in maniera costante sul corso d'acqua.

La portata Q (l/s) si ottiene, facendo la formula inversa, tramite il rapporto tra la massa di tracciante M (g) e l'integrale della distribuzione di concentrazione (g/l x s) (Bolognesi A., Marzo 2006).

Misura di portata con soluzione salina

La misura di portata tramite diluizione salina trova largo impiego negli alvei dove il basso livello idrometrico e le piccole dimensioni della sezione del corso rendono impossibile l'utilizzo del mulinello idrometrico.

Per poter utilizzare il metodo con tracciante a diluizione salina, il corso d'acqua deve avere determinate caratteristiche: assenza di discontinuità nel flusso tra cui pozzi, gorghi, salti di fondo o suddivisione in filoni; facilità di accesso alle sezioni utilizzate per l'immissione ed il rilevamento dei dati; costanza della conducibilità di base; sufficiente turbolenza lungo tutto il corso in esame per garantire un buon mescolamento (Scussel G.R. & Saccardo I., 2006).

Questo tipo di analisi di portata viene effettuata nel corso di Vallemiano il 28 settembre 2021. Per prima cosa si prepara la soluzione salina (*Fig.4.34*) miscelando 327 g di sale con 5 litri di acqua appartenente al corso in esame e si posiziona la sonda Diver CTD (descritta nel paragrafo 4.1.2) in una sezione di campionamento di valle.



Fig. 4.34 Preparazione soluzione salina

L'immissione di tale soluzione salina viene fatta in una sezione a monte alle ore 12.42, mentre la presenza della stessa viene fatta in una sezione trasversale di valle. La distanza tra la zona di immissione e quella di campionamento dipende da tre fattori principali: la larghezza media del corso d'acqua; la quantità di sale utilizzato che è in funzione della portata presente sul posto; della capacità di mescolamento del corso.

Per semplicità le sezioni di monte e di valle in questione sono e stesse della prova con Fluoresceina descritta precedentemente (*Fig.4.35*).



Fig. 4.35 Posizionamento Diver CTD

La soluzione viene trasportata dalla corrente da monte a valle, dove la sonda Diver CTD è in grado di misurare la conduttività della portata passante per la stessa.

Trascorso il tempo necessario affinché tutta la soluzione immessa possa passare attraverso la sezione di campionamento, il sensore viene tirato fuori dall'acqua e collegato tramite porta USB al computer portatile di campagna; in questo modo si ricava la curva che rappresenta l'andamento della conducibilità dell'acqua in funzione del tempo trascorso (in secondi).

Come nel caso del tracciante con Fluoresceina, la curva finale sarà una gaussiana.

4.2.2 ANALISI DI LABORATORIO

In questa fase si analizzano i dati, acquisiti durante le prove in campagna, tramite delle analisi di laboratorio; queste vengono effettuate presso il laboratorio di Idrogeologia e Geotecnica ambientale del dipartimento SIMAU dell'Università Politecnica delle Marche e consistono nell'effettuare le seguenti prove: Determinazione dell'umidità dei provini prelevati in sito; analisi granulometriche dei campioni secchi;

Di seguito si analizzano in dettaglio entrambe le fasi di laboratorio che sono svolte ai fini dello studio della permeabilità e dell'infiltrazione del terreno, caratteristiche del bacino in esame.

4.2.2.1 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA NATURALE DEI PROVINI

Per prima cosa si provvede ad eliminare l'umidità di tutti e sei i provini prelevati in sito e descritti nel paragrafo 4.2.1.2. Si utilizza la tecnica di essiccazione tramite forno elettrico da laboratorio.

Di ogni provino, contenuto all'interno dei sacchetti ermetici, viene prelevata una quantità di circa 200 g di terreno per poi essere versato all'interno di vaschette in alluminio (una per ogni campione di terreno). Le sei vaschette vengono inserite negli appositi ripiani, all'interno del forno, ad una temperatura di circa 105 °C per almeno 24 ore (*Fig. 4.36*).



Fig. 4.36 Disposizione provini di terreno all'interno del forno da laboratorio

Una volta che tutti i provini sono privati dell'umidità occorre estrarli dal forno e pesarli tramite la bilancia in maniera piuttosto tempestiva, così da ottenere una misura affetta il meno possibile da errori; se il provino dovesse sostare per troppo tempo fuori dal forno, questo acquisirebbe parte dell'umidità tipica dell'ambiente circostante.

Una volta pesati, si valuta l'umidità per ogni provino che corrisponde ad un intervallo di profondità preciso quindi si va a valutare la variazione del contenuto di umidità per tutta la carota campionata di lunghezza pari a 180 cm; si utilizza la formula seguente:

$$w (\%) = 100 \frac{m_u - m_s}{m_s}$$

Dove: m_u è la massa campione umido (g); m_s è la massa campione secco (g); w (%) rappresenta contenuto di acqua (%).

Si chiarisce l'importanza di effettuare le prove di umidità in maniera ravvicinata al periodo di campionamento, così da ottenere dei risultati accettabili.

4.2.2.2 ANALISI GRANULOMETRICHE

Le analisi granulometriche vengono effettuate in modo da poter determinare la distribuzione granulometrica del terreno nel bacino del F. Aspio.

Nel caso in esame si effettua un'analisi granulometrica per via umida per la quale la normativa di riferimento è l'ASTM D6913.

Partendo dai provini già essiccati come descritto nel paragrafo precedente, si procede nelle seguenti fasi:

Preparazione dei provini

Per prima cosa si aggiunge l'esametafosfato di sodio (descritto nel paragrafo 4.1.4) all'interno delle vaschette di alluminio, è utilizzato in forma liquida come antiflocculante per i provini essiccati. Nel caso in esame viene versata una quantità della sostanza chimica di circa 75 ml per ognuno dei sei campioni di terreno in modo tale da bagnare interamente i provini.

Con l'ausilio di una piccola spatola si accelera il processo di scioglimento del terreno solido essiccato, andando a mischiare l'esametafosfato di sodio con tutte le particelle di materiale fino a quando si arriva ad ottenere una consistenza fangosa come si può osservare in *Fig. 4.37*.



Fig. 4.37 Provino pronto per essere sottoposto all'analisi granulometrica

Preparazione dei setacci

Per l'analisi granulometrica di ogni provino è scelta la serie di setacci ASTM (descritta nel paragrafo 4.1.1), questa è composta da dieci setacci, aventi aperture di dimensioni differenti, impilati uno sopra l'altro. Si ottiene una colonna di vagli disposti in maniera decrescente dall'alto verso il basso secondo il seguente ordine:

1° setaccio: dimensioni 8.0 mm (setaccio n° 5/6'' ASTM)

2° setaccio: dimensioni 4.0 mm (setaccio n° 5 ASTM)

- 3° setaccio: dimensioni 2.8 mm (setaccio n° 7 ASTM)
- 4° setaccio: dimensioni 2.0 mm (setaccio n° 10 ASTM)
- 5° setaccio: dimensioni 1.0 mm (setaccio n° 18 ASTM)
- 6° setaccio: dimensioni 710 μm (setaccio n° 25 ASTM)
- 7° setaccio: dimensioni 425 μm (setaccio n° 40 ASTM)
- 8° setaccio: dimensioni 250 μm (setaccio n° 60 ASTM)
- 9° setaccio: dimensioni 149 μm (setaccio n° 100 ASTM)
- 10° setaccio: dimensioni 75 μm (setaccio n° 200 ASTM)

Alla base della colonna di setacci viene posizionato un recipiente in materiale ferroso per contenere il passante al vaglio n° 200 (*Fig. 4.38*).

Ogni setaccio e il recipiente inferiore viene pesato prima del processo di vagliatura.



Fig 4.38 Preparazione dei setacci (serie ASTM)

Analisi granulometrica

Ogni provino (sciolto) viene versato alla sommità della fila di setacci con l'ausilio di un nebulizzatore e di una pompetta contenenti acqua, in modo da ripulire bene la vaschetta contenitrice e non perdere così del materiale.

Sempre con il nebulizzatore e la pompetta si ripulisce il primo vaglio da 8.0 mm da eventuale fango inoltre, in questo modo, le particelle di diametro minore di 8.0mm sono facilitate a passare tra le fessure del setaccio. Questo procedimento si ripete per tutti i setacci, fino al setaccio n° 200 (*Fig. 4.39*).



Fig. 4.39 Esecuzione della vagliatura

I setacci, contenente il materiale depositatosi, vengono inseriti negli appositi ripiani del forno da laboratorio ad una temperatura di circa 105 °C per circa 1 ora e 30 minuti (*Fig. 4.40*). La fase di essiccazione viene effettuata al fine di far evaporare tutta l'acqua utilizzata per ripulire i setacci nel processo di vagliatura.



Fig. 4.40 Disposizione setacci nel forno da laboratorio

Una volta che i setacci sono completamente asciutti si rimuovono dal forno e si pesano sulla bilancia da laboratorio. In questo modo si ottiene, per ogni setaccio, il peso del materiale trattenuto andando a fare la sottrazione tra il peso del setaccio contenente il trattenuto e il peso stesso del setaccio (*Fig.4.41*).

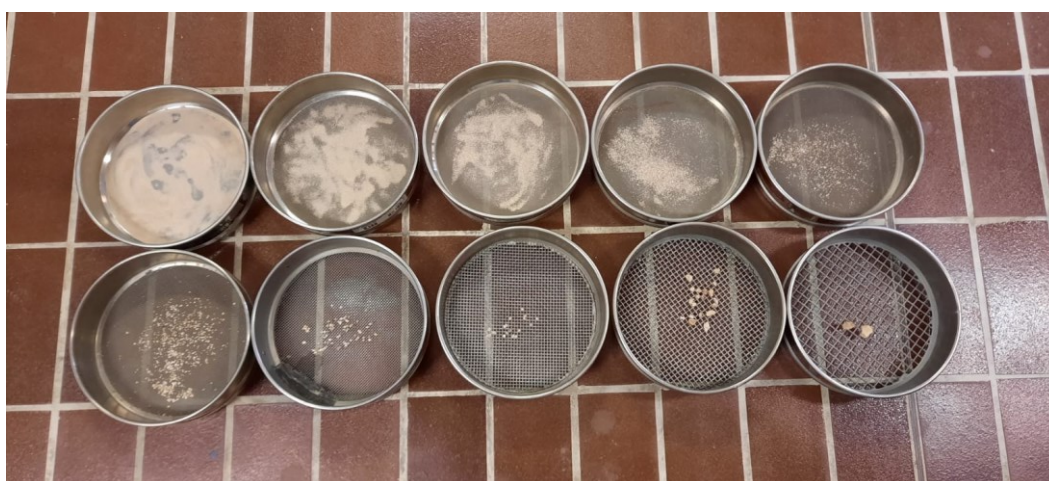


Fig. 4.41 Esempio di materiale trattenuto dopo l'evaporazione dell'acqua (provino n°6)

L'intera procedura di vagliatura a umido deve essere fatta per tutti e sei i provini, i quali si riferiscono a profondità differenti dello stesso campionamento (paragrafo 4.1.2.1).

4.2.3 ELABORAZIONE DEI DATI

4.2.3.1 DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA'

La permeabilità è ottenuta come risultato dell'elaborazione dei dati relativi alla prova di infiltrazione a doppio anello. I dati recepiti dal sensore Diver sono riportati su foglio EXCEL sul quale è possibile ricostruire dei grafici interpolando i punti ottenuti tramite una retta.

Partendo dai dati grezzi ottenuti dalla sonda, si eseguono parziali scremature tramite l'applicazione di filtri in modo da avere i dati essenziali per la costruzione del grafico.

Selezionando questi punti si può redigere un grafico a dispersione e poi interpolare i punti ottenuti dallo stesso tramite una retta.

Dalla retta ottenuta si ricava tramite una semplice operazione matematica il coefficiente di saturazione K_{sat} .

4.2.3.2 DETERMINAZIONE DEI LIVELLI IDRICI E DELLE PIOGGE

La determinazione dei livelli idrici e delle piogge è fatta attraverso il portale web del SIRMIP gestito dalla Protezione Civile della Regione Marche (descritto in maniera approfondita nel paragrafo 4.1.3).

Si ricercano i dati relativi alle stazioni presenti nel bacino idrografico del F. Aspio. Le stazioni che sono state scelte per visualizzare e scaricare i livelli idrometrici sono: Aspio terme, Svarchi e Crocette; per quanto riguarda i dati di pioggia, questi sono riferiti alle stazioni pluviometriche più vicine alle stazioni scelte per la determinazione dei livelli, rispettivamente: Osimo Monteragolo e Ancona Regione per i livelli di Aspio Terme, Svarchi per i livelli della stazione di Svarchi e Baraccola per quella di Crocette.

Si è proceduto a scaricare i dati annui su foglio EXCEL da tutte le stazioni dall'1 gennaio 2015 al 1 settembre 2021; si sono scremati i dati non necessari alla realizzazione dei grafici relativi ai livelli idrometrici e di pioggia.

I dati di pioggia e di livello idrometrico vengono riportati in un unico foglio di calcolo, facendo particolare attenzione riportarli con le corrette date ed i giusti orari; in questo modo si ottengono tre colonne, rispettivamente: data e ora, livello idrometrico e livello di pioggia.

Selezionando queste tre colonne si ricavano due grafici a confronto: il primo riporta l'andamento del livello idrometrico ed il secondo riporta l'andamento delle piogge; entrambi in funzione della data dell'evento.

4.2.3.3 DETERMINAZIONE PORTATA CON FLUORESCEINA E SOLUZIONE SALINA

La fluoresceina e la soluzione salina sono sostanze utilizzate come traccianti per la determinazione della portata nel corso d'acqua di Vallemiano. La concentrazione di queste sostanze viene rilevata al trascorrere del tempo dalla sonda fluorimetrica per la fluoresceina e tramite Diver CTD per la soluzione salina (come descritto precisamente nel paragrafo 4.1.2.1), una volta scaricati i dati su computer, vengono riportati su foglio di calcolo EXCEL.

La concentrazione, espressa in ppb, viene riportata, tramite la costruzione di un grafico in funzione del tempo trascorso dall'immissione del tracciante (in secondi).

4.2.3.4 COSTRUZIONE SCALA DI DEFLUSSO

La scala di deflusso esplicita il legame esistente tra livello idrico e portata.

Si ricostruisce la scala di deflusso relativa alla zona di Vallemiano, andando a ricercare cinque punti; questi vengono riportati su un grafico a dispersione in EXCEL così strutturato: in ordinata si riportano i dati di portata "Q" in l/s; in ascissa si riportano i dati relativi ai livelli "h" in mm.

Si sfruttano i risultati delle prove di portata effettuati con i vari metodi elencati precedentemente: con tracciante, volumetrico e geometrico; mentre per quanto riguarda i livelli si sfruttano i dati scaricati dal SIRMIP online.

I cinque punti vengono interpolati da una retta. Grazie alla funzione R^2 del software EXCEL è possibile ricavare l'equazione della retta interpolatrice, questa esplicita la relazione lineare tra la portata Q, rappresentata dalla "y", e il livello h, cioè il valore della "x".

4.2.3.5 CURVE GRANULOMETRICHE

Per studiare la distribuzione granulometrica del terreno sul bacino in esame si procede con la costruzione delle curve granulometriche.

Queste curve vengono fatte a seguito delle analisi granulometriche tramite vagliatura (prova descritta nel paragrafo 4.2.2).

Su foglio EXCEL si riportano i pesi dei campioni secchi trattenuti su ogni setaccio; si ricavano i trattenuti percentuali per ogni vaglio andando a rapportare il peso del campione trattenuto sul setaccio sul campione totale secco; una volta a conoscenza di quest'ultimo, risulta semplice trovare il passante percentuale per ogni setaccio andando a sottrarre, al 100% del campione totale, la percentuale di trattenuto al vaglio stesso.

L'operazione viene ripetuta dal setaccio n° 5/6' ASTM al setaccio n° 200.

Infine, sempre su foglio di calcolo, si tracciano le curve granulometriche, per tutti e sei i provini, andando a selezionare i passanti percentuali ai setacci in funzione delle dimensioni degli stessi.

Lo studio della granulometria del terreno in esame si limita alle dimensioni superiori a 75 micron, cioè si riporta la distribuzione granulometrica del materiale grossolano (trattenuto al setaccio n°200).

5. RISULTATI E DISCUSSIONI

In questo capitolo si riportano i risultati delle prove descritte nel capitolo 4, con alcuni commenti relativi ad osservazioni significative per l'oggetto di studio, cioè lo studio dell'infiltrazione nel terreno nel bacino del fiume Aspico.

Si analizza in particolare l'aspetto idrologico ed idrogeologico del terreno, partendo dai risultati delle analisi granulometriche, della prova infiltrometrica a doppio anello, delle misure di portata e quelli relativi ai monitoraggi dei livelli idrometrici e delle piogge.

5.1 CURVE GRANULOMETRICHE

Si prendono in esame i sei campioni di terreno prelevati nella zona del t. Betelico (descritti nel paragrafo 4.2.1.2), riferiti ai relativi intervalli di profondità: 0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm; 90-120 cm; 120-150 cm; 150-180 cm.

Per ogni campione si è valutata l'umidità (*Tabella 1*) utilizzando la formula:

$$w (\%) = \frac{\text{Lordo umido} - \text{Loro secco}}{\text{lordo umido} - \text{tara}} \times 100$$

Campione	Tara (g)	Lordo umido (g)	Lordo secco (g)	Netto (g)	Contenuto di acqua (ml)	w (%)
0-30 cm	11,34	223,34	160,48	149,14	62,86	30%
30-60 cm	11,35	219,1	164,79	153,44	54,31	26%
60-90 cm	11,31	215,11	162,14	150,83	52,97	26%
90-120 cm	12,47	214,64	156,86	144,39	57,78	29%
120-150 cm	12,44	223,24	165,63	153,19	57,61	27%
150-180 cm	12,46	221,05	160,45	147,99	60,6	29%

Tabella 1: Analisi dell'umidità dei provini di terreno

Tramite le analisi granulometriche per via umida (paragrafo 4.2.2.2) si calcola il passante percentuale per ogni setaccio di ciascun provino (da *Tabella 2 a Tabella 7*).

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	459,8	464,77	4,97	3,33	96,67
5	4	448,79	455,98	7,19	4,82	91,85
7	2,8	375,14	377,79	2,65	1,78	90,07
10	2	424,79	427,39	2,6	1,74	88,33
18	1	453,33	457,01	3,68	2,46	85,86
25	0,71	343,85	346,06	2,21	1,48	84,38
40	0,425	302,4	306,02	3,62	2,43	81,95
60	0,25	285,14	289,57	4,43	2,97	78,98
100	0,149	387,98	393,51	5,53	3,71	75,27
200	0,075	269	379,72	110,72	74,23	1,03

Tabella 2: Passante percentuale campione riferito alla profondità di 0-30 cm

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	459,8	465,72	5,92	3,86	96,14
5	4	448,8	453,12	4,32	2,82	93,32
7	2,8	375,12	380,06	4,94	3,22	90,10
10	2	424,73	427,62	2,89	1,88	88,22
18	1	453,39	458,32	4,93	3,21	85,01
25	0,71	343,86	346,17	2,31	1,503	83,50
40	0,425	302,4	306,25	3,85	2,51	80,99
60	0,25	285,14	289,65	4,51	2,94	78,05
100	0,149	387,98	393,42	5,44	3,55	74,51
200	0,075	259,87	279,5	19,63	12,79	61,72

Tabella 3: Passante percentuale campione riferito alla profondità di 30-60 cm

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	459,89	462,37	2,48	1,64	98,36
5	4	448,83	453,81	4,98	3,30	95,05
7	2,8	375,1	377,99	2,89	1,92	93,14
10	2	424,69	426,88	2,19	1,42	91,69
18	1	453,42	455,34	1,92	1,28	90,41
25	0,71	343,86	345,87	2,01	1,33	89,08
40	0,425	302,39	305,75	3,36	2,23	86,85
60	0,25	285,26	296,55	11,29	7,49	79,37
100	0,149	388,29	397,72	9,43	6,25	73,12
200	0,075	269,04	278,47	9,43	6,25	66,86

Tabella 4: Passante percentuale campione riferito alla profondità di 60-90 cm

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	460,09	462,78	2,69	1,86	98,14
5	4	448,92	451,77	2,85	1,97	96,16
7	2,8	375,09	376	0,91	0,63	95,53
10	2	424,66	425,55	0,89	0,62	94,92
18	1	453,48	455,47	1,99	1,38	93,54
25	0,71	343,88	344,59	0,71	0,49	93,05
40	0,425	302,38	303,97	1,59	1,10	91,95
60	0,25	285,23	287,38	2,15	1,49	90,46
100	0,149	388,83	392,15	3,32	2,30	88,16
200	0,075	269,03	277,89	8,86	6,14	82,02

Tabella 5: Passante percentuale campione riferito alla profondità 90-120 cm

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	459,86	470,22	10,36	6,76	93,24
5	4	448,88	452,04	3,16	2,06	91,17
7	2,8	375,05	376,19	1,14	0,74	90,43
10	2	424,65	425,73	1,08	0,71	89,73
18	1	453,68	455,11	1,43	0,93	88,79
25	0,71	343,81	344,71	0,9	0,59	88,20
40	0,425	302,34	303,89	1,55	1,01	87,19
60	0,25	285,15	287,17	2,02	1,32	85,87
100	0,149	387,95	390,76	2,81	1,83	84,04
200	0,75	269	276,78	7,78	5,08	78,96

Tabella 6: Passante percentuale campione riferito alla profondità 120-150 cm

n° setaccio	Maglia (mm)	Tara (g)	Peso lordo (g)	Peso netto (g)	T(%)	P(%)
5/6''	8	459,85	463,97	4,12	2,78	97,22
5	4	448,83	452,41	3,58	2,42	94,80
7	2,8	375,02	375,59	0,57	0,39	94,41
10	2	424,66	425,74	1,08	0,73	93,68
18	1	453,53	455,71	2,18	1,47	92,21
25	0,71	343,81	344,97	1,16	0,78	91,43
40	0,425	302,33	304,62	2,29	1,55	89,88
60	0,25	285,16	287,48	2,32	1,57	88,31
100	0,149	387,87	391,11	3,24	2,19	86,12
200	0,075	268,94	278,07	9,13	6,17	79,95

Tabella 7: Passante percentuale campione riferito alla profondità 150-180 cm

Una volta determinati tutti i passanti vengono ricostruite le curve granulometriche di ogni campione (da Fig. 5.1 a Fig. 5.6).

5.1.1 CAMPIONE 0-30 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	96,66756
4	91,84659
2,8	90,06973
2	88,3264
1	85,85892
0,71	84,3771
0,425	81,94985
0,25	78,97948
0,149	75,27156
0,075	1,032587

Tabella 8: Passante percentuale (%) al setaccio corrispondente (mm)

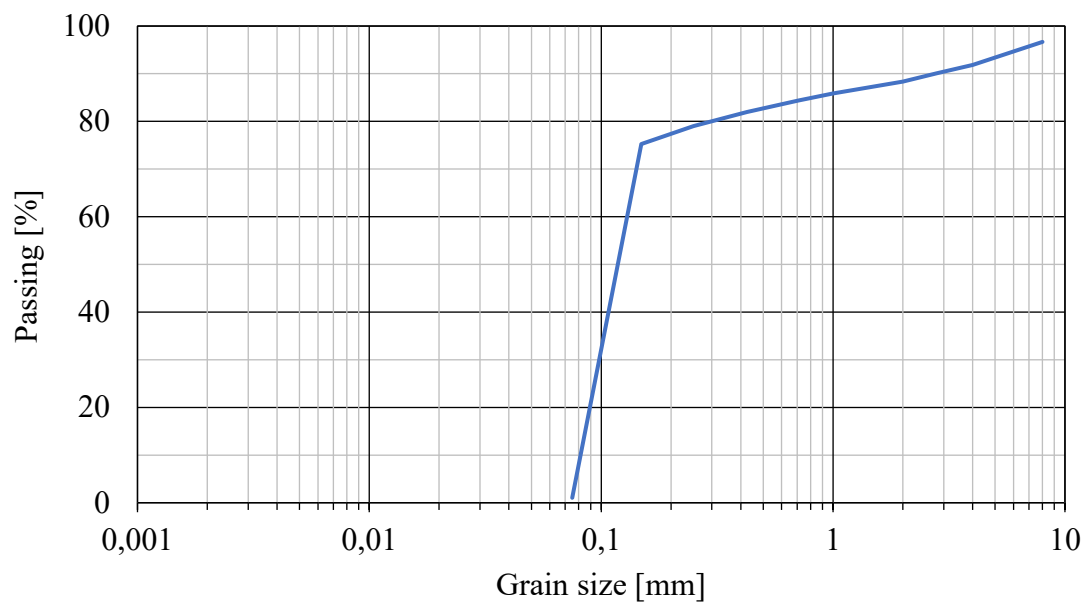


Fig. 5.1 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.2 CAMPIONE 30-60 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	96,14181
4	93,32638
2,8	90,10688
2	88,22341
1	85,01043
0,71	83,50495
0,425	80,99583
0,25	78,05657
0,149	74,51121
0,075	61,71794

Tabella 9: Passante percentuale (%) al setaccio corrispondente (mm)

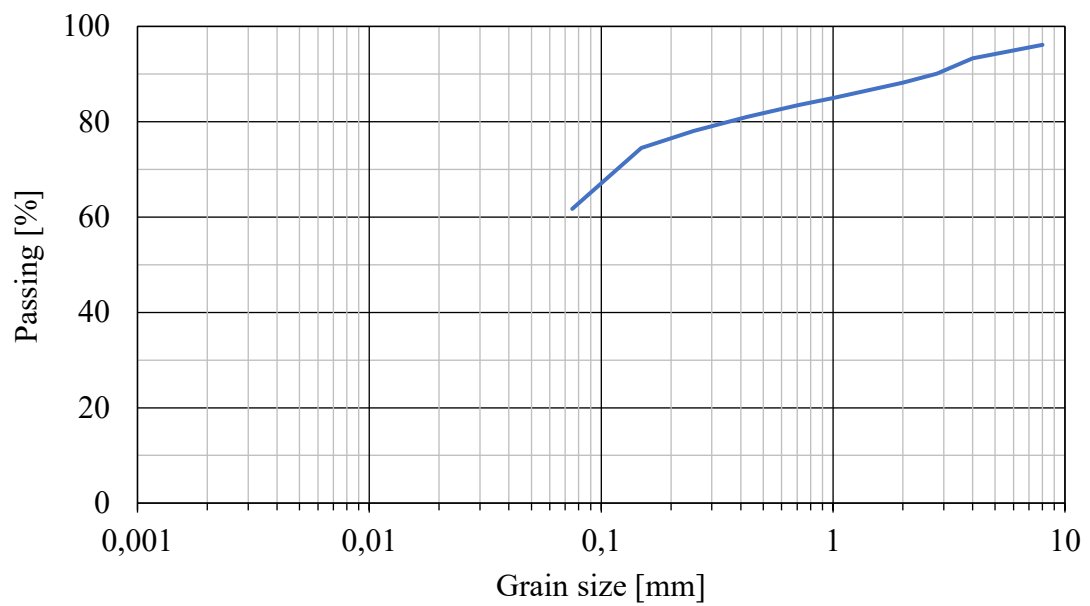


Fig. 5.2 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.3 CAMPIONE 60-90 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	98,3558
4	96,6983
2,8	98,0839
2	98,5480
1	98,7270
0,71	98,6674
0,425	97,7723
0,25	92,5148
0,149	93,7479
0,075	93,7479

Tabella 10: Passante percentuale (%) per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

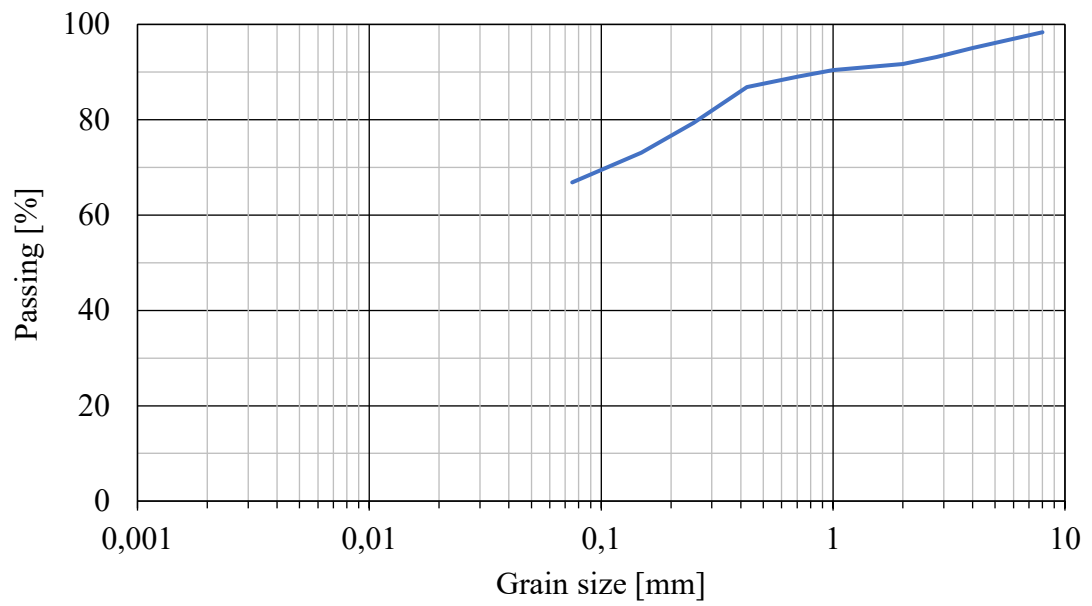


Fig. 5.3 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.4 CAMPIONE 90-120 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	98,13699
4	96,163169
2,8	95,532932
2	94,916545
1	93,538334
0,71	93,04661
0,425	91,945426
0,25	90,456403
0,149	88,157075
0,075	82,020916

Tabella 11 Passante percentuale (%) per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

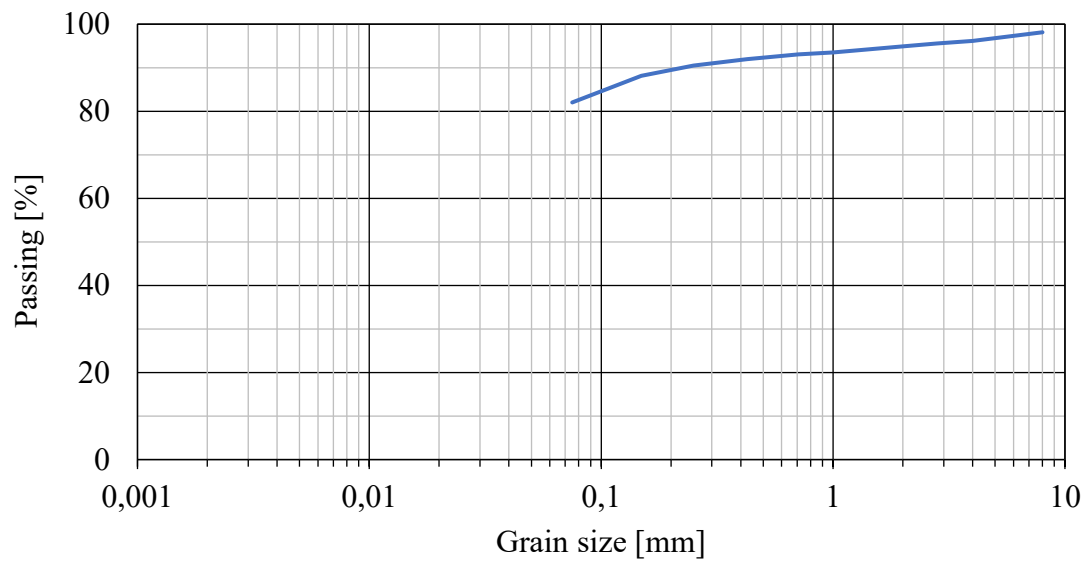


Fig. 5.4 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.5 CAMPIONE 120-150 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	93,237156
4	91,174359
2,8	90,430185
2	89,725178
1	88,791697
0,71	88,204191
0,425	87,192375
0,25	85,873752
0,149	84,039428
0,075	78,960768

Tabella 12 Passante percentuale (%) per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

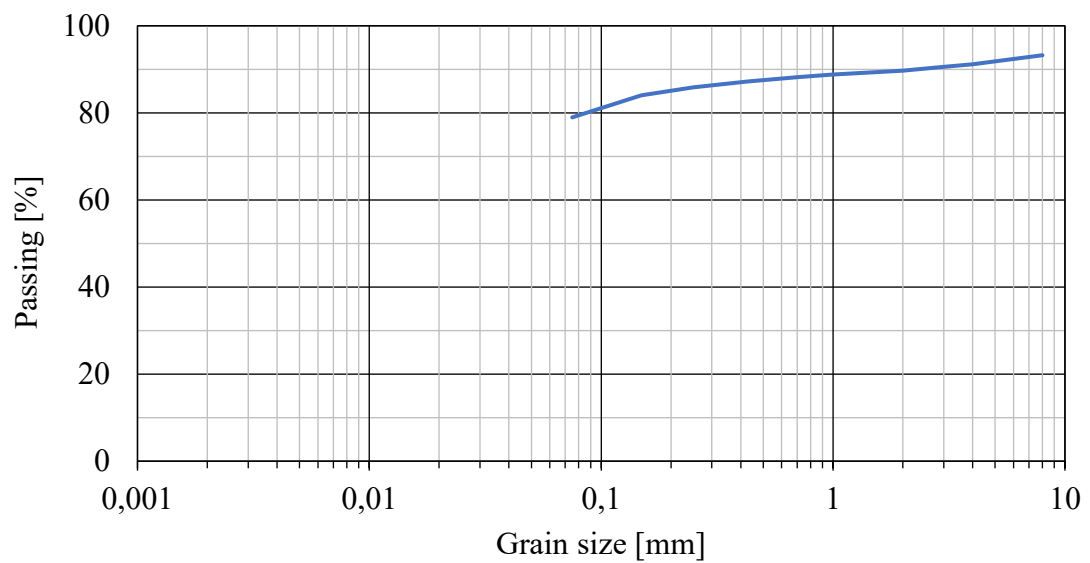


Fig. 5.5 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.6 CAMPIONE 150-180 cm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	97,216028
4	94,796946
2,8	94,411785
2	93,682006
1	92,208933
0,71	91,425096
0,425	89,877694
0,25	88,310021
0,149	86,120684
0,075	79,951348

Tabella 13 Passante percentuale (%) per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

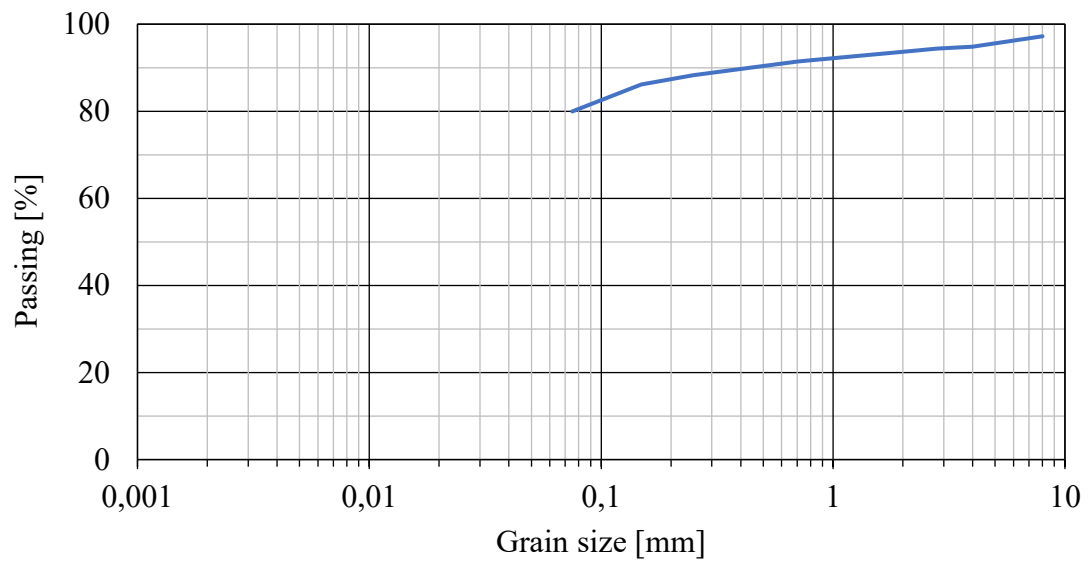


Fig. 5.6 Curva granulometrica per dimensioni dei granuli superiori a 75 micron

5.1.7 CURVE GRANULOMETRICHE A CONFRONTO

In Fig. 5.7 vengono riportate le sei curve granulometriche ottenute al fine di poterle confrontare.

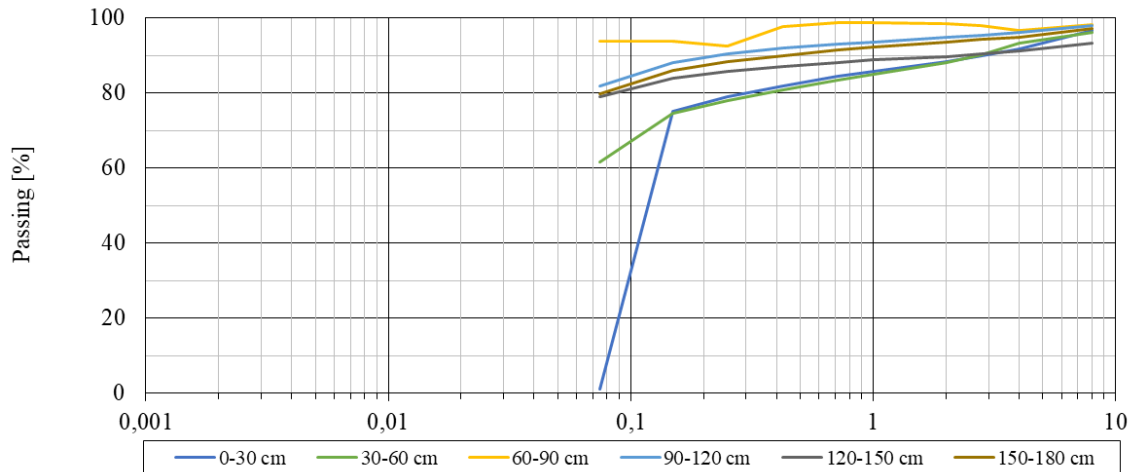


Fig. 5.7 Curve granulometriche riferite al terreno del fiume Aspio fino ad una profondità di 180 cm.

Da come si può osservare, dalla Fig.5.7, lo strato più superficiale di terreno, cioè quello relativo ad una profondità di 0-30 cm, è caratterizzato da un passante percentuale pari all'1.03%; risulta ben gradato e conforme agli altri provini di terreno fino ad una dimensione delle particelle di 149 micron quindi per una percentuale del 25% circa, il restante 75% è dunque caratterizzato da una granulometria compresa tra 149 e 75 micron.

A parità di diametro delle particelle tutti gli altri provini risultano differire in termini di passante percentuale in maniera non importante: subito dopo il campione di terreno più superficiale, il provino riferito alla profondità di 30-60 cm è quello caratterizzato da una granulometria più grossolana con un trattenuto al setaccio n° 200 pari a 61.72%; al contrario, il terreno corrispondente alla profondità di 60-90 cm, risulta essere più fine poiché caratterizzato da un trattenuto percentuale al vaglio n° 200 pari a 93.75%.

Le curve granulometriche dei campioni risultano, per la maggior parte, ben gradate e conformi tra di loro, denotando un terreno di granulometria finissima caratteristico dei limi e delle argille, ad esclusione della prima parte superficiale la quale è caratterizzata da una granulometria grossolana tipica delle sabbie e ghiaie. Questa osservazione influirà sulla permeabilità del terreno e dunque sulle modalità di ricarica della falda.

5.2 DETERMINAZIONE K_{sat}

Di seguito vengono riportati i grafici riferiti alle prove infiltrometriche (paragrafo 4.2.1.1) svolte in due diversi periodi idrologici, nei giorni del 28 luglio 2021 e del 29 settembre 2021, in modo da poterne confrontare l'andamento riferito a stagioni differenti rispettivamente estate ed autunno.

La sonda utilizzata è settata per recepire il livello dell'acqua, in centimetri, sopra di essa ogni 5 secondi, questi dati vengono riportati in funzione del tempo trascorso dall'inizio della prova (espresso in secondi). In *Fig. 5.8 e Fig. 5.9* viene riportato in ordinata il livello idrometrico sopra il sensore e, in ascissa, il tempo trascorso.

5.2.1 RISULTATI PROVA 28 LUGLIO 2021

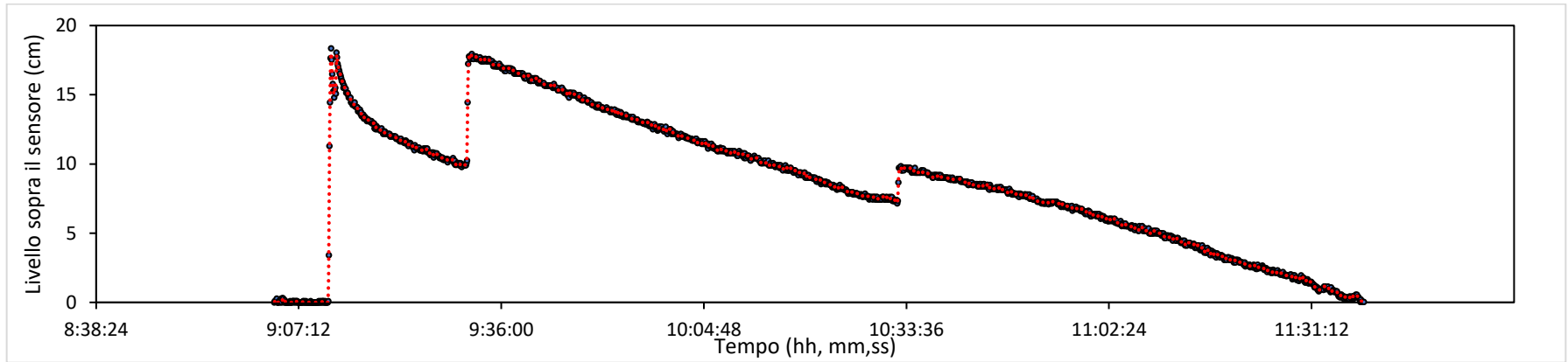


Fig. 5.8 Andamento del livello sopra il sensore in funzione del tempo del tempo il giorno 28 luglio 2021

5.2.2 RISULTATI PROVA 28 SETTEMBRE 2021

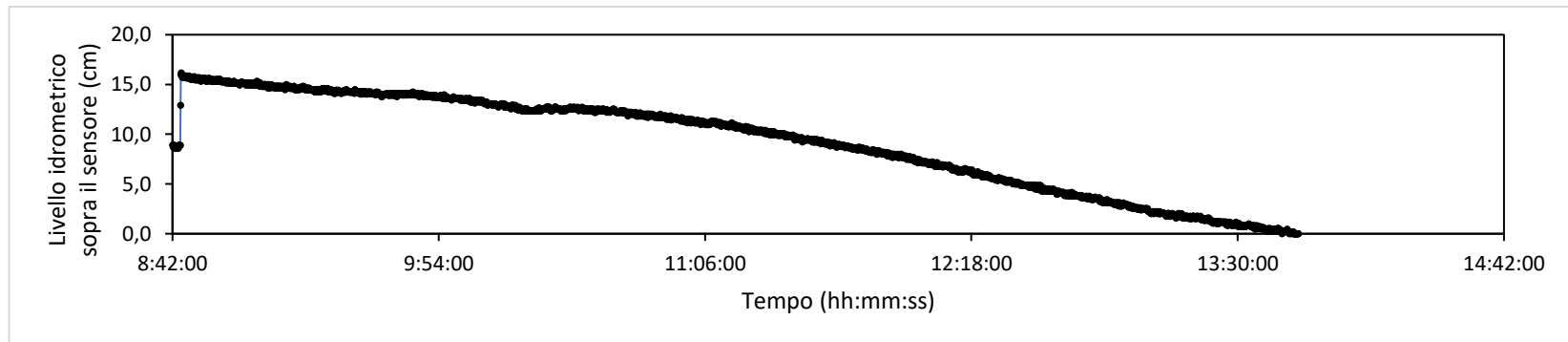


Fig. 5.9 Andamento del livello idrometrico sopra il sensore il giorno 28 settembre 2021

Dai dati ricavati dalla sonda, si evince che i tratti verticali corrispondono alle ricariche di volume del doppio anello, mentre quelli decrescenti all'abbassamento di pressione sopra il sensore dovuto all'abbassamento del livello che da origine al fenomeno della filtrazione.

Confrontando i due grafici si può quindi constatare che nella prova di settembre sono necessarie meno ricariche, e la curva decresce molto più lentamente rispetto alla curva relativa alla prova di luglio. Questo diverso comportamento è dovuto alla differenza in termini di umidità del suolo iniziale, nella seconda prova infatti è presente una maggiore umidità nel suolo, caratteristica della stagione, in seguito ai primi eventi precipitativi avvenuti nel mese di settembre.

5.2.3 DETERMINAZIONE COEFFICIENTE DI CONDUCIBILITA' IDRAULICA

A partire dai due grafici in Fig. 5.8 e Fig. 5.9 ricavati nelle prove infiltrometriche, si può calcolare il coefficiente di permeabilità in condizioni di saturazione (K_{sat}) assumendo che in corrispondenza dell'ultimo ramo di decrescita il terreno sia saturo. Prendendo in considerazione gli ultimi 100 dati si effettua un'interpolazione lineare in modo da poter calcolare il K_{sat} come $\Delta h/\Delta t$.

Dal grafico in Fig. 5.8 del 28 luglio si ottiene un K_{sat} pari a:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{9.72 \text{ cm}}{3695 \text{ s}} = 2.63 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Dal grafico in Fig. 5.9 del 28 settembre si ottiene un K_{sat} pari a:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{9.20 \text{ cm}}{7640 \text{ s}} = 1.20 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Di seguito, in Fig. 5.10, si riporta un esempio riguardante l'andamento degli ultimi 100 dati riferiti alla prova del 28 settembre 2021.

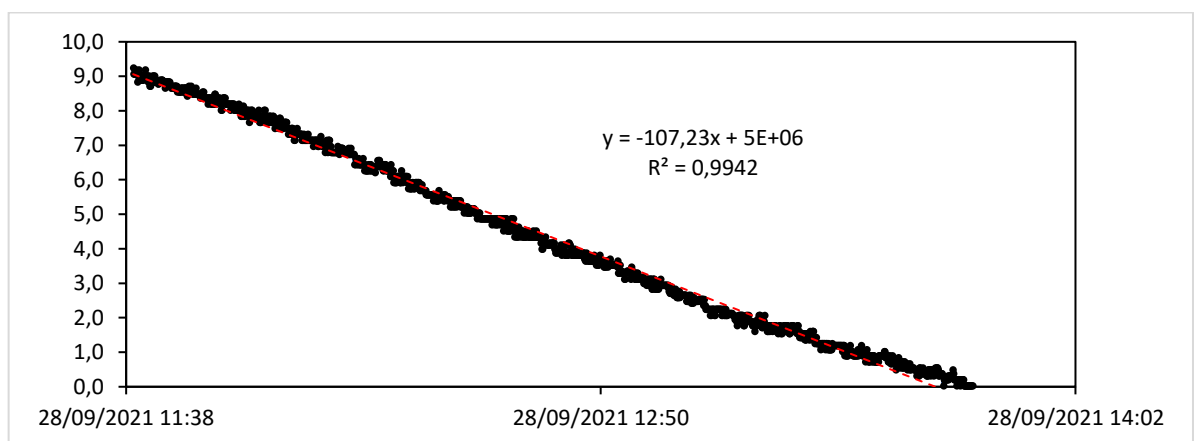


Fig. 5.10 Ultimi 100 dati rilevati dal sensore il 28 settembre 2021

Per prima cosa si osserva che i due coefficienti differiscono in maniera evidente tra le due prove, in quanto uno risulta più del doppio dell'altro. Si ricerca la motivazione nello

distribuzione dell'umidità naturale del suolo, questa risulta essere minore nei mesi estivi e maggiore nei mesi autunnali/invernali a causa della piovosità e della temperatura che sono notevolmente differenti tra le stagioni.

Un altro fattore influenzante la determinazione del coefficiente di permeabilità è la distribuzione granulometrica del terreno in esame soggetto all'infiltrazione.

Come si deduce dalle curve granulometriche nel paragrafo 5.1.7, il terreno mostra una componente grossolana nella sua parte più superficiale (da 0 a 30 cm dal piano campagna) risultando conforme all'ordine di grandezza dei K_{sat} calcolati in entrambe le stagioni, cioè compreso tra 10^{-3} e 10^{-6} . Negli strati più profondi la granulometria è fine, di conseguenza si può ipotizzare una velocità di infiltrazione molto minore rispetto a quella calcolata.

In caso di eventi estremi, come scrosci o alluvioni, l'acqua viene assorbita per i primi 30 cm di terreno, dopodiché, i millimetri di pioggia eccedenti che continuano a cadere, sono destinati a contribuire alla formazione del ruscellamento superficiale, vanno a incrementare la portata in alveo dei corsi d'acqua e, talvolta, provocano l'esondazione dei corsi d'acqua presenti nel bacino in esame. Il primo fenomeno comporta il movimento di terreno dalle quote più alte a quelle più basse aumentando il rischio di invasione dello stesso materiale sulle strutture edili e civili; il secondo fenomeno, dipendente fortemente non solamente dalla precipitazione caduta ma anche dal livello di falda nel sottosuolo, comporta un aumento di livello idrico tale da sconfinare gli argini dei corsi d'acqua presenti in zona, con conseguente inondazione di strade e ponti.

5.3 CALCOLO DELLA PORTATA

La misura della velocità di infiltrazione nel suolo e lo studio dei processi che portano alla ricarica della falda è utile per poter valutare correttamente gli effetti degli incrementi di portata in alveo e il loro legame con le precipitazioni. Il tentativo della tesi era valutare il rapporto infiltrazione/(acque superficiali/acque sotterranee in una zona campione del bacino del F. Aspio, segnatamente il territorio occupato dal t. Betelico, e quindi avremmo dovuto misurare la portata del corso d'acqua in posizione prospiciente il campo pozzi di Vivaservizi e il punto dove sono state eseguite le prove infiltrometriche. Poiché nel periodo di osservazione il corso d'acqua era completamente asciutto, abbiamo considerato un altro corso d'acqua intorno alla zona di Ancona ed effettuato le misure in questo punto: il corso d'acqua di Vallemiano (T. Miano) è stato preso in considerazione per la valutazione delle portate; di seguito vengono

riportati i risultati, ottenuti tramite i vari metodi di misurazione della portata, in forma tabellare o grafica.

5.3.1 PORTATA CON METODO VOLUMETRICO

I risultati che sono ottenuti si riferiscono alle seguenti date: 28 luglio 2021 (*Tabella 14*), 23 settembre 2021 (*Tabella 15*), 28 settembre 2021 (*Tabella 16*).

N° misura	Durata (sec)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	30	9.85	0.328
2	30	10.78	0.359
3	30	10.89	0.363
Portata media			0,350

Tabella 14 Portata misurata il 28 luglio 2021

N° misura	Durata (sec)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	5	1,75	0,350
2	5	2,85	0,570
3	5	1,40	0,280
Portata media			0,40

Tabella 15 Portata misurata il 23 settembre 2021

N° misura	Durata (sec)	Volume (l)	Portata (l/s)
1	5	3.15	0.630
2	5	3.95	0.790
3	5	4.20	0.840
Portata media			0,750

Tabella 16 Portata misurata il 28 settembre 2021

Da questi risultati possiamo osservare che la portata media calcolata varia a seconda del mese in cui è eseguita la prova: nel mese di luglio si ha una portata minore rispetto il mese di settembre. La causa scatenante è la variabilità di umidità, nel terreno, e di pioggia al variare delle stagioni: in estate si ha un terreno prevalentemente asciutto ed una scarsa piovosità per questo motivo il livello idrometrico del fiume tende a rimanere basso; in autunno l'umidità aumenta in concomitanza al cambiamento del clima tipico della stagione, di conseguenza il livello idrometrico aumenta.

5.3.2 PORTATA CON METODO GEOMETRICO

Per verificare le misure di portata effettuate nel sito di Vallemiano, si riportano i risultati (*Tabella 17*) ottenuti tramite metodo geometrico (paragrafo 4.2.1.3), ipotizzando un

coefficiente k pari a 15 per alvei torrentizi caratterizzati da perimetro bagnato e composto da segmenti a scabrezza differenziata. Si utilizza, come dato di partenza, il livello idrometrico scaricato dal sensore il giorno 28 luglio 2021 pari a 1 cm:

k	15 m ^{1/3} /s
A	0,0161 m ²
So	0,001 m/m
Rh	0,0097 m
Q	0,000347 M ³ /S
	0,347348 l/s

Tabella 17 Portata calcolata con metodo geometrico

La portata risulta essere conforme a quella calcolata con metodo volumetrico in campagna e per questo accettabile.

5.3.3 PORTATA CON TRACCIANTE

In Fig. 5.11 viene riportato il grafico ottenuto tramite misurazione di portata con tracciante alla fluoresceina (paragrafo 4.2.1.3) effettuata il 28 settembre 2021 nel corso di Vallemiano.

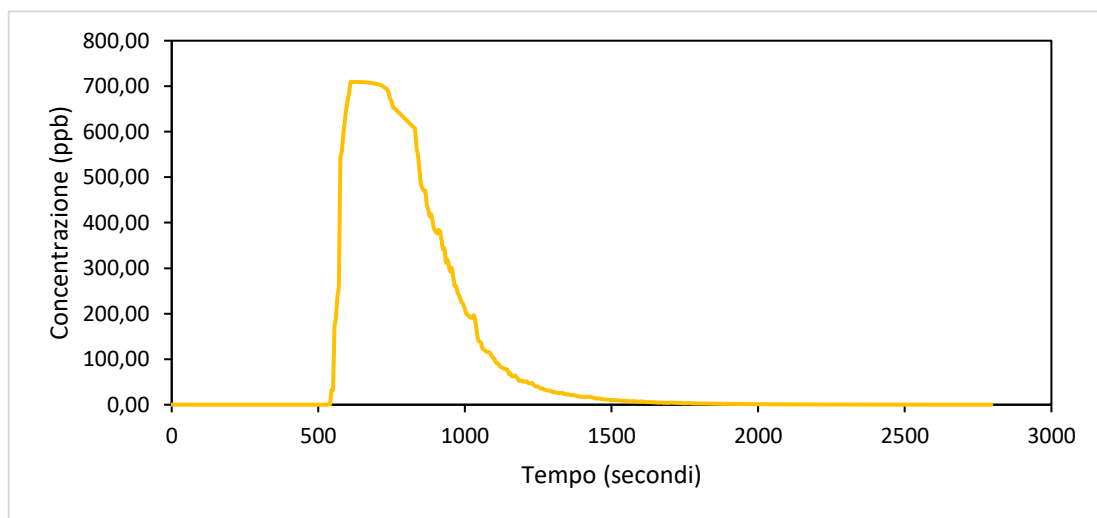


Fig. 5.11 Andamento della concentrazione di fluoresceina in funzione del tempo trascorso dall'inizio della prova

Si osserva che l'andamento della curva ottenuta prende forma di una gaussiana. Per calcolare la portata (Tabella 18), passante attraverso la sezione di valle, occorre utilizzare la seguente espressione matematica:

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

Area sottesa al grafico	271533,86
Massa di tracciante (g)	0,24

Portata (l/s)	0,88
---------------	------

Tabella 18 Calcolo della portata tramite tracciante

Da come si può notare confrontando i due dati di portata ottenuti lo stesso giorno con metodo volumetrico e con tracciante, questi risultano differire di un termine pari a circa 0.10 l/s. La causa si ricerca nell'errore operativo di calcolo della portata tramite metodo volumetrico, la veridicità di questo, infatti, dipende da diversi fattori tra cui: l'assenza di ostacoli lungo il percorso del fiume; la possibilità di captare tutta l'acqua passante dalla sezione in esame; fattori climatici che possono influenzare la turbolenza nella sezione.

Al fine di ottenere un valore di portata effetto il meno possibile da errori si fa una media tra il valore di portata ottenuto con tracciante alla fluoresceina e quello ottenuto con soluzione salina (Croceri L., 2021), cioè pari a 0.75 l/s.

5.4 LIVELLI IDRICI E PIOGGE

In questo paragrafo vengono raccolti i grafici ottenuti dall'elaborazione dei dati scaricati dal SIRMIP online (paragrafo 4.2.3.2).

I dati di livello e di pioggia vengono scaricati per valutare la correlazione tra il livello idrico e le piogge al fine di studiare in che modo avvengono gli eventi di piena all'interno del bacino del fiume Aspio e ricercarne le cause di natura idrogeologica.

Si pongono a confronto i livelli idrici, delle tre stazioni presenti nel bacino del fiume Aspio (*Fig. 5.12*).

5.4.1 LIVELLI IDROMETRICI A CONFRONTO

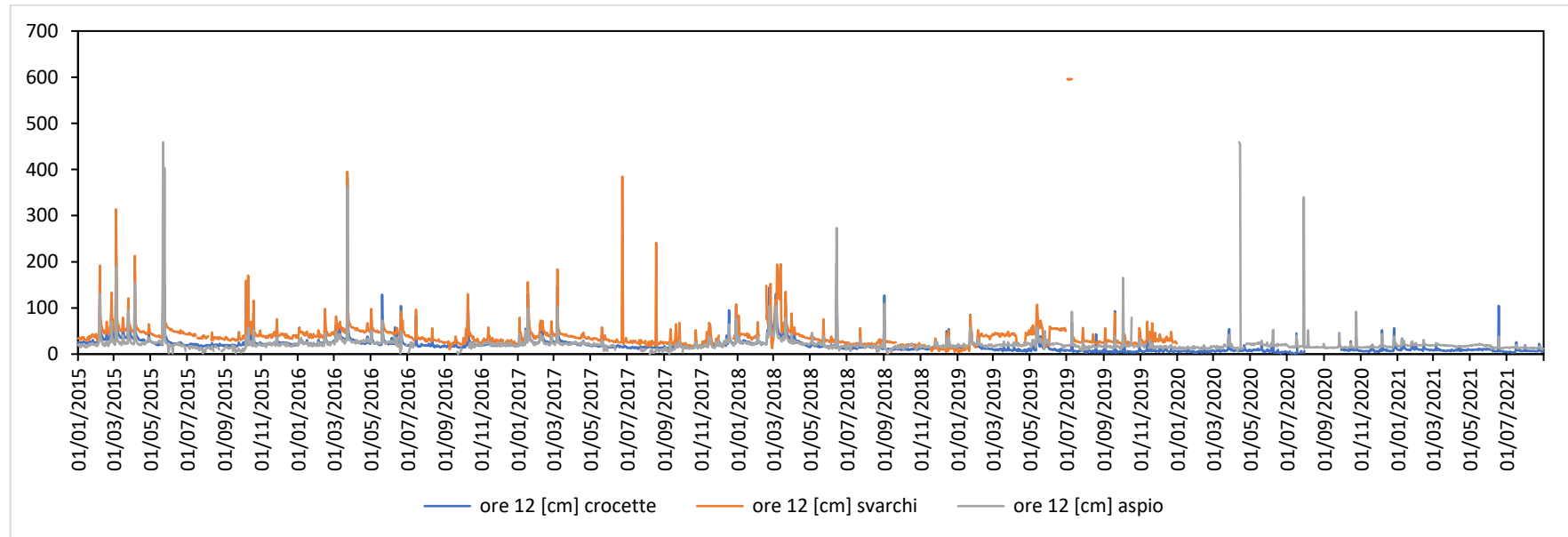


Fig. 5.12 Unione livelli idrometrici delle stazioni di Aspigo Terme, Svarchi e Crocette dal 01/01/2015 al 01/09/2021

Dalla *Fig. 5.12* si possono individuare gli eventi di piena comuni a tutte e tre i corsi d'acqua, alcuni dei quali saranno selezionati e commentati nei paragrafi successivi.

Di seguito i grafici a confronto, livello idrometrico e pioggia, fanno riferimento rispettivamente alle stazioni di: Aspio Terme con Osimo Monteragolo (*Fig. 5.13*); Svarchi con Svarchi (*Fig. 5.14*); Crocette con Svarchi (*Fig. 5.15*).

5.4.2 ASPIO TERME - OSIMO MONTERAGOLO

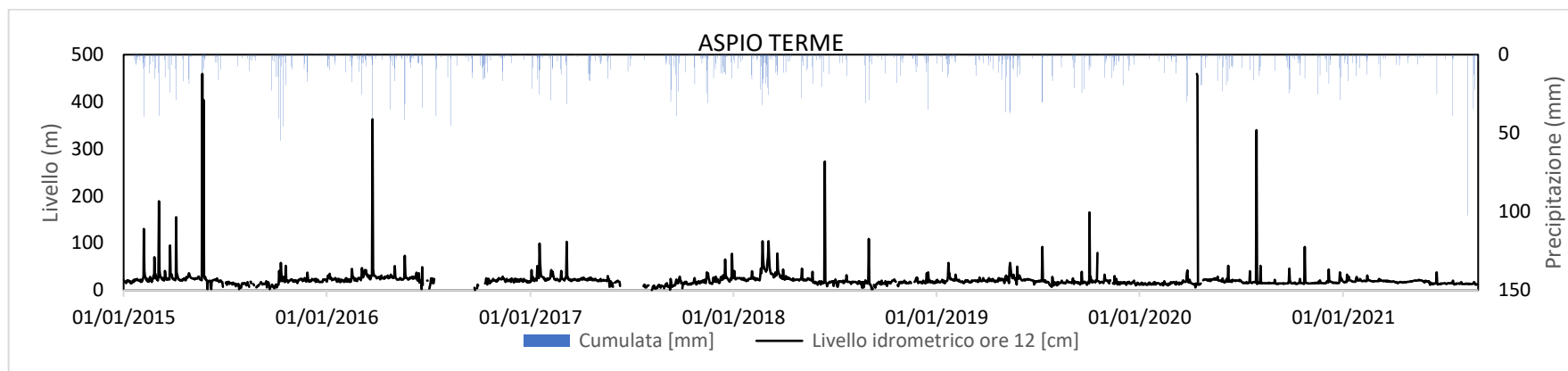


Fig. 5.13 Unione livelli idrometrici (Aspio terme) e di pioggia (Osimo Monteragolo) dal 01/01/2015 al 01/09/2021

5.4.3 SVARCHI – SVARCHI

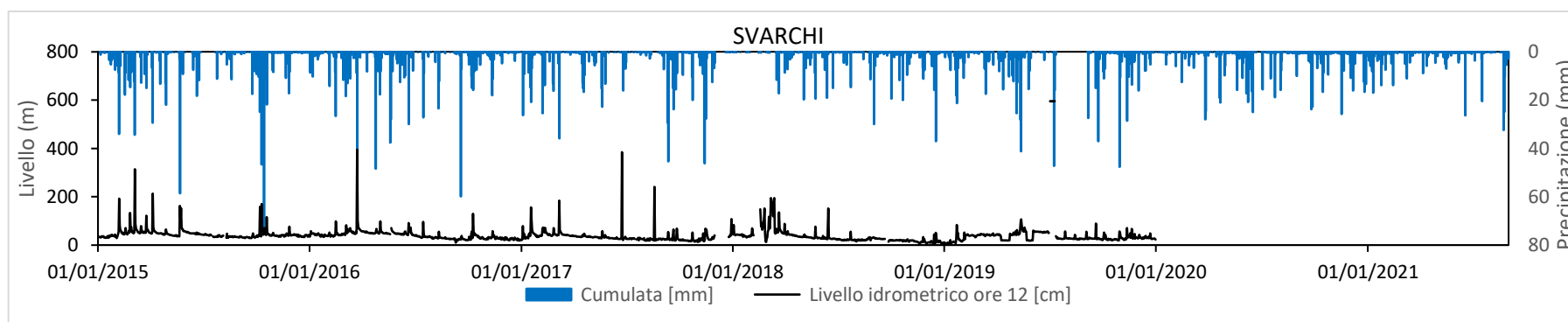


Fig. 5.14 Unione livelli idrometrici (Svarchi) e livelli di precipitazione (Svarchi) dal 01/01/2015 al 01/09/2021

5.4.4 CROCETTE – SVARCHI

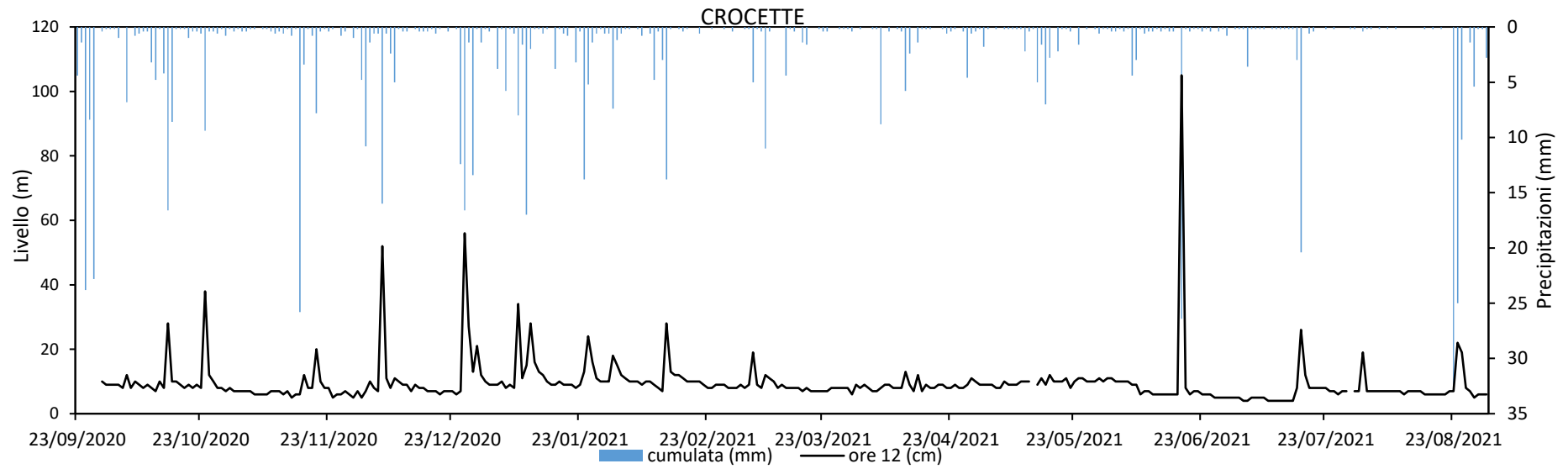


Fig. 5.15 Unione dei livelli idrometrici (Crocette) con livelli di precipitazione (Svarchi) dal 01/01/2015 al 01/09/2021

Dalla *Fig. 5.12* si possono osservare i picchi di livello idrometrici comuni a tutte e tre le stazioni, di questi si analizzano nel dettaglio i picchi riferiti a varie stagioni per studiarne le capillarità.

Sono stati scelti i picchi nei giorni: 10 ottobre 2015 (dalla *Fig. 5.16* alla *Fig. 5.18*), 23 marzo 2016 (dalla *Fig. 5.19* alla *Fig. 5.21*), 17 gennaio 2017 (dalla *Fig. 5.22* alla *Fig. 5.24*).

5.4.5 PICCO 10 OTTOBRE 2015

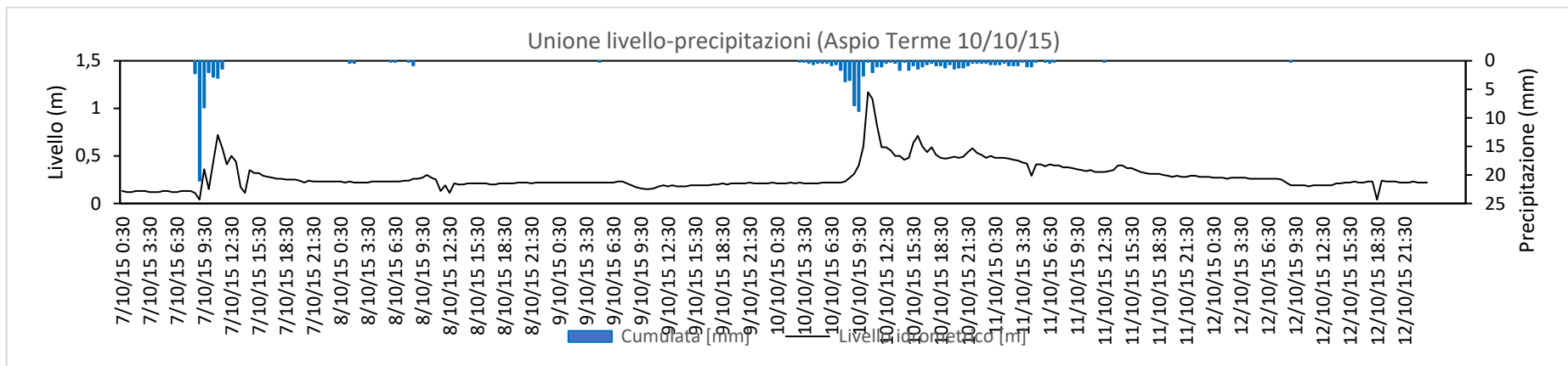


Fig. 5.16 Picco 10/10/15 Aspio Terme

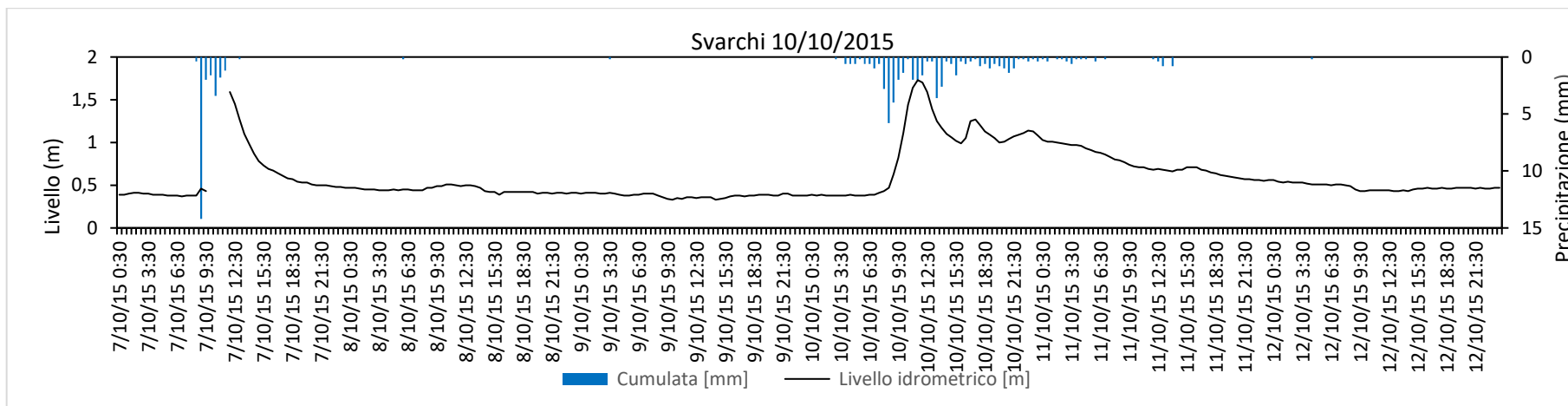


Fig. 5.17 Picco 10/10/15 Svarchi

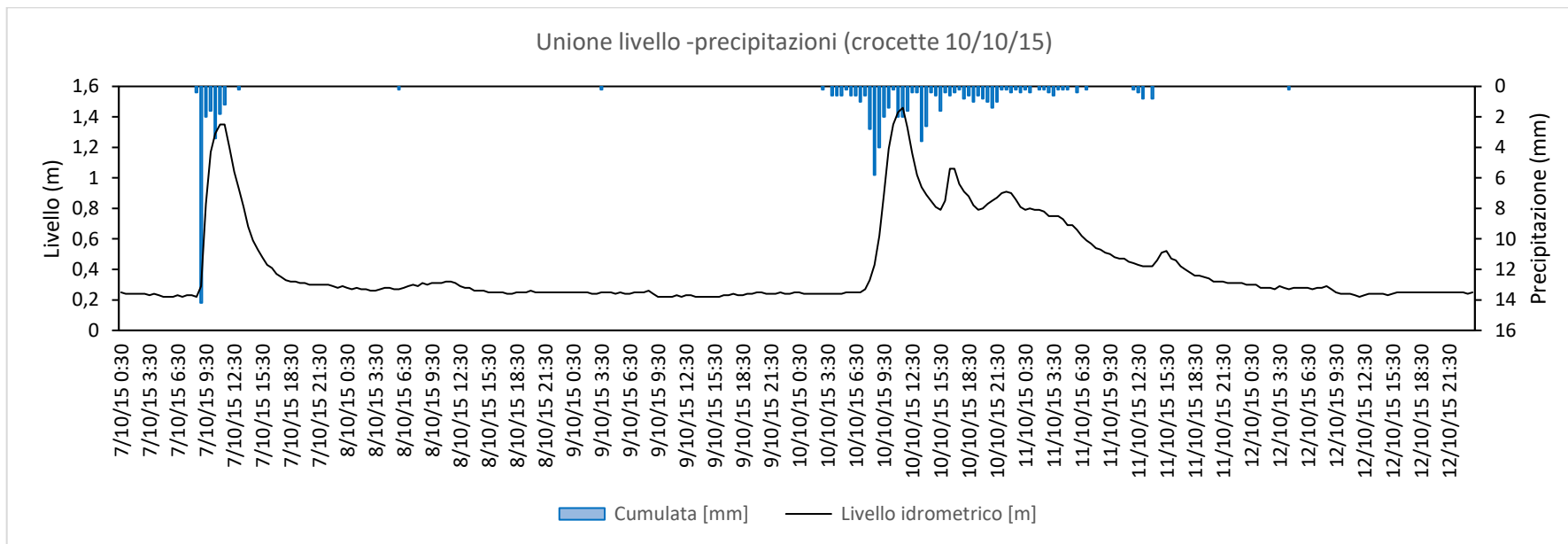


Fig. 5.18 Picco 10/1015 Crocette

Osservando i grafici (da *Fig. 5.16* a *Fig. 5.18*) si può constatare che il livello idrico più alto è raggiunto nella zona di Svarchi con 1.7 metri, mentre il livello più basso si ha nella zona di Aspio Terme per un valore di 1.13 metri.

Le precipitazioni maggiori si osservano nella zona di Aspio Terme con un picco massimo registrato di 8.8 mm, mentre nella zona di Svarchi e Crocette si hanno delle precipitazioni massime di 5.8 mm.

Studiando i massimi livelli ottenuti, si può affermare che nella stazione di Svarchi è registrato un livello idrometrico maggiore rispetto le altre stazioni che però non corrisponde anche alla massima precipitazione, la quale è ottenuta, invece, ad Aspio Terme.

La soluzione a questa affermazione sta nello studio della granulometria, dell'umidità e della permeabilità dei terreni nelle specifiche zone, ma anche nell'analisi pratica delle azioni antropologiche.

5.4.6 PICCO 23 MARZO 2016

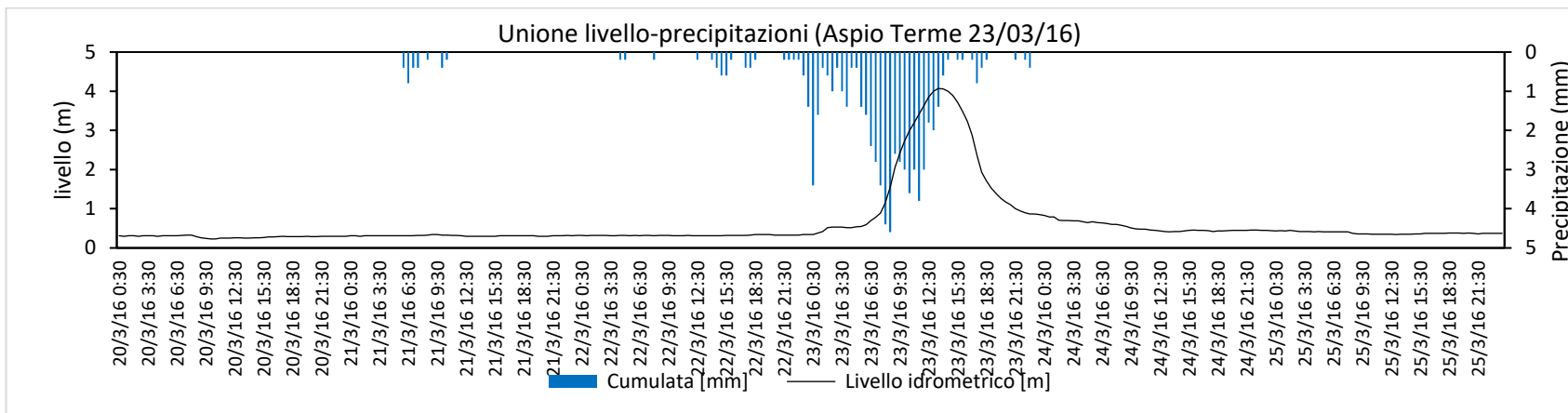


Fig. 5.19 Picco 23/03/16 Aspio Terme

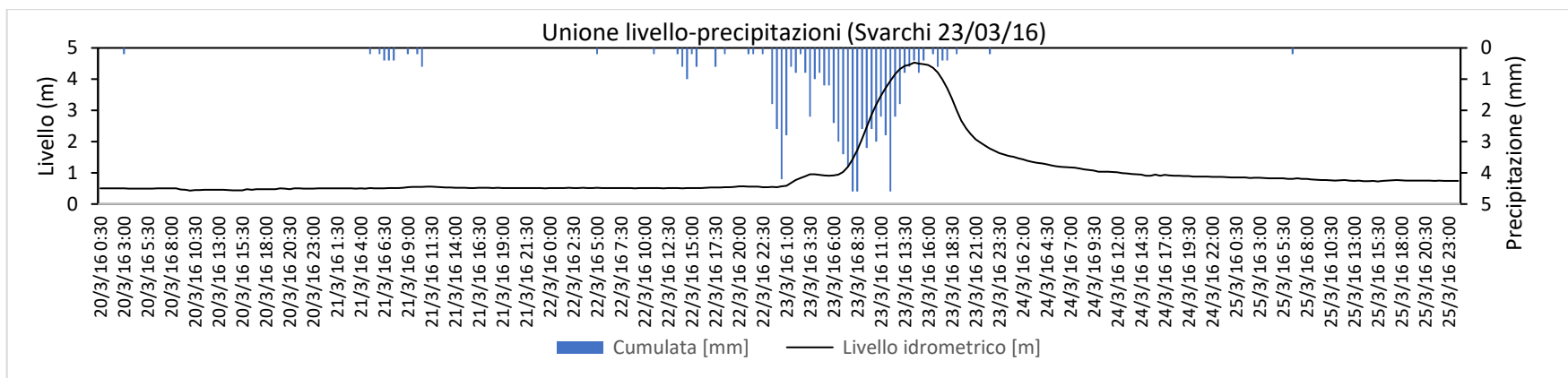


Fig. 5.20 Picco 23/03/16 Svarchi

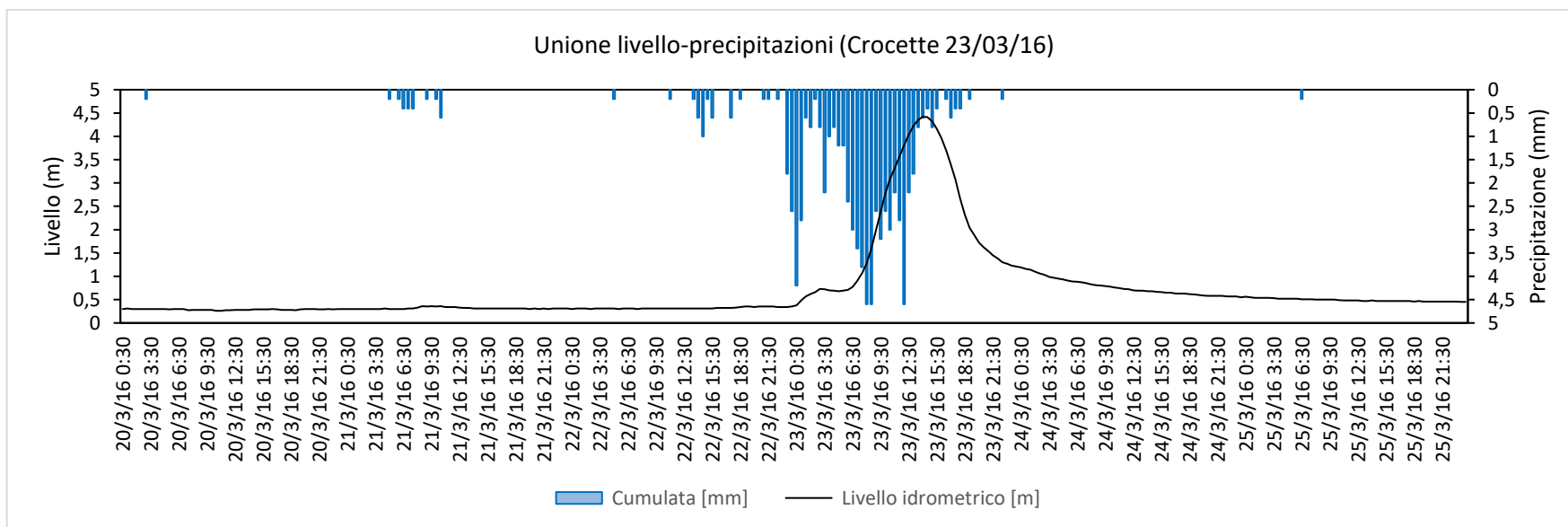


Fig. 5.21 Picco 23/03/16 Crocette

Analizzando il picco su tutte le stazioni (*da Fig. 5.18 a Fig. 5.20*) si osserva il massimo valore di livello idrico nella stazione di Svarchi di circa 4.5 metri, mentre si registra un valore più basso nella stazione di Aspio Terme con 4 metri.

I picchi di precipitazione registrati risultano essere costanti su tutto il bacino del fiume Aspio per un valore di 4.6 mm.

Dallo studio di queste osservazioni si denota che a parità di precipitazione il livello di Aspio Terme e quello di Crocette sono comunque inferiori a quello di Svarchi; come nel caso del picco del 10 ottobre 2015 , la causa di questo fenomeno è da ricercare nella distribuzione granulometrica, nella permeabilità e nell'umidità dei terreni interessati.

5.4.7 PICCO 17 GENNAIO 2017

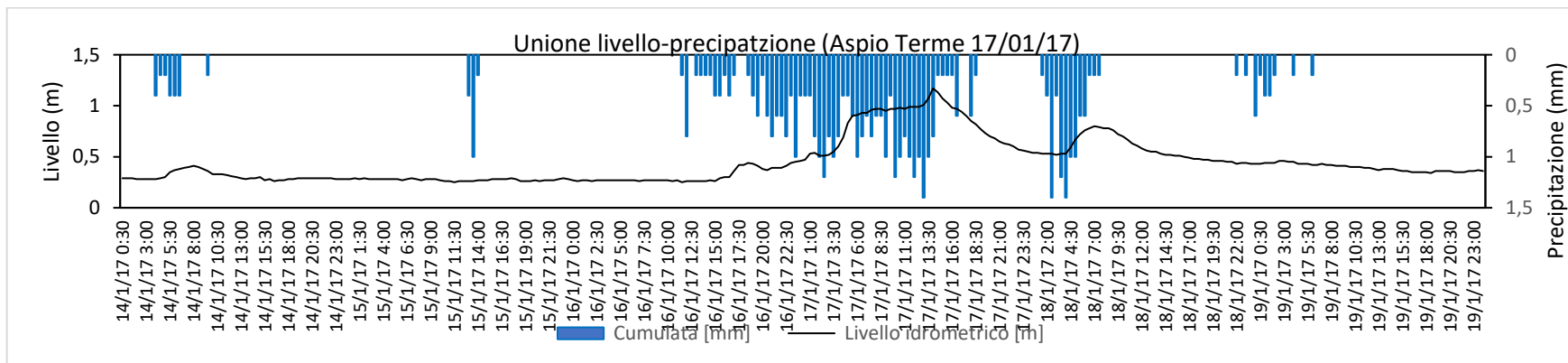


Fig. 5.22 Picco 17/01/17 Aspigo Terme

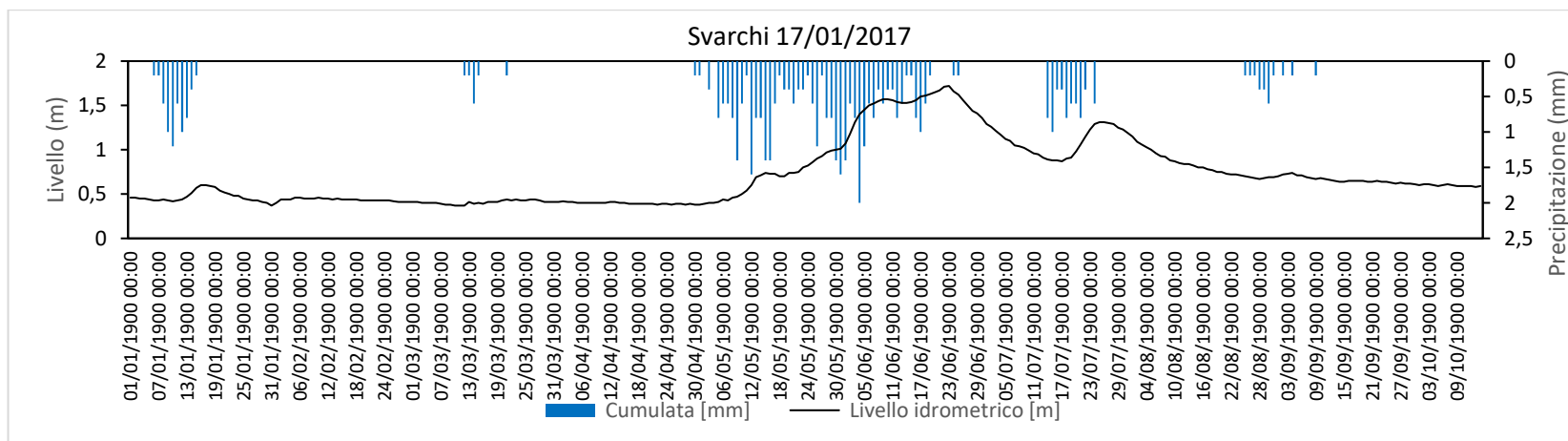


Fig. 5.23 Picco 17/01/2017 Svarchi

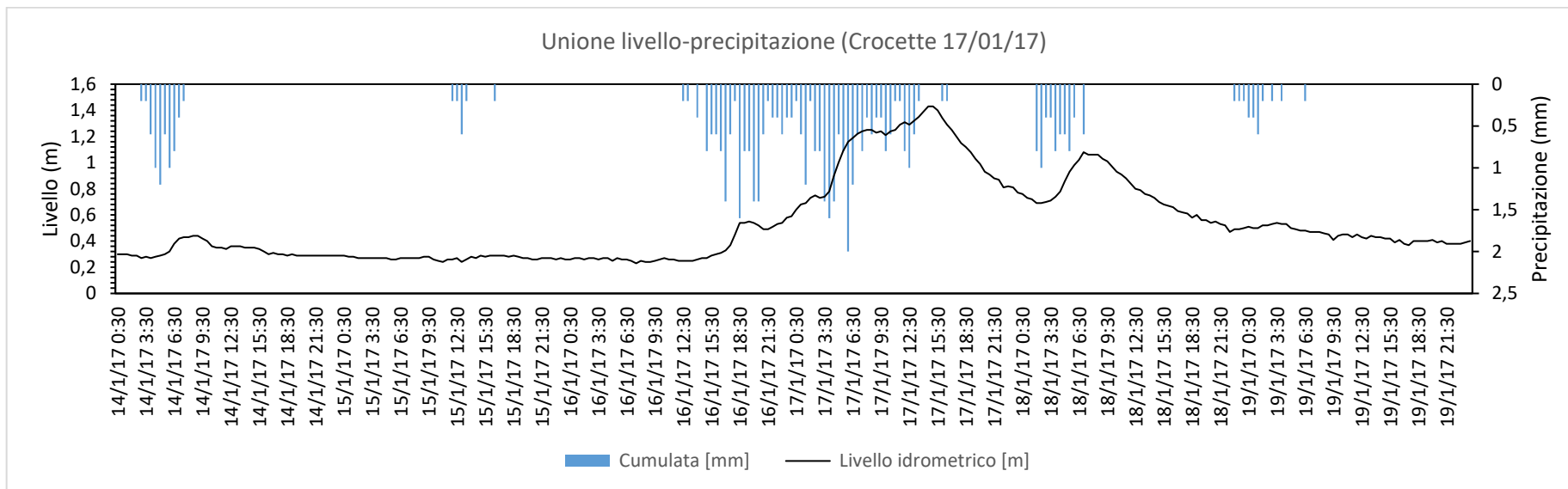


Fig. 5.24 Picco 17/01/17 Crocette

Osservando i grafici da *Fig. 5.22* a *Fig. 5.24* si denota che il livello idrico maggiore è raggiunto dalla stazione di Svarchi con un valore di 1.72 m, mentre il valore più basso di 1.13 m è riferito ad Aspio Terme.

I picchi massimi di precipitazione si hanno nelle stazioni di Crocette e Svarchi con 2 mm, mentre in quella di Aspio Terme la pioggia cumulata risulta essere pari a 1.4 mm.

Dall'analisi di queste osservazioni si afferma che a parità di precipitazione il livello idrometrico di Svarchi è maggiore rispetto quello di Crocette, anche in questo caso, la causa è da ricercare nella distribuzione granulometrica, nella permeabilità e nell'umidità del terreno di entrambe le zone.

5.4.8 OSSERVAZIONI GENERALI

Analizzando i dati delle precipitazioni registrate nelle stazioni pluviometriche e i corrispondenti livelli idrometrici registrati nelle stazioni idrometriche del F. Aspio, si può osservare come in tutte le stagioni il livello di Aspio Terme (stazione a monte del campo prova del T. Betelico) tende a rimanere sempre il più basso, nonostante la quota di precipitazioni sia più o meno costante su tutto il bacino del fiume Aspio, mentre il livello idrometrico della stazione di Svarchi (ubicata a valle della confluenza con il t. Betelico) è sempre il maggiore.

Si sottolinea che il livello idrometrico di un corso d'acqua è fortemente relazionato al livello di falda che insiste sulla zona di misura stessa, in quanto, come per la maggior parte dei fiumi marchigiani, in condizioni ordinarie la falda alimenta il fiume. Si tiene presente inoltre che l'infiltrazione nel suolo e quindi la successiva ricarica della stessa falda dipende dalla struttura e tessitura del terreno e quindi dal tipo di distribuzione granulometrica che contraddistingue le diverse coperture distribuite in diverse aree del bacino.

A conferma della precedente tesi si evidenziano i risultati relativi alla prova infiltrometrica (paragrafo 5.2) e quelli relativi alle analisi granulometriche (paragrafo 5.1) riferiti alla zona del t. Betelico, che confermano una variazione stagionale ben marcata della velocità di infiltrazione, fortemente dipendente dalle condizioni di umidità del suolo precedenti l'evento meteorico. Tale variazione permette una ricarica più veloce della falda nel periodo autunnale rispetto al tardo primaverile/estivo; la conseguenza a livello di processi di formazione delle piene è che in tale periodo una buona parte delle precipitazioni si "trasforma" in deflussi superficiali, a causa del maggior contenuto d'acqua nel suolo. In particolare, nel caso in esame, vicino al campo pozzi di VivaServizi, è presente l'alveo del T. Betelico, ora in secca da diverso tempo, ma dove fino a qualche anno fa insisteva un corso d'acqua. Analizzando a vista il livello idrometrico del fosso del Betelico, prima e dopo un evento importante di pioggia,

questo rimane quindi costantemente e pari a zero; le cause di tale comportamento, per cui progressivamente a partire dal 2018 il livello superficiale è diminuito fino a sparire e non si riattiva se non dopo prolungate e intense precipitazioni, devono essere approfondite tramite studi piezometrici sulla variazione del livello di falda.

Gli eventi estremi di dissesto idrogeologico, come le alluvioni, derivano da azioni meteoriche improvvise e devastanti, è importante pertanto individuare i corsi d'acqua soggetti ad un forte incremento di livello idrico a seguito di un evento di pioggia (Croceri L., 2021) al fine capirne le cause. Per tale motivo è stato analizzato, in mancanza di dati sul T. Betelico, l'andamento delle portate del T. Miano.

Risulta fondamentale studiare la granulometria e la modalità di ricarica della falda prima di basarsi sui livelli idrici e le misurazioni di portate anche se risultano comunque utili in fase di verifica delle opere di sostegno dei versanti, le quali, però, dovranno essere progettate considerando le condizioni più estreme in gioco cioè le esondazioni dei corsi d'acqua.

5.5 SCALA DI DEFLUSSO

Viene riportata la scala di deflusso del fosso di Vallemiano (paragrafo 4.2.3.4) ottenuta grazie ai risultati di portata, riferiti al metodo volumetrico, ed ai livelli idrometrici, scaricati dal sensore presente in sito (Fig. 5.)

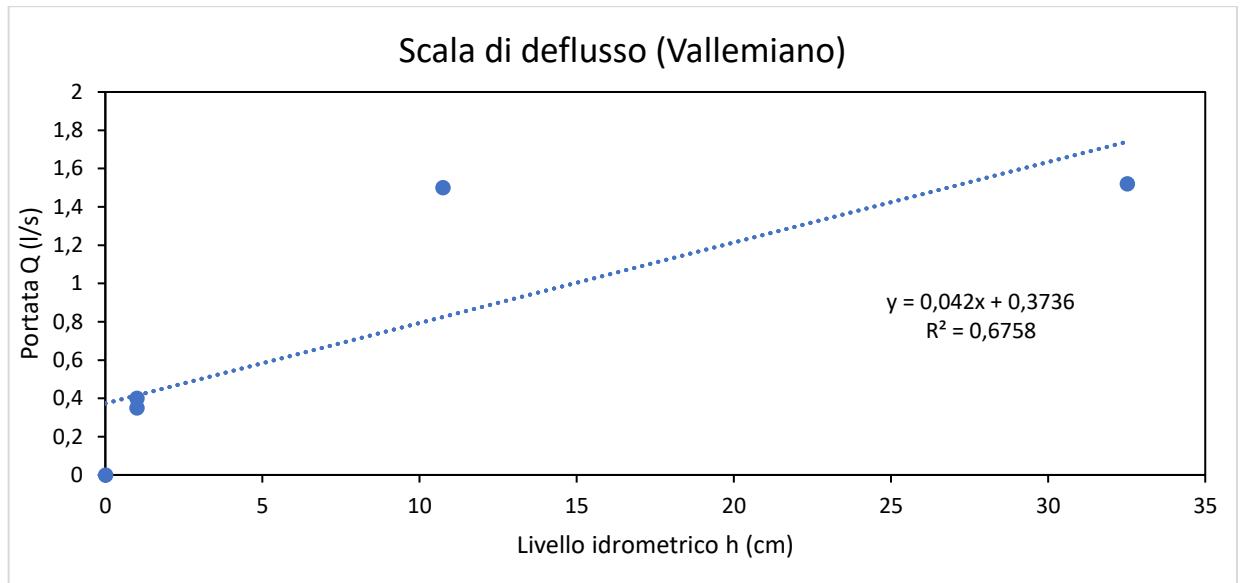


Fig. 5. Scala di deflusso relativa al fosso di Vallemiano

La scala di deflusso rappresentata viene utilizzata per: ricavare il valore della portata “y” avendo a disposizione i livelli idrici “x” ottenuti andando a scaricare periodicamente il sensore Diver; avere una proiezione futura di portata, conoscendo il livello presente, allo scopo di ottenere una previsione dei possibili eventi di piena oppure che potrebbero causare criticità in ambito idrogeologico.

6. CONCLUSIONI

In questa tesi sono stati studiati i processi di infiltrazione dell'area del Monte Conero, nello specifico nel bacino del fiume Aspio. Le prove eseguite in sito ed in laboratorio hanno avuto lo scopo di ottenere dei risultati in termini di caratteristiche di permeabilità e struttura del suolo in modo da poterle collegare, attraverso passaggi logici chiari, alla ricarica della falda sotterranea.

I principali fattori che alimentano il sistema idrologico sotterraneo sono, in generale: le infiltrazioni provenienti dalle acque meteoriche, favorito anche dalle modeste pendenze e all'elevata permeabilità verticale; il processo di infiltrazione dall'alveo principale dei corsi d'acqua naturali, come fiumi o torrenti, favorito dalla natura ghiaiosa del suolo (questo è il contributo principale alla ricarica di falda); le percolazioni attraverso le aree irrigate, cioè l'acqua che viene distribuita per irrigare i campi presenti al disopra della falda sotterranea (Dalla Venezia et alii, 2013).

È stato evidenziato come l'infiltrazione dell'acqua nel suolo e sottosuolo influenza il livello idrico e le portate nei corsi d'acqua che alimentano il fiume Aspio e di conseguenza anche il rischio idrogeologico di esondazione dei predetti torrenti a seguito di eventi improvvisi e violenti come alluvioni o forti scrosci.

Le alluvioni sono dei fenomeni estremi che interessano tutto il pianeta in maniera periodica, in Italia si sono susseguiti vari eventi estremi di pioggia di questo tipo. Nel nostro paese è stato difatti completata la pianificazione per l'assetto idrogeologico del territorio proprio per consentire la gestione di questo tipo di rischio idrogeologico (Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2006).

Si sono scaricati ed elaborati i dati di livello idrometrico delle diverse stazioni di monitoraggio presenti sul bacino, dopodichè sono stati individuati tre picchi significativi, un picco estivo, uno invernale ed uno autunnale. Nelle rispettive date si sono scaricati anche le precipitazioni cumulate in modo da poter unire i due grafici per ognuno dei tre picchi e dimostrare che effettivamente il livello di pioggia influisce sull'aumento di livello idrometrico dei corsi d'acqua.

In questa tesi si è voluto mostrare in che modo avviene questa connessione, attraverso l'infiltrazione nel suolo in particolare, sul terreno del campo pozzi di Vivaservizi, è stata effettuata una prova infiltrometrica a doppio anello in modo da poter ricavare la velocità di infiltrazione sfruttando il moto verticale dell'acqua sopra la falda, quindi in un terreno non saturo.

La prova è stata effettuata sia in estate che in autunno per valutare la dipendenza dell'infiltrazione con l'umidità intrinseca del suolo, quindi dai risultati ottenuti si è potuto dimostrare che la ricarica della falda acquifera sotterranea è funzione anche di quest'ultimo fattore. Questi risultati sperimentali infatti hanno dimostrato che a seconda dell'umidità si ottengono due velocità di infiltrazione, in termini di coefficiente di permeabilità idraulica, differenti. Infatti, in estate, si può osservare una velocità di infiltrazione minore rispetto quella autunnale e questo è dovuto proprio alle condizioni meteoriche e delle temperature tipiche delle differenti stagioni.

Nello stesso campo prova, nel mese di luglio, si è svolto il campionamento di sei provini, corrispondenti a profondità differenti del terreno. Per completezza di analisi si è misurata l'umidità degli stessi prima di effettuare le analisi granulometriche per "vaghiatura", la quale ha avuto come scopo la determinazione della granulometria del terreno.

E' stato sottolineato come, sia l'umidità che la granulometria del terreno, siano i due parametri principali che definiscono la capacità di infiltrazione nel suolo e sottosuolo, in particolare, tramite le curve granulometriche, si è potuto osservare che il terreno in esame è composto da sabbia e ghiaia per i primi 30 cm di profondità dal piano campagna, per poi risultare finissimo al decrescere della quota.

I risultati ottenuti dalla prova sono conformi a quelli ricavati dalla prova infiltrometrica a doppio anello effettuata per studiare i processi di infiltrazione nella Critical Zone, poiché, in entrambe le stagioni di misura, si è ottenuta una velocità di infiltrazione dell'ordine di grandezza relativo a terreni grossolani.

È stato raggiunto lo scopo di dimostrare l'importanza dei fattori di umidità e di tessitura del terreno ai fini dello studio dell'infiltrazione dell'acqua derivante dalle precipitazioni e come queste siano direttamente collegate alla ricarica della falda sotterranea.

Quindi anche se tutti i precedenti dati sono stati ottenuti in scala ridotta, cioè sono riferiti a contesti misurabili, risultano accettabili essendo conformi alle evidenze teoriche, di conseguenza possono essere utilizzati per il monitoraggio e la gestione del rischio idrogeologico, in particolare delle esondazioni, nel bacino del fiume Aspio.

I parametri ottenuti sono importanti per ottenere dei buoni risultati in termini di sicurezza contro il rischio idrogeologico, sia in fase progettuale che di verifica, dei versanti e delle opere idrauliche presenti sul bacino.

Si tiene conto che l'ambiente, essendo in continua evoluzione, può variare il proprio assetto attuale quindi si ritiene necessario monitorare periodicamente tutte le caratteristiche che sono state trattate nella tesi. Nello specifico risulta importante il monitoraggio del livello piezometrico della falda sotterranea, che in questa tesi non è stato trattato, al fine di prevenire il rischio di esondazione sia dei torrenti che di conseguenza del corso d'acqua principale del bacino.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

SITOGRAFIA

www.aquasearch.it

www.ambiente.marche.it

www.agricuro.com

www.brera.mi.astro.it

blog.wika.it/knowhow

www.canevari-sicurezza.it

www.colaver.it

www.colaver.it

www.faberingegneria.it

www.fondriest.com

www.geomonitoringservice.com

wunderkammer.liceodini.it

www.igmaspa.it

www.issalute.it

www.laboratoriumdiscounter.nl

www.monousodirect.it

www.manomano.it

www.packservices.it

meteo.regione.marche.it

www.regione.marche.it

www.vetro-e-plastica.it

it.trotec.com

BIBLIOGRAFIA

Alecci Chiara (2017-2018) – Analisi fotogrammetrica dei terreni: applicazioni, limiti e differenze con la granulometria classica pp. 1-3

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

Amici M., F. Boccanera, F. Iocca, S. Sofia, G. Candelaresi, M. Giordano, V. Giordano, F. Sini, G. Speranza, M. Tedeschini, G. Pierni, M. Sebastianelli . (2006)-Rapporto di evento 16 settembre 2006- 2006, Regione Marche

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

Bolognesi A. (Marzo 2006) – Indagine sperimentale sulle misure di portata mediante tracciante nelle correnti a pelo libero ed applicazioni ingegneristiche ai sistemi fognari, pp 1-17

Borga M. (2013-2014) - Slide 1-3 - Idraulica ed Idrologia: Lezione 20

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, *Jornal 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

Carravetta A. (2007) – Scale di deflusso, idraulica, slide 2

Casucci C. (2016-2017) – Ambiente della pedogenesi, dispense

Chielli F. (2001) – Nuovo percorso di via Farfisa, pp.15-16

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

De Luca D. A., Comina C., Destefanis E., Marzano F., Carbotta G., Dino G., Passarella I., Masciocco L., Sambuelli L., Perotti L., Lasagna M., Clemente P., Bonetto S., Ghilino S. (2011) – Definizione di linee guida per la valutazione delle perdite dei canali irrigui, p. 37

Villa M. (2011) – Stima della permeabilità dei terreni mediante prove infiltrometriche in via Prealpi e Giussano, p. 7.

Dalla Venezia F., Agostinetto L, Gusmaroli G. (2013) – Tecniche dimostrative di ricarica artificiale per il riequilibrio quantitativo della falda dell'alta pianura vicentina

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

Formentin G. (2013) – Modalità di stima della ricarica della falda in seguito all'infiltrazione delle acque di pioggia, pp. 3-4

Fronzi D., Tazioli A. (2019) – Groundwater and flood events in different hydrogeological periods: A case study in the Aspio river (Marche region), Italian Journal of Engineering Geology and Environmental, 1, pp. 5-16

Marani M. (2017) – Processi e modelli dell'idrologia, pp. 1-2

Magno M.C., Bergamin L., Pierfranceschi G., Venti F., Romano E. (2016) – Metodologie e strumentazioni per l'analisi granulometrica dei sedimenti, slide.

Mattioli A. (2014) - Il bacino del fiume Aspio: assetto geostrutturale, geomorfologia e idrogeologia nell'analisi delle pericolosità idrogeologiche, pp 97-156

Ministero dell'ambiente e Della Tutela del Territorio e del Mare (2006) – La gestione del rischio alluvione in Italia: Gli Strumenti per la Pianificazione e per l'assetto idrogeologico del Territorio

Mussi M., Nanni, T., Tazioli, A., Vivalda, P.M. (2017) – The Mt Conero limestone ridge: The contribution of stable isotopes to the identification of the recharge area of aquifers, *Italian Journal Geosciences*, 139 (2), pp. 186-187

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

Ruta, Caleo, Saggese, Gerbi (2013) – Legge quadro per la protezione e la gestione sostenibile del suolo, p.4

Scarponi A. (2021) – Rapporto tra acque superficiali e sotterranee in un piccolo bacino idrografico in relazione alle precipitazioni

Scussel G.R. & Saccardo I (2006) – Applicazione di diverse tecniche di misura delle portate eseguite in relazione alla valutazione della risorsa idrica, pp. 5-6

Servizio per la Difesa del Territorio (2000), *Classificazione dei comuni italiani in base al livello di attenzione per il Rischio Idrogeologico*, p. 42, p. 10.

Villa M. (2011) – Interventi di potenziamento di Viale Lario e Via Prealpi

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

Tazioli A., Aquilanti, L., Clementi, F., Marcellini, M., Nanni, T., Palpacelli, S., Roncolini, A., Vivalda, P.M. (2019) – Flow parameters in porous alluvional aquifers evaluated by multiple tracers, *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 47, pp. 126-132

Zimbone santo Marcello, slide 34-41, Corso di idraulica ed idrologia forestale

