



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze

TESI DI LAUREA MAGISTRALE  
IN  
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**RACCOLTA E ANALISI DI DATI DI  
PRECIPITAZIONE IN UN SITO DOLOMITICO DA  
COLATE DI DETRITI (RIO ACQUABONA, BL)**

*Relatore: Prof. Paolo Scotton*

*Laureanda: Caterina Zacchia*

ANNO ACCADEMICO 2016/2017



## Sommario

In questo lavoro di tesi sono presentati i dati di precipitazione raccolti dal 12 giugno al 22 settembre 2017 durante il monitoraggio del sito da colate di detriti del rio Acquabona (Cortina d'Ampezzo, BL). Questi sono stati analizzati e confrontati con i dati di pioggia ottenuti durante le stagioni di monitoraggio 2015 e 2016. Le piogge del 2015 e 2016 sono state messe in relazione con i dati di pioggia ARPAV di tre stazioni limitrofe (Cortina, Faloria e Borca di Cadore), con lo scopo di valutare la loro correlazione e rappresentatività in occasione di eventi di colata.

Il sito di Acquabona è monitorato dal 1997 e nel corso degli anni sono state apportate modifiche sostanziali alla strumentazione. Per la raccolta dati del 2017 sono stati utilizzati tre pluviometri a basculante posizionati a quote diverse e una stazione dotata di telecamera e sistema di illuminazione notturno situata nella zona di valle.

I dati di campo, ottenuti nel 2017 all'interno del sito del rio Acquabona, sono stati studiati analizzando le intensità di precipitazione, le cumulate e la concordanza tra i vari pluviometri. Con queste elaborazioni sono stati individuati gli eventi più significativi e, confrontandoli con le immagini acquisite dalla telecamera di valle, è stato possibile verificare quali fenomeni sono avvenuti nel canale in risposta a questi eventi.

I dati di pioggia del 2017 sono stati confrontati, con le stesse modalità, con i dati raccolti nel bacino nel 2015 e nel 2016 e con i dati di alcune stazioni ARPAV limitrofe, situate a qualche chilometro di distanza dal sito.





## **Abstract**

This thesis deals with rain data collection in the period between June and September 2017 in the debris flow site of Acquabona creek (Cortina d'Ampezzo, BL). These rain data have been analysed and compared with rain data collected during previous years, in the 2015 and 2016. The rains related to 2015 and 2016 have been compared with the rain data collected in three ARPAV stations located near Acquabona site (Cortina, Faloria and Borca) in order to evaluate their relationship and representativeness during debris flow.

Acquabona creek has been studied since 1997 and the instrumentation has been improved over the years. The instruments used during 2017 are three tipping rain gauges placed at different elevations and a downstream station equipped with a video-camera and a nocturnal illumination system.

The rain data obtained during 2017 in the Acquabona site have been studied analysing the rainfall, the cumulative rainfall and the degree of correlation between the data collected with the three tipping rain gauges. Analysis show some important rain events that have been compared with the pictures taken from the video-camera. This comparison has been useful to check on what happened in the channel during these events.

The rain data of 2017 have been compared in the same way with the data of 2015 and 2016 collected in the Acquabona creek and with the data of ARPAV stations nearby the site.



# Indice

<b>Introduzione</b>		1
<b>Capitolo 1</b>	<b>L'area di studio</b>	3
	1.1 Inquadramento geografico e geologico	3
	1.2 Caratteristiche geomorfologiche	7
<b>Capitolo 2</b>	<b>Le colate di detriti</b>	9
	2.1 Caratteristiche generali	9
	2.2 Parametri descrittivi	10
<b>Capitolo 3</b>	<b>Il sistema di monitoraggio del rio Acquabona</b>	13
	3.1 Storia del sistema di monitoraggio	13
	3.2 Il sistema di monitoraggio attuale	17
<b>Capitolo 4</b>	<b>Raccolta dati svolta nel 2017</b>	23
<b>Capitolo 5</b>	<b>Analisi dei dati raccolti nel 2017</b>	27
	5.1 Stima dell'errore sul tempo di basculata e correzione dei dati	27
	5.2 Intensità di precipitazione e cumulata	29
	5.3 Massima intensità	31
	5.4 Concordanza	32
	5.5 Gli eventi significativi	35
	5.5.1 Eventi con intensità di precipitazione $\geq 20$ mm/h, base temporale di 5 minuti	35
	5.5.2 Eventi con cumulata di precipitazione $\geq 10$ mm	53
	5.5.3 Concordanza degli eventi significativi	56

<b>Capitolo 6</b>	<b>Confronto tra le precipitazioni del 2015, 2016 e 2017</b>	<b>61</b>
<b>Capitolo 7</b>	<b>Confronto tra i dati di precipitazioni delle stazioni di Acquabona e di stazioni limitrofe</b>	<b>67</b>
<b>Capitolo 8</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>83</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>85</b>
<b>Ringraziamenti</b>		<b>87</b>
<b>Allegati</b>		

## **Introduzione**

Le colate di detriti sono uno dei principali fenomeni di dissesto idrogeologico che interessano l'area alpina e in modo particolare le Dolomiti. Il loro studio è di grande importanza in quanto questi fenomeni possono causare ingenti danni a persone, attività e strutture, come strade e abitazioni. Le colate avvengono spesso in modo rapido ed imprevedibile, rendendo difficile l'osservazione diretta del fenomeno e richiedendo l'installazione di sistemi di monitoraggio automatici.

L'area di Cortina d'Ampezzo è stata scelta per questo studio in quanto presenta una morfologia tipica dell'ambiente dolomitico ed è soggetta a numerose colate detritiche con caratteristiche diverse. Nello specifico il canale del rio Acquabona costituisce una via preferenziale di scorrimento per le colate alimentate dai depositi di falda accumulati ai piedi del massiccio del Sorapis.

Il sito è oggetto di studio da parte dell'Università di Padova dal 1997 e presenta un sistema di monitoraggio composto da tre stazioni: una a monte dell'area di innesco delle colate e due lungo il canale di scorrimento. Lo scopo di questo sistema di monitoraggio è di identificare le condizioni idrologiche e i meccanismi che portano all'innesco delle colate, studiare le proprietà dinamiche di flusso e i processi di deposizione che le caratterizzano.

Il lavoro svolto in questa tesi consiste nell'analisi delle precipitazioni che si sono verificate nell'area di studio e della loro influenza nell'innesco dei fenomeni di colata o di scorrimento superficiale durante il periodo compreso tra l'11 giugno 2017 e il 22 settembre 2017. È presente anche un confronto con i dati delle precipitazioni relativi al 2015 e 2016 raccolti nel sito e in tre stazioni ARPAV limitrofe (Borca di Cadore, Cortina d'Ampezzo e Faloria).



## 1. L'area di studio

### 1.1 Inquadramento geografico e geologico

Il rio Acquabona è situato in sinistra orografica della valle del Boite (Dolomiti Orientali), nel comune di Cortina d'Ampezzo (Fig. 1.1). L'area studiata è compresa tra i 1128 m s.l.m., dove si trova il bacino di ritenzione dei sedimenti, e i 1750 m s.l.m. circa, in corrispondenza della parte sommitale della zona di alimentazione. La lunghezza del canale lungo cui si sviluppano le colate di detriti è di circa 1600 m circa.

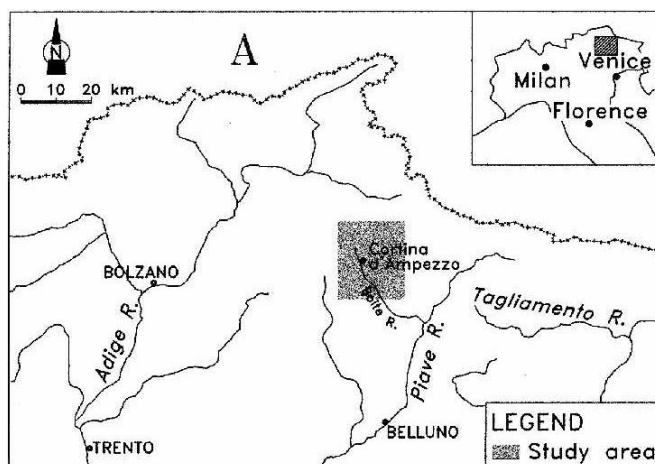


Fig. - 1.1 - Posizione dell'area di studio [1]

Dal punto di vista geologico il sito appartiene alle Alpi Meridionali, che si sviluppano a sud del lineamento tettonico detto linea insubrica. Questo elemento strutturale è formato da un sistema di faglie subverticali orientate est-ovest, che separa il dominio metamorfico a nord da quello prevalentemente sedimentario a sud (Fig. 1.2).

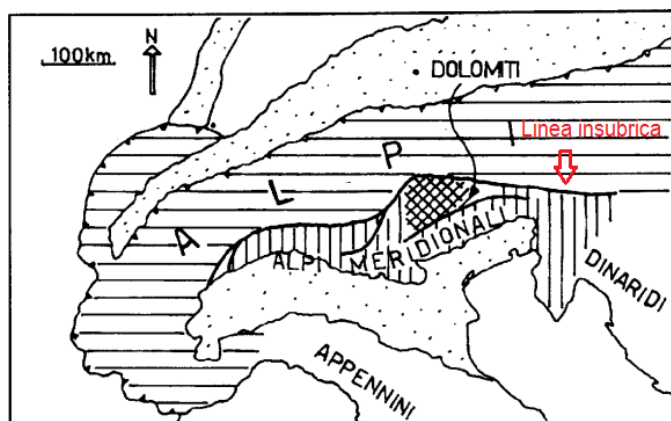


Fig. 1.2 - Lineamento tettonico che separa le Alpi Meridionali dal resto della catena montuosa [1]

In particolare nell'area di studio sono presenti la formazione di Travenanzes, la Dolomia Principale e depositi di versante.

La formazione di Travenanzes (precedentemente Formazione di Raibl) è costituita in prevalenza da peliti e marne varicolori alternate a dolomie afanitiche chiare. La parte inferiore della formazione è caratterizzata da conglomerati ed arenarie, mentre verso l'alto sono presenti carbonati con livelli decimetrici bioturbati alternati a livelli stromatolitici, ma continuano ad essere presenti anche livelli pelitici. Il limite inferiore con la formazione di Heiligkreuz è marcato da livelli di breccie; quello superiore con la Dolomia Principale presenta una sostituzione graduale da calcari dolomitici intercalati da peliti a dolomie bianche. Lo spessore di questa formazione varia da pochi metri a 150 m e la deposizione dei sedimenti componenti queste rocce è attribuita al Carnico [2].

La formazione di Travenanzes affiora nel rio Acquabona al di sotto della parte sommitale del canale, a circa 1400 m s.l.m., ed è riconoscibile per la sua caratteristica alternanza di strati rossicci e strati chiari (Fig. 1.3).





*Fig. 1.3 - Affioramento della Formazione di Travenanzes nel canale del Rio Acquabona, 28 giugno 2017*

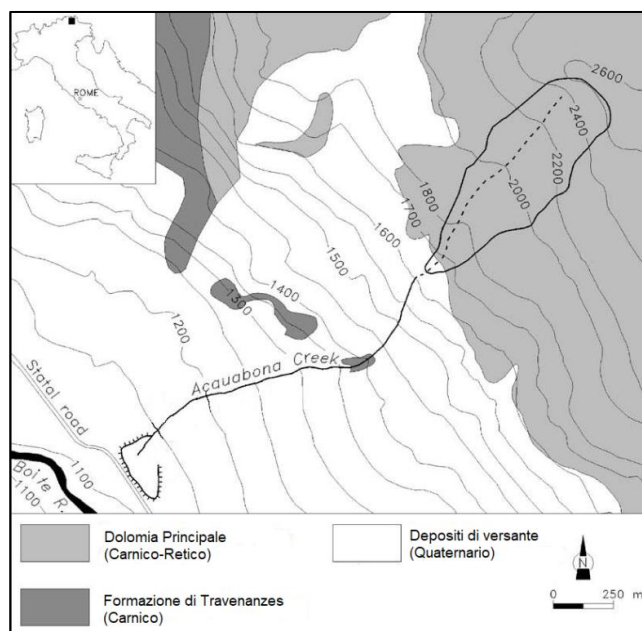
La Dolomia Principale è una formazione costituita prevalentemente da dolomie chiare ben stratificate, in cui si alternano livelli bioturbati, localmente fossiliferi, e livelli sottili a stromatoliti. Il limite inferiore con la formazione di Travenanzes è transizionale ed è evidenziato da una riduzione progressiva del contenuto terrigeno. Il limite superiore con i Calcari Grigi è segnato da livelli di breccie carbonatiche. Lo spessore può variare da poco più di 200 m fino a 1000 m e l'età della formazione è attribuita al Norico-Retico [2].

La Dolomia Principale affiora nel sito a circa 1600-1700 m s.l.m. e costituisce le imponenti pareti che sovrastano il canale (Fig. 1.4).



*Fig. 1.4 - Pareti di Dolomia Principale che sovrastano il Rio Acquabona, 22 settembre 2017*

I depositi di versante sono composti da materiale granulare con dimensioni variabili da limi e argille fino a blocchi di 3-4 m di diametro. Questo materiale è prodotto per disgregazione delle litologie presenti a monte ed in seguito viene depositato alla base delle pareti rocciose sotto forma di conoidi e falde detritiche [3].



*Fig. 1.5 - Schema geologico del rio Acquabona [4]*

## ***1.2 Caratteristiche geomorfologiche***

Nel sito sono identificabili tre zone: un bacino di drenaggio in roccia, un tratto di scorrimento e un'area di accumulo.

Il bacino di drenaggio in roccia si trova a monte dell'incisione del canale ed è costituito da pareti di dolomia e calcari intensamente fratturate per effetto del weathering. I detriti disgregati da queste rocce formano un deposito di materiale sciolto spesso soggetto a mobilitazione per apporto di grandi volumi d'acqua. Questo bacino occupa 0.3 km<sup>2</sup>, ha un'inclinazione media di 43° e la sua quota massima arriva a 2667 m s.l.m. [5]. In Fig. 1.6 è evidenziato il limite inferiore attuale del deposito di detriti, pronto ad essere mobilitato nel prossimo evento di colata.

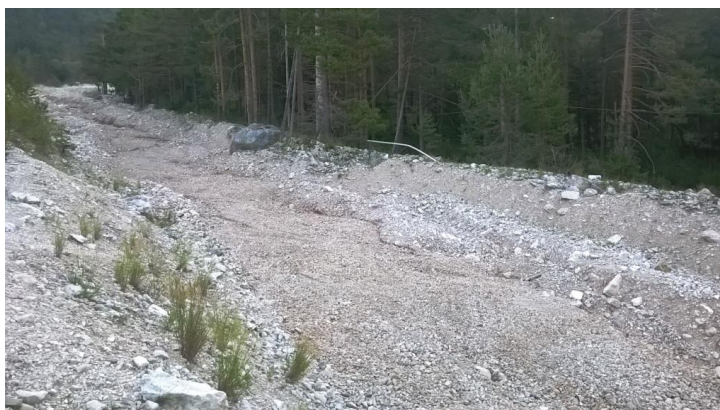


*Fig. 1.6 - Limite inferiore del deposito di detriti, 22 settembre 2017*

Al di sotto del bacino di drenaggio è presente il canale di scorrimento che ha una lunghezza di circa 1600 m e un'inclinazione media di 18°, variabile tra i 30° nell'area d'innescio e i 7° nella parte più bassa. Il canale si imposta sui depositi di versante e sui detriti trasportati da colate precedenti. Inoltre, è fortemente inciso soprattutto nella parte più a monte, dove gli argini hanno una pendenza molto elevata. I depositi sono visibili lungo tutto il canale, eccetto per un tratto di 150 m a quota di circa 1400 m s.l.m. dove affiorano gli strati della Formazione di



Travenanzes [3]. Durante un fenomeno di colata di detriti, questi depositi e le rocce provenienti dalla Formazione di Travenanzes vengono inglobati dalla massa in avanzamento per erosione laterale e ruscellamento. Nella parte più a valle la pendenza degli argini è minore e i depositi si alternano ad incisioni recenti più o meno profonde (Fig. 1.7).



*Fig. 1.7 - Morfologia del canale in un tratto a valle, 4 agosto 2017*

Il canale termina con un bacino di ritenzione dei sedimenti costruito negli anni '80 per proteggere la sottostante Strada Statale 51 Alemagna dalle colate di detriti. Per impedire eventuali tracimazioni sono stati costruiti degli argini artificiali alti circa 4 m, fatti dello stesso materiale trasportato dalle colate (Fig. 1.8). Nonostante ciò la fuoriuscita del materiale dal letto non è impedita del tutto, soprattutto nei punti in cui il fondo dell'alveo si è alzato e gli argini sono meno elevati. Il materiale che si accumula in questo bacino viene regolarmente rimosso e trasportato altrove [3].



*Fig. 1.8 - Bacino di ritenzione dei sedimenti, 4 agosto 2017*

## 2. Le colate di detriti

### 2.1 Caratteristiche generali

Le colate di detriti o *debris flows* consistono in un rapido movimento indotto dalla gravità di una miscela di sedimento poco classato, acqua e aria. Ciò che le contraddistingue è l'azione diretta della gravità sulla miscela costituita dalle tre fasi, a differenza di quanto succede nel trasporto solido ordinario dove la fase fluida, indotta al moto dalla gravità, è responsabile del movimento della parte solida che costituisce il fondo dei corsi d'acqua.

Le condizioni necessarie per dare origine a questo fenomeno sono l'elevata pendenza del versante e la presenza di un adeguato apporto di detriti ed acqua [6]. Per meglio descrivere il comportamento di una colata di detriti è opportuno trattare separatamente le tre fasi che la compongono: la fase d'innescamento, lo scorrimento e la fase di deposizione.

La mobilitazione del materiale sciolto è indotta dal cedimento della massa, dalla presenza di acqua sufficiente per saturarla e dalla conversione di energia potenziale gravitazionale in energia cinetica così da convertire il moto da scivolamento localizzato lungo una superficie di rottura ad una deformazione diffusa. Uno dei meccanismi principali che caratterizzano l'inizio di una colata è il cambio della pressione interstiziale dovuto ad apporti idrici importanti, legati a piogge intense di breve durata tipiche del periodo estivo, all'improvviso svuotamento di laghi o al repentino scioglimento di nevai o ghiacciai [6]. Nelle Alpi le colate detritiche sono generalmente innescate da brevi ed intense precipitazioni estive.

Innescato il processo, la massa comincia a scorrere lungo il versante con un fronte di avanzamento ripido dovuto all'aumento di concentrazione per arricchimento di materiale lungo il suo percorso. Il fronte è seguito da un corpo progressivamente più affusolato e con maggior contenuto in acqua. Durante questa fase di flusso possono essere incorporati anche clasti di grandi dimensioni che tendono a migrare preferenzialmente verso la superficie del corpo e verso il fronte [6] (Fig. 2.1).

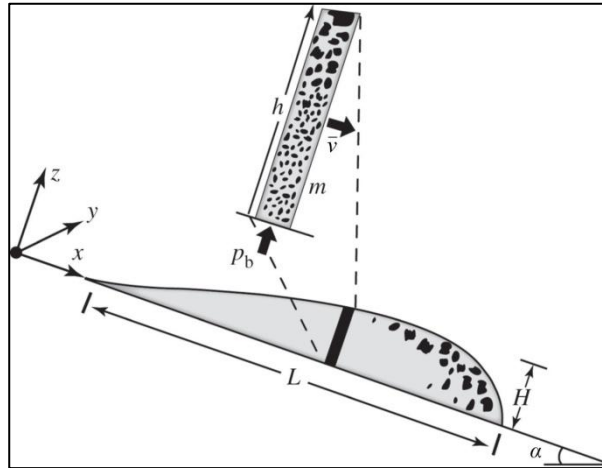


Fig. 2.1 - Schema e sezione di una colata di detriti nella sua fase di scorrimento [7]

La fase finale di una colata di detriti avviene in tratti a bassa pendenza ed è caratterizzata da una diminuzione di pressione interstiziale per consolidamento della componente solida e fuoriuscita dei fluidi. L'arresto e la conseguente deposizione sono causati dalla dissipazione di energia cinetica dovuta alla collisione tra le particelle, responsabile anche della formazione di depositi grossolani ai lati e al fronte del corpo. La parte terminale di questi depositi in genere assume una caratteristica forma lobata [6].

## 2.2 Parametri descrittivi

Per capire il comportamento delle colate di detriti è fondamentale studiare le diverse proprietà che le caratterizzano ed analizzare i parametri che influiscono nel processo. Importanti proprietà reologiche da considerare sono la densità del solido  $\rho_s$ , il diametro caratteristico delle particelle solide  $d$ , il coefficiente d'attrito  $\tan \varphi$  (dove  $\varphi$  è l'angolo d'attrito dei materiali), la frazione di volume occupata dal solido  $v_s$ , la densità del fluido interstiziale  $\rho_f$ , la viscosità del fluido interstiziale  $\mu$ , la frazione di volume del fluido  $v_f$  e la permeabilità idraulica  $k$  [6].

Altre proprietà utili per descrivere le colate sono la velocità  $v$ , la portata solida  $Q_s$ , la portata liquida  $Q_l$ , l'inclinazione del canale  $\alpha$ , l'altezza di scorrimento  $h$  e il volume trasportato  $V$  [3].

Inoltre l'intensità e la durata delle precipitazioni sono importanti parametri che condizionano l'innesco delle colate. In questo elaborato sono stati analizzati questi due parametri e il loro contributo nello sviluppo di colate di detriti o di semplice scorrimento superficiale.





### **3. Il sistema di monitoraggio del Rio Acquabona**

#### ***3.1 Storia del sistema di monitoraggio***

Il Rio Acquabona è stato scelto come sito di monitoraggio perché è percorso annualmente da fenomeni di colata con caratteristiche tipiche delle colate di detriti delle aree dolomitiche. Il primo sistema di monitoraggio [8] è stato installato nel 1997 in collaborazione con l'USGS - Cascades Volcano Observatory ed è composto da tre stazioni di misurazione.

Una stazione di monte è stata posizionata nell'area d'innescò delle colate, ad una quota di circa 1565 m s.l.m. Questa stazione era dotata di un pluviometro a basculante, un geofono per l'attivazione del sistema di monitoraggio durante gli eventi, quattro trasduttori di pressione d'acqua distribuiti nella parte superficiale del fondo del canale, un altro trasduttore di pressione d'acqua posto a maggiore profondità, due telecamere e due videoregistratori VHS attivati dal geofono.

Una stazione intermedia è stata collocata nella zona di scorrimento, ad una quota di circa 1310 m s.l.m. La stazione era equipaggiata con 3 geofoni spazati di circa 100 m, il primo dei quali dava inizio alla registrazione durante gli eventi, e un anemometro.

Una stazione di valle è stata installata alla fine della zona di scorrimento, ad una quota di circa 1175 m s.l.m. In questa stazione erano presenti tre geofoni spazati di circa 100 m, anche in questo caso il primo attivava la registrazione dei dati, un sensore ad ultrasuoni per misurare la distanza dalla superficie del fondo, un sistema di misurazione della pressione totale posizionato all'interno del canale con una superficie di 0.2 m x 0.3 m e un range di misura da 0 a 300 kPa, un trasduttore di pressione dell'acqua ed una telecamera con registratore VHS.

Ogni stazione era alimentata da una batteria a pannello solare da 12 V ed era munita di un registratore dati e di un sistema di ricetrasmisione radio. Le radio permettevano la connessione ad una stazione di raccolta dati situata nei pressi di Socol, a circa 1.3 km da Acquabona, e rendevano possibile controllare il corretto funzionamento della strumentazione e modificarne le impostazioni.

I dati venivano raccolti dalle stazioni in maniera continua con una frequenza di 0.0033 Hz (un'acquisizione ogni cinque minuti) in condizioni normali e con una frequenza di 5 Hz durante gli eventi.

Questo primo sistema di monitoraggio ha mostrato alcune problematiche. I geofoni utilizzati come sensori per l'attivazione della registrazione durante gli eventi si sono rivelati efficaci solo alle stazioni di monte e di valle, invece in quella intermedia alcuni eventi non sono stati registrati. Inoltre il sistema di misura della pressione totale della stazione di valle è stato trasportato a valle durante un evento.

Nei primi anni 2000 è stato sviluppato il secondo sistema di monitoraggio [8] in collaborazione con una compagnia locale per la progettazione e la gestione del sistema di controllo della strumentazione. Anche in questo caso sono state installate tre stazioni.

La stazione di monte è stata collocata nella stessa posizione di quella del sistema precedente ed era costituita da un pluviometro, un geofono per l'attivazione del sistema di monitoraggio durante gli eventi, quattro trasduttori di pressione dell'acqua di superficie e una telecamera con registratore VHS attivata dal geofono durante gli eventi.

La seconda stazione è stata installata in prossimità della precedente stazione di valle ed era equipaggiata con quattro geofoni, un sensore ad ultrasuoni, un sistema di misurazione del carico totale sul fondo del canale (ancorato ad una solida struttura incassata nel fondo del canale), un piezometro e una videocamera con registratore.

La terza stazione è stata posizionata ad una quota di circa 1120 m s.l.m., in corrispondenza del bacino di ritenzione progettato per contenere il materiale mobilitato dalle colate di detrito. Questa stazione era dotata di un misuratore di distanza a ultrasuoni, di un sistema di misurazione del carico totale, di un trasduttore di pressione dell'acqua e di una videocamera con registratore VHS.

Come per il sistema di monitoraggio precedente, le stazioni avevano un sistema di alimentazione locale, un sistema di raccolta dati locale e un sistema di

ricetrasmisione radio connesso con la stazione di Socol, dove un modem radio permetteva un trasferimento remoto di dati.

Un nuovo sistema di monitoraggio [8] è stato sviluppato a causa dei danni subiti dal precedente durante un evento avvenuto a luglio del 2009. La struttura di questo sistema è più semplice di quella adottata nei sistemi precedenti, infatti alcune strumentazioni che avevano dato prova di essere poco affidabili e difficili da gestire non sono state utilizzate in quest'ultima versione del sistema di monitoraggio. Nonostante ciò sono stati introdotti dei miglioramenti per quanto riguarda l'alimentazione e la trasmissione dati al fine di aumentare la velocità di trasmissione e di consentire il monitoraggio in tempo reale da remoto. Le stazioni costruite sono due, una di monte e una di valle.

La stazione di monte è stata collocata al di sopra della zona di accumulo dei sedimenti, ad una quota di circa 1715 m s.l.m., in un'area non interessata da processi erosivi di versante che rischiavano di raggiungere la posizione della stazione precedente. In questa stazione è stata installata una stazione meteorologica (Fig. 3.1) in grado di acquisire dati relativi alle precipitazioni liquide, alla velocità e alla direzione del vento, alla pressione barometrica e all'umidità relativa, così da caratterizzare alcune proprietà meteorologiche del sito. Per l'alimentazione sono stati installati tre pannelli solari da 20 W ciascuno che caricano una batteria da 12 V/Ah tramite un regolatore di potenza da 3 A. I dati sono raccolti da un microcontroller Rabbit RCM4000 che li indirizza ad un trasmettitore radio da 0.1 W ed una frequenza di 2.4 GHz.

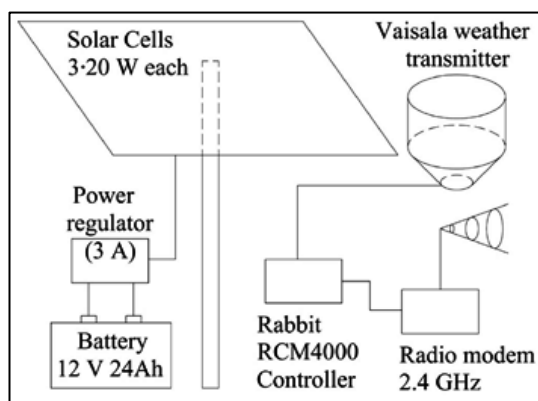
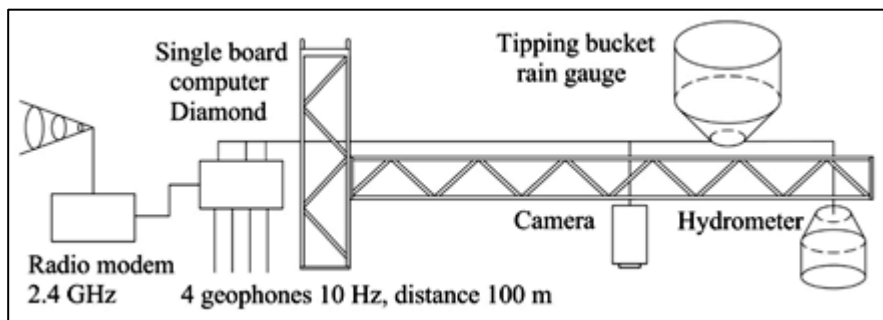


Fig. 3.1 - Schema della stazione di monte installata nel 2009 [8]

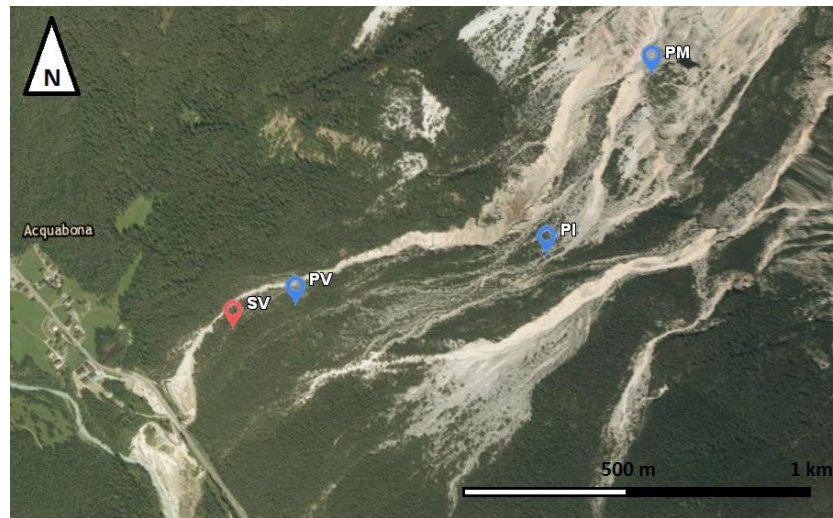
La stazione di valle è stata collocata su un grosso masso sulla sponda sinistra del canale, ad una quota di circa 1185 m s.l.m. La strumentazione di questa stazione è stata montata su una struttura a traliccio ancorata ad un masso di grandi dimensioni. La lunghezza della struttura di supporto è di circa sei metri ed è in grado di raggiungere il centro della sezione del canale. La strumentazione fissata su questo braccio dista dal fondo del canale circa 3.5 m e per agevolarne il montaggio, la manutenzione e lo smontaggio, la struttura può ruotare di circa novanta gradi per allinearsi all'argine sinistro del canale. Gli strumenti posizionati su questa struttura sono un pluviometro a basculante, un misuratore di distanza ad ultrasuoni, una videocamera digitale con un sistema di illuminazione notturna e un ricevitore radio compatibile con il trasmettitore della stazione di monte (Fig. 3.2). A monte della stazione, lungo la sponda sinistra, sono stati sepolti tre geofoni, distanziati circa 100 m uno dall'altro, e un quarto geofono è stato piazzato ad un centinaio di metri a valle. Questa stazione è alimentata tramite connessione con la rete elettrica principale e la potenza ricevuta è di 3 kW. I dati misurati vengono raccolti da un singolo computer e archiviati localmente, inoltre il processore e l'unità di memoria locale possono essere controllati da remoto tramite un accesso ad internet veloce.



*Fig. 3.2 - Schema della stazione di valle installata nel 2009 [8]*

### ***3.2 Il sistema di monitoraggio attuale***

La configurazione del sistema di monitoraggio è stata ulteriormente semplificata per l'attività di raccolta dati nell'ultimo triennio, dal 2015 al 2017. In particolare il sistema attuale è costituito da tre pluviometri a basculante e da una stazione di valle. La posizione della strumentazione è illustrata in Fig. 3.3.



*Fig. 3.3 - Posizione della strumentazione nell'attuale sistema di monitoraggio del rio Acquabona. SV indica la stazione di valle, PV il pluviometro di valle, PI il pluviometro intermedio e PM il pluviometro di monte. (Immagine LANDSAT) [8]*

Il pluviometro di monte (Fig. 3.4) è situato sullo sperone roccioso che ospitava la precedente stazione di monte, ad una quota di circa 1715 m s.l.m. Questo pluviometro, alimentato da un pannello solare, ha preso il posto della stazione meteorologica Vaisala, sostituita nel 2015 a seguito dei danni subiti durante intense nevicate invernali.



*Fig. 3.4 - Il pluviometro a basculante di monte, 22 settembre 2017*

Il pluviometro intermedio (Fig. 3.5) è collocato in sinistra orografica del canale, all'altezza dell'affioramento della Formazione di Travenanzes. Questo pluviometro è attivo dal 2015 ed è stato posizionato ad una certa distanza dalle sponde del canale, così da evitare che sia interessato da fenomeni di erosione. Anche questo pluviometro, come quello di monte, è alimentato da un pannello solare.



*Fig. 3.5 - Il pluviometro a basculante intermedio, 22 settembre 2017*

Il pluviometro di valle è posizionato in sinistra orografica del canale, a circa 200 m a monte della stazione di valle, ed è in uso dal 2015. L'alimentazione è data da un pannello solare come per il pluviometro di monte e quello intermedio.

Tutti e tre i pluviometri a basculante sono modello M1-PLUV500 della ditta Tecnopenta s.r.l. di Teolo, Padova (Fig. 3.6). La superficie di raccolta è di 500 cm<sup>2</sup> e la risoluzione è di 0.2 mm di pioggia. Ad ogni basculata lo strumento registra un valore temporale dato da giorno, mese, anno, ora, minuto e secondo, il valore cumulato della precipitazione, la tensione della batteria e del pannello solare che li alimentano.



*Fig. 3.6 - Dettaglio del pluviometro a basculante di valle, 4 agosto 2017*

La stazione di valle è situata sulla sponda sinistra del canale, ad una quota di circa 1185 m s.l.m., e corrisponde a quella installata nel 2009, ma con delle modifiche alla strumentazione utilizzata. Fino al 2016 la stazione era dotata di un braccio metallico infisso in un basamento di calcestruzzo tramite un perno cilindrico, alla cui estremità erano posizionati la telecamera e il relativo sistema di illuminazione [8]. Nel 2017 il braccio metallico usato negli anni precedenti non è stato montato e la strumentazione è stata installata su di una struttura a traliccio verticale alta circa 150 cm, con la telecamera e il sistema di illuminazione che puntano trasversalmente rispetto al canale (Fig. 3.7). Nello specifico la telecamera è la stessa utilizzata nel 2009 [8] e si tratta del modello Videoline Ep-CC480M4, CCD 1/3" Sony Super HAD, 480TVL. Questo modello ha una velocità di scatto



variabile tra 1/50 e 1/100.000, un tasso di acquisizione delle immagini che può arrivare fino a 25 frames/secondo e supporta due modalità di compressione delle immagini, MJPEG e MPEG4. La temperatura a cui può operare è compresa tra 5°C e 50°C, mentre l'umidità relativa può variare tra 20% RH e 80% RH. L'illuminazione minima necessaria è di 0.5 lux, che nella stazione sono garantiti dal sistema di illuminazione sempre attivo costituito da un faro a led. Fino al 2016 il faro aveva una potenza di 10 W, mentre nel 2017 è stato sostituito con un faro più potente da 20 W.



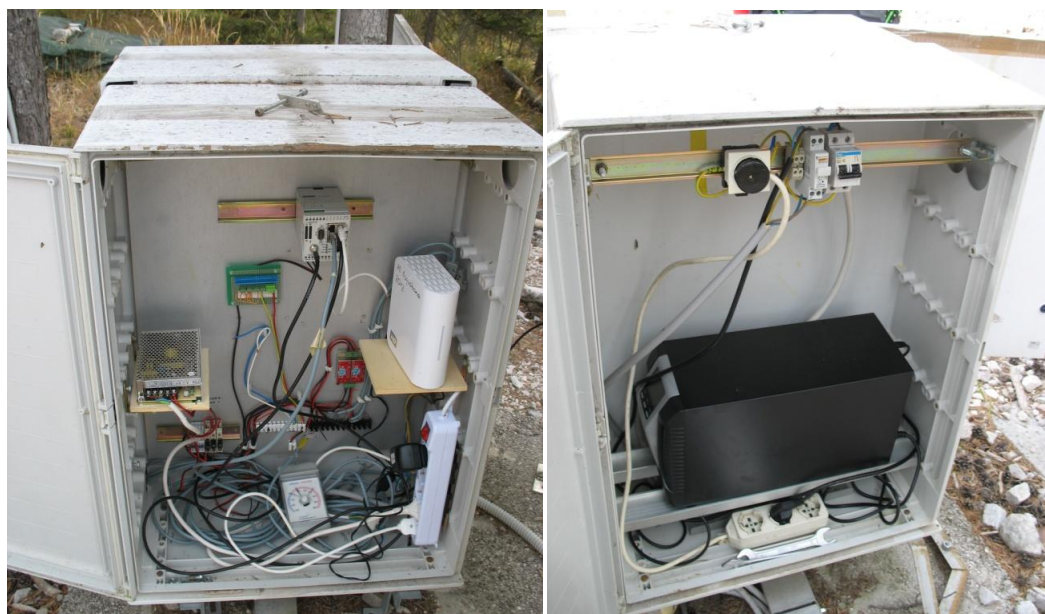
*Fig. 3.7 - Posizione della stazione di valle rispetto al canale, 2 novembre 2017*

Il resto della strumentazione è riposto in due armadi in prossimità della struttura (Fig. 3.8), protetti da pannelli isolanti in polistirene per evitare il surriscaldamento dell'attrezzatura al loro interno. Questa strumentazione è rappresentata in Fig. 3.8 e comprende [8]: un PC Helios modello HLV800-256AV dotato di una sistema operativo Slackware Linux; un disco rigido per l'immagazzinamento dei dati da 1 TB accessibile via internet tramite Core FTP; un router per la connessione alla rete 3G modello MoRoS HSPA 2.1 PRO prodotto da INSYS MICROELECTRONICS GmbH e collegato ad un'antenna posta all'esterno dell'armadio; un'unità di continuità UPS modello SENTINEL PRO che riceve la corrente dalla linea elettrica a 230 V in corrente alternata e li trasforma in corrente



continua a 12 V. Il gruppo di continuità è inoltre dotato di una batteria che, in caso di interruzione temporanea della fornitura elettrica, garantisce il funzionamento della strumentazione per circa due ore e mezza. Nel caso l'interruzione di corrente fosse prolungata e la batteria si scaricasse, una volta ripresa l'alimentazione, l'unità si riavvia automaticamente e garantisce la ripresa del funzionamento della stazione.

La corrente elettrica che alimenta tutta la strumentazione della stazione è fornita dal Comune di Cortina d'Ampezzo e arriva per mezzo di un cavo sospeso assicurato a degli alberi nel primo tratto e poi fatto passare sotto terra fino al primo armadio, dove è contenuto il gruppo di continuità.



*Fig. 3.8 - Dettaglio della strumentazione contenuta nei due armadi della stazione di valle. A sinistra si possono vedere il computer Helios, il router e il disco rigido. A destra è visibile l'unità di continuità UPS. (2 novembre 2017)*

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, è in progetto l'attivazione di una stazione intermedia in prossimità del pluviometro di valle, a circa 200 m a monte della stazione di valle. Nonostante la strumentazione e la struttura siano disponibili già dall'anno scorso, la stazione non è ancora entrata in funzione a causa di problemi logistico-amministrativi.



## **4. Raccolta dati svolta nel 2017**

Il Rio Acquabona è stato oggetto di studi nel periodo compreso tra giugno e inizio novembre 2017. Durante questi mesi si sono svolte delle uscite sul campo al fine di installare e smontare la strumentazione, verificarne il corretto funzionamento, scaricare i dati, controllare le condizioni del canale e gli eventuali cambiamenti subiti.

### **11 giugno 2017**

In questa prima uscita si è provveduto a montare i pluviometri, prima a valle, poi quello intermedio ed infine quello a monte.

### **21 giugno 2017**

L'uscita è stata fatta in occasione della visita degli studenti della Università del Sannio di Benevento. In questa data è stata montata la strumentazione della stazione di valle, installando la telecamera senza la struttura orizzontale.

### **28 giugno 2017**

Questa uscita è stata effettuata a scopo didattico per gli studenti del master in Prevenzione del Rischio Idrogeologico dell'Università di Roma "La Sapienza". Pertanto non è stata fatta alcuna verifica del funzionamento della strumentazione e non sono stati scaricati i dati dai pluviometri.

Durante questa uscita si è provveduto a sostituire il faro a led per l'illuminazione notturna con uno più potente da 20 W.

### **4 agosto 2017**

In questa terza uscita è stato verificato il corretto funzionamento dei tre pluviometri e sono stati scaricati i dati relativi al primo periodo, dall'11 giugno al 4 agosto 2017. In ogni pluviometro è stato controllato lo stato della bolla sferica, dell'imbutto esterno ed interno, e della rete metallica utilizzata per evitare l'intasamento di quest'ultimo. Per ogni pluviometro la bolla è risultata regolare e gli imbuti e la retina liberi da ostruzioni. Sono state effettuate delle basculate di prova, prima e dopo lo scaricamento dei dati, con lo scopo di verificare che la

basculata fosse libera e per ottenere dei riferimenti orari per il calcolo dell'errore nei tempi del pluviometro. Per quanto riguarda la stazione di valle, è stato verificato che tutto fosse stabile e funzionante. Sono state controllate anche la temperatura massima e minima raggiunte all'interno degli armadi e segnate dal termometro, fattore importante per il corretto funzionamento della strumentazione.

In generale lo stato del canale non mostrava evidenti variazioni ed era presente uno scorrimento superficiale poco importante.

### **22 settembre 2017**

Come per la precedente uscita, anche in questo sopralluogo sono stati controllati i tre pluviometri e sono stati scaricati i dati relativi al secondo periodo, dal 4 agosto al 22 settembre 2017. In tutti e tre i pluviometri la bolla era regolare e gli imbuto e la retina erano liberi. In Fig. 4.1 sono rappresentate le condizioni della bolla sferica e dell'imbuto interno relativi al pluviometro intermedio al momento della verifica.



*Fig. 4.1 - Stato della bolla sferica e dell'imbuto interno nel pluviometro intermedio durante la verifica della strumentazione, 22 settembre 2017*

Per tutti e tre i pluviometri sono state effettuate le basculature di prova prima e dopo lo scaricamento dei dati e la bascula non ha mai mostrato resistenze meccaniche anomale che indicassero un malfunzionamento dello strumento. Anche nella verifica della strumentazione della stazione di valle non sono stati rilevati malfunzionamenti.

Per quanto riguarda la morfologia del canale, il suo stato era stabile e a differenza dell'uscita precedente non era presente scorrimento superficiale.

### **2 novembre 2017**

In quest'ultima uscita si è provveduto a smontare i pluviometri e la strumentazione della stazione di valle. I tre pluviometri e i rispettivi pannelli solari sono stati rimossi dopo aver effettuato un paio di basculate di prova. I dati relativi all'ultimo periodo, dal 22 settembre al 2 novembre 2017, non sono stati scaricati sul posto e non sono stati presi in considerazione per le elaborazioni svolte in questa tesi. Per il pluviometro intermedio e per quello di valle è stato rimosso anche il palo che li sosteneva. Poi è stata smontata tutta la strumentazione della stazione di valle. In questa fase non sono stati riscontrati problemi particolari.

Anche in quest'ultima uscita la morfologia del canale non ha mostrato cambiamenti significativi.



## 5. Analisi dei dati raccolti nel 2017

I dati di precipitazione considerati in questa tesi sono relativi al periodo compreso tra inizio giugno e fine settembre 2017. Questi dati, registrati dai tre pluviometri e scaricati durante le uscite sul campo, sono stati elaborati con due software appositi realizzati in proprio. Un software permette di ottenere i valori di intensità di precipitazione calcolata su diverse basi temporali e la precipitazione cumulata. L'altro software lavora sempre su diverse basi temporali e determina le massime intensità utilizzando il metodo della finestra mobile. Per questo studio sono state scelte delle basi temporali significative su breve e lunga durata, che variano da 1 minuto ad un massimo di 5 giorni. Prima di passare all'elaborazione tramite i due software, è stato necessario correggere i dati provenienti dai pluviometri poiché durante le basculate di prova è stata rilevata una discrepanza tra il tempo misurato dal pluviometro e il tempo di riferimento (CET).

Una volta corretti ed elaborati i dati, è stato fatto un confronto dei valori di intensità di precipitazione, di cumulata e di massima intensità relativi ai tre pluviometri. Inoltre, tramite il parametro della concordanza, è stato studiato il grado di correlazione tra i valori delle intensità provenienti dai diversi pluviometri.

In seguito con questi dati sono stati individuati gli eventi di precipitazione caratterizzati da valori di intensità e di cumulata significativi, che superano una soglia di riferimento. Associando questi eventi alle immagini acquisite dalla telecamera, è stato possibile studiare quali fenomeni si sono verificati nel canale di Acquabona in risposta a tali eventi di precipitazione.

### ***5.1 Stima dell'errore sul tempo di basculata e correzione dei dati***

Per la correzione dei dati acquisiti dal pluviometro è stato definito l'errore assoluto come

$$E_a = (t_v - t_{in}) - (t_p - t_{in}) = t_v - t_p$$

dove  $t_v$  è il tempo vero dato dall'orologio di riferimento (tempo del computer portatile o del cellulare sincronizzati con il Central Europe Time),  $t_p$  è il tempo indicato dal pluviometro e  $t_{in}$  è il tempo di inizio acquisizione. Si deve considerare che all'istante di inizio acquisizione il tempo del pluviometro coincide con quello vero, essendo stato sincronizzato con l'orologio che stabilisce il tempo di riferimento. Da questa equazione è stato ricavato l'errore relativo definito come

$$E_r = \frac{(t_v - t_{in}) - (t_p - t_{in})}{(t_p - t_{in})} = \frac{t_v - t_p}{(t_p - t_{in})}$$

Perciò il valore corretto del tempo del pluviometro vale

$$t_{p\_corretto} = t_p - E_r \cdot (t_p - t_{in})$$

Calcolando l'errore relativo su due periodi consecutivi, si è notato che l'errore non è costante nel tempo. Questa variazione può essere causata da fattori in grado di alterare la corretta acquisizione oraria da parte del pluviometro, ad esempio la temperatura, l'umidità o la tensione di alimentazione.

In Tab. 5.1 sono riportati i dati utilizzati per la stima dell'errore sui tre diversi pluviometri e gli errori relativi calcolati per la correzione del tempo.

PLUVIOMETRO DI MONTE					
	$T_{pluviometro}$	$T_{vero}$	$\Delta T[s]$	$\Delta T_2 - \Delta T_1[s]$	$E_r [-]$
Inizio	10/06/2017 16:45:23	10/06/2017 16:45:23	0.0		
Basculata di prova 1	04/08/2017 10:04:49	04/08/2017 10:04:00	-49.0	-49.0	-1.036E-05
Basculata di prova 2	22/09/2017 10:48:04	22/09/2017 10:44:01	-243.0	-194.0	-2.164E-05
PLUVIOMETRO INTERMEDIO					
	$T_{pluviometro}$	$T_{vero}$	$\Delta T[s]$	$\Delta T_2 - \Delta T_1[s]$	$E_r [-]$
Inizio	10/06/2017 17:03:53	10/06/2017 17:03:53	0.0		
Basculata di prova 1	04/08/2017 11:20:04	04/08/2017 11:21:00	56.0	56.0	1.184E-05
Basculata di prova 2	22/09/2017 11:27:48	22/09/2017 11:27:02	-46.0	-102.0	-1.138E-05
PLUVIOMETRO DI VALLE					
	$T_{pluviometro}$	$T_{vero}$	$\Delta T[s]$	$\Delta T_2 - \Delta T_1[s]$	$E_r [-]$
Inizio	10/06/2017 17:28:52	10/06/2017 17:28:52	0.0		
Basculata di prova 1	04/08/2017 08:37:35	04/08/2017 08:39:00	85.0	85.0	1.801E-05
Basculata di prova 2	22/09/2017 12:26:50	22/09/2017 12:27:01	11.0	-74.0	-8.252E-06

Tab. 5.1 - Stima dell'errore relativo nel primo periodo, dal 10 giugno al 4 agosto 2017, e nel secondo periodo, dal 4 agosto al 22 settembre 2017.



## ***5.2 Intensità di precipitazione e cumulata***

Osservando i risultati delle elaborazioni svolte con il software per il calcolo delle intensità e delle cumulate di precipitazione (Allegato 1), si può notare che sia l'intensità di precipitazione sia la cumulata presentano delle differenze tra i tre pluviometri. Per confrontare il comportamento delle precipitazioni sia su breve sia su lunga durata sono stati presi in considerazione i grafici relativi alle intensità calcolate sui 5 minuti e sulle 6 ore (Grafico 5.1 e 5.2). Per quanto riguarda l'intensità, la differenza tra i pluviometri risulta più accentuata tra i valori calcolati nel breve periodo rispetto a quelli calcolati su basi temporali maggiori. Soffermendosi sugli eventi ad alta intensità, non emerge la tendenza di un pluviometro a mostrare intensità sempre maggiori o minori rispetto agli altri due: si nota una dipendenza dal singolo evento. Le differenze sulla cumulata, invece, mostrano un trend che è variabile tra la prima metà e la seconda metà del periodo studiato. Dall'inizio del periodo fino ai primi giorni di agosto la cumulata di valle risulta maggiore di quella intermedia e di quella di monte, mentre da agosto fino alla fine del periodo la cumulata maggiore è quella di monte. I valori totali delle cumulate sono rispettivamente 482.6 mm per il pluviometro di valle, 506 mm per il pluviometro intermedio e 507.2 mm per il pluviometro di monte. Come si può notare da questi valori finali e dall'andamento delle cumulate lungo tutto il periodo, la cumulata intermedia e quella di monte sono molto simili e si discostano da quella di valle. A conferma di questa osservazione è stata calcolata la variazione percentuale tra le cumulate dei pluviometri ed è risultato che tra monte e valle la variazione è del 4.85%, tra valle ed intermedio è del 4.62 %, mentre tra intermedio e monte è dello 0.23%. Sempre per quanto riguarda la cumulata, si può osservare che aumenta maggiormente all'inizio del periodo, in particolare verso la fine di giugno, e alla fine del periodo, nel mese di settembre. Confrontando l'andamento dell'intensità e della cumulata, non emerge una correlazione tra gli eventi ad alta intensità e l'aumento della cumulata, ma la cumulata mostra un incremento maggiore durante le precipitazioni caratterizzate da lunga durata e bassa intensità.

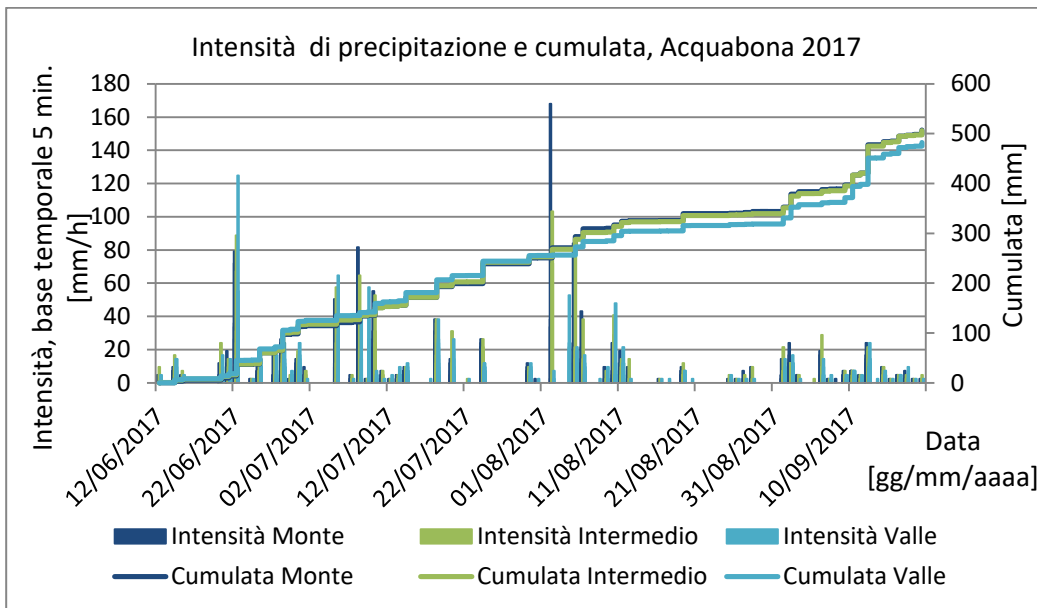


Grafico 5.1 - Confronto tra le intensità di precipitazione e le cumulate dei tre pluviometri calcolate con base temporale di 5 minuti.

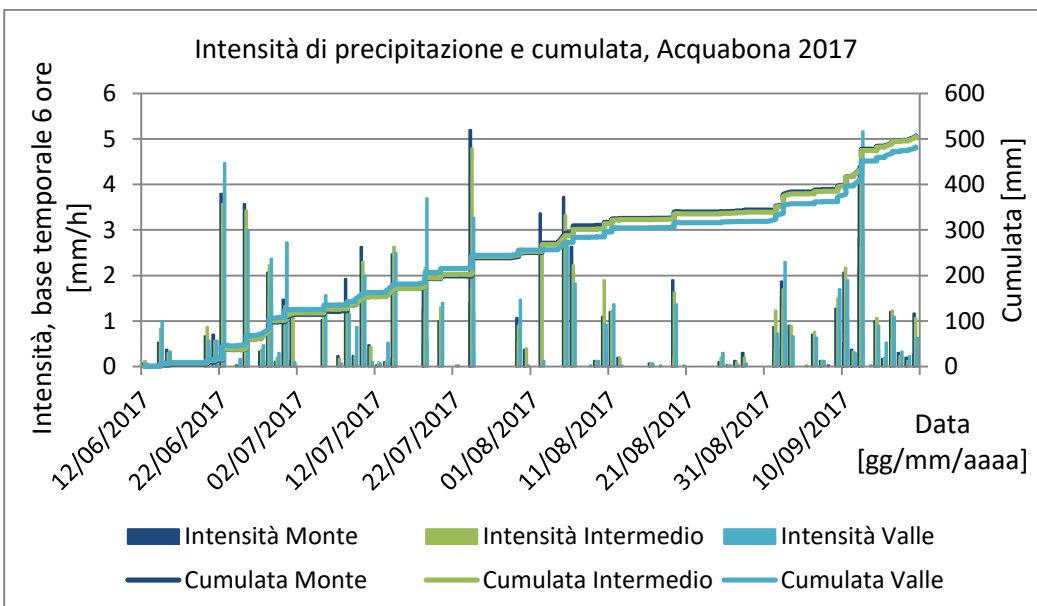


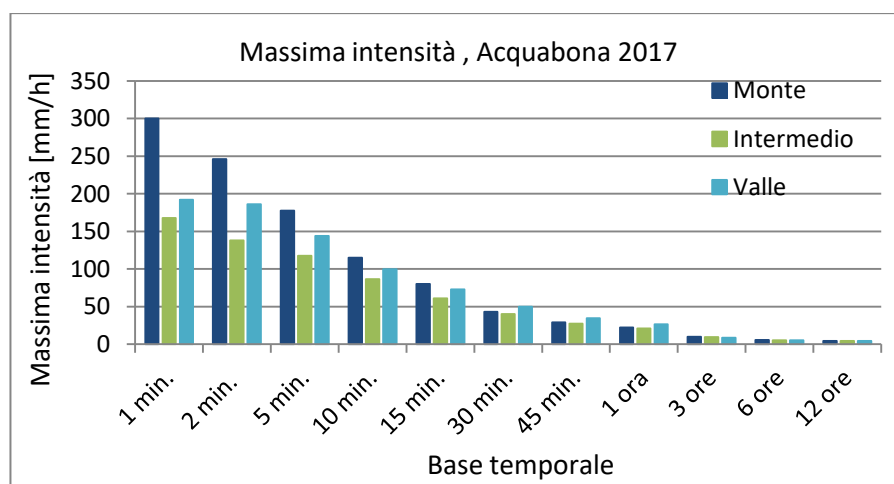
Grafico 5.2 - Confronto tra le intensità di precipitazione e le cumulate dei tre pluviometri calcolate con base temporale di 6 ore.

### 5.3 Massima intensità

Le elaborazioni svolte tramite il software per il calcolo delle massime intensità per diverse basi temporali e basate sulle finestre temporali mobili, hanno dato i risultati elencati in Tabella 5.2 ed illustrati nel Grafico 5.3.

	VALLE		INTERMEDIO		MONTE	
	$J_{max}$ [mm/h]	Inizio Precipitazione [gg/mm/aa hh:mm:ss]	$J_{max}$ [mm/h]	Inizio Precipitazione [gg/mm/aa hh:mm:ss]	$J_{max}$ [mm/h]	Inizio Precipitazione [gg/mm/aa hh:mm:ss]
1 min.	192	22/06/2017 21:34:10	168	02/08/2017 16:53:55	300	02/08/2017 16:53:39
2 min.	186	22/06/2017 21:33:28	138	02/08/2017 16:53:34	246	02/08/2017 16:53:06
5 min.	144	22/06/2017 21:33:09	117.6	02/08/2017 16:53:34	177.6	02/08/2017 16:53:06
10 min.	99.6	22/06/2017 21:31:43	86.4	02/08/2017 16:51:22	115.2	02/08/2017 16:49:37
15 min.	72.8	22/06/2017 21:29:47	60.8	22/06/2017 21:28:20	80	02/08/2017 16:47:48
30 min.	50	22/06/2017 21:29:47	40	22/06/2017 21:27:29	43.2	22/06/2017 21:26:54
45 min.	34.4	22/06/2017 21:29:47	27.2	22/06/2017 21:27:29	29.07	22/06/2017 21:26:54
1 ora	26.4	22/06/2017 21:29:47	21	22/06/2017 21:27:29	22.4	22/06/2017 21:26:54
3 ore	8.8	22/06/2017 21:29:47	9.27	24/07/2017 13:44:16	10	24/07/2017 13:44:13
6 ore	5.33	12/09/2017 07:37:48	5.33	12/09/2017 07:33:48	5.53	12/09/2017 07:34:16
12 ore	4.25	12/09/2017 02:25:34	4.35	12/09/2017 02:31:16	4.52	12/09/2017 02:20:04
1 giorno	2.19	12/09/2017 01:41:23	2.25	11/09/2017 15:39:05	2.35	12/09/2017 01:14:12
2 giorni	1.24	10/09/2017 14:14:05	1.27	10/09/2017 14:25:42	1.33	10/09/2017 15:45:47
3 giorni	1.23	09/09/2017 19:32:17	1.24	09/09/2017 19:30:32	1.23	09/09/2017 20:04:56
4 giorni	0.93	09/09/2017 19:32:17	0.93	09/09/2017 19:30:32	0.92	09/09/2017 20:04:56
5 giorni	0.79	09/09/2017 20:42:21	0.79	09/09/2017 20:04:35	0.78	09/09/2017 21:08:29

Tab. 5.2 - Valori di massima intensità e rispettivo inizio di precipitazione relativi ai tre pluviometri calcolati per diverse finestre temporali.



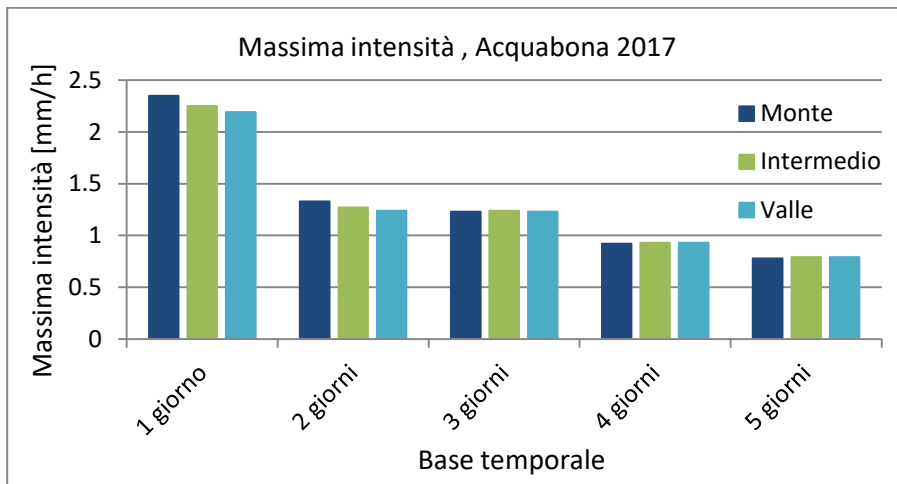


Grafico 5.3 - Valori di massima intensità di precipitazione relativi ai tre pluviometri calcolati per diverse finestre temporali: in alto, da un minuto a 12 ore; in basso da 1 giorno a 5 giorni.

Si può notare che i valori della massima intensità del pluviometro intermedio sono assai inferiori a quelli del pluviometro di monte, nonostante le cumulate dei due pluviometri siano simili, come visto in precedenza. Studiando l'andamento delle massime intensità sui tre pluviometri, si osserva anche che per basse basi temporali c'è un'importante differenza tra i valori dei diversi pluviometri. Su basi temporali giornaliere, la differenza tra i tre pluviometri diminuisce fino ad arrivare a valori quasi identici su tutti e tre i pluviometri.

## 5.4 Concordezza

La concordezza è un parametro utile per stabilire il grado di correlazioni tra due serie di dati. In questo studio è stato utilizzato per verificare l'esistenza di una correlazione tra i valori d'intensità di precipitazione relativi ai tre pluviometri. Per determinare questo parametro sono stati costruiti dei grafici a dispersione con in ascissa le intensità relative ad uno dei tre pluviometri e in ordinata le intensità di un altro dei tre. Poi ad ogni grafico è stata aggiunta la retta di regressione lineare con il rispettivo valore di coefficiente angolare  $m$  e il coefficiente di determinazione  $R^2$ . Quest'ultimo parametro varia tra 0 e 1 ed esprime quanto bene un modello, in questo caso la regressione lineare, descrive una serie di dati. La

concordanza tra le due serie di intensità di precipitazione è tanto maggiore quanto i valori di  $m$  ed  $R^2$  si avvicinano ad 1. Nel Grafico 5.4 è rappresentato il calcolo della concordanza per intensità relative a 5 minuti e a 3 ore. Le concordanze per altre basi temporali sono contenute nell'Allegato 2. Dal Grafico 5.4 si nota che  $m$  ed  $R^2$  assumono valori molto bassi per intensità di precipitazione calcolate su brevi basi temporali, mentre sul lungo periodo i valori di questi due parametri aumentano. Perciò per brevi basi temporali la concordanza è minore e le precipitazioni sono poco correlate sui tre pluviometri. Mentre per intensità calcolate su periodi più lunghi la concordanza è maggiore, quindi c'è più correlazione tra gli eventi di precipitazione registrati dai tre pluviometri. Questo conferma ciò che è emerso dal confronto delle intensità di precipitazione e delle cumulate fatto precedentemente.

Sempre nel Grafico 5.4 si può osservare che il pluviometro intermedio è molto più correlato al pluviometro di monte rispetto a quello di valle, infatti la concordanza è decisamente maggiore.

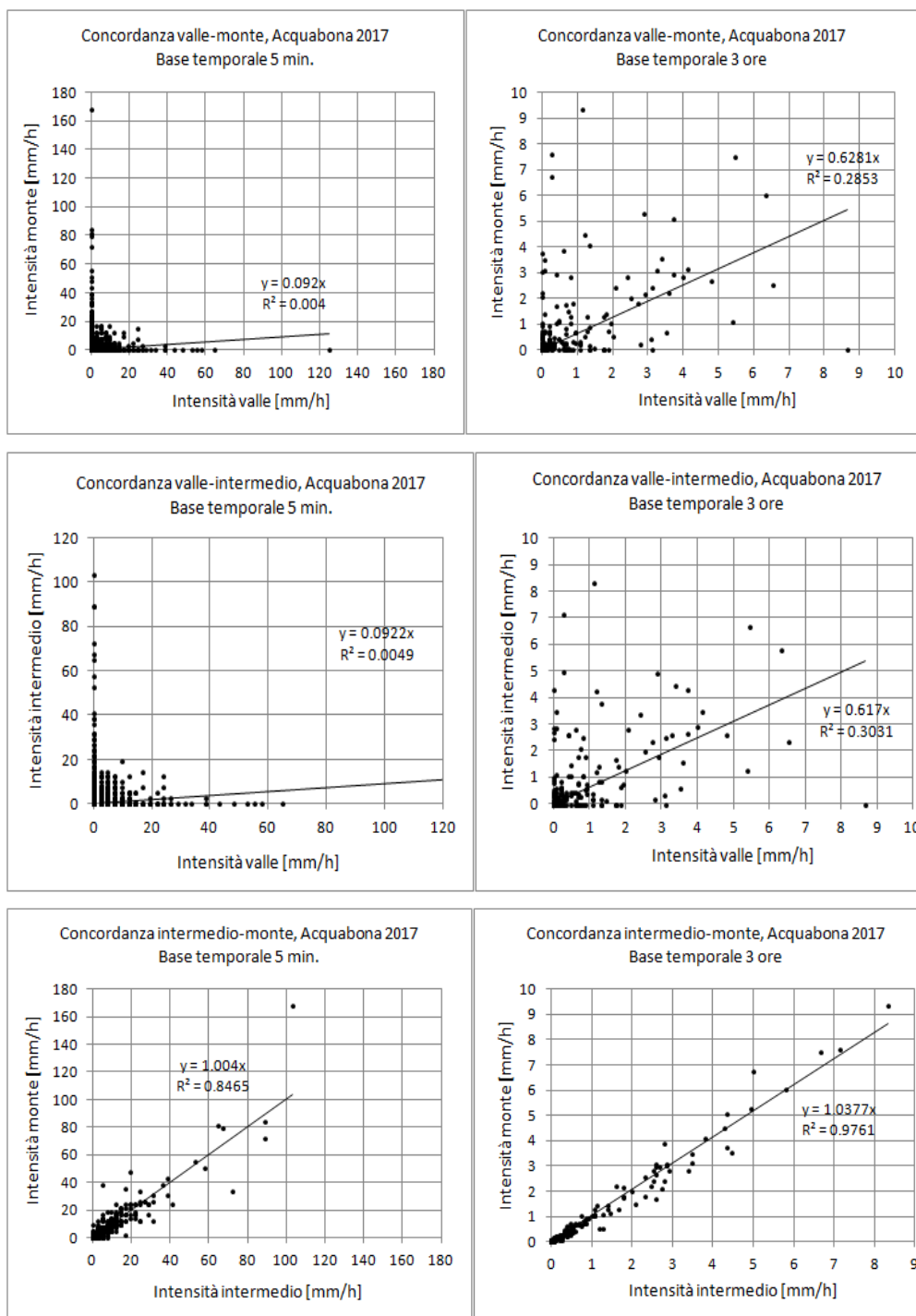


Grafico 5.4 - Grafici di concordanza tra le intensità dei tre pluviometri per basi temporali di 5 minuti e 3 ore. Le concordanze per altre basi temporali sono rappresentate nell'Allegato 2.

## ***5.5 Gli eventi significativi***

Partendo dai dati di intensità di precipitazione e di cumulata calcolati, si è deciso di analizzare nel dettaglio gli eventi più significativi che si sono verificati durante il periodo studiato. In particolare sono stati identificati gli eventi in cui in almeno uno dei tre pluviometri le intensità di precipitazione sono superiori ad un valore fissato e quelli in cui un certo livello di cumulata viene superato. I valori soglia sono stati scelti prendendo come riferimento una base temporale di 5 minuti e corrispondono a 20 mm/h per l'intensità e 10 mm per la cumulata. Ogni evento significativo è stato poi caratterizzato con un'ora di inizio e di fine, con l'altezza totale di precipitazione, con il valore massimo d'intensità di precipitazione e con l'intensità media. Poi sono state controllate le immagini acquisite durante questi eventi dalla telecamera della stazione di valle per verificare se queste precipitazioni hanno comportato dei fenomeni particolari nel canale.

Gli eventi significativi individuati sono in totale 20, di cui 15 superano la soglia dei 20 mm/h di intensità massima e 15 superano i 10 mm di altezza totale di precipitazione. Di questi 20 eventi, 10 risultano essere significativi sia per l'intensità massima sia per la cumulata.

Alla fine è stato valutato, tramite la concordanza, il grado di correlazione delle intensità a valle e a monte di alcuni tra gli eventi più significativi. Si è infine analizzata, attraverso la ricerca della massima correlazione, l'evoluzione plano-altimetrica degli eventi di precipitazione.

### ***5.5.1 Eventi con intensità di precipitazione $\geq 20$ mm/h, base temporale di 5 minuti***

In questo paragrafo sono trattati gli eventi di precipitazione che superano i 20 mm/h di intensità massima in almeno uno dei tre pluviometri. Tra questi rientrano alcuni eventi che risultano significativi anche per la cumulata.

	Evento 1		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	22/06/2017 21:29	22/06/2017 21:27	22/06/2017 21:26
Ora fine	22/06/2017 22:26	22/06/2017 23:02	22/06/2017 22:27
$h_{tot}$ (mm)	26.6	21.4	22.8
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	124.8	88.8	79.2
$J_{media}$ (mm/h)	26.6	12.8	21.0

*Tab. 5.3 - Caratteristiche dell'Evento 1*

L'Evento 1 (Tab. 5.3) dura circa 3 ore e raggiunge valori d'intensità massima molto superiori rispetto alla soglia fissata. È da notare come l'intensità relativa al pluviometro di valle sia particolarmente alta comparata ai valori degli altri due pluviometri. Questo è uno degli eventi significativi anche per l'altezza totale di precipitazione, che assume valori elevati per la notevole intensità raggiunta. Anche per l'altezza totale di precipitazione il valore di valle è superiore rispetto a quello del pluviometro intermedio e a quello di monte.

Durante questo evento la telecamera non è stata in grado di acquisire immagini a causa di un'interruzione di alimentazione superiore a due ore e mezza (periodo di funzionamento della batteria tampone dell'UPS). Nonostante ciò, è stato possibile osservare i fotogrammi precedenti all'intensa precipitazione e quelli acquisiti un paio di giorni dopo. Ciò che emerge è l'avvenuta di un trasporto di massa che ha scavato il canale in profondità trascinando via una grande quantità di sedimenti (Fig. 5.1).





Fig. 5.1 - Morfologia del canale prima e dopo l'Evento 1.

	Evento 3		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	28/06/2017 01:42	28/06/2017 01:45	28/06/2017 01:45
Ora fine	28/06/2017 04:33	28/06/2017 04:35	28/06/2017 04:34
$h_{tot}$ (mm)	10.8	12.2	12.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	24.0	26.4	26.4
$J_{media}$ (mm/h)	3.7	4.2	4.3

Tab. 5.4 Caratteristiche dell'Evento 3

L'Evento 3 (Tab. 5.4) ha avuto una durata di circa 3 ore. I valori d'intensità massima raggiunti non sono particolarmente elevati, ma superano appena la soglia fissata. Nel pluviometro a monte e in quello intermedio l'evento di precipitazione

mostra caratteristiche simili, infatti i valori di altezza totale di precipitazione e di intensità media sono quasi identici, mentre l'intensità massima assume lo stesso valore. In questo evento viene oltrepassata di poco anche la soglia dei 10 mm per l'altezza totale di precipitazione.

Le immagini acquisite dalla telecamera, in condizioni notturne, non mostrano fenomeni significativi di scorrimento superficiale o di movimento di massa.

	Evento 4		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	30/06/2017 20:56	30/06/2017 20:56	30/06/2017 20:55
Ora fine	01/07/2017 00:08	01/07/2017 00:13	01/07/2017 00:07
$h_{tot}$ (mm)	16.4	15.4	15.4
$J_{max\_5min}$ (mm/h)	24.0	19.2	14.4
$J_{media}$ (mm/h)	5.0	4.5	4.7

*Tab. 5.5 Caratteristiche dell'Evento 4*

L'Evento 4 (Tab. 5.5) supera l'intensità massima di soglia solo nel pluviometro di valle. Anche in questo caso l'evento dura circa 3 ore e i pluviometri intermedio e di monte presentano valori simili di altezza totale di precipitazione e di intensità media. Inoltre l'evento risulta significativo pure per i valori di altezza totale di precipitazione, che superano in tutti e tre i pluviometri il livello fissato.

Nei fotogrammi si intravede la presenza di scorrimento superficiale nel canale, anche se in misura non molto importante. Studiando le immagini prima e dopo dell'evento si può osservare che lo scorrimento ha prodotto delle incisioni poco profonde sui sedimenti che riempiono il canale (Fig. 5.2).



*Fig. 5.2 - Incisione sui sedimenti del canale prodotta dallo scorrimento superficiale dell'Evento 3.*

Stazione	Evento 5		
	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	05/07/2017 18:18	05/07/2017 18:19	05/07/2017 18:32
Ora fine	05/07/2017 18:45	05/07/2017 18:46	05/07/2017 18:46
$h_{tot}$ (mm)	8.4	8.2	6.2
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	64.8	57.6	50.4
$J_{media}$ (mm/h)	16.1	16.4	18.6

*Tab. 5.6 Caratteristiche dell'Evento 5*

L'Evento 5 (Tab. 5.6) raggiunge valori di massima intensità elevati in breve tempo, infatti la precipitazione dura poco più di 20 minuti. L'intensità massima, l'altezza totale di precipitazione e l'intensità media hanno valori simili su tutti e tre i pluviometri. Inoltre si nota che l'intensità massima è maggiore a valle, mentre l'intensità media è superiore a monte.

Dalle immagini registrate si vede che l'evento ha prodotto scorrimento superficiale e si può osservare il momento in cui si verifica un incremento di flusso a valle (Fig. 5.3). Inoltre lo scorrimento ha scavato ulteriormente l'incisione prodotta durante l'evento precedente.



*Fig. 5.3 - Incremento di flusso a valle dello scorrimento superficiale relativo all'Evento 5.*

	Evento 6		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	08/07/2017 21:36	08/07/2017 21:27	08/07/2017 20:58
Ora fine	09/07/2017 00:58	09/07/2017 00:57	09/07/2017 01:01
$h_{tot}$ (mm)	7.0	9.8	13.0
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	43.2	88.8	64.8
$J_{media}$ (mm/h)	2.0	2.6	3.2

*Tab. 5.7 Caratteristiche dell'Evento 6*

L'Evento 6 (Tab. 5.7) dura circa 2 ore e mezza e viene registrato con caratteristiche simili dai tre pluviometri. Si nota che le intensità massime raggiunte sono particolarmente elevate, mentre l'intensità media è molto minore. Questi valori sono indicativi di una precipitazione caratterizzata da intensità moderate che raggiunge alti valori di intensità solo per un breve periodo. Infatti confrontando i valori su tutta la durata dell'evento, emerge che l'intensità è elevata solo per un periodo di 10 minuti. Per quanto riguarda l'altezza totale di precipitazione, nel pluviometro di monte viene superata la soglia dei 10 mm.

Dalle immagini della telecamera si intravede inizialmente scorrimento superficiale, poi la telecamera smette di funzionare per un'interruzione di corrente prolungata. I fotogrammi prima dell'evento e quelli a distanza di un paio di giorni (Fig. 5.4) evidenziano la formazione di un deposito di sedimenti nel canale. In quest'arco di tempo si è verificato anche l'evento 7, quindi il deposito non può essere attribuito con precisione ad uno dei due eventi.

	Evento 7		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	10/07/2017 00:39	10/07/2017 00:42	10/07/2017 00:42
Ora fine	10/07/2017 01:36	10/07/2017 01:34	10/07/2017 01:50
$h_{tot}$ (mm)	16.6	13.8	15.8
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	57.2	52.8	55.2
$J_{media}$ (mm/h)	14.9	14.2	12.2

*Tab. 5.8 Caratteristiche dell'Evento 7*



L'Evento 7 (Tab. 5.8) dura circa un'ora ed è caratterizzato da importanti valori di intensità massima e media su tutti e tre i pluviometri. Perciò la precipitazione si è sviluppata con elevate intensità per la maggior parte della sua durata. Questo ha prodotto un'altezza totale di precipitazione che oltrepassano la soglia fissata in tutti e tre i pluviometri, rendendo l'evento significativo anche per i valori di cumulata. Purtroppo non sono disponibili fotogrammi di questo evento perché la telecamera non era in funzione per mancanza di corrente. Però è stato possibile confrontare le immagini registrate prima e dopo l'interruzione di corrente (Fig.5.4).



*Fig. 5.4 - Formazione di deposito di sedimenti successivo agli Eventi 6 e 7.*

	Evento 9		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	18/07/2017 15:42	18/07/2017 15:43	18/07/2017 15:48
Ora fine	18/07/2017 17:58	18/07/2017 18:22	18/07/2017 17:58
$h_{tot}$ (mm)	22.2	20.0	18.8
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	38.4	38.4	38.4
$J_{media}$ (mm/h)	9.5	7.3	8.3

*Tab. 5.9 Caratteristiche dell'Evento 9*

L'Evento 9 (Tab. 5.9) dura circa 2 ore e mezza e l'intensità massima è la stessa per i tre pluviometri. Invece l'intensità media e l'altezza totale di precipitazione sono maggiori a valle. Questo evento risulta essere significativo anche per i valori di altezza totale di precipitazione che superano abbondantemente la soglia dei 10 mm.

Come si può vedere dalle immagini acquisite dalla telecamera, nel canale si è verificato un importante scorrimento superficiale che ha comportato un fenomeno di erosione. Confrontando due fotogrammi consecutivi (Fig. 5.5) si può notare come un clasto presente ai bordi dell'area interessata dallo scorrimento venga trasportato verso valle.



*Fig. 5.5 - Confronto di due fotogrammi consecutivi relativi all'Evento 9. Si può notare che un clasto viene trasportato verso valle.*

	Evento 10		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	20/07/2017 13:19	20/07/2017 13:14	20/07/2017 13:13
Ora fine	20/07/2017 14:36	20/07/2017 14:34	20/07/2017 14:35
$h_{tot}$ (mm)	8.2	7.6	5.6
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	26.4	31.2	14.4
$J_{media}$ (mm/h)	6.1	5.4	4.1

*Tab. 5.10 Caratteristiche dell'Evento 10*

L'Evento 10 (Tab. 5.10) dura poco più di un'ora e l'intensità massima maggiore è rilevata al pluviometro intermedio, mentre l'intensità media è superiore a valle. In



generale i valori più simili sono quelli tra il pluviometro intermedio e quello di valle, a differenza degli eventi precedenti in cui i valori del pluviometro intermedio risultavano più simili a quelli di monte. Le massime intensità non raggiungono valori particolarmente elevati e dalle immagini della telecamera si può notare che nel canale si verifica solamente uno scorrimento superficiale poco importante.

Stazione	Evento 11		
	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	24/07/2017 13:43	24/07/2017 13:44	24/07/2017 13:44
Ora fine	24/07/2017 17:30	24/07/2017 17:27	24/07/2017 17:29
$h_{tot}$ (mm)	19.6	29.0	31.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	12.0	26.4	26.4
$J_{media}$ (mm/h)	5.0	7.6	8.2

*Tab. 5.11 Caratteristiche dell'Evento 11*

L'Evento 11 (Tab. 5.11) ha una durata di poco più di 3 ore e mezza e l'intensità massima limite è superata solo nei pluviometri intermedio e di monte. Dai tre parametri studiati si può notare che la precipitazione ha le stesse caratteristiche a monte e nell'area del pluviometro intermedio, mentre a valle si sviluppa diversamente assumendo valori minori per tutti e tre i parametri. Questo evento rientra anche in quelli significativi per la cumulata, infatti in tutti e tre i pluviometri l'altezza totale di precipitazione supera i 10 mm a causa delle elevate intensità.

Nelle immagini acquisite dalla telecamera, si può vedere che durante questo evento si sviluppa scorrimento superficiale e analizzando due fotogrammi consecutivi si nota l'azione erosiva del flusso che rimodella gli argini (Fig. 5.6).



*Fig. 5.6 - Azione erosiva dello scorrimento superficiale nell'Evento 11.*

	Evento 12		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	02/08/2017 16:57	02/08/2017 16:48	02/08/2017 16:47
Ora fine	02/08/2017 17:01	02/08/2017 17:01	02/08/2017 17:02
$h_{tot}$ (mm)	0.8	15.0	20.2
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	7.2	103.2	168.0
$J_{media}$ (mm/h)	4.8	60.0	60.6

*Tab. 5.12 Caratteristiche dell'Evento 12*

Durante l'Evento 12 (Tab. 5.12) è stata registrata l'intensità massima maggiore rispetto a tutto il periodo studiato. Si tratta di una precipitazione di

particolarmente elevata intensità che si sviluppa in un periodo molto breve, l'evento infatti dura solamente 5 minuti circa. Altro aspetto particolare è che a valle la precipitazione non rientra negli eventi significativi, infatti l'intensità massima di soglia non viene superata e tutti i valori sono di un ordine di grandezza inferiore a quelli relativi al pluviometro intermedio e di monte. Osservando l'ora di inizio e di fine si potrebbe ipotizzare che la precipitazione arrivi da monte, dove la pioggia si scarica velocemente e in modo improvviso, per poi raggiungere valle. L'elevata intensità ha comportato importanti valori di altezza totale di precipitazione, tanto da identificare l'evento come significativo anche per la cumulata, superando il livello dei 10 mm a monte e nel pluviometro intermedio.

Dalle immagini della telecamera si può solamente intuire la brevità dell'evento, in quanto a distanza di 10 minuti la situazione meteorologica cambia (Fig. 5.7). Inoltre si può osservare che nonostante gli elevati valori d'intensità, l'assai breve durata non permette il verificarsi di alcun fenomeno nel canale.



*Fig. 5.7 - Momento di elevata intensità di precipitazione relativo all'Evento 12 e situazione a distanza di 10 minuti.*

	Evento 13		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	05/08/2017 01:14	05/08/2017 01:05	05/08/2017 01:04
Ora fine	05/08/2017 02:24	05/08/2017 02:19	05/08/2017 02:13
$h_{tot}$ (mm)	16.4	20.0	22.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	52.8	88.8	84.0
$J_{media}$ (mm/h)	13.1	15.0	17.9

*Tab. 5.13 Caratteristiche dell'evento 13*

L'Evento 13 (Tab. 5.13) dura circa un'ora e l'intensità massima e media sono elevate su tutti e tre i pluviometri. Come per l'evento 6, i valori di intensità sono alti per la maggior parte della durata dell'evento.

Questo evento rientra in quelli significativi anche per i valori di altezza di precipitazione, che superano la soglia fissata in tutti e tre i pluviometri.

Le immagini acquisite dalla telecamera mostrano lo svilupparsi di un importante scorrimento superficiale verso la fine dell'evento di precipitazione. Confrontando lo stato del canale prima e dopo l'evento, a distanza di un giorno, è ben visibile che l'evento ha prodotto erosione e trasporto di clasti anche di grandi dimensioni (Fig. 5.8).



*Fig. 5.8 - Evidenze del trasporto di massa prodotto dall'Evento 13.*

	Evento 14		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	10/08/2017 12:11	10/08/2017 12:10	10/08/2017 12:10
Ora fine	10/08/2017 13:35	10/08/2017 14:09	10/08/2017 13:36
$h_{tot}$ (mm)	6.6	7.8	5.0
$J_{max}$ (mm/h)	48.0	40.8	24.0
$J_{media}$ (mm/h)	4.4	4.8	3.3

*Tab. 5.14 Caratteristiche dell'Evento 14*

L'Evento 14 (Tab. 5.14) ha una durata di circa un'ora e mezza e l'intensità massima più elevata viene raggiunta a valle, mentre l'intensità media è superiore nel pluviometro intermedio.

Le immagini mostrano che l'evento ha causato scorrimento superficiale qualche minuto dopo il momento di massima intensità. Dai fotogrammi acquisiti prima e dopo l'evento, si è potuto osservare che lo scorrimento ha eroso ed inciso il canale.





*Fig. 5.6 - Svilupparsi dello scorrimento superficiale durante l'Evento 14.*

	Evento 15		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	11/08/2017 19:35	11/08/2017 19:32	11/08/2017 19:35
Ora fine	11/08/2017 22:56	11/08/2017 21:30	11/08/2017 21:31
$h_{tot}$ (mm)	8.2	7.4	7.2
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	21.6	14.4	19.2
$J_{media}$ (mm/h)	2.9	3.7	3.6

*Tab. 5.15 Caratteristiche dell'Evento 15*

L'Evento 15 (Tab. 5.15) dura circa 3 ore e non assume particolari valori di intensità massima. Infatti l'intensità massima di soglia è superata solo nel

pluviometro di valle. Anche in questo evento si verifica solo scorrimento superficiale in misura non rilevante.

	Evento 17		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	02/09/2017 15:00	02/09/2017 14:58	02/09/2017 14:58
Ora fine	02/09/2017 18:20	02/09/2017 18:23	02/09/2017 18:15
$h_{tot}$ (mm)	13.8	15.0	17.2
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	12.0	12.0	24.0
$J_{media}$ (mm/h)	4.0	4.3	5.2

*Tab. 5.16 Caratteristiche dell'Evento 17*

Come per l'Evento 15, anche per l'Evento 17 (Tab. 5.16) le intensità massime raggiunte non sono significative e la soglia è superata solo in un pluviometro, in questo caso quello di monte. L'altezza totale di precipitazione supera i 10 mm, quindi si può considerare un evento significativo anche per la cumulata.

Controllando le immagini, ciò che si verifica nel canale è ancora una volta scorrimento superficiale.

	Evento 19		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	12/09/2017 01:41	12/09/2017 01:44	12/09/2017 01:14
Ora fine	12/09/2017 15:21	12/09/2017 15:43	12/09/2017 15:28
$h_{tot}$ (mm)	52.8	54.2	56.4
$J_{max\_max}$ (mm/h)	24.0	21.6	16.8
$J_{media}$ (mm/h)	3.8	3.8	3.9

*Tab. 5.17 Caratteristiche dell'Evento 19*

L'Evento 19 (Tab. 5.17) ha una durata particolarmente lunga e di conseguenza anche l'altezza totale di precipitazione, tanto che risulta essere uno degli eventi più significativi per la cumulata. Invece per quanto riguarda l'intensità massima, la



soglia fissata è superata nel pluviometro di valle e in quello intermedio, ma i valori non sono particolarmente elevati.

Nonostante gli elevati valori della cumulata, i moderati valori di intensità hanno causato nel canale semplice scorrimento superficiale.

### ***5.5.2 Eventi con cumulata di precipitazione $\geq 10$ mm***

In questo paragrafo verranno descritti gli eventi significativi solo per i valori di altezza totale di precipitazione. Quelli significativi sia per la cumulata sia per la massima intensità di precipitazione sono già stati discussi nella sezione precedente.

	Evento 2		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	25/06/2017 06:16	25/06/2017 06:19	25/06/2017 06:19
Ora fine	25/06/2017 11:15	25/06/2017 11:17	25/06/2017 11:10
$h_{tot}$ (mm)	21.0	20.6	21.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	14.4	9.6	12.0
$J_{media}$ (mm/h)	4.1	4.0	4.4

*Tab. 5.18 Caratteristiche dell'Evento 2*

L'Evento 2 (Tab. 5.18) si sviluppa nell'arco di circa 4 ore e l'altezza totale di precipitazione va ben oltre la soglia fissata. Le intensità massime non superano di molto l'intensità media, infatti la precipitazione è caratterizzata da un'intensità abbastanza costante e non particolarmente elevata. Questa costanza sull'intera durata dell'evento è ciò che comporta il raggiungimento di valori discreti di altezza totale di precipitazione.

Purtroppo non sono disponibili fotogrammi relativi a questo evento a causa di un'interruzione di corrente.

	Evento 8		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	13/07/2017 23:14	13/07/2017 23:15	13/07/2017 23:09
Ora fine	14/07/2017 07:07	14/07/2017 07:14	14/07/2017 07:00
$h_{tot}$ (mm)	18.2	17.6	16.6
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	9.6	9.6	9.6
$J_{media}$ (mm/h)	2.3	2.2	2.0

*Tab. 5.19 Caratteristiche dell'Evento 8*

L'Evento 8 (Tab. 5.19) ha una durata considerevole, circa 8 ore. Confrontandolo con l'evento 2 si può notare che nonostante la durata sia maggiore, le altezze totali raggiunte sui tre pluviometri sono minori. Questo è dovuto al fatto che nell'evento 2 le intensità di precipitazione erano maggiori rispetto a quelle dell'evento 8 e questo ha portato ad altezze totali superiori in tempo minore.

Dalle immagini si può vedere che la precipitazione è stata abbastanza continua su tutto il periodo. Nel canale si intravede un probabile scorrimento superficiale ma in forma molto ridotta e di breve durata.

	Evento 16		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	19/08/2017 19:50	19/08/2017 19:43	19/08/2017 19:42
Ora fine	19/08/2017 23:05	19/08/2017 23:15	19/08/2017 23:08
$h_{tot}$ (mm)	8.2	9.6	11.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	7.2	7.2	7.2
$J_{media}$ (mm/h)	2.5	2.7	3.2

*Tab. 5.20 Caratteristiche dell'Evento 16*

Nell'Evento 16 (Tab. 5.20) solo il pluviometro di monte registra un'altezza totale di precipitazione appena oltre la soglia fissata. La precipitazione si sviluppa con una lunga durata ed intensità basse. Studiando le immagini si può capire che questo evento non è stato molto significativo in quanto nel canale si forma da

poco a quasi assente scorrimento superficiale e solo verso la fine della precipitazione.

	Evento 18		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	09/09/2017 19:32	09/09/2017 19:30	09/09/2017 20:04
Ora fine	10/09/2017 17:38	10/09/2017 17:40	10/09/2017 17:43
$h_{tot}$ (mm)	29.8	29.0	25.4
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	7.2	7.2	7.2
$J_{media}$ (mm/h)	1.4	1.3	1.2

*Tab. 5.21 Caratteristiche dell'Evento 18*

Anche l'Evento 18 (Tab. 5.21) si sviluppa su un ampio arco temporale e questa è la causa principale del raggiungimento di elevati valori di altezza totale di precipitazione. Infatti i valori di intensità massima e di intensità media sono particolarmente bassi.

Dalle immagini della telecamera è emerso che nel canale non è avvenuto alcun fenomeno particolare.

	Evento 20		
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE
Ora inizio	15/09/2017 21:56	15/09/2017 21:44	15/09/2017 21:56
Ora fine	16/09/2017 12:05	16/09/2017 12:19	16/09/2017 11:14
$h_{tot}$ (mm)	13.0	12.4	11.0
$J_{max\_5min.}$ (mm/h)	4.8	4.8	4.8
$J_{media}$ (mm/h)	0.9	0.8	0.8

*Tab. 5.22 Caratteristiche dell'Evento 20*

Come per l'Evento 19, anche nell'Evento 20 (Tab. 5.22) la durata è considerevole, ma le altezze totali di precipitazione di quest'ultimo evento sono minori. Questo è

confermato anche dalle intensità massime e dalle intensità medie che raggiungono valori pari a quasi la metà di quelli dell'evento 19.

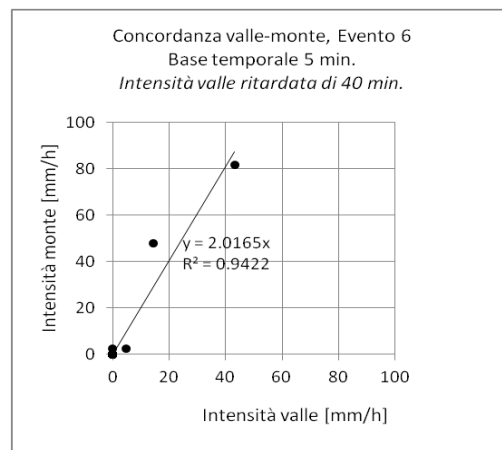
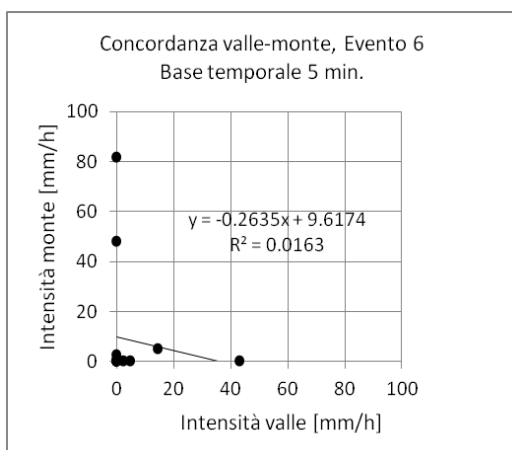
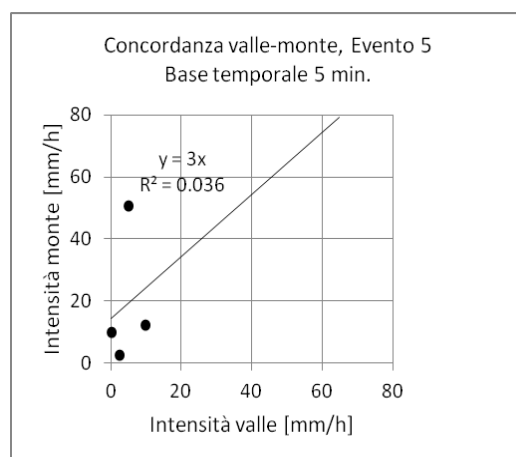
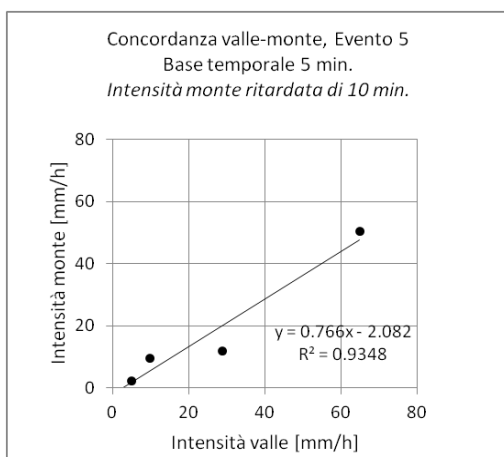
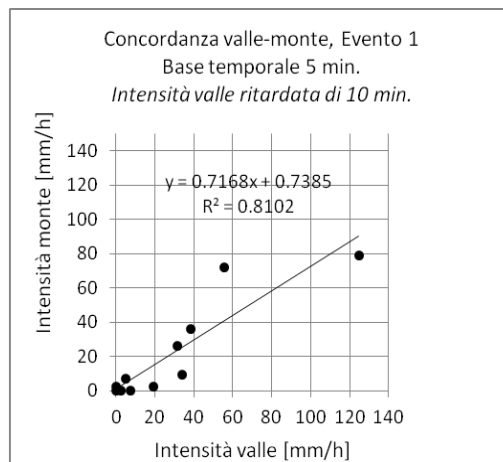
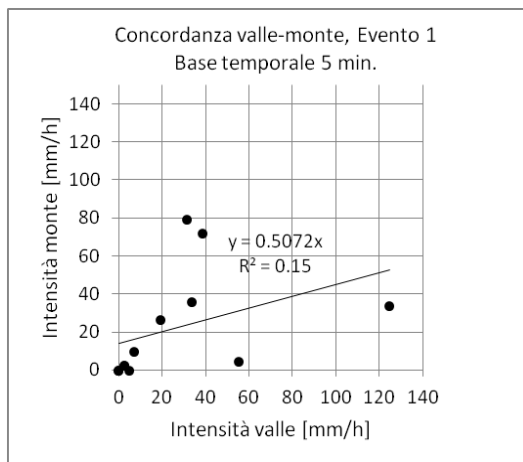
Anche in questo caso le immagini mostrano che nel canale non si è sviluppato alcun fenomeno.

Dopo aver studiato gli eventi significativi per le intensità e quelli significativi per la cumulata, si può affermare che l'intensità di precipitazione assume un ruolo importante nella formazione di fenomeni di scorrimento e di trasporto nel canale. Infatti le precipitazioni caratterizzate da alta intensità causano scorrimento superficiale nella maggior parte degli eventi e le intensità particolarmente elevate comportano anche fenomeni di trasporto di massa. Invece la cumulata non è un parametro così determinante, in quanto per altezze di precipitazione elevate e non accompagnate da alta intensità, non si verifica alcun fenomeno se non scorrimento superficiale poco importante.

### ***5.5.3 Concordanza degli eventi significativi***

Tra gli eventi significativi, ne sono stati scelti alcuni da studiare più nel dettaglio tramite il calcolo della concordanza tra le intensità di monte e di valle. Per quest'analisi sono stati selezionati gli eventi 1, 5, 6, 7, 9, 13 e 14, considerati di più interesse per gli elevati valori d'intensità che li caratterizzano. I grafici ottenuti mostrano valori bassi del coefficiente di determinazione  $R^2$  e del coefficiente angolare  $m$  della retta di regressione per la maggior parte degli eventi, quindi le intensità a monte e a valle risultano essere poco correlate. Perciò si è provato a calcolare il tempo di percorrenza della precipitazione tra una stazione e l'altra, osservando in quali eventi si sposta da monte a valle e in quali nel verso opposto. Per fare ciò si è proceduto a tentativi ritardando una delle due serie di valori d'intensità affinché i valori di  $R^2$  e del coefficiente angolare della retta fossero il più possibile vicini ad 1. Si è deciso di iniziare a lavorare su base temporale di 15 minuti, così da capire quale delle due serie doveva essere ritardata per aumentare la correlazione, per poi passare ad una base temporale di 5 minuti per ottenere un

valore più preciso del presunto tempo di percorrenza. Nel Grafico 5.5 è illustrata la correlazione tra intensità di monte e di valle prima e dopo l'aggiunta del ritardo.



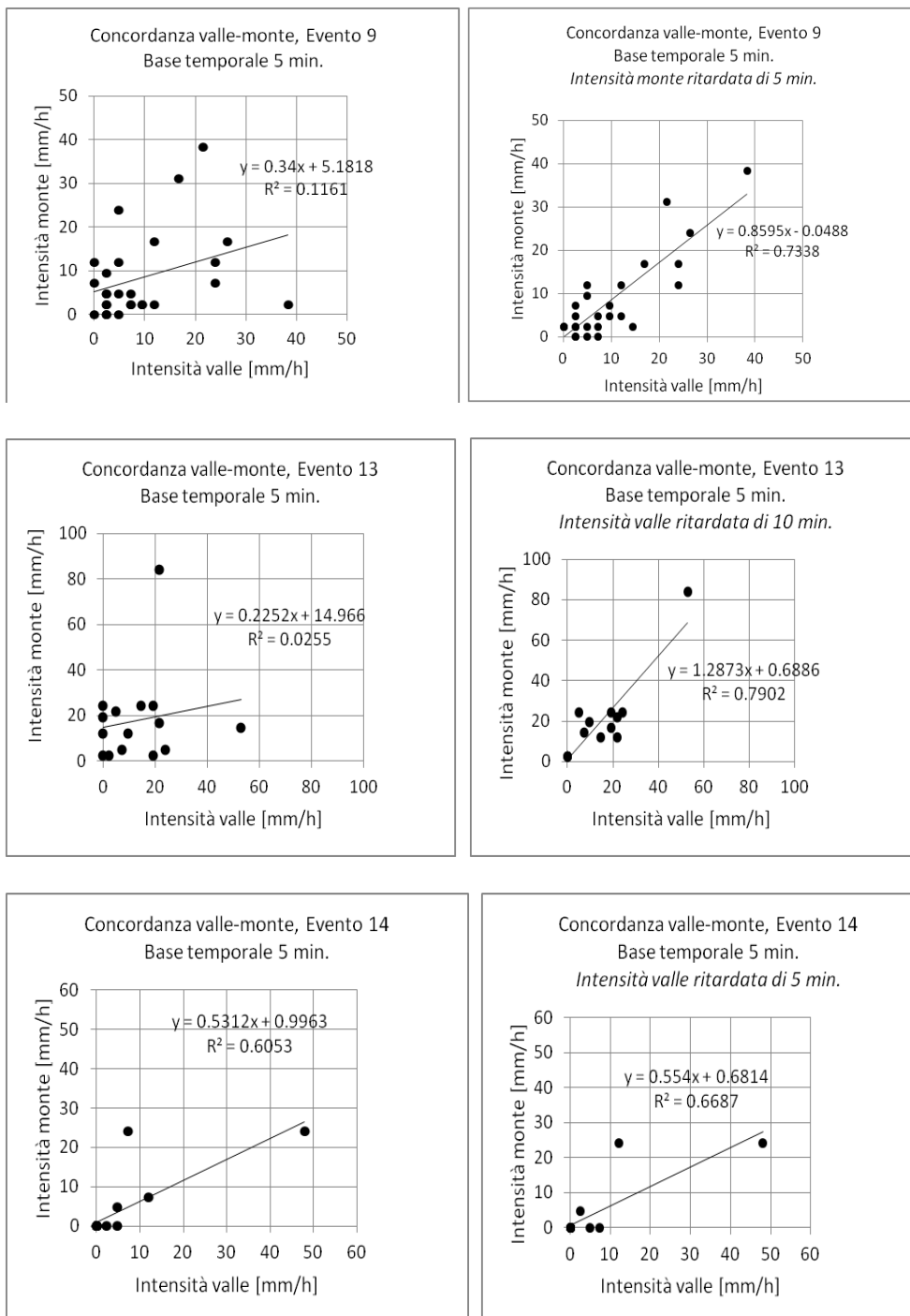


Grafico 5.5 - Grafici di concordanza degli Eventi 1, 5, 6, 9, 13 e 14 per le intensità di valle e di monte calcolate su base temporale di 5 minuti. A sinistra la concordanza iniziale e a destra la concordanza dopo aver ritardato una delle due serie di intensità.

Dai grafici ottenuti si può vedere che negli eventi 1, 6, 13 e 14 la precipitazione si sposta da monte verso valle, infatti per ottenere una correlazione maggiore è stato necessario ritardare le intensità di valle. Per quanto riguarda gli eventi 1, 13 e 14 il tempo di percorrenza stimato varia tra i 5 e i 10 minuti circa, mentre nell'evento 6 la precipitazione sembra muoversi molto più lentamente, impiegando circa 40 minuti per arrivare a valle. Invece gli eventi 5 e 9 sembrano avere direzione opposta e si spostano da valle verso monte, infatti per avere più correlazione sono state ritardate le intensità di monte. Anche per questi due eventi di precipitazione il tempo necessario per spostarsi da un pluviometro all'altro varia tra 5 e 10 minuti circa.

Nel caso dell'evento 7, ritardando le intensità di monte o di valle i valori di  $R^2$  diminuiscono, quindi non si può ottenere un grado maggiore di correlazione e la precipitazione sembra agire in modo sincrono a monte e a valle.





## **6. Confronto tra le precipitazioni del 2015, 2016 e 2017**

In questo capitolo sono messe a confronto le precipitazioni registrate ad Acquabona negli ultimi tre anni. Il periodo di raccolta dati è diverso per ogni annata: nel 2015 sono state registrate le precipitazioni dal 16 luglio fino al 16 ottobre nel pluviometro di monte e fino al 29 ottobre in quello di valle, nel 2016 dal 12 aprile al 12 ottobre e nel 2017 dall'11 giugno al 2 novembre, ma i dati sono stati elaborati fino al 22 settembre. Per confrontare i dati sono state scelte basi temporali diverse (dieci minuti (Grafico 6.2), un'ora (Grafico 6.3), un giorno (Grafico 6.4)), allo scopo di analizzare il comportamento degli eventi di diversa durata.

Per quanto riguarda la cumulata (Grafico 6.1), non è possibile confrontare i valori ottenuti essendo stati raccolti in periodi di durata diversa. Confrontando le intensità di precipitazione dei diversi anni su base temporale di dieci minuti, si può osservare che le intensità più elevate sono relative al periodo estivo in tutte e tre le annate. In particolare le massime si concentrano tra luglio e agosto, ad eccezione di un evento particolarmente intenso a fine giugno nel 2017. La massima intensità è registrata sempre dal pluviometro di monte e arriva a superare i 70 mm/h in tutti e tre i casi, raggiungendo rispettivamente poco più di 80 mm/h nel 2015, quasi gli 80 mm/h nel 2016 e toccando i 100 mm/h circa nel 2017. Su base temporale di un'ora la situazione non è molto diversa rispetto a quella calcolata sui dieci minuti. Però si può notare un evento registrato dal pluviometro di monte a inizio agosto nel 2015 caratterizzato da elevata intensità su base oraria. Per gli eventi con durata più estesa, le intensità di precipitazione raggiungono valori maggiori nel 2016 rispetto alle altre due annate. Le massime intensità si concentrano a settembre nel 2016 e nel 2017, mentre il 2015 mostra un picco anche agli inizi di agosto.

Questi confronti sui tre anni confermano il carattere tipico delle precipitazioni dell'ambiente alpino: di elevate intensità e breve durata nel periodo estivo; di moderata intensità e lunga durata nel periodo primaverile e autunnale.

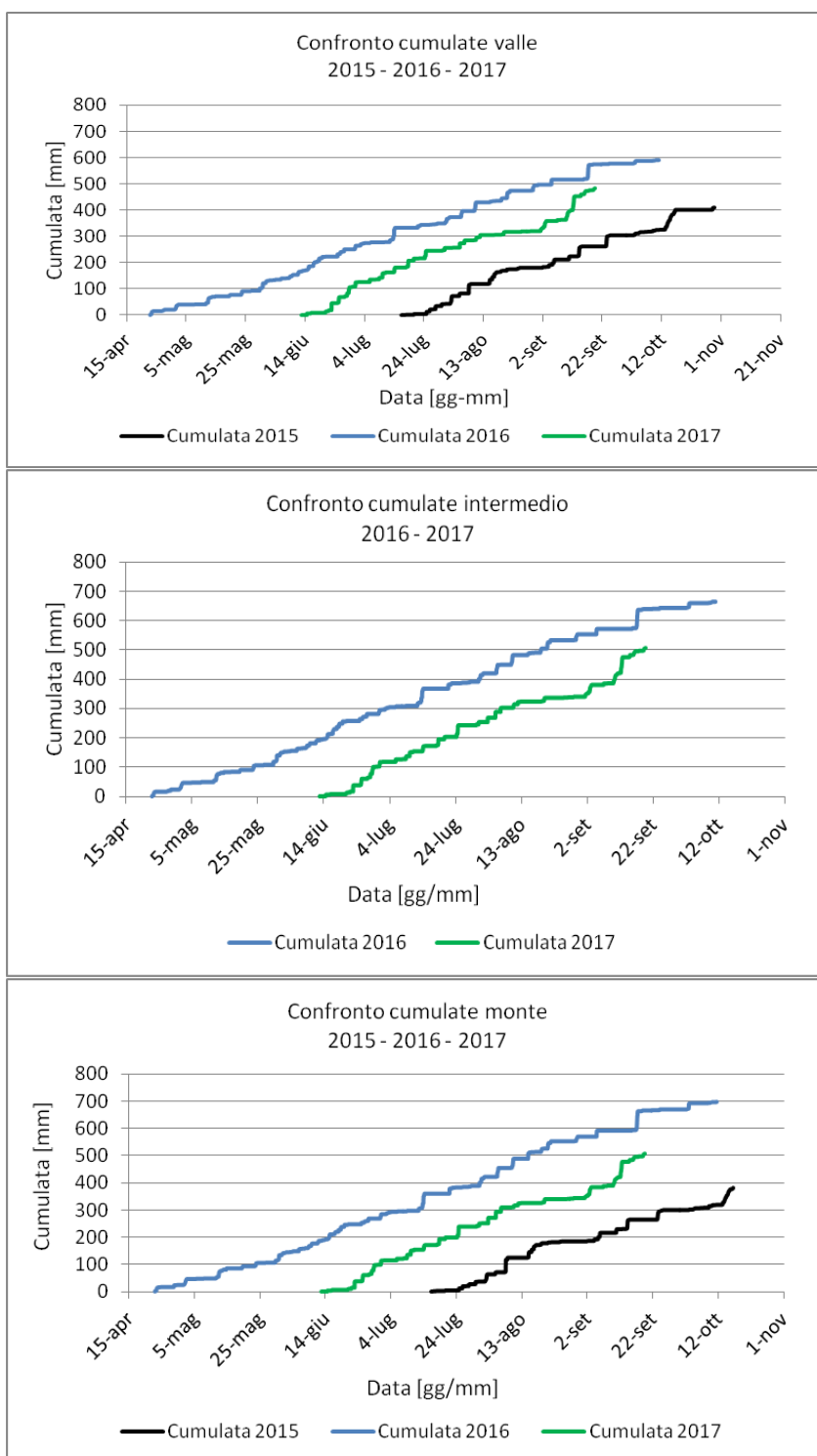
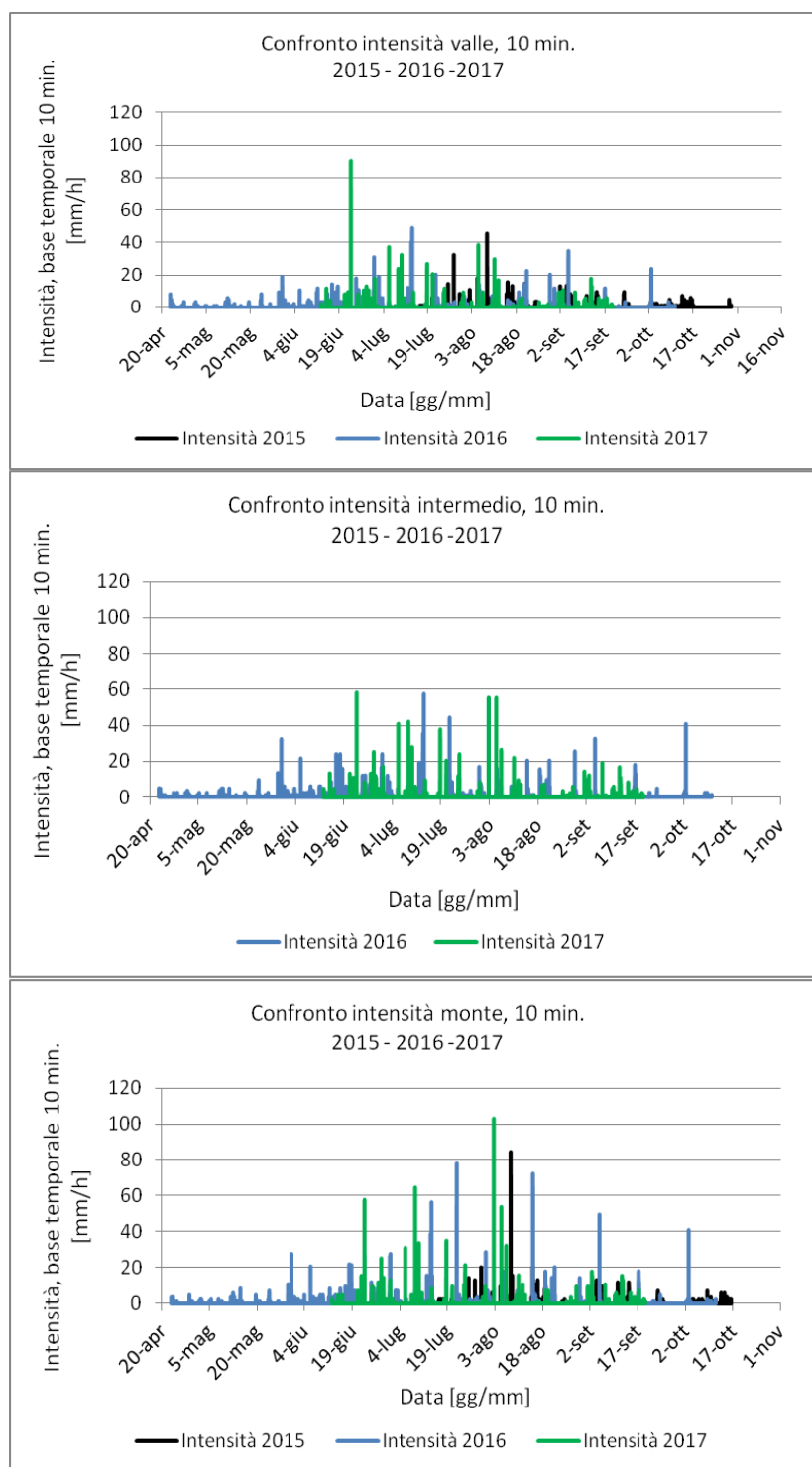


Grafico 6.1 Confronto tra le cumulate negli anni 2015, 2016 e 2017: in alto le cumulate di valle, in mezzo quelle del pluviometro intermedio, in basso quelle di monte.



*Grafico 6.2 - Confronto tra le intensità di precipitazione su base temporale di 10 minuti: in alto, le intensità di valle nel 2015, 2016 e 2017; in mezzo, le intensità del pluviometro intermedio nel 2016 e 2017; in basso, le intensità di monte nel 2015, 2016 e 2017.*

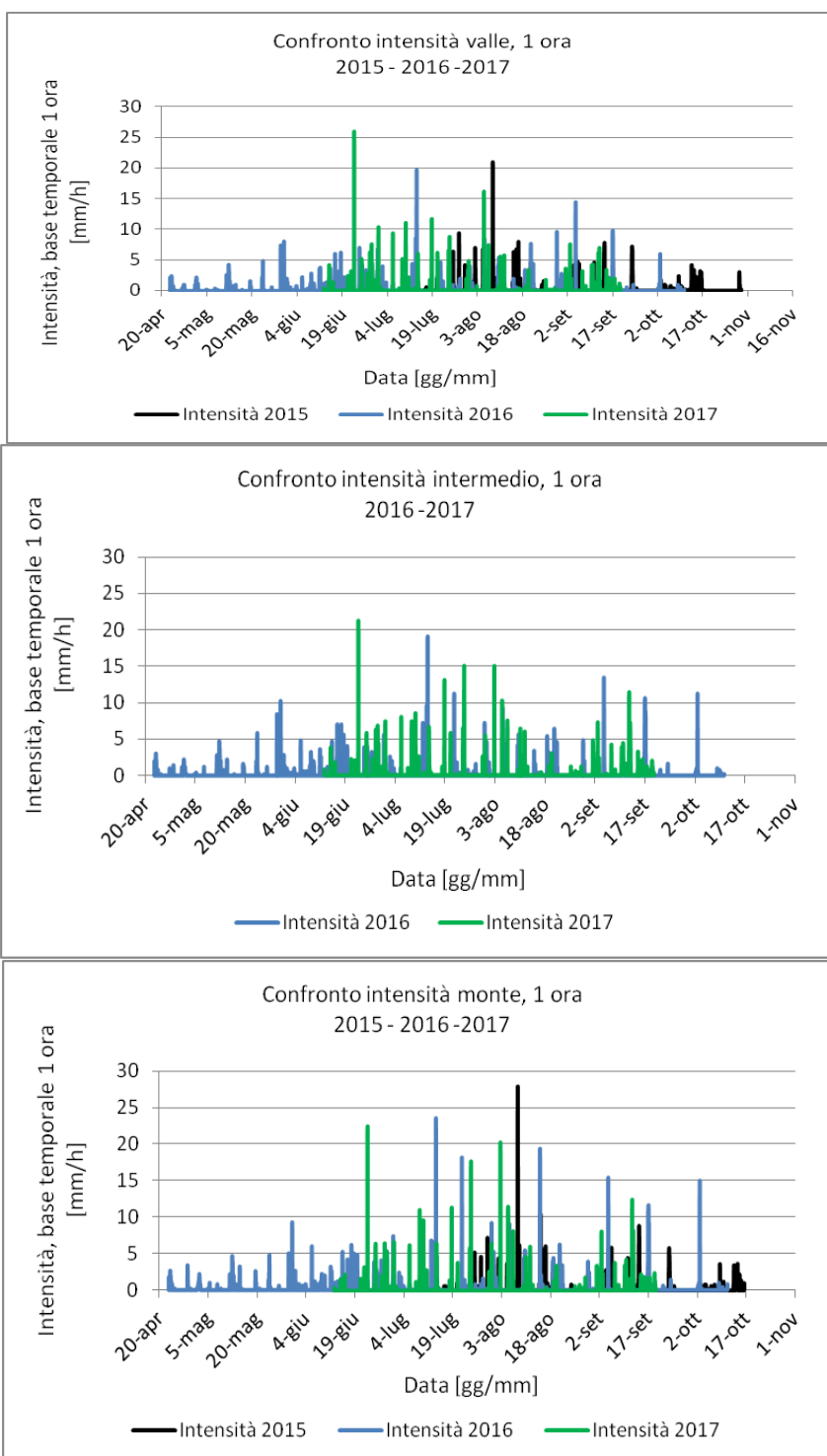


Grafico 6.3 Confronto tra le intensità di precipitazione su base temporale di 1 ora: in alto, le intensità di valle nel 2015, 2016 e 2017; in mezzo, le intensità del pluviometro intermedio nel 2016 e 2017; in basso, le intensità di monte nel 2015, 2016 e 2017.

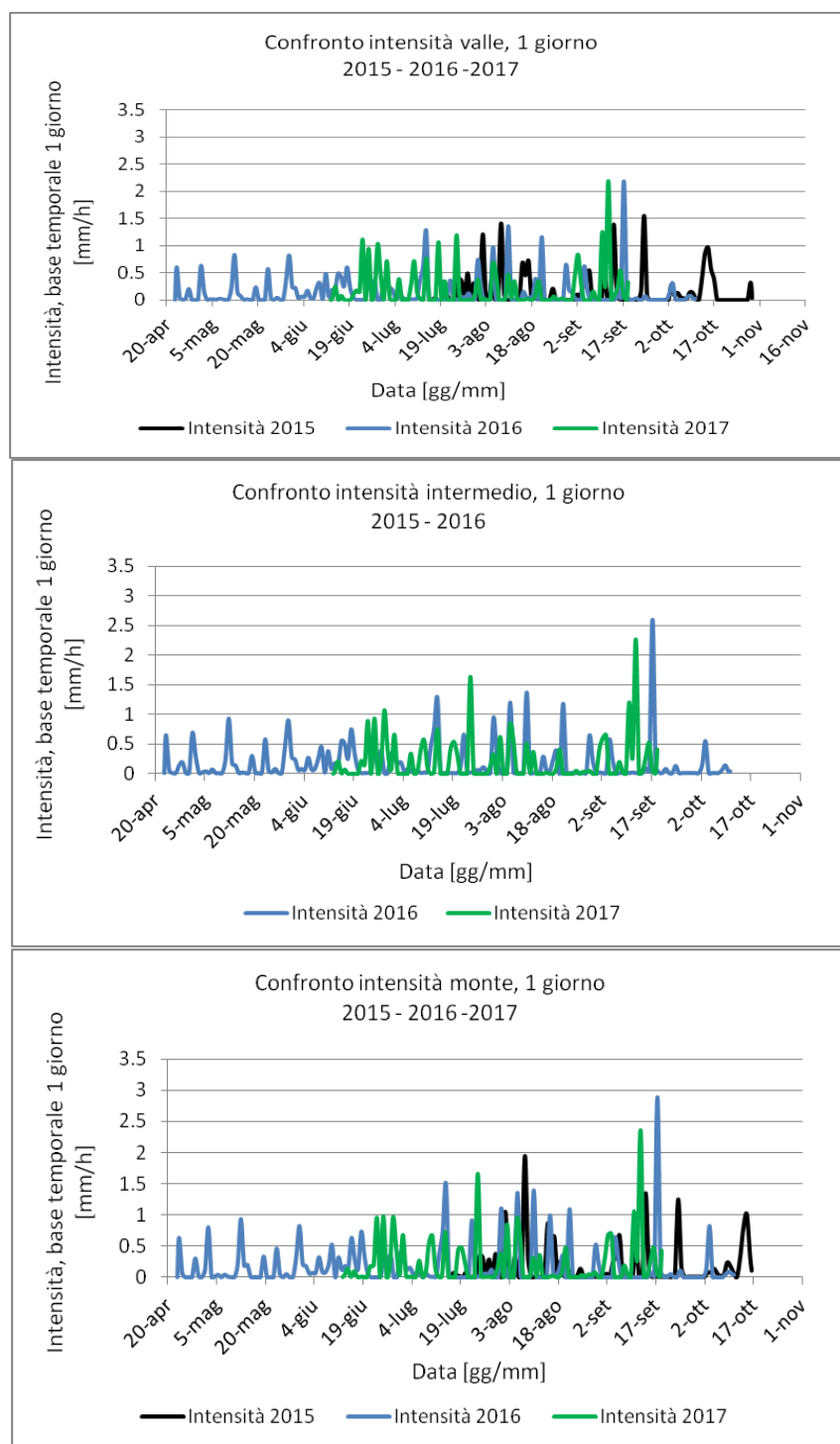


Grafico 6.4 Confronto tra le intensità di precipitazione su base temporale di 1 giorno: in alto le intensità di valle nel 2015, 2016 e 2017; in mezzo le intensità del pluviometro intermedio nel 2016 e 2017; in basso le intensità di monte nel 2015, 2016 e 2017.



## 7. Confronto tra i dati di precipitazioni delle stazioni di Acquabona e di stazioni limitrofe

Per le precipitazioni relative agli anni 2015 e 2016, è stato possibile confrontare i dati raccolti dai tre pluviometri di Acquabona con i dati raccolti in altre stazioni della zona, posizionate a Villanova di Borca di Cadore, a Cortina d'Ampezzo e nella località di Faloria (Fig. 7.1).



Fig. 7.1 - Posizione delle stazioni di Acquabona, Borca, Cortina e Faloria. (Immagine LANDSAT)

Questo confronto ha lo scopo di valutare se i dati raccolti in queste stazioni sono correlati con quelli di Acquabona e capire se possono essere utili nello studio degli eventi di precipitazione che interessano il rio Acquabona e il formarsi dei fenomeni di colata. I dati di queste stazioni limitrofe sono stati forniti dall' ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo e si presentano come scansioni di millimetri di pioggia caduti ogni 5 minuti durante il periodo annuale. La strumentazione utilizzata in queste stazioni è costituita da un pluviometro a basculante modello PPI 080 e PPI 081 della ditta MTX Italia S.r.l., con bocca di raccolta di 1000 cm<sup>2</sup> e risoluzione di 0.2 mm.

L'analisi dei dati della stazione di Borca ha mostrato assenza dei dati dalle 00:45 alle 11:15 del 24 febbraio 2015. Nel 2016 la stazione non ha mostrato dati mancanti.

Presso la stazione di Cortina i dati sono assenti nel 2016 dalle ...:35 del 3 marzo alle 00:00 del 4 marzo.

Presso la stazione di Faloria i dati mancano dalle 00:05 dell'11 gennaio alle 00:00 del 12 gennaio, dalle 00:05 del 9 febbraio alle 00:00 del 10 febbraio, dalle 00:35 del 3 marzo alle 00:00 del 4 marzo e dalle 22:05 del 17 giugno alle 00:00 del 18 giugno. In percentuale manca lo 0.12 % dei dati di Borca nel 2015, lo 0.26 % dei dati di Cortina nel 2016 e lo 0.83 % dei dati di Faloria nel 2016. Dopo aver riscontrato la presenza di alcuni buchi nelle serie di dati, è stato verificato se alcuni di questi interessassero il periodo studiato nelle stazioni di Acquabona. È risultato che l'unica serie di dati con buchi nel periodo di interesse è quella di Faloria per l'anno 2016, di cui manca circa lo 0.05% dei dati in riferimento al periodo dal 22 aprile al 10 ottobre. Una percentuale così bassa conferma la validità dei dati raccolti in questa stazione e permette il loro utilizzo per l'analisi delle intensità, delle cumulate e per i confronti con i dati provenienti dalle altre stazioni.

Dopo questa prima fase, sono state calcolate le intensità di precipitazione e le cumulate relative alle tre stazioni ARPAV nel periodo di funzionamento dei pluviometri di Acquabona: dal 16 luglio al 29 ottobre 2015 e dal 22 aprile al 12 ottobre 2016 . A differenza dei dati raccolti dai pluviometri di Acquabona, non è stato utilizzato alcun software particolare, ma si è proceduto a calcolare le intensità e le cumulate tramite Excel. Le intensità sono state determinate per basi temporali diverse, partendo da un intervallo minimo di 5 minuti fino ad un massimo di 4 giorni.

Per il confronto tra i dati relativi alle varie stazioni, si è deciso di prendere come riferimento le basi temporali di 10 minuti e 6 ore, indicativi di eventi di precipitazione di breve e media durata. I confronti per altre basi temporali sono illustrati nell'Allegato 3. Osservando i grafici relativi al 2015, si nota che le cumulate delle stazioni di Cortina e di Faloria raggiungono valori maggiori



rispetto a quelli registrati ad Acquabona. Cortina supera la cumulata di valle di circa il 10 %, e quella di monte di circa il 13.6 %. Faloria supera valle di circa il 14.4 % circa e monte di circa il 17.6 %. La stazione di Borca ha una cumulata inferiore sia nei confronti del pluviometro di valle che di quello di monte. È minore rispettivamente del 17.3 % e del 13.9 %.

Le intensità calcolate sui 10 minuti (Grafico 7.1) che più si avvicinano alle intensità raggiunte nel pluviometro di monte di Acquabona sono quelle relative alla stazione di Faloria. Le intensità di Borca e di Cortina hanno valori più simili a quelli registrati nel pluviometro di valle.

Analizzando le precipitazioni su periodi più lunghi, le intensità di Cortina e di Faloria sembrano essere più simili a quelle di Acquabona rispetto a quelle di Borca, sia in relazione alla stazione di valle sia per quella di monte (Grafico 7.2). Però, nonostante si stia considerando una base temporale maggiore, le intensità delle stazioni ARPAV e quelle di Acquabona non sembrano essere particolarmente più correlate rispetto a quelle trattate con periodi più brevi.

Oltre alle intensità di precipitazione e alle cumulate, sono state comparate anche le massime intensità. Per questo confronto, si deve tenere in considerazione che le massime intensità delle stazioni di Acquabona hanno come riferimento orario il momento di inizio precipitazione per la finestra temporale considerata. Mentre le massime intensità delle stazioni ARPAV si riferiscono al tempo finale della finestra. Dalla Tab. 7.1 si nota che i valori delle intensità massime di Borca e di Cortina sono più simili a quelli registrati nel pluviometro di valle rispetto a quelli registrati a monte, e questa somiglianza diventa maggiore per basi temporali più lunghe. Le massime intensità della stazione di Faloria hanno valori compresi tra quelli del pluviometro di valle e di monte.

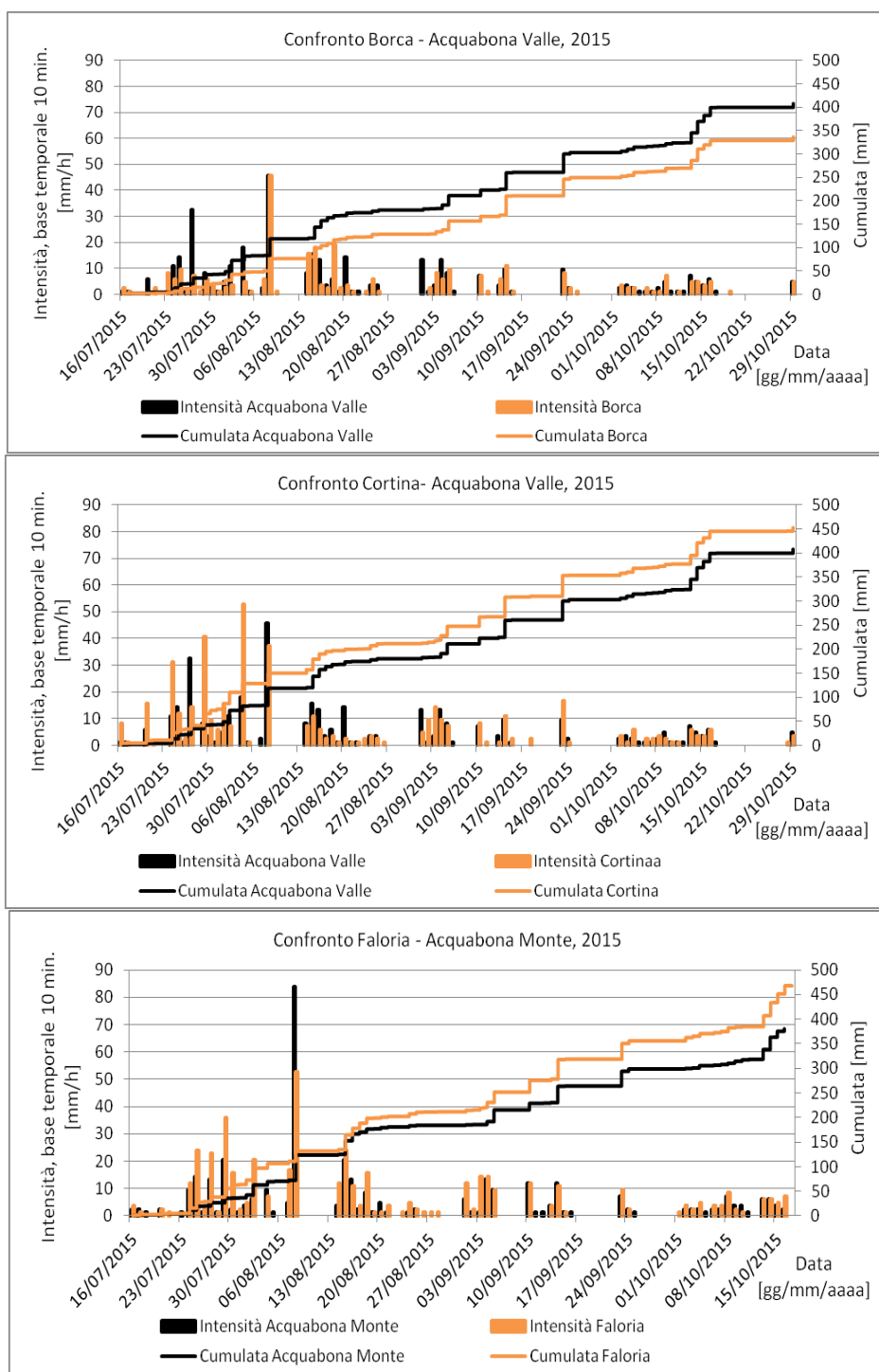


Grafico 7.1 - Confronto tra intensità di precipitazione sui 10 minuti e cumulata relative al 2015 nelle stazioni ARPAV e di Acquabona; in alto, la stazione di valle e quella di Borca; in mezzo, quelle di valle e di Cortina; in basso, quelle di monte e di Faloria.

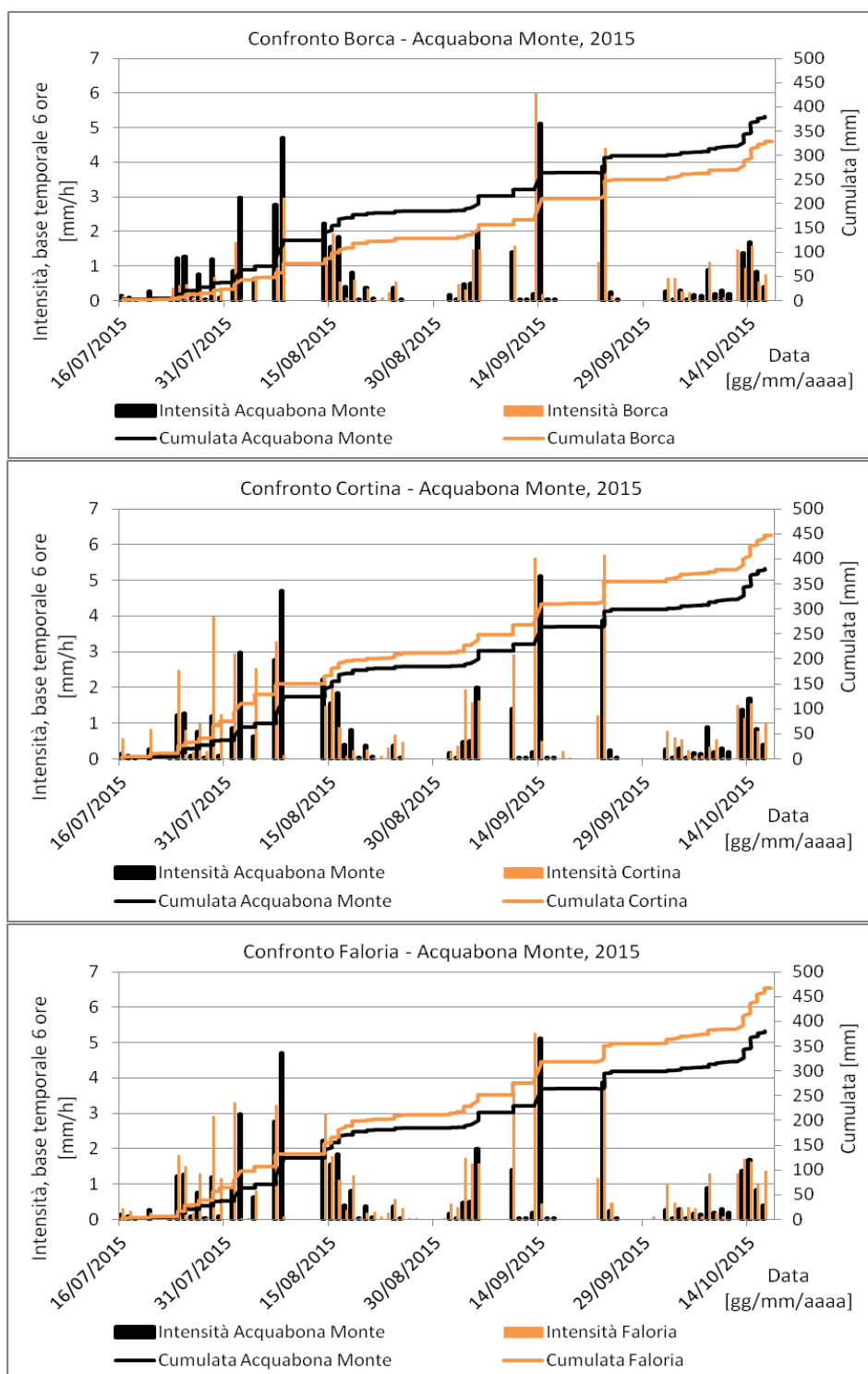


Grafico 7.1 - Confronto tra intensità di precipitazione su 6 ore e cumulata relative al 2015 nelle stazioni ARPAV e di Acquabona. In alto la stazione di monte e quella di Borca, in mezzo quelle di monte e di Cortina, in basso quelle di monte e di Faloria.

	J <sub>max_valle</sub>	Inizio Precipitazione	J <sub>max_monte</sub>	Inizio Precipitazione
	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]
5 min.	60.0	08/08/2015 01:44:27	124.8	08/08/2015 02:27:22
10 min.	48.0	08/08/2015 01:43:01	96.0	08/08/2015 02:24:10
15 min.	44.0	08/08/2015 01:38:07	73.6	08/08/2015 02:22:10
30 min.	32.4	08/08/2015 01:36:22	57.2	08/08/2015 02:23:07
45 min.	22.9	08/08/2015 01:36:22	49.3	08/08/2015 02:23:07
1 ora	23.2	08/08/2015 01:36:55	40.2	08/08/2015 02:22:10
3 ore	10.9	08/08/2015 01:31:19	14.9	08/08/2015 01:28:42
6 ore	5.5	08/08/2015 01:31:19	7.4	08/08/2015 01:28:42
12 ore	3.2	23/09/2015 05:57:48	4.0	08/08/2015 02:22:10
1 giorno	1.7	23/09/2015 05:57:48	2.2	07/08/2015 15:26:48
2 giorni	1.1	14/10/2015 04:47:27	1.1	07/08/2015 15:26:48
3 giorni	0.9	13/10/2015 16:11:52	0.8	13/10/2015 03:34:05
4 giorni	0.8	13/10/2015 03:26:52	0.6	13/10/2015 03:34:05

	J <sub>max_Borca</sub>	Ora di riferimento	J <sub>max_Cortina</sub>	Ora di riferimento	J <sub>max_Faloria</sub>	Ora di riferimento
	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]
5 min.	60.0	08/08/2015 13:07	60.0	04/08/2015 19:20	74.4	08/08/2015 01:27
10 min.	45.6	08/08/2015 13:10	52.8	04/08/2015 19:15	52.8	08/08/2015 01:20
15 min.	37.6	08/08/2015 13:07	32.0	04/08/2015 19:22	38.4	08/08/2015 01:12
30 min.	24.4	08/08/2015 13:00	24.4	04/08/2015 19:05	27.6	08/08/2015 13:05
45 min.	17.6	08/08/2015 12:52	20.3	29/07/2015 17:50	21.1	08/08/2015 01:57
1 ora	16.4	08/08/2015 12:15	14.2	04/08/2015 17:50	14.4	07/08/2015 23:50
3 ore	7.7	14/09/2016 01:15	7.7	29/07/2015 16:20	6.9	14/09/2015 00:20
6 ore	60.0	14/09/2016 23:45	5.7	23/09/2016 05:50	4.3	13/09/2015 23:50
12 ore	3.4	14/09/2015 06:00	3.1	13/09/2017 14:50	2.9	13/09/2015 14:50
1 giorno	1.7	14/09/2015 12:00	1.6	12/09/2017 20:50	1.6	12/09/2015 20:50
2 giorni	0.9	11/09/2015 08:45	0.9	21/09/2017 08:50	0.8	12/09/2015 08:50
3 giorni	0.6	09/09/2015 20:45	0.6	12/10/2015 20:50	0.7	12/10/2015 20:50
4 giorni	0.6	12/10/2015 08:45	0.7	10/10/2015 08:50	0.7	14/10/2015 00:00

*Tab. 7.1 - Massime intensità per diverse finestre temporali relative all'anno 2015 per le stazioni di Acquabona (in alto) e quelle ARPAV (in basso).*

Per quanto riguarda il 2016, le cumulate delle stazioni ARPAV si avvicinano maggiormente a quelle delle stazioni di Acquabona rispetto a quanto visto per il 2015. In particolare, le cumulate di Borca e di Cortina sono più simili al valore registrato nel pluviometro intermedio, mostrando una percentuale di variazione rispettivamente di circa 2.6% e 4.5 %, mentre la cumulata di Faloria è più vicina a quella di monte, avendo una variazione di circa il 3%. Inoltre le cumulate di Borca e di Cortina, con valori di 648.4 mm e 635.8 mm, arrivano a superare la cumulata del pluviometro di valle, di 588.8 mm. Invece la cumulata registrata a

Faloria, di 720.4 mm, oltrepassa le cumulate di tutti e tre i pluviometri di Acquabona, anche quella di monte di 698.8 mm.

Per quanto riguarda le intensità, osservando il Grafico 7.3 che ne rappresenta alcune calcolate sui 10 minuti, non sembra emergere una relazione particolare tra le intensità delle stazioni ARPAV e quelle di Acquabona. Studiando le intensità calcolate per basi temporali maggiori (Grafico 7.4), l'unica corrispondenza che si osserva è tra alcuni picchi: eventi di particolare intensità nelle stazioni ARPAV coincidono con quelli di elevata intensità di Acquabona, anche se con valori diversi.

Anche per il 2016 sono state confrontate le massime intensità e dalla Tab. 7.2 si nota che c'è meno corrispondenza tra i valori registrati nelle stazioni ARPAV e di Acquabona rispetto a quanto emerso per il 2015. I valori di massima intensità per finestre temporali brevi sono nettamente minori nelle stazioni di Borca e di Cortina, anche comparati con quelli del pluviometro di valle. Invece quelle di Faloria si avvicinano alle massime intensità del pluviometro intermedio. Per finestre temporali maggiori, i valori sono più simili e le massime intensità di Borca e di Cortina rispecchiano quelle di valle, mentre quelle di Faloria sono correlabili a quelle di monte. Per quanto riguarda la corrispondenza temporale, per finestre temporali brevi le massime intensità sono state registrate in periodi diversi, ad eccezione di Faloria in cui i giorni corrispondono a quelli del pluviometro di valle. Con finestre temporali maggiori, tutte le stazioni mostrano massime intensità che si verificano nello stesso periodo, ma anche in questo caso la relazione è solo nell'ordine dei giorni.

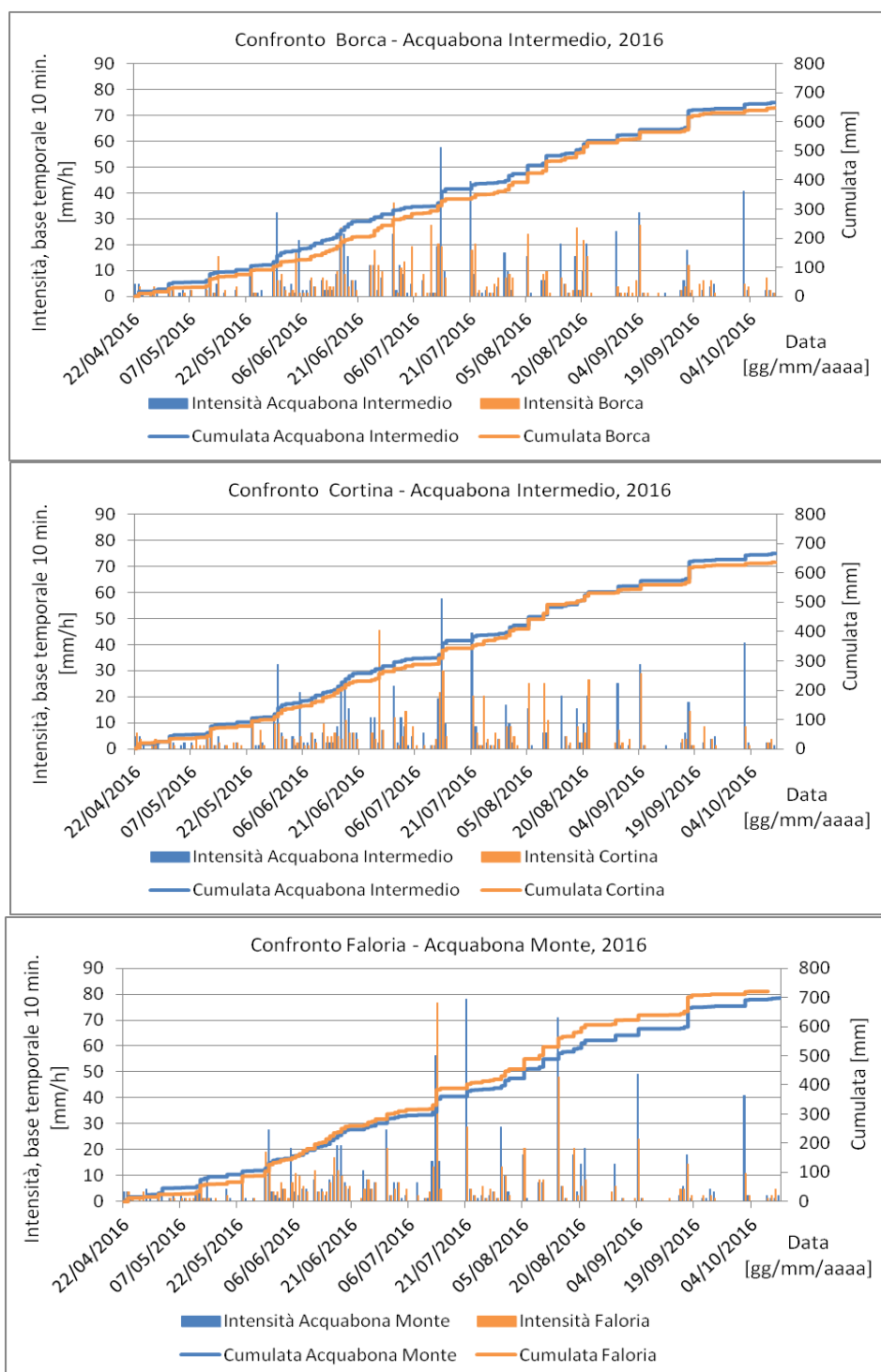


Grafico 7.3 - Confronto tra intensità di precipitazione, con base temporale 10 min., e cumulata relative al 2016 nelle stazioni ARPAV e di Acquabona. In alto la stazione intermedia e quella di Borca, in mezzo quella intermedia e quella di Cortina, in basso quelle di monte e di Faloria.

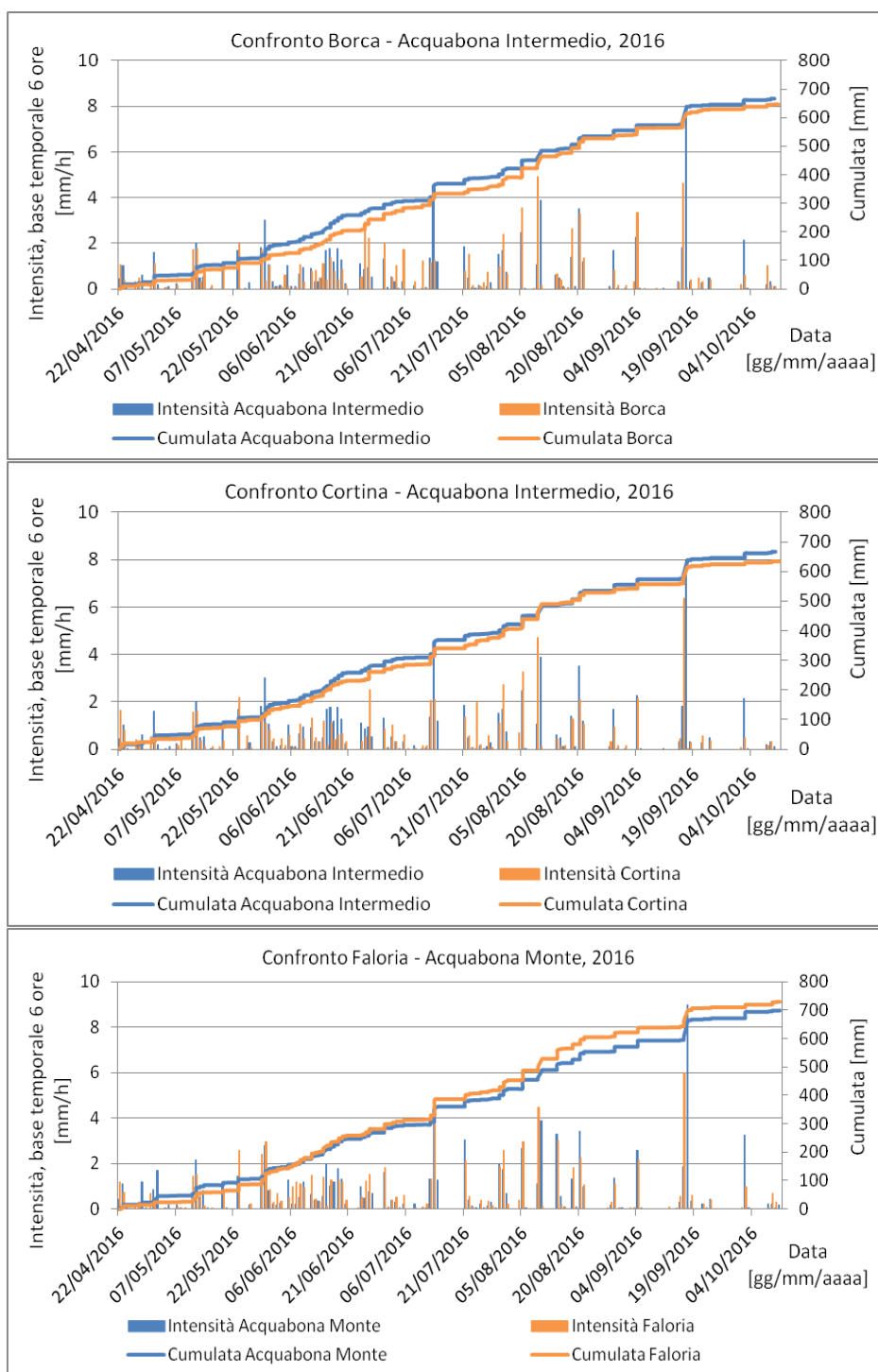


Grafico 7.4 - Confronto tra intensità di precipitazione su 6 ore e cumulata relative al 2016 nelle stazioni ARPAV e di Acquabona. In alto la stazione intermedia e quella di Borca, in mezzo quella intermedia e quella di Cortina, in basso quelle di monte e di Faloria.

	J <sub>max_valle</sub>	Inizio Precipitazione	J <sub>max_inter</sub>	Inizio Precipitazione	J <sub>max_monte</sub>	Inizio Precipitazione
	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm:ss]
5 min.	76.8	13/07/2016 21:31:27	93.6	21/07/2016 20:25:28	141.6	21/07/2016 20:26:04
10 min.	51.6	13/07/2016 21:28:20	56.4	13/07/2016 21:29:07	114.0	14/08/2016 20:55:38
15 min.	38.4	13/07/2016 21:25:40	44.0	21/07/2016 20:16:25	76.8	14/08/2016 20:55:38
30 min.	28.0	13/07/2016 21:16:08	28.0	13/07/2016 21:15:29	38.8	14/08/2016 20:55:38
45 min.	25.9	13/07/2016 21:25:40	21.6	13/07/2016 21:24:57	23.8	13/07/2016 21:25:36
1 ora	23.2	13/07/2016 21:16:08	20.2	13/07/2016 21:15:29	11.2	13/07/2016 21:16:35
3 ore	9.6	17/09/2016 02:19:08	10.1	17/09/2016 02:15:45	9.0	17/09/2016 02:15:59
6 ore	6.9	17/09/2016 02:00:42	8.0	17/09/2016 02:05:23	5.7	17/09/2016 02:15:59
12 ore	4.3	16/09/2016 21:00:40	5.1	16/09/2016 21:17:09	2.9	16/09/2016 21:16:31
1 giorno	2.2	16/09/2016 17:52:54	2.6	16/09/2016 17:56:34	2.2	16/09/2016 17:58:17
2 giorni	1.2	15/09/2016 15:21:11	1.4	16/09/2016 17:56:34	1.5	16/09/2016 17:58:17
3 giorni	0.8	15/09/2016 15:21:11	0.9	15/09/2016 15:22:35	1.0	15/09/2016 15:21:27
4 giorni	0.6	15/09/2016 15:21:11	0.7	15/09/2016 15:22:35	0.8	15/09/2016 15:21:27

	J <sub>max_Borca</sub>	Ora di riferimento	J <sub>max_Cortina</sub>	Ora di riferimento	J <sub>max_Faloria</sub>	Ora di riferimento
	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm]	[mm/h]	[gg/mm/aa hh:mm]
5 min.	48.0	04/09/2016 14:10	57.6	26/06/2016 08:45	81.6	13/07/2016 14:20
10 min.	36.0	30/06/2016 15:25	45.6	26/06/2016 08:45	76.8	13/07/2016 14:10
15 min.	34.4	04/09/2016 14:10	32.8	26/06/2016 08:45	56.0	13/07/2016 14:15
30 min.	21.2	30/06/2016 15:10	16.8	26/06/2016 08:45	35.2	14/08/2016 19:45
45 min.	16.0	05/08/2016 09:40	13.1	05/08/2016 09:45	23.7	14/08/2016 19:30
1 ora	11.4	05/08/2016 10:10	14.2	04/08/2015 18:20	18.0	14/08/2016 18:45
3 ore	7.6	17/09/2016 02:10	7.2	17/06/2016 02:15	8.5	13/07/2016 20:15
6 ore	4.9	11/08/2016 02:10	6.4	17/06/2016 02:15	6.0	17/09/2016 02:15
12 ore	4.0	16/09/2016 20:10	4.6	16/09/2016 20:15	4.7	16/09/2016 20:15
1 giorno	1.8	18/09/2016 00:00	2.3	16/09/2016 20:15	2.3	16/09/2016 20:15
2 giorni	1.0	15/09/2015 20:10	1.2	15/09/2016 20:15	1.2	15/09/2016 20:15
3 giorni	0.7	16/09/2015 20:10	0.8	18/09/2015 00:00	0.9	16/09/2016 20:15
4 giorni	0.5	15/09/2016 20:10	0.6	15/09/2016 20:15	0.7	15/07/2016 00:00

Tab. 7.2 - Massime intensità per diverse finestre temporali relative all'anno 2016 per le stazioni di Acquabona (in alto) e quelle ARPAV (in basso).

Per verificare in modo più preciso l'esistenza di una correlazione tra i dati raccolti dalle stazioni ARPAV e quelli di Acquabona, è stato fatto il calcolo della concordanza per le intensità e sono stati confrontati alcuni eventi significativi, individuati considerando le soglie di 20 mm/h di intensità sui 5 minuti e di 10 mm di cumulata.

Per il calcolo della concordanza si è proceduto tramite lo studio del coefficiente di determinazione  $R^2$  e del coefficiente angolare della retta di regressione come per le correlazioni fatte tra le intensità del 2017. Nei Grafici 7.5, 7.6 e 7.7 sono rappresentati i casi studiati per base temporale di 1 ora per gli anni 2015 e 2016.



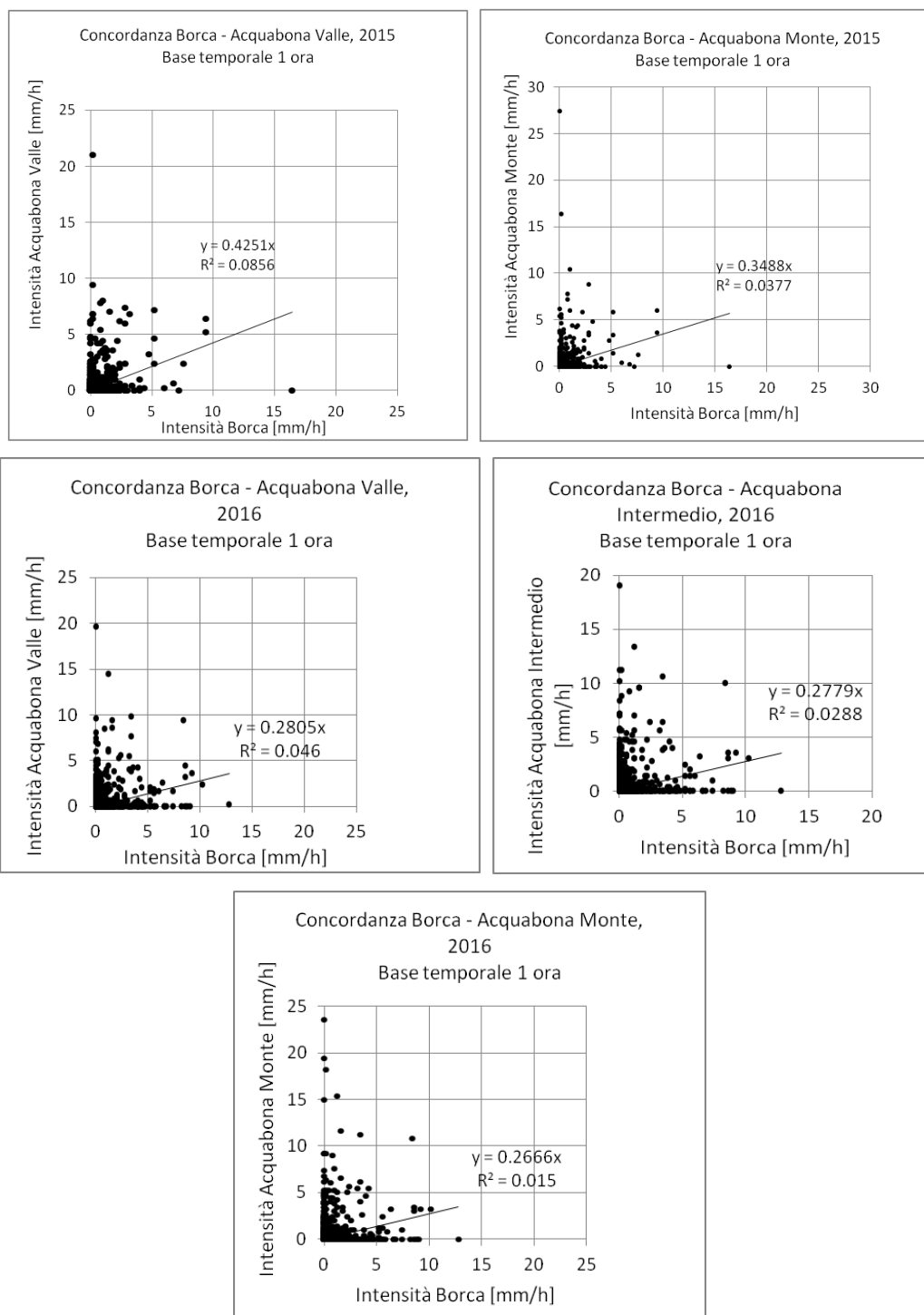


Grafico 7.5 - Grafici di concordanza tra le intensità su base temporale di 1 ora nella stazione di Borca e in quelle di Acquabona: in alto le intensità relative al 2015 e in basso quelle del 2016.

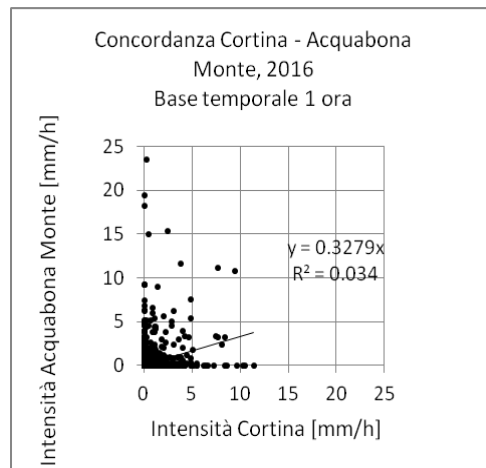
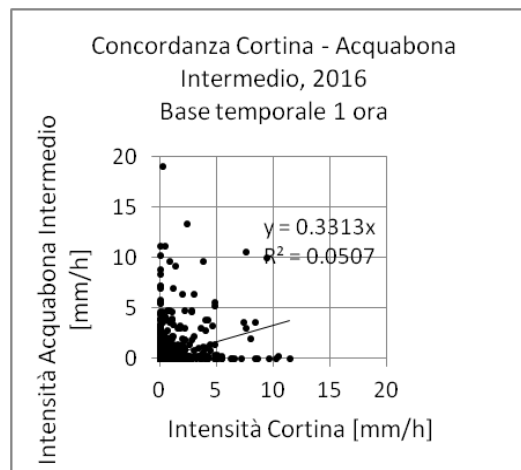
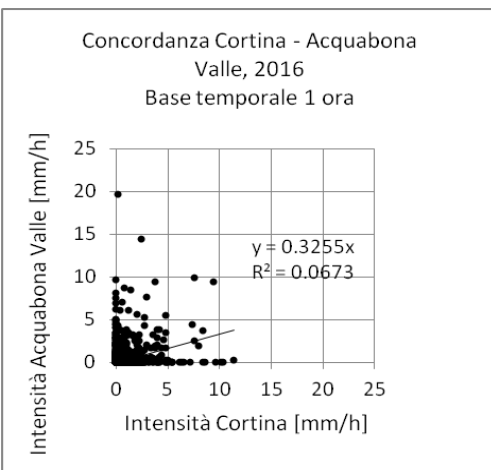
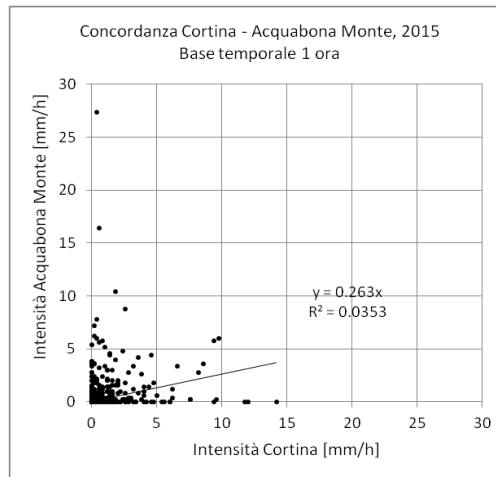
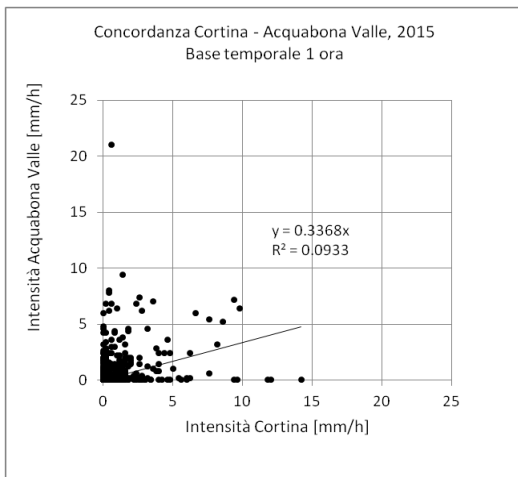


Grafico 7.6 - Grafici di concordanza tra le intensità su base temporale di 1 ora nella stazione di Cortina e in quelle di Acquabona: in alto le intensità relative al 2015 e in basso quelle del 2016.

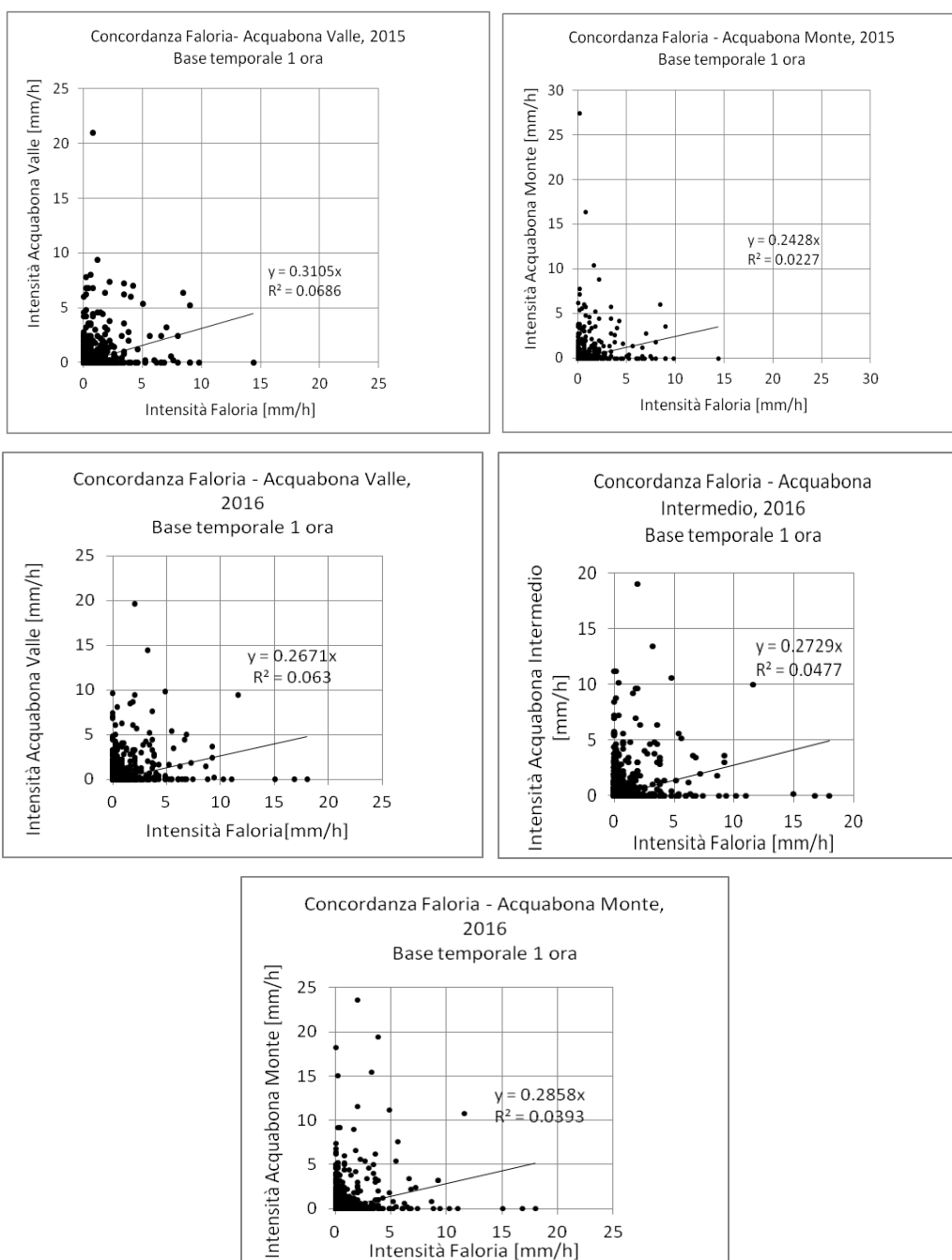


Grafico 7.7 - Grafici di concordanza tra le intensità su base temporale di 1 ora nella stazione di Faloria e in quelle di Acquabona: in alto le intensità relative al 2015 e in basso quelle del 2016.

Come si può notare, i valori di  $R^2$  e del coefficiente angolare della retta sono particolarmente bassi in entrambe le annate sia per Borca, sia per Cortina e anche per Faloria. Se ci fosse qualche correlazione tra le intensità, aumentando la base temporale i coefficienti dovrebbero mostrare un andamento crescente. Invece, come dimostrato dai grafici con basi temporali maggiori presenti nell'Allegato 4, ciò non si verifica e questo sta ad indicare che tra le intensità registrate delle stazioni ARPAV e quelle di Acquabona non c'è concordanza. Questo è confermato anche dal confronto di alcuni tra gli eventi più significativi. In Tab. 7.3 sono descritti due degli eventi del 2015 caratterizzati da alta intensità ed elevata cumulata che superano i livelli di soglia in almeno una delle stazioni. Si nota che l'evento del 29 luglio 2015 si verifica prima nelle stazioni di Cortina e Faloria con elevata intensità, mentre nelle altre stazioni la precipitazione viene registrata con qualche ora di ritardo. Anche l'intensità è diversa, infatti nelle stazioni di Borca, di valle e di monte l'intensità massima è minore rispetto a quella rilevata nelle stazioni di Cortina e di Faloria. L'evento dell'8 agosto 2015, invece, si verifica nello stesso periodo in tutte le stazioni ma le intensità massime e anche l'intensità media non corrispondono. I pluviometri di monte e di valle registrano un picco molto elevato di intensità e anche l'intensità media è particolarmente elevata, mentre a Borca e a Cortina l'intensità massima supera i 20 mm/h ma non arriva ad avere i valori registrati ad Acquabona. L'intensità massima registrata a Faloria è quella che si avvicina maggiormente a quelle di Acquabona, in particolare ha un valore poco superiore a quella di valle. Le intensità medie delle stazioni ARPAV sono assai inferiori rispetto a quelle di Acquabona, anche per la stazione di Faloria.

	Acquabona		Arpav		
Stazione	VALLE	MONTE	BORCA	CORTINA	FALORIA
Ora inizio	27/07/2015 20:02	27/07/2015 20:05	27/07/2015 20:05	27/07/2015 18:45	27/07/2015 18:25
Ora fine	27/07/2015 22:52	27/07/2015 22:40	27/07/2015 21:50	27/07/2015 22:15	27/07/2015 21:45
$h_{tot}$ (mm)	11.8	6.4	2.0	7.4	9.0
$J_{max}$ (mm/h)	48.0	21.6	12.0	19.2	24.0
$J_{media}$ (mm/h)	4.0	2.4	1.1	2.1	2.6
	Acquabona		Arpav		
Stazione	VALLE	MONTE	BORCA	CORTINA	FALORIA
Ora inizio	08/08/2015 01:31	08/08/2015 01:28	08/08/2015 01:00	08/08/2015 01:10	08/08/2015 01:00
Ora fine	08/08/2015 04:38	08/08/2015 04:19	08/08/2015 03:30	08/08/2015 03:50	08/08/2015 03:55
$h_{tot}$ (mm)	33.2	44.8	8.2	20.4	20.4
$J_{max}$ (mm/h)	60.0	120.0	28.8	45.6	74.4
$J_{media}$ (mm/h)	10.5	15.4	6.0	7.4	6.8

Tab. 7.3 - Confronto delle caratteristiche di due eventi significativi del 2015 nelle stazioni di Acquabona, Borca, Cortina e Faloria.

Degli eventi significativi del 2016, sono stati analizzati quelli del 13 luglio e del 21 luglio (Tab. 7.4). L'evento del 13 luglio 2016 mostra elevate intensità massima e intensità media nella stazione di Faloria, mentre nelle altre stazioni sono state registrate intensità assai minori. L'unica corrispondenza tra i parametri delle stazioni ARPAV e quelle di Acquabona è la massima intensità raggiunta a Cortina che eguaglia quella del pluviometro intermedio. Però l'intensità media risulta essere circa la metà ed è più simile a quella del pluviometro intermedio. Riguardo al momento in cui questo evento si verifica, nelle stazioni di Cortina e di Faloria la precipitazione si sviluppa con circa un'ora di anticipo.

L'evento del 21 luglio 2016 è caratterizzato da intensità particolarmente elevate nelle stazioni di Acquabona e a queste si avvicina solo la stazione di Faloria, dove la massima intensità raggiunge un valore compreso tra quella del pluviometro intermedio e di valle. Le massime intensità di Borca e di Cortina non sono molto significative e la precipitazione risulta avere un comportamento più simile a quello registrato a valle, anche per l'intensità media.

Quindi, sia per gli eventi studiati nel 2015 sia per quelli del 2016, le stazioni ARPAV non sembrano essere indicative di ciò che si verifica ad Acquabona e questo va a confermare ciò che è emerso dal calcolo della concordanza.

Stazione	Acquabona			Arpav		
	VALLE	INTERMEDIO	MONTE	BORCA	CORTINA	FALORIA
Ora inizio	13/07/2016 14:54	13/07/2016 15:03	13/07/2016 14:57	13/07/2016 14:25	13/07/2016 13:45	13/07/2016 13:55
Ora fine	13/07/2016 16:59	13/07/2016 16:50	13/07/2016 16:48	13/07/2016 16:05	13/07/2016 15:50	13/07/2016 15:55
$h_{tot}$ (mm)	10.4	12.2	12.8	2.2	8.2	21.6
$J_{max}$ (mm/h)	48.0	43.2	40.8	9.6	43.2	81.6
$J_{media}$ (mm/h)	4.8	6.4	6.7	1.3	3.8	10.4
Stazione	VALLE	INTERMEDIO	MONTE	BORCA	CORTINA	FALORIA
Ora inizio	21/07/2016 20:13	21/07/2016 20:11	21/07/2016 20:09	21/07/2016 19:35	21/07/2016 19:05	21/07/2016 19:05
Ora fine	21/07/2016 21:05	21/07/2016 20:57	21/07/2016 20:58	21/07/2016 20:10	21/07/2016 19:55	21/07/2016 20:25
$h_{tot}$ (mm)	6.8	13.6	12.4	4.8	8.0	12.8
$J_{max}$ (mm/h)	36.0	79.2	129.6	21.6	26.4	52.8
$J_{media}$ (mm/h)	7.4	16.3	20.1	7.2	8.7	9.0

*Tab. 7.4 - Confronto delle caratteristiche di due eventi significativi del 2016 nelle stazioni di Acquabona, Borca, Cortina e Faloria.*

## 8. Conclusioni

Al termine di questo lavoro di tesi è necessario fare alcune considerazioni sulla strumentazione utilizzata e sui risultati ottenuti dalle elaborazioni svolte.

L'utilizzo dei tre pluviometri, a valle, a monte e in un tratto intermedio, si è rivelato utile a descrivere il comportamento delle precipitazioni della zona.

Il corretto funzionamento degli strumenti durante tutto il periodo di monitoraggio ha permesso di raccogliere dati completi ed affidabili. Nonostante i cronometri dei pluviometri abbiano mostrato sensibilità ad alcuni fattori che ne hanno alterato in parte il buon funzionamento, le periodiche basculate di prova, fatte con riferimento al CET (Central European Time), hanno permesso di correggere i dati e di renderli attendibili ai fini delle elaborazioni eseguite.

Per quello che riguarda la stazione di valle, la strumentazione ha funzionato correttamente per la maggior parte del periodo. Si sono verificate alcune interruzioni di alimentazione, in occasione delle quali la batteria dell'UPS non è stata sufficiente a mantenere attiva la telecamera. Si è notato anche un aumento della qualità nelle immagini notturne, dovuto al miglioramento del sistema di illuminazione.

Dall'analisi dei dati raccolti è emerso che alla fine del periodo studiato la quantità di pioggia caduta nella zona di monte è stata maggiore rispetto a quella rilevata a valle. Le intensità di precipitazione, invece, non hanno mostrato un comportamento univoco. In alcune occasioni le intensità a valle hanno mostrato valori maggiori delle intensità rilevate a monte.

Le massime intensità di monte, per basse basi temporali, risultano sempre superiori rispetto a quelle rilevate nelle altre stazioni. Con l'aumento della base temporale, i valori delle massime intensità presentano la tendenza ad equivalersi.

Inoltre, dal calcolo della concordanza, si è potuto notare che le intensità del pluviometro intermedio sono correlate con quelle di monte, invece quelle di valle sono poco correlate con le intensità rilevate a monte. In generale, aumentando la base temporale, cresce il grado di correlazione tra le intensità delle diverse zone.

Analizzando gli eventi significativi e ciò che comportano nel canale, risulta che le precipitazioni caratterizzate da intensità particolarmente elevate e di breve durata possono causare fenomeni di trasporto di massa. Gli eventi con intensità più moderate, comunque oltre i 20 mm/h, comportano scorrimento superficiale a volte anche importante, che produce trasporto solido ordinario con erosione d'alveo. Precipitazioni prolungate e di bassa intensità possono produrre al massimo qualche scorrimento superficiale poco sviluppato.

Studiando la concordanza di tali eventi, è stato stimato che alcune precipitazioni si spostano dalla zona di monte verso valle ed altre da valle verso monte. Il tempo con cui queste precipitazioni si muovono da una zona all'altra è di circa 5-10 minuti nella maggior parte dei casi. Alcune precipitazioni particolarmente lente possono impiegare anche più del doppio di questo tempo.

Il confronto tra i dati raccolti nelle stazioni di Acquabona e in altre stazioni limitrofe per gli anni 2015 e 2016, ha mostrato correlazioni molto basse e che non tendono ad aumentare progressivamente con l'incrementando della base temporale considerata. In particolare, l'analisi delle intensità di precipitazione ha dimostrato che non c'è concordanza tra le intensità delle stazioni fuori dal sito di monitoraggio e quelle di Acquabona. Si può solo notare una somiglianza tra il comportamento delle precipitazioni nelle stazioni di Faloria e in quelle intermedia e di monte ad Acquabona. Probabilmente questa similarità dipende dalla vicinanza di quota di queste stazioni.

Pertanto, le precipitazioni studiate mostrano variabilità nell'area e anche all'interno dello stesso sito di monitoraggio. Questa variabilità interessa soprattutto le precipitazioni molto intense e di breve durata.



## Bibliografia

- [1] R. Genevois, M. Berti, M. Ghirotti, A. Simoni, P.R. Tecca (1999) Debris Flow Monitoring and Analysis in the Dolomitic Region (Upper Boite valley, Italian Alps). Dip. di Geologia, Università di Padova, Dip. di Scienze della Terra, Università di Bologna, CNR - IRPI.
- [2] Note Illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 29, Cortina d'Ampezzo. [www.isprambiente.it](http://www.isprambiente.it).
- [3] Tancon F. (2014) Rilievo ed interpretazione di alcuni parametri geomorfologici dell'area da colate detritiche del rio Acquabona (Alpi Orientali, BL, Italia). Tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, Università di Padova.
- [4] Berti M., Genevois R., Simoni A., Tecca P.R. (1998) Field Observations of a Debris Flow Event in the Dolomites. Dip. di Scienze della Terra, Università di Bologna, Dip. di Geologia, Università di Padova, CNR - IRPI.
- [5] Berti M., Genevois R., LaHusen R., Simoni A., Tecca P. R. (2000) Debris Flow Monitoring in the Acquabona Watershed on the Dolomites (Italian Alps). *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol. 25, No. 9, pp. 707-715.
- [6] Iverson R. M. (1997) The Physics of Debris Flows. *Reviews of Geophysics*, 35, 3 , pp. 245-296.
- [7] Iverson R. M., George D. L. (2014) A depth-averaged debris-flow model that includes the effects of evolving dilatancy. *Proceedings of the Royal Society*, Volume 470.
- [8] Scotton P., Genevois R., Moro F., Zorzi L., Girardi G., Praticelli N. (2011) The Debris-flows Monitoring System of Acquabona Torrent (Cortina D'Ampezzo, BL, Italy). *International Journal of Engineering Geology and Environment*, Casa Editrice Università La Sapienza, pp. 595-603.

[9] Valcanover E. (2016) Monitoraggio del sito da colate di detriti del rio Acquabona (Cortina D'Ampezzo, BL) nell'anno 2016. Tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, Università di Padova.

## **Ringraziamenti**

Alla fine di questo lavoro di tesi sento di dover fare alcuni ringraziamenti.

Ringrazio il prof. Paolo Scotton per la disponibilità, la competenza e il costante supporto in questi mesi di lavoro. È stato d'esempio come professore, ma soprattutto dal punto di vista umano.

Un ringraziamento all'ufficio Reti di Monitoraggio dell'ARPAV di Teolo per aver fornito i dati pluviometrici delle stazioni di Borca di Cadore, Cortina d'Ampezzo e Faloria e per le informazioni sulla strumentazione utilizzata.

Ringrazio i compagni di università per aver reso unici questi cinque anni. Auguro a tutti gli studenti che intraprendono una carriera universitaria di incontrare compagni così.

Un ringraziamento anche agli amici, quelli di lunga data e quelli più recenti, quelli vicini e quelli lontani. Il vostro supporto tecnico e morale è stato fondamentale per la riuscita di questa tesi.

Grazie a mia sorella Eleonora, sempre pronta ad aiutarmi e solido punto di riferimento.

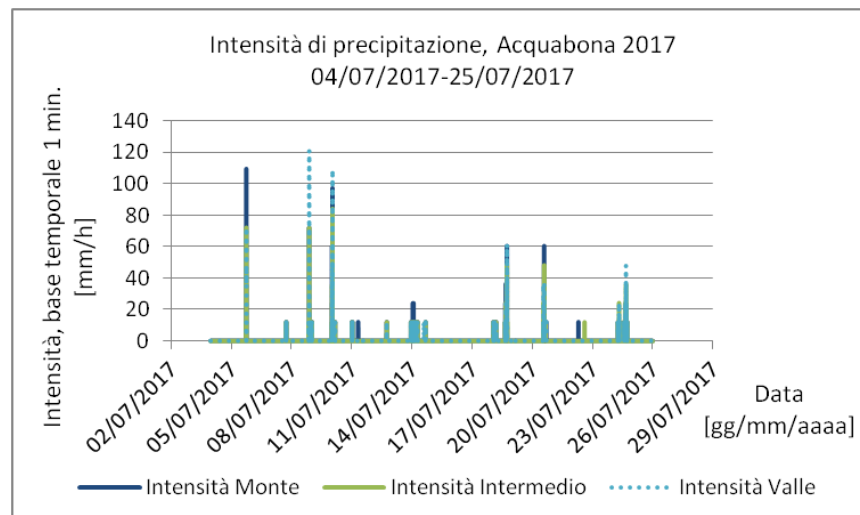
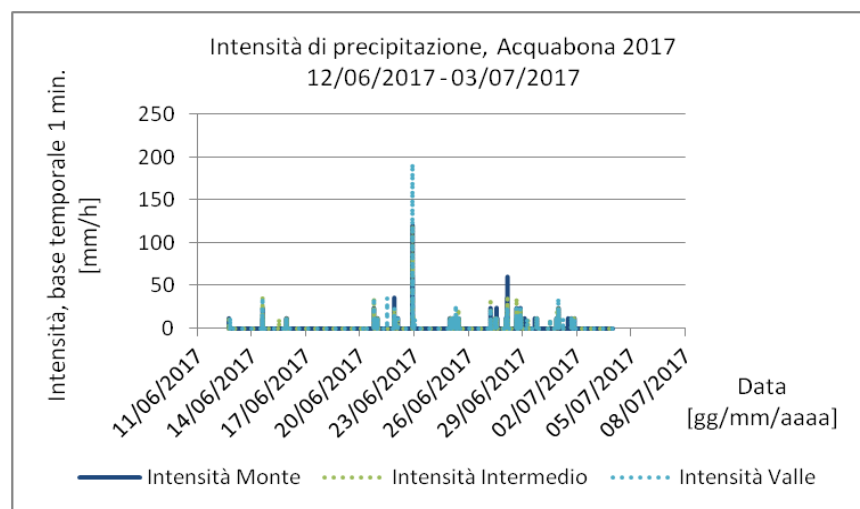
Un grazie speciale ai miei genitori, che a modo loro mi sostengono e mi incoraggiano in ciò che faccio, ma soprattutto per aver reso possibile il raggiungimento di questo traguardo.

## Allegati

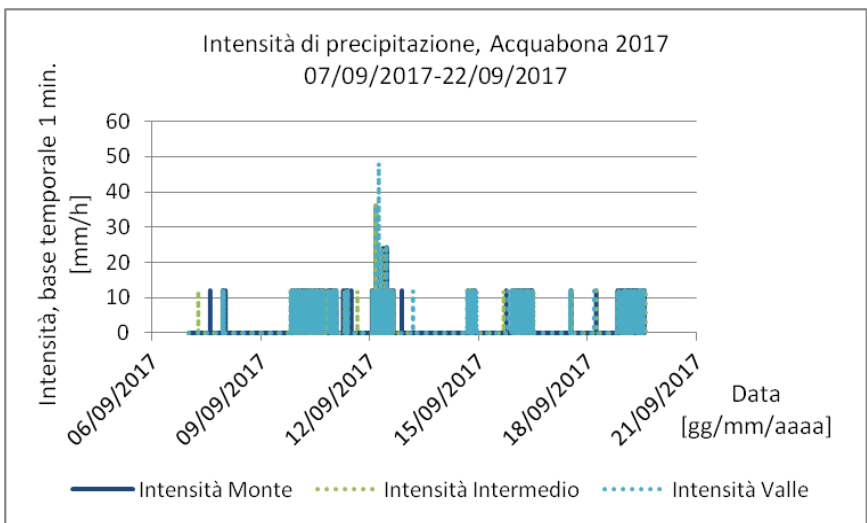
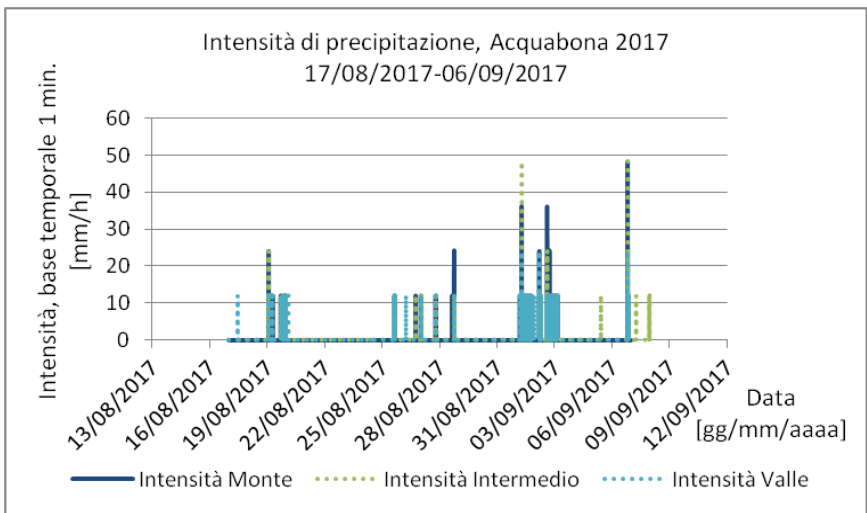
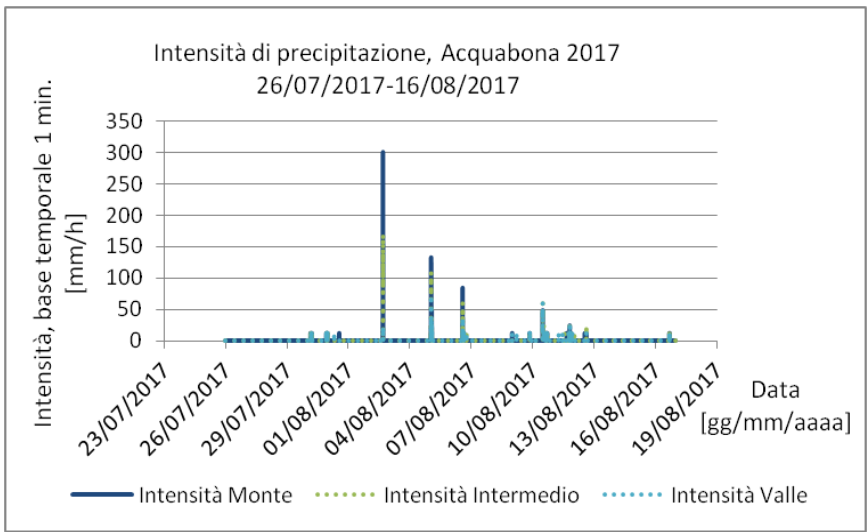
Di seguito sono riportati grafici e tabelle prodotti durante le elaborazioni e utili per lo svolgimento della tesi.

### Allegato 1

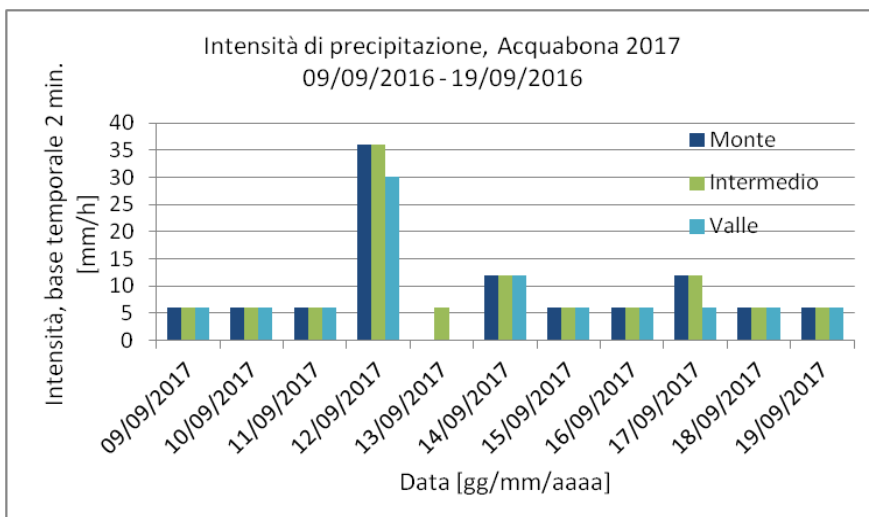
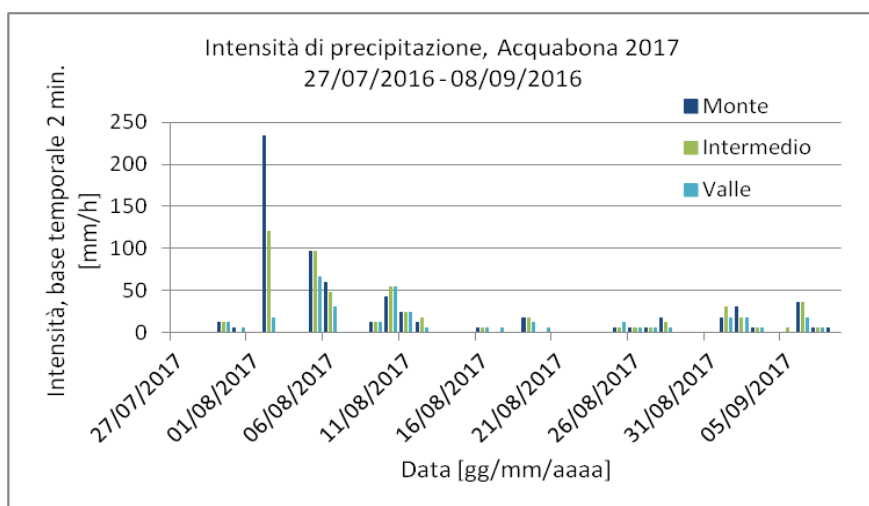
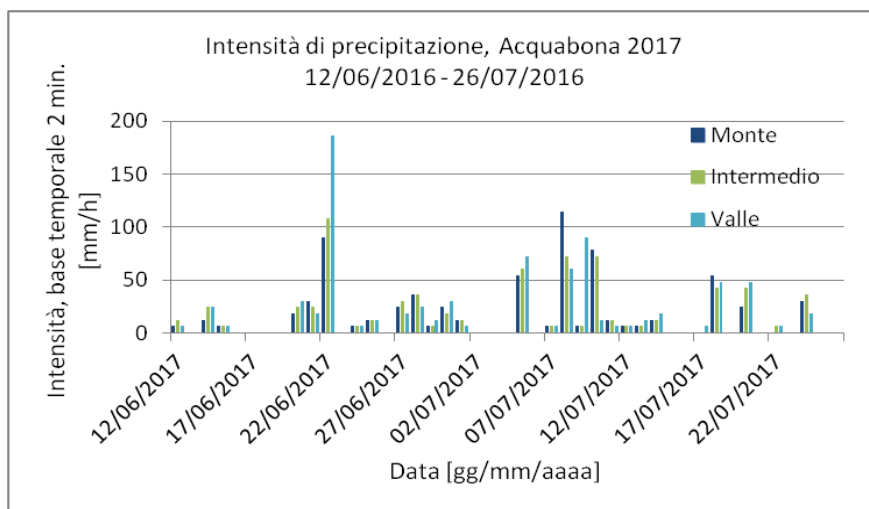
Intensità di precipitazione e cumulata per diverse basi temporali relative ai dati di Acquabona del 2017.



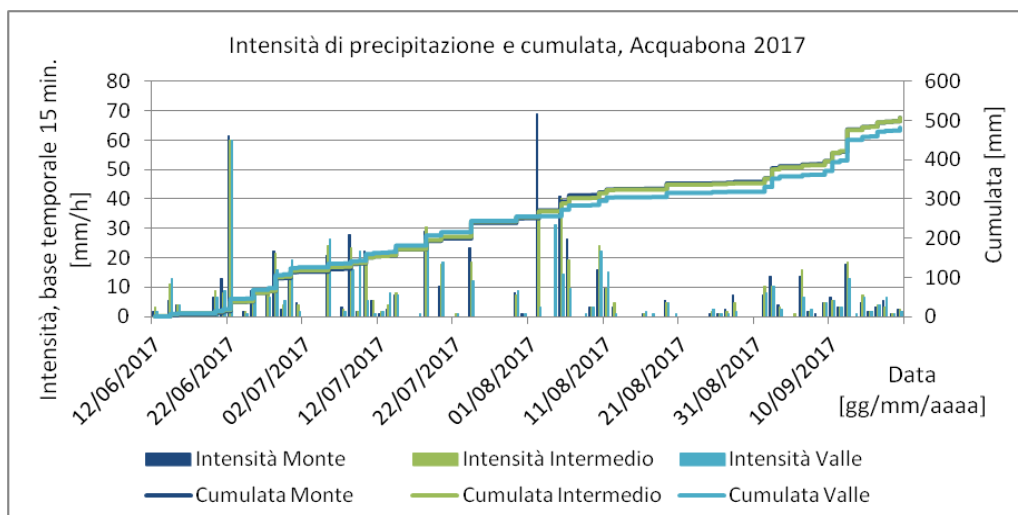
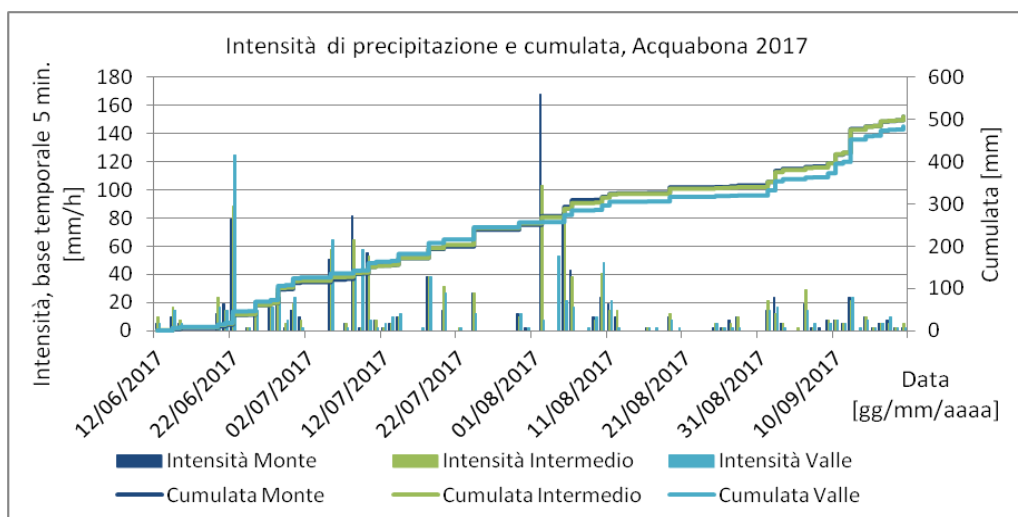
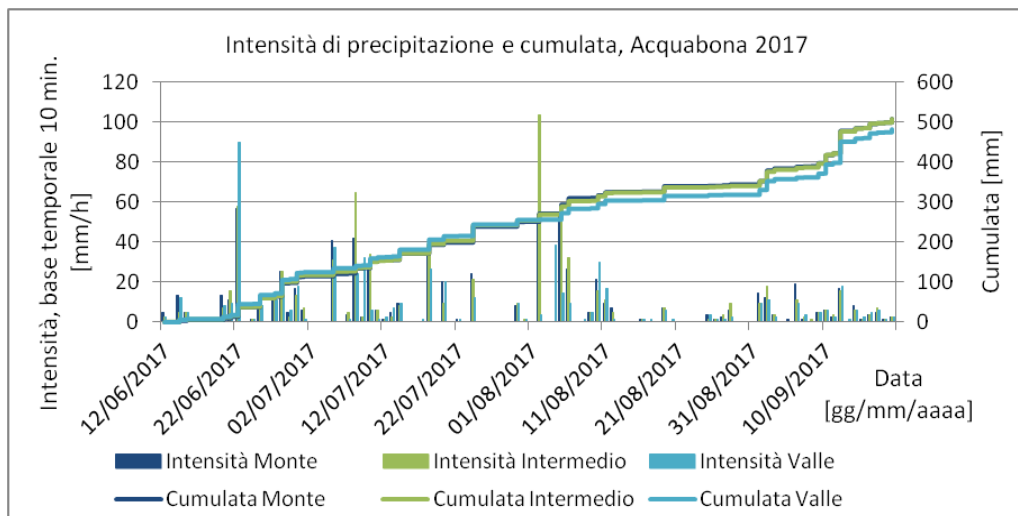
*Continua*



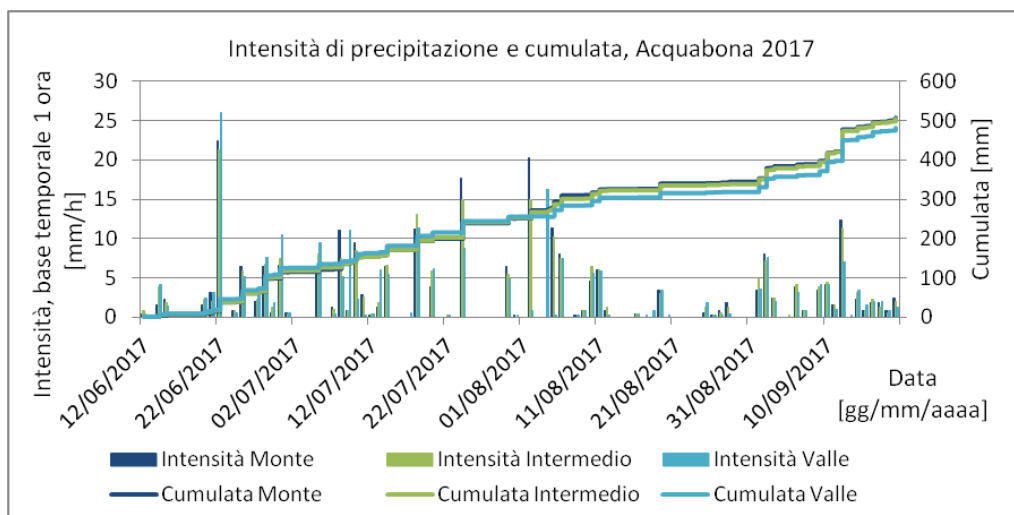
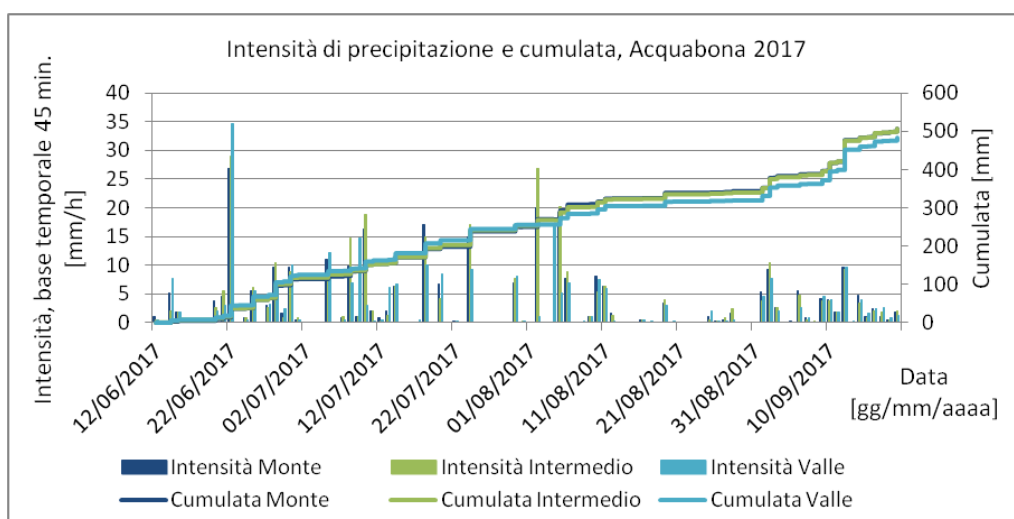
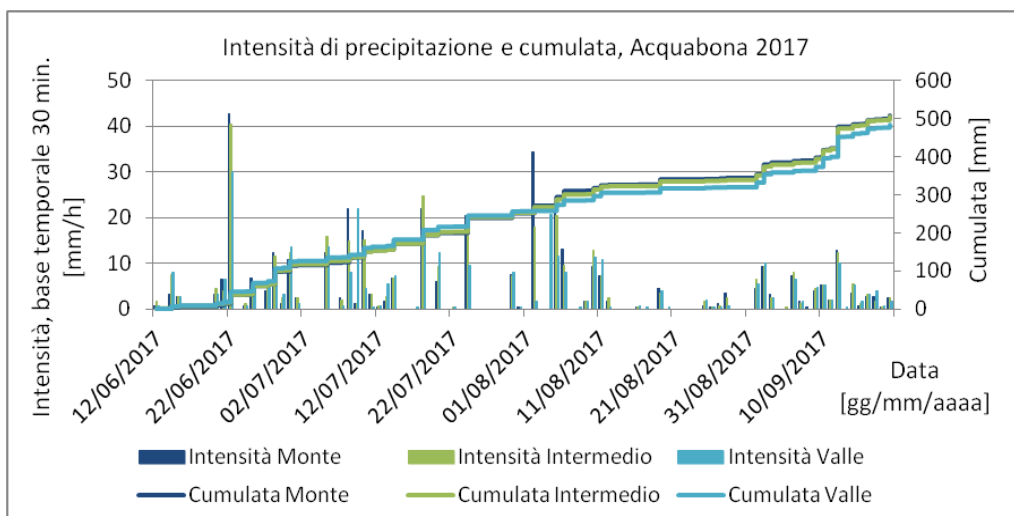
Continua



Continua

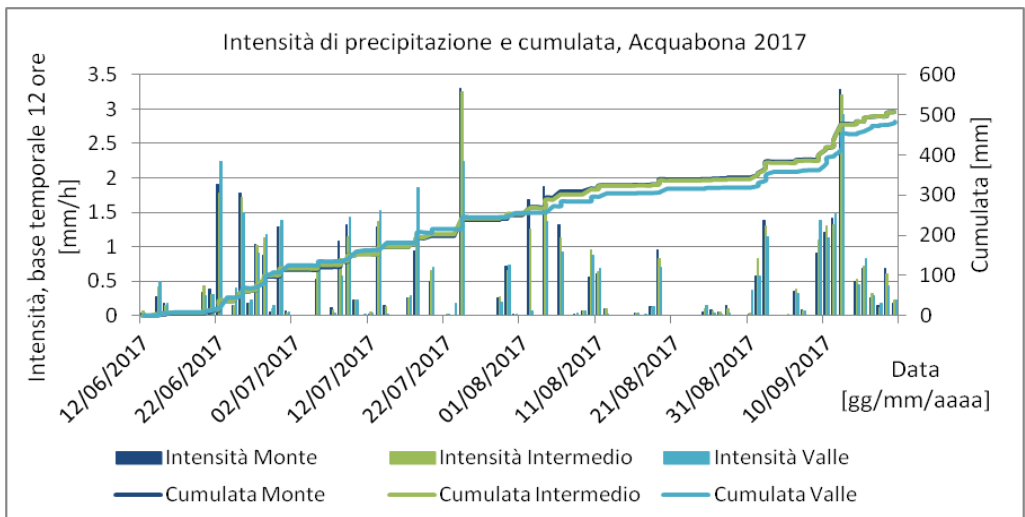
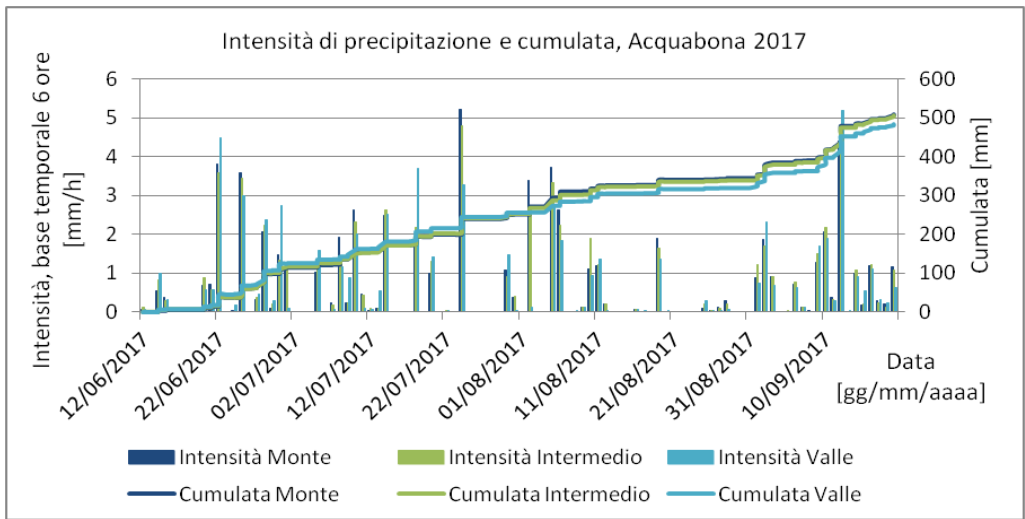
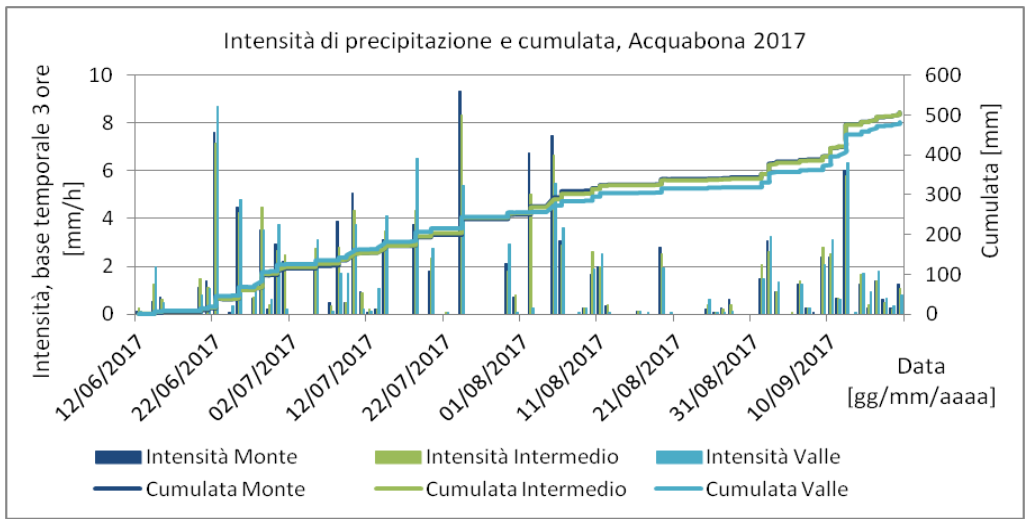


Continua

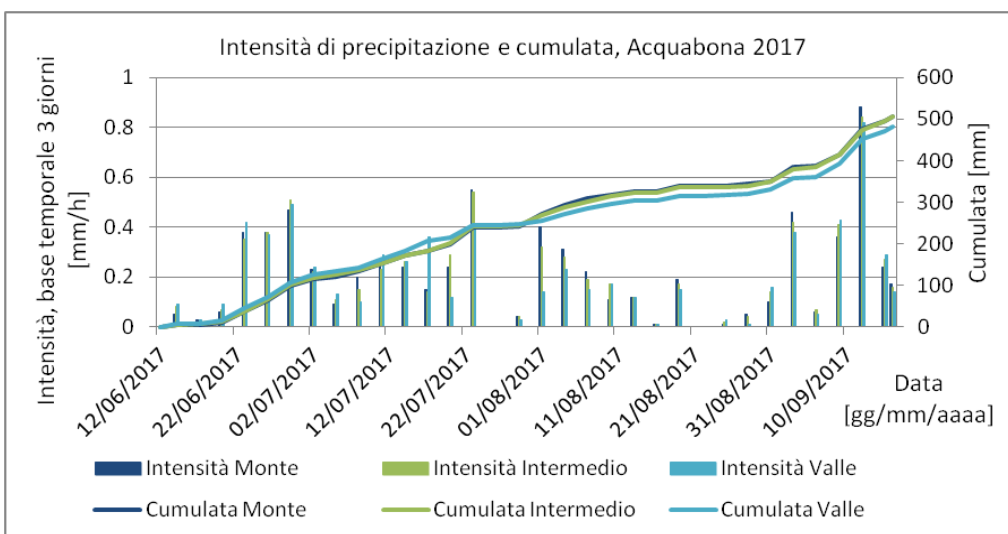
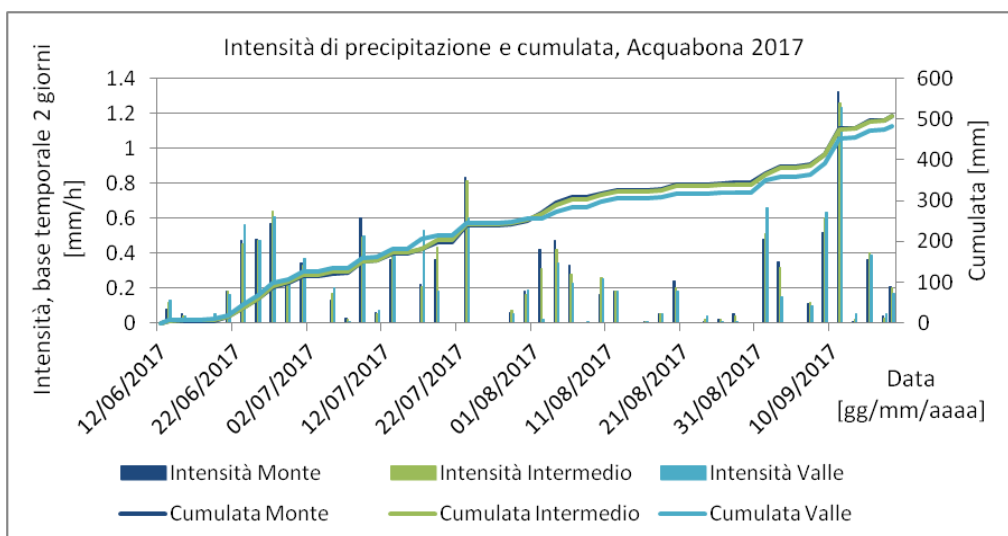
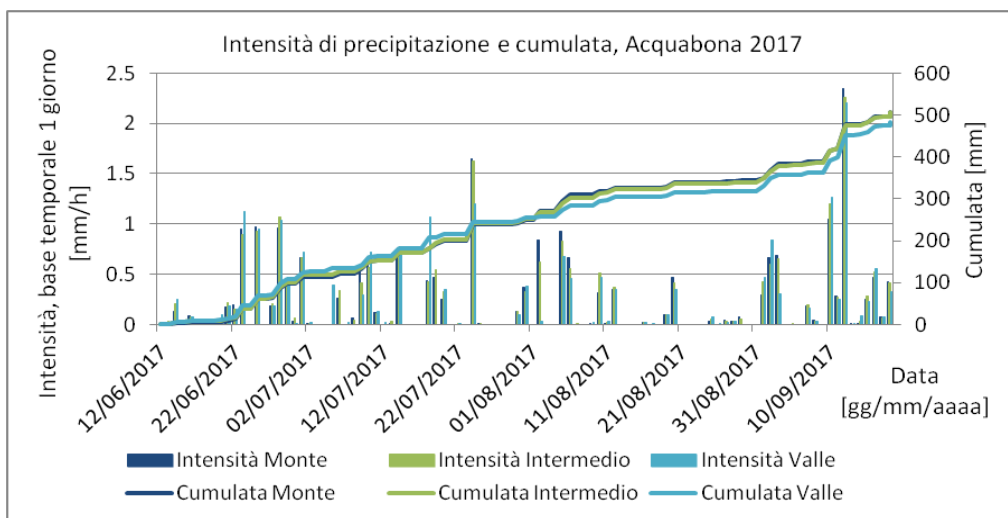


*Continua*

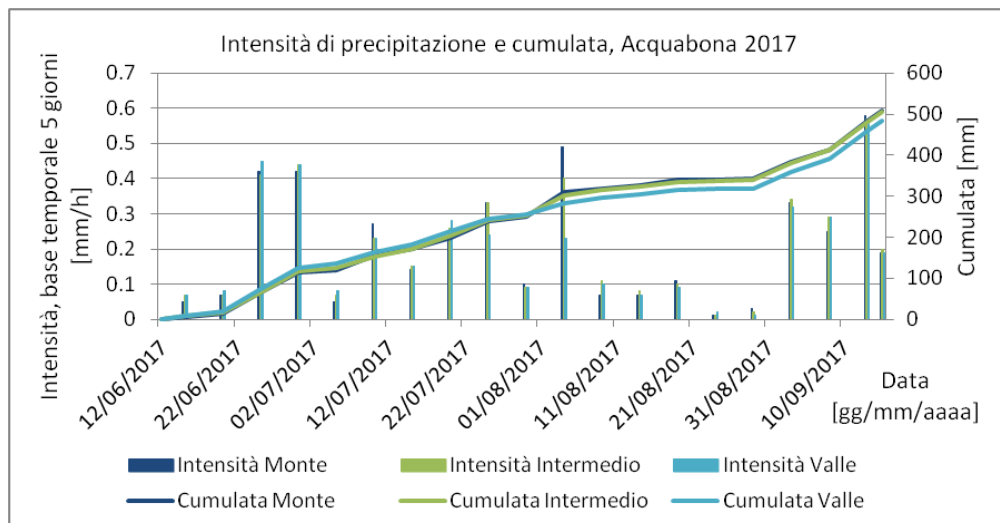
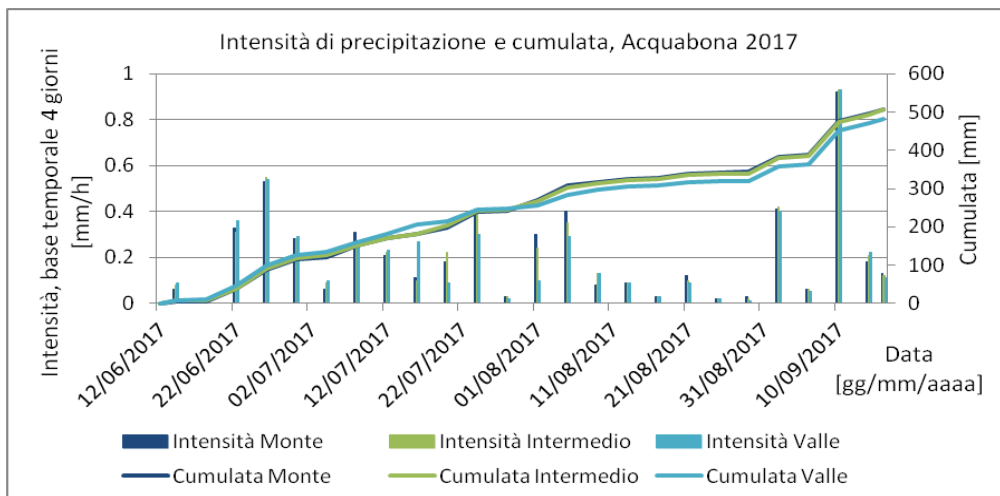




Continua

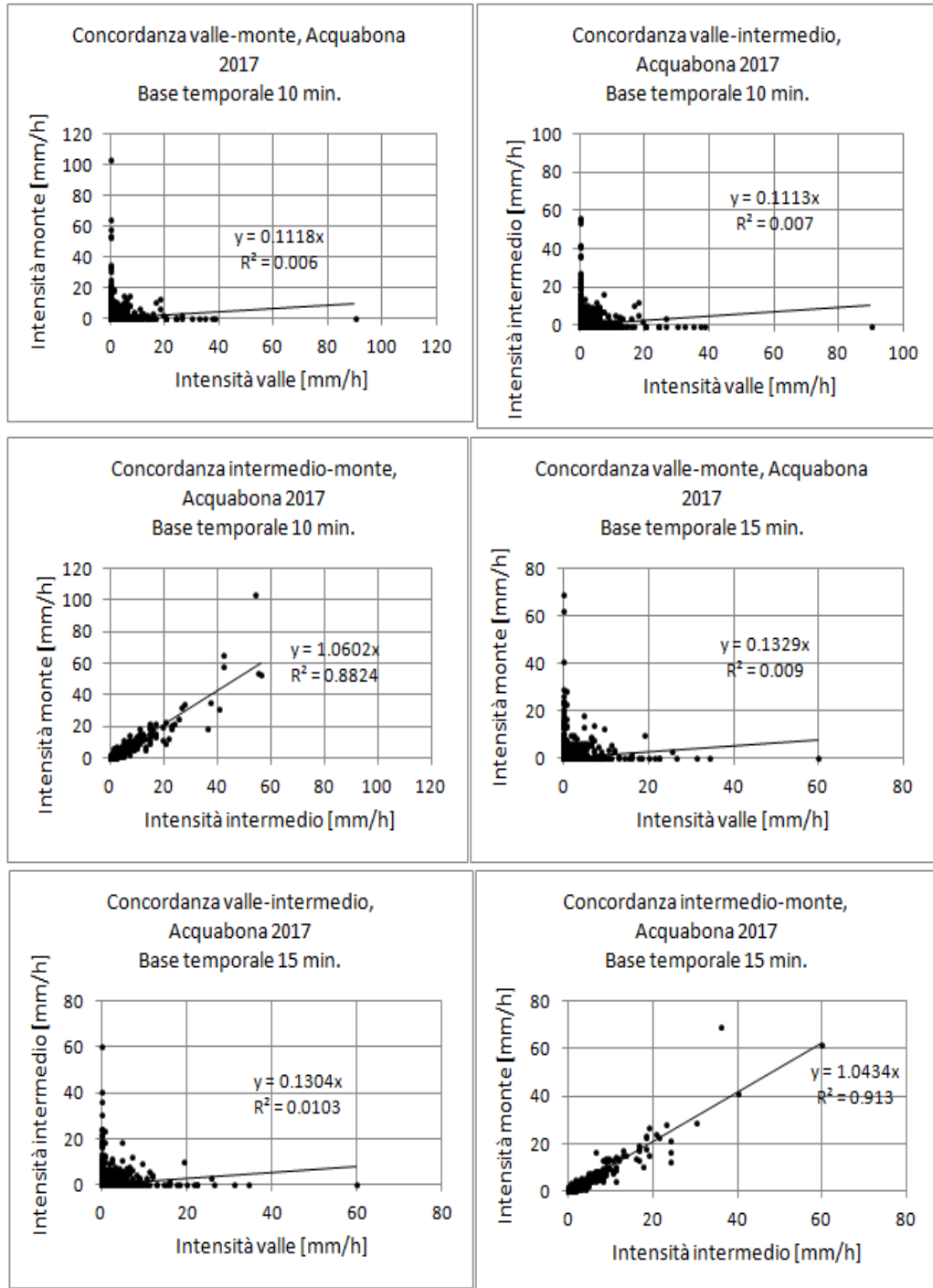


Continua

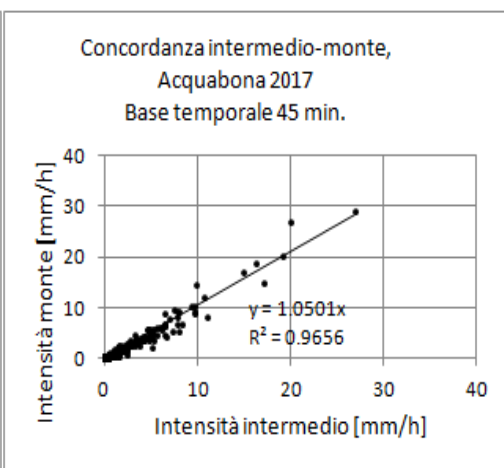
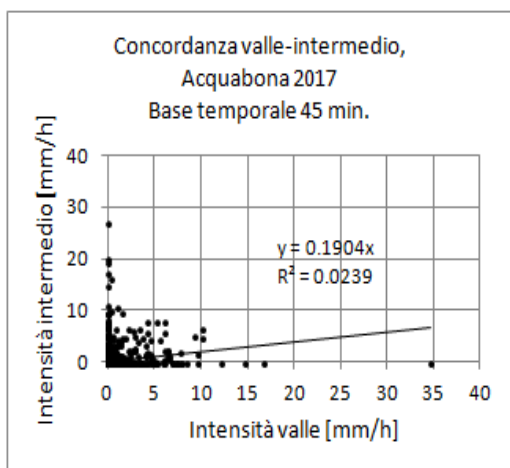
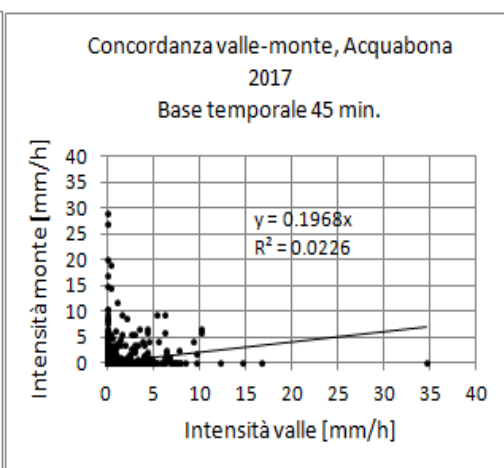
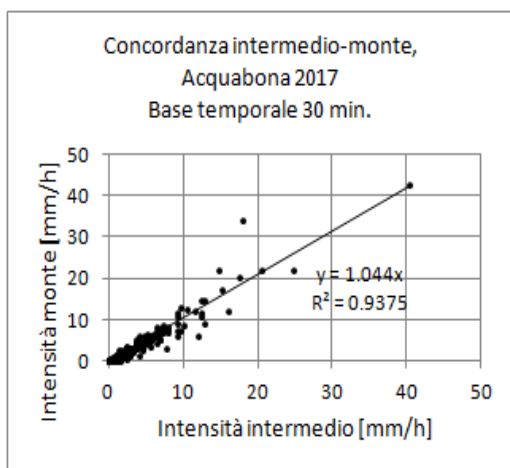
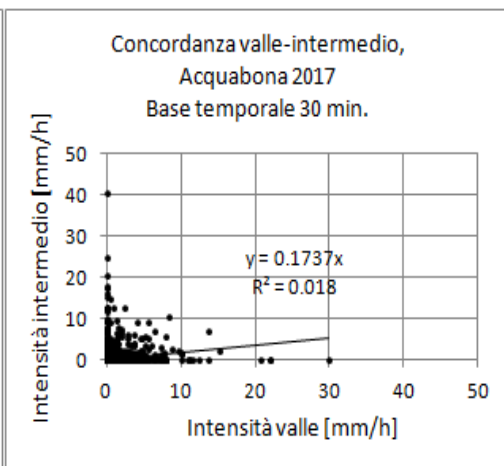
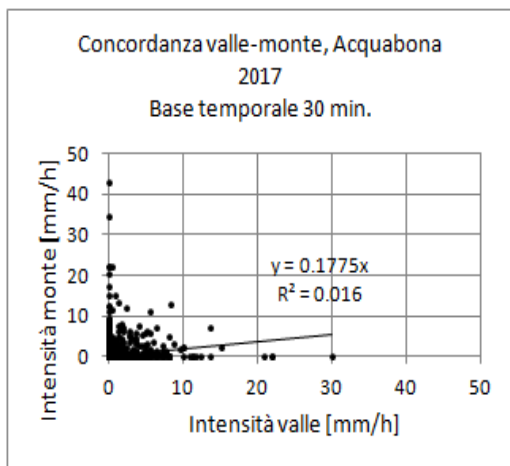


## Allegato 2

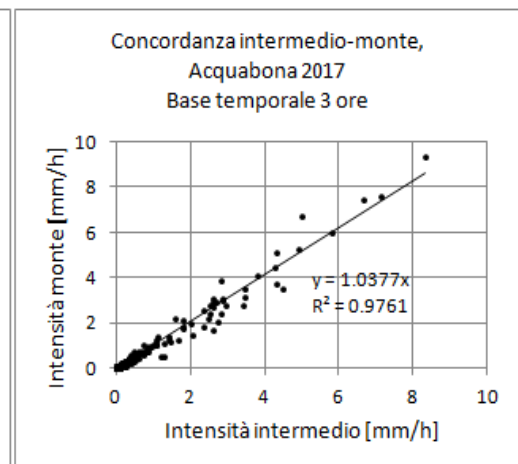
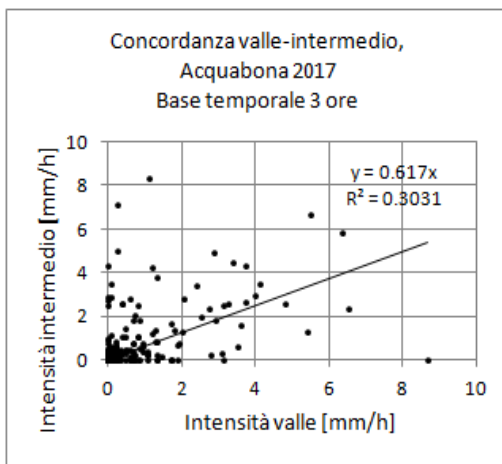
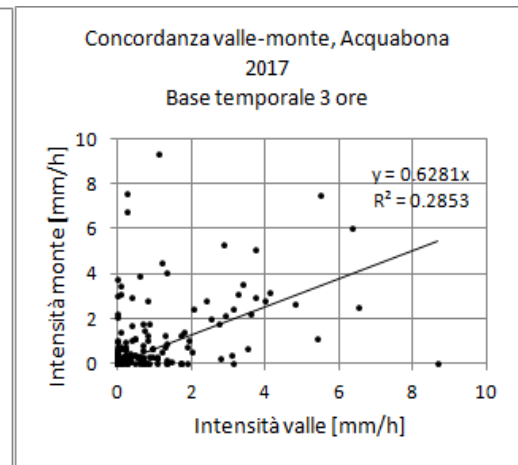
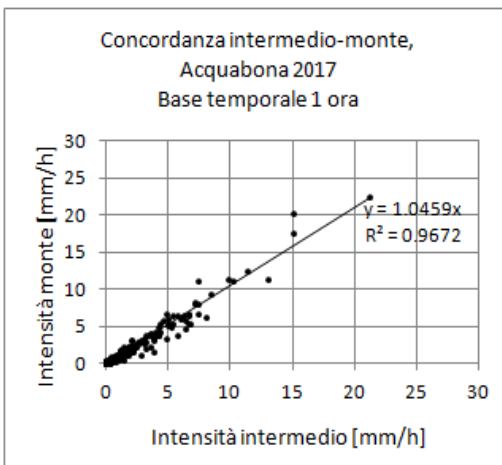
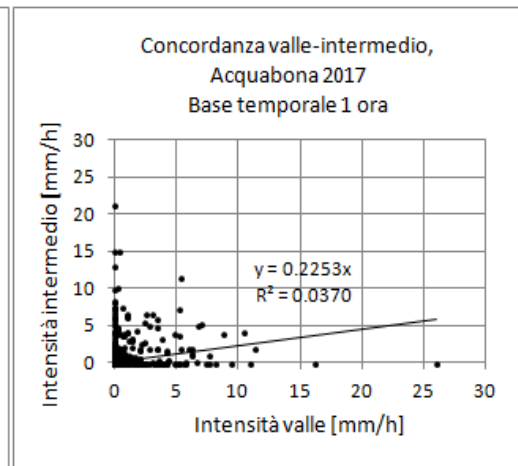
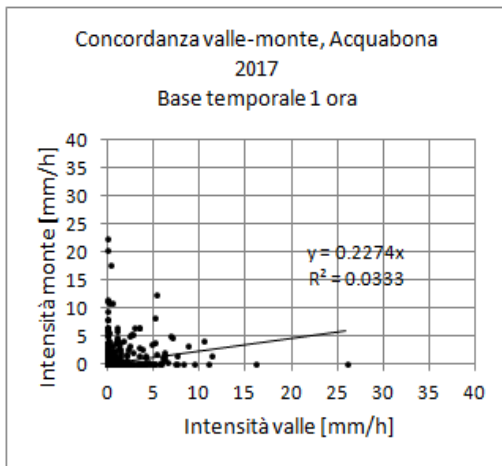
Concordanza tra le intensità dei pluviometri di Acquabona del 2017 per diverse basi temporali.



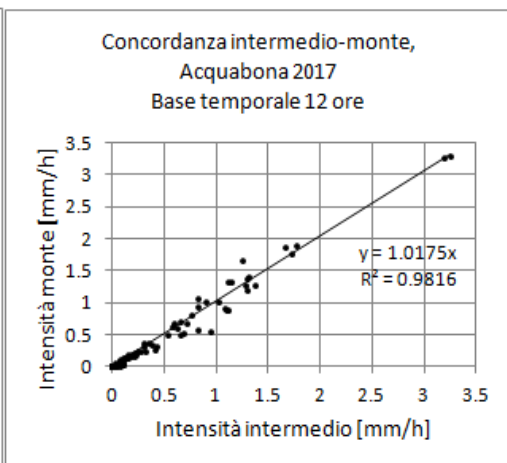
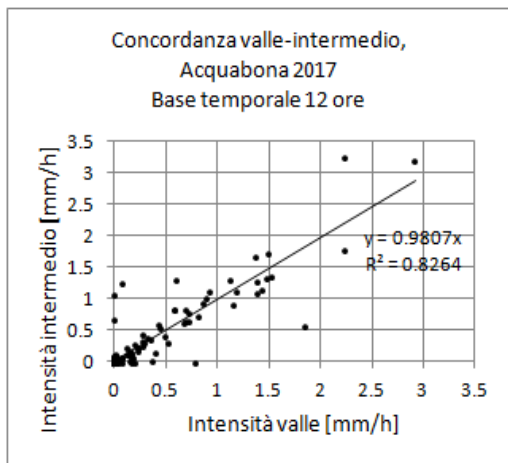
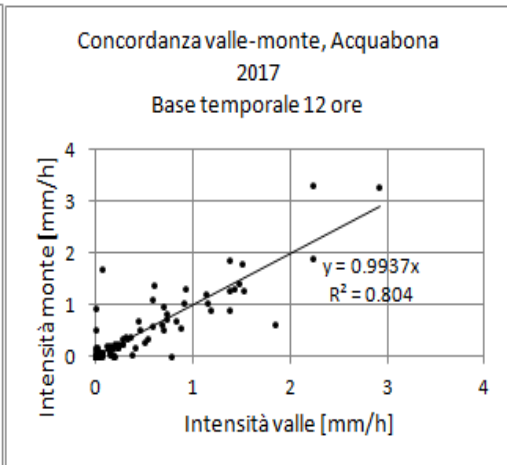
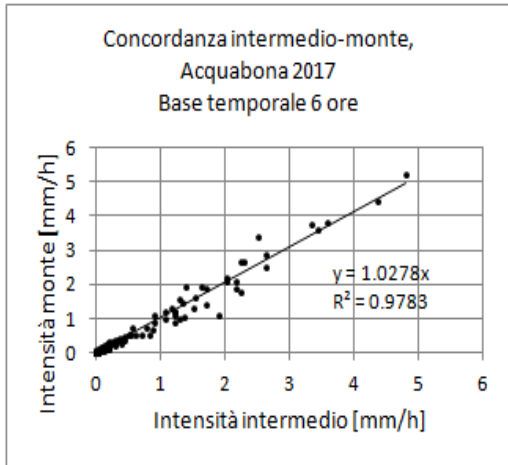
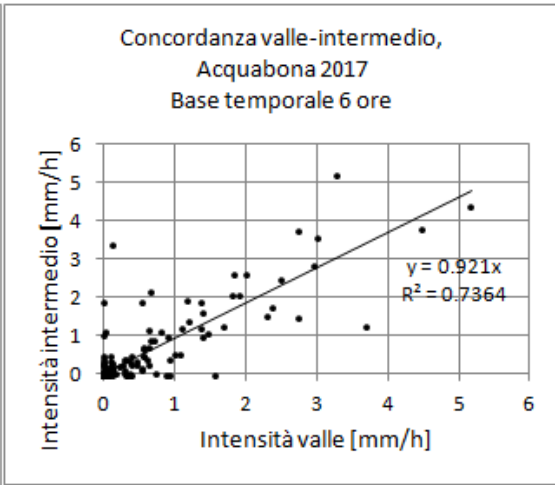
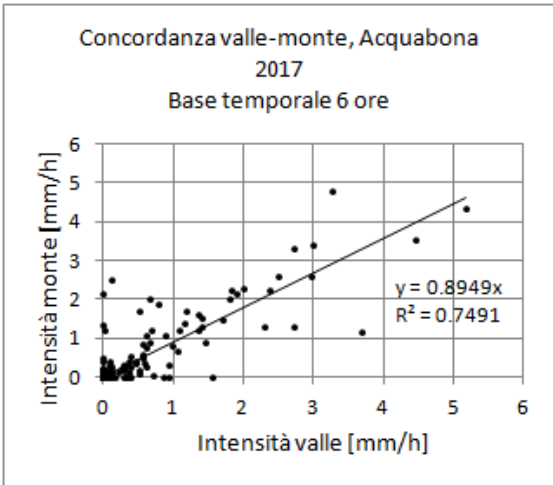
Continua



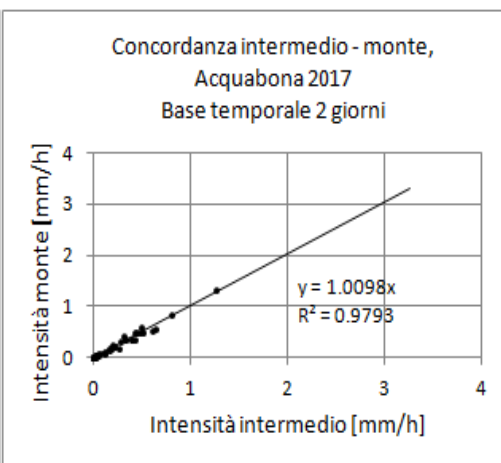
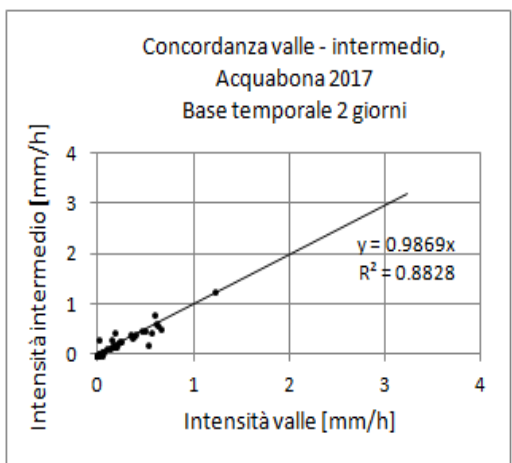
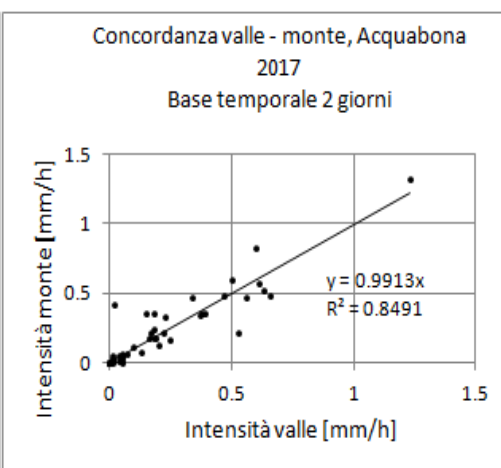
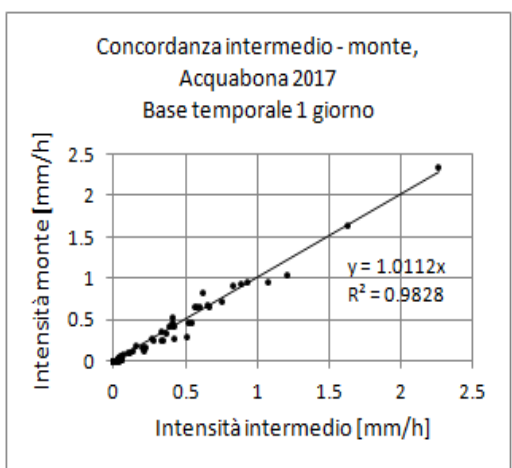
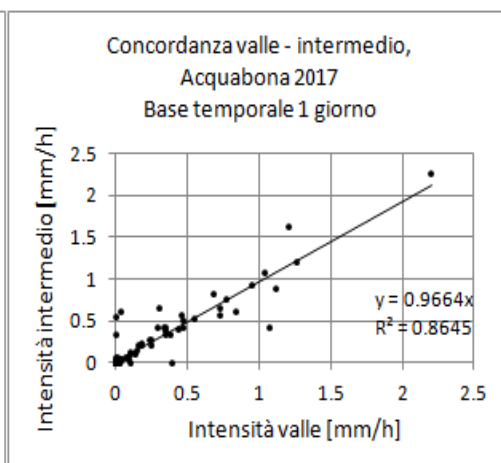
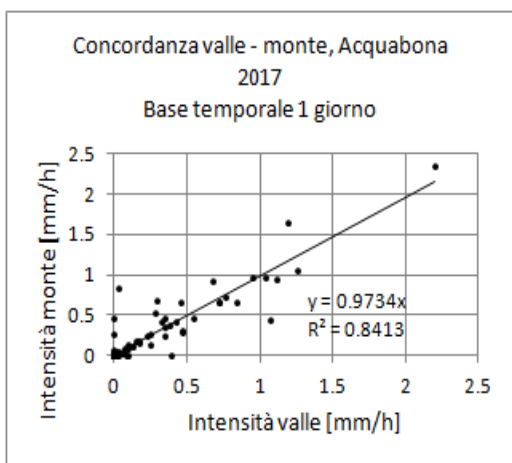
Continua



Continua

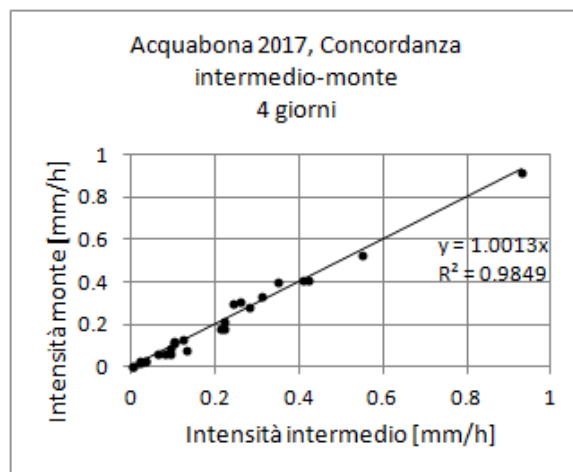
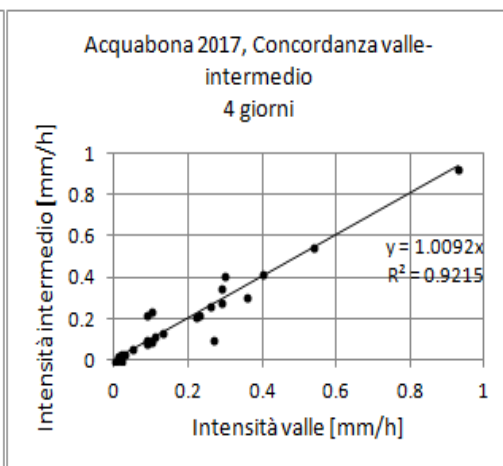
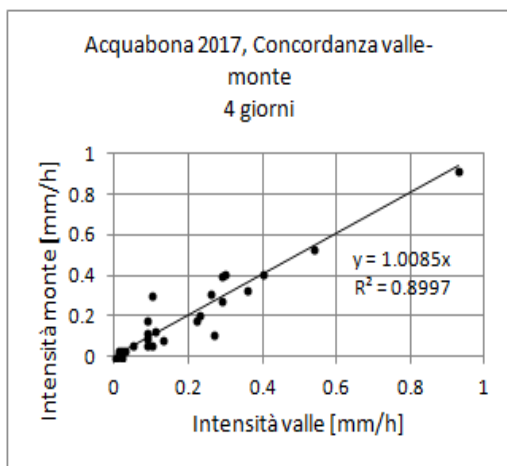
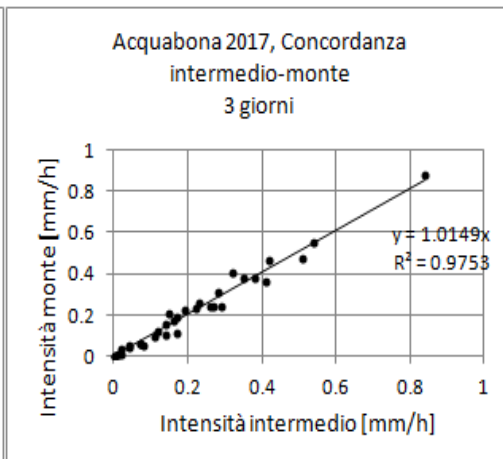
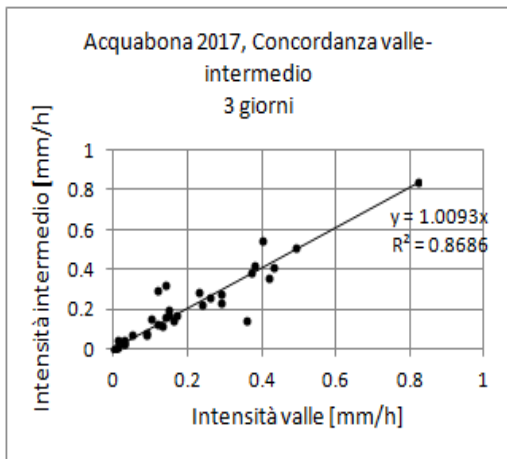


Continua



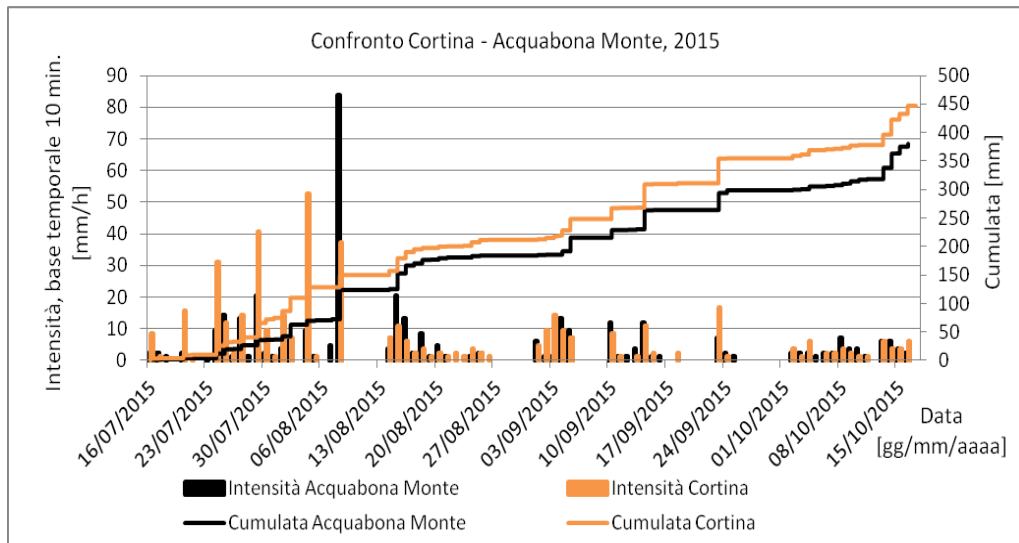
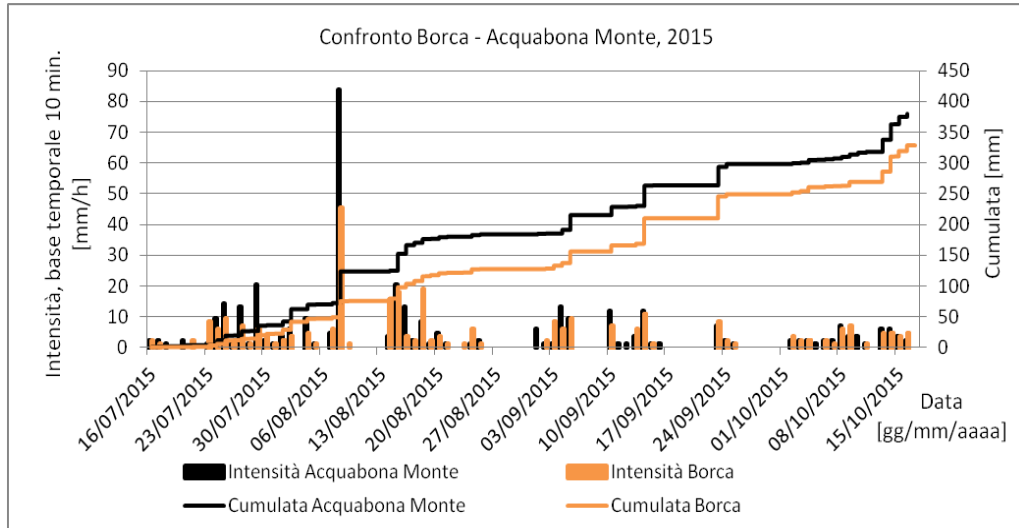
*Continua*



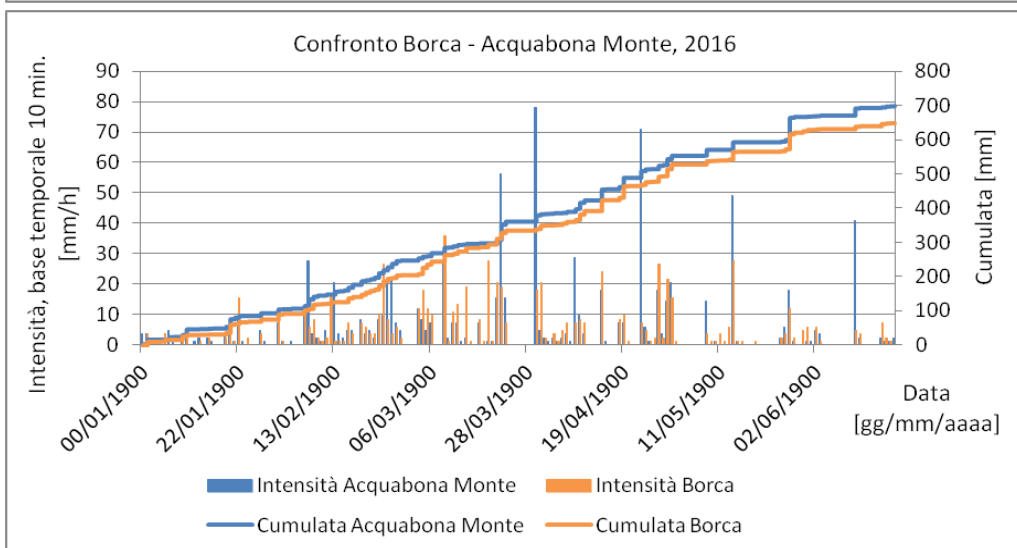
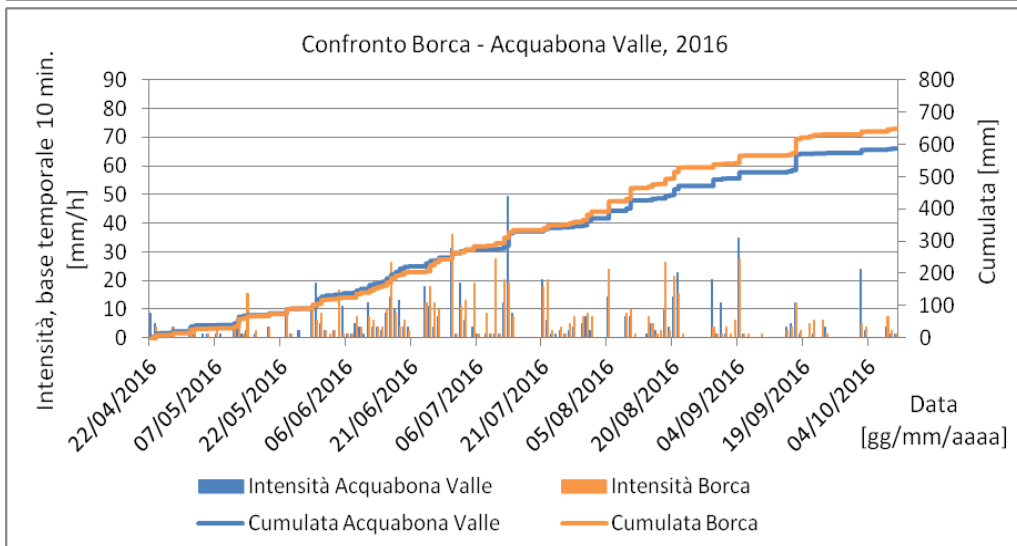
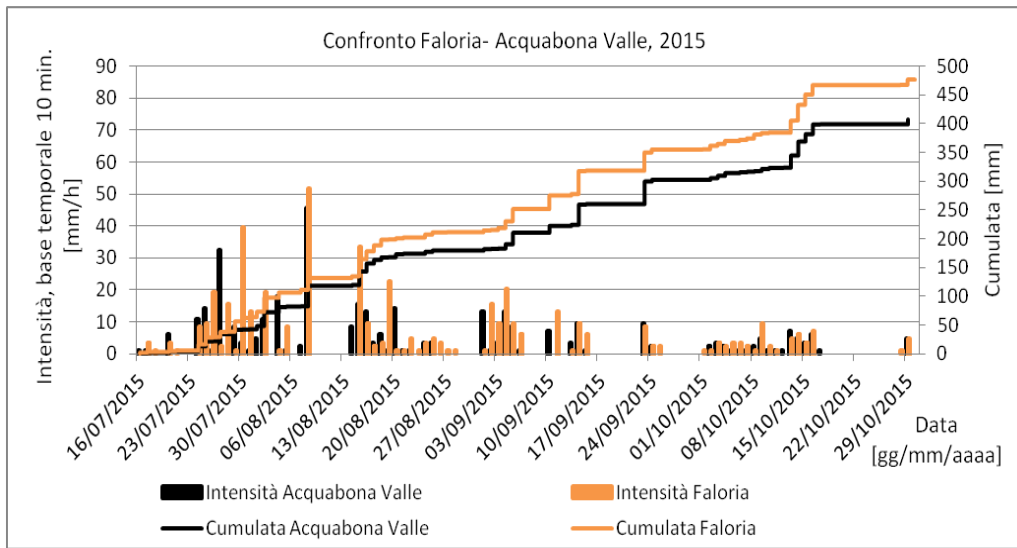


### Allegato 3

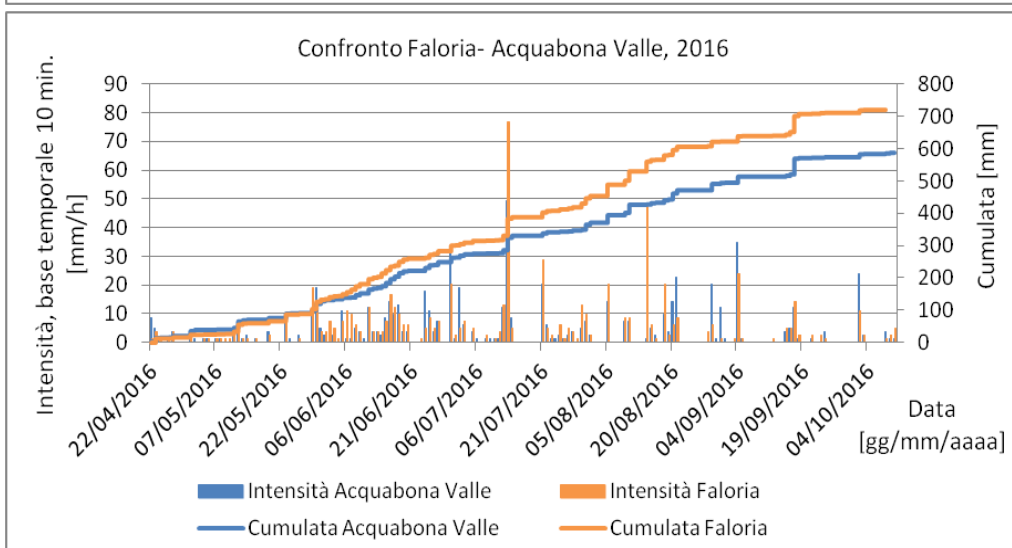
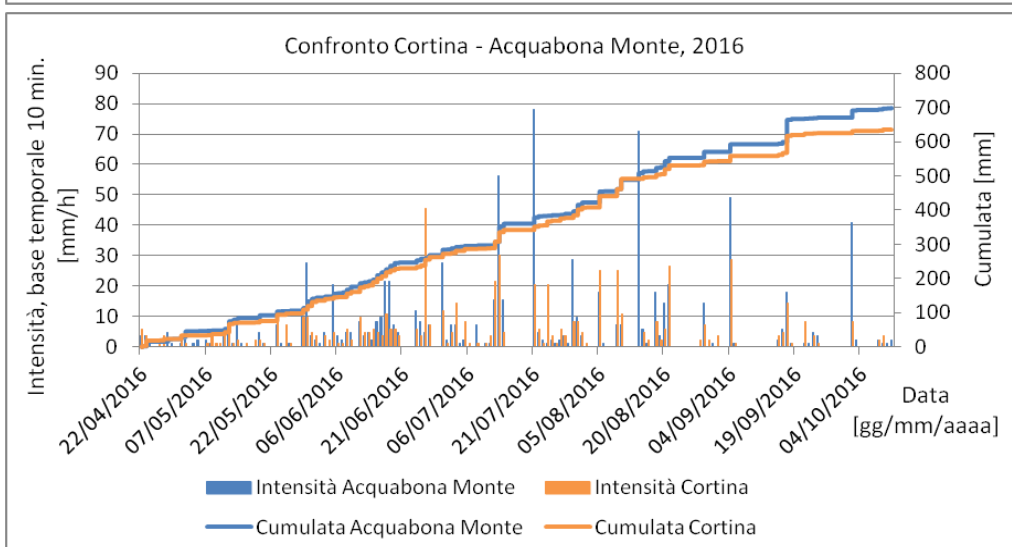
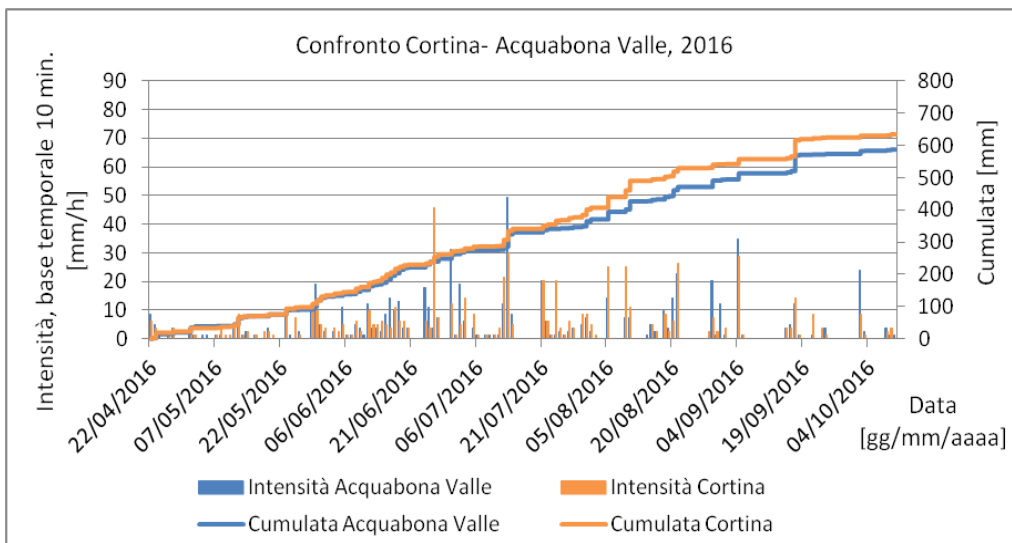
Confronto delle intensità di precipitazione e della cumulata tra le stazioni di Borca, Cortina, Faloria e quelle di Acquabona negli anni 2015 e 2016.



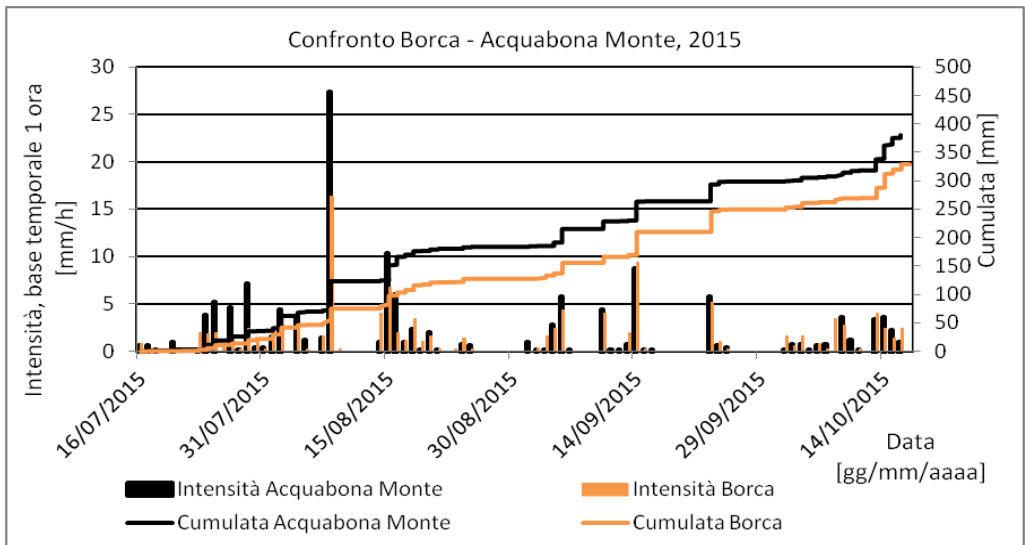
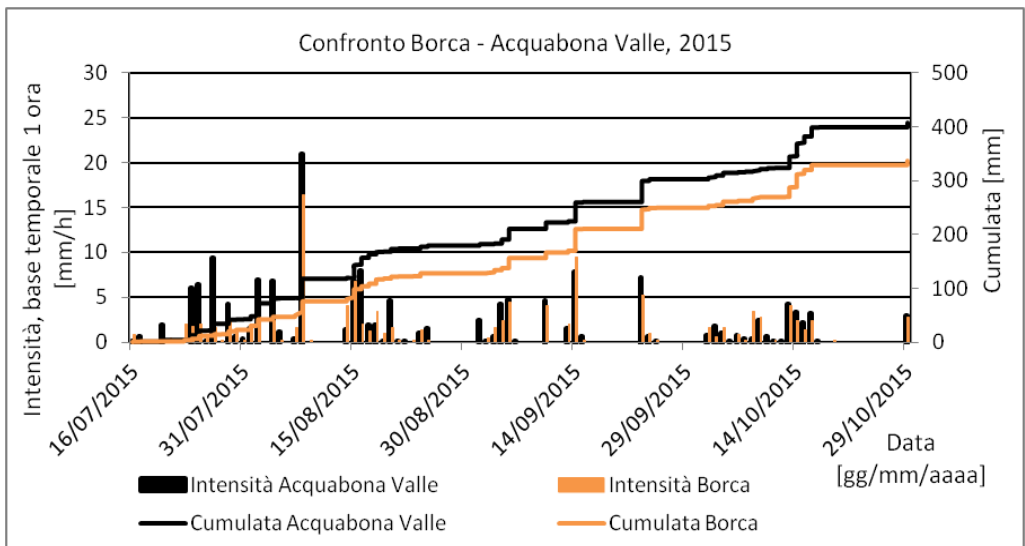
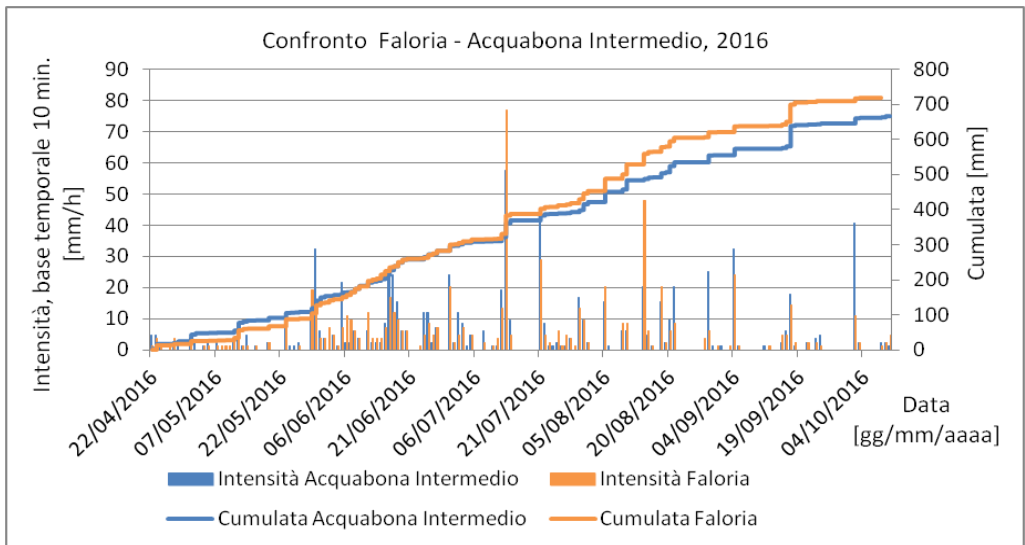
Continua



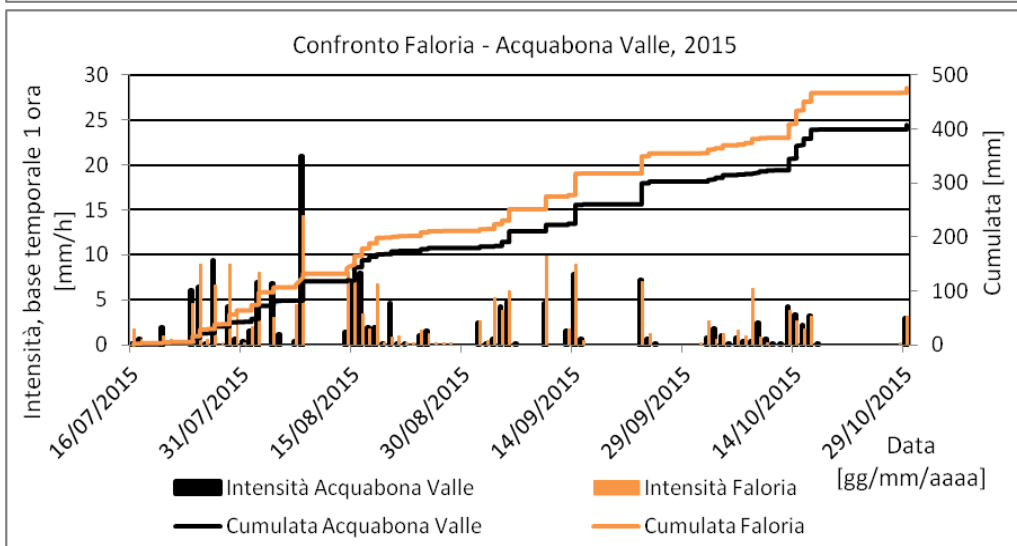
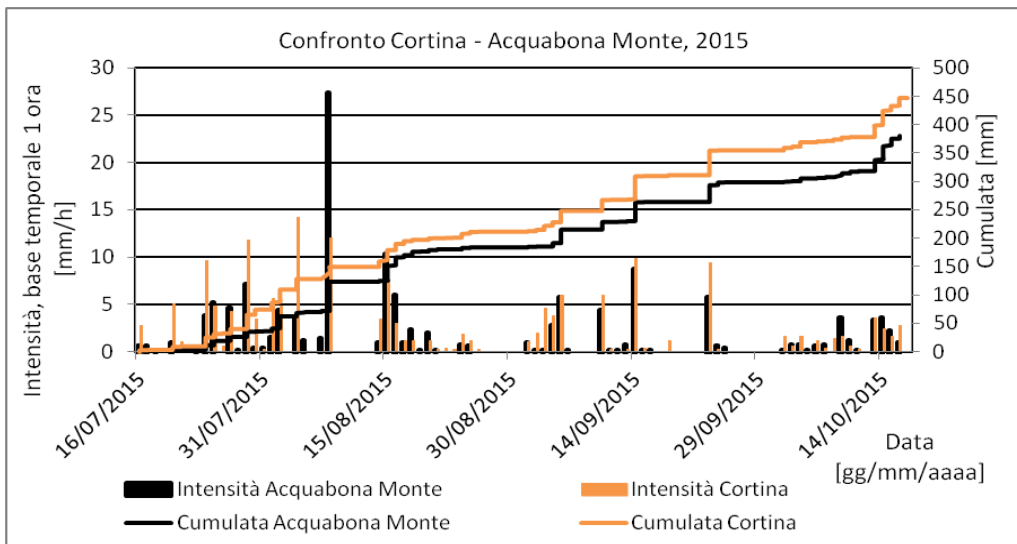
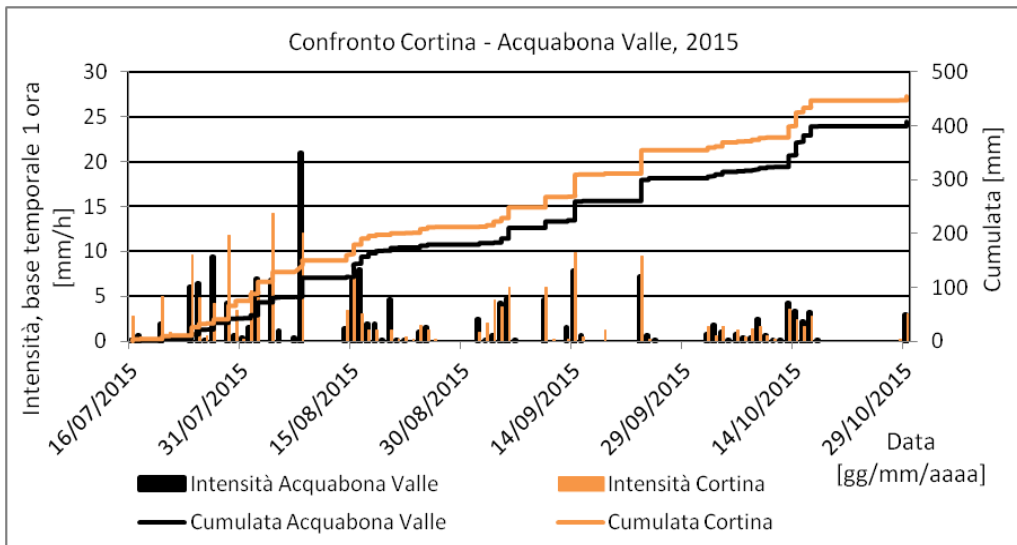
*Continua*



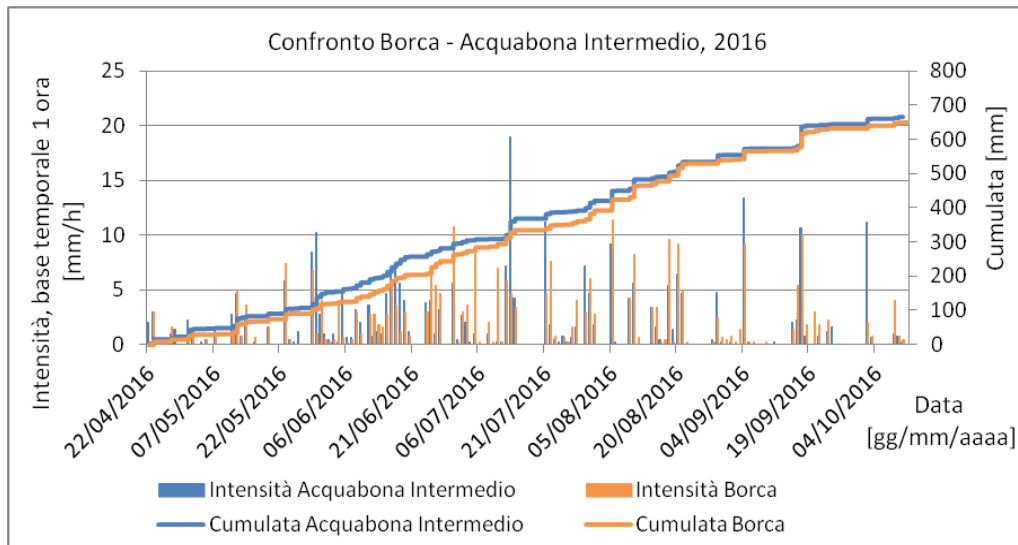
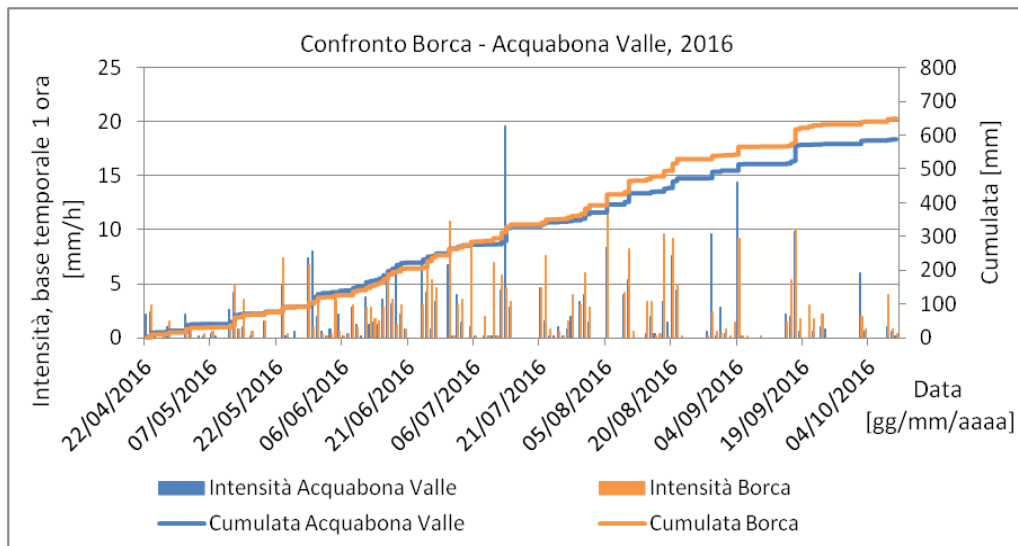
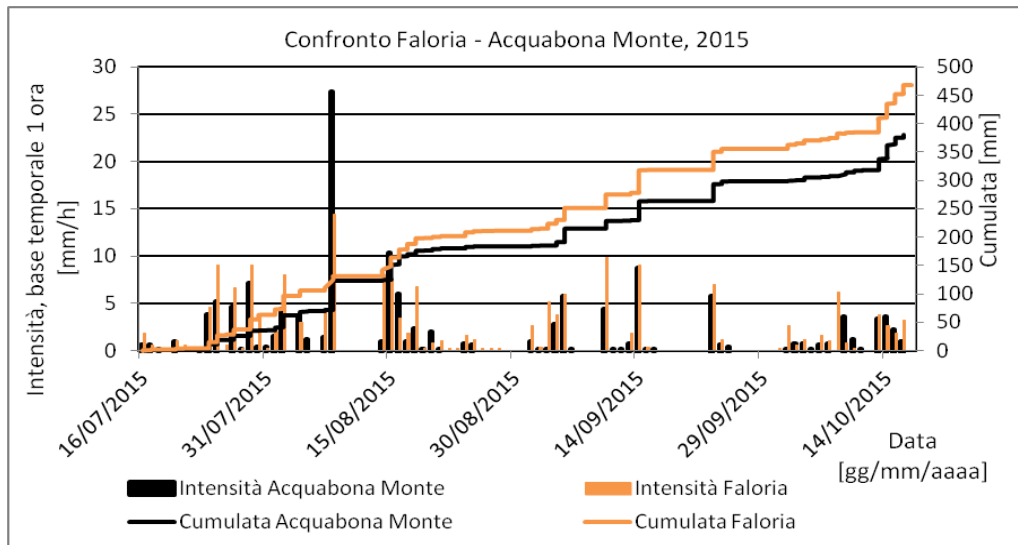
*Continua*



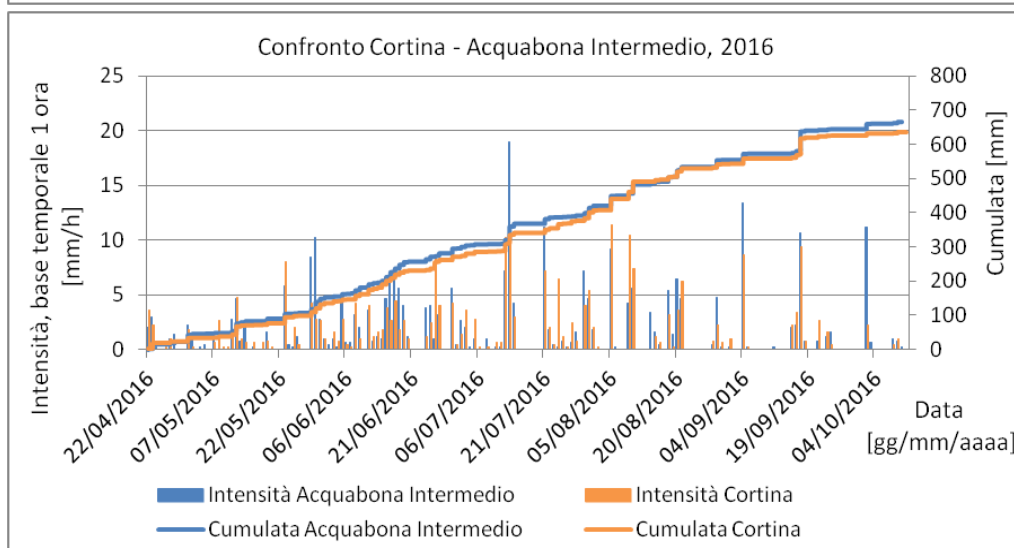
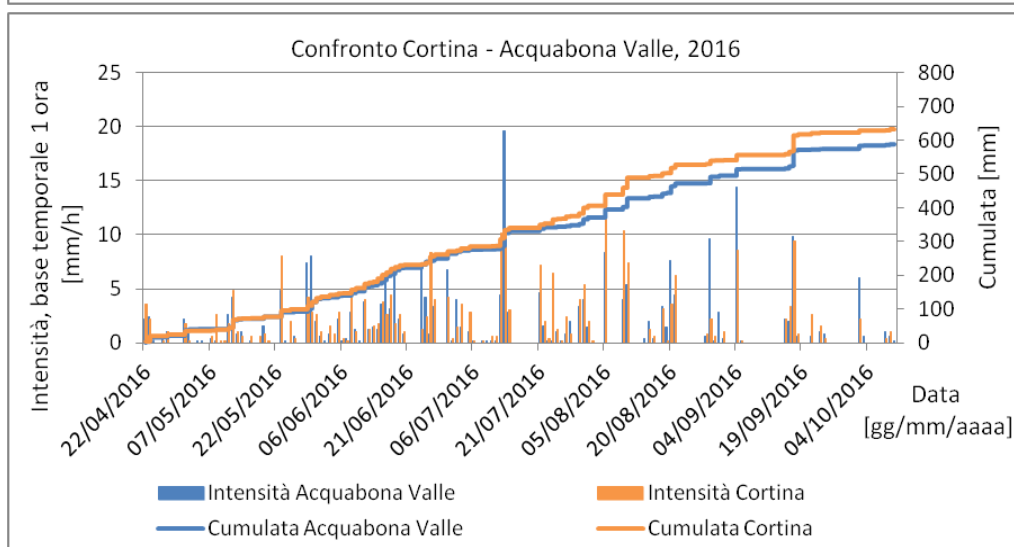
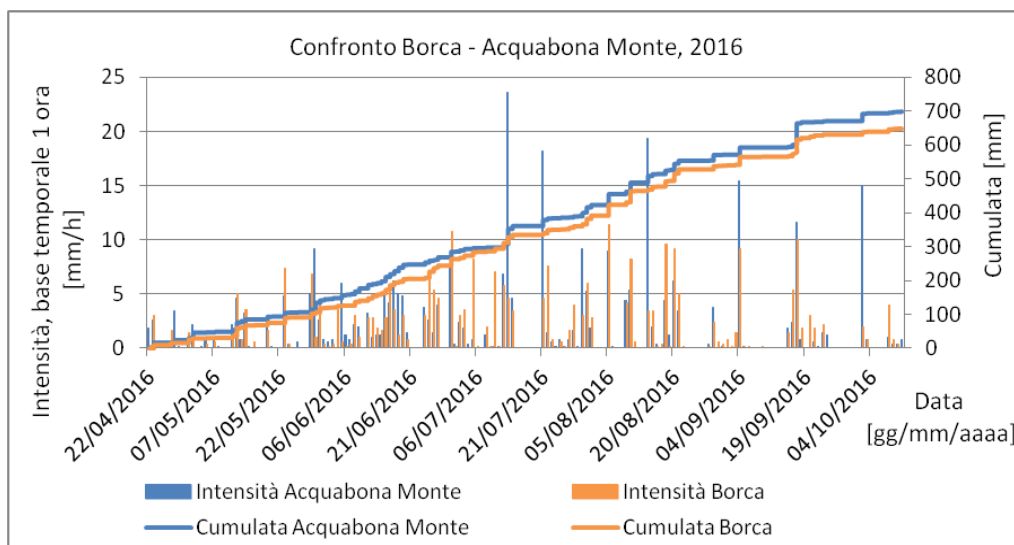
*Continua*



*Continua*

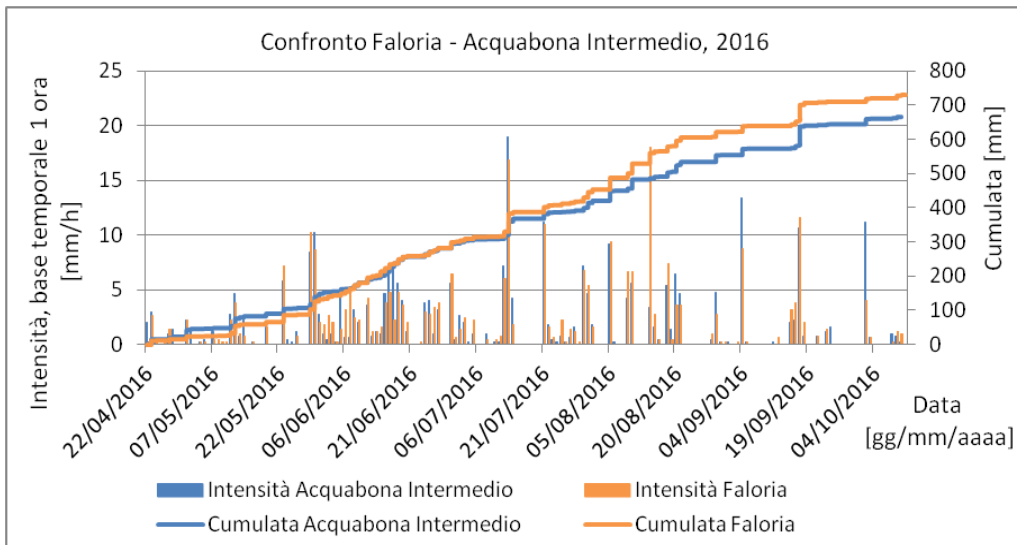
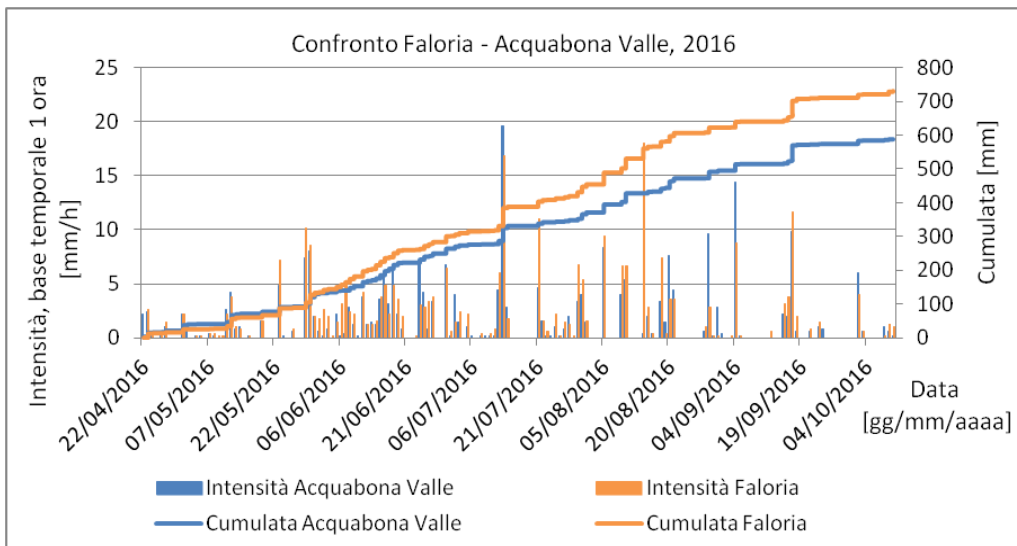
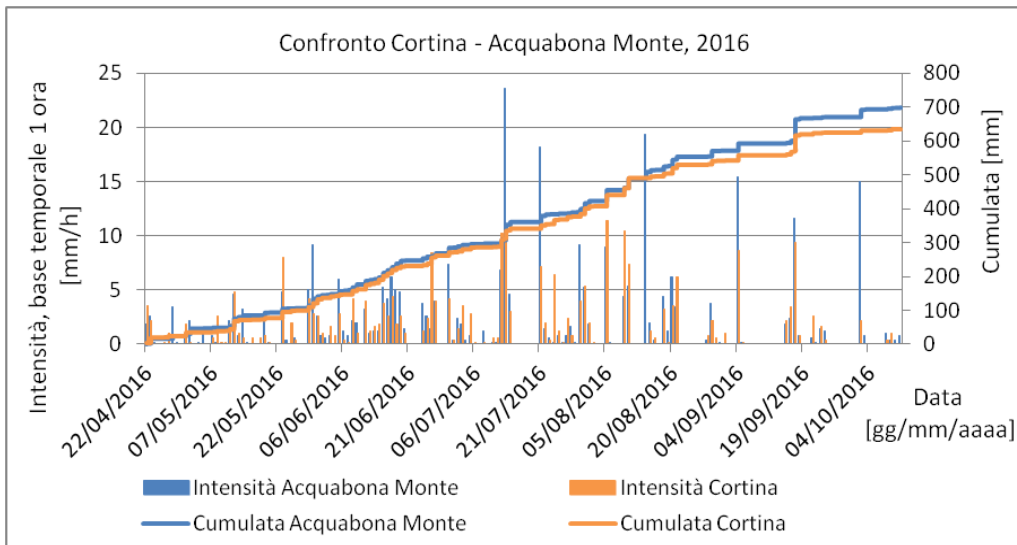


Continua

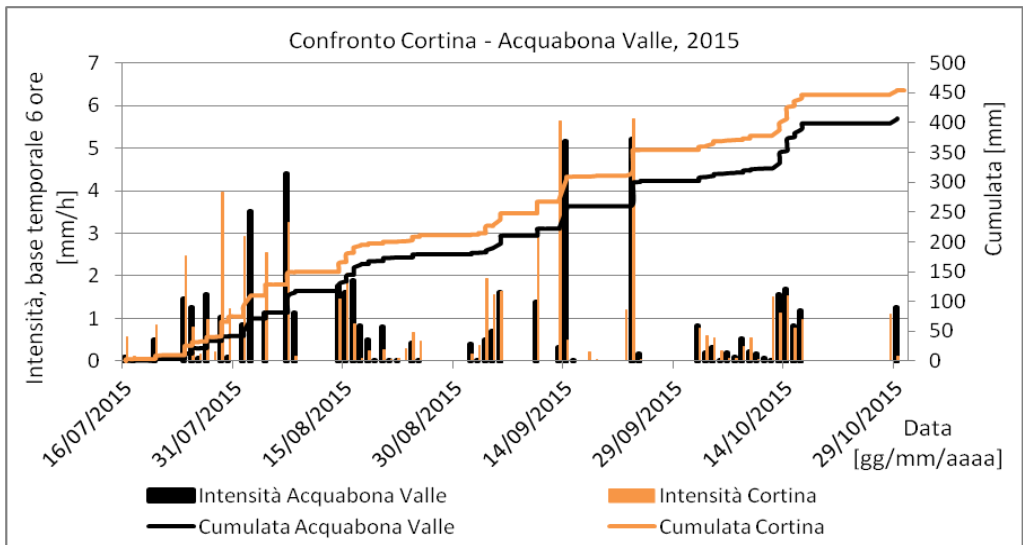
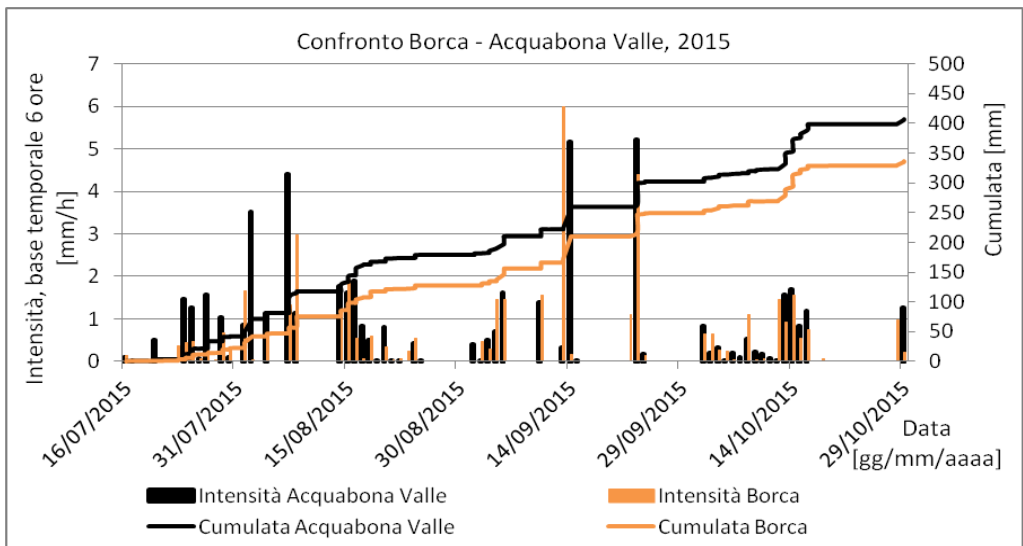
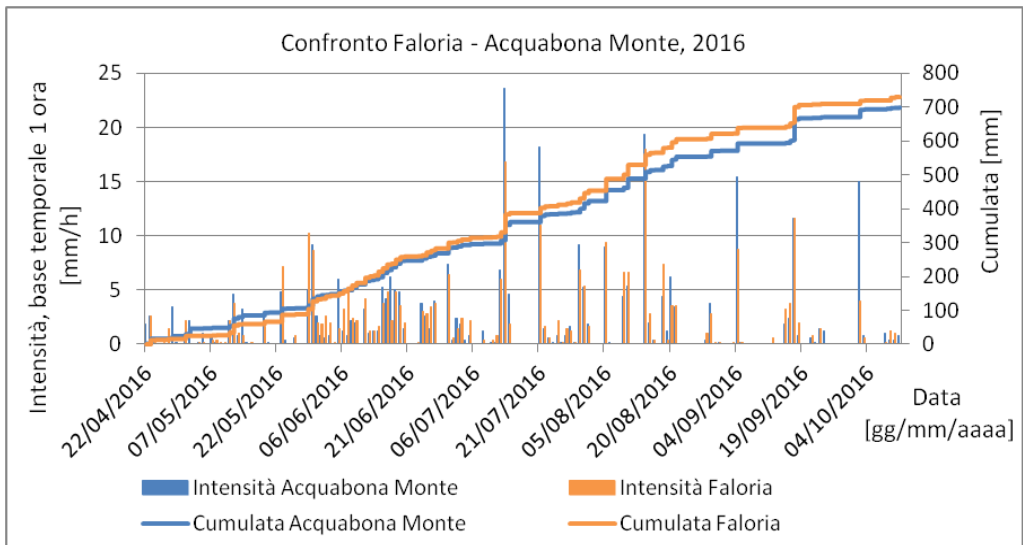


*Continua*

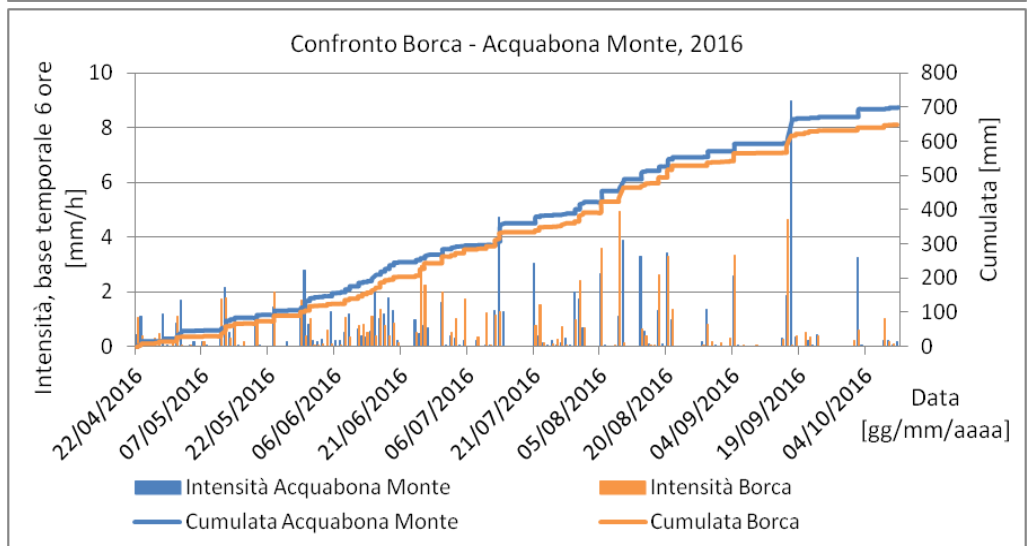
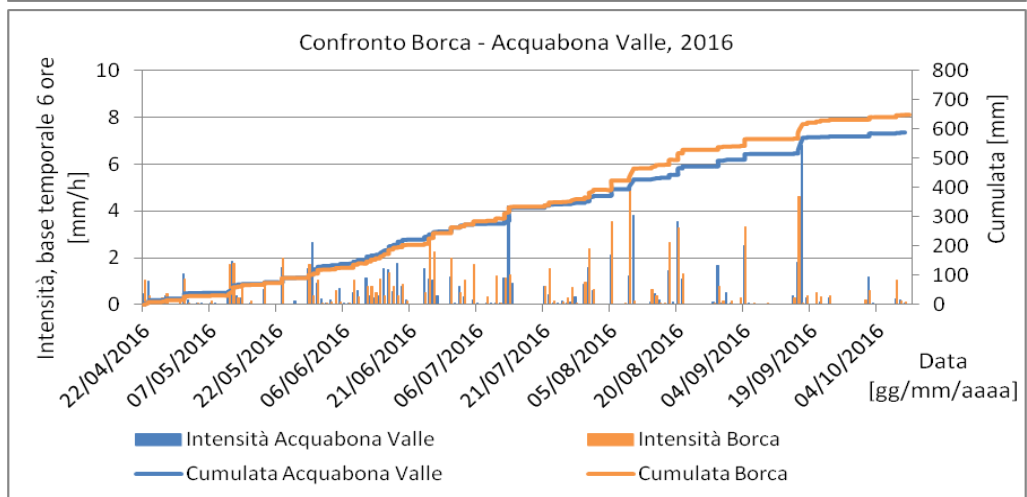
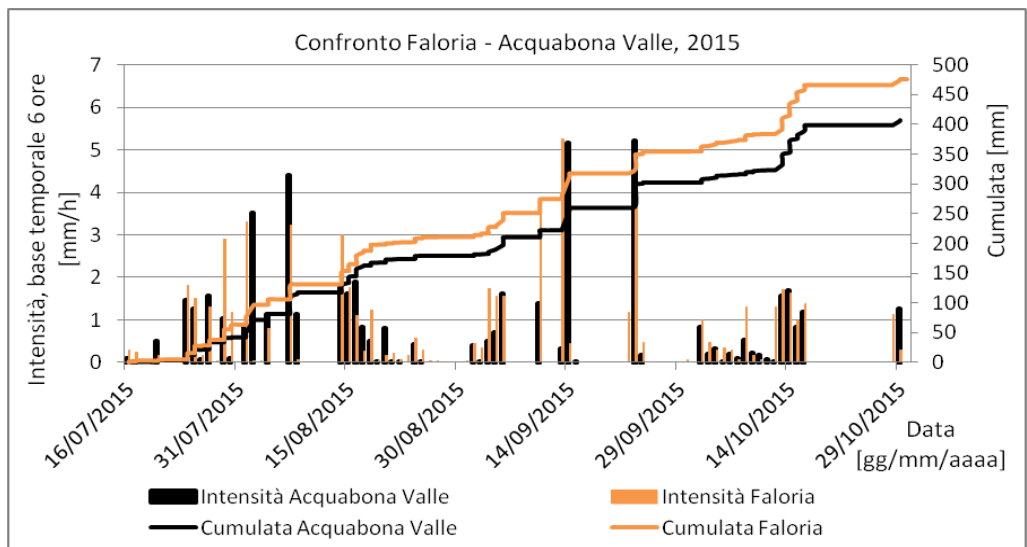




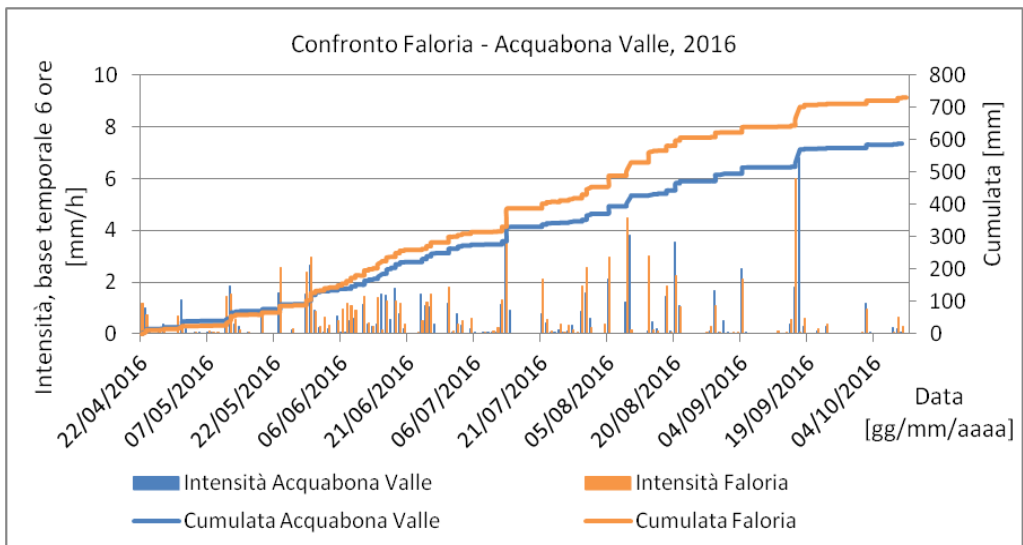
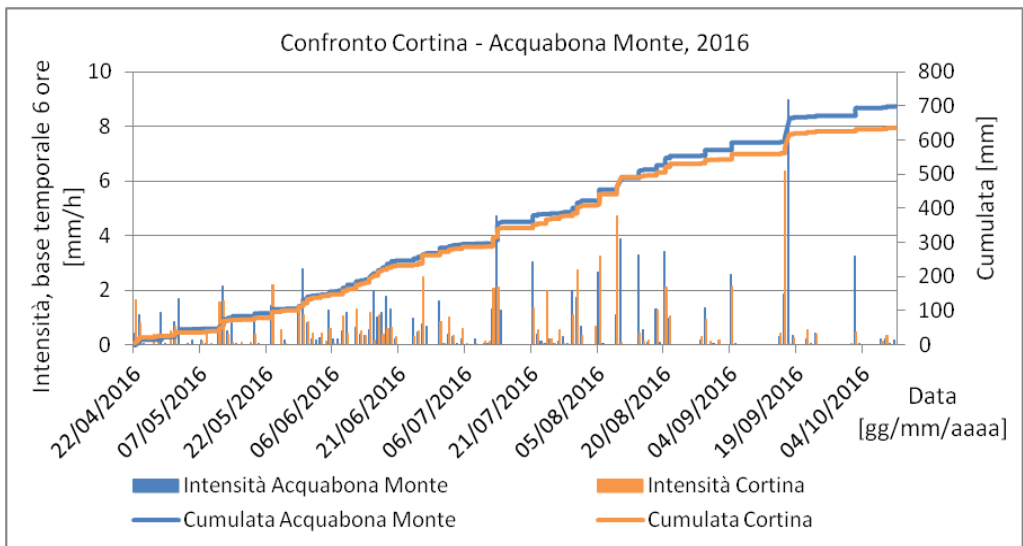
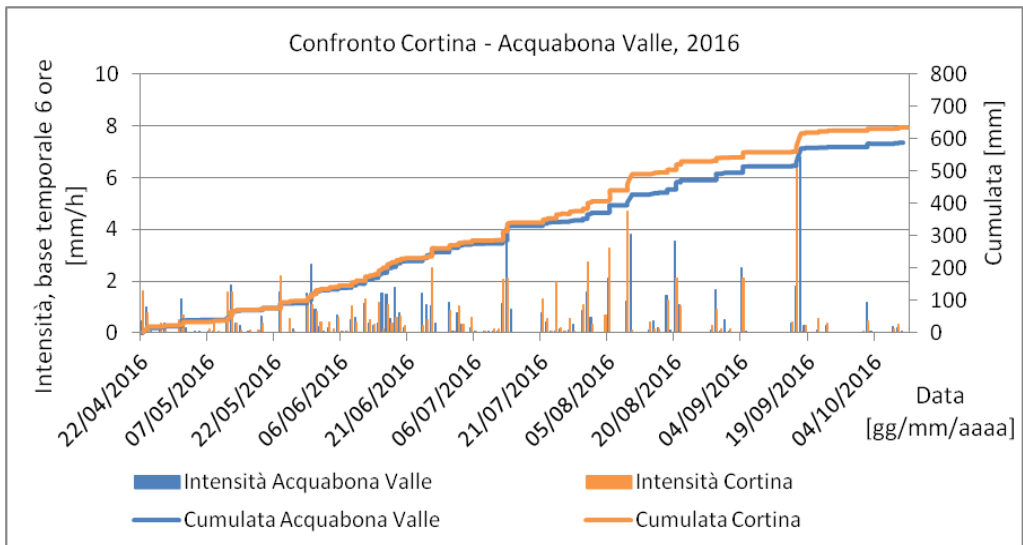
*Continua*



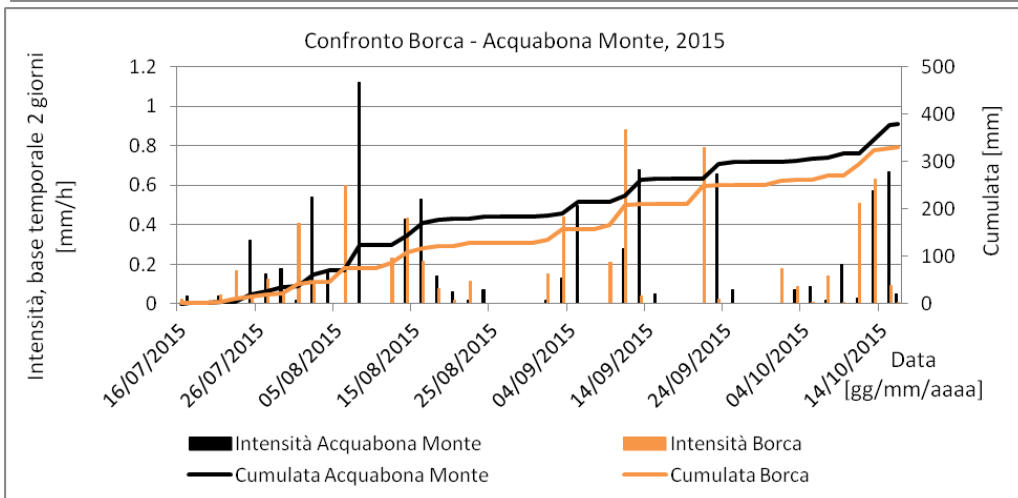
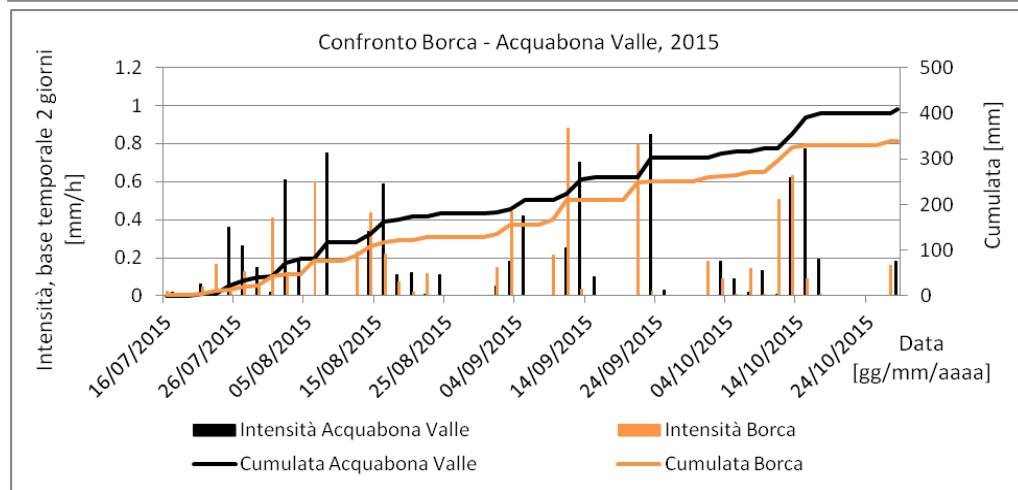
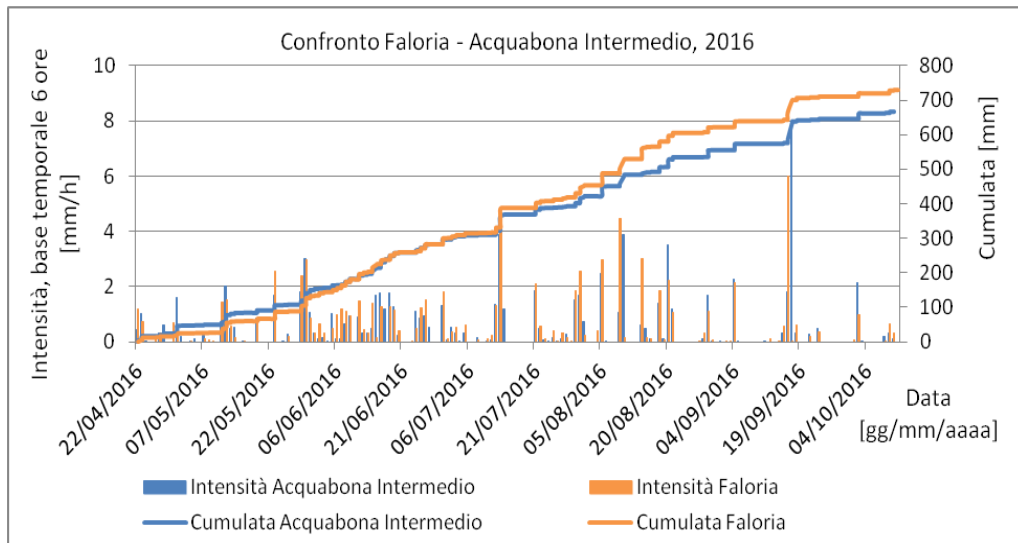
Continua



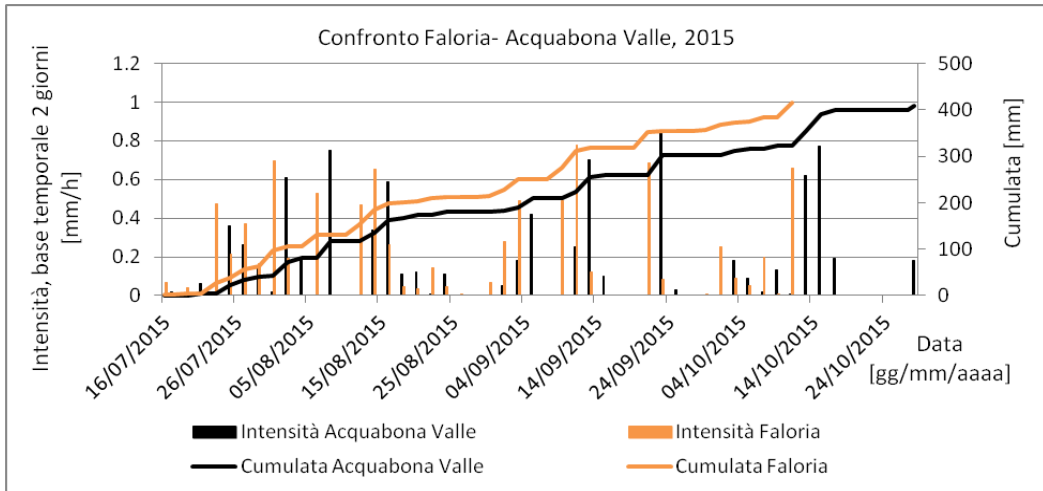
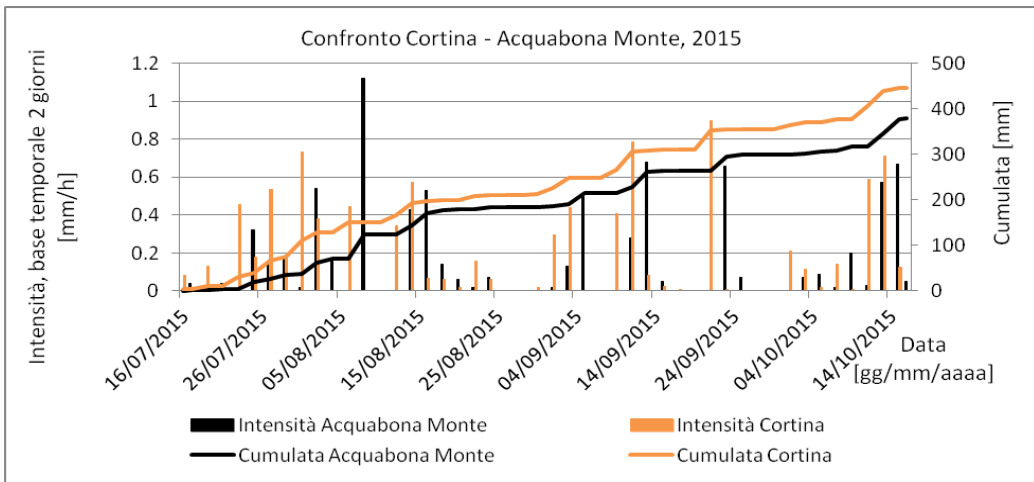
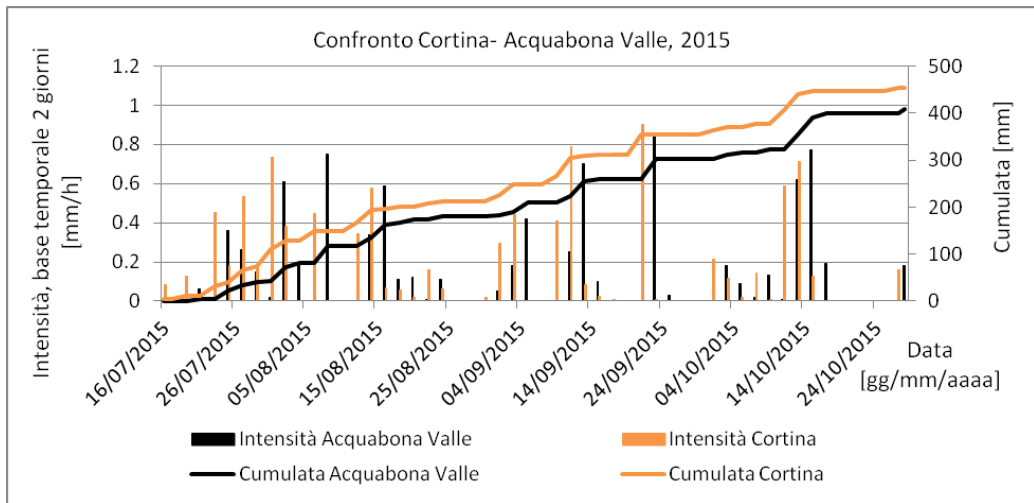
*Continua*



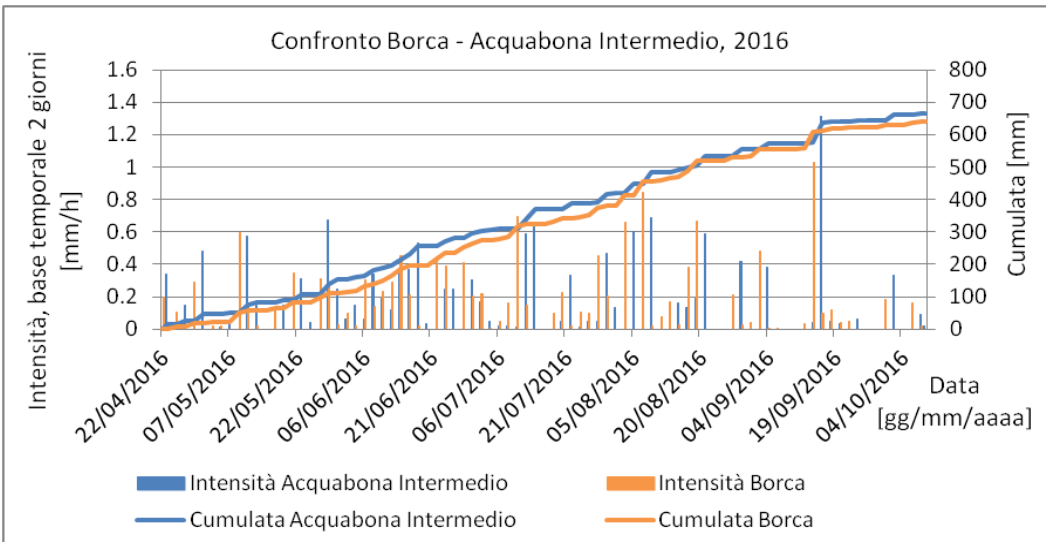
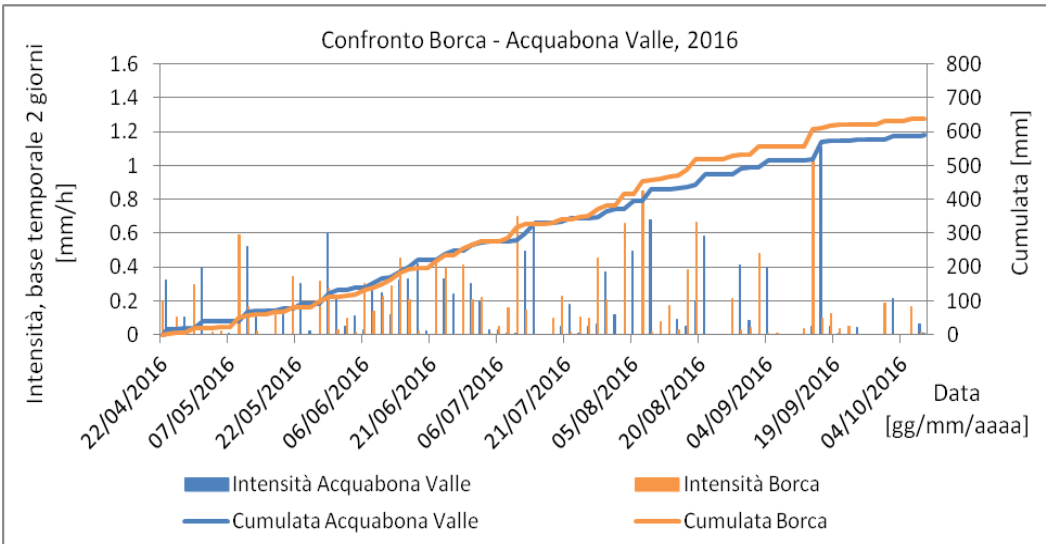
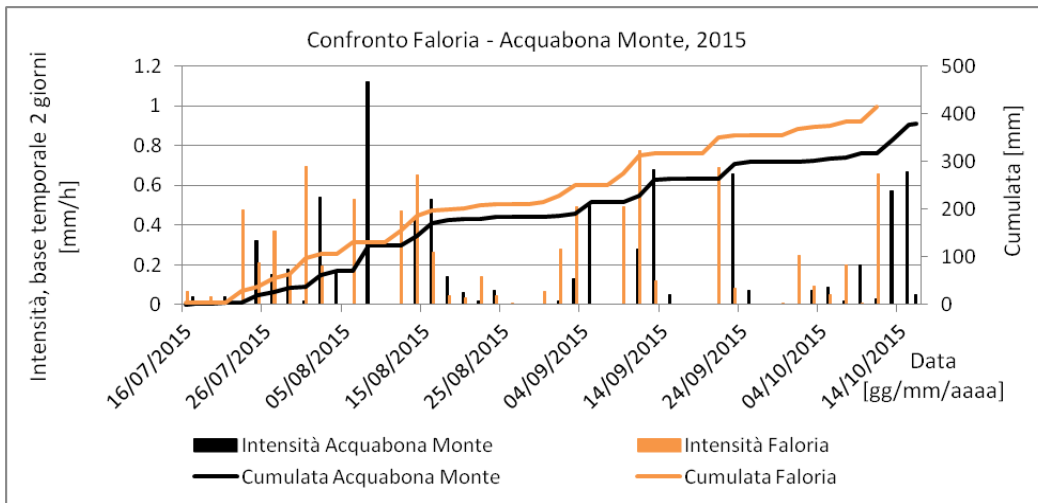
*Continua*



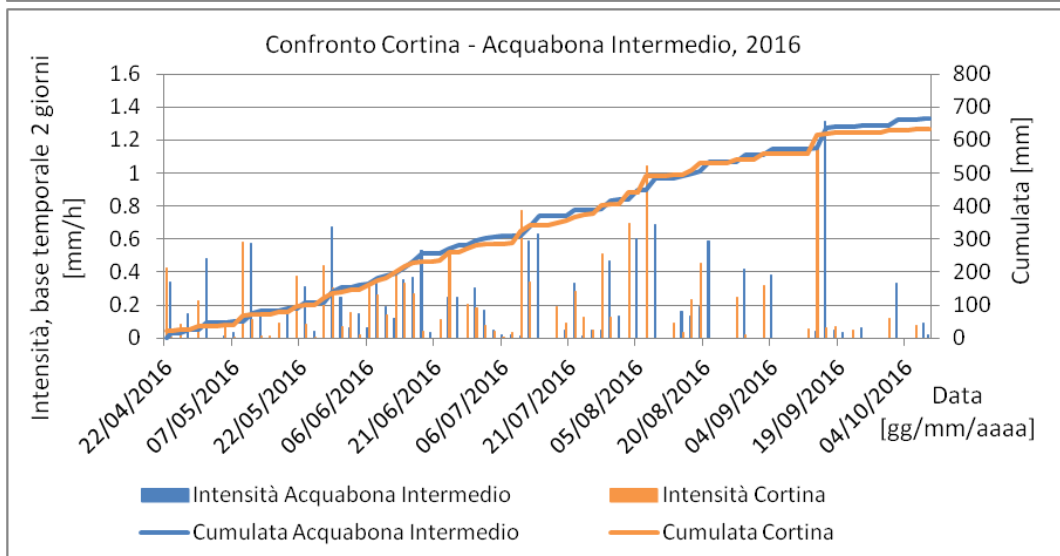
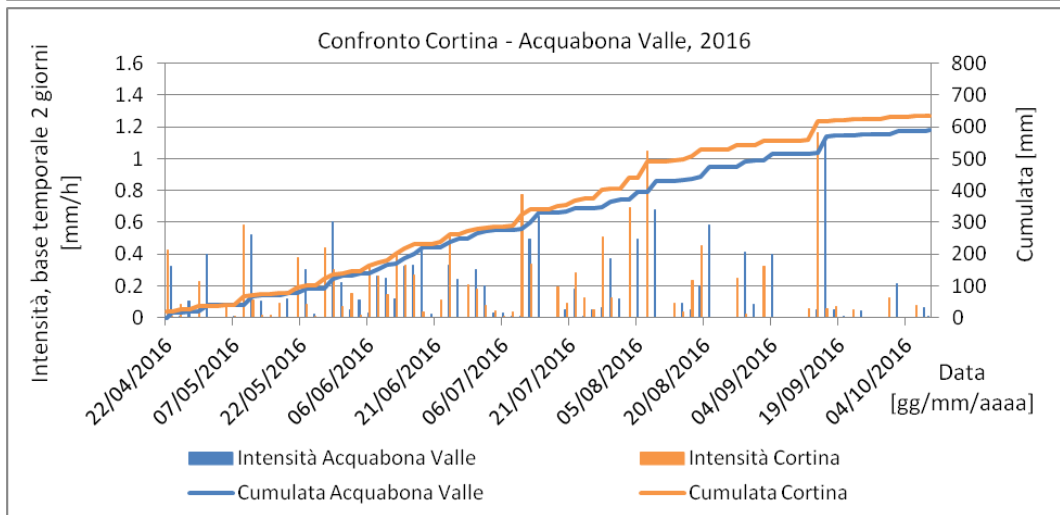
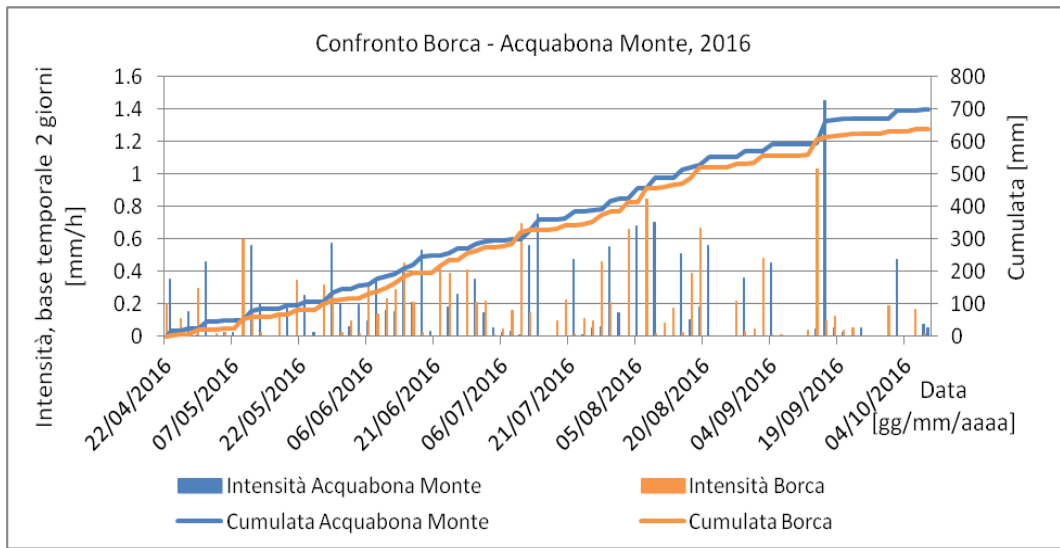
*Continua*



*Continua*

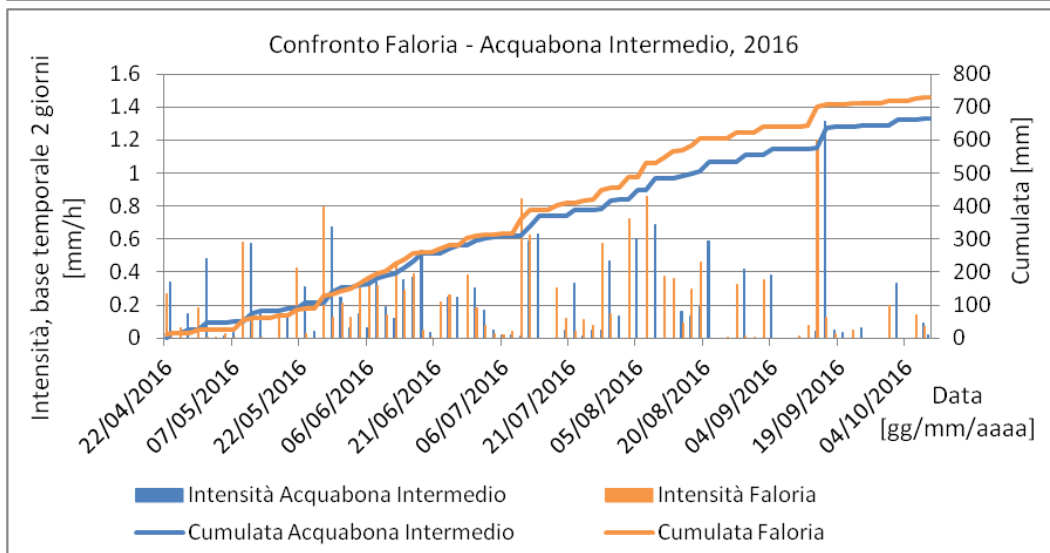
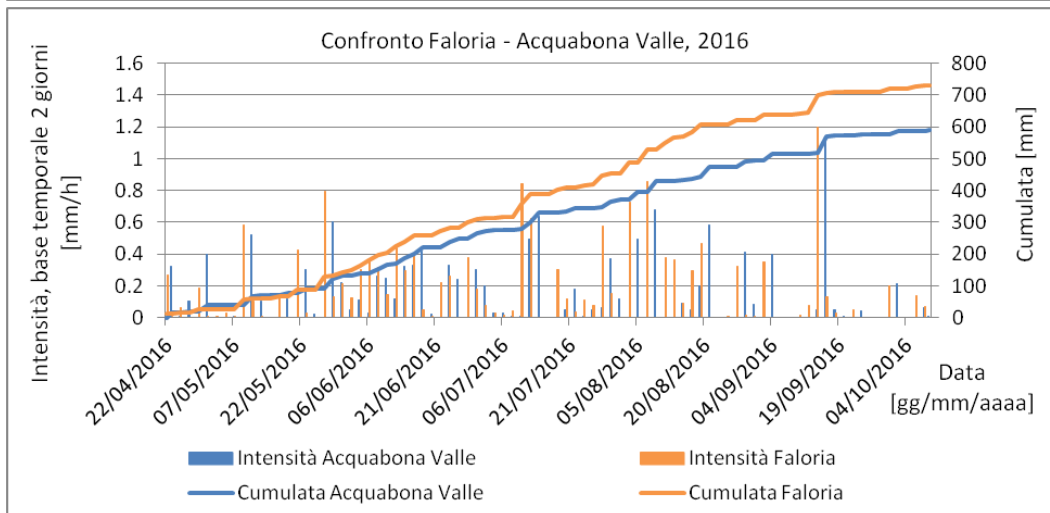
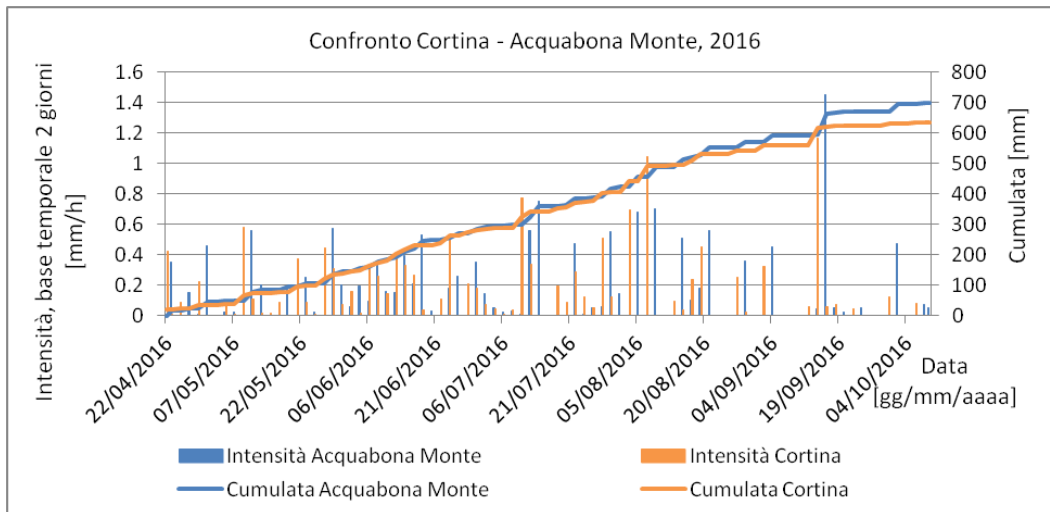


Continua

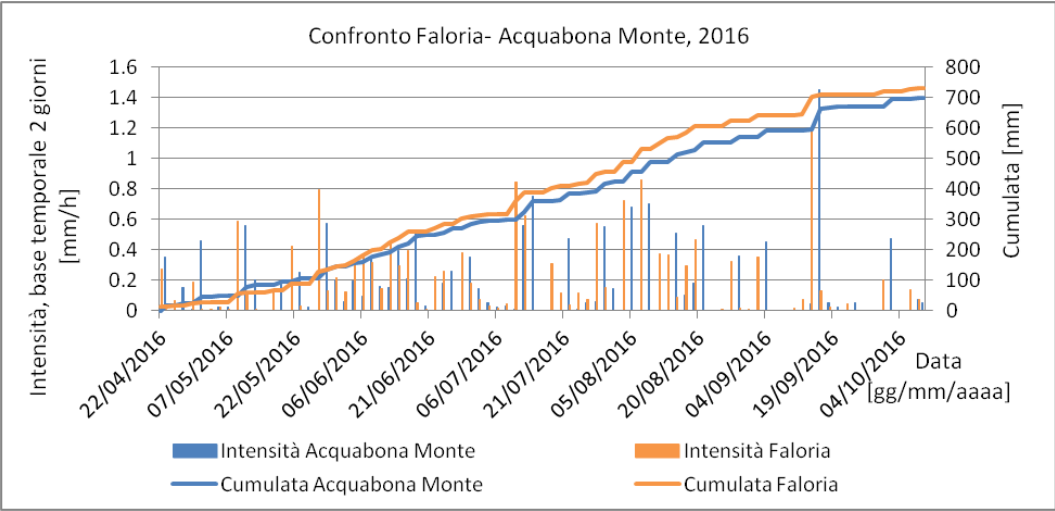


*Continua*



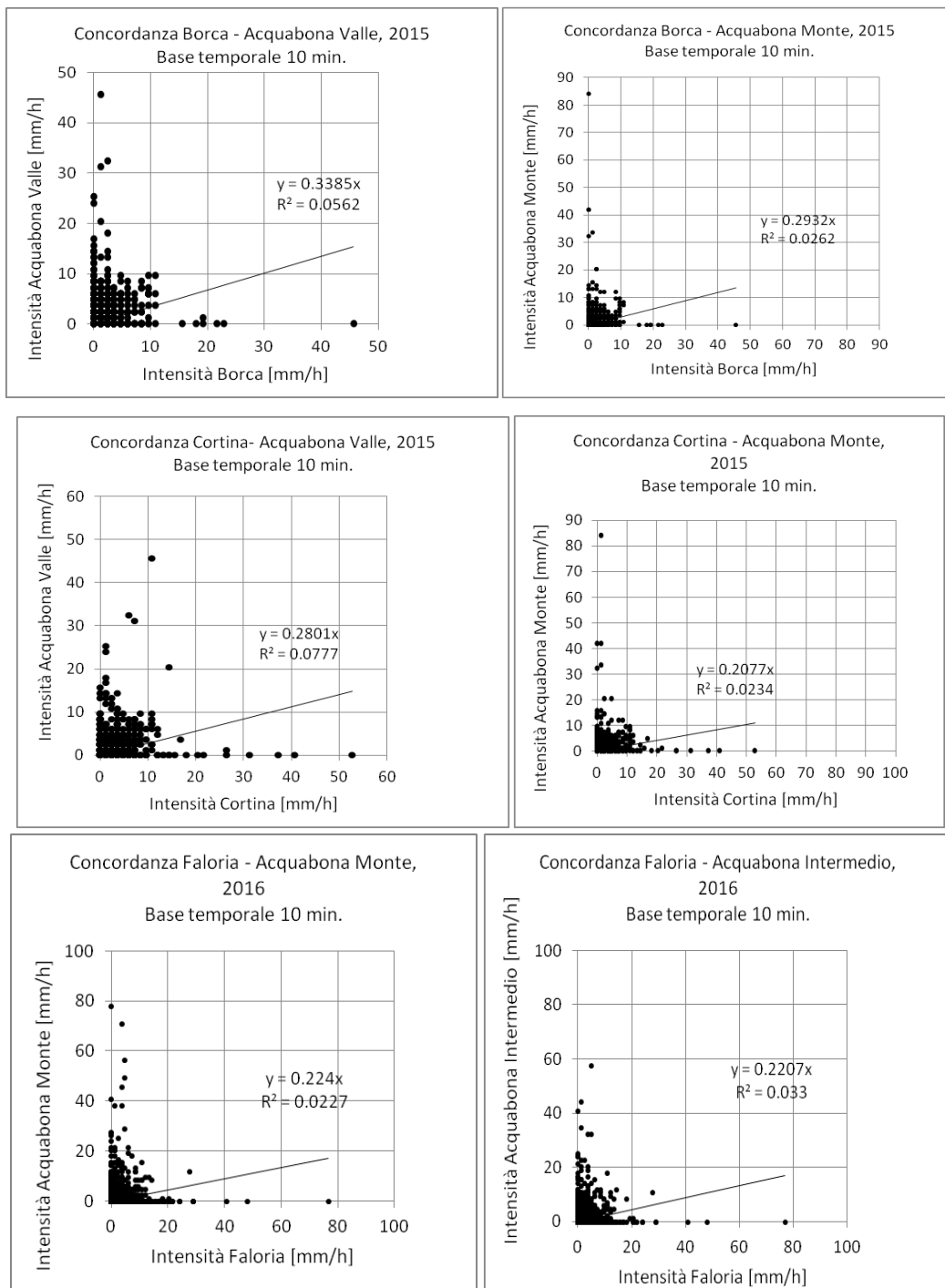


*Continua*

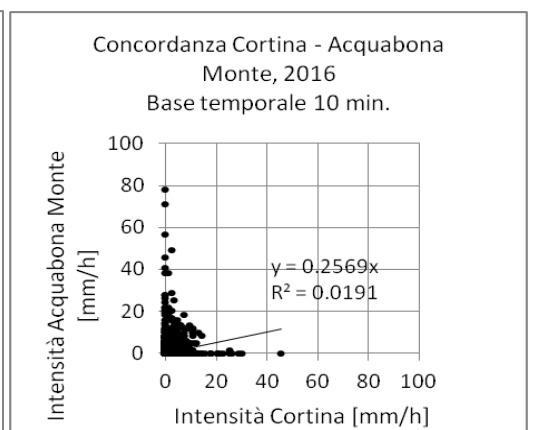
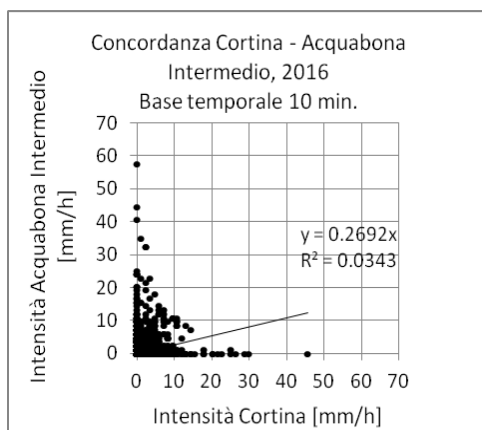
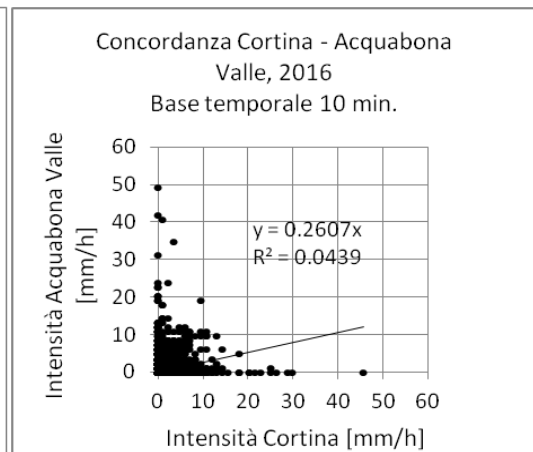
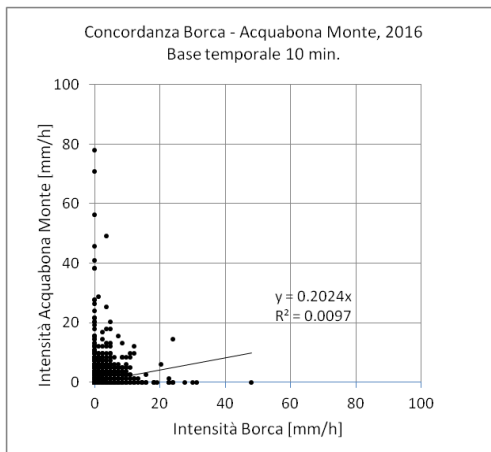
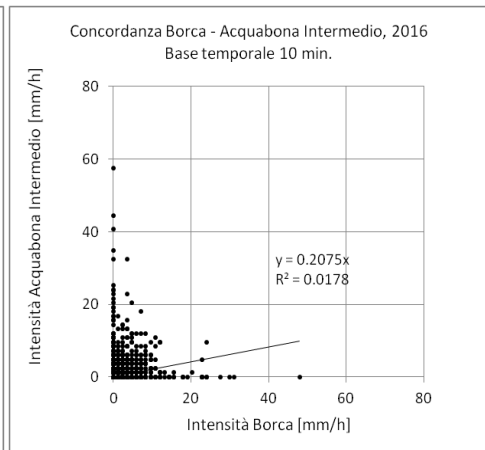
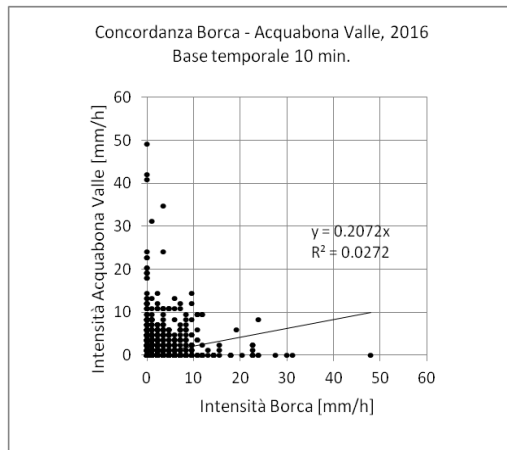


## Allegato 4

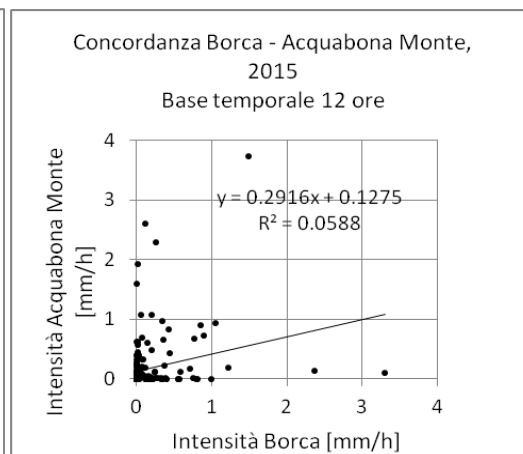
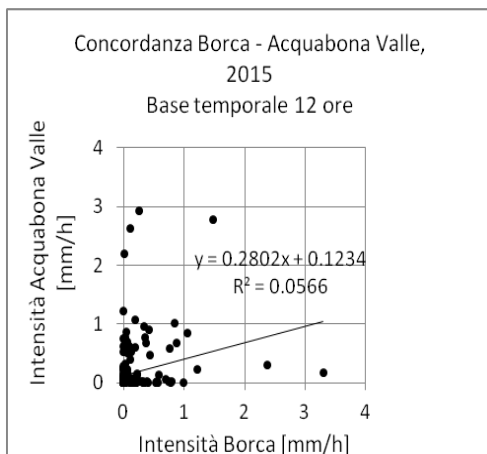
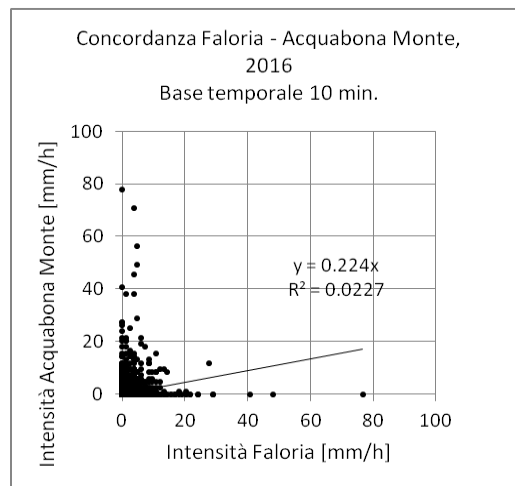
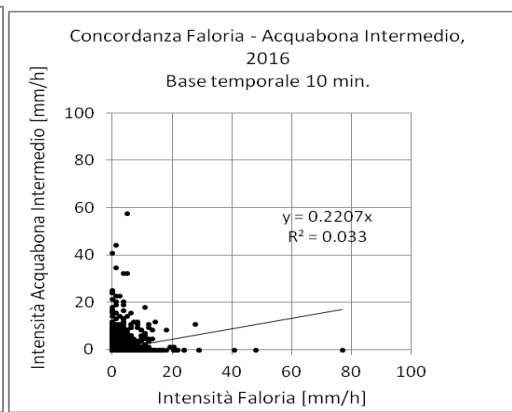
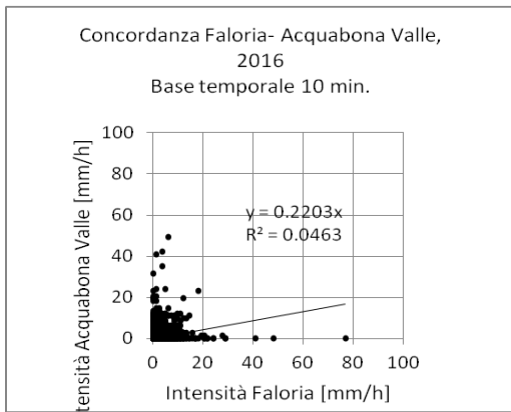
Concordanza tra le intensità delle stazioni ARPAV e quelle di Acquabona per diverse basi temporali relative agli anni 2015 e 2016.



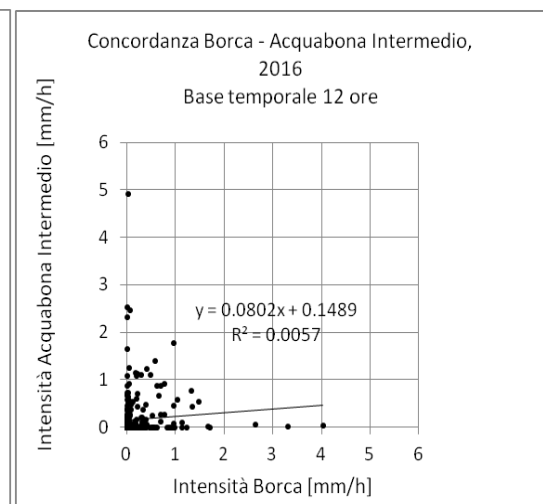
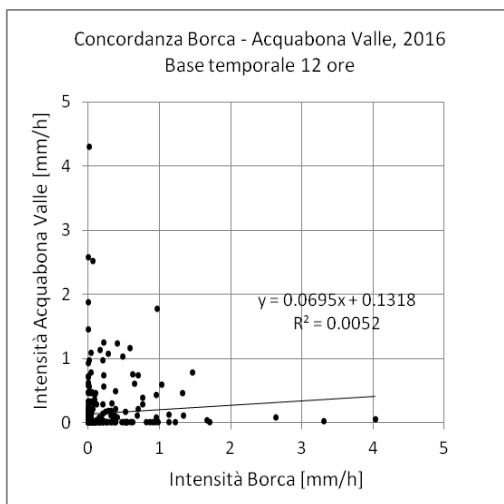
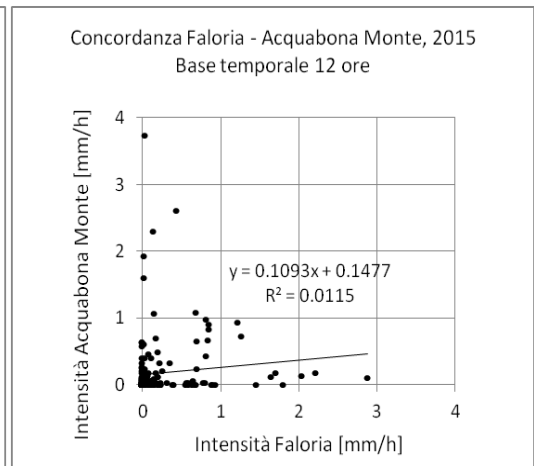
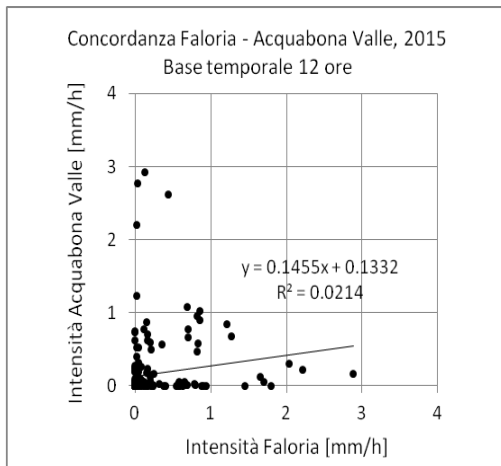
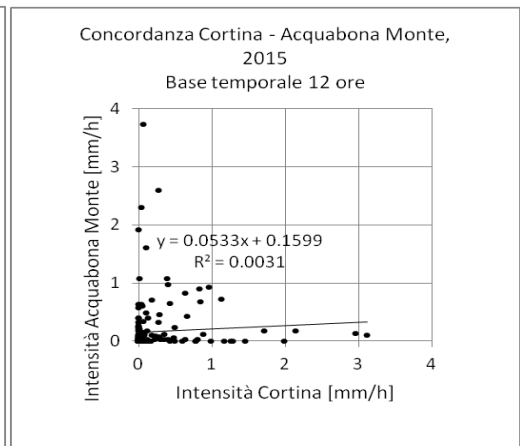
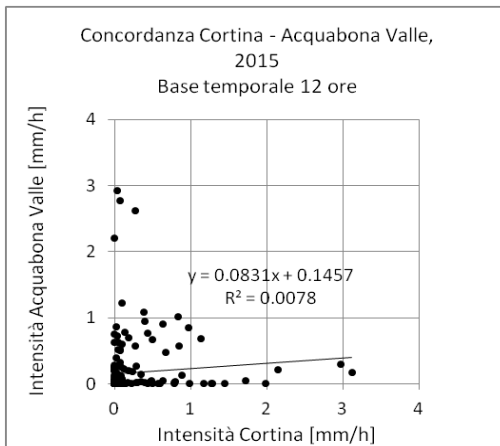
Continua



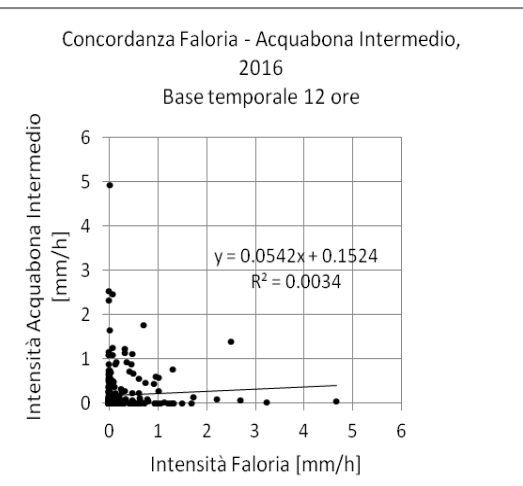
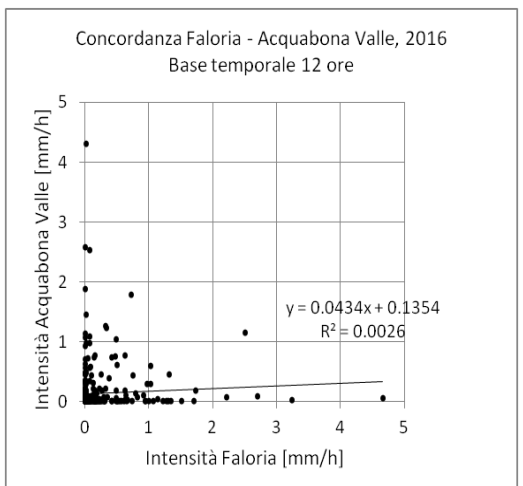
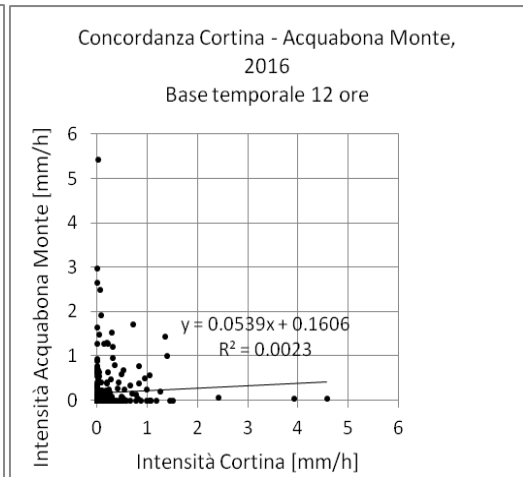
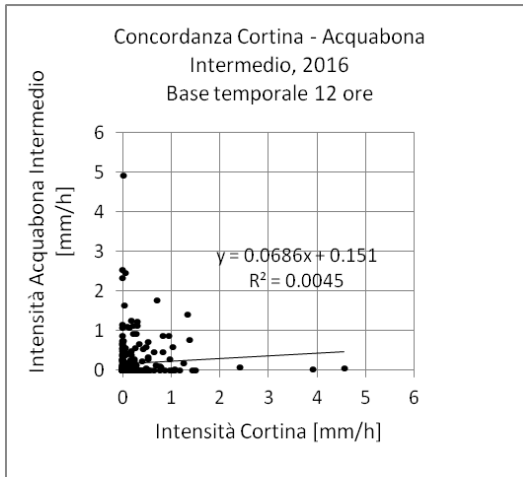
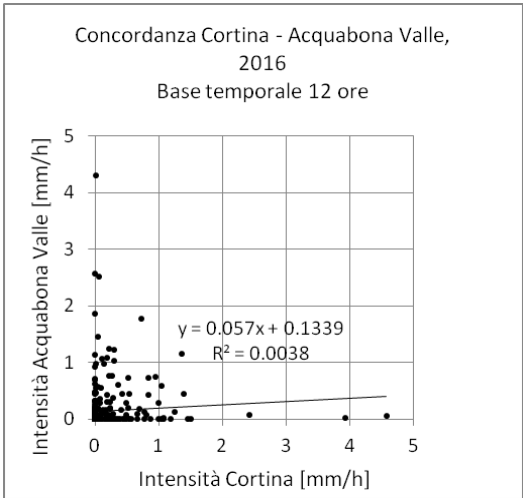
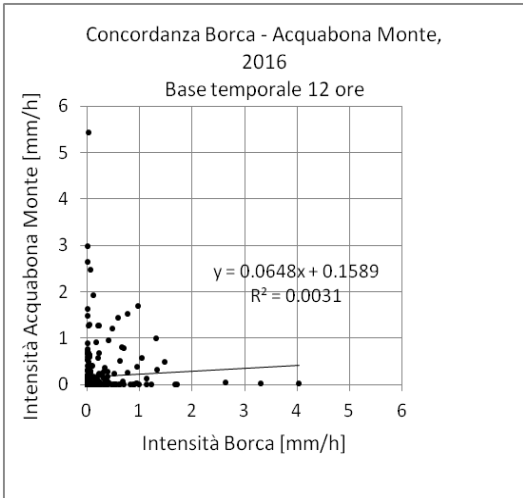
*Continua*



Continua



*Continua*



*Continua*

Concordanza Faloria - Acquabona Monte,  
2016  
Base temporale 12 ore

