



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali  
Corso di Laurea Triennale in Tutela e Riassetto del Territorio

**SIMULAZIONE DI DUE EVENTI DI PIENA NEL BACINO  
DEL TORRENTE POSINA (AUTUNNO 2010 E 2012)**

Relatore:  
Prof. Vincenzo D'Agostino  
Correlatore:  
Dott. Enrico Pozza

Laureando:  
Michele Revrenna  
Matricola:  
522596

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

## ABSTRACT

The following work concerns the hydrological behavior of Posina torrent with a simulation of flow levels in the recent meteorological events of 1<sup>st</sup> November 2010 and 11<sup>th</sup> November 2012.

The Posina basin, extended in 116 km<sup>2</sup>, is located in the mountain range of Prealpi vicentine, between Astico valley and Pasubio mountain, in the municipality of Posina, Laghi and Arsiero, in the province of Vicenza. This area belongs to large hydrographic system that contributes to the flow of Bacchiglione river.

The sink of the basin has been identified downstream the bridge of Posina torrent, along the street of Stancari, between Cimone mountain and Priaforà mountain.

This study, with the aim of simulation of two flood events, has been developed from morphometric, geological and climatic point of view, based on the data in the website of Veneto region (<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=165>).

The hydrologic simulations have been done by Adb-Toolbox software, where we have inserted the input from pluviometric data measured by ARPAV stations situated inside the area. After this, we have compared the maximum flow of hydrograms output with the real flow measured by hydrometer of Stancari station.

A preliminary study has given the hydrometric simulate values very different from real data flow. For this reason, we calibrate the input parameters to consider the karstic nature of basin; so this calibrate work get along well with the real trend registered from Stancari hydrometer and is useful in the next simulations. The calibration of hydrological model is useful to study the effect of karstic phenomenon found in the inflow and downflow model in this study.

## RIASSUNTO

In questo lavoro è stato analizzato il comportamento idrologico del torrente Posina simulando i livelli di portata conseguenti a due recenti eventi meteorologici intensi avvenuti rispettivamente il 1 Novembre 2010 e l' 11 Novembre 2012.

Il bacino del Posina, che si estende per 116 km<sup>2</sup>, è compreso nei territori dei comuni di Posina, Laghi e Arsiero in provincia di Vicenza ed è inserito nel complesso montuoso delle Prealpi vicentine, racchiuso tra la Valle dell'Astico e il massiccio del Monte Pasubio. Quest'area fa parte di un più ampio sistema idrografico che contribuisce alle portate del fiume Bacchiglione.

La sezione di chiusura è stata individuata in corrispondenza del ponte che collega le due sponde del torrente Posina, lungo la strada di località Stancari tra il Monte Cimone e il Monte Priaforà.

Lo studio del bacino, sempre finalizzato alla simulazione dei due eventi di piena, è stato affrontato dal punto di vista morfometrico, geologico e climatico attraverso l'utilizzo di strumenti GIS, a partire dai dati forniti nel geoportale della Regione Veneto (<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=165>).

Le simulazioni idrologiche sono state effettuate tramite il software AdB-Toolbox, dove sono stati inseriti valori di input derivanti dai dati pluviometrici, misurati dalla rete di stazioni ARPAV presenti all'interno dell'area. Successivamente sono state confrontate le portate al colmo degli idrogrammi in uscita con le portate "reali" rilevate dall'idrometro della stazione di Stancari. Un'analisi iniziale ha fornito valori idrometrici simulati molto discostati con quelli realmente transitati in sezione di chiusura. Pertanto è stato eseguito un lavoro di taratura dei parametri di input che possa considerare maggiormente la natura fortemente carsica del bacino e che, quindi, possa essere utile nelle successive simulazioni di idrogramma e in linea con il trend reale registrato dall'idrometro di Stancari.

Inoltre la calibrazione del modello idrologico è servita per interpretare l'effetto dei fenomeni carsici osservati nella modellazione afflussi-deflussi effettuata in questo studio.

# Indice

ABSTRACT .....	I
RIASSUNTO .....	II
Indice .....	III
Indice delle Figure .....	V
Indice delle Tabelle .....	IX
1 INTRODUZIONE.....	1
1.1 FRAGILITA' STORICA DEL SISTEMA FLUVIALE IN VENETO .....	2
1.1.1 ALLUVIONE DEL 1882.....	2
1.1.2 ALLUVIONE DEL 1966.....	3
1.2 EVENTI ALLUVIONALI OGGETTO DI STUDIO.....	3
2 LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO.....	7
2.1 RISCHIO ALLUVIONALE.....	7
2.2 L'IMPORTANZA DI RICOSTRUIRE GLI EVENTI.....	9
3 IL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POSINA.....	11
3.1 INQUADRAMENTO GENERALE.....	11
3.2 GEOLOGIA.....	14
3.3 USO DEL SUOLO.....	19
3.4 IL CLIMA.....	23
3.5 SOFTWARE GIS.....	24
3.6 PARAMETRI MORFOMETRICI.....	25
4 EVENTI METEOROLOGICI.....	35
4.1 INQUADRAMENTO METEOREOLOGICO.....	35
4.1.1 EVENTO 2010.....	35
4.1.2 EVENTO 2012.....	38
4.2 METODI DI RILIEVO PLUVIOMETRICO.....	39
4.2.1 STAZIONI PLUVIOMETRICHE.....	40
4.2.2 DATI RADAR.....	42
4.3 DATI DI PRECIPITAZIONE NEL BACINO DEL POSINA.....	44
4.3.1 PRECIPITAZIONI NOVEMBRE 2010.....	48

4.3.2	PRECIPITAZIONI NOVEMBRE 2012.....	50
5	MONITORAGGIO DEI LIVELLI IDROMETRICI NEI FIUMI VENETI.....	53
5.1	RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI IDROMETRICI DELL'ARPAV.....	54
5.2	STAZIONI IDROMETRICHE NEL BACINO DEL TORRENTE POSINA.....	55
5.2.1	PORTATA RILEVATA A STANCARI DURANTE LA PIENA DEL 2010.....	57
5.2.1	PORTATA RILEVATA A STANCARI DURANTE LA PIENA DEL 2012.....	58
6	SIMULAZIONE EVENTO CON ADB-TOOLBOX.....	59
6.1	MODELLO IDROLOGICO.....	59
6.1.1	METODO S.C.S. ....	59
6.1.2	METODO CINEMATICO.....	61
6.1.3	METODO DEL SERBATOIO LINEARE.....	64
6.2	CALCOLO CON ADB-TOOLBOX.....	66
6.3	RISULTATI PRELIMINARI.....	69
6.4	CALIBRAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO.....	71
6.4.1	RISULTATI OTTENUTI DOPO LA CALIBRAZIONE DEL "CN".....	73
6.4.2	RISULTATI OTTENUTI DOPO LA CALIBRAZIONE DEL C.E.....	78
7	DISCUSSIONE DEI RISULTATI.....	81
8	CONCLUSIONI.....	83
	BIBLIOGRAFIA.....	85
	WEBGRAFIA.....	87

## Indice delle Figure

Figura 3.1:	Inquadramento territoriale del bacino idrografico del torrente Posina.....	13
Figura 3.2:	Carta delle aree carsiche nel bacino del torrente Posina.....	17
Figura 3.3:	Carta geologica del bacino del torrente Posina (estratto della carta geologica della Provincia di Vicenza) e relativa legenda.....	18
Figura 3.4:	Uso del suolo nel bacino del torrente Posina.....	20
Figura 3.5:	Mappa dell'uso del suolo del bacino del torrente Posina.....	21
Figura 3.6:	Ortofoto del bacino del torrente Posina.....	22
Figura 3.7:	DTM(Digital Terrain Model) diviso per fasce di quota del bacino del torrente Posina.....	27
Figura 3.8:	Reticolo idrografico del bacino del torrente Posina.....	28
Figura 3.9:	Carta delle pendenze del bacino del torrente Posina.....	29
Figura 3.10:	Curva ipsometrica del bacino del torrente Posina a Stancari.....	31
Figura 3.11:	Curva ipsometrica adimensionale del bacino del torrente Posina a Stancari.....	31
Figura 3.12:	Istogramma delle distribuzioni delle aree per fasce di quota.....	33
Figura 3.13:	Istogramma della distribuzione delle pendenze.....	33
Figura 4.1:	Carte della Regione Veneto con le isoiete relative all'evento del 31 Ottobre, 1 e 2 Novembre 2010.....	37
Figura 4.2:	Carta della Regione Veneto con le isoiete relative alle precipitazioni cumulate di domenica 11 Novembre del 2012.....	38
Figura 4.3:	Rete di rilevamento meteorologico ARPAV.....	40
Figura 4.4:	Schematizzazione di una stazione meteorologica.....	42

Figura 4.5: Stazione radar di Concordia Sagittaria ed esempi di immagine radar (ARPAV).....	43
Figura 4.6: Stazioni di rilevamento pluviometrico nel bacino del torrente Posina.....	45
Figura 4.7: Aree di competenza delle varie stazioni pluviometriche, secondo il metodo dei poligoni di Thiessen, nel bacino del torrente Posina.....	47
Figura 4.8: Pluviogramma spazializzato sul bacino del torrente Posina, durante l'evento del Novembre 2010, secondo il metodo grafico dei poligoni di Thiessen.....	48
Figura 4.9: Pluviogrammi rilevati durante l'evento del Novembre 2010 dalle stazioni di Castana (Arsiero), Contra Doppio (Posina) e Molini (Laghi).....	49
Figura 4.10: Pluviogramma spazializzato sul bacino del torrente Posina, durante l'evento del Novembre 2012, secondo il metodo grafico dei poligoni di Thiessen.....	50
Figura 4.11: Pluviogrammi rilevati durante l'evento del Novembre 2012 dalle stazioni di Castana(Arsiero), Contra Doppio(Posina) e Molini (Laghi).....	51
Figura 5.1: Stazioni di rilievo idrometrico nel bacino del torrente Posina.....	56
Figura 5.2: Idrogramma rilevato durante l'evento del Novembre 2010 dall'idrometro di Stancari.....	57
Figura 5.3: Idrogramma rilevato durante l'evento del Novembre 2012 all'idrometro di Stancari.....	58
Figura 6.1: Schema di calcolo dell'idrogramma di piena con il metodo cinematico (D'Agostino , V Anno Accademico 2005-2006).....	63
Figura 6.2: Maschera principale per inserimento dati della funzione Idrogramma di AdB-Toolbox.....	68

Figura 6.3:	Maschera "Parametri Avanzati" per l'inserimento dati della funzione Idrogramma di AdB-Toolbox.....	68
Figura 6.4:	Risultati della simulazione " <b>A2010</b> " con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010.....	69
Figura 6.5	Risultati della simulazione " <b>A2012</b> " con AdB-Toolbox per l'alluvione del Novembre 2012.....	70
Figura 6.6	Idrogrammi rilevati e simulati relativi all'evento di piena del 2 Ottobre 1992 nel bacino del torrente Posina ( <i>Crespi et al, 1994</i> ).....	72
Figura 6.7	Risultati della simulazione " <b>B2010</b> " (CN=25) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	73
Figura 6.8	Risultati della simulazione " <b>C2010</b> " (CN=20) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	73
Figura 6.9	Risultati della simulazione " <b>D2010</b> " (CN=10) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	74
Figura 6.10	Risultati della simulazione " <b>E2010</b> " (CN=15) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	74
Figura 6.11	Risultati della simulazione " <b>F2010</b> " (CN=12) con AdB-Toolbox per l' evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	74
Figura 6.12	Risultati della simulazione " <b>B2012</b> " (CN=25) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	75
Figura 6.13	Risultati della simulazione " <b>C2012</b> " (CN=20) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	75
Figura 6.14	Risultati della simulazione " <b>D2012</b> " (CN=10) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	76

Figura 6.15	Risultati della simulazione “ <b>E2012</b> ” (CN=15) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	76
Figura 6.16	Risultati della simulazione “ <b>F2012</b> ” (CN=12) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	76
Figura 6.17	Risultati della simulazione “ <b>G2012</b> ” (CN=13) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	77
Figura 6.18	Risultati della simulazione “ <b>G2010</b> ” (CN=12 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	78
Figura 6.19	Risultati della simulazione “ <b>H2010</b> ” (CN=10 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	79
Figura 6.20	Risultati della simulazione “ <b>H2012</b> ” (CN=12 e C.E.= 1,3) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	79
Figura 6.21	Risultati della simulazione “ <b>I2012</b> ” (CN=12 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.....	80

## Indice delle Tabelle

Tabella 3.1	Caratteristiche morfologiche del bacino del torrente Posina.....	25
Tabella 4.1	Ubicazione delle stazioni meteorologiche ARPAV nel bacino del torrente Posina.....	44
Tabella 5.1	Ubicazione delle stazioni idrometriche ARPAV nel bacino del torrente Posina.....	55
Tabella 5.2	Dati caratteristici della piena del Novembre 2010 all'idrometro di Stancari.....	57
Tabella 5.3	Dati caratteristici della piena del Novembre 2012 all'idrometro di Stancari.....	58
Tabella 6.1	Dati di input della simulazione <b>A2010</b> .....	69
Tabella 6.2	Dati di input della simulazione <b>A2012</b> .....	70
Tabella 6.3	Dati relativi all'evento di piena del 2 Ottobre 1992 nel bacino del torrente Posina( <i>Crespi et al, 1994</i> ).....	72
Tabella 6.4	Dati input delle simulazioni da <b>B2010</b> a <b>F2010</b> e da <b>B2012</b> a <b>G2012</b> .....	73
Tabella 6.5	Differenza tra idrogramma reale e simulato con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	75
Tabella 6.6	Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina....	77
Tabella 6.7	Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN e del C.E. con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	79
Tabella 6.8	Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN e del C.E. con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.....	80

Tabella 7.1	Criteri di valutazione secondo Moriasi e collaboratori (2007) dei valori di efficienza E di Nash-Sutcliffe.....	82
-------------	---	----

# 1 INTRODUZIONE

Da quando l'uomo è apparso sulla terra, è stato coinvolto nel difficile rapporto con l'ambiente e la natura, beneficiando degli aspetti positivi e difendendosi da quelli negativi, talvolta addirittura catastrofici che hanno condizionato l'ambiente e messo a rischio la sua vita.

Troppo spesso, in tempi recenti, gli eventi verificatisi nel nostro territorio, hanno riportato all'attenzione dell'opinione pubblica le problematiche legate ad una scarsa protezione idraulica del territorio, spesso ignorata per lasciar spazio ad un'urbanizzazione mal pianificata, ma economicamente più remunerativa nel breve periodo.

Facilmente riscontrabile nel nostro territorio è infatti il verificarsi di espansioni edilizie in aree di naturale pertinenza fluviale o comunque a rischio di esondazione, fenomeno che evidenzia la mancanza di una cultura ambientale necessaria per la gestione delle repentine trasformazioni territoriali. Contemporaneamente, si devono considerare gli effetti che derivano dall'abbandono di vaste aree montane dove l'attività primaria garantiva una diffusa e continua manutenzione dei reticoli idrografici minori e dei versanti con il conseguente aumento della possibilità di innesco di gravi e progressivi fenomeni di alterazione.

Appare evidente che ogni politica urbanistica che riguardi la realizzazione di nuove espansioni edilizie e l'intensificazione delle aree già edificate, debba essere condizionata da una preventiva individuazione delle aree da tutelare e quindi da escludere per la loro fragilità, e di quelle caratterizzate da un maggior grado di sicurezza sulla base di una esatta determinazione del grado di vulnerabilità e di pericolosità.

A tal proposito in questo settore non mancano né leggi, né strumenti specifici (tra i quali piani di bacino, vincoli forestali idrogeologici, piani paesistici e piani territoriali provinciali), che però sono resi inefficaci da periodici condoni edilizi e sanatorie.

A causa o per merito degli eventi, che sempre più spesso evidenziano la fragilità idrogeologica del nostro territorio, è sempre più forte la presa di posizione dell'opinione pubblica, costretta a subire oggi le conseguenze attribuibili ad una gestione del territorio che nel passato non ha tenuto in considerazione molti aspetti fondamentali in fase di pianificazione.

Necessità comune è oggi quella di sviluppare una sensibilità relativa ad un modello di sviluppo di tipo sostenibile, nel tentativo di coniugare gli interessi dell'ambiente con quelli antropici e della difesa idraulica dei territori in cui l'uomo si è insediato, vive e lavora.

## 1.1 FRAGILITA' STORICA DEL SISTEMA FLUVIALE IN VENETO

Gli eventi di piena eccezionale che si sono verificati nel Novembre 2010, Novembre 2012 e Febbraio 2014 in Veneto, hanno messo in luce le gravi carenze dell'intero sistema idraulico.

Questo territorio non è nuovo a fenomeni di tale portata, infatti storicamente possiamo ricordare due grandi piene nel 1882 e nel 1966, in cui si sono verificate tracimazioni e rotture arginali.

### 1.1.1 L'ALLUVIONE DEL 1882

L'evento di piena del Settembre 1882 provocò gravi danni nel bacino del Brenta, sia nel tratto montano, fino a Bassano, che nel tratto in pianura dove si verificarono i danni maggiori per l'altezza raggiunta dai livelli idrici e per la durata dell'intumescenza.

In particolare in provincia di Padova si ebbero due rotte: una a Limena in sponda destra che provocò l'allagamento di circa 2000 ettari di campagna e l'altra a Boion con l'inondazione di circa 13000 ettari. Crollò il ponte di Curtarolo, vennero danneggiati i due ponti a Ponte di Brenta e fu gravemente lesionata la briglia di Strá. Furono allagate anche le zone più depresse della città di Padova.

L'esondazione del Bacchiglione e dei suoi affluenti, infine, provocò l'allagamento della città di Vicenza e di vaste zone di pianura situate a settentrione, fino a Thiene. A sud di Vicenza, invece, venne allagata la fascia di pianura compresa tra Marola e Cervarese S. Croce.

L'Agno-Guá allagò la valle di Recoaro e ruppe a Serego, inondando circa 17000 ettari di campagna. Altre rotte di minore gravità si verificarono a Bagnolo, a Zimella ed a valle di Caselle. Si verificarono alcuni straripamenti ad opera dei torrenti Astico e Leogra (PAI 2007).

### 1.1.2 ALLUVIONE DEL 1966

Nel Novembre del 1966 il fiume Brenta lungo il medio corso tra Bassano del Grappa e Fontaniva, sommerse le aree golenali interessando più a Sud, al restringersi dell'alveo, aree

sempre maggiori. A Nord di Padova particolarmente colpiti furono i comuni di Piazzola sul Brenta, Campo S. Martino, Curtarolo e Limena dove si verificò , in località Tavo, una rotta arginale in destra. Furono estese le aree allagate anche a sud di Padova. Il territorio compreso tra i fiumi Piovego, Brenta e Bacchiglione fu quasi integralmente sommerso a causa di tracimazioni e rotte arginali che si verificarono lungo i canali Battaglia, Piovego e Roncajette, e lungo il Brenta a Codevigo.

Il Bacchiglione ed alcuni dei suoi principali affluenti provocarono l'allagamento di vaste aree del territorio vicentino. In particolare il Retrone e l'Astichello, impossibilitati a scaricare nel Bacchiglione, per gli elevati livelli idrometrici del fiume , superarono gli argini esondando nella parte Ovest e Nord della città di Vicenza. Il Bacchiglione in località Cresole e Vivaro causò una rotta arginale di circa 150 m ed il crollo di due ponti. Il Tesina, invece, ruppe gli argini in sinistra, a Bolzano Vicentino ed a Marola, causando l'inondazione dei territori dei comuni ad Est ed a Nord-Ovest di Padova. Lungo il tratto di pianura del Guá vennero infine allagate aree di limitata estensione a sud di Montebello Vicentino, in località S. Giustina. Gli allagamenti furono dovuti all'impossibilità di caricare ulteriormente il bacino di espansione di Montebello, che si rivelò comunque di grande utilità nella attenuazione dei livelli di piena.

L'alluvione eccezionale del 1966 fu provocata dal verificarsi contemporaneo di precipitazioni intense ed alta marea dopo un lungo periodo di piogge continue.

Le precipitazioni, che si riversarono praticamente su tutto il territorio dei bacini dei fiumi Brenta e Bacchiglione durante il mese di Ottobre, determinarono la saturazione dei terreni, l'innalzamento della falda freatica e caricarono la rete idrografica capillare.

Nei primi giorni di Novembre le intense precipitazioni, che si riversarono negli stessi bacini, trovarono il terreno già saturo e non in grado di allontanare velocemente il surplus di deflusso, incrementato dal contemporaneo scioglimento delle nevi, precocemente cadute, da parte del vento di Scirocco (PAI 2007).

## 1.2 EVENTI DI PIENA OGGETTO DI STUDIO

Dal 31 Ottobre al 2 Novembre 2010, la storia si ripete: la persistenza delle precipitazioni in Veneto ha scatenato un evento meteorologico molto intenso, tale da essere collocato tra i più gravi degli ultimi 50 anni. L'alluvione, oltre che da una serie di concause analoghe a quelle del 1966, é stata originata da una perturbazione atlantica spintasi fino alle coste

africane dove ha convogliato un intenso e persistente flusso di correnti sciroccali caldo-umide. Questo ha determinato precipitazioni sparse in tutta la Regione, con quantitativi estremi sulle zone prealpine e pedemontane. Un altro fattore cruciale nell'apportare grandi quantità di acqua nei bacini fluviali della zona, è stato l'importante afflusso di aria calda in quota. Tale fenomeno ha causato la caduta di precipitazioni allo stato liquido anche laddove si era già accumulato in precedenza un discreto quantitativo di neve, causandone lo scioglimento.

Di fronte alla persistenza dei venti di Scirocco, sia sulla costa che in quota, allo scioglimento della neve persistente in montagna, la cui acqua è andata ad aggiungersi a quella meteorica, si sono manifestate una serie di situazioni di dissesto idrogeologico delineando un quadro di profonda sofferenza idraulica.

Per quanto riguarda l'analisi delle piogge e dei livelli idrometrici registrati, l'evento del 2010 ha principalmente interessato i bacini del Leogra e del Posina ed in misura assai minore i bacini dell'Assa-Ghelpac (Altopiano di Asiago) e dell'alto Astico (Folgaria, Lavarone, Tonezza).

In particolare, durante quei giorni, la pioggia cumulata nell' Altopiano di Asiago è stata all'incirca la metà di quella del 1966, mentre nel bacino del Leogra (Stazione Valli del Pasubio) la precipitazione è stata quasi doppia rispetto a quell'evento.

In quel periodo il territorio vicentino prima e quello padovano poi, sono stati interessati da una piena del Bacchiglione. Le portate di questo fiume, generate nel bacino montano, una volta propagatesi nei tratti vallivi sono state incrementate dai contributi dei bacini dell'alta pianura. Questo ha provocato tracimazioni e rotture arginali sia nel vicentino (nel comune di Caldogno e nel centro storico di Vicenza) sia nel padovano (in località Roncajette nel comune di Ponte San Nicolò) causando l'allagamento di estese porzioni di territorio. Le incessanti ed eccezionali precipitazioni, hanno infatti causato l'apporto di ingenti volumi d'acqua all'interno dell'asta principale del fiume Bacchiglione, il quale non è stato in grado di contenere l'ondata di piena.

A soli due anni di distanza dai disastrosi fenomeni alluvionali del 2010, un altro evento ha messo a dura prova il territorio nel Novembre del 2012. Il Veneto è stato interessato da una perturbazione tipicamente autunnale particolarmente intensa nella prima metà di domenica 11 e fino al primo pomeriggio. Si sono verificate precipitazioni diffuse e molto abbondanti (>100 mm/24h) con rovesci anche di forte intensità, sulle zone delle Dolomiti meridionali,

sulla maggior parte delle Prealpi vicentine, bellunesi e trevigiane e su parte della pedemontana trevigiana. In alcune stazioni di rilevamento pluviometrico si sono registrate anche dei massimi di precipitazione giornaliera che hanno superato i 200 mm (es. Castana-Arsiero 215 mm).

La piena del 2012, oltre che dalle abbondanti precipitazioni, è stata causata dallo scioglimento della neve in alta montagna provocato dalla marcata intensificazione dei venti di scirocco in quota e sulla pianura limitrofa (ARPAV 2012a).

Gli effetti sulla rete fluviale veneta si sono osservati sin da subito con tracimazioni che hanno interessato gli stessi corsi d'acqua già esondati nel 2010. In particolare nell'alta provincia di Padova hanno esondato i torrenti Vandura, Tergola e Muson allagando vaste aree di territorio.

A Vicenza nel centro storico il Bacchiglione ha raggiunto il livello massimo di 6 metri sfiorando la tracimazione e comunque allagando le parti più basse della città. Vista la precedente esperienza, l'attivazione tempestiva delle contromisure di protezione civile ha permesso il contenimento dei danni a cose e persone.

Infine, pare opportuno citare l'evento di piena avvenuto recentemente a febbraio del 2014 poiché si sono registrate anche questa volta tracimazioni a sud di Padova nel comune di Battaglia Terme e il transito di portate eccezionali nel fiume Bacchiglione in Comune di Bovolenta (PD) con livelli idrometrici anche superiori a quella del 1966. Tuttavia questo episodio è troppo recente per essere compiutamente descritto e preso in considerazione in questo studio.

Una considerazione sorge spontanea descrivendo questi casi: nonostante nel corso della storia si sono sempre riscontrati tali eventi nel nostro territorio la frequenza con cui questi si sono verificati risulta sicuramente insolita e preoccupante.

E' pertanto necessario approfondire i fenomeni che si sono verificati recentemente nel territorio Veneto, dando particolare attenzione alle aree montane dove la rete idrografica ha generato le ingenti portate transitate poi a valle.



## 2 LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

### 2.1 RISCHIO ALLUVIONALE

Per rischio alluvionale si intende il rischio legato alle esondazioni torrentizie e fluviali.

Nello specifico risulta opportuno operare una distinzione tra:

- rischio idrologico intrinseco: inerente al transito delle piene in una rete idrografica, quale effetto, naturale o forzato, del ciclo idrologico;
- rischio idraulico estrinseco: inerente al transito delle piene in aree antropizzate.

I fenomeni da studiare in questo contesto sono complessi poiché correlati sia alla scala spaziale sia a quella temporale e dipendenti dalle caratteristiche dei fenomeni meteorologici e climatici che caratterizzano il singolo evento.

Per comprendere al meglio fenomeni dinamici e complessi come le piene fluviali e per valutarne l'impatto, è necessario operare una sintesi tra le varie componenti del problema (climatiche, meteorologiche, idrologiche, geomorfologiche e urbanistiche) ampliando la base fisica su cui fondare la descrizione e la previsione degli stessi.

Con gli strumenti a disposizione, il processo con cui si affronta il rischio alluvionale è articolato in quattro momenti principali:

- Percezione: quale capacità di osservare i dati e prendere coscienza del verificarsi ineluttabile dei nubifragi e delle loro conseguenze al suolo, in una visione complessiva della rete idrografica e dei suoi ambiti territoriali.
- Previsione: per determinare la vulnerabilità idrologica del territorio, tramite una valutazione dinamica del rischio, in grado di fornire indicazioni sulla risposta del sistema agli interventi strutturali che si possono operare non soltanto sul reticolo locale, ma anche sull'intero complesso della rete idrografica. Questa valutazione comprende anche la risposta del sistema alle modificazioni di uso del suolo, sia a scala locale sia a scala di bacino. Si distinguono per cui:
  - modelli di natura combinata, che tengono in considerazione le problematiche legate al fattore meteorico (frequenza e intensità degli eventi estremi) e al fattore geomorfologico (propensione del terreno a favorire il ruscellamento e morfologia degli alvei).

- modelli puramente statistici, legati alla validità delle ipotesi di ergodicità e stazionarietà del sistema necessarie a risolvere i problemi inferenziali, meno adatti a risolvere un problema di natura dinamica, anche senza considerare le incertezze indotte dalla scarsa consistenza dei dati idrometrici disponibili.
- Prevenzione: consiste nell'elaborazione di interventi volti a mitigare l'esposizione al rischio.  
La prevenzione si attua con:
    - misure di natura strutturale, od opere idrauliche, che comportano una modificazione del reticolo idrografico e dei versanti;
    - misure di natura non strutturale, che abbracciano un ampio ventaglio di opzioni, volte a mitigare il rischio residuale.
- Preannuncio: consiste invece nel complesso di attività che consente di stabilire con un certo margine di anticipo il rischio legato al verificarsi di certe condizioni. In passato questo è stato l'aspetto più trascurato per la difficoltà di comunicare rapidamente le informazioni e per la scarsa organizzazione sociale che sarebbe dovuta essere la base per un efficace intervento di emergenza. Anche oggi, al ridursi delle dimensioni del bacino, la difficoltà del preannuncio cresce in maniera esponenziale, visto che lo stesso deve farsi più tempestivo. Le metodologie legate al preannuncio di una piena sono ormai oggi ben assestate e le tecnologie di teletrasmissione abbastanza consolidate, mentre il preannuncio quantitativo degli eventi di pioggia intensa, a partire dalle osservazioni di precipitazione a terra, dal monitoraggio radar e dalle immagini satellitari, è ancora molto limitato soprattutto per la grande variabilità delle precipitazioni nel tempo e nello spazio.

## 2.2 L'IMPORTANZA DI RICOSTRUIRE GLI EVENTI

Per quanto sopra detto nel capitolo 2.1 risulta evidente l'importanza della conoscenza e dello studio degli eventi di piena avvenuti nel passato, per la valutazione di situazioni pericolose e la costruzione di opere di mitigazione del rischio alluvionale.

Acquista così particolare rilevanza, ai fini della conoscenza di eventi alluvionali, l'uso di informazioni sia edite che inedite che possono essere utilmente impiegate in combinazione con altri dati quali studi geomorfologici, sedimentologici e pale-idrologici.

La documentazione storica risulta pertanto il punto di partenza per la valutazione della pericolosità di un fenomeno nel territorio considerato (*Cipolla et al, 1997; Tropeano e Turconi, 2004*). Per quanto riguarda gli eventi storici, i documenti riportano solamente la data di accadimento e qualche informazione sommaria riguardante i danni prodotti. Invece negli ultimi decenni si è cercato di fornire informazioni più precise attraverso una metodica raccolta dei dati anche quantitativi.

Fra i risultati migliori che si possono raggiungere attraverso la ricostruzione degli eventi di portate intense avvenute nel passato in bacini torrentizi, si ha: l'identificazione dei territori colpiti, la determinazione della frequenza degli eventi, il riconoscimento della tipologia dei processi (distinguendo piene con trasporto solido e colate detritiche) e la ricostruzione di dati quantitativi relativi a portate ma anche volumi e profondità d'erosione. Inoltre si può fare una valutazione dell'efficienza sia degli interventi di sistemazione presenti, sia del corretto funzionamento di modelli matematici utilizzati per i sistemi di allerta e messa in sicurezza delle zone a rischio.

Tutti i fenomeni naturali, comprese le portate intense, sono manifestazioni di processi fisici che sono considerati disastri solo nel momento in cui interessano zone antropizzate. Attualmente questo problema è da considerarsi accentuato a causa della progressiva antropizzazione delle aree montane naturalmente soggette a fenomeni potenzialmente pericolosi.

Come già detto nel capitolo 2.1, dal punto di vista spaziale possiamo distinguere due approcci: l'analisi degli eventi storici a scala regionale, utilizzati anche per elaborazioni statistiche, oppure lo studio dettagliato di un singolo bacino idrografico.

Per quanto riguarda la scala temporale invece essa può interessare un singolo evento oppure prevedere la ricostruzione di una serie storica completa degli eventi di piena.

Possono esistere altre situazioni intermedie in cui si analizza il fenomeno a scala regionale, attraverso lo studio di singoli bacini o di un solo evento che integra la conoscenza degli eventi precedenti (*Marchi et al, 2007*). Un approccio di questo tipo deve essere analizzato a seconda dell'area e del fenomeno interessato. Bisogna perciò trovare il giusto compromesso fra le combinazioni possibili in funzione della scala temporale e spaziale.

Gli eventi di piena precedentemente descritti sono stati caratterizzati da numerosi elaborati di ricostruzione e interpretazione (back-analysis).

In questa tesi sono state utilizzate le informazioni descritte dal PAI 2007 per l'evento del 1966. Altri importanti lavori di ricostruzione sono presenti anche in:

- *Dorigo (1969), analisi dei bacini idrografici del Veneto dopo l'alluvione del 1966;*
- *Tonini (1968), sull'evento del 1966 in Veneto e Friuli Venezia Giulia;*
- *Croce et al (1971), sull'analisi degli effetti della piena del 1966 sulle aree abitate del Nord-Est Italia;*

## 3 BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE POSINA

### 3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il bacino del Posina è situato a nord-ovest della provincia di Vicenza, al confine con la provincia di Trento, e fa parte del complesso montuoso delle Prealpi vicentine tra la Valle dell'Astico e il massiccio del Monte Pasubio (Figura 3.1).

Il bacino ha forma approssimativamente circolare ed è circondato dai rilievi montuosi compresi tra il passo della Borcola a nord e la Stretta degli Stancari a sud. Procedendo in senso orario, il bacino è delimitato a sud dal Monte Priaforà (1659 m s.l.m.), dal massiccio del Monte Novegno (1691 m s.l.m. a M. Rivon) e dal crinale Colletto di Posina (1057 m s.l.m.)- Monte Alba (1230 m s.l.m.)- Passo Xomo (1058 m s.l.m.).

A occidente lo spartiacque corre lungo il massiccio del Monte Pasubio (2232 m s.l.m. a Cima Palon), scende al Passo della Borcola (1200 m s.l.m.) e risale al Monte Maggio (1853 m s.l.m.) per giungere così a Passo Coe (1616 m s.l.m.). Da Passo Coe lo spartiacque vira decisamente a est per salire a Costa d'Agra (1820 m s.l.m.), sui monti Campomolon (1853 m s.l.m.) e Spitz di Tonezza (1694 m s.l.m.). Infine a oriente il bacino termina nell'altopiano di Tonezza che culmina a sud nel Monte Cimone (1226 m s.l.m.). E' proprio tra il Monte Cimone e il Monte Priaforà, nel bordo sud-orientale, che si chiude il perimetro del bacino in corrispondenza della sezione di chiusura in località Stancari a quota 385 m s.l.m. (comune di Arsiero, VI).

Il bacino del torrente Posina costituisce il sottobacino occidentale dell'Astico mentre il sottobacino orientale è rappresentato dalla Val d'Assa. Quest'ultimo sottobacino è più vasto in termini di superficie, ma convoglia minore deflusso rispetto al torrente Posina a causa della sua natura carsica. Questo rende il torrente Posina il tributario più consistente dell'Astico, nel quale confluisce a Seghe di Velo (254 m s.l.m.), poco a valle del confine comunale di Arsiero.

Il bacino del Posina comprende al suo interno i comuni di Posina, Laghi e gran parte di quello di Arsiero. Vi ricadono inoltre porzioni dei comuni di Tonezza del Cimone a nordest, Velo D'Astico a sudest, Folgaria (TN) a nordovest (Alpi di Zonta e Alpi di Melegna) e Trambileno (TN) nella zona sommitale del Pasubio.

Il torrente Posina si origina in prossimità del Passo della Borcola (1200m s.l.m.), il quale segna il confine con il Trentino e rappresenta una spaccatura tra il massiccio del Pasubio (2225 m s.l.m.) ad ovest e il monte Borcoletta (1759 m s.l.m.) ad est. Da qui il torrente scorre in direzione sud-est verso Posina. Lungo questo primo tratto gli affluenti provenienti dal fianco sinistro, quello che separa la valle del Posina da quella di Laghi, sono brevi e spesso privi d'acqua. Al contrario gli affluenti di destra originati sui versanti del Monte Pasubio (Val Caprara e Val Sorapache) sono più numerosi e consistenti. In prossimità del centro di Posina cambia la natura del terreno e la valle diventa più dolce. In questa zona gli affluenti di destra (Val del Pache, Val di Fuceneco e altri) discendenti dai versanti di Passo Xomo (1058 m s.l.m.), Monte Alba (1230 m s.l.m.), Colletto di Posina (1057 m s.l.m.) e Monte Caliano (1622 m s.l.m.), rimangono sempre più sviluppati rispetto a quelli di sinistra. Oltrepassata Posina, il torrente subisce una graduale flessione verso nord-est e continua il suo percorso fino al centro abitato di Castana dove riceve le acque della Val di Laghi.

Il sottobacino della Val di Laghi si origina in prossimità della località Molini dove, dalla confluenza di numerosi torrentelli, nasce il torrente Zara. Da località Molini il torrente Zara scende in direzione sud-est, raggiunge località Laghi e poi prosegue fino a Castana dove si immette nel Posina.

Prima di arrivare al centro di Arsiero, il torrente Posina incontra a sinistra il Rio Freddo, che è uno dei tributari principali dopo il bacino del torrente Zara. Un centinaio di metri dopo l'immissione del Rio Freddo, il torrente Posina giunge al ponte di località Stancari (385 m s.l.m.), dove è stata posta la sezione di chiusura del bacino. Superata la gola degli Stancari, scavata tra Monte Priaforà e la selletta di San Rocco, si unisce infine all'Astico.



## 3.2 GEOLOGIA

Il bacino del Posina è formato da diversi substrati geologici, alcuni molto antichi e altri più recenti.

Le rocce più antiche rinvenute in Val Posina sono le filladi quarzifere, rocce micacee metamorfiche dalla tipica struttura scistosa, localizzate in un'area limitata nel versante del Monte Alba. Queste rocce risalgono all'era Paleozoica e derivano da una remota catena montuosa che nel corso del tempo è stata erosa dagli agenti atmosferici. Le filladi fanno quindi da sostegno a tutte le altre rocce, sia vulcaniche che sedimentarie, che si sono formate successivamente nel bacino.

Sopra le filladi poggiano le arenarie di Val Gardena, rocce sedimentarie risalenti al Permiano. Questi terreni si sono originati dalla sopracitata catena paleozoica e affiorano in Val Posina in zone limitate alle pendici del Monte Alba.

Nello strato superiore alle arenarie si trovano dei suoli che risalgono all'inizio dell'era secondaria, nel periodo del Trias inferiore e medio circa 220-200 milioni di anni fa. Tali affioramenti presentano tratti tipici della genesi marina, per esempio fossili, testimoniando l'invasione del mare in questa zona alla fine del Permiano. In Val Posina queste formazioni emergono su aree un po' più vaste ma sempre circostanti alle arenarie, quindi sul monte Alba e a Nord-Est di Posina.

I terreni del Trias possono essere calcari, calcari marnosi, marne, argille e arenarie di vario genere, che in successione stratigrafica costituiscono le formazioni a Bellerophon, di Werfen, calcare di Recoaro, formazione a Trinodousa e calcare del Monte Spitz. Questi strati sono caratterizzati da una composizione disomogenea e sono soggetti a forte disgregazione con la conseguente formazione di coltri detritiche suscettibili a smottamenti e movimenti franosi.

Sempre durante il Trias, la zona fu interessata da un'intensa attività vulcanica che portò alla stratificazione di grandi ammassi di lava. Oggi questi ammassi affiorano abbondantemente in tutta la zona circostante il centro di Posina, dalla località Fusine alla località Doppio, e nel Monte Alba.

Entrambi questi due orizzonti, quello formato da calcari, marne, argille e arenarie e quello originato dalle colate laviche, sono continuamente sottoposti a processi di alterazione. Tali trasformazioni vengono accelerate dal clima umido della vallata che crea una coltre

superficiale instabile e soggetta a smottamenti. D'altra parte, questi terreni vulcanici alterati sono molto fertili e ricchi di argilla, adatti ad ospitare una vegetazione rigogliosa e quindi ampiamente sfruttati in agricoltura. Inoltre le vulcaniti rappresentano degli strati impermeabili che impediscono la dispersione e l'infiltrazione dell'acqua in profondità, determinandone la disponibilità per le piante. Le vulcaniti, insieme ai sedimenti originatisi nel Trias medio ed inferiore, contribuiscono a dare alla media Valposina un aspetto dolce dai contorni sfumati che la contraddistinguono dal resto della vallata, dove asprezza e rigidità di forme predominano.

A concludere la serie dei sedimenti del Trias vi è la dolomia principale, un insieme di strati rocciosi che si depositarono in ambiente marino durante il Trias secondario e che costituiscono l'imbasamento geologico del bacino oggetto di studio. La dolomia principale costituisce i fianchi delle incisioni vallive del bacino del Posina e, a volte, anche le cime (come a Monte Gamonda e a Monte Majo). La sua origine è legata alla presenza di alghe marine calcaree e all'enorme accumulo dei resti della loro attività organica. La dolomia principale è molto compatta e rigida, tuttavia è caratterizzata da numerose fratture e fessure derivanti da un'intensa attività carsica che caratterizza buona parte del bacino (Figura 3.2). Questa struttura facilita la penetrazione dell'acqua e l'azione demolitrice del gelo e del disgelo. Il diverso comportamento della dolomia principale, rispetto alle sottostanti vulcaniti, è la causa della brusca rottura di pendenza che si osserva spesso ai piedi delle masse dolomitiche: da pareti a picco o scoscesi versanti si passa improvvisamente a zone pianeggianti o leggermente ondulate.

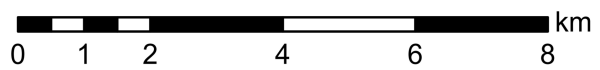
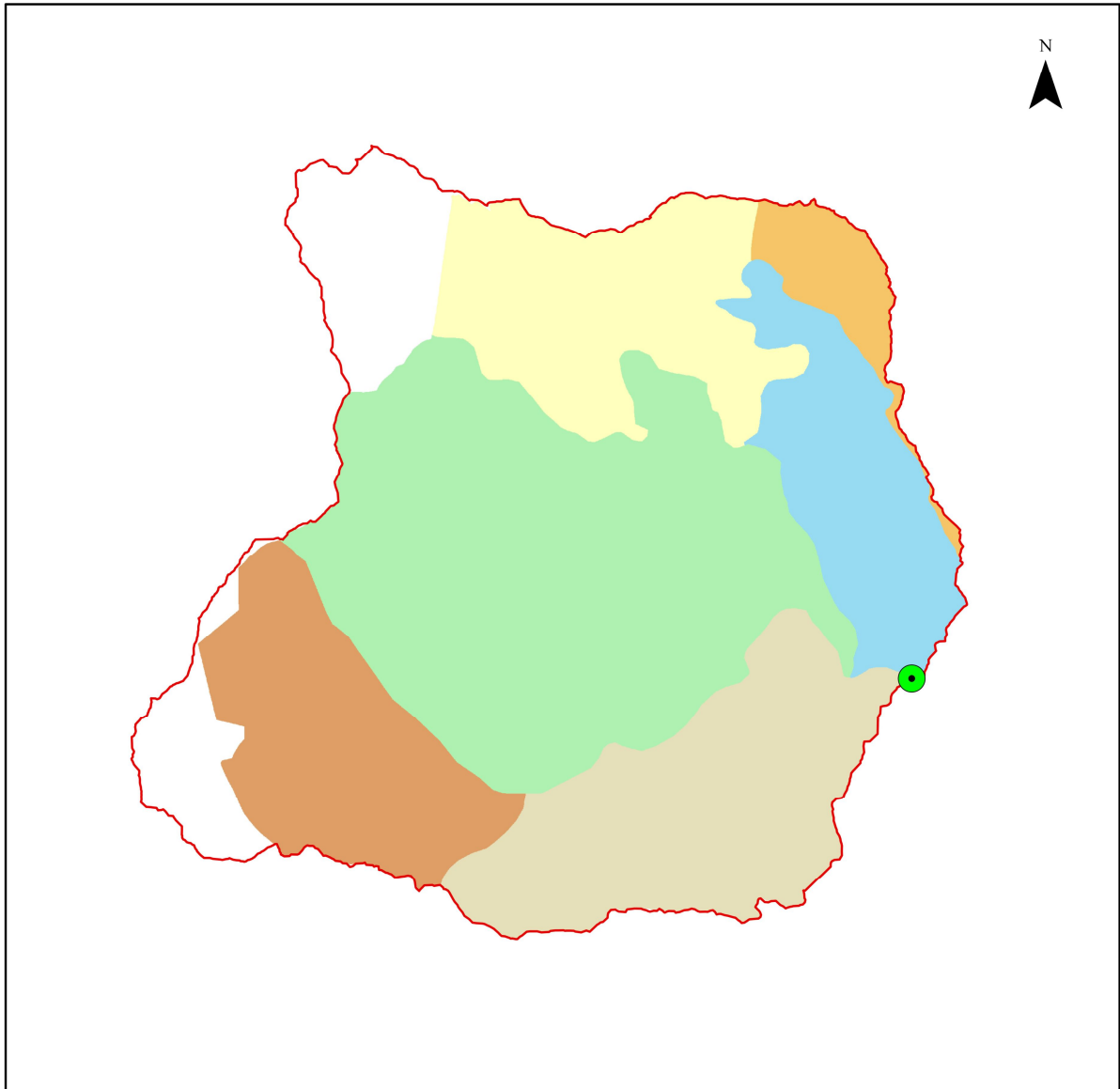
Al di sopra della dolomia principale si rinvengono altri calcari stratificati, ricchi di fossili e con presenza di fenomeni carsici, che oggi emergono solo in alcune delle vette più elevate del bacino come Monte Novegno, Monte Priaforà, Monte Pasubio, crinale Monte Maggio-Monte Majo.

Per quanto riguarda l'era Terziaria, attualmente in Val Posina si rinvengono soltanto filoni di basalto in zone limitatissime del bacino. Queste formazioni rocciose più superficiali, derivanti da un'intensa attività vulcanica, sono state sottoposte a lunghi processi di degradazione e trasportate a valle sotto forma di detriti, formando la coltre alluvionale della pianura vicentina. Questo periodo è importante perché il passaggio di magma incandescente ha modificato gli strati di contatto di dolomia, innescando processi di cristallizzazione e

mineralizzazione. Da questi strati si sono estratti preziosi marmi fin dai secoli passati. Durante quest'era si definì la morfologia che è riconoscibile attualmente.

Nell'era Quaternaria la nostra area conobbe le varie fasi delle glaciazioni. Fu quindi soggetta ad ulteriori processi erosivi che amplificarono l'effetto dell'intensa attività carsica preglaciale e concorsero all'allargamento e allo spianamento del fondovalle.

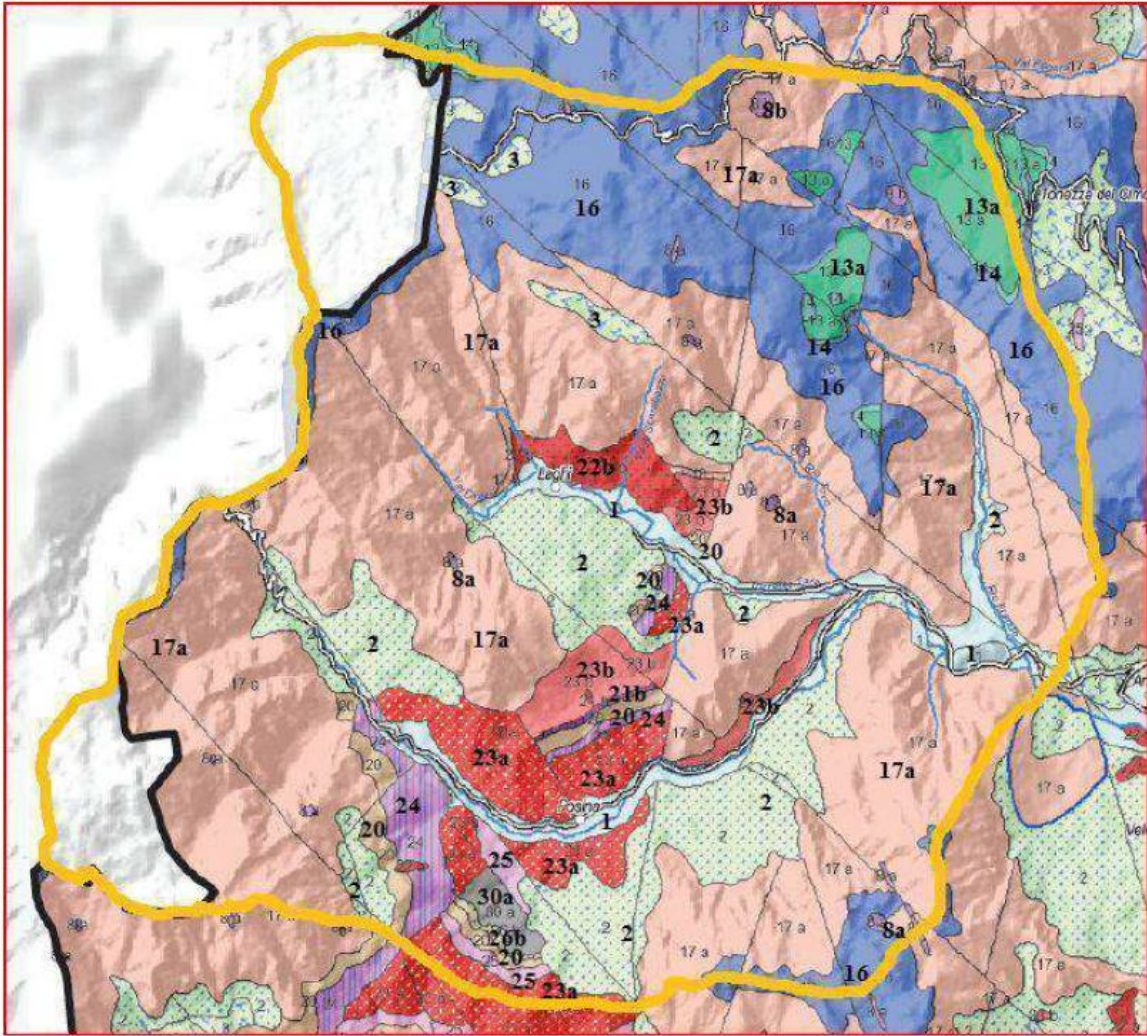
Si riporta di seguito l'estratto del bacino del Posina dalla Carta Geologica della Provincia di Vicenza (Figura 3.3).



**Legenda**

- SEZIONE DI CHIUSURA (STANCARI)
- SPARTIACQUE
- AT01 - VI (Conca di Laghi)
- AT02 - VI (Versanti Sinistra Posina - Destra Astico)
- AT03 - VI
- AT04 - VI
- MP01 - VI (Pasubio)
- MP02 - VI (Novegno - Tretto - Summano)

Figura 3.2: Carta delle aree carsiche nel bacino del torrente Posina.



Legenda	
1	Depositi alluvionali, fluvio-glaciali, lacustri e palustri - Quaternario
2	Depositi eluviali, colluviali, detritici e di falda - Quaternario
3	Depositi morenici - Quaternario
8a	Basalti di colata, filoni e camini di lava - Oligocene - Paleocene sup.
8b	taloclastiti, tufi e breccie d'esplosione - Oligocene - Paleocene sup.
13a	Calcari e calcari argillosi selciferi, con intercalazioni di calcareniti e breccie calcaree - Cretaceo - Malm
14	Calcari nodulari e selciferi, argilliti, con intercalazioni di calcareniti e breccie calcaree - Malm - Dogger
16	Calcari oolitici ed encriniti, calcari con intercalazioni marnose, dolomie - Dogger inf. - Lias sup.
17a	Dolomie - Trias sup.
20	Calcari e dolomie di piattaforma - Trias sup. - med.
21b	Arenarie, calcari, calcari selciferi e bituminosi - Trias med.
22b	Andesiti in corpi subvulcanici, colate, filoni, camini vulcanici e tufi - Trias med.
23a	Rioliti e daciti (porfiriti) in corpi subvulcanici - Trias med.
23b	Rioliti e daciti (porfiriti) in colate filoni camini vulcanici e tufi - Trias med.
24	Calcari, arenarie, conglomerati e marne - Trias med.
25	Dolomie e calcari con intercalazioni di marne, arenarie e gessi - Trias med. - inf.
26b	Arenarie, siltiti e conglomerati - Permiano sup. - med
30a	Filladi localmente fossilifere - preCarbonifero - Cambriano sup.

Figura 3.3: Carta geologica del bacino del torrente Posina (estratto della carta geologica della Provincia di Vicenza) e relativa legenda.

### 3.3 USO DEL SUOLO

Per quanto riguarda l'uso del suolo del bacino preso in esame, possiamo rilevare una scarsa presenza di realtà antropiche. Questo è reso evidente dalla bassissima densità di popolazione che si concentra nei comuni di Posina e Laghi. La quota quindi di territorio da imputare ad uso antropico è del 2% sul totale della superficie. Ciò che invece risulta evidente è che la maggior parte della superficie presa in esame è boscata con valori percentuali che superano il 78 % del totale. Infine è presente anche una parte di territorio "improduttivo non boscato e pascolo" che rappresenta il restante 20% della superficie del bacino (Figura 3.4).

Esiste una diversa distribuzione delle aree boscate in base alla fascia altimetrica di competenza. Infatti è presente una maggior superficie boscata alle quote più basse, circa dell'87% tra 385-900m s.l.m. e 84% tra 900 e 1500 m di quota, mentre nella fascia più alta (tra 1500 e 2231 m s.l.m.) la superficie forestale è pari al 37% dell'area totale. Quest'ultima bassa percentuale è da imputare a diversi fattori quali la presenza di zone improduttive e zone a pascolo e soprattutto l'effetto della quota che, com'è noto, oltre certe altitudini limita la diffusione del bosco. Dai fondovalle fino ai 700-800 m di quota, dominano boschi costituiti da carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), carpino bianco (*Carpinus betulus*), orniello (*Fraxinus ornus*), nocciolo (*Corylus avellana*) ed altre specie. Tra i 700-800 m s.l.m. e i 1300 m s.l.m. si trovano il faggio (*Fagus sylvatica*), l'acero di monte (*Acer pseudoplatanus*) e i salici (*Salix sp.pl.*). Oltre i 1300 m s.l.m., specialmente nella parte nordovest del bacino, è presente l'abete rosso (*Picea abies*) e il larice (*Larix decidua*).

La percentuale di area boscata è storicamente in aumento negli ultimi 50 anni anche se ormai si sta raggiungendo il valore di massima espansione considerando i fattori climatici e di altitudine .

Queste informazioni sull'uso del suolo nel bacino del Posina sono il frutto di una rielaborazione, attraverso un software GIS, dei dati raccolti e messi a disposizione dalla Regione Veneto e dalla Provincia di Trento attraverso i loro rispettivi Geoportali (<http://www.protezionecivile.tn.it> e <http://www.pcn.minambiente.it>). Inoltre sono state estrapolate delle cartografie che rappresentano in modo significativo le basi del nostro lavoro di studio (Figura 3.5 e 3.6).

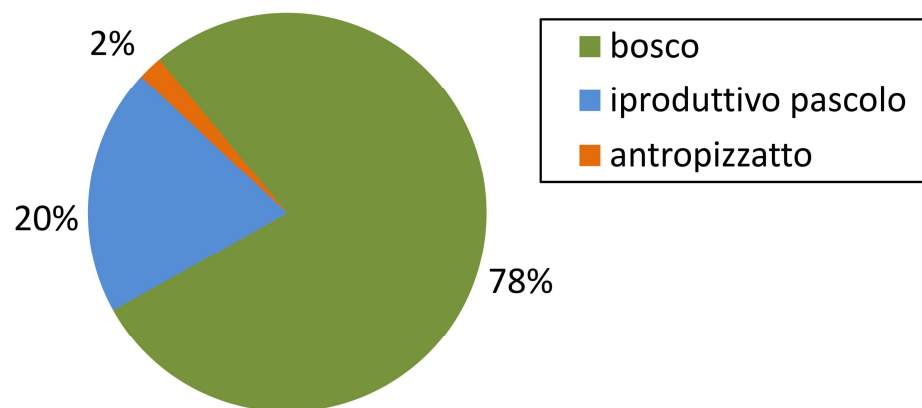
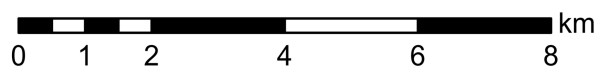
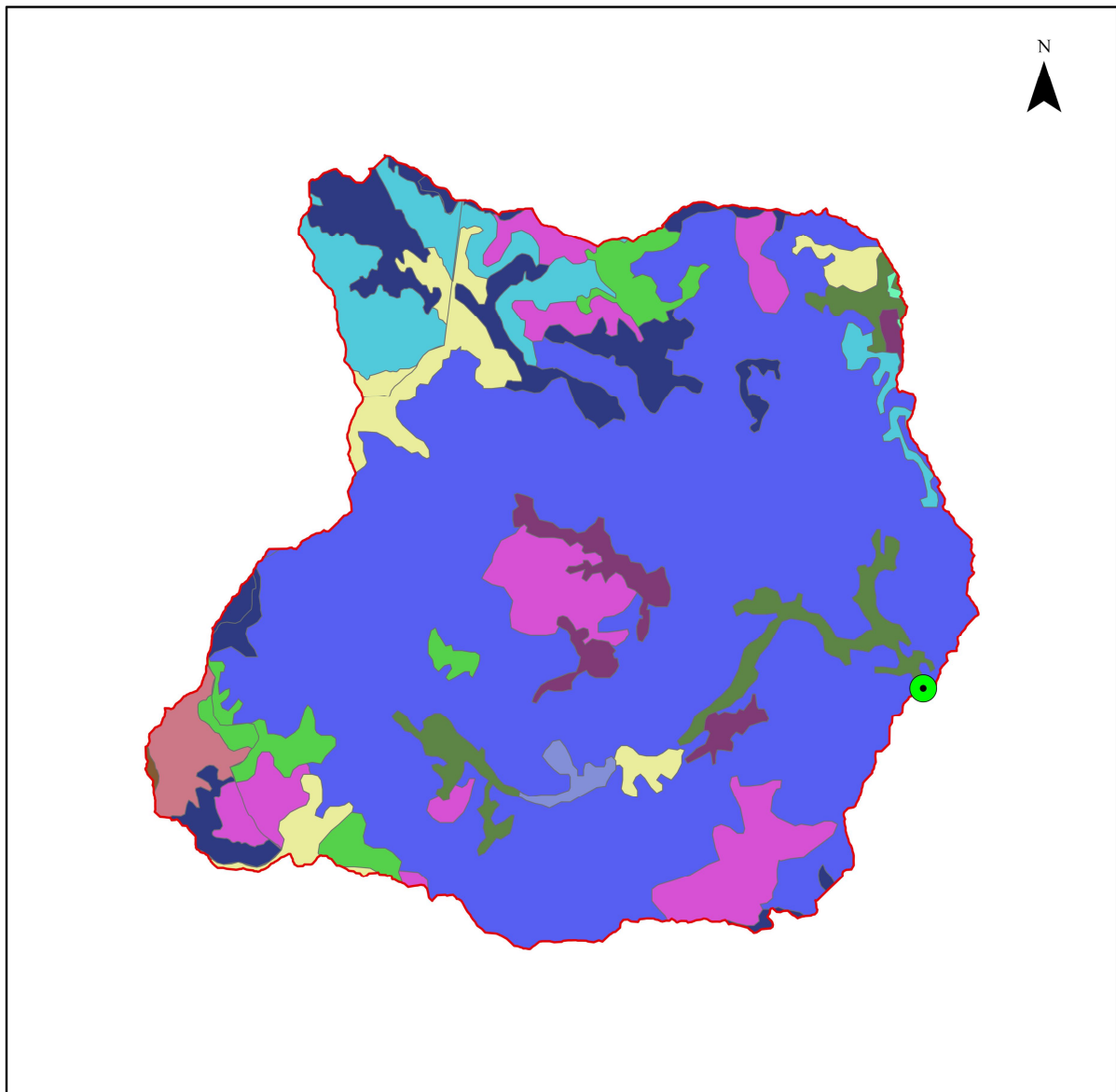


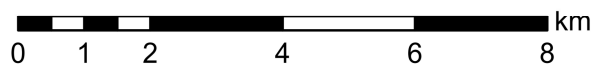
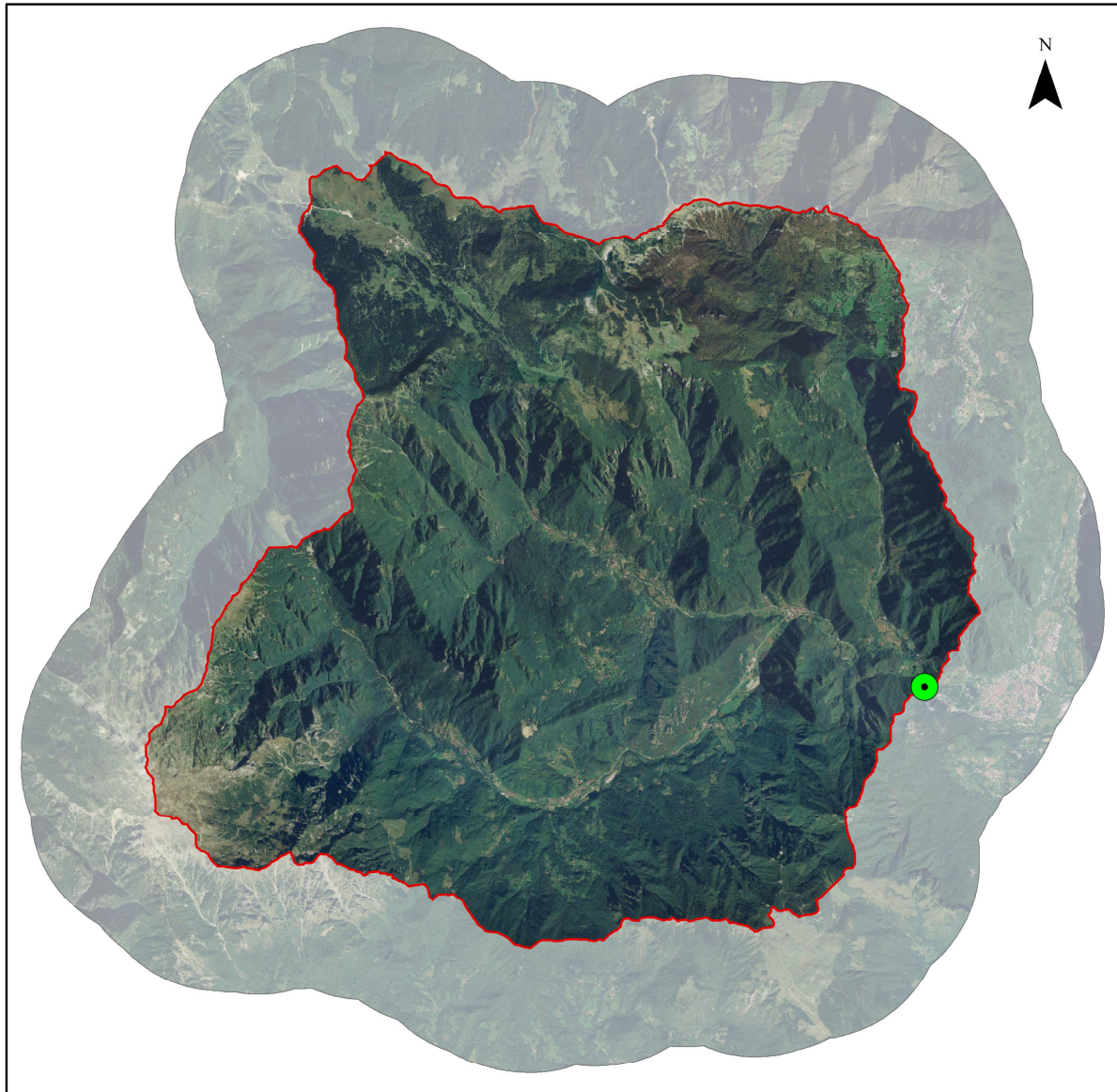
Figura 3.4: Uso del suolo nel bacino del torrente Posina.



### Legenda

	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado		Boschi misti di conifere e latifoglie
	Prati stabili (foraggiere permanenti)		Aree a pascolo naturale e praterie
	Sistemi colturali e particellari complessi		Brughiere e cespuglieti
	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie		Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
	Boschi di latifoglie		Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
	Boschi di conifere		Aree con vegetazione rada

Figura 3.5: Mappa dell'uso del suolo del bacino del torrente Posina.



**Legenda**



-  SEZIONE DI CHIUSURA (STANCARI)
-  SPARTIACQUE

Figura 3.6: Ortofoto del bacino del torrente Posina.

### 3.4 IL CLIMA

Gli elementi che maggiormente concorrono a determinare il clima del bacino del Posina sono le precipitazioni e la temperatura.

Per quanto riguarda le precipitazioni è rilevante l'influenza dei venti sciroccali caldo-umidi provenienti dall'Adriatico che, incontrando i primi massicci prealpini, s'innalzano e si scaricano. Le vallate di Laghi e di Posina, così come la vicina Val Leogra e Valle dell'Agno, convogliano tali masse umide verso le parti più elevate del Pasubio-Carega, determinando su questo massiccio precipitazioni particolarmente abbondanti dell'ordine di 2000-2500 mm annui. Questi livelli di precipitazione sono i più elevati di tutte le Prealpi Vicentine.

Le precipitazioni medie annue stimate per l'intero bacino sono di 1740mm annui e presentano un primo massimo in Novembre e un secondario in Maggio mentre il mese meno piovoso è Gennaio (*Norbiato et al, 2009*).

Da Dicembre a Marzo, le precipitazioni nelle parti più elevate del bacino sono sempre nevose. La neve tende a sciogliersi a primavera inoltrata negli altipiani settentrionali e resiste per diverso tempo anche in Val Posina, specialmente nei versanti nord del Novegno e del Pasubio rispetto alla Val di Laghi che è esposta a sud-est.

Per quanto riguarda le temperature gli elementi più influenti sono l'altitudine e l'esposizione. Ad alta quota possiamo considerare indicative temperature medie annuali intorno ai 7,5°C con oscillazioni medie da -9°C in inverno a circa 16°C in estate. Nei fondovalle ovviamente non si può parlare di clima alpino ma le temperature medie invernali sono comunque basse di circa -5°C , mentre quelle estive sono di circa 15°C . In queste zone d'inverno spesso rimane, insistente per buona parte della mattinata, una fredda cappa nebbiosa, risultato del fenomeno dell'inversione termica.

### 3.5 SOFTWARE GIS

Prima di indicare nel Capitolo successivo le caratteristiche morfologiche dell'area in analisi, si vuole brevemente descrivere il software attraverso il quale è stato possibile estrapolare questi dati partendo dalle informazioni geografiche digitali disponibili in rete.

Il GIS (Geographical Information System) è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici georiferiti. Secondo la definizione di Burrough (1986) "il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale". Trattasi quindi di un sistema informatico in grado di produrre, gestire e analizzare dati spaziali associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche.

Nell'effettuare la modellazione dei dati per questo lavoro, sono stati utilizzati due software GIS: AdB-ToolBox e ArcGis10.

Quest'ultimo strumento, "ArcGis10" sviluppato e commercializzato dall'azienda californiana ESRI, è stato principalmente utilizzato per definire e identificare le caratteristiche morfologiche dell'area oggetto di studio. Con l'ausilio di questo software è stato possibile rielaborare i dati altimetrici delle carte tecniche regionali digitali messe a disposizione dalla Regione Veneto, per ottenere un DTM (Digital Terrain Model), quale rappresentazione della distribuzione delle quote altimetriche del territorio da noi considerato, in formato digitale.

Una volta ottenuto il DTM dell'area considerata, in formato raster, costituito da celle quadrate rappresentanti porzioni di territorio con lato di lunghezza pari a 5 m, attraverso l'ausilio delle funzioni eseguibili dal software si sono analizzate più nel dettaglio le informazioni altimetriche dell'area. Attraverso tali funzioni è stato possibile in primo luogo estrarre da un'ampia porzione di territorio, il bacino idrografico relativo alla sezione di chiusura prestabilita, e su di esso calcolare e ottenere le diverse mappe utili a definire le caratteristiche morfologiche di seguito riportate (Tabella 3.1).

La potenzialità del software ArcGis10, oltre ad estrarre le caratteristiche morfologiche, è quella di ottenere, mediante un'analisi combinata di più parametri, le linee di scorrimento preferenziale a livello di versante. Queste a loro volta consentono di estrapolare il reticolo idrografico sintetico che caratterizza il bacino, attraverso la definizione di

un'area di soglia quale discriminante tra le celle riferibili al versante o le celle attribuibili al reticolo.

Il software AdB-ToolBox, descritto nel Capitolo 6, è stato utilizzato per effettuare delle simulazioni idrologiche partendo dai dati ottenuti con ArcGis10.

### 3.6 PARAMETRI MORFOMETRICI

Di seguito sono riportati i valori dei parametri morfometrici che riassumono le principali caratteristiche del bacino. La sezione di chiusura del bacino idrografico in analisi, è stata individuata in corrispondenza della stazione idrometrica ARPAV denominata "Posina Stancari" (X 1681524 ; Y 5075140).

<b>BACINO TORRENTE POSINA</b>		
Parametri morfometrici	Dimensione	u.d.m.
<b>Area del bacino</b> $A$	116.18	$\text{km}^2$
<b>Perimetro</b>	50.6	km
<b>Quota massima</b> $h_{\max}$	2231	m s.l.m.
<b>Quota della sezione di chiusura</b> $h_0$	385	m s.l.m.
<b>Quota media</b> $h_m$	1108	m s.l.m.
<b>Rilievo Bacino</b> $h_{\max} - h_0$	1.85	km
<b>Lunghezza del reticolo idrografico</b> $L_r$	122.50	km
<b>Lunghezza del collettore principale</b> $L$	3.05	km
<b>Pendenza massima del bacino</b>	73	°
<b>Pendenza minima del bacino</b>	0	°
<b>Pendenza media del bacino</b>	27	°
<b>Pendenza media del bacino</b>	60	%
<b>Coefficiente di forma Gravellius</b> $F (0,28P/A^{0,5})$	1.31	ad.
<b>Rapporto di biforcazione medio</b> $R_b (-)$	4.2	ad.

Tabella 3.1: Caratteristiche morfologiche del bacino del torrente Posina.

L'area del bacino ( $A$ ) è pari a  $116.18 \text{ km}^2$ , essa è individuata dalla linea spartiacque da dove lo scorrimento superficiale dell'acqua è convogliato verso la stessa sezione di chiusura;

lungo la linea dello spartiacque si traccia il perimetro che indica il territorio entro il quale si sviluppa il bacino.

La quota massima ( $h_{max}$ ) 2231 m s.l.m. indica il punto più elevato del bacino, mentre la quota della sezione di chiusura ( $h_0$ ) 385 m s.l.m. è il punto più basso del bacino dove sono convogliate tutte le acque superficiali. La quota media ( $h_m$ ) 1108.5 m s.l.m. è invece individuata dalla media ponderata delle altezze medie delle diverse sottoaree (Figura 3.7).

Per quanto riguarda il rilievo del bacino, il suo sviluppo verticale è di 1846 m ed è individuato dalla differenza fra la  $h_{max}$  e  $h_0$ .

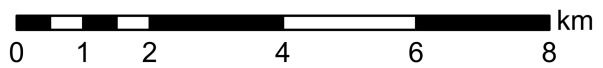
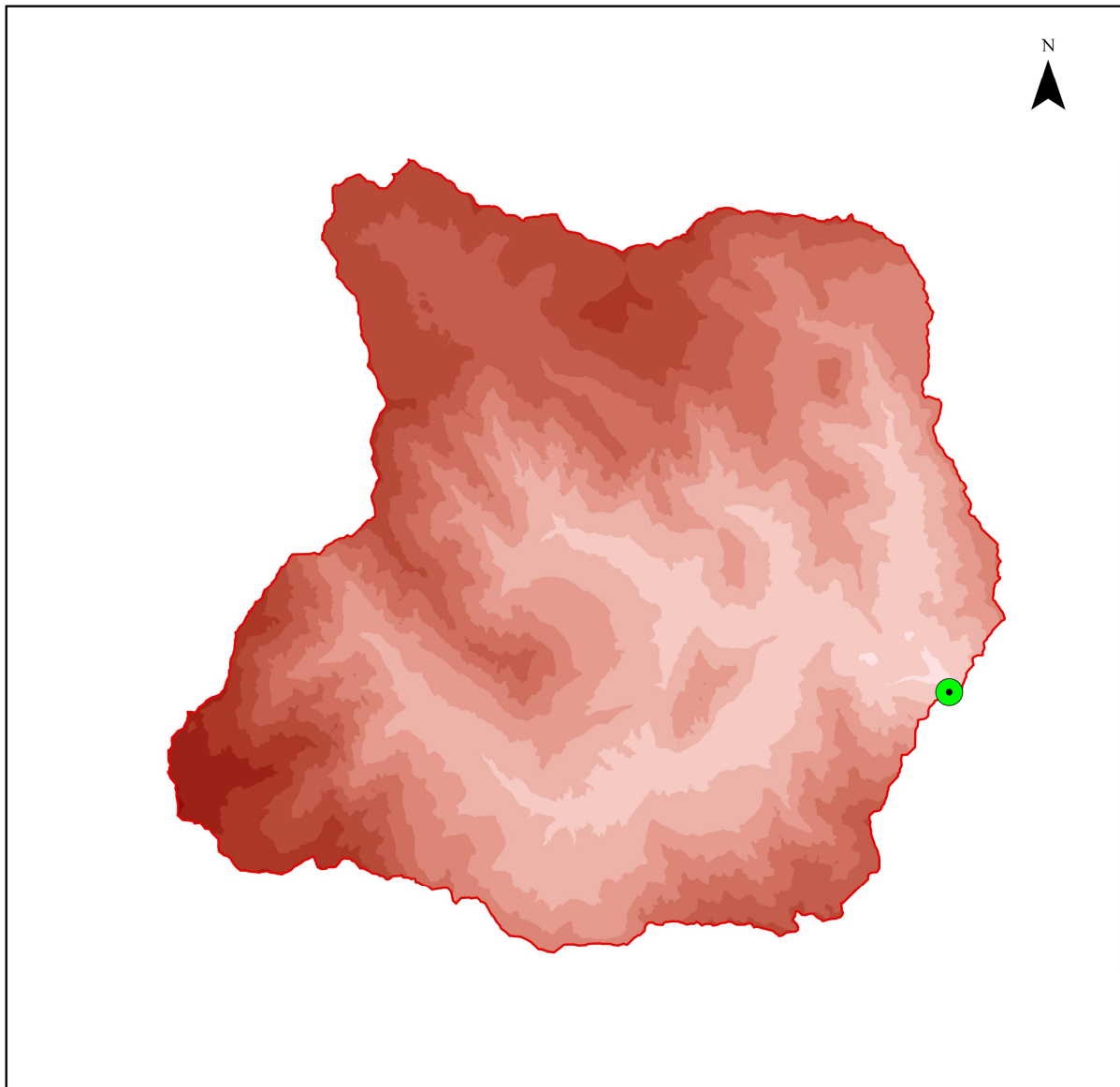
La lunghezza del reticolo idrografico ( $L_r$ ) definisce la lunghezza totale di tutti i collettori, illustrati anche in figura 3.7, che è pari a 122.5 km, mentre la lunghezza del collettore principale ( $L$ ) è di 3.05 km.

La pendenza media del bacino è di  $27^\circ$  che corrisponde al 60% ed esprime la perdita di quota per l'unità di lunghezza. Allo scopo di illustrare anche la distribuzione spaziale delle pendenze si è inserita una carta delle pendenze del bacino (Figura 3.9).

Secondo il sistema di numerazione di Horton-Strahler, il bacino ha un ordine pari a 4 e si è così potuto procedere al calcolo del valore del rapporto di biforcazione per ogni ordine, per cui vale la definizione:

$$Rb = \frac{N_u}{N_u + 1} \quad (1)$$

nella quale  $N_u$  indica il numero di segmenti dell'ordine considerato e  $N_u+1$  il numero di segmenti dell'ordine superiore a  $N_u$ . Si è poi ricavato il rapporto di biforcazione medio dell'intero bacino idrografico che nel nostro caso risulta pari a 4.2.



**Legenda**

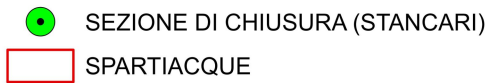
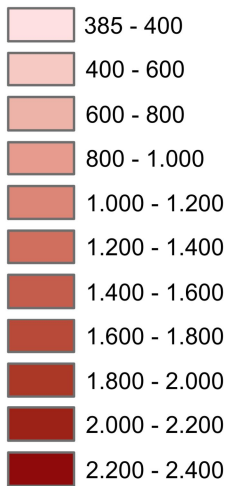
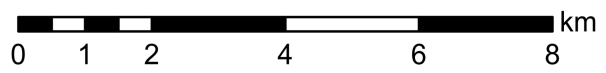
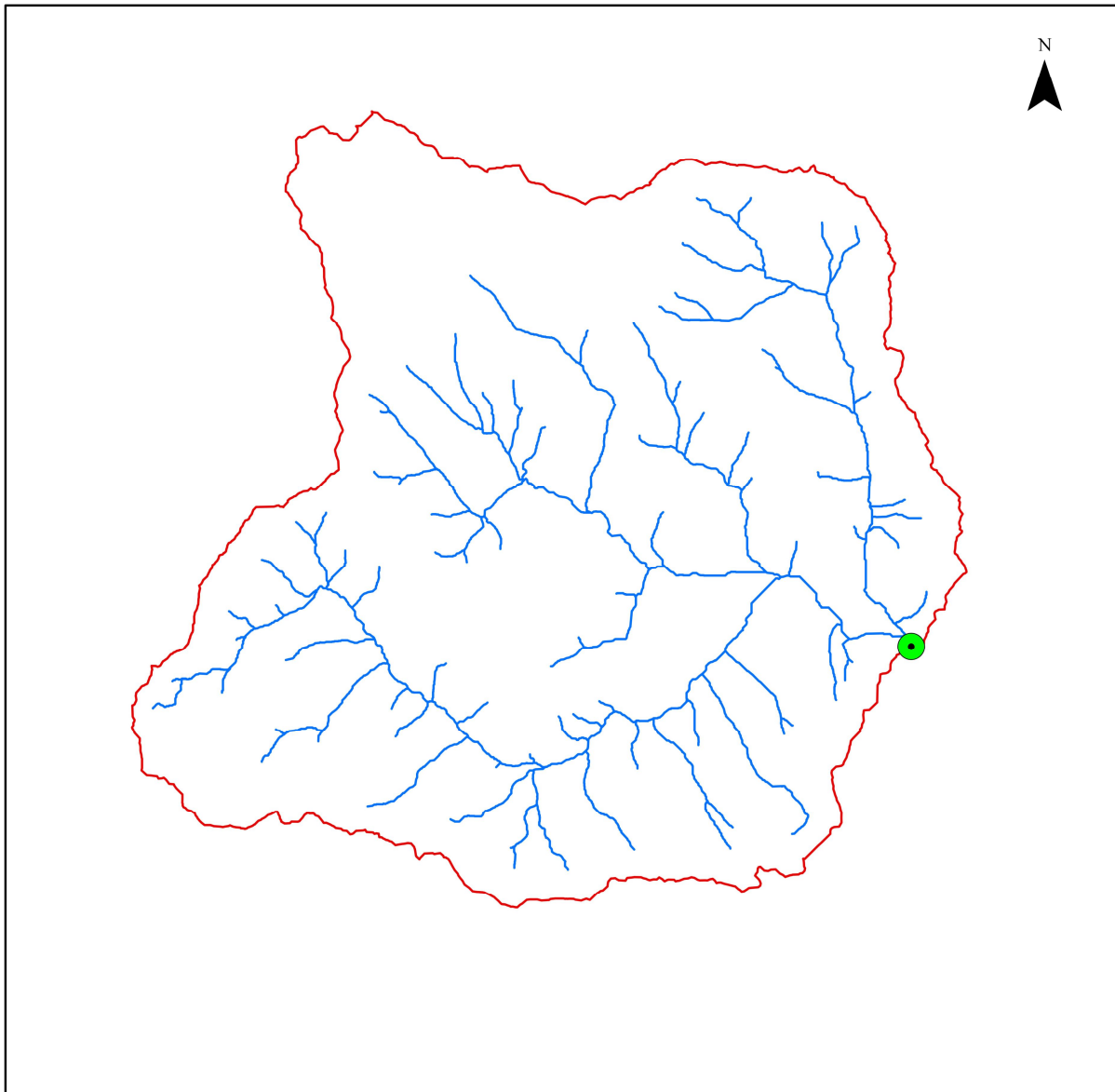


Figura 3.7: DTM(Digital Terrain Model) diviso per fasce di quota del bacino del torrente Posina.



### Legenda




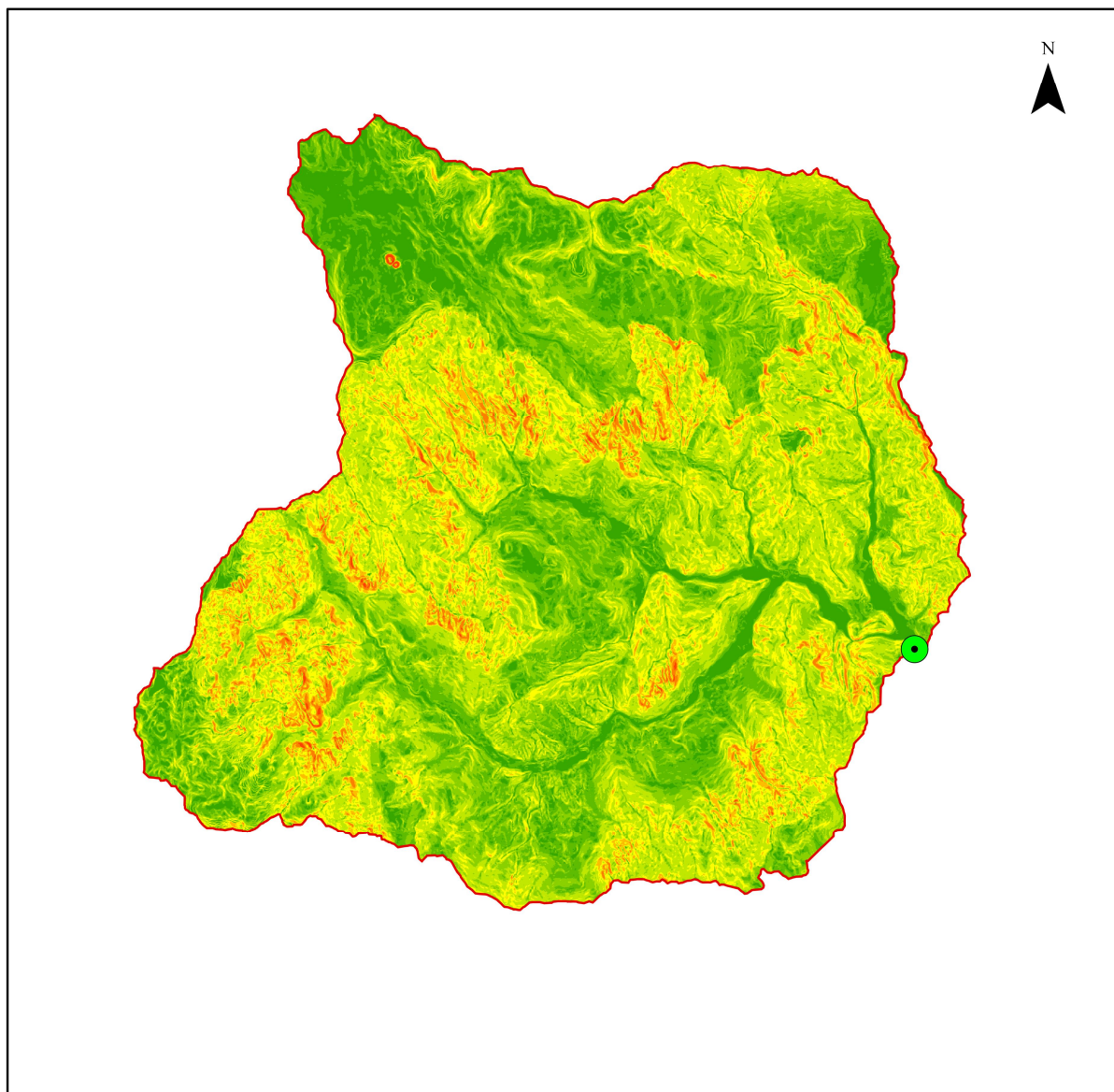
-  SEZIONE DI CHIUSURA (STANCARI)
-  SPARTIACQUE
-  RETICOLO IDROGRAFICO

Figura 3.8: Reticolo idrografico del bacino del torrente Posina.



**Legenda**

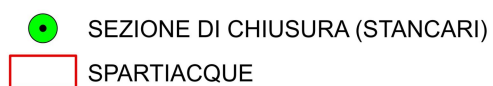
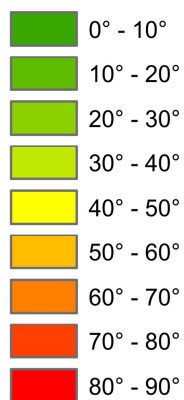


Figura 3.9: Carta delle pendenze del bacino del torrente Posina.

Per una precisa analisi morfometrica è inoltre necessario mettere in relazione l'area del bacino con il suo sviluppo altimetrico attraverso la costruzione della curva ipsometrica dimensionale (Figura 3.10) e adimensionale (Figura 3.11).

Attraverso la curva ipsometrica dimensionale si stabilisce la distribuzione delle aree elementari che compongono un bacino idrografico in relazione alla progressione delle curve di livello che delimitano le suddette aree. Ogni punto della curva ha come ordinata un valore di quota  $h_i$  e come ascissa la superficie parziale del bacino  $A_i$  posta al di sopra della quota considerata. Ovviamente alla quota massima corrisponde una superficie nulla mentre alla quota minima, che è quella della sezione di chiusura, corrisponde la superficie dell'intero bacino.

Per quanto riguarda la curva ipsometrica adimensionale, essa ha lo stesso obiettivo della precedente, ovvero quello di illustrare la distribuzione delle aree nelle diverse fasce altimetriche, ma utilizza i valori di altimetria e di area rapportati ai rispettivi massimi. Nel caso specifico del Posina la curva ipsometrica adimensionale, che stabilisce il grado di evoluzione del bacino, si colloca prevalentemente al di sopra della linea bisettrice. Tale andamento della curva evidenzia i tratti caratteristici di un bacino in uno "stadio giovanile" che, per questo motivo, può essere potenzialmente soggetto a dei forti processi di modellamento (Figura 3.11).

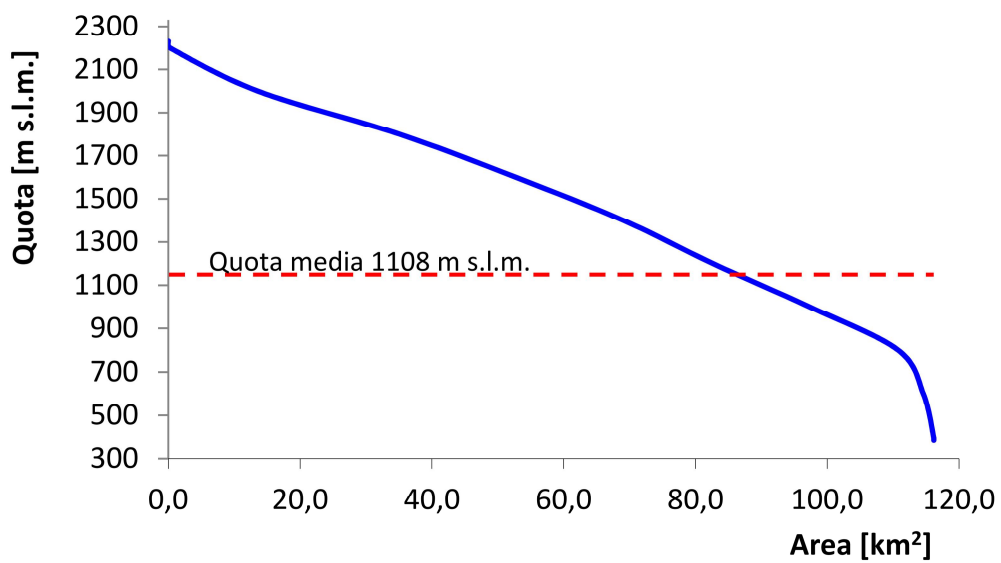


Figura 3.10: Curva ipsometrica del bacino del torrente Posina a Stancari.

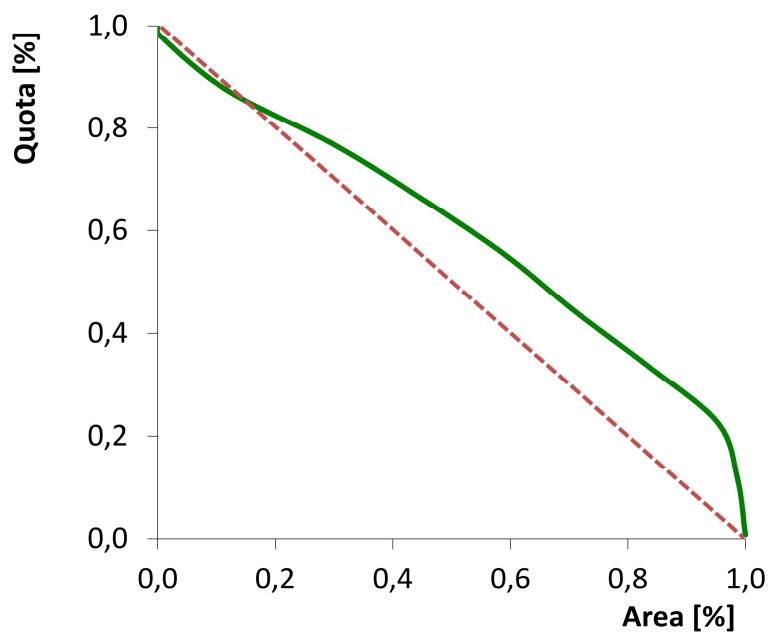


Figura 3.11: Curva ipsometrica adimensionale del bacino del torrente Posina a Stancari.

L'istogramma di distribuzione delle aree per fasce di quota fornisce un inquadramento della reale superficie appartenente alle diverse quote, esprimendo così le fasce che maggiormente intervengono nella progressione altimetrica del dislivello.

Si può notare nell'istogramma in figura 3.12 come il bacino in esame abbia nella sua parte più bassa, in corrispondenza della sezione di chiusura (385-400 m s.l.m.), una superficie molto limitata. Aumentando progressivamente di quota da 400 a 800 m s.l.m., il bacino tende ad ampliarsi raggiungendo la massima estensione nella fascia tra i 600 e gli 800 m s.l.m. . Salendo di quota, come è caratteristico dei bacini prealpini veneti, l'area tende a diminuire molto gradualmente fino ai 1600 – 1800 m s.l.m. , per poi decrescere bruscamente oltre i 1800 m s.l.m. all'approssimarsi delle vette in alta quota.

Il fattore pendenza nel processo di deflusso delle precipitazioni riveste un ruolo molto importante perché condiziona la velocità di propagazione del deflusso.

Nell'istogramma in figura 3.13 si è voluto quindi rappresentare le pendenze medie relative alle diverse fasce di quota. Si può notare come nella parte di bacino limitrofa alla sezione di chiusura è presente una pendenza molto bassa, mentre quest'ultima subisce un aumento progressivo nella fascia di quota da 400 a 1000 m s.l.m. Le pendenze maggiori, dell'ordine di 35%, si riscontrano nella parte intermedia del bacino tra quota 800 e 1400 m s.l.m., mentre oltre i 1600 m s.l.m. le pendenze si attestano su valori intermedi (20%) per effetto della presenza di altopiani a nord del bacino.

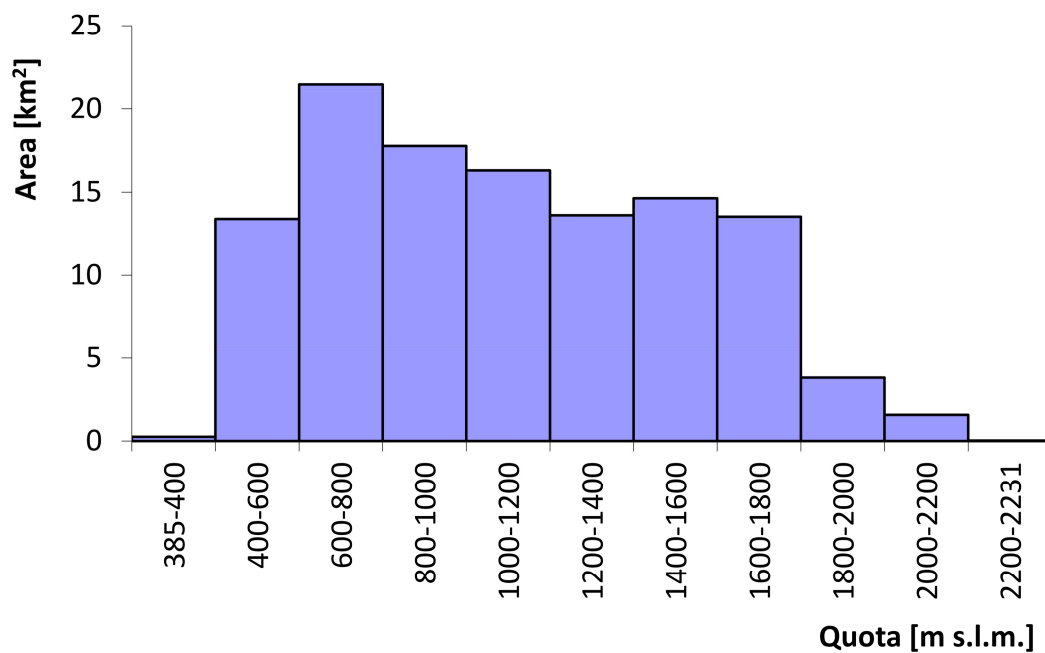


Figura 3.12: Istogramma delle distribuzioni delle aree per fasce di quota.

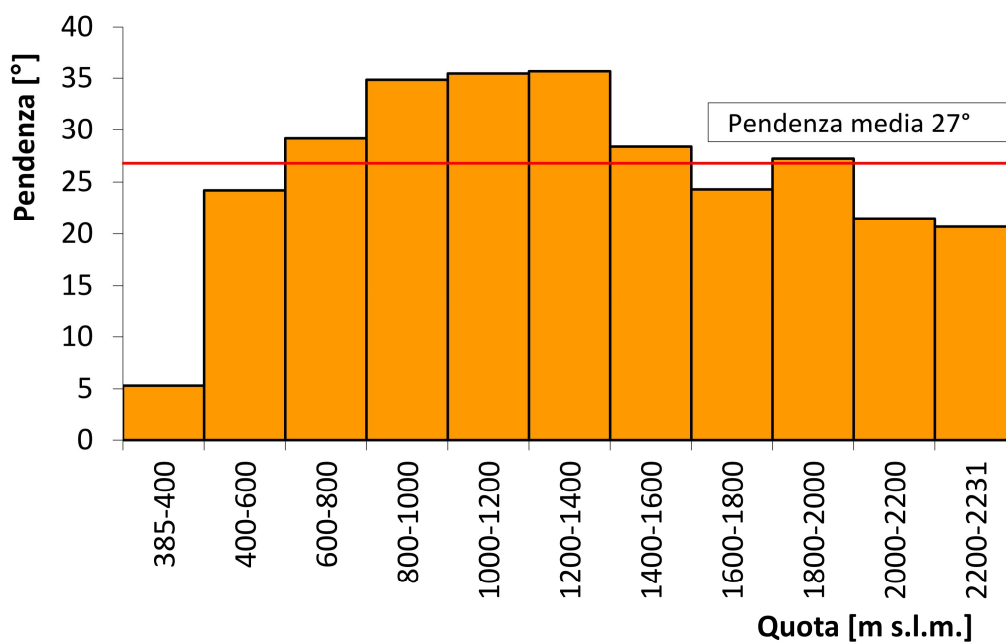


Figura 3.13: Istogramma della distribuzione delle pendenze.



## 4 EVENTI METEOROLOGICI

Nello studio di un evento di piena l'analisi conoscitiva dei fattori che l'hanno generato è fondamentale. Tra questi rivestono un ruolo chiave le precipitazioni, le temperature, i venti, la presenza di neve al suolo, ecc...

Questi dati sono rilevati in Veneto da una rete di rilevamento dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), che li registra, li rielabora e li archivia in specifici database.

Grazie alla pubblicazione dei dati raccolti da questo ente si ha a disposizione un buon database di partenza per la determinazione dell'input idrologico relativo agli eventi verificatisi nel novembre 2010 e 2012.

### 4.1 INQUADRAMENTO METEOROLOGICO

Di seguito si riporta la descrizione dei due eventi meteorologici che hanno dato origine ai fenomeni di piena oggetto di studio come riportati dal Centro Funzionale Decentrato del Veneto (CFD) nei rapporti specifici "SCHEMA EVENTO PLUVIO: 31 ottobre – 02 novembre 2010" (CFD, 2010) e "Evento di sabato 10 - domenica 11 Novembre 2012- Sintesi meteo" (CFD, 2012).

#### 4.1.1 EVENTO 2010

L'evento piovoso ha avuto inizio il 31 Ottobre 2010 e si è concluso il 2 Novembre 2010, con un picco nella giornata del 1 Novembre caratterizzato dalle intensità maggiori nella prima parte della giornata. In questo lasso di tempo, il territorio della Regione Veneto è stato interessato da un'intensa e diffusa precipitazione, con caratteri di rovescio soprattutto nella zona prealpina e pedemontana. Nella zona pedemontana di Vicenza e Verona, a testimoniare l'elevata eccezionalità dell'evento, sono stati superati i valori storici di massima intensità di precipitazione attribuibili alle durate di 24 e 48 ore, risalenti agli eventi del Novembre 1966 e Ottobre 1992.

L'evento 2010 di così elevata intensità è legato alle particolari condizioni climatiche registrate in quei giorni, ovvero una perturbazione di origine atlantica che ha determinato un'ampia e persistente circolazione ciclonica, tra il Mar Ligure ed il Mar Tirreno, spintasi fino

alle coste africane. Questa ha convogliato un intenso e persistente flusso di correnti sciroccali caldo-umide sul Veneto, responsabili delle intense precipitazioni registrate.

Un fattore che ha contribuito al picco di piena, così intenso nella giornata del 1 Novembre, è stato l'apporto meteorico del 31 Ottobre che ha saturato i terreni facendo sì che gran parte della precipitazione al suolo si trasformasse velocemente in deflusso superficiale.

Già nella prima mattinata di domenica 31 Ottobre erano presenti precipitazioni di forte intensità sulle Prealpi Vicentine (maggiore di 10 mm/h). Lunedì 1 Novembre è stato caratterizzato, su tutto il territorio regionale, da precipitazioni di debole intensità in pianura e d'intensità molto elevata nella zona prealpina soprattutto vicentina con valori oltre i 10 mm/h. Nella giornata di martedì 2 Novembre i fenomeni si sono attenuati con precipitazioni prevalentemente di debole o moderata intensità su tutta la regione fino alla tarda mattinata.

Osservando le carte regionali riportanti le medie di precipitazioni cumulate dei giorni di massima intensità dell'evento (Figura 4.1), si possono notare valori di circa 200 mm nelle Dolomiti meridionali, nelle Prealpi e nella zona pedemontana, con picchi oltre i 400 mm in alcune aree tra cui quella oggetto di studio.

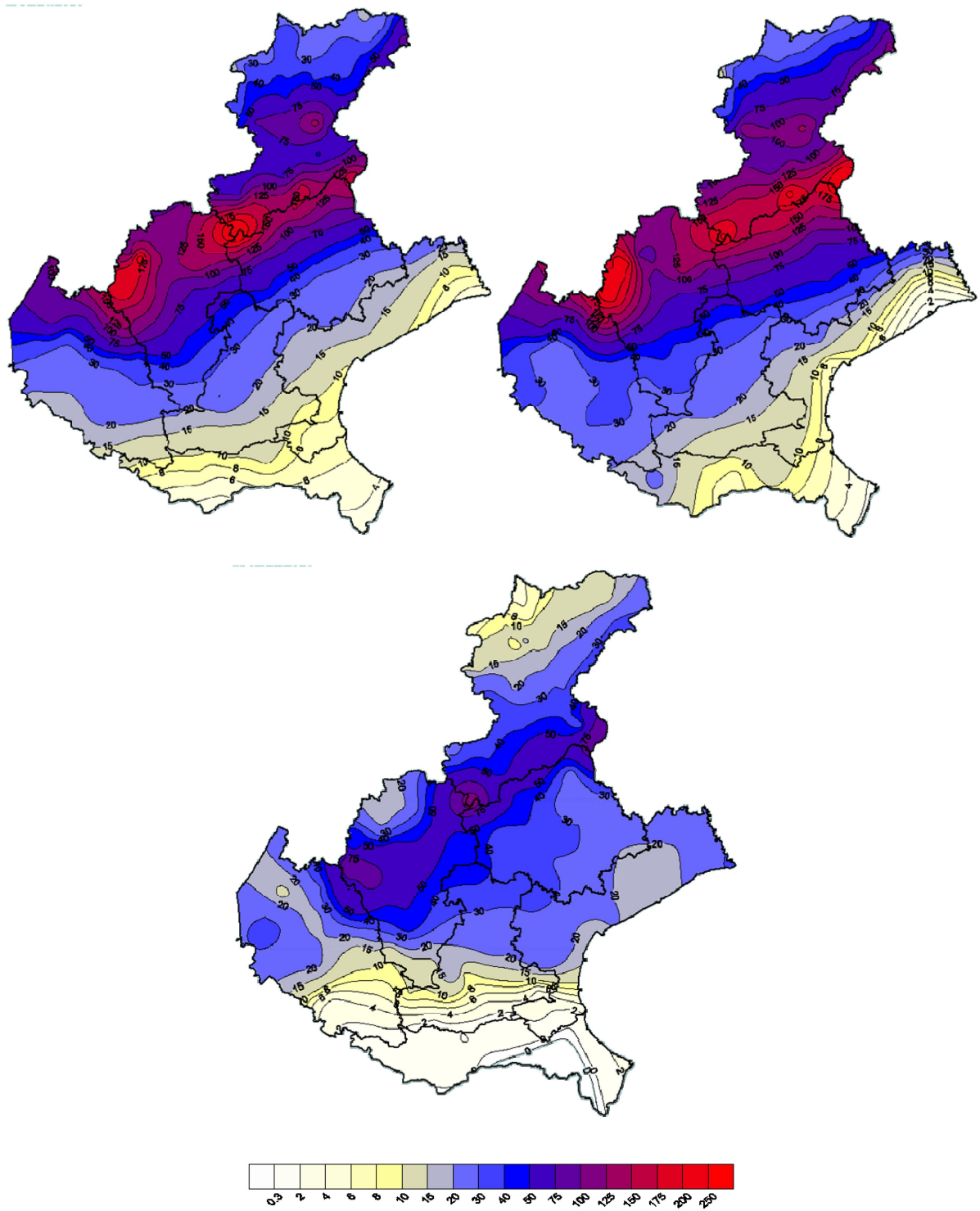


Figura 4.1: Carte della Regione Veneto con le isoiete relative all'evento del 31 Ottobre, 1 e 2 Novembre 2010.

#### 4.1.2 EVENTO 2012

L'evento piovoso sulle prealpi e sulla zone pedemontane occidentali ha avuto inizio il 10 Novembre ed è terminato nella serata del giorno successivo con un picco d'intensità maggiore nella prima parte della giornata. Il fenomeno ha avuto origine da una profonda saccatura, estesa dalle Isole Britanniche alle coste del Nord Africa, che ha convogliato un forte flusso umido verso l'Italia centro occidentale (Toscana) e nord orientale determinando precipitazioni diffuse e anche molto abbondanti sul Veneto.

Le precipitazioni hanno assunto caratteri temporaleschi abbattendosi in alcune aree montane, nelle zone pedemontane e nella pianura settentrionale con rovesci anche di intensità pari a 20-30 mm/h. In alcune stazioni di rilevamento pluviometrico, tra cui Castana-Arsiero compresa nel bacino oggetto di studio, si sono registrati dei massimi di precipitazione giornaliera che hanno superato i 200 mm.

Dalla seconda parte del pomeriggio di domenica le precipitazioni si sono diradate e attenuate in modo significativo, con fenomeni piovosi sparsi e discontinui, un po' più frequenti nel bellunese.

Viene riportato in figura 4.2 la mappa del Veneto con le isoiete delle precipitazioni (mm/24h) cumulate dalle 18 di sabato 10 alle 18 di domenica 11 Novembre 2012.

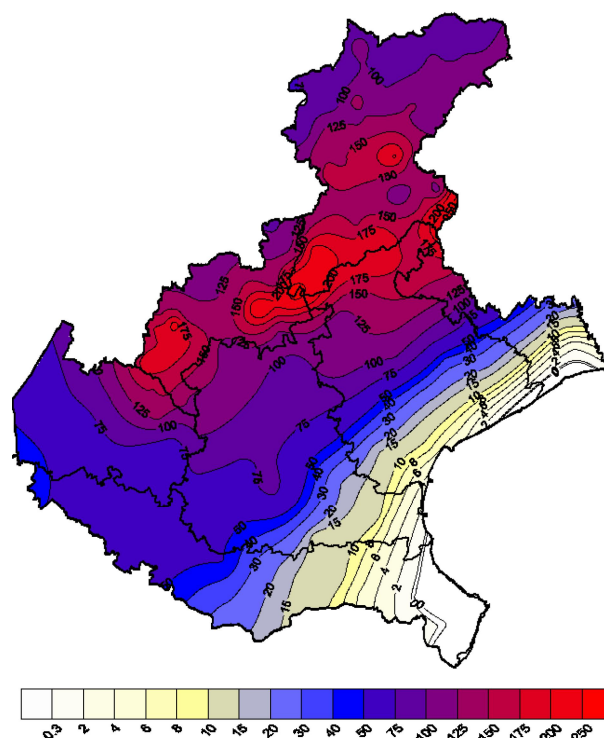


Figura 4.2: Carta della Regione Veneto con le isoiete relative alle precipitazioni cumulate di domenica 11 Novembre del 2012.

## 4.2 METODI DI RILIEVO PLUVIOMETRICO

In Veneto la quantità di precipitazione media annua non è distribuita uniformemente sul territorio perché la Regione possiede un'orografia molto variabile da zona a zona. Sono presenti rilievi alpini a nord e prealpini lungo la direttrice sud-ovest nord-est che spesso intercettano le precipitazioni provenienti da sud intensificandone l'effetto (effetto orografico).

La distribuzione delle precipitazioni inoltre è connotata da una forte stagionalità che conferisce una disomogenea distribuzione temporale degli eventi lungo il corso dell'anno. Gli elevati valori di precipitazione cumulata possono essere raggiunti sia con precipitazioni meno intense ma di più lunga durata come avvenuto nel 2010 (Figura 4.1), sia con un numero di eventi pluviometrici relativamente basso ma più intensi come nel 2012 (Figura 4.2). Le intensità di pioggia così elevate si registrano spesso nei fenomeni a carattere temporalesco. Questi ultimi non sono facili da monitorare in quanto interessano frazioni di territorio limitate e spesso determinano allagamenti soprattutto nelle aree urbanizzate.

Di seguito si evidenzia come l'ARPAV, attraverso la creazione di una rete capillare di stazioni meteorologiche (Figura 4.3), riesca a monitorare in modo efficiente il territorio della Regione Veneto e con quali strumenti abbia scelto di rilevare i dati meteorologici.

Questa rete è composta da:

- n. 78 stazioni agrometeorologiche;
- n. 85 stazioni meteorologiche;
- n. 24 stazioni idrometriche;
- n. 16 stazioni ripetitrici con la funzione primaria di garantire i radiocollegamenti;
- centrale d'acquisizione dati di Teolo;
- centrale d'acquisizione dati secondaria di Belluno.

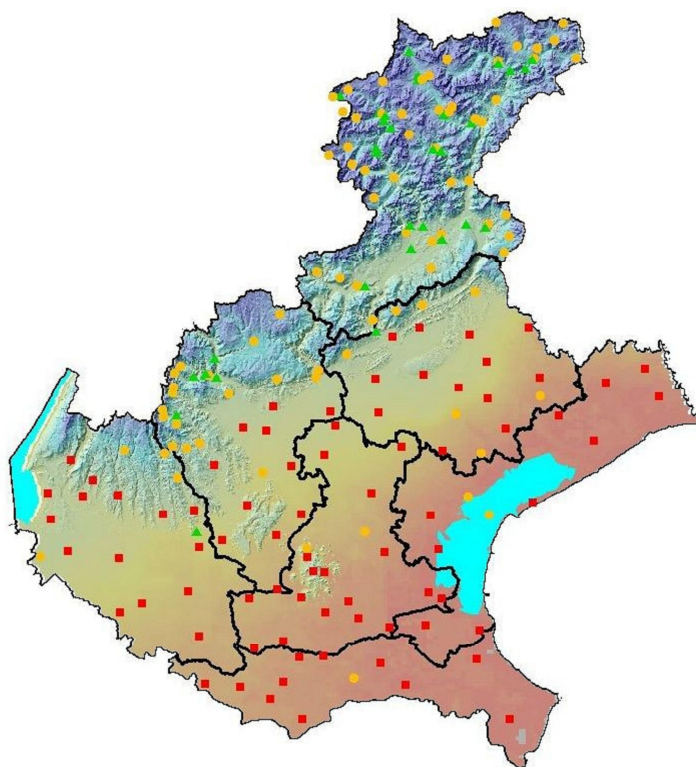


Figura 4.3: Rete di rilevamento meteorologico ARPAV

#### 4.2.1 STAZIONI PLUVIOMETRICHE

Le stazioni utili all'acquisizione dei dati sono stazioni di tipo meteorologico, una tipologia di stazione composta da 5-6 sensori utili a misurare parametri esclusivamente meteorologici quali precipitazione, temperatura, umidità, pressione, radiazione solare, velocità e direzione del vento (Figura 4.4)

La stazione automatica raccoglie le misure dai sensori ad intervalli definibili dall'utente (da 1' a 24 h), poi elabora i dati e li archivia in modo temporaneo o permanente. Questi sistemi possono funzionare in modo del tutto autonomo, anche in condizioni ambientali molto critiche (temperatura di lavoro da -30 °C a + 50 °C e umidità relativa da 0 a 90 %).

L'altezza di precipitazione è il dato per noi più significativo tra i molteplici rilevati dalle stazioni meteorologiche. Questa è misurabile attraverso un pluviometro formato da un cilindro in alluminio alto circa 50 cm, con una sezione trasversale pari a 1000 cm<sup>2</sup> di area, posto a 2 m di altezza dal piano campagna e verniciato di bianco per rendere massima la riflessione della radiazione solare incidente. All'interno del cilindro è presente un imbuto in alluminio il quale convoglia la pioggia caduta verso un sistema di due

vaschette basculanti. Queste sono tarate in modo da basculare quando riempite con una quantità d'acqua di peso equivalente all'altezza di 0.2 mm di precipitazione (pari a un volume di 20 cm<sup>3</sup>). Mediante due contatti magnetici l'unità di acquisizione della stazione meteorologica conta il numero di basculamenti del dispositivo nell'unità di tempo.

Nelle stazioni ARPAV ogni 5 minuti si memorizza il dato di precipitazione cumulata nei 5 minuti precedenti, esprimendolo come multiplo dell'altezza minima misurabile pari a 0.2 mm. Ogni 24 ore, per ciascuna stazione, viene costituito un blocco dati giornaliero (per un totale di 288 dati) con tutte le rilevazioni effettuate ogni 5 minuti e con la precipitazione totale caduta nelle 24 ore.

Per una maggior affidabilità del dato, nella parte inferiore dell'imbuto è collocato un filtro di protezione utile ad impedire la caduta di corpi solidi all'interno della zona di misura. Il pluviometro richiede periodiche e costanti azioni di pulizia dell'imbuto e del sistema basculante da foglie, polvere ed insetti e necessita inoltre di contemporanee verifiche della taratura degli strumenti.

Nella lettura e nell'utilizzo dei dati di altezza di precipitazione rilevati tramite pluviometri, bisogna comunque considerare come siano facilmente riscontrabili degli errori e delle limitazioni relativi ad alcuni fattori.

Un limite nell'utilizzo dei dati registrati dalle stazioni pluviometriche è sicuramente la distribuzione spaziale delle stesse. Il numero di stazioni localizzate all'interno del territorio regionale è sufficiente per effettuare analisi relative ad un'ampia scala spaziale, mentre considerando superfici più ridotte è necessario valutare il numero e la distribuzione di stazioni nell'area oggetto dell'indagine. Questo limite dipende innanzitutto dalla variabilità che caratterizza gli eventi meteorologici, i quali spesso si manifestano con modalità ed intensità eterogenee anche su ridottissime scale spaziali.

Il vento può rappresentare un altro fattore di errore se presente ad elevata velocità, come spesso avviene negli eventi temporaleschi, poiché può falsare la misura della precipitazione da parte del pluviometro. In tal caso, infatti, la traiettoria di caduta delle gocce non risulta più normale all'orifizio dello strumento, ma inclinata rispetto allo stesso, non permettendo una corretta misurazione.

Considerando questi fattori, per ottenere un risultato attendibile di rilievo delle precipitazioni in una determinata area, si dovrà effettuare un'interpolazione dei valori delle stazioni pluviometriche presenti nella zona di interesse.

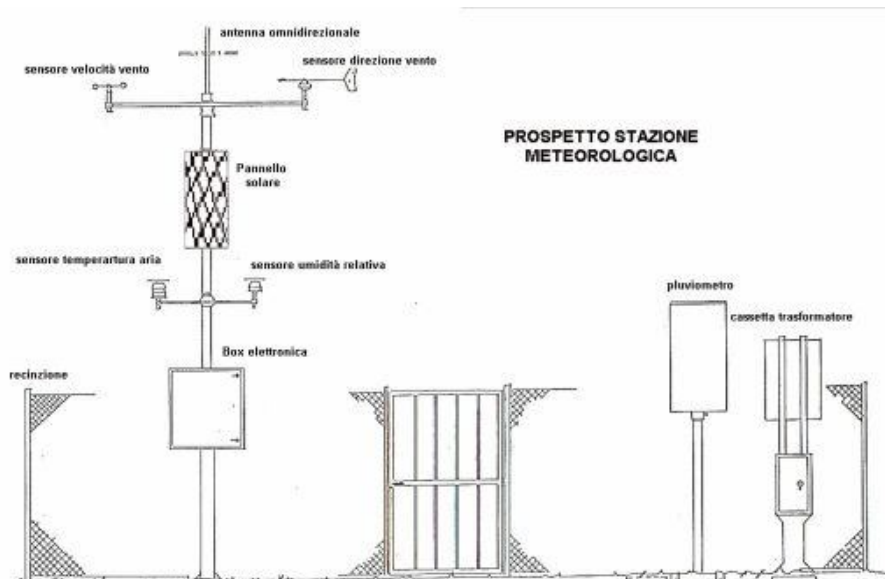


Figura 4.4: Schematizzazione di una stazione meteorologica

#### 4.2.2 DATI RADAR

Un altro strumento adottato dall'ARPAV è il radar meteorologico che, se affiancato alla rete di stazioni al suolo, rappresenta uno strumento che può fornire un valore aggiunto di notevole interesse. Grazie all'avvento dei radar ad ampio raggio d'azione con elevata risoluzione spaziale e temporale, si sono oggi estese e potenziate le possibilità di osservare in tempo reale la tipologia e distribuzione delle precipitazioni sul territorio regionale.

Il principio di funzionamento del radar si basa sull'emissione di un impulso di onde elettromagnetiche che vengono focalizzate da un'antenna (Figura 4.5) e trasmesse in atmosfera. Se tali onde incontrano precipitazioni, si creano degli echi di ritorno che vengono registrati dall'antenna. La loro analisi permette di determinare distanza, intensità e velocità di spostamento dei fenomeni di precipitazione in atto.

Volendo considerare invece i limiti dell'utilizzo del radar nello stimare le precipitazioni bisogna riportare che non esiste una relazione univoca tra l'intensità di precipitazione e l'intensità dell'eco misurato dal radar. Tale relazione dipende da molteplici fattori, come ad esempio il tipo di precipitazione difficilmente riconoscibile utilizzando solo il radar, per cui è opportuno effettuare un'integrazione con i dati della rete pluviometrica a terra.

Come per la rete di telemisura a terra, anche per la misura radar in Veneto l'articolata orografia è uno dei principali ostacoli, infatti i rilievi montuosi rappresentano spesso una barriera oltre la quale il fascio radar non è in grado di propagarsi (coni d'ombra) a meno che questo non sia molto inclinato verso l'alto.

Le applicazioni più importanti di un radar meteorologico riguardano il monitoraggio delle condizioni atmosferiche in tempo reale e la previsione a brevissimo termine, effettuate grazie all'analisi in continuo dei dati e all'ampia area di azione (cerchio di raggio pari a 120–130 km). Proprio per la tempestività nelle analisi fornite, il radar è spesso impiegato nel monitoraggio di eventi meteo intensi e brevi come temporali, forti rovesci e grandinate, che spesso provocano improvvisi allagamenti. Risulta evidente che il radar è quindi una fonte primaria di informazione per i servizi meteorologici a supporto di Protezione civile e Difesa del territorio.

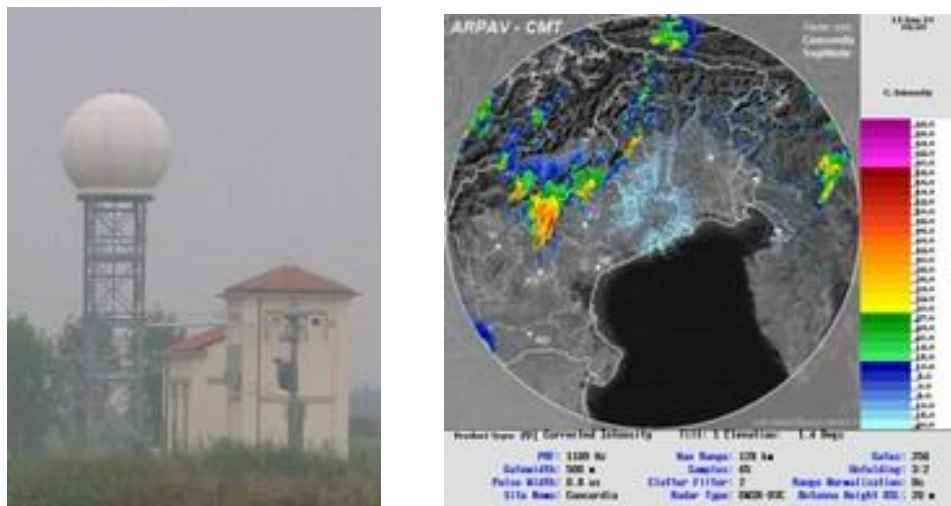


Figura 4.5: Stazione radar di Concordia Sagittaria ed esempi di immagine radar (ARPAV).

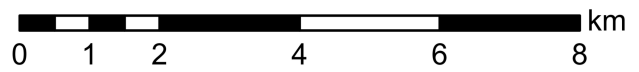
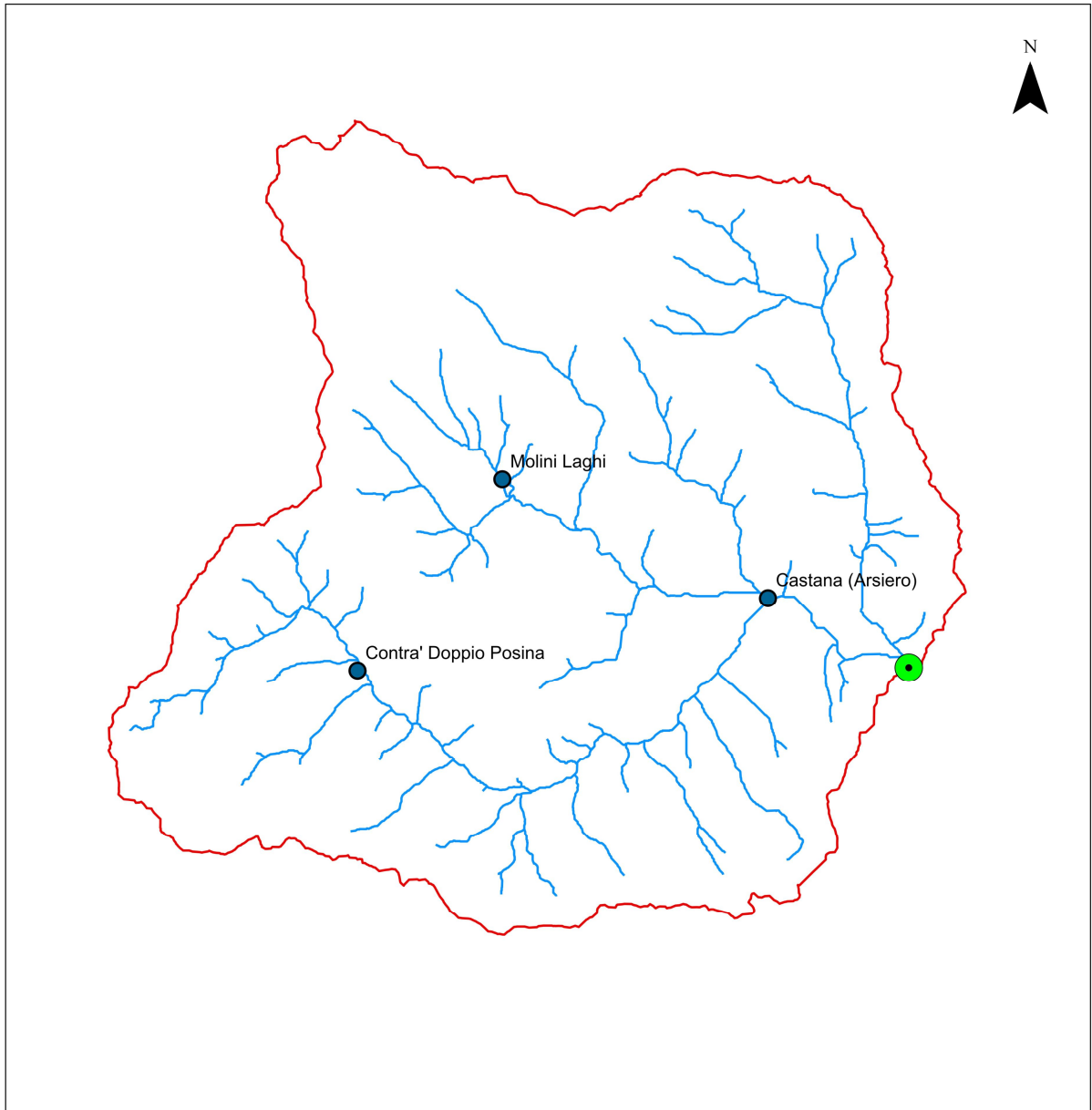
### 4.3 DATI DI PRECIPITAZIONE NEL BACINO DEL POSINA

Considerati gli strumenti a disposizione per lo studio si è scelto di utilizzare solo i dati derivanti dalle stazioni meteorologiche a terra presenti all'interno del bacino, perché queste sono numerose in un'area così limitata e ben distribuite sulla superficie del bacino. All'interno dell'area oggetto di studio ci sono quindi tre stazioni meteorologiche: a Contra' Doppio nel comune di Posina nella parte sud-ovest del bacino, a Molini nel comune di Laghi nella parte nord e a Castana nel comune di Arsiero verso sud-est (Figura 4.6).

Nella tabella 4.1 riportiamo i dati che individuano geograficamente le tre stazioni.

Stazione Meteorologiche	Coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest		Quota m s.l.m.	Anno attivazione
	X	Y		
Contra' Doppio (Posina) (73)	1672938	5075022	725	1985
Molini (Laghi) (191)	1675208	5078024	597	1991
Castana (68)	1679369	5076164	430	1985

Tabella 4.1: Ubicazione delle stazioni meteorologiche ARPAV nel bacino del torrente Posina.



**Legenda**





-  SEZIONE DI CHIUSURA (STANCARI)
-  STAZIONI PLUVIOMETRICHE
-  RETICOLO IDROGRAFICO
-  SPARTIACQUE

Figura 4.6: Stazioni di rilevamento pluviometrico nel bacino del torrente Posina.

I dati forniti dalle tre stazioni sono di natura puntuale e quindi si è reso necessario la loro spazializzazione attraverso un processo di interpolazione spaziale dei dati.

I metodi di spazializzazione possono essere suddivisi secondo un approccio di tipo storico in tre categorie:

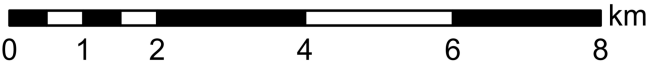
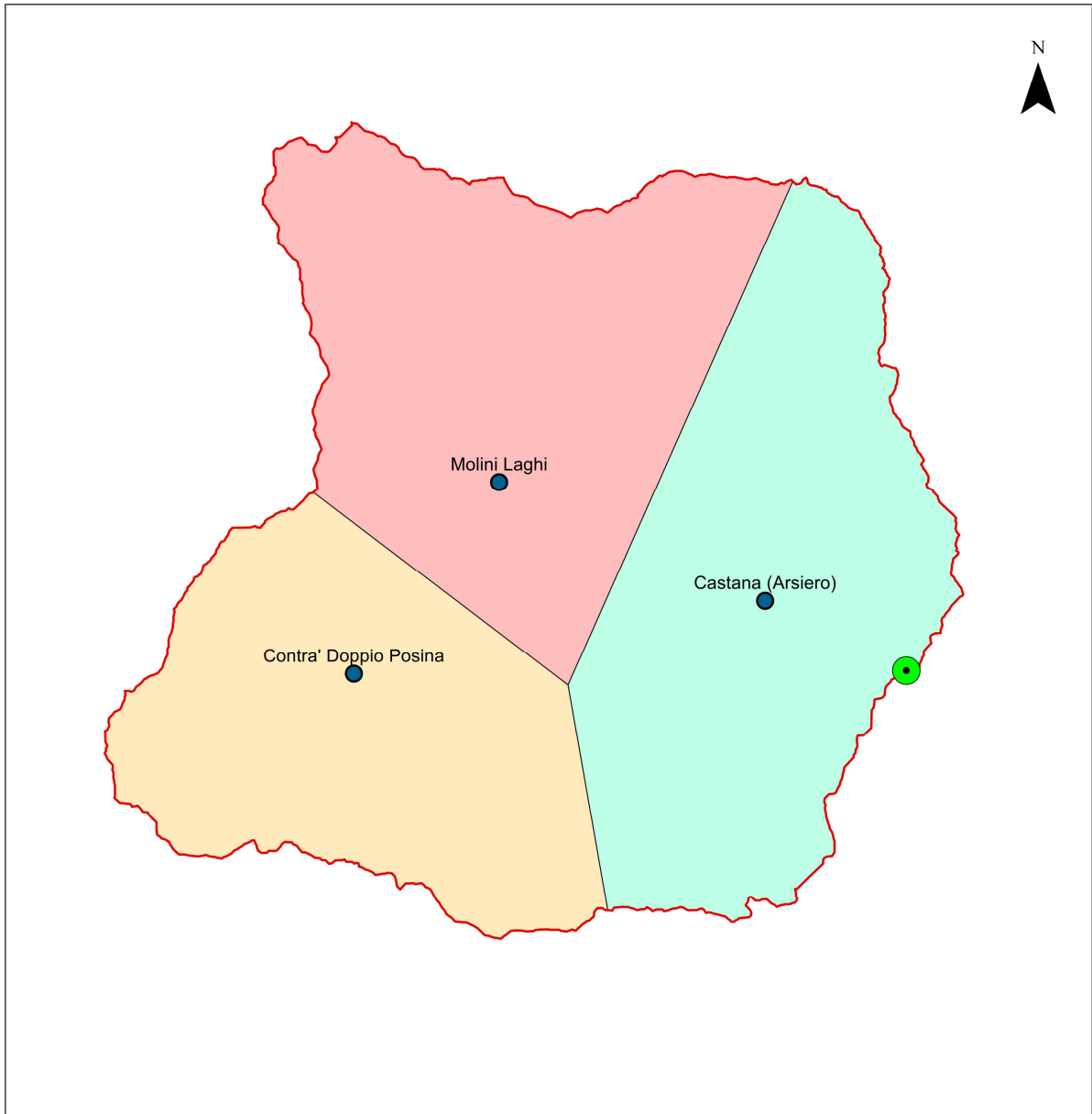
- Metodi grafici: permettono di realizzare generalmente una cartografia principalmente di tipo pluviometrico, qualche volta in combinazione con analisi sulle correlazioni tra precipitazione e quota.
- Metodi topografici: comprendono quelle tecniche che sono basate sulla correlazione esistente tra la variabile in oggetto (temperatura, precipitazione) e i parametri topografici e sinottici come pendenza, esposizione, quota, localizzazione di barriere naturali (colline e montagne), velocità e direzione del vento, ecc.
- Metodi numerici: si basano su funzioni numeriche, sviluppate o esistenti, che vengono utilizzate per pesare i punti-stazione irregolarmente distribuiti nello spazio, con lo scopo di ottenere una stima di una griglia con conformazione regolare.

Nel nostro caso si è scelto di utilizzare un metodo grafico e in particolare il "Metodo dei Poligoni di Thiessen" che si basa sul concetto di associare ai punti della regione di interesse, in cui il dato non è disponibile, il valore della variabile nella stazione di misura più vicina.

La costruzione dei poligoni di Thiessen si realizza congiungendo i punti stazione adiacenti, facendo passare la perpendicolare nel punto di mezzo di questi segmenti e tracciando i confini delle aree di competenza.

Ad ogni punto dell'area di competenza, chiamata anche topoieta o poligono di Thiessen, viene assegnato il valore di pioggia misurato nella stazione di riferimento, quindi, in questo caso, si tratta più di un processo di estrapolazione dei dati che di interpolazione (Figura 4.7).

Usando l'area dei poligoni di Thiessen, come fattore di ponderazione, è stata fatta la media pesata dei dati pluviometrici delle tre stazioni ottenendo così un valore di precipitazione imputabile all'intero bacino.



**Legenda**

- SEZIONE DI CHIUSURA (STANCARI)
- STAZIONI PLUVIOMETRICHE
- SPARTIACQUE
- AREA DI COMPETENZA DELPLUVIOMETRO CONTRA DOPPIO POSINA
- AREA DI COMPETENZA DEL PLUVIOMETRO MOLINI LAGHI
- AREA DI COMPETENZA DEL PLUVIOMETRO CASTANA (ARSIERO)

Figura 4.7: Aree di competenza delle varie stazioni pluviometriche, secondo il metodo dei poligoni di Thiessen, nel bacino del torrente Posina .

### 4.3.1 PRECIPITAZIONI NOVEMBRE 2010

Nei tre grafici della figura 4.9, relativi alle precipitazioni rilevate ogni 30 minuti nelle stazioni pluviometriche presenti nel bacino durante l'evento di piena del 2010, si può notare una certa corrispondenza sia sotto il profilo dei valori massimi (12-14 mm di pioggia) che dal punto di vista temporale, dando così l'idea di una certa omogeneità dell'evento.

Analizzando poi il grafico delle precipitazioni medie del bacino (Figura 4.8) rispetto ai dati di partenza (Figura 4.9) si riscontra una, se pur lieve, tendenza a sottostimare i valori di picco della precipitazione. Come detto precedentemente, anche questo grafico mostra che l'evento ha avuto inizio nella mattina del 31 Ottobre 2010 con precipitazioni dell'ordine dei 3-4 mm. Dopo una prima attenuazione, si può notare come i valori subiscano un forte aumento fino a raggiungere i 10-12 mm di pioggia nella notte tra il 31 Ottobre e il 1 Novembre. Già a mezzogiorno del 1 Novembre si nota come il fenomeno si stia attenuando fino ad esaurirsi nella notte del 2 Novembre.

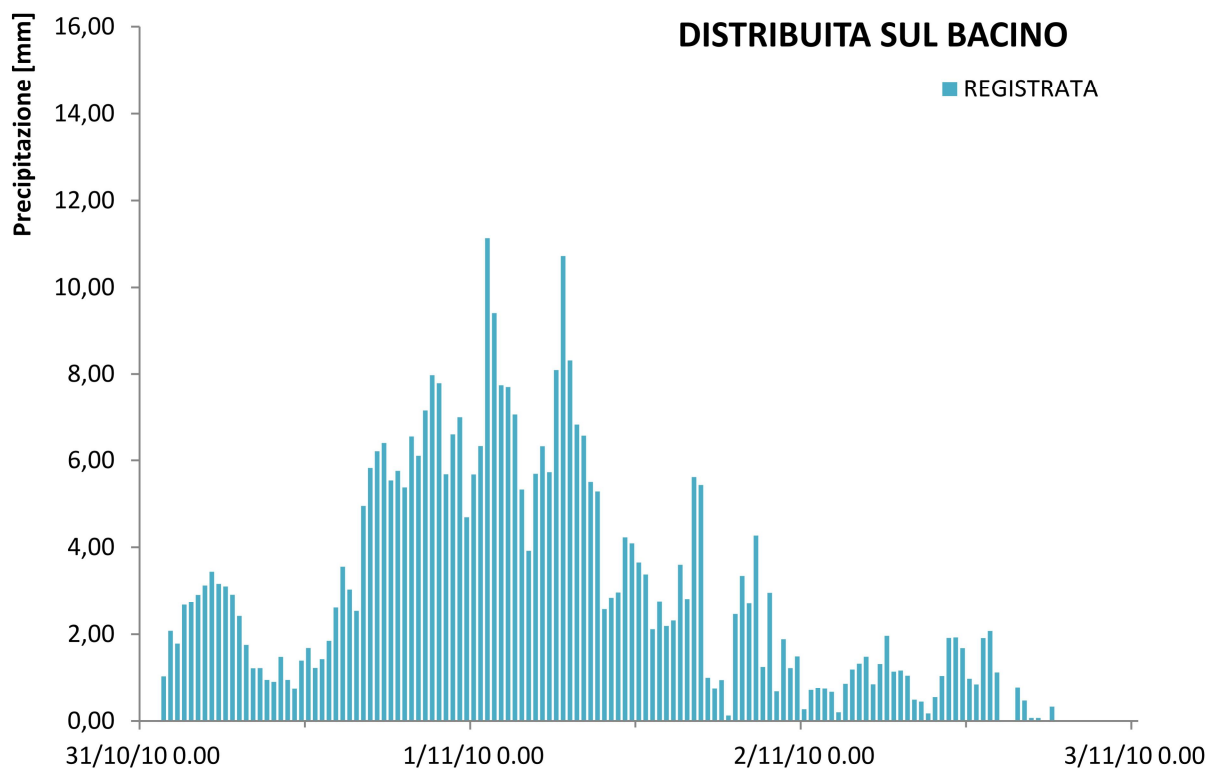


Figura 4.8: Pluviogramma spazializzato sul bacino del torrente Posina, durante l'evento del Novembre 2010, secondo il metodo grafico dei poligoni di Thiessen.

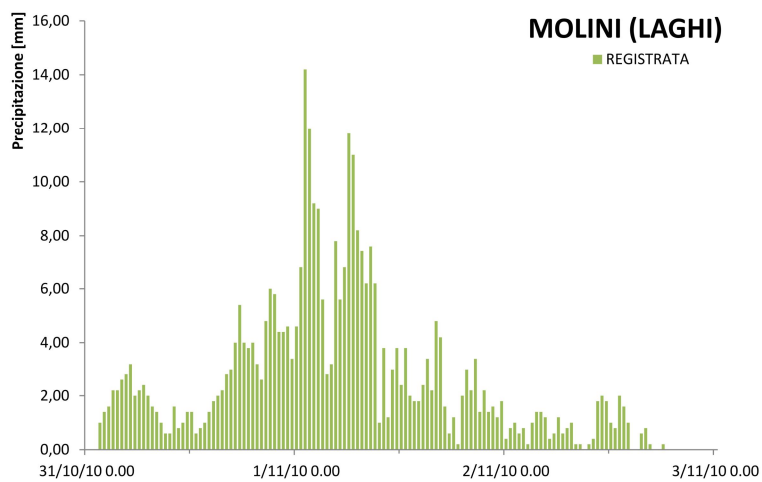
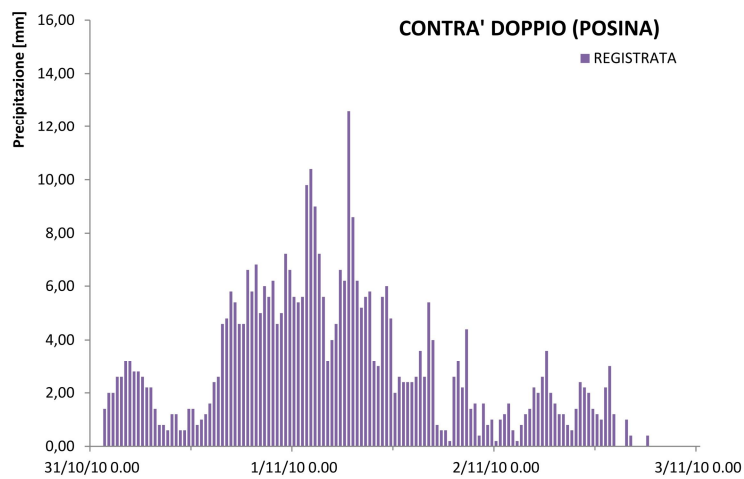
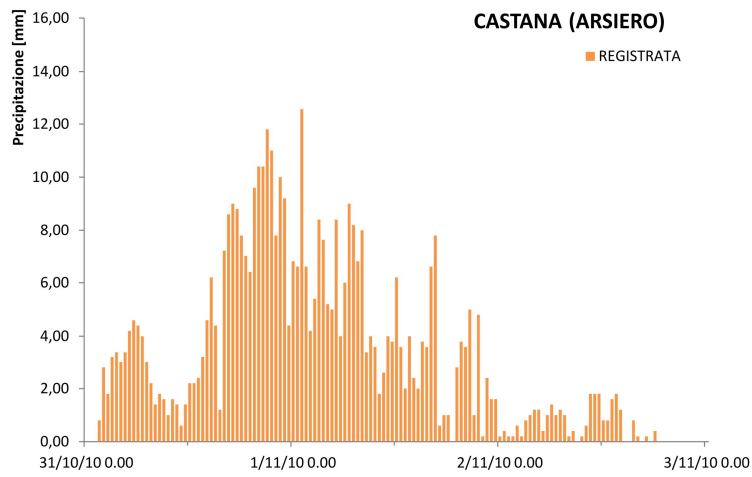


Figura 4.9: Pluviogrammi rilevati durante l'evento del Novembre 2010 dalle stazioni di Castana (Arsiero), Contra Doppio (Posina) e Molini (Laghi).

### 4.3.2 PRECIPITAZIONI NOVEMBRE 2012

Come visto precedentemente anche per l'evento del Novembre 2012 sono stati realizzati i grafici relativi ai dati rilevati ogni 30 minuti dalle tre stazioni meteorologiche (Figura 4.11).

Dal confronto dei tre grafici si può notare come nella stazione meteorologica di Castana sia stato registrato un picco di maggior intensità di precipitazione rispetto alle altre due stazioni che invece riportano valori più coerenti tra loro.

Sotto il profilo temporale invece tutte e tre le stazioni presentano lo stesso andamento e, quindi, si è proceduto ad eseguire la media ponderata dei valori di precipitazione secondo il metodo sopra citato. I risultati di questa media vengono illustrati nel grafico in figura 4.10 e si evidenzia come l'evento in questione sia stato relativamente di breve durata rispetto al precedente.

Infatti si registrano le prime precipitazioni nella sera del 10 Novembre 2012 e già nella tarda mattinata del giorno seguente si osservano i valori estremi di 10-12 mm di pioggia che caratterizzano questo evento.

Nel proseguo della giornata, con la stessa repentinità con cui erano iniziate, le precipitazioni si sono attenuate e nella sera dello stesso giorno sono del tutto esaurite.

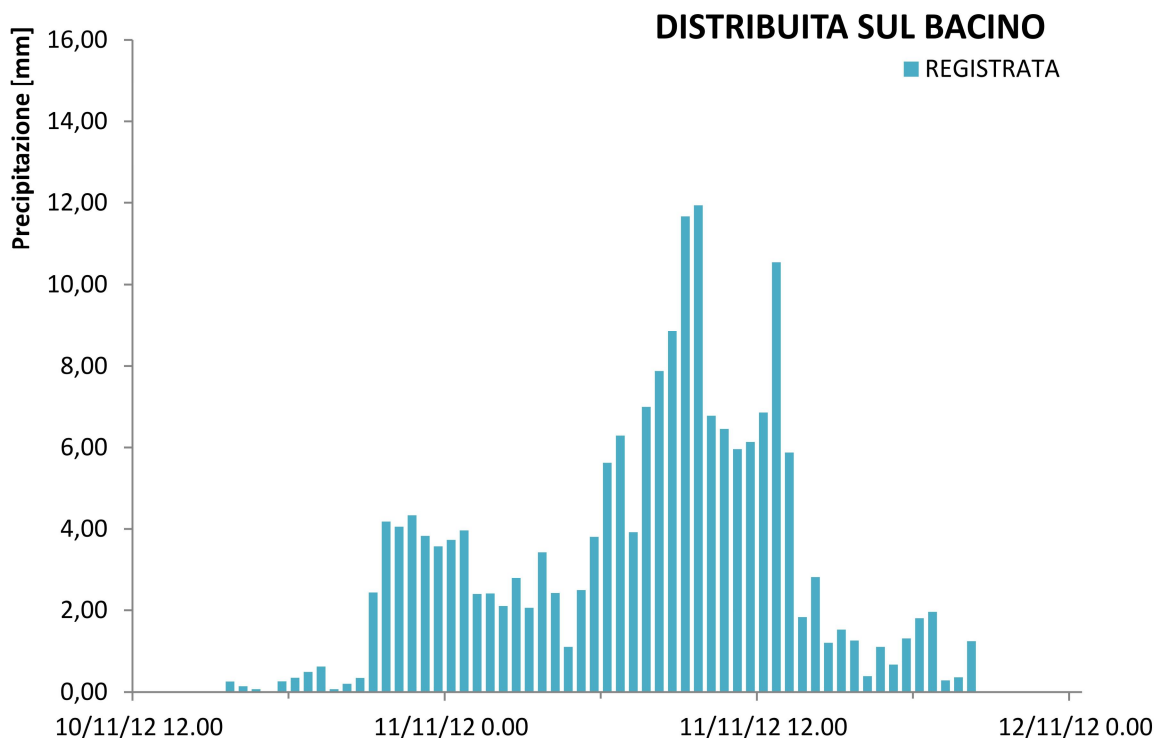


Figura 4.10: Pluviogramma spazializzato sul bacino del torrente Posina, durante l'evento del Novembre 2012, secondo il metodo grafico dei poligoni di Thiessen.

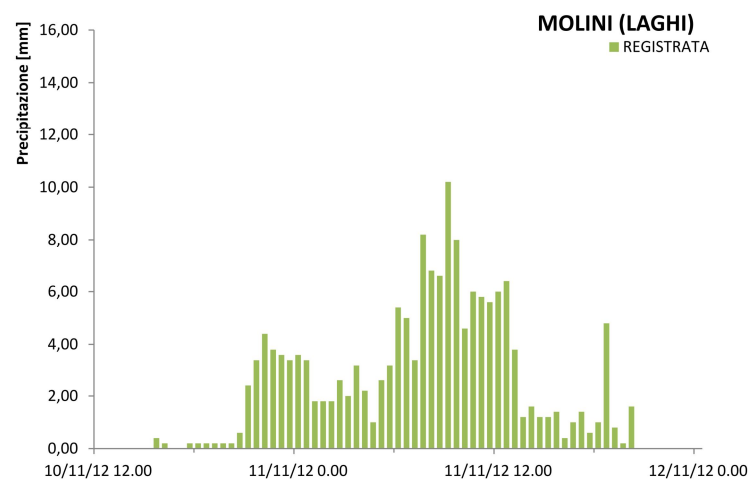
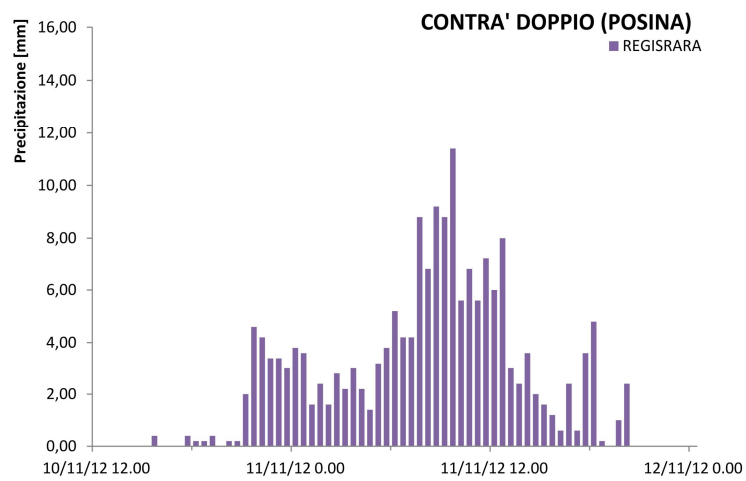
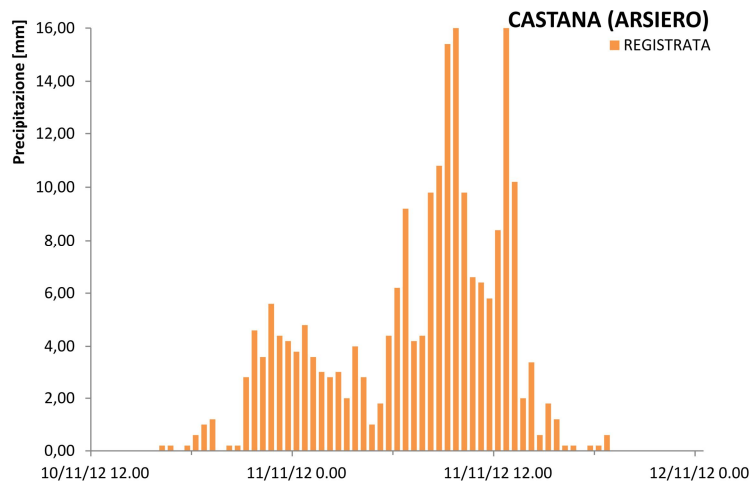


Figura 4.11: Pluviogrammi rilevati durante l'evento del Novembre 2012 dalle stazioni di Castana(Arsiero), Contra Doppio(Posina) e Molini (Laghi).



## 5 MONITORAGGIO DELLA RETE IDRICA VENETA

Analogamente a quanto detto per lo studio degli eventi di piena riportato nel capitolo 4, il livello idrometrico dei fiumi è uno dei fattori che storicamente è stato più rilevato e che riveste tutt'oggi un ruolo chiave.

Infatti fin dal XIV secolo era consuetudine apporre delle lapidi che indicassero il livello massimo raggiunto dalle acque (visibili ancor oggi anche se spesso non più posizionate alle quote originarie), alle quali si aggiungono numerose memorie storiche tramandate da manoscritti e pubblicazioni di cronisti e studiosi.

L'intuizione, però, che le osservazioni sistematiche dei livelli di un fiume potessero dare informazioni preziose è relativamente più recente.

Attualmente le misure dirette di portata dei corsi d'acqua sono considerate decisamente onerose e richiedono un notevole impiego di attrezzatura e di personale, pertanto non vengono utilizzate per il monitoraggio di un corso d'acqua. Il problema della misurazione delle portate è quindi stato risolto ricorrendo a misure indirette: rilevando il livello idrometrico si può stimare la portata sulla base di una relazione univoca tra i due fattori, detta "scala delle portate".

In Veneto, anche in questo caso, una rete di stazioni automatiche dell'ARPAV misura il livello idrometrico dei principali corsi d'acqua da cui si può calcolare la relativa portata consentendo, quindi, di monitorare sia lo stato della risorsa idrica sia l'evoluzione di eventi di piena. Queste stazioni utilizzano sensori di diverso tipo come gli idrometri a ultrasuoni, a pressione differenziale e a bolle (pneumatici o bubbolatori). Solitamente tali strumenti sono accompagnati da aste idrometriche, collocate in prossimità della stazione, che aiutano nella verifica del livello registrato dai sensori in telemisura (ARPAV 2012b).

## 5.1 RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI IDROMETRICI DELL'ARPAV

La rete di monitoraggio dei livelli idrometrici realizzata dall'ARPAV può essere divisa in due principali categorie:

- la rete in tempo reale : invia i dati automaticamente ogni 30 minuti alla centrale di acquisizione presso il CFD (Centro Funzionale Decentrato), allo scopo di valutare e monitorare gli eventi di piena. Tali dati sono tempestivamente utilizzati per la valutazione degli scenari di rischio idraulico e della loro possibile evoluzione. Per la rete in tempo reale è normalmente d'interesse il solo dato di livello idrometrico (per l'eventuale superamento di valori di soglia predefiniti), tant'è che solo poche stazioni risultano idonee anche alla rilevazione della portata non avendo a disposizione una scala delle portate ben definita.
- la rete non in tempo reale : così definita perché l'acquisizione dei dati da parte del CFD non avviene con cadenza ravvicinata ma semplicemente una volta al giorno. Questa è finalizzata soprattutto alla valutazione della risorsa idrica e all'alimentazione dei modelli di bilancio idrico. Il parametro rilevato è sempre il livello idrometrico ma, essendo di maggior interesse la portata, vengono realizzate apposite campagne di misura per aggiornare costantemente la scala di deflusso o scala delle portate. A seconda delle caratteristiche della sezione queste misurazioni avvengono attraverso diverse metodologie e strumentazioni come mulinelli idrometrici ad elica, profilatori acustici ad effetto Doppler (ADCP), diluizione salina e misure volumetriche con secchi o vasche di volume noto.

## 5.2 STAZIONI IDROMETRICHE NEL BACINO DEL TORRENTE POSINA

Per quanto riguarda i rilievi idrometrici nel bacino del torrente Posina, le stazioni presenti sono quelle di Bazzoni posizionata 3 km più a valle del centro di Posina, quella di Valoje situata in corrispondenza dell'attraversamento della Strada Provinciale 81 del torrente Riofreddo e infine quella di Stancari collocata sul ponte subito a valle della confluenza tra il torrente Riofreddo e il torrente Posina (Figura 5.1).

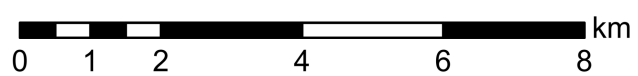
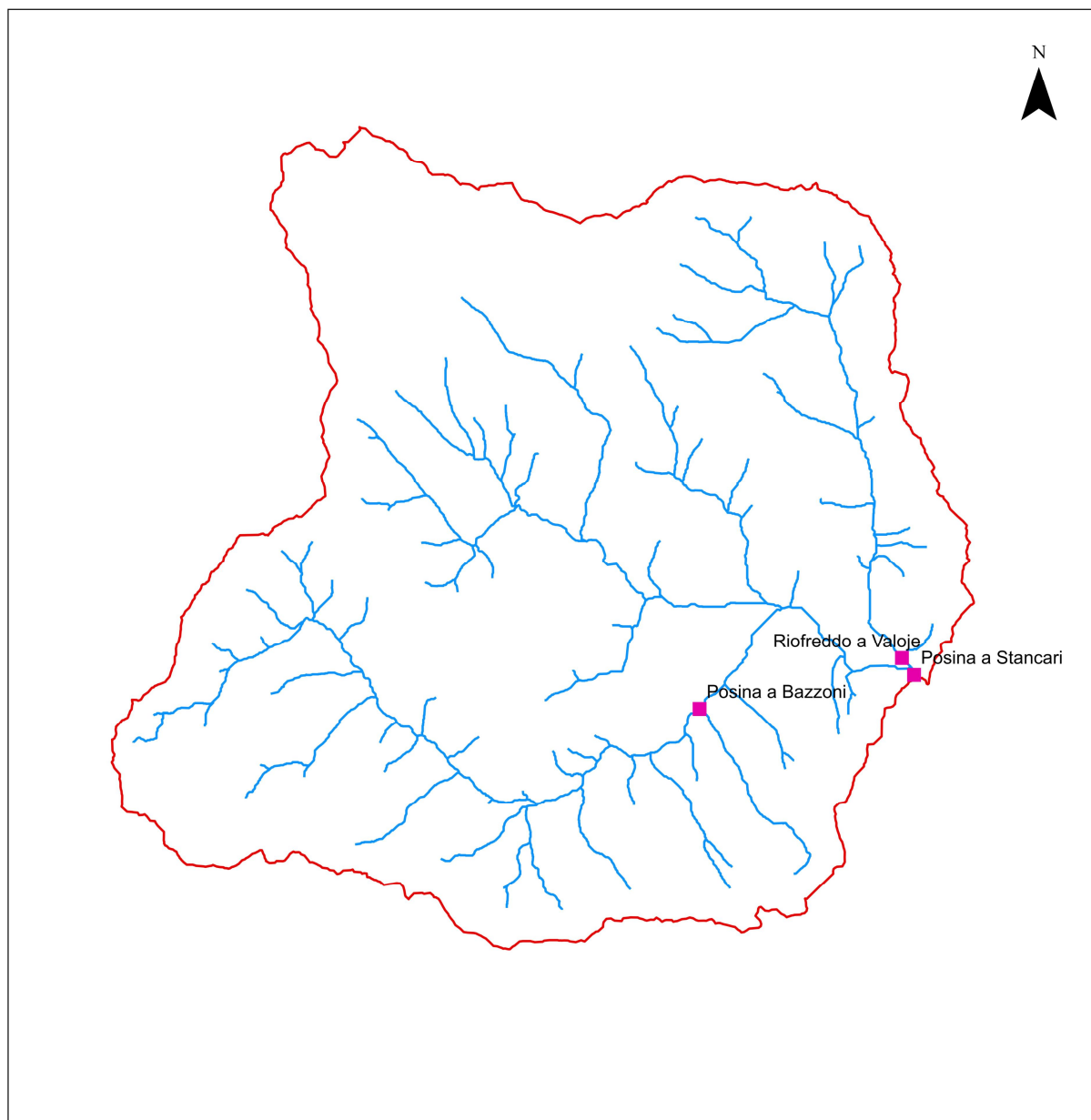
Di seguito si riportano i dati che individuano geograficamente le tre stazioni di rilevamento idrometrico (Tabella 5.1)

Stazione Idrometrica	Coordinate		Quota m s.l.m.	Anno attivazione
	Gauss-Boaga fuso Ovest			
	X	Y		
Posina a Bazzoni (Posina) (194)	1678208	5074606	453	1991
Riofreddo a Valoje (Arsiero) (193)	1681437	5075437	391	1991
Posina a Stancari (407)	1681524	5075140	405	2006

Tabella 5.1: Ubicazione delle stazioni idrometriche ARPAV nel bacino del torrente Posina.

In considerazione della suddivisione tra stazioni idrometriche "in tempo reale" e "non in tempo reale" sopra illustrata, si è constatato che, nel caso delle stazioni idrometriche di Bazzoni e Valoje, non è disponibile la scala delle portate pertanto non si sono potuti calcolare i valori di portata a partire dai livelli idrometrici.

Per questo pur avendo a disposizione i dati di livello idrometrico delle tre stazioni, si è potuto procedere all'analisi degli eventi di piena solo con i dati di portata transitati per la sezione di Stancari.



### Legenda

- STAZIONI IDROMETRICHE
- RETICOLO IDROGRAFICO
- SPARTIACQUE

Figura 5.1: Stazioni di rilievo idrometrico nel bacino del torrente Posina.

### 5.2.1 PORTATA RILEVATA A STANCARI DURANTE LA PIENA DEL 2010

Osservando le portate della stazione idrometrica di Stancari nel corso della piena, avvenuta tra il 31 Ottobre e il 2 Novembre del 2010 nel bacino del torrente Posina, si possono osservare valori al picco di  $112 \text{ m}^3/\text{s}$  alle ore 9.00 del 1 Novembre mantenuti per un periodo relativamente lungo (Tabella 5.2). Infatti si osserva nella figura 5.2 come le portate permangano su valori oltre gli  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  per una giornata intera. Anche la fase di esaurimento della piena è molto lunga e i valori di portata tornano su livelli di morbida solo dopo alcuni giorni dal picco dell'evento.

<b>DEFLUSSO REALE</b>	
<b>Precipitazione cum. [mm]</b>	401
<b>Portata massima [<math>\text{m}^3/\text{s}</math>]</b>	112
<b>Tempo al picco [h]</b>	32

Tabella 5.2: Dati caratteristici della piena del Novembre 2010 all'idrometro di Stancari.

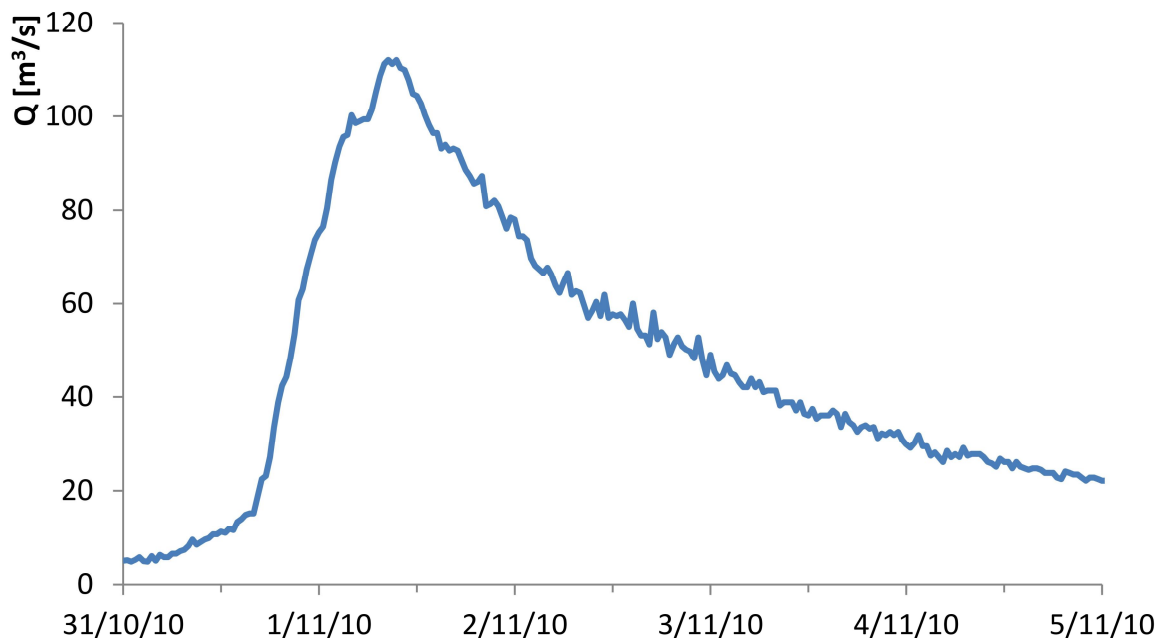


Figura 5.2: Idrogramma rilevato durante l'evento del Novembre 2010 dall'idrometro di Stancari.

## 5.2.2 PORTATA RILEVATA A STANCARI DURANTE LA PIENA DEL 2012

Osservando le portate della stazione idrometrica di Stancari nel corso della piena, avvenuta tra il 10 e l'11 Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina, si può vedere nella figura 5.3 e tabella 5.3 come si raggiungano valori di picco più modesti rispetto al 2010 (Tabella 5.2) ma comunque elevati in considerazione delle dimensioni del bacino. L'evento di piena ha avuto inizio nella notte dell'11 raggiungendo il valore di massima portata alle 13 dello stesso giorno.

La fase di esaurimento della piena è stata più breve rispetto a quello del 2010 grazie al miglioramento delle condizioni meteorologiche nel tardo pomeriggio del giorno 11.

<b>DEFLUSSO REALE</b>	
<b>Precipitazione cum. [mm]</b>	187
<b>Portata massima [m<sup>3</sup>/s]</b>	70
<b>Tempo al picco [h]</b>	22

Tabella 5.3: Dati caratteristici della piena del Novembre 2012 all'idrometro di Stancari.

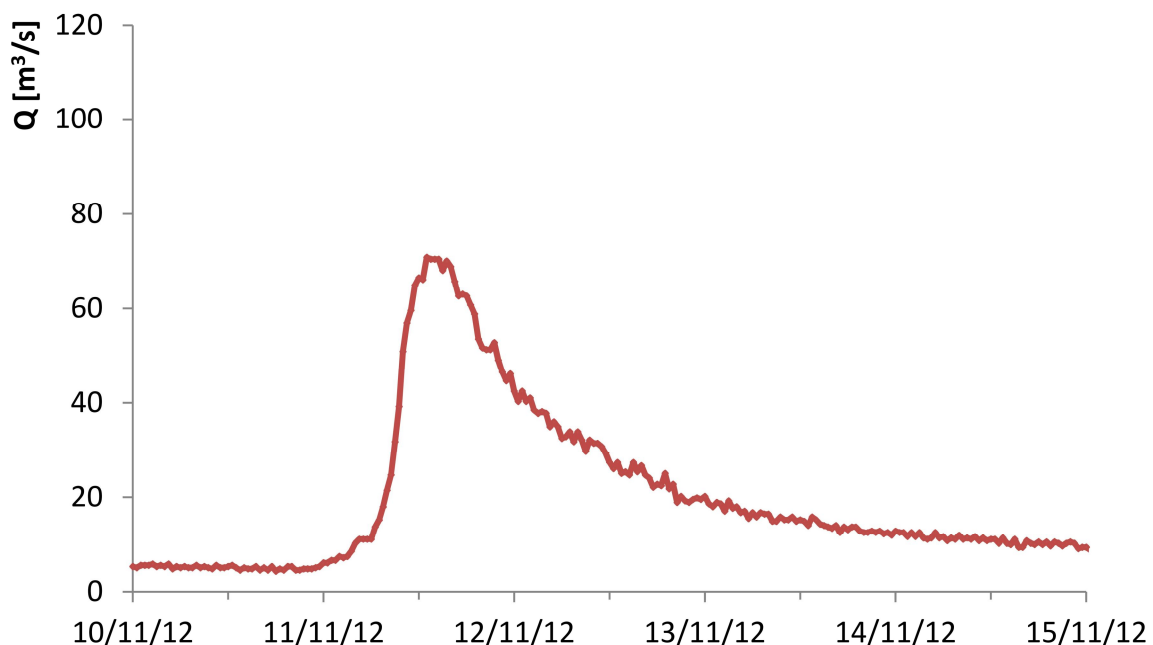


Figura 5.3: Idrogramma rilevato durante l'evento del Novembre 2012 all'idrometro di Stancari.

## 6 SIMULAZIONE EVENTO CON ADB-TOOLBOX

Il software Adb-ToolBox è un'applicazione GIS che, accanto alle funzionalità tipiche dei Sistemi Informativi Geografici, rende disponibili ulteriori funzionalità per la realizzazione di analisi idrologiche. Questa applicazione, attraverso una procedura modellistica, è stata utilizzata in questo studio per effettuare la simulazione utile a stimare il valore della portata dell'evento sulla sezione di chiusura del bacino.

### 6.1 MODELLO IDROLOGICO

La caratteristica peculiare del modello implementato dal software è che nel calcolo dell'idrogramma di piena combina più equazioni e metodi :

- Soll Conservation Service (S.C.S.): per il calcolo della pioggia efficace distribuita
- Metodo cinematico: per la propagazione alla sezione di chiusura
- Serbatoio lineare: per la simulazione del deflusso di base

L'approccio modellistico, utilizzato dal software, risulta semplificato in modo tale da rendere minima l'esigenza di dati per eseguire la simulazione, ma allo stesso tempo limita l'analisi modellistica ai bacini medio piccoli con superfici inferiori a 250 km<sup>2</sup>. Su bacini di dimensioni maggiori potrebbero infatti diventare importanti e rilevanti fattori quali, ad esempio, la distribuzione non uniforme delle precipitazioni e la necessità di ricorrere ad una simulazione più raffinata dei meccanismi di trasporto della rete idrografica.

Di seguito riportiamo un breve approfondimento sulle equazioni che il modello utilizza per il calcolo dell'idrogramma.

#### 6.1.1 METODO S.C.S.

Il Soil Conservation Service è una procedura che consente di descrivere e ricostruire un evento di piena all'interno dei bacini idrografici. Questo metodo determina il volume totale della piena o meglio la pioggia efficace distribuita all'interno del bacino.

Per la determinazione del volume totale, il procedimento si fonda sull'ipotesi che il rapporto tra il volume di deflusso e la precipitazione netta, sia pari al rapporto tra il volume invasato dal suolo e il massimo valore di suddetto invasato, come da formula (2).

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S} \quad (2)$$

*V: volume di deflusso*

*P<sub>n</sub>: precipitazione netta*

*W: invasato del suolo*

*S: massimo valore raggiungibile da suddetto invasato*

Il valore di precipitazione netta ( $P_n$ ) si ottiene sottraendo alla precipitazione totale le perdite iniziali, riconducibili ad un immagazzinamento iniziale e imputabili, ad esempio, ad aree impermeabili di accumulo idrico all'interno del bacino o all'infiltrazione prima della formazione di deflusso.

La precipitazione netta si ripartisce tra il volume di deflusso superficiale e l'invasato del suolo:

$$P_n = V + W \quad (3)$$

Dalle equazioni appena viste, con semplici passaggi si ottiene che:

$$V = \frac{P_n^2}{P_n + S} \quad (4)$$

Poiché:

$$I_a = 0,2S \quad e \quad P_n = P - I_a \quad (5)$$

*I<sub>a</sub>: perdite iniziali*

*P: precipitazione*

È possibile valutare il volume di deflusso come:

$$V = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (6)$$

L'applicazione di tale formula presuppone, oltre la conoscenza della precipitazione totale, la stima del massimo volume d'invasato del suolo, che può teoricamente assumere tutti i valori positivi tra zero e infinito, descrivendo superfici perfettamente impermeabili o permeabili.

La valutazione viene effettuata attraverso la seguente equazione:

$$S = S_0 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (7)$$

Il parametro CN, definito curve number, rappresenta l'attitudine del bacino in esame a produrre deflusso superficiale e viene stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche e di copertura dei suoli. La stima di tal valore presuppone inizialmente la determinazione di un gruppo idrologico di appartenenza a seconda della litologia e del tipo di suolo e successivamente, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee secondo la destinazione d'uso.

Altro parametro a cui si fa riferimento è l'AMC (Antecedent Moisture Conditions) relativo alle condizioni di umidità del suolo antecedenti l'inizio dell'evento. Varia da 1 a 3 in base alle precipitazioni avvenute nei cinque giorni precedenti l'evento in analisi.

### 6.1.2 METODO CINEMATICO

Altro metodo impiegato nelle analisi è il modello della corrivazione (o modello cinematico), il quale per la sua semplicità e funzionalità viene ampiamente applicato nella pratica idrologica.

La sua implementazione è realizzata attraverso l'applicazione del metodo del S.C.S. per il calcolo della pioggia efficace (deflusso superficiale diretto), in abbinamento a considerazioni di carattere cinematico che rappresentano il processo di trasferimento della massa liquida da punti differenti posti sulla superficie del bacino. Così, per ogni goccia d'acqua elementare posta a varie distanze e a quote diverse dalla sezione di chiusura, si procede al calcolo del tempo che tale particella impiega, unitamente alle altre, per giungere a valle.

L'applicazione del modello si fonda su alcune ipotesi:

- la formazione della piena è dovuta esclusivamente ad un trasferimento di massa liquida;
- ogni goccia d'acqua si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dal punto in cui è caduta;
- la velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce;
- la portata alla sezione di chiusura si ottiene sommando tra loro le portate elementari, provenienti dalle diverse parti del bacino, che si presentano allo stesso istante alla sezione di chiusura;

- *Ferro (2002)* aggiunge che le linee isocorrive, congiungenti punti aventi lo stesso tempo di corrivazione, si mantengono costanti durante l'evento di piena al variare dell'intensità della pioggia efficace e della durata.

A tal proposito, per la descrizione del modello, si introduce il concetto di tempo di corrivazione, cioè il tempo necessario affinché una goccia d'acqua caduta nel bacino possa raggiungere la sezione di chiusura. Esso rappresenta il ritardo temporale per il quale ad un input di pioggia, riscontrato nello ietogramma, corrisponde una risposta in termini di portata, traslata nel tempo. Il tempo di corrivazione massimo è un parametro indispensabile nell'applicazione del modello e stima il tempo impiegato da una goccia d'acqua, partita dal punto idraulicamente più lontano (per quota e distanza topografica), per giungere alla sezione di chiusura. L'idrologia considera questo parametro di assoluta importanza, poiché, per un tempo pari al tempo di corrivazione, tutta la superficie del bacino contribuisce nello stesso istante al deflusso superficiale.

Coerentemente con il modello, ogni punto del bacino è quindi collegato alla sezione di chiusura attraverso un canale lineare che, unitamente agli altri, forma un complesso di rami paralleli tra loro. Questo canale è un elemento che produce una risposta idrologica, costituita da una semplice traslazione a seguito dell'impulso dovuto alla precipitazione al suolo:

$$q(t) = p(t - \tau) \quad (8)$$

$q(t)$  = risposta idrologica del bacino

$p(t)$  = impulso dovuto precipitazione netta

$\tau$  = il ritardo temporale provocato dal percorso della particella lungo il canale

Se si considera quindi un'area infinitesima inserita nel bacino, si conviene che la pioggia netta  $p(t)$ , caduta nell'area stessa, produrrà nella sezione di chiusura un valore di portata infinitesima pari a:

$$dq(t) = p(t - s)dA \quad (9)$$

$s$  = il ritardo temporale provocato dal percorso della particella lungo il canale

$dA$  = area infinitesima presa in considerazione

Al tempo  $t$  la portata alla sezione di chiusura sarà fornita dai contributi delle singole aree elementari:

$$Q(t) = \int_0^{A(t)} p(t - \tau)dA \quad (10)$$

Il modello idrologico della corrivazione pone le sue basi sulla conoscenza dei caratteri morfologici del bacino.

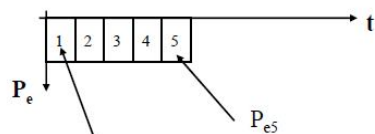
L'intera superficie, sulla base della curva ipsografica, viene così suddivisa in fasce di area poste a quote diverse, che, in funzione del loro tempo di corrivazione, contribuiscono con tempi differenti al deflusso totale alla sezione di chiusura.

Effettuando il calcolo senza l'ausilio di alcun software, partendo dalla curva ipsometrica, si individua per ogni fascia di quota la relativa area, racchiusa tra due isoipse, supponendo che presenti il medesimo tempo di corrivazione (Figura 6.1).

Ipotizzando che il tempo di corrivazione di ciascun punto del bacino sia proporzionale alla distanza che intercorre tra esso e la sezione di chiusura e che, in generale, a punti di quota più elevata corrispondano distanze maggiori, i tempi di corrivazione saranno più grandi in proporzione alla quota.

**... determino l'idrogramma di piena**

Considero pluviogramma di intensità costante con passo  $\Delta t$



$$Q_1 = \frac{P_{e1}}{3.6 \Delta t} A_1$$

$$Q_2 = \frac{(P_{e1} A_2 + P_{e2} A_1)}{3.6 \Delta t}$$

$$Q_3 = \frac{(P_{e3} A_1 + P_{e2} A_2 + P_{e1} A_3)}{3.6 \Delta t}$$

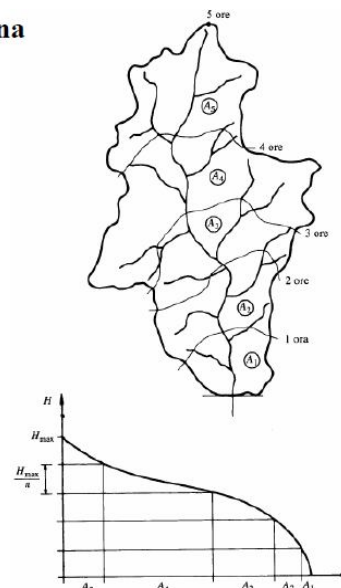


Figura 6.1 : Schema di calcolo dell'idrogramma di piena con il metodo cinematico (D'Agostino , V Anno Accademico 2005-2006).

Il software utilizzato consente invece un'analisi di maggior dettaglio relativa ai tempi di corrivazione, in quanto ogni singola cella, all'interno dell'area indagata, presenta un unico percorso utile al raggiungimento della sezione di chiusura. In relazione alle caratteristiche morfologiche dell'area e alle proprietà geometriche di ogni singola cella, il software esegue il calcolo del percorso facendo una distinzione tra le aree afferibili ai versanti e a quelle

imputabili alla rete idrografica. Per ottenere una simulazione che risulti ancor più realistica, il deflusso è caratterizzato da due diversi valori di velocità, in relazione al fatto che esso transiti in una cella di versante o di reticolo.

Si osserva come dopo un tempo uguale al tempo di corrivazione l'intera superficie del bacino sia, in quell'istante, contribuyente.

L'intera superficie del bacino, suddivisa in tante aree pari al numero di celle, determinerà un valore di portata correlato al tempo di ritardo  $\Delta t$ , che l'impulso piovoso accumula lungo il percorso.

L'idrogramma totale risulta quindi dall'applicazione del principio della sovrapposizione degli effetti, sommando cioè tutti gli idrogrammi parziali corrispondenti alle precipitazioni che, nei diversi intervalli di tempo, cadono sulle diverse aree in cui è suddivisa l'area totale del bacino.

### 6.1.3 METODO DEL SERBATOIO LINEARE

Con lo scopo di riprodurre più fedelmente possibile un evento di piena, è possibile utilizzare un'ulteriore equazione utile a definire la curva di esaurimento del bacino e a valutare il livello di desaturazione del terreno e l'entità delle perdite sottosuperficiali.

I due metodi illustrati nel capitolo 6.1.1 e 6.1.2 presentano dei deficit di portata, anche importanti, nella parte che descrive la fase finale dell'evento. In questi tratti si nota un decremento repentino dei valori di portata ed una fase di esaurimento dell'evento simulato in un tempo molto limitato. Questa è stata identificata come un punto critico sia perché in realtà i tempi di scarico del bacino sono decisamente più lunghi, sia perché i valori di portata teorica, di intensità molto inferiore a quella reale, comportano un'errata stima del volume d'acqua che transita attraverso la sezione di chiusura.

Altro aspetto problematico legato ai modelli precedenti è quello relativo alla valutazione delle interferenze su uno stesso evento di due precipitazioni ravvicinate. Far esaurire così rapidamente l'evento di piena, infatti, potrebbe non favorire un corretto apprezzamento degli effetti che due precipitazioni, distanziate da un breve lasso di tempo (situazione che si verifica piuttosto frequentemente), possono avere sul bilancio idrico di un bacino che nella realtà non si è ancora completamente scaricato.

Ai fini di una corretta stima del tempo di esaurimento dell'evento di piena, risulta essenziale considerare anche il contributo, in termini di portata, della pioggia accumulata nel terreno che scorre sottosuperficialmente verso la sezione di chiusura (al netto di alcune perdite dovute a diversi fattori ambientali quali, ad esempio, la microporosità del terreno e l'evapo-traspirazione).

Il modello qui descritto consente di tener conto, per la stima del valore di portata finale, anche della quota di deflusso sottosuperficiale. Considerando l'invaso derivato dal metodo S.C.S. , ovvero il residuo di precipitazione che non forma deflusso diretto depurato dalle perdite iniziali corrispondenti ai valori di pioggia intercettati dalla vegetazione e sulla superficie del suolo, si definisce un volume idrico che filtra all'interno del serbatoio concettuale sottosuperficiale, dove si accumula dando luogo ad un vaso.

Il deflusso sottosuperficiale viene quindi calcolato in funzione di tale vaso secondo la relazione lineare:

$$Q(t) = \alpha \cdot V(t) \quad (11)$$

*V(t)* = volume dell'invaso sottosuperficiale al tempo *t*  
*α* = costante di recessione dell'idrogramma del deflusso di base

Come detto in precedenza, l'introduzione di tale modulo nell'ambito del modello afflussi-deflussi influenza sia il valore della portata al picco, sia la forma del ramo di recessione dell'idrogramma di piena. Per il serbatoio lineare deve valere l'equazione della continuità (12). La differenza tra il volume in ingresso e il volume uscente in un intervallo di tempo *dt* implica una variazione del volume invasato:

$$I(t) - Q(t) = dV(t) \quad (12)$$

*I(t)* = volume in ingresso al tempo *t*  
*Q(t)* = volume in uscita al tempo *t*  
*dV(t)* = variazione del volume invasato

Sostituendo l'espressione che lega il volume invasato alla portata in uscita si ottiene la seguente equazione differenziale:

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) = I(t) \quad (13)$$

L'integrale nel tempo, considerando nullo il termine  $I(t)$ , assume dunque la forma analitica del ramo di recessione:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (14)$$

In pratica, quindi, se si rappresenta il ramo di recessione in un diagramma semilogaritmico, dove il logaritmo delle portate è riportato in ordinata e i tempi lineari sono in ascissa, si otterrà una retta il cui coefficiente angolare è pari ad  $\alpha$ , quale costante di recessione dell'idrogramma del deflusso di base.

## 6.2 CALCOLO CON ADB-TOOLBOX

I valori ottenuti da questa analisi, sono frutto di un procedimento molto dettagliato e attento.

Nel calcolare l'idrogramma e il valore di portata al picco sono stati inseriti molteplici parametri richiesti dal software (Figura 6.2):

- Sezione di chiusura: il software in seguito alla scelta della sezione di chiusura (una cella del raster), riporta le principali caratteristiche (coordinata x, coordinata y, area sottesa [km<sup>2</sup>], quota [m]).
- Dati: sezione in cui vengono richieste due cartelle di dati input e output. Nella prima definita "cartella bacino" il software richiede i file raster quali: dem, area drenata, direzioni di deflusso e CN; nella seconda il software salva i file risultanti dalla simulazione.
- Parametri: in quest'ulteriore sezione si seleziona il tipo di calcolo che si vuole simulare, nel caso in questione le diverse simulazioni sono state effettuate a scala d'evento, ovvero sono stati inseriti i valori di precipitazione rilevati ad intervalli di mezz'ora.

Particolare attenzione prima del calcolo va dedicata ai parametri avanzati (Figura 6.3), i quali risultano necessari per una simulazione ancor più precisa. Attraverso tale finestra di approfondimento il software richiede ulteriori parametri:

- Tempi di residenza: l'utente è qui chiamato ad inserire due distinti valori velocità che caratterizzeranno il deflusso sul versante e all'interno del reticolo e a stabilire inoltre un

valore di area di soglia, quale superficie minima che fa da discriminante tra la superficie così definita di reticolo o di versante.

- Forma ietogramma: questa funzione risulta utile per determinare la tipologia della distribuzione temporale di precipitazione da utilizzare per il calcolo dell'idrogramma finale.
- Idrogramma: la maggior parte dei parametri necessari a definire le variabili, descritte nel modello idrologico del primo software, sono riportate all'interno di quest'ultima sezione:
  - Antecedent Moisture Condition (AMC): come visto nel metodo S.C.S. , rappresenta concettualmente lo stato idrico iniziale del bacino.
  - Portata iniziale ( $Q_0$ ): è il primo dei due parametri che controllano la portata di base e può essere impostata dall'utente, oppure essere calcolata automaticamente dal software in base al valore della superficie considerata:

$$Q_0 = 50 \frac{l}{s} \cdot km^2 = 50 \cdot A \quad (15)$$

- Costante di esaurimento (C.E.): si riferisce invece al serbatoio lineare e corrisponde al termine  $\alpha$  (eq. 14).
- Fattore di riduzione areale (A.R.F.): fattore di controllo che agisce sulle precipitazioni, utile soprattutto nei bacini di estese superfici, anch'esso può essere impostato manualmente o automaticamente calcolato dal software.
- FRPM-TC: infine è un parametro di controllo utile all'individuazione della portata critica (evento di durata critica per il bacino).

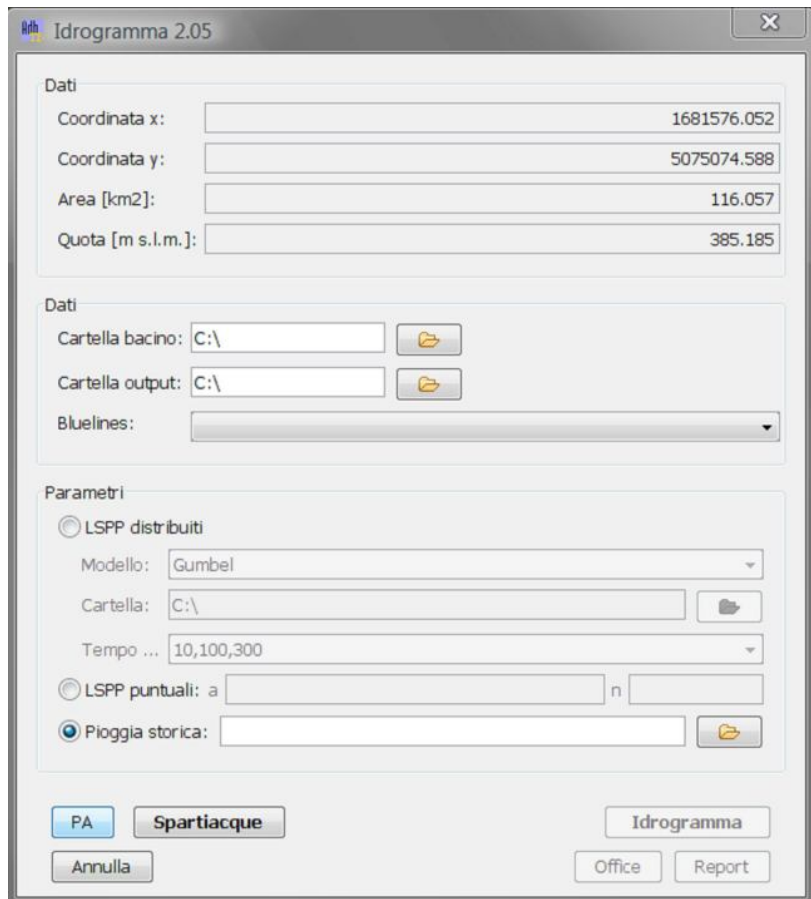


Figura 6.2: Maschera principale per inserimento dati della funzione Idrogramma di AdB-Toolbox.

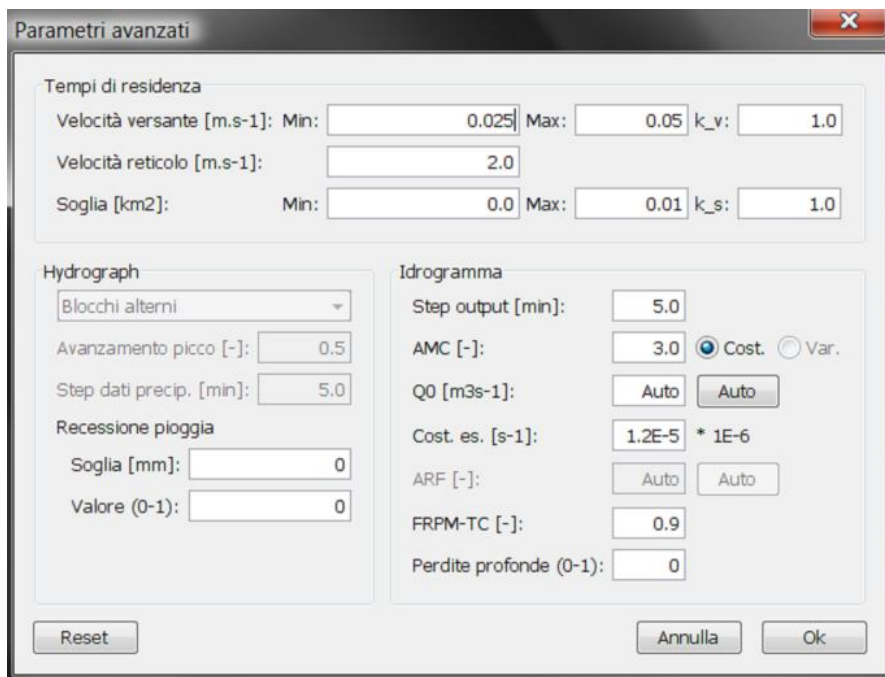


Figura 6.3: Maschera "Parametri Avanzati" per l'inserimento dati della funzione Idrogramma di AdB-Toolbox.

### 6.3 RISULTATI PRELIMINARI

Nei Capitoli 6.3.1 e 6.3.2 si evidenziano i risultati ottenuti dalle prime simulazioni, che vengono denominate “**A2010**” e “**A2012**”, riportando anche i valori dei dati in input nelle tabelle 6.1 e 6.2.

Sono state eseguite rispettivamente per gli eventi di piena del Novembre 2010 e 2012, ponendo la sezione di chiusura a Stancari.

In queste simulazioni si è utilizzato come file di input raster, oltre ai file demdepit.flt (DTM depittato), upslope.flt (carta dell’area drenata) e flowdir.flt (carta delle direzioni di deflusso), il file cn.flt (carta del CN) ottenuto a partire dai dati di uso del suolo e litologici estrapolati dal geoportale della Regione Veneto. Il bacino in esame presenta un valore medio apparente di CN pari a 59.8.

Sempre nei file di input sono stati inseriti, in formato di testo (.txt), i file di precipitazione dei due eventi registrati ad intervalli regolari di 30 minuti.

#### SIMULAZIONE EVENTO 2010

PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE		DEFLUSSO SIMULATO	
Portata iniziale [m <sup>3</sup> /s]	5.5	Precipitazione [mm]	401
C.E.	6	Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	378.6
AMC	2	Tempo al picco [h]	31.5
Area del bacino [km <sup>2</sup> ]	116.2	CN apparente	59.8
Area contribuyente [%]	100		

Tabella 6.1: Dati di input della simulazione **A2010**.

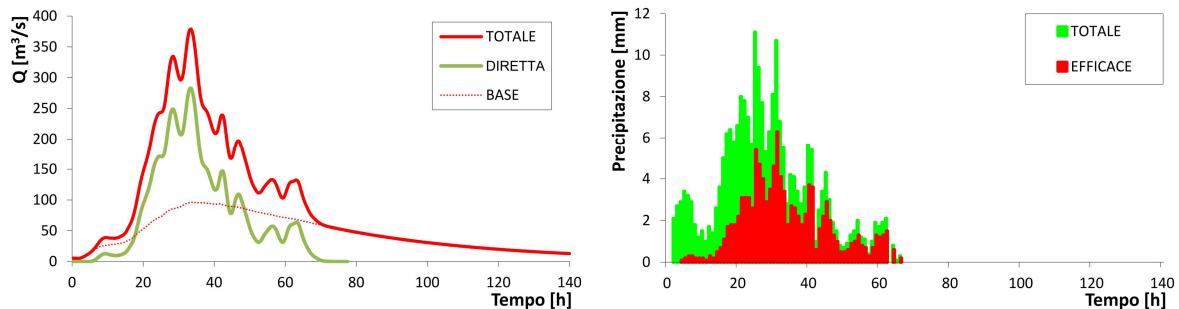


Figura 6.4: Risultati della simulazione “**A2010**” con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2010.

## SIMULAZIONE EVENTO 2012

PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE		DEFLUSSO SIMULATO	
Portata iniziale [m <sup>3</sup> /s]	6.3	Precipitazione [mm]	187
C.E.	6	Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	269
AMC	2	Tempo al picco [h]	22.5
Area del bacino [km <sup>2</sup> ]	116.2	CN apparente	59.8
Area contribuente [%]	100		

Tabella 6.2: Dati di input della simulazione **A2012**.

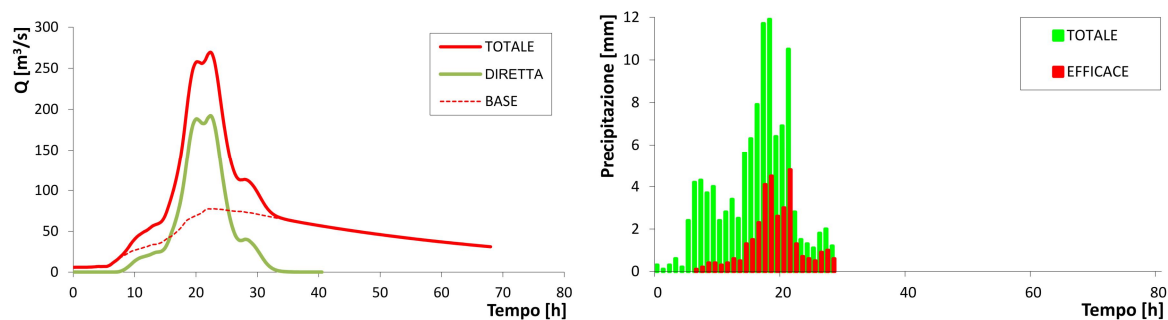


Figura 6.5: Risultati della simulazione “**A2012**” con AdB-Toolbox per l’alluvione del Novembre 2012.

Come si può osservare dai grafici delle figure 6.4 e 6.5 esiste uno scarto molto elevato tra il deflusso di portata reale (Figura 5.2 e 5.3) con quella simulata in questa fase dello studio.

## 6.4 CALIBRAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Dopo queste prime simulazioni si è osservato che le portate restituite da AdB-ToolBox sono di gran lunga superiori a quelle rilevate dall'idrometro di Stancari, quindi si è proceduto ad un lavoro di verifica dei dati e dei parametri inseriti.

In questa fase si è notato che il parametro CN non rispecchiava il reale valore di permeabilità del terreno, facendo così aumentare in maniera notevole i valori di pioggia efficace calcolati dal sistema con il metodo S.C.S. . Questa osservazione è supportata anche dallo studio di *Crespi* pubblicato nel 1994 "*Simulazione dei deflussi di piena del torrente Posina*" in cui si afferma che il bacino del torrente Posina è caratterizzato da bassi valori del parametro CN, indice delle caratteristiche di elevata permeabilità del substrato roccioso di tipo carsico. Lo studio sopracitato infatti ha analizzato 13 eventi di piena registrati nel bacino del Posina a partire dal 1987 fino al 1993.

Con il modello matematico S-SIMO sono stati simulati gli idrogrammi delle diverse piene facendo , di volta in volta, un lavoro di taratura del parametro CN per far collimare i valori di portata simulata con quelli reali.

Analogamente a quanto fatto da *Crespi* (1994), in questo studio si sono effettuate cinque simulazioni per l'evento del 2010 e sei simulazioni per quello del 2012, utilizzando diversi valori di CN. I dati di input utilizzati per tale calibrazione sono visibili in tabella 6.3 .

Per avere una portata di base costante, che permetta di valutare meglio le variazioni di portata simulata al variare del parametro CN, si è scelto di mantenere la costante di esaurimento del deflusso di base (C.E.) uguale a zero. Riducendo il CN, quindi aumentando la permeabilità per rappresentare meglio i fenomeni carsici, aumenta la quantità d'acqua infiltrata e diminuisce quella che scorre in superficie. Poiché il metodo del serbatoio lineare considera la parte di precipitazione infiltrata nel terreno come contribuente alla portata di piena attraverso uno scorrimento sottosuperficiale, applicandolo nel bacino del Posina sarebbe aumentata notevolmente la portata di base. Pertanto in questa fase di studio, per non alterare in modo eclatante la portata totale, si è adottato un valore costante come portata di base.

Per semplificare i lavori di ricerca del valore di CN che meglio simula i due eventi, si è deciso di partire da quello calcolato in un evento simile, per quanto riguarda il valore cumulato di pioggia e durata dell'evento, nello studio di *Crespi* (1994). La simulazione compatibile con gli eventi analizzati (2010-2012) risulta quella dell'evento del 2 ottobre 1992

(Crespi et al, 1994), alla quale è stato attribuito da Crespi un valore di CN pari a 25 (Tabella 6.3 e Figura 6.6). Si tratta quindi di un valore molto basso tale da rappresentare l'effetto carsico riscontrabile durante l'analisi afflussi-deflussi nel bacino del torrente Posina.

<b>EVENTO 2 OTTOBRE 1992</b>	
<b>Precipitazione [mm]</b>	401
<b>Portata massima [m<sup>3</sup>/s]</b>	192.5
<b>Durata evento[gg]</b>	5
<b>CN</b>	25

Tabella 6.3: Dati relativi all'evento di piena del 2 Ottobre 1992 nel bacino del torrente Posina (Crespi et al, 1994).

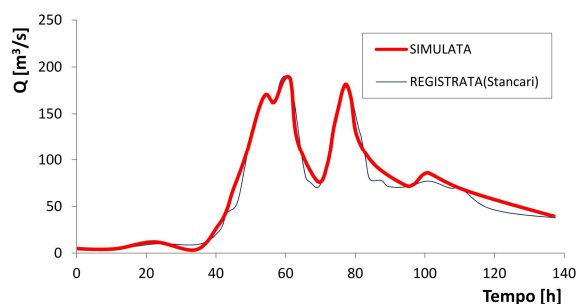


Figura 6.6: Idrogrammi rilevati e simulati relativi all'evento di piena del 2 Ottobre 1992 nel bacino del torrente Posina (Crespi et al, 1994).

Nel caso degli eventi descritti, i livelli di portata simulata sono risultati ancora elevati ed è stato necessario procedere a diminuire ulteriormente il parametro CN.

Ottenuti i valori di CN che facessero collimare i valori massimi di portata simulata e rilevata, si è proceduto ad una valutazione globale del risultato tramite il calcolo dell'efficienza del modello secondo Nash-Sutcliffe (E), con la seguente formula:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (16)$$

$O_i$  = valore di portata osservata

$\bar{O}$  = media dei valori di portata osservata

$P_i$  = valore di portata simulata

E è l'indice che quantifica il miglioramento del modello rispetto ad una situazione nominale di riferimento data dalla media delle osservazioni (Krause et al, 2005).

Per migliorare l'efficienza del modello di simulazione, considerando i valori di CN che meglio rappresentano i valori massimi reali, si sono effettuate ulteriori simulazioni variando il parametro C.E.

#### 6.4.1 RISULTATI OTTENUTI DOPO LA CALIBRAZIONE DEL "CN"

Di seguito si riportano le simulazioni degli eventi di piena del 2010 e del 2012 con diversi valori di CN, mantenendo costanti i restanti parametri.

Per ogni simulazione si sono calcolati i parametri  $\Delta Q_{\max}$  e  $\Delta T_{\max}$ , ovvero rispettivamente la differenza di portata simulata e reale e lo sfasamento temporale tra i due picchi (Tabelle 6.5 e 6.6).

PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE	
Portata iniziale [m <sup>3</sup> /s]	5.5
C.E.	0
AMC	2
Area del bacino [km <sup>2</sup> ]	116.2
Area contribuyente [%]	100

Tabella 6.4: Dati input delle simulazioni da **B2010** a **F2010** e da **B2012** a **G2012**.

#### SIMULAZIONI EVENTO 2010

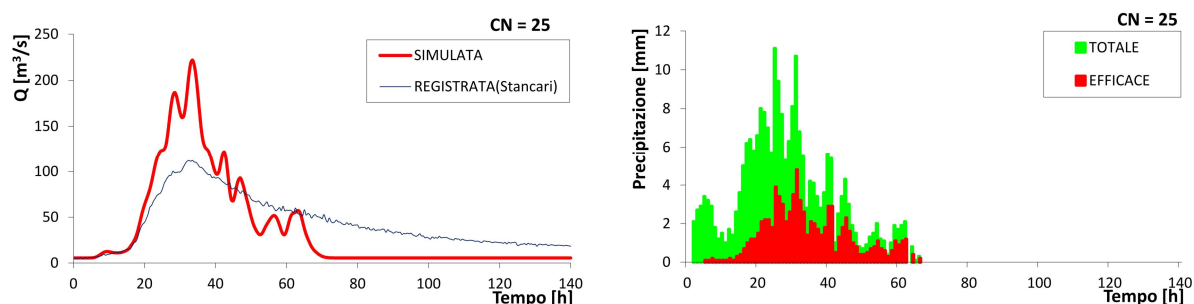


Figura 6.7 : Risultati della simulazione "B2010" (CN=25) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

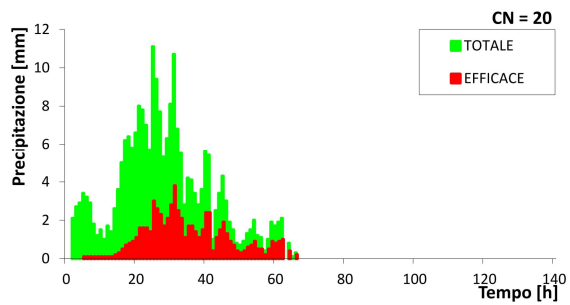
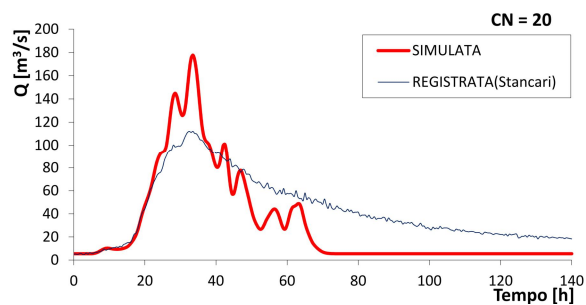


Figura 6.8 : Risultati della simulazione "C2010" (CN=20) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

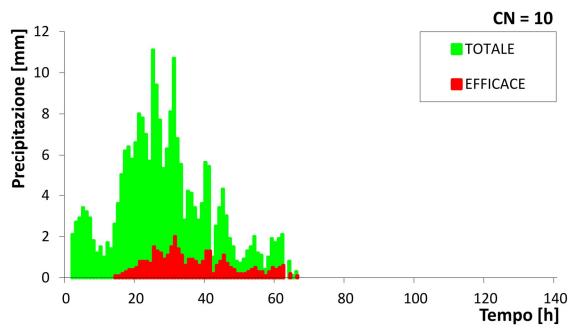
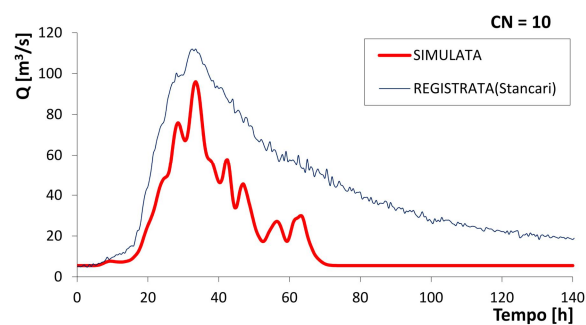


Figura 6.9 : Risultati della simulazione "D2010" (CN=10) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

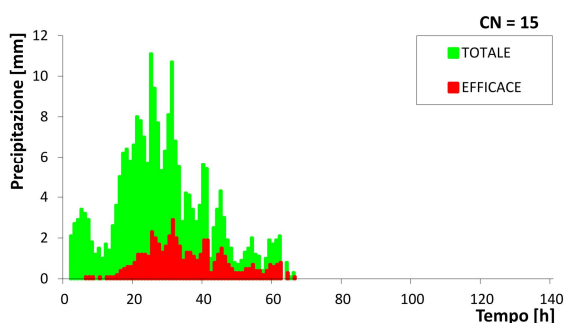
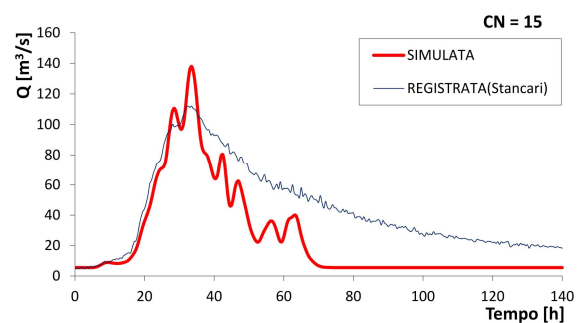


Figura 6.10: Risultati della simulazione "E2010" (CN=15) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

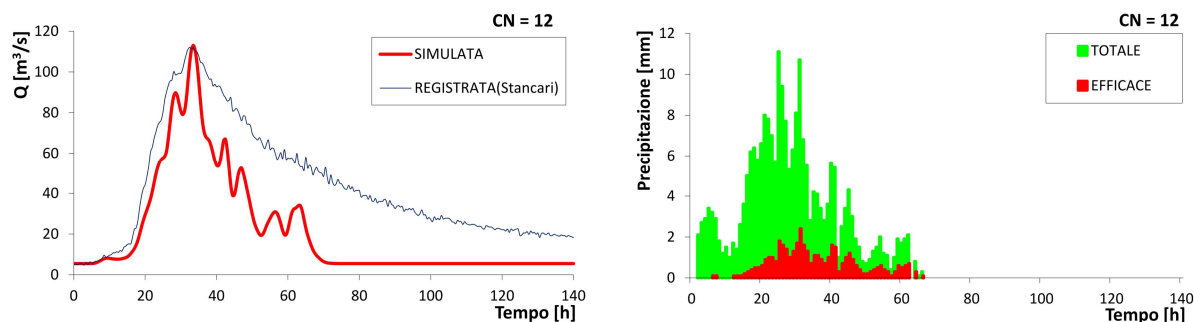


Figura 6.11: Risultati della simulazione "F2010" (CN=12) con AdB-Toolbox per l' evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

Nome simulazione	CN	$\Delta Q_{max}$		$\Delta T_{max}$	E	Figura n.
		[m <sup>3</sup> /s]	[%]	[h]		
B2010	25	109.8	49.5	0	n.c.	6.7
C2010	20	65.6	36.9	0	n.c.	6.8
D2010	10	-15.9	-16.7	0	n.c.	6.9
E2010	15	25.9	18.8	0	n.c.	6.10
F2010	12	1.0	0.9	0	0.26	6.11

Nota: n.c. = NON CALCOLATO

Tabella 6.5 : Differenza tra idrogramma reale e simulato con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

### SIMULAZIONI EVENTO 2012

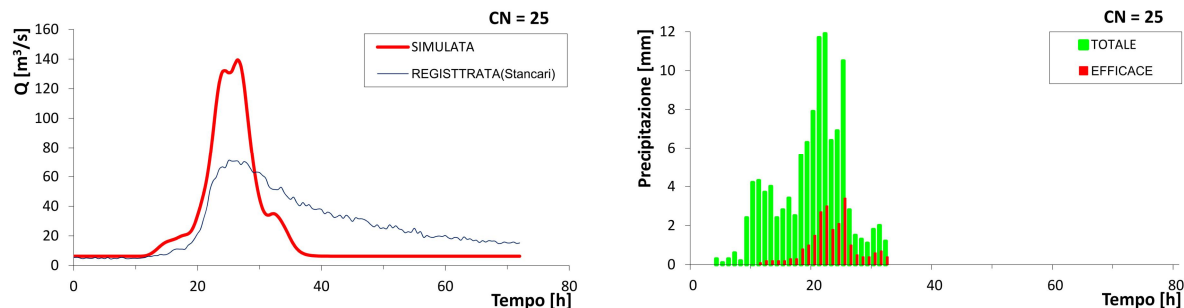


Figura 6.12 : Risultati della simulazione "B2012" (CN=25) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

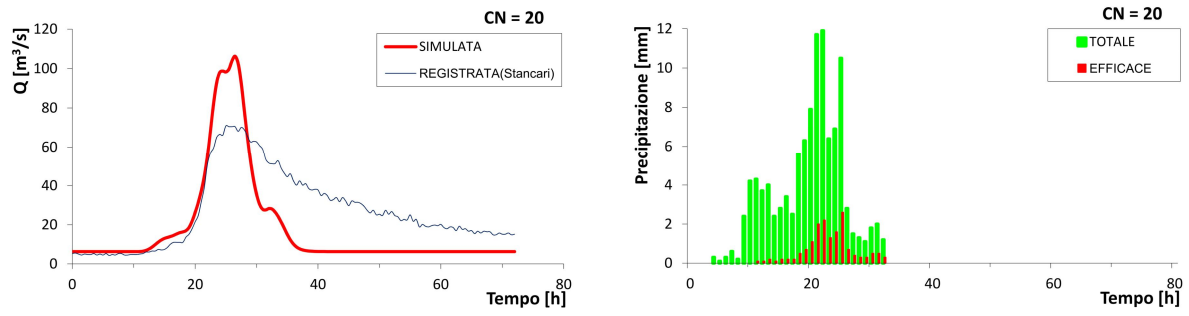


Figura 6.13 : Risultati della simulazione "C2012" (CN=20) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

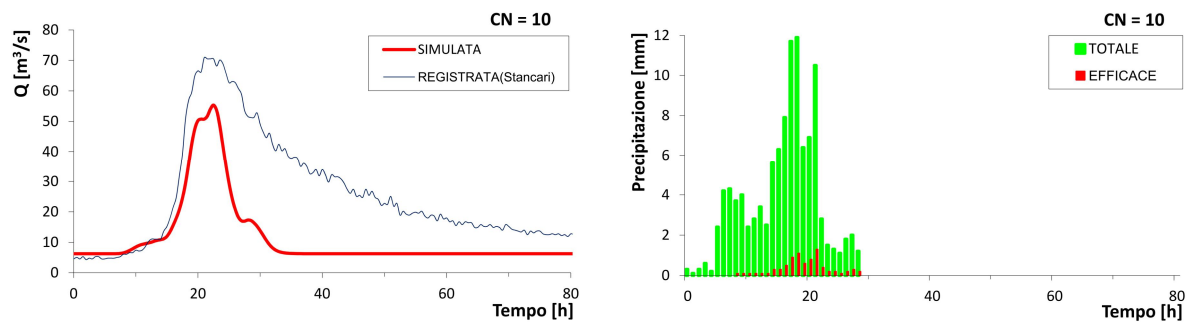


Figura 6.14: Risultati della simulazione "D2012" (CN=10) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

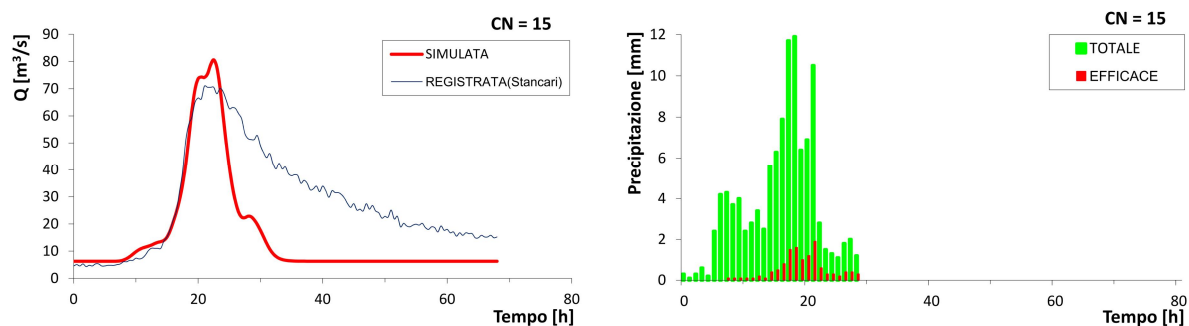


Figura 6.15 : Risultati della simulazione "E2012" (CN=15) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

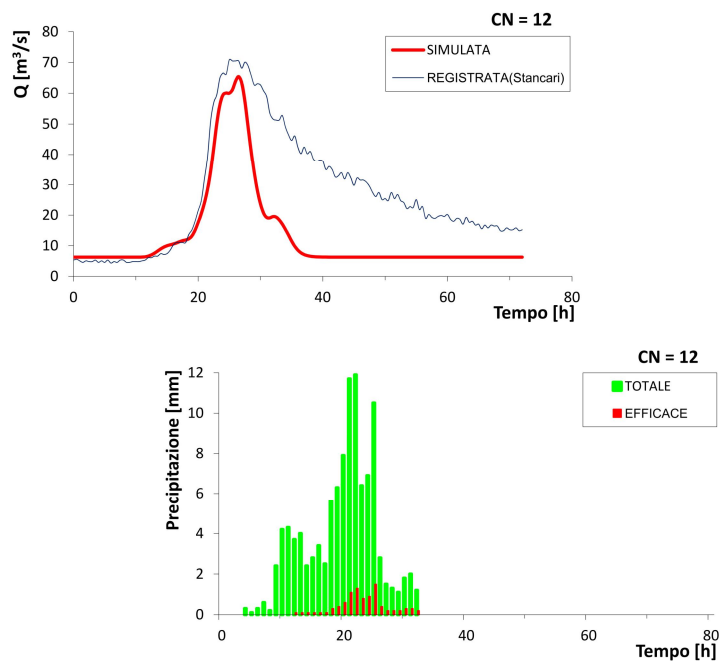


Figura 6.16 : Risultati della simulazione "F2012" (CN=12) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

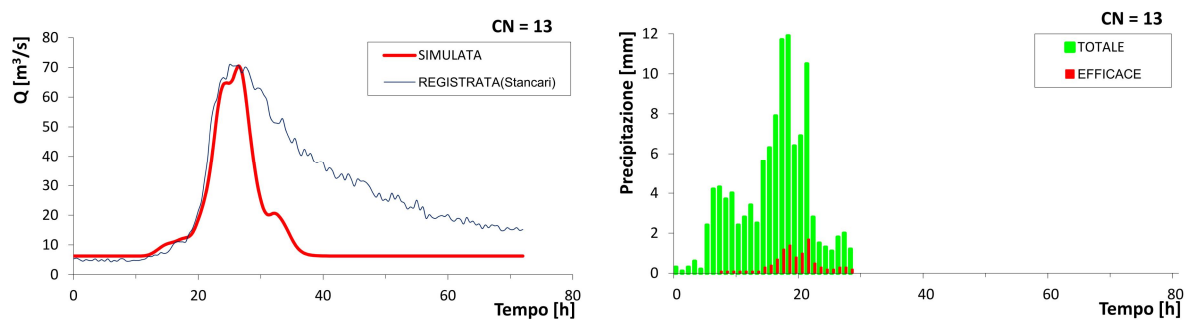


Figura 6.17: Risultati della simulazione "G2012" (CN=13) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

Nome simulazione	CN	$\Delta Q_{\max}$		$\Delta T_{\max}$ [h]	E	Figura n.
		$[\text{m}^3/\text{s}]$	[%]			
B2012	25	68.6	49.2	1	n.c.	6.12
C2012	20	35.4	33.3	1	n.c.	6.13
D2012	10	-15.6	-28.1	1	n.c.	6.14

E2012	15	10.5	13.0	1	n.c.	6.15
F2012	12	-5.5	8.4	1	n.c.	6.16
G2012	13	-0.4	-0.6	1	0.35	6.17

Nota: n.c. = NON CALCOLATO

Tabella 6.6 : Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN con AdB-ToolBox per l'evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

#### 6.4.2 RISULTATI OTTENUTI DOPO LA CALIBRAZIONE DEL C.E.

Negli idrogrammi delle precedenti simulazioni il ramo di esaurimento calcolato sottostima i valori di portata reale, pertanto si è scelto di variare il parametro C.E. introducendo così gli effetti del metodo del serbatoio lineare.

Il valore  $\Delta Q_{cum}$  esprime la differenza tra la cumulata della portata simulata e la cumulata della portata reale dell'evento.

Nelle Tabelle 6.7 e 6.8 si riportano sia i risultati che minimizzano la differenza del  $\Delta Q_{cum}$  sia quelli che minimizzano la differenza delle percentuali tra  $\Delta Q_{max}$  e  $\Delta Q_{cum}$ . Inoltre si è valutata l'efficienza di queste simulazioni calcolando il valore di  $E$  secondo Nash-Sutcliffe.

#### SIMULAZIONI EVENTO 2010

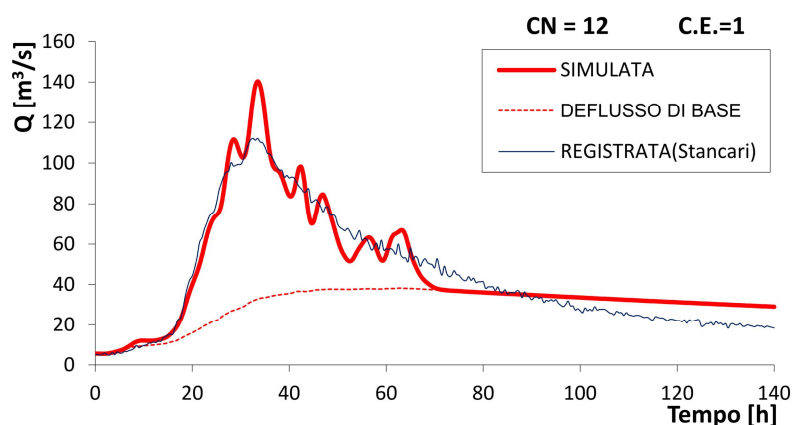


Figura 6.18 : Risultati della simulazione "G2010" (CN=12 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l'evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

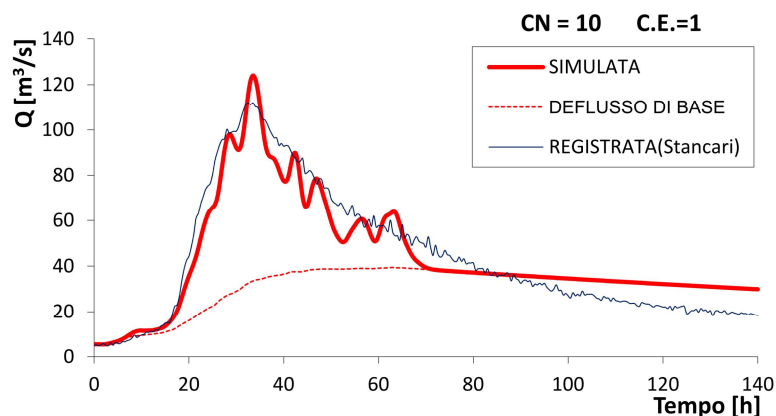


Figura 6.19 : Risultati della simulazione “H2010” (CN=10 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

Nome simulazione	CN	C.E.	$\Delta Q_{cum}$		$\Delta Q_{max}$		E	Figura n.
			[m <sup>3</sup> ]	[%]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]		
G2010	12	1	-170	-2.0	28.3	20.2	0.94	6.17
H2010	10	1	-763	-9.5	12.0	9.7	0.93	6.18

Tabella 6.7 : Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN e del C.E. con AdB-ToolBox per l’evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

### SIMULAZIONI EVENTO 2012

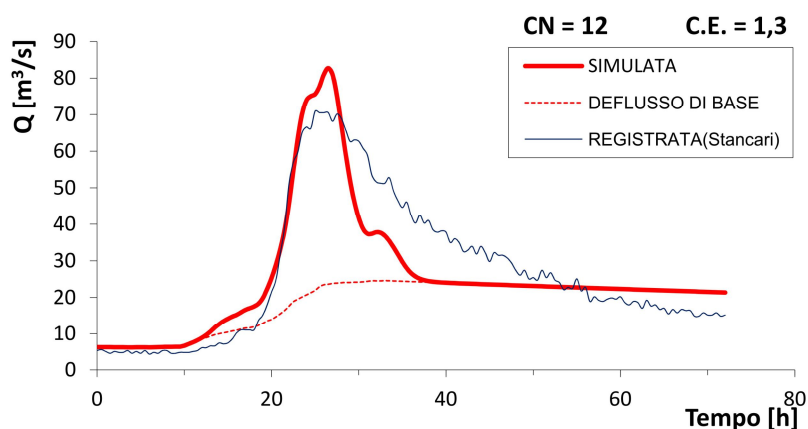


Figura 6.20: Risultati della simulazione “H2012” (CN=12 e C.E.= 1.3) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

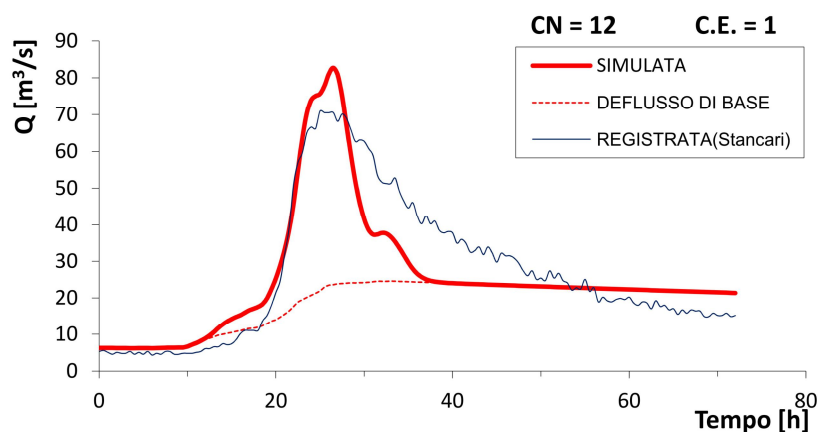


Figura 6.21 : Risultati della simulazione “I2012” (CN=12 e C.E.= 1) con AdB-Toolbox per l’evento del Novembre 2012 nel bacino del torrente Posina.

Nome simulazione	CN	C.E.	$\Delta Q_{cum}$		$\Delta Q_{max}$		E	Figura n.
			[m <sup>3</sup> ]	[%]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]		
H2012	12	1.3	-2	-0.1	16.9	19.2	0.89	6.19
I2012	12	1	-248	-10.3	12.0	14.3	0.84	6.20

Tabella 6.8 : Differenza tra idrogramma reale e simulato al variare del CN e del C.E. con AdB-ToolBox per l’evento del Novembre 2010 nel bacino del torrente Posina.

## 7 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nella simulazione A2010 e A2012 in cui si sono utilizzati parametri standard (C.E.= 6 , AMC= 2, CN derivante dalla carta dell'uso del suolo), si sono ottenuti valori di portata simulata molto discostati da quelli registrati alla sezione di Stancari. Questi risultati preliminari sovrastimano notevolmente sia la portata al picco che il volume totale di acqua transitata alla sezione di chiusura, poiché i parametri di input così inseriti non considerano la natura fortemente carsica del bacino.

Per valutare se le simulazioni sono attendibili e rappresentative del fenomeno reale si è considerato il confronto quantitativo e temporale tra il valore di portata massima simulato e quello reale e l'efficienza del modello secondo Nash-Sutcliffe.

Si può notare nelle tabelle 6.5 e 6.6 come i valori minimi di  $\Delta Q_{max}$  e  $\Delta T_{max}$ , quindi che avvicinano maggiormente le portate massime simulate a quelle rilevate, sono riferiti ad un valore di CN pari a 12 per l'evento 2010 e di 13 per l'evento 2012.

Utilizzando il CN pari a 12 nel 2010 (simulazione F2010) la portata massima simulata è di  $113.1 \text{ m}^3/\text{s}$  e si discosta minimamente da quella reale con un valore di scarto pari a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Inoltre dalla figura 6.11 si può osservare come i due picchi di portata massima coincidano da un punto di vista della cinematica dell'evento.

Considerando invece un valore di CN pari a 13 per l'evento del 2012 (simulazione G2012), la portata massima simulata è di  $70.5 \text{ m}^3/\text{s}$  e si differenzia molto poco da quella reale con uno scarto negativo pari a  $-0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nella tabella 6.6 e dalla figura 6.17 si può notare come i picchi di portata massima simulata e rilevata tendono a differire temporalmente solamente di un'ora, un ritardo considerato in questo caso accettabile, grazie alla durata notevole dell'evento (> di 24 ore).

Nelle simulazioni F2010 e G2012 il valore di efficienza secondo Nash-Sutcliffe( $E$ ) è rispettivamente di 0.26 e di 0.35 (Tabelle 6.5 e 6.6). Entrambi questi valori sono considerati insoddisfacenti secondo la scala di valutazione di  $E$  (Tabella 7.1) realizzata da *Moriasi et al.* (2007), pertanto tali simulazioni sono inadatte alla rappresentazione globale del fenomeno ma possono essere utili a valutare i valori di portata al colmo.

<b>EFFICENZA</b>	<b><i>E</i></b>
Molto buono	$0.75 < E \leq 1.00$
Buono	$0.65 < E \leq 0.75$
Soddisfacente	$0.50 < E \leq 0.65$
Insoddisfacente	$E \leq 0.5$

Tabella 7.1 : Criteri di valutazione secondo Moriasi e collaboratori (2007) dei valori di efficienza *E* di Nash-Sutcliffe.

L'apparente discrepanza tra i metodi di valutazione ( $\Delta Q_{\max}$  -  $\Delta T_{\max}$  e coefficiente *E*) può essere imputata alla semplificazione della portata di base effettuata nelle simulazioni da B a F 2010 e da B a G 2012. In queste simulazioni inoltre, pur avendo minimizzato  $\Delta Q_{\max}$  e  $\Delta T_{\max}$ , si evidenzia nella parte crescente degli idrogrammi una buona coincidenza delle portate simulate e rilevate, mentre nella parte decrescente della curva si discostano tra loro in modo considerevole (da Figura 6.7 a Figura 6.17).

Introducendo il valore C.E. prossimo ad 1 si è cercato di adattare meglio il modello di simulazione alle portate registrate dopo il picco di piena, reintroducendo il metodo del serbatoio lineare. Si è notato come aumentando il C.E. da 0 a 1 sia diminuita la differenza tra i volumi d'acqua cumulata e reale ( $\Delta Q_{\text{cum}}$ ) e sia aumentata proporzionalmente la differenza tra i valori massimi di portata ( $\Delta Q_{\max}$ ). Questa variazione di C.E. ha restituito, per ogni evento, due risultati di simulazione validi secondo il criterio di efficienza di Nash-Sutcliffe (Tabella 6.7 e 6.8).

Le simulazioni G2010 e H2012, che riportano valori di  $\Delta Q_{\text{cum}}$  rispettivamente di -2% e -0.1%, sono giudicate "molto buone" secondo la classificazione di Moriasi (*E* pari a 0.94 nell'evento 2010 e 0.89 nell'evento 2012) e pertanto valutano efficientemente il volume totale di acqua transitata alla sezione di chiusura, ma effettuano un errore sulla valutazione della portata al picco di circa il 20%.

Le simulazioni H2010 e I2012, che minimizzano la differenza tra le percentuali di  $\Delta Q_{\text{cum}}$  e  $\Delta Q_{\max}$ , sono risultate anch'esse "molto buone" secondo Moriasi (*E* pari a 0.93 nel 2010, 0.84 nel 2012) e permettono di minimizzare contemporaneamente, con valori medi di circa 11%, gli errori di  $\Delta Q_{\text{cum}}$  e  $\Delta Q_{\max}$  per stimare, anche se approssimativamente, sia la portata di picco sia il volume transitato contemporaneamente.

## 8 CONCLUSIONI

Questo studio è stato utile come prima ricostruzione degli eventi idrologici molto intensi dell'autunno 2010 e 2012 che hanno interessato il bacino del torrente Posina e che hanno contribuito alle intense piene dei corsi d'acqua più importanti.

Il software AdB-ToolBox è stato utilizzato per simulare tali eventi a partire da dati pluviometrici secondo il modello afflussi-deflussi. Gli enormi vantaggi del software sono l'affiancamento di strumenti di calcolo idrologico a strumenti GIS, l'ottima qualità della restituzione grafica dei dati di output, la disponibilità gratuita nel geoportale nazionale e il continuo sviluppo di strumenti innovativi adattati all'utilizzo degli utenti. Nonostante le precedenti caratteristiche, in questo studio con un bacino di 116 km<sup>2</sup>, si è evidenziato come il programma necessiti di tempi molto lunghi di calcolo delle simulazioni.

Le analisi del comportamento idrologico del torrente Posina sono state difficili per la natura fortemente carsica del bacino. Per tale motivo si è dovuto effettuare un lavoro di taratura dei parametri di input, proseguendo il lavoro effettuato da *Crespi* per gli eventi tra il 1987 e il 1993.

Le simulazioni ottenute dopo il lavoro di parametrizzazione risultano adeguate e rappresentative del reale comportamento idrologico del bacino in occasione degli eventi considerati. Si può affermare che il modello di simulazione, con i parametri utilizzati in questo studio (CN 12 e 13 per gli eventi 2010 e 2012, C.E. 0), rappresenta adeguatamente il livello massimo di portata e quindi trova applicazione nella valutazione di aree a rischio di esondazione e nel dimensionamento di strutture come ponti, briglie, ecc... Per rendere il modello utilizzabile nella valutazione della disponibilità idrica in uscita, quindi adeguare i valori totali di portata transitati simulati a quelli registrati, bisogna utilizzare valori di C.E. pari a 1 e 1.3 rispettivamente per gli eventi 2010 e 2012.

Considerando la disponibilità di interi periodi di dati di portata alla sezione di chiusura di Stancari si potrebbero sviluppare ulteriori studi per controllare l'effetto carsico e soprattutto l'influenza delle portate di base sulle piene del torrente Posina.

Un ulteriore approfondimento può riguardare la validazione della scala delle portate delle stazioni idrometriche di Bazzoni e Valoje che permetterebbe di calcolare i dati di portata dei sottobacini dei torrenti Riofreddo e Zara. Analizzare l'effetto carsico nel bacino del torrente Posina e nei suoi sottobacini (vista l'abbondante presenza di strumentazione idrologica e di

studi pregressi) potrebbe essere utile per la ricerca di un modello applicabile in ambienti simili (altre zone carsiche nelle Prealpi Tv, Alpago, ecc.).

## BIBLIOGRAFIA

- ARPAV (2012a); *Evento di sabato 10 - domenica 11 Novembre 2012 - Sintesi meteo. Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.*
- ARPAV (2012b); *Misure di portata eseguite da ARPAV nell'anno 2010. Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.*
- BURROUGH P.A. (1986); *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource*
- CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO (2010); *Scheda evento "pluvio":31 ottobre – 02 novembre 2010*
- CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO (2012); *Evento di sabato 10 - domenica 11 Novembre 2012 - intesi meteo*
- CIPOLLA F., LOLLI O., PAGLIACCI S., SEBASTIANI C., (1997); *L'importanza della disponibilità dei dati storici relativi a calamità idrogeologiche nelle attività di pianificazione territoriale. Due esempi applicativi di utilizzo a scala comunale, Atti del IX Congresso Nazionale dei Geologi, Roma 17-20 aprile 1997.*
- CRESPI M., DE BONA A., RANDI M. (1994); *Simulazione dei deflussi di piena del torrente Posina. Centro sperimentale per l'Idrologia e la Meteorologia, Dipartimento per l'Agrometeorologia, Regione Veneto*
- CROCE D., NODARI P., PELLEGRINI G.B., TESSARI F. (1971); *Effects of the November 1966 flood on inhabited areas of northeastern Italy. In: Atti del XXI Congresso Geografico Italiano, Verbania, Italy pp 291–301 (in Italiano)*
- DORIGO L. (1969); *The river basins of Venetia. In: L'evento alluvionale del novembre 1966. Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo. Istituto Poligrafico dello Stato, Rome, Italy, pp 133–165 (in Italiano)*
- D'AGOSTINO V. (ANNO ACCADEMICO 2005-2006); *Appunti dalle lezioni del corso di Interventi di ingegneria naturalistica. Dipartimento TeSAF, Università degli Studi di Padova.*

- FERRO V. (2002) ; *La sistemazione dei bacini idrografici - McGraw Hill , 207-215*
- KRAUSE P., BOYLE D.P., BASE F. (2005); *Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in geosciences 5, 89-97*
- MARCHI L., CAVALLI M., CERATO M. (2007); *Documentazione di eventi alluvionali storici: Applicazione al torrente Chieppena (Trentino). Quaderni di Idronomia Montana, 26, Le sistemazioni idraulico-forestali per la difesa del territorio, Saint Vincent (AO), 27 Ottobre 2006, Nuova Bios, Castrolibero (CS).*
- MORIASI D. N., ARNOLD J. G., VAN LIEW M. W., BINGNER R. L., HARMEL R. D., VEITH T. L. (2007); *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations - Transaction of the ASABE 50 (3), 885-900*
- NORBIATO D., BORGA M., MERZ R., BLÖSCHL G., CARTON A. (2009); *Controls on event runoff coefficients in the eastern italian alps. Journal of hydrology, 375: 312-325*
- PAI (2007); *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione. Relazione di sintesi. Autorità di Bacino.*
- TONINI D.(1968); *The floods of November 1966 in Venetia and Friuli-Venezia Giulia. In: Atti del Convegno sul Tema: Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici, Rome, Italy, pp91–146 (in Italiano);*
- TROPEANO D., TURCONI L. (2004); *Using historical documents for landslide, debris flow and stream flood prevention: Applications in Northern Italy. Natural Hazards 31:663–679*

## WEBGRAFIA

<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/meteo/monitoraggio/rete-di-telemisura-1>

<http://www.pcn.minambiente.it/PCNDYN/catalogowms.jsp?lan=it>

<http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/Cartografia/>

<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=165>

ultima consultazione della webgrafia: marzo 2014