



# Comune di Forino

( Provincia di Avellino)

SETTORE  
Area Tecnica

**REDAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO DI APPROFONDIMENTO  
AL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO  
FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DI UNA  
PROPOSTA DI REVISIONE DEL PIANO STESSO**  
(Incarico conferito con determina dirigenziale n. 54 del 21.03.2017)

## Proposta di Revisione del PSAI

Elab. n. 1

## Relazione Tecnica

Scala 1: ....

RUP

Ing. Lorenzo D'Argenio

Professionista Incaricato

Ing. Giuseppe BENEVENTO

DATA	REVISIONE	DESCRIZIONE	APPROVATO
Luglio 2017	0	Emissione	Ing. G. Benevento



**Ing. Giuseppe Benevento**

✉ Via Caifasso n. 6 - 84013 Cava de' Tirreni (SA) ☎ 089 968953 - 347 6900905  
pec: [giuseppe.benevento@ordingsa.it](mailto:giuseppe.benevento@ordingsa.it)

## PREMESSA

Il sottoscritto ing. Giuseppe BENEVENTO, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno al n° 2595, ha ricevuto incarico professionale dal Comune Forino – AV (determina 54 del 21/03/2017) al fine di redigere uno studio idraulico di approfondimento al Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico finalizzato alla riclassificazione alla redazione di una proposta di revisione del Piano stesso per il territorio comunale.

La presente Relazione è stata redatta ai sensi del vigente *Piano Stralcio Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI)*, così come aggiornato dall'ex *Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (AdBCaC)* a seguito dell'accorpamento dell'*Autorità di Bacino Regionale della (AdBSarno)* con l'*Autorità di Bacino Regionale Campania Nord-Occidentale (AdBN-O)*.

In tal senso il presente lavoro è finalizzato al solo corretto inquadramento delle attività di programmazione territoriale.

Lo studio non è pertanto stato sviluppato e non può essere applicato ad ambiti differenti da quello della Programmazione su Area Vasta, in particolare non rappresenta uno strumento utilizzabile a fini di Protezione Civile o per la predisposizione del piano Comune di Protezione Civile od attività similari.

La presente Relazione si compone di 10 capitoli:

- nel Capitolo 1 viene descritto l'*Inquadramento territoriale* dell'area di interesse mettendo in evidenza gli aspetti specifici che caratterizzano la conca endoreica di Forino. In questa parte sono anche riportate le schede relative alla valutazione della officiosità idraulica dei tratti terminali dei 6 principali valloni presenti nella conca di Forino;
- nel Capitolo 2 sono esposti gli *Aspetti geomorfologici* relativi alla conca di Forino;
- nel Capitolo 3 sono riportate le definizioni del *PSAI* con riferimento alla individuazione della fasce fluviali ;
- nel Capitolo 4 vengono richiamati gli aspetti essenziali sviluppati nella *Relazione idrologica* allegata alla presente Relazione;
- nel Capitolo 5 viene presentata l'*Analisi della pluviometria storica*. L'analisi è stata svolta sulla base dei dati pluviometrici ad elevata frequenza raccolti dal sistema di monitoraggio idro-pluviometrico della Regione Campania gestito dal Centro Funzionale ed ha avuto lo scopo di fornire un quadro esaustivo degli eventi critici che hanno interessato la conca di Forino dal 2001 al 2015;

- nel Capitolo 6 sono illustrati i metodi ed i risultati relativi allo *Studio idraulico* bidimensionale svolto per la definizione delle aree allagabili e dei relativi valori di altezza idrica e velocità;
- nel Capitolo 7, partendo dalla analisi della Normativa relativa al vigente *PSAI*, sono specificati i *Criteri utilizzati per la definizione dei livelli di pericolosità e rischio*;
- nel Capitolo 8 sono esposti i *Criteri utilizzati per la definizione degli ambiti morfologici*;
- nel Capitolo 9 è presentata l'*Analisi della cartografia relativa alla definizione dei livelli di pericolosità e rischio*;
- nel Capitolo 10, in ottemperanza agli obblighi contrattuali relativi alla Offerta presentata dal sottoscritto in risposta all'avviso pubblico del 09/12/2016 prot. 6439 del Comune di Forino, sono discussi i *Criteri per l'adeguamento dell'impianto di sollevamento localizzato in località Celzi*.

## INDICE

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	PAG.	1
2. ASPETTI GEOMORFOLOGICI	„	6
3. CLASSIFICAZIONE <i>PSAI</i>	„	9
4. RELAZIONE IDROLOGICA	„	12
5. ANALISI DELLA PLUVIOMETRIA STORICA	„	14
6. STUDIO IDRAULICO	„	23
6.1 <i>Descrizione del modello di calcolo</i>	„	25
6.2 <i>Dati di ingresso al modello</i>	„	27
6.3 <i>Scenari di evento</i>	„	32
6.3.1 <i>Scenari di evento principali PSAI</i>	„	32
6.3.2 <i>Scenari di evento secondari o ancillari</i>	„	44
7. CRITERI UTILIZZATI PER LA DEFFINIZIONE DEI LIVELLI DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO	„	44
7.1 <i>Ambito pedemontano o di conoide</i>	„	46
7.2 <i>Ambito alluvionale o di pianura</i>	„	47
8. CRITERI UTILIZZATI PER LA DEFINIZIONE DEGLI AMBITI MORFOLOGICI	„	51
9. ANALISI DELLA CARTOGRAFIA RELATIVA ALLA DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO	„	58
10. CRITERI PER L'ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO LOCALIZZATO IN LOCALITÀ CELZI	„	67
<b>APPENDICE</b>		
SCHEDE RELATIVE AI PRINCIPALI VALLONI DELLA CONCA DI FORINO	„	75
PIOGGE CRITICHE IN FUNZIONE DELLA DURATA	„	82
PLUVIOGRAMMI RELATIVI AGLI EVENTI CRITICI	„	86
DETTAGLIO TAVOLE RILIEVO <i>LIDAR</i> UTILIZZATE	„	102
<b>ALLEGATI</b>		
RELAZIONE IDROLOGICA	„	105

## 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Comune di Forino si trova nella Provincia di Avellino all'interno di una vasta conca endoreica della estensione di circa  $20 \text{ km}^2$ , il fondo della conca è posto a circa  $400 \text{ m s.m.}$  ed è localizzata tra i rilievi carbonatici di Pizzo D'Alvano e dei Monti Picentini.

Una vista aerea della conca endoreica di Forino è riportata nella Figura 1.

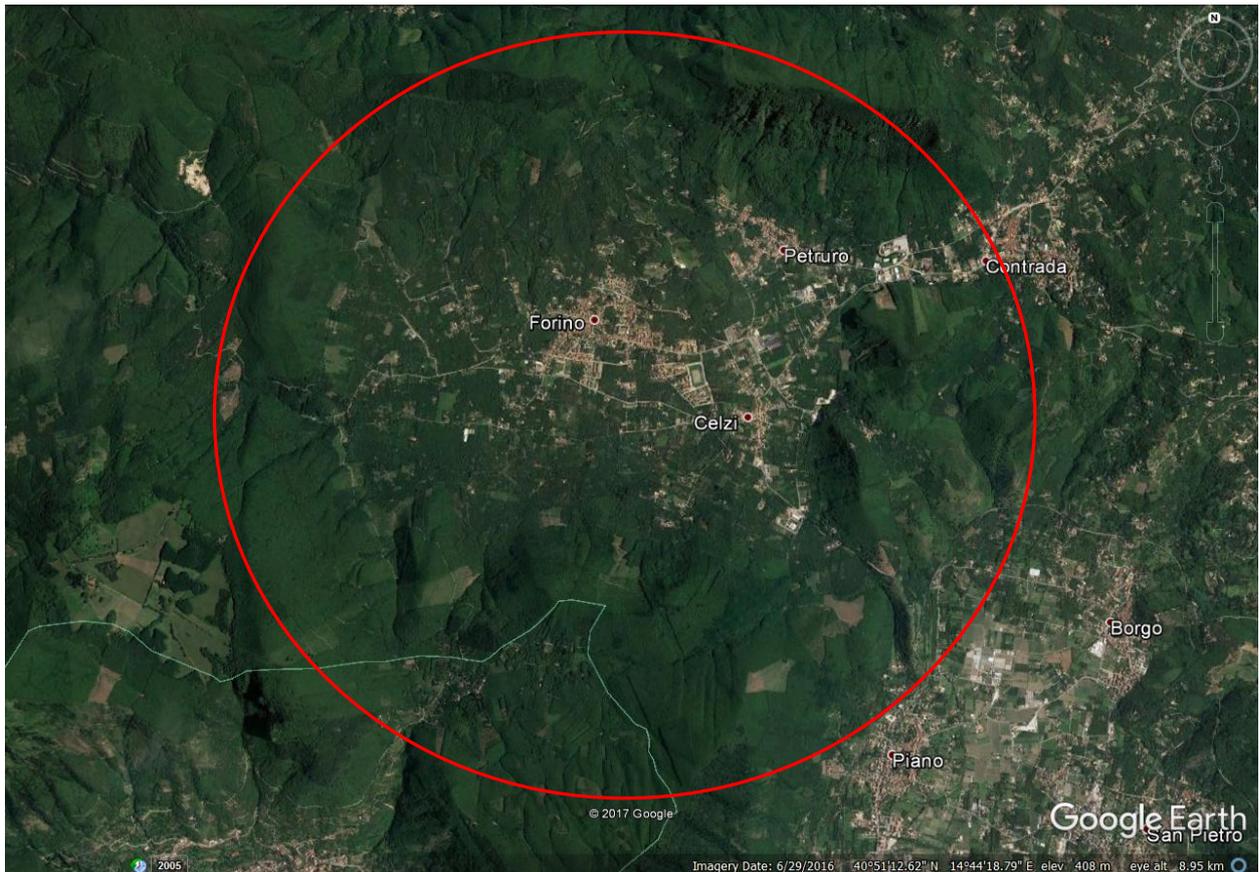


FIGURA 1 – VISTA AEREA DELLA CONCA ENDOREICA DI FORINO

Gli alvei provenienti dalla area montana risultano in continuità diretta (alvei strada) con la rete stradale dell'area alluvionale di pianura. Gli assi viari longitudinali che attraversano la piana risultano sopraelevati rispetto ai terreni circostanti. La posizione sopraelevata degli assi viari longitudinali ha condizionato anche la viabilità trasversale che si è dovuta adeguare a quella longitudinale determinando la formazione di “tasche” di terreno che risultano topograficamente sottoposte agli assi viari esistenti. Le caratteristiche topografiche di tali aree le rendono aree di accumulo prive di recapito e per le quali l'unica possibilità di smaltimento è legata alla dispersione attraverso il terreno.

Le coperture piroclastiche presenti principalmente sui versanti nella conca sono caratterizzate dai valori di permeabilità media che, nel breve periodo, rappresentano il fattore condizionante per la formazione dei deflussi superficiali che si verificano in concomitanza con gli eventi pluviometrici più intensi.

La risposta idrologica dei terreni superficiali in risposta al singolo impulso pluviometrico è ovviamente condizionata dall'entità delle precipitazioni precedenti: il medesimo evento pluviometrico può determinare effetti al suolo differenti a seconda che sia stato preceduto o meno da piogge che ne hanno aumentato il contenuto d'acqua nel terreno riducendone in tal modo la capacità di assorbimento.

L'inquadramento morfologico precedente chiarisce che lo studio idraulico dell'intera Piana endoreica di Forino riguarda fenomenologie idrauliche che dipendono da parametri idrologici differenti in funzione dell'ambito morfologico considerato.

In particolare i fenomeni che si svolgono lungo i ventagli alluvionali sono maggiormente dipendenti dal valore della portata di picco dell'idrogramma, mentre i fenomeni alluvionali di pianura sono maggiormente sensibili al volume di piena complessivo dell'idrogramma stesso.

A tal riguardo va ulteriormente osservato che, mentre per i fenomeni relativi ai ventagli alluvionali, sarebbe possibile definire condizioni di moto permanente, lo studio dei fenomeni relativi alla zona valliva, essendo dipendenti dal volume idrico complessivo, richiedono necessariamente una modellazione in moto vario.

Il riconoscimento della presenza, all'interno della conca di Forino, di ambiti morfologici differenti ha anche una importante ricaduta amministrativa per quanto riguarda i criteri da adottare per la definizione dei livelli di pericolosità e di vulnerabilità associabili alle aree inondate.

In tal senso per le aree ricadenti all'interno dell'ambito morfologico pedemontano, potranno utilmente applicarsi le Norme sviluppate nell'ambito dell'ex Autorità di Bacino Regionale Nord Occidentale (*AdBN-O*), mentre per le aree ricadenti nell'ambito morfologico vallivo si potrà fare riferimento alla normativa sviluppata dall'*AdBSarno*.

Dal punto di vista idraulico, al di là di problematiche minori che si verificano in corrispondenza di situazioni puntuali in occasione degli eventi pluviometrici più intensi, la maggiore criticità presente nella conca di Forino è quella che riguarda la frazione di Celzi. Tale frazione fa da corona all'inghiottitoio omonimo e risulta allagata con una frequenza temporale elevata.

L'inghiottitoio di Celzi rappresenta il recapito naturale delle acque zenitali che ricadono sulla conca ed è anche l'unica via di deflusso delle acque.

Nonostante la conclamata criticità legata alla ridotta capacità di assorbimento dell'inghiottitoio non sono disponibili studi e/o dati di monitoraggio che consentano di poter effettuare valutazioni quantitative a riguardo. La sola osservazione quantitativa disponibile è quella che sembra far coincidere, almeno negli ultimi eventi, il contorno esterno dell'area allagata con la isoipsa a quota 392.00 *m s.m.*.

Al fine di garantire un corretto inquadramento conoscitivo dell'area oggetto del presente studio per i 6 valloni più significativi sono state predisposte 6 monografie di dettaglio riportate in Allegato alla presente Relazione.

Per coerenza con lo studio idrologico e con la nomenclatura riportata nel *PSAI* dell'ex AdB del Sarno i valloni interessati sono stati identificati con i codici *062b*, *062c*, *062d*, *062e*, *062f*, e *062g* utilizzati nel *PSAI*. I bacini idrografici considerati all'interno del *PSAI* sono riportati nella planimetria in Figura 2.

Le monografie sono state sviluppate sulla base di sopralluoghi e rilievi specifici e sono state finalizzate principalmente alla verifica della effettiva capacità del sistema di drenante di smaltire le portate idrologiche indicate nel *PSAI*.

Per quanto riguarda le portate al colmo di piena riportate nel *PSAI*, come meglio specificato nel Capitolo 4 della presente Relazione riguardante gli aspetti idrologici, esse sono state valutate con riferimento a due formule per il calcolo del tempo di concentrazione del bacino: esse sono identificate nella Tabella 1 come *PSAI\_1* e *PSAI\_2*. Per quanto riguarda l'efficienza idraulica della rete drenante essa è stata fatta coincidere con la massima capacità di trasporto del sistema che è stata valutata per massimo riempimento e condizioni di moto uniforme. I valori riportati nella Tabella 1 sono stati calcolati con riferimento al tratto di alveo cui compete la portata minore.

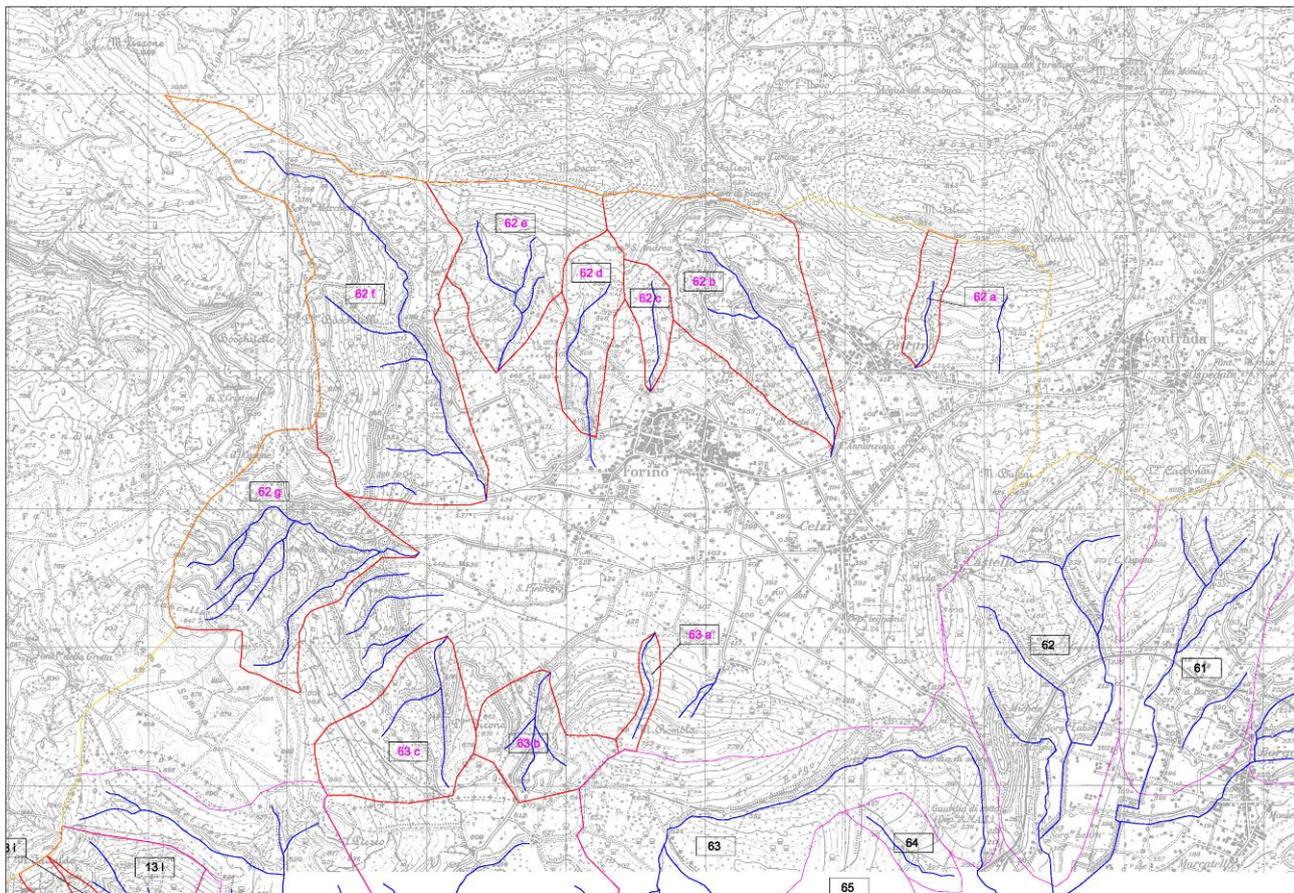


FIGURA 2 – INDIVIDUAZIONE BACINI IDROGRAFICI (ESTRATTA DA RELAZIONE IDROLOGICA)

Vallone	Portata $m^3/s$		
	<i>PSAI_1</i> $Q_{T100}$	<i>PSAI_2</i> $Q_{T100}$	Officiosità
062b	24.09	10.55	4.50
062c	4.17	1.78	0.94
062d	9.52	3.96	3.80
062e	14.15	6.69	8.73
062f	37.23	16.90	2.48
062g	14.46	7.91	--

TABELLA 1 – CONFRONTO TRA LE PORTATE CONTENUTE NEL *PSAI* E LE CAPACITÀ DI TRASPORTO RELATIVE AI PRINCIPALI VALLONI DELLA CONCA ENDOREICA DI FORINO VALUTATE NELLE MONOGRAFIE ALLEGATE

Nel complesso i dati riportati nella Tabella 1 indicano che le capacità di trasporto dei valloni esaminati risultano insufficienti rispetto alle portate valutate nel *PSAI*, in particolare quando, come verrà meglio discusso al punto 5.3.1 della presente Relazione, si faccia riferimento al fatto che per i tratti in esame lo scenario di riferimento è quello relativo alle portate *PSAI\_1*.

L'approfondimento relativo ai valloni riportati nella Tabella 1 ha anche mostrato che per nessuno di tali sistemi è garantita la continuità idraulica, nel senso che essi si interrompono bruscamente scaricando le acque convogliate lungo il sistema viario.

## 2. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

L'assetto morfologico generale della conca è stato determinato da un sistema di faglie che hanno dislocato il substrato litoide (calcari) su cui poggiano successioni terrigene mioceniche.

Alle unità descritte si sovrappongono depositi fluvio-lacustri ricoperti e/o intercalati da depositi piroclastici, in giacitura primaria, sia litoidi (Ignimbrite Campana) che incoerenti. Gli stessi depositi piroclastici, oltre che i prodotti dell'alterazione ed erosione dei versanti carbonatici, concorrono a definire il sistema di depositi, in giacitura secondaria, che mantellano le zone pedemontane e la zona di pianura quale effetto dei meccanismi evolutivi propri legati alla gravità ed in genere al trasporto in sospensione o in forma di flusso superficiale.

Lo schema idrogeologico della conca è funzione dell'assetto litostratigrafico descritto, oltre che dalla specifica condizione di "conca endoreica". Si distingue una falda profonda nei calcari condizionata dal sistema di discontinuità del substrato e soprattutto dallo sviluppo del sistema carsico di cui l'inghiottitoio della conca risulta la manifestazione superficiale più evidente. Alla falda profonda si sovrappone la circolazione idrica negli orizzonti più permeabili del riempimento della conca (livelli grossolani più permeabili sia alluvionale che detritici in prossimità dei versanti). Si definisce un sistema di falde articolato, condizionato dai rapporti geometrici tra gli orizzonti litostratigrafici a diversa permeabilità. Non sono da escludere meccanismi di affioramento della falda superficiale nei depositi alluvionali, per quanto tale eventualità può essere determinata anche dai meccanismi propri delle conche endoreiche, ovvero eccesso di infiltrazione (la capacità di dispersione del suolo è insufficiente per assorbire la circolazione superficiale, anche per la relativa bassa pendenza della superficie topografica oltre che dall'antropizzazione) o per insufficiente deflusso nell'inghiottitoio di fondo della conca. Alla natura di conca endoreica fa associata anche il particolare schema morfoevolutivo legato alla dinamica fluviale, ovvero un sistema chiuso in cui il deflusso trova recapito in una forma di accumulo, ovvero in una forma in cui si rilevano meccanismi di dispersione nel sottosuolo piuttosto che lo scorrimento in forma incanalata lungo un alveo.

A tale condizione va associata una relativa semplificazione del sistema di drenaggio delle acque superficiali che di fatto è assente, ovvero si configura come un deflusso diffuso proprio dei meccanismi di sovralluvionamento in cui le acque incanalate provenienti dagli impluvi montani si distribuiscono lungo la fascia pedemontana per trovare recapito nel fondo della conca.

Tale semplificazione non permette una semplice distinzione tra le aree (forme del modello morfoevolutivo) in cui sono prevalenti i meccanismi legati al deflusso di portate liquide con elevato trasporto solido (fascia pedemontana), dalle aree (forme del modello morfoevolutivo)

con chiare evidenze di processi alluvionali di fondovalle (piane alluvionali) legati all'esonazione del reticolo idrografico principale.

In ogni caso nel fondo della conca si ritrovano morfologie ed associazioni litologiche proprie delle piane alluvionali pertanto le forme del modello morfoevolutivo legate ai due diversi meccanismi (transito ed invasione di portate liquide con e senza elevato trasporto solido) possono essere distinte evidenziando le aree in cui è il deflusso delle portate liquide ha caratteristiche tali da consentire un significativo trasporto solido, da quelle in cui il deflusso è prevalentemente di portate liquide con modesto trasporto solido.

I meccanismi morfoevolutivi legati ai processi fluviali possono essere descritti attraverso uno schema articolato in aree di formazione del deflusso, forme di transito e forme di invasione, con la particolarità che in una conca endoreica manca un sistema fluviale di piana sviluppato (alveo fluviale). In altri termini all'interno di una conca endoreica possono essere presenti, con continuità, sia i meccanismi tipici dell'ambito pedemontano o di conoide sia quelli dell'ambito alluvionale o di pianura. Si distinguono diversi meccanismi di formazione del deflusso, dal normale ruscellamento fino alle colate detritico piroclastiche, con diversi effetti sulle forme costituenti il sistema morfoevolutivi ovvero:

sistema versante	zona di formazione del deflusso	significative differenze in funzione dei meccanismi di formazione del deflusso
fascia pedemontana	zona di deposizione dei materiali grossolani	significative differenze in funzione dei meccanismi di transito e deposizione del deflusso
piana	zona di deposizione dei materiali più sottili	differenze limitate negli effetti in funzione della natura del deflusso, ma condizionato piuttosto dai volumi e dalle portate

Il trasporto solido è favorito anche dalla notevole quantità dei depositi piroclastici presenti sui versanti della zona montana: tale aspetto risulta particolarmente presente nel settore meridionale della conca, alla base dei versanti del Monte Romola e del Monte Piesco.

La ridotta dimensione dei bacini idrografici e la mancanza di significativi apporti sorgentizi comporta la presenza di alvei a carattere spiccatamente torrentizio che in occasione degli eventi pluviometrici più intensi alimentano i diversi corpi di conoide della zona pedemontana.

Il carattere effimero degli alvei presenti nella conca di Forino fa sì che la quantità di energia disponibile non è sufficiente a mantenere la rete idrografica in condizione di buona officiosità mentre, al contrario, la progressiva diminuzione della pendenza degli alvei nella progressione dalla zona montana, a quella pedemontana ed infine alla zona valliva di pianura favorisce il deposito dei sedimenti provenienti dalla zona montana nelle zone sottostanti.

Nella zona valliva di pianura le acque di ruscellamento superficiale che raggiungono la piana defluiscono, sono in gran parte incanalate verso l'inghiottitoio di Celzi, tuttavia, in concomitanza di intensi eventi meteorici, l'inghiottitoio non riesce a smaltire la totalità delle acque provocando ripetuti fenomeni di ristagno che coinvolgono anche il centro urbano.

L'assetto morfologico descritto in precedenza trova una conferma nella configurazione attuale della rete di drenaggio che risulta nei fatti un sistema di canali artificiali.

Anche l'analisi, riportata per esteso nelle monografie seguenti, dello stato di fatto degli interventi effettuati negli anni scorsi conferma lo schema delineato in precedenza, in particolare i sopralluoghi effettuati hanno evidenziato che i nuovi tratti risultano in buone condizioni di officiosità nella parte di valle, mentre verso monte si incontrano tratti nei quali sono evidenti i processi di sovralluvionamento dell'alveo che determinano la riduzione della sezione utile dell'alveo.

### 3. CLASSIFICAZIONE *PSAI*

Nella Figura 3 è riportata la rappresentazione unitaria dell'intera conca relativa alla individuazione della *Pericolosità idraulica* così come definita nel *PSAI* vigente, nella Figura 4 è riportata la rappresentazione unitaria dell'intera conca relativa alla individuazione del *Rischio idraulico*.

Le cartografie riportate nelle figure 3 e 4 sono state predisposte dalla *AdBCaC* a seguito del processo di omogeneizzazione che ha fatto seguito all'accorpamento di *AdBSarno* con *AdBN-O*. Si precisa che l'area oggetto del presente studio ricadeva originariamente all'interno del territorio di competenza della *AdBSarno*.

Per completezza di documentazione nella Figura 5 sono riportate le fasce fluviali, così come erano state identificate dall'ex *AdBSarno*, e sulla base delle quali è stata valutata la *Pericolosità idraulica* riportata nella Figura 3.

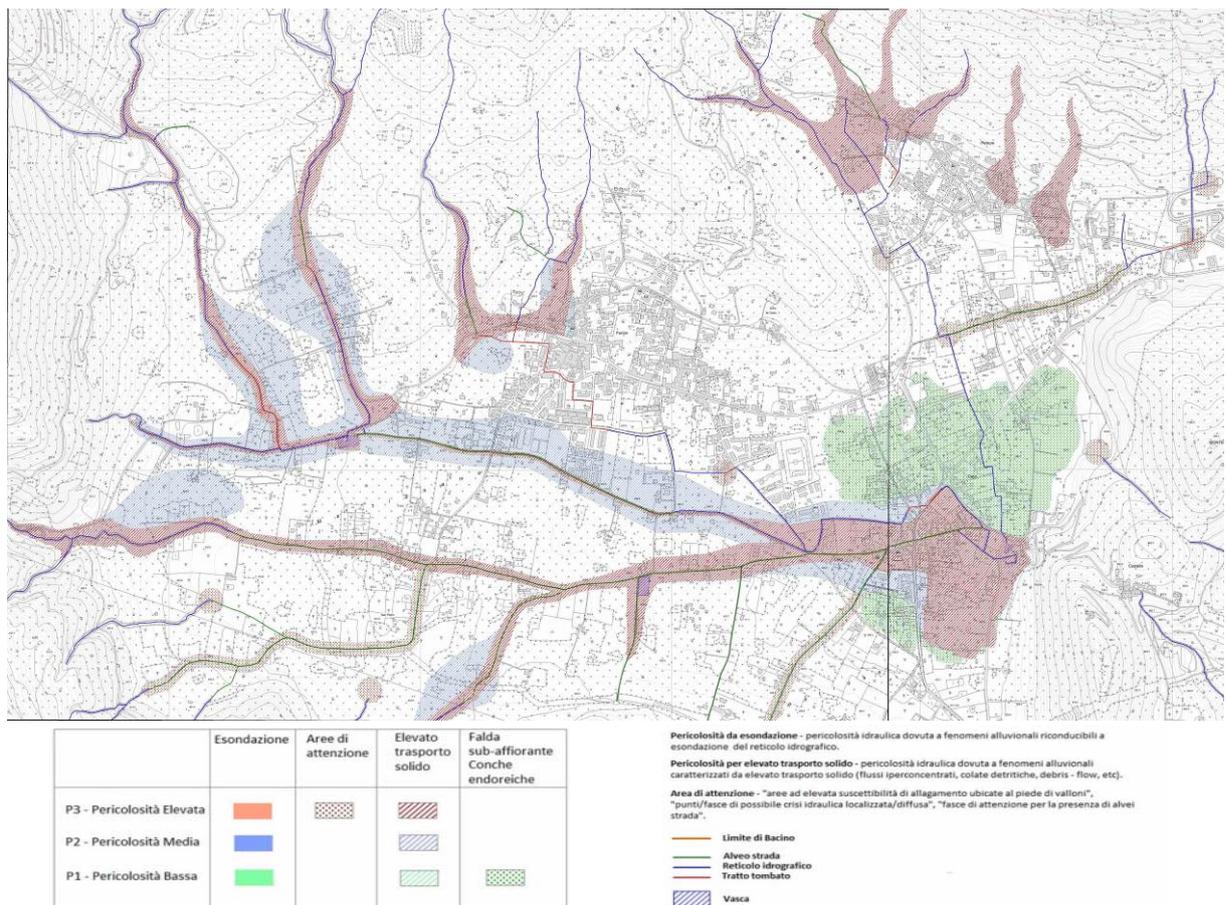


FIGURA 3 – PERICOLOSITA' IDRAULICA *PSAI* (UNIONE TAVOLE *PI\_449092* + *PI\_449093*)

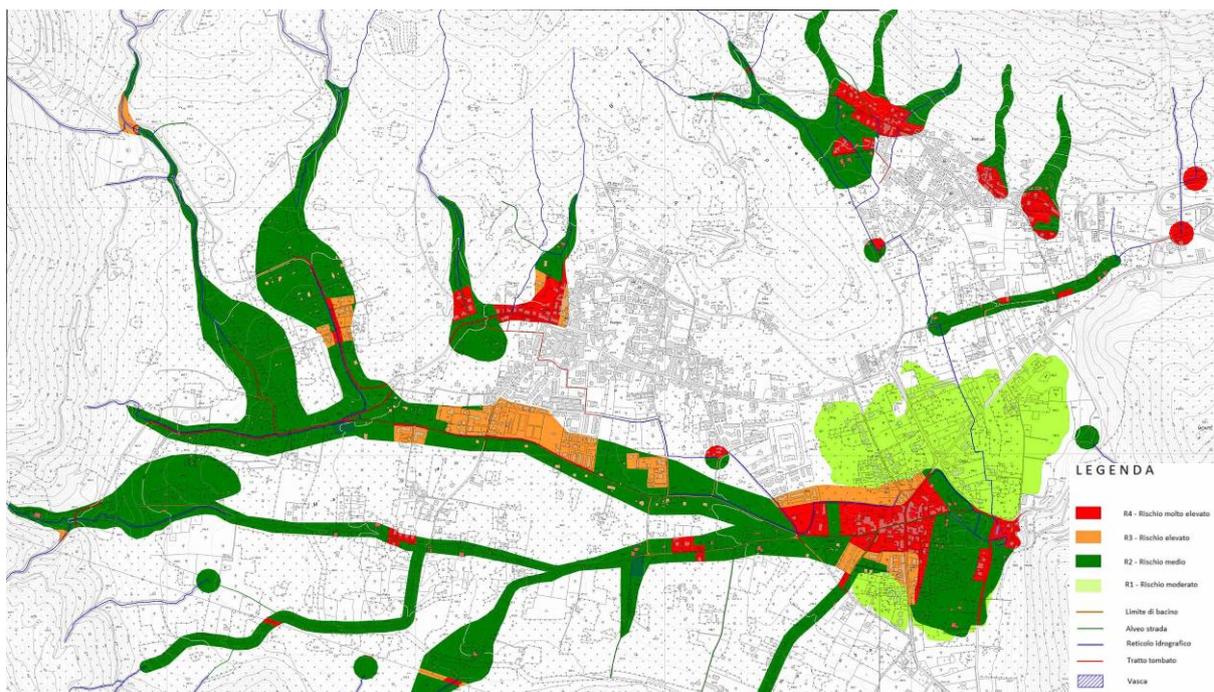


FIGURA 4 – RISCHIO IDRAULICO PSAI (UNIONE TAVOLE RI\_449092 + RI\_449093)

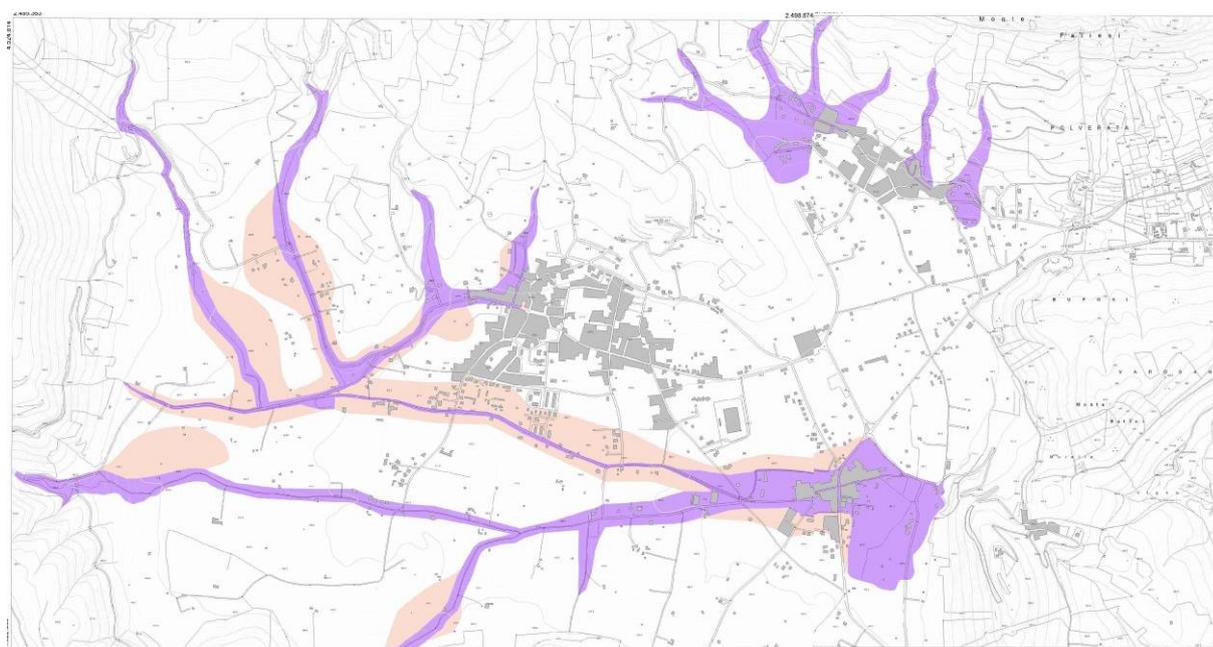


FIGURA 5 – FASCE FLUVIALI PSAI (UNIONE TAVOLE FF\_449092 + FF\_449093) EX ADBSARNO

La conca di Forino ricade all'interno delle zone per le quali l'AdBSarno non ha sviluppato una modellazione idraulica di dettaglio. Il sistema drenante della conca di Forino è stato classificato come *reticolo montano* per il quale la definizione della pericolosità idraulica è effettuata sulla base di un approccio semplificato precisato al punto 3.1.3 "Lo studio idraulico del reticolo montano" della *Relazione tecnica rischio da inondazione* predisposta dall'ex AdBSarno.

L'implementazione di tale approccio semplificato ha comportato, in buona sostanza, che la rete drenante risultasse coincidente con gli assi viari presenti nella conca ed, in particolare, con quelli che seguendo la pendenza discendente della conca sono diretti da ovest verso est in direzione dell'inghiottitoio carsico di Celzi.

Mentre risulta indubitabile che la porzione degli assi viari prossima ai versanti assume, in molti casi, il ruolo di alveo strada confondendosi con la rete idrografica è anche vero che, ad un più attento esame dell'andamento plano altimetrico degli stessi nella zona centrale della conca, si riconosce che, come già precisato nel Capitolo 1, essi risultano pensili rispetto al terreno circostante.

In definitiva gli assi viari, pur rappresentando una potenziale via di deflusso per parte delle acque zenitali, non sono esaustivi dell'intero sistema drenante, in particolare per quanto riguarda le aree adiacenti agli assi viari stessi. Ne consegue che, al fine di una corretta identificazione delle aree allagabili, sia indispensabile ricorrere ad una simulazione idraulica di dettaglio dell'intera conca.

#### 4. RELAZIONE IDROLOGICA

La *Relazione Idrologica* per la valutazione delle portate e dei volumi di piena utilizzati nel presente studio è riportata in Allegato alla presente Relazione. Rimandando ad essa per una descrizione completa di tali aspetti, per comodità di lettura, nella Tabelle 2 e 3 si riportano di seguito i dati relativi alle massime portate al colmo di piena ed ai corrispondenti volumi di piena con tempo di ritorno  $T_R=100$  anni relativi alle 2 definizioni del tempo di concentrazione  $t_c$  dei bacini idrografici considerati nel *PSAI*. I volumi di piena sono stati calcolati considerando idrogrammi di piena di forma triangolare con picco pari alla portata massima e base pari a 2 volte  $t_c$ . La posizione planimetrica dei bacini è riportata in Figura 2.

Bacino	$C_f$	$t_r$	$m[I_A(t_r)]$	$\beta$	$m(Q)$	$Q_{T=100}$	$W_{QT=100}$
	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo	Intensità di pioggia areale		Media della massima portata annua		
		ore	mm/ora		$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3$
062a	0.49	0.10	64.30	0.7765	1.19	3.65	1898
062b	0.54	0.25	51.19	0.7804	7.85	24.09	32648
062c	0.58	0.09	64.95	0.7803	1.36	4.17	2024
062d	0.58	0.14	59.74	0.7800	3.10	9.52	7260
062e	0.48	0.21	53.95	0.7768	4.61	14.15	16240
062f	0.51	0.35	45.81	0.7762	12.13	37.23	69597
062g	0.36	0.38	44.56	0.7735	4.71	14.46	29325
063a	0.51	0.06	74.48	0.6584	0.68	2.09	732
063b	0.46	0.16	58.69	0.7627	2.70	8.29	7273
063c	0.35	0.29	50.13	0.7497	2.83	8.70	13736

TABELLA 2 – PORTATE *PSAI\_1* (DA RELAZIONE IDROLOGICA ALLEGATA CON FORMULA ROSSI-VILLANI)

Bacino	$C_f$	$t_r$	$m[I_A(t_r)]$	$\beta$	$m(Q)$	$Q_{T=100}$	$W_{QT=100}$
	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo	Intensità di pioggia areale		Media della massima portata annua		
		ore	mm/ora		$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3$
062a	0.49	0.80	31.26	0.7765	0.58	<b>1.78</b>	<b>7714</b>
062b	0.54	1.41	22.42	0.7804	3.44	<b>10.55</b>	<b>80476</b>
062c	0.58	1.00	27.65	0.7803	0.58	<b>1.78</b>	<b>9555</b>
062d	0.58	1.20	24.84	0.7800	1.29	<b>3.96</b>	<b>25589</b>
062e	0.48	1.15	25.50	0.7768	2.18	<b>6.69</b>	<b>41634</b>
062f	0.51	1.61	20.79	0.7762	5.50	<b>16.90</b>	<b>146591</b>
062g	0.36	1.25	24.38	0.7735	2.58	<b>7.91</b>	<b>53481</b>
063a	0.51	0.87	35.94	0.6584	0.33	<b>1.01</b>	<b>4718</b>
063b	0.46	1.01	28.22	0.7627	1.30	<b>3.99</b>	<b>21689</b>
063c	0.35	1.10	27.42	0.7497	1.55	<b>4.76</b>	<b>28220</b>

TABELLA 3 –PORTATE *PSAI\_2* (DA RELAZIONE IDROLOGICA ALLEGATA CON FORMULA ROSSI)

Dal punto di vista idrologico l'approccio *PSAI\_1* comporta valori della portata di picco più elevati, ma volumi di piena più ridotti, mentre per l'approccio *PSAI\_2* si verifica il contrario.

Come verrà meglio specificato nei Capitoli 6 e 7, nel caso di una conca endoreica entrambi gli approcci risultano significativi in quanto l'applicazione delle maggiori portate dell'approccio *PSAI\_1*, risulta a vantaggio di sicurezza al fine della verifica dei tratti pedemontani, mentre i maggiori volumi dell'approccio *PSAI\_2* risultano a vantaggio di sicurezza al fine della verifica della porzione valliva della conca.

## 5. ANALISI DELLA PLUVIOMETRIA STORICA

Le specifiche caratteristiche della conca di Forino hanno suggerito di effettuare una analisi della pluviometria storica dell'area. Nella conca di Forino è presente una stazione pluviometrica appartenente al sistema di monitoraggio idro-pluviometrico della Regione Campania gestito dal Centro Funzionale. La stazione di Forino è attiva dal 1920, per il periodo precedente, dal 1920 al 1985, sono state reperite le misure relative alla pioggia giornaliera riportate negli Annali Idrologici per il periodo dal 1920 al 1985 a partire dal 2001 la stazione è stata automatizzata e le misure pluviometriche sono raccolte con scansione di 10 *min*. L'intervallo temporale analizzato è stato limitato al periodo successivo al 2001, anno dal quale sono disponibili le misure pluviometriche a scansione di 10 *min*.

Preliminarmente alle analisi dei dati pluviometrici si è proceduto ad individuare i principali eventi pluviometrici, riportati nella Tabella 4 per i quali è stata accertata su base documentale la presenza di danni a strutture, persone e/o cose sul territorio comunale.

<i>Data</i>	<i>Fonte</i>	<i>Pioggia cumulata/durata</i>
26/12/2004	Comune Forino	130/12
04-05/03/2005	<i>Rapporto evento Protezione Civile</i>	225/24
01/01/2006	Giornalistiche/Comune Forino	90/24
25/09/2006	Giornalistiche/Comune Forino	100/6
30/07/2010	Giornalistiche/Comune Forino	110/3
06/11/2011	Giornalistiche/Comune Forino	55/2
02/04/2013	Giornalistiche/Comune Forino	110/18
29/01/2015 06/02/2015	Giornalistiche	120/16
19/10/2015	Giornalistiche	80/14

TABELLA 4 - FORINO EVENTI PLUVIOMETRICI CON DANNI PERIODO 2001-2015

Gli eventi, riportati nella Tabella 4, sono stati individuati sulla base della documentazione disponibile presso gli uffici tecnici del Comune di Forino e di una ricerca autonoma nelle fonti giornalistiche.

I principali valori statistici relativi alla stazione pluviometrica di Forino misurati nel periodo 2001-2015 sono riportati nella Tabella 5.

<i>Durata</i>	<i>Cumulata<sub>med</sub></i> (mm)	<i>Intensità<sub>med</sub></i> (mm/h)	<i>Cumulata<sub>max</sub></i> (mm)	<i>Intensità<sub>max</sub></i> (mm/h)	<i>Data</i>
10 min	15.0	90.2	24.8	148.8	30 luglio 2010
20 min	22.9	68.7	41.6	124.8	30 luglio 2010
30 min	28.6	57.2	53.2	106.4	30 luglio 2010
40 min	31.6	47.4	57.0	85.5	1 luglio 2008
1 h	37.1	37.1	63.8	63.8	1 luglio 2008
3 h	53.3	17.8	106.8	35.6	15 settembre 2006
6 h	67.3	11.2	109.4	18.2	4 marzo 2005 15 settembre 2006
12 h	87.0	7.2	168.2	14.0	4 marzo 2005
24 h	106.5	4.4	223.4	9.3	4 marzo 2005
1 g	95.3	4.0	218.0	9.1	4 marzo 2005
2 g	127.2	2.7	234.6	4.9	4 marzo 2005
3 g	146.2	2.0	247.8	3.4	4 marzo 2005
4 g	157.9	1.6	251.8	2.6	4 marzo 2005
5 g	169.6	1.4	251.8	2.1	4 marzo 2005

TABELLA 5 - STAZIONE PLUVIOMETRICA DI FORINO PRINCIPALI DATI STATISTICI RELATIVI AL PERIODO 2001-2015

E' interessante, ma non sorprendente, osservare che i valori riportati nella Tabella 5 si sono verificati in un numero limitato di eventi pluviometrici, con lo stesso evento che determina i valori massimi per diverse durate.

Per il periodo antecedente al 2001 è stato possibile reperire la serie storica delle precipitazioni giornaliere dal 1920 al 1985, nella Tabella 6 è riportato il confronto tra le piogge massime giornaliere e la media dei massimi annuali relativa alla serie storica per i due periodi dal 1920 al 1985 e dal 2001 al 2015.

<i>Periodo</i>	<i>1920-1985</i>	<i>2001-2014</i>
<i>Massimo</i>	192.0	218.0
<i>Media dei massimi annuali</i>	84.9	95.3

TABELLA 6 - STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO CONFRONTO PIOGGIA CUMULATA GIORNALIERA PERIODI 1920-1985 E 2001-2015

I dati contenuti nella Tabella 6 indicano che nel periodo 2001-2015 i valori misurati risultano superiori di circa il 10% ai valori corrispondenti al periodo 1920-1985.

Per una prima analisi i dati relativi alle piogge di breve durata riportati nella Tabella 5 sono confrontati nella Tabella 7 con i corrispondenti valori valutati sulla base della procedura *VAPI*.

Nella Tabella 7 sono anche valutati i tempi di ritorno  $T_R$ , arrotondati ai cinque anni, dei valori misurati riportati nella Tabella 5, rispetto al valore modale  $VAPI$  per le diverse durate.

<i>Durata</i>	<i>Modale VAPI (mm)</i>	<i>Media Forino (mm)</i>	<i>Media/VAPI</i>	$T_{R,MEDIA}$ <i>(approx)</i> <i>(anni)</i>	<i>Max Forino (mm)</i>	<i>Max/VAPI</i>	$T_{R,MAX}$ <i>(approx)</i> <i>(anni)</i>
10 min	9.3	15.0	1.61	20	24.8	2.66	100
20 min	14.8	22.9	1.55	15	41.6	2.81	100
30 min	18.5	28.6	1.54	15	53.2	2.87	100
40 min	21.3	31.6	1.49	10	57.0	2.68	75
1 h	25.1	37.1	1.48	10	63.8	2.54	60
3 h	35.0	53.3	1.52	15	63.8	3.05	100
6 h	40.7	67.3	1.65	20	106.8	2.69	50
12 h	46.2	87.0	1.88	10	109.4	3.64	150
24 h	51.9	106.5	2.05	50	168.2	4.30	200

TABELLA 7 - STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO CONFRONTO VALORI MISURATI NEL PERIODO 2001-2015 CON VALORI VAPI

I dati riportati nella Tabella 7 evidenziano che i valori di precipitazione media misurati nel periodo 2001-2015 risultano superiori ai corrispondenti valori modali presenti nel modello  $VAPI$ , conseguentemente i valori massimi misurati determinano tempi di ritorno della procedura  $VAPI$  notevolmente elevati.

Per un'ulteriore analisi nella Tabella 8 sono riportati i valori massimi relativi ai primi due casi critici relativi ad una serie di stazioni pluviometriche adiacenti a quella di Forino.

<i>Durata</i>	<i>Forino</i>	<i>1 caso</i>	<i>Stazione</i>	<i>2 caso</i>	<i>Stazione</i>
10 min	30.0	31.0	Solofra	30.0	Forino
20 min	41.6	51.4	Solofra	42.8	Mercogliano
30 min	53.2	75.0	Solofra	55.0	Bracigliano
40 min	57.0	88.4	Solofra	61.4	Bracigliano
1 h	63.8	104.2	Solofra	65.8	San Pietro
3 h	106.8	120.2	Solofra	106.8	Forino
6 h	109.4	134.8	Solofra	128.6	Bracigliano
12 h	168.2	168.2	Forino	140.0	Solofra
24 h	223.4	223.4	Forino	169.8	Mercogliano

TABELLA 8 – PIOGGIA CUMULATA (mm) PER I PRIMI 2 CASI CRITICI PER STAZIONI PLUVIOMETRICHE ADIACENTI ALLA STAZIONE DI FORINO

I dati riportati nella Tabella 8 indicano che nella stazione di Forino sono stati misurati i valori massimi per piogge di durata da 12 a 24 *h*, mentre per durate inferiori a 12 *h* le intensità più elevate sono state misurate nella stazione pluviometrica di Solofra che dista circa 10 *km* da quella di Forino.

Le differenze tra le massime piogge verificatesi a Solofra ed a Forino risultano particolarmente significative per le durate comprese nel campo da 30 *min* ad 1 *h* campo all'interno del quali ricadono molti dei tempi di concentrazione dei bacini imbriferi della conca di Forino riportati nelle Tabelle 2 e 3.

Sebbene la sostanziale continuità morfologica tra la valle del fiume Irno e quella del torrente Solofrana, alla cui testata è posto il comune di Solofra, potrebbe suggerire la presenza di un percorso preferenziale che favorisce la risalita di perturbazioni di ridotte dimensioni e notevole intensità, non si può ovviamente escludere la possibilità che eventi di intensità analoga a quello verificatosi a Solofra si possano verificare anche sulla conca di Forino.

Un ulteriore approfondimento è svolto nella Tabella 9 dove sono riportati i valori di precipitazione massima misurata nella stazione di Forino al variare della durata da 10 *min* a 60 *gg*.

Al fine di fornire un quadro conoscitivo più ampio possibile nella Tabella 10 sono stati compresi anche gli eventi che, pur non rappresentando il valore massimo misurato, risultano confrontabili con quelli massimi, in tale evenienza gli eventi sono riportati in ordine di pioggia decrescente.

Nella Tabella 10 è anche specificato se l'evento riportato ricada tra quelli per i quali si è accertata la presenza di danni.

<i>Durata</i>	<i>Data</i>	<i>Cumulata (mm)</i>	<i>Danni</i>
10 min	30/07/2010	25	SI
20 min	30/07/2010	42	SI
30 min	30/07/2010	54	SI
	01/07/2008	52	NO
40 min	30/07/2010	57	SI
	01/07/2008	56	NO
50 min	01/07/2008	61	
60 min (1h)	01/07/2008	64	NO
	30/07/2010	57	SI
70 min (1h:10min)	01/07/2008	63	NO
80 min (1h:20min)	01/07/2008	64	NO
90 min (1h:30min)	15/09/2006	71	SI
100 min (1h:40min)	15/09/2006	74	SI
110 min (1h:50min)	15/09/2006	82	SI
120 min (2h)	15/09/2006	90	SI
140 min (2h:20min)	15/09/2006	94	SI
160 min(2h:40min)	15/09/2006	103	SI
180 min (3h)	15/09/2006	105	SI
210 min (3h:30min)	15/09/2006	107	SI
240 min (4h)	15/09/2006	107	SI
300 min (5h)	15/09/2006	107	SI
360 min (6h)	15/09/2006	108	SI
	04/03/2005	106	
420 min (8h)	04/03/2005	114	SI
	15/09/2006	112	NO
480 min (9h)	04/03/2005	139	SI
720 min (12h)	04/03/2005	162	SI
900 min (15h)	04/03/2005	182	SI
1080 min (18h)	04/03/2005	205	SI
1260 min (21h)	04/03/2005	214	SI
1440 min (24h)	04/03/2005	225	SI
2 gg	04/03/2005	240	SI
3 gg	04/03/2005	249	SI
4 gg	04/03/2005	250	SI
5 gg	04/03/2005	250	SI
6 gg	04/03/2005	250	SI

TABELLA 9 -STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO PIOGGIA CUMULATA (mm) EVENTI CRITICI PER DURATE VARIABILI PERIODO 2001-2015 (continua)

<i>Durata</i>	<i>Data</i>	<i>Cumulata (mm)</i>	<i>Danni</i>
7 gg	02/01/2006	260	SI
10 gg	02/01/2006 04/03/2005	286 284	SI SI
15 gg	04/03/2005	387	SI
20 gg	04/03/2005	453	SI
25 gg	01/12/2010	568	SI
30 gg	01/12/2010	598	SI
45 gg	01/12/2010	689	SI
60 gg	01/12/2010	816	

TABELLA 9 (continua) -STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO PIOGGIA CUMULATA (mm) EVENTI CRITICI PER DURATE VARIABILI PERIODO 2001-2015

Una lista più estesa degli eventi critici per le diverse durate è riportata in Appendice.

<i>Data</i>	<i>Orario</i>	<i>Cumulata (mm)</i>	<i>Durata (ore)</i>	<i>Intensità (mm/h)</i>	<i>Caso critico</i>	<i>Commento</i>
26/12/2004	0000-1200	130	12	11	NO	Elevata piovosità precedente 100 mm/10 gg
04-05/03/2005	0300-2000	230	17	15	SI	Elevata piovosità precedente 240 mm/20 gg
01/01/2006	1000-2400	80	14	6	NO	Elevata piovosità precedente 400 mm/30 gg Evento simile 5 gg prima
25/09/2006	1900-0300 1900-0100	120 100	6 4	2 25	SI	Evento simile 10 gg prima
01/07/2008	1500-1600	65	1	65	NO	Isolato
01/06/2009	2200-1600	90	18	5	NO	Isolato
30/07/2010	1900-0100	105	4	25	SI	Isolato
06/11/2011	0400-1200 1200-1300	20 45	12 1	2 45	SI	Isolato
02/04/2013	2300-0400 1000-24-00	60 50	5 14	12 3	SI	Elevata piovosità precedente 280 mm/25 gg
29/01/2015	2000-1400	130	18	6	NO	Elevata piovosità precedente 150 mm/15 gg
14/10/2015	2000-1000	120	14	8	SI	Elevata piovosità precedente 250 mm/10 gg Eventi simili 4 gg prima e 10 gg prima

TABELLA 10 -STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO EVENTI CON DANNI PERIODO 2001-2015

I dati contenuti nelle Tabelle precedenti possono essere sintetizzati nella Tabella 11 che raccoglie gli eventi pluviometrici critici per campi di durate.

<i>Durata</i>	<i>Data</i>	<i>Cumulata (mm)</i>
<i>10 min-40 min</i>	30/07/2010	57
<i>40 min -80 min</i>	01/07/2008	64
<i>1.5 h - 6 h</i>	15/09/2006	108
<i>6 h -12 h</i>	04/03/2005	162
<i>12 h -24 h</i>	04/03/2005	225
<i>1 gg-3 gg</i>	04/03/2005	250

TABELLA 11 -STAZIONE PLUVIOMETRICA FORINO PIOGGIA CUMULATA (mm) SOMMARIO EVENTI CRITICI PER DURATE VARIABILI PERIODO 2001-2014

L'analisi dei dati riportati nella Tabella 11 permette di proporre una prima classificazione delle caratteristiche degli eventi che hanno determinato danni (Tabella 12).

<i>Classe</i>	<i>Intensità</i>	<i>Periodo</i>	<i>Commento</i>
<i>1</i>	<i>Elevata</i>	estate-autunno	<i>50 mm/h in 1 h</i>
<i>2</i>	<i>Media</i>	tarda estate-autunno	preceduti da un evento analogo cumulata > 100 mm per ciascun evento
<i>3</i>	<i>Bassa</i>	inverno-primavera	cumulata evento 100 mm preceduti da un periodo di elevata precipitazione cumulata periodo precedente > 10 mm/g per almeno 10 gg

TABELLA 12 – RIEPILOGO EVENTI CON DANNI PERIODO 2001-2014

La prima classe di eventi è rappresentata dagli eventi che si verificano nel periodo estivo-autunnale e che sono caratterizzati da elevata intensità e brevissima durata, una soglia indicativa per tale tipo di eventi può essere indicata nel valore di almeno 50 mm/h per 1 h. Per tale classe l'analisi della pluviometria adiacente alla conca di Forino, sintetizzata nella Tabella 8, non esclude la possibilità che si determinino eventi con piovosità anche doppia rispetto a quella misurata nel periodo di osservazione disponibile.

La seconda classe di eventi è rappresentata dagli eventi che si verificano nel periodo tardo estivo-autunnale, e che sono caratterizzati da intensità minori rispetto a quelli della prima classe, e diventano critici quando sono preceduti da eventi pluviometrici che comportano un valore cumulato di almeno 100 mm.

La terza classe di eventi è rappresentata dagli eventi che si verificano nel periodo invernale-primaverile, e che sono caratterizzati da piogge prolungate con intensità relativamente bassa, ma che sono preceduti da eventi pluviometrici relativamente lunghi e che comportano un valore cumulato per i giorni precedenti di almeno 10 mm/g.

La lista degli eventi pluviometrici relativi alle prime 2 categorie individuate in precedenza è riportata nella Tabella 13.

<i>Durata</i>	<i>Cumulata (mm)</i>	<i>Data</i>	<i>Danni</i>
1 h	65	1 luglio 2008	NO
2 h	91	15 settembre 2006	NO
3 h	105	15 settembre 2006	NO
	80	31 luglio 2010	SI
4 h	105	15 settembre 2006	NO
	93	31 luglio 2010	SI
	80	26 settembre 2006	SI
6 h	110	15 settembre 2006	NO
	100	26 settembre 2006	SI
	98	31 luglio 2010	I
12 h	163	4 marzo 2005	SI
	126	26 dicembre 2004	SI
	122	15 settembre 2006	NO
	117	26 settembre 2006	SI
	108	3 gennaio 2009	NO
24 h	223	4 marzo 2005	SI
	151	26 dicembre 2004	SI
	128	16 settembre 2006	NO
	123	3 gennaio 2009	NO
	120	26 settembre 2006	SI
	120	16 ottobre 2015	SI
	119	30 gennaio 2010	NO
	112	28 dicembre 2005	NO
	110	1 dicembre 2004	NO
	109	9 gennaio 2003	NO
	107	30 luglio 2010	SI
	106	10 ottobre 2015	NO
	102	1 giugno 2009	NO
	100	9 novembre 2010	NO

TABELLA 13 –EVENTI CON PIOGGIA DI FORTE INTENSITÀ E BREVE DURATA PERIODO 2001-2015

La prima osservazione sui dati contenuti nella Tabella 13 riguarda il fatto che il solo valore relativo alla pioggia cumulata relativo ad una assegnata durata non è sempre sufficiente per caratterizzare la criticità dell'evento. Ad esempio per gli eventi di durata pari a 24 h la soglia di circa 100 mm non appare di per sé critica, ma lo può diventare se associata ad altri eventi precedenti.

I pluviogrammi specifici relativi ai singoli eventi, accompagnati dai pluviogrammi relativi al periodo, sono riportati in Appendice alla presente Relazione.

Particolarmente significativo in tal senso è il periodo relativo alla seconda parte di settembre 2006, nel corso del quale nei giorni 15 e 29 si sono verificati 2 eventi pluviometrici intensi. Gli eventi presentano caratteristiche pluviometriche sostanzialmente coincidenti (vedi andamento delle piogge cumulate riportate nella Figura 5), ma sulla base delle informazioni disponibili non risulta che a seguito del primo evento si siano verificati danni, che invece si sono verificati a seguito del secondo.

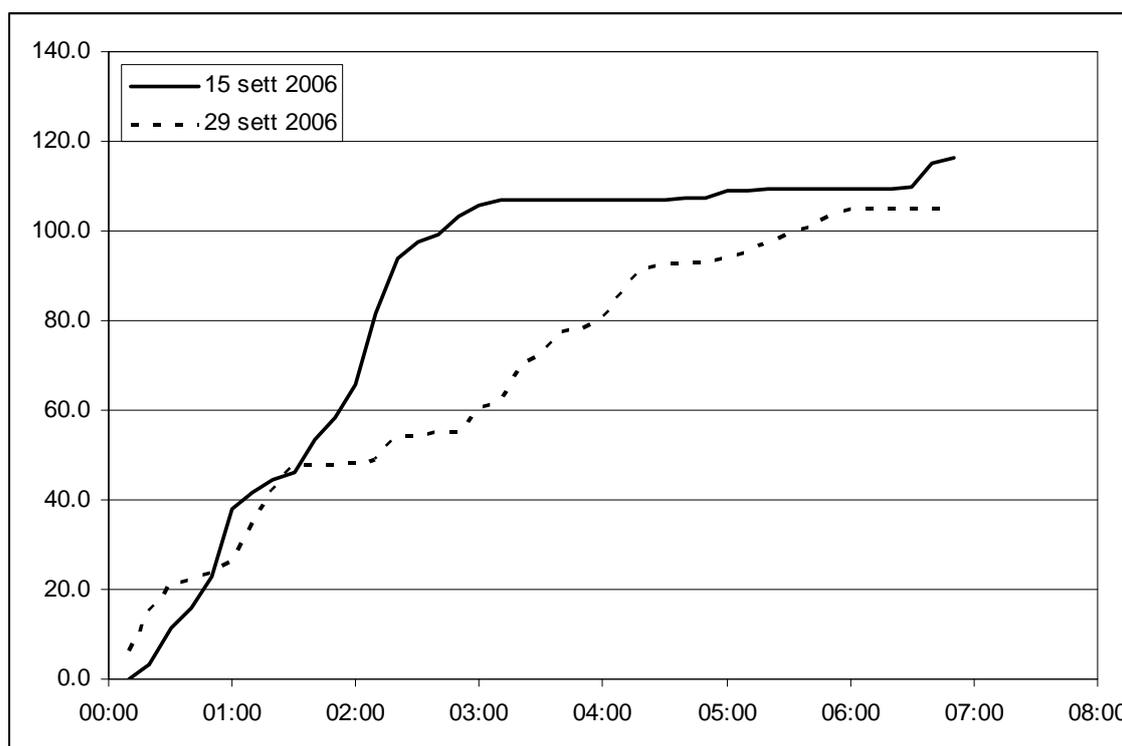


FIGURA 6 – CONFRONTO ANDAMENTO PIOGGIA CUMULATA EVENTI 15 E 29 SETTEMBRE 2006

Lo studio degli eventi del settembre 2006 fornisce una importante chiave di lettura per interpretare i valori di pioggia ai quali si fa riferimento nello studio idrologico: non si tratta di valori di pioggia isolati che di per sé determinano portate elevate, ma, in qualche maniera, essi esprimono l'aliquota di pioggia "in eccesso" tale da determinare "statisticamente" valori elevati di portata.

## 6. STUDIO IDRAULICO

### 6.1 Descrizione del modello di calcolo

Le aree della conca di Forino potenzialmente inondabili sono state identificate sulla base di risultati della modellazione idraulica bidimensionale effettuata con il codice di calcolo *FLO-2D*. Nel codice *FLO-2D* il dominio di calcolo bidimensionale è rappresentato mediante celle rettangolari di eguali dimensioni, ogni cella è in comunicazione con le 8 celle circostanti.

Per una più precisa descrizione delle effettive condizioni di moto il codice di calcolo consente di inserire, all'interno del dominio di calcolo bidimensionale, elementi monodimensionali utilizzati per descrivere le condizioni di moto all'interno di alvei naturali e/o artificiali. In effetti per simulare all'interno di una cornice di calcolo di tipo bidimensionale le caratteristiche geometriche e le condizioni di moto che si determinano in un alveo naturali e/o artificiali sarebbe necessario ricorrere a celle di calcolo aventi dimensioni significativamente più piccole rispetto alla larghezza caratteristica dell'alveo, con conseguente aggravio computazionale e difficoltà di convergenza della soluzione numerica.

L'inserimento degli elementi monodimensionali avviene accoppiando ciascuna sezione trasversale dell'alveo ad una cella della modellazione bidimensionale, il codice di calcolo quindi, sulla base delle differenze di livello idrico tra elemento monodimensionale e cella ospitante, determina la direzione e l'entità del flusso idrico scambiato tra i due elementi.

Nella modellazione bidimensionale sono stati inseriti gli elementi di natura antropica presenti nell'area di studio, quali ad esempio edifici e recinzioni impermeabili, che si possono ritenere ostacoli permanenti che influenzano l'andamento dei flussi idrici.

A tal fine nella modellazione sono stati inseriti ulteriori elementi indicati come: strade e celle bloccate:

- nel codice *FLO-2D* le strade rappresentano sostanzialmente degli elementi canali che sono inseriti all'interno delle celle bidimensionali, i flussi esistenti tra i due sistemi vengano rappresentati nel modello nel modo seguente: il crearsi di un dislivello tra il livello idrico calcolato nel canale e il livello idrico nella cella bidimensionale che lo contiene comporta il generarsi di un flusso idrico verso l'elemento caratterizzato dal livello idrico inferiore;
- le celle bloccate sono state inserite per rappresentare gli edifici presenti nel dominio di calcolo che sono stati assunti perfettamente impermeabili.

Il modello idraulico bidimensionale è basato sulla integrazione numerica del classico sistema di equazioni bidimensionali del moto a superficie libera del De Saint Venant:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

dove:

$h$  è il tirante idrico;

$v_x$  e  $v_y$  sono le componenti della velocità della corrente lungo le direzioni ortogonali  $x$  e  $y$ ;

$t$  è il tempo;

$i$  è la variazione di volume per unità di tempo e superficie prodotta da altri fenomeni, quali la precipitazione o l'infiltrazione nel terreno;

$S_{fx}$  e  $S_{fy}$  sono le perdite di carico unitarie nelle rispettive direzioni  $x$  e  $y$ ;

$S_{ox}$  e  $S_{oy}$  sono le corrispondenti pendenze del fondo.

Il calcolo dei termini  $S_{ox}$  e  $S_{oy}$  può essere effettuato con la formula di resistenza al moto di Manning:

$$S_{fx} = \frac{n^2 V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{h^3} \quad S_{fy} = \frac{n^2 V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{h^3}$$

in cui  $n$  è il coefficiente di scabrezza.

La soluzione delle equazioni è sviluppata tramite un modello esplicito alle differenze finite; applicata ad un campo di moto suddiviso in una griglia di celle quadrate.

La soluzione delle equazioni viene effettuata in forma disaccoppiata: in funzione dello stato idrometrico ad un dato istante, si risolve l'equazione del moto, calcolando per ciascuna cella il valore della velocità lungo le otto possibili direzioni di flusso; in particolare la discretizzazione alle differenze finite dell'equazione del moto, può essere effettuata, sia trascurando gli ultimi tre termini dell'equazione stessa (accelerazioni convettive e locali), sia in forma completa come nel presente studio.

Nota il valore della velocità lungo una direzione, si moltiplica lo stesso per la corrispondente area di flusso; ripetendo tale procedura per tutte le direzioni si determinano le portate e quindi i volumi scambiati tra le celle contigue nel corso di un passo temporale di calcolo.

In funzione di tali valori viene poi calcolato per ciascuna cella il nuovo stato idrometrico, valutando il bilancio di massa, attraverso la forma integrale dell'equazione di continuità:

$$h^{(i+1)} = h^{(i)} + \Delta h = h^{(i)} + \left( \frac{1}{\Delta x^2} \sum_i Q_i + u_i^{(i+1)} + j_p^{(i+1)} \right) \cdot \Delta t$$

dove  $\Delta x^2$  è l'area della cella,  $Q_i$  è il contributo di portata – positivo se entrante – della  $i$ -esima cella limitrofa,  $u_i$  è la velocità di infiltrazione,  $j_p$  è l'intensità di precipitazione e  $\Delta t$  è il passo temporale di calcolo.

La natura esplicita dello schema di risoluzione richiede il rispetto della condizione di stabilità di Courant:

$$\Delta t \leq C \frac{\Delta x}{c + v}$$

dove  $C$  è il numero di Courant ( $C < 1$ ),  $x$  è il passo spaziale della maglia di calcolo,  $v$  è la velocità media del moto e  $c$  è la celerità di propagazione dell'onda di piena.

Prima che la condizione di stabilità venga verificata, il modello controlla che la variazione percentuale dell'altezza idrica in una data cella sia inferiore ad un valore prefissato (normalmente assunto pari al 30%).

L'inosservanza della condizione di stabilità o il superamento della soglia prima definita, determinano una riduzione nel passo di integrazione e un annullamento dei calcoli effettuati all'istante temporale corrente. Il persistere di tale condizione può provocare una interruzione del calcolo e richiedere una indispensabile riorganizzazione dei file geometrici di input.

Il modello è stato implementato utilizzando elementi quadrati aventi lato pari a 5 m, nel complesso il modello comprende quasi 500,000 celle.

## 6.2 Dati di ingresso al modello

Per la redazione degli studi idraulici sono stati utilizzati i seguenti dati di ingresso la modello:

- topografia;
- condizioni al contorno;
- portate e/o idrogrammi.

Il modello numerico del terreno (modello topografico) è stato sviluppato sulla base di un rilievo a terra correlato ai dati *LiDAR* del Ministero dell'Ambiente. I Prodotti *LiDAR* sono stati acquisiti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (*PST-A*) e della sua Estensione (*PST-A Estensione 2008*). I prodotti *LiDAR* disponibili sono *Modello Digitale del Terreno (DTM)*, *Modello Digitale della Superficie (DSM First e DSM Last)* e *Intensity*. Risoluzione 1:5.000. Nello specifico

dell'area in studio sono stati utilizzati 35 elementi della copertura *LiDAR*. Il dettaglio delle Tavole *LiDAR* utilizzate è riportato in Appendice.

Il *DSM*, in forma di matrice numerica, è ricavato dall'interpolazione della nuvola di punti originari, mentre il *DTM* è ricavato dall'interpolazione dei soli punti classificati, con procedure automatiche, come punti a terra, ovvero escludendo i punti riconducibili alla vegetazione o ad opere antropiche.

Il *DMS* E *DTM* sono forniti in coordinate geografiche (*EPSG Projection 4326 - WGS 84*), con passo 0.01 *deg*, equivalente ad un passo di circa 1 *m* in un sistema di riferimento proiettato. Per definire la griglia di calcolo del modello idraulico bidimensionale il primo passaggio è stato quello di trasformare il dato grid originale da coordinate geografiche ad un sistema di riferimento proiettato (Sistema di Riferimento Geodetico *ETRF2000, RDN2008/TM33* codice *EPSG 6708*). E' utile precisare che le quote riportate nei grid *DTM /DSM* sono ortometriche, mentre le quote dei punti rilevati (riportati come file *xyz*) sono ellissoidiche. Il risultato di questo primo passaggio è stato quello di definire un *DTM* definito in coordinate *UTM* con passo approssimativamente 1x1 *m*.

In ogni caso la complessità del sistema e le modifiche intercorse dalla data di effettuazione del rilievo *LIDAR* hanno richiesto l'effettuazione di una serie di sopralluoghi mirati a chiarire l'effettiva disposizione topografica di alcuni elementi di origina antropica, in particolare degli interventi di sistemazione idraulica effettuati lungo il corso degli impluvi le cui Schede di sintesi del valloni principali sono state discusse nella prima parte della presente Relazione.

Per potere effettuare le simulazioni è anche necessario assegnare le *condizioni al contorno*, nel caso in esame sono risultate particolarmente semplici in quanto hanno riguardato:

- le condizioni di flusso al contorno esterno del modello;
- le condizioni iniziali del terreno (solo per quelle simulazioni che hanno implementato un modello di infiltrazione).

Per quanto riguarda le condizioni di flusso sul contorno esterno del modello si è posta una condizione di flusso libero, in altri termini l'acqua una volta raggiunto il bordo esterno del modello abbandona il dominio di calcolo.

Per quanto riguarda la permeabilità terreno si rimanda la discussione alle parti della presente Relazione dedicate alla descrizione degli scenari ancillari nei quali si è tenuto conto delle caratteristiche di infiltrazione nel terreno.

### 6.3 Scenari di evento

Per quanto riguarda gli idrogrammi da inserire nel modello si è proceduto alla definizione di 2 *scenari principali* o di riferimento e di 9 *scenari secondari* o *ancillari*.

#### 6.3.1 Scenari di evento principali PSAI

Gli scenari principali fanno riferimento ai parametri morfologici dei bacini idrografici ed alle portate definite nella *Relazione idrologica*.

Per entrambi gli scenari principali il volume di piena è stato definito sulla base di un idrogramma di piena avente portata pari a quella di picco e durata pari al doppio del tempo di concentrazione di ciascun bacino.

I parametri relativi agli scenari principali sono ripresi dalle Tabelle 2 e 3 della presente Relazione e riportate per comodità di lettura di seguito.

<i>Scenario Principale PSAI_1</i>							
<i>Bacino (Codice rif. fig. 21)</i>	$C_f$	$t_r$	$m[I_A(t_r)]$	$\beta$	$m(Q)$	$Q_{T=100}$	$W_{QT=100}$
	<i>Coefficiente di deflusso</i>	<i>Tempo di ritardo</i>	<i>Intensità di pioggia areale</i>		<i>Media della massima portata annua</i>		
		<i>ore</i>	<i>mm/ora</i>		$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3$
<i>062a</i>	0.49	0.10	64.30	0.7765	1.19	<b>3.65</b>	<b>1898</b>
<i>062b</i>	0.54	0.25	51.19	0.7804	7.85	<b>24.09</b>	<b>32648</b>
<i>062c</i>	0.58	0.09	64.95	0.7803	1.36	<b>4.17</b>	<b>2024</b>
<i>062d</i>	0.58	0.14	59.74	0.7800	3.10	<b>9.52</b>	<b>7260</b>
<i>062e</i>	0.48	0.21	53.95	0.7768	4.61	<b>14.15</b>	<b>16240</b>
<i>062f</i>	0.51	0.35	45.81	0.7762	12.13	<b>37.23</b>	<b>69597</b>
<i>062g</i>	0.36	0.38	44.56	0.7735	4.71	<b>14.46</b>	<b>29325</b>
<i>063a</i>	0.51	0.06	74.48	0.6584	0.68	<b>2.09</b>	<b>732</b>
<i>063b</i>	0.46	0.16	58.69	0.7627	2.70	<b>8.29</b>	<b>7273</b>
<i>063c</i>	0.35	0.29	50.13	0.7497	2.83	<b>8.70</b>	<b>13736</b>

TABELLA 2 – PORTATE *PSAI\_1* (DA RELAZIONE IDROLOGICA ALLEGATA CON FORMULA ROSSI-VILLANI)

<i>Scenario Principale PSAI_2</i>							
<i>Bacino (Codice rif. fig. 2)</i>	$C_f$	$t_r$	$m[I_A(t_r)]$	$\beta$	$m(Q)$	$Q_{T=100}$	$W_{QT=100}$
	<i>Coefficiente di deflusso</i>	<i>Tempo di ritardo</i>	<i>Intensità di pioggia areale</i>		<i>Media della massima portata annua</i>		
		<i>ore</i>	<i>mm/ora</i>		$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3$
<i>062a</i>	0.49	0.80	31.26	0.7765	0.58	<b>1.78</b>	<b>7714</b>
<i>062b</i>	0.54	1.41	22.42	0.7804	3.44	<b>10.55</b>	<b>80476</b>
<i>062c</i>	0.58	1.00	27.65	0.7803	0.58	<b>1.78</b>	<b>9555</b>
<i>062d</i>	0.58	1.20	24.84	0.7800	1.29	<b>3.96</b>	<b>25589</b>
<i>062e</i>	0.48	1.15	25.50	0.7768	2.18	<b>6.69</b>	<b>41634</b>
<i>062f</i>	0.51	1.61	20.79	0.7762	5.50	<b>16.90</b>	<b>146591</b>
<i>062g</i>	0.36	1.25	24.38	0.7735	2.58	<b>7.91</b>	<b>53481</b>
<i>063a</i>	0.51	0.87	35.94	0.6584	0.33	<b>1.01</b>	<b>4718</b>
<i>063b</i>	0.46	1.01	28.22	0.7627	1.30	<b>3.99</b>	<b>21689</b>
<i>063c</i>	0.35	1.10	27.42	0.7497	1.55	<b>4.76</b>	<b>28220</b>

TABELLA 3 –PORTATE PSAI\_2 (DA RELAZIONE IDROLOGICA ALLEGATA CON FORMULA ROSSI)

Come meglio specificato nella *Relazione Idrologica* nel *PSAI* la valutazione del tempo di concentrazione dei bacini è stata sviluppata sulla base di 2 approcci differenti che hanno fornito tempi di concentrazione notevolmente differenti tra di loro cui sono conseguite valutazioni sulle portate ed i volumi di piena significativamente differenti tra di loro.

Il tempo di ritorno utilizzato per la definizione delle portate di picco è stato posto pari a  $T_R=100$  anni.

Nel presente studio, a vantaggio di sicurezza, si è deciso di procedere a delimitare le aree allagabili utilizzando entrambi gli scenari. Tale scelta è anche congruente con la circostanza, discussa in maggiore dettaglio nel Capitolo 7 relativo ai *Criteri utilizzati per la definizione dei livelli di pericolosità e rischio*, che la conca è stata suddivisa in due ambiti morfologici: *pedemontano o di conoide* ed *alluvionale o di pianura*.

Lo scenario *PSAI\_1*, per effetto delle portate più elevate, si presta meglio a rappresentare i processi riguardanti l'ambito *pedemontano o di conoide*, mentre lo scenario *PSAI\_2*, per effetto dei maggiori volumi di piena, si presta meglio a rappresentare i processi riguardanti l'ambito *alluvionale o di pianura*.

Sempre a vantaggio di sicurezza gli idrogrammi sono stati applicati contemporaneamente a tutti i bacini considerati: tale circostanza corrisponde alla improbabile eventualità che un unico evento pluviometrico sia tale da determinare la presenza di piogge di durata critica per tutti i bacini.

Per i bacini minori non valutati nel *PSAI*, a vantaggio di sicurezza, è stato comunque introdotto un idrogramma pari a quello del bacino più piccolo considerato nel *PSAI*.

La possibilità di inserire gli idrogrammi di piena direttamente nella sezione di chiusura di ciascun bacino idrografico, così come è rappresentato nel *PSAI*, ha comportato la possibilità di limitare l'estensione dell'area di studio ad una porzione parziale dell'intera conca. In tal modo è stato possibile ridurre, in accordo con le indicazioni del *PSAI*, la dimensione della griglia di calcolo a soli  $5 \times 5$  m. L'area di calcolo utilizzata per gli scenari *PSAI* è evidenziata nella Figura 7.

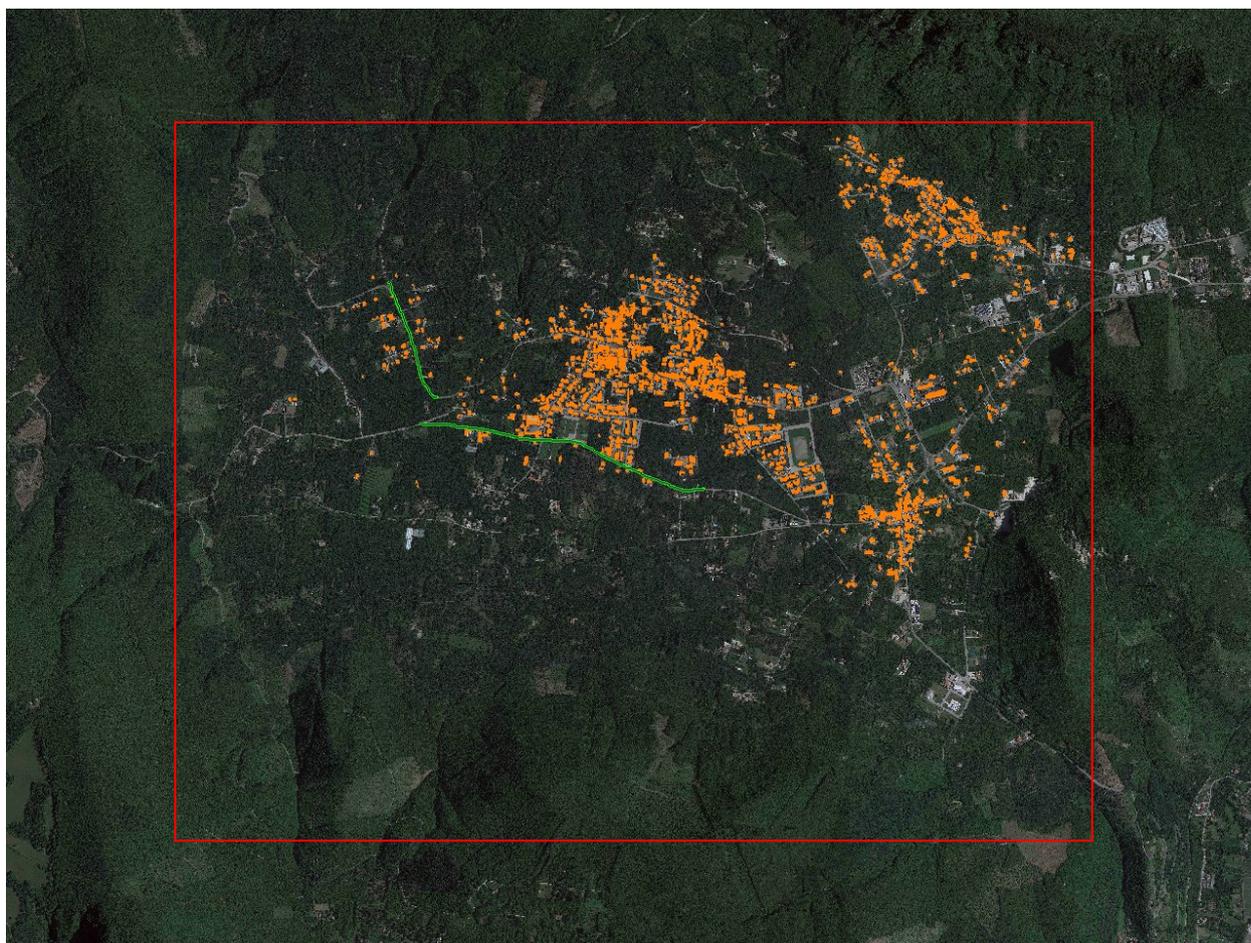


FIGURA 7 – MODELLO BIDIMENSIONALE *FLO-2D* AREA DI CALCOLO PER GLI SCENARI PRINCIPALI *PSAI*

Il modello è stato implementato utilizzando elementi quadrati aventi lato pari a  $5 \times 5$  m, nel complesso il modello comprende quasi 500,000 celle.

L'andamento temporale delle altezze idriche calcolate dal modello bidimensionale *FLO-2D* nel caso dello scenario principale *PSAI\_2* è riportato nella Figura 8.

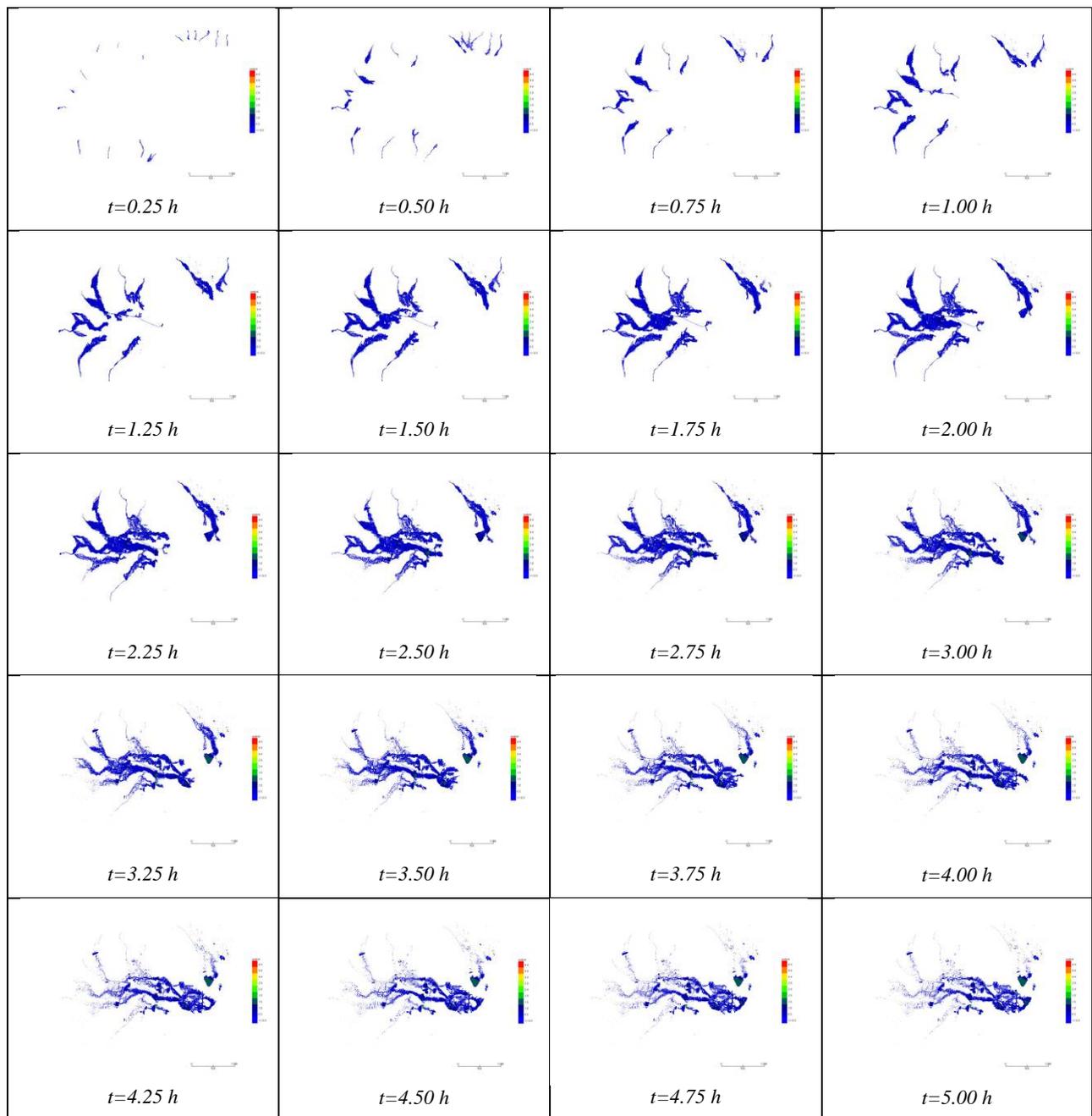


FIGURA 8 – MODELLO BIDIMENSIONALE FLO-2D ANDAMENTO TEMPORALE TIPICO DELLE ALTEZZE IDRICHE SCENARIO PRINCIPALE PSAI\_2

Il risultati dei due scenari principali sono rappresentati in termini di inviluppo delle massime altezze idriche e, per la zona pedemontana, anche d’inviluppo della massime velocità. La scelta di riferirsi all’inviluppo delle massime altezze e delle massime velocità risulta a vantaggio di sicurezza in quanto, in generale i due valori non sempre si determinano contemporaneamente. I risultati relativi agli inviluppi della massime altezze idriche sono riportati nella Figure 9e 10

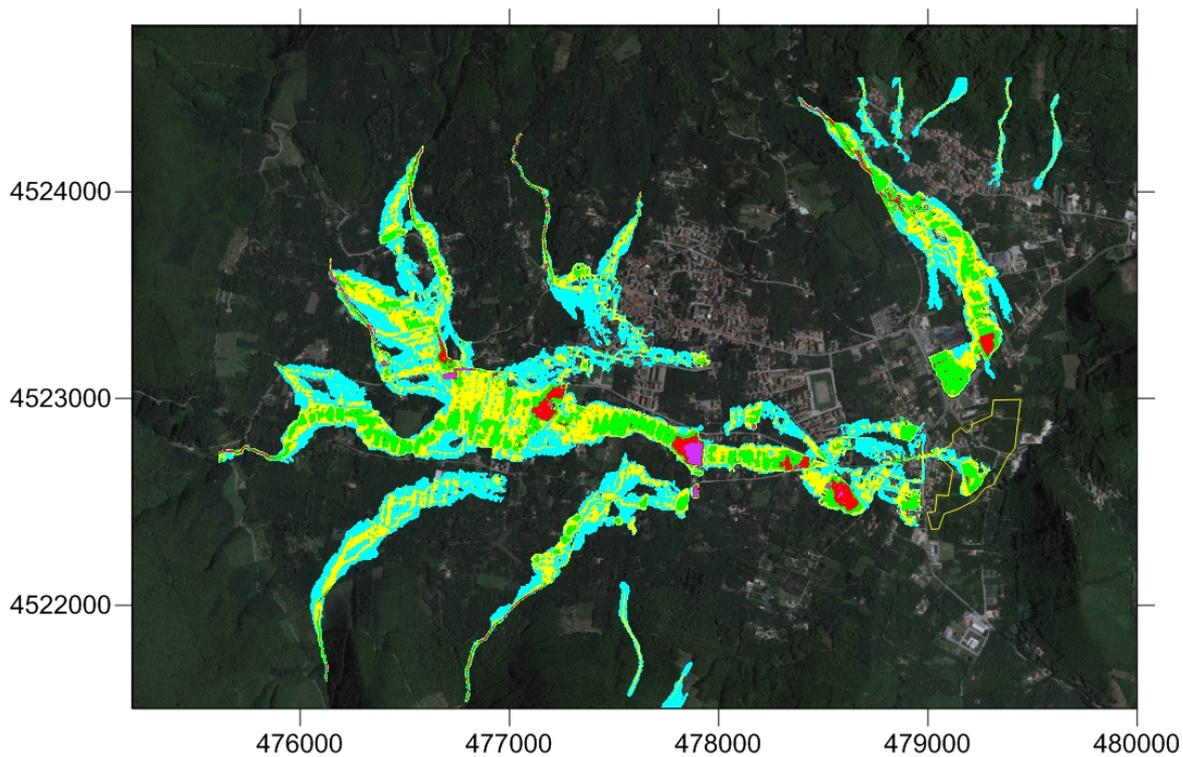


FIGURA 9– SCENARIO PRINCIPALE *PSAI\_1* INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

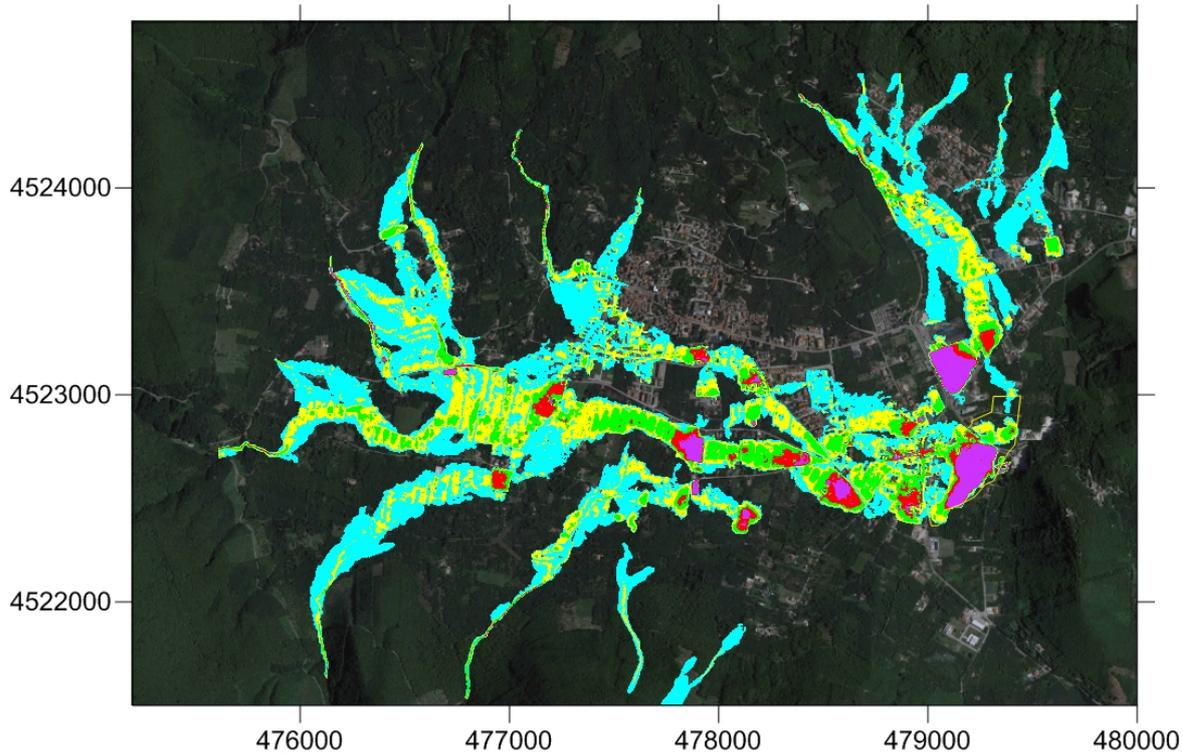


FIGURA 10 SCENARIO PRINCIPALE *PSAI\_2* INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

### 6.3.2 Scenari di evento secondari o ancillari

In aggiunta ai 2 scenari principali relativi alle portate *PSAI*, al fine di valutare la sensibilità dei risultati a modifiche nella tipologia della modellazione, si sono sviluppati 9 *scenari ancillari* basati sulla trasformazione diretta delle precipitazioni in deflusso.

Dovendo rappresentare nella simulazione l'intera conca endoreica e considerato il carattere ancillare degli scenari si è utilizzata una griglia di calcolo di dimensioni 20x20 m più larga rispetto a quella impiegata nelle simulazioni degli scenari principali. Considerata la maggiore estensione dell'area di calcolo il numero di celle di calcolo utilizzate risulta superiore a 100,000. L'area di calcolo relativa alle simulazioni ancillari è riportata nella Figura 11, per omogeneità con gli scenari principali la pioggia è stata applicata alla porzione della conca di Forino identificabile in base alle sezioni di chiusura dei bacini idrografici considerati nel *PSAI*.

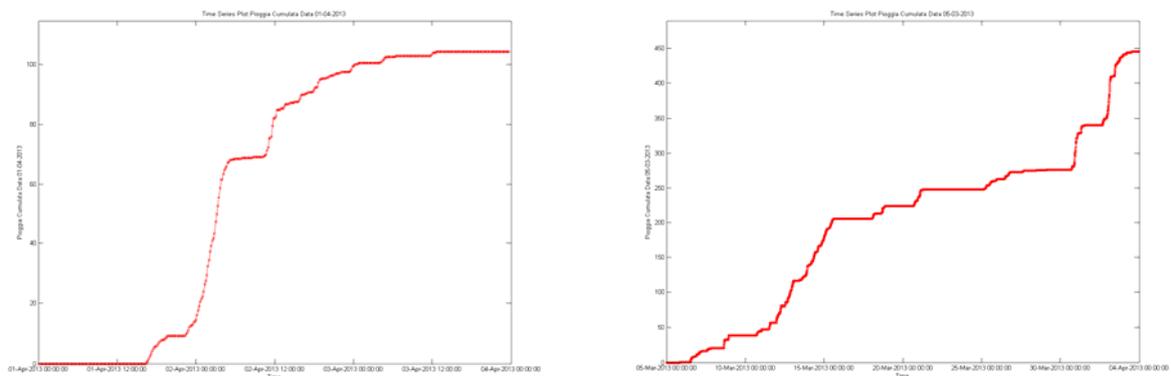


FIGURA 11 – MODELLO BIDIMENSIONALE FLO-2D AREA DI CALCOLO PER SIMULAZIONE PIOGGIA (AREA PSAI)

I primi 3 scenari ancillari sono stati finalizzati ad ottenere una stima empirica del coefficiente di deflusso complessivo, a tal fine si è utilizzato come evento di taratura quello l'evento del 1-3

aprile 2013 che ha comportato l'allagamento di una ampia porzione della frazione Celzi. L'evento del 1-3 aprile 2013, discusso in maniera più ampia nell'ambito del Capitolo 10 riguardante i *Criteri per l'adeguamento dell'impianto di sollevamento localizzato in località Celzi*, ha avuto una durata di circa 24 h nel corso del quale si è avuta una precipitazione complessiva di circa 90 mm, cui corrisponde una intensità media di 4 mm/h.

Il grafico relativo alla pioggia cumulata del periodo dall'1 al 3 aprile 2013, riportato nella Figura 12a, indica che la pioggia relativa a questo periodo risulta sostanzialmente ordinaria, per cui la spiegazione della eccezionalità dell'evento va ricercata nella piovosità precedente, a tal fine nella Figura 12b è riportato l'andamento della pioggia cumulata relativa ai 30 gg precedenti.



a) pioggia cumulata 1-3 aprile 2013

b) pioggia cumulata dal 5 marzo 2013

FIGURA 12 – PLUVIOMETRIA EVENTO APRILE 2013

La taratura del modello è stata effettuata calibrando i parametri del modello stesso fino ad ottenere una superficie allagata, in corrispondenza dell'inghiottitoio di Celzi, confrontabile con quella che è stata ricavata sulla base della documentazione disponibile.

La calibrazione è stata effettuata con riferimento a due approcci:

- il primo, più semplice, ha fatto riferimento al solo coefficiente di deflusso,
- il secondo ha utilizzato il classico modello di infiltrazione di Green-Ampt (nel seguito GA).

Per l'implementazione del modello di infiltrazione di Green-Ampt sono stati utilizzati valori dei parametri che risultano caratteristici dello strato di copertura piroclastico. I valori dei parametri utilizzati nel modello di infiltrazione sono riportati nella Tabella 14.

Nome	Modello	IA	IS	FS	SP	HC	CHS	Pioggia
Rain_01	PSAI			$C_f=0.49$				Aprile 2013
Rain_02	GA	10	0.3	0.95	0.5	1.0	1.50	Aprile 2013
Rain_03	GA	10	0.3	0.95	0.5	1.0	0.15	Aprile 2013

TABELLA 14 – PARAMETRI MODELLI INFILTRAZIONE EVENTO 2-3 APRILE 2013 (I VALORI RELATIVI ALLO SCENARIO RAIN\_03 SONO IL RISULTATO DEL PROCESSO DI TARATURA DEI PARAMETRI)

Il valore  $C_f = 0.49$  riportato nella Tabella 14 rappresenta la media dei valori relativi ai singoli bacini esaminati nel *PSAI* (vedi Tabella 2).

Come elemento di riferimento per il processo di confronto e calibrazione nella Figura 13a è riportato un fotogramma del video ripreso dall'elicottero dei VVF la mattina del 3 aprile 2013 sulla quale è evidenziato in giallo il contorno dell'area allagata in prossimità dell'abitato di Celzi. Il contorno delle aree allagate è riproposto nella Figura 13b sul *DTM* dell'area di Celzi indicando, con buona approssimazione, che l'area allagata ricade al di sotto della isoipsa posta a quota 192.00 m s.m.

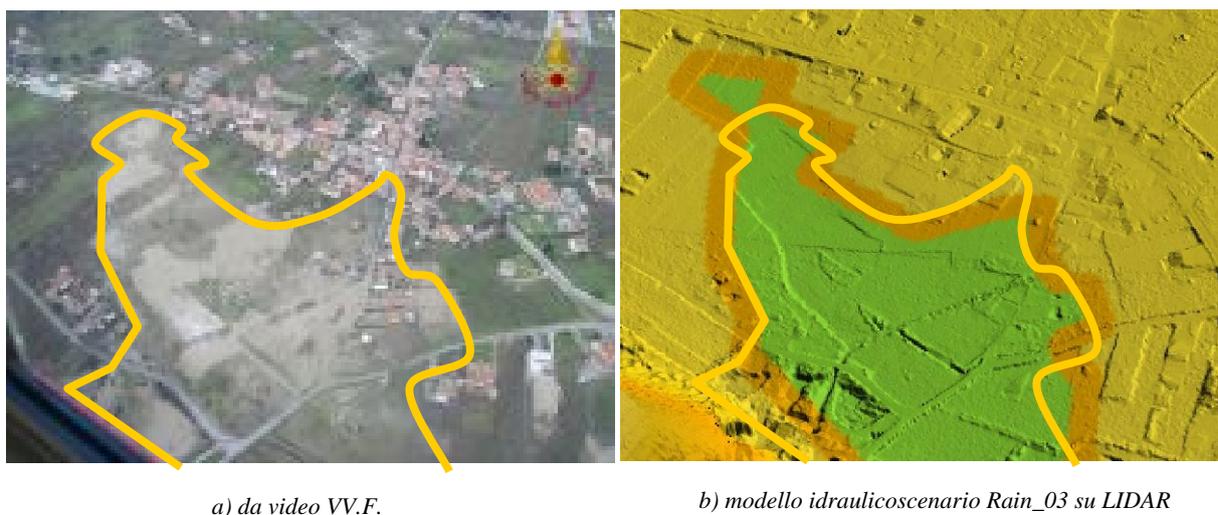


FIGURA 13 – FORINO 2013 – CONFRONTO TRA L'AREA ALLEGATA DETERMINATA SULLA BASE DELLE RIPRESE AEREE DEI VVF E IL CONTOURNO DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA SCENARIO RAIN\_03

I risultati relativi all'involuppo delle altezze idriche relative alle prime 3 simulazioni ancillari sono riportati nelle Figure 14, 15 e 16. Per facilitare il processo di calibrazione nelle Figure 14, 15 e 16 è stato anche riportato il contorno relativo alle aree allagate presente nella Figura 13.

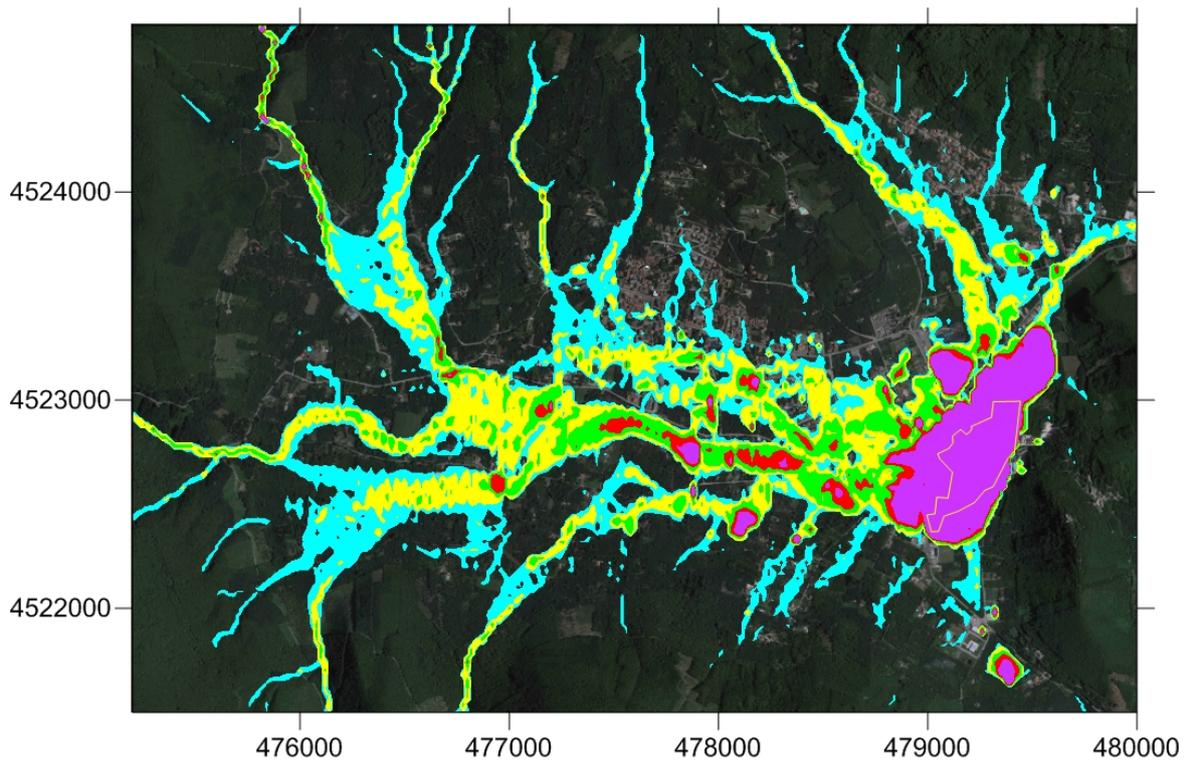


FIGURA 14 - SCENARIO *RAIN\_01* PIOGGIA 2/4/2013  $C_f$  *PSAI* INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

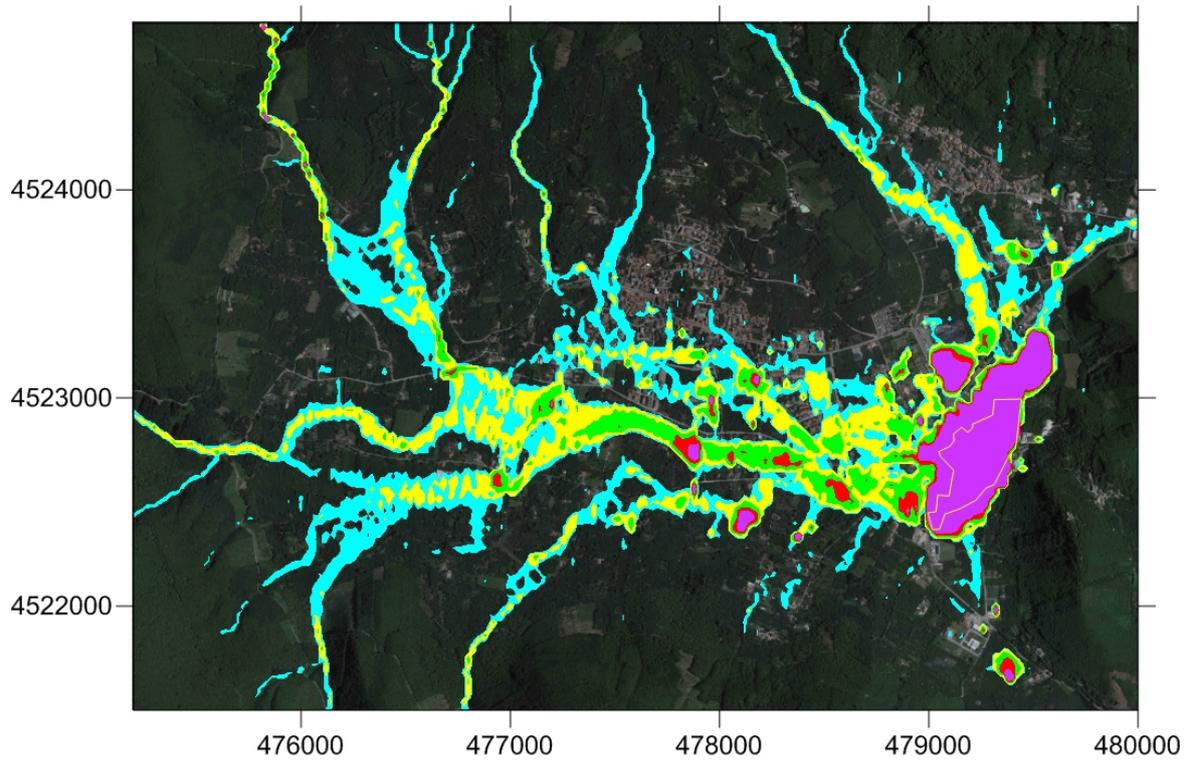


FIGURA 15 - SCENARIO *RAIN\_02* PIOGGIA 2/4/2013 *MODELLO GA TENTATIVO* INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

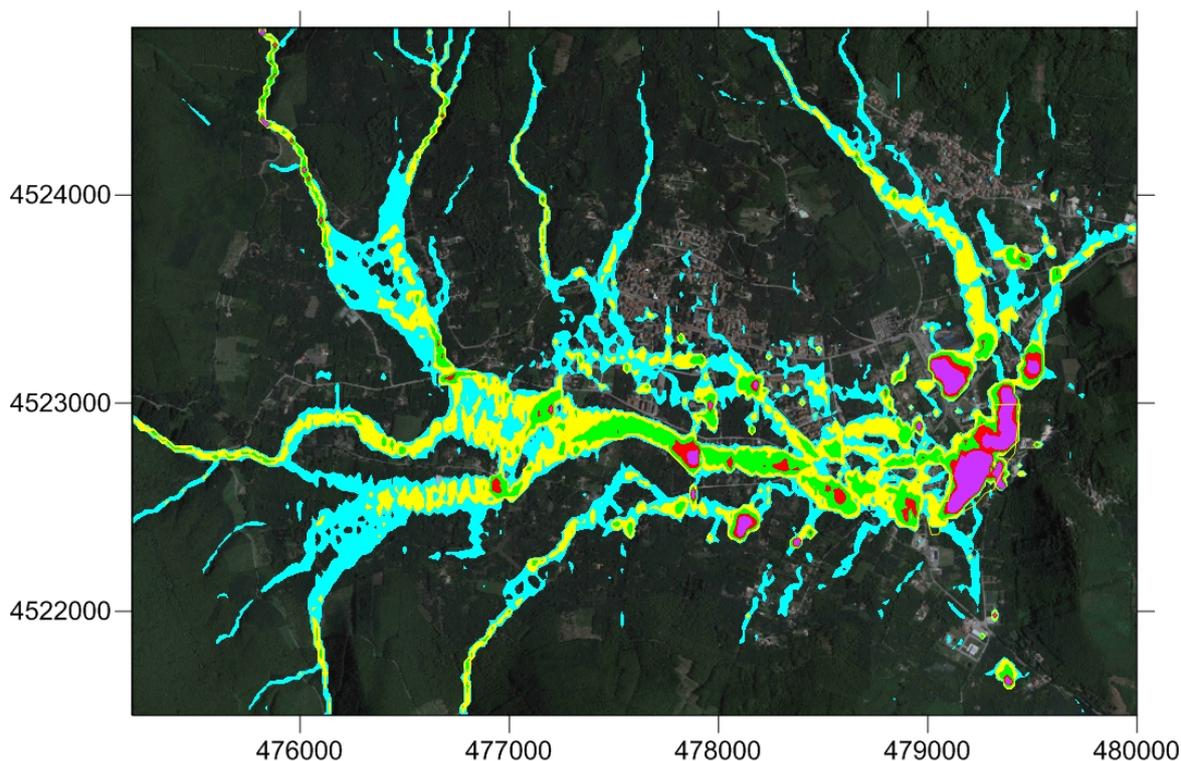


FIGURA 16 - SCENARIO RAIN\_03 MODELLO GA OTTIMIZZATO INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

L'osservazione delle Figure 14 e 15 indica chiaramente che gli scenari *Rain\_01* e *Rain\_02* non rappresentano una buona riproduzione di quanto avvenuto nell'aprile del 2013 in quanto le aree allagate risultano di gran lunga maggiori rispetto a quelle effettive. La buona concordanza tra risultati del modello idraulico e le aree effettivamente allagate che si evidenzia allagata nella Figura 16 è il risultato del processo di taratura del modello di infiltrazione.

I risultati di sintesi relativi alle aliquote di pioggia infiltrata ed efficace determinate dal modello sono riportati nella Tabella 15.

<i>Scenario</i>	<i>Model</i>	<i>Pioggia mm</i>	<i>Durata h</i>	<i>Intercettata mm</i>	<i>Efficace mm</i>	<i>Note</i>
<i>Rain_01</i>	$C_f=0.48$	90	24	46.0	44.0	Pioggia 2/4/2013 $C_f$ PSAI
<i>Rain_02</i>	GA	90	24	22.5	67.5	Pioggia 2/4/2013 Primo tentativo
<i>Rain_03</i>	GA	90	24	66.2	23.8	Pioggia 2/4/2013 Taratura

TABELLA 15 – SCENARI ANCILLARI SIMULAZIONI EVENTO PLUVIOMETRICO 2-3 APRILE 2013 RISULTATI CALIBRAZIONE MODELLO INFILTRAZIONE

Il primo commento ai risultati dei primi 3 scenari ancillari riguarda le differenze esistenti tra le aree effettivamente allagate e quelle determinate sulla base del coefficiente di deflusso *PSAI*: la

maggiore area allagata presente nella Figura 14 rispetto a quella realistica riportata della Figura 16 indica che il coefficiente di deflusso *PSAI* sovrastima, nel caso in esame, la quantità di deflusso effettivo. Tale differenza può essere giustificata dal fatto che il valore coefficiente di deflusso utilizzato nel *PSAI* fa riferimento ad eventi pluviometrici di elevata intensità per i quali, in generale, si riscontra un valore più elevato rispetto al caso di piogge di minore intensità, per i quali l'infiltrazione, per effetto della minore intensità di pioggia, risulta maggiore.

Il confronto tra le Figure 15 e 16 risulta esemplificativo delle differenze che si determinano nel deflusso al variare dei parametri del modello di infiltrazione: la Figura 15 è relativa ai valori iniziali di tentativo, mentre la Figura 16 è relativa al termine del processo di calibrazione.

Per quanto riguarda i valori del modello di infiltrazione ottenuti mediante il processo di calibrazione si deve osservare che quelli relativi allo scenario *Rain\_03*, pur non rappresentando l'unica combinazione possibile, sono stati ritenuti significativi dei valori che possono effettivamente determinarsi nel corso di tali eventi e sono stati pertanto utilizzati per effettuare una ulteriore serie di scenari nei quali sono stati considerati pluviogrammi con differenti caratteristiche. I dettagli relativi agli altri 6 scenari sono riportati nelle Tabelle 16, 17 e 18.

<i>Scenario</i>	<i>Model</i>	<i>Pioggia mm</i>	<i>Durata h</i>	<i>Intercettata mm</i>	<i>Efficace mm</i>	<i>Note</i>
<i>Rain_04</i>	GA	25	0.25	14.7	10.3	
<i>Rain_05</i>	GA	29	0.29	17.1	11.1	
<i>Rain_06</i>	GA	33	0.33	19.2	13.8	
<i>Rain_07</i>	GA	50	0.50	24.7	25.3	

Tabella 16 – Scenari ancillari simulazioni eventi pluviometrici ad intensità di pioggia costante  $i = 100 \text{ mm/h}$  e durata variabile

<i>Scenario</i>	<i>Model</i>	<i>Pioggia mm</i>	<i>Durata h</i>	<i>Intercettata mm</i>	<i>Efficace mm</i>	<i>Note</i>
<i>Rain_07</i>	GA	50	0.50	24.7	25.3	
<i>Rain_08</i>	GA	50	1.00	23.5	26.5	

Tabella 17 – Scenari ancillari simulazioni eventi pluviometrici a volume di pioggia costante  $h = 50 \text{ mm}$  e durata variabile

<i>Scenario</i>	<i>Model</i>	<i>Pioggia mm</i>	<i>Durata h</i>	<i>Intercettata mm</i>	<i>Efficace mm</i>	<i>Note</i>
<i>Rain_09</i>	GA	94.0*	1.20**	25.2	68.8	Pioggia e Bacini <i>PSAI_2</i>

Tabella 18 – Scenari ancillari simulazione evento pluviometrico *PSAI\_2*

\* *Pioggia = 1.2xMedia pesata delle piogge medie sui bacini*

\*\**Durata = 1.0xMedia pesata delle durate sui bacini*

I risultati relativi al secondo set di simulazioni è riportato nelle Figure da 17 a 21.

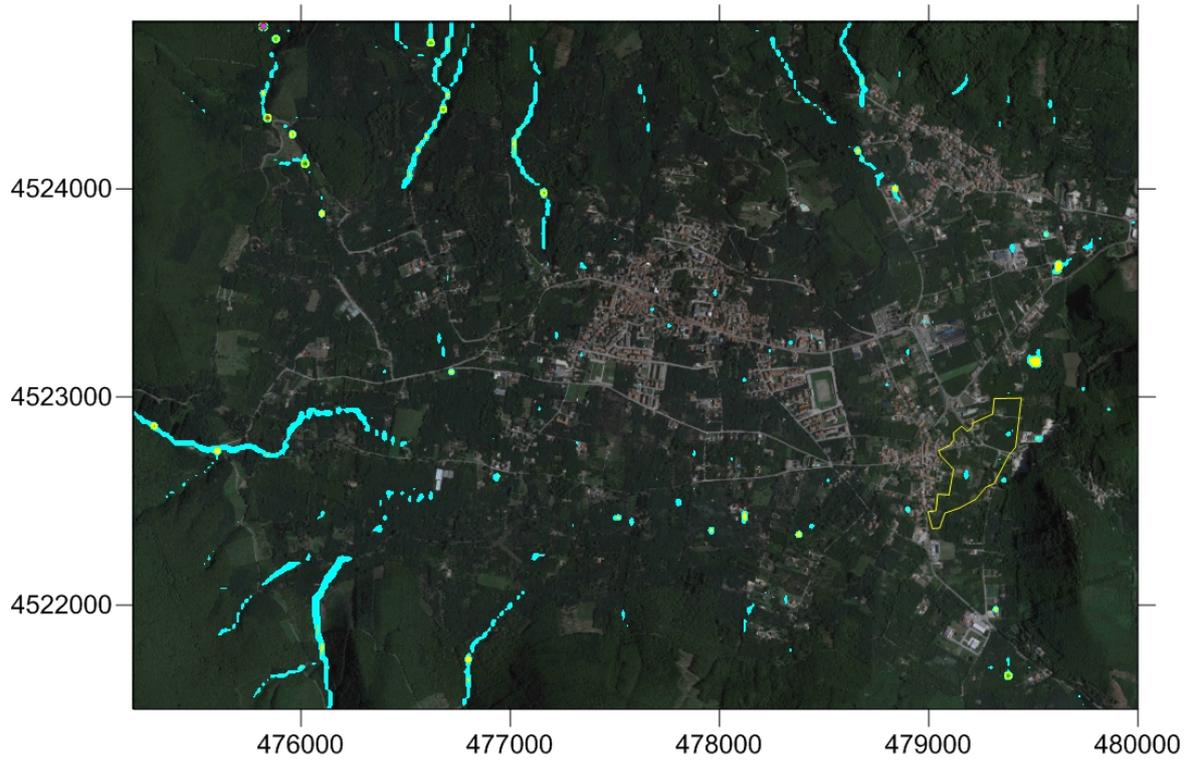


FIGURA 17 - SCENARIO *RAIN\_04* INTENSITÀ 100 mm/h DURATA 0.25 h CUMULATA 25 mm

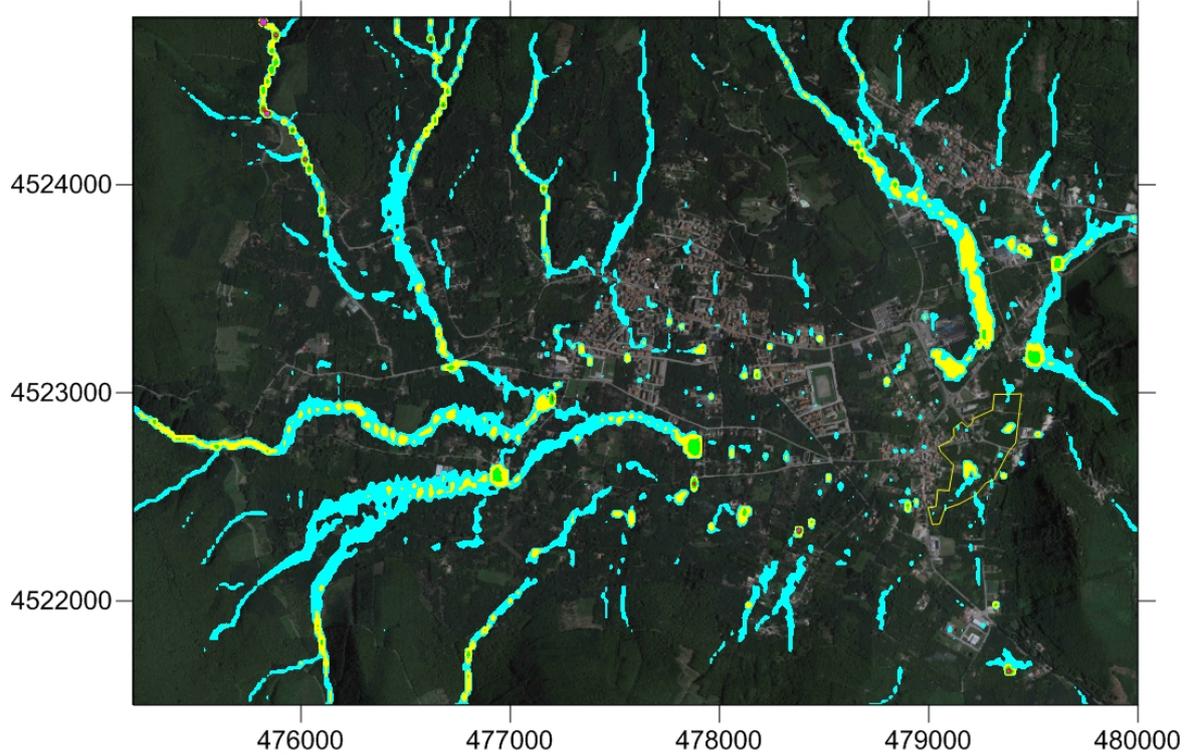


FIGURA 18 - SCENARIO *RAIN\_05* INTENSITÀ 100 mm/h DURATA 0.29 h CUMULATA 29 mm

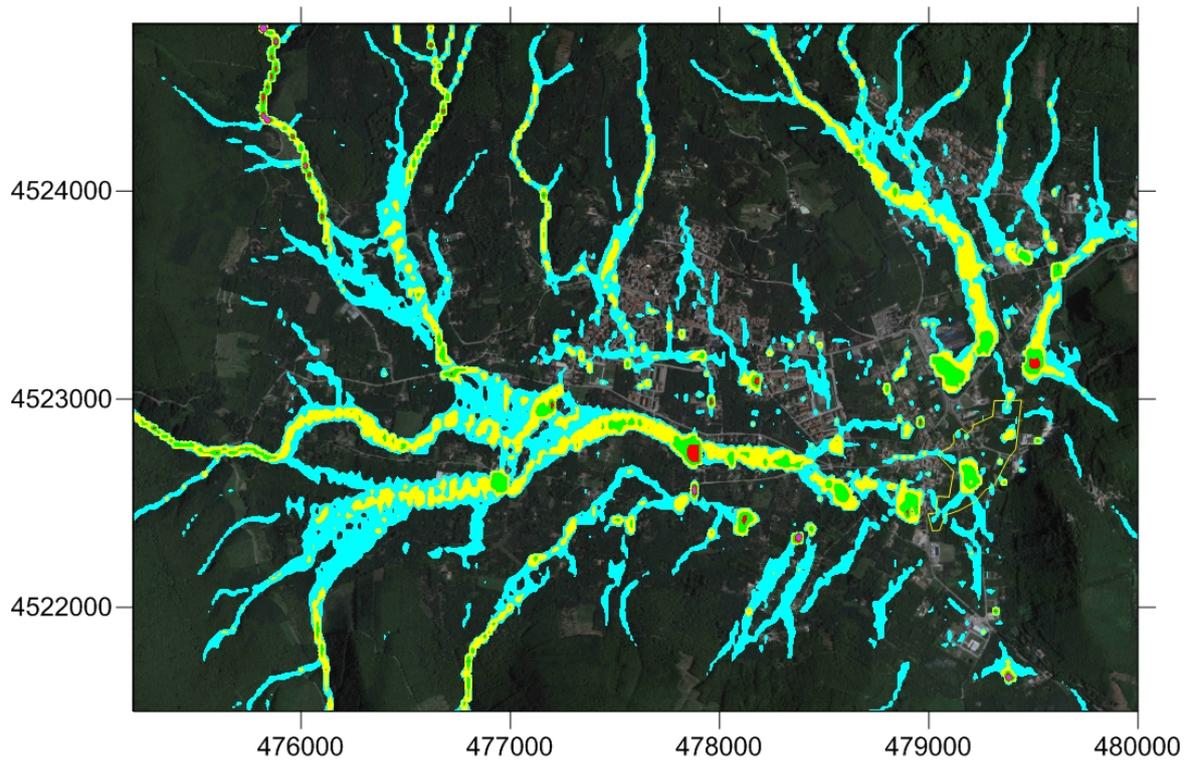


FIGURA 19 - SCENARIO *RAIN\_06* INTENSITÀ 100 mm/h DURATA 0.33 h CUMULATA 33 mm

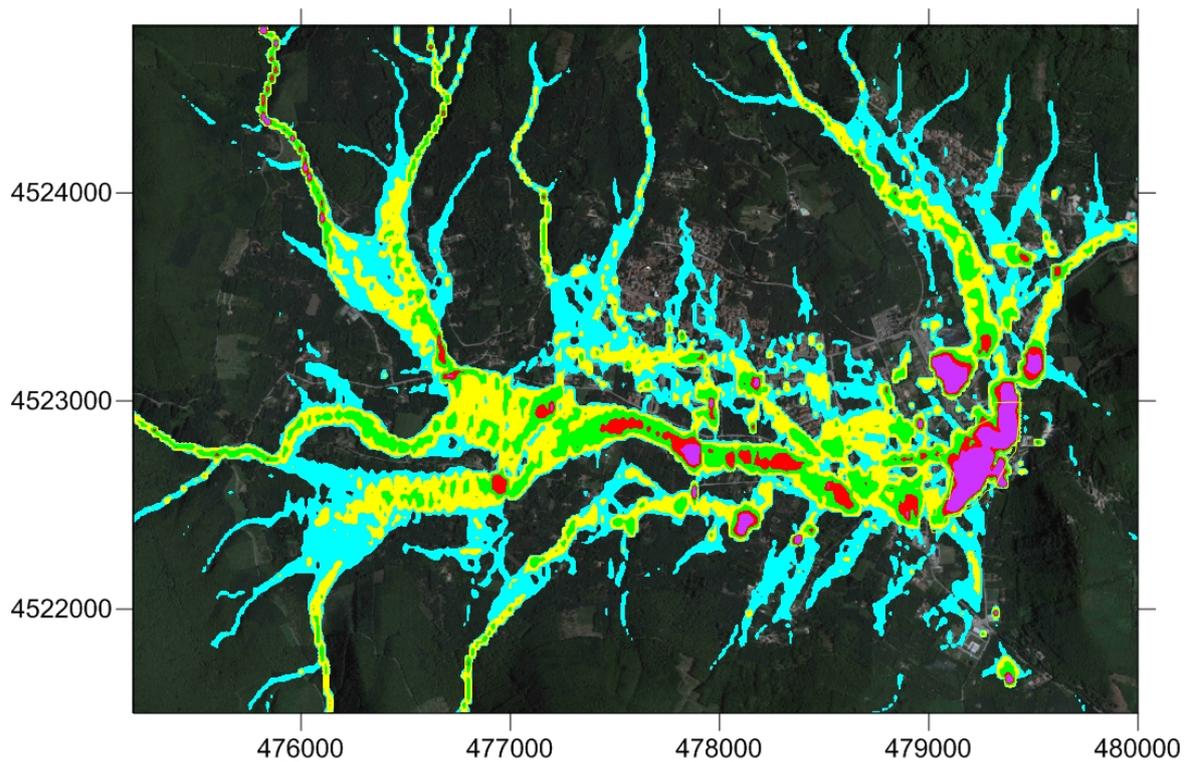


FIGURA 20 - SCENARIO *RAIN\_07* INTENSITÀ 100 mm/h DURATA 0.50 h CUMULATA 50 mm

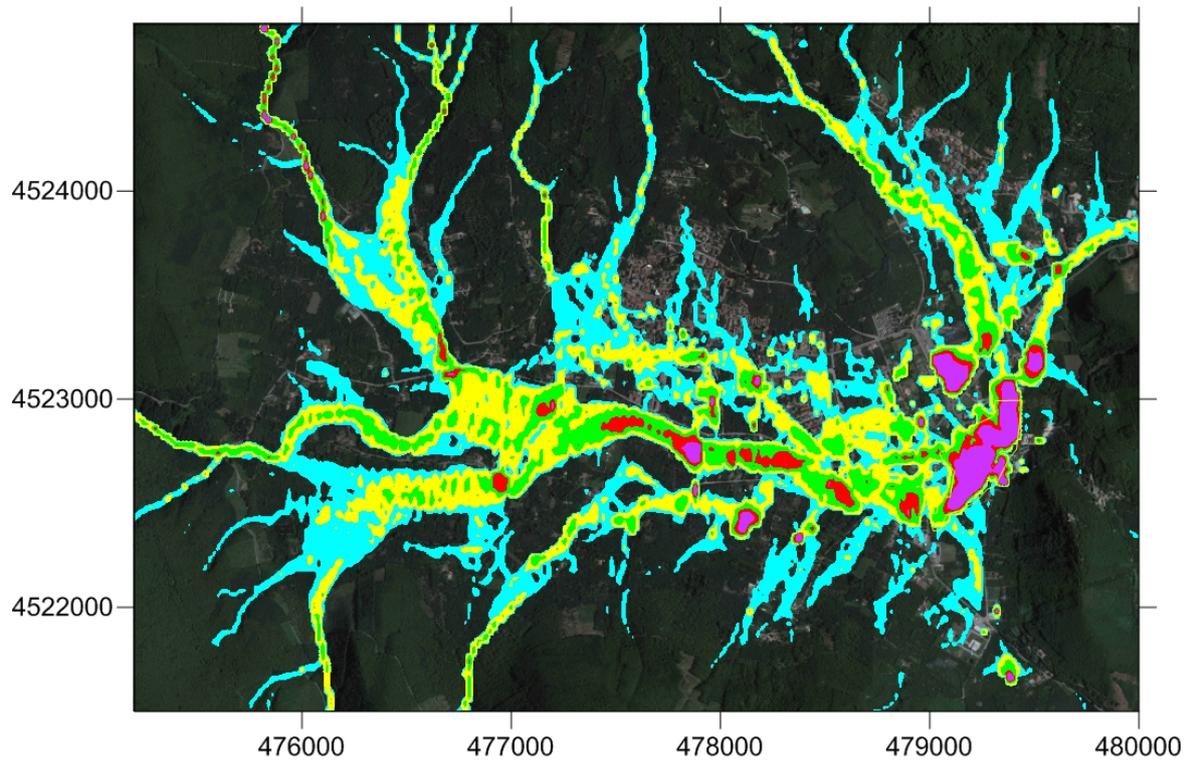


FIGURA 20bis - SCENARIO *RAIN\_07* CUMULATA 50 mm DURATA 0.50 h INTENSITÀ 100 mm/h

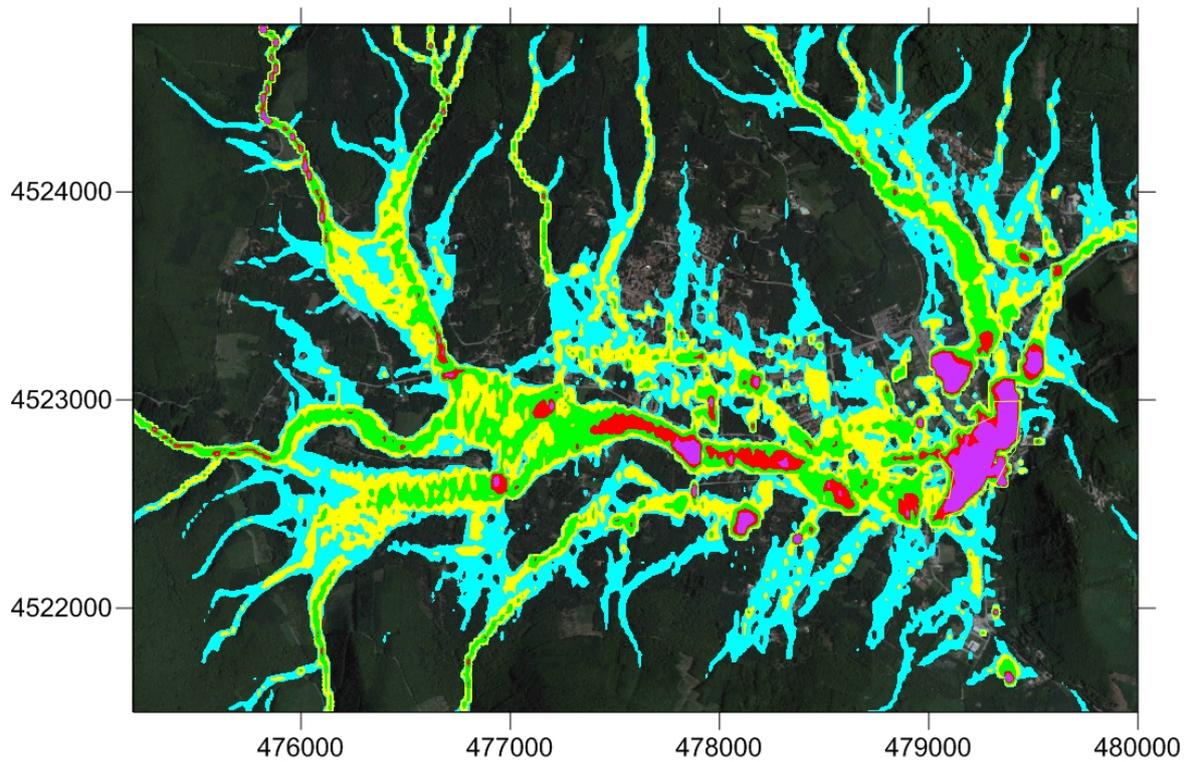


FIGURA 21 - SCENARIO *RAIN\_08* CUMULATA 50 mm DURATA 1.00 h INTENSITÀ 50 mm/h

Lo scopo della simulazioni ancillari è stato quello di acquisire, mediante una trasformazione diretta della pioggia, ulteriori elementi di conoscenza per completare gli aspetti già emersi nella parte della presente Relazione relativa allo studio della pluviometria storica.

Le simulazioni effettuate mostrano la sostanziale assenza di deflusso superficiale per valori di pioggia fino a 25 mm (vedi Figura 17) ed il significativo aumento del deflusso a partire da 33 mm (vedi Figura 19). Le Figure da 17 a 20 suggeriscono che in presenza di un meccanismo di infiltrazione a soglia, la capacità di assorbimento del terreno risulta esaurita una volta che sono caduti all'incirca 25 mm, successivamente la pioggia in eccesso si trasforma in deflusso.

Il funzionamento a soglia sembra confermato dal confronto tra Figura 20bis e la Figura 21 nelle quali si può osservare la presenza di un deflusso confrontabile tra le due figure pur in presenza di una quantità di pioggia cumulata uguale, ma di una intensità che nella Figura 19 è doppia rispetto a quella che caratterizza la Figura 21.

I risultati delle simulazioni ancillari aiutano ad inquadrare correttamente i risultati dell'analisi della pluviometria storica. Le intensità di pioggia utilizzate negli scenari ancillari esaminati sono confrontabili con quelle che caratterizzano la prima classe di eventi individuata nella Tabella 12. Come precisato nella Tabella 12 questi eventi sono relativi a periodi dell'anno (estate-inizio autunno) nel corso dei quali il contenuto d'acqua del terreno è, in generale, minimo e la capacità di infiltrazione nel terreno risulta massima. Al contrario i valori di permeabilità utilizzati nelle simulazioni ancillari sono relativi ad eventi (primavera) per i quali il contenuto d'acqua nel terreno è presumibilmente più elevato e conseguentemente minore risulta la capacità di infiltrazione. In altri termini l'insieme dei risultati dell'analisi della pluviometria storica e delle simulazioni ancillari conferma che nella formazione del deflusso superficiale un ruolo fondamentale è giocato dai meccanismi di infiltrazione del terreno che a propria volta sono fortemente dipendenti dal contenuto d'acqua del terreno.

Nella Figura 22 sono riportati i risultati relativi allo scenario ancillare *Rain\_09* relativo alla simulazione delle piogge della distribuzione di portate *PSAI\_2*. Per facilità di confronto dei risultati accanto alla Figura 22 è riportata anche la Figura 10 relativa allo scenario principale *PSAI\_2*.

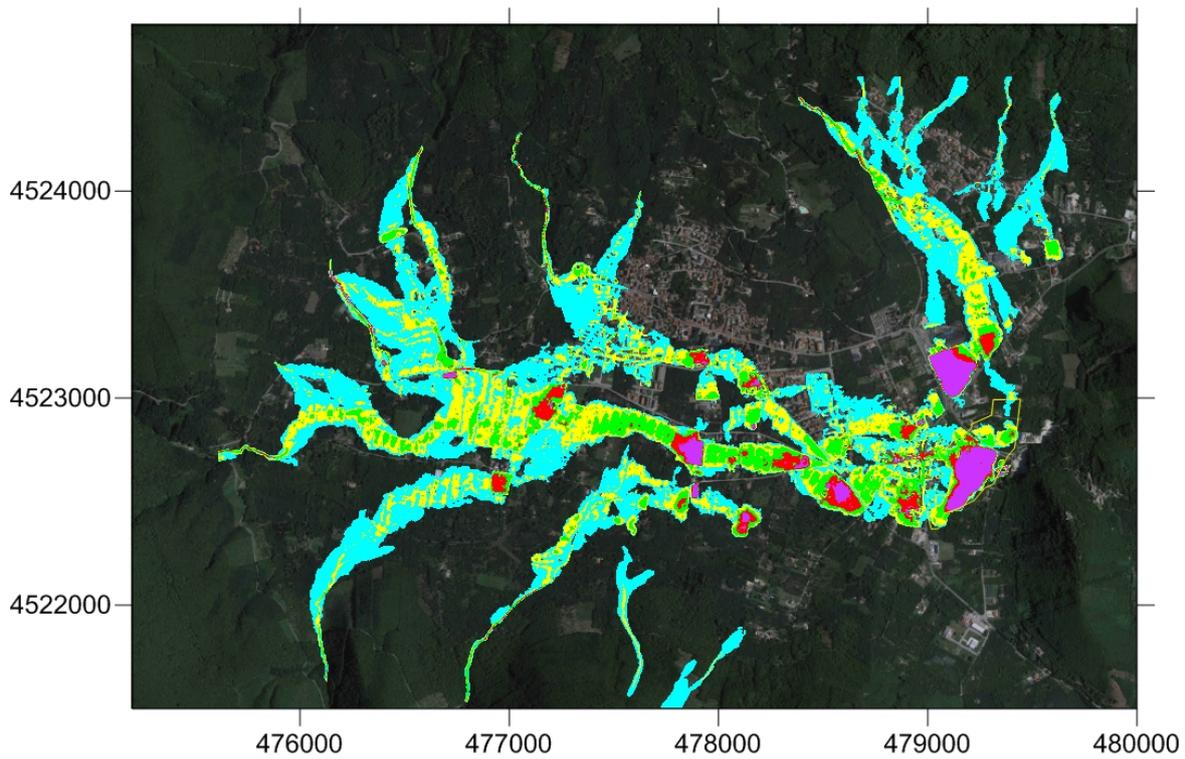


FIGURA 10 – SCENARIO PRINCIPALE *PSAI\_2* INVILUPPO MASSIME ALTEZZE IDRICHE

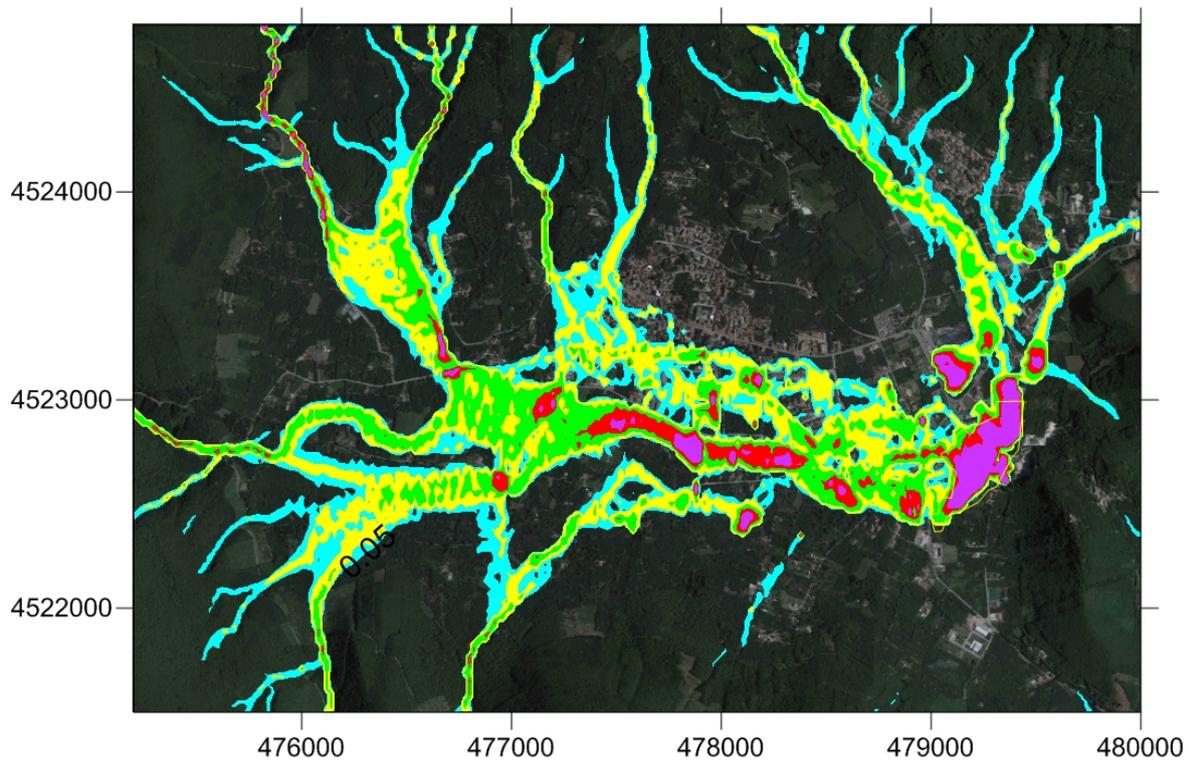


FIGURA 22 - SCENARIO *RAIN\_09* PIOGGIAE BACINI *PSAI\_2*

Il confronto tra lo Scenario principale *PSAI\_2* (Figura 10) e lo scenario ancillare *RAIN\_09* (Figura 22) mostra una sostanziale coincidenza dei due scenari con valori maggiori per lo

scenario *RAIN\_09* rispetto allo scenario *PSAI\_2*. Le differenze sono dovute al fatto che nello scenario *RAIN\_09*, a scopo esplorativo, si è fatto riferimento ad una pioggia complessiva (vedi piede Tabella 18) leggermente maggiore rispetto a quella dello scenario *PSAI\_2*.

Nella Tabella 19 sono riportati dei commenti sintetici ai risultati della simulazioni ancillari.

<i>Scenario</i>	<i>Commenti</i>
<i>Rain_04</i>	Accenno di deflusso nella rete drenante
<i>Rain_05</i>	Minimo deflusso nella rete drenante
<i>Rain_06</i>	Deflusso nella rete drenante
<i>Rain_07</i>	Consistente deflusso nella rete drenante
<i>Rain_08</i>	Eccessivo deflusso nella rete drenante
<i>Rain_09</i>	Pioggia e Bacini <i>PSAI_2</i>

Tabella 19 – Commento alle simulazione ancillari *Rain\_04* a *Rain\_09*

Nel complesso i risultati delle simulazioni ancillari da un lato danno supporto alle indicazioni ricavate dallo studio della pluviometria storica e dall'altro confermano i risultati delle simulazioni relative agli scenari principali ed in particolare a quello *PSAI\_2*.

## 7. CRITERI UTILIZZATI PER LA DEFFINIZIONE DEI LIVELLI DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO

La zonazione delle aree della conca di Forino a rischio idraulico è stata effettuata a partire dai risultati relativi agli scenari principali *PSAI\_1* e *PSAI\_2*.

La conca di Forino, così come riportato nel Capitolo 3 della presente Relazione, ricade nel territorio dell'ex *AdBSarno*, a seguito del processo di accorpamento della *AdBSarno* con la *AdBN-O* nella *AdBCaC* si è reso necessario procedere alla omogeneizzazione dei criteri per la determinazione dei livelli di pericolosità e di rischio idraulico utilizzati dalla due Autorità preesistenti.

L'esame della documentazione disponibile, ed in particolare dei seguenti documenti facenti parte dell'aggiornamento del *PSAI* a seguito del processo di accorpamento:

- *Relazione Generale*
- *Allegato A – Compatibilità idraulica nella ree a rischio idraulico (ALL. A)*
- *Allegato C – Matrici del rischio idraulico e da frana (ALL. C)*
- *Allegato D – Metodologie ed indirizzi per gli approfondimenti nelle aree a rischio (ALL. D)*

ha consentito di individuare i criteri da utilizzare per la definizione dei livelli di pericolosità e di rischio.

Come è noto il *rischio R* è il risultato della intersezione della *pericolosità P* con il *danno atteso D*, la matrice di riferimento per la definizione del rischio è contenuta nella *Tab. 3* della *Relazione Generale* ed è riportata nella Figura 23.

$R_k = P_n \times D_m$	$P_n$		
	P3	P2	P1
<b>D4 - danno altissimo</b>	<b>R4</b>	<b>R3</b>	<b>R2</b>
<b>D3 - danno alto</b>	<b>R3</b>	<b>R3</b>	<b>R2</b>
<b>D2 - danno medio</b>	<b>R2</b>	<b>R2</b>	<b>R1</b>
<b>D1 - danno basso</b>	<b>R1</b>	<b>R1</b>	<b>R1</b>

FIGURA 23 – TABELLA 3 (DA *RELAZIONE GENERALE PSAI*)

Il danno atteso *D* è, a propria volta, funzione della vulnerabilità *V* e del livello di esposizione del bene *E*. A tal riguardo nella Figura 24 è riportata la *Tab. 2* della *Relazione Generale* relativa alla definizione della classe di danno *D* in funzione della vulnerabilità *V* e del livello di esposizione *E* dell'elemento.

	V4 - Massima	V3- Elevata	V2- Media	V1- Bassa
E4	D4	D3	D2	D1
E3	D3	D2	D1	D1
E2	D2	D1	D1	D1
E1	D1	D1	D1	D1

FIGURA 24 – TABELLA 2 (DA RELAZIONE GENERALE PSAI)

Per quanto riguarda la pericolosità *P* nella Figura 25 sono riportati criteri di omogeneizzazione relativi alle classi *Esondazioni* e *Flusso iperconcentrato* (relative alla *AdBN-O*) ed alla classe *Fasce fluviali* (relativa alla *AdBSarno*).

AdB NORD OCCIDENTALE				AdB SARNO				PERICOLOSITÀ IDRAULICA		
ESONDAZIONE		FLUSSO IPERCONCENTRATO		FASCE FLUVIALI		T (anni)	h (m)			
T (anni)	h (m)	h (m)	h x v (m <sup>2</sup> /s)	T (anni)	h (m)					
P4	20-100	> 1.00	P4	> 1.00	> 1.00	A	100	> 1.00	molto elevata	
P3	20-300	0.50-1.00 > 1.00	P3	0.30-1.00	0.30-1.00	B	B1	30-100	> 0.60	elevata
P2	20-100-300	0.50-1.00 < 0.50	P2	0.10-0.30	< 0.30		B2	100	0.30-0.60	media
P1	100-300	< 0.50	P1	< 0.10	< 0.30		B3	100	< 0.30	moderata
						C	300	-		

Tab.12: sintesi dei criteri di classificazione della pericolosità idraulica utilizzati nei due Piani.

FIGURA 25 – TABELLA 12 (DA RELAZIONE GENERALE PSAI)

Il processo di omogeneizzazione si è basato sulla integrazione delle procedure precedentemente in essere presso le Autorità di Bacino. Il risultato è stato che la *pericolosità idraulica P* ed il danno atteso *D* siano definite con riferimento a due ambiti morfologici differenti indicati come: *pedemontano* o *di conoide* ed *alluvionale* o *di pianura*.

Per quanto riguarda la *pericolosità P* nel caso di ambito *pedemontano* o *di conoide* si applicano i criteri derivati dalla Normativa dell'*AdBN-O*, mentre per l'ambito *alluvionale* o *di pianura* si applicano i criteri derivati dalla Normativa dell'*AdBSarno*.

### 7.1 Ambito pedemontano o di conoide

Nell'ambito *pedemontano o di conoide* il grado di vulnerabilità  $V$  è considerato sempre massimo cosicché anche il *danno atteso*  $D$  risulta sempre massimo.

Nel caso di ambito *alluvionale o di pianura*, quando, nel rispetto delle indicazioni dell'*ALL. D*, sia stato effettuato uno studio idraulico bidimensionale di dettaglio, la *vulnerabilità*  $V$ , e conseguentemente il *danno atteso*  $D$ , possono essere legata ai livelli idrici determinati dal modello.

**In sintesi nell'ambito *pedemontano o di conoide* il livello di danno  $D$  risulta sempre massimo ed il livello di rischio  $R$  dipende, nella sostanza, dal solo livello di pericolosità  $P$  valutata sulla base della *Tab. 12 della Relazione Generale* (parte evidenziata nella *Figura 26*).**

AdB NORD OCCIDENTALE					AdB SARNO			PERICOLOSITÀ IDRAULICA	
ESONDAZIONE			FLUSSO IPERCONCENTRATO		FASCE FLUVIALI				
T (anni)	h (m)		h (m)	h x v (m <sup>2</sup> /s)	T (anni)	h (m)			
P4	20-100	> 1.00	P4	> 1.00	> 1.00	A	100	> 1.00	molto elevata
P3	20-300	0.50-1.00 > 1.00	P3	0.30-1.00	0.30-1.00	B1	30-100	> 0.60	elevata
P2	20-100-300	0.50-1.00 < 0.50	P2	0.10-0.30	< 0.30	B2	100	0.30-0.60	media
P1	100-300	< 0.50	P1	< 0.10	< 0.30	B3	100	< 0.30	moderata
						C	300	-	

Tab.12: sintesi dei criteri di classificazione della pericolosità idraulica utilizzati nei due Piani.

FIGURA 26 – TABELLA 12 (DA *RELAZIONE GENERALE PSAI*) PARTICOLARE PER *AMBITO PEDEMONTANO O DI CONOIDE*

**Nella *Figura 27* è evidenziato il campo di applicazione della *Tab. 3 della Relazione generale* relativo all'ambito *pedemontano o di conoide*.**

$R_k = P_n \times D_m$	$P_n$		
	P3	P2	P1
D4 - danno altissimo	R4	R3	R2
D3 - danno alto	R3	R3	R2
D2 - danno medio	R2	R2	R1
D1 - danno basso	R1	R1	R1

FIGURA 27 – TABELLA 3 (DA RELAZIONE GENERALE PSAI) EVIDENZIATO PER AMBITO PEDEMONTANO O DI CONOIDE

## 7.2 Ambito alluvionale o di pianura

Per l'ambito *alluvionale o di pianura* la situazione risulta più complessa in quanto il processo di omogeneizzazione ha tenuto conto del maggiore livello di conoscenza che deriva dalla applicazione di modelli di simulazione idraulica sviluppati sulla base delle indicazioni riportate nell'ALL. D.

Il primo passo consiste nel definire le Fasce fluviali a tal riguardo la Tab. 12 della *Relazione Generale*, riportata nella Figura 28, contiene i campi di variazione relativi alle diverse fasce fluviali.

AdB NORD OCCIDENTALE					AdB SARNO			PERICOLOSITÀ IDRAULICA	
ESONDAZIONE		FLUSSO IPERCONCENTRATO			FASCE FLUVIALI				
	T (anni)	h (m)	h (m)	h x v (m <sup>2</sup> /s)		T (anni)	h (m)		
P4	20-300	> 1.00	P4	> 1.00	< 1.00	A	100	> 1.00	molto elevata
P3	20-300	0.50-1.00 > 1.00	P3	0.30-1.00	0.30-1.00	B1	30-100	> 0.60	elevata
P2	20-100-300	0.50-1.00 < 0.50	P2	0.10-0.30	< 0.30	B2	100	0.30-0.60	media
P1	100-300	< 0.50	P1	< 0.10	< 0.30	B3	100	< 0.30	moderata
						C	300	-	

Tab.12: sintesi dei criteri di classificazione della pericolosità idraulica utilizzati nei due Piani.

FIGURA 28 – TABELLA 12 (DA RELAZIONE GENERALE PSAI) EVIDENZIATO PER AMBITO ALLUVIONALE O DI PIANURA

Per quanto riguarda il livello di *pericolosità P* la *Tab. 16* della *Relazione Generale*, riportata nella *Figura 29*, contiene gli elementi per il passaggio dalle fasce fluviali ai corrispondenti livelli di pericolosità.

PERICOLOSITÀ	AdB Nord Occidentale			AdB Sarno				
	elevata	P3	P4	P3	Pa	A		
media	P2	P2		Pm	B	B1	B2	B3
bassa	P1	P1		Pb	C			

Tab. 16: definizione dei criteri di omogeneizzazione delle pericolosità idrauliche

FIGURA 29 – TABELLA 16 (DA *RELAZIONE GENERALE PSAI*) EVIDENZIATO PER *AMBITO ALLUVIONALE O DI PIANURA*

La lettura della *Tab. 16* della *Relazione Generale* (*Figura 29*) congiuntamente con la *Tab. 12* della *Relazione Generale* (*Figura 25*) comporta che le aree nella quali le altezze idriche risultino superiori a 10 cm ed inferiori a 90 cm siano classificate con un livello di pericolosità pari a P2.

Per l'ambito *alluvionale o di pianura* il processo di omogeneizzazione ha anche introdotto, per aree a pericolosità P2, il concetto di *vulnerabilità topografica*. Lo scopo di tale introduzione è stato quello di valorizzare le informazioni di maggiore dettaglio fornite da una modellazione idraulica, così come è definita nell'*ALL. D*.

La *Tab. 19* della *Relazione Generale*, riportata nella *Figura 30*, contiene gli elementi necessari per la determinazione della *vulnerabilità topografica*  $V_i$  espressi in funzione dei tiranti idrici.

		h (m)	V (m/s)		
vulnerabilità parziale ( $V_i$ )	V4i	-	-		
	V3i	> 0.60	~ 0.0	B1	ex sottofasce
	V2i	0.30-0.60	~ 0.0	B2	
	V1i	< 0.30	~ 0.0	B3	

Tab. 19: definizione delle classi di vulnerabilità parziale  $V_i$  nello scenario a pericolosità media (P2).

FIGURA 30 – TABELLA 19 (DA *RELAZIONE GENERALE PSAI*)

Per l'ambito *alluvionale* o *di pianura* il livello di danno *D* è valutabile, sulla base della Tab. 20 della *Relazione Generale* (riportata nella Figura 31), in funzione della vulnerabilità *V* (Tab. 19 della *Relazione Generale* riportata nella Figura 30) e del livello di esposizione *E*.

Nel prosieguo, a vantaggio di sicurezza, il livello di esposizione *E* considerato sarà pari al massimo *E4*.

DANNO		vulnerabilità			
		V4	V3	V2	V1
valore esposto	E4	D4	D3	D2	D1
	E3	D3	D2	D1	D1
	E2	D2	D1	D1	D1
	E1	D1	D1	D1	D1

Tab. 20: definizione delle classi di danno in funzione della vulnerabilità.

FIGURA 31 – TABELLA 20 (DA *RELAZIONE GENERALE PSAI*)

**In sintesi nell'ambito *alluvionale* o *di pianura* per il quale sia stato effettuato uno studio idraulico di dettaglio la determinazione del rischio *R*, segue i seguenti passi:**

- **definizione, sulla base della Tab. 16 della *Relazione Generale*, del livello di pericolosità *P*;**
- **definizione, sulla base della Tab. 19 della *Relazione Generale*, della vulnerabilità topografica *V<sub>i</sub>*;**
- **definizione, sulla base della Tab. 20 della *Relazione Generale*, del danno *D*, (nella Tab. 20 si assume comunque l'esposizione massima pari a *E4*);**
- **definizione, sulla base della Tabella 3 della *Relazione Generale*, del livello di rischio *R*.**

Per semplicità di lettura di seguito è riportato lo schema riassuntivo per la determinazione del rischio per l'ambito *alluvionale* o *di pianura*.

## Schema riassuntivo per la determinazione del rischio per *ambito alluvionale o di pianura*

FASCE FLUVIALI

AdB NORD OCCIDENTALE					AdB SARNO		PERICOLOSITÀ IDRAULICA
ESONDAZIONE		FLUSSO IPERCONCENTRATO			FASCE FLUVIALI		
T (anni)	h (m)	h (m)	h x v (m <sup>2</sup> /s)	T (anni)	h (m)		
P4	100-300	> 1.00	P4	> 0.30	A	100 > 1.00	molto elevata
P3	20-300	0.50-1.00	P3	0.30-1.00	B1	30-100 > 0.60	elevata
P2	20-100-300	0.30-1.00	P2	0.10-0.30	B2	100 0.30-0.60	media
P1	100-300	< 0.30	P1	< 0.10	B3	100 < 0.30	moderata
					C	300 -	

Tab.12: sintesi dei criteri di classificazione della pericolosità idraulica utilizzati nei due Piani.

Tab. 12 *Relazione Generale PSAI*

PERICOLOSITÀ

PERICOLOSITÀ	AdB Nord Occidentale				AdB Sarno			
elevata	P3	P4	P3	Pa	A			
media	P2	P2		Pm	B	B1	B2	B3
bassa	P1	P1		Pb	C			

Tab. 16: definizione dei criteri di omogeneizzazione delle pericolosità idrauliche

Tab. 16 *Relazione Generale PSAI*

VULNERABILITÀ

		h (m)	v (m/s)		
vulnerabilità parziale (V <sub>i</sub> )	V4i	-	-		
	V3i	> 0.60	~ 0.0	B1	ex sottofasce
	V2i	0.30-0.60	~ 0.0	B2	
	V1i	< 0.30	~ 0.0	B3	

Tab. 19: definizione delle classi di vulnerabilità parziale V<sub>i</sub> nello scenario a pericolosità media (P2).

Tab. 19 *Relazione Generale PSAI*

DANNO

		vulnerabilità			
DANNO		V4	V3	V2	V1
valore esposto	E4	D4	D3	D2	D1
	E3	D3	D2	D1	D1
	E2	D2	D1	D1	D1
	E1	D1	D1	D1	D1

Tab. 20: definizione delle classi di danno in funzione della vulnerabilità.

Tab. 20 *Relazione Generale PSAI*

RISCHIO

$R_k = P_n \times D_m$	$P_n$		
	P3	P2	P1
D4 - danno altissimo	R4	R3	R2
D3 - danno alto	R3	R3	R2
D2 - danno medio	R2	R2	R1
D1 - danno basso	R1	R1	R1

Tab. 3 *Relazione Generale PSAI*

## 8. CRITERI UTILIZZATI PER LA DEFINIZIONE DEGLI AMBITI MORFOLOGICI

Per l'applicazione delle procedure descritte in precedenza al caso della Conca di Forino sono da distinguere i meccanismi (processi morfoevolutivi) che determinano il livello pericolosità idraulica, ovvero la prevalenza di “*Pericolosità idraulica per elevato trasporto solido*” piuttosto che “*Pericolosità idraulica per esondazione*”: le due tipologie di “*Pericolosità Idraulica*” fanno riferimento a diversi meccanismi morfoevolutivi entrambi riconducibili all'evoluzione della rete di drenaggio e regimentazione delle acque piovane, distinti non per magnitudo della componente idrologica quanto per natura, origine e caratteristiche del trasporto solido.

Le trasformazioni indotte da tali meccanismi alla morfologia della conca endoreica determinano il livello di pericolosità: laddove prevalente l'elevato trasporto solido si hanno forme caratteristiche delle fasce pedemontane o di conoide, forme a più alta energia e di maggiore pericolosità, mentre per deflussi di portate prevalentemente liquide si hanno forme caratteristiche degli alvei di pianura a più bassa energia e di relativa minore pericolosità. E' utile precisare che nel caso dell'elevato trasporto solido si ha di norma una trasformazione permanente nella morfologia delle aree interessate, al contrario nelle aree su cui agiscono i più semplici meccanismi alluvionali di piana, le trasformazioni sono di solito reversibili in quanto legata alle sole portate liquide prevalenti.

Sulla base di tali considerazione è possibile schematizzare il sistema morfoevolutivo della conca endoreica di Forino secondo forme caratterizzate da univoche caratteristiche morfologiche e litologiche. Si distinguono pertanto:

<i>Versanti ed impluvi montani</i>	Morfologia acclive funzione delle caratteristiche meccaniche dei litotipi affioranti	Aree di formazione del deflusso e del trasporto solido anche per mobilizzazione di massa	Prevalenti i termini litoidi del substrato con coperture colluviali lungo gli impluvi e le depressioni morfologiche
<i>Zone pedemontane e conoidi</i>	Morfologia articolata con pendenze degradanti verso valle. Forme proprie dei processi di deposizione di materiali fluviotrasportati.	Aree di deposito del trasporto solido in funzione dei meccanismi di dissipazione di energia delle correnti idriche	Terreni detritici, litologicamente riconducibili ai versanti sovrastanti. La granulometria decresce verso valle con correlazione diretta con le pendenze prevalenti
<i>Zona di transizione</i>	Morfologia subpianeggiante con locali rotture di pendenza	Zone di deposizione con caratteristiche intermedie tra zona pedemontana e piana	Intercalazione ed interdigitazione di depositi detritici più grossolani propri della fascia pedemontana con depositi più sottili caratteristici dei processi alluvionali di fondovalle
<i>Fondo della conca</i>	Morfologia subpianeggiante	Zona di deposizione	Intercalazione ed interdigitazione depositi sottili caratteristici dei processi alluvionali di fondovalle

La zona di transizione presenta caratteristiche intermedie tra la fascia pedemontana e la zona di fondovalle anche e soprattutto perché un qualsiasi evento di sovralluvionamento con elevato trasporto solido, in facies distale assume in ogni caso le caratteristiche proprie di un evento alluvionale ordinario.

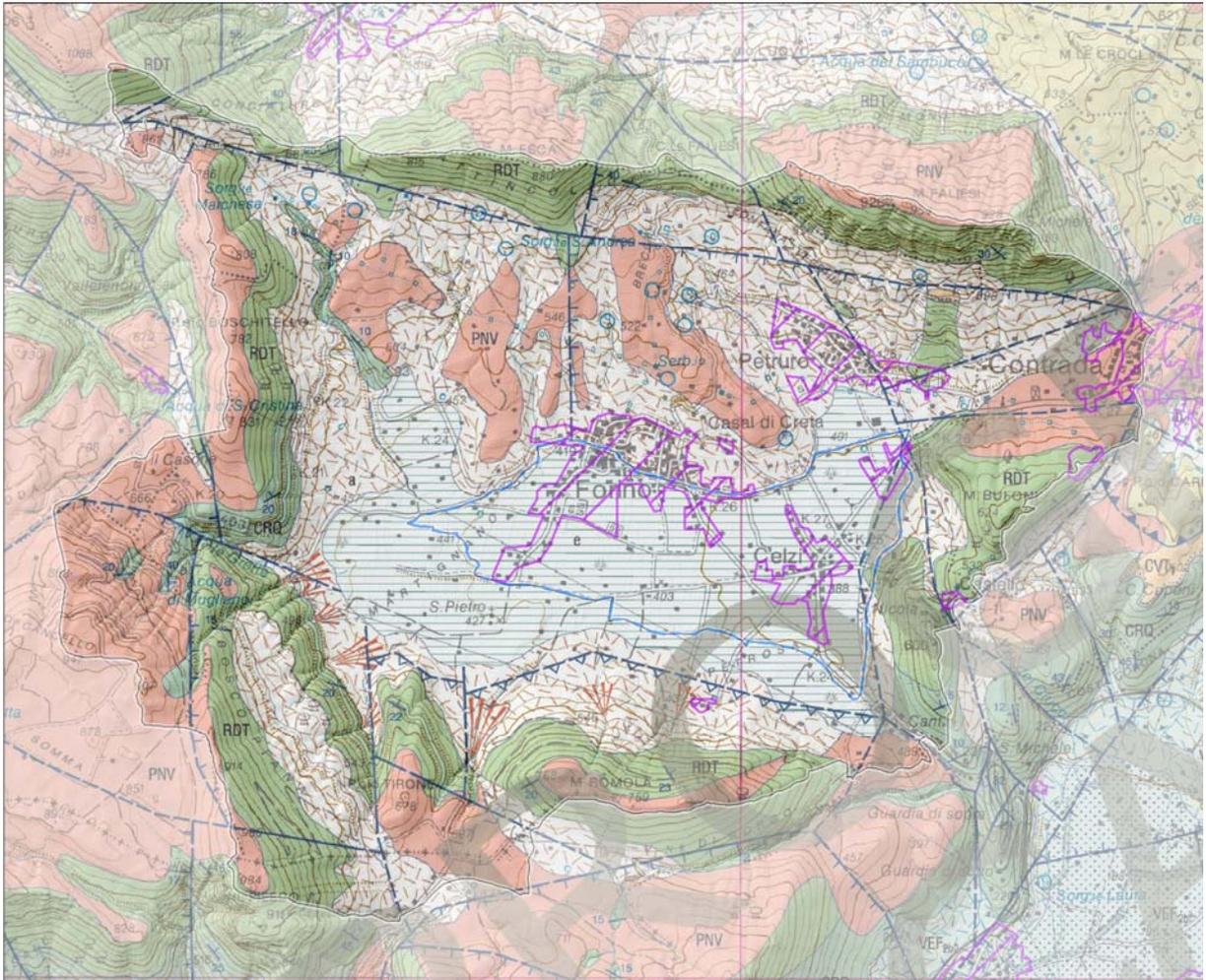
Le forme riportate nella carta geomorfologica dell'*AdBSarno*, sono da intendere come gli elementi base dalla cui composizione si definiscono i settori descritti nella precedente schematizzazione.

Tale schema fa riferimento chiaramente ad una condizione teorica naturale, infatti a quanto descritto va associata l'azione di controllo e gestione del territorio da parte dell'uomo (morforegolazione), la cui efficacia è tanto maggiore quanto minore è la trasformazione specifica per singolo evento morfoevolutivo, ovvero minore è l'energia dell'evento pericoloso, maggiore è la possibilità che esso venga controllato dalle opere di sistemazione dell'uomo, pertanto la pericolosità per esondazione così come le parti distali delle zone di deposizione pedemontane sono di fatto controllate dall'antropizzazione.

Al fine di procedere alla definizione dei livelli di pericolosità  $P$  e di rischio  $R$  si è reso necessario, in via preliminare, delimitare le porzioni della conca all'interno delle quali si determinano rispettivamente i processi relativi all'ambito *pedemontano* o *di conoide* e quelli relativi all'ambito *alluvionale* o *di pianura*.

La suddivisione tra ambito *pedemontano* o *di conoide* ed ambito *alluvionale* o *di pianura* fa riferimento all'assetto morfologico prevalente a cui si associano i fattori costituenti il modello geologico generale dell'area, nello specifico: carta geologica, carta geomorfologica, assetto strutturale e analisi delle pendenze topografiche.

Il primo elemento di analisi utilizzato è stata la *Carta geologica* (vedi Figura 32) all'interno della quale sono indicate le porzioni di territorio nelle quali sono presenti fenomeni morfologici caratteristici del ventagli alluvionali e rappresentati con la classica simbologia del ventaglio che si allarga alla bocca del vallone. Come si può osservare nella Figura 32 i ventagli sono presenti solo lungo il versante sud della conca.



**DEPOSITO DI VERSANTE**

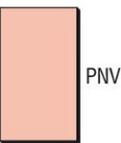


Brecce eterometriche e massive, con clasti calcarei a supporto di matrice arenitica e/o piroclastica con tessitura sabbioso-limosa e colore variabile dal giallo-ocra chiaro al bruno-rossiccio; intercalazioni di lenti o livelli di sabbie e limi con clasti poligenici dispersi. Limite inferiore erosivo sui terreni del substrato pre-quadernario e su TGC e PNW; limite superiore coincidente con la superficie topografica. Lo spessore varia da pochi metri fino ad una decina di metri.;

**DEPOSITO LACUSTRE E PALUSTRE**



Silt argillosi e argille grigie con alternanze di sabbie argillose a composizione piroclastica e con rare intercalazioni di conglomerati calcarei a supporto di matrice limoso-sabbiosa di natura piroclastica. Ambiente di deposizione palustre e/o lacustre. Nell'area della Piana di Forino, verso il pedemonte carbonatico, sono parzialmente mascherate da a. Lo spessore, determinato in sondaggio, può raggiungere i 20 m circa.



Depositi piroclastici da caduta, in giacitura primaria conforme alla superficie topografica preesistente; sono costituiti da ceneri e lapilli pomicei; le ceneri sono di colore variabile dal giallo ocra chiaro al bruno e al rossiccio; alcuni livelli risultano parzialmente pedogenizzati. Il deposito deriva principalmente dal *fall-out* delle eruzioni pliniane del centro eruttivo del Somma-Vesuvio (piroclastiti di Mercato, Avellino e Pollena del Foglio n. 448 Ercolano), nonché, dall'evento eruttivo del 1944 (lave e piroclastiti del Vesuvio del Foglio n. 448 Ercolano). In subordine sono presenti depositi detritico-colluviali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi a composizione vulcanica e con livelli contenenti clasti carbonatici con diverso grado di alterazione nella parte più superficiale. Nei vari bacini si interdigita ai depositi delle unità sintematiche di VEF, FS e SFL. La superficie di appoggio basale è al contatto con tutte le unità pre-quadernarie, con TGC e a<sub>3b</sub>. I depositi dell'unità coprono in maniera più o meno continua i versanti e le paleosuperfici sommitali dei rilievi appenninici. Gli spessori maggiori raggiungono circa 8 m nelle aree di fondovalle e si riducono a 2-3 m in corrispondenza dei rilievi collinari e montuosi.



Calcarei e calcari dolomitici di colore grigio, biancastro o avana costituenti ciclotemi peritidali con frequenti intercalazioni di dolomie grigie e calcari clastici ricchi in rudiste (Radiolitidae, Hippuritidae). Nei Monti del Partenio la successione presenta anche intercalazioni di ruditi ad intraclasti. Ambiente di piattaforma interna con facies lagunari di piana tidale. Limite inferiore stratigrafico con CRQ. Limite superiore tettonico con AV, stratigrafico con b<sub>2</sub> e PNW. Lo spessore è stimato in circa 300 m. Microbiofacies: *Accordiella conica* FARINACCI, *Montcharmontia*

FIGURA 32 – CARTA GEOLOGICA 1:50.000

Le indicazioni della *Carta geologica* sono state integrate con quelle provenienti dalla *Carta geomorfologica* riportata nella Figura 33.

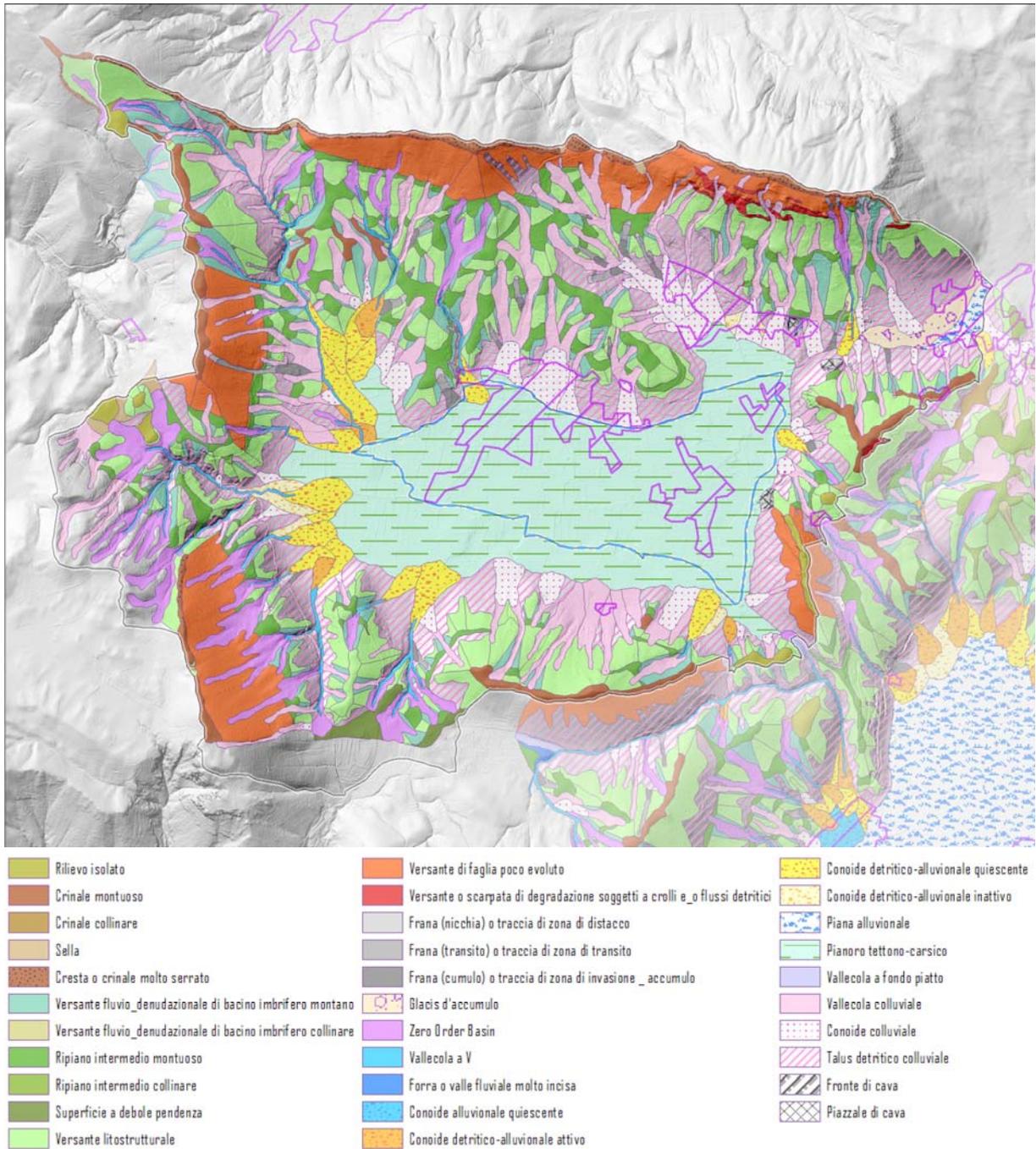


FIGURA 33 – CARTA GEOMORFOLOGICA

Nella *Carta geomorfologica* la zona pianeggiante della conca è coincidente con il *Pianoro tettono carsico* che risulta contornata da diverse tipologie di depositi che sono identificati sia di origine alluvionale che di origine colluviale.

In aggiunta alle considerazioni di carattere geologico e geomorfologico si è tenuto conto che la formazione di flussi iperconcentrati dovuti a processi di amplificazione della portata liquida sono limitati ad ambiti territoriali nei quali la pendenza media risulta superiore al 10%. *La Carta delle pendenze* è riportata nella Figura 34.

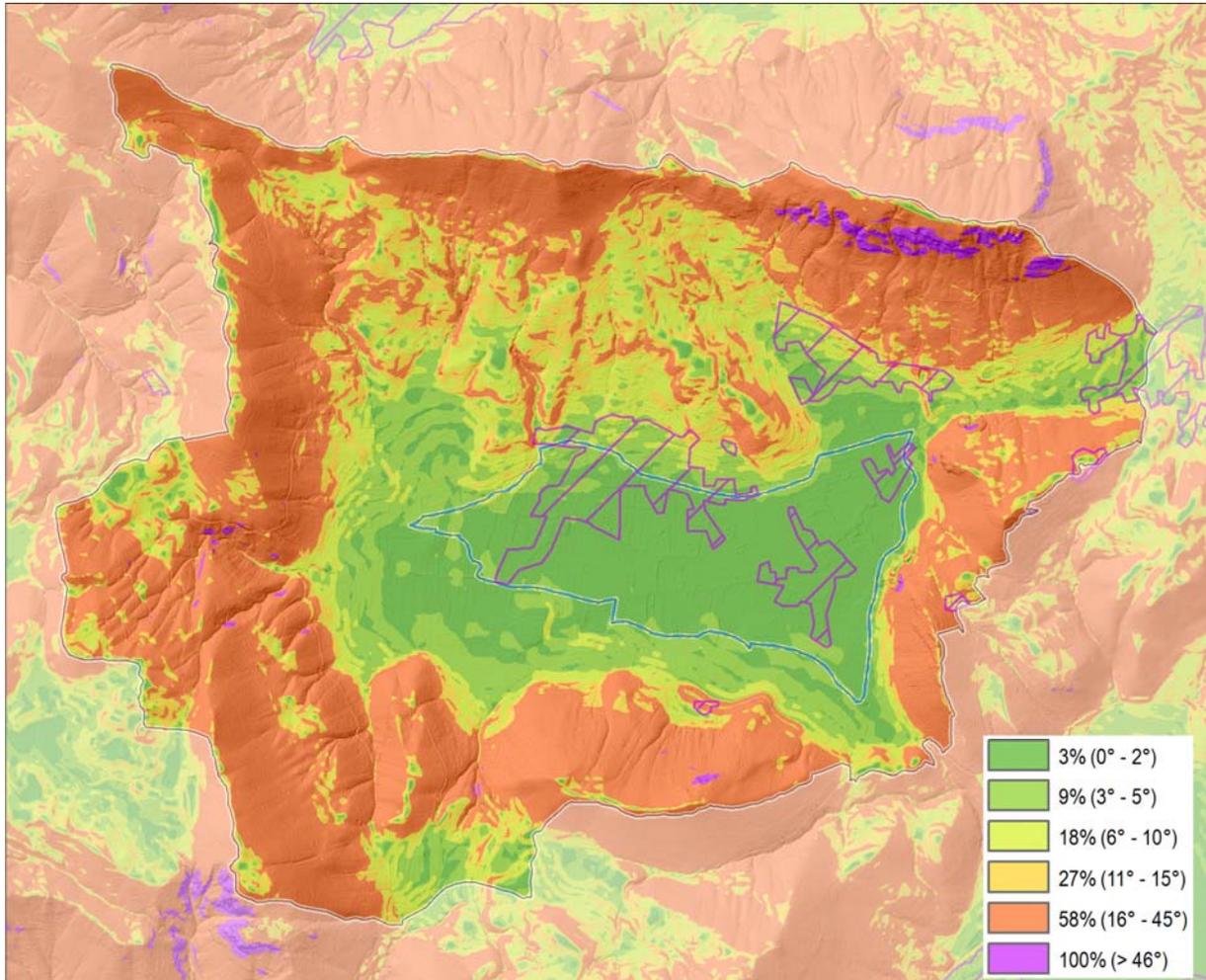


FIGURA 34 – CARTA DELLE PENDENZE

La combinazione delle *Carta geomorfologica* (Figura 33) e della *Carta delle pendenze* evidenzia che la zona del *Pianoro tettono carsico* è compresa in aree con pendenze nella massima parte inferiore al 3% e comunque non superiore al 10%.

Come ulteriore elemento di valutazione dell'assetto topografico nella Figura 35 è riportata la *Carta delle aree contribuenti* che conferma le direzione dei flussi già individuata nel Capitolo 8.

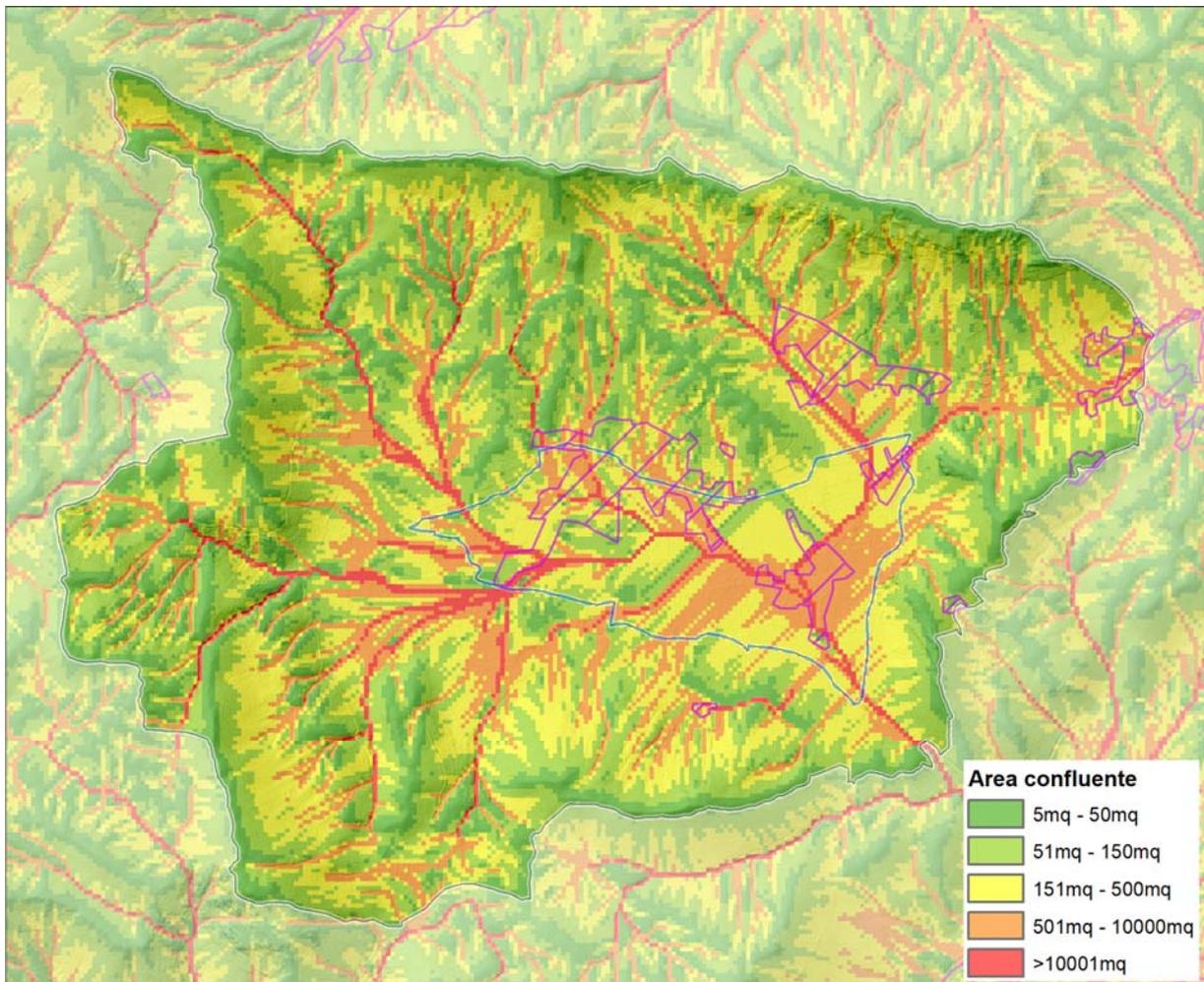


FIGURA 35 – CARTA DELLE AREE CONTRIBUENTI

Il risultato finale delle elaborazioni effettuate è riportato nella Figura 36.

Lo studio e le considerazioni svolte nel presente Capitolo sono sintetizzate nella Figura 36 dove è riportata la suddivisione tra l'ambito morfologico *pedemontano* o *di conoide* e l'ambito sia quelli dell'ambito *alluvionale* o *di pianura*

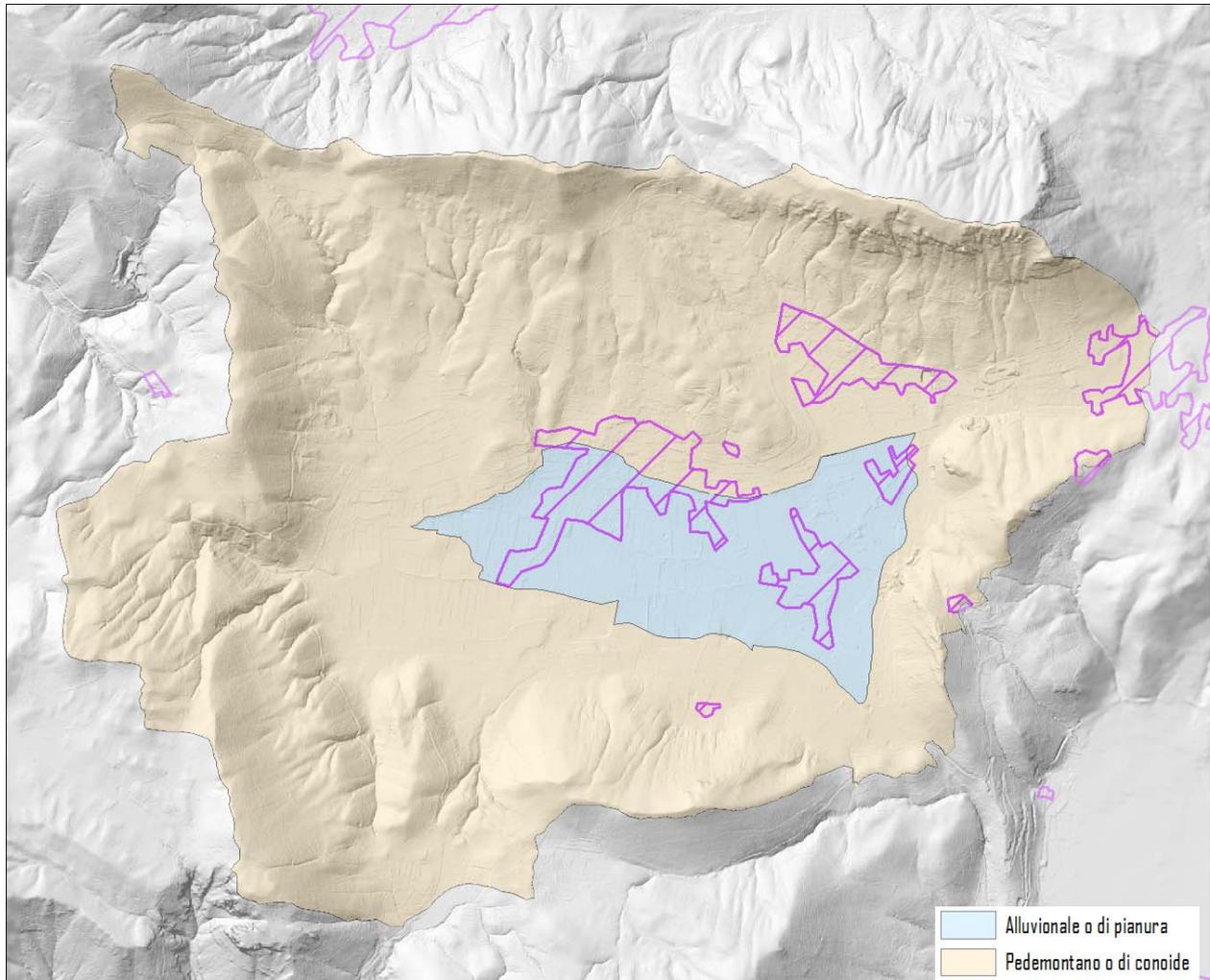


FIGURA 36 – SUDDIVISIONE AMBITI MORFOLOGICI

In definitiva l'*ambito alluvionale o di pianura* è stato identificato per successive sottrazioni escludendo le aree nelle quali:

- la *Carta Geologica* indica la presenza di ventagli alluvionali;
- la *Carta Geomorfologica* indica la presenza di conoidi attivi o quiescenti;
- la *Carta delle pendenze* indica pendenze superiori al 10%.

## 9. ANALISI DELLA CARTOGRAFIA RELATIVA ALLA DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO

I risultati delle elaborazioni relative alla definizione delle *Carte della pericolosità* e della *Carta del rischio* sono riportati nelle Figure da 37 a 42.

Preliminarmente alle successive elaborazioni si è proceduto a redigere la *Carta del valore esposto*, tale carta, riportata nella Figura 37, è stata redatta in conformità con quanto previsto nel *PSAI*.

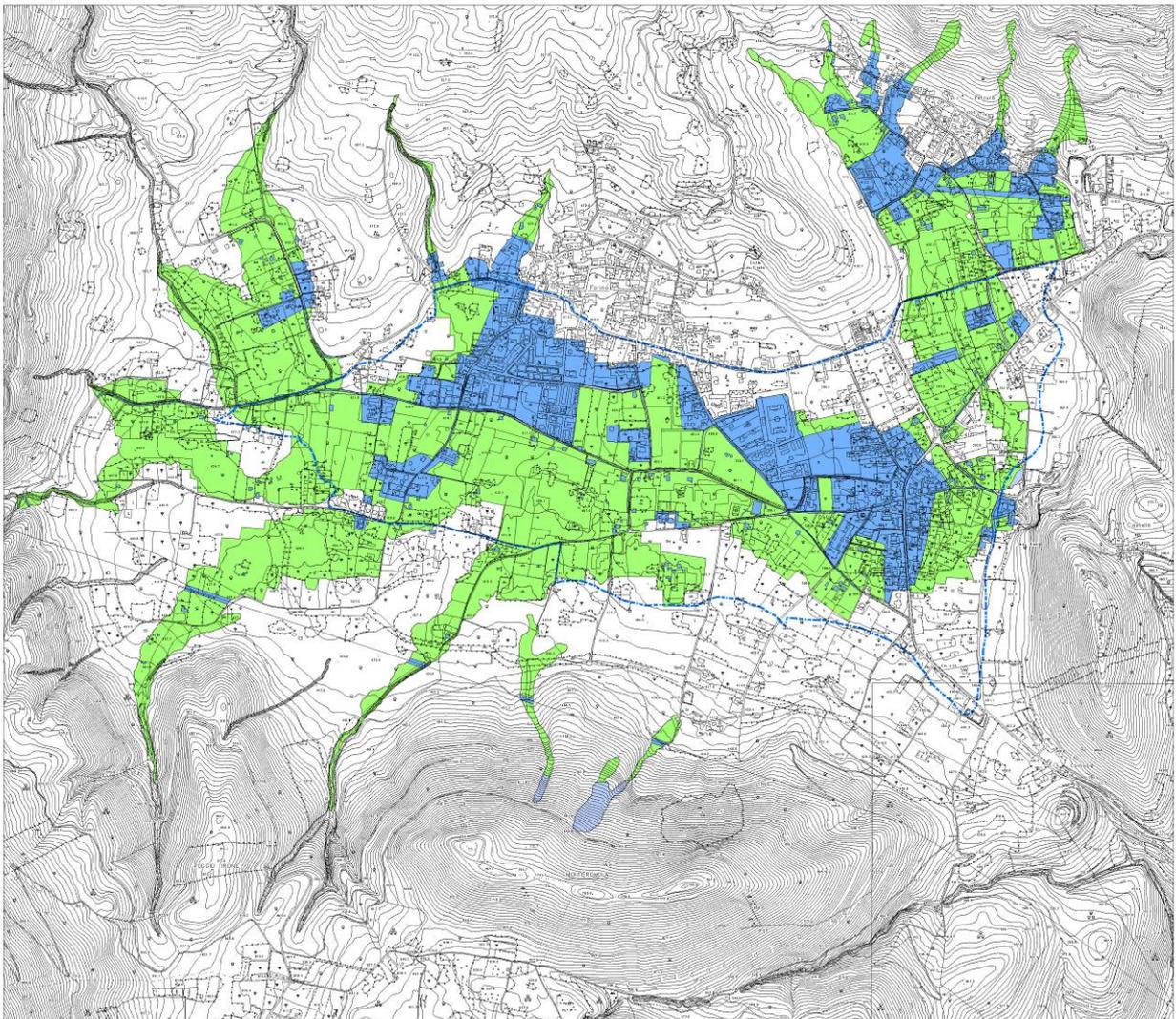


FIGURA 37 – CARTA DEL VALORE ESPOSTO

Il passo successivo ha riguardato l'identificazione delle *Fasce fluviali*. Le *Carte delle fasce fluviali* riportata nella Figura 38 è stata redatta nel rispetto di quanto esposto nel Capitolo 7 della presente Relazione.

Con riferimento al solo *ambito alluvionale o di pianura* la suddivisione della Fascia B nelle sotto fasce B1, B2 e B3, è stata effettuata con riferimento alla Tab. 16 della *Relazione generale PSAI* (vedi Figura 29) ed alla Tab. 19 della *Relazione generale PSAI* (vedi Figura 30).

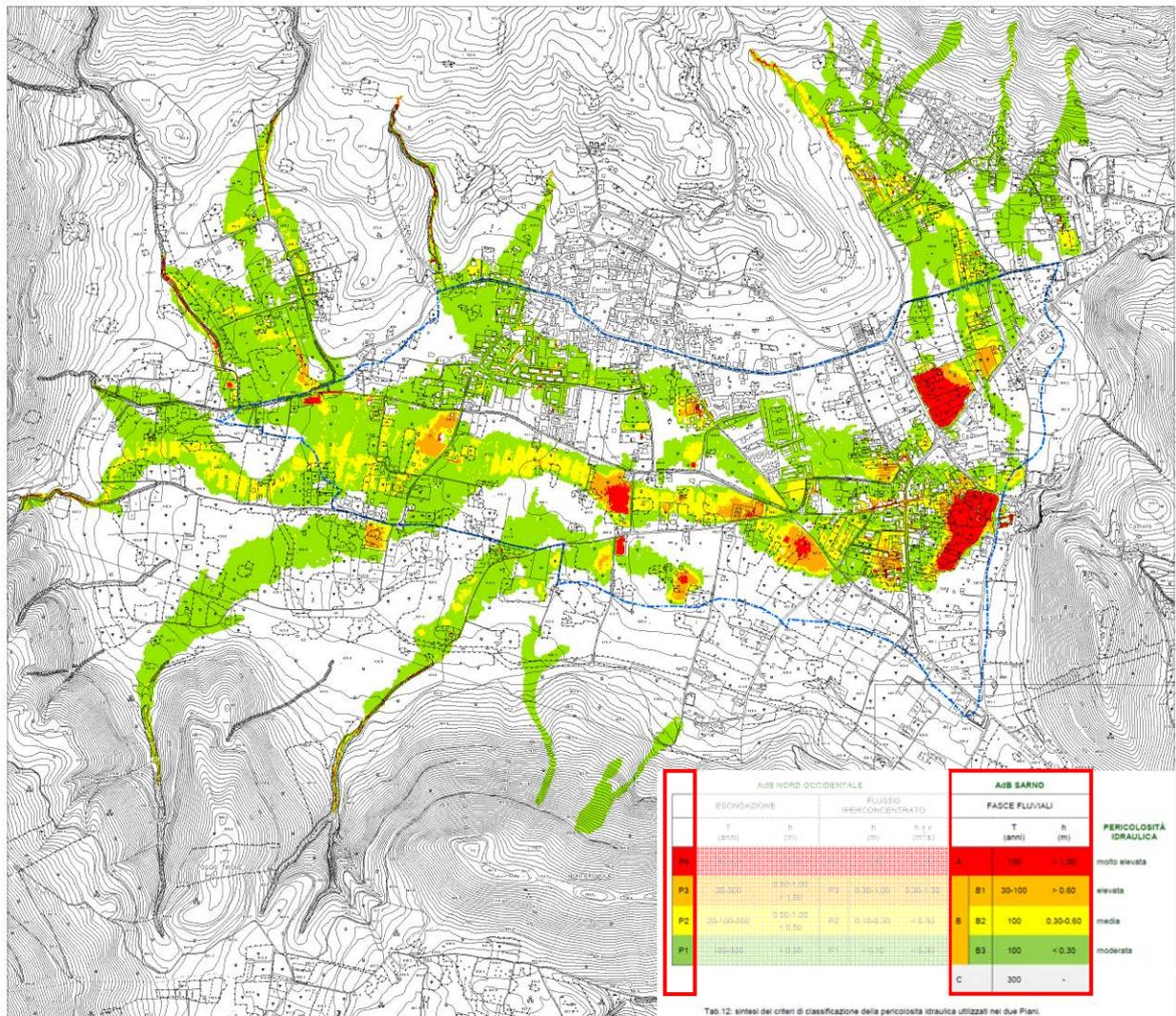


FIGURA 38 – CARTA DELLE FASCE FLUVIALI

Le fasce fluviali nell’*ambito alluvionale o di pianura* sono state individuate sulla base dell’involuppo dei risultati del modello idraulico relativo agli scenari *PSAI\_1* e *PSAI\_2*.

I risultati del modello idraulico, illustrati nel Capitolo 6 della presente Relazione, non possono essere direttamente trasposti nella individuazione delle fasce fluviali in quanto il modello idraulico fornisce valori puntuali della grandezza di riferimento (altezze idriche) che possono differire, ai fini della individuazione delle fasce, in maniera significativa anche tra punti prossimi tra di loro.

Tale problematica risulta tanto più evidente quanto minore è la dimensione della griglia di calcolo, in quanto la maggiore precisione nella rappresentazione topografica è accompagnata da una maggiore variabilità, da punto a punto, delle quote topografiche e con esse dei valori delle grandezze di riferimento calcolati.

A tal riguardo è opportuno evidenziare che le finalità delle attività richieste dal *PSAI*, alle quali la presente Relazione fa riferimento, sono di tipo programmatico su *area vasta* e non sono finalizzate ad attività di tipo protezione civile, le prime sono pertanto caratterizzate da una scala spaziale di aggregazione assai più grande rispetto alla seconda che può richiedere anche dettagli di tipo puntuale.

Le fasce fluviali sono state pertanto definite sulla base della procedura descritta di seguito.

Inizialmente si è proceduto ad suddividere le aree che nel modello idraulico risultano allagate in poligoni assegnando ad ogni poligono la classe di pericolosità relativa alla maggioranza dei valori presenti all'interno dei poligoni stessi. Nel dettaglio tale procedura è stata eseguita secondo una sequenza composta da 2 fasi:

- nella prima fase si è fatto riferimento diretto ai poligoni contenuti nella *CTR (Carta Tecnica Regionale)*;
- nella seconda fase, il risultato ottenuto al termine della prima fase è stato rivisto eliminando eventuali incongruenze e modificando alcune dei poligoni base al fine di rendere il risultato coerente dal punto di vista logico e di facilitare la gestione dei risultati da parte del Comune di Forino.

L'individuazione delle fasce mediante il ricorso ai poligoni *CTR* ha l'ulteriore vantaggio di fornire un risultato che è direttamente georeferenziato e che può essere implementato nella cartografia tematica esistente.

Sulla base dei risultati del modello idraulico (*ambito pedemontano o di conoide*) e delle Fasce fluviali (*ambito alluvionale o di pianura*) è stata predisposta la *Carta della pericolosità idraulica* riportata nella Figura 39.

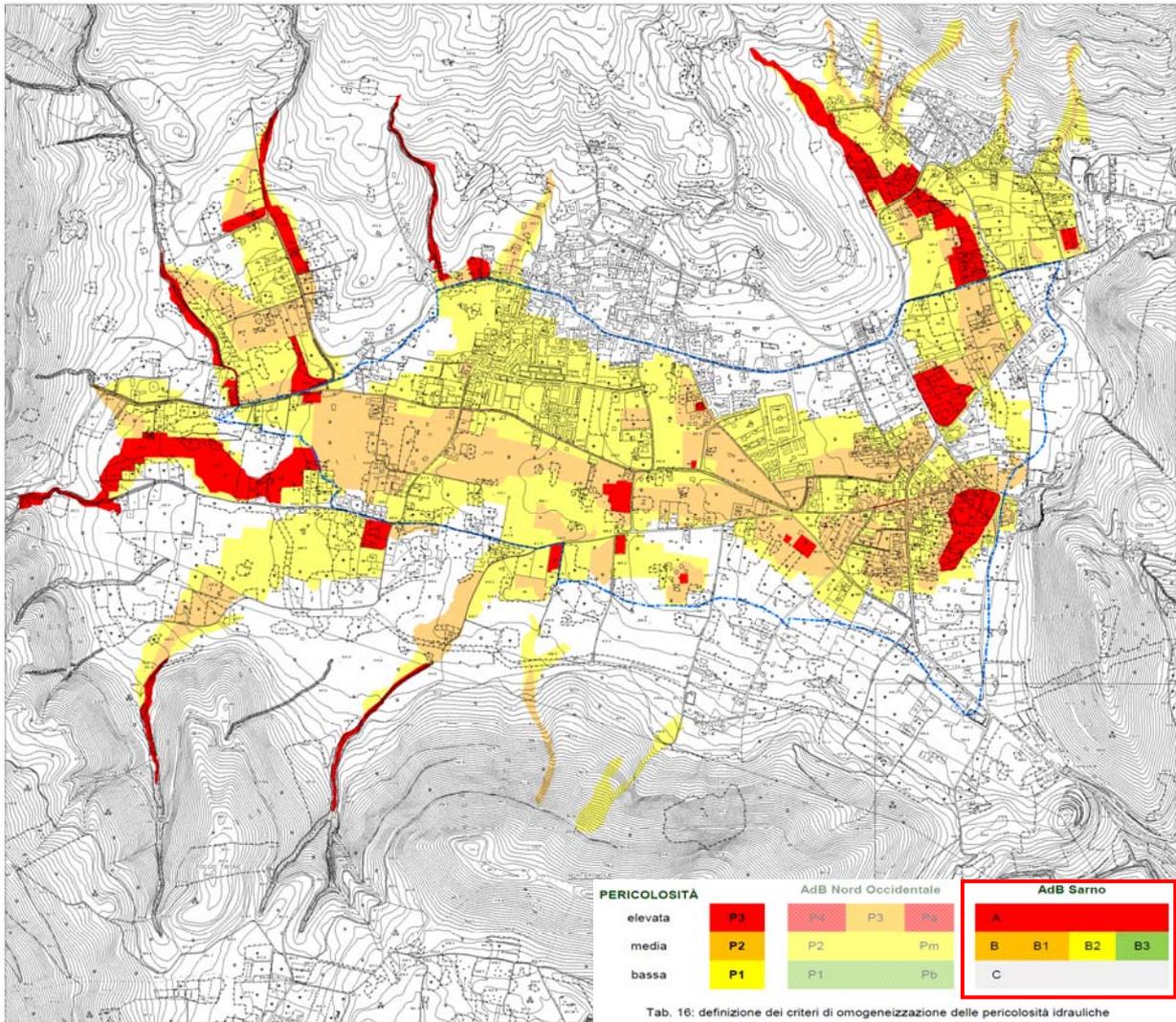


FIGURA 39 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

La *Carta delle pericolosità* è stata individuata sulla base dell’involuppo dei risultati del modello idraulico relativo agli scenari *PSAI\_1* e *PSAI\_2*.

Il livello di pericolosità è stato determinato, in funzione dell’ambito morfologico di riferimento, facendo riferimento a:

- intersezione della altezza idrica e della velocità del flusso per l’*ambito pedemontano o di conoide* secondo quanto riportato nella *Tab. 12 della Relazione generale PSAI* (vedi Figura 26);
- con i valori della sola altezza idrica per l’*ambito alluvionale o di pianura* secondo quanto riportato nella *Tab. 19 della Relazione generale PSAI* (vedi Figura 30).

Per la redazione della *Carta delle pericolosità* si proceduto in maniera analoga a quanto effettuato per la *Carta delle Fasce fluviali*, si è preliminarmente fatto riferimento ai poligoni

presenti nella *CTR* assegnando a ciascun poligono il livello di pericolosità prevalente tra i valori puntuali presenti nel poligono stesso.

Per il solo ambito *pedemontano o di conoide*, in maniera analoga a quanto effettuato per l'individuazione delle fasce fluviali, si è proceduto a rivedere i risultati eliminando eventuali incongruenze e modificando alcune dei poligoni base al fine di rendere il risultato coerente dal punto di vista logico e di facilitare la gestione dei risultati da parte del Comune di Forino.

In aggiunta alla procedura esposta in precedenza per la classificazione del livello di pericolosità si sono utilizzati anche i seguenti criteri:

- considerato che l'individuazione delle fasce fluviali è stata effettuata sulla base degli Scenari *PSAI\_1* e *PSAI\_2* e che in tali scenari i bacini imbriferi considerati terminano in corrispondenza delle sezioni di sbocco dei singoli valloni, a vantaggio di sicurezza, per tenere conto del contributo della precipitazione sulla parte pianeggiante della conca di Forino, si è deciso di estendere il livello di pericolosità *P1* anche alle aree latitanti le fasce fluviali.
- considerato che la rete stradale è nei fatti utilizzata in maniera impropria come parte del sistema di convogliamento delle acque zenitali e che, come illustrato al Capitolo 1, le sistemazioni di alcuni Valloni trovano recapito diretto nella rete stradale è stato deciso di assegnare alla rete un grado di pericolosità pari a *P2*.

Per le aree all'interno delle quali è stata riconosciuta la presenza di un livello di pericolosità diverso da zero è stata predisposta la *Carta della vulnerabilità* riportata nella Figura 40.

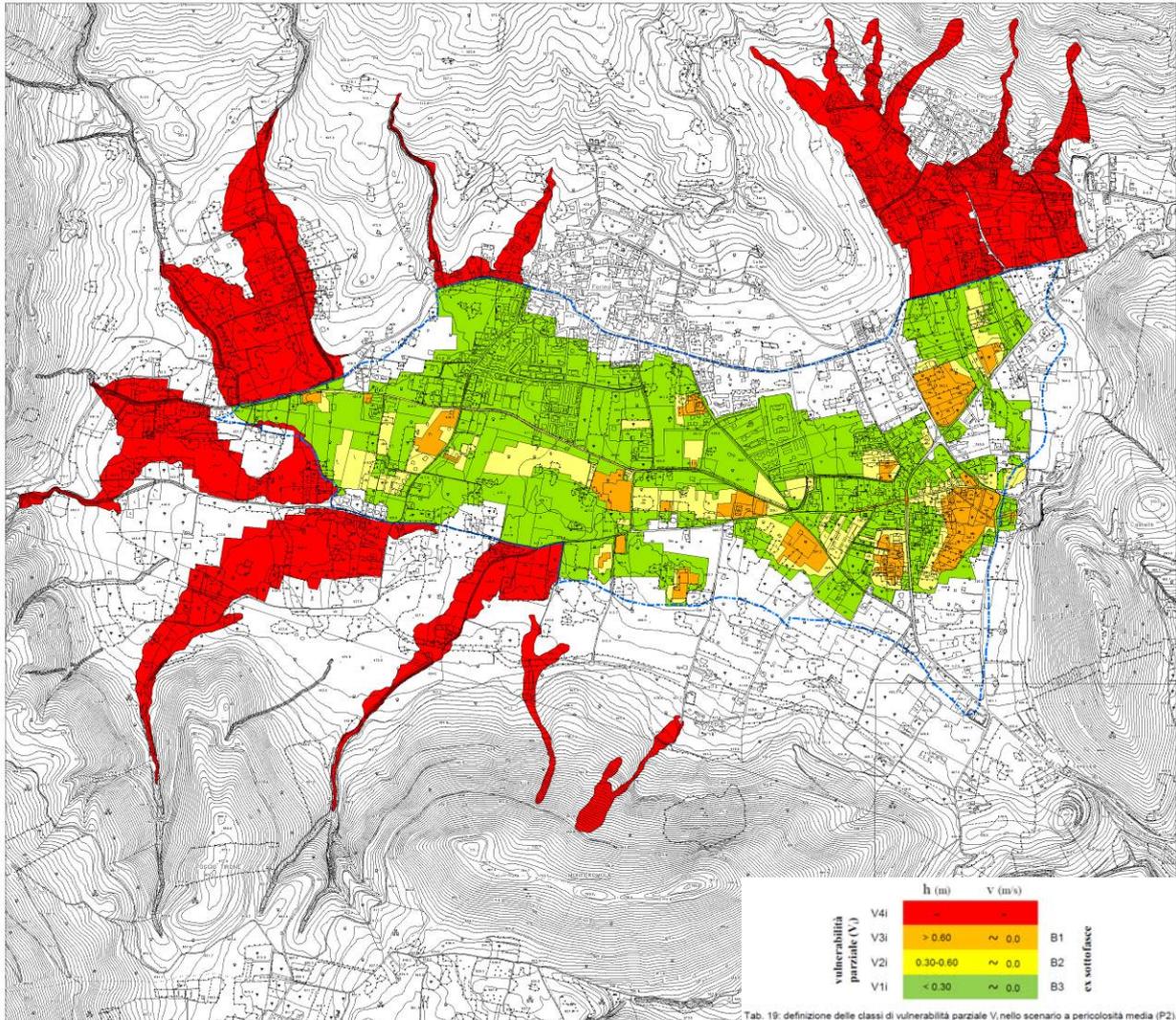


FIGURA 40 – CARTA DELLA VULNERABILITÀ

Il *Livello di vulnerabilità* è stato assegnato in funzione dell’ambito morfologico di riferimento:

- massimo per l’*ambito pedemontano o di conoide*;
- in funzione del livello idrico presente per l’*ambito alluvionale o di pianura*.

Per l’*ambito alluvionale o di pianura* il *livello di vulnerabilità* è stato assegnato, a partire dalla *Carta delle fasce fluviali* secondo quanto riportato nella *Tab. 19 della Relazione generale PSAI* (vedi Figura 30).

Il passaggio successivo ha riguardato la redazione della *Carta del danno* riportata nella Figura 41. La *Carta del danno* è stata predisposta intersecando i risultati relativi alla esposizione (*Carta del valore esposto* Figura 37) con quelli relativi alla vulnerabilità (*Carta della vulnerabilità* Figura 40).

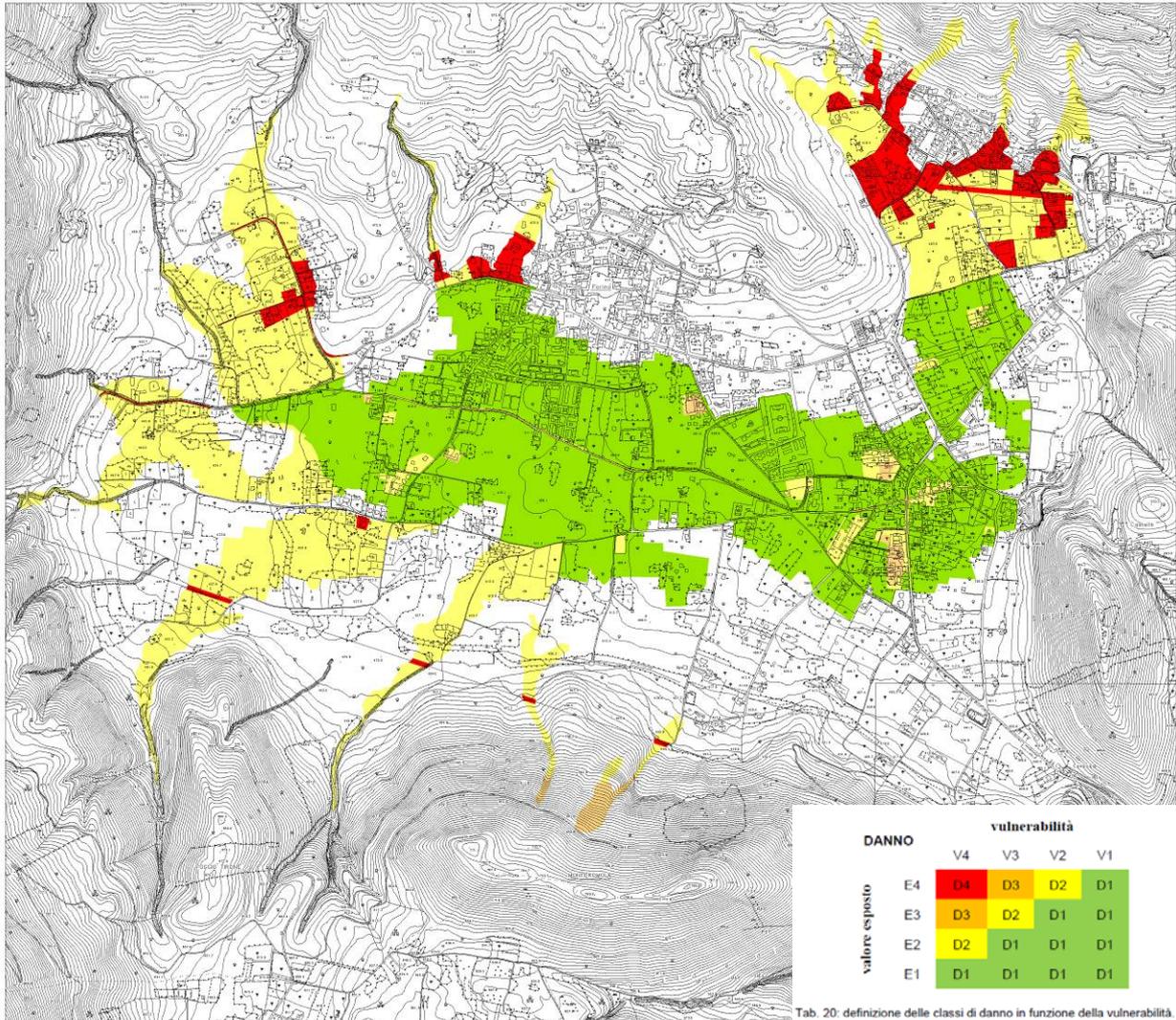


FIGURA 41 – CARTA DEL DANNO

Sulla base delle indicazioni del *PSAI* il danno risulta sempre massimo per l'*ambito pedemontano o di conoide*, mentre per l'*ambito alluvionale o di pianura* è definito secondo quanto contenuto nella *Tab. 12 della Relazione Generale* (Figura 31).

La definizione della *Carta del rischio* è competenza della *Autorità di Bacino Competente*, che provvede a redigerla a seguito della approvazione del presente studio.

Ciò premesso, e nella ipotesi che l'*Autorità di Bacino Competente* approvi il presente studio, al solo fine di fornire al *Committente* del presente studio una prima indicazione sul possibile risultato di tale operazione nella *Figura 42* si è riportata la *Carta del rischio* che è stata redatta intersecando i risultati riportati nella *Carta della pericolosità* (*Figura 39*) con i risultati riportati nella *Carta del danno* (*Figura 41*).

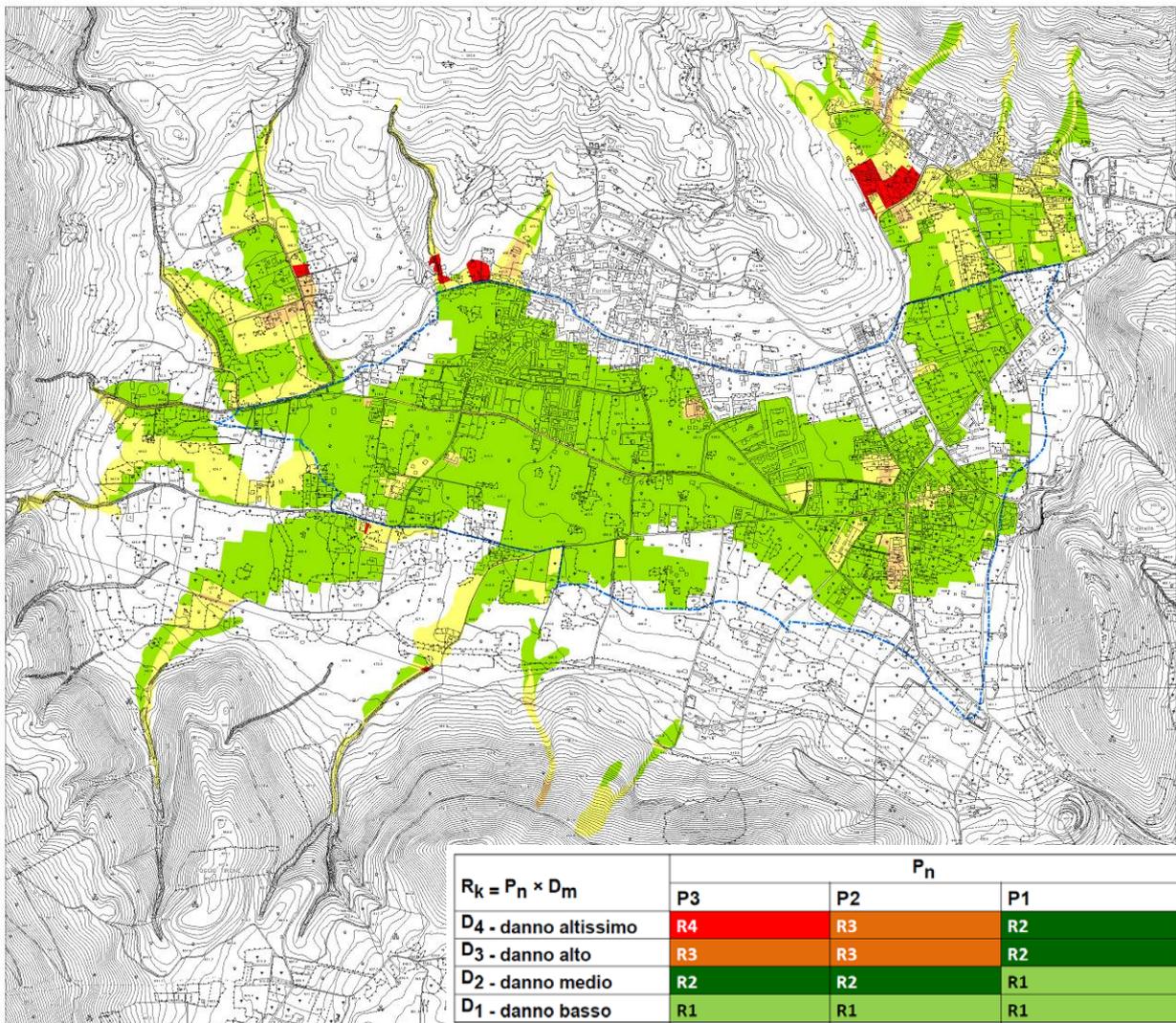


FIGURA 42 – CARTA DEL RISCHIO

Sempre, al solo fine esemplificativo di evidenziare al Committente del presente studio i possibili risultati conseguenti dalla approvazione da parte dell’Autorità di Bacino competente dello studio stesso, nella Figura 43 è riportata la *Carta del rischio* valutata nella ipotesi che per l’intero territorio comunale si venga a determinare un valore esposto pari al valore massimo *E4*.

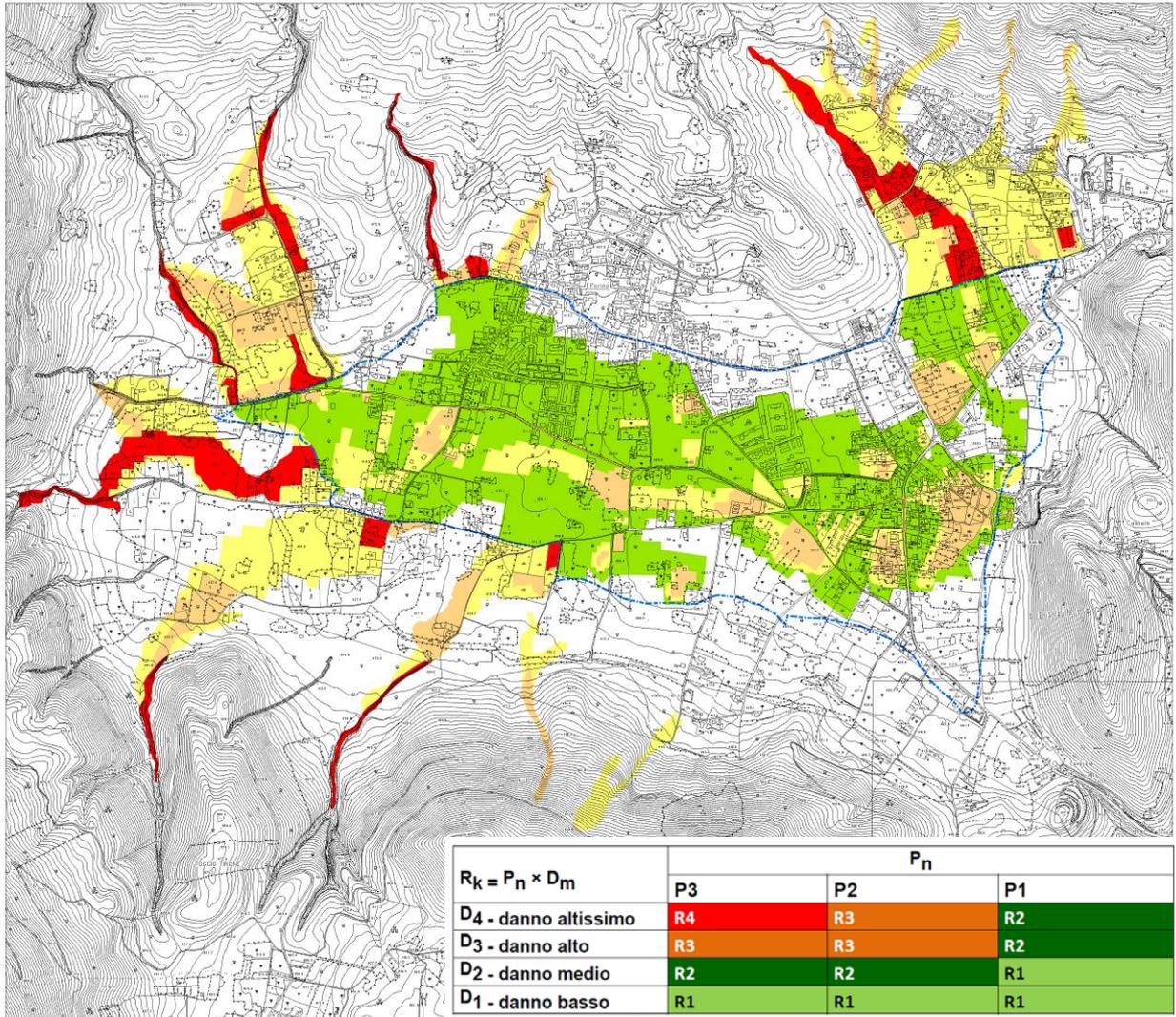


FIGURA 43 – CARTA DEL RISCHIO POTENZIALE (VALUTATO IPOTIZZANDO LA MASSIMA ESPOSIZIONE E4)

## 10. CRITERI PER L'ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO LOCALIZZATO IN LOCALITÀ CELZI

In prossimità dell'inghiottitoio in località Celzi è attualmente presente un impianto di sollevamento destinato allo smaltimento delle acque provenienti dal sistema fognario che, in linea di principio, dovrebbe essere di tipo separato e che dovrebbe raccogliere le sole acque di scarico.

L'impianto si compone di 3 pompe che alimentano una condotta di diametro  $\phi$  250 mm che scarica sulla cresta della sella che separa la conca di Forino dalla piana di Montoro, la prevalenza geometrica è di circa 20 m, la condotta  $\phi$  250 mm è lunga circa 1750 m.

La posizione dell'impianto di sollevamento ed il percorso della condotta sono riportati nella Figura 44.



FIGURE 44 – ANDAMENTO PLANIMETRICO CONDOTTA IMPIANTO SOLLEVAMENTO CELZI CON ZONA DI ALLAGAMENTO (IN GIALLO)

I consumi elettrici dell'impianto di sollevamento nel periodo compreso tra Marzo ed Agosto 2014 sono riportati nella Tabella 20.

<i>Mese</i>	<i>Pagato euro</i>	<i>Consumo kwh</i>	<i>Pioggia mensile mm</i>
<i>Marzo</i>	8680	41617	196.6
<i>Aprile</i>	5121	21493	167.8
<i>Maggio</i>	4655	19569	72.6
<i>Giugno</i>	4722	19723	73.0
<i>Luglio</i>	5805	23620	45.6
<i>Agosto</i>	3184	12883	1.4
<i>totale</i>	32167	138905	

TABELLA 20 – CONSUMI ELETTRICI IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO CELZI MAR-AGO 2014

I dati contenuti nella Tabella 20 indicano una evidente correlazione tra i consumi elettrici e la piovosità mensile: non è chiaro se tale correlazione sia dovuta alla immissione di portate pluviali nella rete fognaria od alla presenza di qualche collegamento tra la falda adiacente l'inghiottitoio e l'impianto stesso.

A vantaggio di sicurezza si assume che la dotazione idrica media sia valutabile sulla base del minimo consumo elettrico riscontrato nel mese di agosto (vedi Tabella 21).

<i>Abitanti</i>	5000
<i>Dotazione idrica</i>	250 l/abg
<i>Coefficiente di afflusso in fogna</i>	11.6 l/s
<i>Afflusso in fogna</i>	200 l/abg
<i>Portata media</i>	11.6 l/s
<i>Volume giornaliero medio</i>	1000 m <sup>3</sup>
<i>Volume mensile medio</i>	3000 m <sup>3</sup>
<i>Dislivello geometrico <math>\Delta H_g</math></i>	20 m
<i>Prevalenza manometrica <math>1.2\Delta H_g</math></i>	24 m
<i>Energia netta <math>E_n</math></i>	1960 kwh
<i>Rendimento</i>	0.65
<i>Energia totale <math>E_n/0.65</math></i>	3020 kwh

TABELLA 21 – VALUTAZIONE DELLA DOTAZIONE IDRICA MEDIA

La dotazione idrica valutata nella Tabella 21, sebbene in linea con i parametri di letteratura, è probabilmente sovrastimata rispetto al valore effettivo in quanto non tutta la popolazione risulta servita dalla rete fognaria ed agosto è un periodo nel quale la popolazione effettivamente residente è probabilmente superiore a quella presente nella restante parte dell'anno.

L'analisi precedente suggerisce che allo stato attuale l'impianto sollevamento, in occasione degli eventi pluviometrici, contribuisce a ridurre il livello idrico presente in prossimità dell'inghiottitoio. Nel prosieguo si intende analizzare come rendere strutturale tale contributo al fine di ridurre gli inconvenienti per gli abitanti di Celzi.

La curva dei volumi di invaso relativa all'inghiottitoio di Celzi è riportata nella Tabella 22 e nella Figura 45.

Quota <i>m s.m.</i>	Volume <i>m<sup>3</sup></i>
388.70	0
389.00	67
389.50	544
390.00	2054
390.50	11444
391.00	38000
391.50	84000
392.00	153000

TABELLA 22 – CURVA DEI VOLUMI DI INVASO INGHIOTTITOIO CELZI

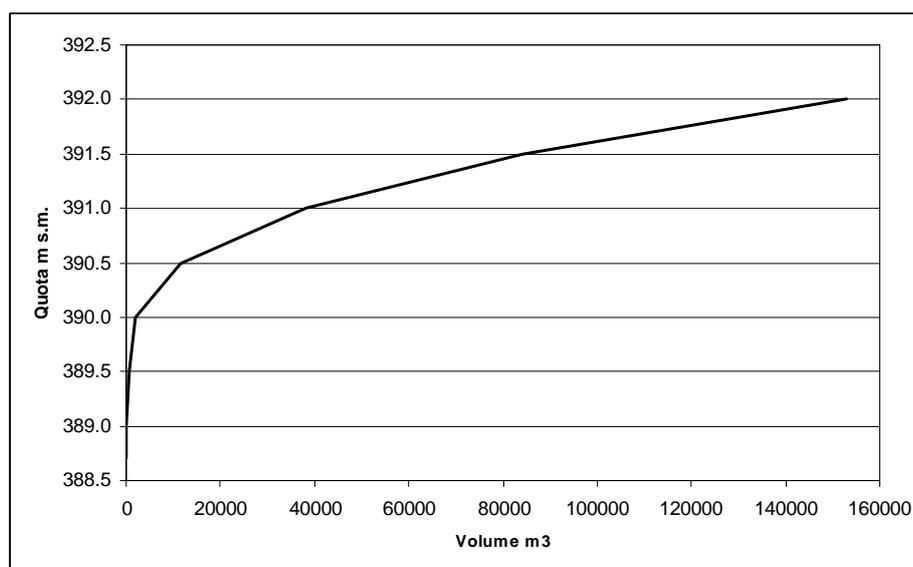


FIGURE 45 – CURVA VOLUME DI INVASO INGHIOTTITOIO

Lo scenario *Rain\_03* ha consentito di ricostruire l'andamento temporale del livello idrico all'interno dell'inghiottitoio che è riportato insieme, all'andamento della pioggia cumulata, nella Figura 46.

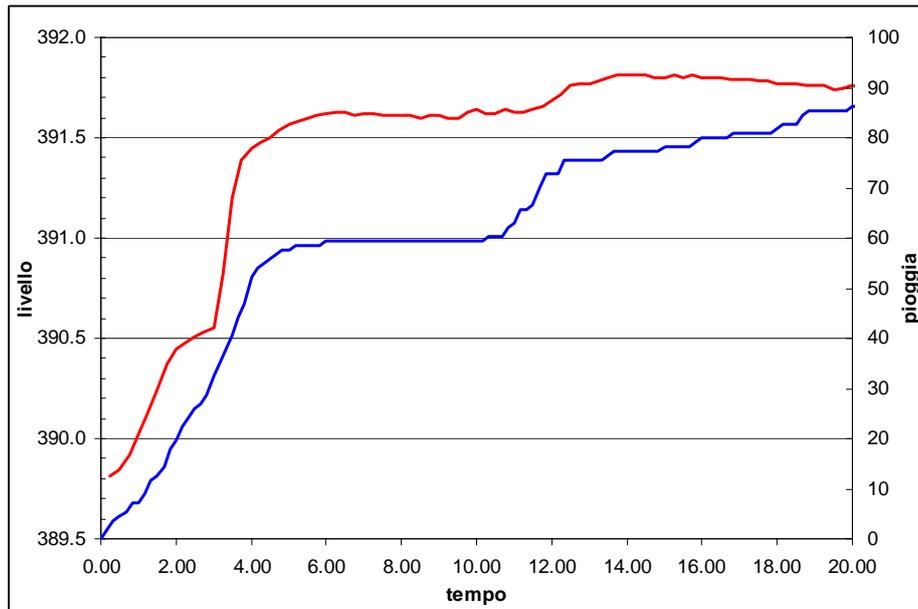


FIGURE 46 – EVENTO APRILE 2013 PIOGGIA CUMULATA E RICOSTRUZIONE ANDAMENTO TEMPORALE DEL LIVELLO IDRICO NELL’INGHIOTTITOIO (SIMULAZIONE *FLO-2D* SCENARIO *RAIN\_03*)

Nella Figura 47 è riportato la ricostruzione dell’andamento temporale dei volumi accumulati nell’inghiottitoio durante l’evento dell’aprile 2013.

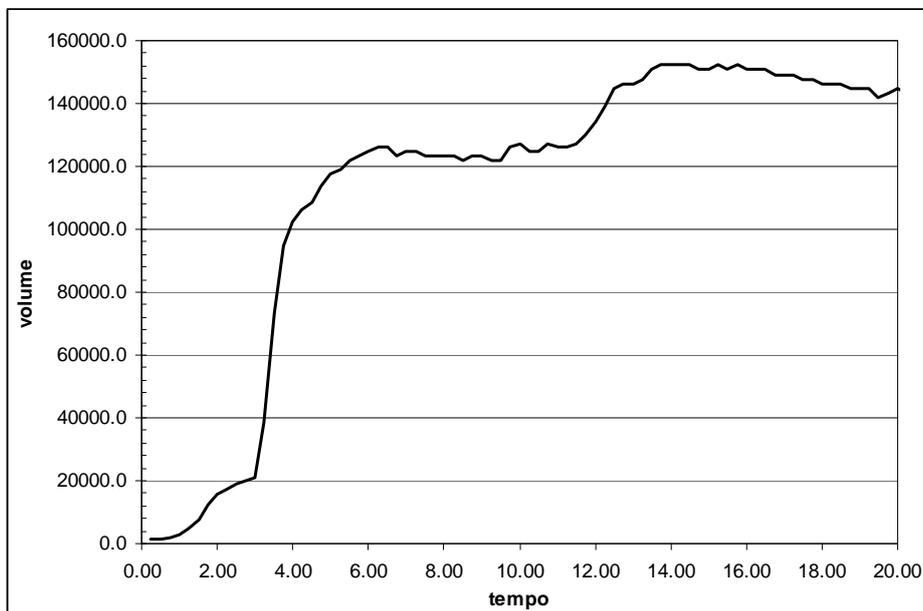


FIGURE 45 – EVENTO APRILE 2013 RICOSTRUZIONE ANDAMENTO TEMPORALE DEI VOLUMI ACCUMULATI NELL’INGHIOTTITOIO (SIMULAZIONE *FLO-2D* SCENARIO *RAIN\_03*)

L’andamento temporale riportato nella Figura 47 indica l’accumulo di circa  $100,000 \text{ m}^3$  in 3 ore ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Una verifica empirica del risultato ottenuto, effettuata sulla base delle testimonianze dei residenti nell’area, sembrerebbe indicare tempi di riempimento dell’inghiottitoio siano in

effetti più lunghi rispetto a quelli valutati dal modello. Tale circostanza può essere spiegata osservando che i processi reali di infiltrazione nel terreno sono probabilmente più complessi rispetto a quello che può essere rappresentato con lo schema di Green-Ampt. In particolare lo schema di Green-Ampt non considera quei meccanismi per i quali al processo di infiltrazione iniziale fa seguito il successivo rilascio sotto forma di deflusso ipodermico. Peraltro la caratterizzazione quantitativa di un processo di tale genere richiederebbe ulteriori approfondimenti che esulano dalle possibilità del presente studio.

Un potenziale raddoppio del tempo di riempimento comporterebbe il dimezzamento della portata media da  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Anche in questo ultimo caso non sembrerebbe possibile dimensionare il sistema di sollevamento in maniera tale da evitare completamente l'allagamento della zona.

La soluzione tecnicamente accettabile appare quella di dimensionare l'impianto di sollevamento in maniera tale da limitare la durata dell'allagamento stesso, nel caso di eventi simili quello che si è verificato nell'aprile 2013, a meno di 18-24 ore.

L'analisi dell'evento dell'aprile 2013 ha indicato, a vantaggio di sicurezza, la quota di 192.00 *m s.m.* come la quota di allagamento, l'analisi delle curve di livello ha indicato che la maggior parte delle abitazioni allagate si trovano al di sopra della quota di 191.00 *m s.m.*, ne consegue, dalla Tabella 22 che il volume critico da smaltire compreso tra le due quote è prossimo a  $100,000 \text{ m}^3$ . Volendo ottenere lo svuotamento di tale volume in circa 24 ore è richiesto il sollevamento di una portata media di circa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'impianto di sollevamento è attualmente dotato di 3 pompe, delle quali le due più recenti hanno caratteristiche analoghe, la curva di funzionamento caratteristica relativa alle 2 pompe *KSB Sewabloc* è riportata nella Figura 48.

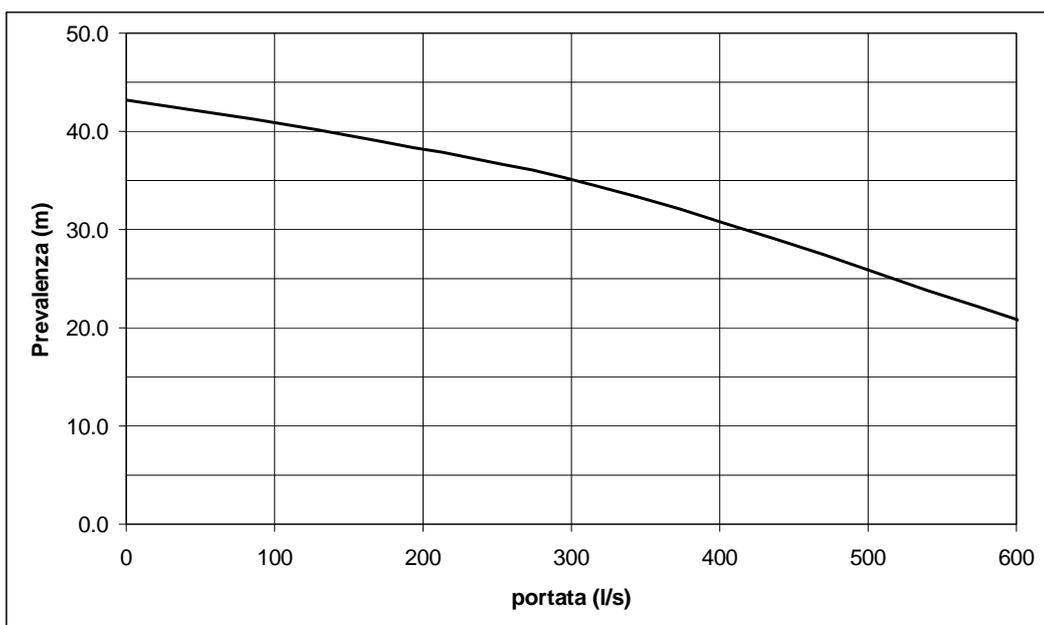


FIGURE 49 – CURVA CARATTERISTICA POMPA *KSB Sewbloc* IN DOTAZIONE ALL'IMPIANTO SOLLEVAMENTO DI CELZI

Nella condizione attuale se l'impianto dovesse sollevare le sole portate nere risulterebbe certamente sovradimensionato.

Nel futuro è possibile pensare di utilizzare le due pompe *KSB* esistenti adeguando la sola condotta di adduzione.

Nella Tabella 23 sono riportate, in funzione del diametro della tubazione di mandata, le portate sollevate rispettivamente nel caso di 1 o 2 pompe contemporaneamente in funzione.

Diametro <i>mm</i>	Portata x 1 <i>m<sup>3</sup></i>	Portata x 2 <i>m<sup>3</sup></i>
250	150	155
300	225	240
350	315	350
400	395	440
450	425	610
500	510	740
550	550	850
600	580	925
650	590	1000
700	600	1050

TABELLA 23 – CURVA DEI VOLUMI DI INVASO INGHIOTTITOIO CELZI

I dati riportati nella Tabella 23 indicano che l'adozione per la nuova condotta di mandata di un diametro  $\phi$  700 *mm* garantirebbe con le due pompe *KSB* già in dotazione il sollevamento di circa

1  $m^3/s$  con il quale si garantirebbe, in assenza di ulteriori apporti zenitali, la riduzione del livello idrico in prossimità dell'inghiottitoio da 192.00 *m s.m.* a circa 191.00 *m s.m.*

Al fine di garantire il funzionamento ottimale del sistema nelle condizioni ordinarie e di quelle straordinarie si ritiene che la nuova condotta sia da ritenersi *aggiuntiva* e non sostitutiva rispetto a quella esistente. In altri termini la condotta esistente rimarrebbe in esercizio durante le condizioni di funzionamento ordinarie, mentre il collegamento con la nuova tubazione sarebbe attivato esclusivamente in occasione di condizioni atmosferiche straordinarie.

La messa in opera della nuova condotta richiederà anche la verifica e il probabile adeguamento del sistema di protezione nei confronti dei fenomeni di moto vario.

## APPENDICE

SCHEDE RELATIVE AI PRINCIPALI VALLONI DELLA CONCA DI FORINO

*REDAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO DI APPROFONDIMENTO AL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DI UNA PROPOSTA DI REVISIONE DEL PIANO STESSO PROPEDEUTICA ALLA REDAZIONE DEL PUC*

**Monografie dei Bacini Idrografici studiati**

**BACINO IDROGRAFICO MONTANO**

**62b**

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ $m^3/s$
062b	<b>24.09</b>



Foto 2



Foto 3

*La sistemazione a gabbioni termina poco prima dell'intersezione con Via Monastero e il punto terminale è costituito da un canale di forma rettangolare che corre lungo il lato destro della strada. La sezione (circa 80x100) del canale in oggetto diventa significativa al fine del calcolo idraulico.*



Foto 1

*L'asta torrentizia nel tratto terminale prima della sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni.*

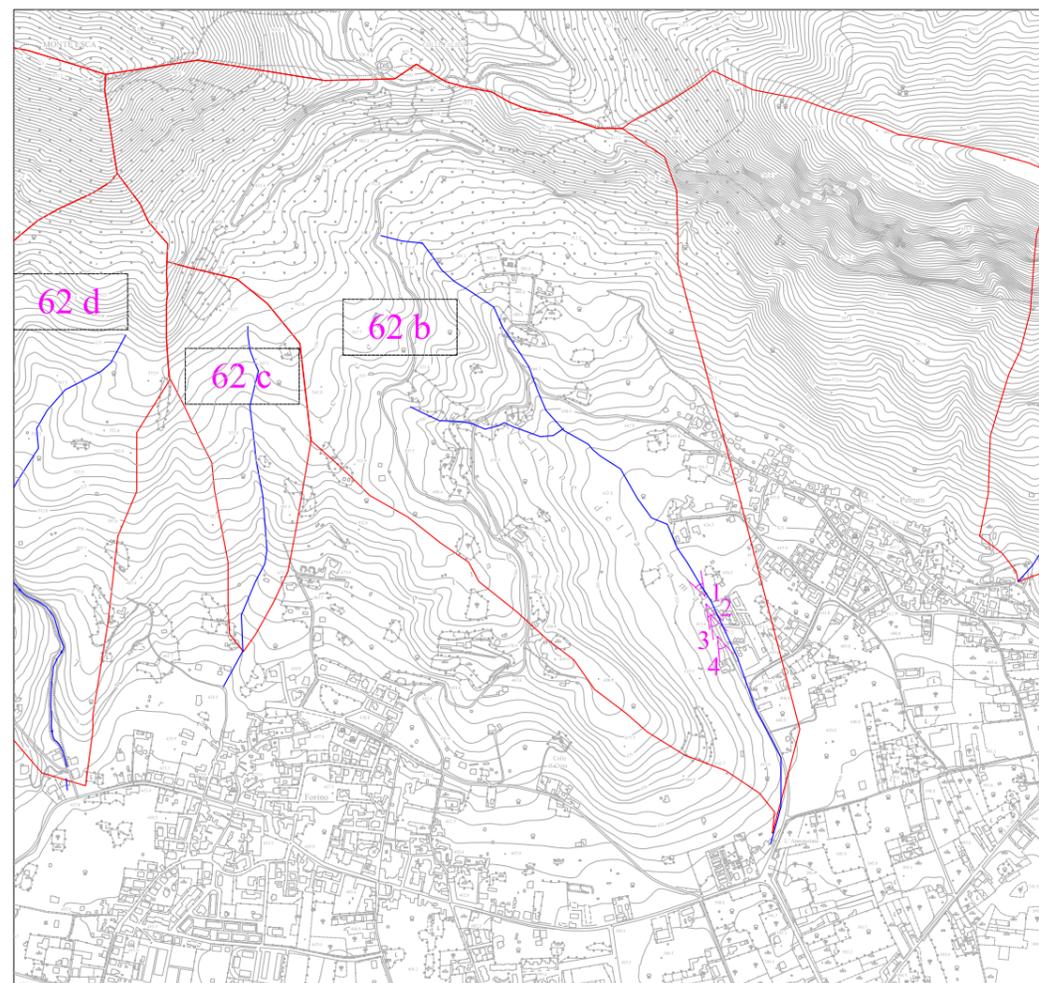


Foto 4

**SEZIONE RETTANGOLARE**

**Dati della sezione**

H=	100	cm	(Altezza sezione)
B=	80	cm	(Base sezione)
Area=	0.80	mq	
Pendenza	2	%	
K	50	Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler	

H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (m)	Portata massima transitabile (mc/sec)	Velocità (m/sec)
169.88	419.77	1.359	0.324	4.53	3.33

Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 24.09 mc/sec

Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 4.531 mc/sec

**REDAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO DI APPROFONDIMENTO AL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DI UNA PROPOSTA DI REVISIONE DEL PIANO STESSO PROPEDEUTICA ALLA REDAZIONE DEL PUC**

**Monografie dei Bacini Idrografici studiati**

**BACINO IDROGRAFICO MONTANO**

**62c**

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ $m^3/s$
062c	4.17



Foto 2



Foto 3

La sistemazione a gabbioni termina poco prima dell'intersezione con Via del Gelso e il punto terminale è costituito da un canale di forma rettangolare che corre lungo il lato destro della strada. La sezione (circa 80x80) del canale in oggetto diventa significativa al fine del calcolo idraulico.



Foto 1

L'asta torrentizia nel tratto terminale prima delle sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni.

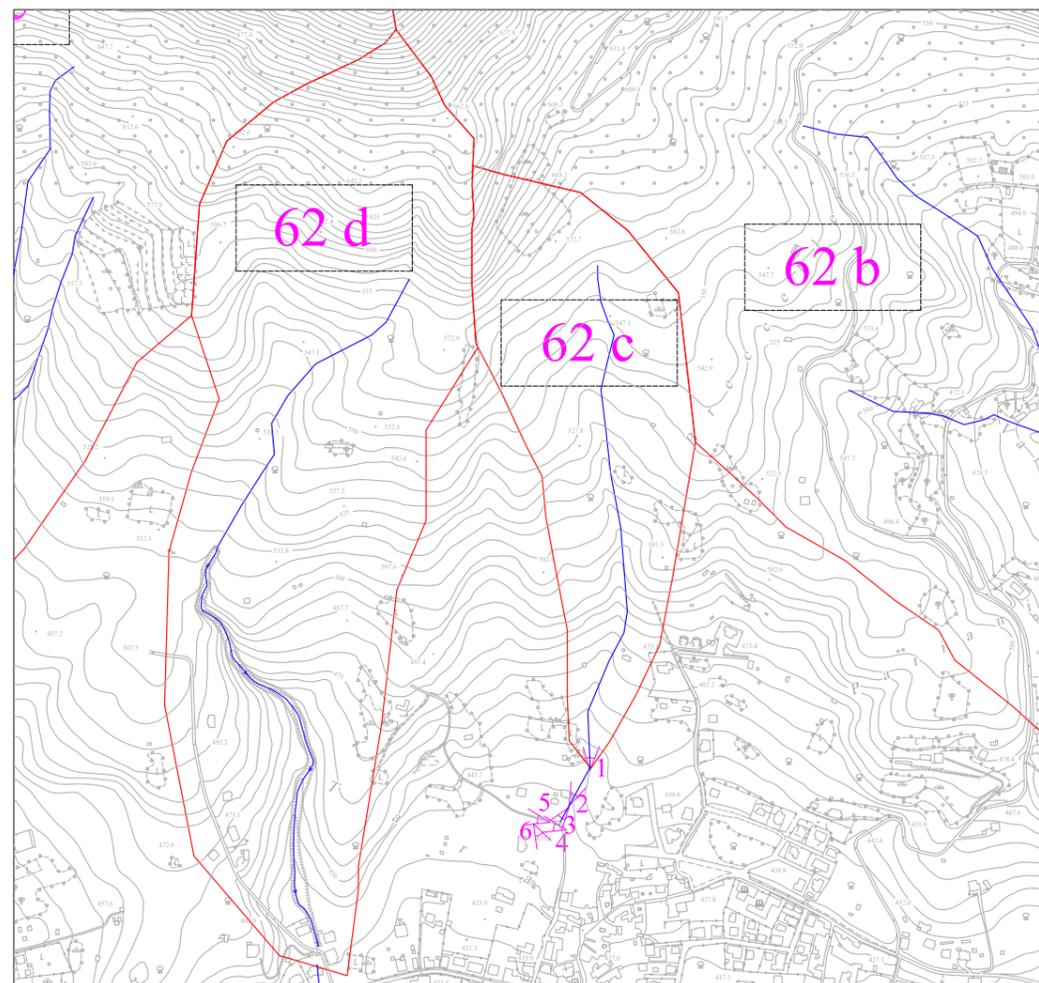


Foto 4

Infine è costretto a passare in un cunicolo per attraversare Via Gelso la cui forma rettangolare irregolare (circa 70x60 cm) rappresenta il vero punto critico del sistema



Foto 5



Foto 6

Alla sua ricomparsa il corso d'acqua viene lasciato libero di scorrere in un piccolo canale naturale sul lato sinistro di un viottolo di campagna

SEZIONE RETTANGOLARE					
Dati della sezione					
H=	60	cm	(Altezza sezione)		
B=	70	cm	(Base sezione)		
Area=	0.42	mq			
Pendenza	2	%			
K	50	Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler			
H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (m)	Portata massima transitabile (mc/sec)	Velocità (m/sec)
60.00	190.00	0.420	0.221	0.94	2.24
Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 4.17 mc/sec					
Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 0.940 mc/sec					

**REDAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO DI APPROFONDIMENTO AL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DI UNA PROPOSTA DI REVISIONE DEL PIANO STESSO PROPEDEUTICA ALLA REDAZIONE DEL PUC**

**Monografie dei Bacini Idrografici studiati**

**BACINO IDROGRAFICO MONTANO**

**62d**

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ $m^3/s$
062d	9.52



Foto 2



Foto 3

La sistemazione con gabbioni e briglie termina con una piccola vasca che ha come uscita un tombamento (circa 1,00x1,00 m).  
Che corre sotto una strada interpoderale a servizio di alcune abitazioni. Viste le portate in gioco e la conformazione di luce sotto battente dell'uscita della vasca è evidente che la strada in caso di piene eccezionali diventa un alveo strada

L'asta torrentizia nel tratto terminale prima della sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni e con l'uso di briglie di stabilizzazione



Foto 1

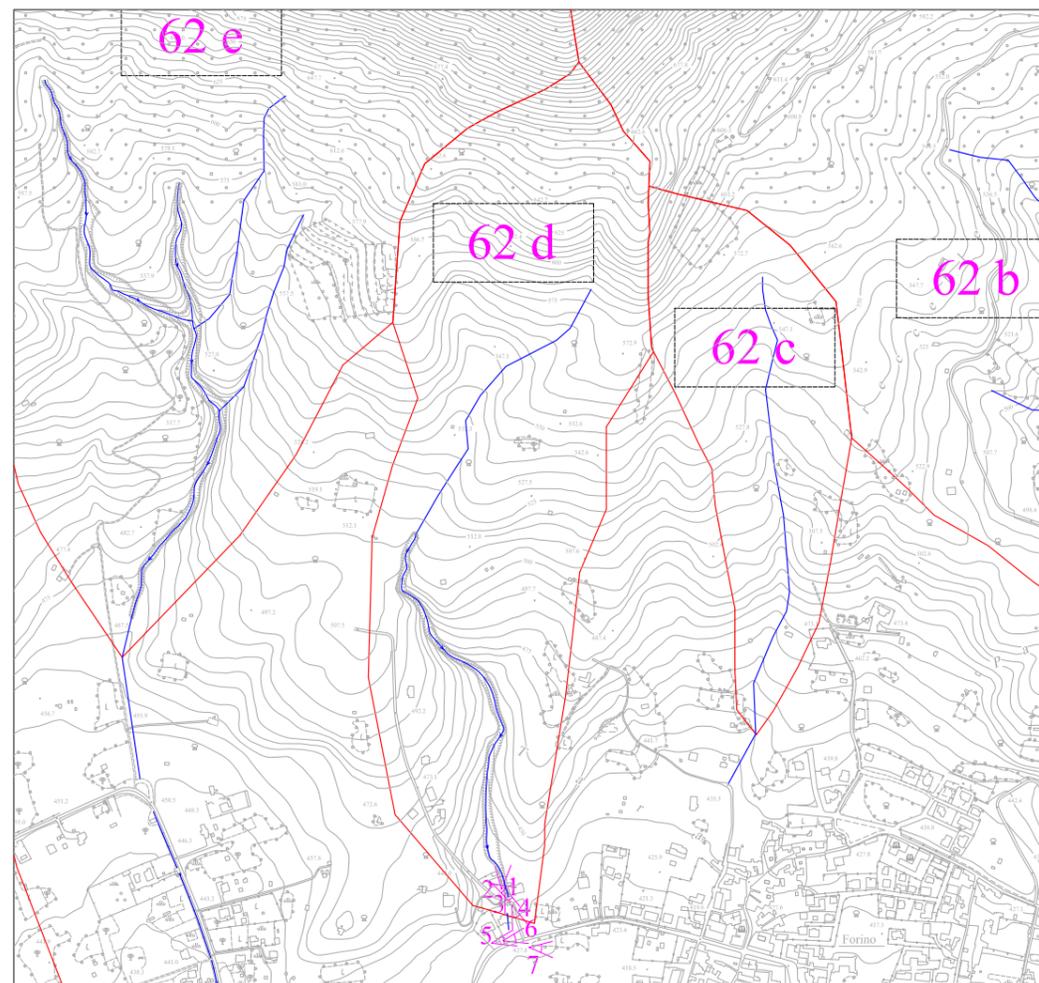


Foto 4

Il tombamento che corre sotto l'alveo strada recapita in una vasca di laminazione che a sua volta ha un'uscita sotto battente delle dimensioni di circa 1,00x1,00



Foto 5



Foto 6

l'uscita della vasca recapita le acque in un cunicolo che dopo essere transitato in mezzo ai terreni coltivati costituendo, con la sua copertura, un viottolo di campagna e quindi un sentiero pedonale attraversa parte del centro abitato



Foto 7

SEZIONE RETTANGOLARE					
Dati della sezione					
H=	100	cm	(Altezza sezione)		
B=	100	cm	(Base sezione)		
Area=	1.00	mq			
Pendenza	2.5	%			
K	50	Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler			
H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (ml)	Portata massima transitabile (mc/sec)	Velocità (m/sec)
100.00	300.00	1.000	0.333	3.8	3.8
Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 9.52 mc/sec					
Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 3.80 mc/sec					

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ m <sup>3</sup> /s
062e	14.15



Il torrente viene poi incanalato lungo la Strada Statale 403 con una grossa cunetta che corre sul lato destro percorrendo la strada in discesa, anche in questo caso la sezione diventa di controllo per quelle che sono le portate che in essa possono transitare. In fondo alla discesa l'alveo abbandona la Statale per attraversare con un canale pressochè naturale un tratto di aperta campagna, per poi ricomparire lungo la Strada Provinciale 30

Foto 1



L'asta torrentizia nel tratto terminale prima delle sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni.

Foto 2



La sistemazione a gabbioni termina nell'intersezione con la Strada Statale 403 e il punto terminale è costituito da un tombino di forma rettangolare sormontato da un arco a tutto sesto. La sezione in oggetto diventa significativa al fine del calcolo idraulico.

Foto 3

Foto 4

Foto 5

Foto 6

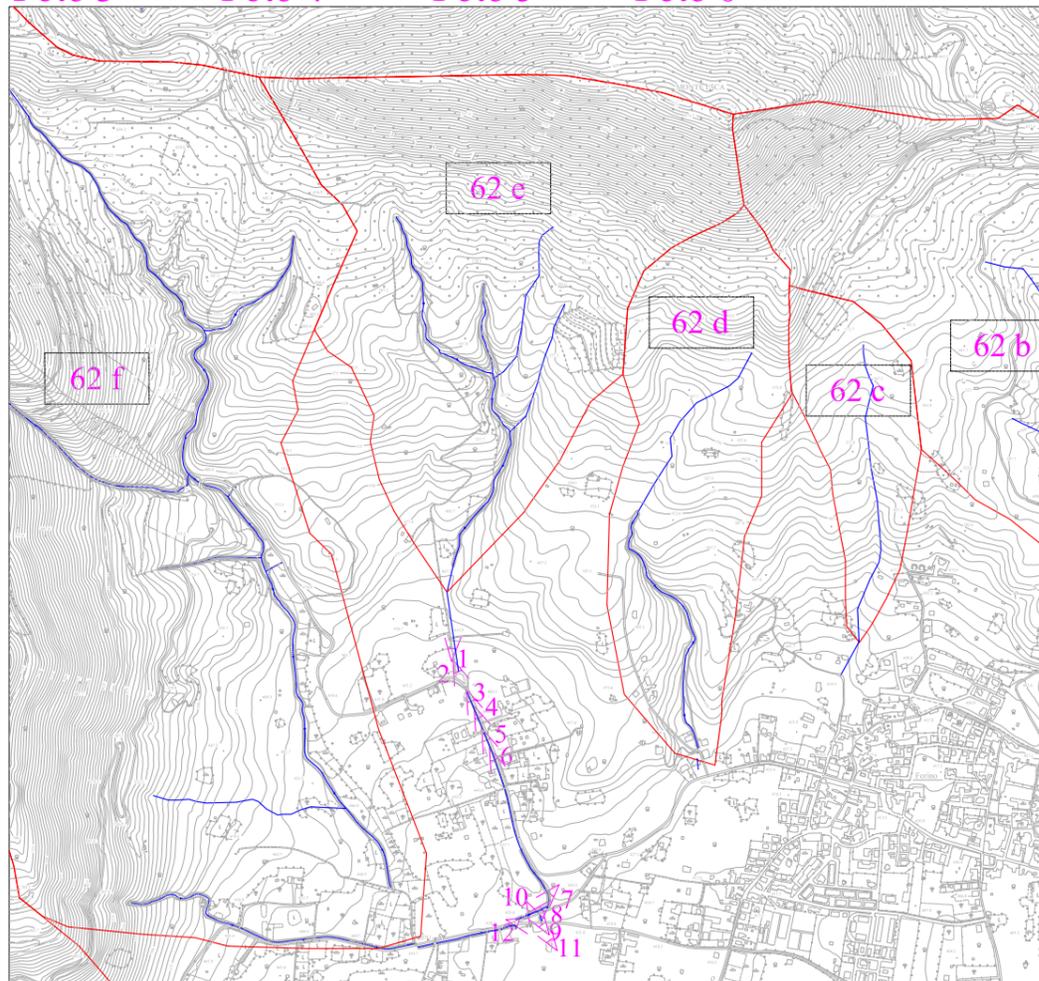


Foto 7

Infine il torrente è costretto a passare in un cunicolo per attraversare la Strada Provinciale 30 la cui forma rettangolare irregolare (circa 80x80 cm) rappresenta il vero punto critico del sistema



Foto 8



Foto 9

SEZIONE RETTANGOLARE					
<b>Dati della sezione</b>					
H=	160	cm	(Altezza sezione)		
B=	120	cm	(Base sezione)		
Area=	1.92	mq			
Pendenza	2.5	%			
K	50	Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler			
H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (m)	Portata massima transitabile (mc/sec)	Velocità (m/sec)
160.00	440.00	1.920	0.436	8.73	4.55
Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 14.15 mc/sec					
Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 8.73 mc/sec					



Foto 10



Foto 11



Foto 12

Alla sua ricomparsa viene lasciato libero di invadere la Via San Pietro che grazie anche al fatto che su di essa si riversa anche l'acqua che viene dalla vasca di laminazione posta subito all'inizio della stessa è negli anni diventata un vero e proprio alveo strada.

SEZIONE RETTANGOLARE					
<b>Dati della sezione</b>					
H=	80	cm	(Altezza sezione)		
B=	80	cm	(Base sezione)		
Area=	0.64	mq			
Pendenza	2.5	%			
K	50	Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler			
H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (m)	Portata massima transitabile (mc/sec)	Velocità (m/sec)
80.00	240.00	0.640	0.267	2.1	3.28
Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 14.15 mc/sec					
Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 2.09 mc/sec					

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ $m^3/s$
062f	37.23



Foto 2



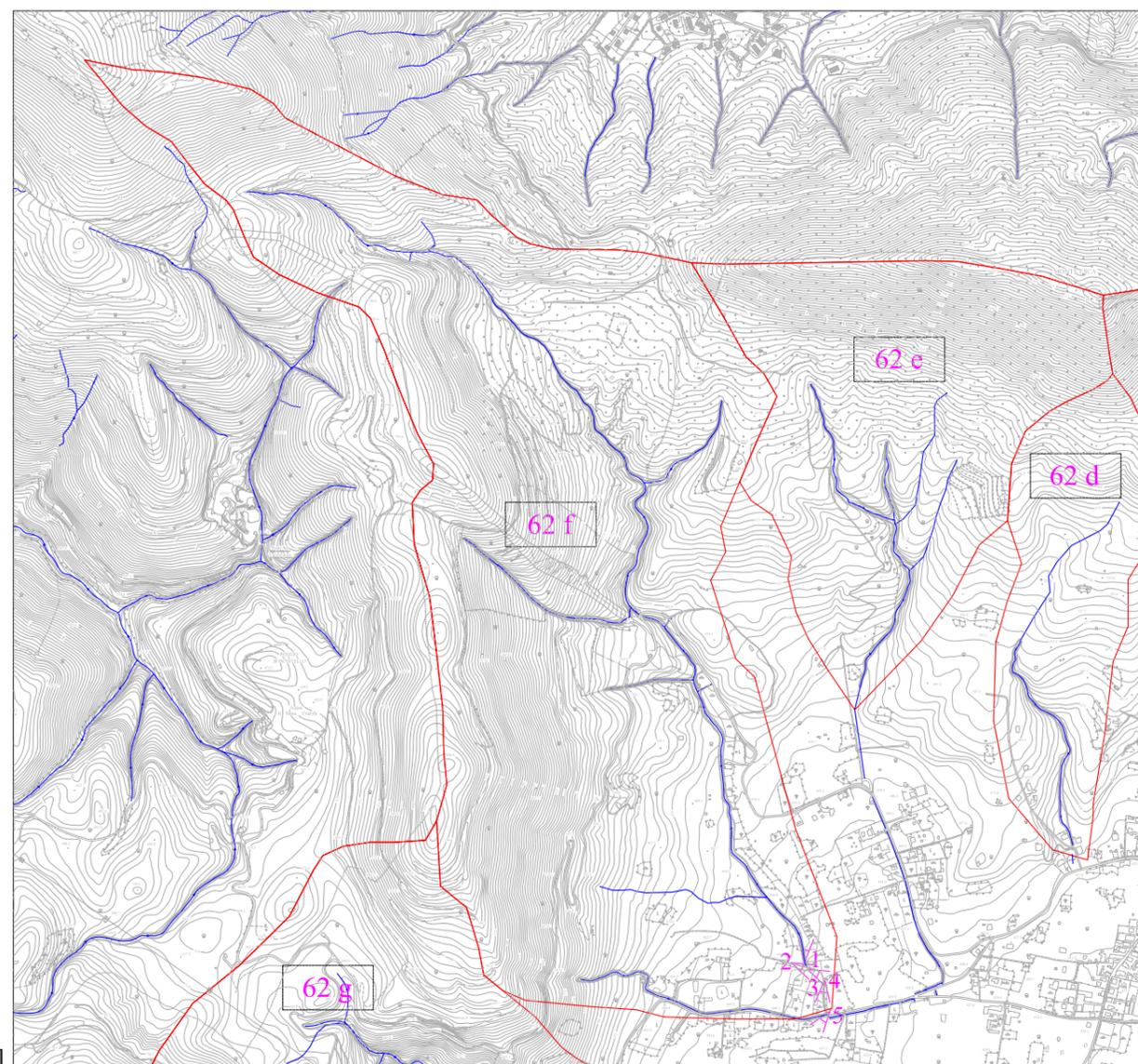
Foto 3



Foto 4



Foto 1  
L'asta torrentizia nel tratto terminale prima della sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni e materassi reno.



La sistemazione a gabbioni termina poco prima dell'intersezione con la Strada Provinciale 30 riversando le acque su una strada interpodereale che presenta in destra una vasca di laminazione che essendo fuori dall'asse stradale difficilmente potrà svolgere una funzione di laminazione rispetto alle acque.



Foto 5

Il punto terminale in cui si prova a far confluire le acque che provengono dall'alveo strada è costituito da un tombino circolare Ø1000 che attraversa la Strada Provinciale e si riversa in un canale di forma rettangolare che corre lungo il lato destro della strada. La sezione (circa 120x100) del canale in oggetto diventa significativa al fine del calcolo idraulico. Infine detto canale recapita le acque che riesce a smaltire nella vasca di laminazione posizionata all'inizio di via San Pietro

CANALE CIRCOLARE									
Dati canale:	Diametro=	1	metri						
	Area	0.785398	m <sup>2</sup>						
	Pendenza canale=	0.025	m/m						
	Coeff ScabrezzaG.-Strickler=	50							
	Portata di progetto=	37.23	mc/s						
riempimento	%	gradi	rad.	Area defl.	Cont. Bagn.	R idr.	Portata (mc/s)	H riemp	Velocità m/s
	100%	360.00	6.28	0.7854	3.14	0.25	2.46	1.000	3.14
Portata stimata nella sezione di chiusura del bacino 37.23 mc/sec:									
Portata massima che può transitare nella sezione critica stimata in moto uniforme 2.46 mc/sec									

REDAZIONE DELLO STUDIO IDRAULICO DI APPROFONDIMENTO AL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DI UNA PROPOSTA DI REVISIONE DEL PIANO STESSO PROPEDEUTICA ALLA REDAZIONE DEL PUC

Monografie dei Bacini Idrografici studiati

BACINO IDROGRAFICO MONTANO

62g

Risultati del calcolo idrologico per il Bacino	
Bacino	$Q_{T=100}$ $m^3/s$
062g	14.15



Foto 2



Foto 3



Foto 1

L'asta torrentizia nel tratto terminale prima della sua intersezione con la parte antropizzata del territorio comunale è stata recentemente oggetto di un intervento di sistemazione con la risagomatura delle sponde con l'uso di gabbioni e palizzate.

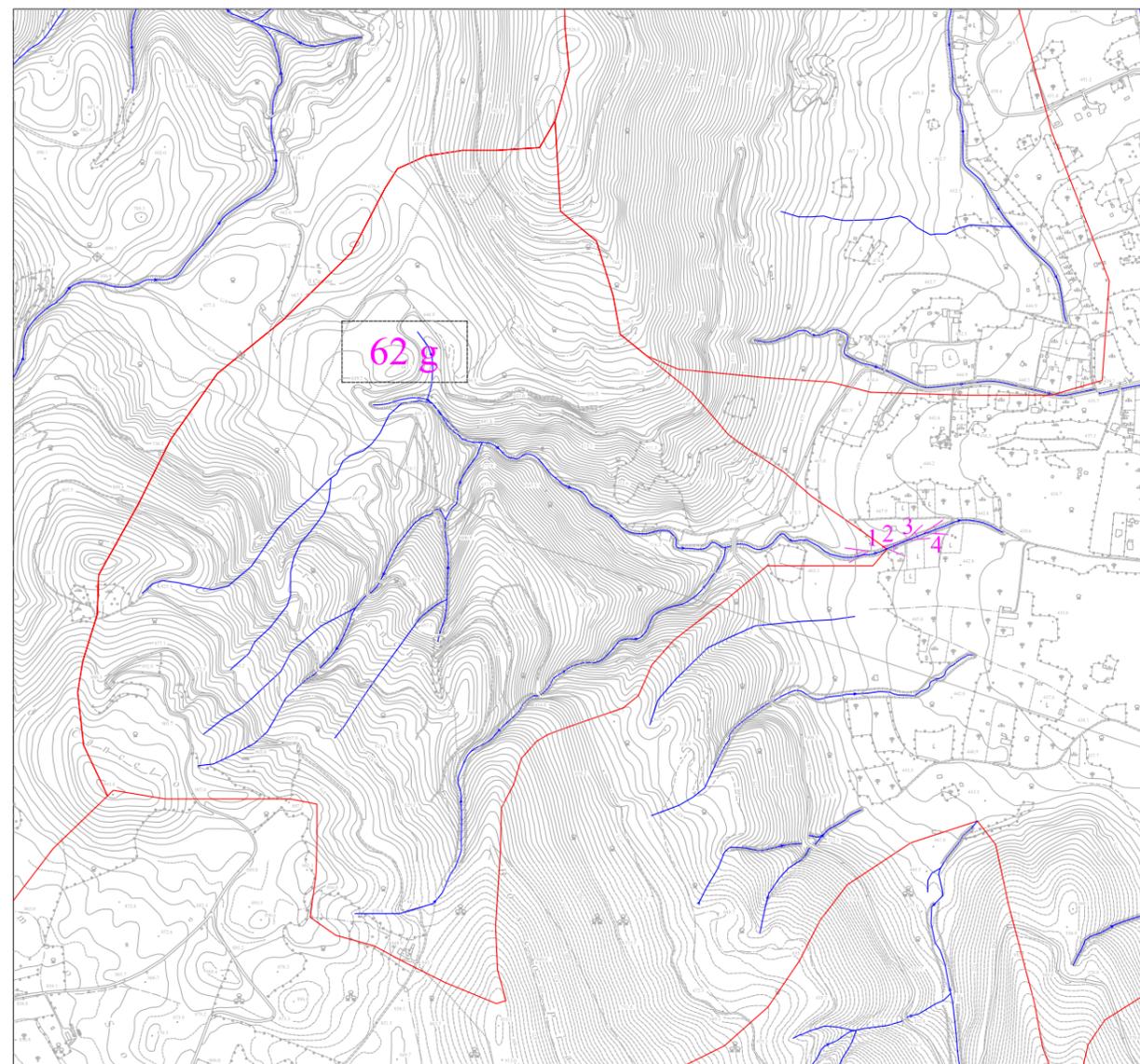


Foto 4

La sistemazione a gabbioni termina poco prima dell'intersezione con la viabilità secondaria riversando le acque su una strada interpoderale che presenta in sinistra una zona a quota inferiore. Quest'area diventa il naturale recapito delle acque provenienti dall'impluvio.

## ANALISI DI DETTAGLIO DELLE PIOGGE CRITICHE IN FUNZIONE DELLA DURATA

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
1	01/07/2008	64		NO	
	31/07/2010	57		X	Secondo scroscio di 50 mm/h
	15/09/2006	52		NO	Precede l'evento del 25/09/2006

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
2	15/09/2006	90		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	01/07/2008	64		NO	
	31/07/2010	61		X	Secondo scroscio

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
3	15/09/2006	107		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	31/07/2010	80		X	Secondo scroscio
	01/07/2008	67		NO	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
4	15/09/2006	107		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	31/07/2010	91		X	
	03/04/2005	80		X	
	14/10/2015	72		NO	Precede l'evento del 19/10/2015

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
5	15/09/2006	109		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	31/07/2010	98		X	
	03/04/2005	93		X	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
6	15/09/2006	109		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	03/04/2005	106		X	
	26/09/2006	101		X	
	31/07/2010	97		X	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
8	03/04/2005	127		X	
	15/09/2006	122		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	31/07/2010	105		X	
	26/12/2004	102			

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
10	03/04/2005	145		X	
	15/09/2006	122		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	26/12/2004	118		X	
	31/07/2010	105		X	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
12	03/04/2005	164		X	
	26/12/2004	124		X	
	15/09/2006	122		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	26/09/2006	118		X	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
15	03/04/2005	184		X	
	26/12/2004	134		X	
	15/09/2006	122		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	14/10/2015	113		X	

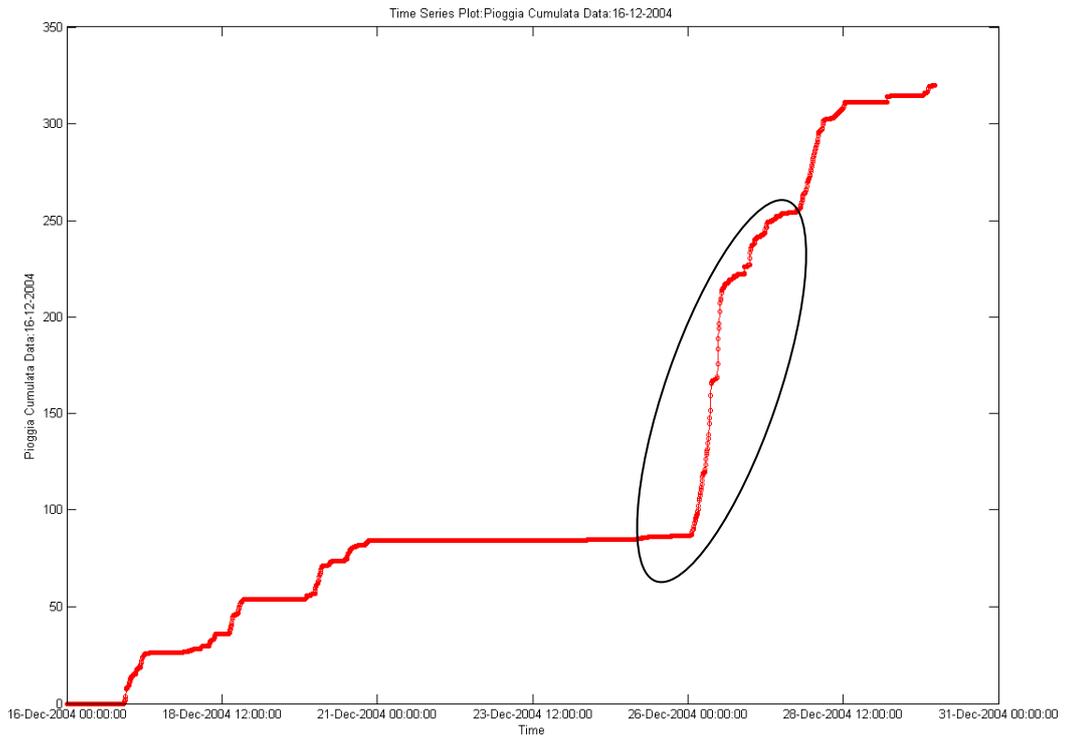
<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
18	03/04/2005	205		X	
	26/12/2004	134		X	
	14/10/2015	121		NO	

<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
24	03/04/2005	220		X	
	26/12/2004	151		X	
	30/01/2015	123			
	14/10/2015	122		X	
	16/09/2006	122			Precede l'evento del 25/09/2006
	03/01/2009	121			
	25/09/2006	120		X	

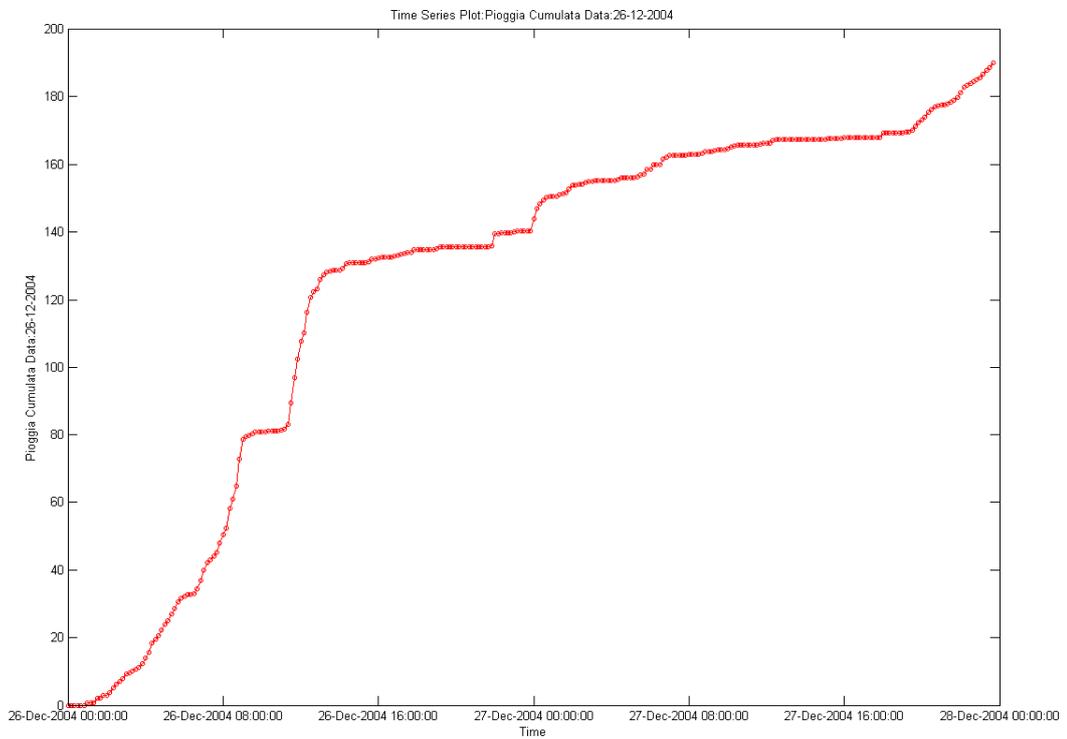
<i>Durata</i>	<i>Evento</i>	<i>Pioggia</i>	<i>Intensità</i>	<i>Danni</i>	<i>Commento</i>
48	03/04/2005	233		X	
	26/12/2004	202		X	
	10/09/2010	167			
	16/09/2006	154		NO	Precede l'evento del 25/09/2006
	10/01/2003	147			

## PLUVIOGRAMMI RELATIVI AGLI EVENTI CRITICI

## 26 Dicembre 2004

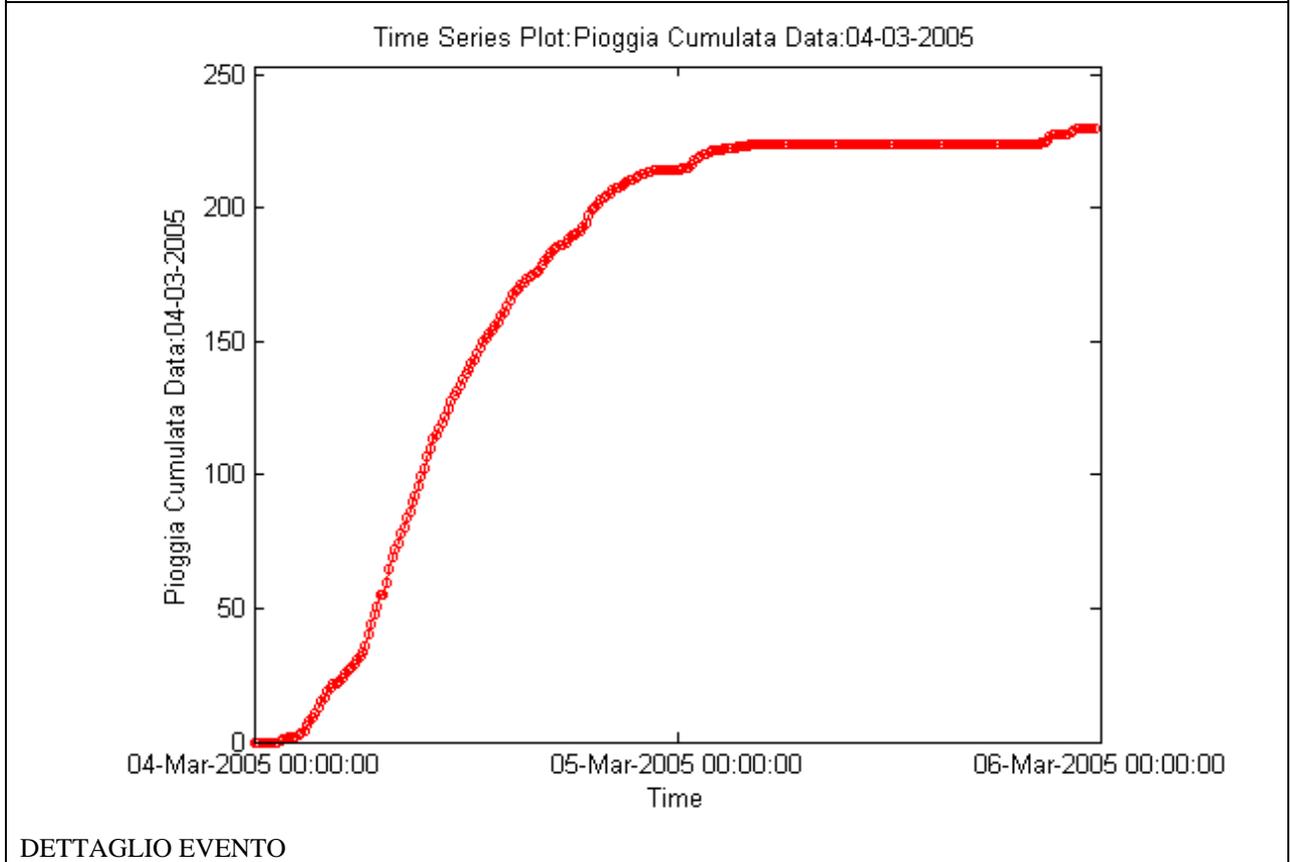
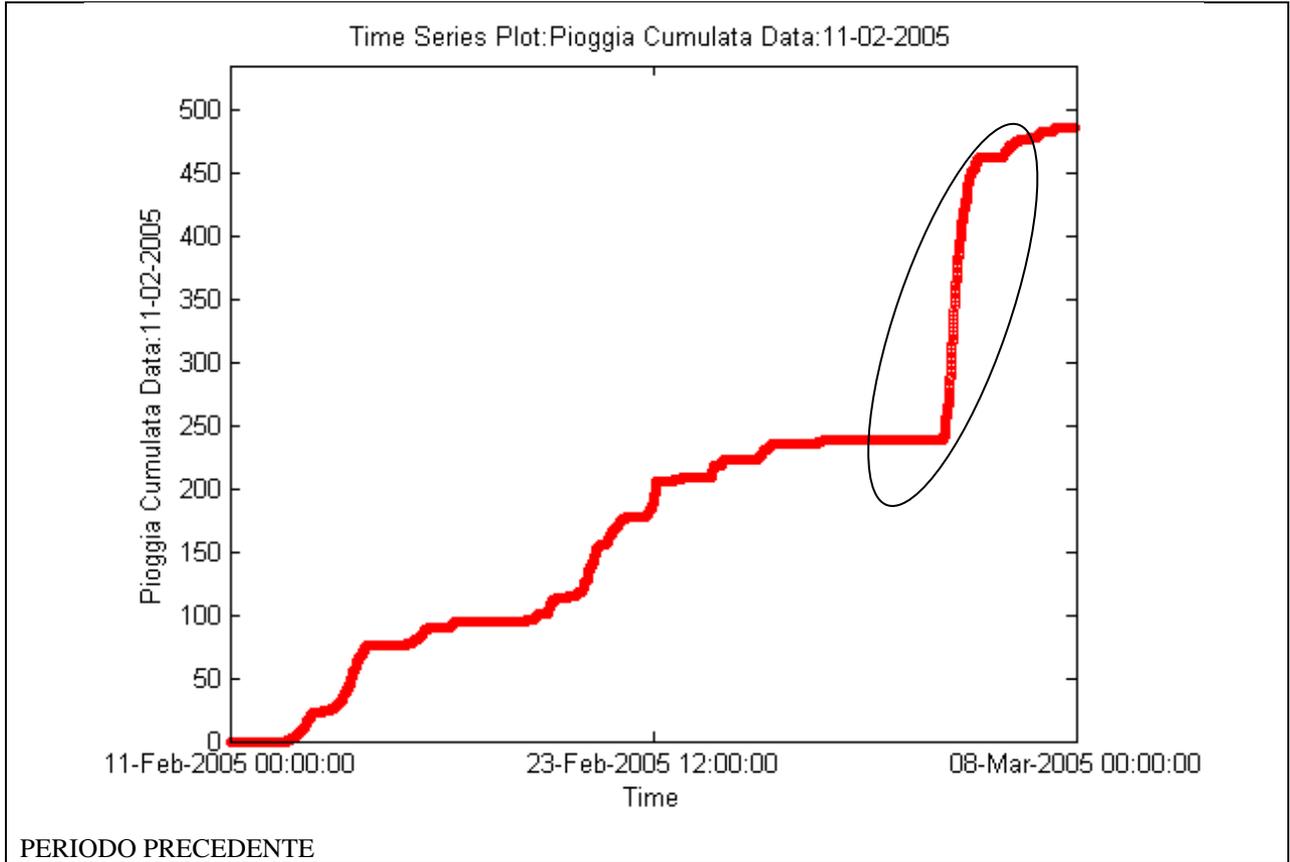


### PERIODO PRECEDENTE

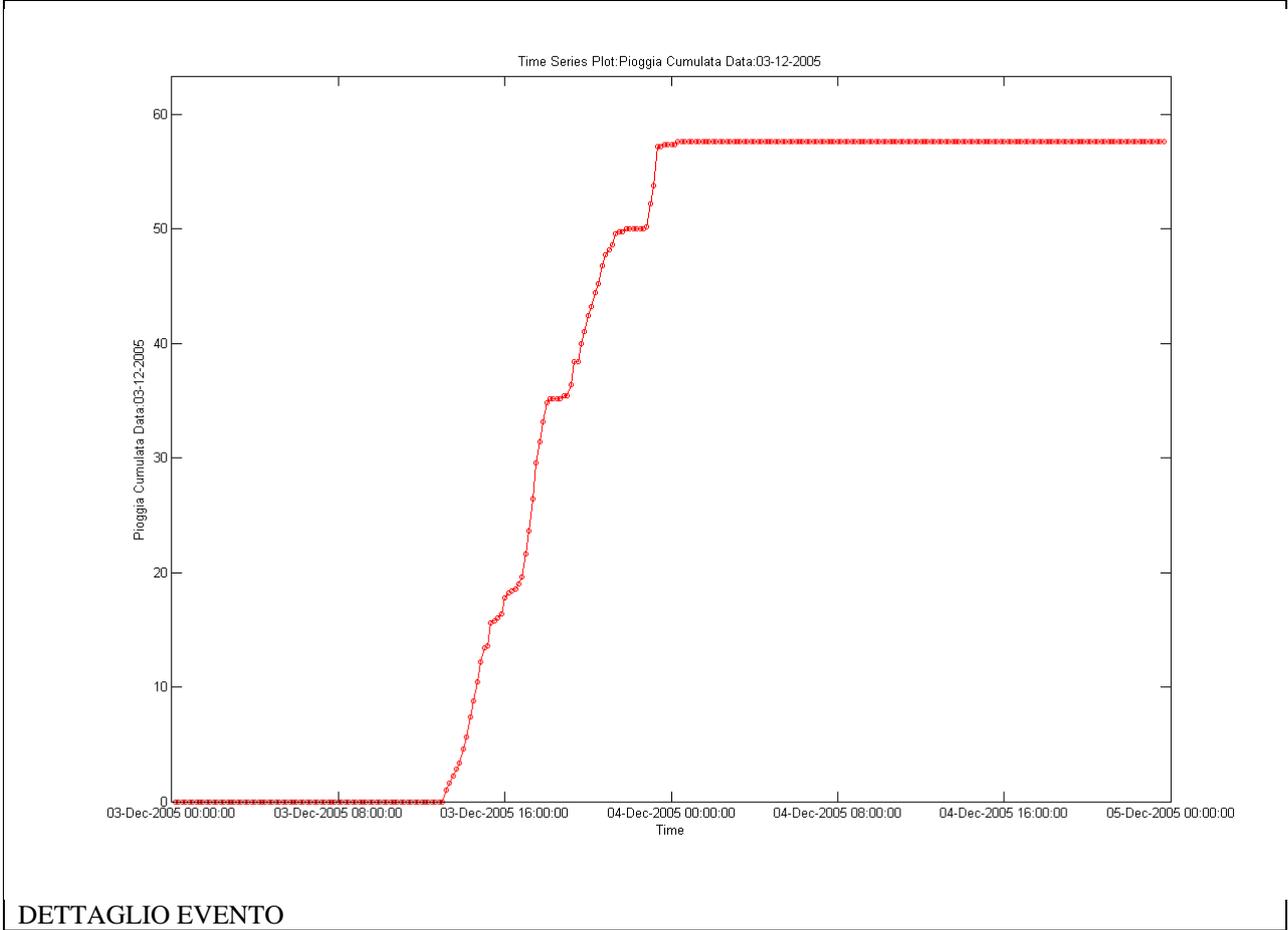
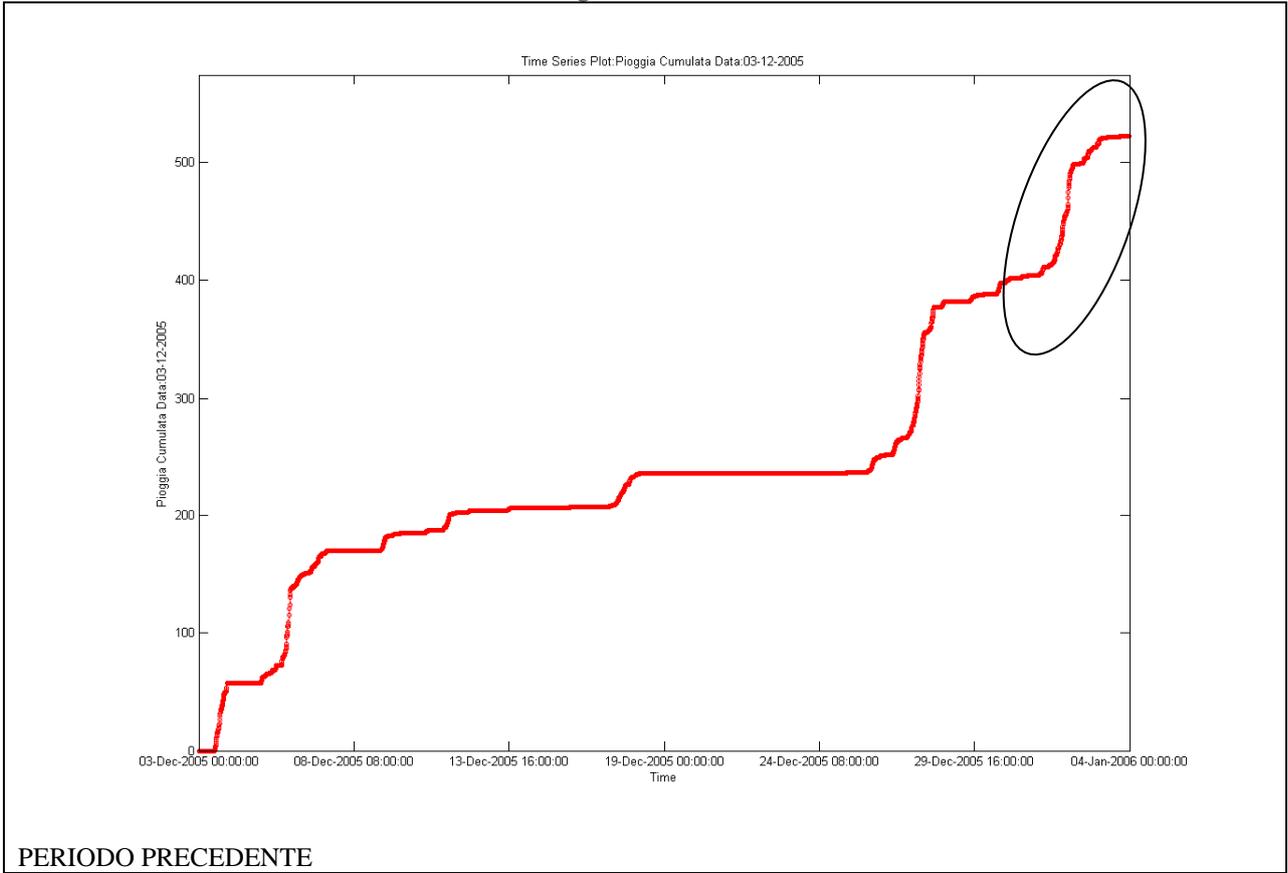


### DETTAGLIO EVENTO

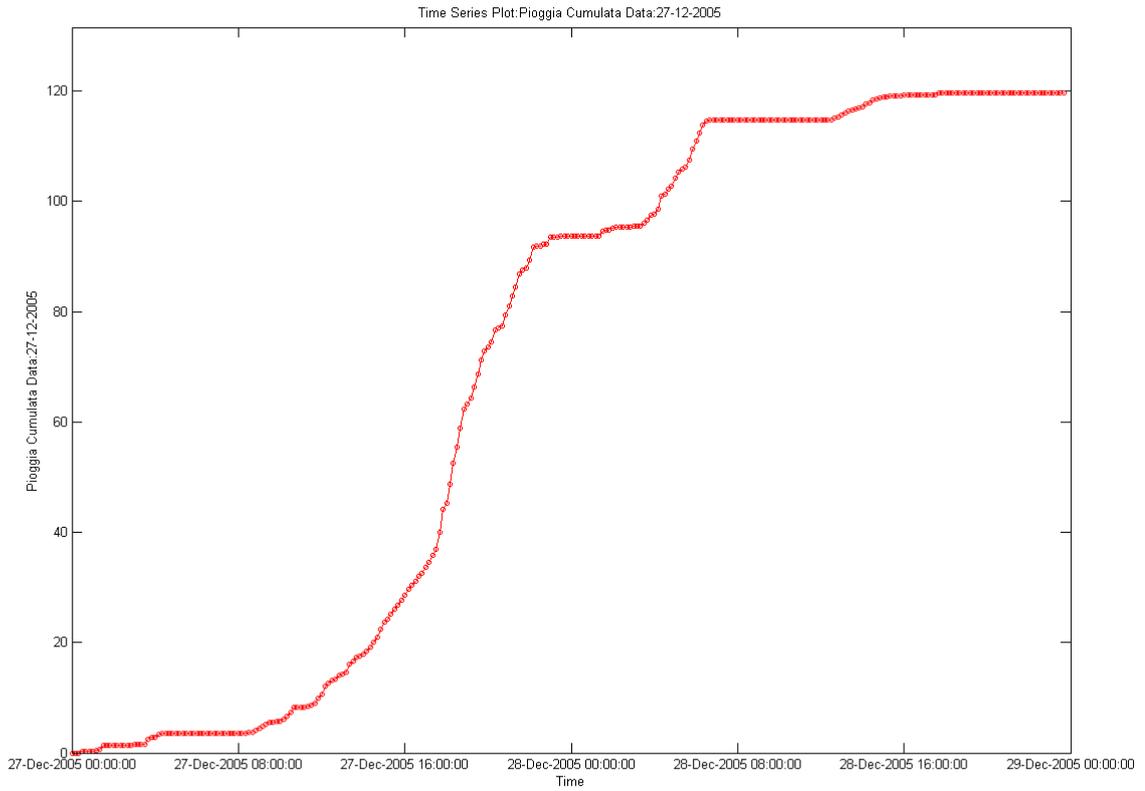
### 04 marzo 2005



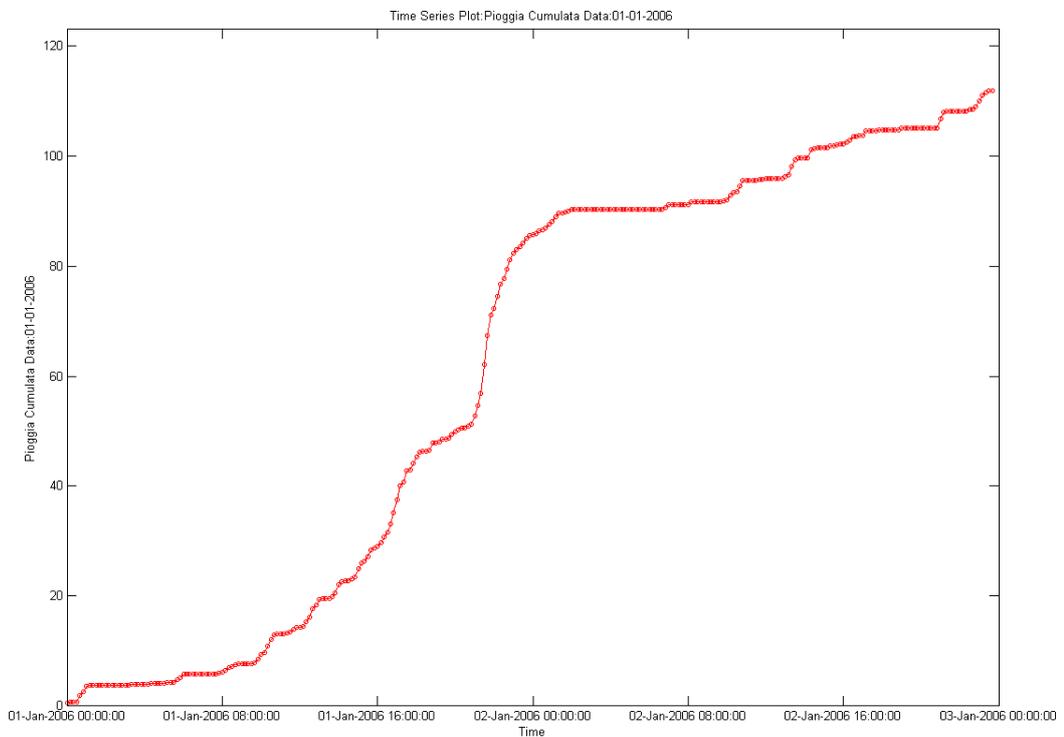
# 01 gennaio 2006



## 01 gennaio 2006 (cont)

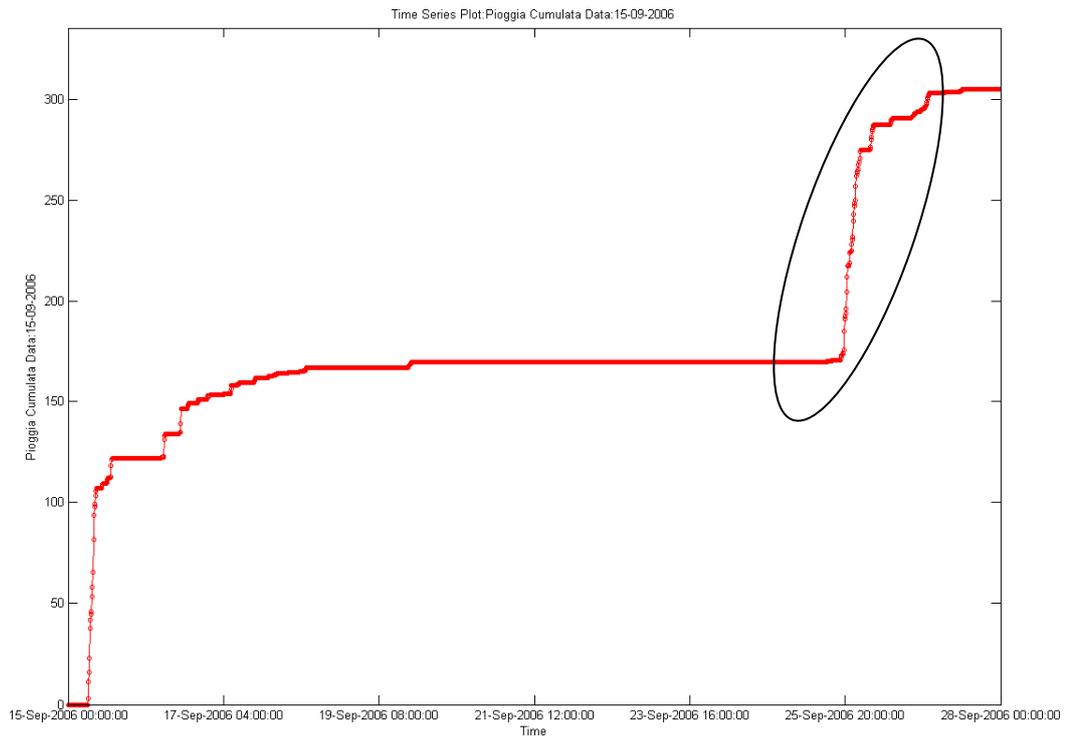


## PERIODO PRECEDENTE

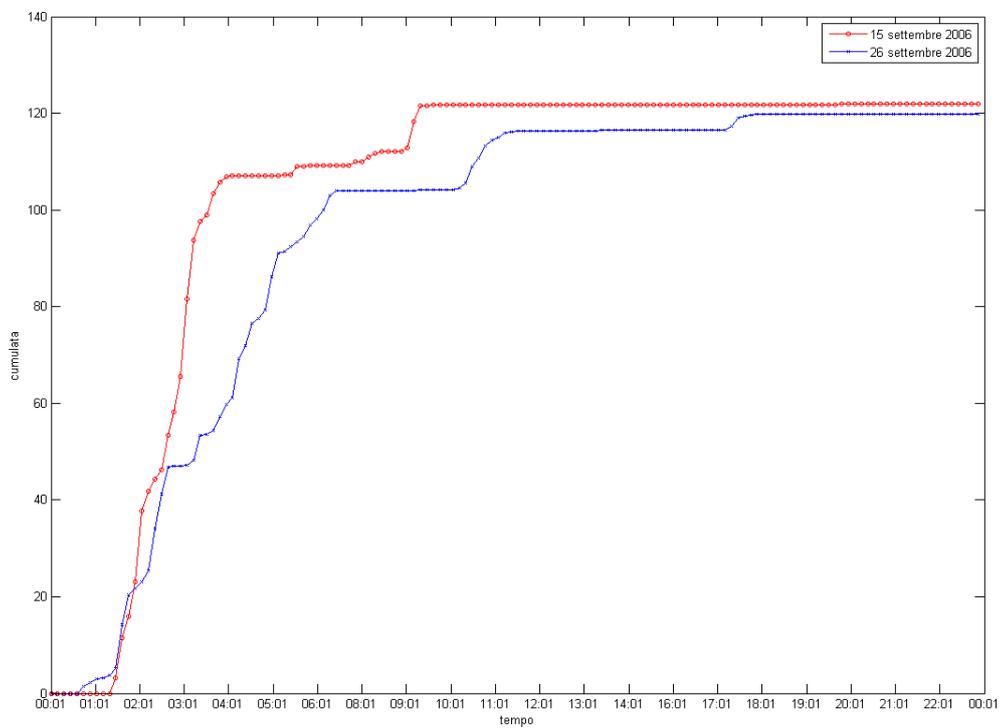


## DETTAGLIO EVENTO

## 16-25 settembre 2006

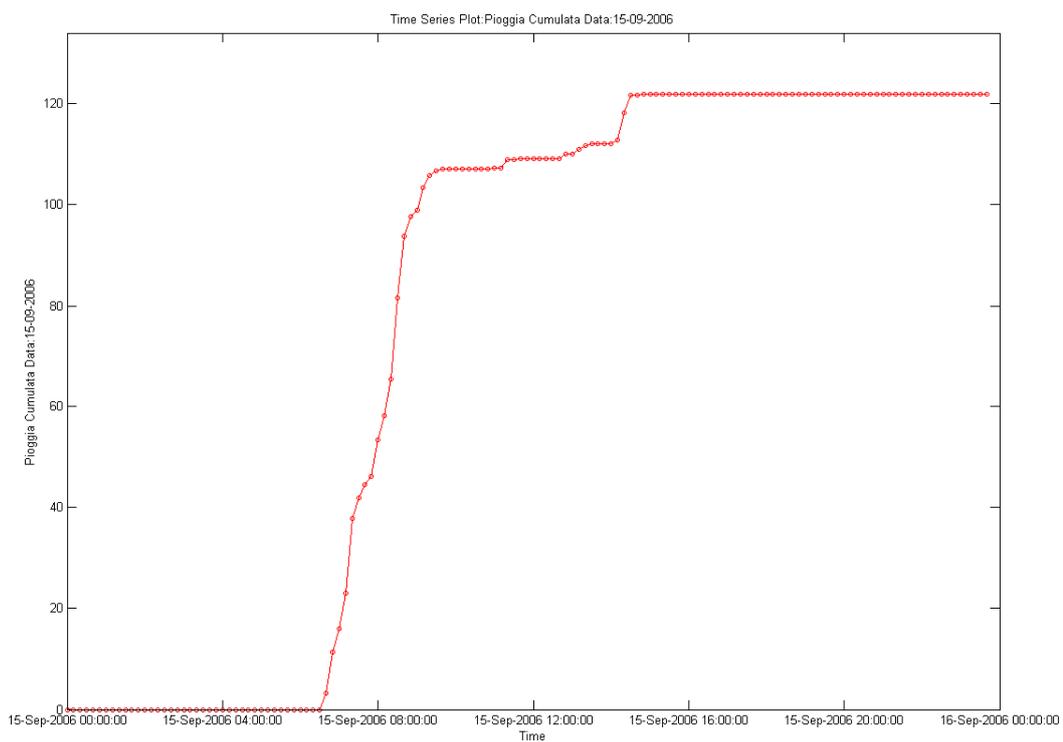


### PERIODO PRECEDENTE

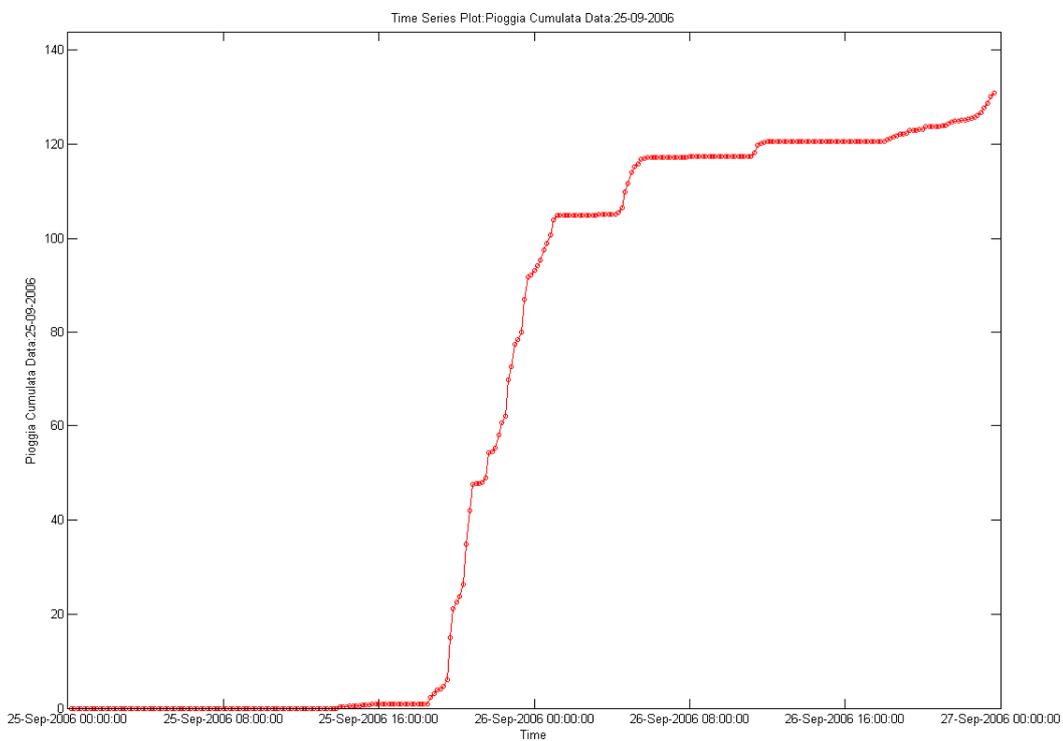


### CONFRONTO EVENTI 15-26 SETTEMBRE

## 25 settembre 2006 (cont)

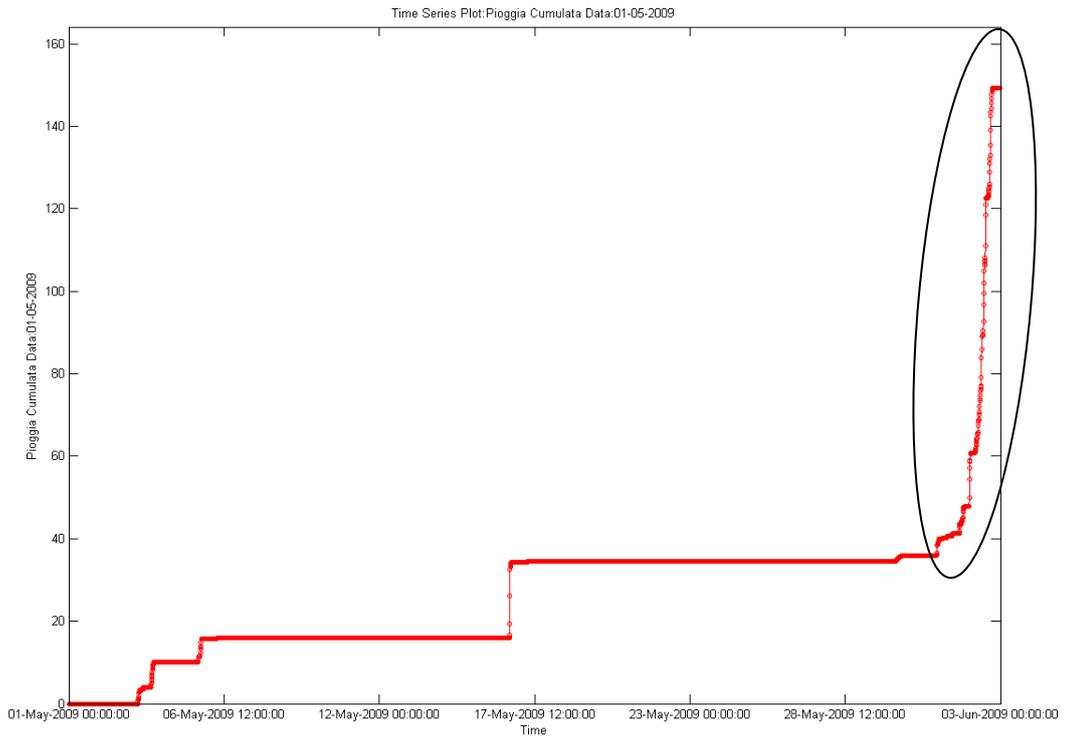


### DETTAGLIO EVENTO (15 SETTEMBRE)

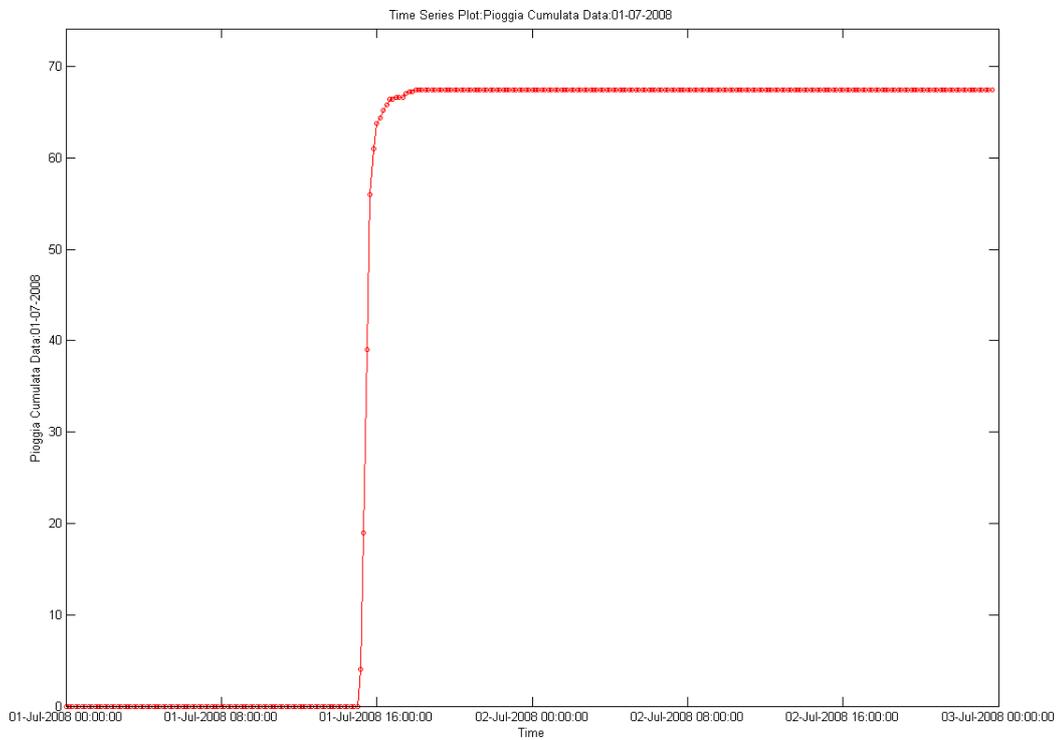


### DETTAGLIO EVENTO (26 SETTEMBRE)

# 1 Luglio 2008

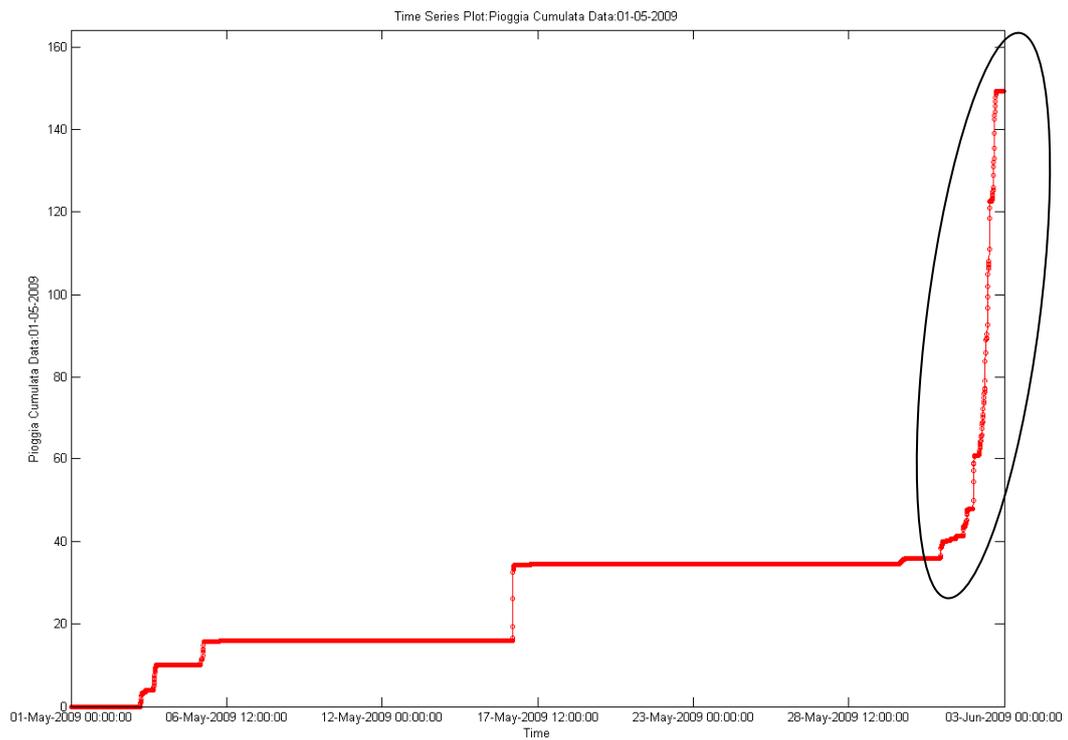


## PERIODO PRECEDENTE

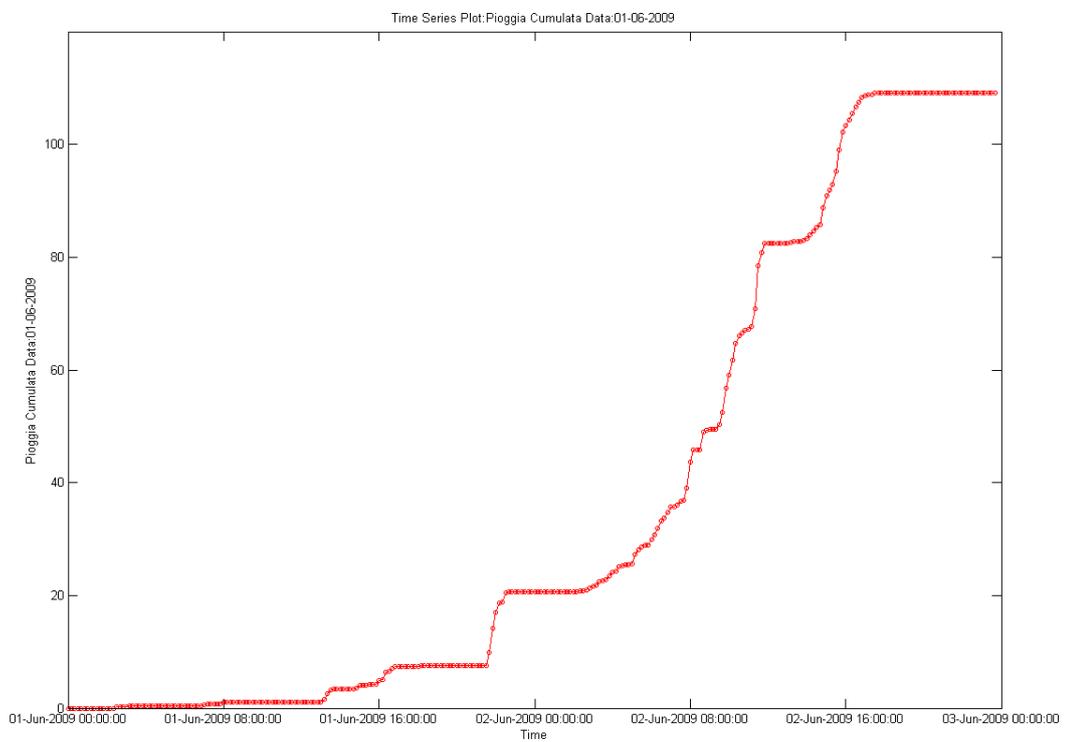


## DETTAGLIO EVENTO

# 1 Giugno 2009

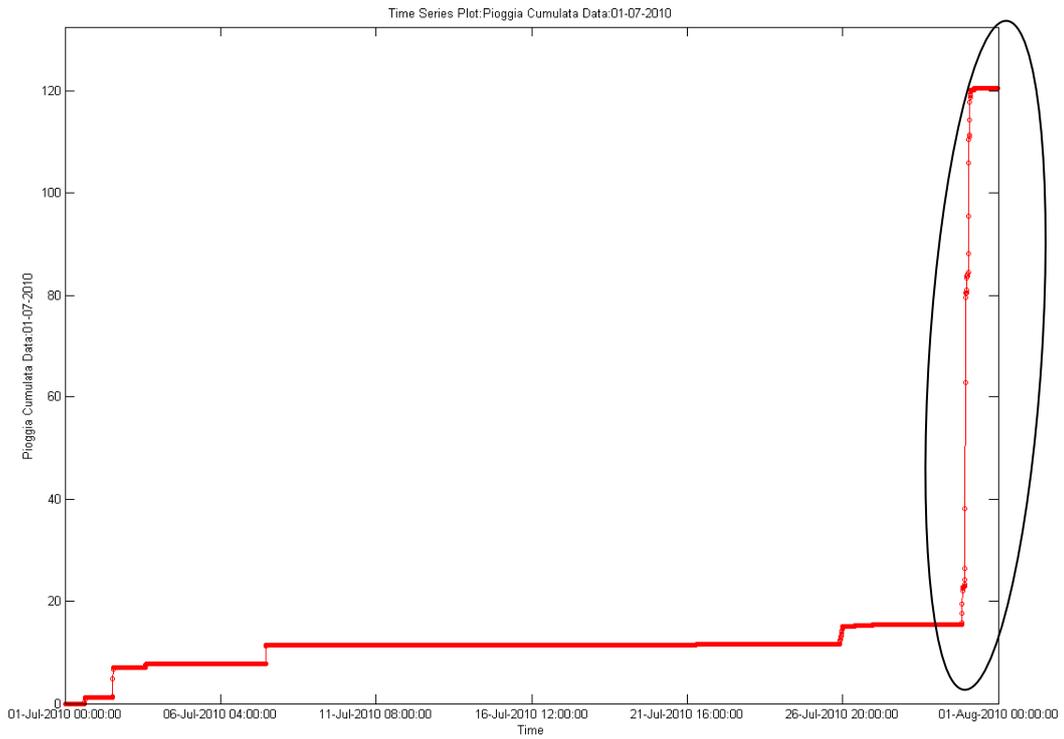


## PERIODO PRECEDENTE

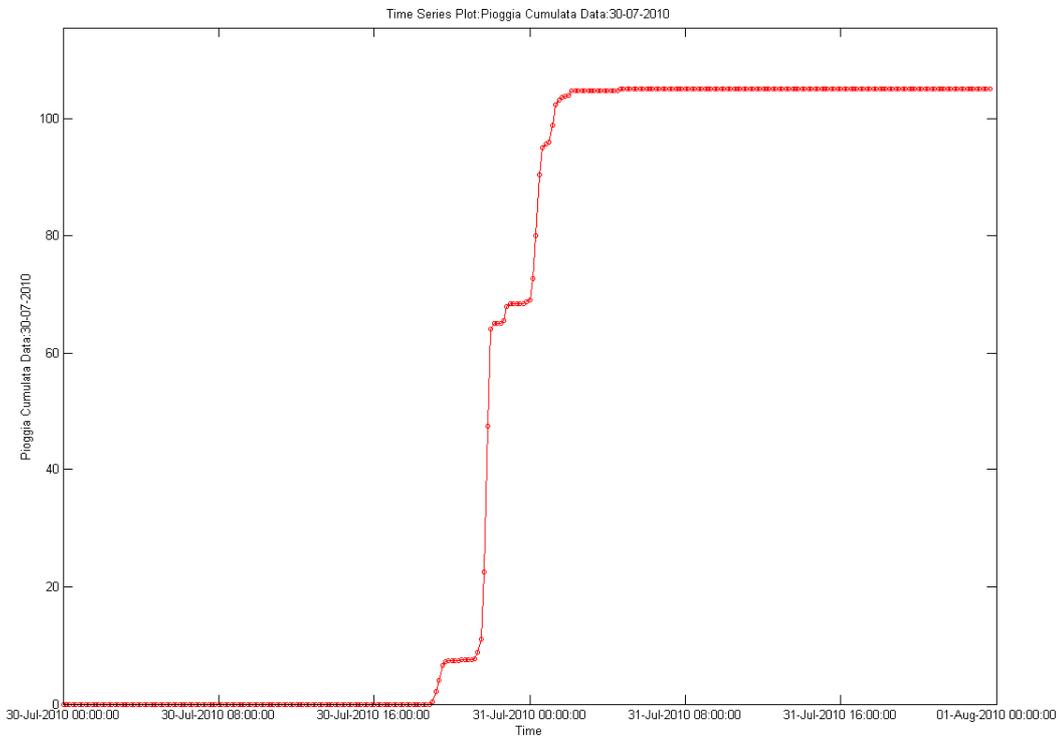


## DETTAGLIO EVENTO

# 30 Luglio 2010

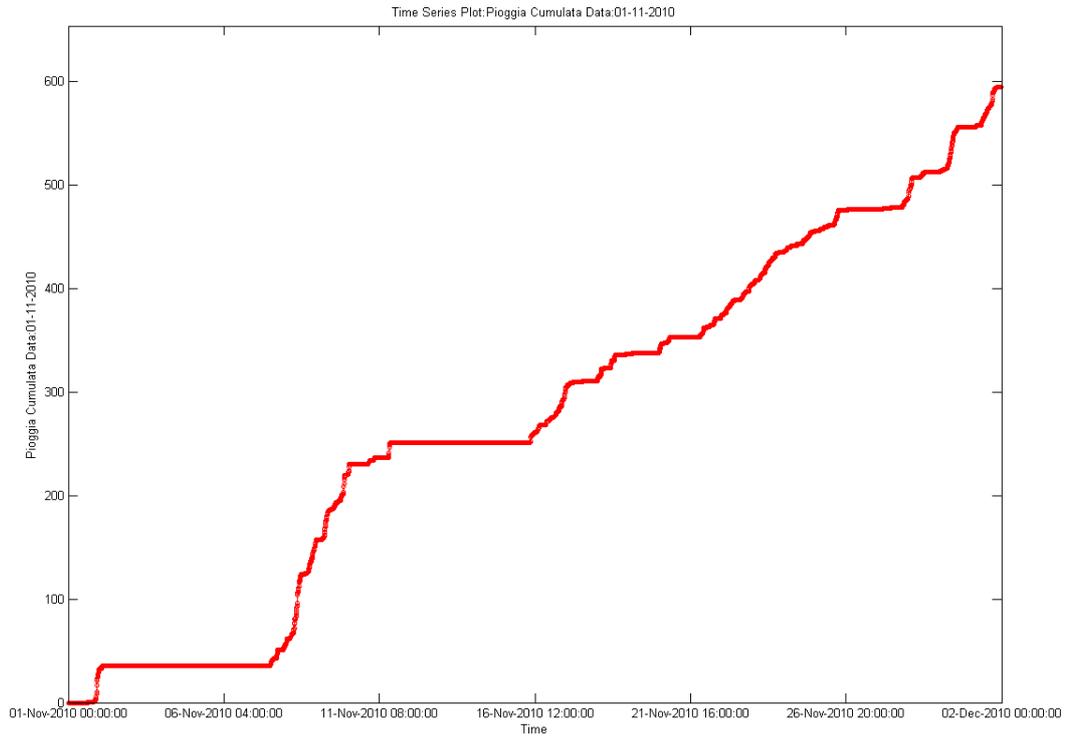


## PERIODO PRECEDENTE



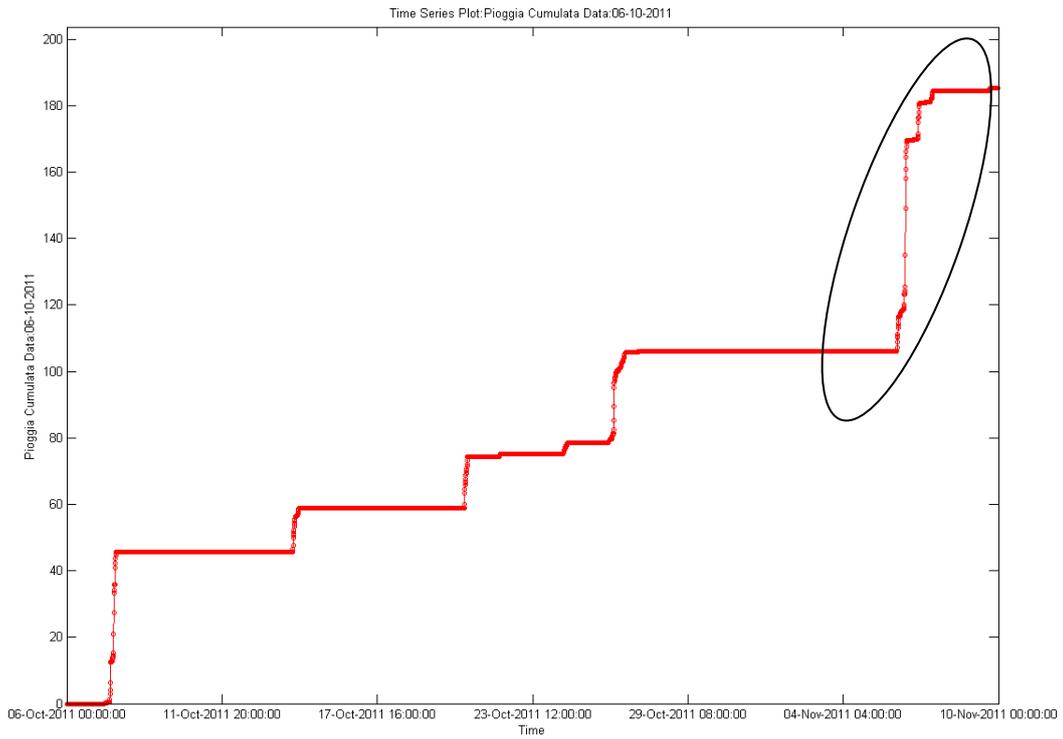
## DETTAGLIO EVENTO

## Novembre 2010

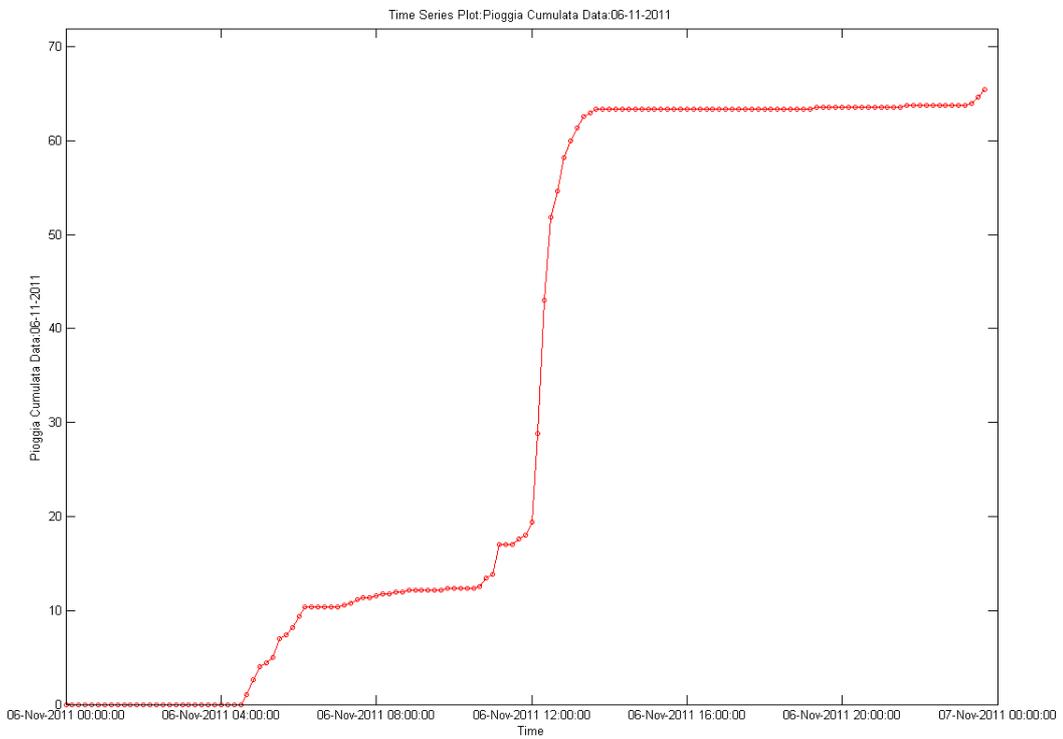


DETTAGLIO EVENTO

## 6 novembre 2011

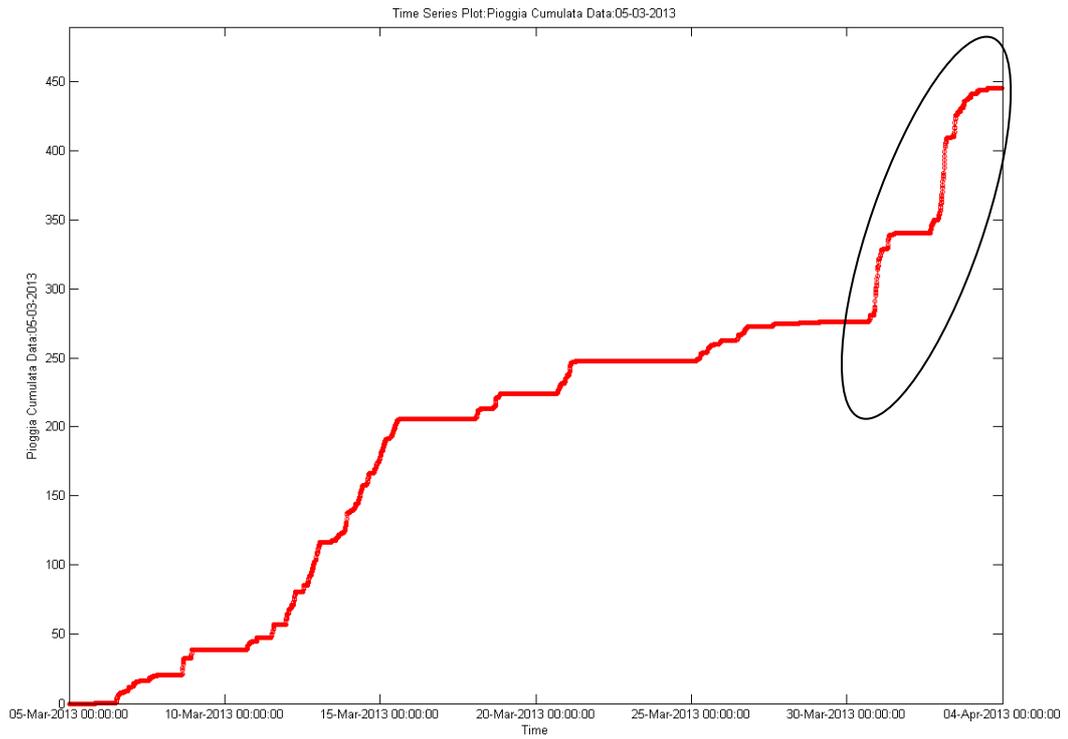


### PERIODO PRECEDENTE

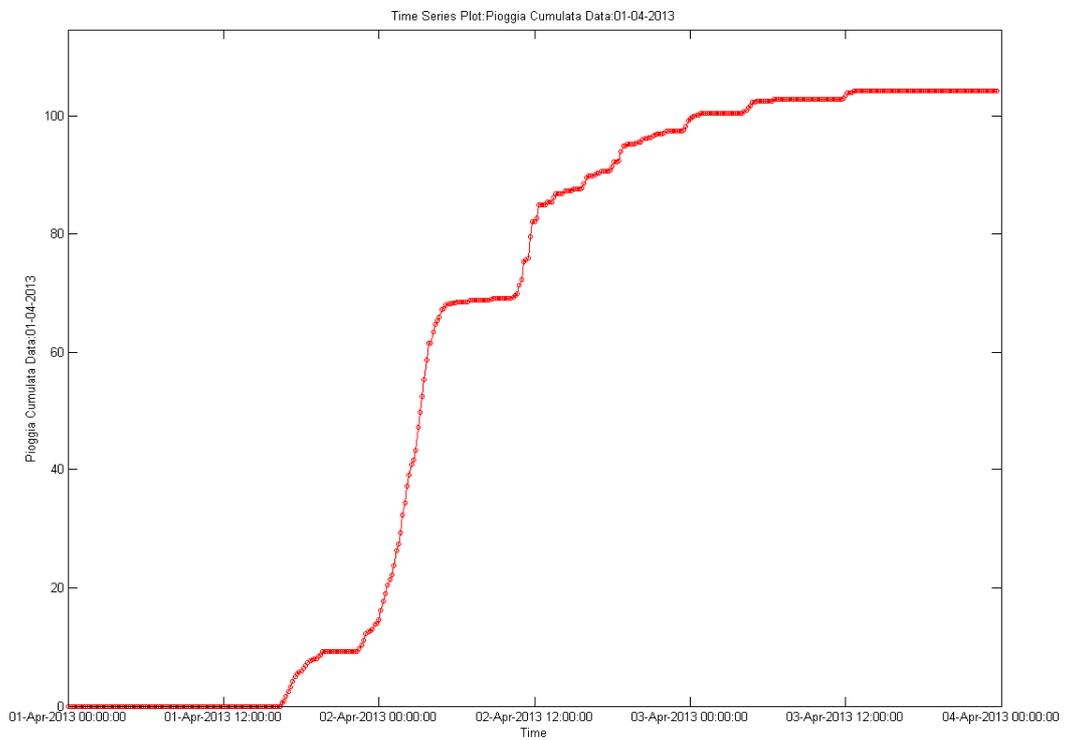


### DETTAGLIO EVENTO

## 02 Aprile 2013

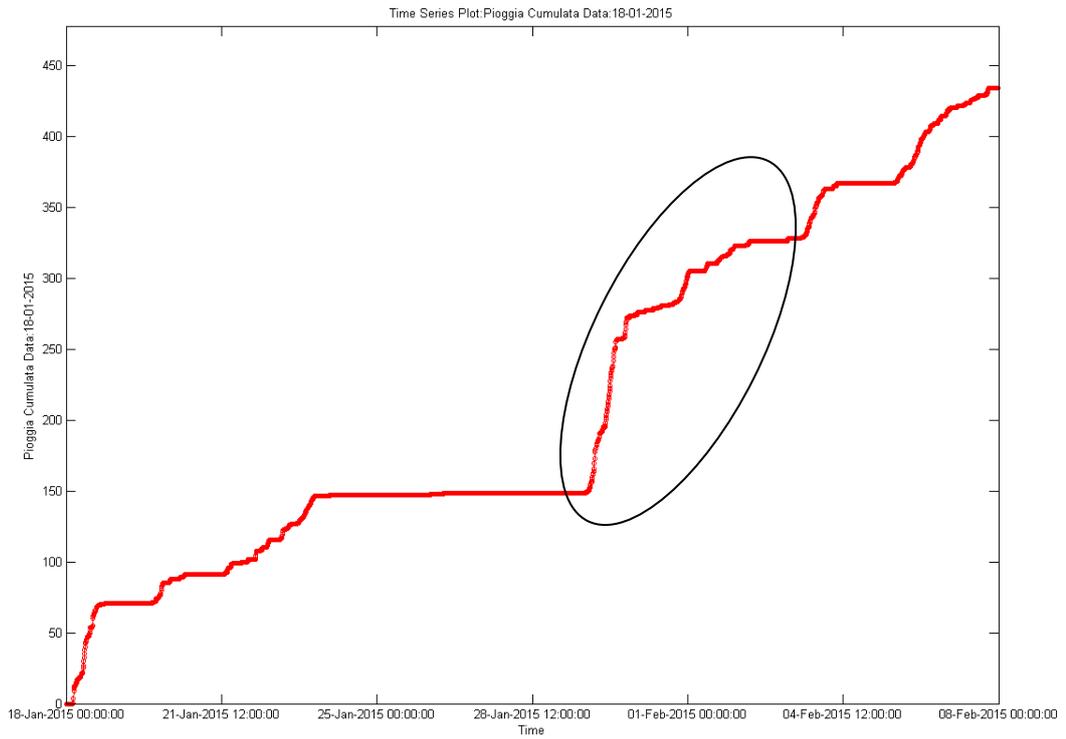


### PERIODO PRECEDENTE

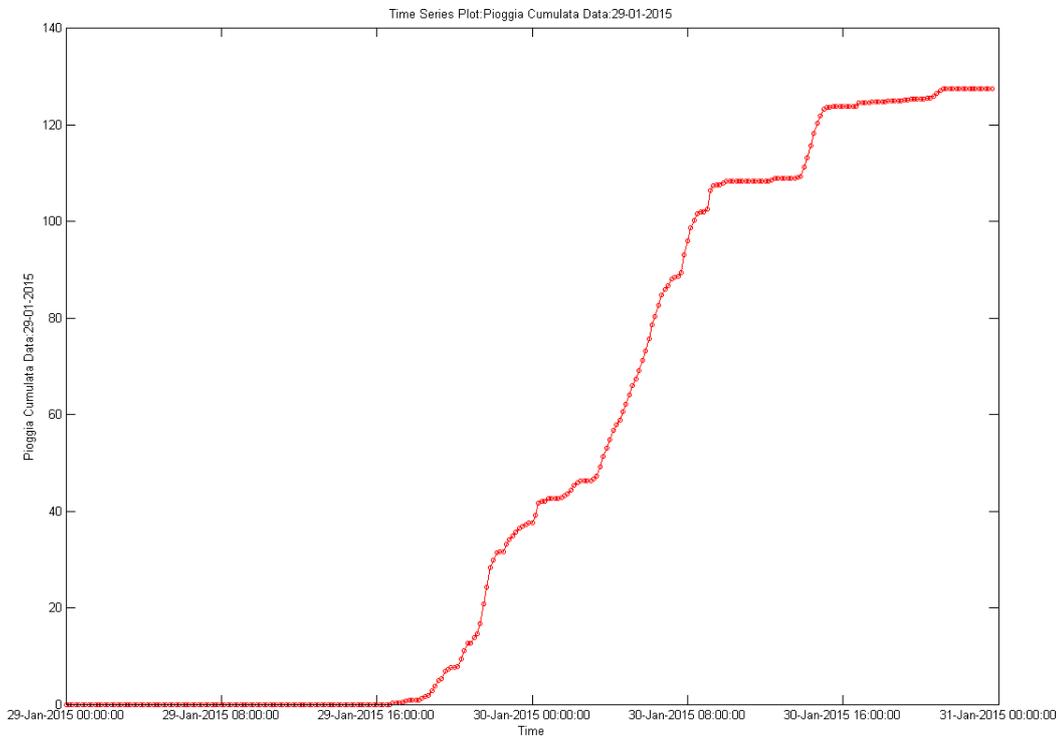


### DETTAGLIO EVENTO

## 29 Gennaio 2015 e gg. seguenti

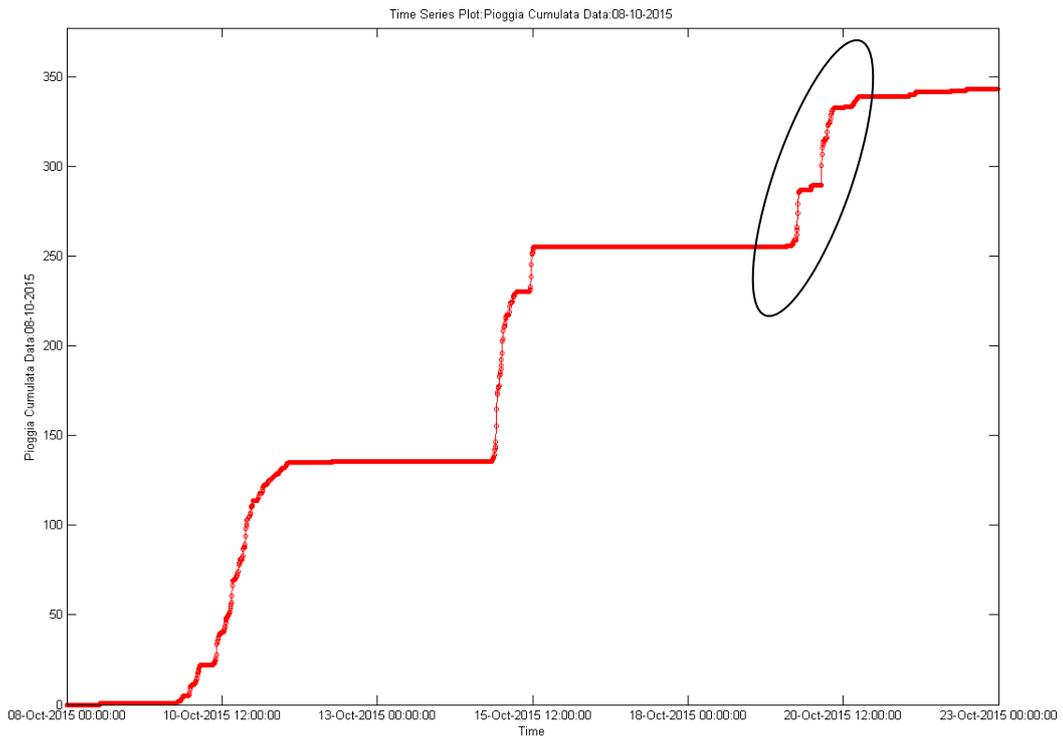


### PERIODO PRECEDENTE

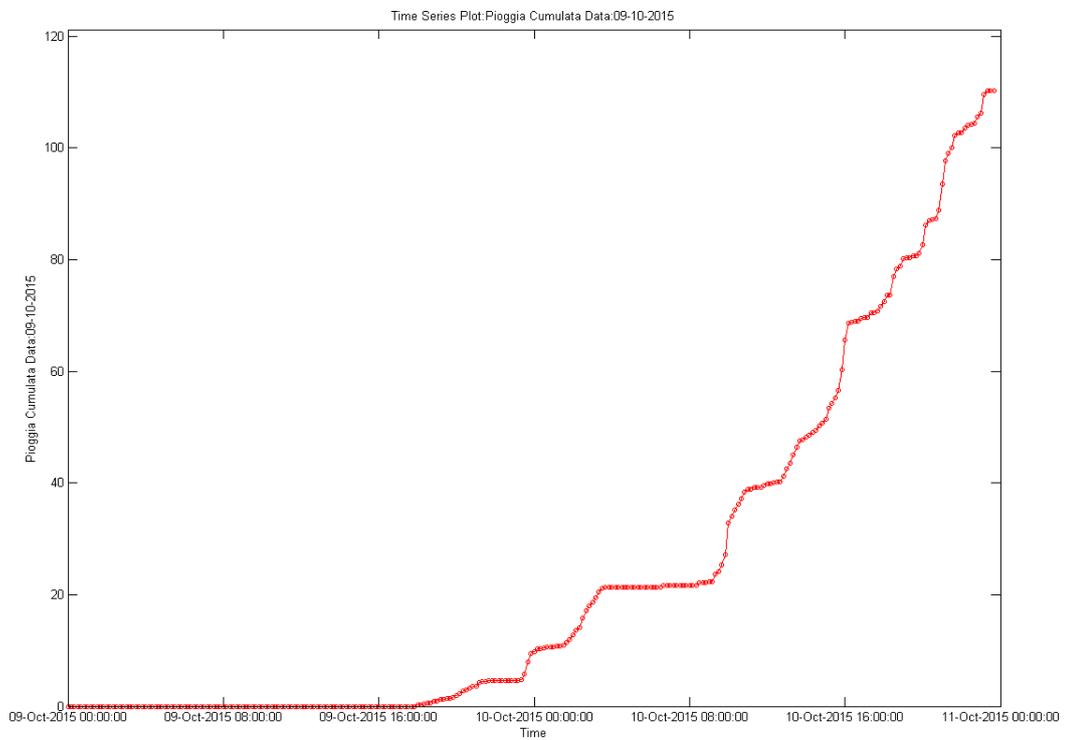


### DETTAGLIO EVENTO PRINCIPALE

## 19 ottobre 2015

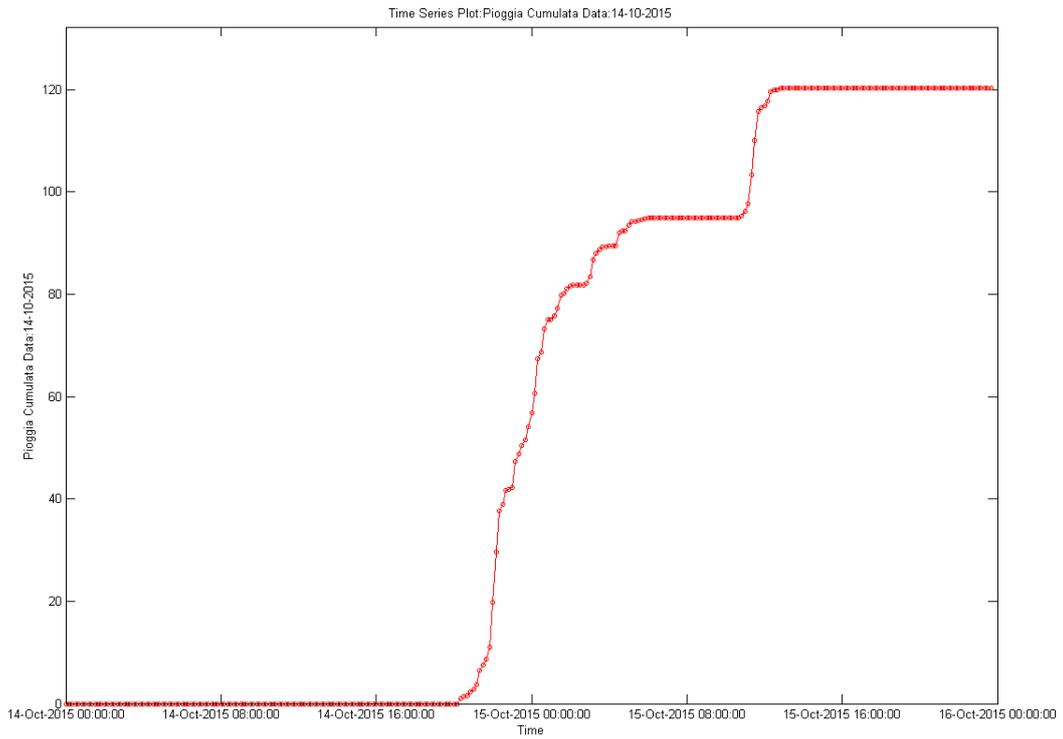


### PERIODO PRECEDENTE

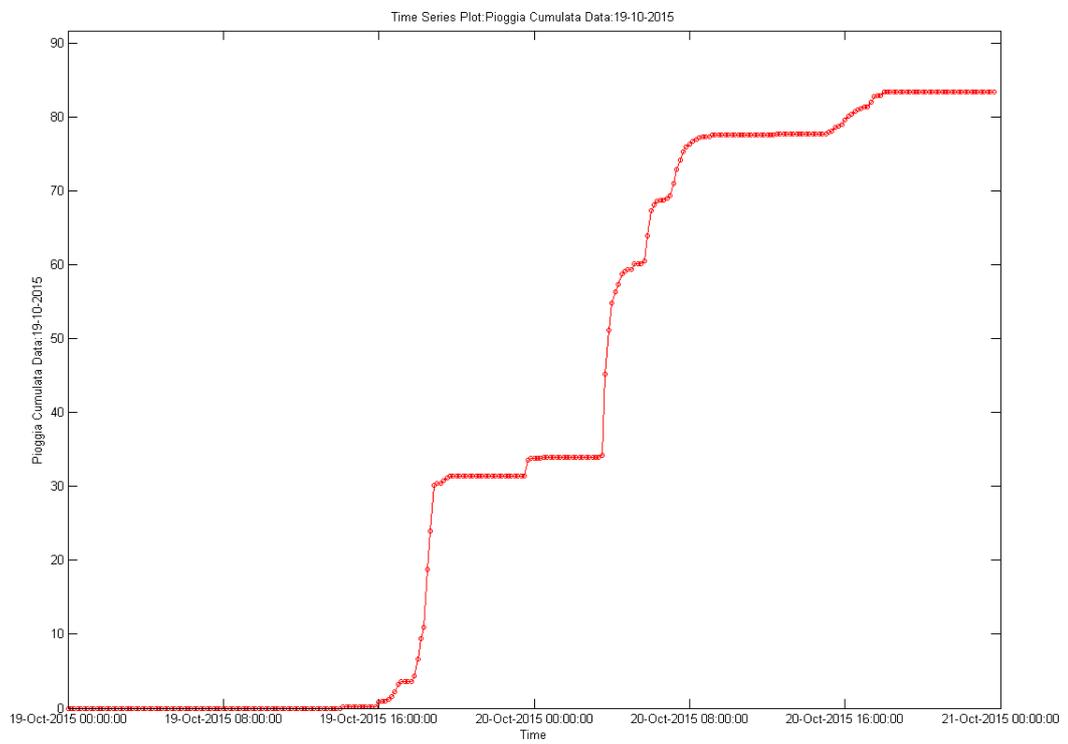


### DETTAGLIO EVENTO (9 OTTOBRE)

## 19 ottobre 2015 (cont)



### DETTAGLIO EVENTO (14 OTTOBRE)



### DETTAGLIO EVENTO (19 OTTOBRE)

DETTAGLIO TAVOLE RILIEVO *LiDAR* UTILIZZATE

<i>FID</i>	<i>tavola</i>	<i>contratto</i>	<i>data</i>	<i>rilievo</i>
0	D40871470_0101	145	100921 - 100922 - 101115 - 101217	nadirale
1	D40871471_0101	145	100922 - 101115 - 101217	nadirale
2	D40871472_0101	145	100922 - 101115 - 101205 - 101217	nadirale
3	D40871473_0101	145	100922 - 101115 - 101205 - 101217	nadirale
4	D40871474_0101	145	101205 - 101217	nadirale
5	D40871475_0101	145	101205 - 101217 - 101219	nadirale
6	D40871476_0101	145	101115 - 101205 - 101217 - 101219	nadirale
7	D40861470_0101	145	100921 - 100922 - 101115 - 101217	nadirale
8	D40861471_0101	145	100921 - 100922 - 101115 - 101217	nadirale
9	D40861472_0101	145	100922 - 101115 - 101217	nadirale
10	D40861473_0101	145	100922 - 101115 - 101217	nadirale
11	D40861474_0101	145	100922 - 101205 - 101217	nadirale
12	D40861475_0101	145	100922 - 101205 - 101217 - 101219	nadirale
13	D40861476_0101	145	101115 - 101205 - 101217 - 101219	nadirale
14	D40851469_0101	145	100921 - 101115	nadirale
15	D40851470_0101	145	100921 - 100922	nadirale
16	D40851471_0101	145	100921 - 100922 - 101115 - 101217	nadirale
17	D40851472_0101	145	100922 - 101115 - 101217	nadirale
18	D40851473_0101	145	100922 - 101217	nadirale
19	D40851474_0101	145	100922 - 101217	nadirale
20	D40851475_0101	145	100922 - 101217	nadirale
21	D40851476_0101	145	100922 - 101115 - 101217 - 101219	nadirale
22	D40851477_0101	145	100922 - 101105 - 101115 - 101217 - 101219	nadirale
23	D40841470_0101	145	100921	nadirale
24	D40841471_0101	145	100921 - 100922	nadirale
25	D40841472_0101	145	100922	nadirale
26	D40841473_0101	145	100922 - 101217	nadirale
27	D40841474_0101	145	100922 - 101217	nadirale
28	D40841475_0101	145	100922 - 101217	nadirale
29	D40841476_0101	145	100922 - 101217 - 101219	nadirale
30	D40841477_0101	145	100922 - 101105 - 101115 - 101217 - 101219	nadirale
31	D40831470_0101	145	100921	nadirale
32	D40831471_0101	145	100921 - 100922	nadirale
33	D40831472_0101	145	100921 - 100922	nadirale
34	D40831473_0101	145	100922	nadirale
35	D40831474_0101	145	100922	nadirale

## ALLEGATI

## RELAZIONE IDROLOGICA



## INDICE

1. – INTRODUZIONE	1
2. – VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA	2
2.1. - Valutazione del fattore regionale di crescita	2
2.2. - VALUTAZIONE DELLA PIENA MEDIA ANNUA $\mu(Q)$	3
2.2.1. - Il modello geomorfoclimatico	3
2.2.2. - La legge di probabilità pluviometrica areale	4
2.2.3 - I parametri del modello geomorfoclimatico	7
3. – RISULTATI	9

## 1. - INTRODUZIONE

Con la presente relazione si descrive il modello idrologico per la valutazione della massima portata di piena nelle sezioni di chiusura dei bacini idrografici minori che coprono l'intera conca che costituisce il comune di Forino e quindi il la porzione di territorio oggetto di studio.

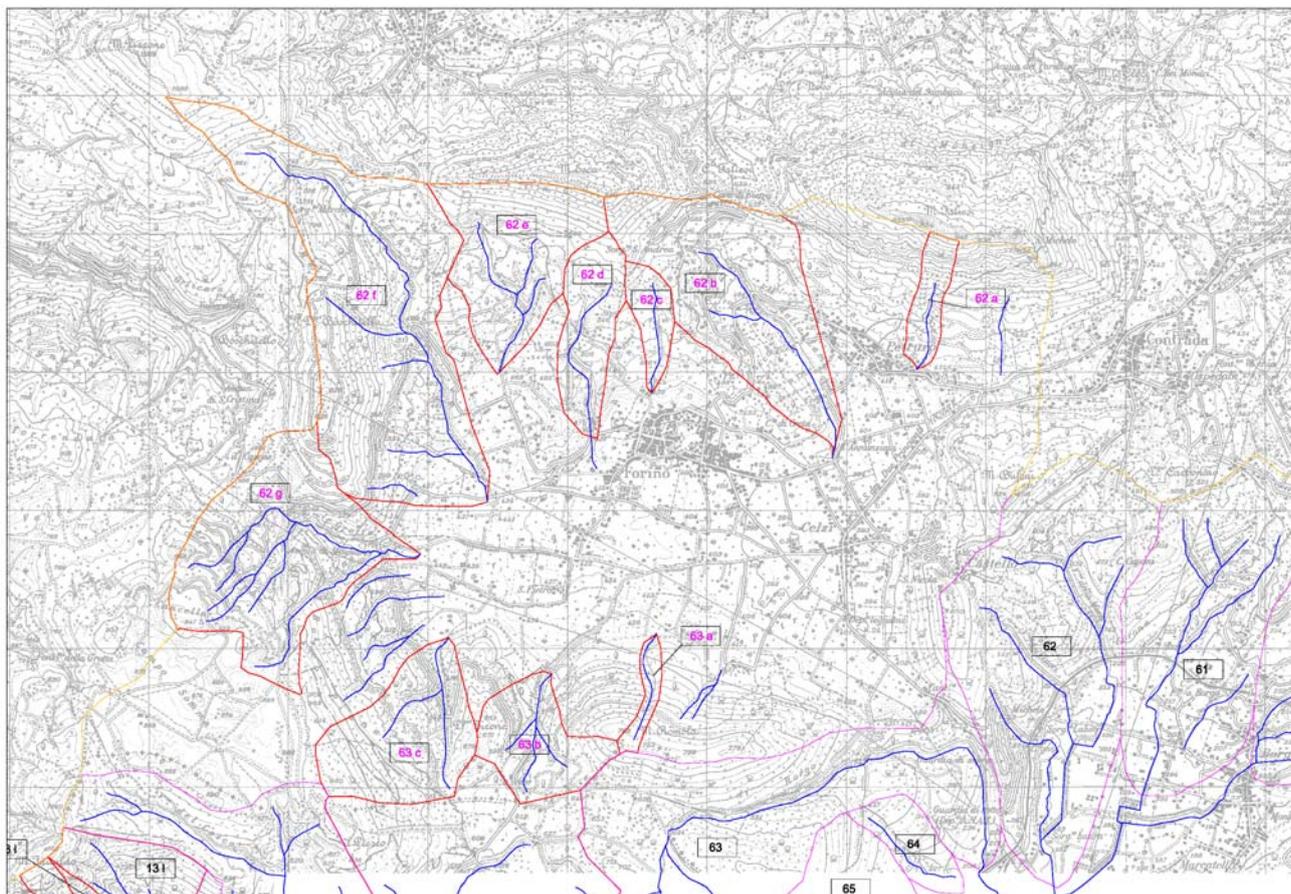


Fig. 1 – area oggetto di studio con indicazione dei Bacini idrografici

La valutazione della massima portata di piena è stata effettuata utilizzando la metodologia sviluppata dal progetto Valutazione delle Piene in Italia (VAPI) sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) i cui risultati relativi alla Regione Campania sono contenuti nel Rapporto del 1994 a cura di Fabio Rossi e Paolo Villani.

La metodologia adottata nel progetto VAPI fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali delle portate di piena, sicché non esiste un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore della portata di piena viene associato una probabilità che si verifichino eventi di piena con valori superiori. Per ridurre le incertezze legate alla presenza di eventi estremi molto rari in ogni singolo punto ed alla variabilità da sito a sito del valore indice della piena, nel VAPI si adotta una metodologia di analisi regionale che si avvale anche di modelli concettuali di formazione dei deflussi di piena a partire dalle precipitazioni intense sul bacino. Tale approccio

consente di utilizzare non solo tutta l'informazione idrometrica ma anche tutta quella pluviometrica, posseduta su un dato territorio.

In particolare, viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) che interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma spesso catastrofici.

## 2. – VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA

La procedura di regionalizzazione dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene mostra che il rapporto fra il valore con generico rischio di una variabile ed il valore indice (o media), detto coefficiente probabilistico di crescita, assume una legge di variazione con il rischio unica per l'intera regione.

Indicando allora con Q il massimo annuale della portata al colmo e con T il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena  $Q_T$  corrispondente al prefissato periodo di ritorno T, può essere valutata come:

$$Q_T = K_T m(Q)$$

dove:

- $m(Q)$  = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice).
- $K_T$  = fattore probabilistico di crescita.

### 2.1. - Valutazione del fattore regionale di crescita.

L'indagine regionale per la determinazione della legge regionale di crescita con il periodo di ritorno  $K_T(T)$ , svolta nel Rapporto VAPI Campania, ha condotto alla seguente relazione :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp\left(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*}\right)}$$

in cui:

$$\theta_* = 2.634;$$

$$\Lambda_* = 0.350;$$

$$\Lambda_1 = 13;$$

$$\eta = 0.5772 + \ln(\Lambda_1) - T_0 = 3.901;$$

$$T_0 = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^{j-1} \Lambda_*^j \Gamma(j/\theta^*)}{j!}.$$

I valori di  $K_T$  corrispondenti ai diversi periodi di ritorno considerati nei calcoli idrologici sono riportati nelle tabelle di seguito allegate.

*Tabella  $K_T$  – VAPI Campania*

<i>T (anni)</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>300</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>
<i><math>K_T</math></i>	<i>1.63</i>	<i>2.03</i>	<i>2.35</i>	<i>2.61</i>	<i>3.07</i>	<i>3.53</i>	<i>3.83</i>	<i>4.15</i>	<i>4.52</i>

## **2.2. - Valutazione della piena media annua $m(Q)$ .**

La piena media annua  $m(Q)$  è caratterizzata da una elevata variabilità spaziale che può essere spiegata, almeno in parte, ricorrendo a fattori climatici e geomorfologici.

È dunque in genere necessario ricostruire modelli che consentano di mettere in relazione  $m(Q)$  con i valori assunti da grandezze caratteristiche del bacino.

In questa sede la piena media annua viene valutata con parametri che tengano conto delle precipitazioni massime sul bacino e delle caratteristiche geomorfologiche (modello geomorfoclimatico).

### **2.2.1. - Il modello geomorfoclimatico.**

Ad eventi di pioggia brevi ed intensi corrispondono, di solito, deflussi di piena nella sezione terminale del bacino dovuti essenzialmente allo scorrimento delle acque sui versanti e nei canali della rete idrografica.

Il bilancio idrologico di un bacino durante i fenomeni di piena può, pertanto, essere schematizzato considerando che fra i volumi in ingresso e quelli in uscita si stabilisce una relazione per effetto di una concomitante trasformazione dei due sottosistemi da cui è costituito il bacino:

- sui versanti, un'aliquota delle precipitazioni totali viene persa a causa del fenomeno dell'infiltrazione e quindi ai fini del bilancio di piena nella sezione finale contribuisce soltanto una parte delle precipitazioni totali, definita pioggia "efficace";

- nella rete idrografica, l’aliquota delle piogge efficaci derivante dai versanti viene invasata e trasportata alla sezione di sbocco a costituire l’idrogramma di piena, che si manifesta con un certo ritardo nei confronti del pluviogramma che lo ha causato.

Per definire l’effetto dei versanti sulla determinazione della pioggia “efficace” si definisce il coefficiente di afflusso di piena  $C_f$ , rapporto tra i volumi di piena e le precipitazioni totali sul bacino in un prefissato intervallo di tempo.

Per tenere conto del ritardo con cui l’idrogramma di piena si manifesta nella sezione di chiusura di un bacino rispetto al pluviogramma che lo ha determinato, è necessario definire una funzione di risposta del bacino stesso ad un ingresso impulsivo unitario detto anche idrogramma unitario istantaneo o IUH.

La relazione per il calcolo della piena indice con il modello geomorfoclimatico può essere scritta come:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)] \cdot A}{3.6}$$

in cui:

- $t_r$  = tempo di ritardo del bacino, in ore;
- $C_f$  = coefficiente di deflusso, caratteristico del bacino;
- $A$  = area del bacino, in  $\text{km}^2$ ;
- $q$  = coefficiente di attenuazione del colmo di piena;
- $m[I_A(t_r)]$  = media del massimo annuale dell’intensità di pioggia areale di durata pari al tempo di ritardo  $t_r$  del bacino, in mm/ora.

### 2.2.2. - La legge di probabilità pluviometrica areale.

La legge di probabilità pluviometrica areale consente di conoscere come varia la media del massimo annuale dell’altezza di pioggia  $m[h_A(d)]$  in funzione della durata  $d$  e dell’area del bacino  $A$ .

Nota la legge  $m[h_A(d)]$ , è possibile definire la media dei massimi annuali dell’intensità di pioggia areale come:

$$m[I_A(d)] = m[h_A(d)]/d$$

La metodologia comunemente impiegata consiste nell’ottenere la media del massimo annuale dell’altezza di pioggia areale  $m[h_A(d)]$  dalla media del massimo annuale dell’altezza di pioggia puntuale  $m[h(d)]$  attraverso un fattore di ragguaglio noto come fattore di riduzione areale  $K_A(d)$  come:

$$m [h_A(d)] = K_A(d) m[h(d)].$$

*La legge di probabilità pluviometrica.*

Per la stima della legge di probabilità pluviometrica, che definisce appunto la variazione della media del massimo annuale dell'altezza di pioggia con la durata, il Rapporto VAPI Campania fa sostanzialmente riferimento a leggi a quattro parametri del tipo:

$$m[h(d)] = \frac{m[I_0] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta}$$

in cui:

- $\beta = C + D Z$ ;
- $m[I_0]$  rappresenta il limite dell'intensità di pioggia per  $d$  che tende a 0.

Nel Rapporto VAPI Campania i parametri della suddetta legge sono stati determinati attraverso una procedura di stima regionale utilizzando:

- i massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore;
- le altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Il bacino di interesse sito nel Comune di Cava de' Tirreni ricade all'interno della zona pluviometrica omogenea A1 del VAPI Campania.



Nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri della legge intensità-durata per la sottozona omogenea di interesse.

Zona A1 VAPI Campania

$M[I_0]$ (mm/h)	$d_c$ (h)	$C$	$D$ ( $m^{-1}$ )
77.08	0.3661	0.7995	$-3.6077 \times 10^{-5}$

*Il fattore di riduzione areale.*

Il fattore di riduzione areale viene ritenuto costante al variare del periodo di ritorno, e pari a:

$$K_A(d) = 1 - \left[ (1 - \exp(-c_1 \cdot A)) \cdot \exp(c_2 \cdot d^{c_3}) \right]$$

con:

- A = area del bacino, in  $km^2$ ;
- $c_1 = 0.0021$ ;
- $c_2 = 0.53$ ;
- $c_3 = 0.25$ .

### 2.2.3 - I parametri del modello geomorfoclimatico.

Nel Rapporto VAPI Campania è stato mostrato che, dal punto di vista della permeabilità dei litotipi affioranti, durante i fenomeni di piena si possono essenzialmente individuare due complessi idrogeologici: il primo, ad alta permeabilità, comprende tutte le rocce carbonatiche intensamente fratturate; il secondo comprende tutti gli altri litotipi, a cui si attribuisce mediamente una permeabilità nettamente minore che per le rocce carbonatiche del primo tipo.

La metodologia proposta dal VAPI Campania per la valutazione dei parametri del modello geomorfoclimatico, e cioè del coefficiente di afflusso di piena  $C_f$  e del tempo di ritardo del bacino  $t_r$ , assume dunque alla base la suddivisione di ogni bacino in due complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico:

- le aree permeabili, indicate con  $A_1$ ;
- le aree impermeabili, indicate con  $A_2$ ;

#### *Il coefficiente di deflusso di piena $C_f$*

Dato il significato del coefficiente di deflusso, l'ipotesi più semplice per la sua stima consiste nell'assumere che esista un valore di  $C_f$  per ogni singolo complesso omogeneo e nel considerare il valore globale come la media pesata di tali valori caratteristici.

Con la suddivisione in due complessi omogenei si ha:

$$C_f = C_{f1} \frac{A_1}{A} + C_{f2} \frac{A_2}{A}$$

dove:

- $C_{f1}$  = coefficiente di afflusso dell'area permeabile = 0.13;
- $C_{f2}$  = coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0.60.

Nel caso oggetto di studio, l'area in esame è praticamente impermeabile essendo il bacino caratterizzato per circa 2/3 della sua estensione da una alternanza di conglomerati a matrice prevalente con ciottoli calcarei e cristallini, mentre la restante parte risulta essere costituita da sabbie e argille siltose. Ne deriva che il coefficiente di afflusso di piena assume il valore costante praticamente pari a circa 0.60

#### *Il tempo di ritardo $t_r$*

Nel caso di bacini eterogenei dal punto di vista idrogeologico, il tempo di ritardo può essere calcolato come media pesata del ritardo medio di ognuno dei complessi, ed in particolare, con la suddivisione in due complessi omogenei si ha:

$$t_r = \frac{C_{f1} \cdot A_1}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \sqrt{A_1} + \frac{C_{f2} \cdot A_2}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \sqrt{A_2}$$

dove:

- $c_1$  = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili = 0.25 m/s;
- $c_2$  = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1.70 m/s.

Come precisato al punto precedente l'area del bacino è praticamente impermeabile; ne deriva che la celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico assume il valore costante di 1.70 m/s.

#### *Il coefficiente di attenuazione del colmo di piena*

Il coefficiente di attenuazione del colmo di piena dipende in maniera complessa dalla forma della legge di probabilità pluviometrica e dalla risposta della rete idrografica e consente di tenere conto, tra l'altro, dell'errore che si commette nell'assumere che la durata critica del bacino, e cioè la durata della pioggia che causa il massimo annuale del colmo di piena, sia pari al tempo di ritardo  $t_r$  del bacino stesso. Esso può essere valutato, in prima approssimazione, come:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq n' = 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq n' = 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases}$$

in cui:

- $\beta = (C - D \cdot Z)$  e  $d_c$  sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica;
- $k_1$  è un coefficiente numerico pari a  $1.44 \cdot 10^{-4}$  se l'area  $A$  è espressa in  $\text{km}^2$  e il tempo di ritardo  $t_r$  in ore.

### 3. - RISULTATI

Nella tabelle seguenti sono descritti i risultati ottenuti applicando, ai bacini di interesse, la metodologia illustrata nei punti precedenti;

Le portate che si prendono a riferimento sono quelle indicate nello studio idrologico del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Sarno, in cui il calcolo delle portate di piena è stato condotto con i metodi illustrati nel Rapporto VAPI Campania ed in particolare con il modello geomorfoclimatico.

In particolare:

- è stata definita la legge di probabilità pluviometrica utilizzando i parametri stimati nell'ambito del Rapporto VAPI;
- note le caratteristiche geomorfologiche del bacino, sono stati definiti i parametri del modello geomorfoclimatico  $C_f$ , e  $t_f$ ;
- è stata infine valutata la piena media annua  $m(Q)$  e quindi la portata di piena con periodo di ritorno  $T= 100$  anni.

Caratterizzazione fisiografica dei bacini:

Bacino (Codice rif. fig. 1)	A	$Y_{max}$	$Y_{min}$	$Y_{med}$	L
	Area del sottobacino	Quota massima del sottobacino	Quota minima del sottobacino	Quota media del sottobacino	Lunghezza asta principale
	(Km <sup>2</sup> )	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m)
062a	0.21	946	425	638	661
062b	1.57	880	405	530	1899
062c	0.20	641	439	533	888
062d	0.49	750	427	540	1371
062e	0.99	880	460	628	1339
062f	2.87	1109	435	647	3519
062g	1.61	947	455	709	1954
063a	0.10	768	428	578	828
063b	0.55	767	450	594	919
063c	0.89	980	470	682	1149

Caratterizzazione geomorfologiche dei bacini montani:

Bacino (Codice rif. fig. 1)	A	A <sub>imp</sub>	A <sub>perm</sub>	% <sub>imp</sub>	% <sub>perm</sub>
	Area del sottobacino	Area impermeabile	Area permeabile	Percentuale impermeabile	Percentuale permeabile
	(Km <sup>2</sup> )	(Km <sup>2</sup> )	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(%)
062a	0.21	0.16	0.05	0.76	0.24
062b	1.57	1.37	0.20	0.87	0.13
062c	0.20	0.19	0.01	0.95	0.05
062d	0.49	0.48	0.02	0.97	0.03
062e	0.99	0.73	0.26	0.74	0.26
062f	2.87	2.32	0.55	0.81	0.19
062g	1.61	0.80	0.81	0.50	0.50
063a	0.10	0.08	0.02	0.80	0.20
063b	0.55	0.39	0.16	0.71	0.29
063c	0.89	0.42	0.47	0.47	0.53

Parametri della legge di probabilità pluviometrica dei bacini montani

VAPI CAMPANIA (zona A1)				
Bacino (Codice rif. fig. 1)	m[l <sub>0</sub> ]	d <sub>c</sub>	C	D
	(mm/ora)			
062a	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062b	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062c	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062d	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062e	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062f	77.10	0.3661	0.7995	0.000036077
062g	77.12	0.3660	0.7991	3.62306E-05
063a	83.80	0.3312	0.7031	0.000077381
063b	77.95	0.3617	0.7872	4.13339E-05
063c	78.46	0.3590	0.7800	4.44306E-05

Parametri del modello geomorfoclimatico				
c1	c2	Cf1	Cf2	K1
[m/s]	[m/s]			
0.25	1.70	0.13	0.60	1.44 *10 <sup>-4</sup>

Risultati del calcolo idrologico								
Bacino (Codice rif. fig. 1)	C <sub>f</sub>	t <sub>r</sub>	K <sub>A</sub>	m[l <sub>A</sub> (t <sub>r</sub> )]	β	m(Q)	K <sub>T</sub>	Q <sub>T=100</sub>
	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo	Coefficiente di riduzione areale	Media dell'intensità di pioggia areale		Portata media annua		
		ore		mm/ora		m <sup>3</sup> /s	[T=100]	m <sup>3</sup> /s
062a	0.49	0.10	1.000	64.30	0.7765	1.19	3.07	<b>3.65</b>
062b	0.54	0.25	0.998	51.19	0.7804	7.85	3.07	<b>24.09</b>
062c	0.58	0.09	1.000	64.95	0.7803	1.36	3.07	<b>4.17</b>
062d	0.58	0.14	0.999	59.74	0.7800	3.10	3.07	<b>9.52</b>
062e	0.48	0.21	0.999	53.95	0.7768	4.61	3.07	<b>14.15</b>
062f	0.51	0.35	0.996	45.81	0.7762	12.13	3.07	<b>37.23</b>
062g	0.36	0.38	0.998	44.56	0.7735	4.71	3.07	<b>14.46</b>
063a	0.51	0.06	1.000	74.48	0.6584	0.68	3.07	<b>2.09</b>
063b	0.46	0.16	0.999	58.69	0.7627	2.70	3.07	<b>8.29</b>
063c	0.35	0.29	0.999	50.13	0.7497	2.83	3.07	<b>8.70</b>

Portata centennale per Tr calcolato con la formula Rossi-Villani

Risultati del calcolo idrologico								
Bacino (Codice rif. fig. 1)	$C_f$	$t_r$	$K_A$	$m[I_A(t_r)]$	$\beta$	$m(Q)$	$K_T$	$Q_{T=100}$
	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo	Coefficiente di riduzione areale	Media dell'intensità di pioggia areale		Portata media annua		
		ore		mm/ora		$m^3/s$	[T=100]	$m^3/s$
062a	0.49	0.80	0.9997	31.26	0.7765	0.58	3.07	<b>1.78</b>
062b	0.54	1.41	0.9982	22.42	0.7804	3.44	3.07	<b>10.55</b>
062c	0.58	1.00	0.9998	27.65	0.7803	0.58	3.07	<b>1.78</b>
062d	0.58	1.20	0.9994	24.84	0.7800	1.29	3.07	<b>3.96</b>
062e	0.48	1.15	0.9988	25.50	0.7768	2.18	3.07	<b>6.69</b>
062f	0.51	1.61	0.9967	20.79	0.7762	5.50	3.07	<b>16.90</b>
062g	0.36	1.25	0.9981	24.38	0.7735	2.58	3.07	<b>7.91</b>
063a	0.51	0.87	0.9999	35.94	0.6584	0.33	3.07	<b>1.01</b>
063b	0.46	1.01	0.9993	28.22	0.7627	1.30	3.07	<b>3.99</b>
063c	0.35	1.10	0.9989	27.42	0.7497	1.55	3.07	<b>4.76</b>

Portata centennale per  $T_r$  calcolato con la formula Rossi

La portata di piena con periodo di ritorno  $T=100$  anni per i diversi bacini che compongono il complesso sistema della conca del Comune di Forino sono quelli riportati in tabella; tali valori saranno utilizzati per lo studio idraulico bidimensionale che consentirà di definire le aree allagabili con i diversi tiranti.