



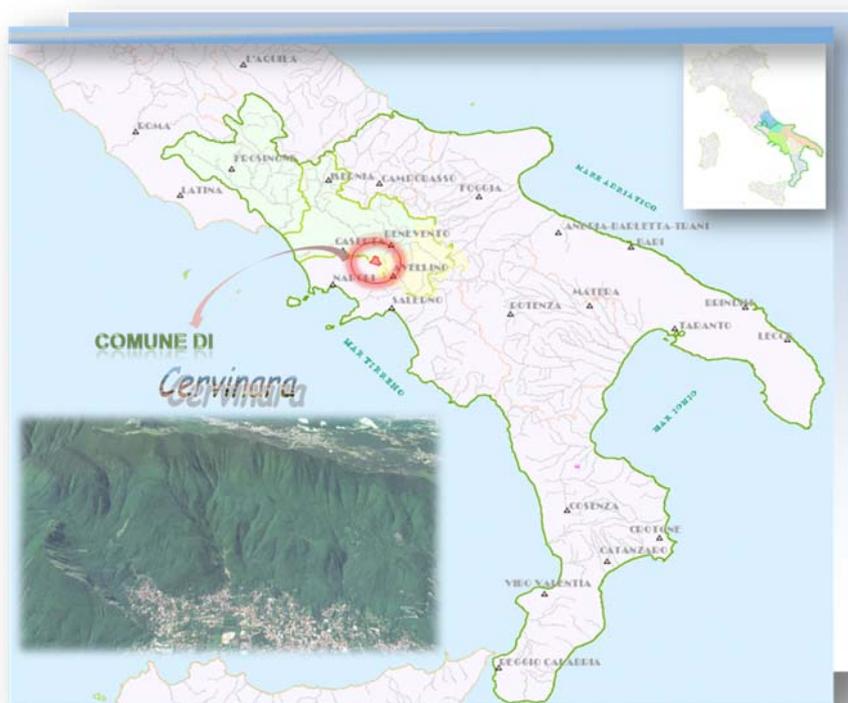
*Autorità di Bacino
dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno*



Comune di Cervinara
Provincia di Avellino

ACCORDO DI PROGRAMMA

*Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno
e
Comune di Cervinara*



MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO AL GOVERNO DEL TERRITORIO

Elaborato:

B.4.1	STUDI E ANALISI IDROLOGICHE E IDRAULICHE
Scala -	
Data GIU. 2013	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELL'ATTIVITA'

**AUTORITÀ DI BACINO
DEI FIUMI LIRI-GARIGLIANO E VOLTURNO
II R.U.P.
Segretario Generale Dott.ssa. Vera Corbelli**

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	METODOLOGIA	1
2.1	Struttura del sistema modellistico	1
2.2	Dati di input	2
2.3	Output	2
3.	CENSIMENTO DELLE OPERE IDRAULICHE	3
3.1	Fase di pianificazione delle attività	3
3.2	Fase di esecuzione in sito delle attività	5
3.3	Fase di elaborazione dei dati di campagna	6
3.4	Prime considerazioni sulle criticità riscontrate	9
4.	IDROGEOLOGIA E MONITORAGGIO DI POZZI E SORGENTI	11
4.1	Assetto idrogeologico generale dell'area oggetto di monitoraggio	11
4.2	Commento ai risultati del monitoraggio idrogeologico	12
5.	ANALISI IDROLOGICHE DI BASE	17
5.1	Elaborazioni cartografiche e individuazione dei bacini idrografici	17
5.2	Tempi di corrivazione	20
5.3	Dati di precipitazione	23
5.4	Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore	24
5.5	Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 5 giorni	30
5.6	Valutazione delle portate di piena con metodo cinematico	33
5.7	Dati di evapotraspirazione potenziale	35
6.	ANALISI CON MODELLO IDROLOGICO	36
6.1	Descrizione del codice di calcolo	37
6.1.1	Generalità	37
6.1.2	Applicazione del codice al caso in esame	39
6.2	Messa a punto del modello	41
6.2.1	Discretizzazione orizzontale	41
6.2.2	Discretizzazione temporale	43
6.2.3	Topografia	43
6.2.4	Input meteorico	44
6.2.5	Uso suolo - vegetazione	45
6.2.6	Deflusso superficiale	47
6.2.7	Deflusso nel reticolo idrografico superficiale	47
6.2.8	Deflusso nella zona insatura	49
6.2.9	Deflusso ipodermico e di base	50
6.3	Taratura e applicazione del modello idrologico	52
6.3.1	Simulazione dell'evento di piena del dicembre 1999	52
6.3.2	Simulazione degli eventi di piena di assegnato tempo di ritorno	55
6.4	Portate al colmo e idrogrammi di piena di riferimento per le analisi idrauliche	59

7.	ANALISI CON MODELLO IDRODINAMICO	59
7.1	Approccio metodologico	59
7.2	Messa a punto del modello idrodinamico monodimensionale	61
7.3	Costruzione della griglia di calcolo del modello numerico 2D	63
7.4	Parametri del modello 2D	64
7.5	Condizioni al contorno del modello 2D	65
7.6	Descrizione delle simulazioni e delle analisi idrauliche condotte con il modello 2D	65
7.7	Risultati dello scenario di taratura - simulazione SIM1	68
7.8	Risultati dello scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate - simulazione SIM2	70
7.9	Risultati dello scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate - simulazione SIM3	73
7.10	Risultati dello scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate - simulazione SIM4	76
7.11	Risultati dello scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate - simulazione SIM5	79
7.12	Pericolosità idraulica	82

- ALLEGATO 1 - Elaborazione probabilistica delle serie storiche dei dati di precipitazione della stazione di S.Martino Valle Caudina
- ALLEGATO 2 - Descrizione del codice di calcolo MIKE 11 - HD
- ALLEGATO 3 - Descrizione del codice di calcolo MIKE 21 - HD
- ALLEGATO 4 - Schede monografiche dei pozzi censiti
- ALLEGATO 5 - Schede monografiche delle sorgenti censite
- ALLEGATO 6 - Andamento grafico dei livelli piezometrici in relazione alle precipitazioni totali giornaliere (stazione di Cervinara)
- ALLEGATO 7 - Andamento grafico della portata delle sorgenti in relazione alle precipitazioni totali giornaliere (stazione di Cervinara)

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è l'analisi idrologico-idraulica a supporto alle attività di ripermetroazione delle aree a rischio idrogeologico ricadenti nel territorio comunale di Cervinara.

Nel paragrafo seguente viene sinteticamente descritta la metodologia seguita per l'analisi idrologica e il successivo studio idraulico, evidenziando le caratteristiche del sistema modellistico applicato, i dati di input utilizzati per alimentare tale sistema.

Nei successivi paragrafi sono presentati i risultati delle analisi condotte tra cui il censimento delle opere idrauliche, la messa a punto ed applicazione del modello idrologico per la generazione degli idrogrammi di portata da utilizzare per le verifiche idrauliche e infine la messa a punto ed applicazione del modello idrodinamico impiegato per la definizione delle aree a rischio di allagamento nel corso degli eventi di piena di riferimento.

L'attività di censimento delle opere idrauliche e delle loro caratteristiche specifiche è stata in particolare eseguita a supporto delle indagini idrologico-idrauliche. Scopo delle indagini è stato quello di rilevare la geometria degli attraversamenti per individuare le modalità di deflusso nell'area di pianura fortemente antropizzata ed eventuali criticità idrauliche in relazione ai flussi di piena. Tale attività è consistita in tre differenti fasi:

- preliminare di pianificazione delle attività;
- di rilievo in sito delle opere;
- di elaborazione dei dati raccolti comprendente la redazione di un data base delle opere censite.

2. METODOLOGIA

2.1 Struttura del sistema modellistico

I fenomeni idrologici e idrodinamici nell'area di Cervinara sono analizzati con un sistema di modelli numerici integrati così costituito.

- **MIKE SHE** - Modello idrologico che è stato allestito in assetto bidimensionale per la rappresentazione dei fenomeni nel circuito superficiale (afflussi liquidi/solidi, intercettazione e ruscellamento al suolo, evapotraspirazione, infiltrazione nell'insaturo) e con schematizzazione concettuale a serbatoi per la falda. Il deflusso nel reticolo di drenaggio è simulato nelle zone di testata dei bacini (tratti instabili e a forte pendenza) mediante formulazioni idrodinamiche semplificate implementate in MIKE SHE, mentre nei settori a reticolo stabile e definito verrà successivamente rappresentato mediante interfacciamento automatico con il codice MIKE 11 sotto descritto.
- **MIKE 11** - Modello idrodinamico monodimensionale. È stato integrato con MIKE SHE nella parte montana dei bacini, in base a sezioni ricostruite dal DEM disponibile e integrate con rilievi speditivi in campo. Nella zona di fondovalle alluvionabile è stato successivamente integrato con il codice MIKE 21 sotto descritto.
- **MIKE FLOOD** - Modello idrodinamico applicato alle aree di fondovalle esondabili prodotto dall'accoppiamento automatico di MIKE 11 (monodimensionale) con MIKE 21 (modello idrodinamico bidimensionale). Con MIKE 11 sono stati rappresentati in dettaglio i deflussi negli alvei incisi e attraverso le strutture in alveo, con MIKE 21 i deflussi di esondazione sulle aree golenali.

2.2 Dati di input

Il sistema di modelli è stato alimentato, per la messa a punto del modello idrologico e del modello idrodinamico, con i dati sotto indicati, che sono stati acquisiti con il maggior dettaglio disponibile.

- Precipitazioni a passo orario relative a eventi storici osservati e a scenari di progetto ricostruiti per analisi statistica. In funzione del dettaglio spaziale dei dati disponibili le serie pluviometriche sono state inputate in MIKE SHE in modalità puntuale, generando internamente mappe distribuite al passo di calcolo. Le strutture degli eventi di progetto sono state derivate da analisi probabilistiche dei dati storici di precipitazione intensa ricondotte agli schemi dei pluviogrammi più gravosi osservati e ad analisi di sensibilità rispetto alla durata degli eventi in rapporto ai tempi di corrivazione dei bacini. Sono stati analizzati eventi gravosi in termini di tempo di ritorno, secondo lo standard normalmente applicato per le analisi di piena finalizzate alla sicurezza idraulica del territorio, ma sono stati definiti anche curve pluviometriche per la caratterizzazione delle soglie di innesco dei fenomeni di dissesto sui versanti.
- Dati territoriali e fisiografici relativi ai versanti, da analisi territoriali delle coperture e della geomorfologia disponibili integrate dalle specifiche osservazioni di campo.
- Dati topografici relativi agli alvei e alle aree di fondovalle alluvionabili: le informazioni rese disponibili dai rilievi eseguiti sono state integrate con specifici rilievi speditivi di campo per la caratterizzazione geomorfologica del reticolo superficiale e per l'acquisizione degli elementi geometrici relativi alle opere idrauliche non desumibili dai rilievi pregressi.
- Rilievo digitale del terreno a celle di 2 m di lato utilizzato per la caratterizzazione della topografia del modello idrologico (MIKE SHE) e del modello idrodinamico bidimensionale (MIKE 21).
- Rilievo digitale del terreno a celle di 1 m di lato utilizzato per la caratterizzazione del reticolo idrografico superficiale inserito nel modello idrodinamico monodimensionale (MIKE 11).
- Uso del suolo con caratterizzazione in particolare del sistema agro-pedologico del territorio montano.

Per le verifiche di taratura dei modelli sono state utilizzate tutte le informazioni disponibili sulla dinamica dell'evento alluvionale del dicembre 1999 e sui relativi effetti.

2.3 Output

A partire dai dati di precipitazione e di evapotraspirazione potenziale MIKE SHE ha generato gli idrogrammi defluenti nel reticolo idrografico superficiale che sono stati successivamente interfacciati al modello idrodinamico.

I modelli idrodinamici (MIKE 11 accoppiato a MIKE SHE sui settori montani e MIKE FLOOD nei settori di fondovalle) forniscono le celerità e i tempi di traslazione delle onde di piena, i volumi idrici associati, gli effetti di laminazione dei colmi e di composizione degli idrogrammi alle confluenze, i livelli idrometrici negli alvei, i tiranti idrici, le direzioni/intensità di flusso e le velocità locali nelle aree esondabili (rappresentazioni distribuite e animate alla maglia di calcolo di MIKE 21, in ogni istante della simulazione e mappe involuppo dei valori massimi dei parametri sopra elencati).

Le mappature distribuite dei parametri in output a MIKE FLOOD hanno consentito la delimitazione e classificazione in base al grado di rischio delle aree critiche per effetto di fenomeni alluvionali prodotti dalle portate liquide, condizionate dai fenomeni morfologici quali ostruzioni temporanee, trasporto solido, sovrapposizione a modificazioni del terreno prodotte da frane/colate. Non è invece possibile con i modelli

sopra citati simulare l'evoluzione integrata di onde di piena con fenomeni di trasporto di massa dell'entità delle colate rapide.

3. CENSIMENTO DELLE OPERE IDRAULICHE

3.1 Fase di pianificazione delle attività

In fase di pianificazione è stata dedicata particolare attenzione all'organizzazione ed all'analisi delle informazioni e della documentazione disponibile nell'ottica di ottimizzare e standardizzare i successivi rilievi in sito.

In primo luogo sono stati esaminati gli studi redatti a seguito dell'evento del dicembre 1999 ed in particolare i seguenti elaborati:

- cartografia degli scenari di rischio con ubicazione di opere idrauliche, briglie, tratti tombati ed indicazioni sui tratti artificializzati;
- Cartografia dei danni rilevati sul patrimonio architettonico a seguito dell'emergenza del 15-16 dicembre 1999;
- Carta geomorfologica;
- Carta idrogeologica;
- Carta delle sorgenti.

Una particolare attenzione è stata dedicata al reticolo idrografico il cui sviluppo, in fase preliminare, è stato digitalizzato manualmente in ambito GIS utilizzando come base cartografica le CTR. Successivamente tale reticolo è stato confrontato con quello predisposto dalla Fondazione e ricavato a partire dal DTM 2x2 m appositamente realizzato a supporto delle attuali attività di ripermetrazione delle aree soggette a rischio idraulico.

Il confronto è stato finalizzato a valutare eventuali differenze soprattutto nella zona di pianura, che, essendo molto antropizzata, si è ritenuto essere la zona soggetta a maggiori modifiche artificiali del tracciato. Il reticolo basato sulle informazioni cartografiche normalmente riportate sulle CTR ha fornito alcune informazioni aggiuntive utili per individuare le opere idrauliche soprattutto nelle aree pianeggianti fortemente antropizzate e di maggior interesse per l'attività di censimento. Il reticolo derivato dal DTM ha fornito invece un dettaglio maggiore nell'area montana, dove tutte le incisioni morfologiche vengono considerate come parte di un reticolo idrografico; ha, infine, contribuito ad individuare gli assi naturali di deflusso nelle zone di pianura.

Per le indagini di campo è stata predisposta cartografia in scala 1:10.000 per una visione d'insieme, quindi sono stati realizzati stralci in scala 1:2.000 per il rilievo in dettaglio delle opere. Sulle stesse carte sono quindi stati riportati gli elementi di interesse già noti dai lavori pregressi (ubicazione tombini, briglie ecc..) ed i tracciati dei reticoli idrografici ricavati con le modalità sopra descritte al fine di valutarne l'effettivo riscontro in sito.

Sempre in fase preliminare è stata appositamente preparata una scheda di rilievo delle caratteristiche delle opere idrauliche individuate al fine di poter implementare, nella successiva fase di elaborazione dei dati, un data base informatizzato. Nella Figura 1 viene riportato il modello della scheda di input dati.



*Autorità di Bacino
dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno*

DATI GENERALI	
Codice opera	
CA01	
Data	30/11/2011
Rilevatore	F. Grosso
Corso d'acqua	torrente Castello

ALVEO

Tipologia alveo naturale Presenza di vegetazione Monte Valle

OPERA IDRAULICA

Tipologia opera idraulica ponticello

Dimensioni opera

Diametro D (m)

Larghezza base Lb (m) 2.6

Lunghezza L (m) 5

Altezza H (m) 2.8

Materiale struttura	Materiale di rivestimento
<input checked="" type="checkbox"/> Cls <input type="checkbox"/> Muratura <input type="checkbox"/> Elementi prefabbricati <input type="checkbox"/> Gabbioni <input type="checkbox"/> Massi: <input type="checkbox"/> di cava intasati <input type="checkbox"/> di cava a secco <input type="checkbox"/> a scogliera <input type="checkbox"/> Blocchi in Cls: <input type="checkbox"/> a scogliera <input type="checkbox"/> Legati <input type="checkbox"/> Legname <input type="checkbox"/> Legname e pietrame <input type="checkbox"/> Altro <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Massi a scogliera <input type="checkbox"/> Gabbioni <input type="checkbox"/> Cls <input type="checkbox"/> Pietrame in muratura <input checked="" type="checkbox"/> Altro <input type="text" value="muratura in pietra"/>

Presenza edifici Si No Lunghezza edifici (m)

Descrizione edifici

Stato dell'opera

Presenza dissesto strutturale Estensione dissesto

Localizzazione del dissesto

Coronamento Corpo Piede Fondazioni Opere di controllo

OSSERVAZIONI Parzialmente ostruito da rifiuti e trasporto solido. Il letto del corso d'acqua risulta più elevato del piano campagna (alveo pensile)

Figura 1 - Modello della scheda di input dati.

La scheda è stata predisposta per la raccolta di dati quasi esclusivamente pertinenti le opere idrauliche e si compone delle seguenti parti.

- *Dati generali*

Parte relativa ai dati identificativi dell'opera censita quali la sua codifica univoca, la data del rilievo, la denominazione del corso d'acqua interessato ed il nominativo del responsabile del rilievo.

- *Alveo*

Vengono riportate qui le osservazioni sulla tipologia dell'alveo; si tratta di informazioni essenzialmente limitate ad individuare la presenza di una sezione naturale oppure artificializzata e la presenza di vegetazione in grado, nel tratto immediatamente a monte oppure a valle dell'opera, di esercitare un certo condizionamento idraulico.

- *Opera Idraulica*

Questa è la parte più importante in relazione alle problematiche idrauliche in quanto individua il tipo di opera (ponticello, tombino, tratto tombato ecc.) e le sue dimensioni in termini di luce necessaria al transito dei deflussi. Sono poi anche dettagliati i materiali di costruzione della struttura e del rivestimento, mentre viene indicata la presenza di edifici negli spazi immediatamente adiacenti l'opera. La compilazione di questa parte si conclude con la descrizione dello stato dell'opera e la eventuale annotazione di dissesti che la interessano.

- *Osservazioni*

Al fondo della scheda è stato lasciato uno spazio per inserire tutte le osservazioni non comprese precedentemente nella scheda ma che potevano avere una rilevanza idraulica.

3.2 Fase di esecuzione in sito delle attività

I rilievi in sito sono stati eseguiti nel corso di due differenti campagne svolte tra il 3-4/11/2011 ed il 30/11/2011-01/12/2011. Hanno partecipato due squadre composte da due tecnici (ingegneri e geologi) con esperienza nel settore idrometrico - idrologico.

Per la localizzazione di elementi altrimenti non individuabili sulla cartografia, le squadre in azione hanno utilizzato un GPS cartografico. Bindella centimetrata e distanziometro laser sono stati utilizzati per il rilievo diretto delle dimensioni delle opere. Particolare attenzione è stata dedicata alla documentazione fotografica delle opere cercando di dettagliare sempre la situazione in corrispondenza degli imbocchi, degli sbocchi e nei tratti immediatamente a monte ed a valle delle opere.

In fase iniziale di esecuzione delle indagini è stato necessario risalire a denominazioni ufficiali e condivise dei corsi d'acqua che caratterizzano le incisioni principali nell'area del Comune di Cervinara. Confrontando quanto riportato sulla cartografia I.G.M. in scala 1:25.000 con i toponimi locali ed intervistando persone del luogo, procedendo da Ovest verso Est, sono state stabilite le seguenti denominazioni di riferimento per i corsi d'acqua principali :

- Torrente Pirozza: sulla cartografia I.G.M. l'incisione viene denominata, almeno nella parte alta del bacino, "Fosso Pozzillo", dalla omonima sorgente ubicata più a monte; tuttavia la stessa cartografia riporta anche il toponimo "Pirozza", per individuare il gruppo di abitazioni ubicato proprio allo sbocco dell'incisione valliva. Si è deciso pertanto di denominarlo Pirozza anche per i riscontri con persone del posto.

- Torrente Conca: sulla cartografia I.G.M. non compare questo nome; tuttavia lo sbocco in pianura avviene esattamente in “via Conca”, proseguimento dell’incisione nella zona urbanizzata di pianura.
- Torrente San Gennaro: la denominazione coincide con quanto riportato sulla cartografia I.G.M..
- Torrente Castello: l’incisione risulta denominata “Vallone Castello” nella cartografia I.G.M., analogamente a come viene comunemente riconosciuta.

Il rilievo delle opere idrauliche dei quattro corsi d’acqua precedentemente elencati è avvenuto in maniera sistematica partendo da valle verso monte, indagando contestualmente anche gli affluenti dell’asta principale. Per ogni opera, oltre all’annotazione delle principali caratteristiche idrauliche previste dalla scheda di censimento, quando possibile, sono state raccolte le testimonianze più attendibili degli abitanti locali circa il comportamento idraulico delle opere nel corso degli eventi di piena. Sono state inoltre annotate le caratteristiche idrauliche più significative delle sezioni di deflusso a valle e a monte delle opere censite.

Nel corso dei rilievi sono state complessivamente censite 65 opere idrauliche. Nella maggior parte dei casi si è trattato di ponticelli stradali ad arco oppure a soletta piana e tombini circolari. Sono stati cartografati tutti i tratti tombati rilevati.

La schedatura ha interessato esclusivamente le opere di attraversamento idraulico. Per le briglie di rilevanza maggiore è stata rilevata l’ubicazione e sono stati acquisiti i disegni di progetto. Salti e briglie minori non sono state oggetto di schedatura specifica in quanto non determinanti nelle dinamiche dei deflussi di piena. La loro presenza emerge tuttavia in nota alle schede delle opere idrauliche.

3.3 Fase di elaborazione dei dati di campagna

A seguito delle indagini in campo sono state elaborate le carte delle opere idrauliche in scala 1:5.000 (elaborato B.4.6); la stessa carta viene anche presentata in scala 1:10.000 (elaborato B.4.7) per una visione d’insieme dell’area di indagine.

Sulla cartografia è stata riportata l’ubicazione delle opere idrauliche e delle briglie principali. Le opere sono state codificate con il seguente criterio:

PI/03 oppure PIDX02

dove:

PI = rio Pirozza;
 CO = rio Conca;
 SG = Torrente San Gennaro;
 CA = Torrente Castello.
 DX = affluente destro;
 SX = affluente sinistro;
 01 = numerazione progressiva a partire da valle verso monte

La cartografia riporta anche l’individuazione dei tratti tombati e di quelli caratterizzati dalla presenza di rivestimento del fondo oppure delle sponde.

Le informazioni raccolte nel corso delle indagini in campo sono state inserite nelle schede descritte nel paragrafo 3.3 che sono servite per l'implementazione del data base delle opere. Il data base è stato realizzato

Nome campo	Tipo dati
Codice Opera	Testo
Rilevatore	Testo
Data	Data ora
Denominazione Corso Acqua	Testo
Tipologia Alveo	Testo
Presenza Vegetazione Monte	Si/No
Presenza Vegetazione Valle	Si/No
Tipologia Opera Idraulica	Testo
Diametro D	Numerico
Larghezza Base Lb	Numerico
Lunghezza L	Numerico
Altezza H	Numerico
Pendenza Sponde R/S	Numerico
Materiale Cls	Si/No
Materiale Muratura	Si/No
Materiale Elementi Prefabbricati	Si/No
Materiale Gabbioni	Si/No
Materiale Massi	Si/No
Materiale Massi di Cava Intasati	Si/No
Materiale Massi di Cava A Secco	Si/No
Materiale Massi A Scogliera	Si/No
Materiale Blocchi in cls	Si/No
Materiale Blocchi in cls Scogliera	Si/No
Materiale Blocchi in cls legati	Si/No
Materiale Legname	Si/No
Materiale Legname e Pietrame	Si/No
Materiale Altro	Si/No
Materiale Altro Descrizione	Si/No
Rivestimento Massi Scogliera	Si/No
Rivestimento Gabbioni	Si/No
Rivestimento Cls	Si/No
Rivestimento Pietrame In Muratura	Si/No
Rivestimento Altro	Si/No
Rivestimento Altro Descrizione	Testo
Presenza Edifici	Si/No
Lunghezza Edifici	Numerico
Descrizione Edifici	Testo
Presenza Dissesto Strutturale	Si/No
Estensione Dissesto	Testo
Localizzazione Dissesto Coronamento	Si/No
Localizzazione Dissesto Corpo	Si/No
Localizzazione Dissesto Piede	Si/No
Localizzazione Dissesto Fondazioni	Si/No
Localizzazione Dissesto Opere di Controllo	Si/No
Osservazioni	Memo
Foto 1 Didascalia	Testo
Foto 2 Didascalia	Testo
Foto 3 Didascalia	Testo
Foto 4 Didascalia	Testo

in Access e comprende i campi specificati nella Figura 2.

Figura 2

Nome campo	Tipo dati
Codice Opera	Testo
Rilevatore	Testo
Data	Data ora
Denominazione Corso Acqua	Testo
Tipologia Alveo	Testo
Presenza Vegetazione Monte	Si/No
Presenza Vegetazione Valle	Si/No
Tipologia Opera Idraulica	Testo
Diametro D	Numerico
Larghezza Base Lb	Numerico
Lunghezza L	Numerico
Altezza H	Numerico
Pendenza Sponde R/S	Numerico
Materiale Cls	Si/No
Materiale Muratura	Si/No
Materiale Elementi Prefabbricati	Si/No
Materiale Gabbioni	Si/No
Materiale Massi	Si/No
Materiale Massi di Cava Intasati	Si/No
Materiale Massi di Cava A Secco	Si/No
Materiale Massi A Scogliera	Si/No
Materiale Blocchi in cls	Si/No
Materiale Blocchi in cls Scogliera	Si/No
Materiale Blocchi in cls legati	Si/No
Materiale Legname	Si/No
Materiale Legname e Pietrame	Si/No
Materiale Altro	Si/No
Materiale Altro Descrizione	Si/No
Rivestimento Massi Scogliera	Si/No
Rivestimento Gabbioni	Si/No
Rivestimento Cls	Si/No
Rivestimento Pietrame In Muratura	Si/No
Rivestimento Altro	Si/No
Rivestimento Altro Descrizione	Testo
Presenza Edifici	Si/No
Lunghezza Edifici	Numerico
Descrizione Edifici	Testo
Presenza Dissesto Strutturale	Si/No
Estensione Dissesto	Testo
Localizzazione Dissesto Coronamento	Si/No
Localizzazione Dissesto Corpo	Si/No
Localizzazione Dissesto Piede	Si/No
Localizzazione Dissesto Fondazioni	Si/No
Localizzazione Dissesto Opere di Controllo	Si/No
Osservazioni	Memo
Foto 1 Didascalia	Testo
Foto 2 Didascalia	Testo
Foto 3 Didascalia	Testo
Foto 4 Didascalia	Testo

Figura 2 - Elenco campi del data base realizzato in Access.

3.4 Prime considerazioni sulle criticità riscontrate

La diffusa antropizzazione dell'area di pianura del Comune di Cervinara ha, nel corso del tempo, progressivamente ristretto le aree di pertinenza dei corsi d'acqua riducendoli, nella maggior parte dei casi, a canali rettilinei a sezione rettangolare completamente rivestiti in cls o muratura e pietrame e di larghezza limitata ad alcuni m (Foto 1, Foto 2, Foto 3 e Foto 4). L'estesa urbanizzazione ha anche determinato il tombamento di alcuni tratti dei corsi d'acqua (Foto 5 e Foto 6).



Foto 1 - Torrente Castello sul lato monte dell'opera CA03.



Foto 2 - Torrente Pirozza sul lato valle dell'opera PI01.



Foto 3 - Affluente in destra del Torrente Castello sul lato monte dell'opera CADX09 tombato sotto strade e case.



Foto 4 - Affluente in destra del torrente Castello sul lato valle dell'opera CADX04.



Foto 5 - Tratto tombato di 30 m con fabbricati soprastanti presso l'opera CADX04.

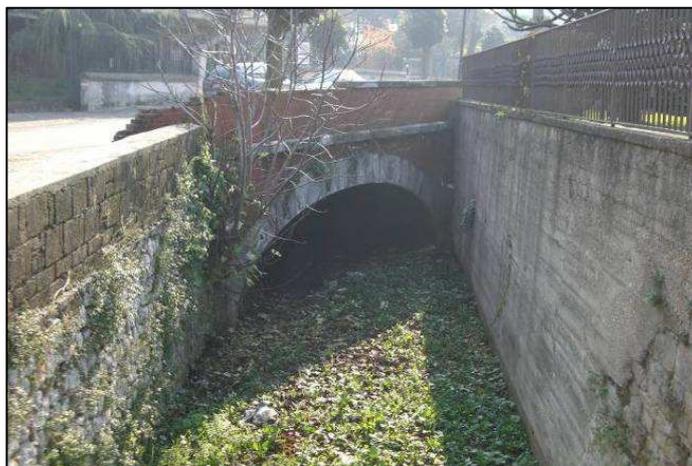


Foto 6 - Tratto tombato per circa 35 m con viabilità strada soprastante Torrente Conca (opera CO04) lato valle.

Secondo quanto riportato dalla carta geomorfologica l'area sub pianeggiante compresa tra i rilievi e la ferrovia è caratterizzata dagli accumuli dei conoidi detritico-alluvionali attivi. La tendenza al ripascimento dei corsi d'acqua trova riscontro in corrispondenza degli attraversamenti più vecchi, dove il fondo alveo sembra essersi innalzato rispetto alla sua quota originaria valutata rispetto alle quote di intradosso dei ponticelli ad arco in pietra. Successivi interventi di rivestimento del fondo alveo, avvenuti senza ripristinare il profilo originario, hanno inoltre ulteriormente ridotto la sezione originaria degli attraversamenti rendendo inadeguato dal punto di vista idraulico diversi dei manufatti esistenti (foto Foto 7, Foto 8, Foto 9 e Foto 10).



Foto 7 - Riduzione della luce a seguito del rivestimento del fondo alveo in corrispondenza opera CADX04.



Foto 8 - Riduzione sezione di un vecchio ponticello su affluente in destra del torrente Castello (CADX08).



Foto 9 - Riduzione della luce a seguito del rivestimento del fondo alveo in corrispondenza opera CA03.



Foto 10 - Riduzione della luce in corrispondenza opera CO07.

Altre criticità possono derivare dalla presenza di sottoservizi passanti che ingombrano le sezioni libere degli attraversamenti, aumentando il rischio di accumulo del materiale flottante e di intasamento dell'opera in condizioni di piena (Foto 11).



Foto 11 - Riduzione della luce per la presenza di sottoservizi in corrispondenza dell'opera CA10 sul Torrente Castello.

4. IDROGEOLOGIA E MONITORAGGIO DI POZZI E SORGENTI

4.1 Assetto idrogeologico generale dell'area oggetto di monitoraggio

Il territorio comunale di Cervinara si sviluppa tra la fascia pedemontana posta alla base dei rilievi carbonatici, rappresentati dalla dorsale dei monti di Avella - Partenio ed il fondovalle delineato dalla piana nota come Valle Caudina dove trovano recapito i torrenti Tesa e Carmignano, tributari del fiume Isclero. I limiti comunali ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno e nell'Ambito Territoriale Ottimale 1 - Calore Irpino.

La dinamica idrica sotterranea è determinata dalle condizioni geologiche, dall'assetto strutturale e dai rapporti intercorrenti con le strutture adiacenti. Nel territorio comunale, la dorsale dei monti di Avella-Partenio, costituita da depositi carbonatici (rocce calcaree e calcareo-dolomitiche) di ambiente di piattaforma di età cretacea, rappresenta l'acquifero carbonatico, appartenente alla più ampia idrostruttura dei monti di Avella-Vergine-Pizzo d'Alvano.

L'area di piana ospita il corpo idrico sotterraneo della piana dell'Isclero ed è rappresentata da depositi appartenenti alla formazione di Castelvetero, i cui litotipi sono costituiti da arenarie arcose-litiche a granulometria da media a fine intercalate ad argille siltose; in quest'area, sono presenti, inoltre, sedimenti fluvio-lacustri e depositi piroclastici (materiale tufaceo); questi ultimi, appartenenti alla tipologia nota in letteratura come tufo grigio campano risultano, a luoghi, più o meno cementati.

I terreni di copertura sono distinti in detrito calcareo e prodotti piroclastici rimaneggiati e argillificati; Il detrito calcareo rappresenta la coltre sedimentaria quaternaria prodotta dalla degradazione chimico-fisica e meccanica dei versanti carbonatici, mentre le piroclastiti, presenti a luoghi, sono il risultato delle attività vulcaniche generate dal Somma-Vesuvio e Campi flegrei; esse costituiscono uno spessore che varia da pochi centimetri a cinque metri e oltre, a seconda se si rinvencono nella parte alta o più a valle.

Lo spessore delle coperture oltre a variare in funzione della morfologia più o meno acclive, tende ad ammantarsi, preferenzialmente, lungo i canali e le incisioni che solcano i rilievi montuosi; gli spessori tendono ad aumentare verso valle dove il materiale piroclastico rimaneggiato è frammisto a detrito calcareo.

4.2 Commento ai risultati del monitoraggio idrogeologico

Nell'ambito degli studi finalizzati alla riperimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nel territorio comunale di Cervinara sono stati individuati in totale 29 pozzi per controllare i livelli delle falde idriche. Le schede dei pozzi sono riportate in allegato 4. Quindici pozzi sono compresi in una fascia "pedemontana" posta appena a monte dell'abitato di Cervinara tra il confine con il Comune di Rotondi ad Ovest e con quello di S. Martino Valle Caudina ad Est. Gli altri 14 pozzi sono invece ubicati nell'area pianeggiante più a valle. L'ubicazione dei punti è riportata nell'elaborato cartografico B.4.4.Rev01. Nella Tabella 1 è riportato l'elenco dei pozzi monitorati.

Codice punto	Località	Denominazione
P/01	Pirozza	Marra
P/02	Pirozza	Garofano
P/03	Pirozza	Esposito
P/04	Pirozza	Bizzarro G.
P/05	Pirozza	Bizzarro A.
P/06	Curielli - Via di Giacomo	Fierro
P/07	Curielli - Via Finelli	Marchese
P/08	Via Partenio	Cioffi
P/09	Via Partenio	Saggese
P/10	Via Partenio	Auto Ricci
P/11	Via Partenio	Germano
P/12	Via Partenio	Girardi
P/13	Via Partenio	Izzo
P/15	Via Mulino di mezzo	Marro
P/16	Patricelli - Via S.Maria Fontana	Tancredi
P/17	Patricelli - Via Patricelli 12	Zipete
P/18	Patricelli	Cioffi
P/19	Patricelli	Carrozeria Clemente
P/20		Eredi Casale Aniello
P/21	2° traversa Via S. Cosma	Guida
P/22	Via N.S. di Fatima 18	Esposito D.
P/23	S. Marciano	Coppola
P/24	Via Scaccano	Cioffi F.
P/25		
P/26	Traversa Via Variante	
P/27	Via Taviano	
P/28	Via Ponte Forastico	
P/29	tracciato ferrovia	Clemente Caterina

Tabella 1 - Elenco dei pozzi monitorati.

L'individuazione di punti di misura nella fascia pianeggiante ed in quella pedemontana deriva dalla necessità di caratterizzare le eventuali differenze della modalità di circolazione idrica sotterranea nella zona di transizione tra gli acquiferi di versante ed il fondovalle.

Al fine di poter analizzare l'andamento piezometrico in differenti condizioni idrologiche è stata prevista l'esecuzione di campagne di misura in un arco temporale significativo, compreso tra gennaio 2012 e maggio 2013. Le misure dei primi sette mesi di indagini (gennaio – luglio 2012) sono state eseguite con cadenza circa quindicinale; successivamente è stata eseguita una campagna di controllo ad inizio ottobre, per valutare le condizioni a conclusione del periodo di esaurimento estivo. Due ulteriori campagne sono state infine svolte tra aprile e maggio 2013, al fine di valutare l'andamento della falda a seguito del periodo di ricarica invernale e poterlo confrontare con i dati relativi all'anno precedente.

La misura dei livelli di falda consente la ricostruzione e l'interpretazione della superficie piezometrica e permette di effettuare correlazioni tra le oscillazioni piezometriche e gli apporti meteorici; consente altresì di effettuare valutazioni di calcoli idrologici finalizzati alla quantizzazione delle risorse e correlare la dinamica piezometrica con le portate sorgive.

Sulla base delle attività di monitoraggio eseguite fino a luglio 2012 è stata elaborata una cartografia delle isopieze riportata nell'elaborato B.4.4.Rev01. Gli andamenti generali delle piezometriche elaborate sono stati complessivamente confermati dai dati rilevati nelle campagne integrative di ottobre 2012 e di aprile - maggio 2013.

In generale l'andamento della superficie piezometrica elaborata a partire dai dati di misura acquisiti nell'area di pianura del Comune di Cervinara corrisponde molto bene con analoghe valutazioni effettuate nella piana dell'Isclero (Celico, 1983).

La piezometrica evidenzia una direzione di deflusso principale orientata verso Nord - Ovest, convergente verso l'asse di drenaggio preferenziale, rappresentato dal Torrente Carmignano. Una brusca variazione del gradiente idraulico è osservabile all'imbocco del Vallone Castello, dove le isopieze risultano più ravvicinate. Si possono inoltre individuare locali perturbazioni dell'andamento generale delle isopieze ai piedi dei rilievi, in corrispondenza dello sbocco nella pianura dei torrenti Conca e San Gennaro.

In allegato 6 sono riportati i grafici relativi all'andamento dei livelli piezometrici (soggiacenza in m dal piano campagna) misurati nei pozzi e correlati con l'istogramma delle precipitazioni totali giornaliere del pluviometro di Cervinara.

Nella Figura 3 viene riportato l'istogramma delle precipitazioni mensili registrate dal pluviometro di Cervinara nel periodo di interesse per il monitoraggio eseguito.

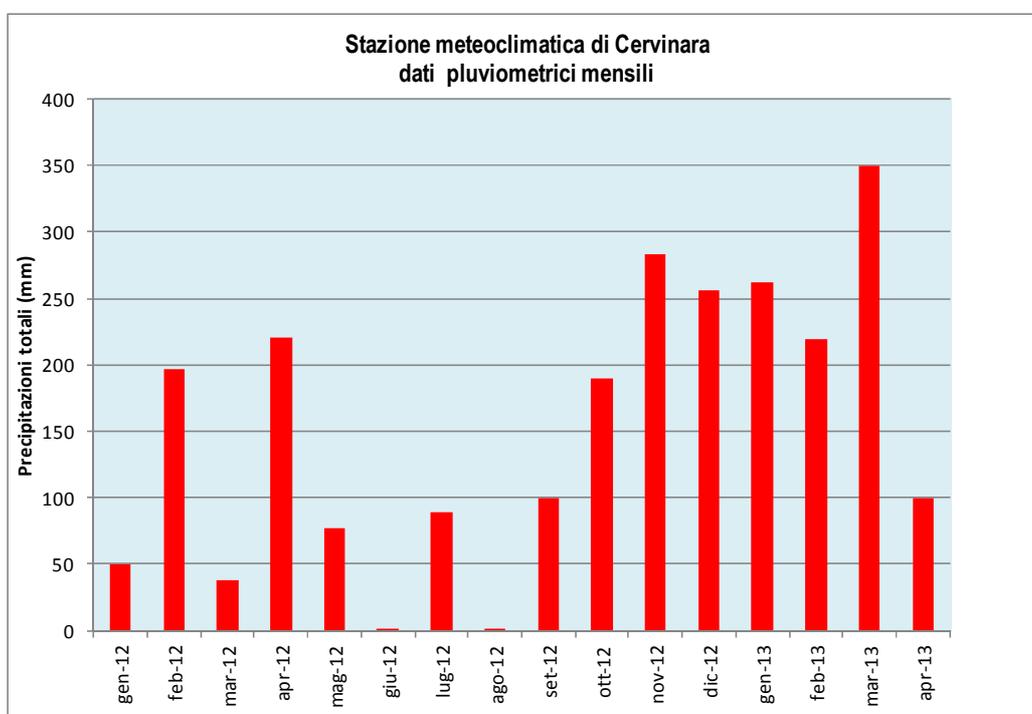


Figura 3 - istogramma delle precipitazioni mensili.

L'andamento idrometrico riscontrato presenta delle sensibili differenze tra quanto osservato in

corrispondenza dei pozzi della zona pedemontana e quelli relativi alla pianura.

I pozzi pedemontani sono caratterizzati da piezometrie più profonde, spesso comprese tra 10 e 20 m dal piano campagna, che risentono più lentamente degli apporti superficiali. Le abbondanti precipitazioni cadute a febbraio 2012 hanno determinato un graduale innalzamento della falda che si è accentuato solo a seguito degli abbondanti apporti pluviometrici di aprile. A partire dalla fine di maggio 2012 terminano gli effetti della ricarica e la piezometria evidenzia l'esaurimento della falda con livello che comincia ad approfondirsi costantemente. L'ultima campagna effettuata ad ottobre 2012 è rappresentativa del massimo approfondimento della falda con livelli idrometrici molto simili a quelli rilevati a gennaio 2012. Le campagne eseguite tra aprile e maggio 2013 evidenziano l'avvicinamento della piezometrica al piano campagna a seguito della ricarica per le abbondanti precipitazioni dell'inverno 2013; il periodo gennaio – aprile 2012 è stato infatti caratterizzato da 506 mm complessivi di pioggia a fronte di un apporto di 931 mm caduti nello stesso periodo del 2013. L'abbondanza degli apporti ha determinato ad aprile 2013 una ricarica della falda decisamente maggiore che ha evidenziato livelli piezometrici anche fino a 8 m più alti (P 12) rispetto a quelli misurati nello stesso periodo dell'anno precedente.

Le misurazioni eseguite sul gruppo di pozzi situati in pianura risentono più velocemente degli apporti pluviometrici. All'innalzamento correlato agli apporti di febbraio 2012 è seguito un graduale abbassamento della falda fino a metà aprile, quando il nuovo incremento degli apporti ha determinato l'oscillazione verso la superficie della piezometrica. A partire da giugno la piezometrica si è abbassata gradualmente fino alla campagna di ottobre 2012 rappresentativa del massimo approfondimento della falda. Analogamente a quanto osservato per i flussi che alimentano la rete piezometrica pedemontana le misurazioni eseguite tra aprile e maggio 2013 evidenziano il condizionamento delle intense precipitazioni del periodo gennaio - aprile 2013 con livelli che dal punto di vista altimetrico risultano più elevati anche fino a 3 m (P 16) rispetto alle misure effettuate nello stesso periodo dell'anno precedente..

L'andamento idrometrico osservato sulle sorgenti monitorate presenta analogie per le stazioni S09 - S10, dove l'entità dei deflussi (portata massima attorno ad 1 l/s) ed i tempi di risposta alle precipitazioni cadute sono piuttosto brevi ed evidenziano una componente di alimentazione superficiale, responsabile dei picchi di portata massima osservati. Entrambe le sorgenti si esauriscono costantemente fino a valori minimi (0.03 - 0.08 l/s) osservati nel corso della campagna di ottobre 2012. La sorgente S04 è caratterizzata da oscillazioni della portata un po' meno evidenti. A seguito della ricarica dell'inverno 2013 sono state osservate portate massime di poco inferiori a 0.4 l/s; i valori più bassi (0.04 l/s) sono stati misurati nel corso della campagna di gennaio 2012. La sorgente S06 infine non è risultata perenne; risente infatti solo delle precipitazioni più importanti e con la fine della ricarica della falda (primi giorni di giugno) si esaurisce completamente.

Nel territorio comunale di Cervinara sono state prese in considerazione 11 sorgenti (Tabella 2). In allegato 5 sono riportate le relative schede monografiche.

Codice punto	Località	Denominazione
S01	Valle	Vullo (Alto Calore Servizi)
S02	Valle	Fontanastella (Alto Calore Servizi)
S03	Castello	Ricci (Alto Calore Servizi)
S04	Costa Arsa	Fontanelle
S05	Santo Spirito	Ioffredo (Alto Calore Servizi)
S06	Castello	Pastore
S07	Pozzillo	Pozzillo
S08	Monte Pizzone	Acquerosse
S09	Monte Pizzone	Pisciarello 1
S10	Foresta	Pisciarello 2
S11	Pian Gregorio	Livera

Tabella 2 - Elenco delle sorgenti censite.

Analogamente a quanto eseguito per i dati piezometrici, in allegato 7 sono riportati i grafici relativi all'andamento delle portate misurate sulle sorgenti in correlazione con l'istogramma delle precipitazioni totali giornaliere del pluviometro di Cervinara.

Quattro delle sorgenti considerate risultano captate dall'Alto Calore S.p.A. che ne gestisce la risorsa ad uso idropotabile; la loro portata media derivata, risulta pari a 3,5 l/s per la sorgente S. Spirito, 2,5 l/s per la sorgente Vullo, 1,6 l/s sorgente Ricci e 1,3 l/s per la sorgente Fontanastella; le restanti sorgenti sono caratterizzate da portata effimera; esse risultano di scarso interesse ai fini della captazione, ed anche se alcune di esse hanno solo un regime stagionale, assumono notevole importanza per effettuare correlazioni con i dati della piezometria.

Durante la campagna di monitoraggio sono state effettuate alcune osservazioni che presumibilmente sono riconducibili a fenomeni di tipo carsico; tali fenomeni sono stati osservati in prossimità delle sorgenti Livera e Pozzillo rispettivamente in alveo del torrente Ferrari e del torrente Pirozza; le acque di tali sorgenti dopo avere percorso un breve tratto in alveo, si infiltrano in profondità, lasciando l'alveo del torrente asciutto più a valle; della prima non è noto il punto di recapito a valle, della seconda, in alcuni periodi dell'anno, è stata riferita da persone del luogo una riemersione a mezza costa, visibile sottoforma di salto.

Il fenomeno appena descritto, all'aumentare della portata in concomitanza di eventi piovosi più intensi, appare meno evidente in quanto l'alveo interessato dai fenomeni riprende il regime di portata nella sua interezza, mascherando l'aliquota infiltrata.

A tal proposito, appare significativo menzionare un dato rilevato immediatamente a valle dell'evento disastroso che ha interessato il territorio comunale di Cervinara nel dicembre 1999; in tale occasione l'Autorità di Bacino censì una venuta d'acqua di notevole portata (circa 100 l/s) non nota in precedenza, scomparsa nell'arco di un breve periodo.

In riferimento alle sorgenti il dato appare meno apprezzabile in quanto è riferito a sorgenti di effimera portata; tuttavia è stata notata una certa corrispondenza tra eventi di precipitazione e dato registrato;

non è noto, invece, il dato riferito alle quattro sorgenti captate dall'Alto Calore Servizi.

Alla luce di quanto sperimentato, si può affermare che i rapporti idrogeologici tra la dorsale dei Monti di Avella - Partenio - Pizzo d'Alvano e la piana dell'Isclero appaiono trascurabili, nonostante le direzioni di flusso sembrano indicare il contrario; a supporto di questa tesi, in letteratura, risultano dati riferiti ad una perforazione di un pozzo, effettuata lungo il margine dei monti di Avella, prossimo all'abitato di Cervinara, risultato pressoché sterile nonostante la perforazione sia stata spinta fin sotto il livello del mare (Celico, 1983).

Il dato trova riscontro nel fatto che la profondità della falda di base dei monti di Avella risulta posta più in basso di qualche centinaio di metri rispetto alla falda della piana dell'Isclero; ciò è riconducibile ad una complessa situazione strutturale, a prevalente componente compressiva, evidenziata dai vari accavallamenti tettonici che caratterizzano la struttura (Celico e De Riso, 1978).

Per quanto riguarda la Piana dell'Isclero si può affermare che il corpo idrico soggiacente risulta idrogeologicamente delimitato; i depositi quaternari che la caratterizzano, ospitano una falda di tipo freatico, localmente semiconfinata; essa converge verso il fiume Isclero e i torrenti Tesa e Carmignano, costituenti, rispettivamente, assi di drenaggio preferenziale per le acque sotterranee; le quote di detta falda si attestano mediamente tra 230 e 265 m s.l.m. circa.

Le sorgenti censite ricadono negli acquiferi posti nell'area pedemontana costituiti dai complessi ghiaioso - sabbioso, piroclastico, sabbioso - arenaceo, arenaceo - marnoso - argilloso; esse non rappresentano le scaturigini dell'idrostruttura carbonatica, ma lo sbocco delle falde allocate nella parte più superficiale dell'acquifero carbonatico, ad una quota più elevata rispetto alla falda di base. Tali sorgenti, di modesta entità, rappresentano i recapiti di falde sospese; queste ultime hanno la caratteristica di essere collegate alla falda di base attraverso una zona di aerazione che favorisce il percolare in profondità delle acque che non trovano recapito nella falda sospesa; esse risultano ubicate principalmente ai margini della struttura o in prossimità di profonde incisioni, condizione probabilmente da rapportarsi ad un contesto strutturale derivante da una dinamica tettonica di compressione.

5. ANALISI IDROLOGICHE DI BASE

Nei paragrafi seguenti sono descritte le attività propedeutiche alla messa a punto del modello idrologico, consistenti in elaborazioni basate sulla cartografia tradizionale e numerica disponibile e sulla raccolta ed elaborazione dei dati di precipitazione e di evaporazione potenziale.

5.1 Elaborazioni cartografiche e individuazione dei bacini idrografici

Il tracciamento dei bacini idrografici e lo studio delle loro principali caratteristiche morfologiche e fisiografiche è stato effettuato utilizzando le seguenti basi disponibili:

- cartografia vettoriale in scala 1:5.000;
- cartografia raster in scala 1:25.000;
- modello digitale del terreno (DTM) a maglia 2 m;
- fotografia aerea in scala di dettaglio 1:5.000.

Al fine di utilizzare al meglio l'informazione numerica derivante dal DTM, sia per le elaborazioni cartografiche che per la preparazione dell'input al modello idrologico, sono state aggregate le 123 tavolette (file) evidenziate nella Figura 4 al fine di ottenere un unico DTM a copertura delle aree di bacino a monte del rilevato ferroviario.

Nella Figura 5 è riportata una rappresentazione "tridimensionale" del DTM complessivo ottenuto.

Nell'elaborato B.5.5 è rappresentata la "Carta del reticolo idrografico, dei bacini e sottobacini".

I parametri morfologici ricercati sono: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y). Nella tabella 1 sono indicati i valori relativi ai bacini in esame.

BACINO N°	DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA/BACINO	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
1	Pozzillo	3,734	983	711	473	2,166	16,2	40
2	Conga monte	2,328	1149	720	323	2,907	22,6	53
3	Sx San Gennaro monte	1,447	1252	815	337	2,896	27,4	56
4	San Gennaro monte	2,835	1291	892	314	3,886	21,1	62
5	Sx Castello	1,022	1060	637	334	2,382	23,3	57
6	Castello monte	3,012	1311	792	369	4,006	11,5	62
7	Pirozza	4,740	983	632	264	3,902	8,8	37
8	Dx Pirozza	1,184	624	331	267	2,179	5,1	23
9	Conga	3,145	1149	610	270	4,622	8,5	41
10	San Gennaro	6,761	1291	671	272	5,525	8,7	44
11	Castello	4,941	1311	676	273	6,064	7,3	52
12	Dx Castello	1,815	770	365	271	2,888	5,0	31
13	Fosso est	1,005	461	301	273	1,723	6,0	14
14	Pirozza - valle rilevato	6,674	983	537	254	5,242	3,4	30
15	Conga - valle rilevato	4,880	1149	487	254	7,442	2,0	27
16	Castello/San Gennaro - valle rilevato	14,508	1311	607	266	7,333	3,5	42
17	Fosso est - valle rilevato	1,804	461	289	265	3,154	1,5	8

Tabella 3 - Elenco delle sezioni di chiusura dei bacini con relative caratteristiche fisiografiche.

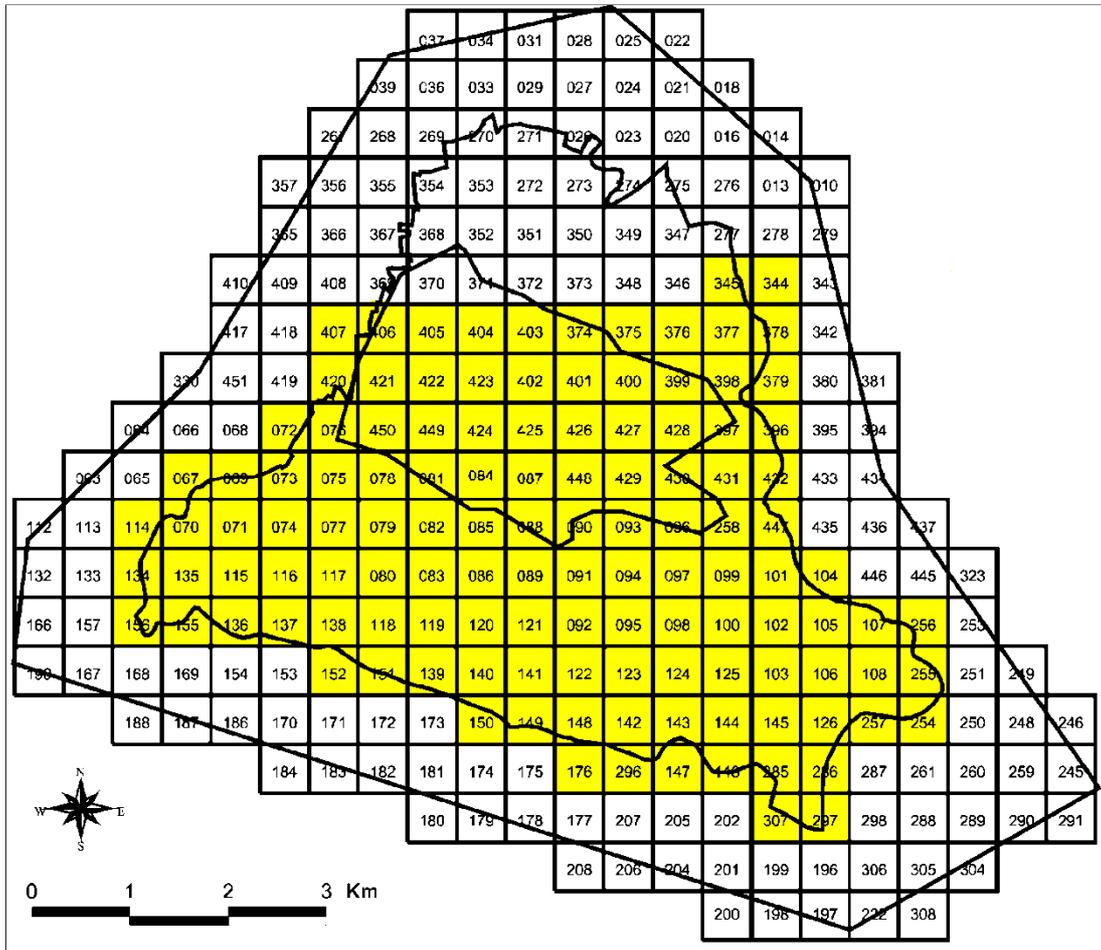


Figura 4 - Quadro di unione dei DTM originali a maglia 2 m con evidenziati quelli accorpati in un unico DTM complessivo.

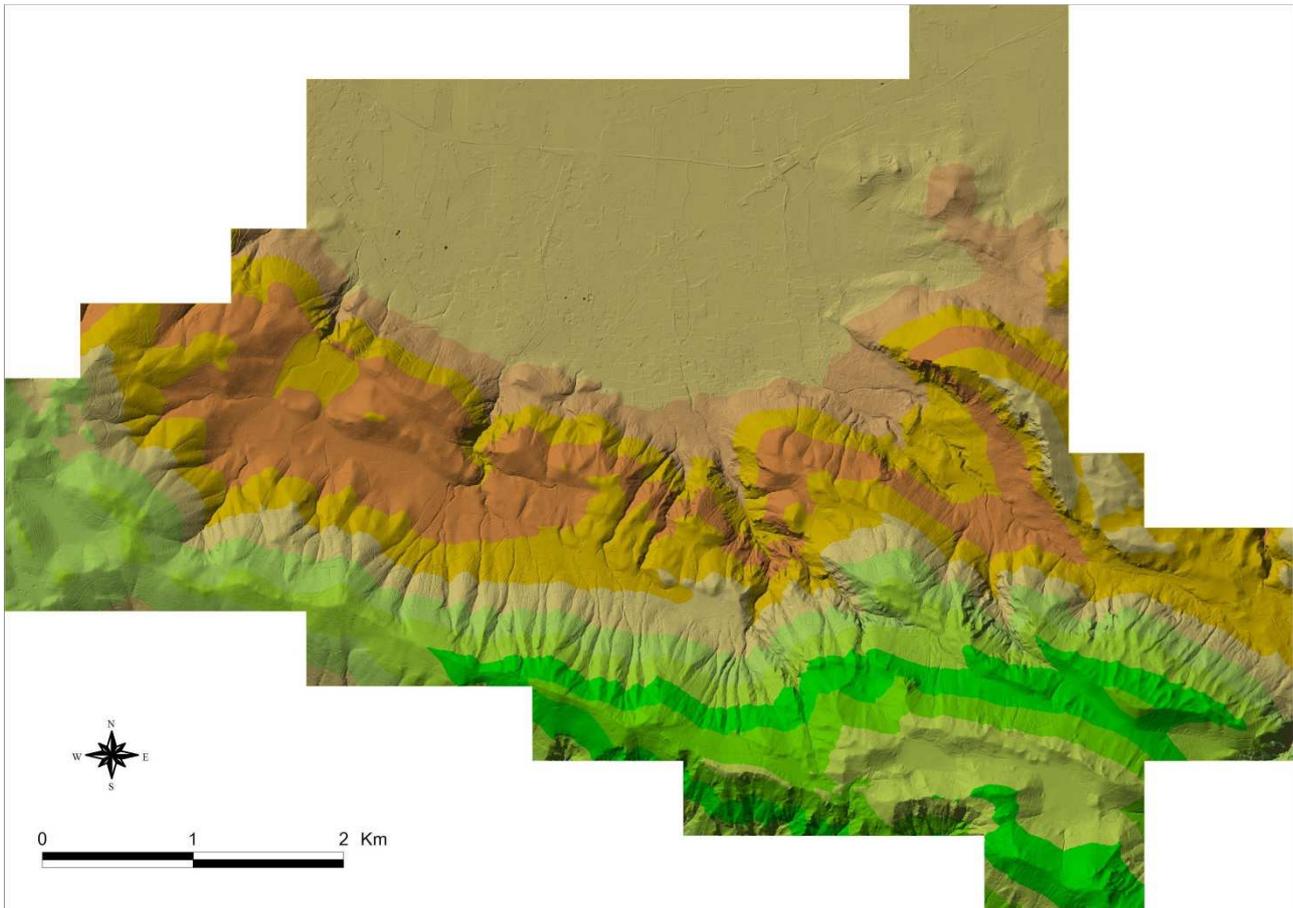


Figura 5 - DTM complessivo a maglia 2 m utilizzato per le elaborazioni condotte nel presente studio.

5.2 Tempi di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione per il bacino in esame è stata effettuata avvalendosi delle seguenti formule: Giandotti, Pezzoli, Ventura, Pasini e S.C.S.. Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche del bacino sopra definite. Vengono di seguito espone le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati.

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:

$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Pasini:

$$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i}}$$

Formula S.C.S.:

$$t_c = 0,57 \cdot \frac{L^{0,8} \cdot (S' + 1)^{0,7}}{\sqrt{y}}$$

dove il parametro S' rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, la cui espressione risulta:

$$S' = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN è il "Runoff Curve Number", coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture).

Il valore di CN si ricava con riferimento ai dati riportati nella Tabella 4 e nella Tabella 5 e assegnando le seguenti condizioni: classe di appartenenza del suolo, tipo di copertura, destinazione d'uso del suolo e condizioni idrologiche.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

La classificazione del tipo di copertura del complesso è condotta attraverso la stima di 3 fattori: la destinazione d'uso del suolo, il tipo di utilizzo e la condizione idrologica del suolo. Essi sono riassunti nella Tabella 4. Il contenuto d'acqua del suolo in condizioni naturali ha un effetto significativo sia sul volume d'acqua in gioco sia sul deflusso superficiale. Sono distinte tre condizioni:

- Condizione I : suoli asciutti.
- Condizione II : suoli in condizioni medie.
- Condizione III: suoli saturi.

I valori di CN ottenuti dalla Tabella 4 sono relativi a suoli in condizione II. Se si considerano differenti condizioni si può far riferimento alla Tabella 5. Nel caso in esame sono stati assunti valori di CN medi pari a 75.

Nella Tabella 6 vengono riportati i valori dei tempi di corrivazione ricavati in funzione dei parametri caratteristici delle grandezze morfologiche considerate e quelli assunti nelle successive valutazioni.

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and I_a * 0.2 S)

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition		Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Residential:					
Average lot size	Average Impervious				
1/8 acre or less		65	77	85	90
1/4 acre		38	61	75	83
1/3 acre		30	57	72	81
1/2 acre		25	54	70	80
1 acre		20	51	68	79
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98
Streets and roads:					
paved with curbs and storm sewers			98	98	98
gravel			76	85	89
dirt			72	82	87
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79
Fallow	Straight row	----	77	86	91
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88
	Straight row	Good	67	78	85
	Contoured	Poor	70	79	84
	Contoured	Good	65	75	82
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80
	Contoured & terraced	Good	62	71	78
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84
		Good	63	75	83
	Contoured	Poor	63	74	82
		Good	61	75	81
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79
		Good	59	70	78
Close - seeded legumes 4/ or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85
	Straight row	Good	58	72	81
	Contoured	Poor	64	75	83
	Contoured	Good	55	69	78
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80
	Contoured & terraced	Good	51	67	76
Pasture or range	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81
	Contoured	Fair	6	35	70
Meadow	Good	30	58	71	78
Woods or Forest land	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	25	55	70	77
Farmsteads	---	59	74	82	86

Tabella 4 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	II
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Tabella 5 - Confronto fra i valori di CN nelle diverse condizioni idrologiche (Mc Cuen - SCS Method).

BAC. N°	DENOMINAZIONE	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI	t _c assunto
1	Pozzillo	0,89	0,47	0,61	0,30	0,54	0,60
2	Conga monte	0,66	0,51	0,41	0,34	0,43	0,50
3	Sx San Gennaro monte	0,52	0,50	0,29	0,30	0,33	0,50
4	San Gennaro monte	0,65	0,60	0,47	0,47	0,52	0,60
5	Sx Castello	0,55	0,42	0,27	0,27	0,30	0,40
6	Castello monte	0,79	0,61	0,65	0,65	0,73	0,70
7	Pirozza	0,95	0,78	0,93	0,72	0,96	0,80
8	Dx Pirozza	1,19	0,61	0,61	0,53	0,66	0,60
9	Conga	0,95	0,84	0,77	0,87	0,90	0,90
10	San Gennaro	1,17	0,94	1,12	1,03	1,22	1,10
11	Castello	1,12	0,94	1,05	1,23	1,24	1,10
12	Dx Castello	1,25	0,66	0,77	0,71	0,84	0,70
13	Fosso est	1,57	0,65	0,52	0,39	0,53	0,50
14	Pirozza - valle rilevato	1,35	1,09	1,78	1,56	1,92	1,20
15	Conga - valle rilevato	1,64	1,53	1,99	2,89	2,53	1,50
16	Castello/San Gennaro - valle rilev.	1,78	1,21	2,59	2,16	2,74	1,50
17	Fosso est - valle rilevato	2,57	1,38	1,39	1,42	1,57	1,40

Tabella 6 - Tempi di corrivazione secondo le diverse formulazioni (espressi in ore).

5.3 Dati di precipitazione

Per lo studio sono risultati disponibili i seguenti dati di precipitazione:

- Annali Idrologici del Compartimento di Napoli del S.I.M.N. fino all'anno 1999 compreso;
- serie storiche a passo orario delle stazioni di Cervinara (ID sensore = 18897), Rotondi (ID sensore = 18893) e S.Martino Valle Caudina (ID sensore = 18905) dal 17/10/2000 al 31/12/2010;

- serie storica a passo orario della stazione di Pietrastornina (ID sensore = 20905) dal 22/11/2001 al 31/12/2010.

5.4 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore

Dagli Annali Idrologici sono state ricavate le serie storiche delle precipitazioni massime annue di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore della stazione di S.Martino Valle Caudina fino all'anno 1999 compreso. Tali serie sono state successivamente estese al periodo 2001÷2010 elaborando le serie dei dati orari disponibili (vedi Tabella 7). La stessa attività è stata inoltre condotta per le altre stazioni di misura considerate: Cervinara (Tabella 8), Rotondi (Tabella 9) e Pietrastornina (Tabella 10).

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1966	30,0	40,0	101,0	109,0	116,2
1968	30,0	60,0	100,0	161,0	275,6
1969	22,4	40,0	60,0	85,4	96,6
1970	32,4	48,4	58,0	77,4	107,4
1971	15,2	38,0	59,6	90,0	106,4
1972	22,0	34,0	47,0	71,6	90,0
1973	22,6	35,5	41,8	41,8	43,6
1974	33,0	50,0	52,0	87,0	87,0
1975	26,0	45,0	62,0	103,0	113,4
1976	33,4	45,0	64,0	76,0	135,0
1977	31,0	35,0	42,0	73,0	93,6
1978	36,0	47,0	57,0	85,0	124,0
1979	20,0	37,0	43,0	70,0	100,0
1980	37,0	52,6	54,0	63,4	97,0
1981	50,0	54,0	91,0	94,0	94,0
1982	21,8	37,0	43,0	73,0	98,6
1983	29,0	54,0	76,0	98,0	141,0
1990	19,2	34,2	40,2	46,4	56,8
1991	21,4	26,2	41,6	61,2	79,6
1993	15,6	27,2	31,0	34,4	72,8
1995	22,0	40,2	71,0	77,6	77,6
1997	38,6	99,6	127,6	130,0	139,2
1998	18,6	31,4	44,4	44,4	52,4
1999	19,0	53,4	93,0	155,4	253,0
2001	29,8	40,0	61,8	80,2	88,2
2002	29,6	43,6	51,8	57,6	82,4
2003	33,2	55,6	70,8	101,0	109,2
2004	23,8	29,2	48,6	75,2	116,2
2005	29,6	48,8	66,4	100,2	117,6
2006	31,0	52,8	66,0	67,2	98,6
2007	19,6	33,8	48,4	61,2	96,0
2008	27,2	43,0	70,6	108,8	157,2
2009	32,2	43,2	74,6	84,8	110,2
2010	24,6	48,6	65,2	106,6	187,2
media 2001÷2010 =	28,1	43,9	62,4	84,3	116,3
media totale =	27,3	44,2	62,5	83,8	112,2

Tabella 7 - Serie storiche delle precipitazioni massime di durata 1÷24 ore della stazione di S.Martino Valle Caudina (mm).

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2001	32,2	53,0	76,6	100,6	103,8
2002	30,2	50,6	51,8	52,4	89,0
2003	32,6	47,0	59,6	79,2	83,2
2004	26,4	40,4	43,4	64,6	90,0
2005	36,4	45,6	60,8	82,8	127,0
2006	33,4	46,2	56,2	72,8	88,4
2007	20,0	44,4	58,8	60,8	67,6
2008	62,6	64,8	64,8	80,0	128,6
2009	32,6	53,6	86,6	129,2	147,2
2010	34,2	36,8	61,8	75,0	119,2
media =	34,1	48,2	62,0	79,7	104,4

Tabella 8 - Serie storiche delle precipitazioni massime di durata 1÷24 ore della stazione di Cervinara (mm).

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2001	29,8	57,0	85,2	109,0	114,2
2002	34,4	51,4	51,4	62,4	86,4
2003	27,0	40,4	44,4	54,6	85,2
2004	22,4	42,6	49,4	80,2	114,0
2005	60,2	67,6	89,4	125,6	175,6
2006	26,6	38,6	58,2	68,0	72,6
2007	20,4	37,6	49,0	50,6	54,4
2008	41,0	49,4	62,2	85,2	123,8
2009	23,6	43,0	69,6	93,4	112,2
2010	30,2	52,4	64,0	75,4	80,2
media =	31,6	48,0	62,3	80,4	101,9

Tabella 9 - Serie storiche delle precipitazioni massime di durata 1÷24 ore della stazione di Rotondi (mm).

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2002	25,6	50,8	56,4	61,0	81,0
2003	31,0	50,8	83,2	106,2	121,0
2004	18,4	39,6	67,2	93,4	132,2
2005	22,0	36,8	52,8	93,2	144,6
2006	28,2	55,2	65,6	74,0	125,2
2007	20,2	34,0	42,4	53,8	77,4
2008	22,2	38,6	58,8	63,8	93,0
2009	23,4	45,2	78,0	111,2	134,4
2010	35,8	52,0	62,8	83,0	162,6
media =	25,2	44,8	63,0	82,2	119,0

Tabella 10 - Serie storiche delle precipitazioni massime di durata 1÷24 ore della stazione di Pietrastornina (mm).

Le serie storiche dei dati di precipitazione di durata 1÷24 ore della stazione di S.Martino Valle Caudina (34 anni di misure) sono state sottoposte a regolarizzazione probabilistica al fine della determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni.

Il programma di calcolo utilizzato analizza l'adattamento dei dati storici a 3 tipi di funzioni teoriche di proiezione: log-normale (Galton), Pearson Type III (funzione gamma) e Fisher-Tippet Type I (Gumbel); consente inoltre di valutare l'affidabilità dei risultati evidenziando i parametri di riferimento, quali lo scarto

quadratico medio rispetto alla curva teorica (SQM) ed il valore di probabilità secondo il test di Kolmogorov-Smirnov (PROB).

Le elaborazioni svolte e una descrizione più dettagliata del programma di calcolo utilizzato, sono documentate nell'allegato 1. Esso riporta le serie storiche dei dati di input, gli elementi caratteristici delle regolarizzazioni ed i valori più probabili delle altezze di precipitazione per le varie durate dell'evento (1÷24 ore) e per gli assegnati tempi di ritorno.

Nella Tabella 11 sono riportate le massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno TR, ottenute con la legge di Gumbel che meglio si adatta alle serie storiche delle osservazioni.

Durata (ore)	h - TR5 (mm)	h - TR10 (mm)	h - TR20 (mm)	h - TR50 (mm)	h - TR100 (mm)	h - TR200 (mm)	h - TR500 (mm)
1	33,01	37,62	42,03	47,75	52,02	56,30	61,93
3	52,47	59,27	65,80	74,23	80,55	86,85	95,16
6	76,10	87,45	98,34	112,43	123,00	135,30	147,40
12	105,93	123,46	140,23	162,04	178,36	194,62	216,06
24	140,78	164,74	187,71	217,48	239,78	261,99	291,30

Tabella 11 - Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno della stazione di S.Martino Valle Caudina in base alla regolarizzazione di Gumbel.

Successivamente alla regolarizzazione probabilistica delle serie storiche della stazione di S.Martino Valle Caudina si è proceduto all'applicazione della metodologia proposta su scala nazionale dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). In particolare si è fatto riferimento alla recente pubblicazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania¹.

La stima dei massimi istantanei dell'altezza di pioggia corrispondenti ad assegnati valori del periodo di ritorno T è stata effettuata attraverso una metodologia di tipo probabilistico utilizzando il modello TCEV (Two Components Extreme Value) che costituisce una generalizzazione del modello di Gumbel. Esso risulta, infatti, costituito dal prodotto di due leggi di Gumbel, la prima delle quali destinata ad interpretare e descrivere, in chiave probabilistica, i massimi valori ordinari e, la seconda, quelli straordinari (aventi, secondo il classico modello di Gumbel, una probabilità di superamento inferiore del 5% e, quindi, tali da potersi ritenere eccezionali).

In base a tale modello, la generica variabile X_T (in questo caso altezza di pioggia) corrispondente ad un assegnato valore del periodo di ritorno T può essere espressa come:

$$T = \frac{1}{1 - \exp \left[-\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta K_T / \theta_*} \right]}$$

$$K_T = \frac{X_T}{\mu_X}$$

in cui:

¹ Regione Campania – Assessorato all'Ambiente, Autorità di Bacino Nord Occidentale: "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania – Aggiornamento anno 2010" – Relazione idrologica.

- K_T è il fattore di crescita col periodo di ritorno T , definito come il rapporto tra la variabile X_T corrispondente all'assegnato periodo di ritorno T e la media μ_X della distribuzione di probabilità della variabile X ;
- Λ^* e Θ^* sono parametri adimensionali dipendenti solo dal coefficiente di asimmetria e , pertanto, stimabili solo sulla base di un'indagine regionale ad amplissima scala (Analisi regionale di I Livello);
- Λ_1 è il numero medio di eventi indipendenti, di tipo ordinario, che si determinano nella zona (e , pertanto, è una caratteristica climatica di una zona omogenea che può essere valutata una volta noti Λ^* e Θ^* , attraverso un'analisi regionale di II Livello);
- η è un parametro strettamente dipendente da Λ_1 , Λ^* e Θ^* .

Nel caso specifico la variabile aleatoria presa in esame è il massimo annuale dell'altezza di pioggia $h_{d,T}$ di assegnata durata d , corrispondente al periodo di ritorno T . La "curva di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno T "

$$h_{d,T} = h_{d,T}(d,T)$$

assume l'espressione:

$$h_{d,T} = S_{h_d} \cdot K_T$$

dove:

- S_{h_d} è il parametro centrale della distribuzione di probabilità del massimo annuale della altezza di pioggia di assegnata durata;
- K_T è il coefficiente di crescita col periodo di ritorno T , che dipende per una data regione omogenea rispetto ai massimi annuali delle altezze di pioggia, dal modello probabilistico adottato e dal parametro S_{h_d} preso a riferimento.

Comunemente si assume

$$S_{h_d} \equiv \mu_{h_d}$$

ovvero coincidente con il valore della media dei massimi annuali di pioggia di durata d .

Con riferimento al modello probabilistico TCEV si ha inoltre:

$$K_T = K_T(T, \eta, \Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1)$$

essendo Λ^* , Θ^* , Λ_1 i parametri della distribuzione.

Dal Rapporto VA.PI. ("Valutazione delle piene in Campania" elaborato dal G.N.D.C.I. del CNR) i valori di Λ^* e Θ^* validi per l'intera Regione Campania sono i seguenti:

$$\Lambda^* = 0,224$$

$$\Theta^* = 2,536$$

$$\Lambda_1 = 37$$

$$\eta = 4,909.$$

I valori del coefficiente di crescita K_T sono riportati, per differenti periodi di ritorno T , nella Tabella 12.

T	2	5	10	20	50	100	200	500
K_T	0.87	1.16	1.38	1.64	2.03	2.36	2.69	3.17

Tabella 12 - Coefficienti di crescita K_T per differenti valori del periodo di ritorno T .

Nello studio citato sono infine definite su sottozone omogenee diverse relazioni di regressione del tipo:

$$\mu_{i_d} = \frac{I_0}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+Dz}}$$

che forniscono il legame esistente tra i valori dell'intensità media di pioggia

$$\mu_{i_d} = \frac{\mu_{h_d}}{d}$$

le durate d prese a riferimento e le quote medie z sul livello del mare relative ai bacini imbriferi di interesse.

Nel caso in esame sono stati determinati i seguenti parametri di regressione (Sottozona A3 - Pedemontana):

$I_0 = 111,885$ mm/ora;

$d_0 = 0,19804$ ore;

$C = 0,758$;

$D = 0,000024$.

Considerando una quota media di riferimento dei bacini di interesse chiusi allo sbocco vallivo pari a 760 m s.m., applicando la relazione di regressione su indicata, si ottengono le massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno TR riportate nella Tabella 13.

Durata (ore)	h - TR5 (mm)	h - TR10 (mm)	h - TR20 (mm)	h - TR50 (mm)	h - TR100 (mm)	h - TR200 (mm)	h - TR500 (mm)
1	32,09	38,18	45,37	56,17	65,30	74,43	87,71
3	44,93	53,45	63,52	78,63	91,41	104,19	122,79
6	53,77	63,96	76,01	94,09	109,39	124,68	146,93
12	63,58	75,63	89,88	111,26	129,35	147,43	173,74
24	74,71	88,88	105,63	130,75	152,01	173,26	204,18

Tabella 13 - Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per le varie durate considerate ottenute mediante le relazioni di regionalizzazione pluviometrica del modello VAPI.

Applicando invece direttamente i coefficienti K_T della curva di crescita ai valori medi delle serie storiche dei massimi annuali delle precipitazioni di durata 1÷24 ore della stazione di S.Martino Valle Caudina si ottengono i valori delle massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno TR riportate nella Tabella 14.

Durata (ore)	h - TR5 (mm)	h - TR10 (mm)	h - TR20 (mm)	h - TR50 (mm)	h - TR100 (mm)	h - TR200 (mm)	h - TR500 (mm)
1	31,62	37,62	44,70	55,34	64,33	73,33	86,41
3	51,29	61,02	72,51	89,76	104,35	118,94	140,16
6	72,48	86,23	102,47	126,84	147,46	168,08	198,07
12	97,26	115,71	137,51	170,21	197,88	225,55	265,80
24	130,11	154,79	183,95	227,69	264,71	301,72	355,56

Tabella 14 - Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per le varie durate considerate ottenute applicando la curva di crescita ai valori medi delle serie storiche della stazione di S.Martino Valle Caudina.

I valori contenuti nella Tabella 13 si discostano alquanto da quelli della Tabella 14 in quanto, come spesso succede, le stime dei valori medi dei massimi annui delle altezze di pioggia effettuata col metodo VAPI a livello di area omogenea differiscono dai corrispondenti valori determinati dalle serie storiche della stazione di

S.Martino Valle Caudina. In particolare questi ultimi risultano sensibilmente maggiori di quelli determinati a livello regionale dal VAPI, con scarti crescenti al crescere della durata dell'evento. Queste differenze praticamente si annullano per eventi di durata prossima all'ora.

I valori riportati nella Tabella 14 risultano inoltre maggiori di quelli ottenuti mediante la regolarizzazione diretta con la legge di Gumbel delle serie storiche della stazione di S.Martino Valle Caudina come evidenziato anche graficamente nel confronto riportato nella Figura 6.

La stazione di S.Martino Valle Caudina risulta infine rappresentativa dell'intero comprensorio in esame come evidenziato nella Figura 7 nella quale sono confrontati i valori medi delle serie storiche delle precipitazioni massime annue di durata 1÷24 ore della stazione di S.Martino Valle Caudina (linea nera: serie completa di 34 anni) con quelli corrispondenti delle altre stazioni di cui si dispone solo di un decennio recente di dati.

Per tali motivi si ritengono maggiormente attendibili, nonché cautelativi, i valori delle massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno riportate nella Tabella 14 ottenute applicando la curva di crescita del modello VAPI ai valori medi delle serie storiche della stazione di S.Martino Valle Caudina (34 anni di dati).

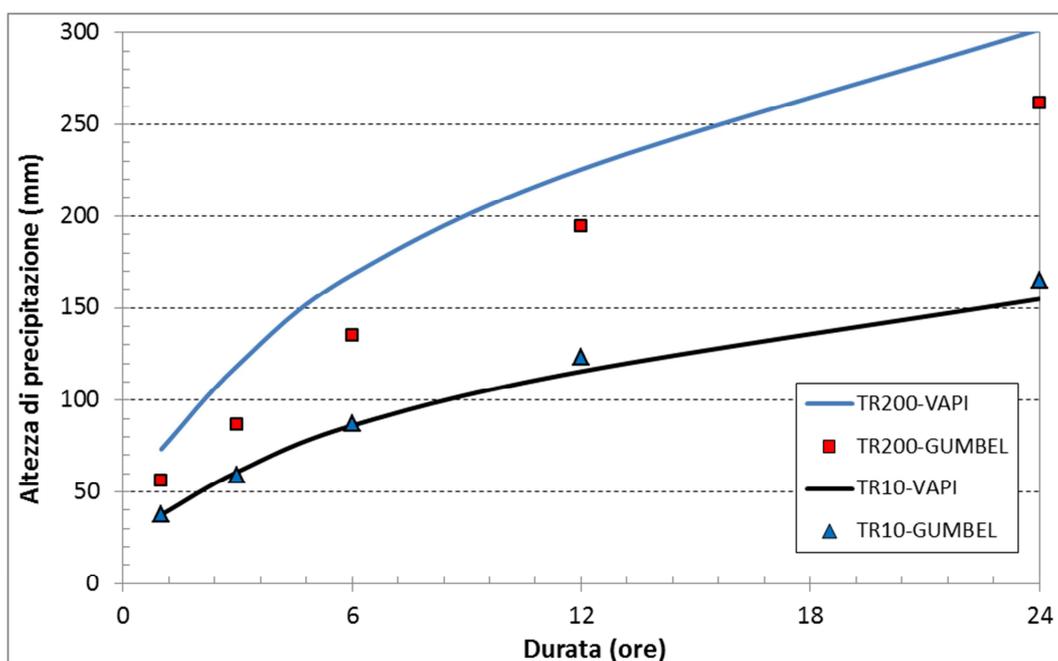


Figura 6 - Confronto tra i valori delle altezze massime di precipitazione fornite dal metodo VAPI e dalla regolarizzazione diretta di Gumbel.

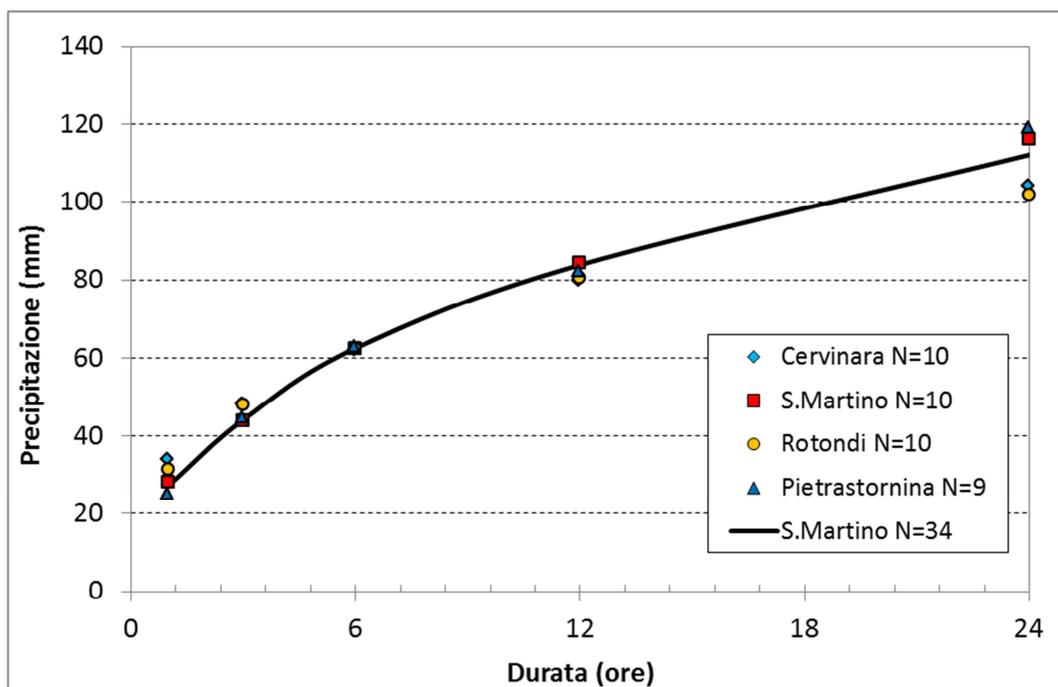


Figura 7 - Confronto tra i valori medi delle serie storiche delle altezze annue massime di precipitazione delle stazioni pluviometriche considerate (N=numero degli anni della serie).

Interpolando i valori contenuti nella Tabella 14 con il metodo dei minimi quadrati si ottengono le seguenti curve di possibilità pluviometrica di progetto, valide per eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore:

- $h=31,73 \cdot t^{0,448}$ per T = 5 anni;
- $h=37,74 \cdot t^{0,448}$ per T = 10 anni;
- $h=44,85 \cdot t^{0,448}$ per T = 20 anni;
- $h=55,52 \cdot t^{0,448}$ per T = 50 anni;
- $h=64,55 \cdot t^{0,448}$ per T = 100 anni;
- $h=73,57 \cdot t^{0,448}$ per T = 200 anni;
- $h=86,70 \cdot t^{0,448}$ per T = 500 anni.

5.5 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 5 giorni

Per completare l'analisi degli eventi pluviometrici estremi, dagli Annali Idrologici sono state ricavate anche le serie storiche delle precipitazioni massime annue di durata 1, 2, 3, 4 e 5 giorni, relative alla sola stazione di S.Martino Valle Caudina fino all'anno 1999 compreso. Tali serie sono state successivamente estese al periodo 2001÷2010 elaborando le serie dei dati orari disponibili (vedi Tabella 15 seguente).

Applicando direttamente i coefficienti K_T della curva di crescita del metodo VAPI, descritto al paragrafo precedente, ai valori medi delle serie storiche dei massimi annuali delle precipitazioni di durata 1÷5 giorni della stazione di S.Martino Valle Caudina si ottengono i valori delle massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno TR riportate nella Tabella 16.

Anno	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
1966	116,2	139,8	143,2	152,0	169,6
1967	112,0	162,0	169,0	174,0	189,0
1968	180,0	284,0	333,0	426,0	426,4
1969	93,6	126,6	152,6	185,6	191,4
1970	103,4	117,0	136,0	152,2	160,2
1971	100,0	128,8	168,6	229,2	274,8
1972	70,0	106,0	106,0	147,4	147,4
1973	85,0	105,0	120,0	124,6	125,6
1974	85,6	123,0	150,0	154,2	154,4
1975	108,8	183,4	194,8	199,4	199,6
1976	90,0	165,8	184,0	189,0	196,6
1977	93,6	110,0	114,6	118,4	154,0
1978	77,8	147,8	161,2	171,2	171,2
1979	87,0	127,4	159,0	167,6	184,6
1980	77,4	120,4	149,4	167,6	208,8
1981	52,0	94,0	94,0	94,0	102,2
1982	55,6	101,8	102,4	103,0	121,8
1983	127,0	144,2	194,2	209,4	211,0
1986	79,0	100,0	108,8	133,8	152,0
1989	109,2	123,2	142,4	156,4	157,8
1990	55,0	82,0	89,6	102,0	105,6
1992	32,2	55,8	63,0	65,0	68,2
1995	77,6	97,6	97,6	97,6	97,6
1996	60,0	109,6	124,6	164,6	164,6
1997	139,2	141,2	155,0	170,6	172,0
1998	52,4	73,8	84,0	87,0	117,6
1999	247,8	321,2	357,0	357,8	359,2
2001	79,4	119,0	160,0	199,6	213,0
2002	82,4	116,2	120,2	131,4	131,6
2004	101,2	163,2	193,0	221,8	224,2
2005	112,8	175,0	195,2	218,6	255,6
2006	80,2	123,4	131,0	135,0	135,8
2007	66,0	96,0	100,6	118,6	121,0
2008	123,0	167,0	167,0	216,2	260,2
2009	110,2	133,8	167,8	181,6	208,2
2010	160,8	318,0	345,2	367,2	374,2
media =	96,8	139,0	156,5	174,7	186,3

Tabella 15 - Serie storiche delle precipitazioni massime di durata 1÷5 giorni della stazione di S.Martino Valle Caudina (mm).

Durata (giorni)	h - TR5 (mm)	h - TR10 (mm)	h - TR20 (mm)	h - TR50 (mm)	h - TR100 (mm)	h - TR200 (mm)	h - TR500 (mm)
1	112,24	133,53	158,69	196,43	228,36	260,29	306,73
2	161,21	191,78	227,91	282,11	327,97	373,84	440,54
3	181,54	215,97	256,66	317,70	369,34	420,99	496,11
4	202,66	241,10	286,53	354,66	412,32	469,97	553,83
5	216,11	257,10	305,54	378,20	439,68	501,16	590,59

Tabella 16 - Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per le varie durate considerate ottenute applicando la curva di crescita ai valori medi delle serie storiche della stazione di S.Martino Valle Caudina.

Si può osservare come i valori delle massime altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno relative alla durata di 24 ore riportate nella Tabella 14 risultino alquanto maggiori di quelle corrispondenti alla durata di 1 giorno riportate nella Tabella 16 per le modalità stesse di campionamento dei valori delle corrispondenti serie storiche: come noto, infatti, il dato delle 24 ore prescinde dall'orario di inizio dell'evento mentre il dato di durata un giorno considera convenzionalmente il periodo compreso tra le ore 9.00 di un giorno e le ore 9.00 del giorno precedente.

Al fine di individuare curve di possibilità pluviometrica per durate di precipitazione comprese tra 1 e 5 giorni che si raccordassero approssimativamente con quelle precedentemente definite per durate da 1 a 24 ore, sono stati interpolati con il metodo dei minimi quadrati i valori contenuti nella Tabella 16 dopo aver sostituito i dati relativi alla durata di un giorno con quelli relativi alla durata delle 24 ore consecutive.

Si ottengono in definitiva le seguenti curve di possibilità pluviometrica di progetto, valide per eventi di durata compresa tra 1 e 5 giorni, avendo indicato con "t" la durata espressa in ore e con "h" l'altezza di precipitazione cumulata espressa in mm:

- $h=47,44 \cdot t^{0,316}$ per T = 5 anni;
- $h=56,43 \cdot t^{0,316}$ per T = 10 anni;
- $h=67,06 \cdot t^{0,316}$ per T = 20 anni;
- $h=83,01 \cdot t^{0,316}$ per T = 50 anni;
- $h=96,51 \cdot t^{0,316}$ per T = 100 anni;
- $h=110,00 \cdot t^{0,316}$ per T = 200 anni;
- $h=129,63 \cdot t^{0,316}$ per T = 500 anni.

Le elaborazioni sono state condotte in modo da dare, per quanto possibile, una continuità temporale in termini di altezze di precipitazione, ma non di intensità di precipitazione. In corrispondenza delle 24 ore/1 giorno i valori forniti dalle curve per durate 1-24 ore non sono infatti del tutto coincidenti con quelli calcolati con le curve valide per durate 1-5 giorni, anche se molto prossimi tra loro.

Nella Figura 8 è riportata una rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica definite sull'intero intervallo compreso tra 1 ora e 120 ore (5 giorni) che evidenzia la leggera discontinuità presente in corrispondenza delle 24 ore/1 giorno.

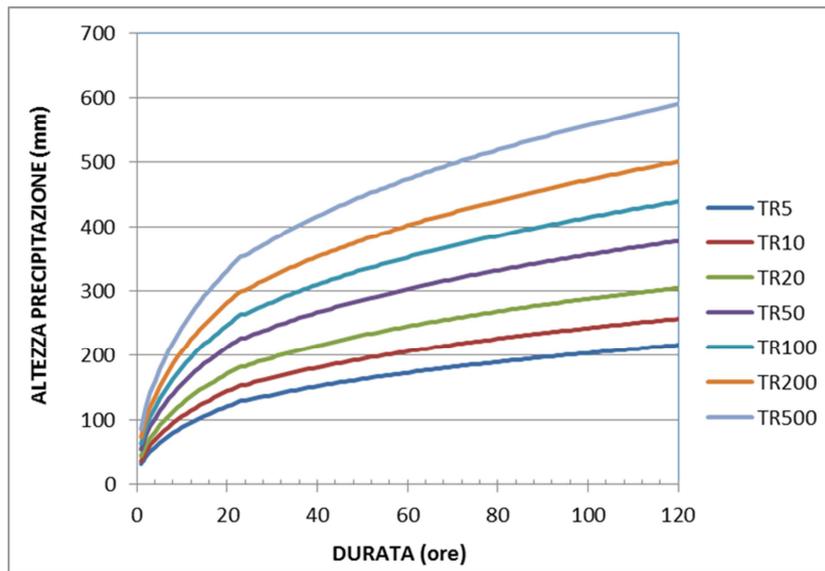


Figura 8 - Rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica definite sia per durate comprese tra 1 e 24 ore che per durate comprese tra 1 e 5 giorni (120 ore).

5.6 Valutazione delle portate di piena con metodo cinematico

Utilizzando le equazioni delle curve di possibilità pluviometrica precedentemente definite ed i valori stimati dei tempi di corrivazione, sono state valutate, in funzione degli assegnati tempi di ritorno, le portate di piena al colmo.

A tale scopo è stato utilizzato il noto metodo idrologico dell'espressione razionale. Tale metodo di correlazione afflussi-deflussi, per il calcolo della portata di piena, utilizza la formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3,6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km²);

c = coefficiente medio di deflusso;

h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curve di possibilità pluviometrica;

t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Il coefficiente di deflusso è stato in particolare determinato mediante la formula di Rossi e Villani, ricavata con riferimento ai bacini della Campania:

$$c = 0,13 \frac{S - S_{imp}}{S} + 0,60 \frac{S_{imp}}{S}$$

in cui S_{imp} rappresenta la superficie di bacino che si comporta come completamente impermeabile.

Nella Tabella 17 sono riassunti i risultati ottenuti con l'applicazione di tale metodo ai bacini imbriferi rappresentati nella Figura 9.

N°	NOME BACINO	S (km ²)	t _c (ore)	c	Q-TR10 (m ³ /s)	Q-TR20 (m ³ /s)	Q-TR50 (m ³ /s)	Q-TR100 (m ³ /s)	Q-TR200 (m ³ /s)	Q-TR500 (m ³ /s)
1	Pozzillo	3,114	0,60	0,38	16,3	19,4	24,0	27,9	31,8	37,5
2	Conga monte	2,328	0,50	0,27	9,7	11,5	14,3	16,6	18,9	22,3
3	Sx San Gennaro monte	1,447	0,50	0,27	6,0	7,2	8,9	10,3	11,7	13,8
4	San Gennaro monte	2,835	0,60	0,20	7,9	9,4	11,6	13,5	15,4	18,1
5	Sx Castello	1,022	0,40	0,25	4,4	5,2	6,5	7,5	8,6	10,1
6	Castello monte	3,012	0,70	0,24	9,1	10,8	13,3	15,5	17,7	20,8
7	Pirozza	4,120	0,80	0,36	17,5	20,8	25,8	29,9	34,1	40,2
8	Dx Pirozza	1,184	0,60	0,33	5,4	6,4	8,0	9,3	10,6	12,5
9	Conga	3,145	0,90	0,28	9,9	11,8	14,6	16,9	19,3	22,7
10	San Gennaro	6,761	1,10	0,23	15,8	18,7	23,2	27,0	30,7	36,2
11	Castello	4,941	1,10	0,23	11,5	13,7	16,9	19,7	22,4	26,4
12	Dx Castello	1,815	0,70	0,31	7,1	8,4	10,4	12,1	13,8	16,3
13	Fosso est	1,005	0,50	0,37	5,7	6,8	8,4	9,8	11,1	13,1

Tabella 17 - Portate al colmo di assegnato tempo di ritorno calcolate con il metodo razionale.

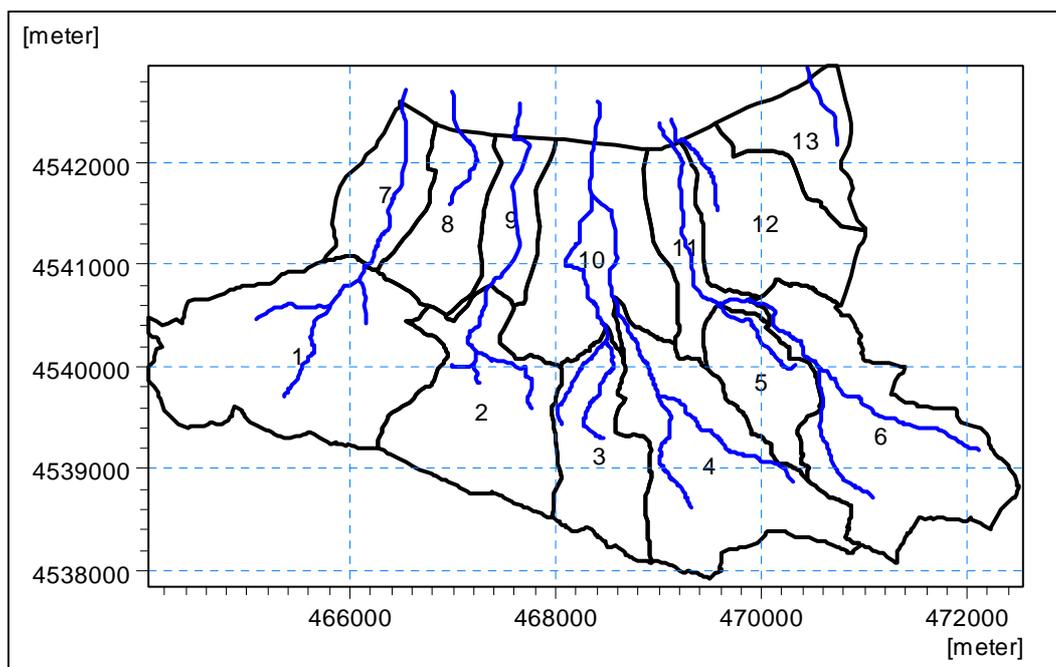


Figura 9 - Corografia dei bacini imbriferi considerati.

Nel caso del bacino del rio Pozzillo (1) e conseguentemente anche per il bacino complessivo del Pirozza (7), al fine di evitare di sovrastimare il calcolo della portata al colmo di piena, si è escluso il contributo di superficie della zona endoreica presente a sud-ovest pari a 0,62 km²: nei calcoli si è pertanto considerata una superficie pari a 3,114 km² per il bacino del Pozzillo e pari a 4,120 km² per il bacino del Pirozza (vedi Tabella 16).

5.7 Dati di evapotraspirazione potenziale

Il modello idrologico richiede in input una serie temporale di dati di evapotraspirazione potenziale a passo almeno mensile.

Non disponendo di misure dirette, si è fatto ricorso all'applicazione della formula di Thornthwaite che si basa sulla relazione esponenziale esistente tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile dell'aria.

I dati medi mensili di temperatura sono stati desunti dagli Annali Idrologici: sono state considerate le stazioni di S.Agata dei Goti (quota 150 m s.m.), Avellino (quota 383 m s.m.) e Montevergine (quota 1287 m s.m.).

Nella Figura 10 sono rappresentati gli andamenti medi mensili delle temperature osservate nell'anno 1999 e di quelle medie su lungo periodo (medie dell'intero periodo di misura di ciascuna stazione riportate sugli Annali).

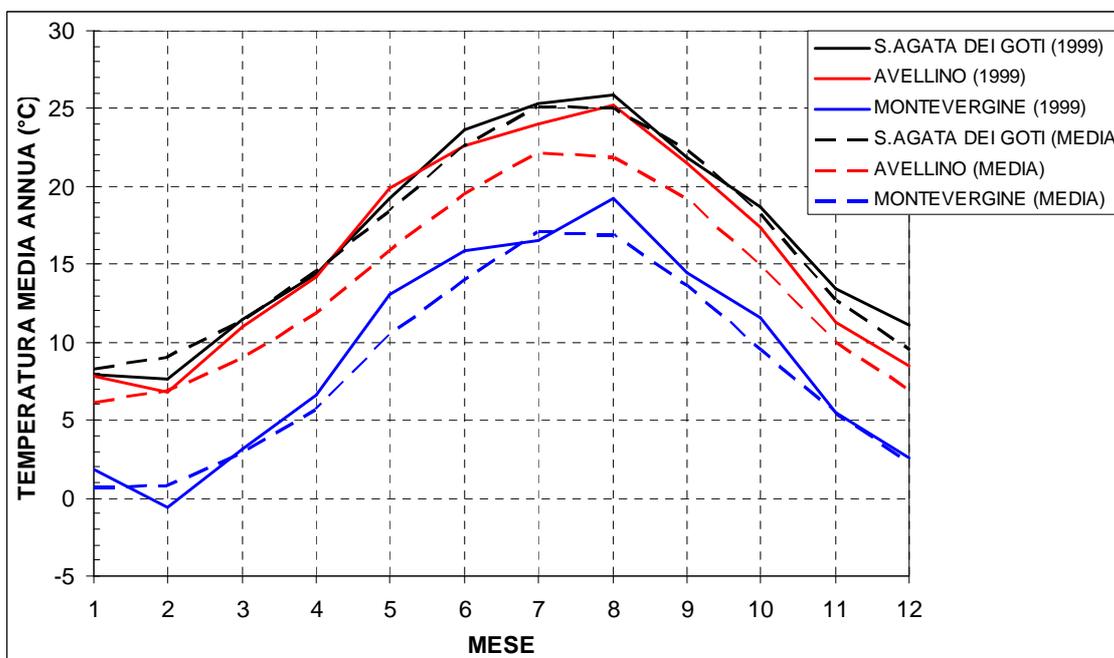


Figura 10 - Andamenti medi mensili delle temperature relativi all'anno 1999 e al periodo completo di misura.

Visto il grafico prodotto si è deciso di fare riferimento agli andamenti mensili medi su lungo periodo perché più rappresentativi; inoltre poiché gli andamenti mensili delle tre stazioni sono circa paralleli tra loro con un gradiente termico medio calcolato di $0,0068^{\circ}\text{C}/\text{m}$, è stato possibile determinare i valori medi mensili di temperatura relativi a due quote medie di riferimento assunte pari a 320 m s.m. (quota media dei sottobacini 7÷13) e pari a 760 m s.m. (quota media dei sottobacini 1÷6).

Inserite le temperature medie così ottenute nella formula di Thornthwaite, sono stati ricavati i valori medi mensili di evapotraspirazione potenziale indicati nella Tabella 18, che sono stati poi opportunamente trasformati in valori espressi in mm/giorno per poterli utilizzare come input nel modello idrologico.

MESE	ETP quota 760 (mm)	ETP quota 320 (mm)
GEN	10,2	14,0
FEB	12,4	16,2
MAR	26,0	30,7
APR	44,9	50,9
MAG	75,7	85,1
GIU	106,7	121,1
LUG	126,8	145,4
AGO	118,1	135,3
SET	86,2	97,8
OTT	57,1	64,2
NOV	25,6	29,6
DIC	13,6	17,2
ANNO	703,3	807,5

Tabella 18 - Valori medi mensili di evapotraspirazione potenziale alle due diverse quote altimetriche considerate.

6. ANALISI CON MODELLO IDROLOGICO

I processi di trasformazione idrologica afflussi-deflussi nei bacini di interesse sono stati simulati mediante la messa a punto e taratura di un modello numerico basato sul codice di calcolo MIKE SHE del DHI Water Environment Health.

Il modello, a parametri distribuiti, è in grado di simulare l'intero ciclo idrologico, attraverso schemi concettuali appoggiati a equazioni fisicamente basate rappresentative dei fenomeni che regolano il processo di afflusso, infiltrazione/perdita, deflusso superficiale e ipodermico, deflusso sotterraneo (zona insatura e falde).

Il modello riceve in input i dati di precipitazione, temperatura e di evapotraspirazione potenziale, che possono essere assegnati secondo diversi schemi opzionali (per aree di influenza delle stazioni meteo o su griglia di calcolo distribuita, con funzioni di calcolo dei gradienti termici altimetrici ecc.). Il modulo che rappresenta i processi di formazione-fusione nevosa, in particolare, opera sui dati termo-pluviometrici in base a parametri termici caratteristici (temperatura di inizio fusione, fattore termico descrittivo della cinetica di fusione ecc.), con possibilità di mettere in conto gli effetti di esposizione dei versanti e di radiazione solare. Nel caso in esame, poiché i processi di formazione-fusione nevosa non sono rilevanti, si è deciso di trascurarli del tutto in modo da evitare la raccolta e l'inserimento dei dati di input di temperatura.

A partire dai dati meteorologici in input il modello simula i processi di intercettazione-evapotraspirazione (intercettazione operata dalla vegetazione, drenaggio della vegetazione, evaporazione delle superfici vegetali, evaporazione dagli accumuli idrici al suolo, traspirazione dalla zona radicale), di infiltrazione, di deflusso superficiale diffuso, di deflusso nel reticolo idrografico.

Il ciclo delle acque sotterranee e delle relative interazioni con il reticolo superficiale viene infine rappresentato mediante equazioni di flusso tridimensionali o, nei casi di minore incidenza sul bilancio idrologico complessivo, con schematizzazioni semplificate (come nel caso in esame, vedi seguito).

Il modello è stato implementato sulla base degli elementi cartografici disponibili (DTM, coperture, uso suolo, permeabilità ecc.), con una maglia di 20 x 20 m.

È stata quindi eseguita la simulazione dell'intero anno 1999 e in particolare dell'evento di piena del 15-17 dicembre effettuando la calibrazione del modello in base alle mappe delle aree alluvionate e agli ulteriori riscontri disponibili.

Con tale assetto il modello è stato applicato alle serie pluviometriche relative agli eventi di progetto di assegnato tempo di ritorno, al fine di ottenere gli idrogrammi di piena di riferimento per l'applicazione dei modelli idraulici.

Nei paragrafi successivi, dopo una descrizione sintetica delle caratteristiche del codice di calcolo MIKE SHE, vengono esposte le attività condotte per la messa a punto e taratura del modello e vengono presentati e commentati i risultati ottenuti.

6.1 Descrizione del codice di calcolo

6.1.1 Generalità

Il codice di calcolo MIKE SHE implementa una soluzione numerica alle differenze finite delle equazioni differenziali che rappresentano il ciclo idrologico della fase terrestre. MIKE SHE, che allo stato dell'arte rappresenta sicuramente il più sperimentato ed ancora uno dei pochi esempi di modello distribuito integrato superficiale/sotterraneo, consente di tenere conto in modo completo delle interazioni tra i diversi comparti che caratterizzano il ciclo dell'acqua, permettendo di simulare, sia in fase diagnostica che in fase di progetto, le variazioni temporali della risorsa idrica superficiale/sotterranea.

MIKE SHE è un modello deterministico, a parametri distribuiti, fisicamente basato, sviluppato inizialmente con uno sforzo congiunto dell'Institute of Hydrology (Gran Bretagna), di SOGREAH (Francia) e del Danish Hydraulic Institute (Danimarca), successivamente potenziato, reso "user-friendly" e commercializzato da quest'ultimo ente.

MIKE SHE è fisicamente basato, in quanto è stato sviluppato a partire dalle equazioni differenziali che descrivono i processi di scorrimento superficiale, di deflusso nella rete di drenaggio e di deflusso nei mezzi porosi saturi e insaturi; tutte le equazioni sono risolte mediante il metodo delle differenze finite. Il modulo idrologico include, oltre ai processi di deflusso, i fenomeni di scioglimento nevoso, intercettazione ed evapotraspirazione. MIKE SHE considera il flusso verticale nella zona insatura come monodimensionale e di collegamento tra le componenti bidimensionale superficiale e bi-tridimensionale sotterranea.

L'area di studio è discretizzata da una griglia di calcolo regolare alle differenze finite; il sistema di drenaggio superficiale scorre fra elementi contigui della griglia e può essere simulato in dettaglio, utilizzando in maniera accoppiata il codice idrodinamico MIKE 11 - HD per il deflusso superficiale e MIKE SHE per la modellazione della falda, oppure in maniera semplificata, introducendo gli apporti in falda mediati sulle singole aree di riferimento.

Il sistema (vedi Figura 11) è strutturato in cinque componenti principali (moduli) che riproducono i processi fisici del ciclo idrologico della fase terrestre, che possono essere attivati oppure no in base al livello di complessità di descrizione del fenomeno che meglio risponde alle esigenze dello studio:

- precipitazione atmosferica e formazione/fusione nevosa;

- intercettazione ed evapotraspirazione;
- scorrimento superficiale e deflusso nel reticolo idrografico;
- flusso nel mezzo insaturo;
- flusso nel mezzo saturo.

Ciascuno di questi fenomeni è caratterizzato da una diversa scala di tempo. Il programma consente di avere una descrizione dinamica dei passi temporali, cioè permette di variare il passo di calcolo a seconda del processo in atto.

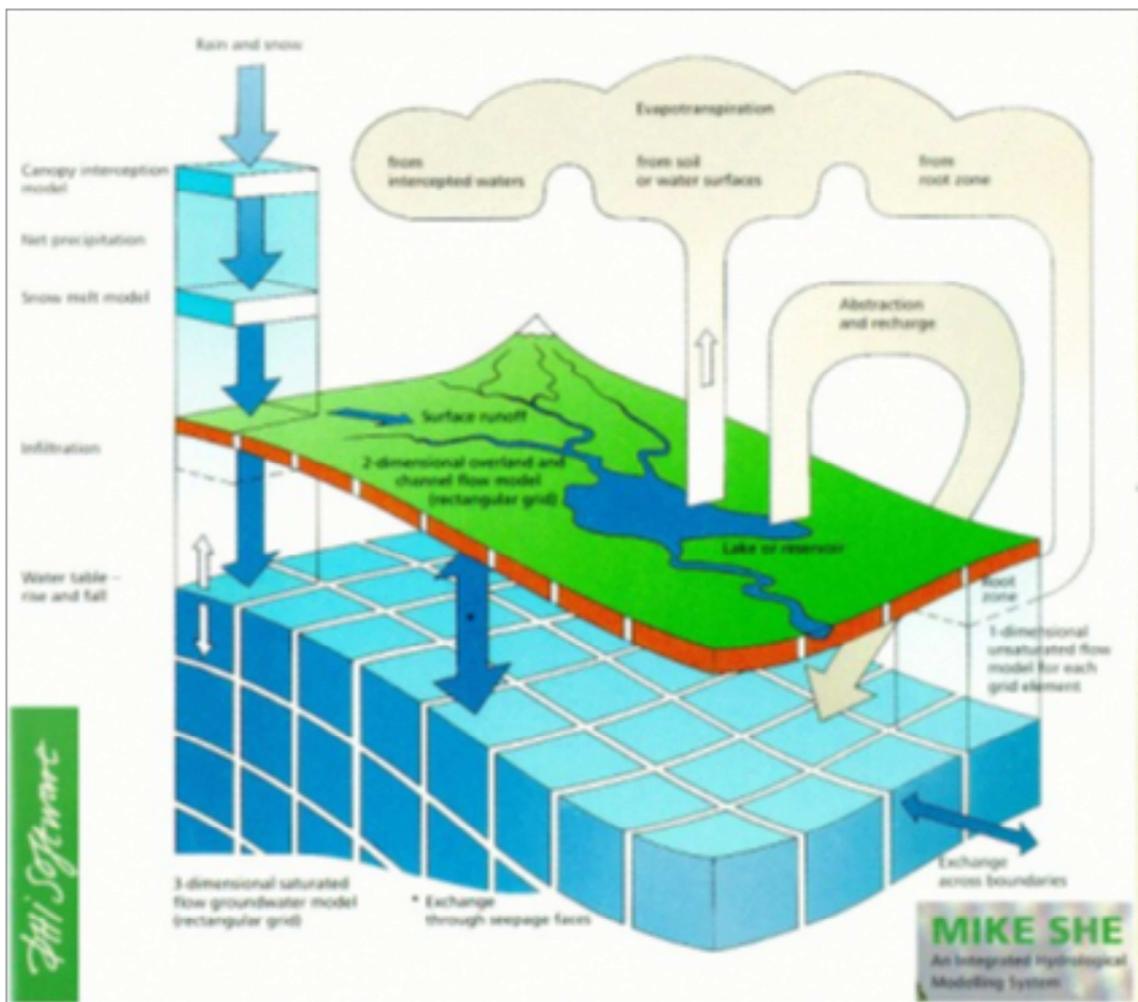


Figura 11 - Schema concettuale del modello MIKE SHE

Ciascun modulo descrive i maggiori processi del ciclo idrologico e, allo stesso tempo, i vari moduli forniscono una descrizione completa delle interazioni con la superficie topografica e il suolo; inoltre ciascuna componente può essere utilizzata separatamente o accoppiata a una o più delle altre componenti.

MIKE SHE è stato sviluppato inizialmente con lo scopo di raggiungere un livello di dettaglio sufficiente a giustificare un sistema fisicamente basato. Le equazioni utilizzate sono - tranne poche eccezioni - non empiriche e ben note per rappresentare i processi fisici nelle varie parti del ciclo idrologico.

Con specifico riferimento alle componenti del ciclo idrologico, vengono nel seguito descritte le linee portanti dell'architettura funzionale del modello.

Ricarica verticale

Con il codice MIKE SHE l'infiltrazione netta conseguente alle precipitazioni atmosferiche può essere trattata con diverse metodologie e gradi di approssimazione (formule di evapotraspirazione, simulazione della zona insatura con equazione di Richards completa o approssimata, formule di infiltrazione empiriche ecc.). La scelta dell'approccio impiegato è dettata, nel corso della fase di taratura del modello, prevalentemente dalla qualità delle informazioni e dei dati di base disponibili, senza trascurare gli aspetti pratici legati all'ottenimento di tempi di calcolo non eccessivamente lunghi, alla facilità di aggiornamento dei dati di input ecc..

Deflusso nel reticolo superficiale, irrigazione

Anche in questo caso il codice MIKE SHE consente diversi livelli di dettaglio con cui introdurre nel modello le informazioni relative al deflusso nel reticolo idrografico superficiale, ai conseguenti fenomeni indotti di alimentazione-drenaggio, alle tecniche di irrigazione e ai conseguenti fenomeni di infiltrazione in falda delle acque in esubero. Nel corso della fase di taratura del modello si individua il tipo di applicazione più adeguato, con l'obiettivo finale di ricostruire al meglio il reale andamento delle oscillazioni del livello di falda, a partire dai dati a disposizione.

Flusso nella zona satura

Il codice MIKE SHE considera la possibilità di introdurre, nella maglia regolare alle differenze finite, una discretizzazione verticale articolata per "layers" (unità idrogeologiche continue nel dominio di studio) e "lenses" (orizzonti idrogeologici discontinui, definiti dall'area di estensione e dalle superfici basale e sommitale). Questa particolare flessibilità operativa consente una grande adattabilità di impostazione del modello in relazione alla densità e affidabilità dei dati disponibili sulla struttura dell'acquifero.

Emungimenti

Le portate estratte dai pozzi possono essere inserite nel modello MIKE SHE con il massimo grado di dettaglio disponibile in base alle informazioni e ai dati reperiti nel corso dello studio. In particolare è possibile inserire le serie temporali delle portate emunte in corrispondenza dei punti di prelievo e alle quote di fenestrazione dei pozzi. I prelievi minori diffusi, in mancanza di maggiori informazioni, possono invece essere aggregati a scala comunale o eventualmente inferiore ed equiparati dal punto di vista della schematizzazione di calcolo a precipitazioni con segno negativo.

6.1.2 Applicazione del codice al caso in esame

Il codice di calcolo MIKE SHE è stato in origine concepito e sviluppato per simulare tutte le complessità che caratterizzano il ciclo idrologico completo in aree di pianura anche fortemente antropizzate, quali ad esempio:

- il flusso idrico in acquiferi saturi e non saturi alluvionali di pianura, con assetto stratigrafico complesso;
- gli interscambi tra acque superficiali e sotterranee nel contesto di aree di pianura caratterizzate da reti superficiali complesse, naturali e artificiali, attraverso l'interfaccia con il modello idrodinamico monodimensionale MIKE 11;

- l'infiltrazione verticale verso la zona satura calcolando le aliquote di evapotraspirazione e infiltrazione a partire da scenari colturali e irrigui complessi, tipicamente riscontrabili nelle aree di pianura dove gli spazi non urbanizzati si caratterizzano per attività agricola intensiva.

Tuttavia per ciascuna componente del ciclo idrologico precedentemente descritta, MIKE SHE consente di attivare o meno i differenti moduli di calcolo dedicati e di scegliere il grado di dettaglio nella schematizzazione applicata. È così possibile costruire modelli con differente grado di "complicazione", consentendo all'utente di limitare inizialmente i parametri di calibrazione, e di sviluppare modelli complessi attraverso un'attività in progress, funzione dei dati effettivamente disponibili e delle finalità specifiche del modello.

Nel caso in esame, trattandosi di bacini imbriferi di tipo "montano" i cui deflussi sono caratterizzati in prevalenza dai contributi di scorrimento superficiale ed ipodermico e solo secondariamente dai deflussi di base, il codice MIKE SHE è stato applicato in base allo schema rappresentato nella Figura 12 in cui i deflussi sotterranei sono rappresentati con un modello di simulazione a parametri concentrati del tipo a serbatoi lineari.

Mentre per il deflusso superficiale i bacini sono suddivisi in un reticolo di calcolo a celle quadrate, per i deflussi sotterranei gli stessi bacini vengono suddivisi in un numero anche non particolarmente elevato di sottobacini all'interno dei quali sono tra loro distinti una serie di serbatoi interdipendenti per la simulazione dei deflussi ipodermici e un numero generalmente non elevato di serbatoi per la simulazione dei deflussi di falda; questi ultimi sono inoltre sdoppiati su due livelli: un serbatoio che rappresenta la falda superficiale a risposta rapida e un serbatoio che rappresenta invece la falda profonda con risposta ritardata (deflussi di esaurimento).

I deflussi ipodermici passano dai serbatoi di monte a quelli posti subito a valle di essi, fino a raggiungere i corsi d'acqua superficiali presenti nel fondovalle dei vari sottobacini considerati. Gli stessi serbatoi contribuiscono inoltre all'infiltrazione verso i due serbatoi che rappresentano la falda superficiale e quella profonda. I vari serbatoi di base risultano tra loro non interconnessi.

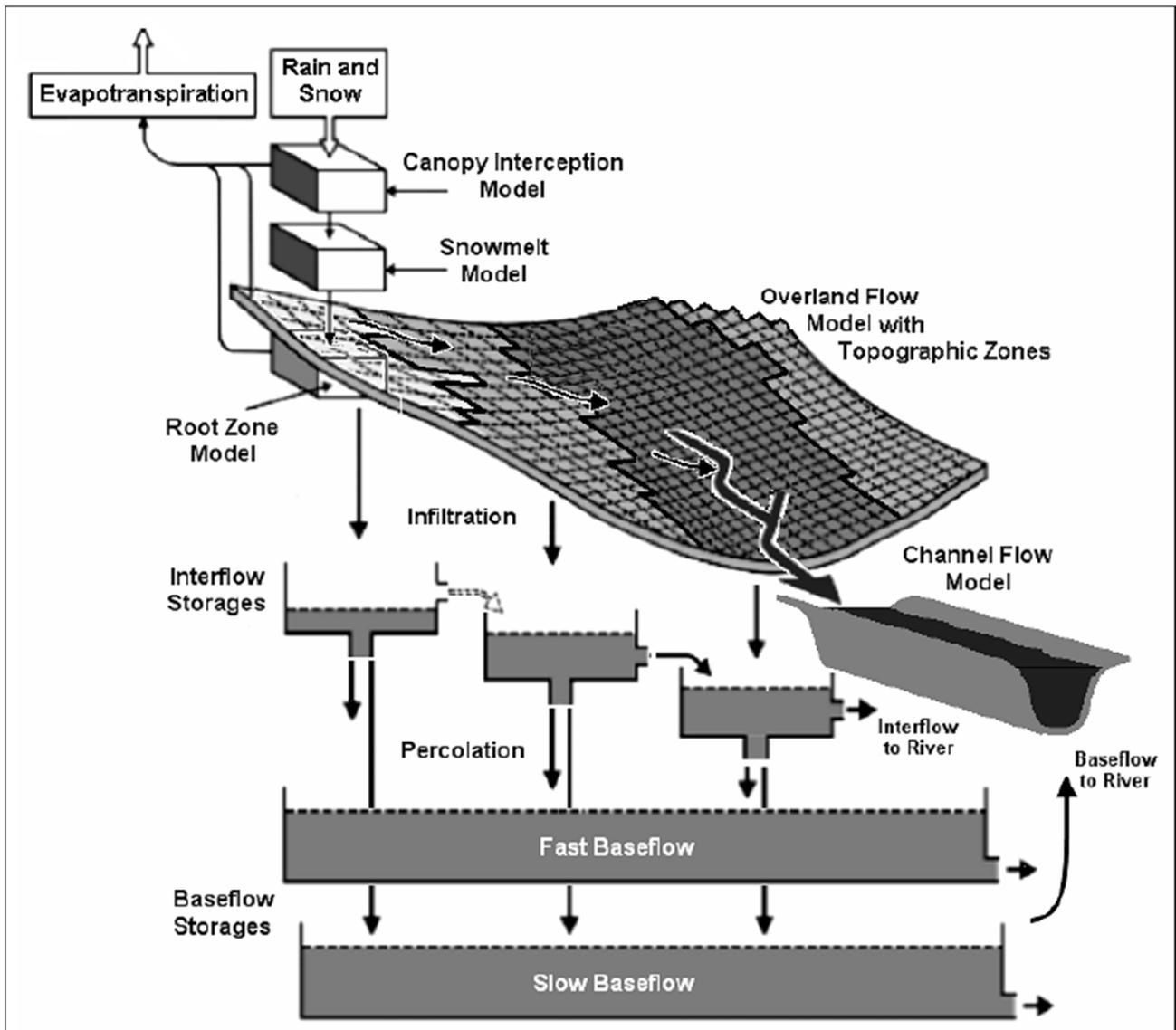


Figura 12 - Schema del modello MIKE SHE con simulazione semplificata dei deflussi sotterranei.

6.2 Messa a punto del modello

6.2.1 Discretizzazione orizzontale

Tutti i dati raccolti nel corso dello studio sono stati inseriti in ingresso al modello di simulazione con il migliore grado di discretizzazione possibile, in funzione del livello di dettaglio offerto dai dati di base disponibili. Nel modello tipologie di dati diversi possono cioè avere discretizzazione spaziale e temporale diverse. Nel contempo, zone di maggiore interesse possono essere caratterizzate da un grado di dettaglio nei dati di discretizzazione spaziale e temporale molto più esteso che in altre zone di minore interesse o marginali.

La discretizzazione spaziale di calcolo del modello è del tutto indipendente da quella caratterizzante le geometrie dell'acquifero, le condizioni iniziali e al contorno, le forzanti esterne ecc.. Il modello, basato sul codice di calcolo MIKE SHE, impiega infatti reticoli di calcolo regolari a celle quadrate e dispone di un potente

preprocessore che automaticamente (ma con possibilità di controllo accurato) consente di adattare sul reticolo di calcolo scelto i dati di input presenti nel modello.

Una stessa simulazione può essere condotta a partire da differenti scelte del reticolo di discretizzazione che può essere ottimizzato nel corso di uno studio in funzione dei seguenti importanti aspetti: dettaglio ed affidabilità dei dati di input (sia statici che dinamici), risoluzione spazio-temporale dei risultati delle simulazioni, tempi di calcolo, finalità pratiche dello studio ecc.. A priori si è deciso di adottare un reticolo di calcolo a maglie quadrate di lato 20 m.

Nella Figura 13 è rappresentata l'area di applicazione del modello, la suddivisione in sottobacini e il reticolo idrografico principale con assi cartesiani in coordinate UTM33-ED50. Sullo sfondo è infine visibile la base cartografica IGM 1:25.000, utilizzata per localizzare l'area di studio a grande scala.

Le griglie di calcolo del modello presentano le seguenti caratteristiche:

- maglia quadrata di lato 20 m (scelta non vincolante come detto in precedenza);
- origine (coordinata in basso a sinistra): $X_0 = 464040$ m - $Y_0 = 4537845$ m;
- 256 righe e 425 colonne per un totale di 188.800 celle delle quali 60.070 risultano interne o sul contorno del modello (celle attive).

Tutte le griglie, sia di calcolo che di input, sono state mantenute con orientazione Nord-Sud ed Est-Ovest essenzialmente per ragioni di comodità e perché non sussiste alcuna esigenza di adottare per esse una particolare rotazione.

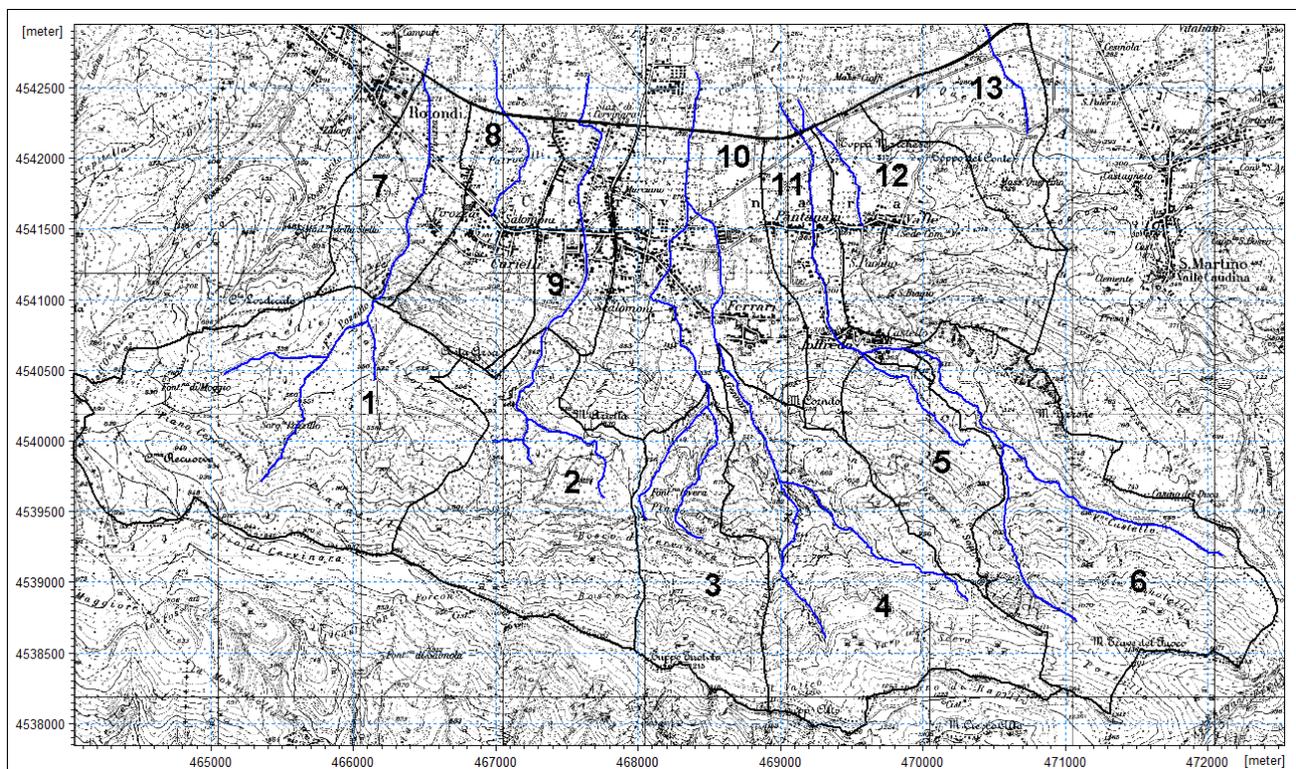


Figura 13 - Area di applicazione del modello numerico con suddivisione in sottobacini.

Nella Tabella 19, con riferimento alla numerazione delle sezioni di chiusura dei sottobacini indicata nella Figura 13, sono riportati i corrispondenti valori delle aree sottese e le denominazioni dei relativi corsi d'acqua interessati.

SEZIONE N°	AREA SOTTOBACINO (km ²)	AREA BACINO (km ²)	DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA/BACINO
1	3,734	3,734	Pozzillo
2	2,328	2,328	Conga monte
3	1,447	1,447	Sx San Gennaro monte
4	2,835	2,835	San Gennaro monte
5	1,022	1,022	Sx Castello
6	3,012	3,012	Castello monte
7	1,006	4,740	Pirozza
8	1,184	1,184	Dx Pirozza
9	0,817	3,145	Conga
10	2,479	6,761	San Gennaro
11	0,907	4,941	Castello
12	1,815	1,815	Dx Castello
13	1,005	1,005	Fosso est

Tabella 19 - Elenco delle sezioni di chiusura dei sottobacini e bacini con relative aree e denominazioni.

6.2.2 Discretizzazione temporale

Il modello può accettare in ingresso serie temporali a passo qualunque (orarie, giornaliere, settimanali, mensili ecc.), per cui è preferibile introdurre in esso direttamente le serie storiche di misura con il passo temporale originario, previa ovviamente un'analisi di affidabilità delle serie stesse.

Il modello impiega passi di integrazione numerica differenziati in funzione della componente di bilancio esaminata (deflusso superficiale, insaturo e saturo) e variabili nel corso della simulazione in funzione dell'intensità di input della precipitazione e/o dell'infiltrazione efficace in modo da evitare instabilità di calcolo.

Nel caso in esame sono stati adottati i seguenti intervalli massimi di integrazione: 0,5 ore per il deflusso superficiale e 6,0 ore per il deflusso di base.

6.2.3 Topografia

Per la caratterizzazione della topografia del piano campagna è stato utilizzato il modello digitale del terreno (DTM) a maglia 20 m ottenuto a partire dal DTM base originale a maglia 2 m (vedi Figura 14).

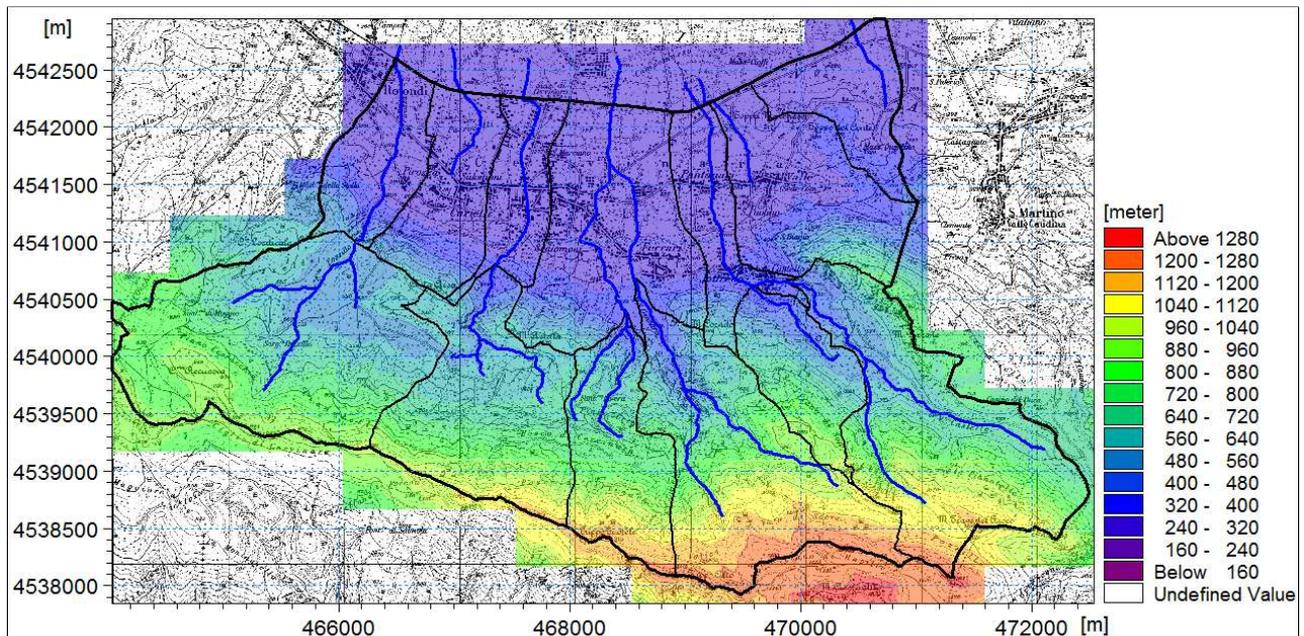


Figura 14 - Modello digitale del terreno.

6.2.4 Input meteorico

Per la simulazione di taratura del modello relativa all'anno 1999 sono stati predisposti i dati di input di tipo meteorico per il modello (precipitazione ed evapotraspirazione potenziale) in modo da poter utilizzare tali informazioni al maggior livello di dettaglio possibile:

- i dati di precipitazione della stazione di S.Martino Valle Caudina dell'anno 1999 sono stati inseriti a passo giornaliero (dati ricavati dall'Annale Idrologico - Tabella I - Osservazioni pluviometriche giornaliere) eccetto che per i giorni dal 14 al 17 dicembre per i quali sono stati reperiti i dati orari² (vedi Figura 15): si è pertanto costruita una serie storica di input al modello a passo variabile, giornaliero o orario, in funzione della disponibilità del dato;
- i dati di evapotraspirazione potenziale dell'anno medio precedentemente descritti sono stati inseriti a passo temporale mensile considerando due distinte fasce altimetriche: quota media 320 m s.m. per i bacini 7÷13 e quota media 760 m s.m. per i bacini 1÷6 (vedi paragrafo 5.7).

I dati di precipitazione sono stati assegnati uniformemente distribuiti su tutto il comprensorio in esame.

² F.Fiorillo, F.M.Guadagno, S.Aquino, A.De Blasio – “The December 1999 Cervinara landslides: further debris flows in the pyroclastic deposits of Campania (southern Italy) – Bull Eng Geol Env 2001 60:171-184.

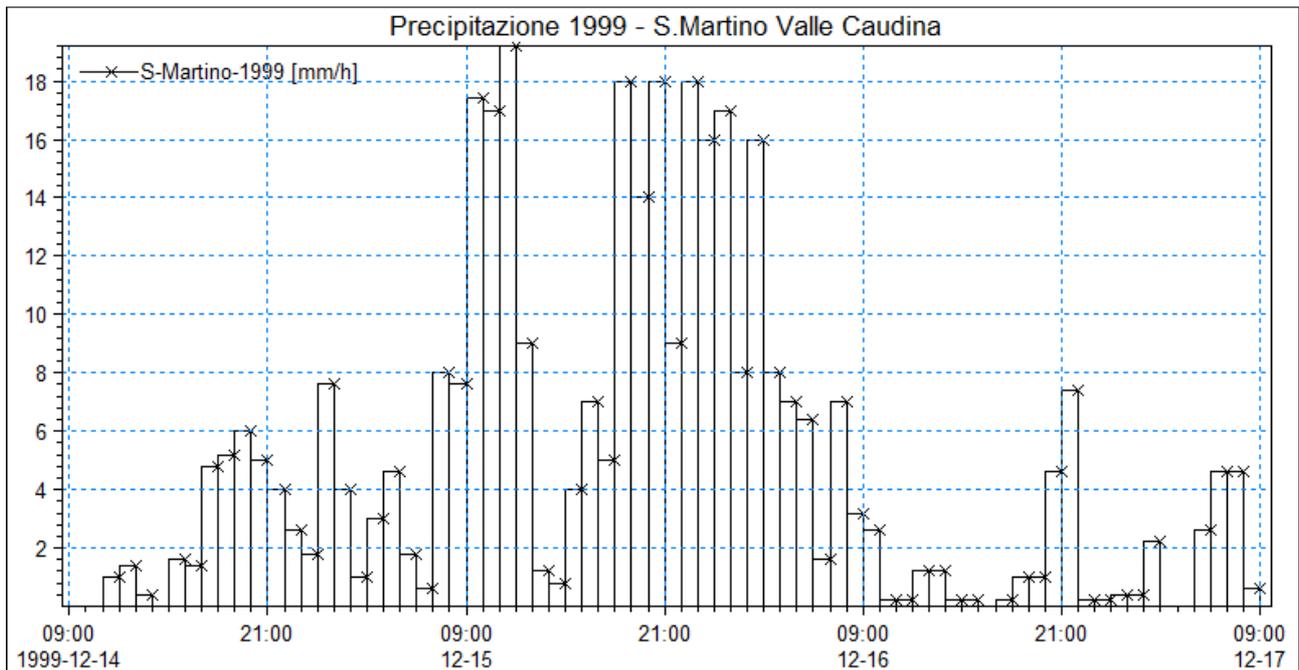


Figura 15 - Precipitazioni orarie dell'evento del 14-17 dicembre 1999.

6.2.5 Uso suolo - vegetazione

Nel codice MIKE SHE è possibile definire una mappa di distribuzione areale della vegetazione alla quale associare i seguenti parametri caratteristici, che possono essere assegnati costanti o variabili nel tempo e che vengono utilizzati direttamente nelle equazioni empiriche di Kristensen and Jensen per il calcolo dell'evapotraspirazione reale:

- "Leaf Area Index" (LAI): "indice di copertura fogliare" pari al rapporto tra la superficie totale delle foglie e la superficie del terreno sottostante ad esse, generalmente variabile tra 0 e 7 (adimensionale);
- "Root Depth" (RD): "profondità dell'apparato radicale" definita come profondità massima delle radici attive nell'ambito della zona radicale (mm).

Il territorio in esame è stato suddiviso in 18 classi, considerando le 17 classi relative alla "Carta dell'uso del suolo del territorio montano del comune di Cervinara" (vedi Figura 16) e aggiungendo un'ultima classe che comprende tutto il restante territorio di pianura. A tali classi sono stati associati i parametri di prima approssimazione riportati nella Tabella 20, ipotizzati medi e costanti nel tempo.

TIPOLOGIA	LAI	RD (mm)
Aree a pascolo naturale e praterie	1	100
Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	3	300
Aree con vegetazione rada	0	0
Boschi di conifere	5	600
Boschi di latifoglie	6	800
Boschi misti a prevalenza di conifere	6	800
Cantieri	0	0
Castagneto ceduo	5	500
Castagneto da frutto	5	500
Castello e area circostante	0	0
Ciliegeto	4	400
Faggeta	5	500
Macchia alta	3	300
Macchia bassa e garighe	2	200
Rocce nude	0	0
Sistemi colturali e particellari complessi	3	300
Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0	0
Pianura	0	0

Tabella 20 - Elenco dei parametri descrittivi della vegetazione nell'ambito del modello idrologico.

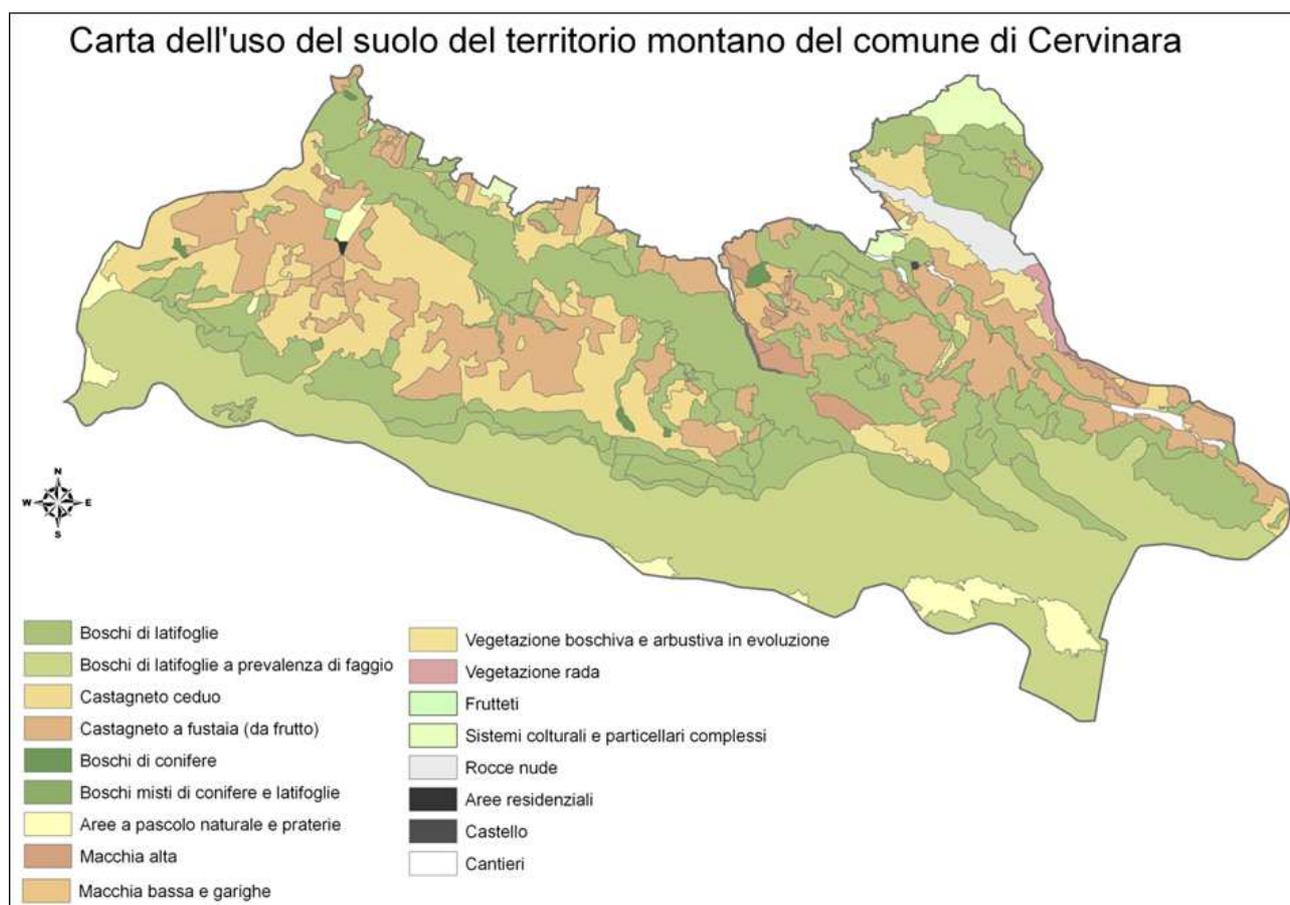


Figura 16 - Carta uso suolo.

6.2.6 Deflusso superficiale

Il deflusso di scorrimento superficiale viene simulato in MIKE SHE risolvendo ad ogni passo di calcolo le equazioni bidimensionali di De Saint Venant con approssimazione dell'onda diffusiva.

Il codice richiede pertanto in input la distribuzione areale dei coefficienti di scabrezza di Strickler medi del terreno, della capacità di invaso o immagazzinamento in superficie e delle condizioni iniziali di altezza d'acqua presente in superficie.

In prima approssimazione e in base all'esperienza acquisita nella messa a punto ed applicazione di altri modelli simili, si è definito un coefficiente medio di scabrezza di Strickler pari a $2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, uniforme su tutto il territorio in esame. Il valore immesso è estremamente basso rispetto a quelli considerati usualmente nei modelli idrodinamici a pelo libero a scala locale, in considerazione del fatto che le celle di calcolo hanno dimensione di 20 m e che pertanto su tali estensioni la resistenza al moto è influenzata in prevalenza dalle "macroscabrezze" costituite da ostacoli di vario tipo (rocce, scarpate, incisioni ecc).

Come massima altezza di invaso superficiale al di sotto della quale non si ha deflusso per scorrimento superficiale da una cella a quelle limitrofe a quota inferiore si è considerato semplicemente un valore pari a 2 mm, uniforme su tutto il territorio in esame.

Come condizione di altezza d'acqua presente in superficie all'inizio della simulazione si è ipotizzato infine di avere ovunque un valore nullo.

6.2.7 Deflusso nel reticolo idrografico superficiale

Nell'ambito del codice MIKE SHE, al fine di rappresentare con un elevato livello di dettaglio gli interscambi tra acque superficiali e sotterranee nel contesto di aree di pianura caratterizzate da reti superficiali complesse, oppure in ambiti montani per raccogliere lungo i fondovalle i vari contributi di afflusso naturale ed eventualmente anche inserire strutture di regolazione dei deflussi (derivazioni, invasi ecc.), è possibile realizzare un'interfaccia di collegamento con un modello idrodinamico del reticolo idrografico superficiale basato sul codice di calcolo MIKE 11 - HD.

MIKE 11 simula il deflusso a pelo libero monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali con la possibilità di tenere conto in particolare di: portate laterali, condizioni di corrente veloce o lenta, flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di manufatti idraulici e ponti, resistenze localizzate e perdite di carico concentrate, casse d'espansione, nodi idraulici (immissioni o biforcazioni) ecc..

L'adozione di MIKE11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo un'adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio di onde di piena.

Il successivo accoppiamento dinamico di MIKE 11 e di MIKE SHE consente di simulare i seguenti aspetti:

- esondazioni dall'alveo inciso del reticolo idrografico inserito in MIKE 11 verso le celle di calcolo del deflusso superficiale di MIKE SHE;
- drenaggio dei deflussi superficiali calcolati in MIKE SHE operato dal reticolo idrografico gestito da MIKE 11;

- interscambio fiume-falda (drenaggio o alimentazione) in funzione dei livelli idrici in alveo e piezometrici in falda e dei coefficienti di permeabilità del mezzo (a scelta tra materiale di fondo alveo, acquifero o entrambi).

La realizzazione di un modello integrato MIKE SHE - MIKE 11 comporta in generale le seguenti attività:

- messa a punto e taratura di un modello idrodinamico MIKE 11 funzionante correttamente in maniera autonoma;
- messa a punto di un modello MIKE SHE comprendente l'opzione di simulare i deflussi superficiali;
- accoppiamento dei due modelli definendo i rami del reticolo superficiale di MIKE 11 che possono interagire con MIKE SHE e le modalità di interfacciamento.

Nell'ambito del presente studio si è deciso di rappresentare con MIKE 11 il reticolo idrografico principale evidenziato nelle figure precedenti, in modo da poter facilmente e direttamente estrarre le serie temporali calcolate di portata defluente in qualunque sezione di interesse inclusa nel reticolo idrografico stesso.

L'inserimento del reticolo idrografico permette inoltre di distinguere i diversi apporti forniti dai vari corsi d'acqua in esame e di sommare i vari contributi di portata rispettando i reali tempi di formazione e corruzione dei deflussi.

Nella Figura 17 è rappresentato lo schema planimetrico del modello del reticolo idrografico superficiale messo a punto con MIKE 11. Nello schema sono evidenziati in blu i rami di calcolo ed in rosso le sezioni d'alveo di calcolo. Il modello è caratterizzato come segue:

- le sezioni d'alveo sono state ricavate dal DTM a maglia 2 m;
- i rami sono stati definiti come "Kinematic Routing": su di essi non vengono risolte le equazioni del moto di De Saint Venant, ma semplici equazioni di propagazione cinematica (nel caso in esame si è scelto in particolare di applicare le equazioni di Muskingum) che hanno il vantaggio di essere incondizionatamente stabili e che pertanto consentono di adottare passi temporali di integrazione qualsiasi con tempi di calcolo molto rapidi;
- per tutti i tratti d'alveo si è adottato un coefficiente di scabrezza medio di Strickler pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

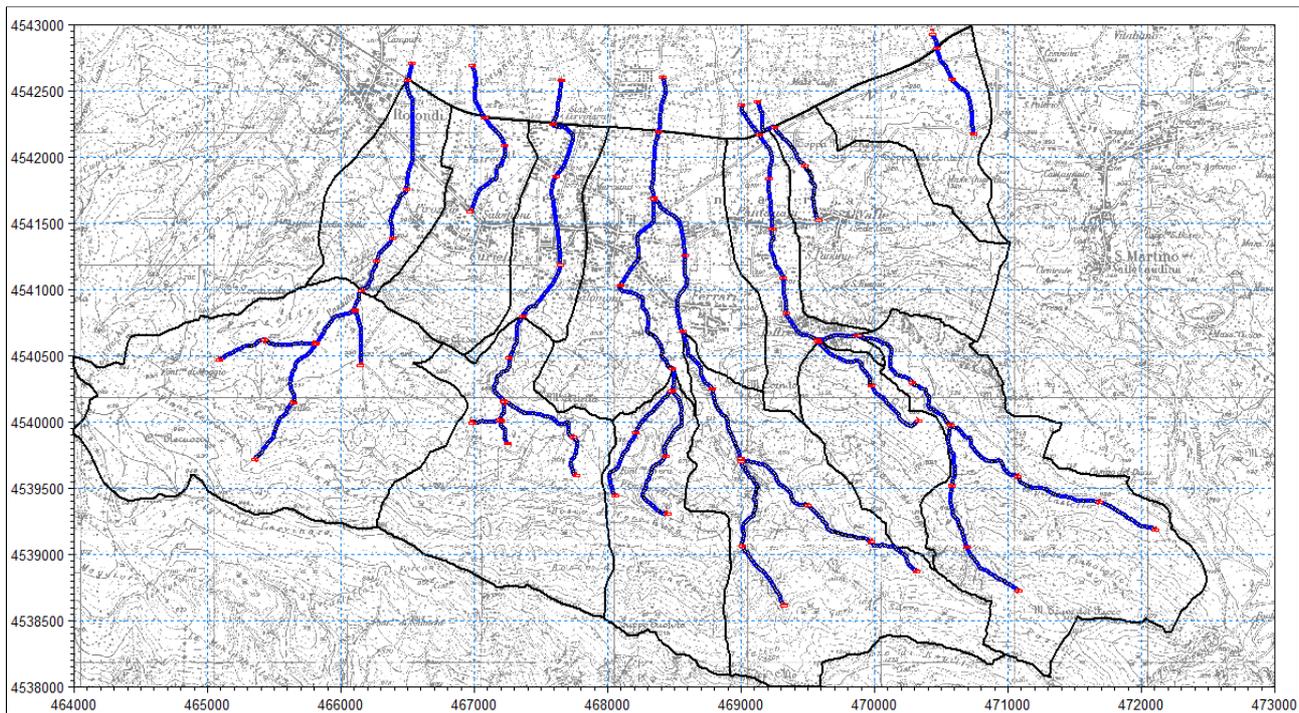


Figura 17 - Schema planimetrico del modello MIKE 11 interfacciato con il modello MIKE SHE.

6.2.8 Deflusso nella zona insatura

Dovendo introdurre nel modello la simulazione della zona insatura, al fine di calcolare direttamente l'infiltrazione netta verso i serbatoi ipodermico e di falda, si è deciso di applicare la formulazione più semplificata disponibile nel codice MIKE SHE, quella denominata a due-strati ("two-layer water balance method") che comporta tempi di simulazione rapidi e un numero limitato di parametri di taratura.

Tale metodo opera ad ogni passo temporale un semplice bilancio di volume suddividendo la zona insatura in due strati:

- uno strato superficiale compreso tra il piano campagna e la profondità per la quale si annulla l'evapotraspirazione;
- un secondo strato sottostante il primo che raggiunge la superficie freatica (se quest'ultima è molto superficiale il secondo strato può anche non esistere).

Nel caso in esame, come parametri di input, sono stati adottati i seguenti parametri sintetici, considerati costanti su tutta l'estensione del modello:

- contenuto d'acqua alla saturazione (-) = 0,30
- contenuto d'acqua alla capacità di campo (-) = 0,10
- contenuto d'acqua al punto di appassimento (-) = 0,05
- profondità della superficie freatica (m) = 2,00
- spessore della zona capillare (m) = 0,50.

La conducibilità idraulica satura (m/s), che rappresenta uno dei parametri di taratura più importanti nell'ambito del modello, è stata invece assegnata in funzione della tipologia dei complessi idrogeologici definiti nella

“Carta idrogeologica” del Comune di Cervinara³ e successivamente accorpati per semplicità nelle seguenti classi (vedi Figura 18):

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Complesso calcareo | $k_s = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s; |
| 2. Complesso delle piroclastiti | $k_s = 2,0 \cdot 10^{-8}$ m/s; |
| 3. Complesso detritico-piroclastico | $k_s = 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s; |
| 4. Complesso conglomeratico | $k_s = 5,0 \cdot 10^{-8}$ m/s; |
| 5. Complesso argilloso-limoso-sabbioso | $k_s = 5,0 \cdot 10^{-8}$ m/s; |
| 6. Complesso limoso-sabbioso | $k_s = 8,0 \cdot 10^{-8}$ m/s; |
| 7. Complesso ghiaioso-sabbioso-limoso | $k_s = 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s; |
| 8. Complesso detritico | $k_s = 1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s. |

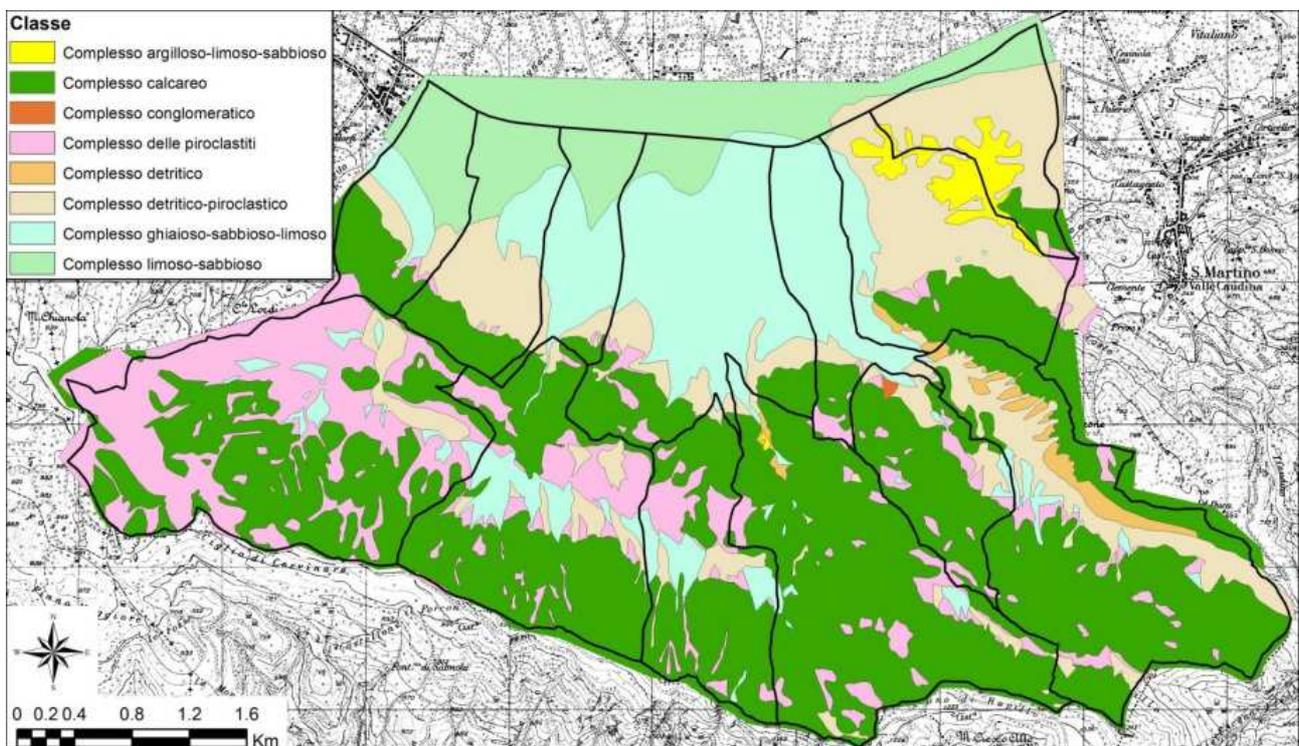


Figura 18 - Complessi idrogeologici inseriti nel modello idrologico.

6.2.9 Deflusso ipodermico e di base

Per la simulazione del deflusso ipodermico sono stati delineati i 7 serbatoi rappresentati nella Figura 19, i cui parametri di input e taratura finale sono elencati nella Tabella 21. L'estensione planimetrica dei vari serbatoi è stata definita individuando le fasce altimetriche indicate nella stessa tabella.

³ Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno – Emergenza idrogeologica del 15-16/12/1999 – Comune di Cervinara: “Carta idrogeologica” – Tavola 3.1 – dicembre 2000.

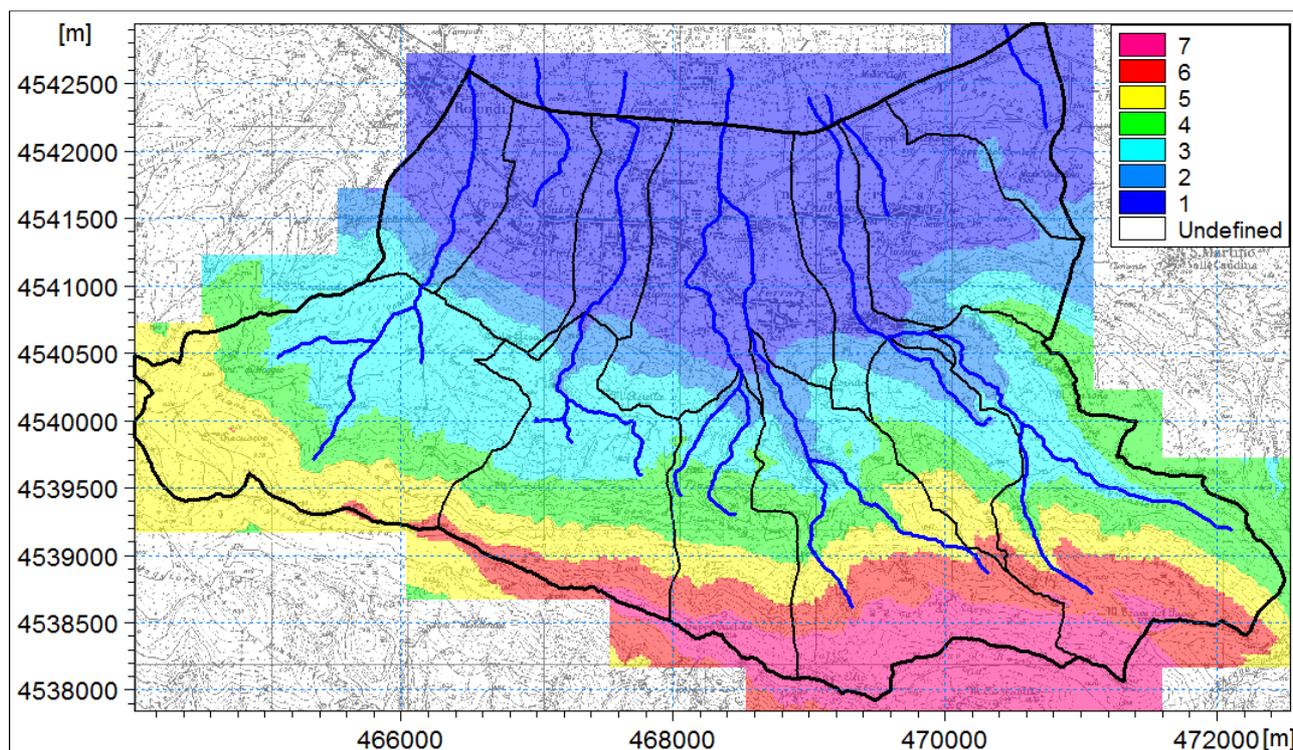


Figura 19 - Estensione planimetrica dei serbatoi ipodermici.

Serbatoio N°	Fascia altimetrica	Spessore (m)	Porosità efficace (-)	Costante di tempo deflusso (giorni)	Costante di tempo infiltrazione (giorni)
1	< 350 m s.m.	0,30	0,30	0,500	0,25
2	da 500 a 350 m s.m.	0,30	0,30	0,300	0,25
3	da 650 a 500 m s.m.	0,25	0,30	0,300	0,25
4	da 800 a 650 m s.m.	0,25	0,30	0,250	0,25
5	da 950 a 800 m s.m.	0,20	0,30	0,250	0,25
6	da 1100 a 950 m s.m.	0,20	0,30	0,250	0,25
7	> 1100 m s.m.	0,20	0,30	0,250	0,25

Tabella 21 - Parametri di controllo del deflusso ipodermico.

Per la simulazione del deflusso di falda sono stati delineati i 14 serbatoi rappresentati nella Figura 20, i cui parametri di input sono elencati nella Tabella 22: serbatoi 1÷6 relativi all'area montana, serbatoi 7÷13 relativi alla zona di fondo valle e serbatoio 14 relativo a un bacino endoreico.

Parametro	Serbatoi 1÷6	Serbatoi 1÷6	Serbatoi 7÷13	Serbatoi 7÷13	Serbatoio 14	Serbatoio 14
	falda superficiale	falda profonda	falda superficiale	falda profonda	falda superficiale	falda profonda
Porosità efficace (-)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Costante di tempo deflusso (giorni)	6,0	90,0	9,0	180,0	9,0	180,0
Frazione disponibile per alimentare l'insaturo (-)	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Profondità soglia di inizio deflusso (m)	4,0	8,0	10,0	20,0	4,0	8,0
Profondità fondo serbatoio (m)	4,0	8,0	10,0	20,0	4,0	8,0

Tabella 22 - Parametri di controllo del deflusso di falda.

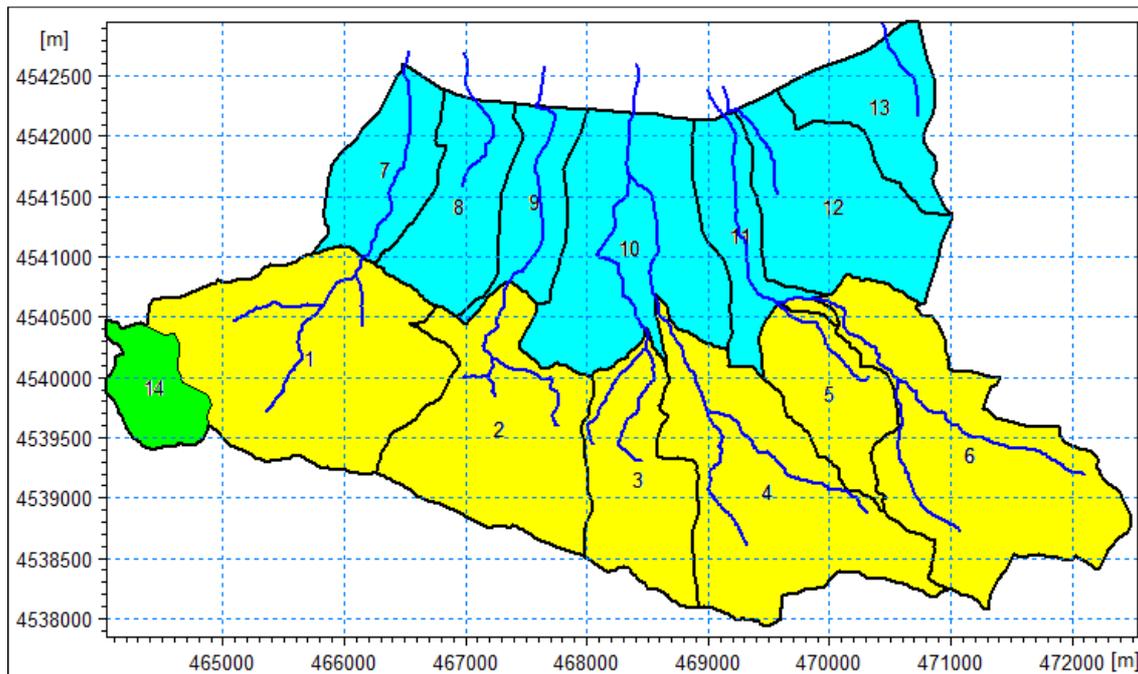


Figura 20 - Estensione planimetrica dei serbatoi di falda considerati.

6.3 Taratura e applicazione del modello idrologico

Non disponendo di misure dirette o quantomeno valutazioni empiriche delle portate di piena verificatesi nel corso dell'evento di piena del dicembre 1999 non è risultato possibile effettuare una taratura diretta, di dettaglio, del modello idrologico. È risultato però possibile, completata la messa a punto del modello idraulico, simulare l'evento del dicembre 1999 con gli idrogrammi di portata generati dal modello idrologico e confrontare le aree di esondazione risultanti con le mappe storiche di allagamento disponibili.

6.3.1 Simulazione dell'evento di piena del dicembre 1999

La simulazione dell'evento di piena storico del dicembre 1999 è stata condotta con il modello idrologico precedentemente descritto sul periodo 1/7/1999÷31/12/1999, in modo da assegnare le precipitazioni realmente accadute nei mesi che hanno preceduto l'evento pluviometrico critico rappresentato nella Figura 15 e riuscire ad inizializzare correttamente il modello, svincolandolo dalle incertezze legate alla definizione di condizioni iniziali assegnate a priori arbitrariamente.

Nella Figura 21 è rappresentata la serie storica delle precipitazioni della stazione di San Martino Valle Caudina inserita in ingresso al modello.

Nella Figura 22 è invece riportato un confronto tra le altezze di precipitazione massime registrate nel corso dell'evento del dicembre 1999 alla stazione di San Martino Valle Caudina e le curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno precedentemente definite al paragrafo 5.4: esso dimostra come a tale evento siano da associare tempi di ritorno via via crescenti all'aumentare della durata; le precipitazioni di durata corrispondente ai tempi di corrvazione dei bacini in esame presentano tempi di ritorno inferiori ai 5 anni mentre per durate maggiori di 18 ore all'evento è associabile un tempo di ritorno prossimo ai 100 anni.

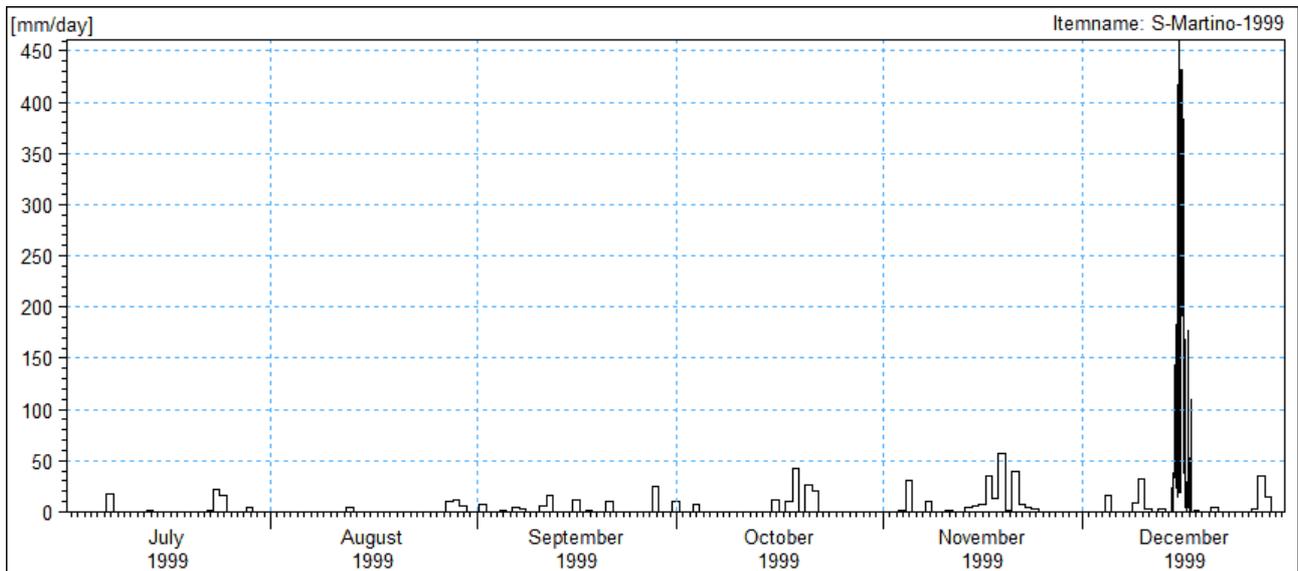


Figura 21 - Serie storica delle precipitazioni in ingresso al modello.

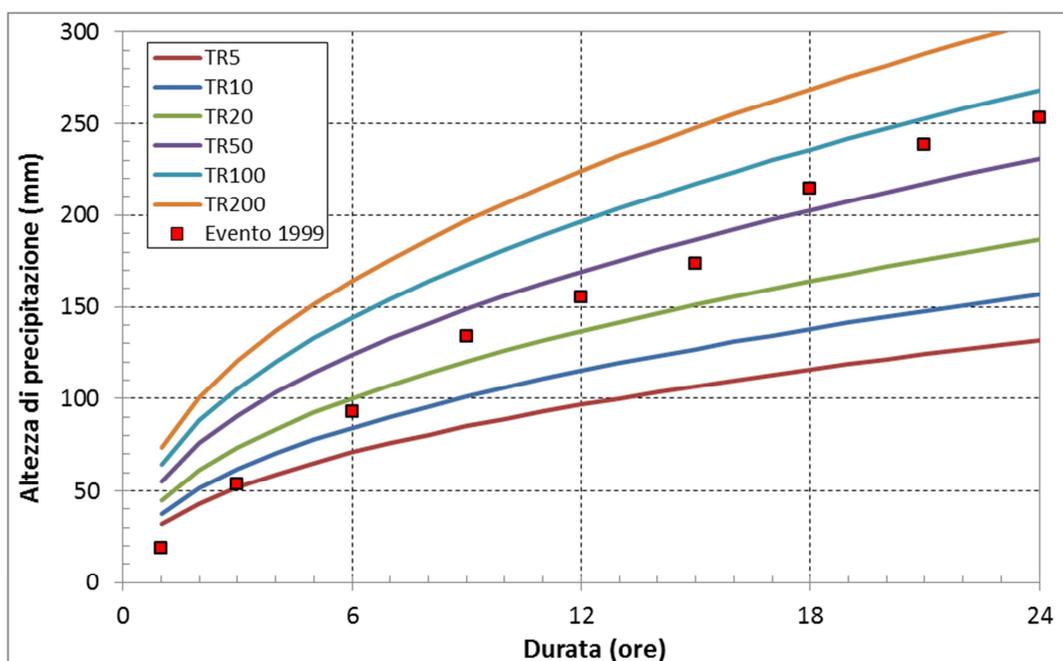


Figura 22 - Confronto tra le altezze di precipitazione massime dell'evento del dicembre 1999 e le curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno.

Nella Figura 23 e nella Figura 24 sono rappresentati gli idrogrammi ricostruiti con il modello idrologico in occasione dell'evento di piena del dicembre 1999 in corrispondenza rispettivamente delle chiusure di bacino presso gli sbocchi vallivi (bacini 1÷6) e del rilevato della ferrovia (bacini 7÷13). Nella Tabella 23 sono riportati i valori al colmo degli stessi idrogrammi di portata.

I risultati della simulazione con modello idrodinamico della propagazione lungo le aste vallive di tali idrogrammi di piena dell'evento alluvionale del dicembre 1999 con confronto tra le aree di allagamento calcolate e quelle realmente osservate nel corso dell'evento sono presentati nel paragrafo 7.7.

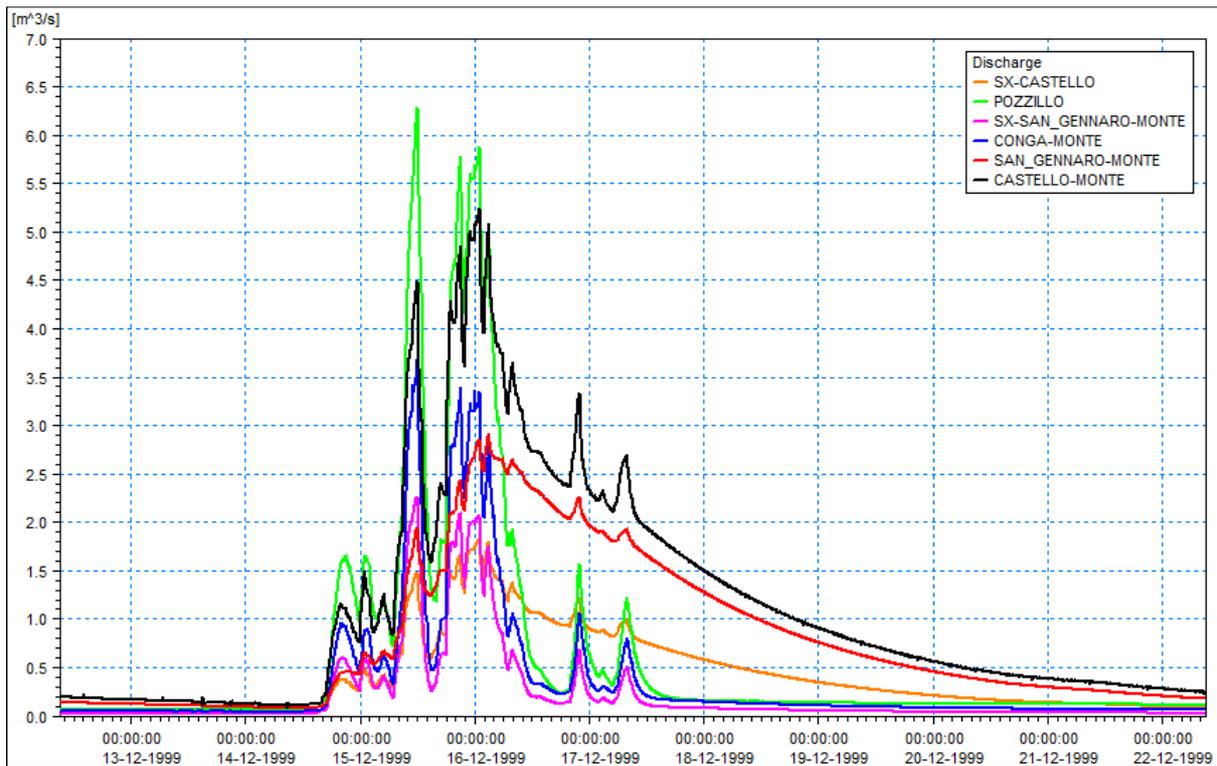


Figura 23 - Idrogrammi dell'evento di piena del dicembre 1999 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi allo sbocco vallivo.

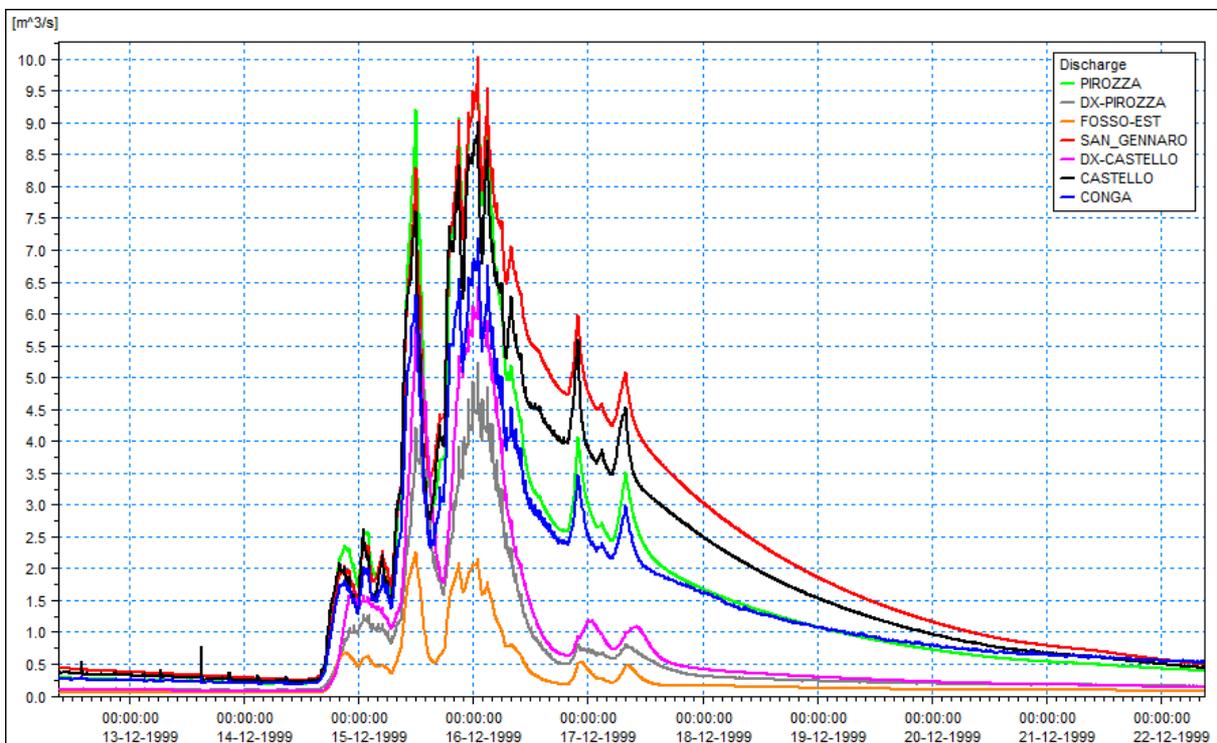


Figura 24 - Idrogrammi dell'evento di piena del dicembre 1999 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi lungo la ferrovia.

N°	NOME BACINO	Q colmo (m³/s)
1	Pozzillo	6.29
2	Conga monte	3.67
3	Sx San Gennaro monte	2.27
4	San Gennaro monte	2.91
5	Sx Castello	1.83
6	Castello monte	5.25
7	Pirozza	9.97
8	Dx Pirozza	5.24
9	Conga	7.19
10	San Gennaro	10.03
11	Castello	9.02
12	Dx Castello	6.42
13	Fosso est	2.27

Tabella 23 - Portate al colmo dell'evento del dicembre 1999 calcolate con il modello.

6.3.2 Simulazione degli eventi di piena di assegnato tempo di ritorno

La simulazione degli eventi di piena di assegnato tempo di ritorno è stata condotta con il modello idrologico precedentemente descritto, con parametri di taratura, su un periodo di simulazione di durata 4 giorni in cui:

- nelle prime 24 ore è stata assegnata una pioggia di inizializzazione e saturazione del terreno caratterizzata da un'altezza totale di 20 mm;
- alle ore 0:00 del secondo giorno inizia la pioggia critica caratterizzata da un'assegnata durata, intensità costante e un'altezza totale di precipitazione calcolata con la curva di possibilità climatica con il tempo di ritorno prescelto;
- il restante periodo, a pioggia nulla, è imposto per consentire il calcolo della fase di esaurimento dell'idrogramma di portata risultante.

Nella Tabella 24 è riportato l'elenco degli eventi di piena con tempo di ritorno 200 anni simulati con il modello idrologico, con specificazione della durata, altezza e intensità della pioggia critica.

EVENTO	DURATA PIOGGIA CRITICA (ore)	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA (mm)	INTENSITÀ PIOGGIA CRITICA (mm/ora)
EVENTO 1	0,5	53,9	107,84
EVENTO 2	0,6	58,5	97,52
EVENTO 3	0,7	62,7	89,57
EVENTO 4	0,8	66,6	83,21
EVENTO 5	1,0	73,6	73,57
EVENTO 6	1,2	79,8	66,53
EVENTO 7	1,4	85,6	61,11
EVENTO 8	1,6	90,8	56,77
EVENTO 9	1,8	95,8	53,20
EVENTO 10	2,0	100,4	50,19
EVENTO 11	2,5	110,9	44,38
EVENTO 12	3,0	120,4	40,13
EVENTO 13	4,0	137,0	34,24

Tabella 24 - Caratterizzazione degli eventi di precipitazione con tempo di ritorno 200 anni.

Nella Tabella 25 sono riportati i valori delle portate al colmo degli idrogrammi di piena generati dagli eventi di pioggia critica con tempo di ritorno 200 anni in corrispondenza delle chiusure dei bacini idrografici in studio: in rosso sono evidenziati i valori massimi raggiunti.

Durata pioggia critica (ore)		0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0
ID	BACINO\EVENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Pozzillo	21,41	22,50	22,23	22,47	23,12	21,65	19,93	18,54	17,88	16,92	15,91	14,53	12,35
2	Conga monte	15,20	16,00	15,74	15,32	15,77	14,17	12,76	11,54	10,96	10,17	9,34	8,86	7,09
3	Sx San Gennaro monte	11,88	11,84	11,44	10,98	10,80	9,71	8,56	7,71	7,04	6,64	5,78	5,16	4,31
4	San Gennaro monte	20,63	19,34	17,19	16,27	13,64	10,52	7,89	5,96	5,12	5,10	4,40	4,07	3,63
5	Sx Castello	8,28	8,00	7,41	7,01	6,30	5,37	4,52	3,91	3,64	3,48	3,18	2,96	2,66
6	Castello monte	29,82	29,00	26,73	25,71	23,08	19,65	16,58	14,23	13,22	12,34	11,19	10,26	8,69
7	Pirozza	22,95	24,97	26,53	26,57	26,45	26,35	26,20	26,56	23,36	24,04	21,11	20,42	17,57
8	Dx Pirozza	4,07	4,23	4,28	4,74	5,59	5,48	5,85	6,48	6,76	7,47	8,06	9,26	8,49
9	Conga	16,58	17,78	19,10	19,33	18,72	18,13	17,10	18,02	15,03	15,62	13,39	12,54	11,27
10	San Gennaro	32,88	34,45	35,04	35,79	31,21	27,82	25,89	23,98	20,68	21,98	18,29	17,69	14,93
11	Castello	36,69	37,04	36,35	36,73	32,77	29,00	26,70	24,09	20,71	20,63	17,87	16,24	14,38
12	Dx Castello	6,81	7,18	7,49	7,79	8,24	8,59	9,17	9,67	10,19	10,72	11,95	12,83	11,80
13	Fosso est	4,37	4,71	5,14	5,47	6,24	6,24	6,28	6,68	6,14	6,43	5,68	5,34	4,46

Tabella 25 - Portate al colmo degli idrogrammi di piena generati dagli eventi con tempo di ritorno 200 anni in corrispondenza delle chiusure dei bacini idrografici in studio.

Si osserva che:

- uno stesso evento non è critico per tutti i bacini per effetto dei diversi tempi di corrivazione implicitamente calcolati dal modello idrologico e non imposti a priori;
- i tempi di corrivazione calcolati con i metodi tradizionali sono generalmente prossimi a quelli desumibili dalle durate degli eventi che massimizzano le portate al colmo;
- l'incremento/decremento di valore della portata al colmo relativa agli eventi di durata prossima a quella che fornisce il valore massimo è generalmente modesto.

Fatte queste considerazioni si è deciso di eseguire con modello idrodinamico soltanto le simulazioni relative all'evento 1 e all'evento 4 in corrispondenza dei quali si concentra la maggioranza dei valori idrologici massimi di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Nella Figura 25 e nella Figura 26 sono rappresentati gli idrogrammi di piena generati con il modello idrologico per effetto dell'evento 1 in corrispondenza rispettivamente delle chiusure di bacino presso gli sbocchi vallivi (bacini 1÷6) e del rilevato della ferrovia (bacini 7÷13).

Nella Figura 27 e nella Figura 28 sono rappresentati invece gli idrogrammi di piena generati con il modello idrologico per effetto dell'evento 4 in corrispondenza, anche in questo caso, delle chiusure di bacino rispettivamente presso gli sbocchi vallivi (bacini 1÷6) e del rilevato della ferrovia (bacini 7÷13).

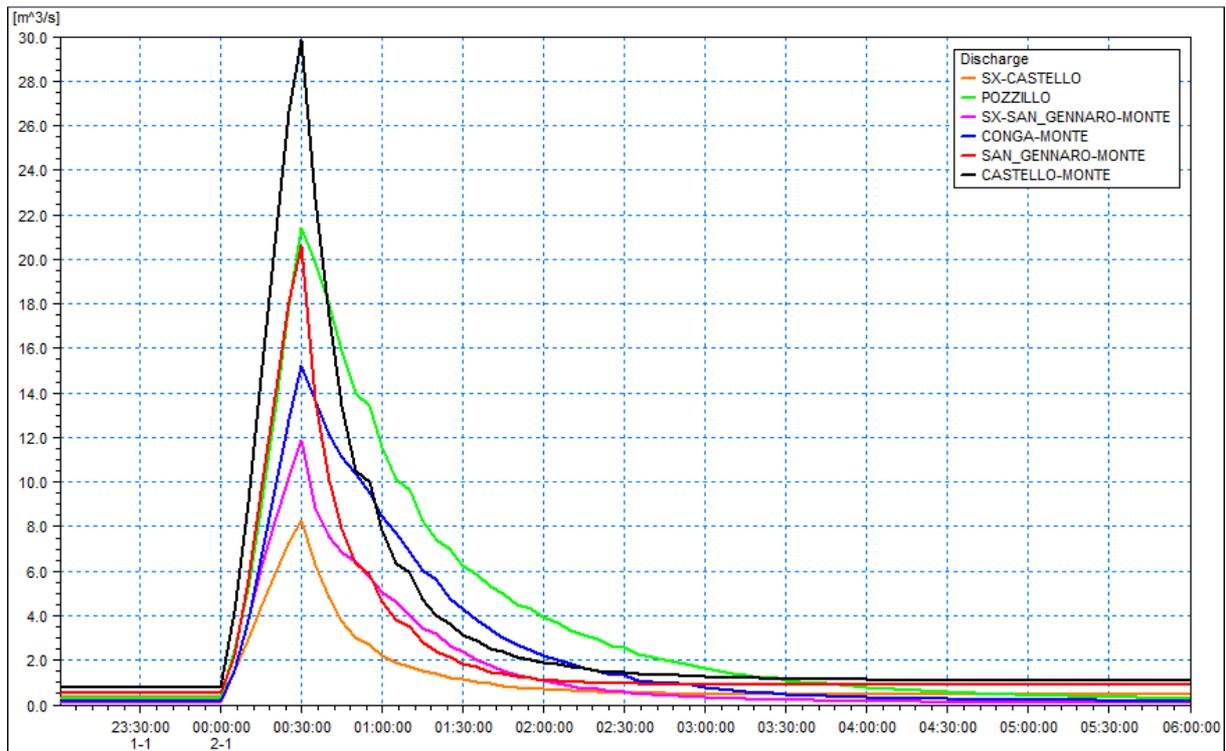


Figura 25 - Idrogrammi di piena generati dall'evento 1 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi allo sbocco vallivo.

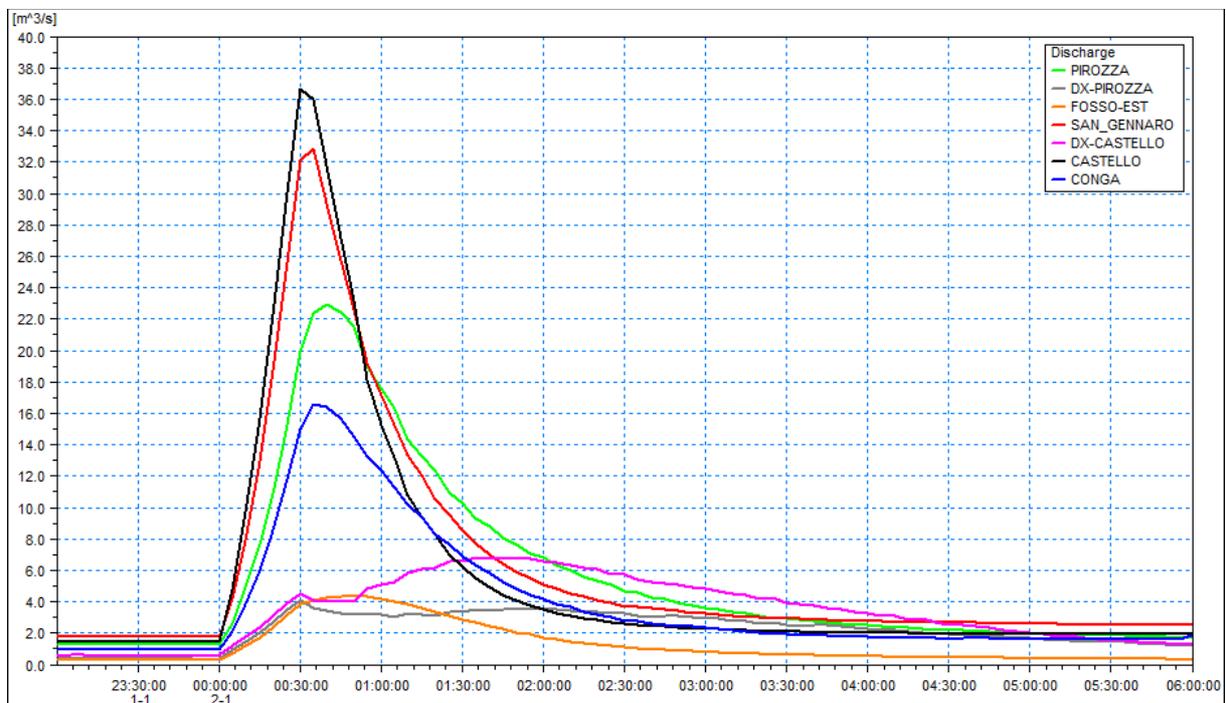


Figura 26 - Idrogrammi di piena generati dall'evento 1 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi lungo la ferrovia.

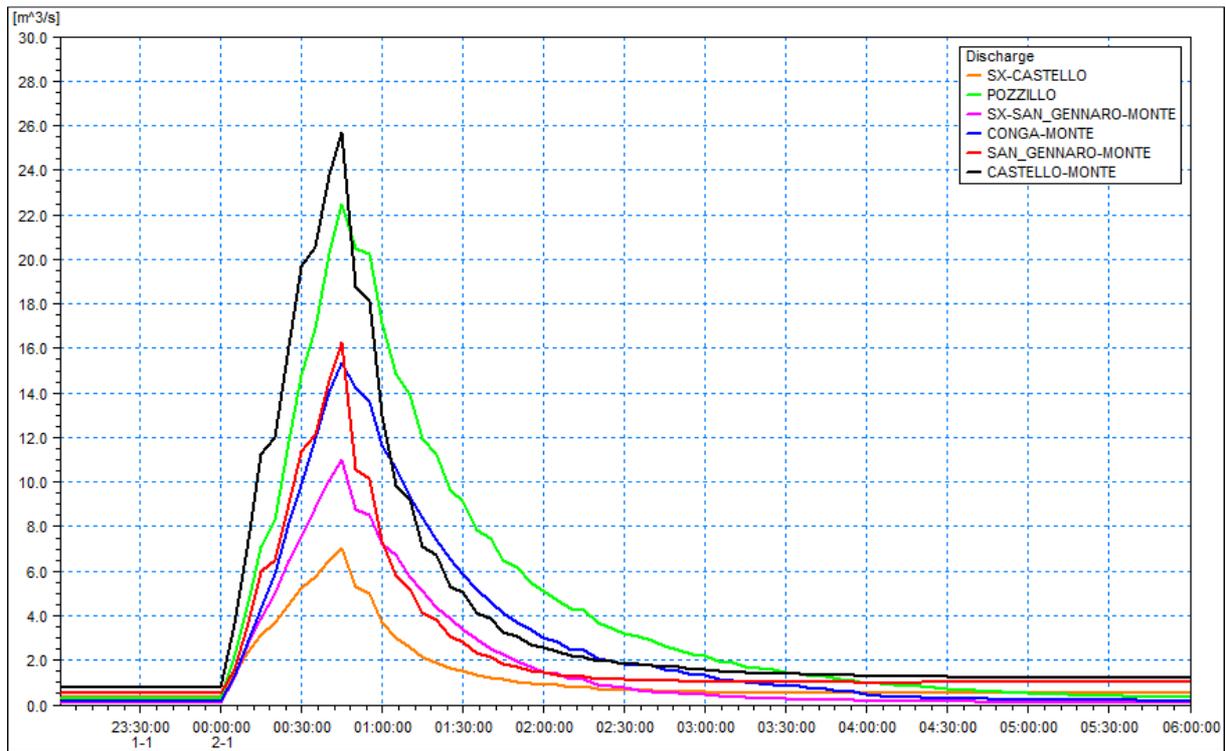


Figura 27 - Idrogrammi di piena generati dall'evento 4 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi allo sbocco vallivo.

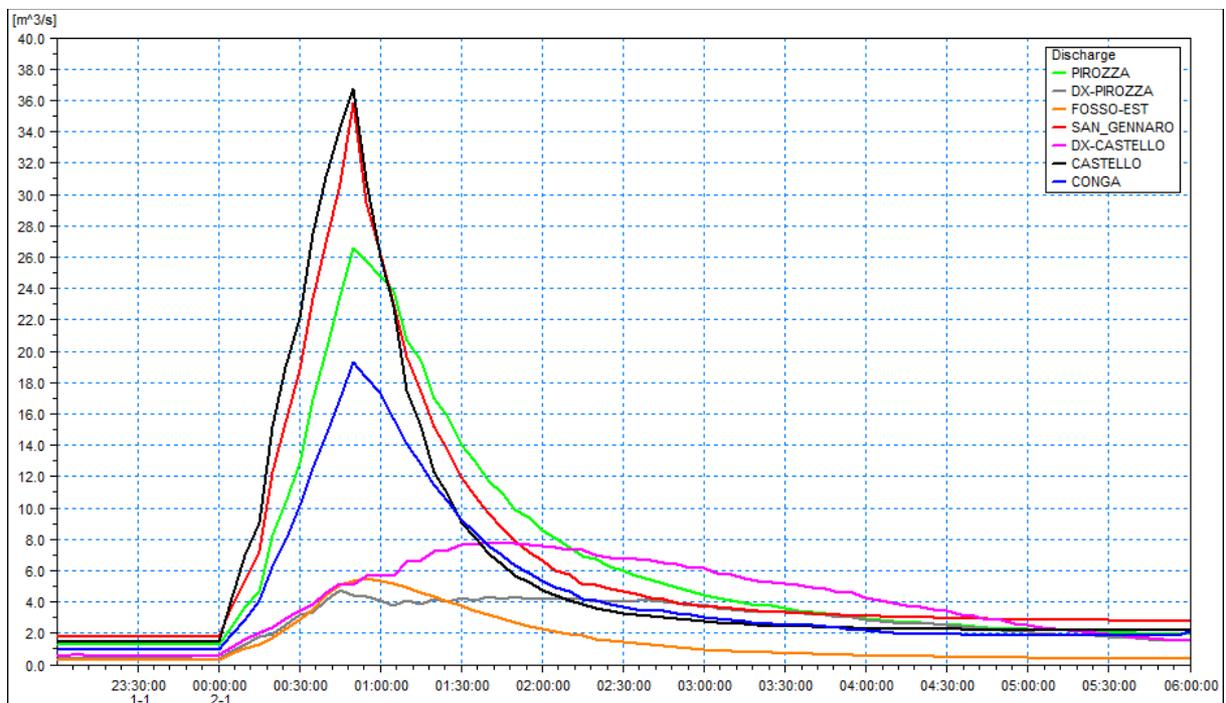


Figura 28 - Idrogrammi di piena generati dall'evento 4 calcolati con il modello, relativi ai bacini chiusi lungo la ferrovia.

6.4 Portate al colmo e idrogrammi di piena di riferimento per le analisi idrauliche

Nella Tabella 26 sono elencati i valori delle portate al colmo di riferimento con tempo di ritorno 200 anni assunti pari ai valori massimi derivanti dall'applicazione del modello idrologico (vedi Tabella 25).

ID	BACINO	Q _{max} TR=200 anni
1	Pozzillo	23,12
2	Conga monte	16,00
3	Sx San Gennaro monte	11,88
4	San Gennaro monte	20,63
5	Sx Castello	8,28
6	Castello monte	29,82
7	Pirozza	26,57
8	Dx Pirozza	9,26
9	Conga	19,33
10	San Gennaro	35,79
11	Castello	37,04
12	Dx Castello	12,83
13	Fosso est	6,68

Tabella 26 - Portate al colmo di riferimento con tempo di ritorno 200 anni in corrispondenza delle chiusure dei bacini idrografici in studio.

7. ANALISI CON MODELLO IDRODINAMICO

7.1 Approccio metodologico

Il modello idrodinamico basato sul codice di calcolo **MIKE Flood** del DHI Water Environment Health messo a punto ai fini delle analisi idrauliche per la definizione delle aree allagabili nel corso degli eventi di piena di progetto è stato esteso a coprire l'intera porzione di territorio del Comune di Cervinara compresa tra gli sbocchi vallivi e il rilevato ferroviario.

Il modello combina dinamicamente l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale.

Nel caso in esame, gli alvei dei corsi d'acqua principali sono stati modellati con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali del solo alveo inciso e delle geometrie degli attraversamenti stradali e dei tombamenti presenti lungo i tratti simulati, mentre le aree interessate dai deflussi di piena di esondazione sulle aree per lo più urbanizzate sono state modellate con approccio bidimensionale, adottando una griglia di calcolo a celle quadrate di lato 4x4 m.

Gli alvei dei corsi d'acqua simulati con approccio monodimensionale sono stati poi collegati dinamicamente alle adiacenti aree urbane golenali, sia in sponda destra che in sponda sinistra, mediante speciali funzioni di MIKE Flood, nel rispetto delle reali quote spondali.

I risultati delle simulazioni relativi alle aree inondabili sono stati in seguito opportunamente elaborati in modo da fornire mappe dei tiranti idrici e velocità di scorrimento riferite ai loro valori massimi.

Il codice di calcolo MIKE Flood è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE 11 e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei codici si vedano rispettivamente gli allegati 2 e 3).

MIKE Flood consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE 11 e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE 11 per la simulazione monodimensionale di tratti di alveo incisi non coperti da un DTM (modello digitale del terreno) e per il deflusso idrodinamico attraverso ponti, tombini, salti di fondo ecc., MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso coperte da un DTM.

MIKE Flood è caratterizzato dal fatto che MIKE 11 e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto e nell'input-output, mentre una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di MIKE 11 e MIKE 21 per gli interscambi di portata e di quantità di moto e per la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

Nel caso in esame è stato messo a punto un modello MIKE Flood, esteso per la parte bidimensionale fino al rilevato ferroviario, includendo anche i tratti monodimensionali dei corsi d'acqua in esame a valle di tale rilevato in modo da assegnare su questi ultimi condizioni al contorno di valle che non influenzassero in alcun modo i risultati ottenuti sulle aree coperte dal modello 2D. Il modello complessivamente comprende:

- modello MIKE 11 monodimensionale per la rappresentazione degli alvei incisi di tutti i principali corsi d'acqua presenti;
- modello MIKE 21 bidimensionale per la rappresentazione delle aree golenali e urbane allagabili;
- connessione dinamica laterale (lungo entrambe le sponde degli alvei) dei modelli MIKE 11 e MIKE 21 mediante MIKE Flood.

Nella Figura 29 è riportata una corografia generale che illustra l'estensione planimetrica dei modelli numerici applicati nel presente studio: adottando come base la foto area del comprensorio in esame, sono rappresentati i bacini idrografici sui quali è stato messo a punto il modello idrologico basato sul codice di calcolo MIKE SHE, il reticolo idrografico principale simulato con il codice di calcolo monodimensionale MIKE 11 e il contorno dell'area di applicazione del codice di calcolo bidimensionale MIKE 21.

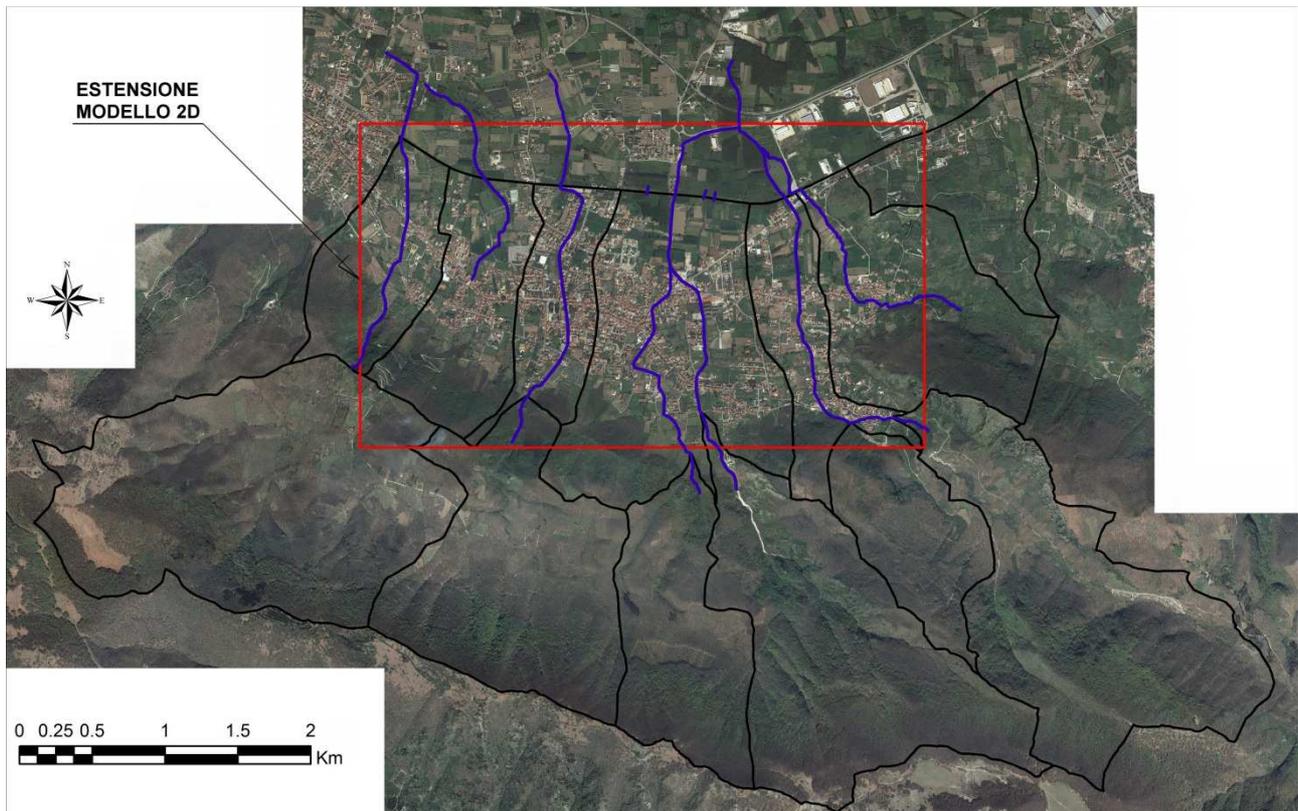


Figura 29 - Rappresentazione generale dell'estensione planimetrica dei modelli MIKE SHE e MIKE Flood.

7.2 Messa a punto del modello idrodinamico monodimensionale

La prima attività condotta ai fini della messa a punto del modello MIKE Flood è stata la realizzazione del modello monodimensionale degli alvei incisi utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 HD (modulo idrodinamico), del quale viene fornita una sintetica descrizione nell'allegato 2.

Il modello è stato realizzato partendo dall'estrazione in automatico dal DTM a maglia 1x1 m di sezioni trasversali d'alveo in corrispondenza di punti di particolare interesse lungo i principali corsi d'acqua già considerati nello studio idrologico: a monte/valle degli attraversamenti stradali e tombinature, su tratti canalizzati, in zone ritenute critiche sulla base dei sopralluoghi preventivamente condotti ecc..

Successivamente le sezioni d'alveo estratte in automatico sono state opportunamente corrette tenendo conto delle informazioni raccolte nel corso delle attività condotte in situ per il censimento delle opere idrauliche e contenute nelle schede del "Catasto delle opere idrauliche" che sono state consultate anche per l'inserimento nel modello delle geometrie degli attraversamenti stradali e delle tombinature.

La schematizzazione geometrica degli alvei all'interno dell'area di applicazione del modello 2D è stata in particolare effettuata in modo da limitare le sezioni di calcolo entro le sponde incise. In corrispondenza dei tratti a sezione chiusa (ponti e tombinature) sono state sempre inserite una sezione d'alveo a monte e una a valle della struttura stessa per esigenze di modellazione.

Una rappresentazione grafica dell'intero modello MIKE 11 è riportata nella Figura 30, nella quale le linee rosse rappresentano le sezioni d'alveo inserite nel modello e i quadratini neri le strutture di attraversamento stradale e le tombinate. Nella stessa figura è inoltre evidenziato il contorno del modello bidimensionale. Sono infine evidenti gli ulteriori elementi che completano il modello MIKE 11: tre rami secondari di attraversamento del rilevato ferroviario in corrispondenza di altrettanti tombini esistenti.

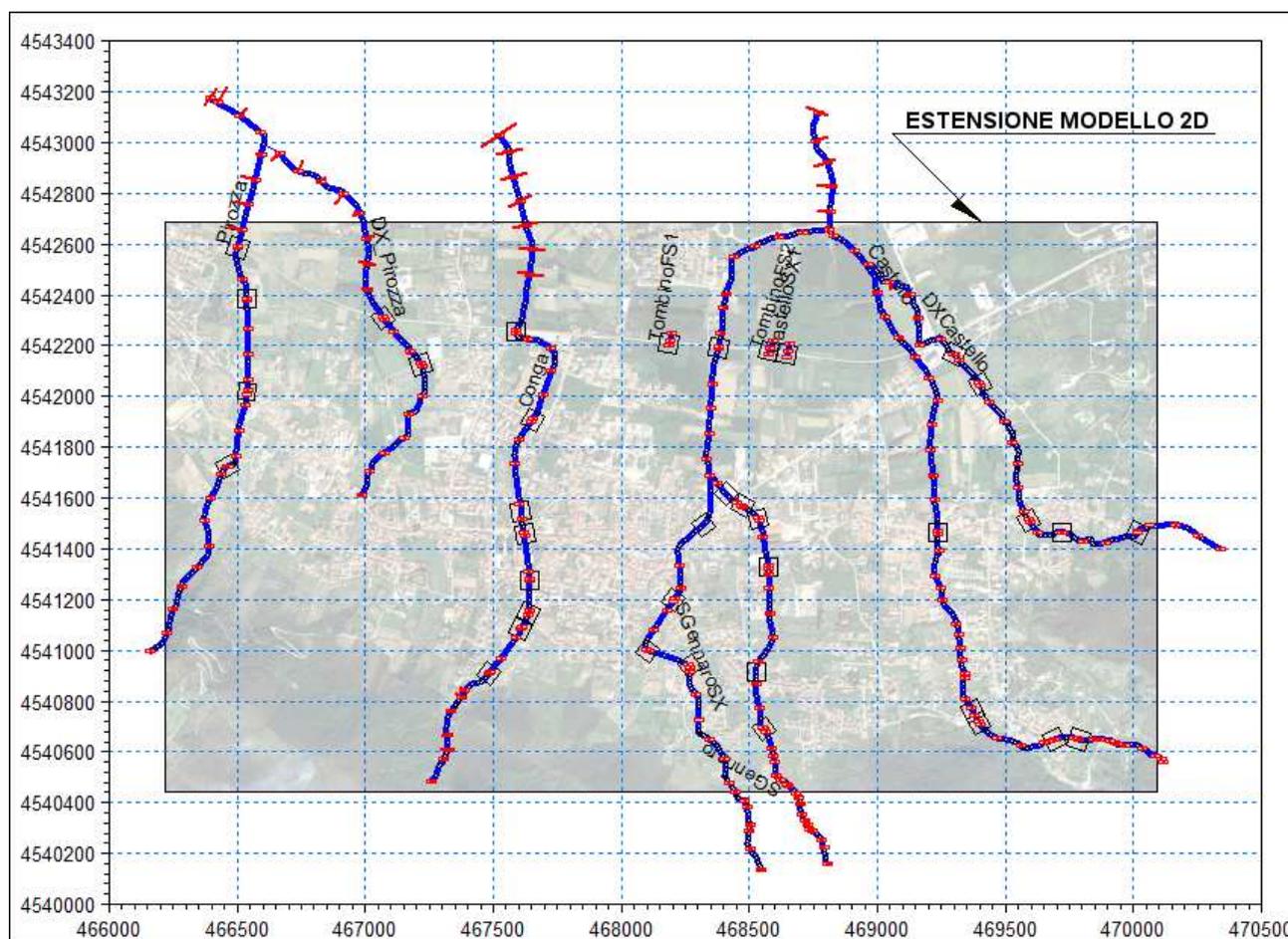


Figura 30 - Rappresentazione planimetrica del modello MIKE 11.

Nelle simulazioni si è considerato in generale per gli alvei incisi dei corsi d'acqua un valore medio del coefficiente di scabrezza K_s di Strickler assunto cautelativamente pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per tenere conto sia delle condizioni di manutenzione non sempre ottimali degli alvei (presenza di vegetazione, ostruzioni, materiale in alveo ecc.), sia del fatto che in piena è notevole il trasporto solido e la tendenza alla sedimentazione che tendono a ridurre la capacità teorica di deflusso degli alvei stessi. Per i tratti di alveo rivestiti in cls dei torrenti Castello e Conga si è invece assunto, sempre cautelativamente, un valore medio del coefficiente di scabrezza K_s di Strickler pari a $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$; per i tratti di alveo con sponde in cls dei torrenti San Gennaro e Sx San Gennaro si è infine assunto un valore di K_s intermedio pari a $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

I ponti sono stati rappresentati nell'ambito del modello con strutture tipo "culvert" di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce libera al deflusso. Tale assunzione risulta valida in quanto il comportamento della corrente è regolato principalmente dal restringimento della sezione in

presenza del ponte e dalle perdite di carico concentrate dovute allo stesso, più che da quelle distribuite lungo la struttura.

Con il solo modello monodimensionale non sono state eseguite simulazioni di scenario per la scarsa capacità di portata dell'alveo inciso considerato. Sono state eseguite comunque numerose simulazioni di lavoro per testare le prestazioni del modello e verificare l'assenza di instabilità numeriche.

7.3 Costruzione della griglia di calcolo del modello numerico 2D

Per la messa a punto del modello MIKE Flood, dopo aver realizzato il modello monodimensionale degli alvei incisi con il codice MIKE 11 HD, si è proceduto alla costruzione del modello bidimensionale delle aree vallive allagabili utilizzando il codice di calcolo MIKE 21 HD descritto nell'allegato 3.

Successivamente, utilizzando il codice MIKE Flood, si è proceduto all'accoppiamento dei due modelli (monodimensionale e bidimensionale) mediante collegamenti laterali distribuiti lungo le sponde degli alvei dei corsi d'acqua principali (escludendo solo i tratti tombinati) e collegamenti "standard" per i rami secondari introdotti per simulare i tombini minori di attraversamento del rilevato ferroviario.

In un modello bidimensionale alle differenze finite, come MIKE 21, la descrizione geometrica del terreno è eseguita definendo la quota media del terreno in ogni cella di calcolo. Tale valore è usualmente calcolato, a partire dai dati rilevati, mediante tecniche di interpolazione.

Nel caso in esame la topografia del terreno o batimetria di calcolo del modello (griglia 2D) nelle condizioni attuali è stata ottenuta inizialmente con una procedura automatica di estrazione dei punti del modello digitale del terreno a maglia 2x2 m.

Fondamentale è stata la definizione della dimensione del passo della griglia rettangolare da utilizzare per la messa a punto del modello, che influenza direttamente i tempi di calcolo e l'accuratezza spaziale della soluzione. All'aumentare del passo della griglia diminuiscono i tempi di calcolo, ma diminuisce anche l'accuratezza spaziale. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze. Nel caso in esame la scelta è stata dettata prevalentemente dall'esigenza di rappresentare bene la geometria delle aree esondabili e non quella dell'alveo inciso, già rappresentata con il modello 1D e in particolare le vie preferenziali di deflusso lungo le strade e gli spazi tra le abitazioni presenti nelle aree fortemente urbanizzate. Si è deciso pertanto di adottare una griglia di calcolo a maglia 4x4 m.

Nella Figura 5 è rappresentato l'intero DTM del territorio in esame, utilizzato per predisporre la batimetria di calcolo del modello bidimensionale a maglia 4x4 m.

Definito il contorno dell'area di applicazione del modello bidimensionale, si è costruita una batimetria con griglia a passo spaziale 4 m (una cella ogni quattro del DTM originale), caratterizzata da celle con quota coincidente con quelle delle celle del DTM originale, posizionate in basso a sinistra rispetto alle 4 celle a passo 2 m ricadenti nella stessa.

La griglia di calcolo a maglia 4x4 m realizzata per il presente studio è costituita complessivamente da 560 righe x 969 colonne (542640 punti di calcolo).

Nella Figura 31 è riportata la batimetria (o geometria di input) complessiva del modello relativa alla situazione attuale. In marrone sono evidenziate le zone escluse dal calcolo (celle inattive) perché considerate sicuramente non allagabili (aree con quota maggiore di 400 m s.m.) o perché ubicate a valle del rilevato ferroviario. In verde scuro sono evidenziate le aree più depresse mentre in giallo e marrone chiaro sono distinguibili le aree in maggior rilievo. Nella figura, sovrapposte alla rappresentazione della batimetria, è riportato il reticolo idrografico simulato con MIKE 11; sullo sfondo, in trasparenza, si intravede invece la fotografia aerea usata come base cartografica.

Successivamente è stata introdotta nel codice MIKE 21 la possibilità di simulare il sormonto del rilevato ferroviario da parte dei volumi di piena invasati temporaneamente a monte dello stesso in modo da rappresentare correttamente tale condizione e quindi non sovrastimare le massime altezze d'acqua sulle aree di allagamento.

Occorre infine osservare come le celle ricadenti all'interno degli alvei incisi siano state escluse dalla simulazione con il modello bidimensionale MIKE 21 perché il loro contributo al deflusso delle piene è già simulato con il modello monodimensionale MIKE 11 nell'ambito del codice MIKE Flood che è in grado, come già detto, di "accoppiare" in contemporanea il funzionamento di entrambi i singoli modelli.

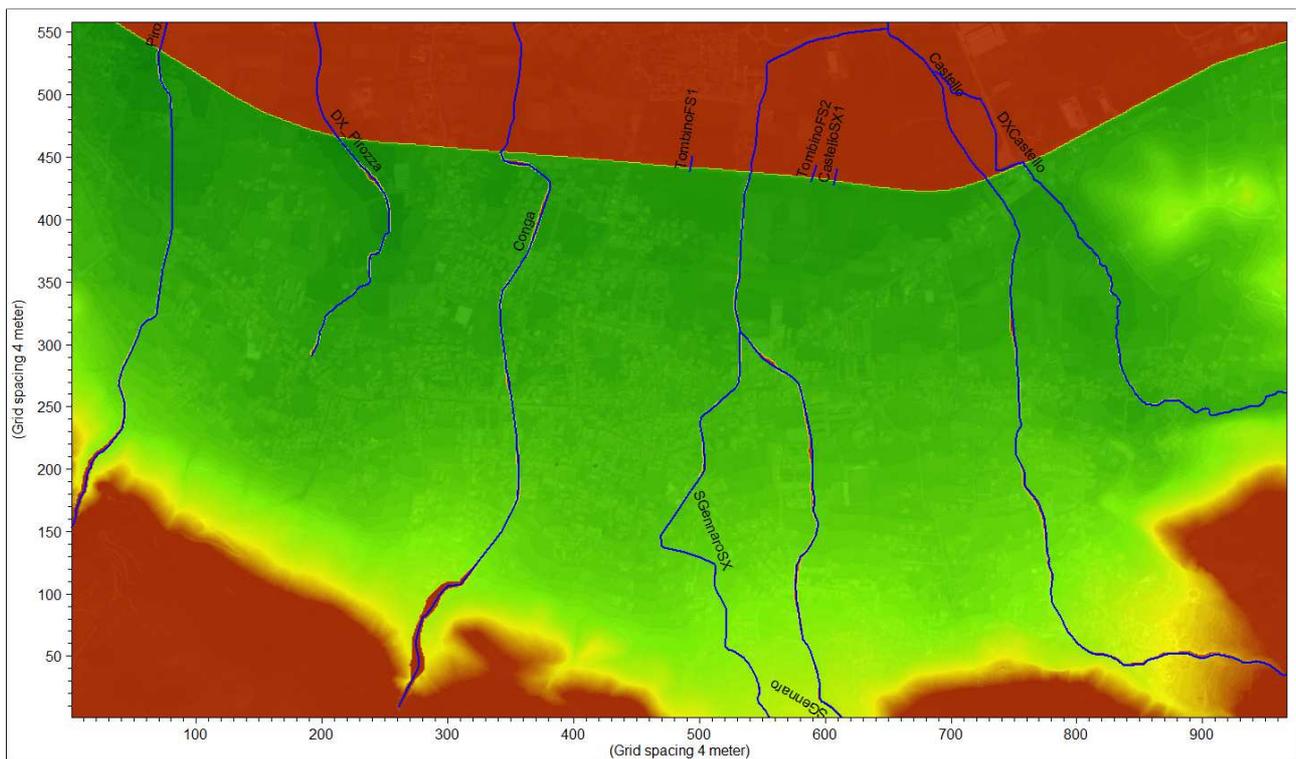


Figura 31 - Batimetria del modello 2D a maglia 4x4 m.

7.4 Parametri del modello 2D

Il modello di simulazione oltre alla descrizione geometrica e alle condizioni al contorno, descritte nel paragrafo successivo, ha bisogno di un'altra serie di parametri che sono: passo di tempo di integrazione del sistema, coefficienti di scabrezza e coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity").

Come passo di tempo di integrazione è stato utilizzato un valore pari a 1 secondo, che, in relazione alla dimensione delle celle di calcolo, può supportare numeri di Courant adeguati anche per velocità di deflusso dell'ordine di 5-6 m/s.

La viscosità turbolenta è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e viene simulata nel modello tramite il coefficiente di "eddy viscosity". Nel caso in esame al coefficiente di eddy viscosity è stato assegnato un valore costante pari a $1 \text{ m}^2/\text{s}$ sull'intera estensione del modello.

La scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito sul fondo di scorrimento e sulle sponde dell'alveo attivo. Tale parametro è difficilmente valutabile con precisione ed è abitualmente utilizzato per tarare il modello.

Nel caso in esame è stato adottato un coefficiente di scabrezza di Strickler costante su tutta l'area e cautelativamente assunto pari a $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per tenere conto delle macroscabrezze e ostacoli al deflusso presenti sul terreno: vegetazione, marciapiedi, muretti, recinzioni, automobili ecc. non direttamente rappresentabili con la griglia di calcolo a maglia $4 \times 4 \text{ m}$.

7.5 Condizioni al contorno del modello 2D

Al modello sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno, imposte tutte al modello monodimensionale MIKE 11:

- condizioni al contorno di monte in ingresso alle sezioni di testata dei corsi d'acqua: idrogrammi di portata concentrati in ingresso in funzione dello scenario considerato relativi ai bacini montani 1÷6;
- condizioni al contorno di monte in ingresso lungo i tratti dei corsi d'acqua a monte del rilevato ferroviario: idrogrammi di portata distribuiti uniformemente sull'intera lunghezza dei corsi d'acqua in funzione dello scenario considerato relativi ai bacini residui di valle;
- condizioni al contorno di valle: scale di deflusso in moto uniforme sulle sezioni terminali dei corsi d'acqua del reticolo idrografico simulato, applicate in punti sufficientemente lontani dall'area di interesse e con i dovuti accorgimenti da poter considerare trascurabili eventuali errori commessi nella introduzione delle condizioni al contorno stesse;
- condizioni al contorno "interne" di collegamento tra i due modelli MIKE 11 e MIKE 21: in corrispondenza di tutte le celle lungo le sponde destra e sinistra degli alvei incisi vengono applicate equazioni tipo "stramazzo a larga soglia" con quote di sfioro pari ai valori maggiori tra quelli delle celle del modello 2D e quelli corrispondenti delle quote di sponda delle sezioni d'alveo di MIKE 11, opportunamente interpolate.

7.6 Descrizione delle simulazioni e delle analisi idrauliche condotte con il modello 2D

Con il modello MIKE Flood sono state condotte le simulazioni dei seguenti scenari:

- 1) SIM1: **scenario di taratura** relativo alla riproduzione dell'evento di piena storico del dicembre 1999;
- 2) SIM2: **scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate** relativo all'evento di precipitazione critico di durata 0,5 ore con tempo di ritorno 200 anni nelle condizioni attuali degli alvei;
- 3) SIM3: **scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate** relativo all'evento di precipitazione critico di durata 0,8 ore con tempo di ritorno 200 anni nelle condizioni attuali degli alvei;
- 4) SIM4: **scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate** relativo all'evento di precipitazione critico di durata 0,5 ore con tempo di ritorno 200 anni nelle condizioni di alvei e manufatti riempiti dalle colate sui tratti raggiunti dalle stesse;

- 5) **SIM5: scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate** relativo all'evento di precipitazione critico di durata 0,8 ore con tempo di ritorno 200 anni nelle condizioni di alvei e manufatti riempiti dalle colate sui tratti raggiunti dalle stesse.

Le condizioni al contorno che contraddistinguono i vari scenari sono le seguenti:

- **SIM1** (scenario di taratura): idrogrammi di portata in ingresso rappresentati nella Figura 32;
- **SIM2** (scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate): idrogrammi di portata in ingresso rappresentati nella Figura 33;
- **SIM3** (scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate): idrogrammi di portata in ingresso rappresentati nella Figura 34;
- **SIM4** (scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate): idrogrammi di portata in ingresso rappresentati nella Figura 33;
- **SIM5** (scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate): idrogrammi di portata in ingresso rappresentati nella Figura 34.

I risultati delle simulazioni ottenuti con il modello bidimensionale sono illustrati nei capitoli successivi mediante l'ausilio di elaborati grafici esplicativi, in particolare mappe delle aree di esondazione con rappresentazione delle massime altezze d'acqua o delle massime velocità di deflusso.

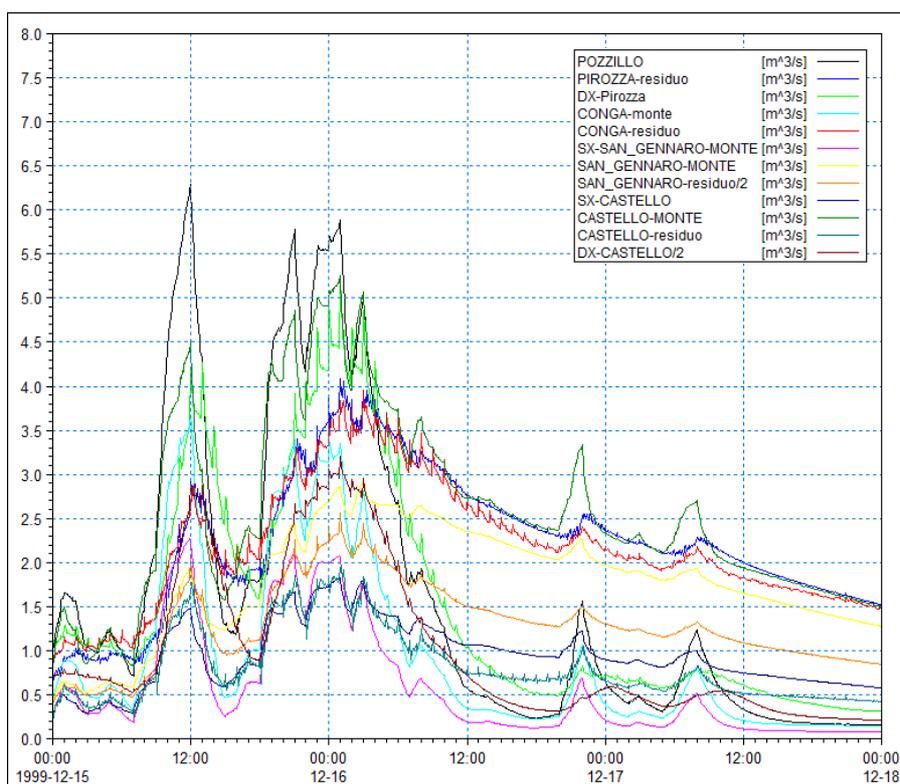


Figura 32 - Idrogrammi di portata inseriti come condizioni al contorno di monte al modello per lo scenario SIM1 (scenario di taratura).

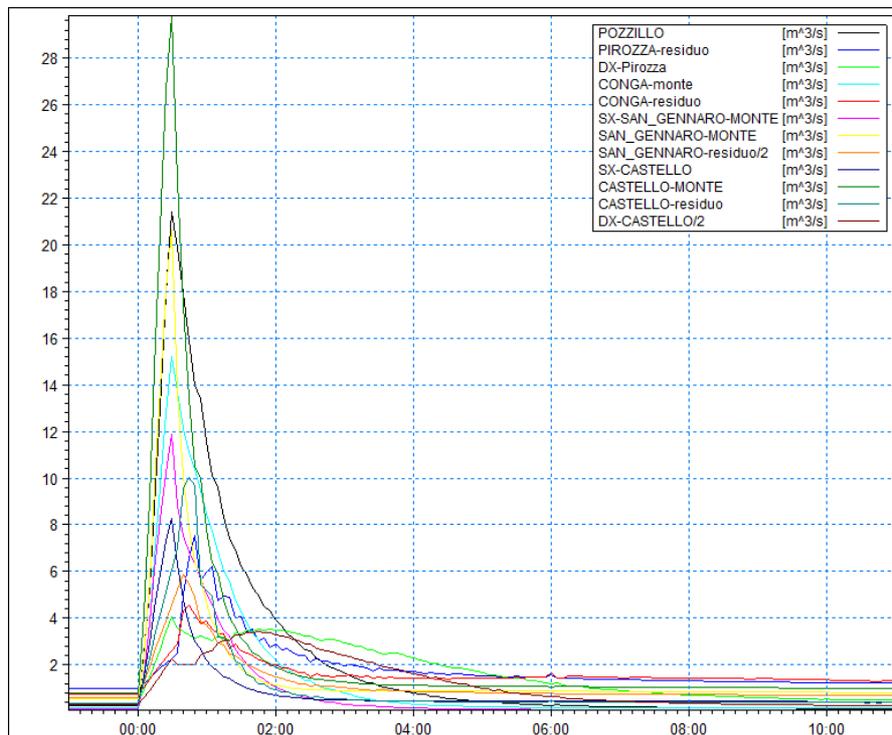


Figura 33 - Idrogrammi di portata inseriti come condizioni al contorno di monte al modello per gli scenari SIM2 e SIM4 (scenari di simulazione evento 1, rispettivamente con e senza colate).

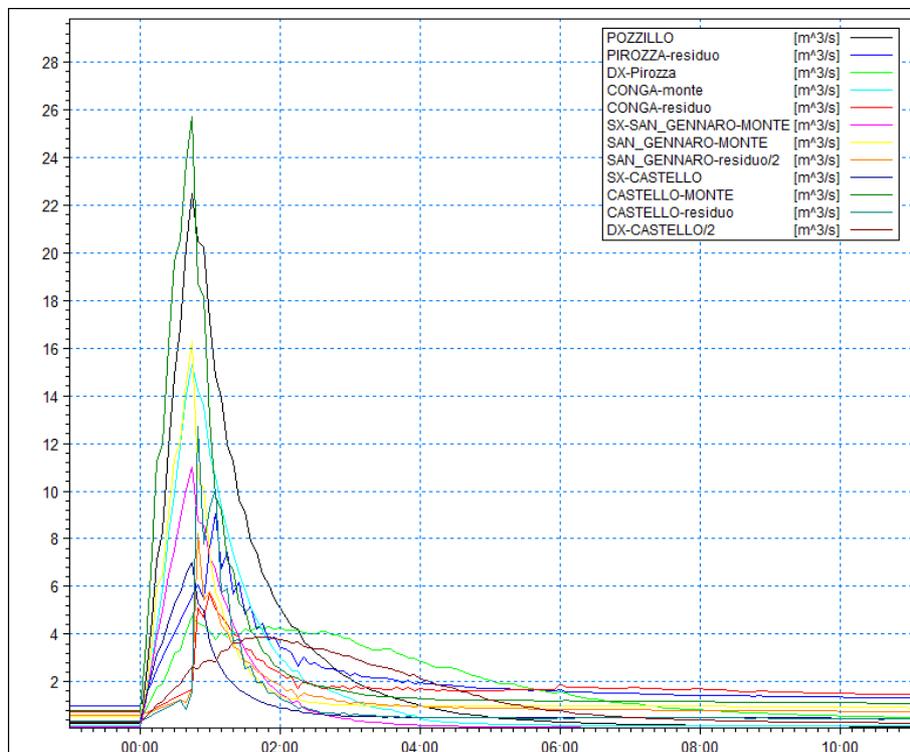


Figura 34 - Idrogrammi di portata inseriti come condizioni al contorno di monte al modello per gli scenari SIM3 e SIM5 (scenario di simulazione evento 4, rispettivamente con e senza colate).

7.7 Risultati dello scenario di taratura - simulazione SIM1

Per riprodurre in maniera il più possibile corretta le esondazioni osservate nel corso dell'evento di piena del dicembre 1999, visti i valori non particolarmente elevati delle portate liquide al colmo calcolate con il modello idrologico per tale evento, è stato necessario introdurre nel modello idrodinamico opportune geometrie degli alvei in modo da poter rappresentare indirettamente l'effetto di colmata degli alvei e di ostruzione dei manufatti di attraversamento stradali indotta dalle colate solide e dai flussi iperconcentrati che si sono verificati in particolar modo sugli sbocchi vallivi del torrente Castello e del torrente San Gennaro.

Rispetto alla geometria attuale degli alvei inserita nel modello idrodinamico monodimensionale (MIKE 11) messo a punto per la simulazione dei restanti scenari, per la simulazione dell'evento di piena storico sono state in particolare introdotte le seguenti modifiche:

- l'alveo inciso del torrente Castello è stato colmato fino alla sezione di valle dell'opera CA08, nei pressi della chiesa e della cabina elettrica costruita sopra l'alveo;
- tutte le opere di attraversamento del torrente Castello a monte della CA08 compresa sono state considerate quasi totalmente ostruite: si è considerata solo una luce libera al deflusso residua pari a 2,0x0,2 m in corrispondenza dell'intradosso delle opere stesse;
- l'alveo inciso del torrente San Gennaro è stato colmato fino alla sezione di valle dell'opera di tombamento SG08;
- per l'opera SG08 si è considerata una luce libera al deflusso residua pari a 2,0x0,2 m, mentre per l'opera SG09 si è considerata una luce libera residua circolare di diametro 0,20 m.

Nessuna modifica è stata introdotta sui restanti corsi d'acqua per i quali non sono state evidenziate particolari criticità nel corso dell'evento di piena storico considerato.

La simulazione è stata condotta sul periodo 15/12/1999 0:00÷16/12/1999 12:00.

Nella Figura 35, sulla porzione di area del modello interessata dai torrenti Castello e San Gennaro, è riportata la distribuzione calcolata con il modello bidimensionale MIKE 21 delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna verificatesi nel corso del transito del colmo dell'evento di piena; sovrapposta ad essa è riportata la mappa delle aree storicamente allagate nel corso dello stesso evento.

Il confronto calcolato-osservato è da ritenere del tutto soddisfacente considerate da un lato le difficoltà di rappresentazione di un fenomeno così complesso (riproduzione dell'evento idrologico, simulazione idrodinamica, sovrapposizione dei fenomeni tipicamente idraulici simulati con il modello a fenomeni di colate e flussi iperconcentrati i cui effetti sono stati introdotti solo parzialmente con ipotesi schematiche e semplificate ecc.) e dall'altro le possibili imprecisioni di tracciamento della mappa delle aree realmente inondate nel corso dell'evento.

Il modello è pertanto da considerare tarato ad un livello di significatività tale da poterlo applicare anche per la simulazione degli eventi di piena di progetto di assegnato tempo di ritorno.

I risultati in termini di aree di esondazione e massime velocità di deflusso sugli altri corsi d'acqua simulati (Pirozza e Conga) non sono significativi (come peraltro successo storicamente durante l'evento considerato) e pertanto non vengono qui presentati.

Nella Figura 36 è riportata infine la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena storico a prescindere dall'istante in cui si sono verificate.

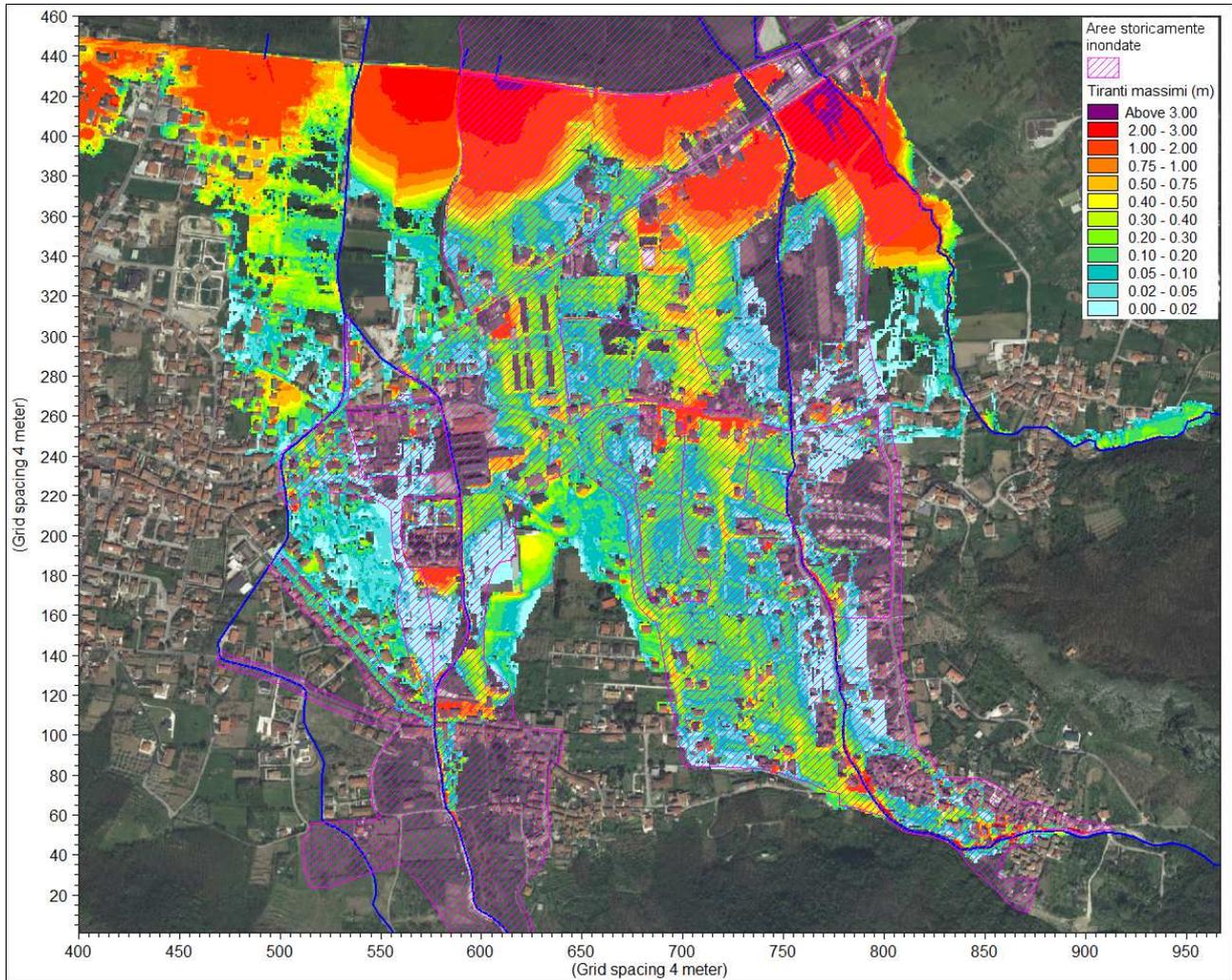


Figura 35 - Scenario di taratura (SIM1). Inviluppo delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna e confronto con la mappa delle aree storicamente allagate nel corso dell'evento del dicembre 1999.

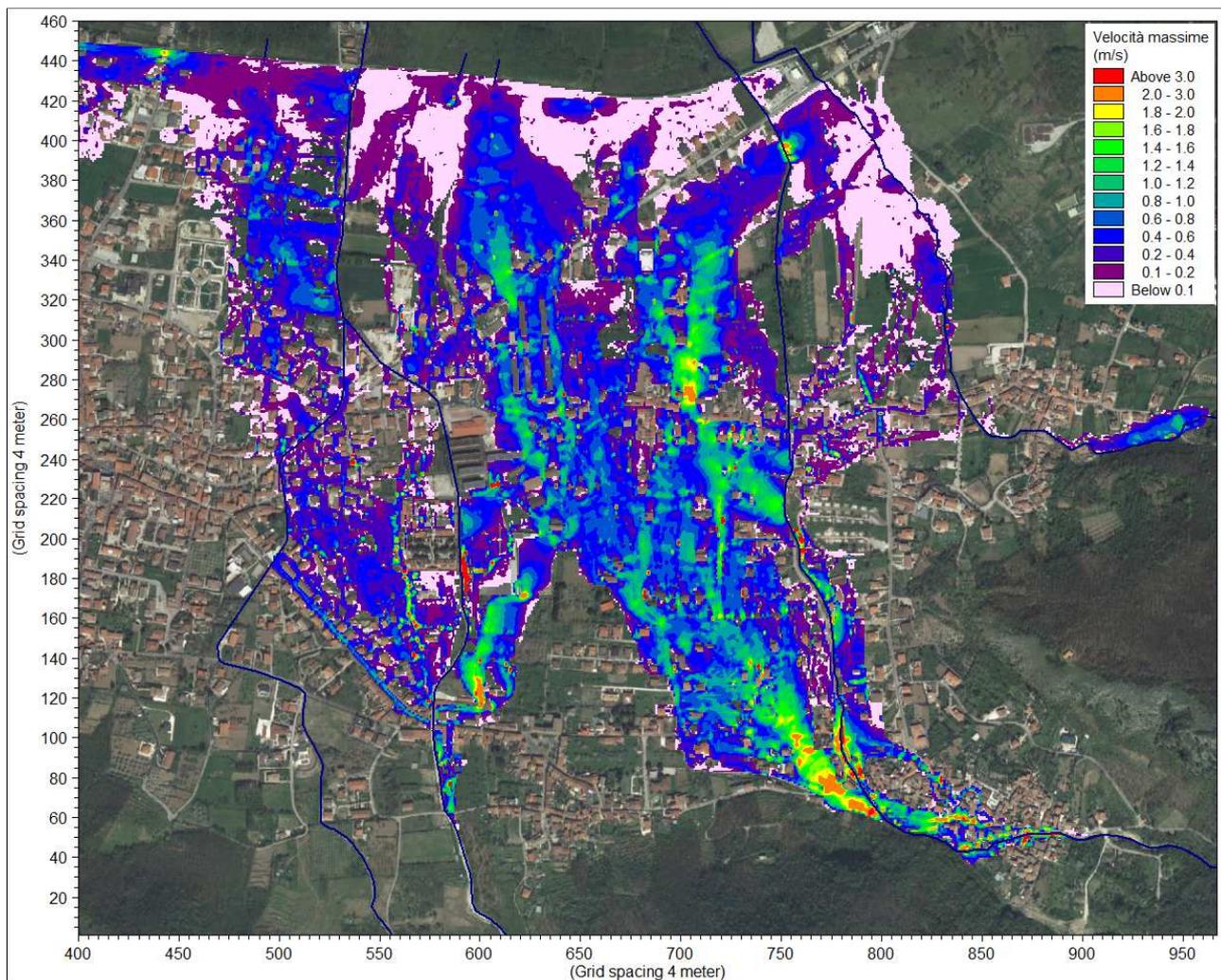


Figura 36 - Situazione di taratura (SIM1). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle velocità massime di deflusso.

7.8 Risultati dello scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate - simulazione SIM2

Per la simulazione dell'evento idrologico 1 (tempo di ritorno 200 anni, precipitazione critica di durata 0,5 ore) si è ipotizzato il solo deflusso di portate liquide, senza trasporto solido, con alvei e opere idrauliche nelle condizioni attuali osservate nel corso dei sopralluoghi condotti e desunte dal rilievo DTM a maglia 1x1 m.

Si è considerato un periodo di simulazione di durata 6 ore, con l'evento critico che fornisce la portata al colmo duecentennale dopo la prima ora e successiva fase di esaurimento nelle ore seguenti.

Nella Figura 37, sull'intera area coperta dal modello bidimensionale, è riportata la distribuzione calcolata con il modello delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna verificatesi nel corso del transito del colmo dell'evento di piena considerato.

Nella Figura 38 è rappresentata invece la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena considerato a prescindere dall'istante in cui si sono verificate.

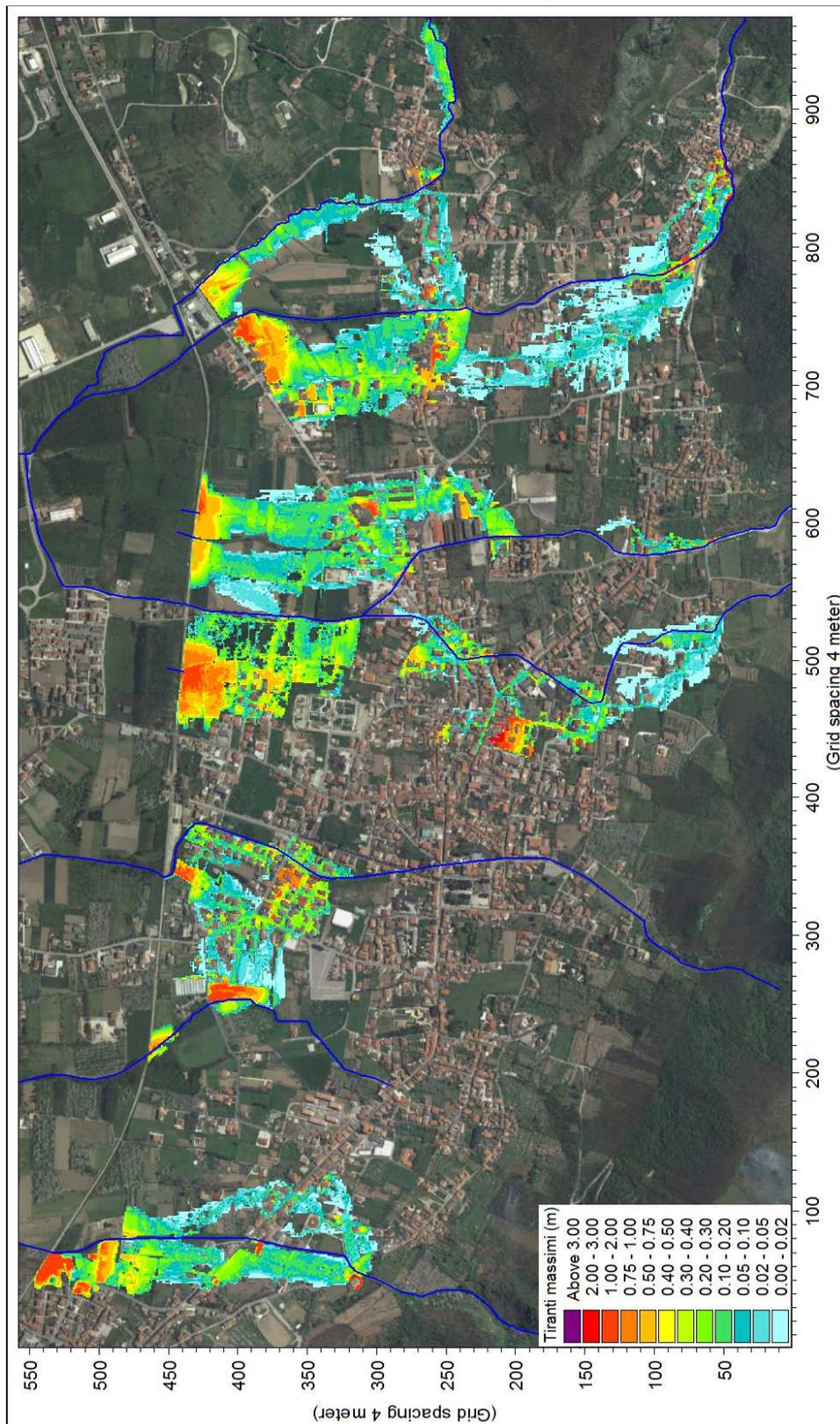


Figura 37 - Scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate (SIM2). Involuppo delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna.

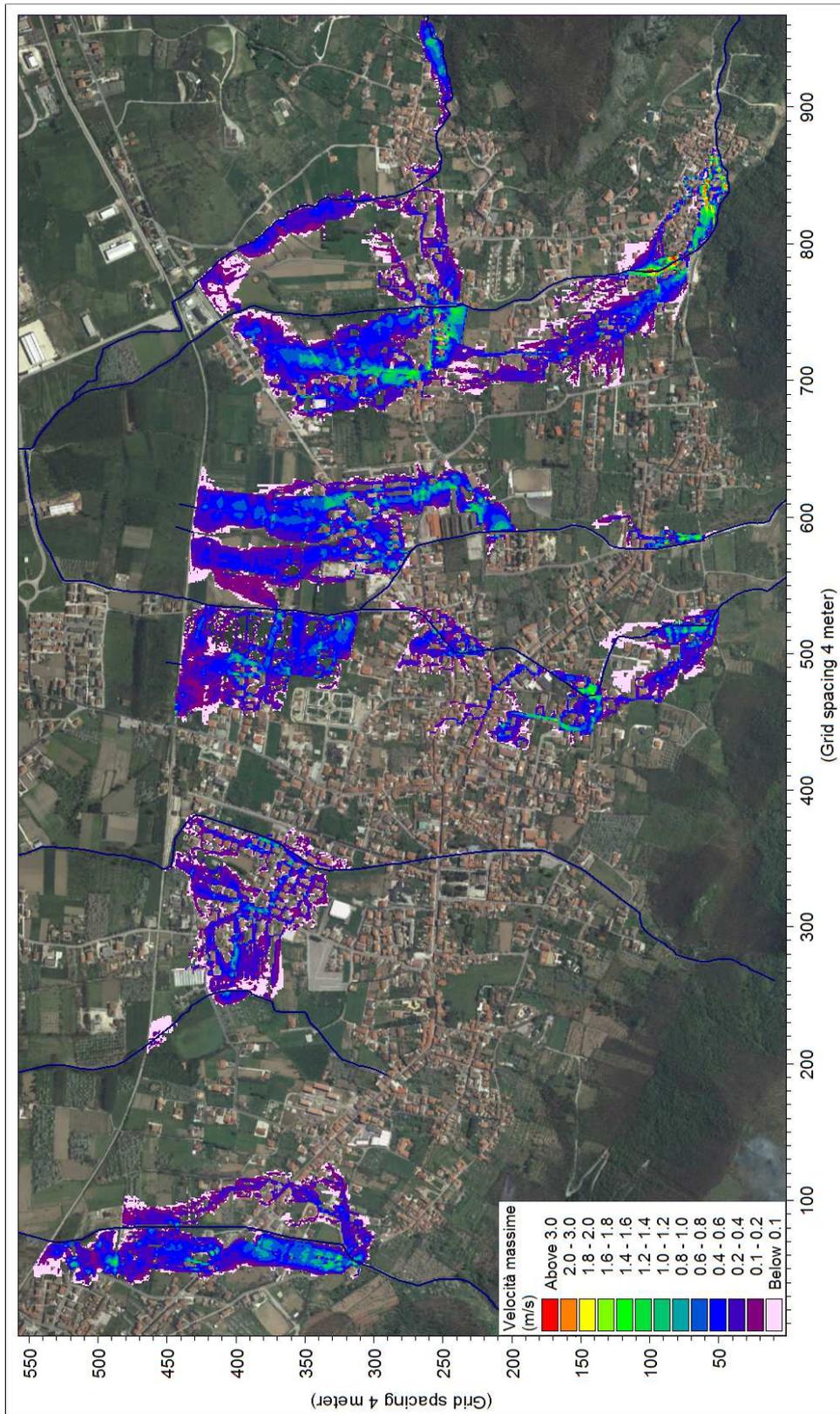


Figura 38 - Scenario di simulazione evento 1 in assenza di colate(SIM2). Distribuzione delle velocità massime di deflusso.

7.9 Risultati dello scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate - simulazione SIM3

Per la simulazione dell'evento idrologico 4 (tempo di ritorno 200 anni, precipitazione critica di durata 0,8 ore) si è applicato il modello con le stesse geometrie e gli stessi parametri già considerati per la simulazione dell'evento 1 precedentemente descritta, cambiando solo le condizioni al contorno di monte del modello MIKE 11 (idrogrammi di portata in ingresso relativi all'evento 4).

Nella Figura 39, analogamente al caso precedente, è riportata la distribuzione calcolata con il modello delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna verificatesi nel corso del transito del colmo dell'evento di piena.

Nella Figura 40 è rappresentata invece la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena considerato a prescindere dall'istante in cui si sono verificate.

I due eventi di piena duecentennali simulati (1 e 4) differiscono poco tra di loro: l'evento 1 è maggiormente critico sulle porzioni di testata dei corsi d'acqua in esame mentre l'evento 4, caratterizzato da volumi di piena maggiori, si rivela più gravoso verso valle, nei pressi del rilevato ferroviario.

Entrambi gli eventi determinano il sormonto della ferrovia nei pressi di Via Marciano (passaggio a livello) che poi si estende verso la stazione FS.

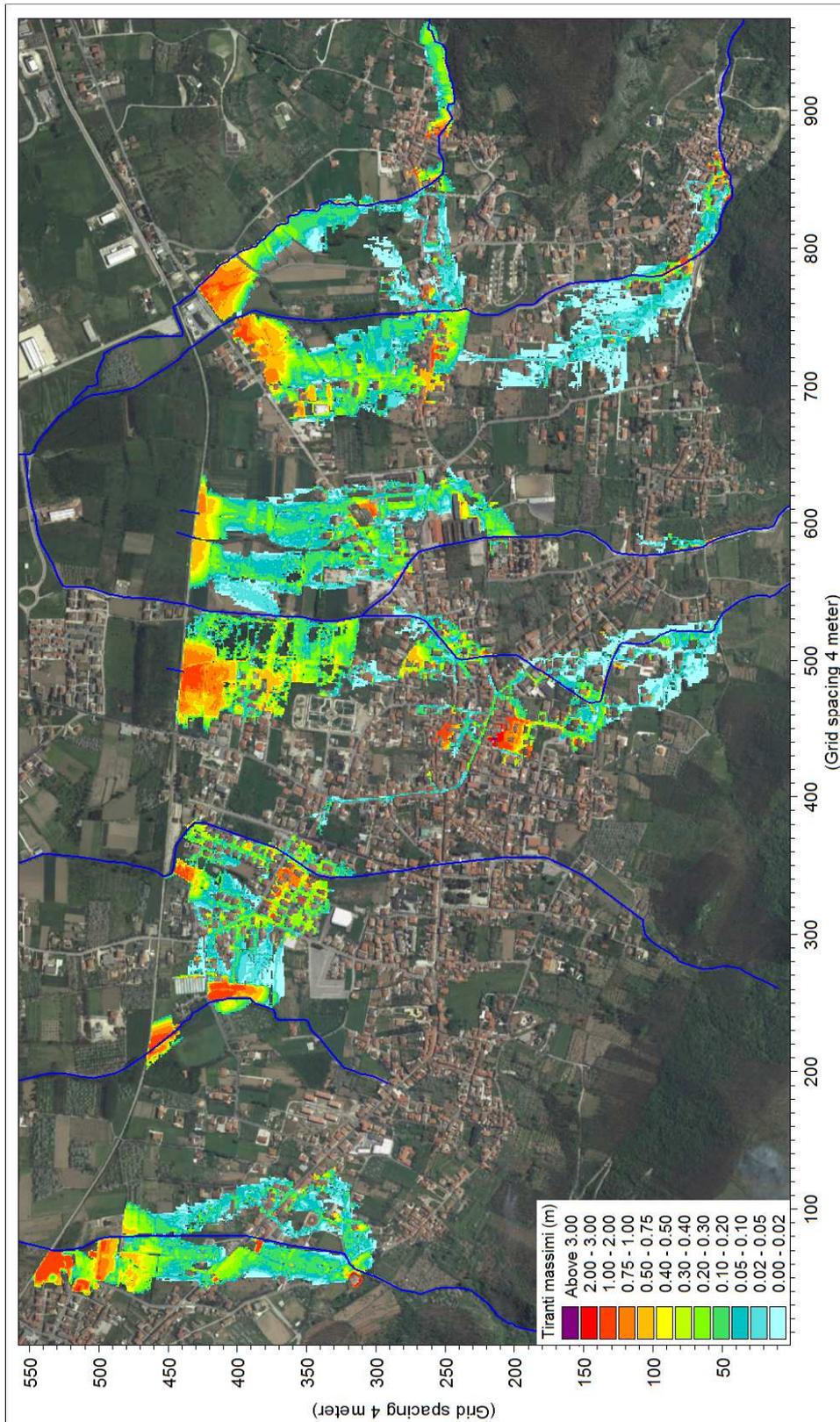


Figura 39 - Scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate (SIM3). Involuppo delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna.

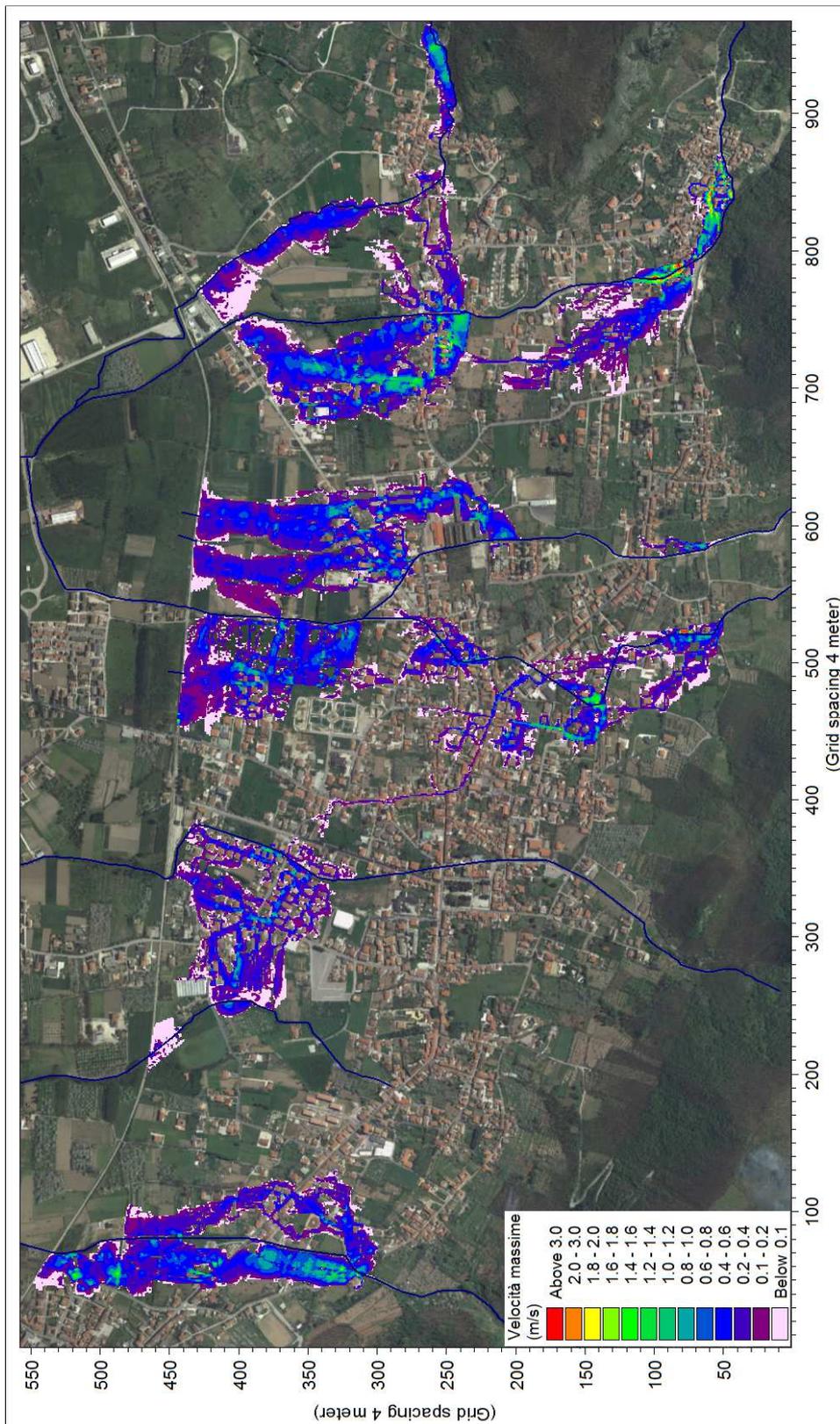


Figura 40 - Scenario di simulazione evento 4 in assenza di colate (SIM3). Distribuzione delle velocità massime di deflusso.

7.10 Risultati dello scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate - simulazione SIM4

Per tenere conto cautelativamente dell'effetto delle colate sulla propagazione delle portate liquide nell'ambito del modello idrodinamico si è ipotizzato che, sull'intera estensione dell'involuppo delle aree di invasione delle colate corrispondenti a eventi di pioggia con TR 200 anni, gli alvei e i manufatti di attraversamento stradale risultino già completamente colmati fino al piano campagna adiacente nel corso del deflusso degli idrogrammi di piena di riferimento calcolati con il modello idrologico.

Rispetto alla geometria attuale degli alvei inserita nel modello idrodinamico monodimensionale (MIKE 11) messo a punto per la simulazione degli scenari SIM2 e SIM3, per rappresentare gli effetti delle colate, analogamente a quanto già fatto per la simulazione dell'evento di piena storico (SIM1), sono state in particolare introdotte le seguenti modifiche:

- l'alveo inciso del torrente Castello è stato colmato fino alla sezione di valle dell'opera CA03;
- tutte le opere di attraversamento del torrente Castello a monte della CA03 compresa sono state considerate quasi totalmente ostruite: si è considerata solo una luce libera al deflusso residua pari a 0,5x0,2 m in corrispondenza dell'intradosso delle opere stesse;
- l'alveo inciso del torrente San Gennaro è stato colmato fino alla sezione di monte dell'opera di tombamento SG06;
- per le opere SG08 e SG07 si è considerata una luce libera al deflusso residua pari a 0,5x0,2 m, mentre per l'opera SG09 si è considerata una luce libera residua circolare di diametro 0,20 m;
- l'alveo inciso del rio DX-Castello è stato colmato fino a una distanza di circa 150 m a valle dell'opera CADX10 per la quale si è considerata una luce libera residua circolare di diametro 0,20m;
- l'alveo inciso del rio San GennaroSX è stato colmato fino alla sezione di monte dell'opera SGSX01; per le opere a monte di quest'ultima si è considerata una luce libera al deflusso residua pari a 0,5x0,2 m;
- l'alveo inciso del torrente Conga è stato colmato fino alla sezione di valle dell'opera CO07; per tutte le opere presenti entro il tratto colmato si è considerata una luce libera al deflusso residua pari a 0,5x0,2 m;
- l'alveo inciso del torrente Pirozza è stato colmato fino alla sezione di monte dell'opera PI01; per l'opera PI02 si è considerata una luce libera al deflusso residua pari a 0,5x0,2 m.

Nessuna modifica è stata introdotta sul DX-Pirozza e sui restanti tratti di valle dei corsi d'acqua sopra citati.

Come per lo scenario SIM2 si è ipotizzato il solo deflusso delle portate liquide corrispondenti agli idrogrammi di portata con tempo di ritorno 200 anni relativi all'evento idrologico 1, su un periodo di simulazione di durata 6 ore.

Nella Figura 41, sull'intera area coperta dal modello bidimensionale, è riportata la distribuzione calcolata con il modello delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna verificatesi nel corso del transito del colmo dell'evento di piena considerato.

Nella Figura 42 è rappresentata invece la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena considerato a prescindere dall'istante in cui si sono verificate.

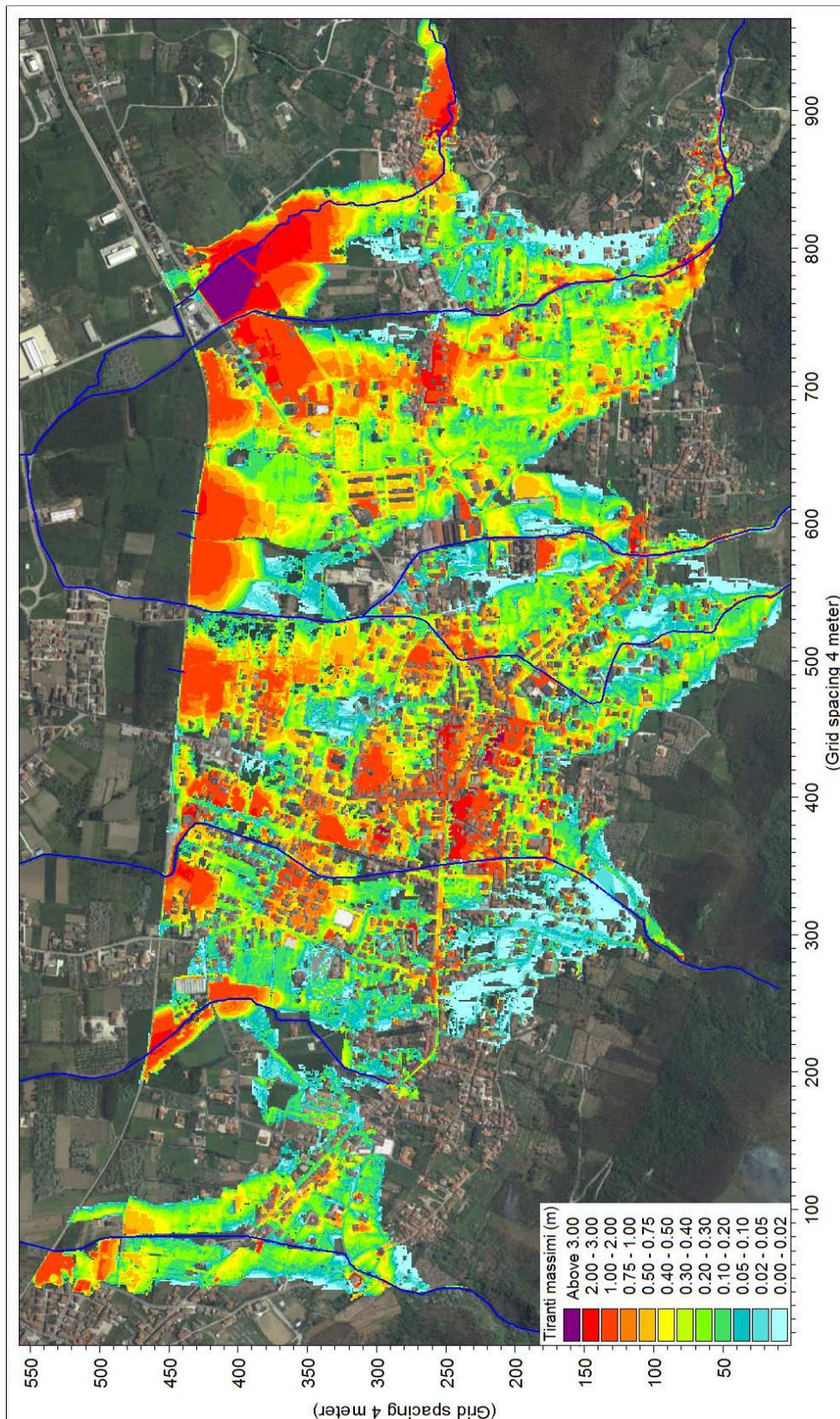


Figura 41 - Scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate (SIM4). Involuppo delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna.

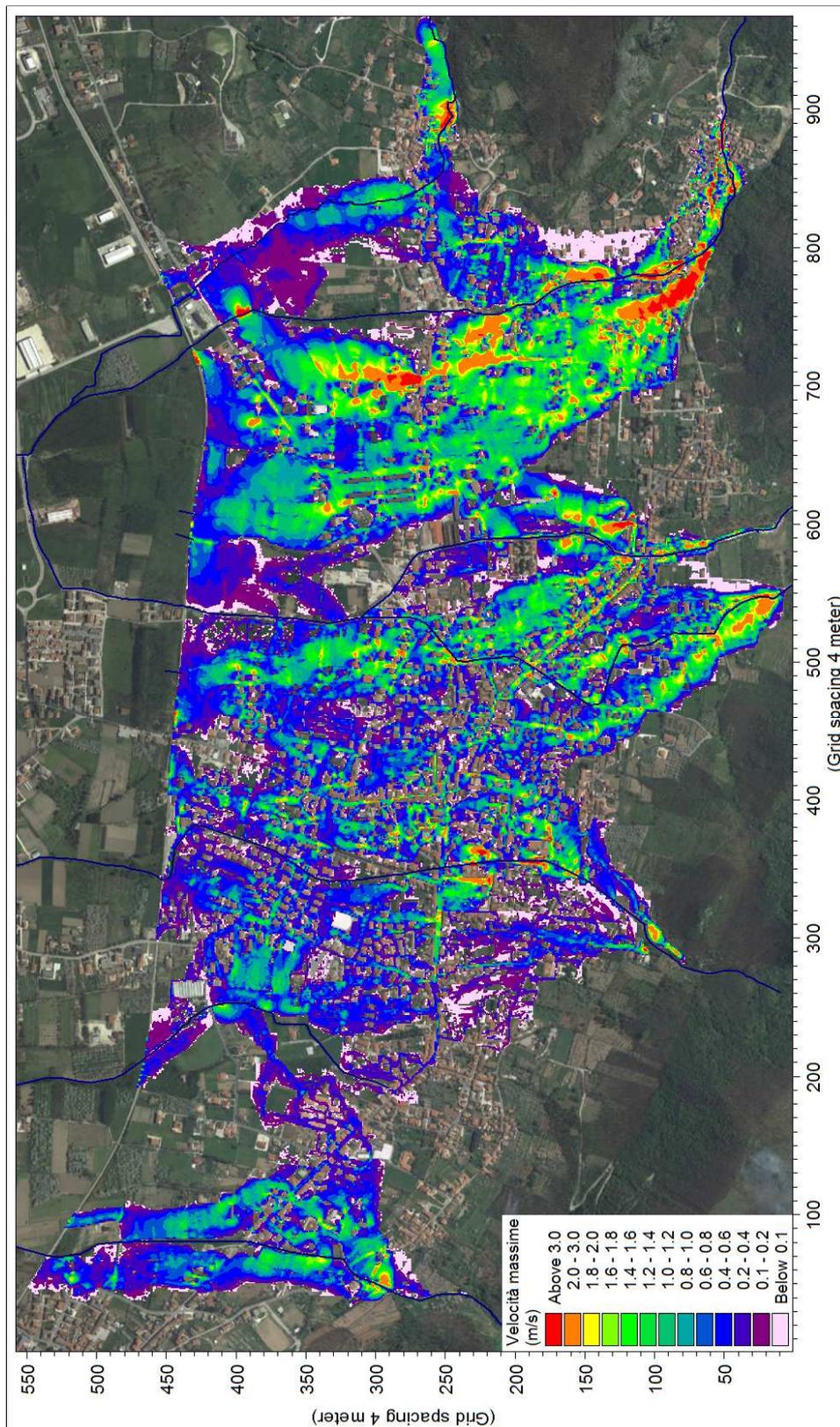


Figura 42 - Scenario di simulazione evento 1 in presenza di colate(SIM4). Distribuzione delle velocità massime di deflusso.

7.11 Risultati dello scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate - simulazione SIM5

Per la simulazione dell'evento idrologico 4 (tempo di ritorno 200 anni, precipitazione critica di durata 0,8 ore) in presenza di colate si è applicato il modello con le stesse geometrie e gli stessi parametri già considerati per la simulazione dello scenario SIM4 precedentemente descritta, cambiando solo le condizioni al contorno di monte del modello MIKE 11 (idrogrammi di portata in ingresso relativi all'evento 4).

Nella Figura 43, come per i precedenti scenari, è riportata la distribuzione calcolata con il modello delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna verificatesi nel corso del transito del colmo dell'evento di piena. Nella Figura 44 è rappresentata invece la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena a prescindere dall'istante in cui si sono verificate.

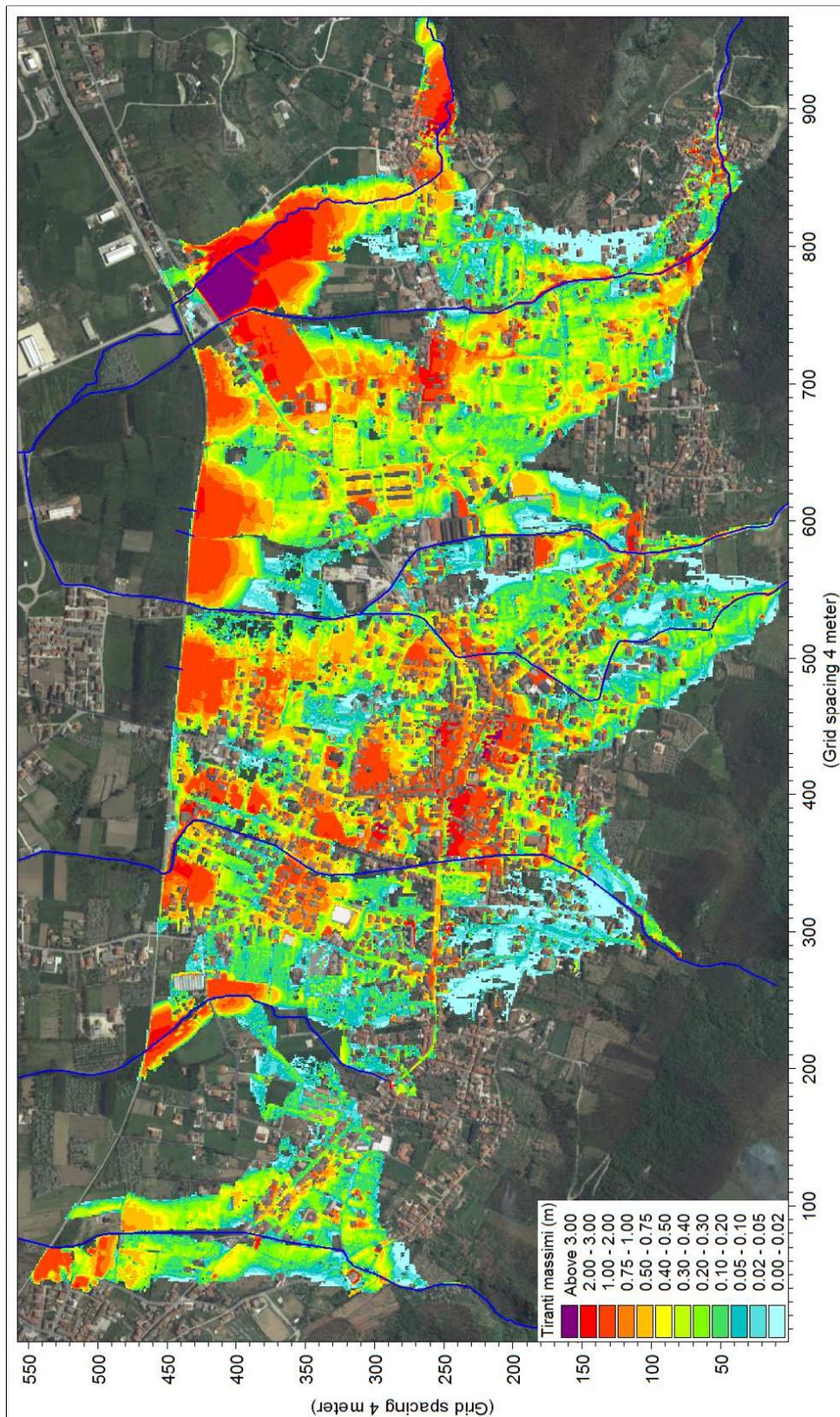


Figura 43 - Scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate (SIM5). Inviluppo delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna.

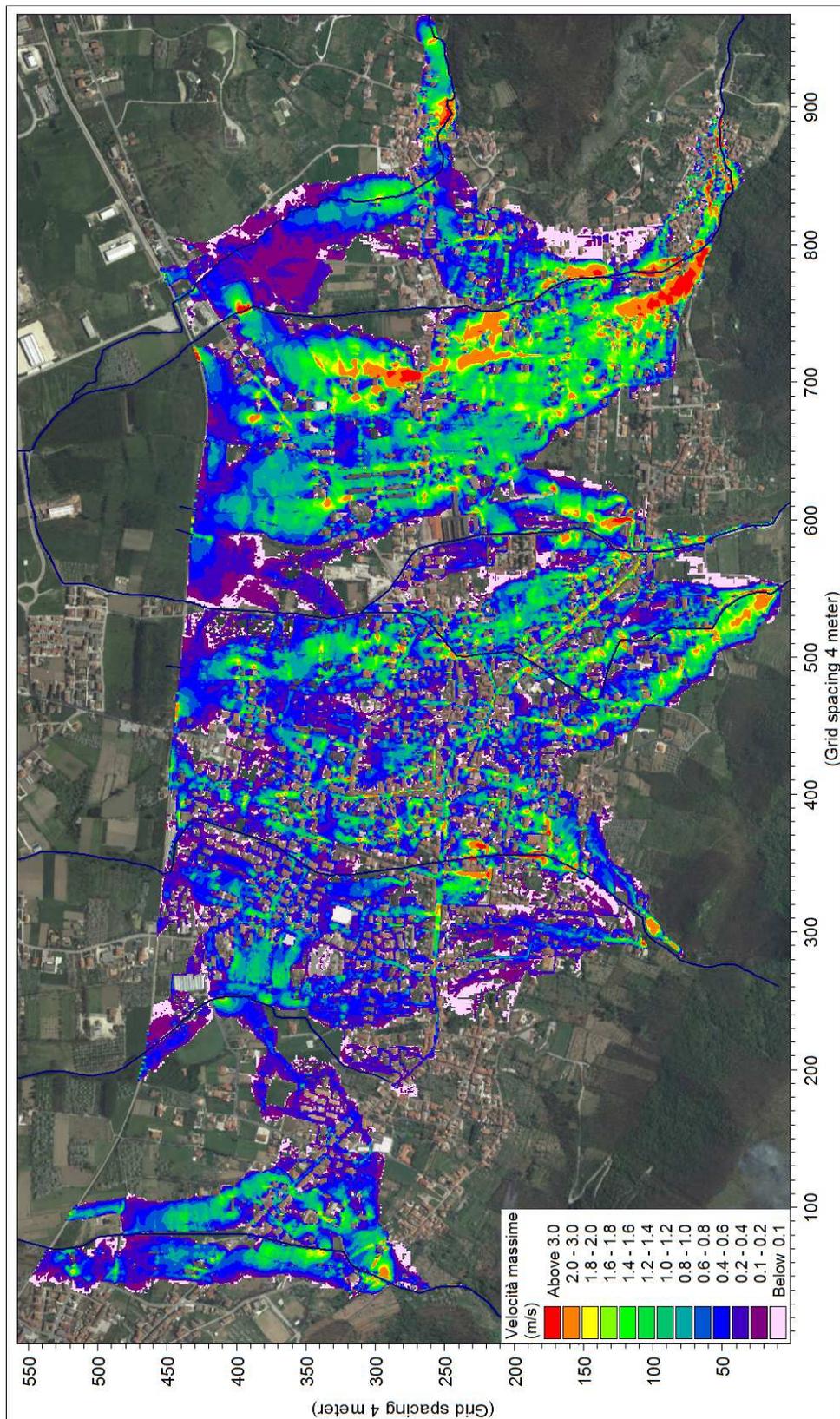


Figura 44 - Scenario di simulazione evento 4 in presenza di colate (SIM5). Distribuzione delle velocità massime di deflusso.

7.12 Pericolosità idraulica

A partire dai risultati delle simulazioni relative agli scenari SIM2 e SIM3, considerando pertanto gli effetti delle sole portate liquide conseguenti ad eventi con tempo di ritorno 200 anni e rimandando agli studi specifici l'analisi della pericolosità associata alle colate e ai flussi iperconcentrati, si è proceduto alla definizione di una mappa della pericolosità idraulica in grado di indicare le aree a maggior rischio per persone e cose ivi presenti, nonché per evidenziare le strutture idrauliche inadeguate (essenzialmente ponticelli e tombini di attraversamento).

La pericolosità associata alle aree di invasione, nei settori entro i quali è stato implementato il modello bidimensionale, è stata basata sulla valutazione, all'interno di ogni cella di calcolo da 4x4 m, delle grandezze riferite sia ai battenti idrici (H) che alle velocità (V) in base alla Tabella 27 seguente.

CLASSE PERICOLOSITÀ	TR (anni)	H (m)	V (m/s)
P4 - molto elevata	≤ 30	qualunque	qualunque
	200	≥ 0,90	qualunque
		< 0,90	≥ 1,50
P3 - elevata	200	$0,60 \leq H < 0,90$	$0,30 \leq V < 1,50$
P2 - media	200	$0,30 \leq H < 0,60$	$0,30 \leq V < 1,50$
P1 - bassa	200	< 0,30	qualunque
		< 0,90	< 0,30

Tabella 27 - Criteri seguiti per la definizione delle classi di pericolosità idraulica.

In base a tali criteri è stata redatta una mappa di pericolosità idraulica relativa all'evento 1 (vedi Figura 45) e una mappa di pericolosità idraulica relativa all'evento 4 (vedi Figura 46). Combinando insieme le due mappe è stata infine definita la mappa della pericolosità idraulica di riferimento rappresentata nella Figura 47.

La stessa mappa è stata anche rappresentata alle scale 1:10.000 ed 1:5.000 negli elaborati cartografici allegati alla presente relazione (codice elaborati B.4.10 e B.4.11), dove sono stati inoltre evidenziati i seguenti attraversamenti stradali che sono risultati inadeguati nel corso delle verifiche idrauliche condotte (vedi schede "Catasto opere idrauliche"):

- sul torrente Castello: CA03, CA08, CA10 e CA11;
- sul torrente Dx Castello: CADX02, CADX04, CADX09 e CADX10;
- sul torrente San Gennaro: SG02, SG05, SG06, SG07e SG09;
- sul torrente Sx San Gennaro: SGSX01, SGSX03 e attraversamento stradale su via Renazzo;
- sul torrente Conca: CO02;
- sul torrente Pirozza: PI02, attraversamento stradale su via Annunziata e attraversamento ferroviario;
- sul torrente Dx Pirozza: PIDX01 e attraversamento ferroviario.

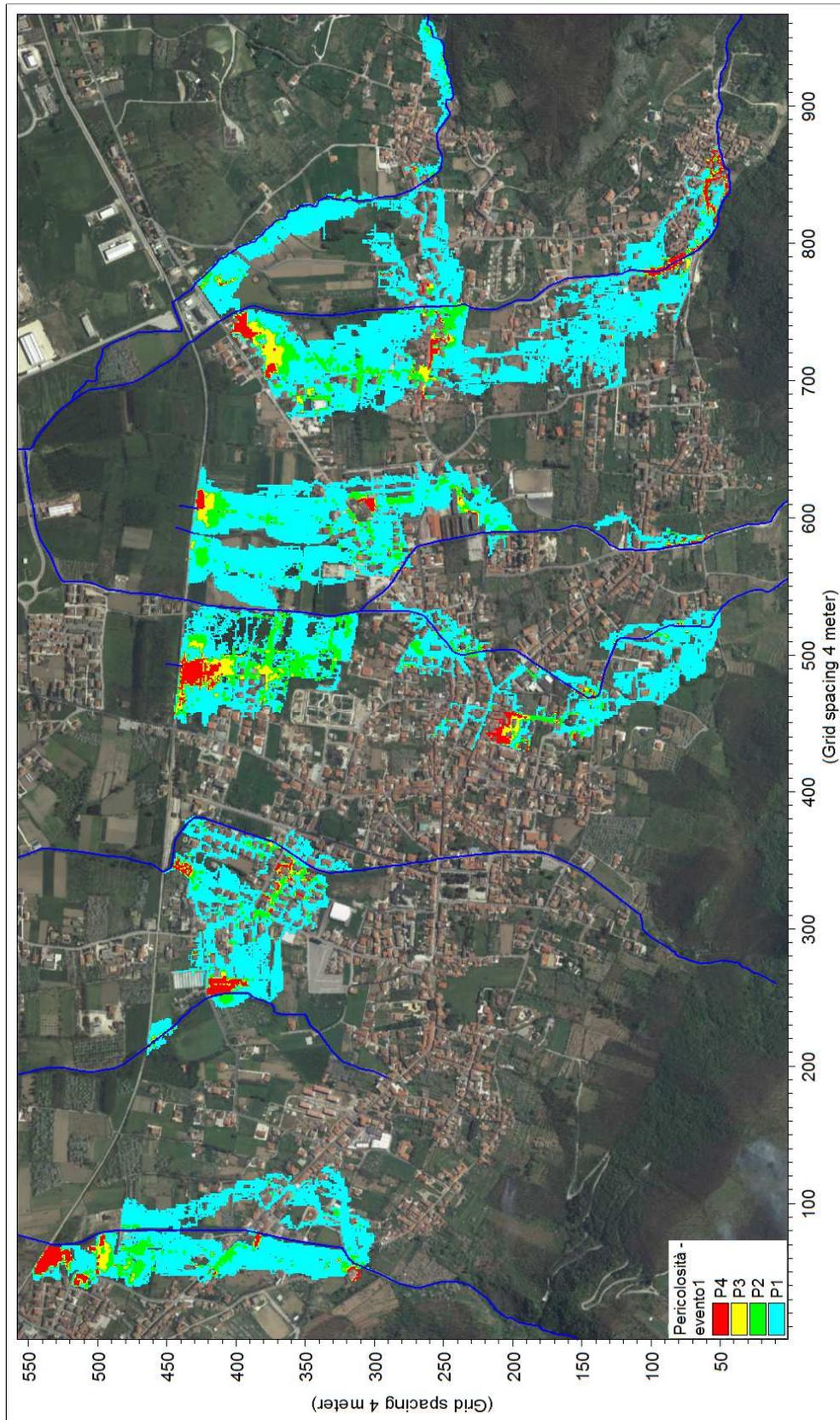


Figura 45 - Mappa della pericolosità idraulica relativa all'evento 1 in assenza di colate (SIM2).

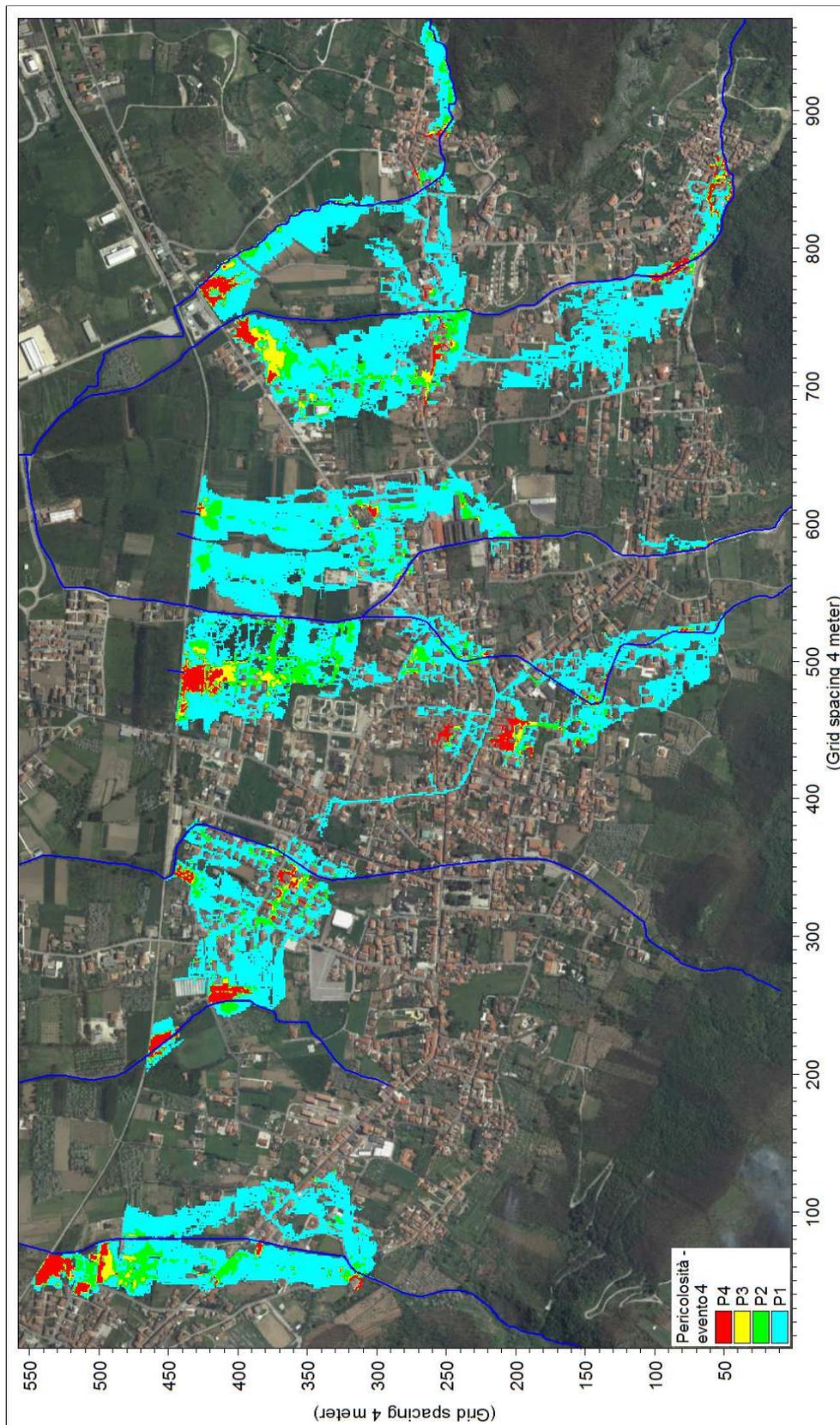


Figura 46 - Mappa della pericolosità idraulica relativa all'evento 4 in assenza di colate (SIM3).

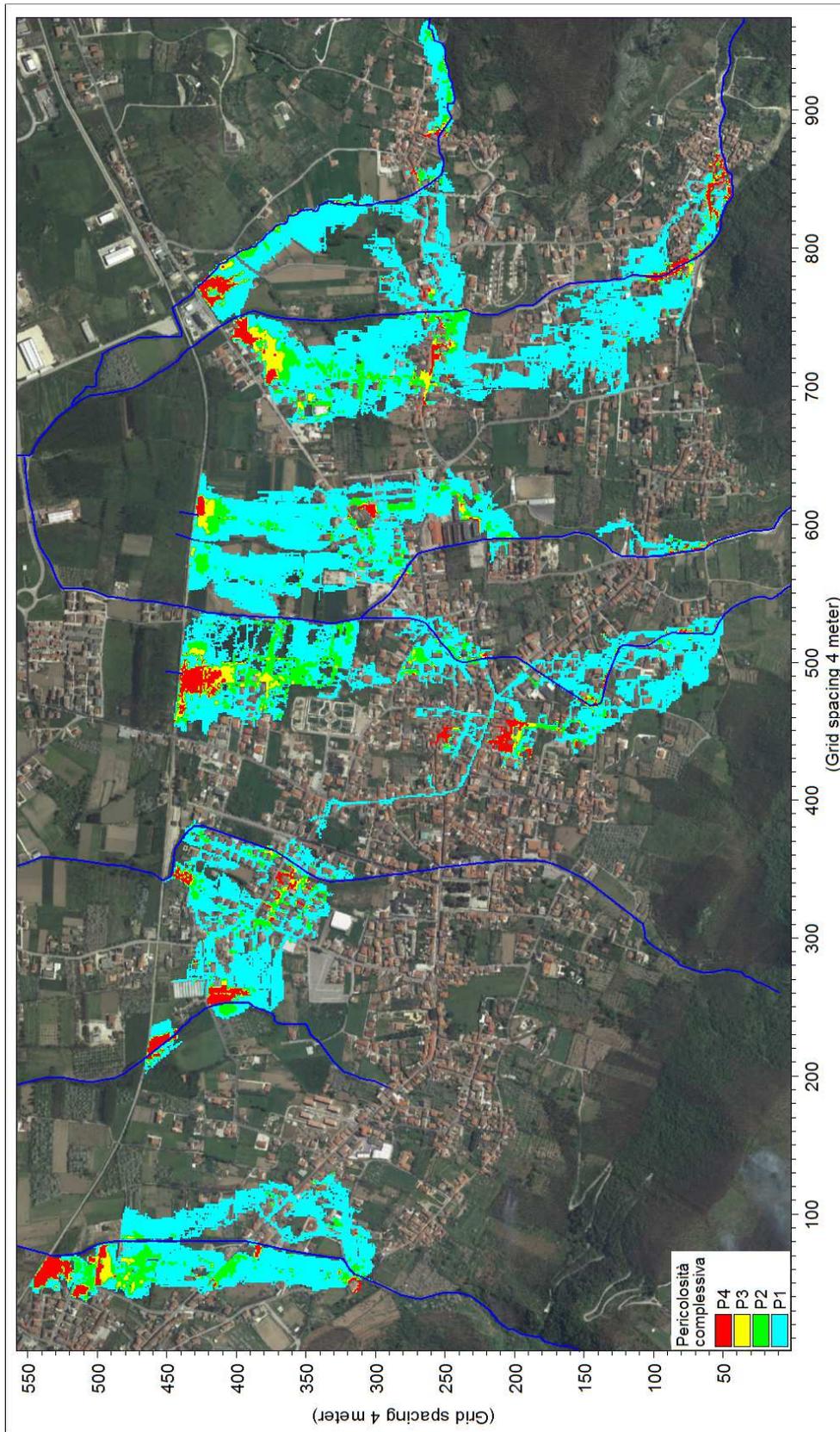


Figura 47 - Mappa della pericolosità idraulica complessiva.

ALLEGATO 1 - Elaborazione probabilistica delle serie storiche dei dati di precipitazione della stazione di S.Martino Valle Caudina

HYDRODATA S.p.A.
Torino

PROGRAMMA HCH/PMAX

DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI MASSIMA POSSIBILITA' CLIMATICA
MEDIANTE REGOLARIZZAZIONE DEI DATI STORICI

STAZIONE : S.MARTINO VALLE CAUDINA

PRECIPITAZIONI INTENSE DI DURATA 1,3,6,12,24 ORE (mm)

SERIE STORICA DEI DATI

No	ANNO	1.0 ORE	3.0 ORE	6.0 ORE	12.0 ORE	24.0 ORE
1	1966	30.00	40.00	101.00	109.00	116.20
2	1968	30.00	60.00	100.00	161.00	275.60
3	1969	22.40	40.00	60.00	85.40	96.60
4	1970	32.40	48.40	58.00	77.40	107.40
5	1971	15.20	38.00	59.60	90.00	106.40
6	1972	22.00	34.00	47.00	71.60	90.00
7	1973	22.60	35.50	41.80	41.80	43.60
8	1974	33.00	50.00	52.00	87.00	87.00
9	1975	26.00	45.00	62.00	103.00	113.40
10	1976	33.40	45.00	64.00	76.00	135.00
11	1977	31.00	35.00	42.00	73.00	93.60
12	1978	36.00	47.00	57.00	85.00	124.00
13	1979	20.00	37.00	43.00	70.00	100.00
14	1980	37.00	52.60	54.00	63.40	97.00
15	1981	50.00	54.00	91.00	94.00	94.00
16	1982	21.80	37.00	43.00	73.00	98.60
17	1983	29.00	54.00	76.00	98.00	141.00
18	1990	19.20	34.20	40.20	46.40	56.80
19	1991	21.40	26.20	41.60	61.20	79.60
20	1993	15.60	27.20	31.00	34.40	72.80
21	1995	22.00	40.20	71.00	77.60	77.60
22	1997	38.60	99.60	127.60	130.00	139.20
23	1998	18.60	31.40	44.40	44.40	52.40
24	1999	19.00	53.40	93.00	155.40	253.00
25	2001	29.80	40.00	61.80	80.20	88.20
26	2002	29.60	43.60	51.80	57.60	82.40
27	2003	33.20	55.60	70.80	101.00	109.20
28	2004	23.80	29.20	48.60	75.20	116.20
29	2005	29.60	48.80	66.40	100.20	117.60
30	2006	31.00	52.80	66.00	67.20	98.60
31	2007	19.60	33.80	48.40	61.20	96.00
32	2008	27.20	43.00	70.60	108.80	157.20
33	2009	32.20	43.20	74.60	84.80	110.20
34	2010	24.60	48.60	65.20	106.60	187.20

Il programma HCH/PMAX determina per una stazione pluviometrica la curva di massima possibilita' climatica nella forma: $Y=aT^n$ per assegnati tempi di ritorno, utilizzando un metodo probabilistico di regolarizzazione con diversi tipi di distribuzione. Occorre che per la stazione considerata sia disponibile una serie storica di misure sufficientemente estesa. I dati in ingresso sono le altezze di pioggia massime annuali osservate per eventi di diversa durata.

Alla serie storica delle osservazioni vengono adattati diversi tipi di distribuzione probabilistica :

1. distribuzione log-normale (Galton)

$$f(y)dy = \frac{.3989}{y s} \exp\left\{-\frac{(\ln y - m)^2}{2s^2}\right\} dy$$

con parametri : s,m

2. distribuzione di Pearson Type III (funz. gamma)

$$f(y)dy = \frac{1}{s \text{ gamma}(p)} \left(\frac{y-a}{s}\right)^{p-1} \exp\left\{-\frac{y-a}{s}\right\} dy$$

con parametri / s,p,a

3. distribuzione di Fisher-Tippett Type I (Gumbel)

$$f(y)dy = \frac{1}{a} \exp\left\{-\frac{y-z}{a}\right\} - \exp\left[-\frac{y-z}{a}\right] dy$$

con parametri : a,z

La stima dei parametri avviene utilizzando il metodo della massima verosimiglianza (maximum likelihood). Noti i parametri, per i diversi tipi di distribuzione, i valori richiesti di Y (altezza di pioggia massima per un assegnato tempo di ritorno TR) soddisfano la condizione per cui l'integrale esteso tra Y e infinito di f(y)dy e' uguale a 1/TR, valore che rappresenta la probabilita' che in un anno l'altezza massima di pioggia superi Y.

Per indirizzare la scelta del tipo di distribuzione che meglio si adatta alla serie storica delle osservazioni, vengono calcolati i valori SQM e PROB. Il primo rappresenta lo scarto quadratico medio degli scostamenti tra le distribuzioni teoriche ed osservate delle frequenze di non superamento (FCi - FCO). Il secondo rappresenta la probabilita', secondo il test di Kolmogorov-Smirnov, che la distribuzione teorica rappresenti adeguatamente la distribuzione osservata.

Vengono infine calcolate le curve di massima possibilita' climatica in base alle diverse distribuzioni adottate. In particolare i valori Ymp rappresentano le massime altezze di pioggia di diversa durata soddisfacenti la condizione di massima verosimiglianza.

PIOGGE DI DURATA 1.0 ORE

DISTRIBUZIONE LOG NORMALE m = 3.27 s = 0.27
 DISTRIBUZIONE DI PEARSON s = 1.91 p = 14.25 a = 0.00
 DISTRIBUZIONE DI FISHER TIPPETT z = 23.81 a = 6.14

No	y	FC0	FC1	FC2	FC3
1	15.20	0.028571	0.021635	0.037569	0.017108
2	15.60	0.057143	0.027060	0.042182	0.022116
3	18.60	0.085714	0.100652	0.106860	0.096576
4	19.00	0.114286	0.115188	0.119758	0.111929
5	19.20	0.142857	0.122865	0.126584	0.120072
6	19.60	0.171429	0.139012	0.140982	0.137260
7	20.00	0.200000	0.156176	0.156349	0.155589
8	21.40	0.228571	0.223348	0.217191	0.227423
9	21.80	0.257143	0.244253	0.236383	0.249706
10	22.00	0.285714	0.254938	0.246243	0.261068
11	22.00	0.314286	0.254938	0.246243	0.261068
12	22.40	0.342857	0.276714	0.266445	0.284162
13	22.60	0.371429	0.287783	0.276770	0.295864
14	23.80	0.400000	0.355983	0.341267	0.367326
15	24.60	0.428571	0.402307	0.385964	0.415167
16	26.00	0.457143	0.482691	0.465287	0.496723
17	27.20	0.485714	0.548900	0.532324	0.562470
18	29.00	0.514286	0.640217	0.627267	0.651088
19	29.60	0.542857	0.668041	0.656743	0.677644
20	29.60	0.571429	0.668041	0.656743	0.677644
21	29.80	0.600000	0.677000	0.666285	0.686154
22	30.00	0.628571	0.685799	0.675681	0.694493
23	30.00	0.657143	0.685799	0.675681	0.694493
24	31.00	0.685714	0.727351	0.720340	0.733637
25	31.00	0.714286	0.727351	0.720340	0.733637
26	32.20	0.742857	0.771800	0.768576	0.775136
27	32.40	0.771429	0.778640	0.776032	0.781495
28	33.00	0.800000	0.798206	0.797394	0.799653
29	33.20	0.828571	0.804415	0.804181	0.805407
30	33.40	0.857143	0.810471	0.810802	0.811017
31	36.00	0.885714	0.876139	0.882442	0.871873
32	37.00	0.914286	0.895600	0.903422	0.890039
33	38.60	0.942857	0.921156	0.930515	0.914160
34	50.00	0.971429	0.991023	0.995734	0.986099

SQM 0.050755 0.048753 0.053386
 PROB 0.653640 0.769918 0.547915

PIOGGE DI DURATA 3.0 ORE

DISTRIBUZIONE LOG NORMALE m = 3.75 s = 0.26
 DISTRIBUZIONE DI PEARSON s = 4.85 p = 5.74 a = 16.37
 DISTRIBUZIONE DI FISHER TIPPETT z = 38.89 a = 9.06

No	y	FC0	FC1	FC2	FC3
1	26.20	0.028571	0.029943	0.024028	0.017225
2	27.20	0.057143	0.041144	0.035382	0.026337
3	29.20	0.085714	0.071579	0.067112	0.054145
4	31.40	0.114286	0.118185	0.116178	0.101556
5	33.80	0.142857	0.183985	0.184874	0.172965
6	34.00	0.171429	0.190093	0.191201	0.179723
7	34.20	0.200000	0.196288	0.197608	0.186589
8	35.00	0.228571	0.221876	0.223975	0.215047
9	35.50	0.257143	0.238472	0.240997	0.233555
10	37.00	0.285714	0.290546	0.294022	0.291611
11	37.00	0.314286	0.290546	0.294022	0.291611
12	38.00	0.342857	0.326697	0.330523	0.331710
13	40.00	0.371429	0.400735	0.404616	0.412790
14	40.00	0.400000	0.400735	0.404616	0.412790
15	40.00	0.428571	0.400735	0.404616	0.412790
16	40.20	0.457143	0.408179	0.412023	0.420845
17	43.00	0.485714	0.510839	0.513580	0.529777
18	43.20	0.514286	0.517967	0.520597	0.537180
19	43.60	0.542857	0.532104	0.534507	0.551799
20	45.00	0.571429	0.580168	0.581724	0.600854
21	45.00	0.600000	0.580168	0.581724	0.600854
22	47.00	0.628571	0.644255	0.644581	0.664675
23	48.40	0.657143	0.685431	0.684971	0.704724
24	48.60	0.685714	0.691049	0.690485	0.710132
25	48.80	0.714286	0.696601	0.695935	0.715461
26	50.00	0.742857	0.728486	0.727263	0.745819
27	52.60	0.771429	0.789169	0.787087	0.802455
28	52.80	0.800000	0.793368	0.791240	0.806322
29	53.40	0.828571	0.805573	0.803324	0.817527
30	54.00	0.857143	0.817199	0.814854	0.828155
31	54.00	0.885714	0.817199	0.814854	0.828155
32	55.60	0.914286	0.845480	0.842988	0.853835
33	60.00	0.942857	0.905013	0.902756	0.907370
34	99.60	0.971429	0.999449	0.999565	0.998775

SQM 0.026345 0.027046 0.028463
 PROB 0.997068 0.995211 0.999654

PIOGGE DI DURATA 6.0 ORE

DISTRIBUZIONE LOG NORMALE m = 4.09 s = 0.31
 DISTRIBUZIONE DI PEARSON s = 13.88 p = 2.36 a = 29.67
 DISTRIBUZIONE DI FISHER TIPPETT z = 53.42 a = 15.13

No	y	FC0	FC1	FC2	FC3
1	31.00	0.028571	0.018011	0.001287	0.012258
2	40.20	0.057143	0.103422	0.108024	0.091094
3	41.60	0.085714	0.124629	0.135723	0.112584
4	41.80	0.114286	0.127827	0.139829	0.115860
5	42.00	0.142857	0.131065	0.143968	0.119187
6	43.00	0.171429	0.147855	0.165119	0.136562
7	43.00	0.200000	0.147855	0.165119	0.136562
8	44.40	0.228571	0.172936	0.195792	0.162843
9	47.00	0.257143	0.223743	0.254888	0.216898
10	48.40	0.285714	0.252954	0.287266	0.248275
11	48.60	0.314286	0.257213	0.291900	0.252860
12	51.80	0.342857	0.327471	0.365607	0.328654
13	52.00	0.371429	0.331957	0.370156	0.333493
14	54.00	0.400000	0.377082	0.415024	0.382081
15	57.00	0.428571	0.444612	0.479589	0.454286
16	58.00	0.457143	0.466783	0.500229	0.477806
17	59.60	0.485714	0.501656	0.532232	0.514574
18	60.00	0.514286	0.510237	0.540029	0.523575
19	61.80	0.542857	0.548043	0.574060	0.562999
20	62.00	0.571429	0.552155	0.577733	0.567264
21	64.00	0.600000	0.592200	0.613256	0.608528
22	65.20	0.628571	0.615219	0.633504	0.632024
23	66.00	0.657143	0.630118	0.646557	0.647141
24	66.40	0.685714	0.637430	0.652951	0.654533
25	70.60	0.714286	0.708441	0.714792	0.725371
26	70.80	0.742857	0.711555	0.717501	0.728436
27	71.00	0.771429	0.714644	0.720188	0.731474
28	74.60	0.800000	0.766100	0.765071	0.781560
29	76.00	0.828571	0.784024	0.780807	0.798775
30	91.00	0.857143	0.913891	0.899662	0.920036
31	93.00	0.885714	0.924360	0.909995	0.929582
32	100.00	0.914286	0.952382	0.938881	0.955072
33	101.00	0.942857	0.955472	0.942214	0.957885
34	127.60	0.971429	0.992901	0.987712	0.992614

SQM 0.031827 0.029633 0.032543
 PROB 0.999891 0.999992 0.998528

PIOGGE DI DURATA 12.0 ORE

DISTRIBUZIONE LOG NORMALE m = 4.37 s = 0.34
 DISTRIBUZIONE DI PEARSON s = 9.12 p = 9.19 a = 0.00
 DISTRIBUZIONE DI FISHER TIPPETT z = 70.88 a = 23.36

No	y	FC0	FC1	FC2	FC3
1	34.40	0.028571	0.007499	0.014654	0.008515
2	41.80	0.057143	0.030710	0.039053	0.031048
3	44.40	0.085714	0.045083	0.052746	0.044755
4	46.40	0.114286	0.058689	0.065324	0.057746
5	57.60	0.142857	0.175051	0.169392	0.171063
6	61.20	0.171429	0.224401	0.213841	0.220119
7	61.20	0.200000	0.224401	0.213841	0.220119
8	63.40	0.228571	0.256452	0.243078	0.252190
9	67.20	0.257143	0.314047	0.296491	0.310121
10	70.00	0.285714	0.357462	0.337573	0.353961
11	71.60	0.314286	0.382363	0.361472	0.379148
12	73.00	0.342857	0.404097	0.382540	0.401149
13	73.00	0.371429	0.404097	0.382540	0.401149
14	75.20	0.400000	0.437983	0.415781	0.435465
15	76.00	0.428571	0.450185	0.427869	0.447823
16	77.40	0.457143	0.471336	0.448975	0.469243
17	77.60	0.485714	0.474335	0.451982	0.472279
18	80.20	0.514286	0.512694	0.490801	0.511104
19	84.80	0.542857	0.577159	0.557472	0.576238
20	85.00	0.571429	0.579849	0.560293	0.578952
21	85.40	0.600000	0.585199	0.565912	0.584348
22	87.00	0.628571	0.606188	0.588075	0.605501
23	90.00	0.657143	0.643698	0.628138	0.643235
24	94.00	0.685714	0.689806	0.678143	0.689480
25	98.00	0.714286	0.731366	0.723859	0.731021
26	100.20	0.742857	0.752303	0.747086	0.751896
27	101.00	0.771429	0.759585	0.755190	0.759147
28	103.00	0.800000	0.777033	0.774651	0.776505
29	106.60	0.828571	0.805793	0.806826	0.805065
30	108.80	0.857143	0.821769	0.824719	0.820906
31	109.00	0.885714	0.823163	0.826280	0.822288
32	130.00	0.914286	0.925321	0.938258	0.923442
33	155.40	0.942857	0.975164	0.985689	0.973501
34	161.00	0.971429	0.980591	0.989893	0.979089

SQM 0.034494 0.030095 0.033452
 PROB 0.994797 0.999750 0.997394

PIOGGE DI DURATA 24.0 ORE

DISTRIBUZIONE LOG NORMALE m = 4.65 s = 0.38
 DISTRIBUZIONE DI PEARSON s = 29.50 p = 2.44 a = 40.11
 DISTRIBUZIONE DI FISHER TIPPETT z = 92.89 a = 31.93

No	y	FC0	FC1	FC2	FC3
1	43.60	0.028571	0.010105	0.001611	0.009257
2	52.40	0.057143	0.033104	0.028216	0.028596
3	56.80	0.085714	0.052384	0.053780	0.045187
4	72.80	0.114286	0.168492	0.193317	0.153152
5	77.60	0.142857	0.214796	0.243047	0.199004
6	79.60	0.171429	0.235134	0.264167	0.219499
7	82.40	0.200000	0.264389	0.293906	0.249301
8	87.00	0.228571	0.313823	0.342723	0.300376
9	88.20	0.257143	0.326889	0.355371	0.314002
10	90.00	0.285714	0.346548	0.374229	0.334586
11	93.60	0.314286	0.385874	0.411409	0.376016
12	94.00	0.342857	0.390230	0.415488	0.380623
13	96.00	0.371429	0.411928	0.435701	0.403614
14	96.60	0.400000	0.418404	0.441703	0.410489
15	97.00	0.428571	0.422712	0.445688	0.415064
16	98.60	0.457143	0.439853	0.461490	0.433291
17	98.60	0.485714	0.439853	0.461490	0.433291
18	100.00	0.514286	0.454718	0.475126	0.449120
19	106.40	0.542857	0.520596	0.534988	0.519402
20	107.40	0.571429	0.530525	0.543949	0.530000
21	109.20	0.600000	0.548117	0.559799	0.548769
22	110.20	0.628571	0.557727	0.568447	0.559017
23	113.40	0.657143	0.587660	0.595345	0.590896
24	116.20	0.685714	0.612776	0.617902	0.617582
25	116.20	0.714286	0.612776	0.617902	0.617582
26	117.60	0.742857	0.624945	0.628834	0.630483
27	124.00	0.771429	0.677165	0.675866	0.685581
28	135.00	0.800000	0.753769	0.745682	0.765308
29	139.20	0.828571	0.778781	0.768846	0.790959
30	141.00	0.857143	0.788821	0.778215	0.801192
31	157.20	0.885714	0.862652	0.848828	0.875068
32	187.20	0.914286	0.940383	0.928734	0.949183
33	253.00	0.942857	0.990889	0.987951	0.993380
34	275.60	0.971429	0.995190	0.993635	0.996733

SQM 0.058663 0.067932 0.052628
 PROB 0.731863 0.767451 0.783839

	TR	ORE	Y1	Y2	Y3	Ymp
	5.	1.0	33.07	33.08	33.01	33.08
		3.0	53.12	53.23	52.47	52.47
		6.0	77.33	77.82	76.10	77.82
		12.0	105.85	105.80	105.93	105.80
		24.0	143.09	145.44	140.78	140.78
		n		.467	.471	.464
Y = aT		33.50T	33.49T	33.40T	33.88T	
	10.	1.0	37.25	36.83	37.62	36.83
		3.0	59.55	59.75	59.27	59.27
		6.0	88.66	91.06	87.45	91.06
		12.0	123.05	120.67	123.46	120.67
		24.0	168.77	173.93	164.74	164.74
		n		.483	.491	.475
Y = aT		37.33T	37.80T	37.94T	38.64T	
	20.	1.0	41.11	40.12	42.03	40.12
		3.0	65.44	65.66	65.80	65.80
		6.0	99.27	103.56	98.34	103.56
		12.0	139.36	133.90	140.23	133.90
		24.0	193.44	200.77	187.71	187.71
		n		.496	.507	.482
Y = aT		41.11T	41.76T	42.29T	43.02T	
	50.	1.0	45.93	44.05	47.75	44.05
		3.0	72.77	72.89	74.23	74.23
		6.0	112.73	119.43	112.43	119.43
		12.0	160.32	149.86	162.04	149.86
		24.0	225.46	234.75	217.48	217.48
		n		.510	.524	.490
Y = aT		45.93T	46.70T	47.94T	48.43T	
	100.	1.0	49.45	46.80	52.02	46.80
		3.0	78.10	78.07	80.55	80.55
		6.0	122.71	131.03	123.00	131.03
		12.0	176.01	161.17	178.36	161.17
		24.0	249.71	259.64	239.78	239.78
		n		.520	.535	.495
Y = aT		49.45T	50.25T	52.16T	52.31T	
	200.	1.0	52.92	49.41	56.30	49.41
		3.0	83.32	83.05	86.85	86.85
		6.0	132.60	142.42	135.30	142.42
		12.0	191.72	171.94	194.62	171.94
		24.0	274.38	284.06	261.99	261.99
		n		.529	.545	.499
Y = aT		52.92T	53.68T	56.36T	56.05T	
	500.	1.0	57.44	52.71	61.93	52.71
		3.0	90.13	89.49	95.16	95.16
		6.0	145.67	157.24	147.40	157.24
		12.0	212.65	185.64	216.06	185.64
		24.0	307.13	315.72	291.30	291.30
		n		.540	.555	.503
Y = aT		57.44T	58.12T	61.95T	60.86T	

ALLEGATO 2 - Descrizione del codice di calcolo MIKE
11 - HD

1. PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHI\MIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

2. DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.

Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.

Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati sia reti idrauliche con maglie chiuse.

3. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 mediante il terzo tipo di formulazione risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.

c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m³/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m²/s).

4. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

5. APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare tutti i termini legati alla quantità di moto nelle equazioni generali di De Saint Venant:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h / \partial x$. Per ragioni di stabilità questo termine nella soluzione viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

6. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

7. RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

8. CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

9. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle

differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

10. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

11. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;
d = altezza d'acqua media;
V = velocità media della corrente;
g = accelerazione di gravità;
Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V \cdot Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt , Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx , vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

In osservanza ai sovracitati criteri è possibile definire unicamente intervalli di valori per Dx e Dt e non valori univoci per ogni simulazione.

ALLEGATO 3 - Descrizione del codice di calcolo MIKE
21 - HD

Il codice di calcolo MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile approssimare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di de St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema di de St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fV V_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fV V_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

- $h(x,y,t)$ = profondità dell'acqua;
- $\zeta(x,y,t)$ = quota del pelo libero;
- $p,q(x,y,t)$ = portate unitarie nelle direzioni x e y;
- $C(x,y)$ = coefficiente di scabrezza di Chezy;
- g = accelerazione di gravità;
- $f(V)$ = fattore d'attrito del vento;
- $V,V_x,V_y(x,y,t)$ = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;
- $\Omega(x,y)$ = parametro di Coriolis;
- $p_a(x,y,t)$ = pressione atmosferica;

ρ_w	= densità dell'acqua;
x, y	= coordinate spaziali;
t	= tempo;
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;
S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}	= componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

tali due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} hE \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($m^3/s/m$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizioni iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore

assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" si verifica che la situazione ottenuta sia di effettiva stazionarietà.

Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

ALLEGATO 4 - Schede monografiche dei pozzi censiti

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: PP/2
- Denominazione:
- Località: Pirozza (via Pirozzelle)
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Garofano Giuseppina
- Note:

DATA 23/1/2012

- Coordinata x: 466632
- Coordinata y: 4541683
- Quota p.c. (m s.l.m.): 282.5
- Profondità dal p. c. (m): 25
- Diametro pozzo (m): 0.25
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate.

MISURE

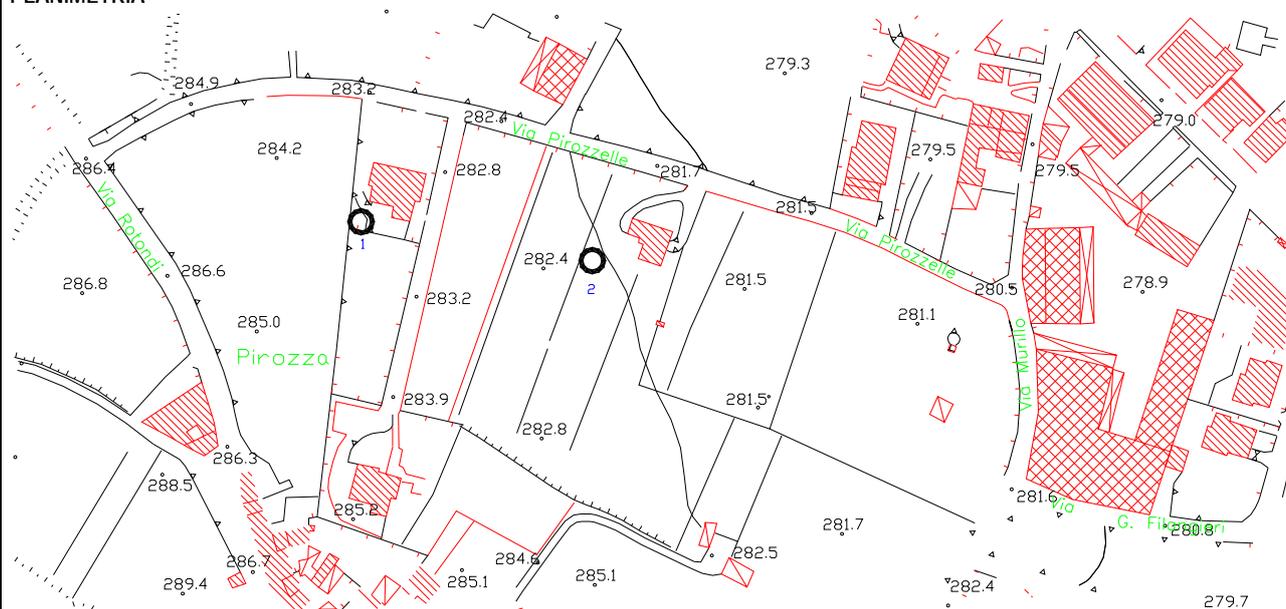
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

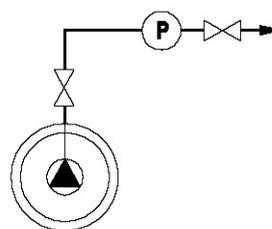
liv piezometrico (m):
13.60 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/3 • Denominazione: • Località: Pirozza (via Pirozza) • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Esposito Carmine | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 466516 • Coordinata y: 4541490 • Quota p.c. (m s.l.m.): 393 • Profondità dal p. c. (m): 21.20 • Diametro pozzo (m): 0.30 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate seguiti da roccia. |
|---|---|
- Note: il pozzo risulta completamente asciutto; da informazioni del proprietario il pozzo risulta produttivo tra marzo-aprile e la metà del mese di luglio, poi rimane asciutto tutta la restante parte dell'anno. Il pozzo è influenzato dal torrente Pirozza, infatti solo quando tale corso d'acqua ha una portata, nel pozzo si rinviene acqua.

MISURE

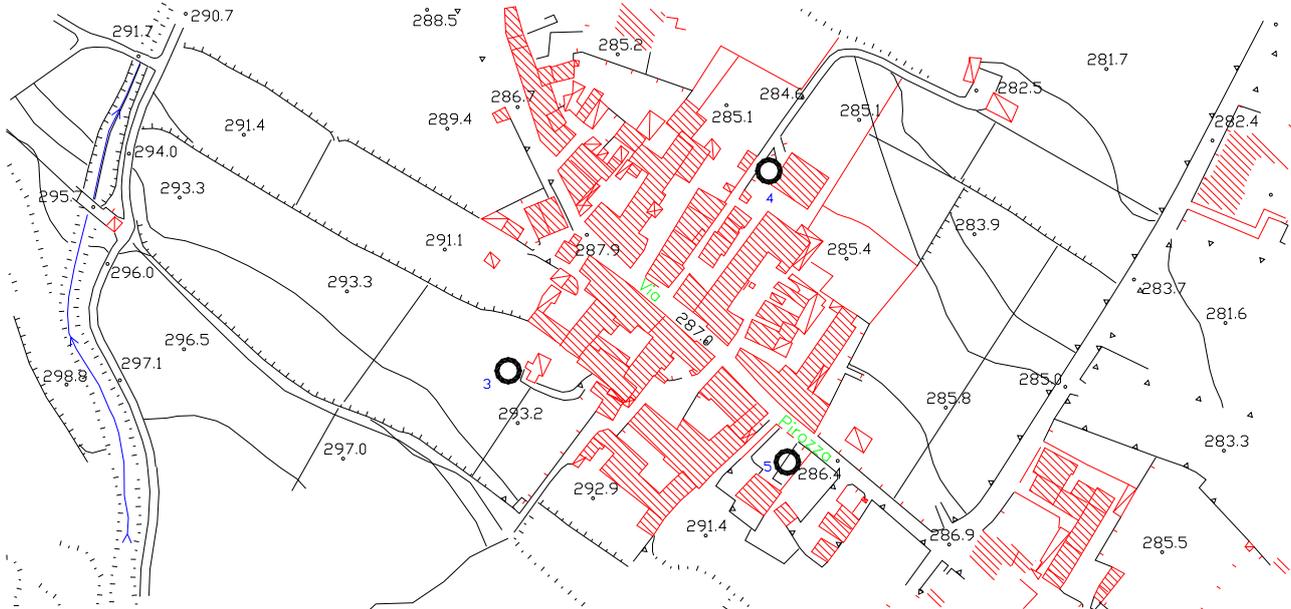
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

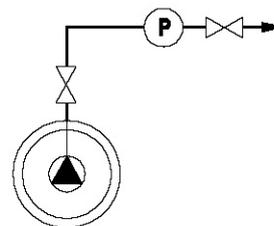
liv piezometrico (m):
assente (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- Codice: PP/4
- Denominazione:
- Località: Pirozza
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Bizarro Gianfranco
- Note:

- Coordinata x: 466603
- Coordinata y: 4541557
- Quota p.c. (m s.l.m.): 285
- Profondità dal p. c. (m): non nota
- Diametro pozzo (m): 0.30
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate.

MISURE

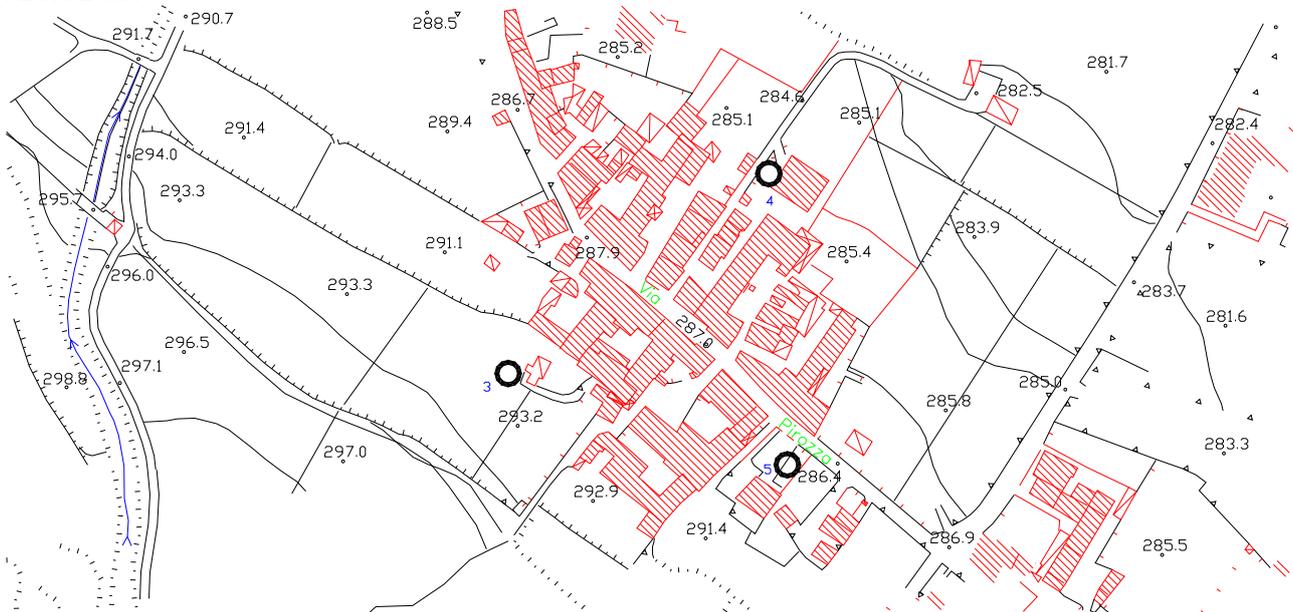
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

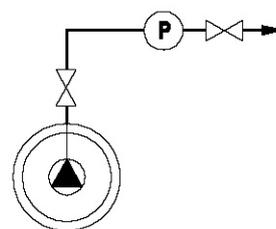
liv piezometrico (m):
16.90 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/5 • Denominazione: • Località: Pirozza (via Pirozza) • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Bizzarro Angelo | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 466609 • Coordinata y: 4541459 • Quota p.c. (m s.l.m.): 286 • Profondità dal p. c. (m): 40 • Diametro pozzo (m): 0.30 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate. |
|--|--|
- Note: da informazioni del proprietari il pozzo all'epoca della realizzazione (1987-88) fu praticato fino ad una profondità di 46-48 metri, successivamente il fondo foro si è parzialmente ostruito tanto che la pompa è dovuta essere sostituita e posta più in alto. Il pozzo risulta poco produttivo nel periodo estivo.

MISURE

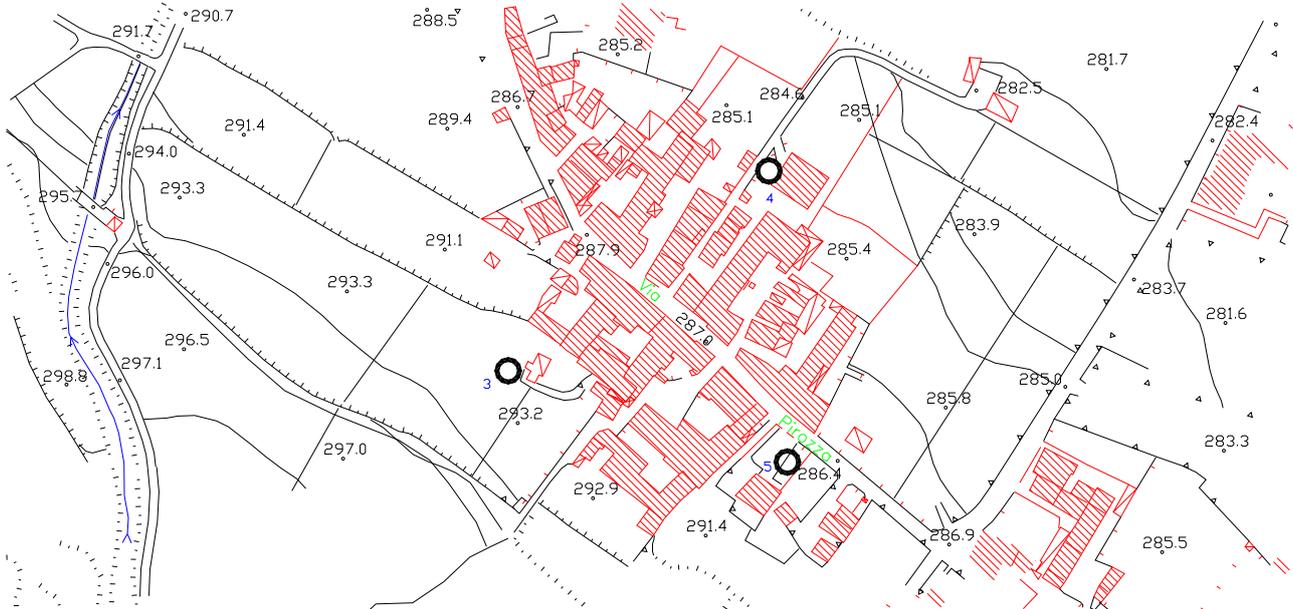
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

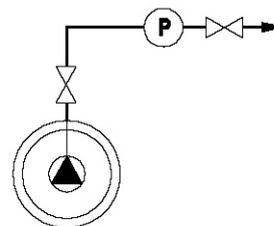
liv piezometrico (m):
17.00 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: PP/6
- Denominazione:
- Località: Curielli (via S. Di Giacomo)
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Dott. Fierro

DATA 23/1/2012

- Coordinata x: 466850
- Coordinata y: 4541317
- Quota p.c. (m s.l.m.): 285
- Profondità dal p. c. (m): 40
- Diametro pozzo (m): 0.30
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate.

- Note:

MISURE

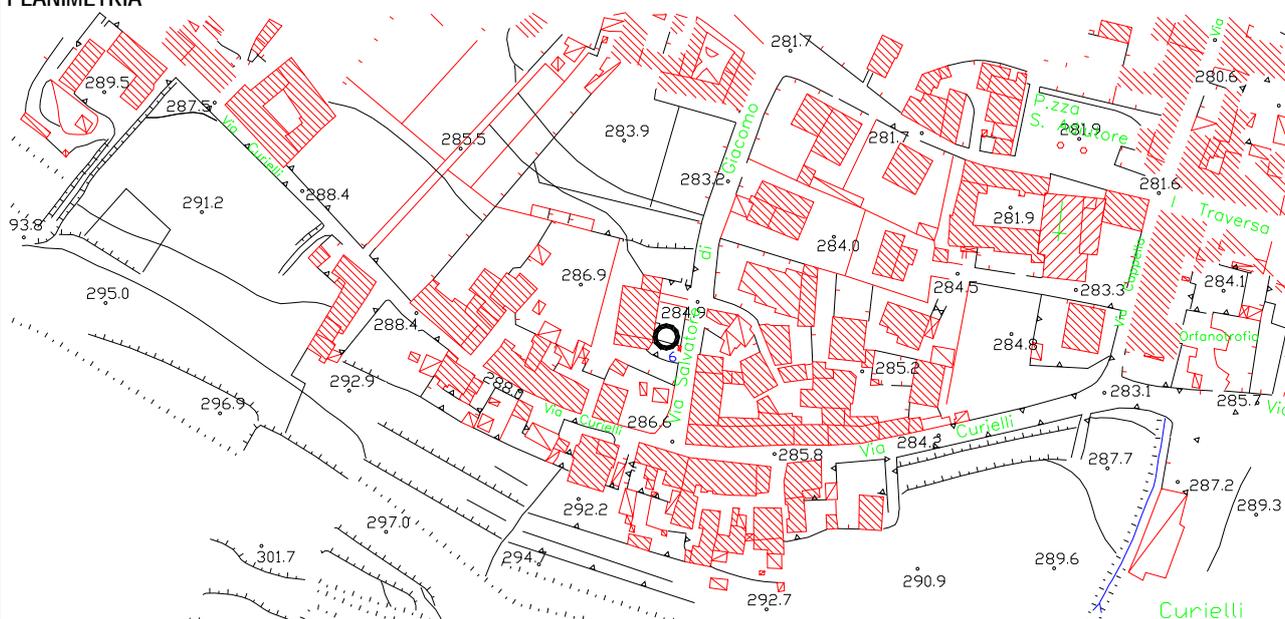
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

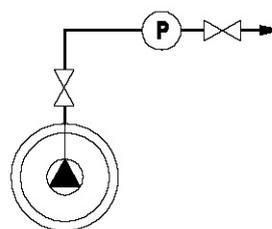
liv piezometrico (m):
13.90 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/7 • Denominazione: • Località: Curielli (via Finelli) • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Geom. Marchese | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 467078 • Coordinata y: 4541319 • Quota p.c. (m s.l.m.): 285 • Profondità dal p. c. (m): 50 • Diametro pozzo (m): 0.30 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate. |
|--|--|
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato intorno agli anni 50

MISURE

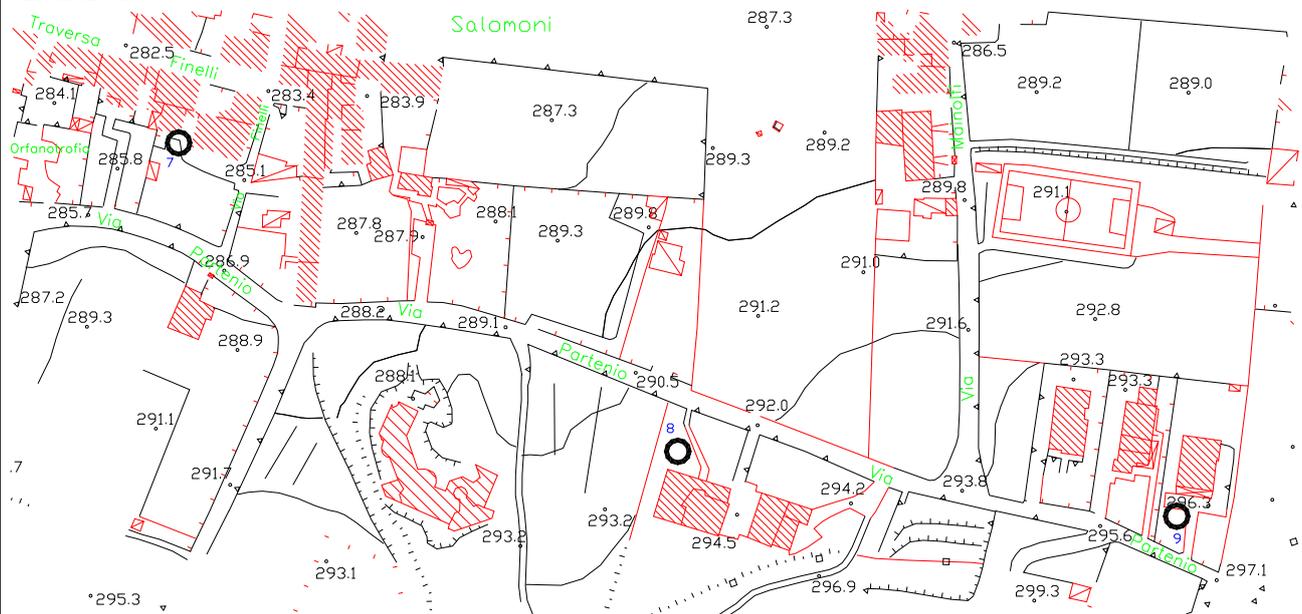
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

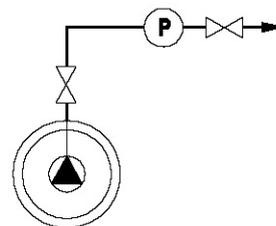
liv piezometrico (m):
12.50 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/8 • Denominazione: • Località: via Partenio • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Avv. Cioffi Mimmo | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 467244 • Coordinata y: 4541215 • Quota p.c. (m s.l.m.): 294 • Profondità dal p. c. (m): 40 • Diametro pozzo (m): 0.30 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate. |
|---|--|
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato intorno agli anni 90

MISURE

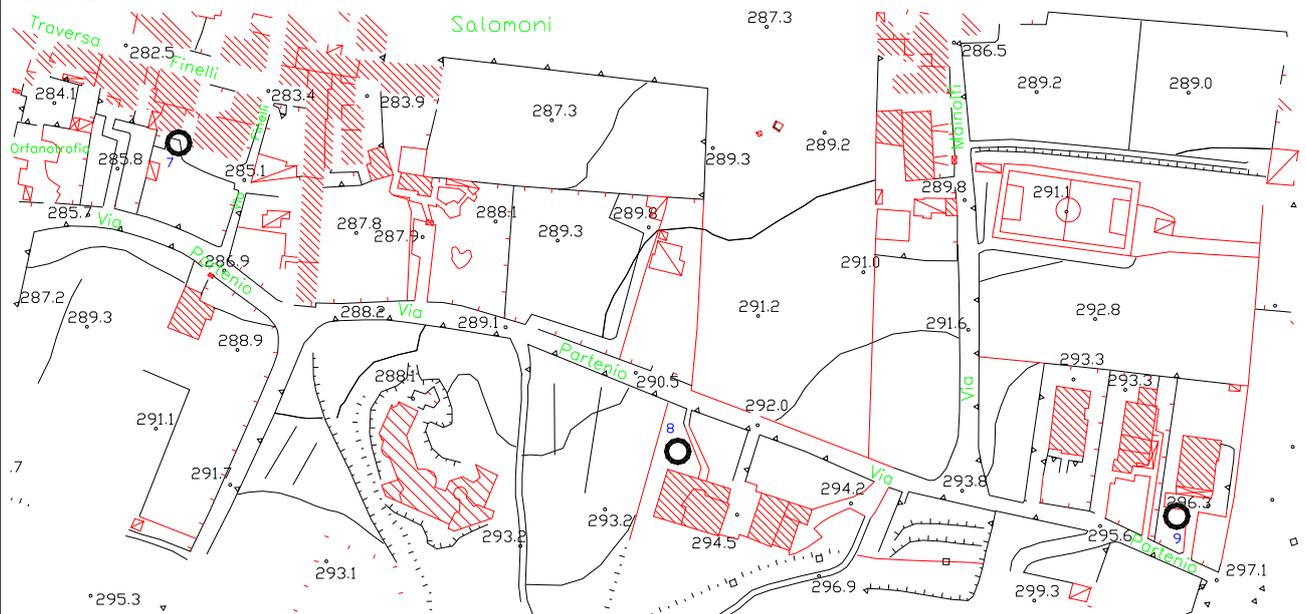
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

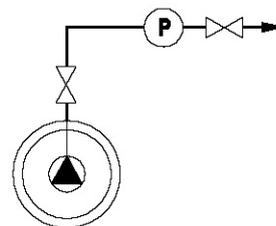
liv piezometrico (m):
19.70 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- Codice: PP/10
- Denominazione:
- Località: via Partenio
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: concessionaria auto Ricci
- Note:

- Coordinata x: 467517
- Coordinata y: 4541079
- Quota p.c. (m s.l.m.): 302.5
- Profondità dal p. c. (m): 50
- Diametro pozzo (m): 0.40
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate in superficie.

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

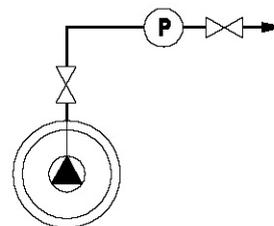
liv piezometrico (m):
30 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- Codice: PP/11
- Denominazione:
- Località: via Partenio
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Germano Laura
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato nel 1981; il pozzo risulta sempre produttivo.

- Coordinata x: 467950
- Coordinata y: 4541025
- Quota p.c. (m s.l.m.): 292.5
- Profondità dal p. c. (m): 60
- Diametro pozzo (m): 0.30
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate in superficie.

MISURE

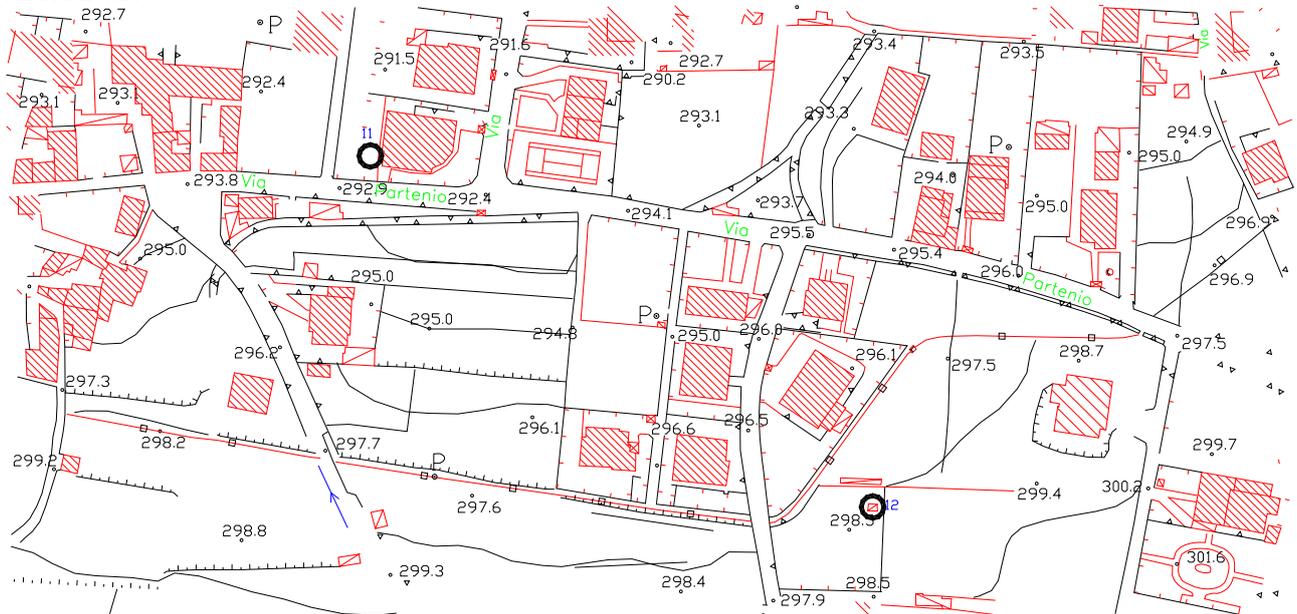
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

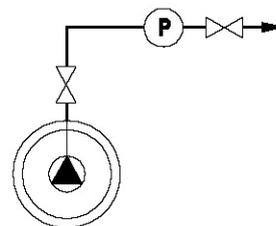
liv piezometrico (m):
19.70 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- Codice: PP/12
- Denominazione:
- Località: traversa a monte di via Partenio
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Girardi Nicola
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato all'inizio degli anni 80; il pozzo risulta molto produttivo.

- Coordinata x: 468118
- Coordinata y: 4540906
- Quota p.c. (m s.l.m.): 298.5
- Profondità dal p. c. (m): 78
- Diametro pozzo (m): 0.30
- Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate in superficie.

MISURE

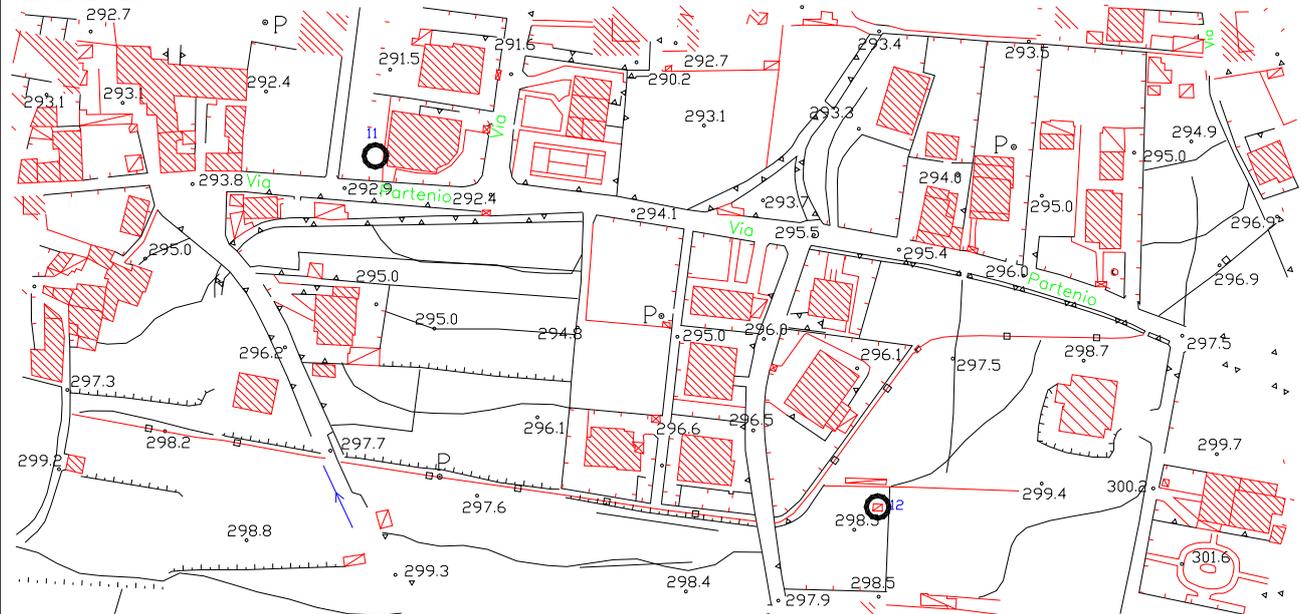
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

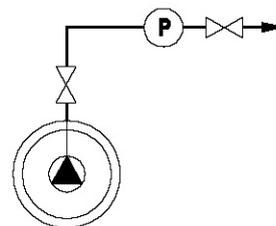
liv piezometrico (m):
20.60 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/13 • Denominazione: • Località: via Partenio • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Izzo Pellegrino | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 468413 • Coordinata y: 4540858 • Quota p.c. (m s.l.m.): 305.4 • Profondità dal p. c. (m): 42 • Diametro pozzo (m): 0.45 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate, seguite da roccia. |
|--|---|
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato intorno agli anni 80; durante l'escavazione è stata rinvenuta roccia intorno ai 27-28 metri.

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

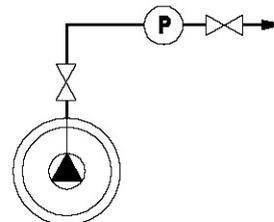
liv piezometrico (m):
27.95 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/14 • Denominazione: • Località: via Vignole • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Zullo Fortunato | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 469151 • Coordinata y: 4540980 • Quota p.c. (m s.l.m.): 301.5 • Profondità dal p. c. (m): 30 • Diametro pozzo (m): 0.30 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate. |
|---|--|
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo successivamente alla realizzazione ha subito una parziale chiusura del fondo foro per franamento; il pozzo risulta poco produttivo; dopo ogni prelievo il livello piezometrico iniziale impiega milto tempo a ristabilirsi.

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

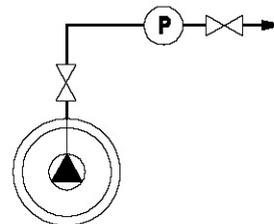
liv piezometrico (m):
14.30 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 23/1/2012

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/15 • Denominazione: • Località: via Mulino di Mezzo • Utilizzo: domestico - irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Marro Giuseppe | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 469288 • Coordinata y: 4541048 • Quota p.c. (m s.l.m.): 301.4 • Profondità dal p. c. (m): 13 • Diametro pozzo (m): 0.80 • Litologia: detriti calcarei e piroclastici argillificate. |
|--|--|
- Note: da informazioni del proprietario il pozzo è stato realizzato intorno agli anni 90; successivamente alla realizzazione parte del fondo foro si è ostruita per franamento.

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

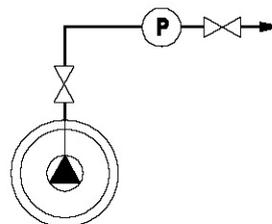
liv piezometrico (m):
6.55 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 21/2012

- Codice: PP/16
- Denominazione:
- Località: Patricelli (via S. Maria Fontana)
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Tancredi
- Note:

- Coordinata x: 466803
- Coordinata y: 4542172
- Quota p.c. (m s.l.m.): 274
- Profondità dal p. c. (m): 15,5
- Diametro pozzo (m): 1
- Litologia: limo sabbioso con pomici.

MISURE

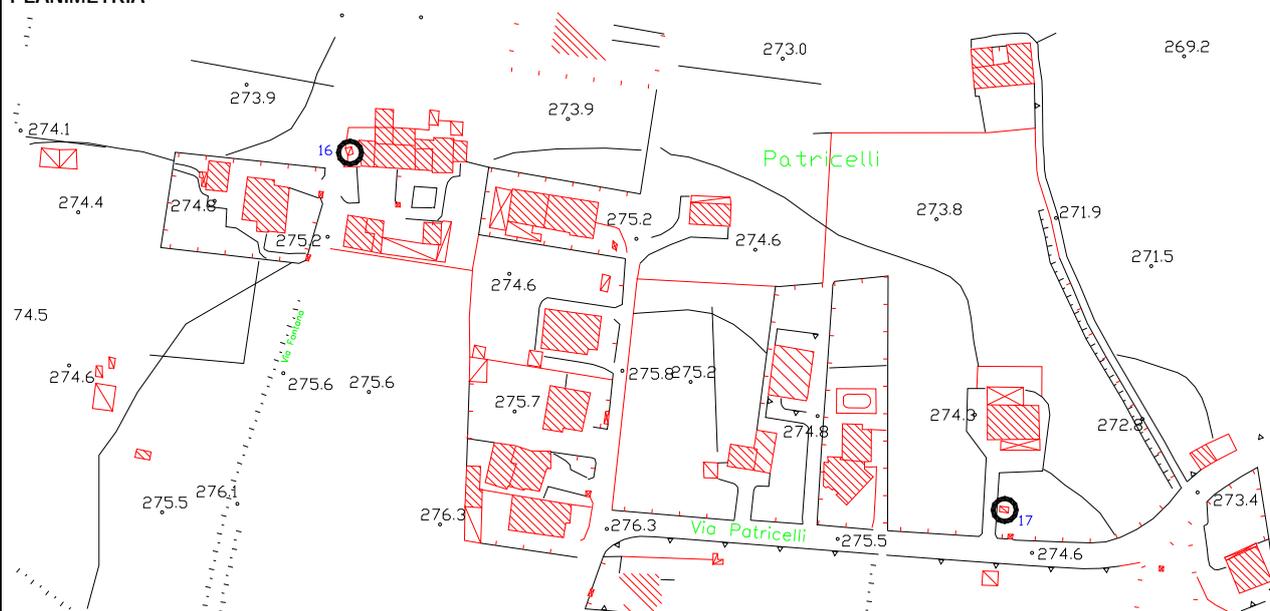
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

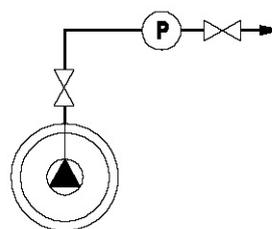
liv piezometrico (m):
6.5 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 21/2012

- Codice: PP/17
- Denominazione:
- Località: Patricelli (via Patricelli,12)
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Zipete Franca
- Note:
pozzo in muratura di grosso diametro

- Coordinata x: 467017
- Coordinata y: 4542055
- Quota p.c. (m s.l.m.): 274
- Profondità dal p. c. (m): 10,4
- Diametro pozzo (m): 4
- Litologia: limo sabbioso con pomici.

MISURE

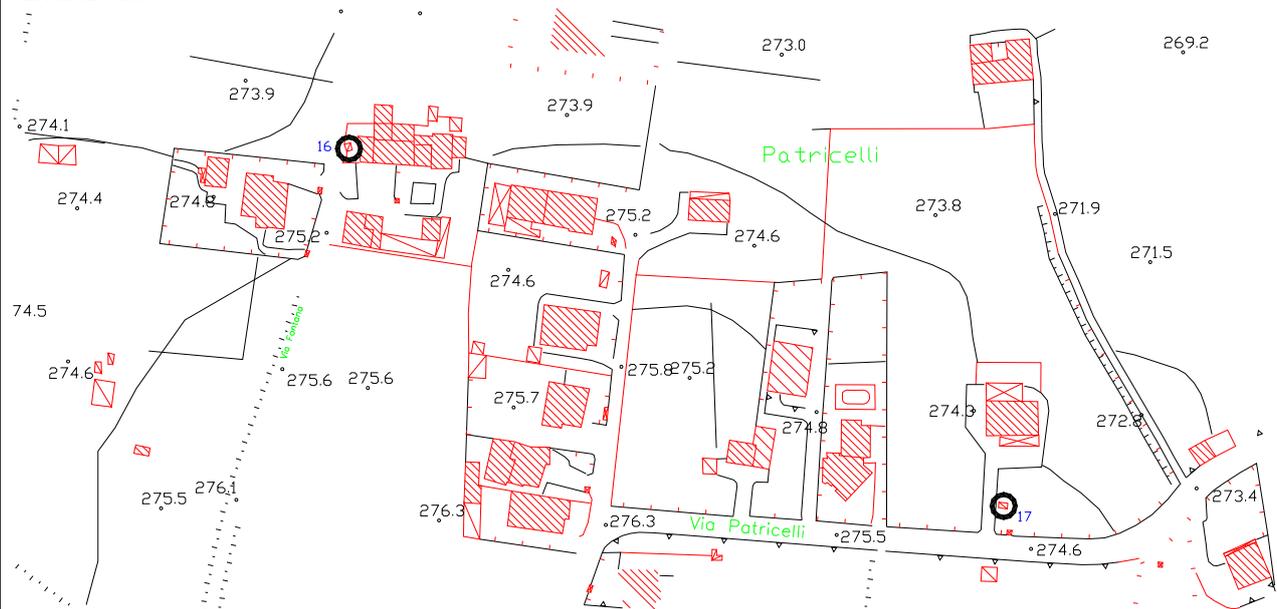
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

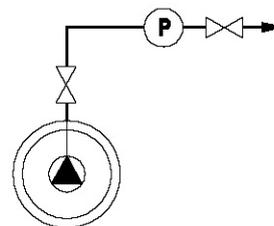
liv piezometrico (m):
6.4(statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 21/2012

- Codice: PP/18
- Denominazione:
- Località: Patricelli
- Utilizzo:
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Cioffi Raffaele
- Note:

- Coordinata x: 467174
- Coordinata y: 4542079
- Quota p.c. (m s.l.m.): 270
- Profondità dal p. c. (m): 6,2
- Diametro pozzo (m): 1
- Litologia: limo sabbioso con pomici.

MISURE

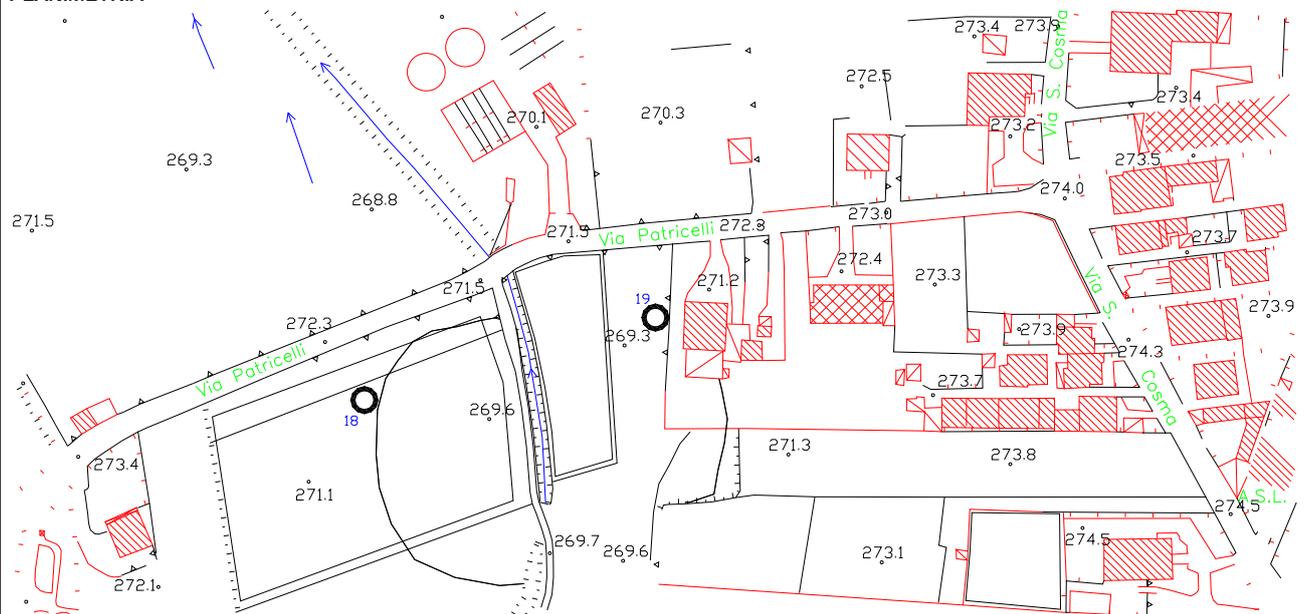
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

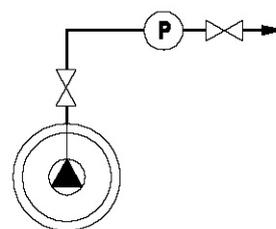
liv piezometrico (m):
2.2 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 21/2012

- Codice: PP/19
- Denominazione:
- Località: Patricelli
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Carrozzeria Clemente

- Coordinata x: 467269
- Coordinata y: 4542106
- Quota p.c. (m s.l.m.): 270
- Profondità dal p. c. (m): 13
- Diametro pozzo (m): 0,5
- Litologia: limo sabbioso con pomici.

- Note:
da informazioni del proprietario il pozzo risulta meno produttivo nel periodo estivo

MISURE

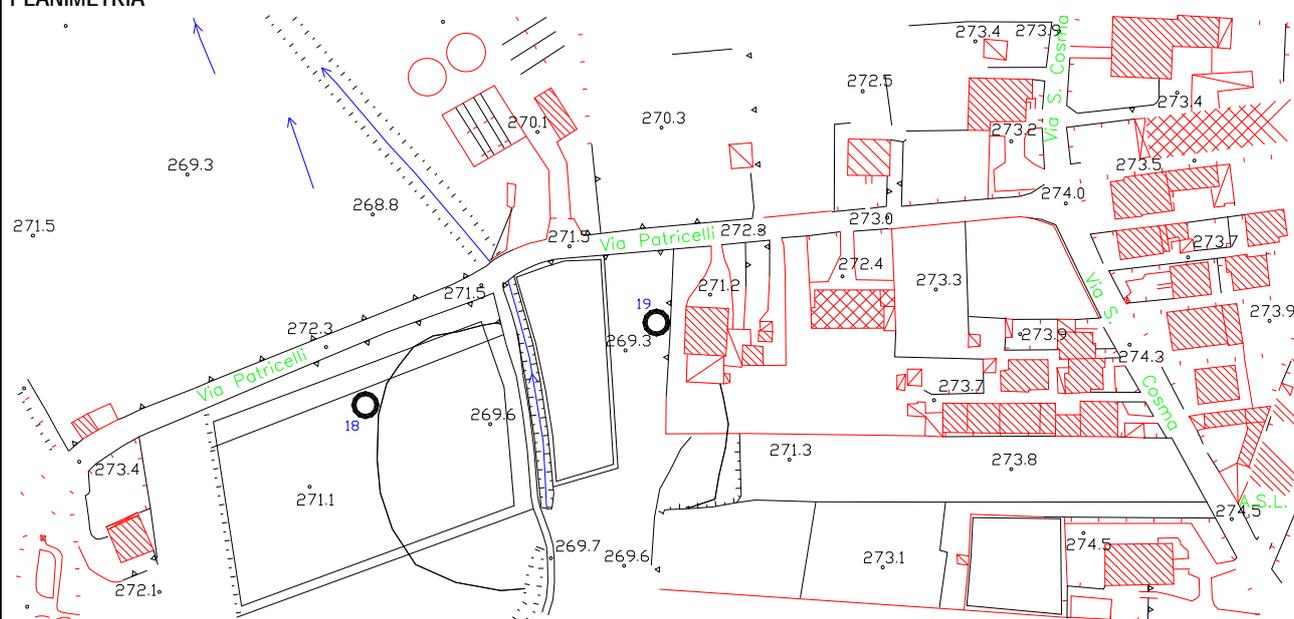
Temperatura (°C):

Conduttività (µs/cm):

pH:

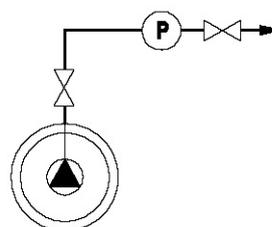
liv piezometrico (m):
2.2 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 21/2012

- Codice: PP/20
- Denominazione:
- Località:
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Eredi Casale Aniello
- Note:
pozzo in muratura di grosso diametro

- Coordinata x: 467518
- Coordinata y: 4542623
- Quota p.c. (m s.l.m.): 270
- Profondità dal p. c. (m): 5.7
- Diametro pozzo (m): 4
- Litologia: limo sabbioso con pomici.

MISURE

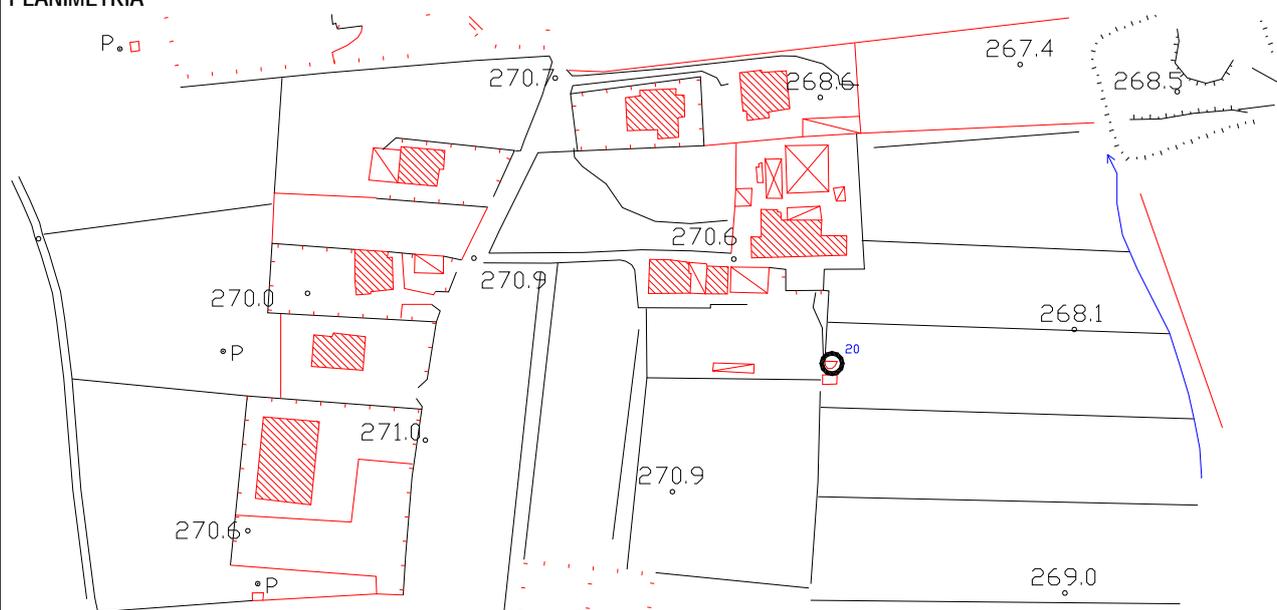
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

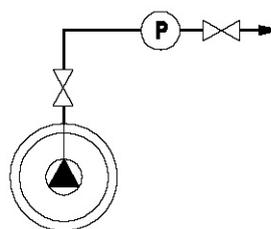
liv piezometrico (m):
3.4 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- Codice: PP/22
- Denominazione:
- Località: prossimità SS FF (via N.S. di Fatima,18)
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Esposito Domenico

- Coordinata x: 467692
- Coordinata y: 4542094
- Quota p.c. (m s.l.m.): 273.5
- Profondità dal p. c. (m): 30
- Diametro pozzo (m): 0,3
- Litologia: limo sabbioso con pomici

- Note:
da informazioni del proprietario il pozzo risulta molto produttivo, il livello piezometrico non subisce variazioni apprezzabili; l'area risulta molto ricca di acqua, tanto che tutti gli edifici presenti in zona sono privi di piano seminterrato perché il livello piezometrico è prossimo al P.C..

MISURE

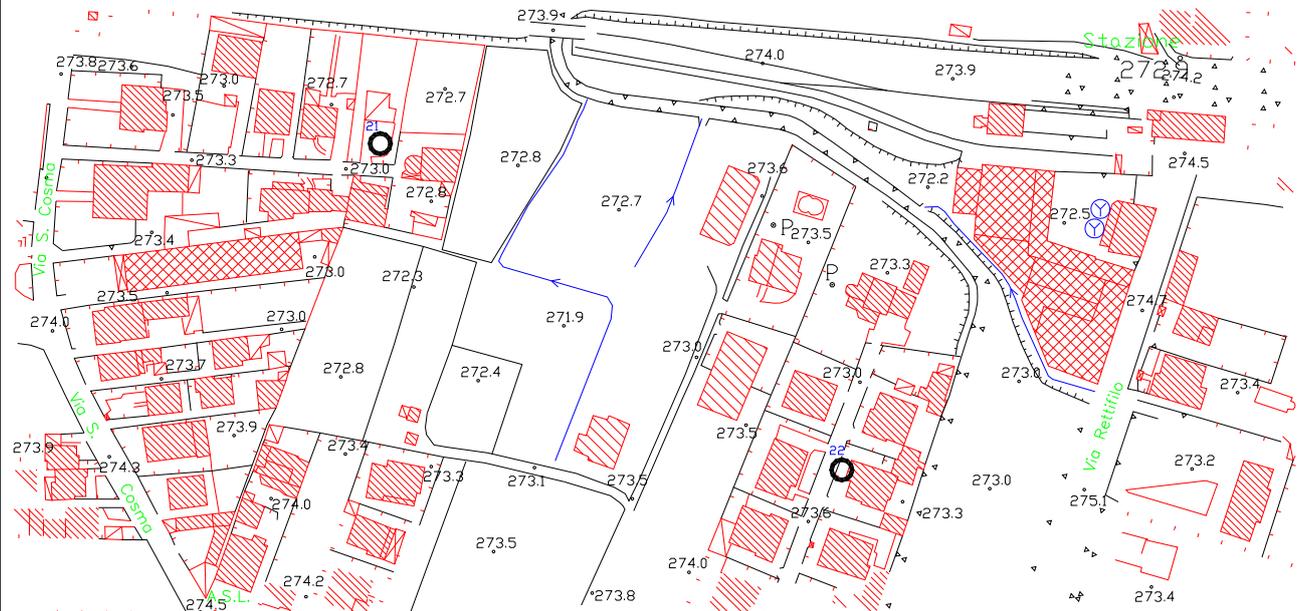
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

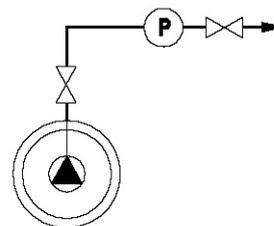
liv piezometrico (m):
1.5 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- Codice: PP/23
- Denominazione:
- Località: S. Marciano
- Utilizzo:
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Coppola Giacomo
- Note:

- Coordinata x: 467920
- Coordinata y: 4541939
- Quota p.c. (m s.l.m.): 276,5
- Profondità dal p. c. (m): 11,5
- Diametro pozzo (m): 1
- Litologia: limo sabbioso con pomici;

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

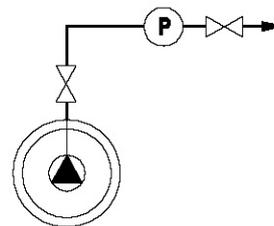
liv piezometrico (m):
4.1 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- Codice: PP/24
- Denominazione:
- Località:
- Utilizzo: domestico - irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario: Cioffi Franco

- Coordinata x: 468368
- Coordinata y: 4541693
- Quota p.c. (m s.l.m.): 279
- Profondità dal p. c. (m): 6
- Diametro pozzo (m): 5
- Litologia: limo sabbioso con pomici;

- Note:
 Pozzo in muratura di grosso diametro; da informazioni del proprietario, il pozzo risulta molto produttivo; il livello piezometrico si abbassa solo nel periodo estivo e sul fondo non rimane mai meno di 1 metro di acqua che "sembra fluire come un fiume sotterraneo".

MISURE

Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

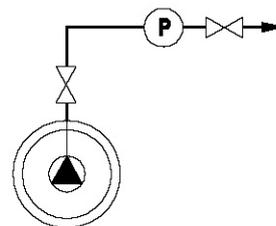
liv piezometrico (m):
3.9 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- Codice: PP/26
- Denominazione:
- Località: trav.via Variante(proseguimento v. Combre)
- Utilizzo: irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario:

- Coordinata x: 468974
- Coordinata y: 4542050
- Quota p.c. (m s.l.m.): 275
- Profondità dal p. c. (m): 5.1
- Diametro pozzo (m): 2
- Litologia: limo sabbioso con pomici;

- Note:
pozzo di grosso diametro in anelli di cemento

MISURE

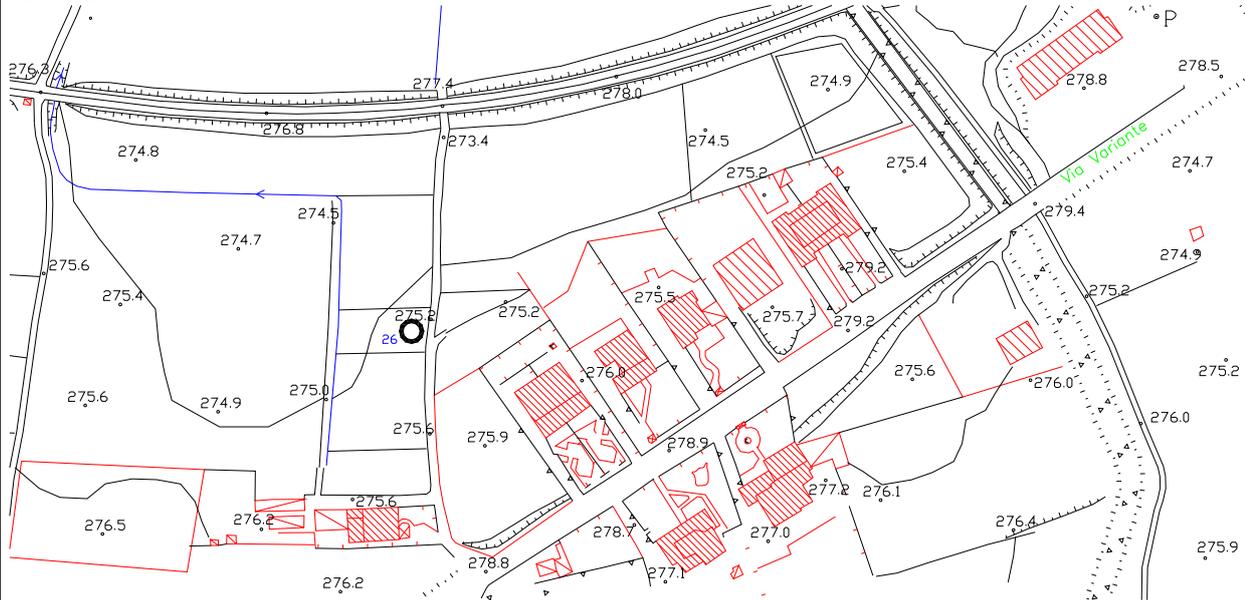
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

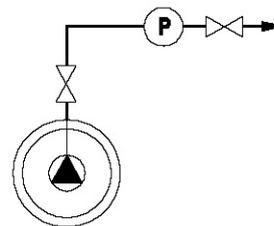
liv piezometrico (m):
1.9 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/27 • Denominazione: • Località: via Taiano • Utilizzo: irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario:
 • Note: | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 469359 • Coordinata y: 4541739 • Quota p.c. (m s.l.m.): 278 • Profondità dal p. c. (m): 5.1 • Diametro pozzo (m): 2 • Litologia: limo sabbioso con pomici; |
|---|---|

MISURE

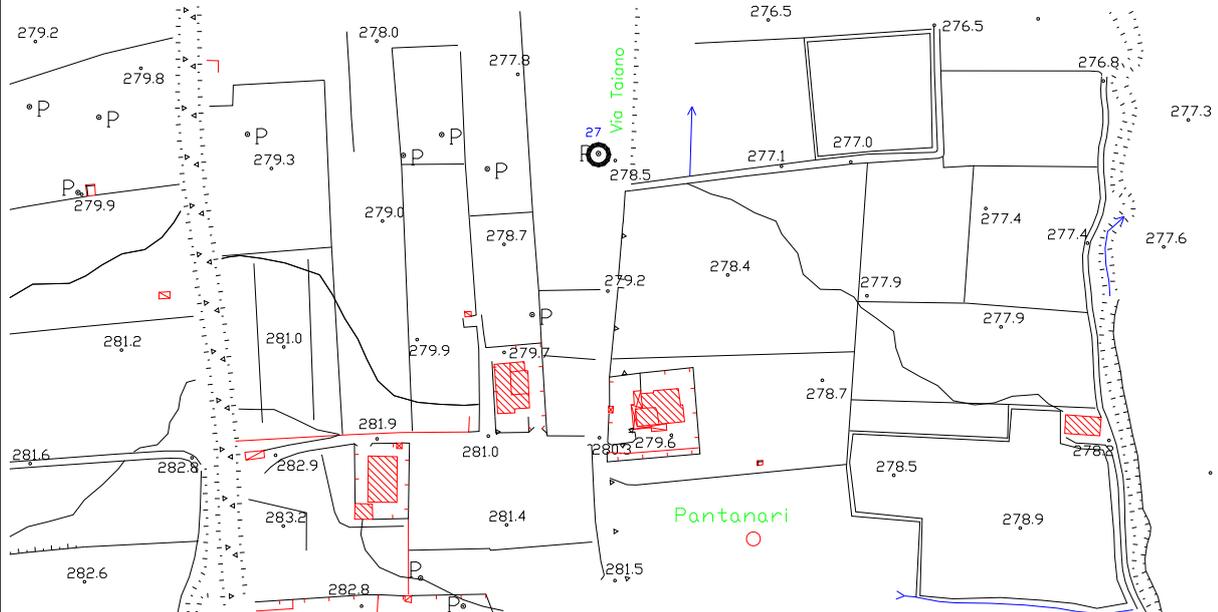
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

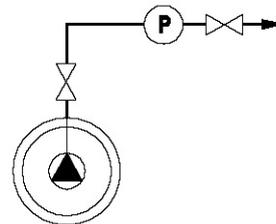
liv piezometrico (m):
3.1 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- Codice: PP/28
- Denominazione:
- Località: via Ponte Forastica (via Pezza)
- Utilizzo: irriguo
- Nominativo utente:
- Nominativo proprietario:

- Note:

- Coordinata x: 469748
- Coordinata y: 4541760
- Quota p.c. (m s.l.m.): 281
- Profondità dal p. c. (m): 6.50
- Diametro pozzo (m): 1.5
- Litologia: limo sabbioso con pomici nei primi 3 metri.

MISURE

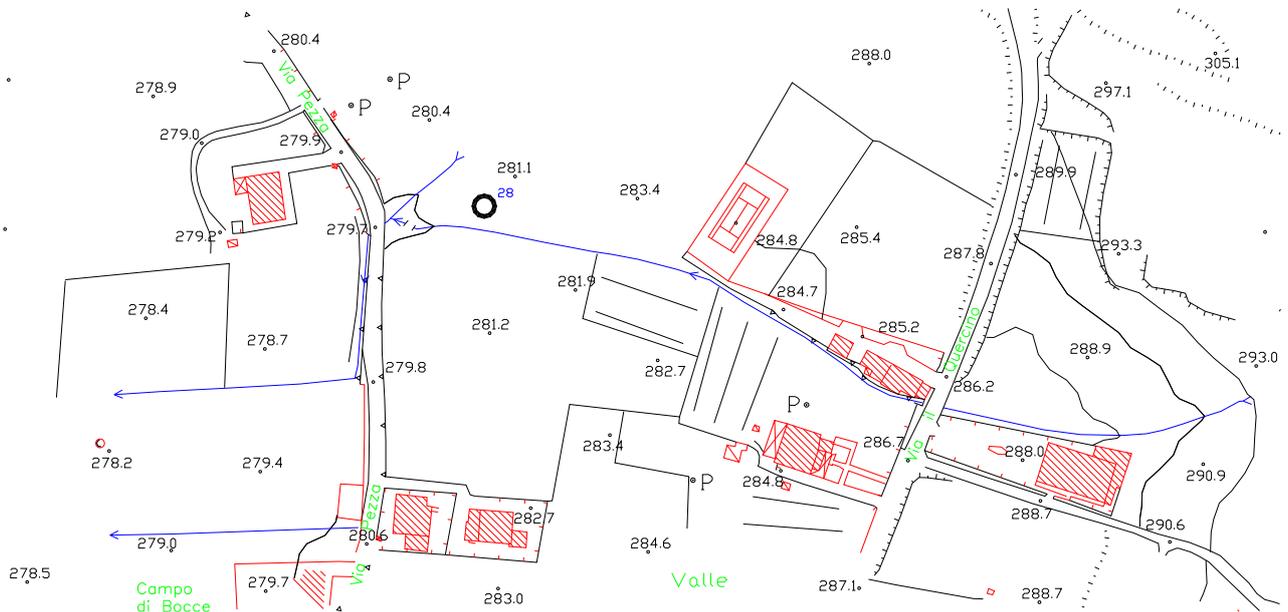
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

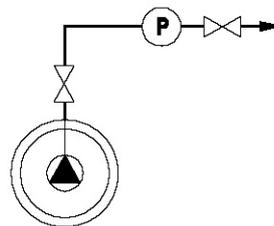
liv piezometrico (m):
1.65 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 5/1/2012

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: PP/29 • Denominazione: • Località: Tr. v.Variante (prossim. tracciato ferroviario) • Utilizzo: domestico-irriguo • Nominativo utente: • Nominativo proprietario: Clemente Caterina
 • Note:
da informazioni del proprietario il livello piezometrico si abbassa nel periodo estivo e la ricarica è molto lenta. | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 469930 • Coordinata y: 4542528 • Quota p.c. (m s.l.m.): 278 • Profondità dal p. c. (m): 19.5 • Diametro pozzo (m): 1 • Litologia: |
|--|--|

MISURE

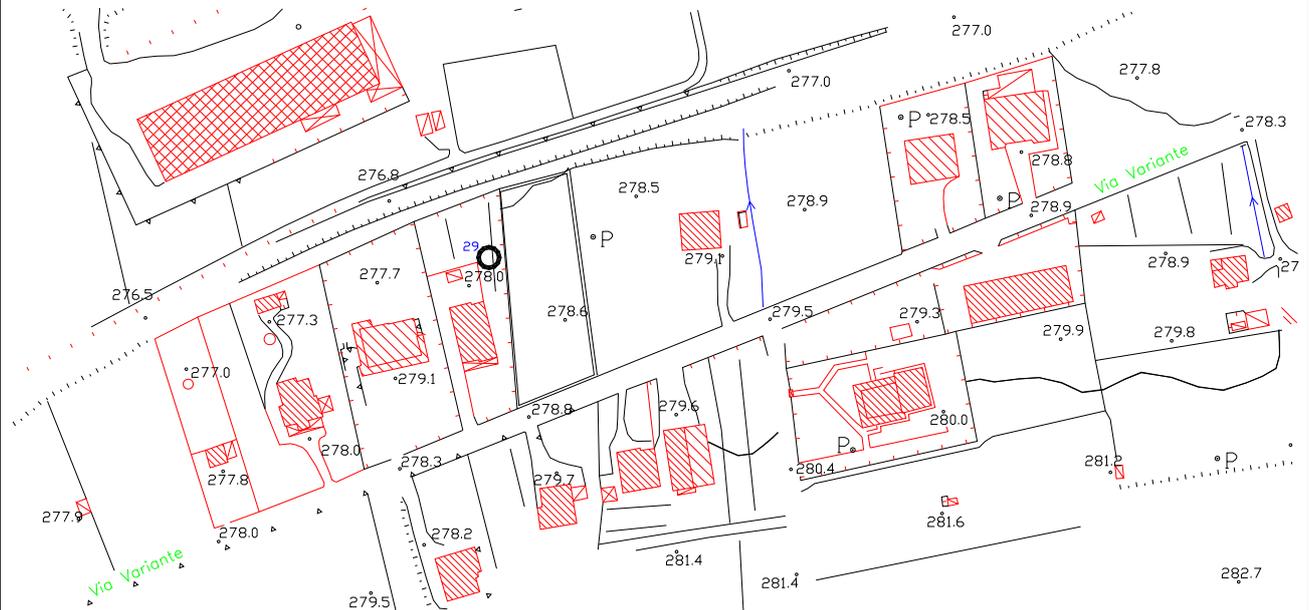
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

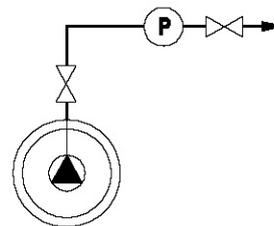
liv piezometrico (m):
4.05 (statico)

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA FUNZIONALE E DI RIFERIMENTO PER LA MISURA



ALLEGATO 5 - Schede monografiche delle sorgenti censite

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 1
- Denominazione: VULLO
- Località: Valle
- Utilizzo: Idropotabile
- Nominativo utente/gestore: Alto Calore S.p.A.
- Nominativo proprietario:

DATA 9/3/2012

- Coordinata x: 470370
- Coordinata y: 4541388
- Quota emergenza (m s.l.m.): 310
- Regime: Perenne
- Tipologia:
- Litologia: complesso detritico-eluviale

- Note: sorgente captata per uso idropotabile; portata non misurata perché non accessibile.

MISURE

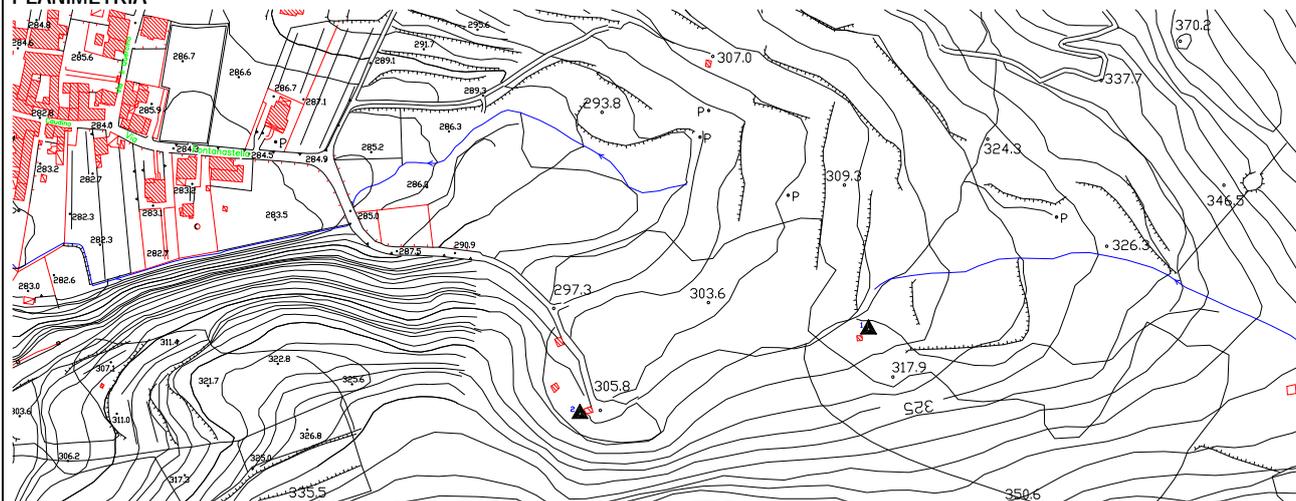
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s):

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 9/3/2012

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Codice: S 2 • Denominazione: FONTANASTELLA • Località: Valle • Utilizzo: Idropotabile • Nominativo utente/gestore: Alto Calore S.p.A. • Nominativo proprietario: | <ul style="list-style-type: none"> • Coordinata x: 470173 • Coordinata y: 4541333 • Quota emergenza (m s.l.m.): 325 • Regime: Perenne • Tipologia: • Litologia: complesso detritico-eluviale |
|---|--|
- Note: sorgente captata per uso idropotabile; portata non misurata perché non accessibile.

MISURE

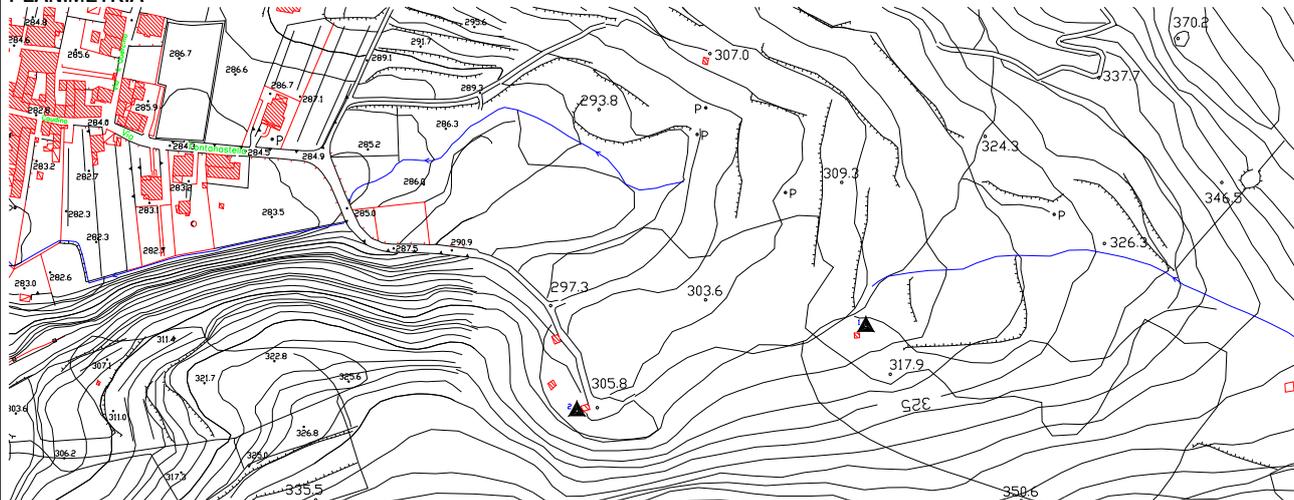
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s):

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 3
- Denominazione: RICCI
- Località: Castello
- Utilizzo: Idropotabile
- Nominativo utente/gestore: Alto Calore S.p.A.
- Nominativo proprietario:

DATA 9/3/2012

- Coordinata x: 470000
- Coordinata y: 4540584
- Quota emergenza (m s.l.m.): 395
- Regime: Perenne
- Tipologia:
- Litologia: complesso piroclastico

- Note: sorgente captata per uso idropotabile; portata non misurata perché non accessibile.

MISURE

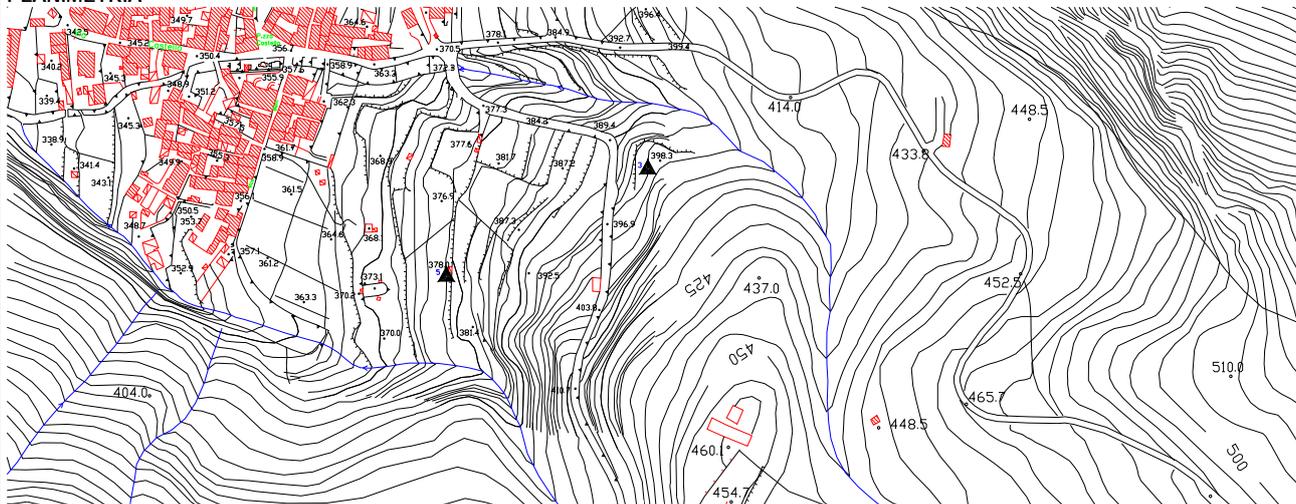
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s):

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA



Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 22/3/2012

- Codice: S 4
 - Denominazione: FONTANELLE
 - Località: Costa Arsa
 - Utilizzo:
 - Nominativo utente/gestore:
 - Nominativo proprietario:
 - Note: sorgente non captata di effimera portata; si trova in destra idraulica del torrente Conca
- Coordinata x: 467323
 - Coordinata y: 4540618
 - Quota emergenza (m s.l.m.): 350
 - Regime: Perenne
 - Tipologia:
 - Litologia: complesso calcareo

MISURE

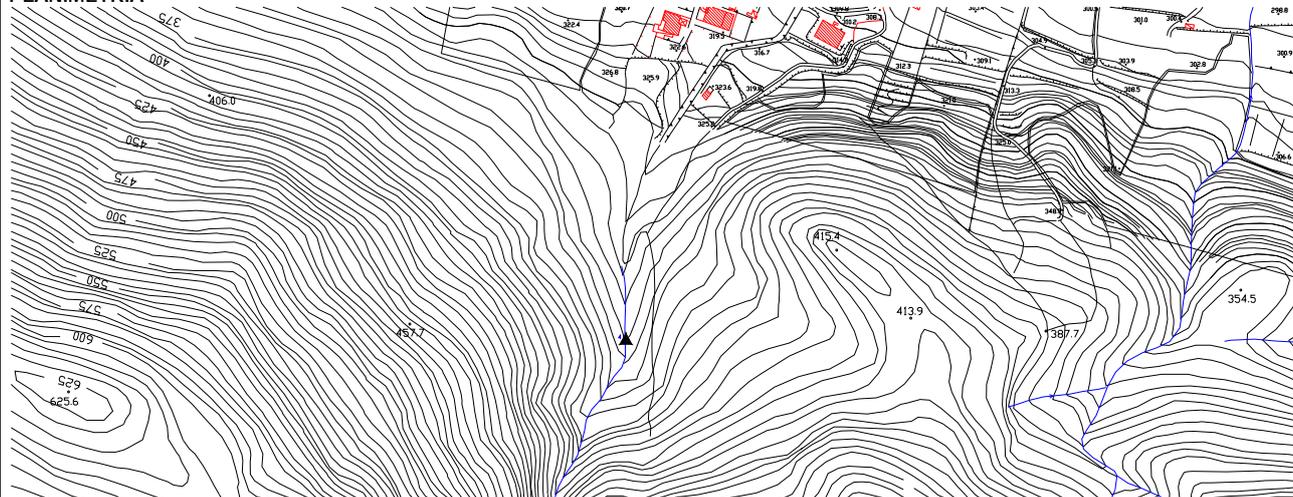
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s): 0,04

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 5
- Denominazione: Santo Spirito
- Località: IOFFREDO
- Utilizzo: Idropotabile
- Nominativo utente/gestore: Alto Calore S.p.A.
- Nominativo proprietario:

DATA 9/3/2012

- Coordinata x: 469863
- Coordinata y: 4540514
- Quota emergenza (m s.l.m.): 370
- Regime: Perenne
- Tipologia:
- Litologia: complesso calcareo

- Note: sorgente captata per uso idropotabile; portata non misurata perché non accessibile.

MISURE

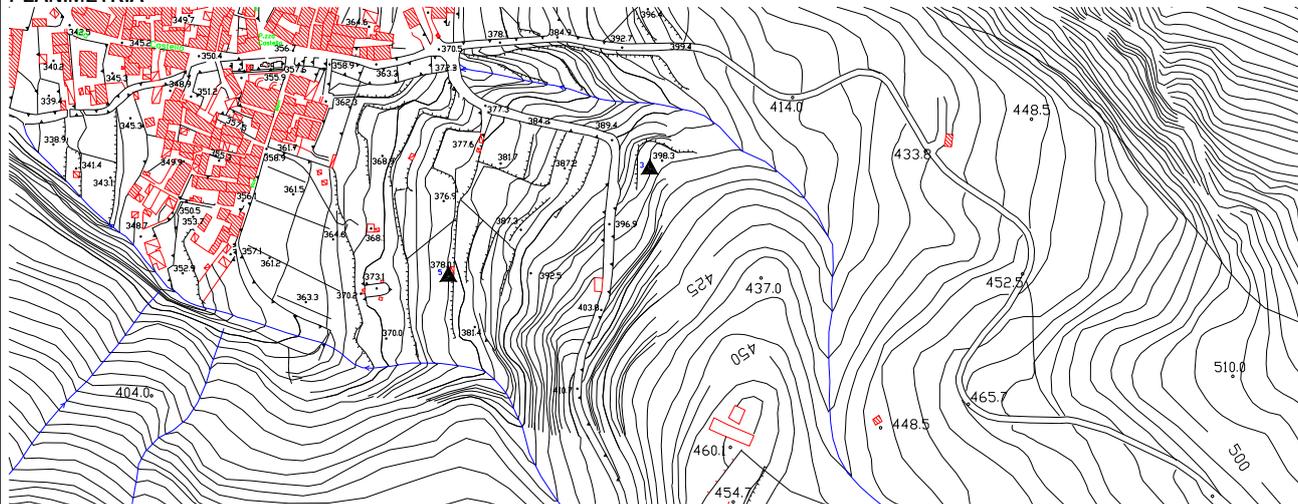
Temperatura (°C):

Conducibilità (μs/cm):

pH:

misura portata (l/s):

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 6
- Denominazione: PASTORE
- Località: CASTELLO
- Utilizzo:
- Nominativo utente/gestore:
- Nominativo proprietario:

DATA 15/3/2012

- Coordinata x: 470421
- Coordinata y: 4540158
- Quota emergenza (m s.l.m.): 495
- Regime: Stagionale
- Tipologia:
- Litologia: complesso piroclastico

- Note: sorgente non captata di effimera portata; si trova in destra idraulica del torrente Castello

MISURE

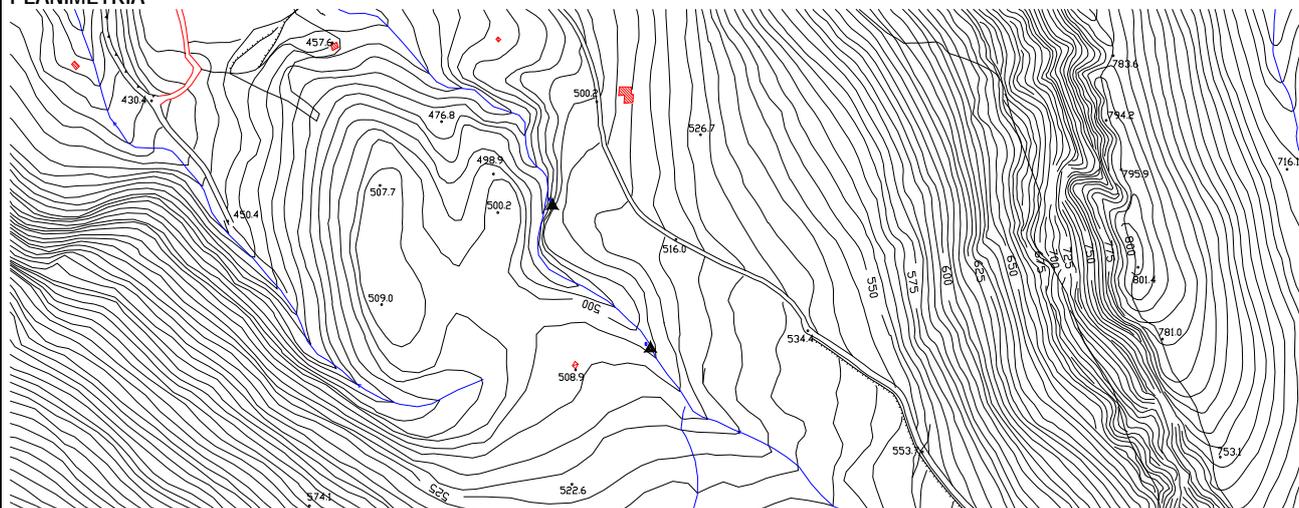
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

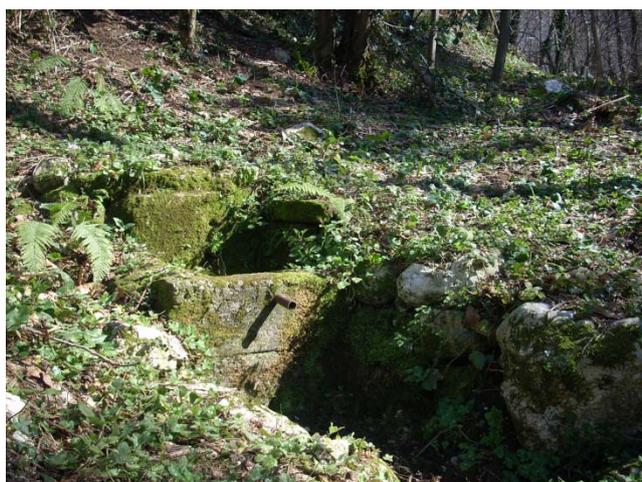
pH:

misura portata (l/s): 0,07

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 7
- Denominazione: POZZILLO
- Località: POZZILLO
- Utilizzo:
- Nominativo utente/gestore:
- Nominativo proprietario:

- Note: portata assente

DATA 22/3/2012

- Coordinata x: 465392
- Coordinata y: 4540144
- Quota emergenza (m s.l.m.): 600
- Regime: Stagionale
- Tipologia:
- Litologia: complesso piroclastico

MISURE

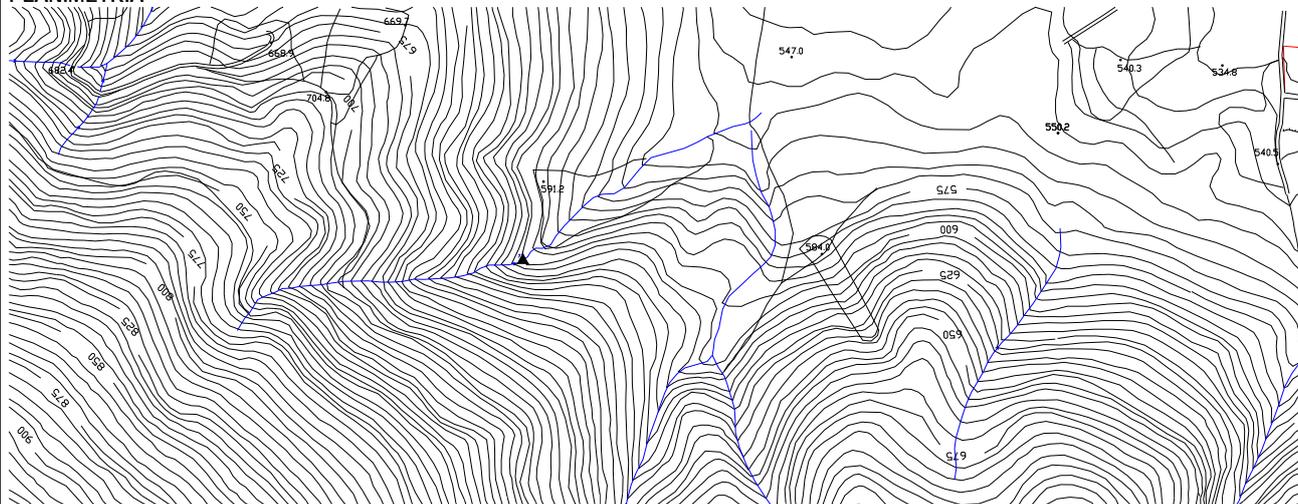
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s): 0,00

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE

SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 8
- Denominazione: ACQUEROSSE
- Località: MONTE PIZZONE
- Utilizzo:
- Nominativo utente/gestore:
- Nominativo proprietario:

DATA 15/3/2012

- Coordinata x: 470516
- Coordinata y: 4540027
- Quota emergenza (m s.l.m.): 510
- Regime: Perenne
- Tipologia:
- Litologia: complesso piroclastico

- Note: sorgente non captata; emerge nell'alveo del torrente Castello in sinistra idraulica.

MISURE

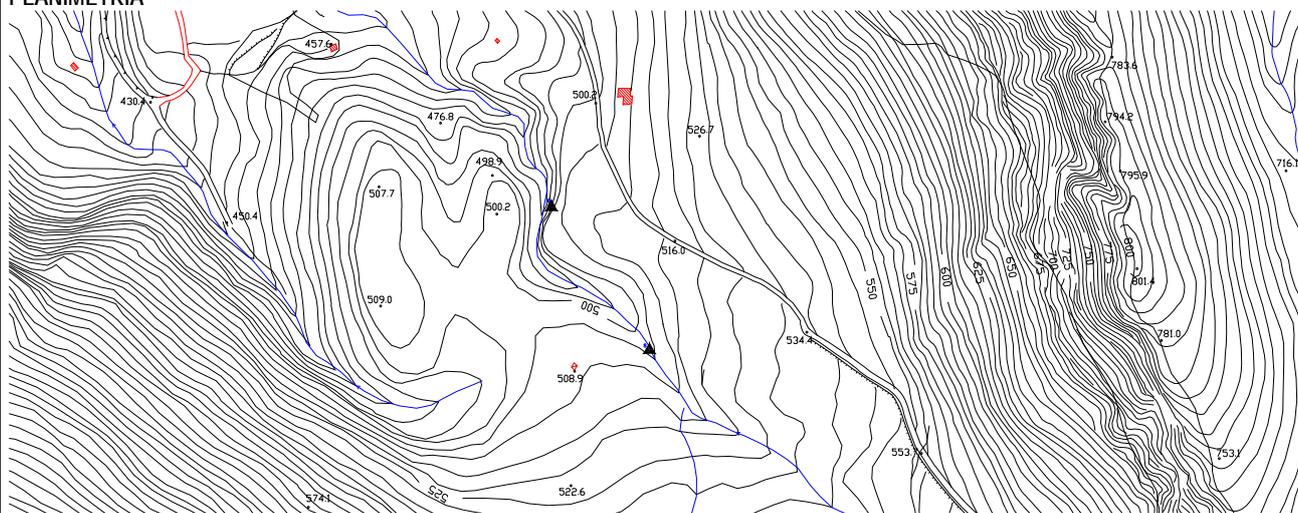
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s): 1,5

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

- Codice: S 9
- Denominazione: PISCIARIELLO I
- Località: MONTE PIZZONE
- Utilizzo:
- Nominativo utente/gestore:
- Nominativo proprietario:

- Note: sorgente non captata;

DATA 15/3/2012

- Coordinata x: 471155
- Coordinata y: 4539599
- Quota emergenza (m s.l.m.): 615
- Regime: Perenne
- Tipologia:
- Litologia: complesso calcareo

MISURE

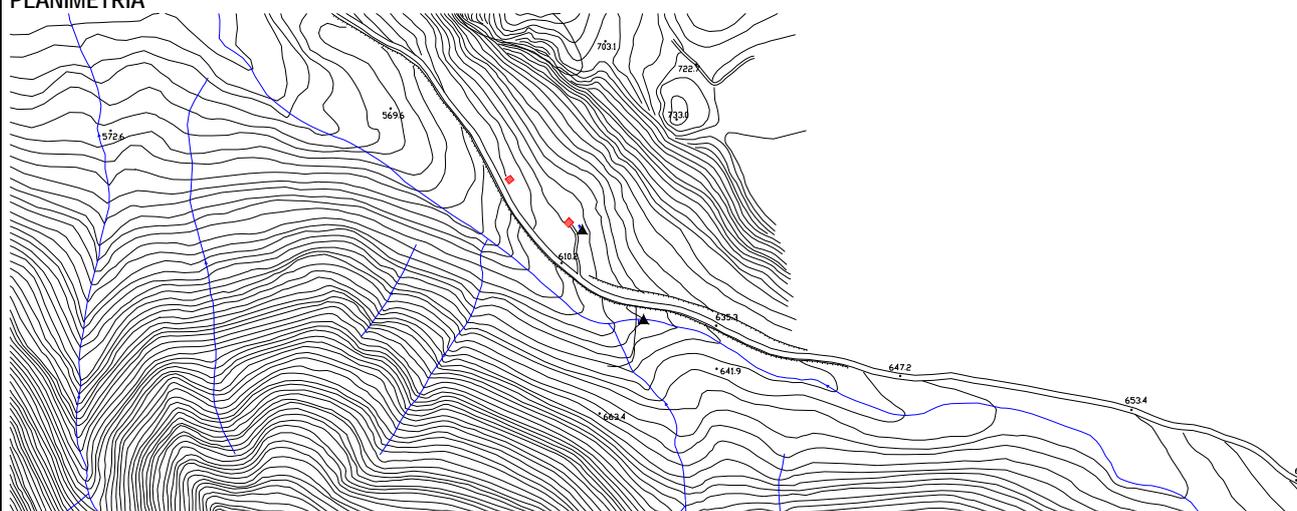
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s): 0,25

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 15/3/2012

- Codice: S 10
 - Denominazione: PISCIARIELLO II
 - Località: FORESTA
 - Utilizzo:
 - Nominativo utente/gestore:
 - Nominativo proprietario:
 - Note: sorgente non captata; emerge in prossimità dell'alveo del torrente Castello, in sinistra idraulica.
- Coordinata x: 471226
 - Coordinata y: 4539500
 - Quota emergenza (m s.l.m.): 625
 - Regime: Perenne
 - Tipologia:
 - Litologia: complesso calcareo

MISURE

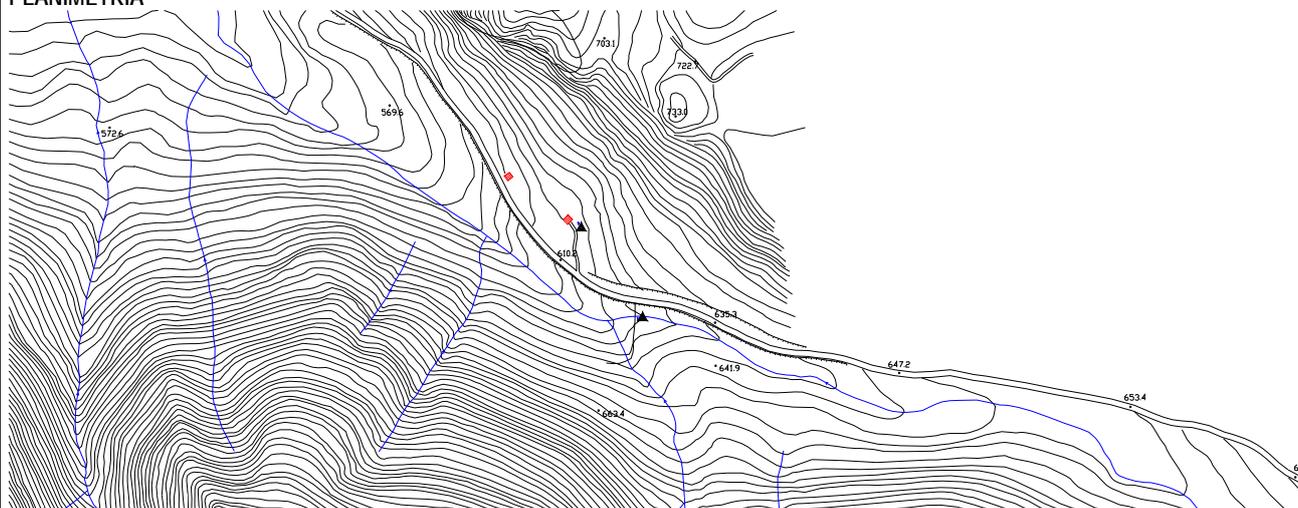
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

pH:

misura portata (l/s): 0,8

PLANIMETRIA



FOTOGRAFIE



SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

Sorgenti Cervinara

SCHEDA CARATTERISTICA DEL PUNTO DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE DEL PUNTO

DATA 22/3/2012

- Codice: S 11
 - Denominazione: LIVERA
 - Località: PIANO GREGORIO
 - Utilizzo:
 - Nominativo utente/gestore:
 - Nominativo proprietario:
 - Note: sorgente non captata; alimenta il torrente Ferrari; portata non misurata;
- Coordinata x: 468356
 - Coordinata y: 4539669
 - Quota emergenza (m s.l.m.): 615
 - Regime: Stagionale
 - Tipologia:
 - Litologia: complesso calcareo

MISURE

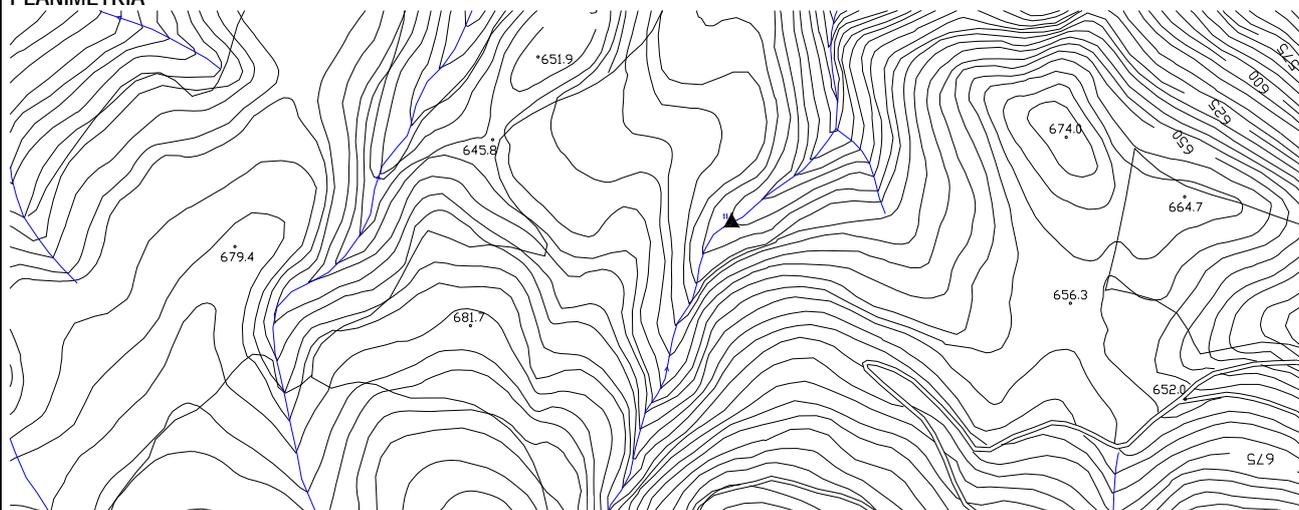
Temperatura (°C):

Conducibilità (µs/cm):

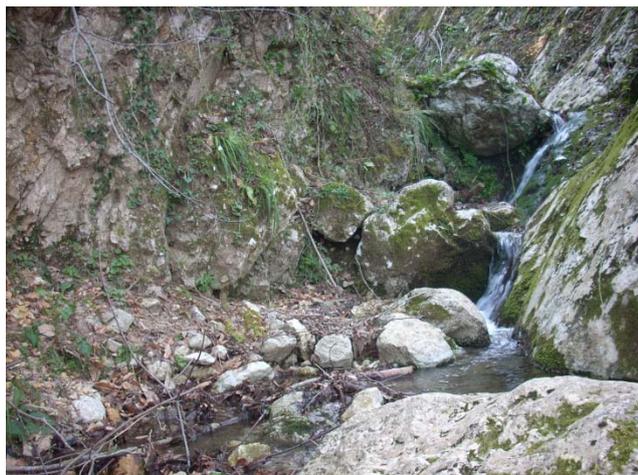
pH:

misura portata (l/s):

PLANIMETRIA

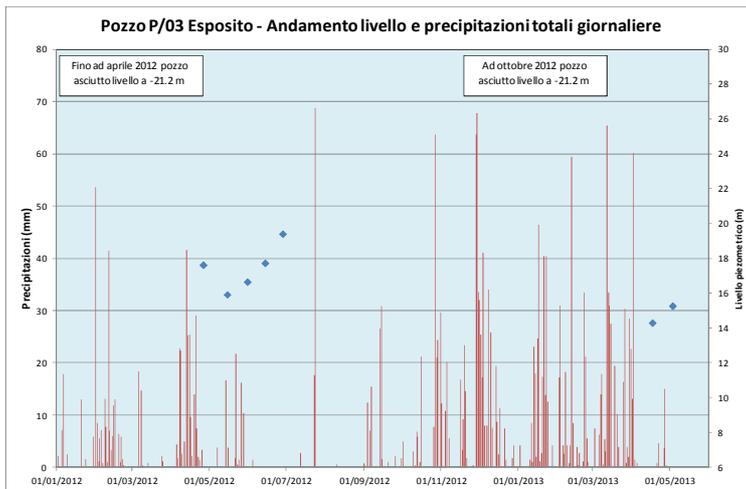
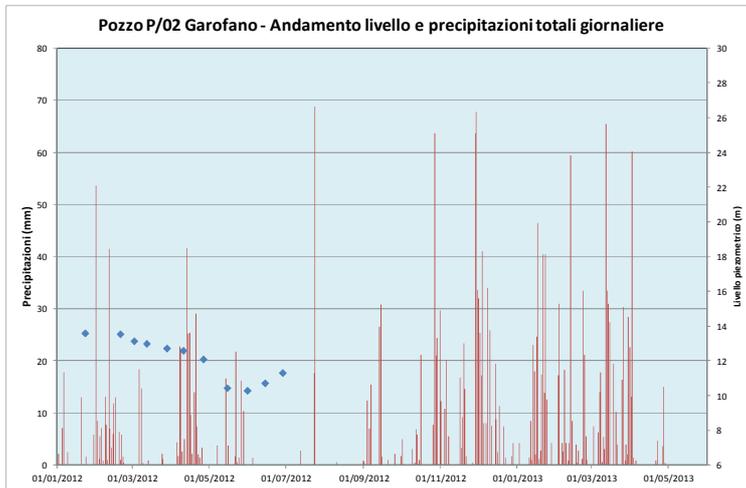
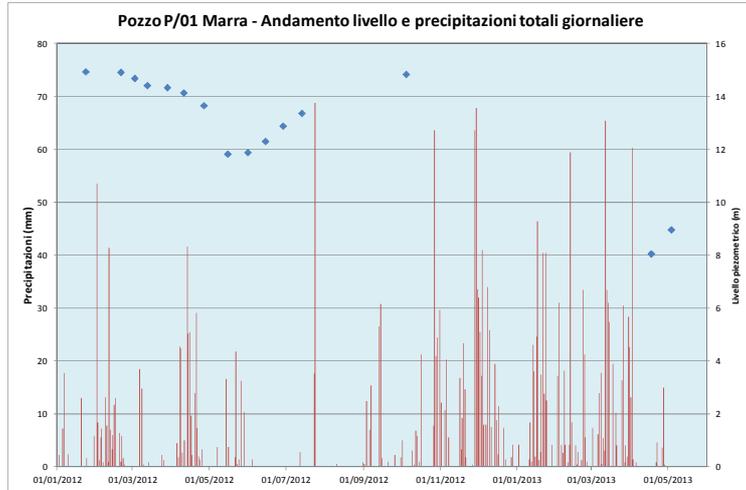


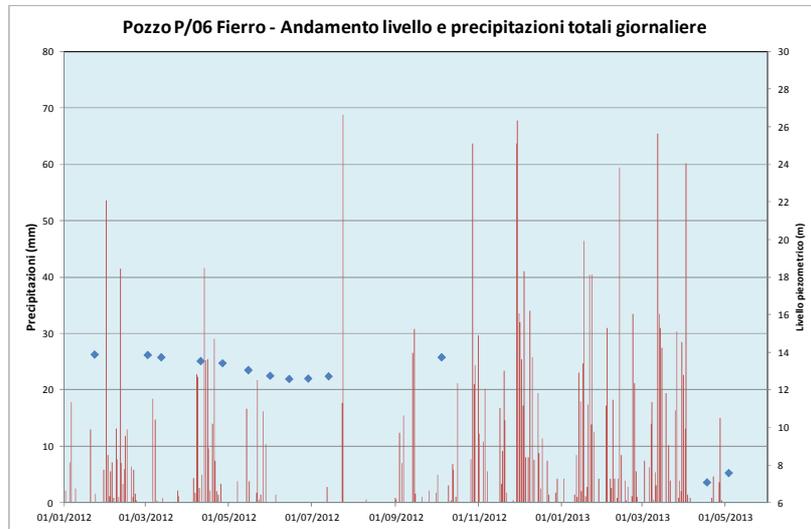
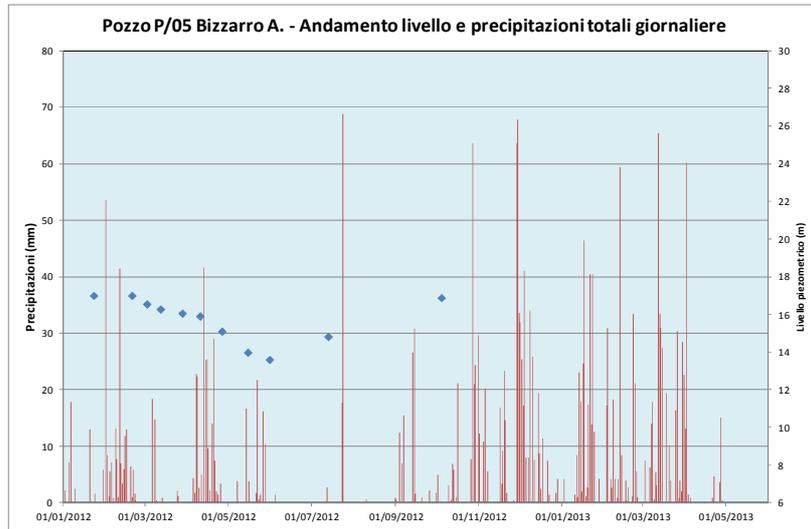
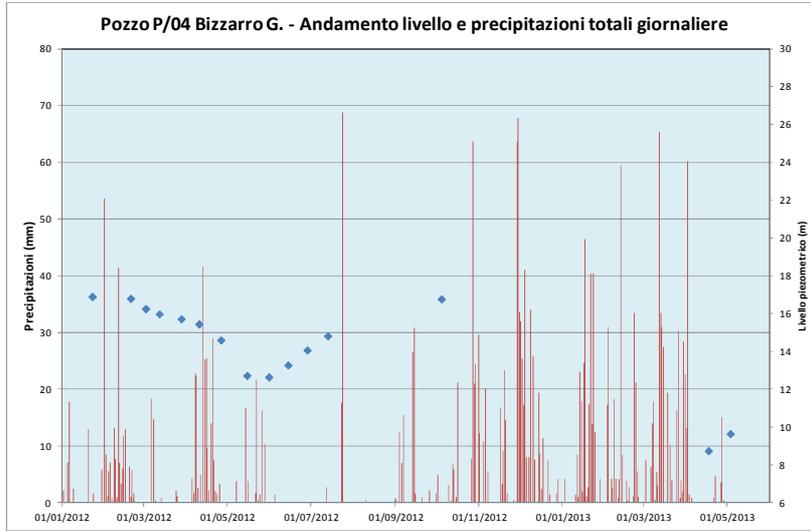
FOTOGRAFIE

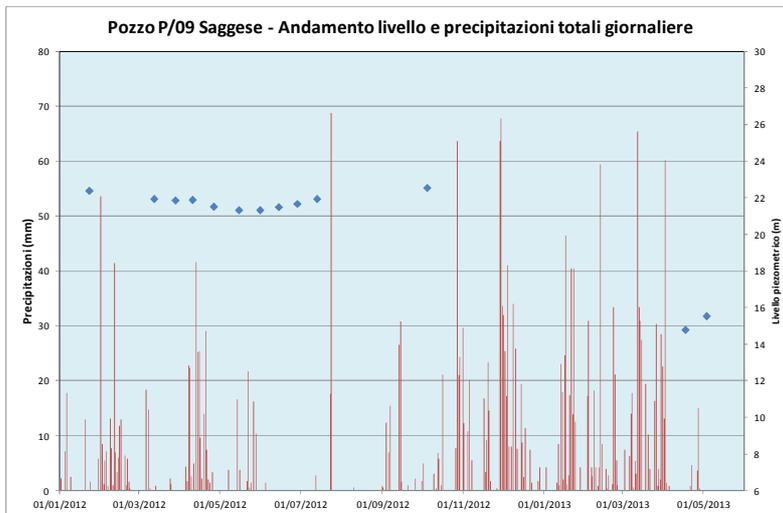
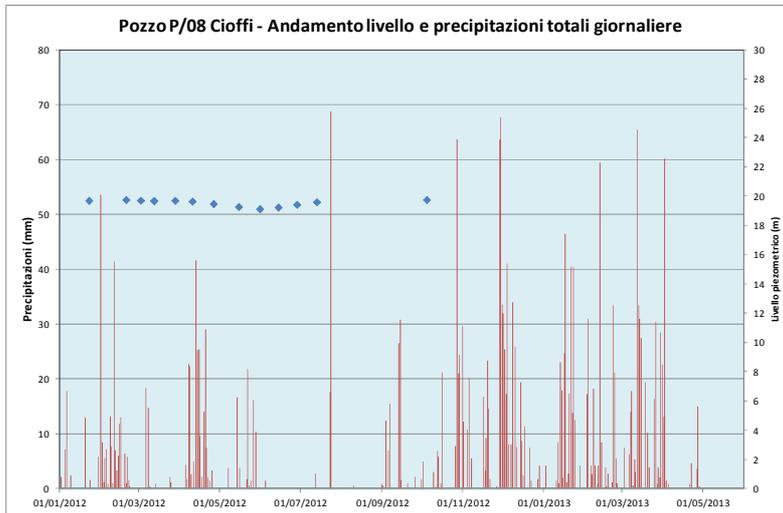
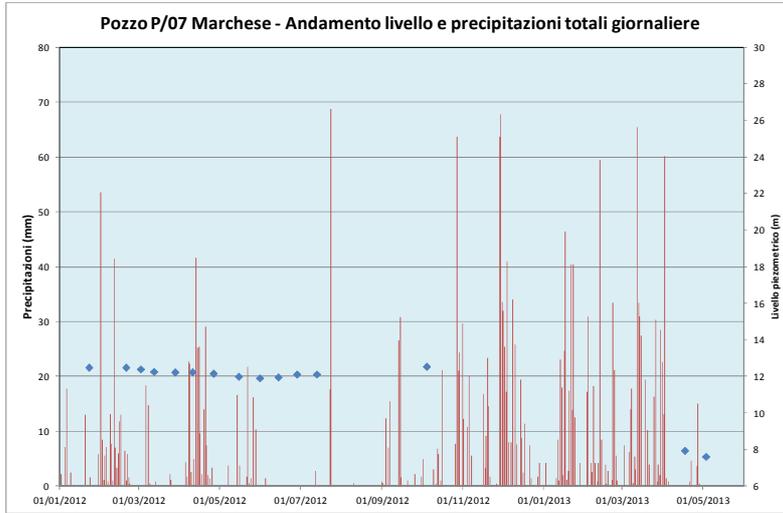


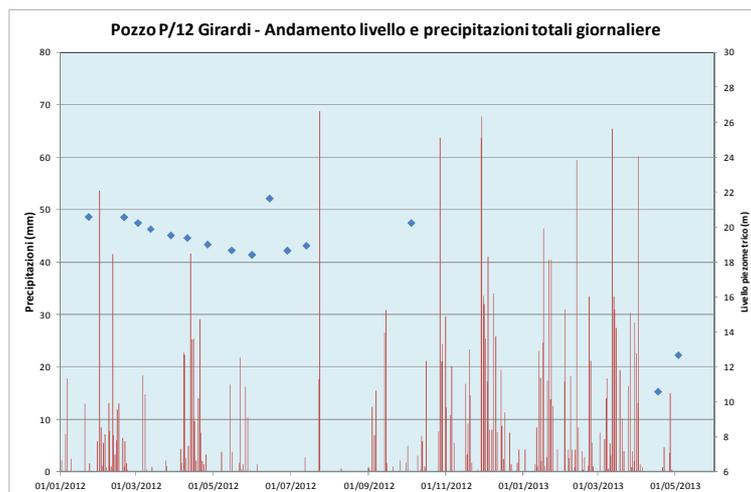
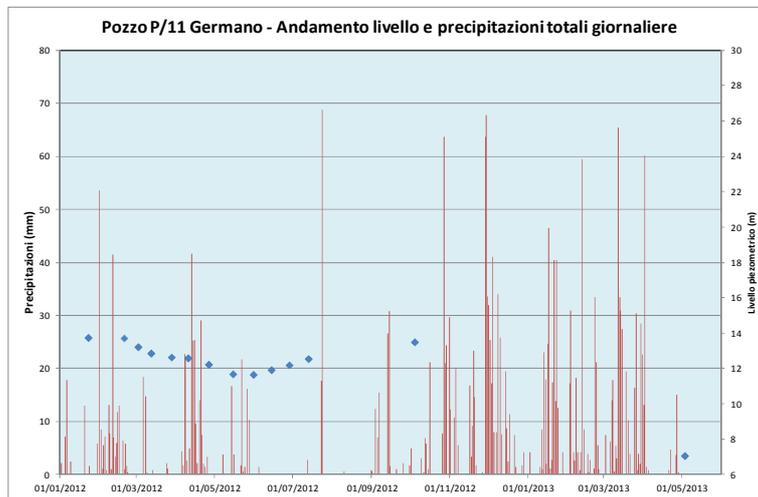
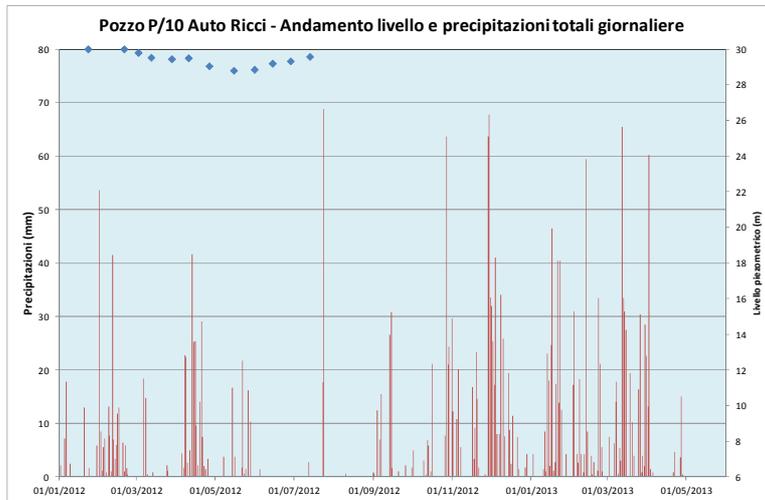
SCHEMA OPERA DI PRESA E INDICAZIONI I PER LA MISURA

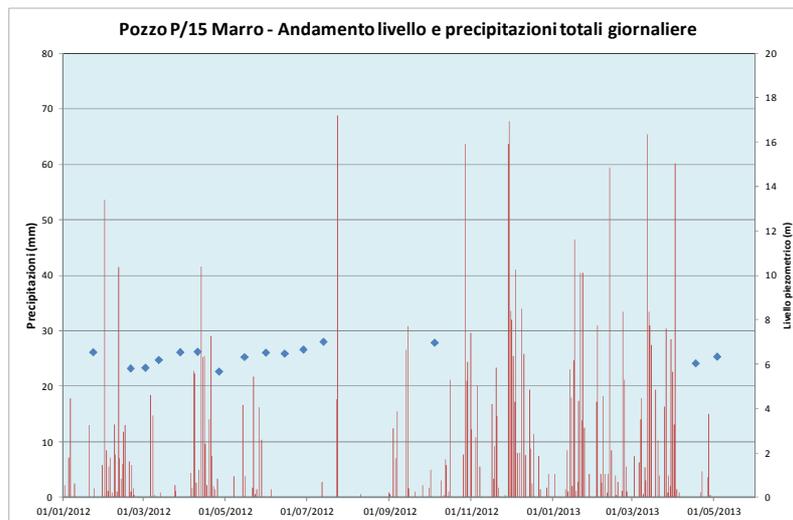
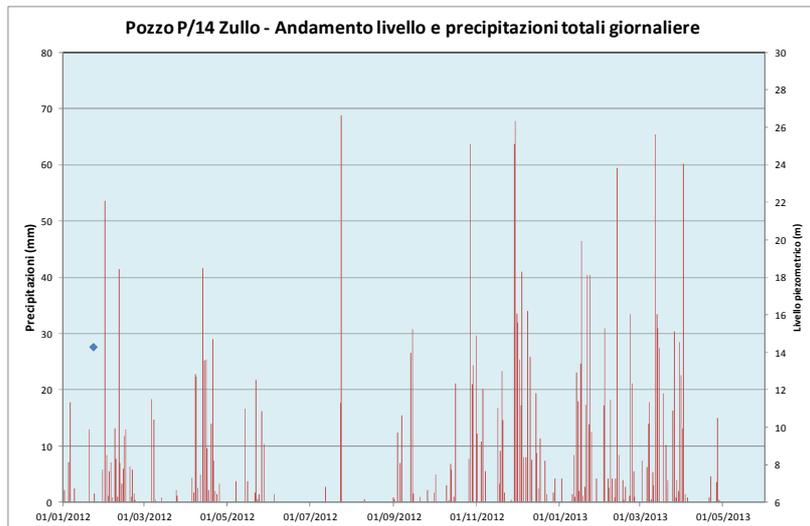
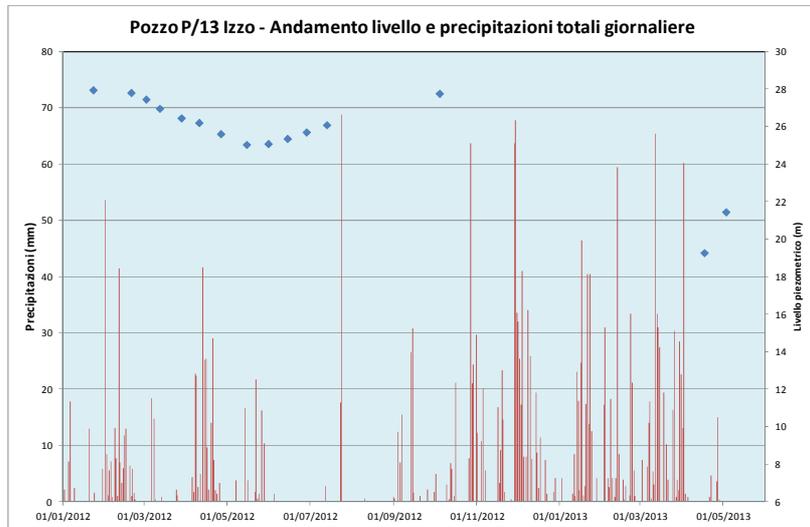
ALLEGATO 6 - Andamento grafico dei livelli piezometrici in
relazione alle precipitazioni totali giornaliere
(stazione di Cervinara)

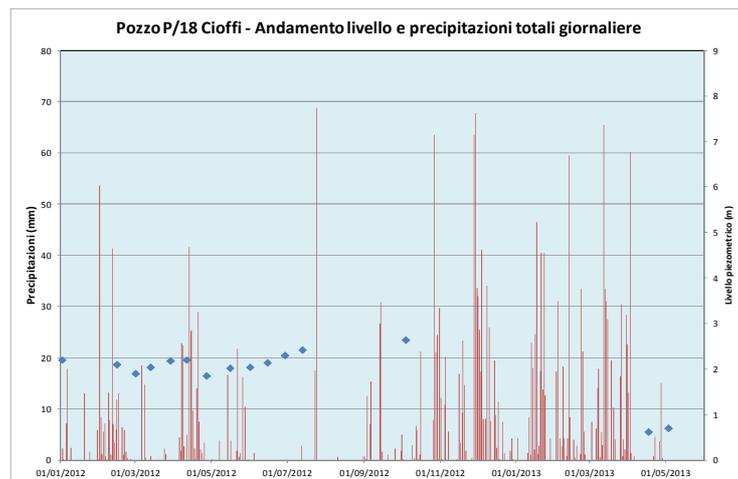
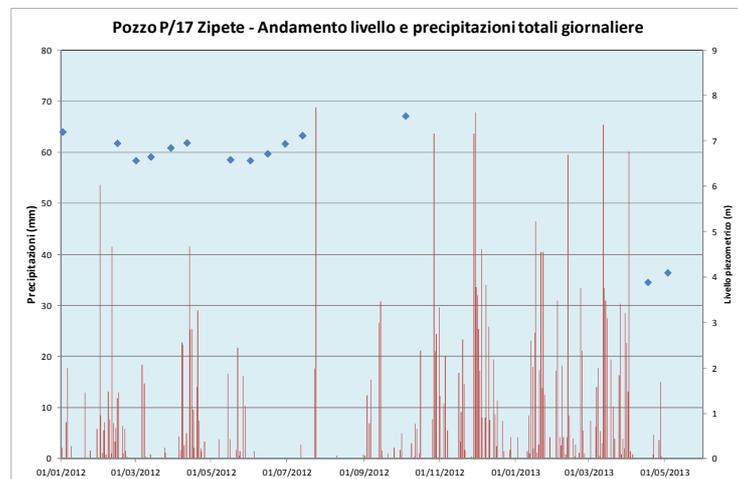
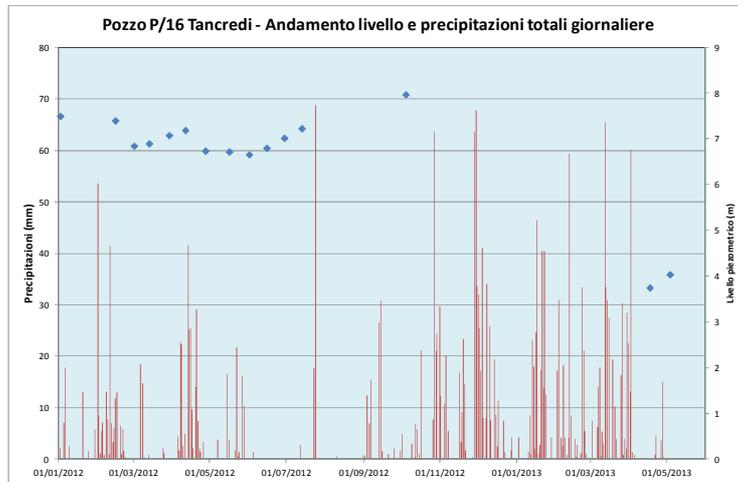


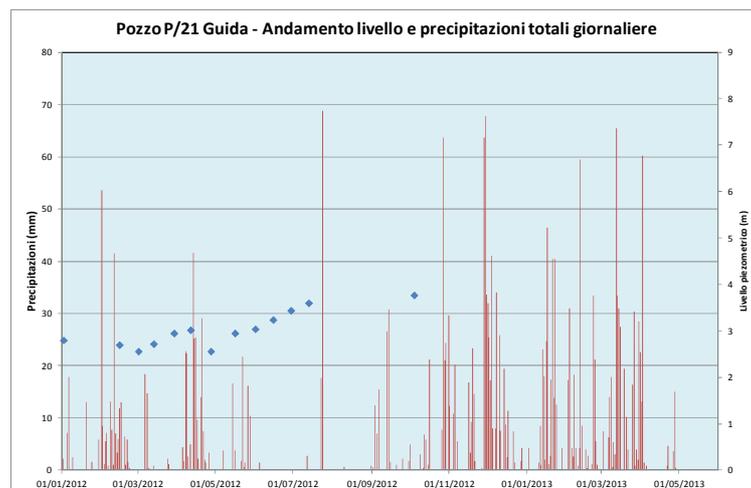
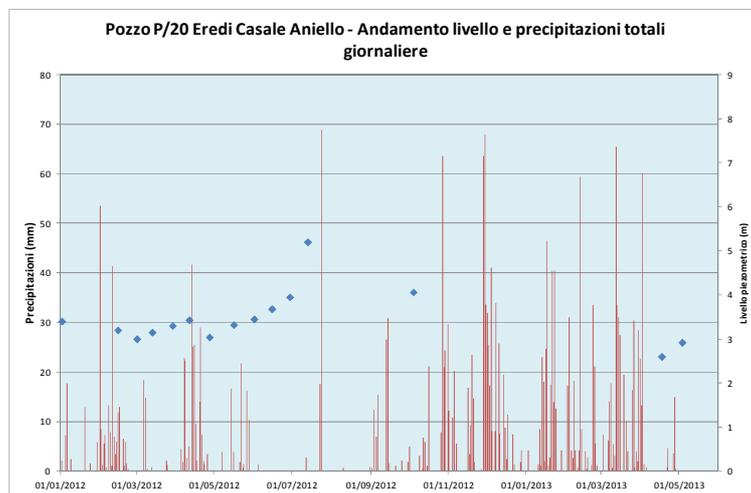
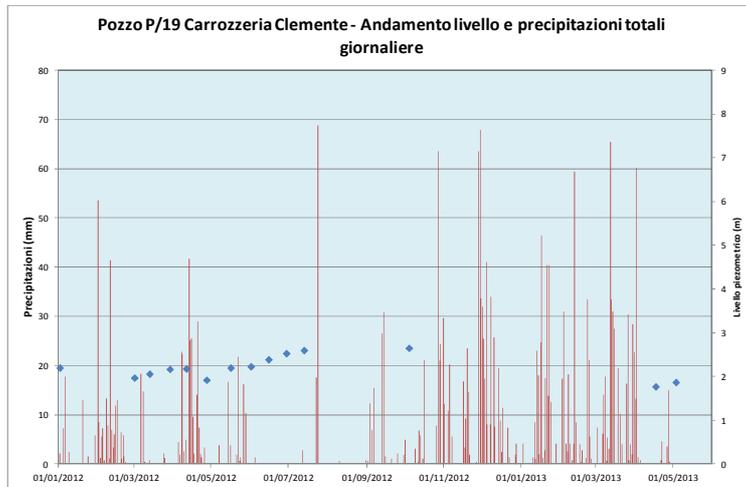


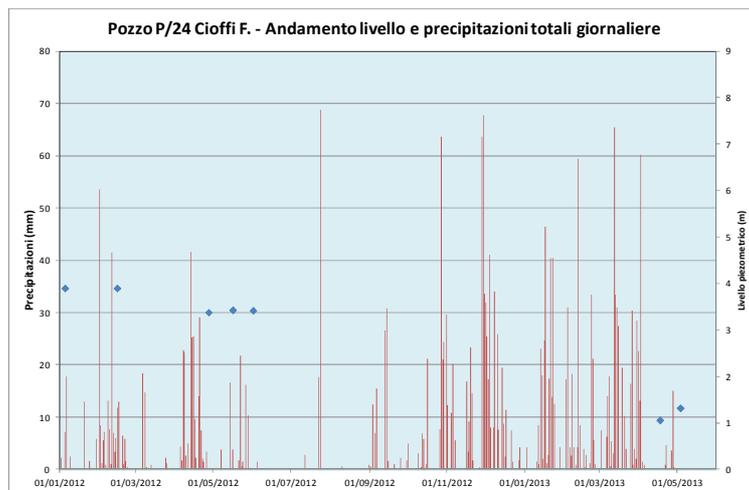
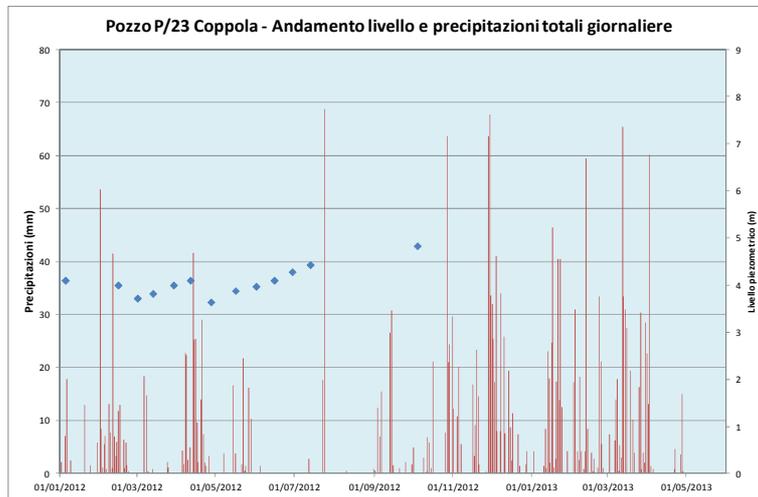
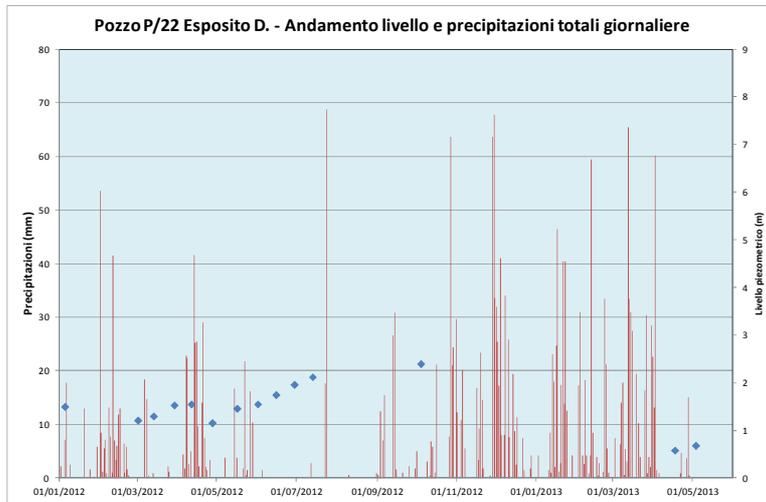


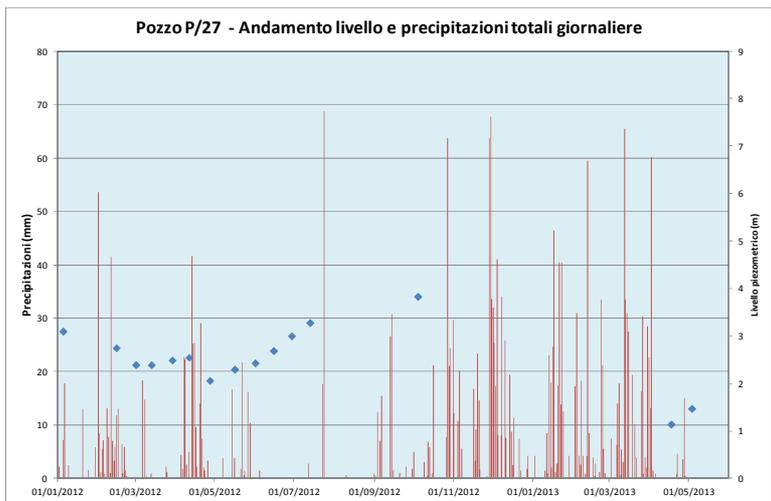
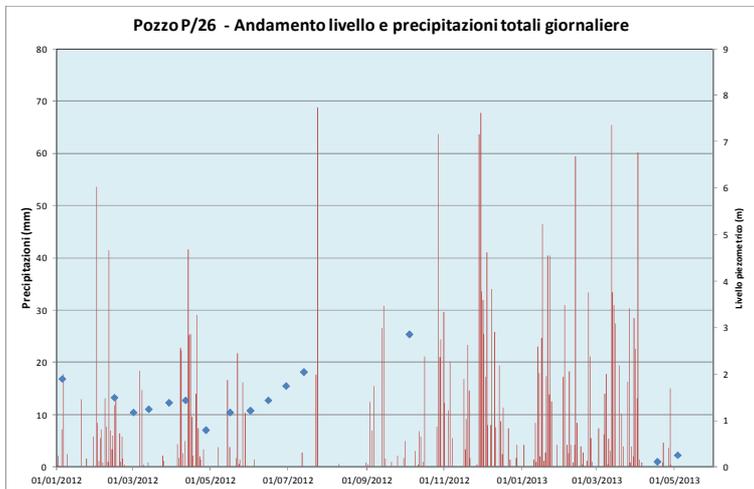
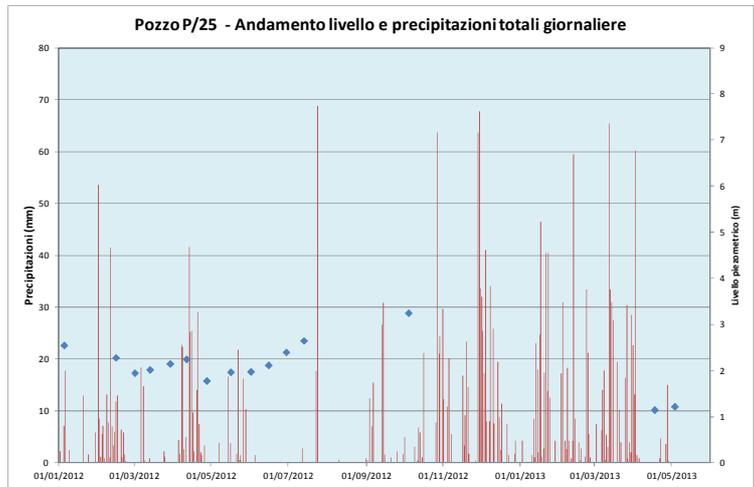


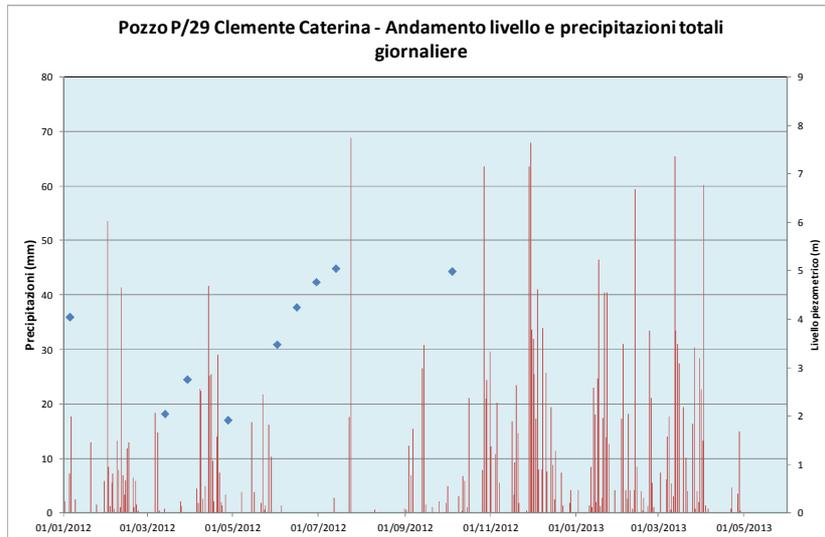
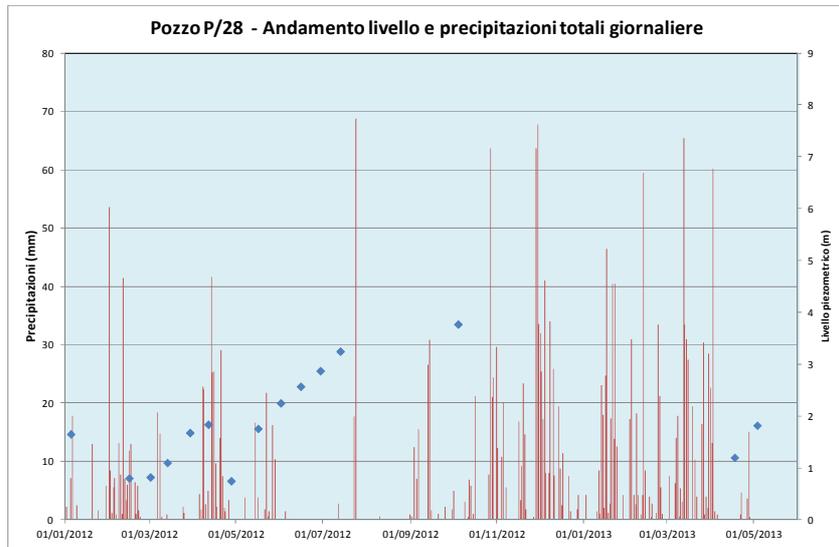












ALLEGATO 7 - Andamento grafico della portata delle sorgenti
in relazione alle precipitazioni totali giornaliere
(stazione di Cervinara)

