

**PROVINCIA DI PISTOIA  
COMUNE DI PONTE BUGGIANESE**



PROGETTO:

**INDAGINI GEOLOGICHE, IDRAULICHE E DEL RISCHIO SISMICO A SUPPORTO  
DELLA REDAZIONE DELLA PRIMA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE**

OGGETTO:

***INDAGINI IDRAULICHE***  
**RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA**

ELABORATO:

**RI01**

REV:

**00**

DATA:

**Marzo 2013**

SCALA:

**-**

NUMERO COMMESSA:

**L604**

NOME FILE:

**RI01.pdf**

ATI:



**Via Bonifacio Lupi, 1  
50129 - Firenze  
Tel. 055484206, Fax 0554626342**

***Mannori & Burchietti  
Geologi Associati***

**Largo San Biagio, 149  
51100 - Pistoia  
Tel. 0573368448, Fax 057324355**

PROGETTISTA:

**Dott. Ing. David Settesoldi**

COMMITTENTE:

**Comune di Ponte Buggianese  
Piazza Santuario, 1  
51019 - Ponte Buggianese**

COLLABORATORI:

**Dott. Geol. Silvia Angelini**

02			
01			
00	06/03/13	PRIMA EMISSIONE	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	

COMUNE DI PONTE BUGGIANESE

INDAGINI GEOLOGICHE, IDRAULICHE E DEL RISCHIO SISMICO A SUPPORTO DELLA  
REDAZIONE DELLA PRIMA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE

***INDAGINI IDRAULICHE***

Relazione idrologica e idraulica

PHYSIS – Ingegneria per l'Ambiente

Firenze 06-03-2013

## ELENCO ELABORATI

RI01 – Relazione Idrologica ed Idraulica

AI01 – Caratteristiche del modello idraulico

AI02 – Tabulati delle verifiche idrauliche – Stato Attuale

AI03 – Sezioni fluviali e livelli idrometrici – Stato Attuale

TI01 – Carta delle sezioni, del modello digitale, delle aree di potenziale esondazione, degli sfioratori, delle paratoie e delle idrovore [1:10.000]

TI02 – Profili longitudinali e livelli idrometrici [1:10.000/1:100]

TI03 – Battenti per il tempo di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni - Stato Attuale [1:10.000]

TI04 – Aree allagabili - Stato Attuale [1:10.000]

TI05 – Pericolosità idraulica ai sensi del 53/R - Stato Attuale [1:10.000]

TI06 – Pericolosità idraulica ai sensi del PAI - Stato Attuale [1:10.000]

TI07 – Carta degli interventi di messa in sicurezza [1:10.000]

## INDICE

1	PREMESSA .....	6
1.1	Sintesi dello studio a supporto del RU vigente .....	6
1.2	Integrazioni e aggiornamenti nel presente studio .....	8
2	IL QUADRO CONOSCITIVO .....	10
2.1	Dati territoriali .....	10
2.2	Modello digitale del terreno .....	10
2.3	Le sezioni fluviali .....	10
3	ANALISI IDROLOGICA .....	13
3.1	Le curve di possibilità pluviometrica .....	14
3.2	Implementazione e taratura del modello idrologico .....	16
3.2.1	Caratteristiche del modello .....	17
3.2.2	Le precipitazioni .....	18
3.2.3	Le caratteristiche geografiche e idrologiche .....	18
3.2.4	Le fasi computazionali .....	29
3.2.5	Algoritmi di calcolo .....	30
3.2.6	Taratura dei parametri .....	33
3.3	Le precipitazioni e gli idrogrammi di piena .....	45
3.3.1	Le precipitazioni .....	45
3.3.2	Gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno .....	46
4	ANALISI IDRAULICA .....	49
4.1	Il modello idraulico .....	50
4.2	Il modello in moto vario .....	50
4.3	Il modello di inondazione quasi - bidimensionale .....	54
4.4	Il modello di inondazione bidimensionale .....	56
5	SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA ALLO STATO ATTUALE .....	63
	Il sistema idraulico dello stato attuale è stato così schematizzato: .....	63
5.1	Il modello digitale delle aree inondabili .....	63
5.2	Le condizioni al contorno .....	63
5.3	Applicazione del modello e risultati .....	64
5.4	Le principali criticità .....	65
5.4.1	Fosso Sibolla .....	65
5.4.2	Torrente Pescia di Collodi .....	65
5.4.3	Fosso Montecarlo .....	65
5.4.4	Fosso Le Pietre .....	66

5.4.5	Fosso Capannone .....	66
5.4.6	Torrente Pescia di Pescia.....	66
5.4.7	Fosso del Vescovo .....	67
5.4.8	Torrente Pescina .....	67
5.4.9	Torrente Borra .....	67
6	VALUTAZIONE DELLE AREE INONDABILI .....	68
6.1	Descrizione delle aree inondabili .....	70
6.1.1	Aree tra il torrente Pescia di Collodi e il fosso Sibolla .....	70
6.1.2	Aree tra il fosso di Montecarlo e il torrente Pescia di Collodi .....	70
6.1.3	Area tra il torrente fosso delle Pietre e il fosso di Montecarlo .....	70
6.1.4	Area tra il torrente Pescia di Pescia e il fosso delle Pietre .....	70
6.1.5	Aree tra il torrente Pescia di Pescia e il fosso del Vescovo .....	71
6.1.6	Aree tra il fosso del Vescovo e il torrente Pescina .....	71
6.1.7	Area tra il torrente Pescina e il torrente Borra .....	71
6.1.8	L'area del cratere palustre .....	71
7	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA .....	73
8	CONCLUSIONI .....	75

## ELENCO FIGURE

Figura 3-1 – Stazioni pluviometriche .....	15
Figura 3-2 – Mappa dei topoieti.....	19
Figura 3-3 – Mappa dell'uso del suolo .....	20
Figura 3-4 – Mappa della geolitologia .....	22
Figura 3-5 – Mappe derivate .....	24
Figura 3-6 – Schema del modello afflussi-deflussi.....	29
Figura 3-7– Interpolazione lineare tra i tempi di trasferimento e il TL.....	35
Figura 3-8– Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	36
Figura 3-9 – Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	37
Figura 3-10 - Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	38
Figura 3-11 - Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	39
Figura 3-12 - Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	40
Figura 3-13 - Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate .....	41
Figura 3-14 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per $Tr=30$ anni.....	42
Figura 3-15 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per $Tr=100$ anni .....	43
Figura 3-16 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per $Tr=200$ anni .....	44
Figura 3-17 – Immissioni al sistema idraulico .....	48
Figura 4-1 – Griglia di calcolo equazione di continuità.....	58
Figura 4-2 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo X.....	60
Figura 4-3 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y.....	61
Figura 6-1 – Carta della perimetrazione idraulica allegata allo studio a supporto del Regolamento Urbanistico del 2008. ....	69
Figura 7-1 – Carta degli interventi di messa in sicurezza previsti dallo studio a supporto del Regolamento Urbanistico del 2008. ....	74

## ELENCO TABELLE

Tabella 1-1 – <i>Elenco dei corsi d'acqua oggetto dello studio RU 2008</i> .....	6
Tabella 2-1 – <i>Elenco dei corsi d'acqua studio di Area Vasta</i> .....	11
Tabella 2-2 – <i>Tratti oggetto di rilievo Studio Physis</i> .....	12
Tabella 2-3 – <i>Tratti oggetto della modellazione idraulica</i> .....	12
Tabella 3-1 – <i>Eventi utilizzati per la taratura del modello idrologico</i> .....	13
Tabella 3-2 – <i>Parametri della curva di possibilità pluviometrica</i> .....	14
Tabella 3-3 - <i>Elenco eventi di taratura del modello idrologico</i> .....	17
Tabella 3-4 - <i>Consistenza dell'archivio dei dati pluviometrici</i> .....	17
Tabella 3-5 – <i>Legenda Carta Uso del Suolo</i> .....	21
Tabella 3-6 - <i>Legenda Carta Geologica</i> .....	23
Tabella 3-7 - <i>Tabella di associazione delle caratteristiche geolitologiche in relazione alla capacità di ritenuta</i> .....	26
Tabella 3-8 - <i>Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla capacità di ritenuta</i> ..	27
Tabella 3-9 – <i>Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla velocità di infiltrazione</i> .....	27
Tabella 3-10 - <i>Tabella di associazione delle caratteristiche geolitologiche in relazione alla velocità di infiltrazione</i> .....	28
Tabella 3-11 - <i>Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-defflussi</i> .....	32
Tabella 3-12 – <i>Parametri di taratura per i diversi eventi</i> .....	33
Tabella 3-13 – <i>Parametri della taratura del modello idrologico</i> .....	34
Tabella 4-1 – <i>Corsi d'acqua oggetto dello studio</i> .....	49
Tabella 5-1 – <i>Portate al colmo [mc/s] in alcune sezioni significative</i> .....	65
Tabella 6-1 - <i>Estensione delle aree inondabili per i diversi tempi di ritorno</i> .....	68
Tabella 6-2 – <i>Livelli medi nel cratere palustre</i> .....	72

## 1 PREMESSA

Gli scriventi hanno redatto lo studio a supporto del Regolamento Urbanistico vigente. Di seguito si riporta una breve descrizione di tale studio.

A partire da tale studio, a supporto della prima variante al Piano Strutturale, sono state condotti una serie di approfondimenti di seguito sinteticamente riassunti:

- adozione di un modello bidimensionale;
- utilizzo del modello digitale Lidar;
- adeguamento delle sollecitazioni idrologiche sulla base degli studi condotti per i comuni limitrofi.

### 1.1 Sintesi dello studio a supporto del RU vigente

A supporto del Regolamento Urbanistico vigente del Comune di Ponte Buggianese fu condotto uno studio idrologico e idraulico di dettaglio per la valutazione della pericolosità idraulica. Tale studio fu redatto al fine di rispondere alla richiesta di integrazioni della URTAT Ufficio Regionale per la Tutela dell'Acqua e del Territorio di Pistoia, Prato e Arezzo del 18-12-2006.

Lo studio comprendeva la valutazione della pericolosità idraulica e la definizione degli interventi di messa in sicurezza con particolare riferimento ai seguenti corsi d'acqua:

CODICE	NOME
PT471	Fiume Pescia di Pescia
PT545	Canale del Capannone
PT2482	Torrente Borra
PT1436	Fosso di Montecarlo
PT1103	Fosso della Croce
PT1523	Fosso delle Pietre
PT2753	Torrente Pescia di Collodi
PT1768	Fosso Sibolla
PT2757	Torrente Pescia Nuova
PT2997	Fosso del Vescovo

Tabella 1-1 – *Elenco dei corsi d'acqua oggetto dello studio RU 2008*

Lo studio prese a riferimento i dati e i risultati dello Studio di Area Vasta condotto a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio. In particolare furono utilizzati i rilievi dei corsi d'acqua e i risultati della modellazione idrologica.



Lo studio prese in esame tutto il sistema drenante afferente al Padule di Fucecchio per i seguenti motivi:

- i corsi d'acqua che attraversano il Comune di Ponte Buggianese presentano una serie di criticità anche nei tratti di monte criticità che determinano il carico idraulico effettivo che grava sul Comune di Ponte Buggianese;
- il Padule di Fucecchio costituisce il recapito finale di tutti i corsi d'acqua esaminati pertanto era necessario disporre di una corretta valutazione dei livelli che in esso si registrano per i vari tempi di ritorno e per le varie durate di evento.

La verifica del sistema idraulico del Padule di Fucecchio fu condotta utilizzando una modellazione idrologica e idraulica in grado di valutare i contributi di ciascun bacino, le modalità di trasferimento e laminazione delle onde di piena e l'estensione delle aree inondabili.

Per la valutazione dei contributi di piena fu fatto riferimento ai risultati dello studio di Area Vasta dove era stato implementato e tarato un modello a parametri distribuiti. La verifica idraulica fu condotta utilizzando le informazioni circa la geometria dei corsi d'acqua derivate sia dallo studio di Area Vasta che dagli studi redatti a cura del Comune di Ponte Buggianese integrati con rilievi effettuati ad-hoc nell'ambito dello studio. Il modello idraulico utilizzato prevedeva una modellazione in moto vario monodimensionale dei canali e una modellazione quasi-bidimensionale delle aree di potenziale esondazione.

Le indagini furono condotte su cartografia scala 1:10.000 e 1:2000 ove disponibile per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni secondo le specifiche della URTAT di Pistoia. Le aree inondabili furono perimetrate con individuazione delle zone di transito e di accumulo e con l'indicazione dei battenti idrici per i suddetti tempi di ritorno. Fu redatta inoltre la cartografia della pericolosità idraulica secondo le specifiche della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Lo studio confermò la notevole criticità del sistema drenante del Comune di Ponte Buggianese che si manifestava già per il tempo di ritorno di 20 anni, come era già evidente dalle analisi precedentemente condotte a supporto del Piano Strutturale da cui si ricavava che la quasi totalità del territorio comunale ricadeva nelle classi 3 e 4 di pericolosità con segnalazione di eventi di allagamento anche recenti per buona parte del territorio.

Sulla base delle verifiche dello stato attuale furono definiti sui corsi d'acqua esaminati una serie di interventi per la messa in sicurezza con tempo di ritorno di 200 anni. Vista l'insufficienza strutturale della rete drenante furono previsti interventi estesi su tutti i tratti

esaminati. Il criterio generale di intervento prevedeva la messa in sicurezza del territorio comunale ove erano presenti aree urbanizzate suddividendo la rete in acque alte, acque medie e acque basse.

La rete delle acque alte su cui furono previsti interventi è costituita dal fosso di Montecarlo, dal torrente Pescia di Pescia e dal torrente Pescina. Per questi corsi d'acqua fu previsto un adeguamento della loro capacità di smaltimento in modo da renderli idonei a trasferire al Padule di Fucecchio i contributi provenienti da monte. In questo senso fu previsto di smaltire le portate attuali con un franco di circa 50 cm e le portate idrologiche con un franco minimo. Gli interventi previsti risultarono particolarmente significativi sul torrente Pescia di Pescia ove si prevedeva un allargamento della sezione in particolare nel tratto urbano.

La rete delle acque medie su cui furono previsti interventi è costituita dal fosso delle Pietre, dal fosso del Capannone e dal fosso del Vescovo. Gli interventi previsti riguardavano sia l'adeguamento della capacità di smaltimento con la riprofilatura della sezione e sia la rimozione degli attraversamenti insufficienti con l'inserimento di un presidio idraulico all'ingresso in Padule. Al fine di invasare le portate in caso di chiusura del presidio furono previste tre aree di accumulo a tergo dell'argine del Padule e tre impianti di sollevamento per smaltire le portate durante gli eventi di lunga durata.

Per la rete delle acque basse furono previsti i necessari presidi idraulici di scarico nelle acque alte o nelle acque medie.

Furono fornite infine le indicazioni necessarie a definire la fattibilità degli interventi oggetto di Piano Attuativo. Per le previsioni minori, con modesti battenti di esondazione, furono definiti i parametri per il dimensionamento degli interventi di autosicurezza. Per i Piani Attuativi furono indicati in primo luogo gli interventi strutturali di messa in sicurezza e le modalità con cui gestire l'eventuale rischio residuo.

## ***1.2 Integrazioni e aggiornamenti nel presente studio***

Nella redazione del presente studio si è provveduto:

- ad utilizzare un modello idraulico bidimensionale che fornisce una maggiore precisione in merito ai battenti di esondazione e alle velocità di trasferimento;
- all'aggiornamento del quadro conoscitivo relativo al modello digitale del terreno mediante l'acquisizione presso la Regione Toscana del modello digitale realizzato con tecnologia Lidar,

- all'aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla geometria degli alvei sulla base delle sezioni fluviali disponibili presso il Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio per il Fosso di Montecarlo e per il Torrente Pescia di Collodi;
- all'aggiornamento dei contributi idrologici sulla base degli studi condotti nei comuni limitrofi con particolare riferimento al comune di Chiesina Uzzanese.

I suddetti aggiornamenti del quadro conoscitivo hanno consentito l'aggiornamento del modello idraulico con le seguenti finalità:

- verifica delle criticità del sistema idrico ove sono disponibili sezioni fluviali più recenti;
- verifica delle aree inondabili per i diversi tempi di ritorno e dei battenti idrici sulla base del nuovo modello digitale del terreno.

La modellazione idraulica è stata condotta per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni con il modello idraulico in moto vario bidimensionale.

Sulla base delle modellazioni idrauliche sono state redatte le carte dei battenti idrici e quelle della pericolosità idraulica ai sensi del Regolamento 53/R e del Piano di Assetto Idrogeologico per la procedura di adeguamento al Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno ai sensi dell'art 27 delle NTA del PAI approvato dal comitato istituzionale del 11.11.2004.

## **2 IL QUADRO CONOSCITIVO**

### **2.1 *Dati territoriali***

Le basi cartografiche utilizzate sono costituite dalla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e scala 1:2.000. La cartografia 1:10.000 è stata utilizzata sia per l'inquadramento a livello di bacino mentre la cartografia CRT 1:2.000 per l'inquadramento a livello locale.

### **2.2 *Modello digitale del terreno***

La modellazione idraulica bidimensionale è stata condotta sul modello digitale del Terreno Lidar fornito dalla Regione Toscana. Il passo del modello digitale Lidar è 1 m x 1 m.

L'area di studio risulta delimitata a sud dall'Argine Strada, a est dal torrente Pescina, a nord dalla Gora dei Molini e dal Torrente Pescia di Pescia (località il Chiodo) e dall'Autostrada A11, a ovest dal torrente Pescia di Collodi.

Il modello lidar copre interamente l'area comunale, fatta eccezione per alcune parti marginali che ricadono fuori dal Comune di Ponte Buggianese dove è stato ricostruito un modello digitale a partire dalla cartografia scala 1:2.000.

### **2.3 *Le sezioni fluviali***

Le sezioni fluviali disponibili per il presente studio derivano dalle seguenti fonti:

- studio di Area Vasta condotto a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio;
- rilievi condotti nell'ambito dello studio Physis per il Comune di Ponte Buggianese "Indagini idrologiche e idrauliche a supporto del Regolamento Urbanistico" (2007). e "Integrazione" (2008).
- "Interventi strutturali sul torrente Pescia di Collodi da Ponte alla Ralla a Ponte Pini nel Comune di Altopascio (LU) – Progetto Esecutivo" a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio (interventi realizzati);
- "Miglioramento idraulico del fosso di Montecarlo – Progetto Esecutivo" a cura del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio (interventi realizzati).

I rilievi dello studio di Area Vasta sono relativi ai corsi d'acqua riportati nella Tabella 2-1.

Sigla	Codice tratto	Lunghezza [m]	Sigla	Codice tratto	Lunghezza [m]
BG	Bagnolo_01	250	PM	Pescia_Morta	1805
BG	Bagnolo_02	3609	PP	Pescia_di_Pescia_01	3046
BO	Borra_01	3963	PP	Pescia_di_Pescia_02	11211
BO	Borra_02	4294	RP	Pietraie	1522
BO	Borra_03	24	RS	Rio_Rosso_01	1573
CA	Capannone_01	2145	RS	Rio_Rosso_02	127
CA	Capannone_02	150	RU	Riucchio	2607
CA	Capannone_03	2225	SA	Salsero	1462
CA	Capannone_04	659	SB	Sibolla_01	5374
CD	Candalla	3611	SB	Sibolla_02	213
CE	Cessana	4061	TR	Terzo_01	2632
CL	Calletta	4346	TR	Terzo_02	213
CN	Canaletto_01	906	TR	Terzo_03	976
CN	Canaletto_02	1442	TR	Terzo_04	36
CN	Canaletto_03	3252	TR	Terzo_05	1933
CS	Castellano_01	1887	TR	Terzo_06	1045
CS	Castellano_02	522	TR	Terzo_07	246
FD	Debitore_01	2505	TR	Terzo_08	2387
FD	Debitore_02	2011	US	Usciana_01	1235
GM-PE	Molinaccio-Pescina_01	6145	US	Usciana_02	558
GM-PE	Molinaccio-Pescina_02	5585	VC	Vinciarello	4656
MC	Montecarlo_01	9656	VE	Vescovo_01	2127
MC	Montecarlo_02	2926	VE	Vescovo_02	4293
NI	Nievole	11337	VI	Vincio	7876
PC	Pescia_di_Collodi	18701			

Tabella 2-1 – *Elenco dei corsi d'acqua studio di Area Vasta*

I rilievi nell'ambito dello Studio Idrologico e idraulico a supporto del RU e Integrazione sono stati condotti per il canale del Capannone, il fosso delle Pietre e fosso del Vescovo (nel tratto denominato Forra Nera fino all'autostrada e nel ramo a valle di via Camporcioni) nei tratti riportati in Tabella 2-2.

<b>Sigla</b>	<b>Codice tratto</b>	<b>Lunghezza [m]</b>
FP	Fosso_Pietre	2681
CA	Capannone_00	1048
VE	Vescovo_00	1511
VE	Vescovo_03	1246

Tabella 2-2 – *Tratti oggetto di rilievo Studio Physis*

Le sezioni dei progetti esecutivi redatti dal Consorzio di Bonifica Padule di Fucecchio del torrente Pescia di Collodi e del fosso di Montecarlo sostituiscono le sezioni dello Studio di Area Vasta nel tratto che va dal Ponte alla Ralla all'Argine Strada (4300 m) per il torrente Pescia di Collodi e nel tratto dall'Autostrada Firenze - Mare (A11) alla confluenza con il fosso delle Pietre (5500 m) per il fosso di Montecarlo.

Nel presente studio sono stati inseriti nel modello idraulico solo i corsi d'acqua che interferiscono con il comune di Ponte Buggianese che sono riportati nella Tabella 2-3.

<b>Sigla</b>	<b>Codice tratto</b>	<b>Lunghezza [m]</b>
BO	Borra_02	4294
CA	Capannone_00	1048
CE	Cessana	4061
FP	Fosso_Pietre	2681
GM-PE	Molinaccio-Pescina_01	6145
GM-PE	Molinaccio-Pescina_02	5585
MC	Montecarlo_01	9656
MC	Montecarlo_02	2926
PC	Pescia_di_Collodi	18701
PM	Pescia_Morta	1805
PP	Pescia_di_Pescia_01	3046
PP	Pescia_di_Pescia_02	11211
SB	Sibolla_01	5374
VE	Vescovo_00	1511
VE	Vescovo_01	2127
VE	Vescovo_02	4293
VE	Vescovo_03	1246

Tabella 2-3 – *Tratti oggetto della modellazione idraulica*

### 3 ANALISI IDROLOGICA

La valutazione dei contributi di piena è stata condotta con un modello idrologico a parametri distribuiti del tipo utilizzato dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per la predisposizione del Piano di Bacino sul rischio idraulico.

Il modello è stato tarato sulla base di eventi di piena significativi per i quali sono note le precipitazioni e le portate. Il modello idrologico, una volta tarato, consente di determinare l'idrogramma di piena di una qualunque sezione fluviale.

Per la ricostruzione di eventi sintetici saranno utilizzate le curve di possibilità pluviometrica dell'area ricavate con un modello probabilistico TCEV nell'ambito degli studi condotti dalla Regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena.

Il modello a parametri distribuiti prevede l'utilizzo delle seguenti cartografie di base:

- modello digitale del terreno con maglia 25x25 m;
- mappa geolitologica;
- mappa dell'uso del suolo.

Il modello è stato tarato nell'ambito dello studio di Area Vasta su 6 eventi verificatisi nel bacino del Padule di Fucecchio.

Nella Tabella 3-1 si riportano tali eventi.

EVENTO	DATA INIZIO	DATA FINE
Nievole 1966	03/11/1966 00.00	06/11/1966 00.00
Nievole 1967	07/03/1967 12.00	10/03/1967 12.00
Nievole 1968	21/02/1968 00.00	25/02/1968 00.00
Pescia 1952	18/11/1952 09.00	21/11/1952 09.00
Pescia 1955_02	15/02/1955 09.00	21/02/1955 09.00
Pescia 1955_11	30/11/1955 00.00	03/12/1955 00.00

Tabella 3-1 – *Eventi utilizzati per la taratura del modello idrologico*

### 3.1 Le curve di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica adottate sono quelle ricavate dagli studio condotti dalla Regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena. Nella presente relazione si ricorda che il modello probabilistico utilizzato è il modello di valore estremo TCEV a doppia componente. La curva di possibilità pluviometrica può essere pertanto espressa anche nella seguente forma:

$$h=a d^n T^m$$

dove h è in [mm], d in [ore] e T in [anni].

I parametri sono riportati nella Tabella 3-2, nella Figura 3-1 sono riportate le stazioni pluviometriche.

Cod.	Denominazione	a	n	m	a'	n'	m'	Area Topoieto (ha)
440	Prunetta	25.09	0.504	0.18	28.681	0.400	0.157	72.38
1350	Empoli_(Prunecchio)	20.649	0.258	0.182	20.352	0.260	0.173	1634.44
1362	Empoli	25.067	0.274	0.205	28.662	0.380	0.186	6917.56
1490	S-Miniato_(Cimitero)	25.954	0.315	0.205	31.791	0.608	0.141	11.00
1500	Fattoria_Scaletta	23.062	0.29	0.211	25.462	0.508	0.155	5120.69
1530	S-Gervasio	25.462	0.221	0.203	24.530	0.369	0.178	575.63
1550	Stiappa	24.581	0.445	0.181	25.386	0.358	0.160	2211.69
1560	Serra_Pistoiese	26.369	0.398	0.187	27.740	0.346	0.169	2456.94
1570	Vellano	26.571	0.353	0.176	26.363	0.381	0.158	2849.31
1580	Pescia	28.563	0.295	0.203	27.906	0.435	0.182	3994.31
1600	Montecatini_Terre	24.814	0.333	0.201	27.046	0.411	0.156	3396.19
1610	Marliana	26.254	0.365	0.189	29.282	0.455	0.156	3107.06
1620	Monsummano	22.861	0.346	0.203	25.639	0.417	0.165	4447.88
1630	Castelmartini	23.367	0.323	0.199	24.127	0.366	0.173	7128.44
1640	Spicchio	22.626	0.316	0.184	22.522	0.264	0.167	3112.69
1790	S-Giovanni_alla_Vena	26.02	0.285	0.201	25.864	0.334	0.180	1071.13
1840	Pizzorne	20.003	0.479	0.206	19.980	0.343	0.199	2297.19
1850	Segromigno_Monte	22.693	0.344	0.211	25.627	0.489	0.170	4.38
1860	Montecarlo	23.057	0.307	0.187	25.568	0.585	0.142	3353.50
1900	Staffoli	22.777	0.305	0.196	23.752	0.351	0.174	3606.69

Tabella 3-2 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica



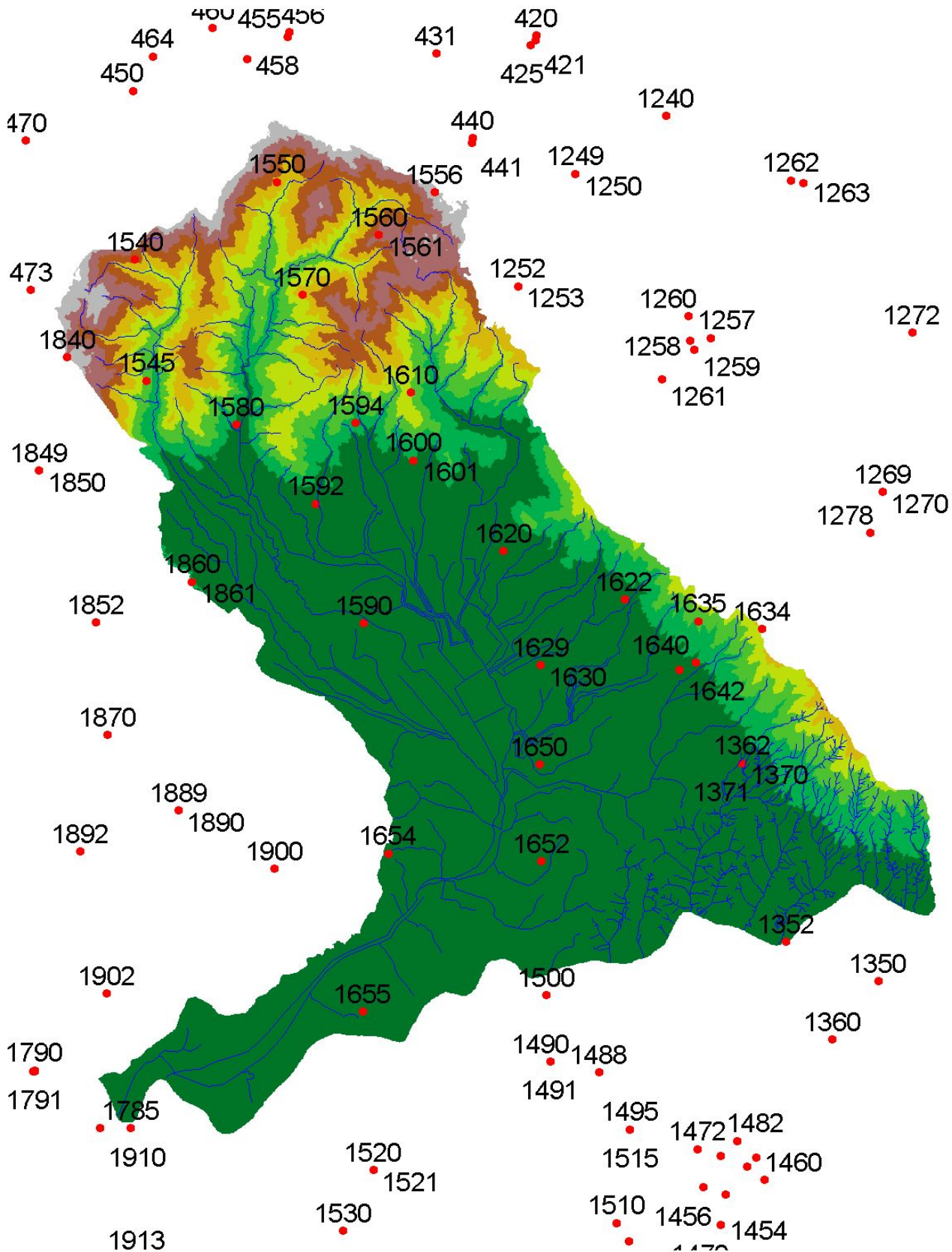


Figura 3-1 – Stazioni pluviometriche

### 3.2 Implementazione e taratura del modello idrologico

Il modello necessita di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche. La redazione delle mappe relative alle grandezze idrologiche viene in genere condotta a partire dalla geolitologia del bacino attribuendo a ciascuna formazione geologica dei valori di riferimento e una data variabilità spaziale. Per i dati geografici si utilizza un modello digitale del terreno (DTM) di maglia adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio e una corretta individuazione dei bacini imbriferi.

Il modello necessita inoltre dei dati di precipitazione in una serie di stazioni ricadenti nel bacino o limitrofe ad esso. Tali dati puntuali possono essere distribuiti spazialmente con diverse metodologie (es., metodo dei topoi). La taratura del modello viene effettuata sulla base di eventi noti ove, oltre alle precipitazioni, siano disponibili i dati di portata in una o più sezioni del bacino.

Nel caso specifico le tarature del modello sono state condotte nello studio di Area Vasta per 6 eventi di riferimento. Nella Tabella 3-3 si riportano, evento per evento, le stazioni pluviometriche utilizzate. Nella Tabella 3-4 si riportano per ciascuna stazione gli eventi in cui sono disponibili i dati.

Cod.	Stazione	Data inizio	Data fine
EVENTO: Nievole 1966			
1560	Serra_Pistoiese	03/11/1966 00.00	06/11/1966 00.00
1610	Marliana		
1620	Monsummano		
EVENTO: Nievole 1967			
1560	Serra_Pistoiese	07/03/1967 12.00	10/03/1967 12.00
1610	Marliana		
1620	Monsummano		
EVENTO: Nievole 1968			
1560	Serra_Pistoiese	21/02/1968 00.00	25/02/1968 00.00
1600	Montecatini_T.		
1610	Marliana		
1620	Monsummano		
EVENTO: Pescia 1952			
1580	Pescia	18/11/1952 09.00	21/11/1952 09.00

Cod.	Stazione	Data inizio	Data fine
<b>EVENTO: Pescia 1955_02</b>			
1580	Pescia	15/02/1955 09.00	21/02/1955 09.00
<b>EVENTO: Pescia 1955_11</b>			
1580	Pescia	30/11/1955 00.00	03/12/1955 00.00

Tabella 3-3 - *Elenco eventi di taratura del modello idrologico*

Codice	Stazione	GG	3	7	21	18	15	30
		MM	11	3	2	11	2	11
		AA	66	67	68	52	55	55
1560	Serra_Pistoiese		X	X	X			
1580	Pescia					X	X	X
1600	Montecatini_T.				X			
1610	Marliana		X	X	X			
1620	Monsummano		X	X	X			

Tabella 3-4 - *Consistenza dell'archivio dei dati pluviometrici*

### 3.2.1 Caratteristiche del modello

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come *distribuito* in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle. Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione. Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e su una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo *Clark*).

Il tempo di trasferimento per ciascuna cella, dipendente da entrambi i fenomeni sopra richiamati, è stimato in funzione della sua distanza dalla foce.

### 3.2.2 Le precipitazioni

Come accennato in precedenza, il modello richiede la conoscenza della precipitazione per ciascuna cella del bacino. Poiché le precipitazioni sono note come valori puntuali alle stazioni di misura, è necessario procedere alla definizione di una distribuzione spaziale della precipitazione. Un criterio classico è rappresentato dal metodo dei topoiets o di Thiessen.

Sulla base delle coordinate delle stazioni pluviometriche viene calcolata la mappa dei topoiets con la quale è stato eseguito il ragguaglio delle precipitazioni sul bacino.

In Figura 3-2 si riporta la carta dei topoiets utilizzati.

### 3.2.3 Le caratteristiche geografiche e idrologiche

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (raster), sono costituite da:

- modello digitale del terreno (DTM) 25x25m finalizzato al calcolo del raster dei puntatori ;
- mappa dell'uso del suolo elaborata a partire dai dati forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Carta dell'Uso prodotta secondo la metodologia Corine Land Cover) (Figura 3-3 e );
- mappa delle formazioni geo-litologiche fornita dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno sulla base dei fogli in scala 1:10.000 realizzati dal Servizio Geologico Nazionale (Figura 3-4 e ).

Una volta acquisite tali informazioni sono state derivate le mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame (Figura 3-5).

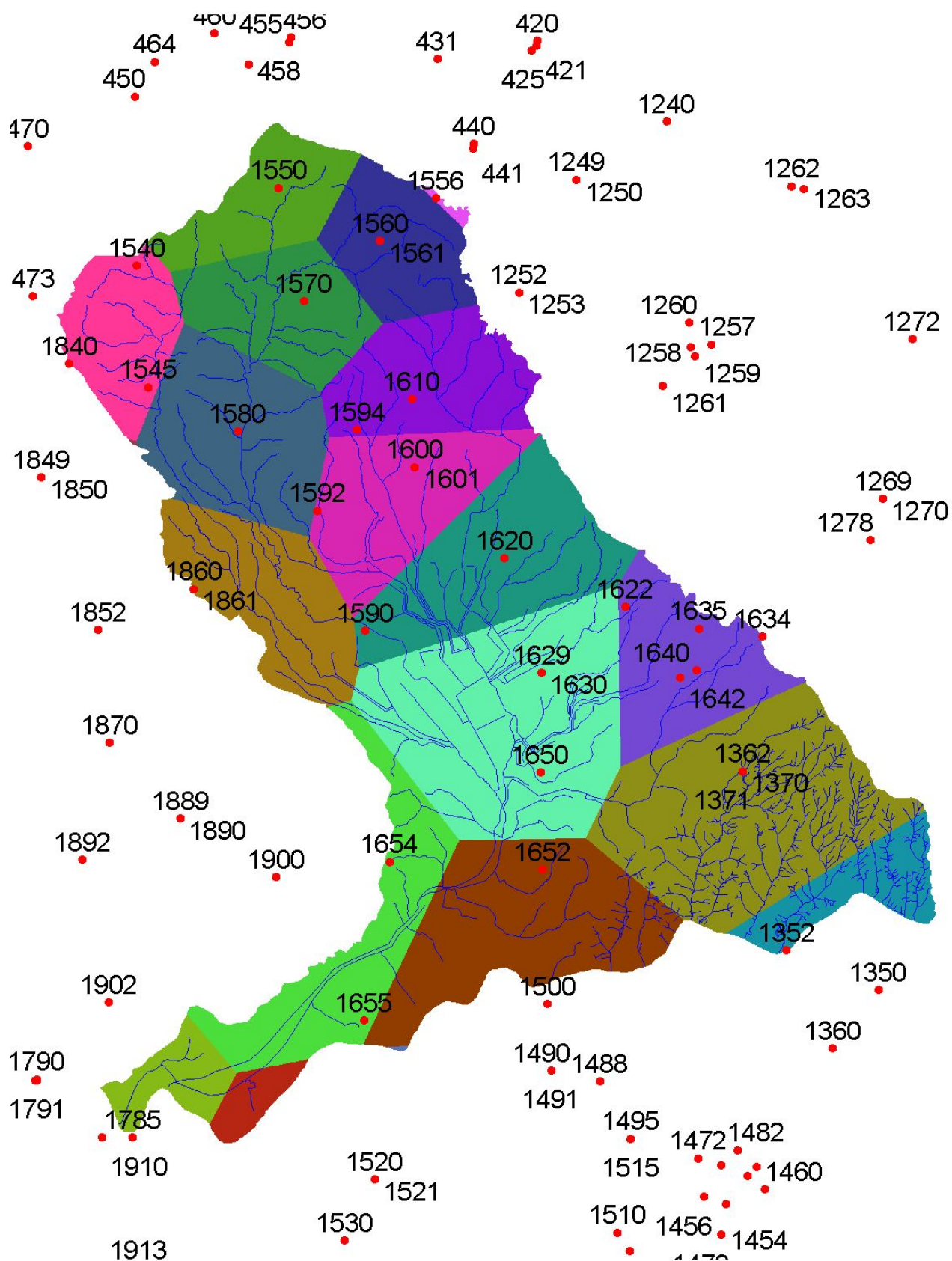


Figura 3-2 – Mappa dei topoi



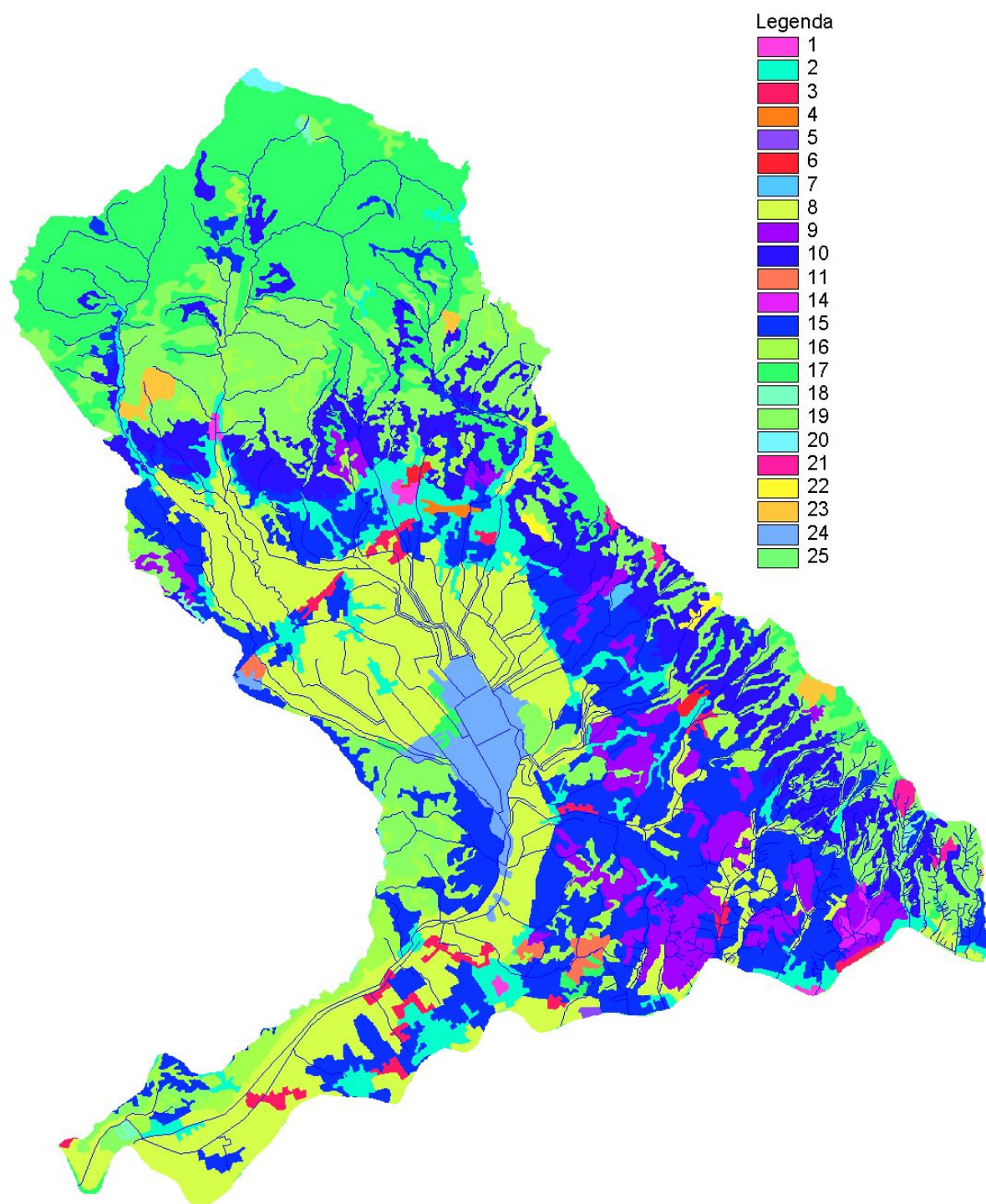


Figura 3-3 – Mappa dell'uso del suolo

N. Progres.	Codice	Descrizione
1	111	Tessuto urbano continuo
2	112	Tessuto urbano discontinuo
3	121	Aree industriali o commerciali
4	122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	131	Aree estrattive
6	141	Aree verdi urbane
7	142	Aree sportive e ricreative
8	211	Seminativi in aree non irrigue
9	221	Vigneti
10	223	Oliveti
11	231	Prati stabili
12	241	Colture annuali associate a colture permanenti
13	242	Sistemi colturali e particellari complessi
14	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
15	311	Boschi di latifoglie
16	312	Boschi di conifere
17	313	Boschi misti
18	321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
19	322	Brughiere e cespuglieti
20	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
21	334	Aree percorse da incendio
22	411	Paludi interne
23	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Tabella 3-5 – *Legenda Carta Uso del Suolo*

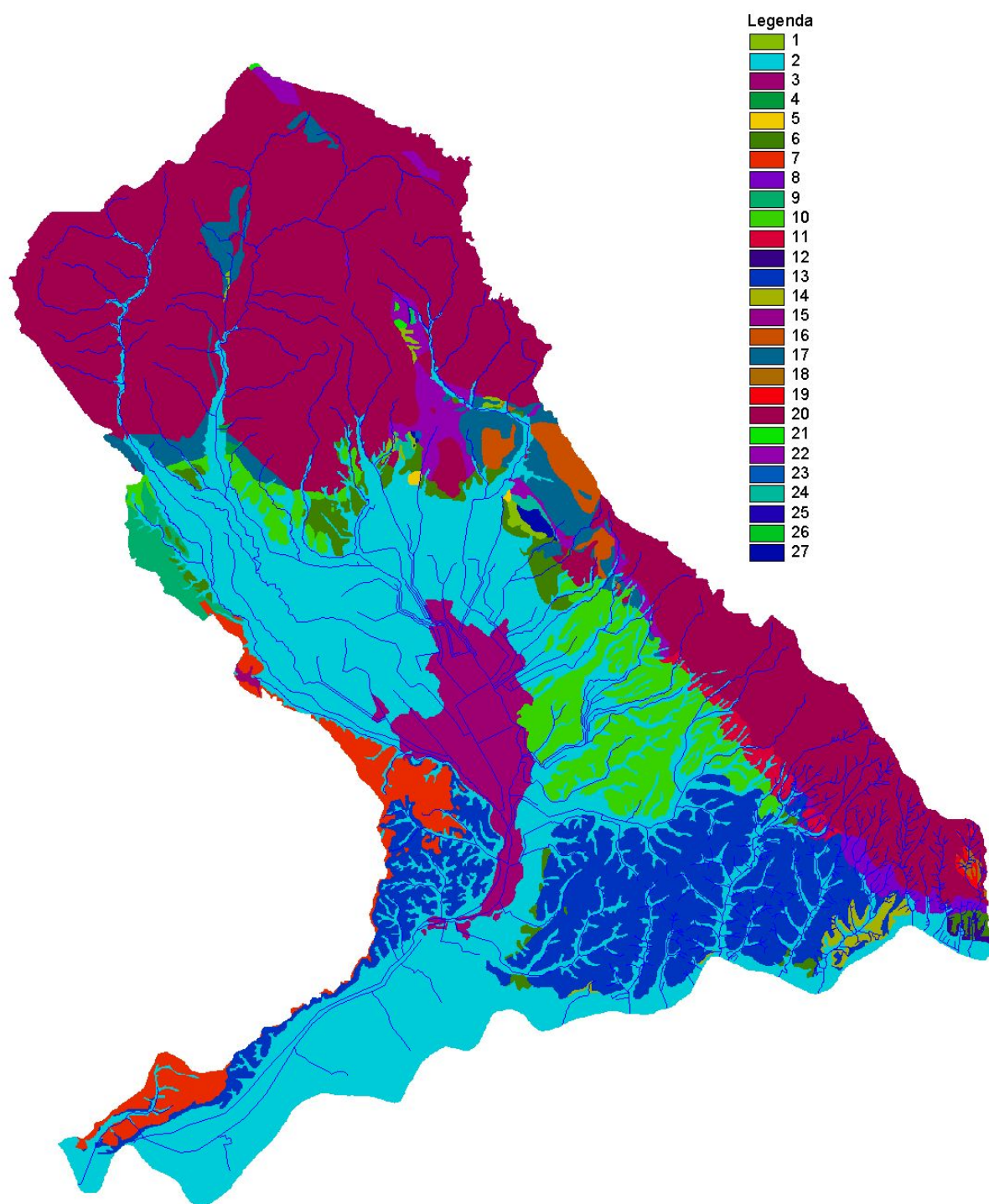


Figura 3-4 – Mappa della geolitologia



N. Progres.	Codice UNI	Descrizione
1	dt	detriti
2	all	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	p	terreno palustre Olocene
4	cd	Conoidi Olocene
5	tv2	travertini Olocene
6	at	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	fA-C	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	VVB	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	ctM	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano"(zona di Montecarlo); di "macigno" e di "ligure" (aree piu' settentrionali) Post-Villafranchiano
10	arg	argille grigie lignitifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciano inf.-Villafranchiano sup.
11	cq/mq	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciano inf.?
12	Pcg	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	Ps	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	Pag	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	Pcg1	conglomerati, sabbie, lenti di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno Plioc. inf.-medio
16	alb	("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
17	cb	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	fP1	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	ol	("olistostroma basale") argilliti grigio scure con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbrecce calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	mq	("macigno") arenarie quarzoso-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	Nu	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene
22	sc	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	mac	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Titonico sup.-Neocomiano/Barremiano
24	di	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
25	cs2	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scure, gradate, a liste e noduli di selce nera Dogger sup.-Malm p.p.
26	mp	("marne a Posidonomya") marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti Lias sup.-Dogger p.p.
27	cs1	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di colore grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastre Lias medio e superiore

Tabella 3-6 - *Legenda Carta Geologica*

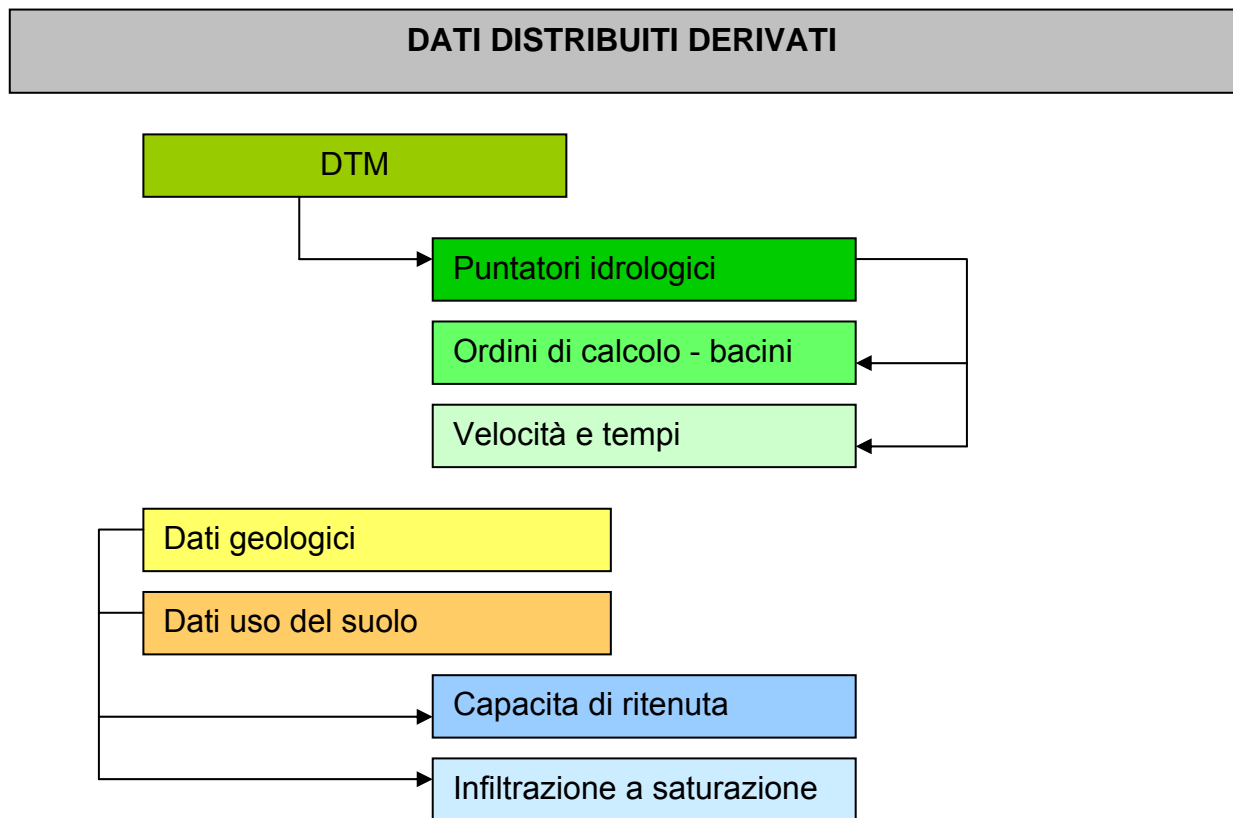
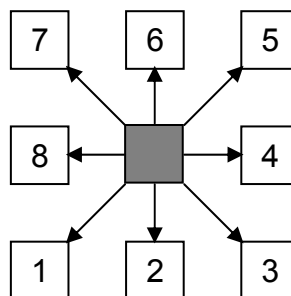


Figura 3-5 – Mappe derivate

Di seguito si riporta una descrizione delle mappe derivate.

- mappa dei puntatori: specifica in quale cella contigua viene trasferita l'acqua in uscita dalla cella esaminata. Tale specificazione consegue dal confronto tra la quota della cella in esame e quelle delle otto celle circostanti. A seconda della direzione individuata viene assegnato alla cella uno degli otto valori;



- mappa degli ordini di calcolo: specifica l'ordine della cella (ad ogni cella viene attribuito l'ordine massimo delle celle a monte +1); la mappa viene calcolata in funzione della mappa dei puntatori;
- mappa dei bacini: identifica con uno stesso codice tutte le celle che afferiscono a una stessa foce; viene calcolata in funzione della mappa dei puntatori;
- mappa delle velocità: fornisce le velocità di deflusso su ogni cella. Nello specifico le velocità sono state attribuite secondo la seguente relazione

$$v = 1,52 A^{0.15} s^{0.2}$$

dove  $v$  è la velocità di trasferimento in m/s,  $A$  è l'area del bacino sotteso,  $s$  la pendenza dell'asta e 1,52 un parametro definito in fase di taratura;

- mappa dei tempi di trasferimento: specifica il tempo di trasferimento da una cella alla foce in funzione della mappa delle velocità. Il percorso verso la foce viene individuato in funzione dei puntatori.

Dalle mappe geologica e di uso del suolo vengono stimate le caratteristiche idrauliche del suolo:

- mappa della capacità di ritenuta del suolo(indicata con SC, Storage Capacity): la mappa è stata calcolata in funzione di geolitologia e uso del suolo secondo la Tabella 3-7 e la Tabella 3-8.
- mappa della velocità di infiltrazione del suolo:la mappa è stata calcolata in funzione di geolitologia e uso del suolo secondo la Tabella 3-9 e la Tabella 3-10. I valori derivati sono stati moltiplicati tra di loro.

N. Progres.	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	100	50	detriti
2	80	40	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	80	40	terreno palustre Olocene
4	100	50	Conoidi Olocene
5	56	28	travertini Olocene
6	80	40	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	80	40	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	80	40	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	90	45	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano"(zona di Montecarlo); di "macigno" e di "ligure" (aree piu' settentrionali) Post-Villafranchiano
10	80	40	argille grigie lignitifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciano inf.-Villafranchiano sup.
11	90	45	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciano inf.?
12	90	45	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	80	40	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	60	30	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	62	31	conglomerati, sabbie, lenti di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno" Plioc. inf.-medio
16	56	28	("alberese" e "formazione di Lanciata") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
17	56	28	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	62	31	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	62	31	("olistostroma basale") argilliti grigio scure con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbrecce calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	62	31	("macigno") arenarie quarzoso-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	62	31	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene
22	90	45	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	32	16	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Titonico sup.-Neocomiano/Barremiano
24	32	16	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
25	62	31	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scure, gradate, a liste e noduli di selce nera Dogger sup.-Malm p.p.
26	56	28	("marne a Posidonomya") marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti Lias sup.-Dogger p.p
27	62	31	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di colore grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastre Lias medio e superiore

Tabella 3-7 - Tabella di associazione delle caratteristiche geolitologiche in relazione alla capacità di ritenuta

N. Progres.	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	0.1	0.05	Tessuto urbano continuo
2	0.1	0.05	Tessuto urbano discontinuo
3	0.1	0.05	Aree industriali o commerciali
4	0.1	0.05	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	0.1	0.05	Aree estrattive
6	15	7.5	Aree verdi urbane
7	5	2.5	Aree sportive e ricreative
8	15	7.5	Seminativi in aree non irrigue
9	5	2.5	Vigneti
10	5	2.5	Oliveti
11	10	5	Prati stabili
12	10	5	Prati stabili
13	10	5	Zone agricole eterogenee
14	10	5	Colture annuali associate a colture permanenti
15	5	2.5	Sistemi colturali e particellari complessi
16	15	7.5	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
17	20	10	Boschi di latifoglie
18	20	10	Boschi di conifere
19	20	10	Boschi misti
20	5	2.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	10	5	Brughiere e cespuglieti
22	15	7.5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
23	5	2.5	Aree percorse da incendio
24	20	10	Paludi interne
25	20	10	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Tabella 3-8 - *Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla capacità di ritenuta*

N. Progres.	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
1	0.3	0.15	Tessuto urbano continuo
2	0.3	0.15	Tessuto urbano discontinuo
3	0.2	0.1	Aree industriali o commerciali
4	0.9	0.45	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	1	0.5	Aree estrattive
6	1	0.5	Aree verdi urbane
7	1	0.5	Aree sportive e ricreative
8	1.3	0.65	Seminativi in aree non irrigue
9	1.1	0.55	Vigneti
10	1.1	0.55	Oliveti
11	1	0.5	Prati stabili
12	1	0.5	Prati stabili
13	0.9	0.45	Zone agricole eterogenee
14	1.1	0.55	Colture annuali associate a colture permanenti
15	0.9	0.45	Sistemi colturali e particellari complessi
16	1.3	0.65	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
17	1.2	0.6	Boschi di latifoglie
18	1.2	0.6	Boschi di conifere
19	1.2	0.6	Boschi misti
20	1	0.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	1	0.5	Brughiere e cespuglieti
22	1	0.5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
23	1	0.5	Aree percorse da incendio
24	1	0.5	Paludi interne
25	1	0.5	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Tabella 3-9 – *Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla velocità di infiltrazione*

N. Progres.	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
1	8	4	detriti
2	0.5	0.25	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	0.5	0.25	terreno palustre Olocene
4	8	4	Conoidi Olocene
5	7.75	3.88	travertini Olocene
6	0.5	0.25	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	2.32	1.16	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	2.32	1.16	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	3	1.5	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano"(zona di Montecarlo); di "macigno" e di "ligure" (aree piu' settentrionali) Post-Villafranchiano
10	1	0.5	argille grigie lignitifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciano inf.-Villafranchiano sup.
11	3	1.5	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciano inf.?
12	3	1.5	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	1.55	0.78	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	0.5	0.25	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	0.77	0.39	conglomerati, sabbie, lenti di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno" Plioc. inf.-medio
16	0.5	0.25	("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
17	0.5	0.25	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora breccie sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	0.5	0.25	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	1.25	0.63	("olistostroma basale") argilliti grigio scure con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbreccie calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	1.55	0.78	("macigno") arenarie quarzose-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	4.65	2.33	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene
22	1.05	0.53	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	7.75	3.88	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Totonico sup.-Neocomiano/Barremiano
24	3.88	1.94	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
25	4.65	2.33	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scure, gradate, a liste e noduli di selce nera Dogger sup.-Malm p.p.
26	0.5	0.25	("marne a Posidonomya") marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti Lias sup.-Dogger p.p
27	7.75	3.88	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di colore grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastre Lias medio e superiore

Tabella 3-10 - Tabella di associazione delle caratteristiche geolitologiche in relazione alla velocità di infiltrazione

### 3.2.4 Le fasi computazionali

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione.
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico.
- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Nella Figura 3-6 si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

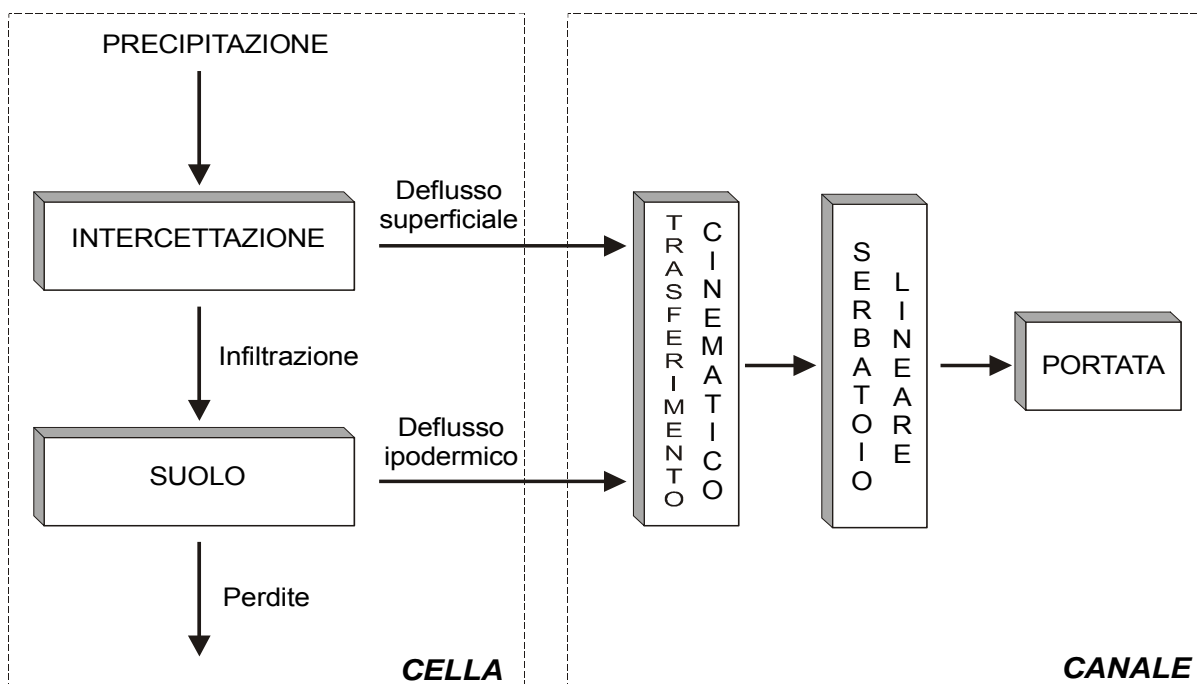


Figura 3-6 – Schema del modello afflussi-deflussi

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato

dal modello di trasferimento. Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infila nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione. La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle mappe raster relative.

### 3.2.5 Algoritmi di calcolo

Con riferimento alle variabili elencate nella Tabella 3-11 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

- 1-** l'afflusso sulla singola cella,  $P_{i_k}$  [mm/h] è determinato con il metodo dei topoi;eti;
- 2-** il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione,  $K_s$  [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro  $K$  [1/h].
- 3-** l'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left( P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + P_{i_k} - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_o$  [mm] è uguale a  $\alpha_o \theta_{\max}$  dove  $\alpha_o$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{\max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:



- essiccamento del suolo:

$$\begin{aligned}\theta_{k+1} &= 0 \\ Q_{1k} &= \theta_k / dt + P i_k - K_s \\ I_{eff} &= K_s\end{aligned}$$

- saturazione del suolo:

$$\begin{aligned}\theta_{k+1} &= \theta_{max} \\ Q_{1k} &= 0 \\ I_{eff} &= \theta_k / dt + P i_k\end{aligned}$$

- caso intermedio:

$$\begin{aligned}0 &< \theta_{k+1} < \theta_{max} \\ Q_{1k} &= (\theta_k - \theta_{max}) + P i_k - K_s \\ I_{eff} &= K_s\end{aligned}$$

**4-** il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione

$$\varphi_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove  $C_s$ . [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come  $1/\tau_i$  e  $\varphi_k$  il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

**5-** la componente cinematica trasla nel tempo il contributo  $Q_k$  di un fattore pari a  $\tau_c$ .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Simbolo	Significato	unità di misura
$P_{ik}$	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
$\Delta t$	passo temporale	[h]
$SC$	valore del raster della capacità di ritenuta del suolo ( <i>storage capacity</i> )	[mm]
$RI$	coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo	[/]
$\theta_{max}=RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$KL$	valore del raster della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
$IN$	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
$K_s=IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
$K=IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
$TL$	valore del raster dei tempi di trasferimento	[h]
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\tau_c=CI TL$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$\tau_{i=(1-CI) TL/MT}$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
$C_{s=1/\tau_i}$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
$\theta_o$	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$dx$	Dimensioni della cella del raster	[m]
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
$Q_{1k}$	Contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
$\varphi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
$Q_k$	Contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella 3-11 - *Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi*

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- $\alpha_o$  = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]
- $R/$  = coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo [/]
- $IN$  = coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]
- $IP$  = coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]
- $MT$  = coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]
- $CI$  = coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]

### 3.2.6 Taratura dei parametri

Le tarature sono state condotte nello studio di Area Vasta su 6 eventi, i parametri ricavati sono riportati in Tabella 3-12.

Nella fase di taratura i coefficienti CI e MT riportati in Tabella 3-12 sono stati fissati riferendosi in analogia con la parametrizzazione adottata nel sistema ALTO dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno. In particolare per CI è stato assunto il valore adottato mediamente per gli affluenti del fiume Arno nello studio condotto per il Provveditorato alle Opere Pubbliche della Toscana, per il parametro MT si è proceduto a un confronto tra il tempo di trasferimento medio del modello a parametri distribuiti e il TI del modello ALTO (Figura 3-7).

	Data inizio	Data fine	Saturazione	Infiltrazione	Ritenuta	Ipodermico	Trasferimento	Cinem/Inv
Nievole 1966	03/11/1966 00:00	06/11/1966 00:00	0	0.4	1.5	2	1.52	0.45
Nievole 1967	07/03/1967 12:00	10/03/1967 12:00	0	0.5	1.52	2	1.52	0.45
Nievole 1968	21/02/1968 00:00	25/02/1968 00:00	0	0.1	1.94	1.2	1.52	0.45
Pescia 1952	18/11/1952 09:00	21/11/1952 09:00	0	2	2	1.1	1.52	0.45
Pescia 1955_02	15/02/1955 09:00	21/02/1955 09:00	0	0	1.77	1.2	1.52	0.45
Pescia 1955_11	30/11/1955 00:00	03/12/1955 00:00	0	0	2	1.6	1.52	0.45

Tabella 3-12 – Parametri di taratura per i diversi eventi

Le

Figura 3-8, Figura 3-9, Figura 3-10, Figura 3-11, Figura 3-12 e Figura 3-13 riportano i diagrammi delle tarature con l'afflusso meteorico, la pioggia netta, l'idrogramma delle portate calcolate e quello delle portate misurate.

Le portate di piena sono fortemente condizionate dal grado di saturazione iniziale. Nel caso specifico il grado di saturazione adottato nella fase di generazione degli idrogrammi per i diversi

tempi di ritorno è stato valutato in modo da avere risultati confrontabili con quelli del modello ALTO adottato dalla Autorità di Bacino per la perimetrazione delle aree a rischio idraulico.

Nelle Figure 3-14, Figura 3-15 e Figura 3-16 si riporta il confronto tra le portate calcolate con il modello idrologico a parametri distribuiti e quelle dedotte dal modello ALTO (opportunamente corrette per tenere conto della diversa estensione dei bacini idrografici dovuta alla maggiore accuratezza della presente perimetrazione) adottando il grado di saturazione di 0.85.

Nella Tabella 3-13 si riportano i parametri che saranno adottati nella generazione degli eventi per i diversi tempi di ritorno.

Saturazione $\alpha_o$	Infiltrazione IN	Ritenuta RI	Ipodermico IP	Rapporto cinematico /invaso CI	Velocità di trasferimento MT
0,85	0,50	1,79	1,52	0,45	1,52

Tabella 3-13 – Parametri della taratura del modello idrologico

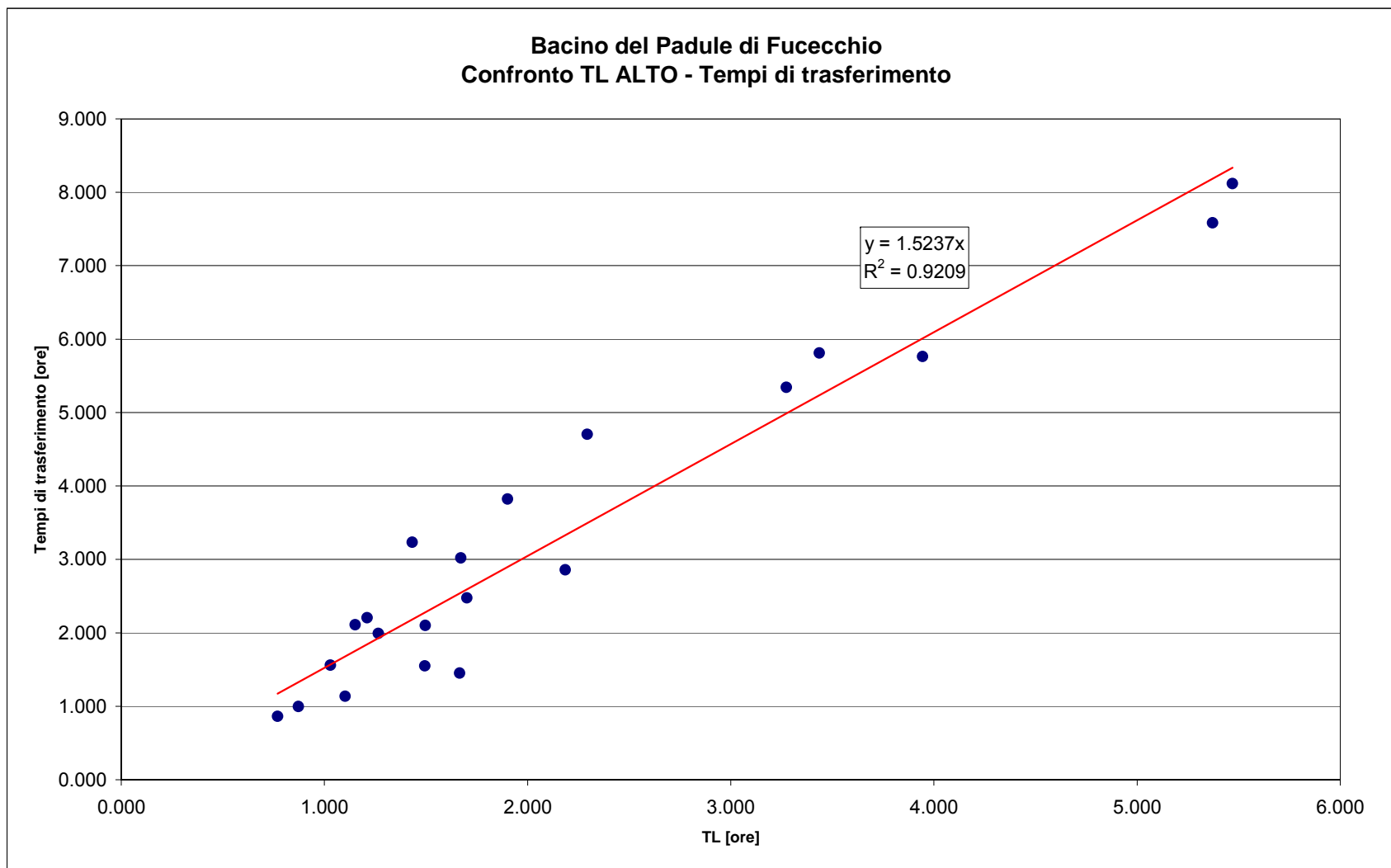


Figura 3-7– Interpolazione lineare tra i tempi di trasferimento e il TL

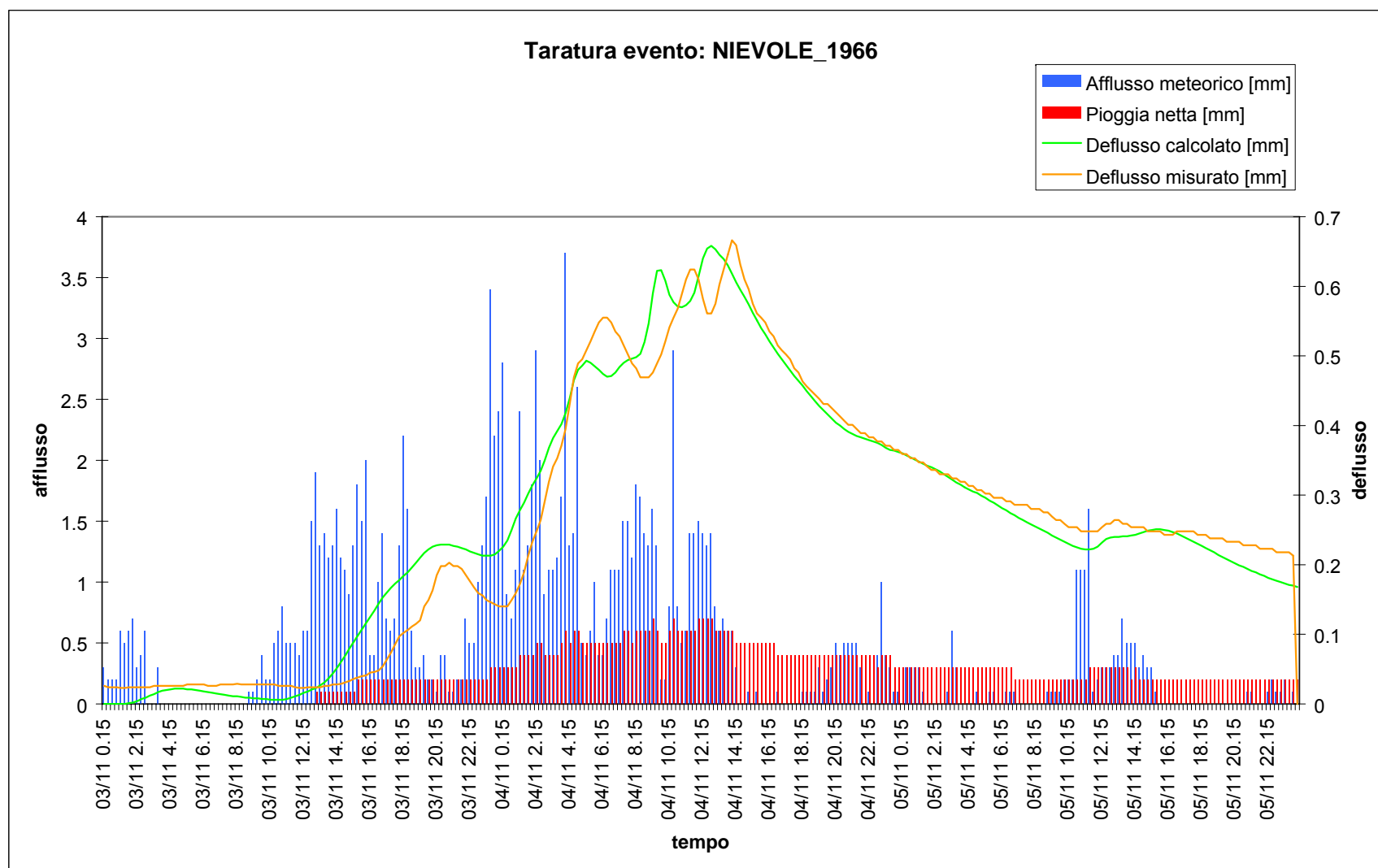


Figura 3-8– *Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul T. Nievole (1966)*

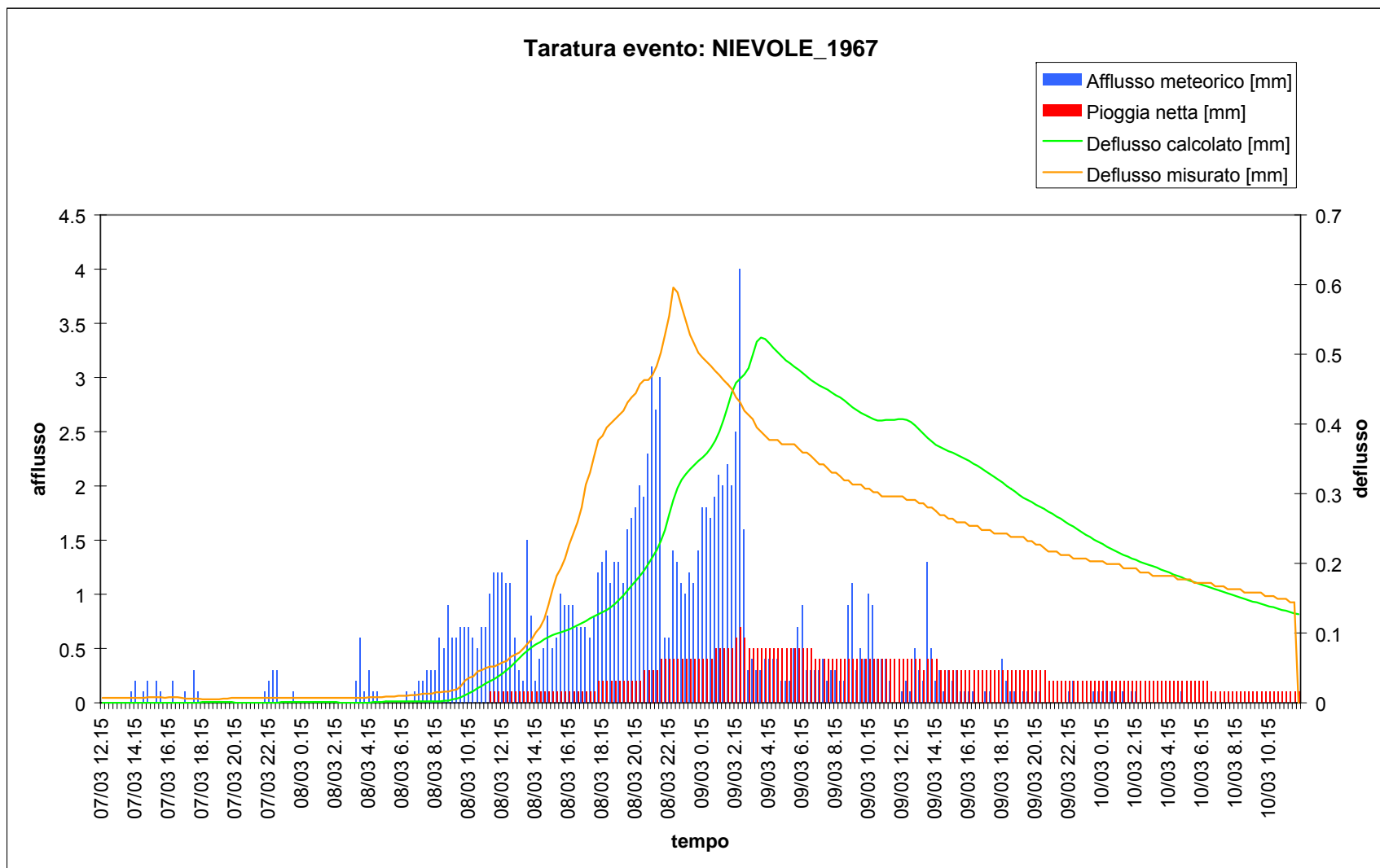


Figura 3-9 – Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul T. Nievole (1967)

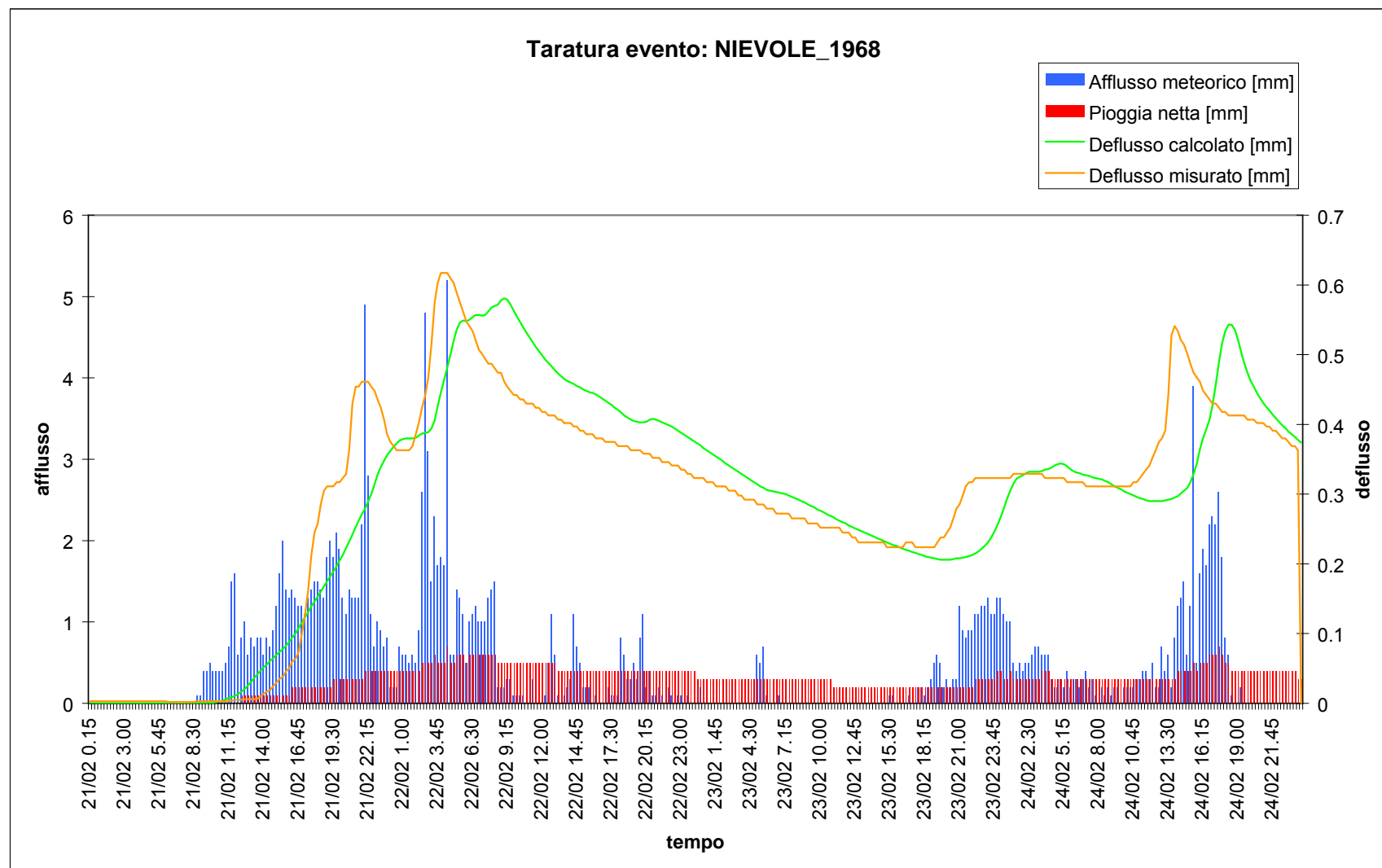


Figura 3-10 - *Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul T. Nievole (1968)*



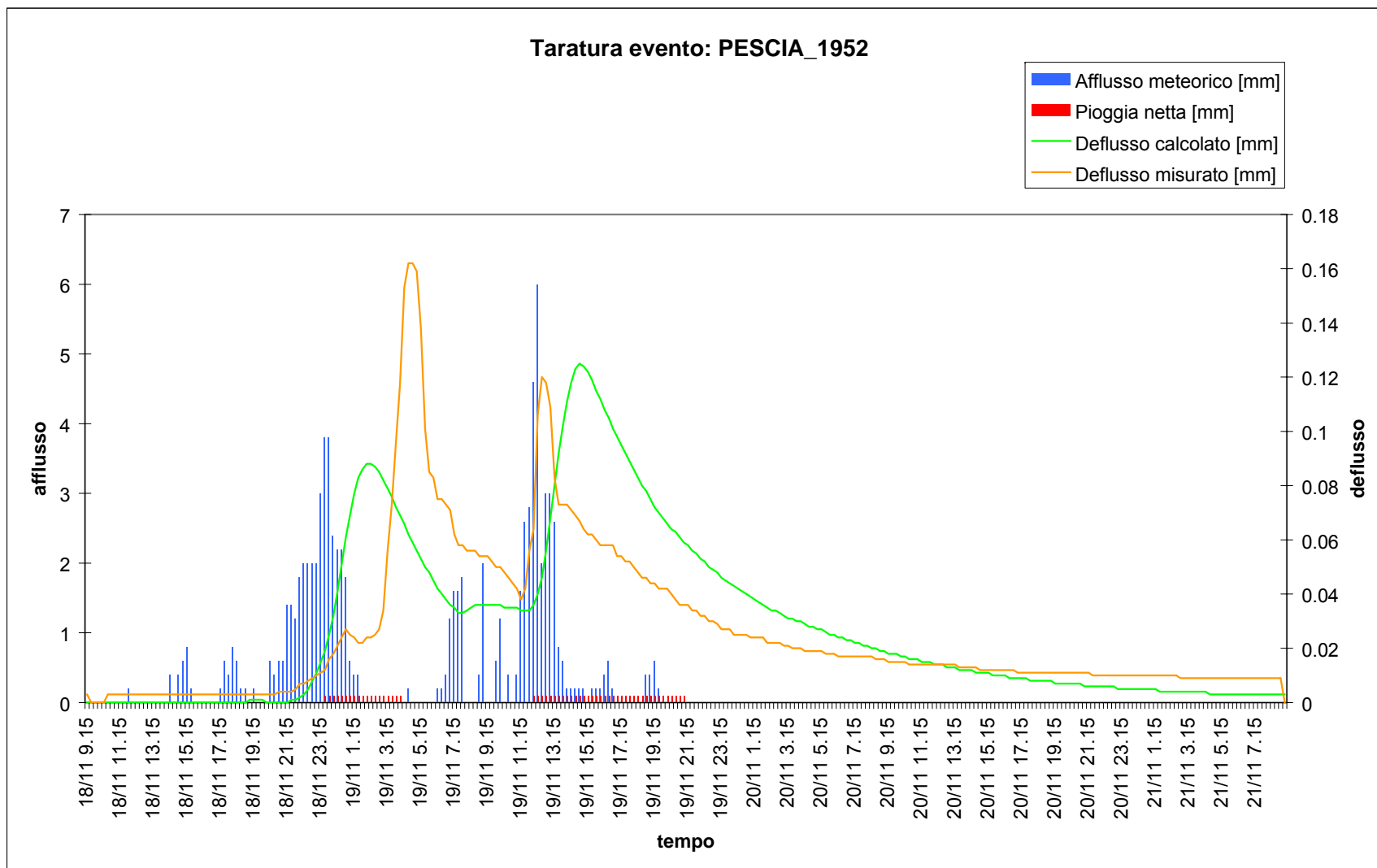


Figura 3-11 - *Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul F. Pescia di Pescia (1952)*

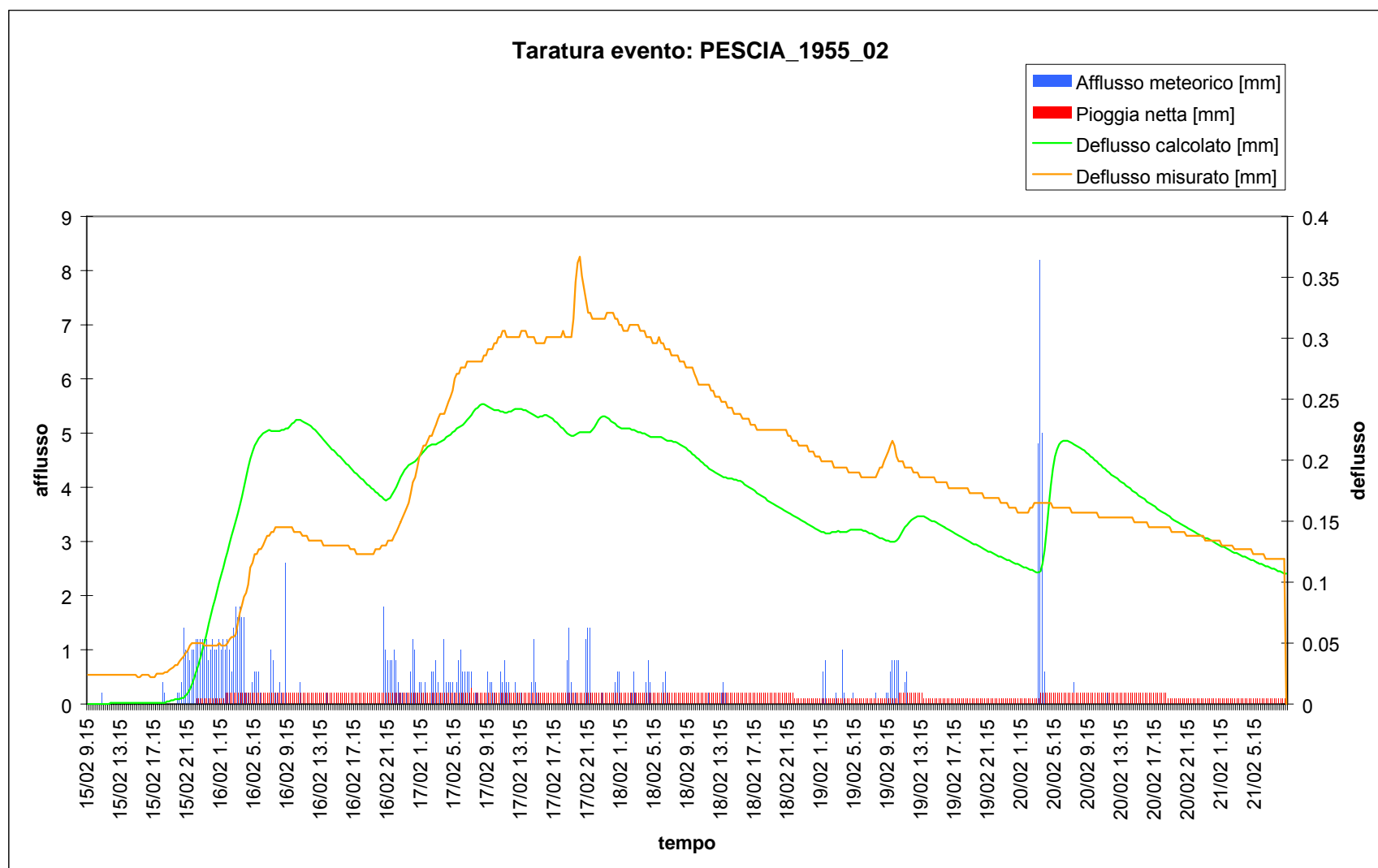


Figura 3-12 - *Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul F. Pescia di Pescia (Febbraio 1955)*

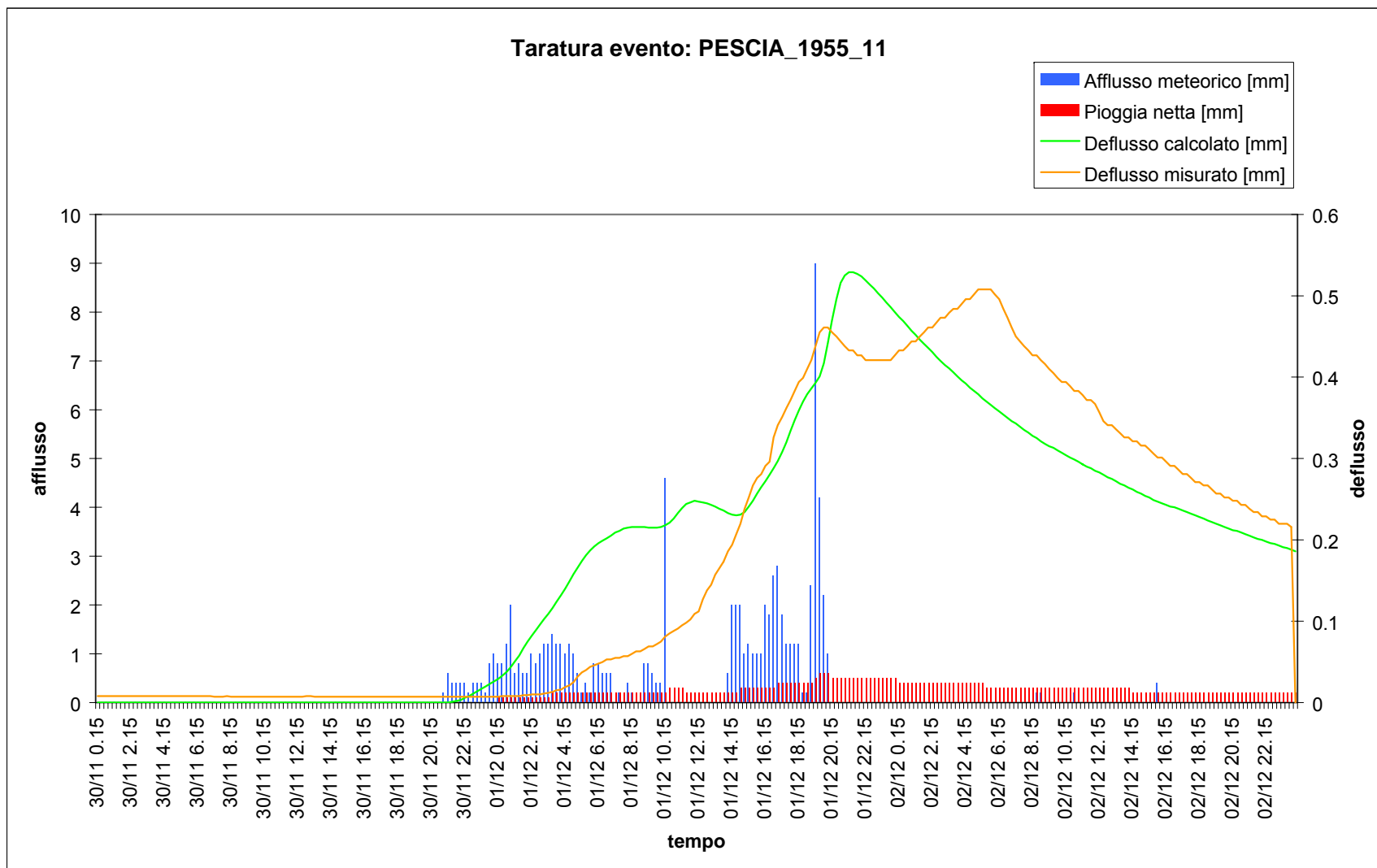


Figura 3-13 - *Diagramma della pioggia ragguagliata, pioggia netta, idrogrammi delle portate calcolate e portate misurate per l'evento di riferimento sul F. Pescia di Pescia (Novembre 1955)*

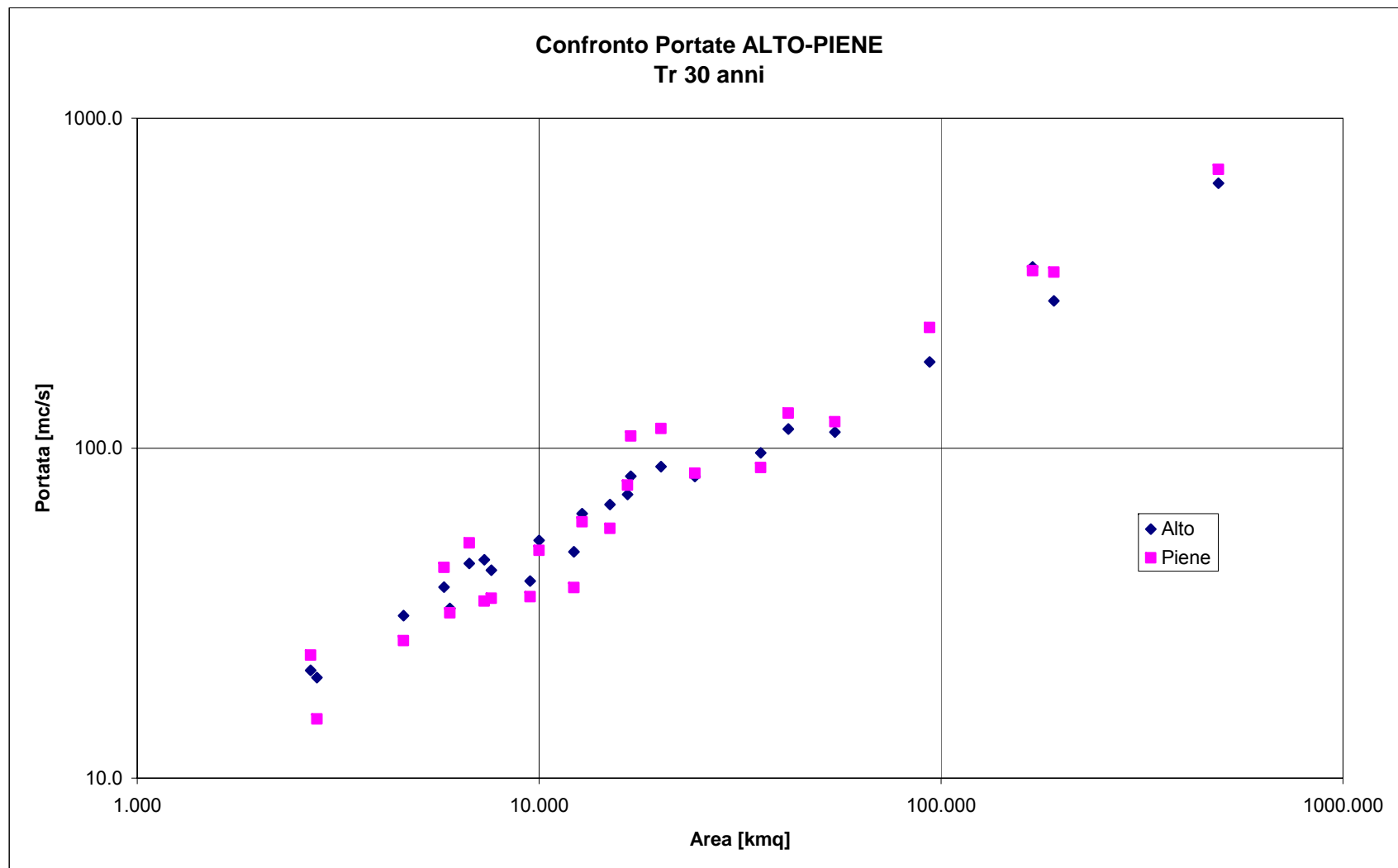


Figura 3-14 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per  $Tr=30$  anni

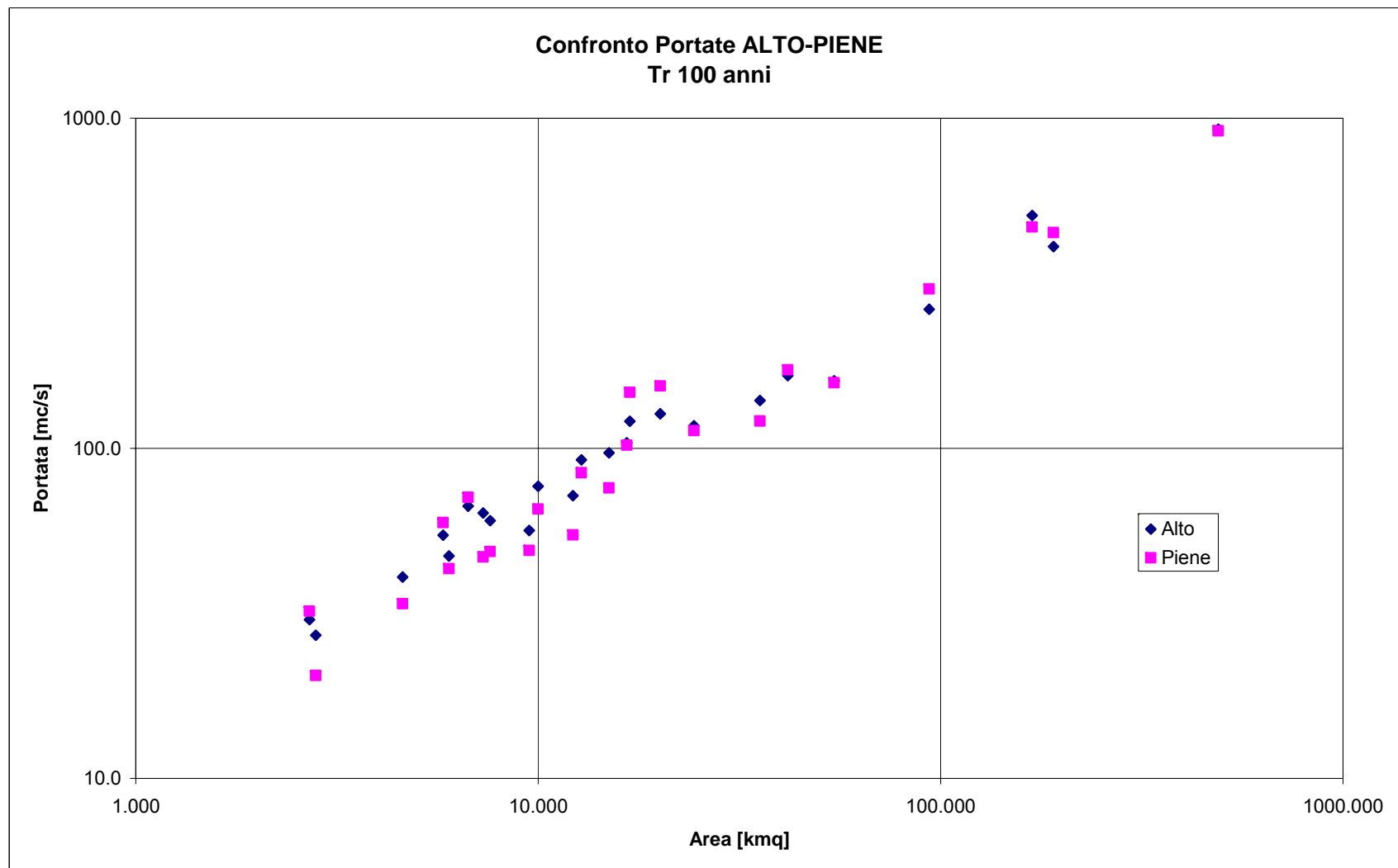


Figura 3-15 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per  $Tr=100$  anni

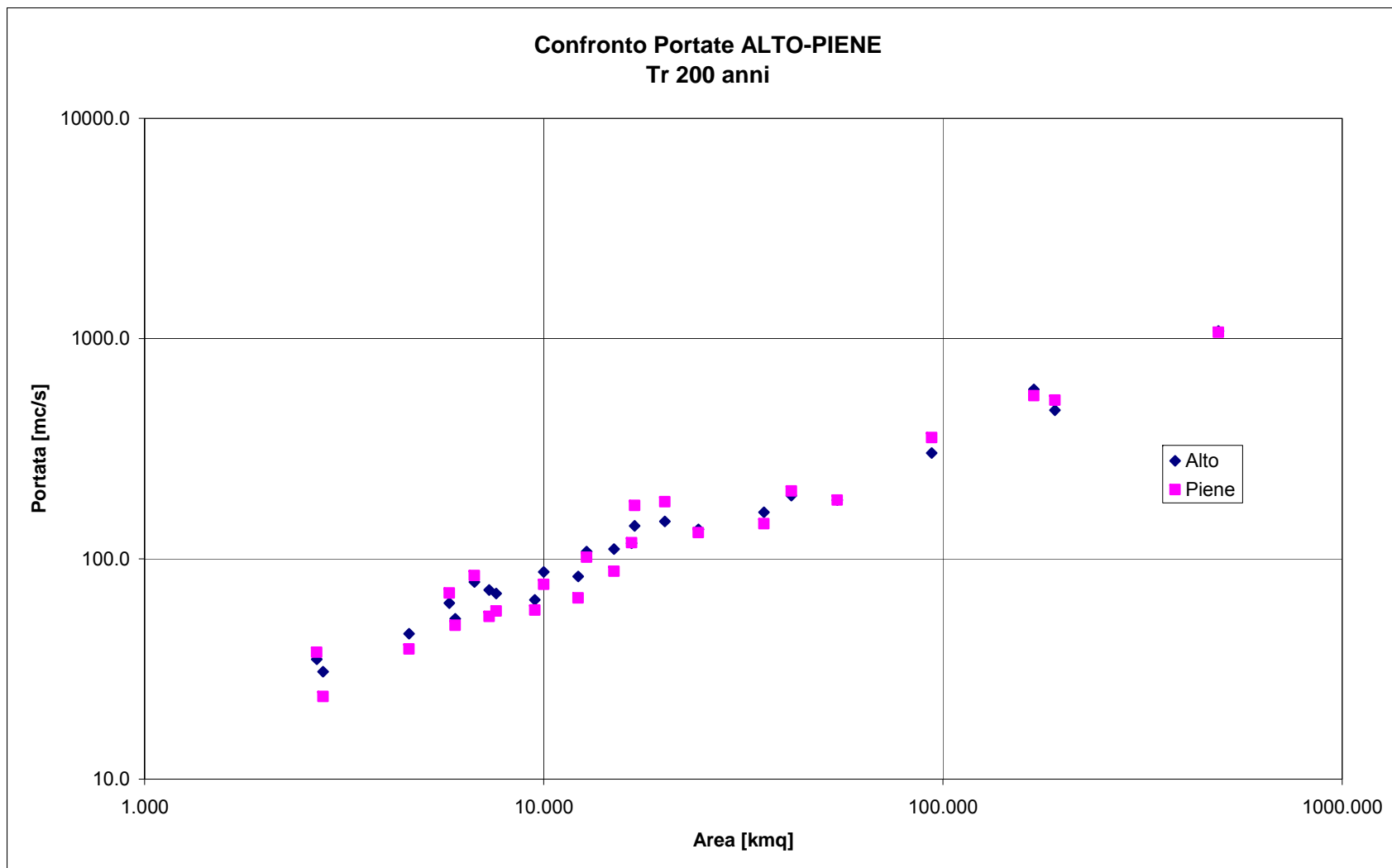


Figura 3-16 - Confronto tra le portate ottenute con il sistema ALTO e PIENE per  $Tr=200$  anni

### **3.3 Le precipitazioni e gli idrogrammi di piena**

#### **3.3.1 Le precipitazioni**

L'*input* di precipitazione, in termini di ietogramma, è stato ricavato sulla base curve di possibilità pluviometria.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione,  $K_r$ , del tipo:

$$K_r = h_A(A, t) / h(t)$$

dove  $h_A(A, t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  ragguagliata all'area  $A$  e  $h(t)$  l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio.

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia;

Per la quantificazione di  $K_r$  si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [kmq] l'area del bacino.

Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:

- $\alpha = 0.036 \times a'$ , dove  $a'$  è il parametro della curva di possibilità;
- $\beta = 0.25$ ;
- $\gamma = 0.01$ .

Nello studio di Area Vasta e in quello a supporto del RU vigente i contributi di piena erano stati calcolati adottando la seguente metodologia:

- eventi pluviometrici estesi su tutto il bacino di intensità costante;
- coefficienti Kr di ragguaglio areale unici per tutti il bacino in funzione della durata dell'evento.

Tale metodologia forniva dei contributi spesso eccessivamente cautelativi in modo particolare sul torrente Pescia di Pescia. Per tale motivo nel presente studio il valore del Kr viene calcolato con una diversa metodologia definita "globale".

Il metodo "globale" consente di calcolare il valore del Kr nel caso in cui sia necessario conoscere i contributi di una serie di interbacini in serie in modo da mantenere, da monte verso valle, il volume affluito uguale a quello che si avrebbe per ciascuna sezione di chiusura sul reticolo principale.

Per il calcolo di Kr dell'interbacino Ka si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte Km e per la sezione di valle Kv procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}.$$

dove: Kv = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle; Av = area del bacino di valle; Km = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte; Am = area del bacino di monte.

### 3.3.2 Gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno

La valutazione degli idrogrammi di piena è stata condotta sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti utilizzando il modello afflussi - deflussi i cui parametri sono stati tarati su eventi reali verificatesi nel bacino del Padule di Fucecchio e applicando delle precipitazioni con intensità costante coerenti con le Curve di Possibilità Pluviometrica.

Il calcolo delle sollecitazioni al sistema idraulico ipotizza eventi caratterizzati da un campo di precipitazione a intensità costante, di fissata durata e fissato tempo di ritorno interessante tutto il bacino. Le durate degli eventi sono definite in modo tale da comprendere le varie condizioni critiche.

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati per le durate di 1, 3, 6, 12, 18, 24, 36 ore e per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni su un totale di 62 immissioni.



Nella Figura 3-17 si riporta la planimetria delle immissioni al sistema idraulico.

Gli idrogrammi di piena calcolati con il modello idrologico sono state verificate sulla base dei risultati delle modellazioni idrauliche condotte per i comuni limitrofi dal Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio a supporto dei rispettivi strumenti urbanistici.

In particolare sono stati modificati gli idrogrammi di piena nella sezione iniziale dei seguenti corsi d'acqua:

- Pescia di Pescia;
- Pescina;
- Montecarlo;
- Pescia di Collodi.

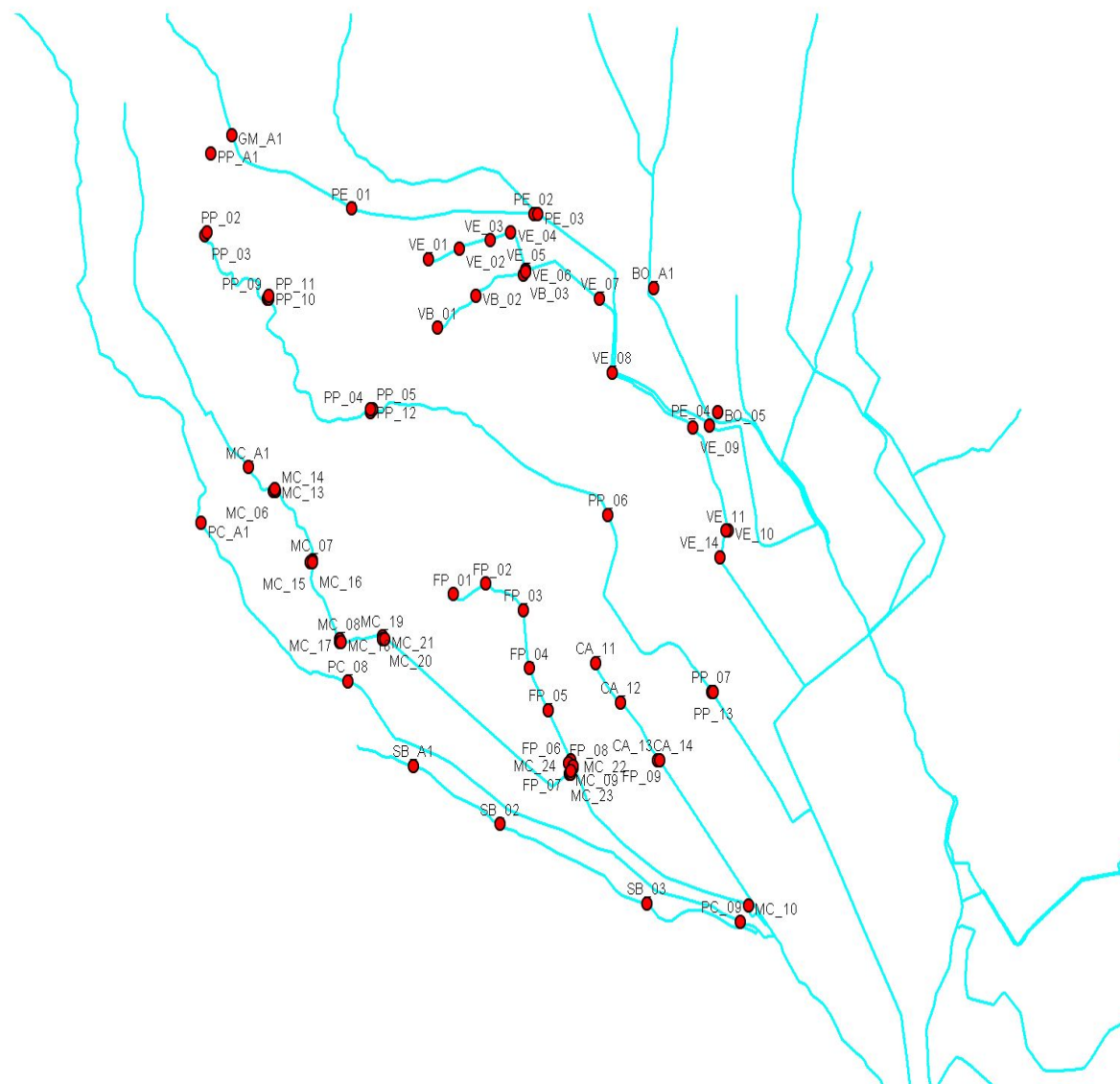


Figura 3-17 – Immissioni al sistema idraulico

## 4 ANALISI IDRAULICA

Il modello idraulico prevede la simulazione in moto vario della rete dei corsi d'acqua e la modellazione quasi-bidimensionale e bidimensionale delle aree di potenziale esondazione.

Il modello di moto vario monodimensionale consente la simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua, mentre il modello bidimensionale permette la simulazione dei fenomeni propagazione delle esondazione nelle aree circostanti. Ai fini della perimetrazione delle aree inondabili è stato fatto riferimento ai battenti idrici massimi (inviluppo) che si instaurano in ciascuna cella del modello digitale del terreno durante la simulazione numerica.

Le indagini per la valutazione della pericolosità idraulica e l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza sono state svolte per corsi d'acqua, inseriti nell'elenco della D.G.R.T. 12/00, che insistono sul comune di Ponte Buggianese riportati nella Tabella 4-1:

CODICE	NOME
PT471	Fiume Pescia di Pescia
PT545	Canale del Capannone
PT2482	Torrente Borra
PT1436	Fosso di Montecarlo
PT1523	Fosso delle Pietre
PT2753	Torrente Pescia di Collodi
PT1768	Fosso Sibolla
PT2757	Torrente Pescia Nuova
PT2997	Fosso del Vescovo

Tabella 4-1 – Corsi d'acqua oggetto dello studio

Il sistema costituito dal modello idrologico e dal modello idraulico consentirà di produrre i seguenti risultati:

- ✓ portate di piena per i diversi tempi di ritorno in varie sezioni del reticolo fluviale;
- ✓ livelli idrometrici per i diversi tempi di ritorno in varie sezioni del reticolo studiato;
- ✓ battenti di esondazione;
- ✓ velocità di propagazione;
- ✓ aree inondabili;
- ✓ individuazione degli interventi di messa in sicurezza.

#### **4.1 Il modello idraulico**

Il modello idraulico adottato si basa sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente unidimensionale, associate a una opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito. Le equazioni, nella loro formulazione generale di De Saint Venant, esprimono le caratteristiche idrauliche (portata, carico piezometrico, altezza d'acqua, velocità) in funzione del tempo e dello spazio.

In generale, la risoluzione dello schema di moto vario viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalla sezioni geometriche rilevate (*discretizzazione spaziale*) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (*discretizzazione temporale*).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e, per lo schema di moto vario, anche dal passo temporale adottato. Nel presente caso il passo temporale adottato è stato di 1 ora.

Gli elementi che compongono il modello idraulico sono riportati nella Tavola T01.

#### **4.2 Il modello in moto vario**

In particolare, le equazioni di moto vario sono state applicate per lo studio della propagazione delle onde di piena, ovvero per la stima delle condizioni idrometriche dei presenti corsi d'acqua interessati da onde di piena.

Il modello di moto vario si basa sulle equazioni di continuità e di moto per una corrente liquida incomprimibile e unidirezionale in condizioni non stazionarie; tali equazioni risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad [4.2.1]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0 \quad [4.2.2]$$

in cui:

- $A$  = area della sezione liquida [m<sup>2</sup>];
- $Q$  = portata [m<sup>3</sup>/s];
- $q(x)$  = portata laterale (positiva se entrante) [m<sup>2</sup>/s];
- $H$  = carico totale della corrente [m];
- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];
- $U$  = velocità media della corrente [m/s];
- $J$  = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;
- $x$  = ascissa corrente lungo l'alveo [m];
- $t$  = tempo [s].

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R} \quad [4.2.3]$$

ove, oltre ai simboli già noti,  $R$  è il raggio idraulico e  $C$  il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad [4.2.4]$$

ove  $K_s$  [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Nel caso specifico è stata adottata come scabrezza di G.S. 40 [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>] valore caratteristico di alvei naturali regolari con erba sul fondo e con ridotto trasporto solido.

Il coefficiente  $C$  (e i valori  $\alpha$  e  $\beta$  coefficienti di ragguaglio dell'energia e della quantità di moto) sono calcolati con il metodo di Engelund (1964) che suddivide la sezione in strisce verticali fornendo le seguenti espressioni:

$$C^2 = \frac{1}{\Omega^2 R} \left( \int c r^{\frac{1}{2}} d\Omega \right)^2$$

$$\beta = \Omega \frac{\int c^2 r d\Omega}{\left( \int c r^{\frac{1}{2}} d\Omega \right)^2}$$

$$\alpha = \Omega^2 \frac{\int c^3 r^{\frac{3}{2}} d\Omega}{\left( \int c r^{\frac{1}{2}} d\Omega \right)^3}$$

dove:

C = coefficiente di Chezy adimensionale;

$\alpha$  = coefficiente di ragguaglio dell'energia;

$\beta$  = coefficiente di ragguaglio della quantità di moto;

$\Omega$  = area della sezione;

R = raggio idraulico;

c = coefficiente di Chezy adimensionale della singola striscia;

r = raggio idraulico della singola striscia;

d $\Omega$  = area della singola striscia.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si sono valutate le perdite di carico effettivo addizionali,  $\Delta H$ , mediante la formula:

$$\Delta H = \xi \Delta \left( \alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad [4.2.5]$$

ove  $\alpha$  è il coefficiente di ragguaglio della energia cinetica e  $\xi$  può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.9 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento. Tali coefficienti sono stati assunti in generale pari a 0.1 (contrazione) e 0.2 (espansione), in corrispondenza dei ponti sono stati di norma utilizzati i coefficienti 0.15 (contrazione) e 0.3 (espansione).

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per via numerica, discretizzandole opportunamente alle differenze finite, e associandovi appropriate condizioni al contorno.

Le equazioni ridotte in forma numerica sono in generale risolte in forma implicita approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini. In particolare sono utilizzate le seguenti formulazioni:

$$\begin{aligned}
 A &= p_s p_t A_i^k + p_s (1 - p_t) A_i^{k+1} + (1 - p_s) p_t A_{i+1}^k + (1 - p_s) (1 - p_t) A_{i+1}^{k+1} \\
 \frac{\partial A}{\partial s} &= p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \\
 \frac{\partial A}{\partial t} &= p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1 - p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta t}
 \end{aligned}
 \tag{4.2.6}$$

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo e l'indice  $i$  allo spazio). I valori utilizzati in genere per  $p_s$  e  $p_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, in corrispondenza delle sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata.

Nell'ipotesi di corrente lenta, le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso nella sezione di chiusura di valle, del tipo:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0 \tag{4.2.7}$$

dove  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $q_0$  sono i parametri della scala di deflusso, mentre nella sezione di monte si assegna un idrogramma di portata.

Come condizione di valle può essere assunto, inoltre, un livello idrometrico o una portata variabili nel tempo. E' inoltre possibile inserire una portella nella simulazione che impedisce il rigurgito verso monte annullando la portata.

Nelle presenti simulazioni è stato assunto come condizione di valle il livello idrometrico del Cratere Palustre e come condizioni al contorno il livelli delle aree di potenziale esondazione derivanti dallo Studio Physis a supporto del RU e Integrazione.

Nel caso di condizioni locali di corrente veloce, la profondità viene fissata sul valore critico. In particolare l'equazione di moto a valle della sezione viene sostituita dalla condizione di corrente critica nella sezione in esame.

La simulazione di eventuali fenomeni di esondazione è stata condotta associando al modello idraulico non stazionario appena descritto un modello quasi-bidimensionale e bidimensionale, definiti mediante la rappresentazione “a celle di accumulo” e distribuita delle aree inondabili adiacenti il corso d’acqua.

### **4.3 Il modello di inondazione quasi - bidimensionale**

La modellazione *quasi-bidimensionale tipo Cunge*, integra il modello mono-dimensionale con quello a macro-aree interconnesse.

Nel modello tipo Cunge l'area potenzialmente inondabile viene immaginata composta da aree elementari connesse idraulicamente tra loro e con l'asta fluviale da soglie sfioranti. La definizione delle aree elementari che compongono le aree di potenziale inondazione deve avvenire con criteri di massima verosimiglianza del modello alla realtà: pertanto ad ogni struttura di contenimento identificabile sul territorio (quali i rilevati stradali e ferroviari, muri e argini) deve corrispondere il bordo di una o più aree.

La delimitazione e la modellazione di tali aree, dette *aree di laminazione*, per le quali risulta prevalente il fenomeno di invaso rispetto a quello di trasporto, avviene secondo le seguenti fasi:

- *individuazione e acquisizione delle strutture di contenimento*  
le aree elementari di potenziale esondazione sono delimitate da elementi di contorno rappresentati da argini, rilevati stradali e ferroviari, contenimenti naturali. L'individuazione di tali elementi è stata condotta sulla base cartografica della C.T.R. 1:2000 acquisita in forma digitale vettoriale;
- *caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale inondazione*  
in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle aree elementari sulla base della cartografia con l'obiettivo di ricavare la legge di riempimento quota-volume di inondazione in funzione dei livelli di piena nella forma:

$$V = A(y - y_0)^B \quad [4.2.8]$$

in cui  $y_0$  è la quota minima del terreno all'interno dell'area.

- *definizione delle connessioni idrauliche*



sulla base dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali ed idrauliche del territorio sono definite le caratteristiche delle connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le aree di potenziale esondazione, e tra le aree stesse.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente *per tracimazione* delle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio. Anche gli elementi infrastrutturali, delimitanti le aree di potenziale inondazione (i.e. rilevati stradali, ferroviari, etc.), si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area potenzialmente inondabile avviene seguendo la legge di riempimento quota-volume (4.2.8)];
- il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area sia area/area avviene con la legge degli stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo. La legge di deflusso adottata è la seguente:

$$Q_{sf} = l(\mu_1 h_2 - \mu_2 h_1) \sqrt{2gh_1} \quad [4.2.9]$$

dove  $l$  è la lunghezza della soglia,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  sono pari rispettivamente a 0.65 e 0.4,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia. Mentre la quota di sfioro delle connessioni alveo/area o area/area è in generale ben definibile come la quota inferiore dell'elemento di contenimento che separa le aree stesse, invece la lunghezza del fronte di sfioro ha un valore dipendente in linea di massima dalla densità spaziale delle sezioni fluviali o dalla lunghezza dei lati delle aree.

Il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avviene in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità dei volumi. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato in ciascuna cella sia univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e che le portate scambiate siano funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

In particolare, l'equazione di continuità per la generica area  $k$ -esima risulta la seguente:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i) \quad [4.2.10]$$

ove  $A_{ck}$  rappresenta la superficie allagata nell'area  $k$ -esima,  $h_k$  è l'altezza d'acqua relativa,  $Q_{ki}$  è la portata scambiata con l'area  $i$ -esima adiacente in funzione delle relative altezze idriche e la sommatoria è estesa a tutte le aree in comunicazione diretta con l'area  $k$ -esima.

Nel presente caso la modellazione quasi-bidimensionale è stata adottata per la sola area posta lungo l'affluente di sinistra del torrente Pescia di Pescia in località Casa Gonfiotti - Camporcioni. Tale area comprende l'alveo e la cassa di espansione dell'affluente dall'Autostrada A11 fino alla confluenza nel torrente Pescia di Pescia (Tavola T01).

#### **4.4 Il modello di inondazione bidimensionale**

Le aree di potenziale esondazione possono essere modellate anche come oggetto bidimensionale a patto di fornire un modello digitale del terreno rappresentativo della loro altimetria.

La risoluzione dello schema di inondazione bidimensionale è ottenuta mediante la risoluzione di un sistema alle derivate parziali, di tipo iperbolico, non lineare, costituito dalle equazioni complete di De Saint Venant scritte in forma bidimensionale.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad [4.2.11]$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad [4.2.12]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad [4.2.13]$$

in cui:

$x$  = coordinata longitudinale;

y = coordinata trasversale;  
t = coordinata temporale;  
h = altezza d'acqua;  
u = componente di velocità nella direzione x;  
v = componente di velocità nella direzione y;  
M = uh = flusso della corrente in direzione x;  
N = uh = flusso della corrente in direzione y;  
h = altezza d'acqua;  
H = quota della superficie libera;  
 $\rho$  = densità dell'acqua;  
 $\tau_x$  = sforzo tangenziale al fondo nella direzione x;  
 $\tau_y$  = sforzo tangenziale al fondo nella direzione y.

In particolare, gli sforzi tangenziali lungo x e y sono stati valutati nel modo seguente:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [4.2.14a]$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [4.2.14b]$$

avendo indicato con  $n$  il coefficiente di scabrezza di Manning assunto nel caso specifico pari a 0.067 [m<sup>-1/3</sup>s] (15 [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>] di G.S.).

La risoluzione delle equazioni sopra scritte viene svolta numericamente mediante uno schema alle differenze finite di tipo implicito accoppiato ad appropriate condizioni al contorno.

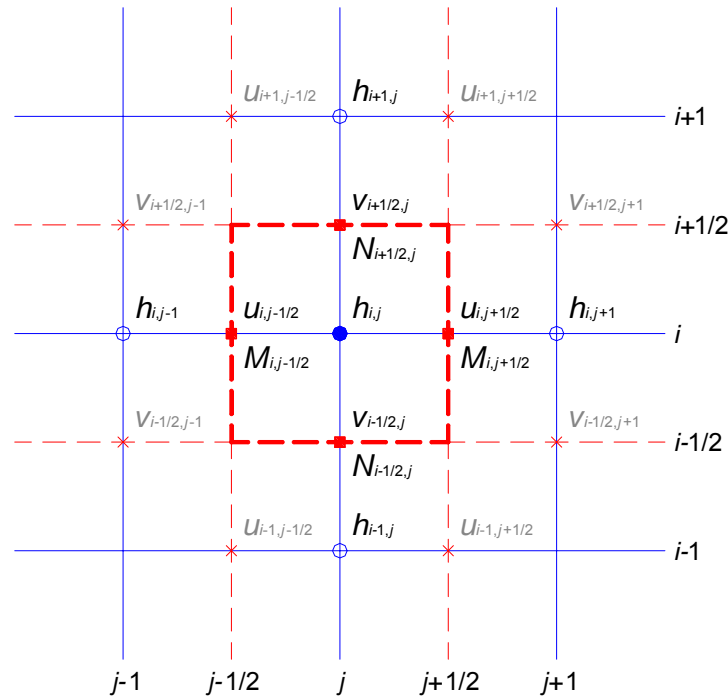


Figura 4-1 – Griglia di calcolo equazione di continuità

In particolare, facendo riferimento allo schema di Figura 4-1, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione di continuità:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{h_{i,j}^{k+1} - h_{i,j}^k}{\Delta t} \\ \frac{\partial M}{\partial \mathbf{x}} &= p_t \left( \frac{M_{i,j+1/2}^k - M_{i,j-1/2}^k}{\Delta \mathbf{x}} \right) + (1 - p_t) \left( \frac{M_{i,j+1/2}^{k+1} - M_{i,j-1/2}^{k+1}}{\Delta \mathbf{x}} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial \mathbf{y}} &= p_t \left( \frac{N_{i+1/2,j}^k - N_{i-1/2,j}^k}{\Delta \mathbf{y}} \right) + (1 - p_t) \left( \frac{N_{i+1/2,j}^{k+1} - N_{i-1/2,j}^{k+1}}{\Delta \mathbf{y}} \right) \end{aligned} \right. \quad [4.2.15]$$

in cui:

$$\begin{aligned}
M_{i,j-1/2}^k &= u_{i,j-1/2}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i,j-1}^k]; & N_{i-1/2,j}^k &= v_{i-1/2,j}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i-1,j}^k]; \\
M_{i,j+1/2}^k &= u_{i,j+1/2}^k [p_s h_{i,j+1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; & N_{i+1/2,j}^k &= v_{i+1/2,j}^k [p_s h_{i+1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; \\
M_{i,j-1/2}^{k+1} &= u_{i,j-1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j-1}^{k+1}]; & N_{i-1/2,j}^{k+1} &= v_{i-1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i-1,j}^{k+1}]; \\
M_{i,j+1/2}^{k+1} &= u_{i,j+1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j+1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}]; & N_{i+1/2,j}^{k+1} &= v_{i+1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i+1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}].
\end{aligned}
\tag{4.2.16a,b}$$

Mentre, facendo riferimento allo schema di Figura 4-2, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione x:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{M_{i,j}^{k+1} - M_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(uM)_{i,j}^{k+1} - (uM)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial(uM)}{\partial x} &= p_t \left( \frac{(uM)_{i,j}^k - (uM)_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(uM)_{i,j}^{k+1} - (uM)_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial(vM)}{\partial y} &= p_t \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^k - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial x} &= g \left[ p_t (p_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_x &= gn^2 (p_t u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-p_t) u_{i,j-1/2}^k) \cdot [p_t (p_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1})]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\langle (p_t u_{i,j-1/2}^k + (1-p_t) u_{i,j-1/2}^{k+1})^2 + \{ p_t [p_s (p_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^k) + \right. \\
 &\quad + (1-p_s) (p_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^k)] + (1-p_t) [p_s (p_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) + \\
 &\quad \left. + (1-p_s) (p_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^{k+1})] \}^2 \right\rangle^{1/2}
 \end{aligned} \right. \quad [4.2.17]$$

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uM)_{i,j-1}^k &= [p_s u_{i,j-3/2}^k \cdot u_{i,j-3/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k] h_{i,j-1}^k ; \\
 (uM)_{i,j}^k &= [p_s u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k \cdot u_{i,j+1/2}^k] h_{i,j}^k ; \\
 (uM)_{i,j-1}^{k+1} &= [p_s u_{i,j-3/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-3/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1}] h_{i,j-1}^{k+1} ; \\
 (uM)_{i,j}^{k+1} &= [p_s u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j+1/2}^{k+1}] h_{i,j}^{k+1} ;
 \end{aligned} \quad [4.2.18a]$$

$$\begin{aligned}
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i-1,j-1}^k + (1-p_s) h_{i-1,j}^k) + (1-p_s) (p_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^k &= \left[ (p_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^k) \cdot (p_s u_{i,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i+1,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_s) (p_s h_{i+1,j-1}^k + (1-p_s) h_{i+1,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i-1,j}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (p_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \cdot (p_s u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i+1,j-1/2}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s h_{i+1,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i+1,j}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}
 \tag{4.2.18b}$$

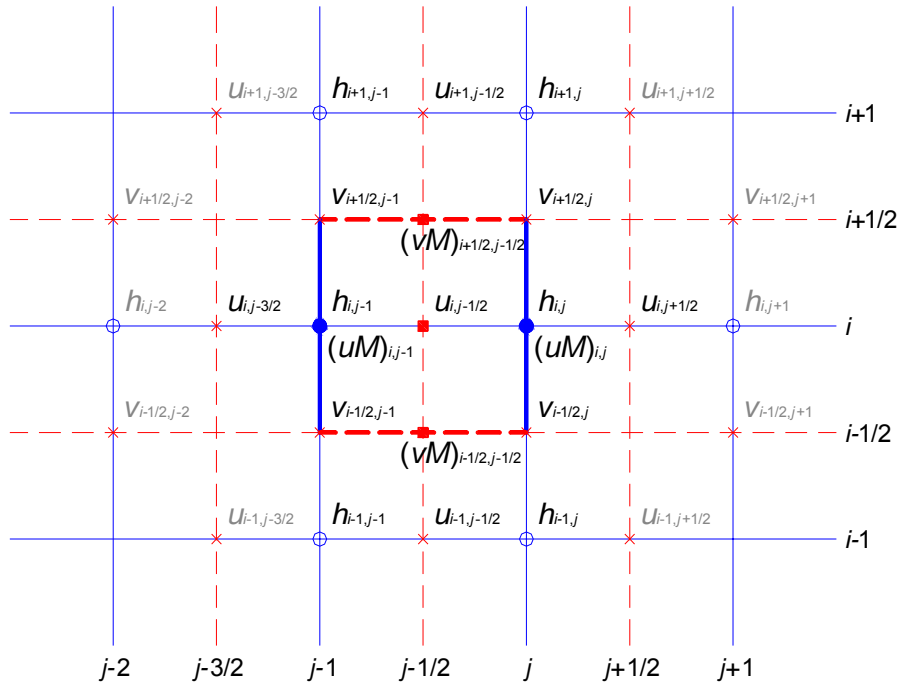


Figura 4-2 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo X

Infine, facendo riferimento allo schema di Figura 4-3, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione y:

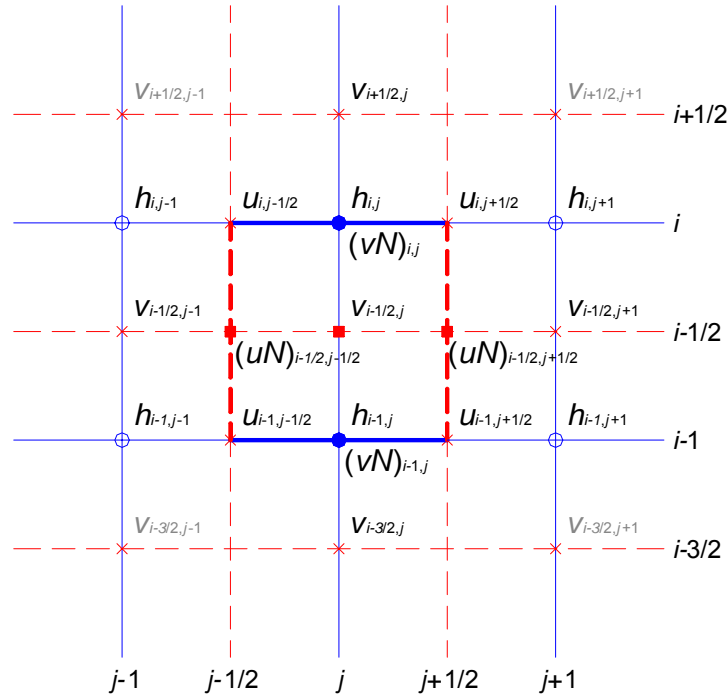


Figura 4-3 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{N_{i,j}^{k+1} - N_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(vh)_{i,j}^{k+1} - (vh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial (uN)}{\partial x} &= p_t \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^k - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial (vN)}{\partial y} &= p_t \left( \frac{(vN)_{i,j}^k - (vN)_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(vN)_{i,j}^{k+1} - (vN)_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial y} &= g \left[ p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_y &= gn^2 (p_t v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^k) \cdot [p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1})]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\{ p_t [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k)] + \right. \\
 &\quad \left. + (1-p_t) [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1})] \right\}^2 + \\
 &\quad \left. + (p_t v_{i-1/2,j}^k + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^{k+1})^2 \right\}^{1/2}
 \end{aligned}$$

[4.2.19]

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i-1,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j-1}^k) + (1-p_s) (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^k &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j+1}^k) \cdot (p_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i,j+1}^k) + (1-p_s) (p_s h_{i-1,j+1}^k + (1-p_s) h_{i,j+1}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j-1}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} &= \left[ (p_s v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j+1}^{k+1}) \cdot (p_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ p_s (p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j+1}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s h_{i-1,j+1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j+1}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}$$

[4.2.20a]

$$\begin{aligned}
 (vN)_{i,j-1}^k &= [p_s v_{i-3/2,j}^k \cdot v_{i-3/2,j}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k] h_{i,j-1}^k ; \\
 (vN)_{i,j}^k &= [p_s v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^k \cdot v_{i+1/2,j}^k] h_{i,j}^k ; \\
 (vN)_{i,j-1}^{k+1} &= [p_s v_{i-3/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-3/2,j}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1}] h_{i,j-1}^{k+1} ; \\
 (vN)_{i,j}^{k+1} &= [p_s v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i+1/2,j}^{k+1}] h_{i,j}^{k+1} ;
 \end{aligned}$$

[4.2.20b]

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo, mentre gli indici  $i$  e  $j$  sono riferiti rispettivamente alle coordinate lungo  $x$  e  $y$ ). I valori utilizzati per  $p_s$  e  $p_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45 che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, al variare del tempo, si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata. La propagazione delle esondazioni avviene in condizioni di corrente lenta.

Il modello digitale del terreno, riportato nelle Tavole T01 ha una maglia di 50 m.



## **5 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA ALLO STATO ATTUALE**

Il sistema idraulico dello stato attuale è stato così schematizzato:

- 17 tronchi;
- 61 immissioni di portata;
- 1 area di esondazione bidimensionale;
- 1 area di espansione quasi-bidimensionale;
- 881 connessioni idrauliche;
- 18 paratoie di cui 14 dotate di paratie di non ritorno.

Le sezioni utilizzate per la modellazione idraulica allo stato attuale sono complessivamente in numero pari a 413.

La geometria viene considerata “fissa nel tempo”, prescindendo quindi da evoluzioni del letto sul breve e lungo periodo e ignorando di conseguenza i fenomeni di erosione e deposito di tipo generalizzato e localizzato.

L'ubicazione delle sezioni topografiche è riportata nella Tavola T01.

I profili longitudinali sono riportati nella Tavola T02.

### **5.1 Il modello digitale delle aree inondabili**

Il modello digitale del terreno con passo 50m x 50m è stato ricavato per aggregazione del rilievo Lidar della Regione Toscana 1m x 1m .

Nella fase di aggregazione in corrispondenza dei rilevati è stata attribuita alla cella 50m x 50m la massima quota del modello 1m x 1m, nei restanti casi è stata assegnata la quota media.

Il modello digitale del terreno è collegato alle sezioni fluviali attraverso una serie di soglie sfioranti.

### **5.2 Le condizioni al contorno**

Le condizioni al contorno imposte al modello idraulico sono le seguenti:

- condizioni di portata nelle sezioni di monte e intermedie del reticolo (come descritte nel paragrafo precedente);

- condizioni di livello nella sezione di valle dei vari tratti studiati ricavata dal modello utilizzato per il precedente studio a supporto del RU;
- condizioni di livello nelle aree esterne al sistema ricavate dai livelli nelle aree di potenziale esondazione (APE) del modello utilizzato per il precedente studio a supporto del RU verificate sulla base degli studi del comune di Chiesina Uzzanese.

### 5.3 Applicazione del modello e risultati

Il modello idrologico-idraulico è stato applicato sul sistema illustrato in precedenza.

Per ciascun tempo di ritorno e per ciascuna durata il modello fornisce:

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico;
- volumi e livelli idrometrici nelle aree di esondazione;
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

I tabulati relativi ai massimi valori in termini di livelli idrici e di portate sono riportati nell'Allegato A02.

Nella Tavola T02 si riportano i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche per i diversi tempi di ritorno, per i tratti di reticolo studiato ricadenti nel comune di Ponte Buggianese.

Nell'Allegato A03 si riportano i profili delle sezioni trasversali.

Le portate al colmo per i vari tempi di ritorno per alcune sezioni nei tratti ricadenti nel Comune di Ponte Buggianese esterni all'area del Padule sono riportate nella Tabella 5-1 .

Descrizione	Sezione	Tr 20	Tr 30	Tr 100	Tr 200	Tr 500
Sibolla a Casa Narducci	SB0017_A	7.7	8.5	11.4	13.4	16.9
Sibolla all'Argine Strada	SB0080_A	18.9	20.2	25.2	27.6	33.3
Pescia di Collodi a P. Casa Bianca	PC0023_	124.9	130.4	144.5	151.8	169.2
Pescia di Collodi al Padule	PC0006_	82.6	89.9	92.8	106.7	102.7
Montecarlo a Ponte alle Parti	MC2064_	13.9	15.1	18.0	19.7	23.0
Montecarlo alla Turbina	MC2044_	21.1	22.6	30.2	33.7	37.8
Montecarlo al Padule	MC1440_	30.4	32.5	37.2	39.5	40.4
Pietre a Vione	FP2001B_	3.0	3.3	4.7	5.7	7.1
Pietre a Anchione	FP2008A_	9.2	10.7	15.6	18.4	21.6
Pietre alla Turbina	FP2010_	10.6	11.3	15.7	17.9	19.7

Descrizione	Sezione	Tr 20	Tr 30	Tr 100	Tr 200	Tr 500
Capannone al Anchione	CA2001B_	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
Capannone al Padule	CA2008D_	1.1	1.2	4.8	4.9	5.9
Pescia di Pescia a Gambino	PP0225_	236.4	260.2	294.0	305.3	306.2
Pescia a Ponte alla Guardia	PP1325_A	231.0	239.8	238.6	261.6	276.1
Pescia al Padule	PP1405_	201.7	205.1	221.8	228.4	250.0
Vescovo a Casabianca	VE2008_A	3.0	3.3	4.2	4.7	5.5
Vescovo a Podere Castellaccio	VE1037_D	9.8	10.8	12.4	12.8	13.6
Pescina a Molino Nuovo	PE0020_	38.8	42.9	61.4	70.0	74.8
Pescina a valle confluenza Cessana	PE0090_	44.3	48.0	65.5	71.9	68.4
Pescina al Padule	PE0170_	90.8	94.2	126.3	138.3	153.7
Borra a podere del Liscaio	BO0185_	55.2	62.0	82.8	96.1	116.0
Borra al Padule	BO0270_	54.8	62.3	82.4	93.6	107.6

Tabella 5-1 – Portate al colmo [mc/s] in alcune sezioni significative

## 5.4 Le principali criticità

### 5.4.1 Fosso Sibolla

Il fosso Sibolla nel tratto studiato presenta una criticità diffusa già per tempi di ritorno di 20 anni. Le criticità sono dovute nella parte di monte dalla presenza di una serie di attraversamenti non sufficienti e nella parte di valle dal rigurgito del Padule di Fucecchio. Peraltro le aree inondate, comprese tra la Sibolla e il torrente Pescia di Collodi non risultano urbanizzate pertanto il rischio risulta modesto.

### 5.4.2 Torrente Pescia di Collodi

Nonostante gli interventi realizzati nel tratto fra Ponte Pini nel Comune di Altopascio e il Ponte alla Ralla nel tratto di valle si registrano sormonti dalle sommità arginali già a partire dal tempo di ritorno di 20 anni. Le esondazioni interessano in sponda destra aree prettamente agricole mentre in sponda sinistra sono presenti diversi centri rurali.

### 5.4.3 Fosso Montecarlo

In seguito agli interventi realizzati il tratto fino al podere Gremignaio risulta adeguato. A valle il fosso di Montecarlo presenta notevoli criticità già a partire dal tempo di ritorno di 20 anni. Le criticità sono dovute alle quota delle arginature che non sono in grado di contenere il rigurgito del Padule. Le aree inondate in destra e in sinistra idraulica sono a prevalente uso agricolo (fatta eccezione per la presenza del nucleo urbano del Vione in sponda sinistra). Si segnala che a valle del Ponte alle Parti in sinistra idraulica il fosso di Montecarlo è affiancato da un canale di acque basse fino alla località Le Colmate, modeste esondazioni possono pertanto

essere recapitate verso quest'ultimo punto. In località La Turbina nel fosso di Montecarlo affluisce il fosso delle Pietre che drena la zona del Vione. A valle di tale confluenza permangono forti criticità.

#### 5.4.4 Fosso Le Pietre

Il fosso delle Pietre presenta nella parte di monte del tratto studiato una serie di criticità dovute alla presenza di numerosi piccoli attraversamenti di accesso ad abitazioni o terreni. Più a valle in corrispondenza di via Colmate del Cerro si registra la sezione maggiormente critica a causa della presenza del ponte e di contenimenti non adeguati già per tempo di ritorno di 20 anni. Nella parte a monte del suddetto ponte le aree inondate sono in prevalenza quelle in sinistra idraulica. A valle la criticità è dovuta al rigurgito del Padule di Fucecchio.

#### 5.4.5 Fosso Capannone

Il fosso del Capannone si presenta critico per tempi di ritorno maggiori di 30 anni. A valle del ponte su Via Ponte dei Pallini in sponda destra risulta già critico per 20 anni di tempo di ritorno. Si osserva che il fosso del Capannone si immette in Padule attraversando l'argine strada con due tubi di diametro 1.0 m privi di portella per evitare il rigurgito delle acque del Padule. Pertanto per gli eventi di breve durata il deflusso è ostacolato dal restringimento mentre per gli eventi di lunga durata lo stesso non impedisce alle acque del Padule di risalire nel fosso del Capannone. Le aree inondate risultano a prevalente uso agricolo.

#### 5.4.6 Torrente Pescia di Pescia

Il torrente Pescia di Pescia presenta un capacità di deflusso inadeguata alle portate provenienti da monte. La portata in ingresso al tratto interno al comune di Ponte Buggianese (305 mc/s) alla sezione di ingresso in Padule risulta fortemente laminata (228 mc/s). La criticità principale si concentra a monte dell'abitato di Ponte Buggianese ed è dovuta in parte al restringimento del tratto urbano (larghezza della sezione di circa 14.0 m) e in parte alla quota degli argini. In tale tratto si registrano le principali esondazioni che vanno ad interessare sia la parte in sinistra idraulica (zona Camporcioni e Casabianca) che la parte in destra (abitato di Ponte Buggianese). Le esondazioni si registrano già a partire dal tempo di ritorno di 20 anni. Poiché il deflusso avviene con livelli pari alla quota arginale tutti i ponti risultano in pressione già per la portata ventennale.

#### 5.4.7 Fosso del Vescovo

Il fosso del Vescovo presenta estese criticità per tutto il tratto esaminato. A monte del ponte della S.P. del Porrione del Terzo la criticità è legata principalmente alla ridotta dimensione della sezione e alla presenza di numerosi attraversamenti che costituiscono ostacolo al deflusso delle acque. A valle del suddetto ponte le criticità sono dovute in modo particolare al rigurgito del Padule e in subordine alla dimensione della sezione.

Le aree inondate nel primo tratto sono aree urbanizzate ad uso industriale e civile. Nella parte a valle le aree inondate sono invece a prevalente uso agricolo.

Si segnala che a valle della S.P. del Porrione del Terzo il fosso del Vescovo è affiancato da un canale di acque basse che sottopassa lo stesso fosso poco prima del suo ingresso nel Padule.

#### 5.4.8 Torrente Pescina

Il torrente Pescina presenta le maggiori criticità a monte del Comune di Ponte Buggianese (a monte della confluenza del Rio Torto quando prende la denominazione di Gora dei Mulini o Rio Goricino). In tale tratto sono presenti una serie di attraversamenti alcuni dei quali vanno in crisi già per 20 anni di tempo di ritorno. Si segnala inoltre il tratto critico in località Molin Nuovo. Nella parte a valle anche a seguito delle consistenti esondazioni nella parte di monte le criticità risultano meno significative. A valle della confluenza con il torrente Cessana, a monte dell'ingresso nel Padule, si rileva una insufficienza nella quota delle arginature.

#### 5.4.9 Torrente Borra

Il torrente Borra si trova al confine est del Comune di Ponte Buggianese oltre il torrente Pescina. Nel tratto di interesse il corso d'acqua presenta una criticità diffusa per tempi di ritorno superiori a 30 anni. Peraltro le aree inondate nel Comune di Ponte Buggianese sono ad esclusivo uso agricolo e il rischio risulta moderato.

## 6 VALUTAZIONE DELLE AREE INONDABILI

Il tracciamento delle aree inondabili è stato condotto sulla base dei battenti di esondazione e sulla base delle quote altimetriche del rilievo Lidar 1 m x 1 m.

In considerazione della precisione del rilievo Lidar stimabile in +/- 0.3/0.15 m e della precisione intrinseca del modello adottato non sono state perimetrate le aree allagabili e le pericolosità per battenti inferiori a 10 cm. (Tavola T03 e Tavola T04).

A partire dalla mappa delle aree allagabili è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dal Regolamento 53/R (**I4** eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni, **I3** eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni e **I2** eventi con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni) (Tavola T05).

Analogamente è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dalla Autorità di Bacino del fiume Arno secondo il seguente criterio (Tavola T06):

- pericolosità idraulica molto elevata (**P.I.4**): comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;
- pericolosità idraulica elevata (**P.I.3**): comprendente le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni con battente  $h < 30$  cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno  $30 < TR \leq 100$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;
- pericolosità idraulica media (**P.I.2**): comprendente le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $30 < TR \leq 100$  anni e con battente  $h < 30$  cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $100 < TR \leq 200$  anni ;
- pericolosità idraulica moderata (**P.I.1**): comprendente le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $200 < TR \leq 500$  anni.

La perimetrazione delle aree inondabili è stata condotta sulla base delle simulazioni idrauliche condotte sul reticolo oggetto di indagine in accordo con la metodologia innanzi descritta.

I risultati della perimetrazione sono sinteticamente riportati nella Tabella 6-1, nella tabella si riporta anche la percentuale di area allagata rispetto alla superficie totale del Comune pari a 2937.23 ha.

	Area [ha]	%
TR30	2034	69
TR100	2533	86
TR200	2675	91

Tabella 6-1 - Estensione delle aree inondabili per i diversi tempi di ritorno



Gli scenari definiti con la presente modellazione possono essere confrontati con la cartografia allegata allo studio *“Indagini idrologiche e idrauliche a supporto del Regolamento Urbanistico – Integrazione”* del 2008 riportata in Figura 6-1.

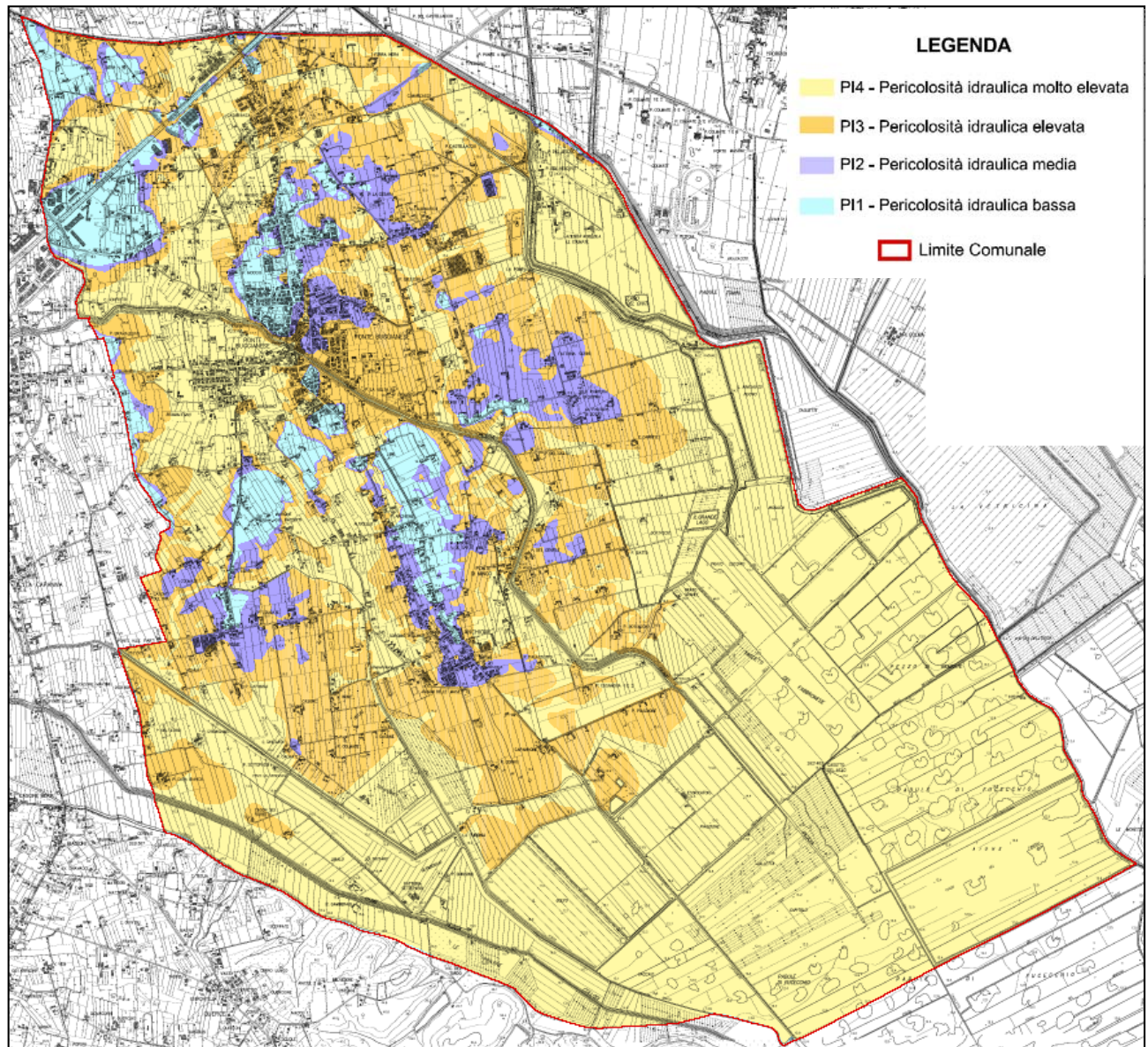


Figura 6-1 – Carta della perimetrazione idraulica allegata allo studio a supporto del Regolamento Urbanistico del 2008.

## **6.1 Descrizione delle aree inondabili**

### **6.1.1 Aree tra il torrente Pescia di Collodi e il fosso Sibolla**

L'area compresa tra il fosso Sibolla e il torrente Pescia di Collodi risulta inondabile già per tempo di ritorno di 20 anni. Peraltro si tratta di un'area a esclusivo uso agricolo pertanto il rischio idraulico risulta modesto. I battenti sono compresi tra 0.5 m e 3.0 m già per tempi di ritorno di 20 anni e arrivano oltre a 3.0 m per il tempo di ritorno duecentennale.

### **6.1.2 Aree tra il fosso di Montecarlo e il torrente Pescia di Collodi**

L'area tra il fosso di Montecarlo e il Pescia di Collodi risulta inondabile già per tempi di ritorno di 20 anni a causa delle esondazioni della Pescia. Per il tempo di ritorno di 20 anni in alcuni punti si registrano battenti anche di 2.0 m che arrivano fino a 3.0 m per il tempo di ritorno di 200 anni. Nell'area sono presenti alcune fattorie, l'uso prevalente è agricolo.

### **6.1.3 Area tra il torrente fosso delle Pietre e il fosso di Montecarlo**

L'area risulta inondabile per il tempo di ritorno ventennale nella parte terminale (località Le Colmate) e più a monte in prossimità del fosso di Montecarlo (tra Case Ghiliardi e Ponte alla Parti) con battenti nell'ordine di 0.2 m - 1.0 m nella prima zona e di 0.4 m - 1.0 m nella seconda. La località Vione risulta inondabile con tempo di ritorno di 100 anni, con battenti dell'ordine di 15 cm - 50 cm. La parte centrale del nucleo abitato risulta inondabile con tempi di ritorno superiori a 200 anni

### **6.1.4 Area tra il torrente Pescia di Pescia e il fosso delle Pietre**

L'area compresa tra il Pescia di Pescia e il fosso delle Pietre presenta due macroaree inondabili con tempo di ritorno di 20 anni:

- area in sinistra del torrente Pescia di Pescia corrispondente all'abitato di Ponte Buggianese fino a Margine del Bassetti (battenti Tr 20 di 10 cm - 25cm);
- area a valle di Anchione fino all'argine strada (battenti Tr 20 di 0.2 m - 1.5 m).

Con tempo di ritorno 100 anni l'area, ad eccezione di Anchione, risulta inondabile. I battenti per Tr 100 sono compresi fra i 20 cm – 40 cm dell'abitato di Ponte Buggianese e gli 0.3 m - 1.5 m nelle aree fra Anchione e i due corsi d'acqua, per arrivare ai 2.5 m in prossimità dell'argine strada. Il nucleo abitato di Anchione risulta allagabile con tempi di ritorno superiori a 200 anni.

Tali aree sono dovute in gran parte alle esondazioni del torrente Pescia di Pescia che si propagano verso valle fino all'argine strada. In particolare si segnalano le esondazioni a monte dell'abitato di Ponte Buggianese dovute al restringimento della sezioni e alla presenza degli attraversamenti.



#### 6.1.5 Aree tra il torrente Pescia di Pescia e il fosso del Vescovo

L'area compresa tra il Pescia di Pescia e il fosso del Vescovo presenta tre macroaree inondabili con tempi di ritorno compresi tra 20 e 100 anni:

- area in destra del torrente Pescia di Pescia che si estende dal torrente fino Casabianca andando a interessare l'area drenata dal fosso del Vescovo (battenti Tr 20 di 15 cm-30 cm);
- area tra Ponte Buggianese e Albinatico (battenti Tr 20 di 15 cm – 40 cm);
- area a sud-est in corrispondenza dell'argine strada (battenti Tr 20 di 1.2 m – 2.5 m in prossimità dell'argine strada).

Le prime due aree sono dovute alle esondazioni del torrente Pescia di Pescia e del fosso del Vescovo, l'ultima è dovuta principalmente alle esondazioni del Padule di Fucecchio al disopra dell'argine strada.

#### 6.1.6 Aree tra il fosso del Vescovo e il torrente Pescina

L'area maggiormente inondabile è quella a monte dell'autostrada FI - Mare a causa delle esondazioni del torrente Pescina. In tale area i battenti massimi con tempo di ritorno di 20 anni sono di 60 cm-80 cm con ampie aree inondabili con battenti di 20 cm - 30 cm.

A monte dell'abitato di Casabianca, con tempo di ritorno superiore a 100 anni, si ha il sormonto del tracciato autostradale (battenti località Casabianca con Tr 100 di 0.6 – 0.8 m).

Nella parte più a valle le inondazioni maggiori si registrano in zona podere Stan di Pescio.

#### 6.1.7 Area tra il torrente Pescina e il torrente Borra

L'area tra il torrente Pescina e il torrente Borra è un'area interclusa che si presenta già allagata per il tempo di ritorno di 30 anni. I battenti maggiori si hanno a valle della azienda Le Colmate con battenti nell'ordine di 0.2 m - 1 m mentre per il tempo di ritorno di 30 anni che arrivano circa a due metri per il tempo di ritorno di 200 anni.

#### 6.1.8 L'area del cratere palustre

L'area del cratere palustre interessa la parte sud-est del comune di Ponte Buggianese. Tale area è delimitata dal cosiddetto argine strada che presenta quote in sommità di circa 16.0 m s.l.m.. Tale argine parte dal ponte alle Ragnaie, per un primo tratto corre lungo il fosso del Vescovo fino a Il Grande Lago dove piega a ovest verso Prato Grande fino a intercettare l'argine del fiume Pescia di Pescia a valle del ponte dei Pallini. Da qui prosegue in direzione sud-ovest fino ad intercettare prima il fosso del Capannone e poi il fosso di Montecarlo, a questo punto l'argine corre parallelo al fosso di Montecarlo fino alla località Vaccaio dove piega a ovest intercettando il Pescia di Collodi e il fosso Sibolla.

I livelli nell'area del cratere in corrispondenza dell'argine strada per i diversi tempi di ritorno sono riportati nella Tabella 6-2.

	Quota [m s.l.m.]
Tr 20	15.66
Tr 30	15.77
Tr 100	16.07
Tr 200	16.30
Tr 500	16.63

Tabella 6-2 – *Livelli medi nel cratere palustre*

Si osservi che mediamente l'argine è in grado di contenere le acque del cratere per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 100 anni.

## **7 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA**

Il presente studio recepisce integralmente gli interventi previsti nello *Studio Idrologico e Idraulico di dettaglio per la valutazione della pericolosità idraulica* condotto nel 2008 a supporto del Regolamento Urbanistico vigente. Tali interventi sono stati definiti per la messa in sicurezza di tutto il territorio comunale per un tempo di ritorno di 200 anni.

Gli interventi sono stati definiti secondo un criterio di suddivisione del sistema drenante in acque alte, acque medie e acque basse. Nello specifico il fosso di Montecarlo, il torrente Pescia di Pescia e il torrente Pescina sono stati trattati come acque alte mentre il fosso delle Pietre, il fosso del Capannone e il fosso del Vescovo sono stati trattati come acque medie.

Lo stato di progetto delle acque alte è stato dimensionato in modo da contenere la portata afferente allo stato attuale ai tronchi interni al Comune di Ponte Buggianese con un franco di 50 cm.

Lo stato di progetto delle acque medie è stato dimensionato in modo da contenere le portate idrologiche con un franco minimo. In questo caso oltre agli adeguamenti della capacità di smaltimento sono state previste anche opere di laminazione e di sollevamento funzionali a garantire il deflusso con livelli del recapito finale incompatibili con i contenimenti arginali di monte.

Per le acque basse sono state individuate le principali opere di presidio necessarie a garantire un deflusso intermittente.

In Figura 7-1 si riporta la planimetria degli interventi proposti nello studio del 2008 a cui si rimanda per la descrizione completa degli stessi.

Gli interventi sono inoltre riportati nella tavola TI07.



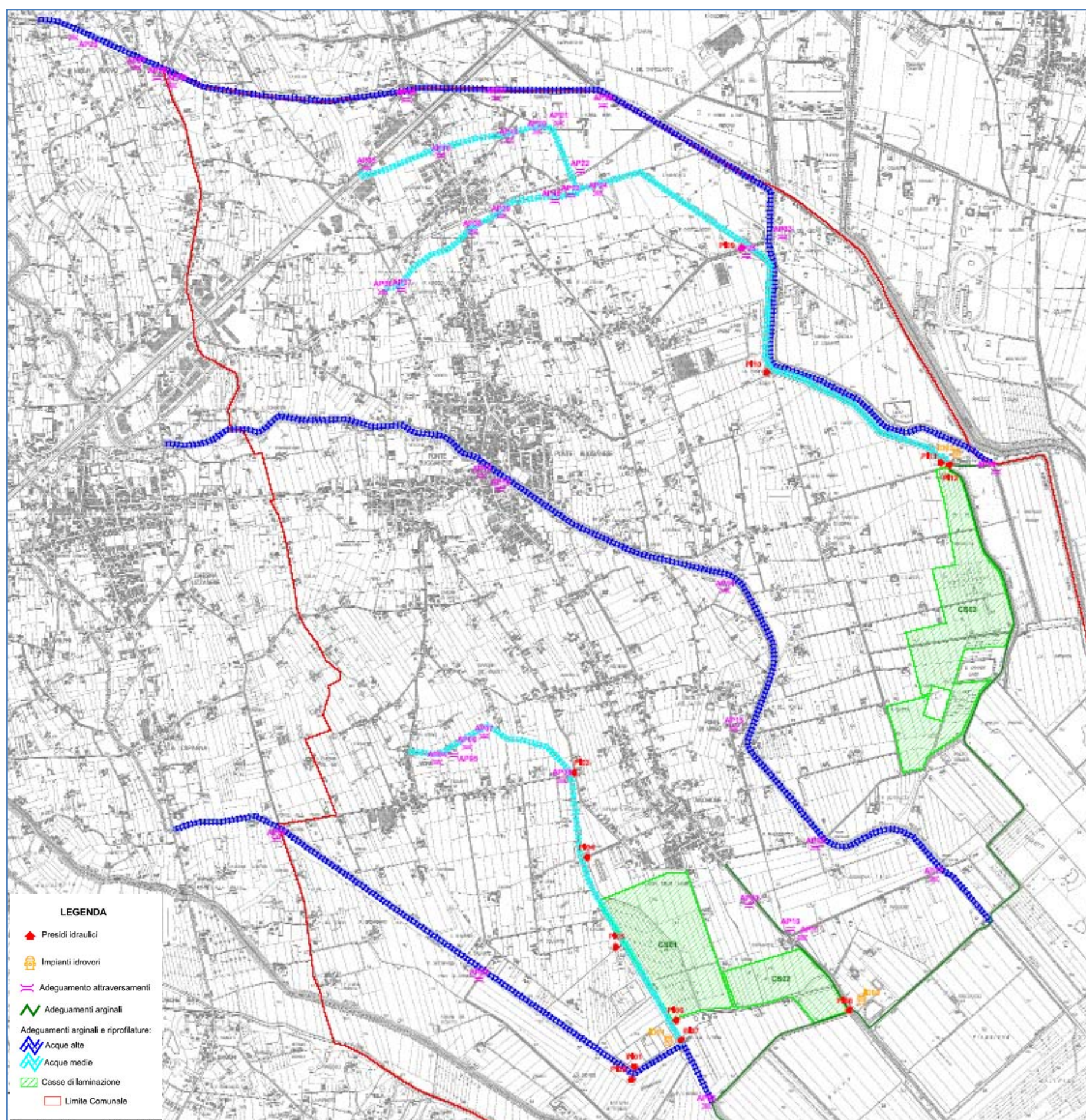


Figura 7-1 – Carta degli interventi di messa in sicurezza previsti dallo studio a supporto del Regolamento Urbanistico del 2008.



## 8 CONCLUSIONI

Nel presente studio, redatto a supporto della prima variante del Piano Strutturale sono stati condotti una serie di approfondimenti rispetto al precedente studio a supporto del RU vigente:

- aggiornamento delle sezioni del fosso di Montecarlo e del torrente Pescia di Collodi, in seguito alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza effettuati dal Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio per il Fosso;
- adozione di un modello bidimensionale;
- utilizzo del modello digitale Lidar;
- adeguamento delle portate sulla base degli studi condotti per i comuni limitrofi.

Le condizioni al contorno in termini di livelli idrometrici nelle aree esterne al sistema oggetto di studio sono state valutate sia sulla base dello studio a supporto del RU vigente che sulla base degli studi condotti dal Comune di Chiesina Uzzanese.

I suddetti aggiornamenti del quadro conoscitivo hanno consentito l'aggiornamento del modello idraulico con le seguenti finalità:

- verifica delle criticità del sistema idrico ove sono disponibili sezioni fluviali più recenti;
- verifica delle aree inondabili per i diversi tempi di ritorno e dei battenti idrici sulla base del nuovo modello digitale del terreno.

Le nuove verifiche hanno confermato le criticità individuate nello studio precedente fornendo un quadro più preciso dei battenti di esondazione e delle aree inondabili.

Infine sono stati confermati gli interventi di messa in sicurezza già individuati nello studio precedente che prevedono la divisione del reticolo tra acque alte, acque medie e acque basse con la realizzazione delle necessarie opere tese ad aumentare la capacità di smaltimento dei canali e la laminazione delle portate di piena.