Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PROVVEDITORATO PER LE OPERE PUBBLICHE
PIEMONTE VALLE D'AOSTA LIGURIA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROGETTAZIONE DEFINITIVA
PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

RELAZIONE IDROLOGICA



Progettazione

D'APOLLONIA S.P.A

BETA STUDIO S.R.L

MONTALDO ENGINEERING S.R.L

GEOTECHNICAL SERVICES S.R.L

STEGEO

Coordinatore della Progettazione
(Provveditorato per le OO.PP.)
Dr. Ing..Francesco Caldani

Responsabile del Procedimento
(Provveditorato per le OO.PP.)
Dr. Ing..Alessandro Pentimalli

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

INDICE

Pagina

ELENCO DELLE FIGURE **ii**

ELENCO DELLE TABELLE **vi**

1 IDROLOGIA DI PIENA **1**

1.1 AREA DI STUDIO 1

1.2 ANALISI MORFOLOGICA 2

1.2.1 Torrente San Siro 2

1.2.2 Fosso Magistrato 3

1.3 CARATTERISITICHE DI ASSORBIMENTO 4

1.4 CARATTERIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE 7

1.4.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica dai dati VAPI 7

1.4.2 Linee segnalatrici del Piano di Bacino 15

1.4.3 Linee segnalatrici del Progetto Preliminare 15

1.4.4 Risultati a confronto 16

1.5 LA STIMA DELLE PORTATE DI PIENA 18

1.5.1 Stima da Piano di Bacino 18

1.5.2 Stima da Progetto Preliminare 19

1.5.3 Stima con modello distribuito della trasformazione afflussi deflussi (metodo VAPI_ADD). 20

1.5.4 Risultati a confronto 26

1.5.5 Scelta del modello di riferimento 28

1.6 CONTRIBUTO DEI RII MINORI 29

2 IL MODELLO FEST98RS **31**

3 IL METODO DEL SCS-CN **36**

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

ELENCO DELLE FIGURE

Figura No.	Titolo
1	Area di studio: i punti gialli individuano le sezioni di calcolo delle portate al colmo di piena
1a	Tratti vallivi dei torrenti S. Siro e Magistrato
2	Mappa delle classi di uso del suolo
3	Mappa delle classi idrologiche di suolo
4	Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per l'ambito territoriale oggetto di studio
5	Pluviografi considerati per la stima dei parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica
6	Generazione della mappa del parametro a1
7	Generazione della mappa del parametro n
8	Generazione della mappa del parametro ε
9	Generazione della mappa del parametro α
10	Generazione della mappa del parametro k
11	Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica media per il bacino del torrente S. Siro secondo la distribuzione statistica GEV
12	Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica media per il bacino del fosso Magistrato secondo la distribuzione statistica GEV
13	Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica ricostruita secondo la procedura adottata dal Piano di Bacino
14	Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica adottata nell'analisi del Progetto Preliminare
15	Confronto tra linee segnalatrici di possibilità pluviometrica stimate dal piano di bacino, dal progetto preliminare e tramite l'analisi regionale VAPI mediante la distribuzione GEV per il bacino idrografico del torrente S. Siro

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

ELENCO DELLE FIGURE

(Continuazione)

Figura No.	Titolo
16	Confronto tra linee segnalatrici di possibilità pluviometrica stimate dal piano di bacino, dal progetto preliminare e tramite l'analisi regionale VAPI mediante la distribuzione GEV per il bacino idrografico del fosso Magistrato
17	Ricerca dell'evento critico per la sezione di presa del fosso Magistrato nello stato attuale
18	Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del fosso Magistrato nello stato attuale
19	Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del fosso Magistrato nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione
20	Ricerca dell'evento critico per la sezione di presa del torrente S. Siro nello stato attuale
21	Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del torrente S. Siro nello stato attuale
22	Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del torrente S. Siro nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione
23	Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di presa del canale scolmatore in progetto del fosso Magistrato. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare
24	Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di foce a mare del fosso Magistrato. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare
25	Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di presa del canale scolmatore in progetto del torrente San Siro. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

ELENCO DELLE FIGURE

(Continuazione)

Figura No.	Titolo
26	Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione foce del torrente San Siro. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare
27	Punti di intersezione dei corsi d'acqua minori con il tracciato dello scolmatore in progetto
28	Schema del modello FEST98RS
29	Discretizzazione spazio temporale nel metodo Muskingum – Cunge

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella No.	Titolo
1	Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici sottesi alla sezione di foce a mare
2	Area sottesa dalle sezioni di calcolo delle portate al colmo
3	Tipi idrologici di suolo
4	Valori del CNII per diverse tipologie ed uso del suolo (Soil Conservation Service)
5	Periodo di riferimento e disponibilità effettiva delle stazioni pluviometriche adiacenti all'area di studio
6	Parametri della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica per le stazioni considerate
7	Parametri della linea segnalatrice ottenuti mediante media spaziale
8	Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il fosso Magistrato
9	Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il torrente S. Siro
10	Portate di progetto stimate per T = 200 anni nell'analisi del progetto Preliminare
11	Evento critico della sezione di presa per il fosso Magistrato nello stato attuale
12	Evento critico della sezione di foce per il fosso Magistrato nello stato attuale
13	Evento critico della sezione di foce per il fosso Magistrato nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione
14	Evento critico della sezione di presa per il torrente S. Siro nello stato attuale
15	Evento critico della sezione di foce per il torrente S. Siro nello stato attuale

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

ELENCO DELLE TABELLE

(Continuazione)

Tabella No.	Titolo
16	Evento critico della sezione di foce per il torrente S. Siro nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione
17	Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il fosso Magistrato
18	Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il torrente S. Siro
19	Area sottesa dalle sezioni di intersezione tra il tracciato dello scolmatore e i corsi d'acqua minori
20	Portate attese (m^3/s) per le sezioni dei corsi d'acqua minori

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

RELAZIONE IDROLOGICA
PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI S. SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE E ATTIVITA' COMPLEMENTARI ALLA PROGETTAZIONE

1 IDROLOGIA DI PIENA

1.1 AREA DI STUDIO

Il territorio oggetto del presente studio comprende i bacini imbriferi di due corsi d'acqua situati in Provincia di Genova, il fosso Magistrato e il torrente San Siro (Figura 1), che l'Autorità di Bacino regionale colloca nell'ambito di bacino 15 – settore C.

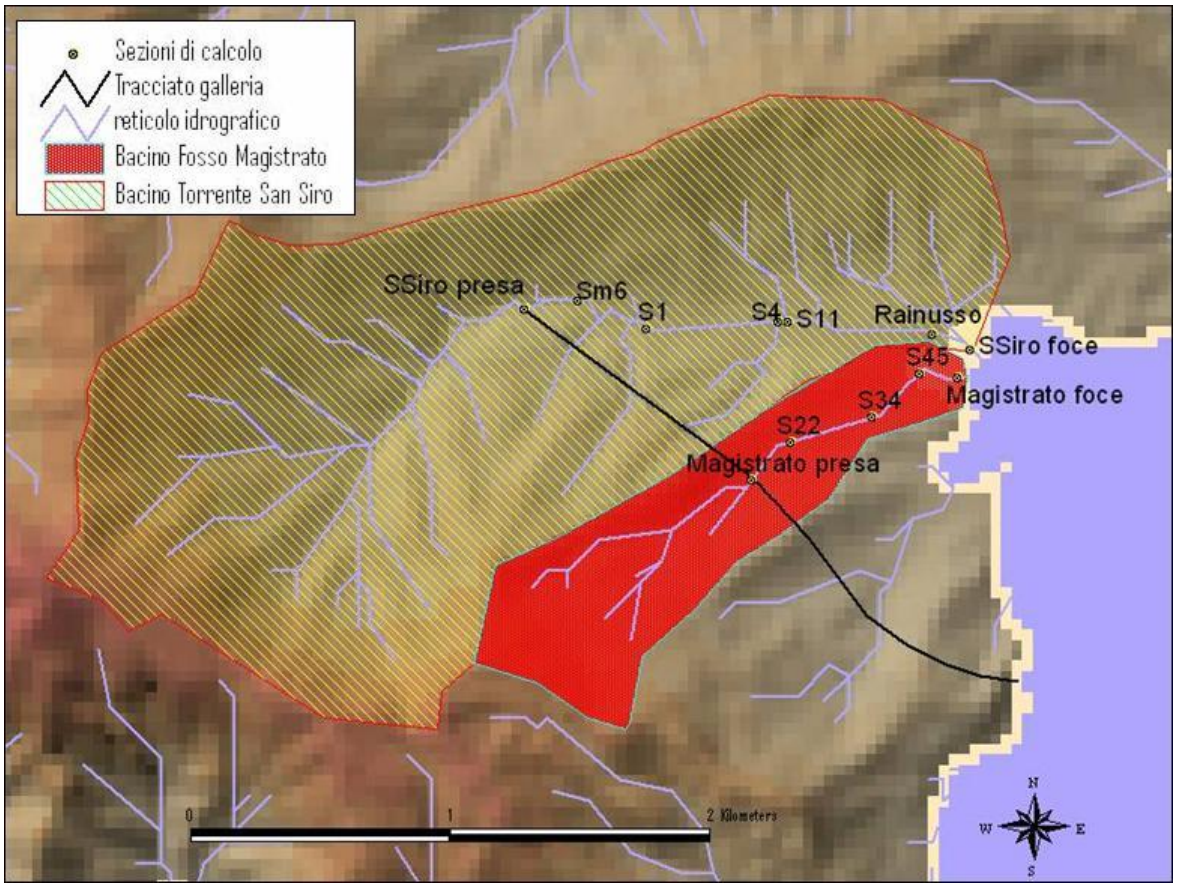


Figura 1 - Area di studio: i punti gialli individuano le sezioni di calcolo delle portate al colmo di piena

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

1.2 ANALISI MORFOLOGICA

L'analisi morfologica è condotta a partire dalla mappa digitale delle quote (DEM) utilizzando il DEM della Regione Liguria con risoluzione della maglia di 40 m. Tale supporto permette la ricostruzione del reticolo idrografico e dei relativi bacini idrografici con i parametri morfologici corrispondenti. La ricostruzione del reticolo generata con opportuni modelli numerici appositamente sviluppati, è stata attentamente verificata con la cartografia tecnica, la cui informazione ha permesso di correggere la direzione del reticolo di drenaggio nella parte valliva ed urbanizzata del bacino ove le quote topografiche risultano fortemente perturbate dall'attività antropica. Le principali grandezze geomorfologiche dei bacini sottesi alla sezione di foce sono riportate in Tabella 1, mentre le aree drenate dai bacini sottesi alle sezioni di calcolo delle portate vengono riportate in Tabella 2.

Tabella 1: Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici sottesi alla sezione di foce a mare

Sezione	Perimetro [km]	Quota media [m s.l.m.]	Pendenza media [%]	Lunghezza asta principale [km]	CN II
San Siro foce	9,94	182,3	32,8	4,25	82
Magistrato foce	5,13	145,74	29,87	2,2	78

Tabella 2: Area sottesa dalle sezioni di calcolo delle portate al colmo

Sezione	Area [km^2]
San Siro foce	4,73
Rainusso	4,152
S11	3,93
S4	3,7
S1	3,28
Sm6	2,74
San Siro presa	2,56
Magistrato foce	0,93
S45	0,9
S34	0,82
S22	0,69
Magistrato presa	0,64

1.2.1 Torrente San Siro

Il torrente S. Siro ha origine nell'immediato entroterra di S. Margherita, ne attraversa il centro abitato e confluisce a mare in corrispondenza di piazza Vittorio Veneto.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Il suo bacino imbrifero ha una superficie complessiva di circa 4,73 km^2. Il corso principale si sviluppa per circa 4,25 km, in buona parte in ambito urbano. La quota dello spartiacque presenta un massimo intorno ai 610 m s.l.m.

La superficie scolante è geograficamente collocata in un intorno di 9° 11' di longitudine est e di 44° 20' di latitudine Nord.

Nel tratto cittadino sono presenti due tombinature, intervallate da un tratto a cielo aperto di circa 215 m. La copertura che sbocca in mare si estende per circa 1200 m con andamento regolare. Prima della sua immissione in mare riceve da sinistra il collettore Rainusso, drenante il settore nord del centro abitato di Santa Margherita. Il recapito a mare a partire dal punto di confluenza citato avviene attraverso due collettori con fornici tra loro indipendenti. Il tratto tombato superiore, di lunghezza pari a 230 m, è collocato in una zona a minore densità di urbanizzazione.

1.2.2 Fosso Magistrato

Il fosso Magistrato ha origine nell'immediato entroterra di S. Margherita, ne attraversa il centro abitato e confluisce a mare in corrispondenza di piazza Martiri della Libertà. Il bacino imbrifero, contiguo a quello del torrente S. Siro, ha una superficie complessiva di circa 0,93 km^2. Il corso principale si sviluppa per circa 2,2 km, in buona parte in ambito urbano. La quota dello spartiacque presenta un massimo intorno ai 400 m s.l.m..

La superficie scolante è geograficamente collocata in un intorno di 9° 12' di longitudine est e di 44° 20' di latitudine nord. Nel tratto terminale, fortemente antropizzato, l'alveo naturale ha subito nel tempo notevoli alterazioni che hanno portato al collettamento delle acque entro manufatti chiusi (tombinature) o all'eccessivo confinamento del corso entro muri di sponda.

Nel tratto urbano sono presenti due tombinature, intervallate da un tratto a cielo aperto di circa 115 m. La copertura che sbocca in mare si estende per circa 460 m secondo un tracciato alquanto sinuoso non privo, comunque, di brusche discontinuità di larghezza e direzionali. Il tratto tombato superiore, di lunghezza pari a 225 m, per quanto planimetricamente meno irregolare del precedente, è anch'esso caratterizzato da variazioni localizzate di geometria.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

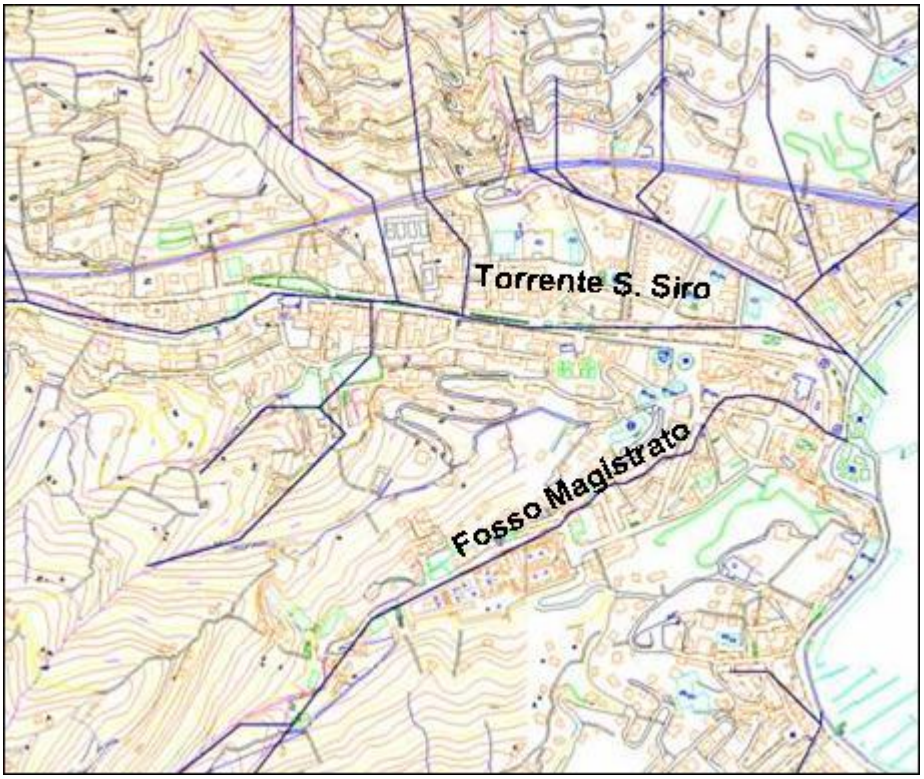


Figura 1a - Tratti vallivi dei torrenti S. Siro e Magistrato

1.3 CARATTERISITICHE DI ASSORBIMENTO

Per la determinazione del parametro di assorbimento del terreno si fa riferimento al metodo classico del Curve Number (CN) sviluppato dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti (Capitolo 3).

Il parametro CN è un fattore decrescente della permeabilità, intesa come caratteristica globale del tipo e dell'uso del suolo. La determinazione del CN è ottenuta in base ad un criterio associativo di tipo gerarchico in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato; alla tipologia pedologica; all'uso del suolo.

Le classi di litologia vengono denominate con A, B, C, e D, (Tabella 3) riferendosi rispettivamente alla classica suddivisione di terreni permeabili (sabbie/ghiaie con alta capacità di infiltrazione e bassi deflussi); poco permeabili; poco impermeabili; impermeabili (argille con bassissime capacità di infiltrazione e di conseguenza un deflusso potenziale molto alto).

I valori del parametro CN della Metodologia SCS in funzione del tipo idrologico e della classe di uso del suolo sono riportati nella Tabella 4 che fa riferimento alla

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

classificazione delle destinazioni d'uso dei suoli del progetto CORINE, la stessa adottata nell'ambito della pianificazione di bacino regionale.

In Figura 2 e in Figura 3 viene presentata rispettivamente la mappa delle classi di uso del suolo e la mappa delle classi idrologiche per l'area oggetto del presente studio. Tali mappe, disponibili in formato vettoriale, sono state opportunamente convertite in formato raster con sistema di riferimento e risoluzione compatibile con il modello digitale delle quote. La combinazione del contenuto informativo dell'uso del suolo e del tipo idrologico di suolo ha portato alla generazione della mappa del curve number in formato raster (Figura 4). Si notino i valori più elevati (corrispondenti ad una superficie capace di produrre elevati valori di deflusso) in corrispondenza della zona litoranea dei due bacini laddove si è sviluppata una densa urbanizzazione.

Tabella 3: Tipi idrologici di suolo

A	B	C	D
Suoli con scarse possibilità di deflusso: sabbie con scarso tenore in limi e argille, ghiaie.	Suoli con potenzialità di deflusso moderatamente bassa: suoli sabbiosi poco profondi con maggiori tenori di argille e limi.	Suoli con potenzialità di deflusso moderatamente alta:suoli sottili con quantità rilevanti di materiali argillosi e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.	Suoli con potenzialità di deflusso molto alta: suoli argillosi con alta capacità di rigonfiamento.

Tabella 4: Valori del CN_{II} per diverse tipologie ed uso del suolo (Soil Conservation Service)

TIPO DI USO DEL SUOLO	Gruppo idrologico del suolo			
	A	B	C	D
Tessuto Urbano continuo	89	92	94	95
Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92
Aree industriali o commerciali	81	88	91	93
Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
Aree verdi urbane	68	79	86	89
Aree sportive e ricreative	49	69	79	84
Oliveti	65	75	82	86
Aree agricole eterogenee.	67	78	85	89
Ex coltivi	70	80	88	92
Vegetazione boschiva	40	69	86	89
Vegetazione arbustiva	68	79	86	89

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

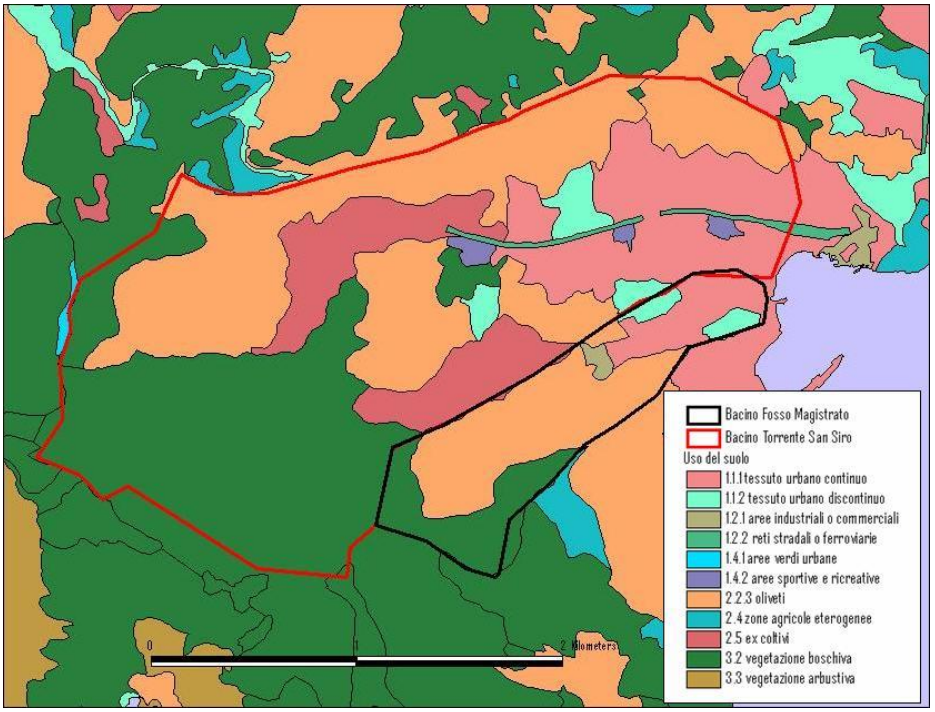


Figura 2 - Mappa delle classi di uso del suolo

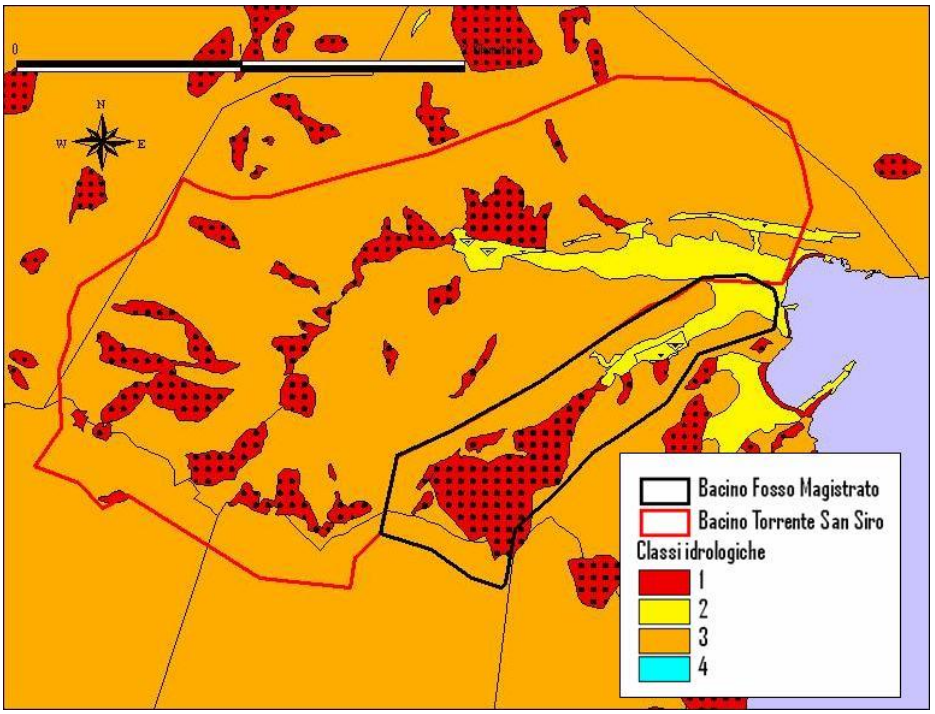


Figura 3 - Mappa delle classi idrologiche di suolo

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

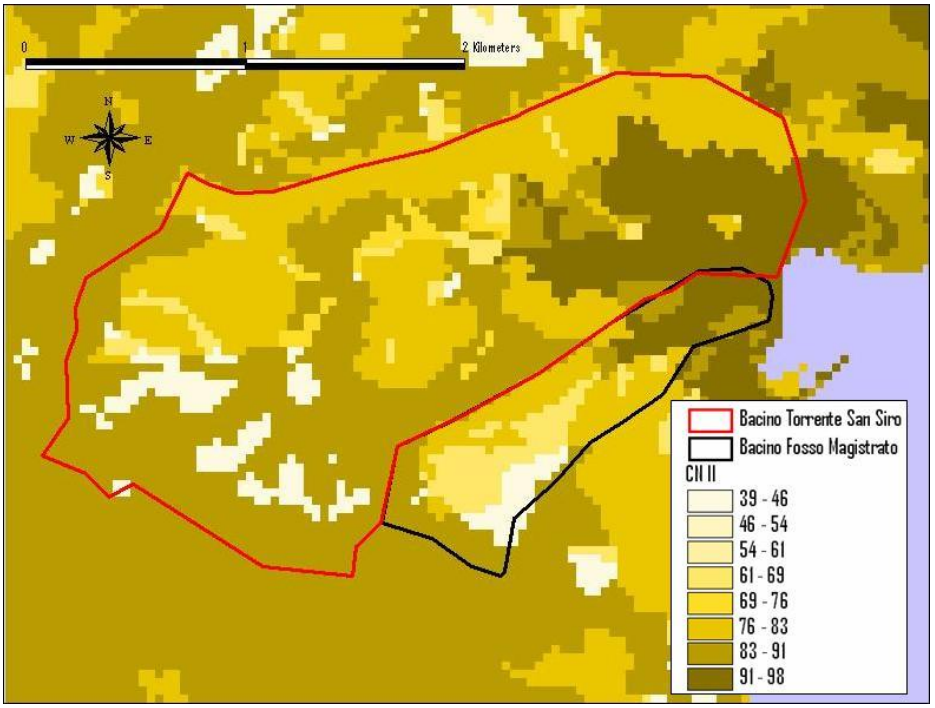


Figura 4 - Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per l'ambito territoriale oggetto di studio

1.4 CARATTERIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

Di seguito, ai fini della stima della portata di piena vengono confrontate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica redatte per il Piano di Bacino e quelle ottenute con la metodologia dell'analisi regionale opportunamente trasferita al territorio dei corsi d'acqua analizzati.

1.4.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica dai dati VAPI

La stima dell'intensità dell'afflusso temibile per un determinato sito viene condotta partendo dall'analisi delle precipitazioni intense[1] allo scopo di determinare le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP). Queste forniscono l'altezza di pioggia temibile per assegnata durata, *d*, e periodo di ritorno, *T*, in base alla ben nota espressione:

$$h_T(d) = a \cdot d^n$$

[1] P. BURLANDO e R. ROSSO, Le precipitazioni intense, in *La Sistemazione dei Corsi d'Acqua Naturali*, pp.1÷33, a cura di U. MAIONE e A. BRATH, Editoriale Bios, Cosenza, 1986.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

in cui il termine della pioggia nell' unità di tempo, *a*, fortemente variabile con il tempo di ritorno T, può essere riscritto come prodotto del valore della pioggia media nell'unità di tempo e del fattore di frequenza, in cui si concentra sia la dipendenza dal tempo di ritorno, T, che il modello di distribuzione probabilistico adottato per l'analisi. In definiva l'espressione della altezza di pioggia per assegnata durata può essere scritta come*:*

$$h_T(d) = a_1 \cdot d^n \cdot w_T$$

dove i parametri a_1 e n si stimano dalle osservazioni registrate al pluviometro, mentre w_T, detto anche fattore di crescita in frequenza, dipende dalla distribuzione di probabilità scelta e dal periodo di ritorno, T.

Nel presente lavoro è stata seguita l'analisi regionale proposta dallo studio VAPI del CNR[2]., che individua come rappresentativa dei fenomeni investigati la distribuzione GEV il cui fattore di crescita è:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left(1 - e^{-ky}\right) \text{ con } y = -\ln(\ln\frac{T}{T-1})$$

I valori dell' esponente di scala, n, del valore della pioggia media oraria, a, e dei coefficienti ε, α, k delle stazioni pluviografiche attigue al territorio studiato (Figura 5) sono stati determinati dall'analisi statistica sulla base dei dati disponibili dal progetto VAPI opportunamente aggiornati fino alle pubblicazioni più recenti degli Annali Idrologici.

Nel complesso il periodo di funzionamento considerato ed il numero effettivo di dati disponibili per ogni stazione pluviometrica viene riportato in Tabella 5. In Tabella 6 si riportano i parametri puntuali per le stazioni di interesse.

Tabella 5:
Periodo di riferimento e disponibilità effettiva delle stazioni pluviometriche adiacenti all'area di studio

Stazione	Codice SIM	Bacino	Quota (m s.l.m.)	Periodo VAPI	Aggiornamenti pubblicati	Dati disponibili
S. Margherita Ligure	2119	Bisagno-Entella	3	1952-1975	1976-1977	23
Chiavari	2122	Bisagno-	5	1932-1975	1976-1987	55

[2] CNR-GNDCI - U.O. 1.8 - Rapporto VAPI, *Italia Nord-Occidentale: bacino del fiume Po e Liguria Tirrenica*, a cura di C. DE MICHELE e R. ROSSO, in base agli studi di Daniel Adom, Baldassare Bacchi, Gianfranco Becciu, Armando Brath, Paolo Burlando, Elpidio Caroni, Carlo De Michele, Paolo La Barbera, Marco Mancini e Renzo Rosso della U.O. n.1.8 presso il Politecnico di Milano, pubblicazione 1999

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

		Entella				
Cichero	2137	Entella	480	1965-1975	1976-1987	21
Piana di Soglio	2129	Entella	75	1937-1975	1976-1998	39
Panesi	2140	Entella	25	1935-1975	1976-1998	49
S. Ilario	2112	Bisagno-Entella	210	1953-1975	1976-1998	30
Colonia Arnaldi	2117	Bisagno-Entella	600	1949-1973	1976-1985	34
Ognio	2126	Entella	400	1955-1975	1976-1977	19
S.Pietro di Novella	2118	Bisagno-Entella	13	1934-1975	1976-1979	33

Tabella 6:
Parametri della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica per le stazioni considerate

Stazione	**a_1**	**n**	**ε**	**α**	**k**
S. Margherita Ligure	48,842	0,276	0,841	0,278	0,005
Chiavari	48,39	0,268	0,758	0,31	-0,173
Cichero	44,688	0,372	0,869	0,246	0,048
Piana di Soglio	41,926	0,374	0,785	0,286	-0,15
Panesi	40,817	0,314	0,794	0,304	-0,095
S. Ilario	43,94	0,314	0,852	0,332	0,151
Colonia Arnaldi	42,174	0,428	0,849	0,223	-0,093
Ognio	46,377	0,432	0,883	0,24	0,098
S.Pietro di Novella	50,7	0,268	0,738	0,275	-0,056

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it



Figura 5 - Pluviografi considerati per la stima dei parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Tramite interpolazione mediante la tecnica della distanza inversa, si sono generate le mappe relative ai parametri suddetti creando una copertura per l'area di interesse (Figure seguenti).

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

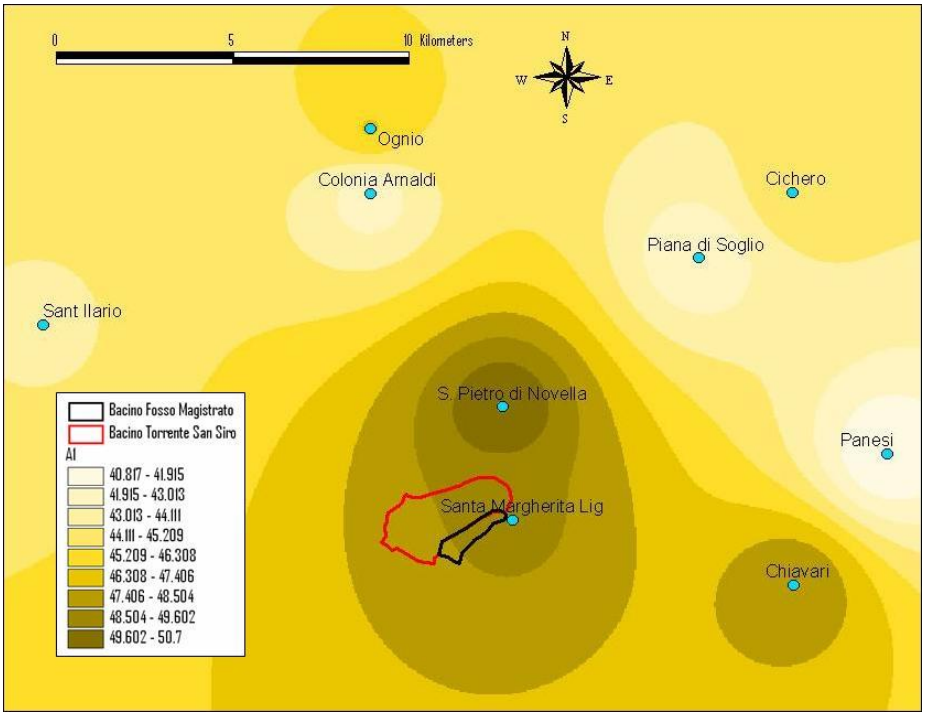


Figura 6 - Generazione della mappa del parametro a_1

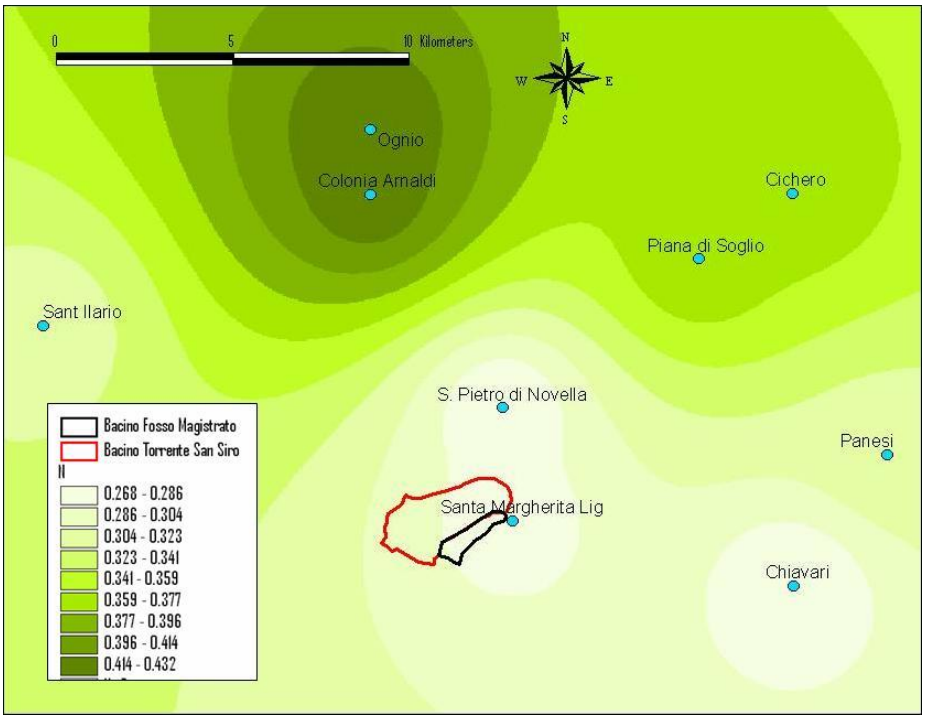


Figura 7 - Generazione della mappa del parametro n

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

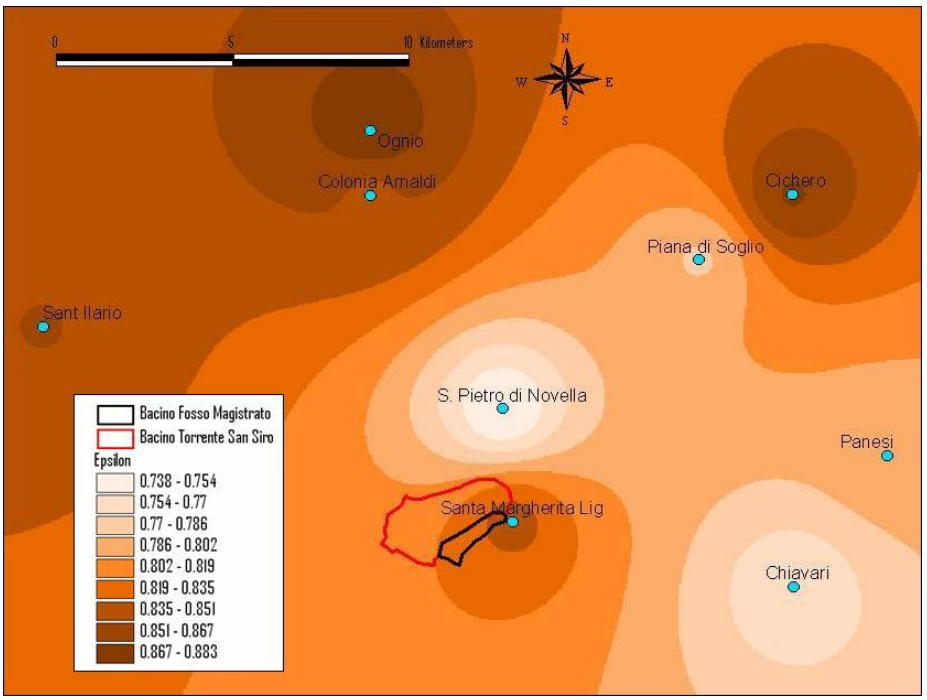


Figura 8 - Generazione della mappa del parametro ε

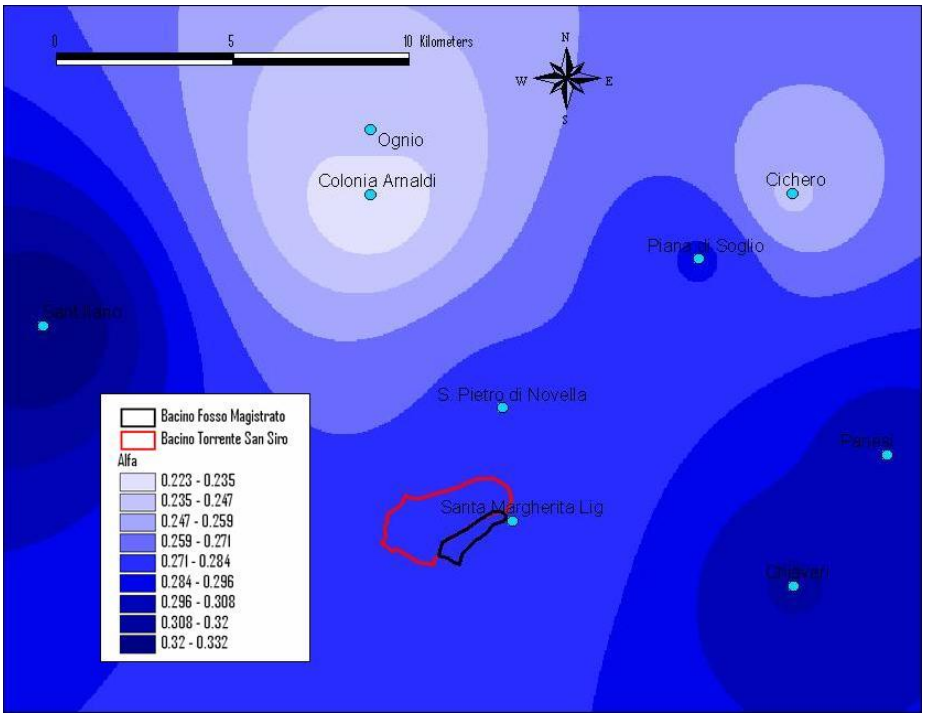


Figura 9 - Generazione della mappa del parametro α

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

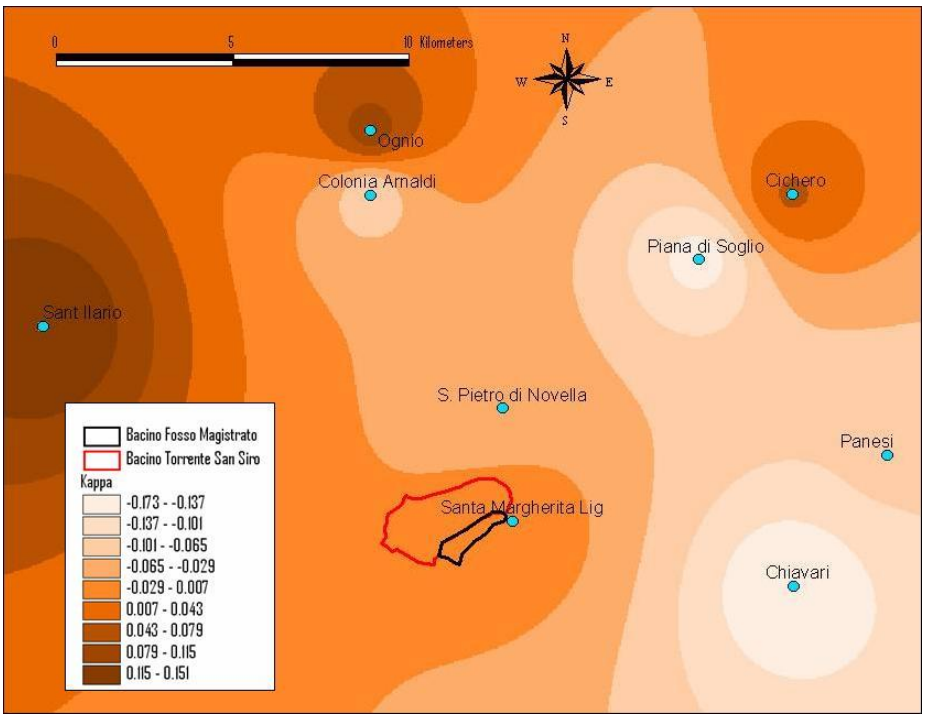


Figura 10 - Generazione della mappa del parametro k

I parametri della linea segnalatrice rappresentativa della pluviometria dei bacini idrografici oggetto di studio sono quelli risultanti da una media spaziale delle mappe ottenute. I parametri della linea segnalatrice così ottenuta sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 7:
Parametri della linea segnalatrice ottenuti mediante media spaziale

Bacino	a_1	n	ε	α	k
S. Siro	47,883	0,293	0,837	0,278	-0,014
Magistrato	48,398	0,283	0,839	0,277	-0,0059

Le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica sono quindi quelle riportate in Figura 11 e Figura 12. Si noti come la contiguità territoriale e la ridotta estensione dei bacini coinvolti portino ad avere linee segnalatrici pressoché coincidenti.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

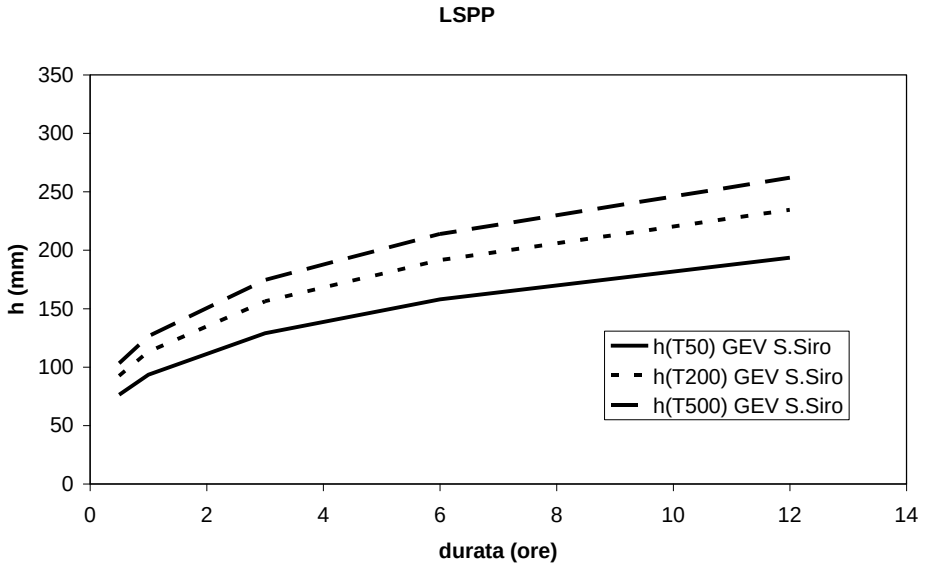


Figura 11 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica media per il bacino del torrente S. Siro secondo la distribuzione statistica GEV

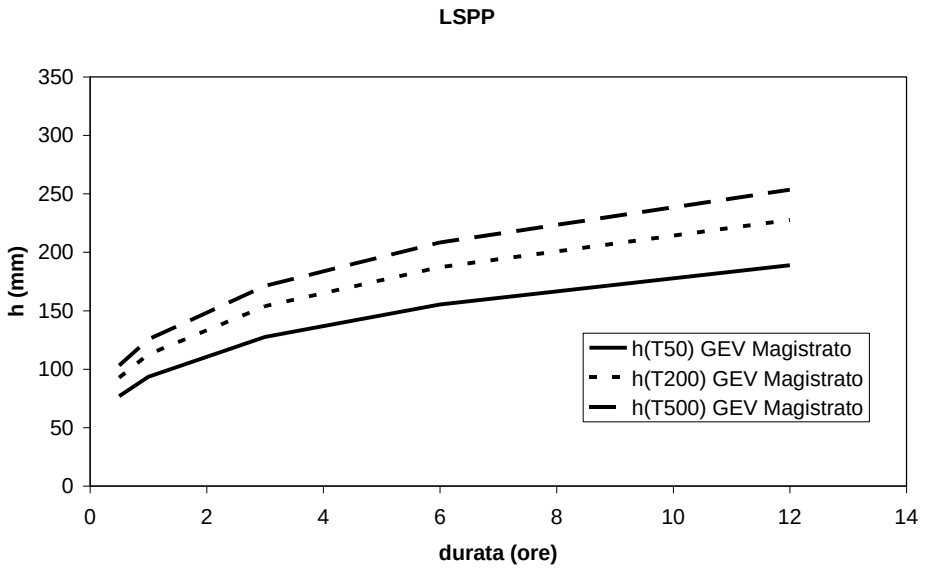


Figura 12 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica media per il bacino del fosso Magistrato secondo la distribuzione statistica GEV

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

1.4.2 Linee segnalatrici del Piano di Bacino

Nella relazione idraulica del Piano di Bacino, pur non indicando esplicitamente il valore dei parametri della linea segnalatrice adottata nell'analisi idrologica, si menziona la scelta della distribuzione statistica di Gumbel basandosi unicamente sui dati della stazione pluviometrica di Chiavari. Con i dati a disposizione (Tabella 5), applicando la procedura del Piano è possibile ricostruire l'andamento delle linee segnalatrici riportato nella figura seguente.

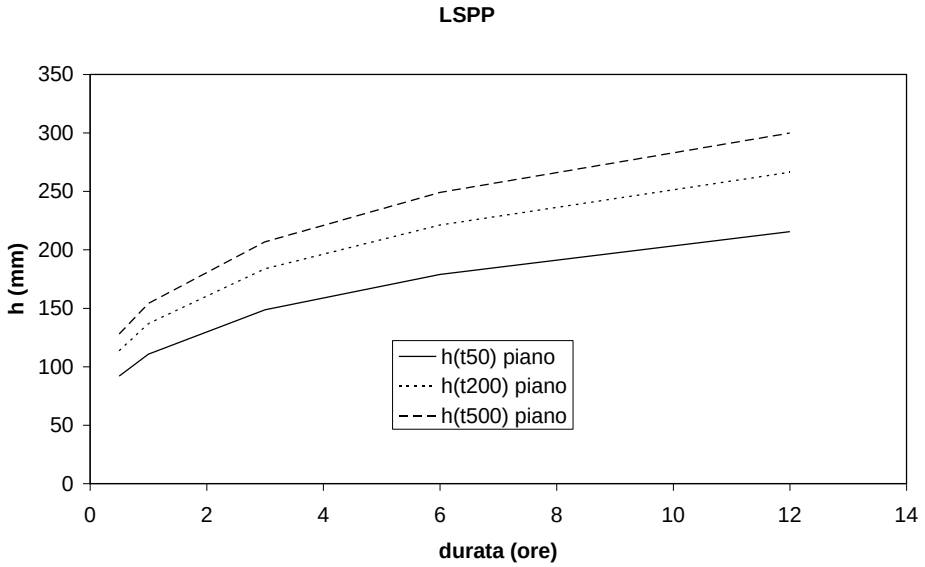


Figura 13 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica ricostruita secondo la procedura adottata dal Piano di Bacino

1.4.3 Linee segnalatrici del Progetto Preliminare

Nell'analisi del Progetto Preliminare si adotta la distribuzione statistica di Gumbel basandosi sui dati relativi al pluviometro di Santa Margherita Ligure.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

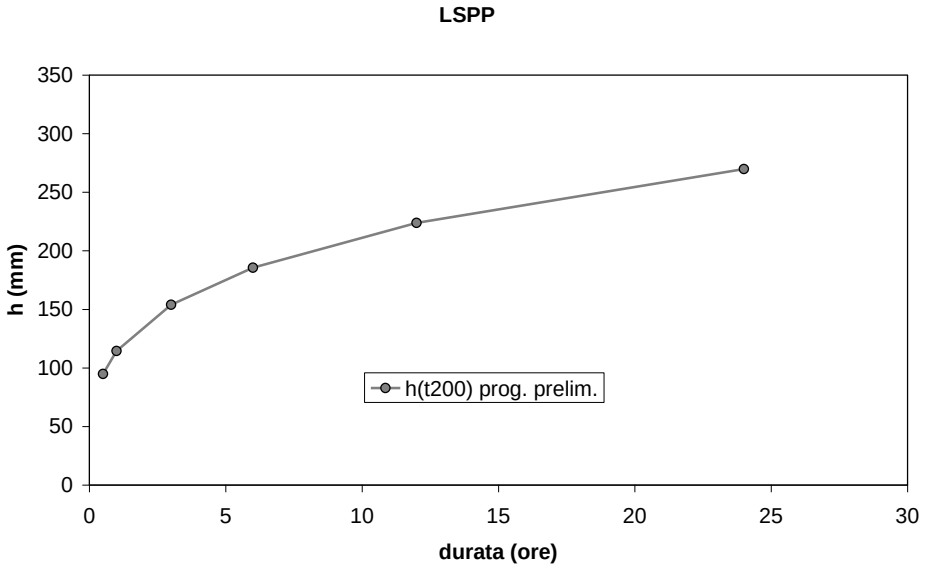


Figura 14 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica adottata nell'analisi del Progetto Preliminare

1.4.4 Risultati a confronto

Di seguito vengono posti a confronto le altezze di precipitazione per assegnata durata e periodo di ritorno ottenute con le diverse metodologie. Si osserva che le stime con la Metodologia VAPI sono inferiori rispetto a quelle di Piano. Nel Piano di Bacino, infatti, si fa riferimento esclusivamente al pluviometro di Chiavari senza tenere conto della influenza indotta dalle altre stazioni pluviometriche situate nelle vicinanze dei bacini idrografici, prima fra tutte la stazione di Santa Margherita Ligure. Considerare, invece, tutte le stazioni pluviografiche nelle immediate vicinanze del teritorio di Santa Margherita Ligure, situate a diversa quota, consente di tenere conto dell'effetto orografico sulla caratterizzazione della precipitazione intensa.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

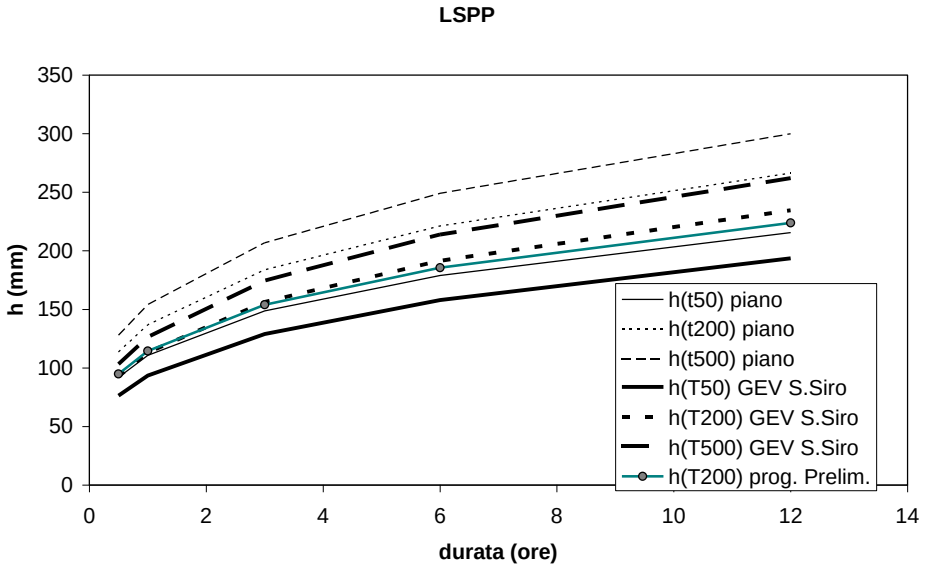


Figura 15 - Confronto tra linee segnalatrici di possibilità pluviometrica stimate dal piano di bacino (Piano), dal progetto preliminare e tramite l'analisi regionale VAPI mediante la distribuzione GEV per il bacino idrografico del torrente S. Siro

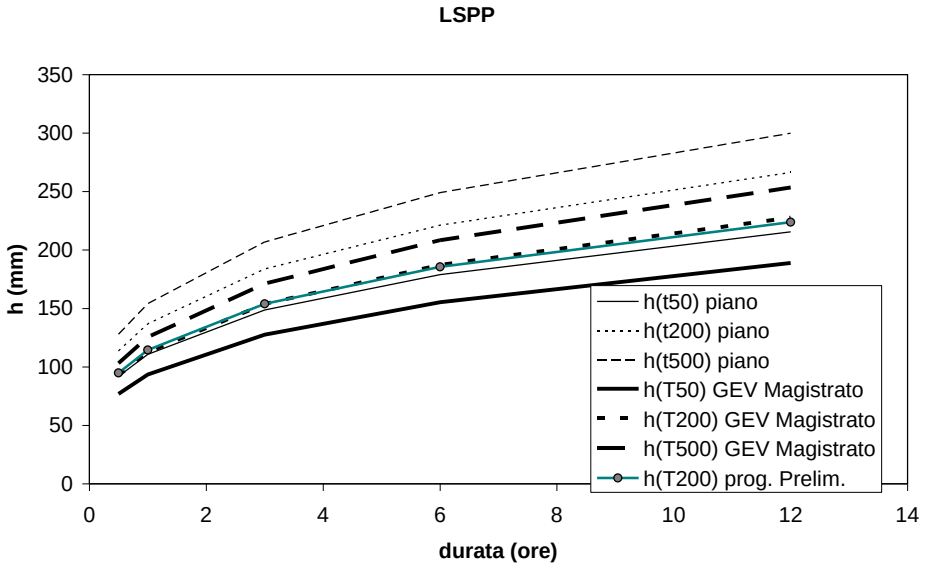


Figura 16 - Confronto tra linee segnalatrici di possibilità pluviometrica stimate dal piano di bacino (Piano), dal progetto preliminare e tramite l'analisi regionale VAPI mediante la distribuzione GEV per il bacino idrografico del fosso Magistrato

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

1.5 LA STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

I metodi di stima della portata ad assegnata frequenza dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolti in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di *Metodi Diretti*; la seconda come *Metodi Indiretti*, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate osservate ovvero indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi–deflussi (Kottegoda e Rosso[3],1997; Moisello[4], 1998).

Nel caso dei bacini in studio la stima di tale grandezza, condotta per sezioni prive di serie storiche di misure di portata è stata condotta attraverso il confronto critico tra metodologie indirette data l'assenza di dato idrometrici e l'esigua dimensione dei bacini idrografici .

Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi, discutibile, che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizza quella della portata al colmo.

1.5.1 Stima da Piano di Bacino

Nell'analisi di Piano di Bacino, determinate le curve di possibilità climatica delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno, si è calcolata la portata di picco nella sezione terminale di sbocco a mare e in alcune sezioni intermedie mediante la formula razionale:

$$Q_p = \frac{h}{dc} Atot\ Cd$$

dove:

h_r = altezza di pioggia ragguagliata determinata dalla curva di possibilità climatica per un dato tempo di ritorno con un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione dell'intero bacino

T_c = tempo di corrivazione del bacino calcolato con la procedura di Giandotti

C_d = coefficiente di deflusso considerato variabile con il tempo di ritorno dell'evento.

[3] KOTTEGODA, N.T. & R. ROSSO, "STATISTICS, PROBABILITY AND RELIABILITY FOR CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERS", MC-GRAW-HILL PUBLISHING COMPANY, NEW YORK, 1997
4 MOISELLO, "IDROLOGIA TECNICA", LA GOLIARDICA PAVESE, PAVIA, 1998

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori di portata assunti a base dei calcoli idraulici rispettivamente per il fosso Magistrato e per il torrente S. Siro.

Tabella 8:
Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il fosso Magistrato

T (anni)	50	200	500	Area (km^2)	
Q (m^3/s)	12	16,6	19,5	0,62	Sottobacino di monte
	18,1	24,8	29,1	0,83	Sottobacino intermedio
	20,9	28,7	33,6	0,93	Bacino complessivo

Tabella 9:
Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il torrente S. Siro

T (anni)	50	200	500	Area (km^2)	Sottobacino
Q (m^3/s)	25,7	36,8	43,4	1,46	SS1
	41,6	59,4	70,4	2,4	SS2
	62,4	88,3	104,6	3,38	SS3
	84	116,2	136,2	4,9	SS4

1.5.2 Stima da Progetto Preliminare

Per la stima della portata di progetto è stato fatto riferimento alla curva di inviluppo delle portate di massima piena, aggiornata dopo l'alluvione dell'ottobre 1970 a cura dell' Ing. Lino Cati (allora direttore della Sezione Autonoma del Servizio idrografico di Genova del Ministero dei Lavori Pubblici) e pubblicata sull'Annale Idrologico 1970. Tale metodologia utilizza i coefficienti unitari di seguito riportati, valori che non trovano però riscontro in osservazioni dirette delle portate. Nella progettazione preliminare vengono anche calcolate le portate di piena con la formula razionale nel caso di evento critico, ma a vantaggio di sicurezza sono poi adottate le portate stimate con la curva inviluppo. Il metodo della curva inviluppo fa riferimento ad eventi di piena aventi tempo di ritorno pari a 150 – 200 anni.

Tabella 10: Portate di progetto stimate per T = 200 anni nell'analisi del progetto Preliminare

Sezione	Area (km^2)	Evento critico			
		Bacino complessivo		Bacino di monte	
		Curva inviluppo	Portata totale	Curva inviluppo	Portata totale
S. Siro presa	2,5	33,25 m^3/s	83 m^3/s	39,86 m^3/s	100 m^3/s
S. Siro foce	4,2	33,25 m^3/s	140 m^3/s	-	-
Magistrato presa	0,6	42 m^3/s	25 m^3/s	-	-
Magistrato foce	0,93	42 m^3/s	39 m^3/s	-	-

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

1.5.3 Stima con modello distribuito della trasformazione afflussi deflussi (metodo VAPI_ADD).

In questo capitolo si calcolano le portate al colmo utilizzando un modello di trasformazioni afflussi deflussi (Capitolo 2), di tipo spazialmente distribuito, messo a punto da chi scrive sin dal 1990.[5]

La precipitazione è quella individuata dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica stimata dall'analisi VAPI (cfr. Capitoli precedenti) sul bacino in esame. L'utilizzo di un modello di trasformazione afflussi-deflussi distribuito ha permesso di ricavare, oltre alle portate al picco, un idrogramma di piena la cui forma, è come noto, funzione delle caratteristiche morfologiche del bacino, della sua capacità di assorbimento e dell'intensità dell'evento meteorico.

La stima delle portate di progetto per assegnato tempo di ritorno è condotta considerando la condizione sfavorevole di terreno saturo (AMC3). La ricerca delle portate al colmo può, quindi, condursi applicando il concetto di evento critico per la portata al colmo per la precipitazione di assegnato periodo di ritorno.

In tal modo si ricava la durata di pioggia che massimizza la portata al colmo dell'idrogramma risultante. Il valore di portata al colmo fornisce la portata temibile per assegnato tempo di ritorno nella sezione idrografica considerata.

Nell'analisi, per entrambi i corsi d'acqua, si è proceduto nella ricerca dell'evento critico sia per la sezione di presa del canale scolmatore che per la sezione di foce a mare considerando la situazione attuale e la situazione di progetto, ipotizzando lo scolmatore in funzione. Nella situazione di progetto si ipotizza che la portata transitante in alveo immediatamente a valle della sezione di presa dello scolmatore sia pari a 5 m^3/s per il torrente S. Siro e a 2 m^3/s per il fosso Magistrato. L'applicazione del modello distribuito ha consentito non solo l'individuazione dell'evento critico nelle sezioni sopra menzionate, ma ha fornito la stima delle portate al colmo nelle sezioni di calcolo riportate in Figura 1.

Si riporta di seguito in forma grafica il risultato dell'analisi.

[5] Mancini M., La modellazione della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento, Tesi di Dottorato Politecnico di Milano, 1990

Mancini M., Montaldo N. e Rosso R., La modellistica distribuita nella valutazione degli effetti di laminazione di un sistema di invasi artificiali nel bacino del Fiume Toce. *L'Acqua*, v.4 , pp31-42, 2000, e su Journal of Hydrological Processes, 2003

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

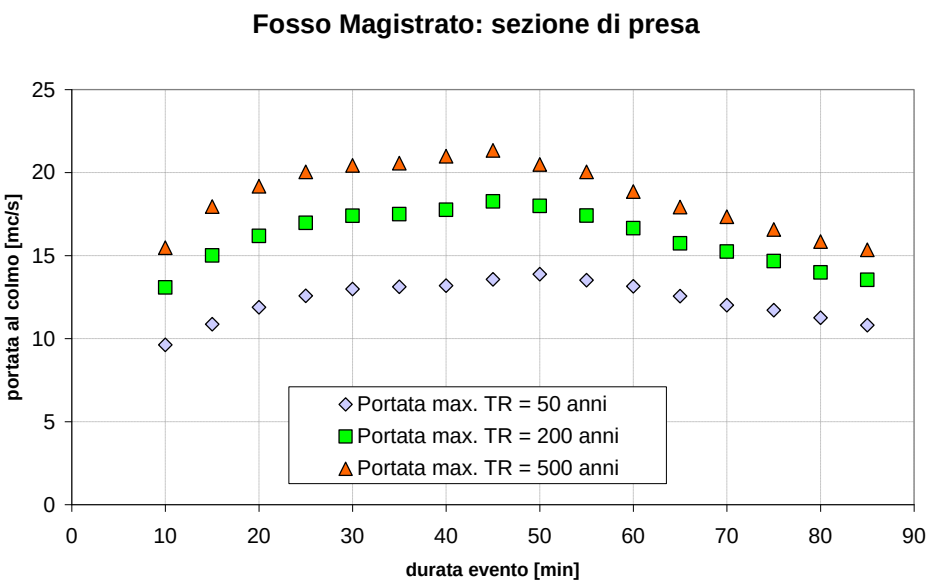


Figura 17 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di presa del fosso Magistrato nello stato attuale

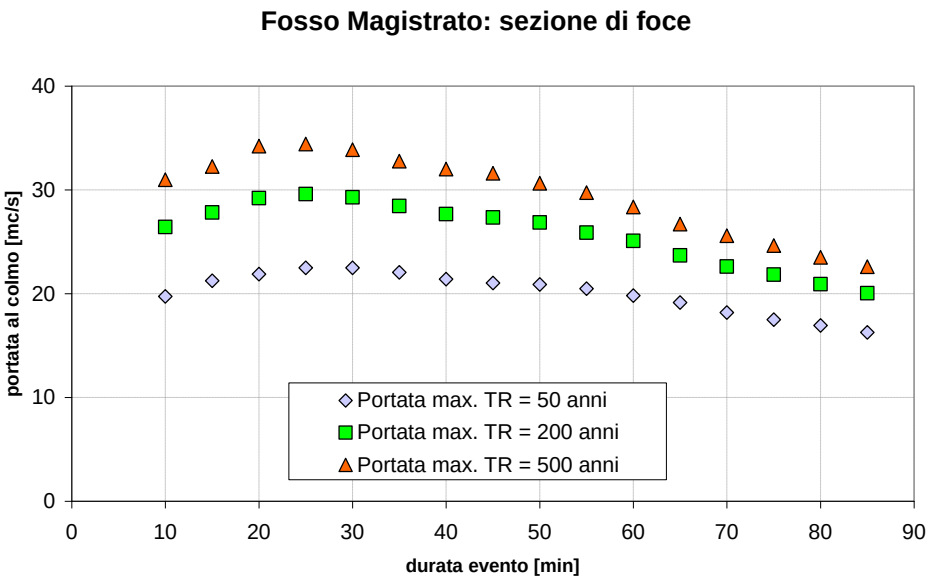


Figura 18 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del fosso Magistrato nello stato attuale

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

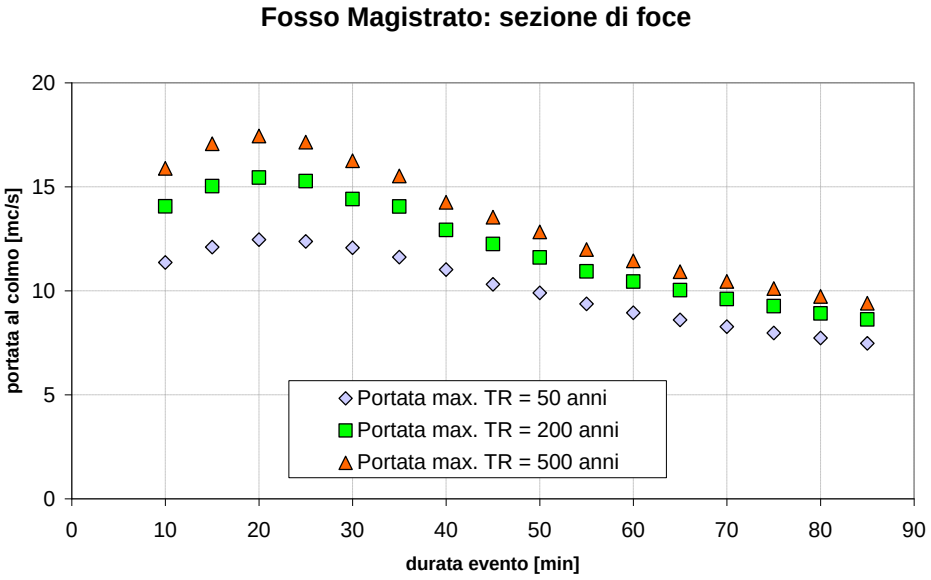


Figura 19 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del fosso Magistrato nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione

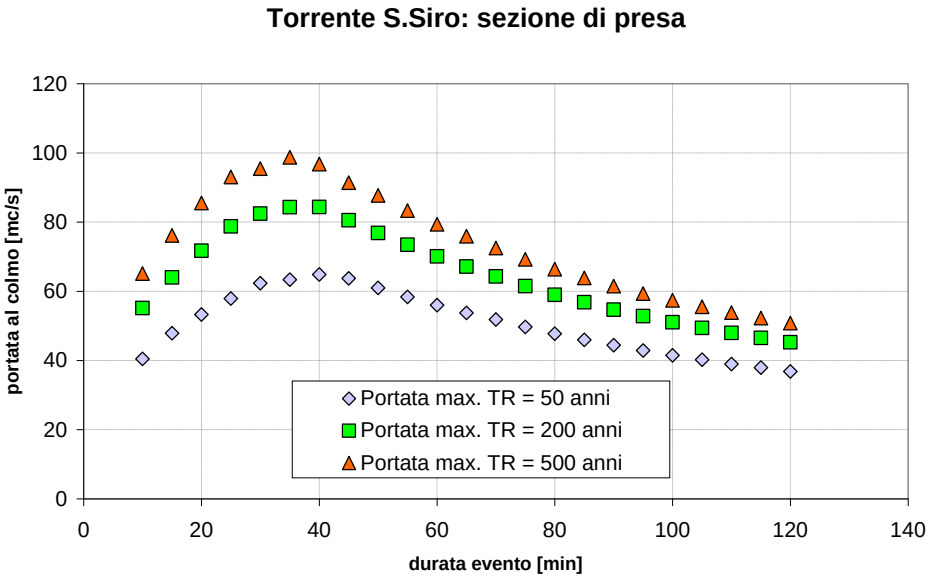


Figura 20 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di presa del torrente S. Siro nello stato attuale

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

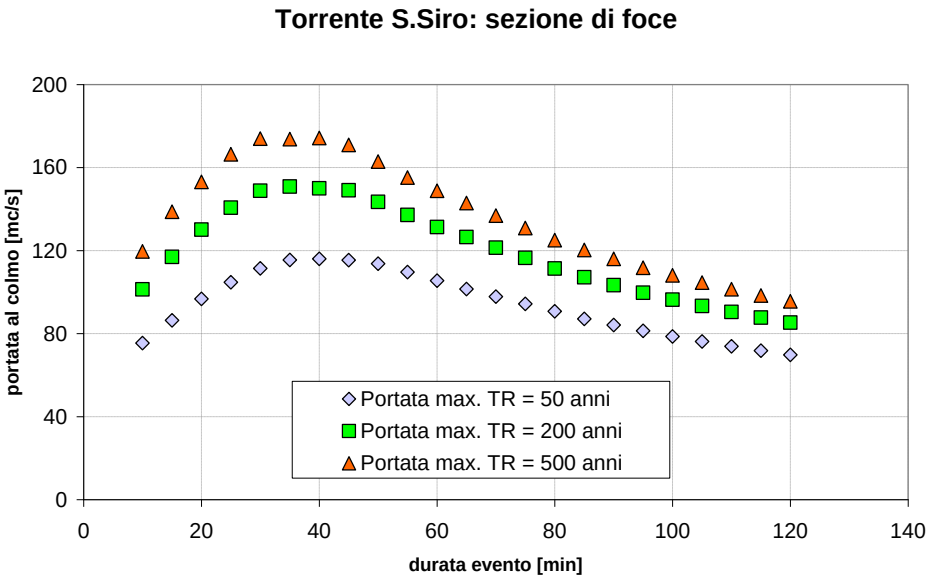


Figura 21 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del torrente S. Siro nello stato attuale

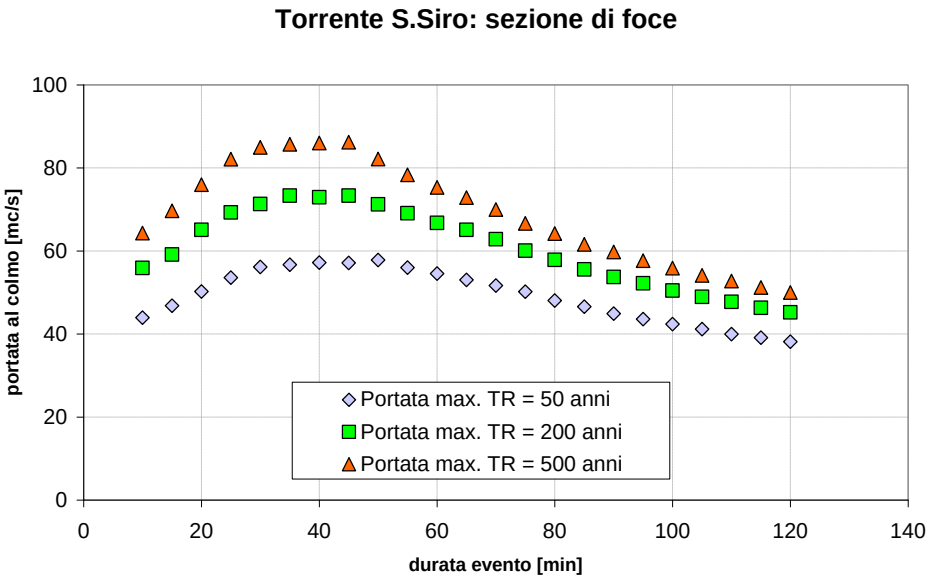


Figura 22 - Ricerca dell'evento critico per la sezione di foce del torrente S. Siro nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le portate temibili valutate per i diversi tempi di ritorno nelle sezioni di calcolo di Figura 1, distinguendo l'evento critico della sezione di presa dall'evento critico della sezione di foce e considerando sia lo stato attuale che lo stato di progetto. Si può osservare come, la ricerca dell'evento

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

critico per il torrente S. Siro alla sezione di presa dello scolmatore in progetto e alla sezione di foce a mare, portino allo stesso risultato mentre, per il fosso Magistrato, l'evento che massimizza la portata al colmo nella sezione di presa risulta diverso da quello che massimizza la portata al colmo nella sezione di foce. Ciò è determinato dalla geomorfologia dei corsi d'acqua: la sezione di presa sul torrente S. Siro è ubicata dove il reticolo alveato risulta già sviluppato mentre, la corrispondente sezione sul fosso Magistrato sottende un'area caratterizzata per la quasi totalità da deflusso superficiale di versante (bassa densità di drenaggio). Questa caratteristica comporta differenti celerità di propagazione del deflusso di piena e, conseguentemente, l'individuazione di eventi critici distinti per le sezioni di presa e di foce.

Il comportamento sopra descritto, insieme ad un valore del parametro di assorbimento CN sensibilmente superiore per la parte di bacino idrografico del fosso Magistrato a valle della sezione di presa dello scolmatore in progetto (Figura 4), porta ad osservare un contributo unitario crescente all'aumentare dell'area drenata. Questo comportamento risulta in accordo con quanto si osserva nell'analisi del Piano di Bacino.

Tabella 11: Evento critico della sezione di presa per il fosso Magistrato nello stato attuale

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	13,85	21,64	18,26	28,53	21,31	33,30
S22	14,95	21,67	19,64	28,46	22,92	33,22
S34	18,14	22,12	23,79	29,01	27,59	33,65
S45	20,49	22,77	26,86	29,84	31,02	34,47
foce	20,86	22,43	27,34	29,40	31,56	33,94

Tabella 12: Evento critico della sezione di foce per il fosso Magistrato nello stato attuale

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	12,58	19,66	16,97	26,52	20,02	31,28
S22	14,1	20,43	18,93	27,43	22,26	32,26
S34	18,76	22,88	24,87	30,33	29,01	35,38
S45	21,95	24,39	28,94	32,16	33,65	37,39
foce	22,49	24,18	29,6	31,83	34,39	36,98

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Tabella 13: Evento critico della sezione di foce per il fosso Magistrato nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	12,58	19,66	16,97	26,52	20,02	31,28
S22	3,72	5,39	4,28	6,20	4,69	6,80
S34	8,54	10,41	10,57	12,89	11,93	14,55
S45	11,77	13,08	14,65	16,28	16,6	18,44
foce	12,46	13,40	15,43	16,59	17,45	18,76

Tabella 14: Evento critico della sezione di presa per il torrente S. Siro nello stato attuale

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	64,86	25,34	84,32	32,94	98,73	38,57
Sm6	69,41	25,33	90,08	32,88	105,68	38,57
S1	82,03	25,01	106,15	32,36	124,75	38,03
S4	90,78	24,54	117,06	31,64	137,72	37,22
S11	96,87	24,65	125,03	31,81	147,03	37,41
Rainusso	100,65	24,24	131,34	31,63	152,85	36,81
foce	116	24,52	150,84	31,89	174,28	36,85

Tabella 15: Evento critico della sezione di foce per il torrente S. Siro nello stato attuale

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	64,86	25,34	84,32	32,94	98,73	38,57
Sm6	69,41	25,33	90,08	32,88	105,68	38,57
S1	82,03	25,01	106,15	32,36	124,75	38,03
S4	90,78	24,54	117,06	31,64	137,72	37,22
S11	96,87	24,65	125,03	31,81	147,03	37,41
Rainusso	100,65	24,24	131,34	31,63	152,85	36,81
foce	116	24,52	150,84	31,89	174,28	36,85

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Tabella 16: Evento critico della sezione di foce per il torrente S. Siro nello stato di progetto ipotizzando lo scolmatore in funzione

Sezione	T = 50 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)	Q colmo (mc/s)	Contributo unitario (mc/s/km^2)
presa	64,86	25,34	84,32	32,94	98,73	38,57
Sm6	9,55	3,49	10,9	3,98	14,85	5,42
S1	22,54	6,87	27,77	8,47	33,67	10,27
S4	32,07	8,67	40,36	10,91	48,69	13,16
S11	38,02	9,67	48,14	12,25	57,47	14,62
Rainusso	43,37	10,45	54,82	13,20	65,09	15,68
foce	57,8	12,22	73,32	15,50	86,16	18,22

1.5.4 Risultati a confronto

Si riportano, al fine di agevolare un rapido confronto tra i metodi menzionati, dei grafici comparativi che mostrano, per la sezione di presa dello scolmatore in progetto e di foce del fosso Magistrato e del torrente San Siro, le portate al colmo stimate in funzione del tempo di ritorno (curva di crescita delle portate al colmo).

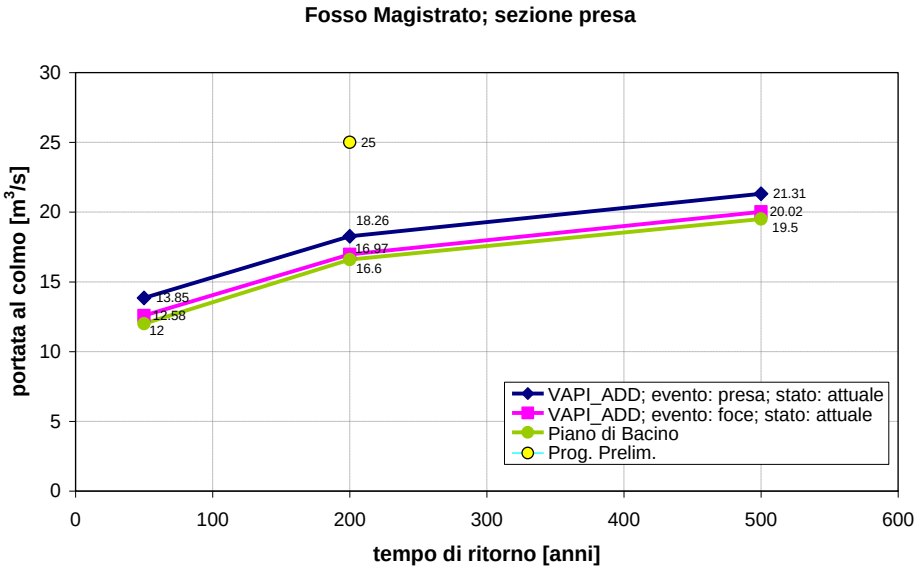


Figura 23 - Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di presa del canale scolmatore in progetto del fosso Magistrato. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

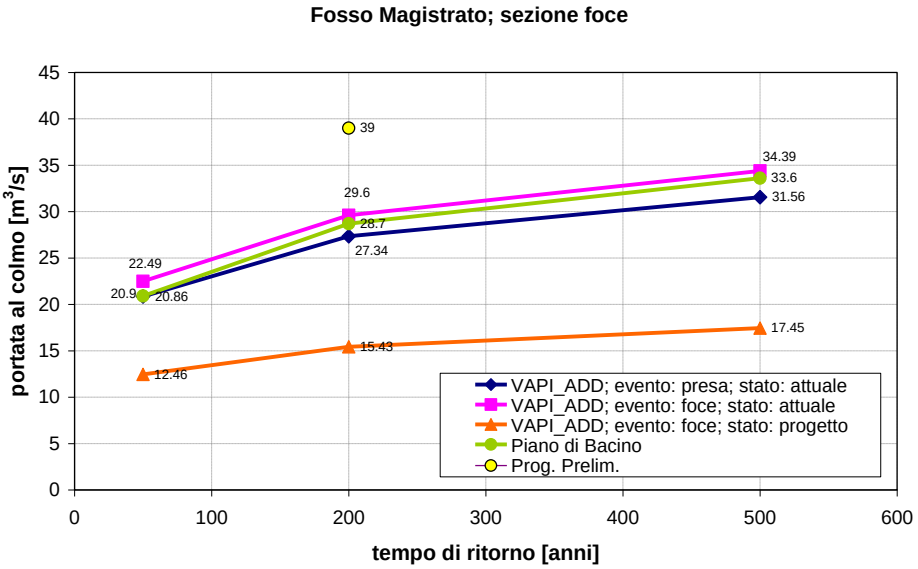


Figura 24 - Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di foce a mare del fosso Magistrato. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare

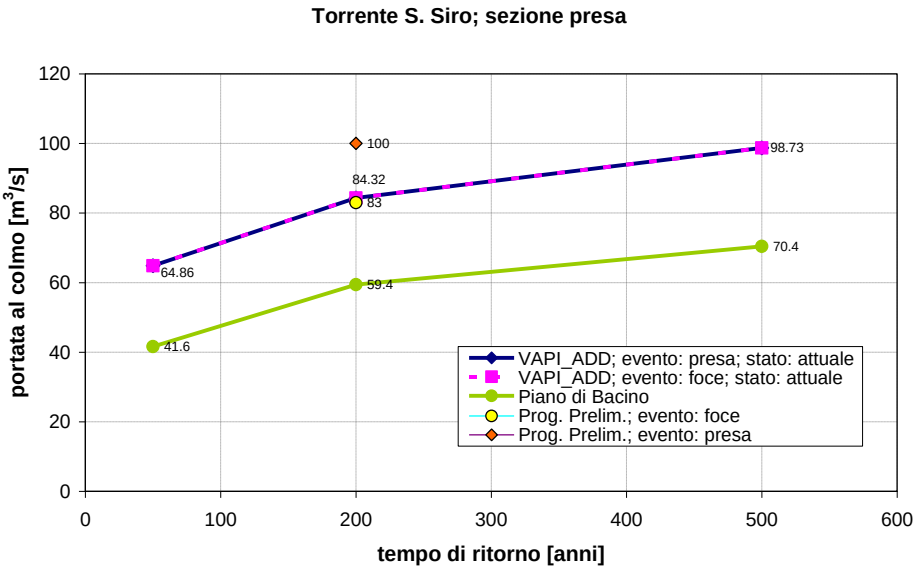


Figura 25 - Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione di presa del canale scolmatore in progetto del torrente San Siro. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

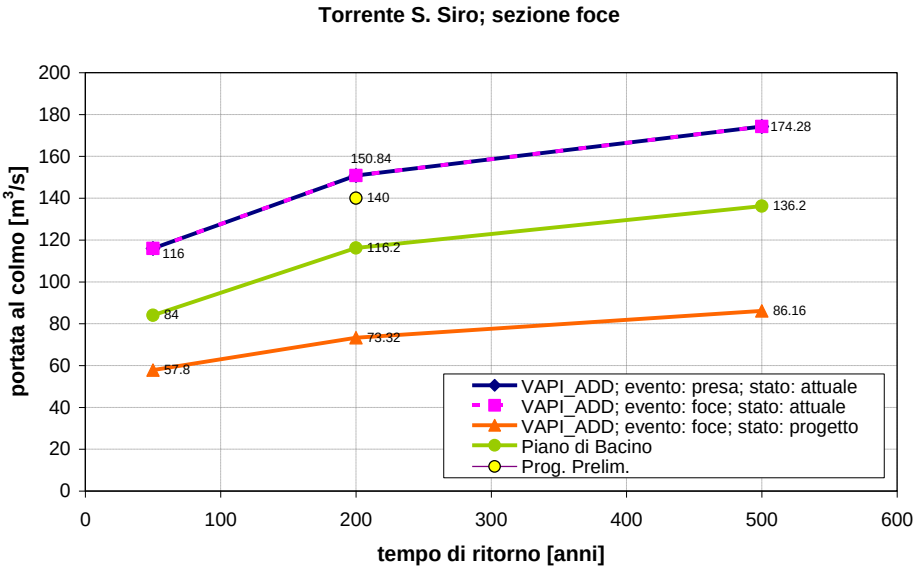


Figura 26 - Curve di crescita delle portate al colmo relative alla sezione foce del torrente San Siro. Raffronto tra la procedura VAPI_ADD basata sulla ricerca dell'evento critico con il modello distribuito, l'analisi del Piano di Bacino e quella del Progetto Preliminare

1.5.5 Scelta del modello di riferimento

Per coerenza con i sistemi pianificatori vigenti si è scelto di progettare gli interventi riferendosi allo scenario idroglogico elaborato per il Piano di Bacino che di seguito si riassume:

Tabella 17:
Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il fosso Magistrato

T (anni)	50	200	500	Area (km^2)	
Q (m^3/s)	12	16,6	19,5	0,62	Sottobacino di monte
	18,1	24,8	29,1	0,83	Sottobacino intermedio
	20,9	28,7	33,6	0,93	Bacino complessivo

Tabella 18:
Portate assunte a base dei calcoli idraulici nel Piano di Bacino per il torrente S. Siro

T (anni)	50	200	500	Area (km^2)	Sottobacino
Q (m^3/s)	25,7	36,8	43,4	1,46	SS1
	41,6	59,4	70,4	2,4	SS2
	62,4	88,3	104,6	3,38	SS3
	84	116,2	136,2	4,9	SS4

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

1.6 CONTRIBUTO DEI RII MINORI

Il tracciato dello scolmatore interseca alcuni corsi d'acqua minori: il fosso Cassanello, il fosso di Costa Mezzana e il fosso Santa Barbara. I primi due sono affluenti del torrente San Siro in sponda destra (Figura 27). I bacini idrografici sottesi presentano un'area compresa tra 0,048 e 0,25 km^2 (Tabella 17).

Tabella 19: Area sottesa dalle sezioni di intersezione tra il tracciato dello scolmatore e i corsi d'acqua minori

Sezione	Cassanello	Costa Mezzana	Santa Barbara
Area (km^2)	0,17	0,048	0,25

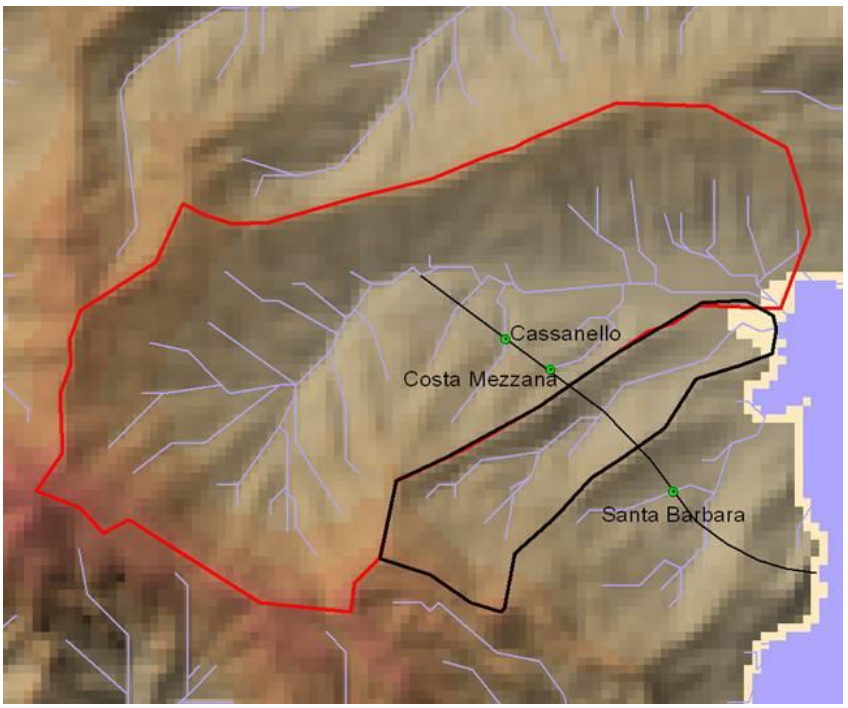


Figura 27 - Punti di intersezione dei corsi d'acqua minori con il tracciato dello scolmatore in progetto

Applicando la procedura VAPI_ADD di ricerca dell'evento critico sono state determinate le portate al colmo potenziali che, per diversi tempi di ritorno, sono attese alle sezioni dei corsi d'acqua minori (Tabella 18). Nella Tabella 18 vengono indicate, inoltre, per il fosso Cassanello e il fosso di Costa Mezzana, le portate attese per l'evento critico complessivo dell'intero bacino del torrente San Siro.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Tabella 20: Portate attese (m^3/s) per le sezioni dei corsi d'acqua minori						
Sezione	**Evento critico**					
	Sottobacino corso d'acqua minore			**Bacino San Siro**		
	TR 50	**TR 200**	**TR 500**	**TR 50**	**TR 200**	**TR 500**
Cassanello	5,1	6,57	7,52	5	5,5	7,14
Costa Mezzana	1,75	2,24	2,57	1,54	2	2,14
S. Barbara	6,64	8,6	10,0	-	-	-

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

2 IL MODELLO FEST98RS

Il modello idrologico FEST98RS (acronimo di Flash – flood Event – based Spatially – distributed rainfall – runoff Transformation, including Reservoirs System), rientra in quella categoria nota nella letteratura scientifica come modelli idrologici distribuiti. La prerogativa di questo modello è, appunto, quella di simulare la formazione e la propagazione del deflusso di piena considerando la variabilità spaziale dei dati di ingresso e dei parametri che definiscono i processi al suolo con una fine risoluzione spaziale e temporale, permettendo di calcolare l'idrogramma di piena in una qualsiasi sezione lungo il reticolo idrografico (Mancini, 1990 e 1998). La risoluzione spaziale deriva dalle dimensioni della cella elementare in cui si suddivide la superficie del bacino. All'interno di ciascuna cella le proprietà topografiche idrologiche ed idrauliche sono ipotizzate continue ed omogenee, in modo da permettere la parametrizzazione delle equazioni dei singoli processi fisici per la cella in esame e di valutarne poi gli effetti complessivi in termini di portata alle sezioni del reticolo idrografico.

Il modello si divide in tre componenti principali. La prima estrae dalla matrice delle quote (DEM) le direzioni di scorrimento e, quindi, distingue i versanti dal reticolo idrografico (Carrara, 1988; Montgomery e Foufoula-Georgiou, 1993; Tarboton, 1997). Tale distinzione è ottenuta stabilendo un'area di drenaggio minima al di sopra della quale le celle in cui è suddivisa la superficie del bacino vanno a comporre il reticolo di drenaggio alveato.

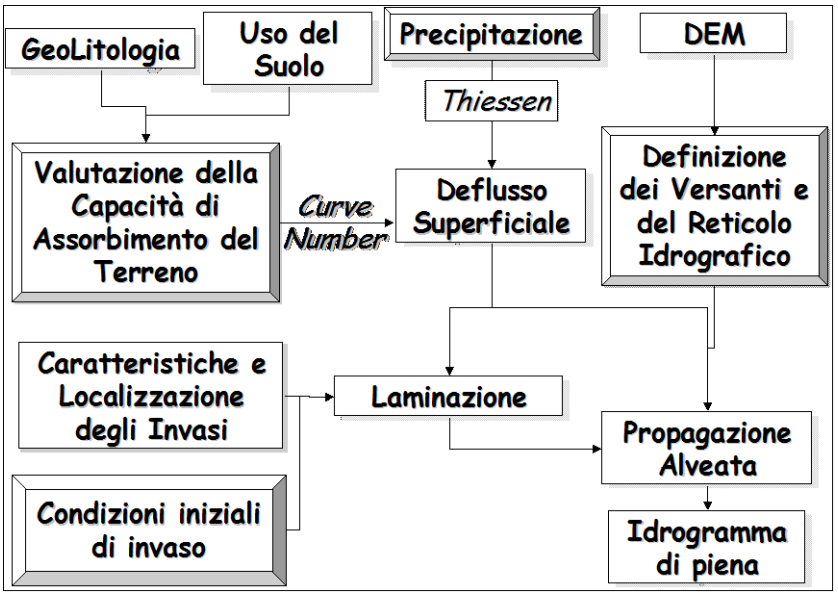


Figura 28 - Schema del modello FEST98RS

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Nella seconda parte il modello elabora l'informazione pluviometrica. La pioggia registrata a scala puntuale dai pluviografi presenti sul bacino viene distribuita sull'intero bacino secondo il metodo di Thiessen (1911) o della distanza inversa. Il tasso di ruscellamento in ogni cella viene calcolato tramite la rielaborazione in forma differenziale del metodo globale SCS – CN proposto dal Soil Conservation Service (1972 e 1986). Le condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento sono valutate in base all'indice AMC (acronimo di "Antecedent Moisture Condition"). Esso consente di modificare localmente la massima capacità di ritenzione potenziale del terreno in ragione dello stato di imbibimento e, nel caso di precipitazione distribuita, viene stimato per ogni area di influenza dei pluviografi.

Nella terza parte del modello sono implementate le equazioni che descrivono la propagazione del deflusso superficiale sui versanti, nel reticolo idrografico e nelle opere di invaso.

Il trasferimento del deflusso superficiale sui versanti e nel reticolo idrografico si ottiene con un metodo di propagazione idrologica basato sul metodo Muskingum – Cunge (Cunge, 1969) nella sua forma non lineare, che si basa sul calcolo della celerità di propagazione in rete variabile nel tempo (Ponce, 1989; Ponce e Yevjevich, 1978; Ponce e Chaganti, 1994). Il modello assume, che per un canale di estremi (i) e (i+1), che colleghi due celle secondo la direzione di massima pendenza, valga una relazione lineare tra il volume invasato W nel tratto considerato e la portata entrante Qi attraverso la sezione (i) e quella uscente Qi+1 attraverso la sezione (i+1):

$$W = k\cdot[\varepsilon\cdot Q_i + (1 - \varepsilon)\cdot Q_{i+1}] \qquad \text{Eq. (A.1)}$$

dove k è il coefficiente di invaso ed ε è il fattore di peso che rappresenta l'influenza relativa della portata entrante e di quella uscente. Indicando poi con Q_{i+1}^{j+1} la portata alla sezione (i+1) al tempo (j+1) Δt, dove Δt è l'intervallo di discretizzazione temporale del modello, il metodo Muskingum assume la forma:

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 \cdot Q_i^{j+1} + C_2 \cdot Q_i^j + C_3 \cdot Q_{i+1}^j \qquad \text{Eq. (A.2)}$$

dove i coefficienti C_i la cui somma deve essere pari all'unità, hanno le espressioni:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2 \cdot k \cdot \varepsilon}{2 \cdot k \cdot (1 - \varepsilon) + \Delta t} \qquad \text{Eq. (A.3)}$$

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2 \cdot k \cdot \varepsilon}{2 \cdot k \cdot (1-\varepsilon) + \Delta t}$$

$$C_3 = \frac{2 \cdot k \cdot (1-\varepsilon) - \Delta t}{2 \cdot k \cdot (1-\varepsilon) + \Delta t}$$

con $k = \frac{\Delta x}{\omega}$ ed $\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{Q}{B \cdot \omega \cdot S_0 \cdot \Delta x}\right)$ (Cunge, 1969) e dove, con riferimento al generico canale di propagazione dell'onda, $\omega = \frac{dQ}{dA}$ rappresenta la celerità, Δx la lunghezza, S_0 la pendenza di fondo assunta coincidente con la pendenza topografica, B la larghezza in corrispondenza del pelo libero della sezione idrica ed A l'area della sezione idrica.

L'equazione scritta per ogni cella, viene modificata sommando nella cella di valle (i+1) la portata dovuta al deflusso superficiale, ossia:

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 \cdot Q_i^{j+1} + C_2 \cdot Q_i^j + C_3 \cdot Q_{i+1}^j + q_{i+1}^{j+1} \qquad \text{Eq. (A.4)}$$

con

$$q_{i+1}^{j+1} = A_0 \cdot \frac{P_e\left[(i+1),(j+1)\cdot \Delta t\right]}{\Delta t} \qquad \text{Eq. (A.5)}$$

dove $P_e\left[(i+1),(j+1)\cdot \Delta t\right]$ è il deflusso superficiale che la cella (i+1) di area A_0 restituisce nell'intervallo temporale $j\Delta t$, $(j+1)\Delta t$.

Il valore di celerità $\omega_{i,j}$ è assunto variabile nel tempo e nello spazio ed è calcolato in ogni cella come:

$$\omega_{i,j}\,(t) = 5/3\; V_{i,j}\,(t) \qquad \text{Eq. (A.6)}$$

in cui $V_{i,j}$ è la velocità media della corrente in ciascuna cella (sul versante o nel reticolo idrografico) calcolata con la formula di Chezy il cui fattore di resistenza viene valutato con l'espressione di Gauckler Strickler. Nel caso di alveo rettangolare, l'espressione della velacità media per la generica cella (i, j), sarà:

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

$$V = \left(k_s \left(\frac{r_f}{r_f + 2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i^{0.5} \right)^{0.75} \cdot \left(\frac{Q}{r_f} \right)^{0.25} \qquad \text{Eq. (A.7)}$$

dove k_s è il coefficiente di scabrezza, r_f il rapporto tra la larghezza della sezione e il tirante idrico. Il valore della portata Q_{i+1}^{j+1} è stimata tramite l'espressione suggerita da Ponce e Yevievich (1978):

$$Q_{i+1}^{j+1} = (Q_i^{j+1} + Q_i^j + Q_{i+1}^j)/3 \qquad \text{Eq. (A.8)}$$

Assumendo una portata variabile nel tempo, è quindi possibile modificare le celerità nei singoli tratti del reticolo idrografico in modo dinamico rispetto al processo di formazione della piena. Questa impostazione consente di rappresentare meglio proprio i rami di risalita e di esaurimento dell'idrogramma rispetto al classico schema a celerità uniforme. Per ciascuna cella del bacino, il calcolo di $V_m(t)$ si basa quindi su una geometria idraulica, che in assenza di un rilievo di dettaglio degli alvei, può ricavarsi ipotizzando che la sezione idraulica del canale o del versante sia rettangolare e omotetica, ossia che il rapporto (r_f = B/y) tra la larghezza in sommità B e il tirante idrico y sia costante in diversi tronchi del reticolo idrografico.

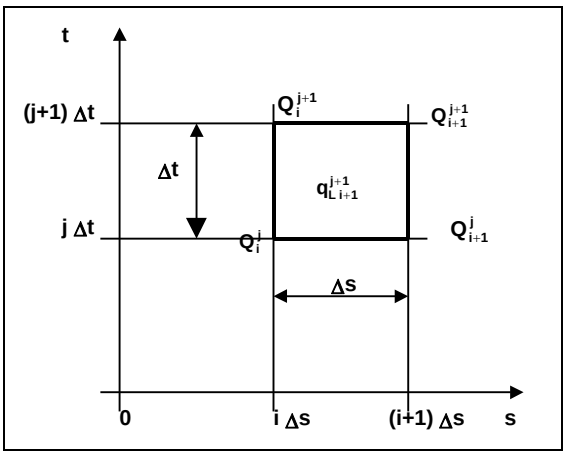


Figura 29 - Discretizzazione spazio temporale nel metodo Muskingum – Cunge

Il modello FEST98RS può tenere conto anche della presenza di invasi artificiali lungo il reticolo idrografico.

La propagazione dell'idrogramma di piena all'interno di ciascun invaso viene rappresentata tramite l'integrazione dell'equazione di continuità del serbatoio, in cui sia la portata uscente che la variazione di volume invasato nel tempo sono calcolate in base alla geometria idraulica dell'invaso e degli organi di scarico. Per

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

l'impossibilità di risolvere analiticamente il problema non lineare nella legge di efflusso, viene impiegato uno schema di calcolo numerico di Runge – Kutta del quarto ordine. Nel caso degli effetti di laminazione di un invaso tale schema consente un soddisfacente compromesso tra sforzo computazionale e precisione del risultato.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

3 IL METODO DEL SCS-CN

Il metodo proposto dal Soil Conservation Service noto come metodo del numero di curva, assume il volume specifico di deflusso superficiale, P_e, proporzionale alla precipitazione cumulata lorda, P, depurata dell'assorbimento iniziale, I_a, secondo il rapporto tra volume specifico infiltrato, F, e volume specifico di saturazione del terreno, S:

$$P_e = \frac{(P_e - I_a)F}{S} \qquad \text{Eq. (B.1)}$$

Dall'equazione di continuità si ha che F è uguale a:

$$F = P - I_a - P_e \qquad \text{Eq. (B.2)}$$

per cui sostituendo ad F, nella (B.1), questa sua espressione si ottiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \qquad \text{Eq. (B.3)}$$

Il volume di saturazione, S, dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, globalmente rappresentati dal parametro CN, secondo la relazione:

$$S = S_0(\frac{100}{CN} - 1) \qquad \text{Eq. (B.4)}$$

dove $0 < CN \leq 100$, e S_0 è un fattore di scala, che riflette l'unità di misura adottata e che per valori di S, F, P_0 e P misurati in mm, è pari a 254mm, ovvero 10 inches.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it

Il metodo dell'SCS-CN prevede quindi due parametri, I_a e S, ovvero CN. In realtà I_a rappresenta un volume specifico di pioggia sottratto a priori dal bilancio in esame, che descrive in modo globale numerosi processi differenti, come l'intercettazione da parte della vegetazione, l'accumulo in depressioni superficiali e l'imbibimento iniziale del terreno. Così definito, esso risulterebbe di difficile taratura, dovendo tenere conto di fattori climatici, geopedologici, ed antropici assai complessi. Poiché dai dati sperimentali questo parametro risulta abbastanza correlato con il volume specifico di saturazione, S, e soprattutto per ovviare alle difficoltà di taratura, la procedura del SCS-CN suggerisce di esprimerne la stima semplicemente come una quota percentuale di S, ponendo:

$$I_a = c \cdot S$$

con c generalmente variabile tra 0,1 e 0,2. Di conseguenza, il modello risulta di tipo mono – parametrico, dove S, ovvero CN, è il solo parametro che descrive il fenomeno dell'assorbimento.

BETA Studio s.r.l.
via Guido Rossa 29/A
35020 Ponte S.Nicolò (PD) ITALIA
info@betastudio.it
www.betastudio.it