

SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti
tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11
del Frizzone e di Lucca Est - 1° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

I PROGETTISTI:

Ing. Vincenzo Marzi
Ordine Ing. di Bari n. 3594

Ing. Giuseppe Danilo Malgeri
Ordine Ing. di Roma n. A34610

Geol. Serena Majetta
Ordine Geologi del Lazio n. 928

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Ing. Achille Devitofranceschi

PROTOCOLLO

DATA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

LO601A D 1601

NOME FILE

T00ID00IDRRE01A.dwg

CODICE
ELAB.

T00ID00IDRRE01

REVISIONE

SCALA

A

D					
C					
B					
A	EMISSIONE	SET 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

INDICE DELLE FIGURE	2
1 PREMESSA	4
2 ANALISI PLUVIOMETRICA	6
2.1 PRECIPITAZIONI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA.....	6
2.2 PRECIPITAZIONI DI DURATA SUPERIORE ALL'ORA	9
3 ASSE NORD-SUD e ovest-est – RIO OZZORETTO	12
3.1 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO OZZORETTO	12
3.1.1 Definizione dei bacini	12
3.1.2 Calcolo del tempo di corrivazione.....	13
3.1.3 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno	14
3.1.4 Confronto tra i valori calcolati da studi precedenti	17
3.1.5 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno.....	18
4 ASSE EST-OVEST – RIO ARPINO E RIO FRIZZONE.....	21
4.1 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO ARPINO	21
4.1.1 Definizione dei bacini	21
4.1.2 Calcolo del tempo di corrivazione.....	22
4.1.3 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno	23
4.1.4 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno.....	25
4.2 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO FRIZZONE	26
4.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione.....	27
4.2.2 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno	27
4.2.3 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno.....	30
5 allegato 1 – IL PROGRAMMA DI CALCOLO IDROLOGICO HEC-HMS.....	32
5.1 La modellazione del bacino idrografico: principali componenti	33
5.2 L'analisi dei dati meteorologici.....	35
5.3 La simulazione idrologica	36

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. LSPP calcolate per il pluviometro di Lucca per la serie storica di dati (1932-2015) relative a precipitazioni di durata < 1 ora	7
Figura 2. Confronto tra le linee segnalatrici per $T_r=200$ anni e durata <1 ora relative al pluviometro di Lucca	8
Figura 3. LSPP calcolate per il pluviometro di Lucca per la serie storica di dati (1932-2015) relative a precipitazioni di durata > 1 ora	10
Figura 4. Confronto tra le linee segnalatrici per $T_r=200$ anni e durata >1 ora relative al pluviometro di Lucca	11
Figura 5. Perimetrazione del bacino del Rio Ozzoretto generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM	13
Figura 6. Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana	15
Figura 7. Parametro a per $T=200$ anni	16
Figura 8. Parametro n per $T=200$ anni	16
Figura 9. Valori di portata a diverso tempo di ritorno relativi ai sottobacini del Rio Ozzoretto. I valori del tempo di ritorno sono riportati in scala logaritmica.	17
Figura 10. Schema del modello idrologico implementato	19
Figura 11. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_1	19
Figura 12. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_2	20
Figura 13. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_3	20
Figura 14. Perimetrazione del bacino del Rio Arpino generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM	22
Figura 15. Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana.....	24
Figura 16. Parametro a per $T=200$ anni	24
Figura 17. Parametro n per $T=200$ anni	24
Figura 18. Schema del modello idrologico implementato	25
Figura 19. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Arpino_1	26
Figura 20. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Arpino_2	26
Figura 21. Perimetrazione del bacino del Rio Frizzone generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM	27

Figura 22.	Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana.....	29
Figura 23.	Parametro a per T=200 anni	29
Figura 24.	Parametro n per T=200 anni	29
Figura 25.	Schema del modello idrologico implementato	31
Figura 26.	Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Frizzone	31
Figura 27.	Interfaccia principale HEC-HMS v.4.0	32
Figura 28.	Inserimento parametri metodo calcolo pioggia netta (SCS CN).....	33
Figura 29.	Inserimento parametri metodo formazione della piena (IUH Clark).....	34
Figura 30.	Inserimento parametri metodo propagazione della piena (lag)	35
Figura 31.	Visualizzazione grafico risultati in un sottobacino	36
Figura 32.	Visualizzazione grafico risultati in una giunzione	37
Figura 33.	Visualizzazione tabella sintetica risultati nei vari elementi	37

1 PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi alle interferenze con il reticolo idrografico di superficie degli assi stradali in progetto per la realizzazione del nuovo Sistema tangenziale di Lucca, Viabilità EST, comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11 del Frizzone e di Lucca EST. 1° stralcio funzionale.

Oggetto dello studio è la definizione degli idrogrammi di piena e dei valori di colmo delle portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario sia al corretto dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino. Nella presente relazione viene fornita una prima caratterizzazione idrologica-idraulica dell'area di interesse e vengono individuate le principali problematiche legate all'interazione tra l'infrastruttura e il sistema delle acque superficiali.

In particolare vengono affrontati i seguenti punti:

- individuazione dei principali bacini idrografici interagenti con l'opera di progetto e loro caratterizzazione idrologica e morfometrica;
- acquisizione ed elaborazione dei dati di pioggia esistenti. Lo studio e le elaborazioni dei dati consentono di associare, in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, una corretta valutazione dell'evento meteorico generatore della portata di dimensionamento;
- determinazione delle curve di possibilità pluviometrica aventi pertinenza sulla zona in esame, necessarie per la stima, note le caratteristiche dei bacini idrografici scolanti, degli idrogrammi e delle portate massime da utilizzare nello studio idraulico;
- determinazione degli idrogrammi di piena e delle portate massime attese con diversi tempi di ritorno in corrispondenza degli attraversamenti principali e secondari.

Lo studio idrologico è propedeutico alle analisi di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua e al corretto dimensionamento e verifica delle opere medesime e degli elementi necessari al drenaggio della piattaforma stradale. Tali temi sono trattati nella Relazione di compatibilità Idraulica (T00ID00IDRRE02_A) e nella Relazione Idraulica di presidio e drenaggio della piattaforma (T00ID00IDRRE03_A).

Le analisi effettuate approfondiscono lo studio idrologico e idraulico effettuato nell'ambito della progettazione preliminare dell'intervento. In particolare sono state recepite tutte le prescrizioni contenute nella delibera di approvazione del progetto preliminare del CIPE n°38/2016.

Sono state aggiornate le analisi pluviometriche prendendo in considerazione tutti i dati disponibili ai pluviometri di Lucca per il periodo 1932 – 2015, forniti e validati da ARPA Toscana. Tale serie storica è stata sottoposta all'analisi statistica di Gumbel, che ha permesso di ricavare le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per diverso tempo di ritorno.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi allo studio pluviometrico condotto nell'ambito del progetto preliminare e con quelli relativi all'analisi a scala regionale della Regione Toscana-Univ. di Firenze.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, per le durate di precipitazione comprese tra 15 e 30 min, di interesse per il dimensionamento della rete di raccolta delle acque di piattaforma, è risultata più cautelativa la LSP derivante dall'analisi di Gumbel della serie storica 1932-2015, che pertanto è stata utilizzata come parametro di progetto per le successive analisi.

Analogamente il confronto è stato effettuato anche per le precipitazioni di durata superiore all'ora, e ha evidenziato maggiore cautela per i valori relativi allo studio di regionalizzazione della regione Toscana, che pertanto sono stati assunti come variabili di progetto.

L'analisi idrologica ha riguardato poi la definizione delle portate e degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno per i bacini del Canale Ozzoretto, Rio Frizzone e Rio Arpino.

Tramite l'elaborazione del rilievo LIDAR in ambiente GIS è stato possibile delimitare il contorno dei suddetti bacini, e di analizzarne le caratteristiche geomorfologiche.

Sono stati calcolati i tempi di corrivazione applicando diverse formule di letteratura, ed adottando come variabile di progetto il valore medio tra quelli calcolati.

Il valore delle portate di piena a diverso tempo di ritorno è stato calcolato mediante l'applicazione della ben nota formula del metodo razionale, nell'ipotesi che portate e precipitazioni siano caratterizzate dallo stesso tempo di ritorno.

L'altezza di precipitazione lorda $H(Tr)$ è stata calcolata in funzione dei parametri a e n delle LSPP elaborate dalla Regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione delle precipitazioni del 2014. Tramite analisi GIS delle mappe raster dei valori a e n a diverso tempo di ritorno sono state calcolate le altezze di pioggia in ogni cella ed estrapolati i valori medi per ogni bacino.

Infine per il calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stato utilizzato il modello idrologico afflussi-deflussi HMS, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers.

2 ANALISI PLUVIOMETRICA

2.1 PRECIPITAZIONI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA

L'analisi delle precipitazioni di durata inferiore all'ora è volta a definire i parametri di progetto per la verifica delle reti di raccolta delle acque di dilavamento delle piattaforme stradali e delle vasche di prima pioggia e vasche volano ad esse connesse.

L'analisi svolta ha preso in considerazione tutti i dati disponibili ai pluviometri di Lucca per il periodo 1932 – 2015, disponibili e validati da ARPA Toscana, riportati nella tabella seguente:

	10mn	15 mm	20 min	30mn	1h		10mn	15 mm	20 min	30mn	1h
1932			16.00	20.40	24.60	1974			28.40		40.00
1933				23.40	31.00	1975			20.20		34.00
1934				23.40	31.00	1976		19.20			38.80
1935				50.00	65.00	1977		14.20			27.60
1936				19.80	24.00	1978		10.60			20.40
1937				45.00	85.00	1979		12.80			23.00
1938						1980		14.60			17.80
1939			17.00		23.00	1981	13.40				36.20
1940				25.40	38.80	1982	14.60				33.00
1941				18.60	22.60	1983	18.60				38.60
1942					29.20	1984	12.40				22.80
1943					33.60	1985	15.00				22.00
1944					90.80	1986	10.40	11.60	13.60	19.80	30.80
1945					14.40	1987	18.00	24.40	31.60	36.40	64.40
1946					62.00	1988	12.60		16.40	20.40	33.80
1947					65.20	1989	9.90	13.10	15.70	21.00	34.50
1948					20.60	1990	12.00		14.60	17.40	33.00
1949					41.00	1991	12.00		17.20	22.40	34.60
1950					32.60	1992	12.50		16.70	22.40	40.50
1951				19.00	27.00	1993	8.20		15.00	19.40	26.80
1952		26.00		40.00	82.00	1994	11.80		22.20	25.60	34.40
1953				30.00	38.40	1995	11.80		15.40	19.80	37.00
1954				23.60	35.00	1996	9.40		11.40	13.40	23.40
1955			25.00		29.20	1997	11.20		14.20	17.40	27.00
1956				18.00	24.00	1998	6.80		12.60	14.60	21.00
1957				32.20	33.80	1999				30.90	61.50
1958				40.00	50.00	2000		12.40		24.40	46.90
1959			12.80		24.00	2001		10.20		14.80	21.20
1960		11.00			17.00	2002		18.80		25.40	31.00
1961				22.80	24.20	2003		4.00		4.60	7.80
1962	19.00				19.60	2004		28.60		50.80	79.40
1963			20.00		37.80	2005		15.00		22.20	27.80

	10mn	15 mm	20 min	30mn	1h		10mn	15 mm	20 min	30mn	1h
1964	20.00				30.00	2006		19.40		29.00	33.20
1965	16.00				25.00	2007		14.80		23.00	31.20
1966	15.00				24.00	2008		13.20		23.60	26.20
1967	12.00				32.00	2009		7.00		12.60	17.20
1968	21.60				23.00	2010		25.20		33.00	36.40
1969		34.00			34.00	2011		14.00		27.00	34.80
1970			24.00		47.00	2012		20.00		34.20	49.60
1971			26.00		50.00	2013		21.40		33.40	42.00
1972		17.00			31.60	2014		21.60		28.60	31.20
1973			23.40		36.40	2015		13.00		17.40	24.00

Tale serie storica è stata sottoposta all'analisi statistica di Gumbel, che ha permesso di ricavare le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per diverso tempo di ritorno, i cui risultati sono riportati nella tabella e nel grafico seguenti.

durata [min]	Tr [anni]								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
10.00	12.51	17.16	20.24	23.19	27.02	29.88	32.74	36.50	39.35
15.00	15.58	21.37	25.20	28.88	33.64	37.21	40.77	45.46	49.00
20.00	18.20	24.97	29.45	33.75	39.31	43.48	47.63	53.11	57.25
30.00	22.67	31.09	36.67	42.02	48.95	54.14	59.31	66.14	71.29
60.00	32.98	45.24	53.36	61.14	71.22	78.77	86.30	96.22	103.73

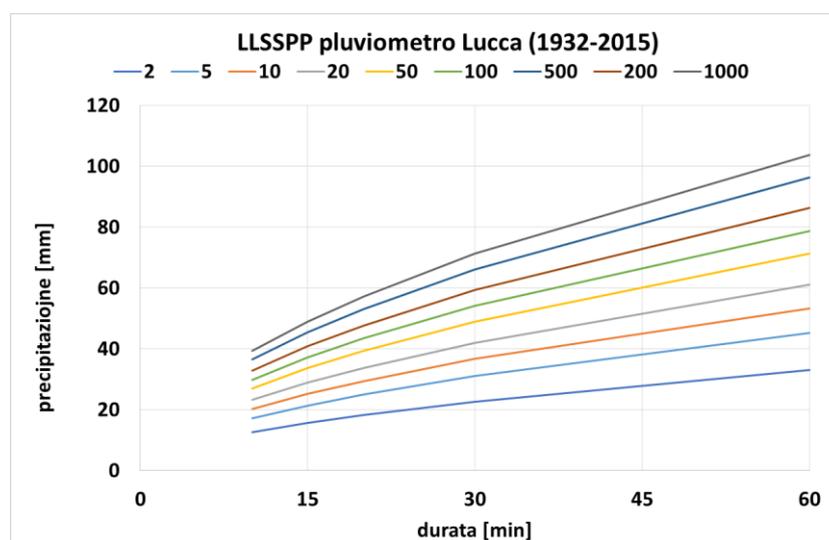


Figura 1. LSPP calcolate per il pluviometro di Lucca per la serie storica di dati (1932-2015) relative a precipitazioni di durata < 1 ora

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi allo studio pluviometrico condotto nell'ambito del progetto preliminare e con quelli relativi all'analisi regionale della Regione Toscana-Univ. di Firenze.

Lo studio della Regione Toscana-Univ. di Firenze ha riguardato l'aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme giornaliere e di durata oraria compresa fra 1

ora e 24 ore nonché l'aggiornamento delle LSPP. All'interno di tale studio sono state analizzate anche le precipitazioni di durata inferiore all'ora, tuttavia è stato osservato che le serie storiche di valori di altezza di pioggia massima annua di durata 15 e 20 minuti con più di 30 anni di dati sono state registrate solo per 5 stazioni, mentre non si dispone di misure di altezza di pioggia di durata 45' di lunghezza della serie storica con 10 o più anni. Pertanto, si è proceduto con una verifica della rappresentatività delle curve di crescita teoriche del modello TCEV dedotte su base oraria, per le quattro regioni individuate, solo per le altezze di pioggia di durata 30' con più di 30 anni di dati.

Da tale studio è emerso che per tutte le regioni (in cui è stato suddiviso il territorio della Toscana), la curva di crescita teorica, dedotta dai dati orari, si può considerare rappresentativa per la durata di 30 minuti. Pertanto sono stati applicati i coefficienti di crescita per diverso tempo di ritorno alla serie storica analizzati al fine di ricostruire le LSPP applicando tale metodologia.

Nella figura seguente si riportano i valori a confronto della LSP relativa al $Tr=200$ anni:

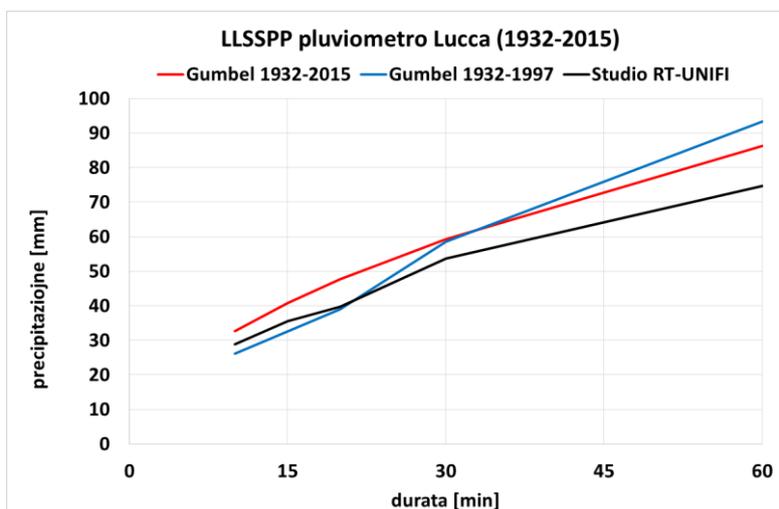


Figura 2. Confronto tra le linee segnalatrici per $Tr=200$ anni e durata <1 ora relative al pluviometro di Lucca

Dall'analisi dei risultati ottenuti, per le durate di precipitazione comprese tra 15 e 30 min, di interesse per il dimensionamento della rete di raccolta delle acque di piattaforma, risulta più cautelativa la LSP derivante dall'analisi di Gumbel della serie storica 1932-2015, che pertanto viene utilizzata come parametro di progetto per le successive analisi.

2.2 PRECIPITAZIONI DI DURATA SUPERIORE ALL'ORA

In analogia con quanto descritto al paragrafo precedente sono state analizzate le precipitazioni di durata superiore all'ora relativamente al pluviometro di Lucca.

Anno	1h	3h	6h	12h	24h		1h	3h	6h	12h	24h
1932	24.60	27.40	48.80	61.60	71.00	1975	34.00	34.60	50.20	77.40	103.60
1933	31.00	43.40	43.80	45.80	57.00	1976	38.80	67.40	70.00	91.60	107.80
1934	31.00	43.40	43.80	45.80	57.00	1977	27.60	40.00	60.00	73.80	73.80
1935	65.00	82.80	84.00	118.40	154.40	1978	20.40	40.20	55.40	55.40	65.40
1936	24.00	27.80	37.40	70.00	101.40	1979	23.00	26.20	49.80	90.60	149.80
1937	85.00	150.00	193.60	260.00	273.20	1980	17.80	27.40	41.60	47.20	94.20
1939	23.00	34.60	47.60	50.60	71.00	1981	36.20	59.20	67.80	67.80	88.20
1940	38.80	52.00	59.00	67.00	77.80	1982	33.00	38.00	50.00	73.20	79.00
1941	22.60	29.20	38.20	55.60	66.00	1983	38.60	40.40	47.00	57.40	63.00
1942	29.20	35.60	41.00	42.00	52.00	1984	22.80	32.20	38.80	43.00	54.20
1943	33.60	42.60	66.40	68.20	68.20	1985	22.00	33.00	36.00	52.80	69.00
1944	90.80	101.20	101.10	101.20	101.20	1986	30.80	45.00	49.20	52.80	66.60
1945	14.40	19.80	25.00	32.40	32.80	1987	64.40	99.80	115.40	123.60	160.80
1946	62.00	70.60	85.00	107.40	114.00	1988	33.80	48.40	60.40	69.60	92.40
1947	65.20	79.60	81.60	81.60	81.60	1989	34.50	62.60	80.60	82.00	82.00
1948	20.60	31.80	39.40	50.20	51.60	1990	33.00	65.60	92.40	125.40	138.40
1949	41.00	43.20	46.40	50.60	64.80	1991	34.60	68.40	75.00	78.00	78.00
1950	32.60	37.20	61.00	77.60	78.60	1992	40.50	97.90	158.50	201.60	204.40
1951	27.00	55.20	73.80	112.20	118.00	1993	26.80	32.00	33.60	48.60	65.20
1952	82.00	83.00	94.80	96.20	107.40	1994	34.40	60.00	74.40	102.00	119.80
1953	38.40	53.20	77.00	101.80	119.60	1995	37.00	49.80	70.00	72.60	78.60
1954	35.00	61.00	67.80	74.40	74.40	1996	23.40	31.00	37.60	48.60	70.20
1955	29.20	30.40	42.00	59.00	106.00	1997	27.00	54.00	71.60	71.60	71.60
1956	24.00	45.00	60.00	68.00	77.60	1998	21.00	49.00	55.00	55.00	55.00
1957	33.80	44.00	47.20	54.40	63.60	1999	61.50	98.50	99.50	102.30	105.90
1958	50.00	61.80	62.20	62.20	64.80	2000	46.90	66.30	91.80	125.00	174.60
1959	24.00	38.60	53.60	68.60	90.40	2001	21.20	32.60	54.60	64.20	74.60
1960	17.00	38.00	61.00	72.40	76.40	2002	31.00	53.00	63.40	85.00	118.80
1961	24.20	40.00	49.80	60.80	101.40	2003	7.80	16.00	25.20	42.80	48.40
1962	19.60	24.40	34.00	44.40	48.00	2004	79.40	103.20	109.00	110.80	111.60
1963	37.80	45.40	51.00	61.60	69.80	2005	27.80	51.80	75.80	87.60	97.20
1964	30.00	55.40	67.40	78.80	104.00	2006	33.20	56.40	82.00	88.20	94.80
1965	25.00	31.20	44.80	61.00	81.00	2007	31.20	54.80	94.40	94.60	94.80
1966	24.00	56.00	92.80	122.80	125.80	2008	26.20	32.60	41.00	49.00	60.40
1967	32.00	44.80	72.60	94.00	94.00	2009	17.20	26.60	35.40	51.20	65.40
1968	23.00	27.70	38.00	60.00	89.20	2010	36.40	51.20	72.20	95.60	124.00
1969	34.00	41.20	66.80	67.00	101.40	2011	34.80	48.80	63.80	74.00	82.40
1970	47.00	63.40	65.80	67.60	67.60	2012	49.60	80.80	114.00	116.80	119.40

Anno	1h	3h	6h	12h	24h		1h	3h	6h	12h	24h
1971	50.00	75.60	84.60	89.00	99.40	2013	42.00	49.40	49.40	67.00	91.80
1972	31.60	39.60	40.60	68.80	75.20	2014	31.20	41.80	63.80	84.40	95.20
1973	36.40	75.80	96.60	117.20	127.00	2015	24.00	57.80	96.20	113.60	139.40
1974	40.00	56.20	57.80	58.60	58.60						

Tale serie storica è stata sottoposta all'analisi statistica di Gumbel, che ha permesso di ricavare le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per diverso tempo di ritorno, i cui risultati sono riportati nella tabella e nel grafico seguenti.

durata [ore]	Tr [anni]								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
1	33.58	47.20	56.22	64.87	76.07	84.46	92.82	103.85	112.19
3	47.06	66.14	78.78	90.90	106.59	118.35	130.06	145.52	157.20
6	58.22	81.83	97.46	112.46	131.87	146.42	160.91	180.03	194.48
12	72.02	101.24	120.58	139.13	163.15	181.14	199.07	222.73	240.61
24	89.10	125.25	149.18	172.13	201.84	224.10	246.29	275.55	297.67

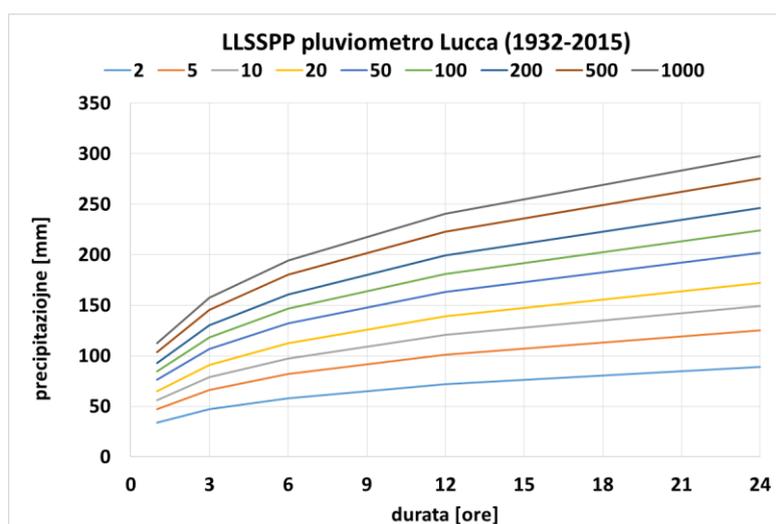


Figura 3. LSPS calcolate per il pluviometro di Lucca per la serie storica di dati (1932-2015) relative a precipitazioni di durata > 1 ora

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi allo studio pluviometrico condotto nell'ambito del progetto preliminare e con quelli relativi all'analisi regionale della Regione Toscana-Univ. di Firenze.

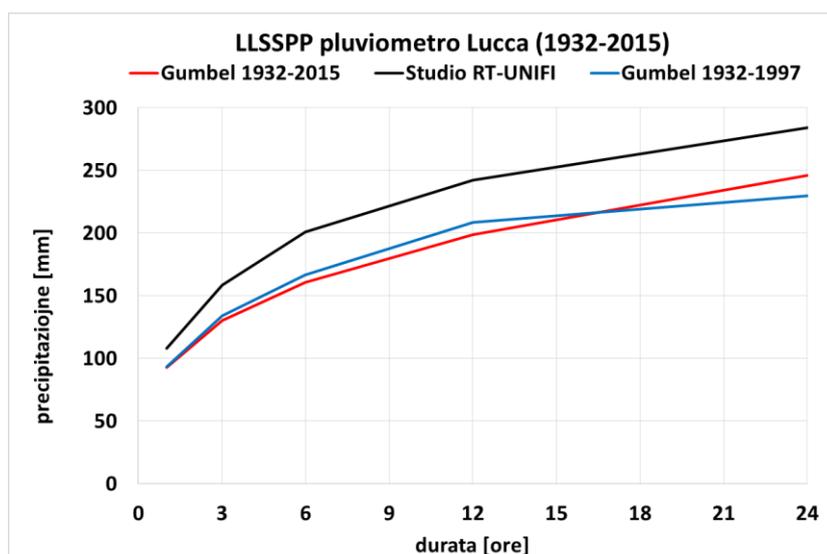


Figura 4. Confronto tra le linee segnalatrici per $T_r=200$ anni e durata >1 ora relative al pluviometro di Lucca

Dall'analisi dei risultati ottenuti, per le durate di precipitazione superiori all'ora, di interesse per il dimensionamento dei manufatti di attraversamento del reticolo idrico minore e irriguo, risulta più cautelativa la LSP derivante dall'analisi di regionalizzazione della Regione Toscana, che pertanto viene utilizzata come parametro di progetto per le successive analisi.

3 ASSE NORD-SUD E OVEST-EST – RIO OZZORETTO

3.1 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO OZZORETTO

Le analisi effettuate approfondiscono lo studio idrologico e idraulico effettuato nell'ambito della progettazione preliminare dell'intervento. In particolare sono state recepite tutte le prescrizioni contenute nella delibera di approvazione del progetto preliminare del CIPE n°38/2016.

L'analisi idrologica volta alla definizione delle portate e degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stata effettuata utilizzando i seguenti dati:

- Shape files della regione Toscana relativi al reticolo idrico minore e al reticolo irriguo
- Cartografia CTR della Regione Toscana
- Rilievo Lidar del Ministero dell'Ambiente con maglia 1*1/2*2
- Raster della regione Toscana con i parametri a e n delle LSPP a diverso tempo di ritorno
- Carta del CN(II) della regione Toscana
- Studio dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale sul canale Ozzoretto (ex ADB fiume Serchio e Arno) condotto a supporto della "Variante al Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico – I Aggiornamento" (approvata con DPCM 26/7/2013).

3.1.1 Definizione dei bacini

Tramite l'elaborazione del rilievo LIDAR in ambiente GIS è stato possibile delimitare il contorno del bacino del Rio Ozzoretto, che risulta essere composto da tre sottobacini denominati OZZ_1, OZZ_2 e OZZ_3 (figura seguente). Le caratteristiche geomorfologiche dei tre sottobacini sono riepilogate nella tabella seguente:

	Ozz 1	Ozz 2	Ozz 3
Area del bacino idrografico [kmq]:	5.7	5.54	5.92
Lunghezza dell'asta principale [km]:	6.9	6.3	5.2
Quota massima del bacino idrografico [m slm]:	37	28	27.7
Quota media del bacino idrografico [m slm]:	22	19	16.9
Quota della sezione di chiusura del bacino idrografico [m slm]:	13.3	13	10.3
Pendenza media dell'asta principale [adimensionale]:	0.0034	0.0024	0.0033

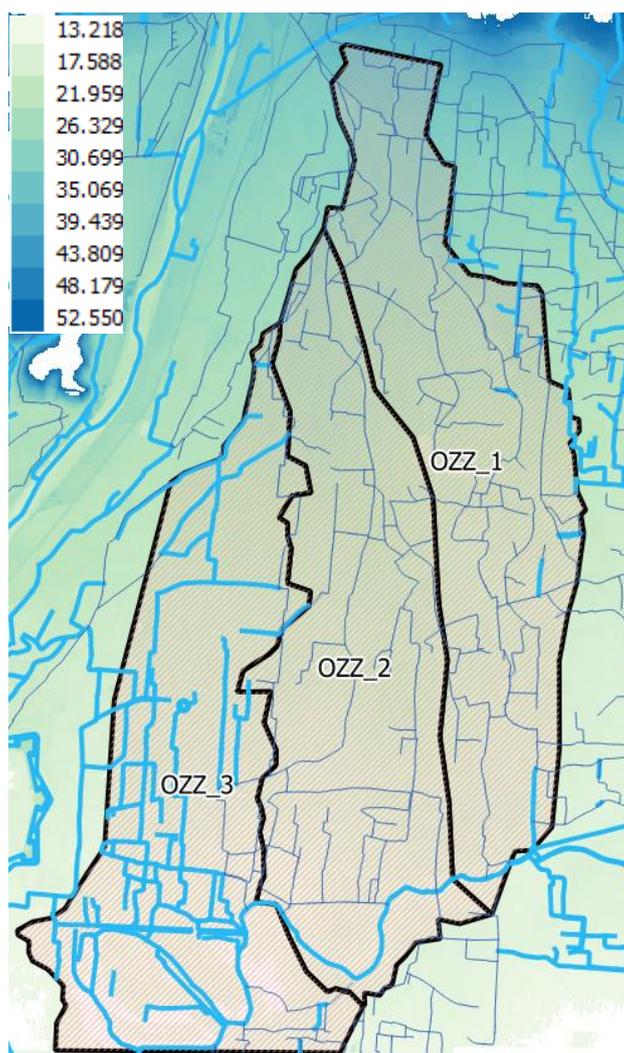


Figura 5. Perimetrazione del bacino del Rio Ozzoretto generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM

3.1.2 Calcolo del tempo di corrivazione

Il valore dei tempi di corrivazione dei bacini, necessario per la stima delle portate di progetto, è stato valutato con diverse formule presenti in letteratura, poiché la superficie degli stessi è inferiore a 100 kmq:

- Giandotti: $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$
- Viparelli: $t_c = \frac{L}{v}$,
- Pezzoli: $t_c = 0.055 * \frac{L}{\sqrt{p}}$,
- Kirpich: $t_c = 0.066 * L^{0.77} * \left[\frac{1000L}{0.8(H_{max} - H_0)} \right]^{0.385}$
- Ventura: $t_c = 0.315 * \sqrt{A}$
- Puglisi: $t_c = 6 * L^{\frac{2}{3}} * (H_{max} - H_0)^{-1/3}$

$$- \text{ Pasini: } t_c = 0.108 * \frac{(A*L)^{1/3}}{0.8*\sqrt{p}}$$

Dove:

- A = la superficie del bacino [kmq]
 L = lunghezza dell'asta principale [km]
 H_m = quota media del bacino
 H₀ = quota della sezione di chiusura
 v = valore della velocità della corrente [m/s]
 p = pendenza media dell'asta.

È stato successivamente calcolato il valore medio dei diversi valori ottenuti (espressi in ore), ed infine escludendo quei valori che risultavano eccessivamente elevati o ridotti è stato assunto un valore di progetto, come riportato nella tabella seguente:

	BACINO		
	Ozz 1	Ozz 2	Ozz 3
Formula	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ORE]		
GIANDOTTI	8.43	9.63	8.53
PEZZOLI	6.48	7.10	4.94
VENTURA	5.18	6.14	5.35
PUGLISI	7.57	8.30	6.95
PASINI	7.83	9.04	7.31
media	7.10	8.04	6.62
Tc progetto	7.1	8	6.6

3.1.3 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno

Il valore della portata di piena a diverso tempo di ritorno è stato calcolato mediante l'applicazione della ben nota formula del metodo razionale, nell'ipotesi che portate e precipitazioni siano caratterizzate dallo stesso tempo di ritorno:

$$Q(T_R) = \frac{A * i_n (T_R)}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

- A = superficie del bacino alla sezione di chiusura [kmq]
 i_n = intensità di pioggia netta valutata per durata di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino [mm/ora]

L'intensità di pioggia netta, a diverso tempo di ritorno, data dal rapporto tra l'altezza di pioggia netta, h_n, e la durata, d, dell'evento, è stata calcolata utilizzando il metodo del Curve Number (CN). Tale metodo è stato messo a punto nel 1972 dal Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture, e considera il deflusso superficiale come la differenza fra

precipitazione e perdite, dove in queste ultime si inglobano oltre alle perdite per infiltrazione anche quelle per intercettazione da parte delle piante, per accumulo sulle depressioni superficiali e per l'imbibimento iniziale del terreno.

La formulazione si basa sulle seguenti equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_n = \frac{(H - I_a)^2}{H - I_a + S} \\ S = \frac{25400}{CN(III)} - 254 \\ CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)} \end{array} \right.$$

Dove:

- H = altezza di pioggia lorda, per evento di durata d, e tempo di ritorno Tr
- I_a = perdite iniziali = 0.2*S
- S = volume specifico di saturazione del terreno
- CN = indice della permeabilità del terreno, ricavabile in funzione della tipologia litologica del suolo, dell'uso del suolo e del grado di umidità del suolo prima dell'evento pluviometrico.

Il valore del coefficiente CN(II), medio per ogni bacino di interesse, è stato calcolato elaborando la carta di uso del suolo della Regione Toscana:

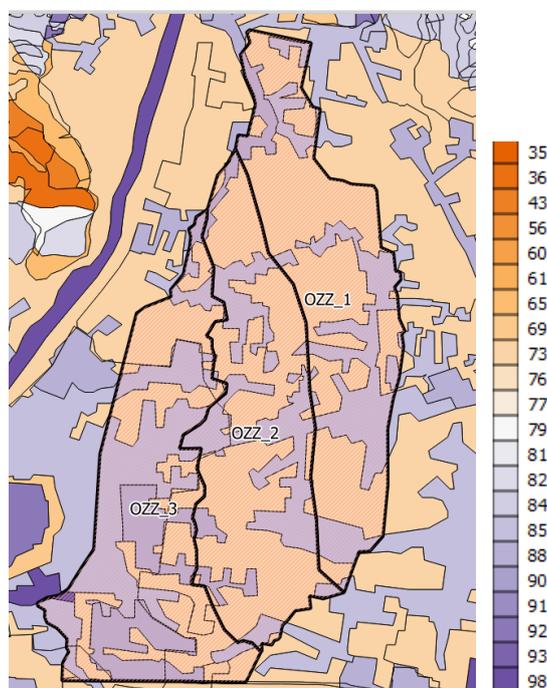
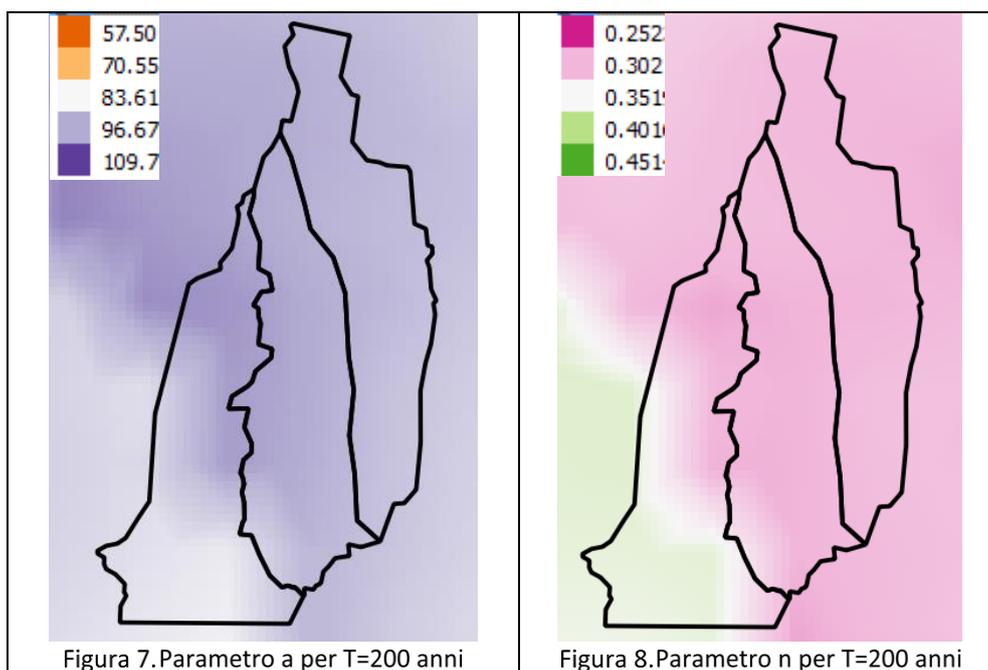


Figura 6. Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana

L'altezza di precipitazione lorda $H(Tr)$ è stata calcolata in funzione dei parametri a e n delle LSPP elaborate dalla Regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione delle precipitazioni del 2014. Tramite analisi GIS delle carte raster dei valori a e n a diverso tempo di ritorno sono state calcolate le altezze di pioggia in ogni cella riferita alla durata pari al tempo di corrivazione e calcolati i valori medi per ogni bacino. Dividendo per il tempo di corrivazione si ottengono le intensità di pioggia da inserire nella formula per il calcolo delle portate del metodo razionale. Nella figura seguente si riporta a titolo esemplificativo la mappatura dei parametri a ed n per $Tr=200$ anni.



Nella tabella seguente si riportano i valori di i_n calcolati per durate di precipitazione pari al tempo di corrivazione di ogni bacino:

T [anni]	OZZ_1 [mm/ora]	OZZ_2 [mm/ora]	OZZ_3 [mm/ora]
30	7.680	7.764	9.680
100	11.931	11.942	14.437
200	16.135	13.984	16.977
500	19.044	18.708	21.682

Infine nella tabella seguente si riportano i valori al colmo di piena a diverso tempo di ritorno stimati con la metodologia descritta.

T [anni]	OZZ_1 [mc/s]	OZZ_2 [mc/s]	OZZ_3 [mc/s]
30	12.2	11.9	15.9
100	18.9	18.4	23.7
200	25.5	21.5	27.9
500	30.2	28.8	35.7

Gli stessi valori, a cui si aggiungono quelli ottenuti sommando i valori dei sottobacini 1 e 2, sono riportati nel grafico seguente.

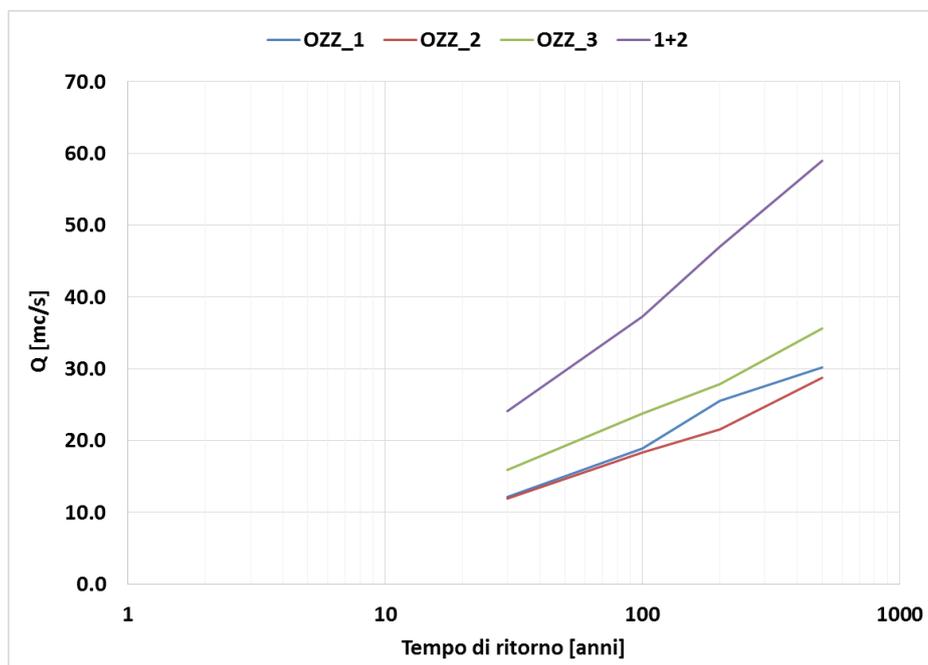


Figura 9. Valori di portata a diverso tempo di ritorno relativi ai sottobacini del Rio Ozzoretto. I valori del tempo di ritorno sono riportati in scala logaritmica.

3.1.4 Confronto tra i valori calcolati da studi precedenti

Si riporta nelle tabelle seguenti un confronto tra i valori al colmo di piena stimati nel presente studio con quelli stimati da studi precedenti. In particolare i valori della presente analisi sono stati comparati con quelli relativi ai seguenti studi:

- Studio Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (2013)
- Progetto preliminare RFI: Linea pistoia - Lucca - Viareggio/Pisa Raddoppio della linea Pistoia - Lucca - Pisa s.r. Tratta Pescia – Lucca (2017)
- Studio del comune di Capannori a supporto della Variante Generale al Regolamento Urbanistico (apr. 2008)

Il confronto è stato effettuato per $Tr=30$ e $Tr=200$ anni, essendo mancanti gli altri tempi di ritorno negli studi citati.

	Tr30		
	Ozz_1	Ozz_2	Ozz_3
Autorità di Bacino	12.8	12.2	9.3
Progetto RFI			
Comune Capannori	12	25	
ANAS	12.2	11.9	15.9

	Tr200		
	Ozz_1	Ozz_2	Ozz_3
Autorità di Bacino	16.5	15.6	11.9
Progetto RFI	21.7	25.2	15.4
Comune Capannori	16	28	
ANAS	25.5	21.5	27.9

I risultati ottenuti nella presente analisi risultano analoghi a quelli conseguiti dagli studi precedenti, in termini di ordini di grandezza delle portate stimate. Le differenze presenti tra i valori calcolati dall'Autorità di bacino distrettuale nel 2013 per Tr=200 anni possono essere attribuibili alla diversa base pluviometrica adottata, poiché il citato studio faceva riferimento ad analisi precedenti a quelle dell'aggiornamento effettuato nel 2014.

3.1.5 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno

Per il calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stato utilizzato il modello idrologico afflussi-deflussi HMS, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers.

Le principali assunzioni poste alla base del modello sono le seguenti:

- ietogrammi di progetto con intensità costante ricavati dalle curve segnalatrici regionalizzate;
- perdite idrologiche modellate con il metodo SCS-CN, utilizzando valori di CN(III) calcolati in funzione del CN(II) medio del bacino;
- trasformazione afflussi-deflussi secondo lo schema SCS-CN.

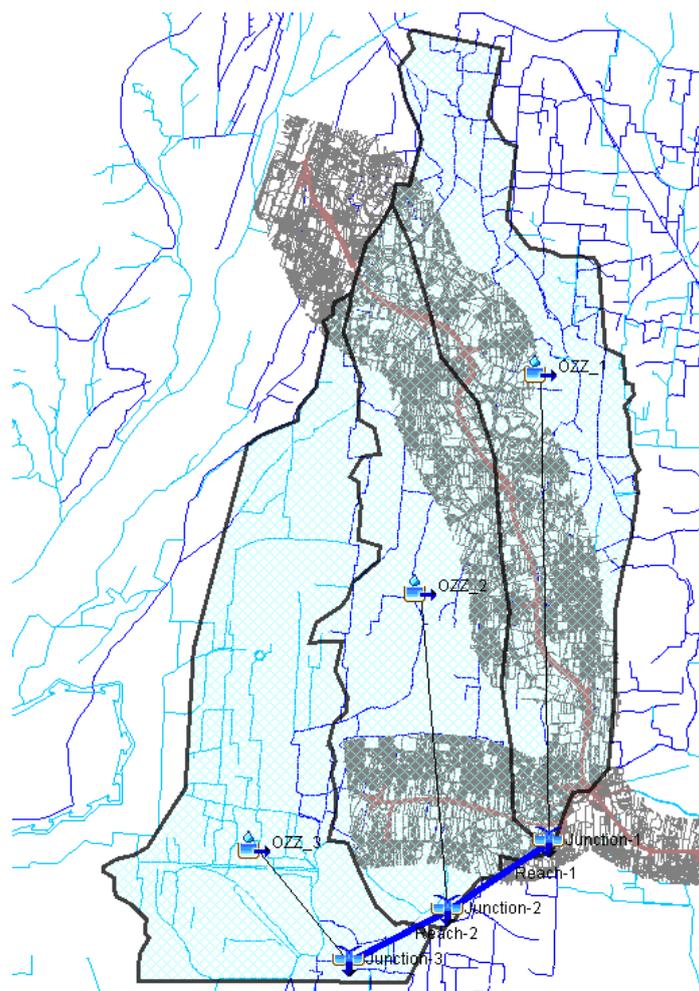


Figura 10. Schema del modello idrologico implementato

Nei grafici seguenti si riportano gli idrogrammi così calcolati per ogni sottobacino.

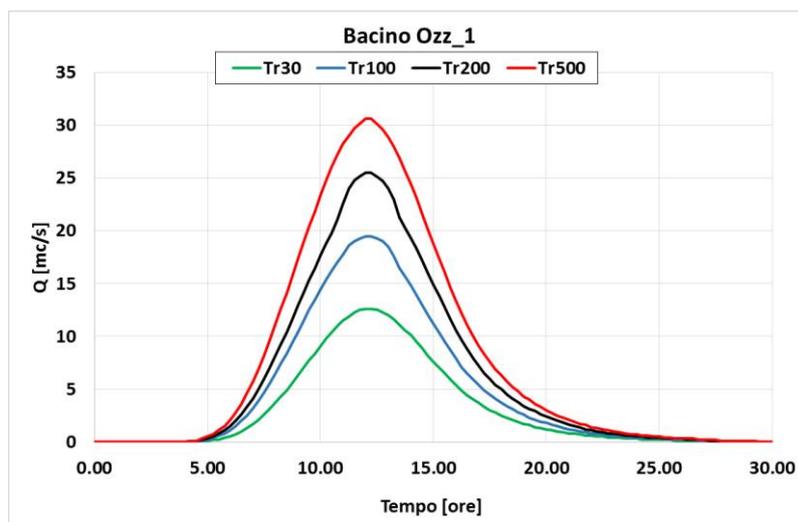


Figura 11. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_1

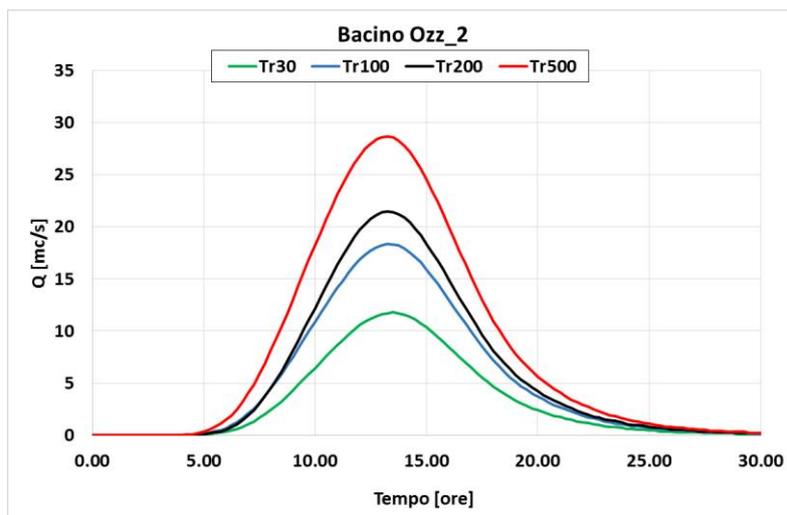


Figura 12. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_2

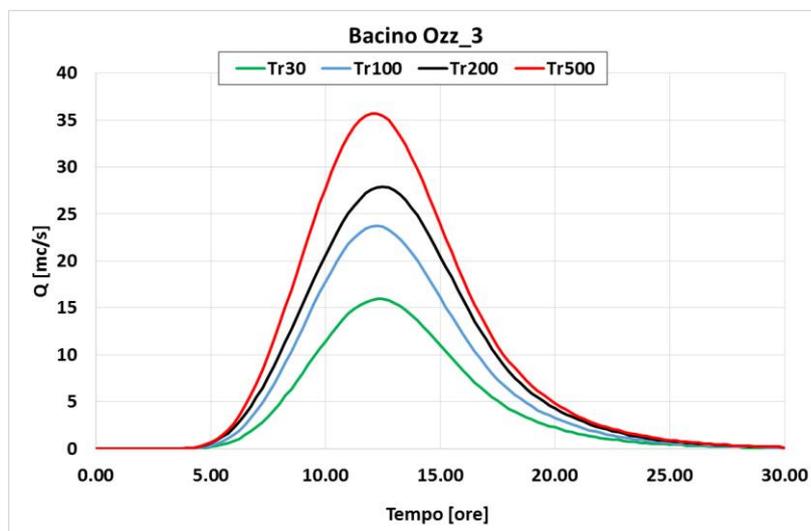


Figura 13. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il sottobacino Ozz_3

4 ASSE EST-OVEST – RIO ARPINO E RIO FRIZZONE

Le analisi effettuate approfondiscono lo studio idrologico e idraulico effettuato nell'ambito della progettazione preliminare dell'intervento. In particolare sono state recepite tutte le prescrizioni contenute nella delibera di approvazione del progetto preliminare del CIPE n°38/2016.

4.1 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO ARPINO

L'analisi idrologica volta alla definizione delle portate e degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stata effettuata utilizzando i seguenti dati:

- Shape files della regione Toscana relativi al reticolo idrico minore e al reticolo irriguo
- Cartografia CTR della Regione Toscana
- Rilievo Lidar del Ministero dell'Ambiente con maglia 1*1/2*2
- Raster della regione Toscana con i parametri a e n delle LSPP a diverso tempo di ritorno
- Carta del CN(II) della regione Toscana
- Studi del consorzio di Bonifica Toscana Nord (2002-2003)

4.1.1 Definizione dei bacini

Tramite l'elaborazione del rilievo LIDAR in ambiente GIS è stato possibile delimitare il contorno del bacino del Rio Arpino, chiuso all'attraversamento della SP Romana, che risulta essere composto da due sottobacini denominati Arpino_1 e Arpino_2 (figura seguente). A sua volta il sottobacino Arpino 2 è stato valutato chiuso sia in corrispondenza dell'attraversamento della SP Romana (sezione Arpino_2a), sia alla sezione di confluenza con l'Arpino 1 (sezione Arpino_2B) Le caratteristiche geomorfologiche dei tre sottobacini sono riepilogate nella tabella seguente:

	Arpino 1	Arpino 2a	Arpino 2b
Area del bacino idrografico [kmq]:	1.35	1.11	1.7
Lunghezza dell'asta principale [km]:	3.1	1.9	3.5
Quota massima del bacino idrografico [m slm]:	19.33	18.66	18.66
Quota media del bacino idrografico [m slm]:	15.44	14.95	13.97
Quota della sezione di chiusura del bacino idrografico [m slm]:	10.57	11.48	9.4
Pendenza media dell'asta principale [adimensionale]:	0.0028	0.0038	0.0027

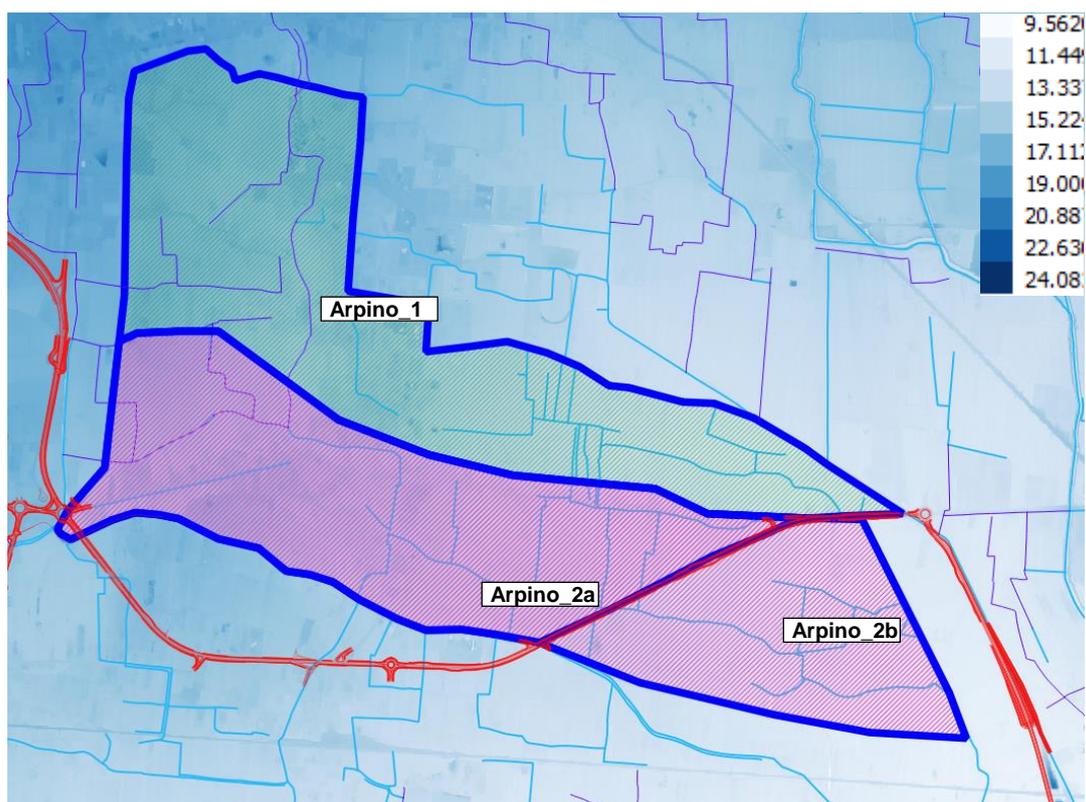


Figura 14. Perimetrazione del bacino del Rio Arpino generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM

4.1.2 Calcolo del tempo di corrivazione

Il valore dei tempi di corrivazione dei bacini, necessario per la stima delle portate di progetto, è stato valutato con diverse formule presenti in letteratura, poiché la superficie degli stessi è inferiore a 100 kmq, analogamente a quanto effettuato per l'Ozzoretto.

È stato successivamente calcolato il valore medio dei diversi valori ottenuti (espresso in ore), ed infine escludendo quei valori che risultavano eccessivamente elevati o ridotti è stato assunto un valore di progetto, come riportato nella tabella seguente:

	BACINO		
	Arpino 1	Arpino 2a	Arpino 2b
Formula	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ORE]		
GIANDOTTI	5.27	4.74	6.12
VIPARELLI			
PEZZOLI	3.21	1.70	3.74
KIRPICH			
VENTURA	2.78	2.18	3.22
PUGLISI	6.19	4.77	6.59
PASINI	4.09	2.82	4.76
media	4.31	3.24	4.89
Tc progetto	4.3	3.2	4.9

4.1.3 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno

Il valore della portata di piena a diverso tempo di ritorno è stato calcolato mediante l'applicazione della ben nota formula del metodo razionale, nell'ipotesi che portate e precipitazioni siano caratterizzate dallo stesso tempo di ritorno:

$$Q(T_R) = \frac{A * i_n (T_R)}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

A = superficie del bacino alla sezione di chiusura [kmq]

i_n = intensità di pioggia netta valutata per durata di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino [mm/ora]

L'intensità di pioggia netta, a diverso tempo di ritorno, data dal rapporto tra l'altezza di pioggia netta, h_n , e la durata, d , dell'evento, è stata calcolata utilizzando il metodo del Curve Number (CN). Tale metodo è stato messo a punto nel 1972 dal Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture, e considera il deflusso superficiale come la differenza fra precipitazione e perdite, dove in queste ultime si inglobano oltre alle perdite per infiltrazione anche quelle per intercettazione da parte delle piante, per accumulo sulle depressioni superficiali e per l'imbibimento iniziale del terreno.

La formulazione si basa sulle seguenti equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_n = \frac{(H - I_a)^2}{H - I_a + S} \\ S = \frac{25400}{CN(III)} - 254 \\ CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)} \end{array} \right.$$

Dove:

H = altezza di pioggia lorda, per evento di durata d , e tempo di ritorno T_r

I_a = perdite iniziali = $0.2 * S$

S = volume specifico di saturazione del terreno

CN = indice della permeabilità del terreno, ricavabile in funzione della tipologia litologica del suolo, dell'uso del suolo e del grado di umidità del suolo prima dell'evento pluviometrico.

Il valore del coefficiente CN(II), medio per ogni bacino di interesse, è stato calcolato elaborando la carta di uso del suolo della Regione Toscana:

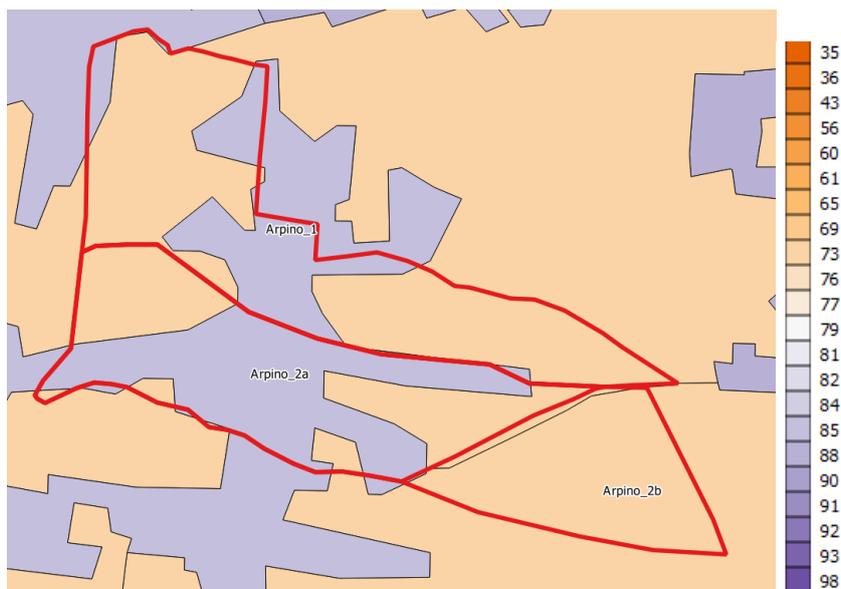


Figura 15. Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana

L'altezza di precipitazione lorda $H(Tr)$ è stata calcolata in funzione dei parametri a e n delle LSPP elaborate dalla Regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione delle precipitazioni del 2014. Tramite analisi GIS delle carte raster dei valori a e n a diverso tempo di ritorno sono state calcolate le altezze di pioggia in ogni cella riferita alla durata pari al tempo di corrivazione e calcolati i valori medi per ogni bacino. Dividendo per il tempo di corrivazione si ottengono le intensità di pioggia da inserire nella formula per il calcolo delle portate del metodo razionale. Nella figura seguente si riporta a titolo esemplificativo la mappatura dei parametri a ed n per $Tr=200$ anni.

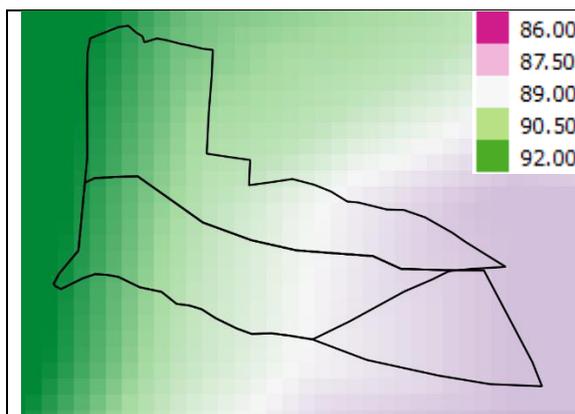


Figura 16. Parametro a per $T=200$ anni



Figura 17. Parametro n per $T=200$ anni

Nella tabella seguente si riportano i valori di i_n calcolati per durate di precipitazione pari al tempo di corrivazione di ogni bacino:

T [anni]	Arpino 1 [mm/ora]	Arpino 2a [mm/ora]	Arpino 2b [mm/ora]
30	7.38	9.00	12.07
100	11.57	14.34	18.75
200	14.50	18.08	23.41
500	18.67	23.41	30.14

Infine nella tabella seguente si riportano i valori al colmo di piena a diverso tempo di ritorno stimati con la metodologia descritta.

T [anni]	Arpino 1	Arpino 2a	Arpino 2b
30	3.4	3.7	4.5
100	5.4	5.8	6.9
200	6.8	7.2	8.7
500	8.8	9.3	11.1

4.1.4 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno

Per il calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stato utilizzato il modello idrologico afflussi-deflussi HMS, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers.

Le principali assunzioni poste alla base del modello sono le seguenti:

- idrogrammi di progetto con intensità costante ricavati dalle curve segnalatrici regionalizzate;
- perdite idrologiche modellate con il metodo SCS-CN, utilizzando valori di CN(III) calcolati in funzione del CN(II) medio del bacino;
- trasformazione afflussi-deflussi secondo lo schema SCS-CN.

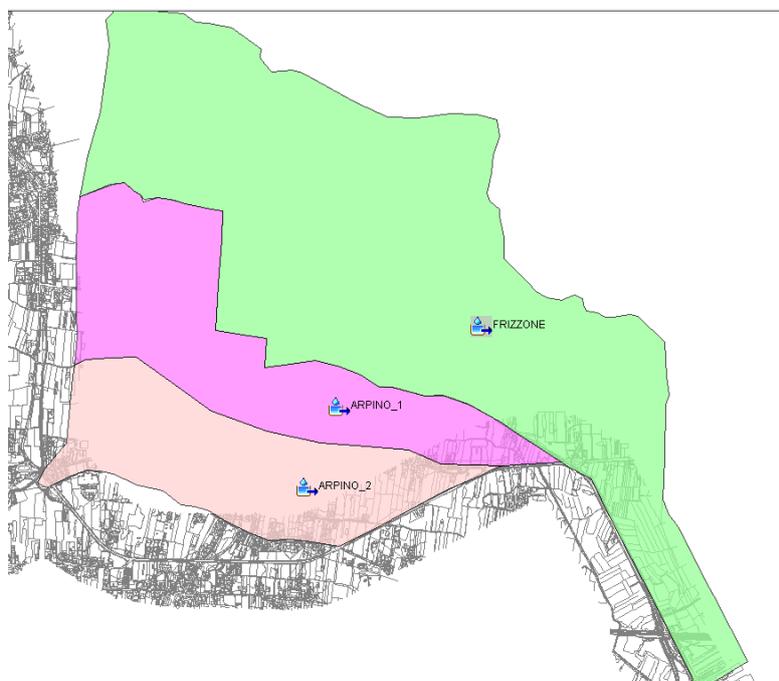


Figura 18. Schema del modello idrologico implementato

Nei grafici seguenti si riportano gli idrogrammi così calcolati per ogni sottobacino.

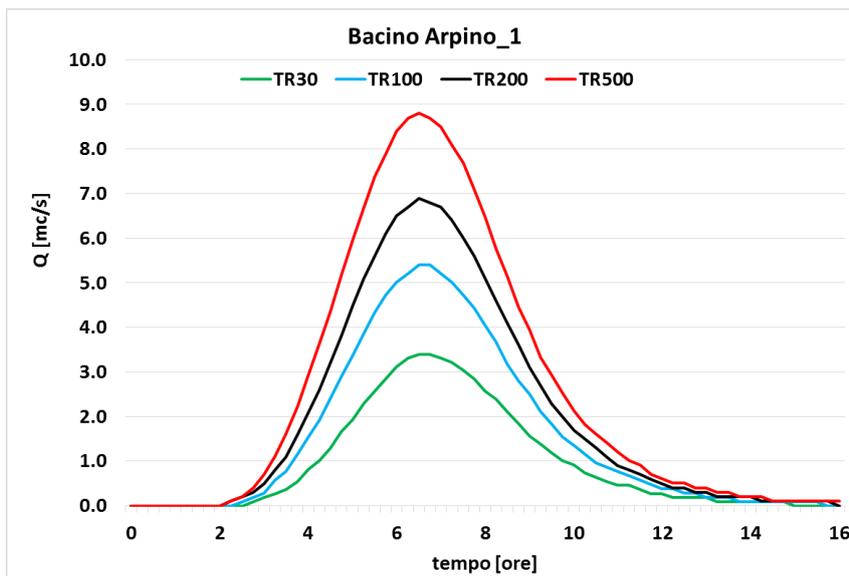


Figura 19. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Arpino_1

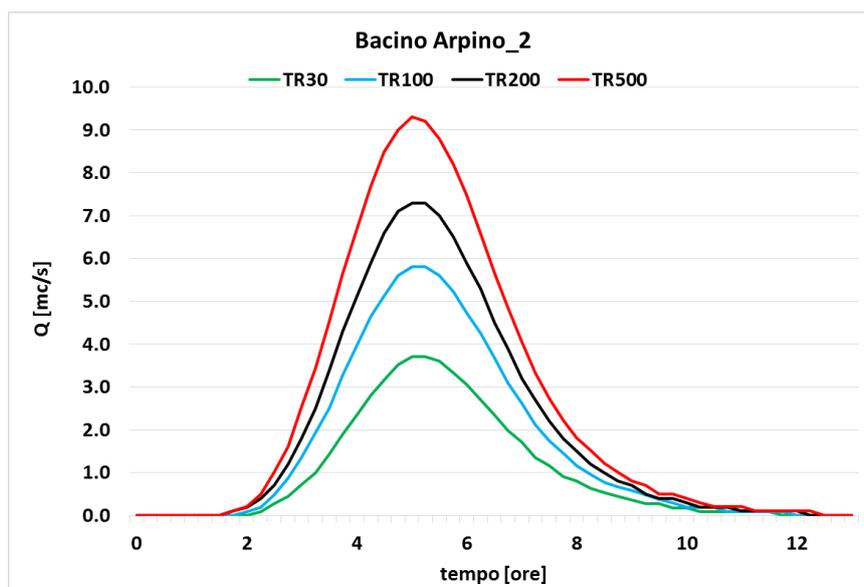


Figura 20. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Arpino_2

4.2 ANALISI IDROLOGICA DEL RIO FRIZZONE

Tramite l'elaborazione del rilievo LIDAR in ambiente GIS è stato possibile delimitare il contorno del bacino del Frizzone, chiuso al termine dell'asse EO (figura seguente). Le caratteristiche geomorfologiche del bacino sono riepilogate nella tabella seguente:

Area del bacino idrografico [kmq]:	4.08
Lunghezza dell'asta principale [km]:	4.5
Quota massima del bacino idrografico [m slm]:	20.7
Quota media del bacino idrografico [m slm]:	15.1
Quota della sezione di chiusura del bacino idrografico [m slm]:	9.6

Pendenza media dell'asta principale [adimensionale]:	0.0025
------------------------------------------------------	--------

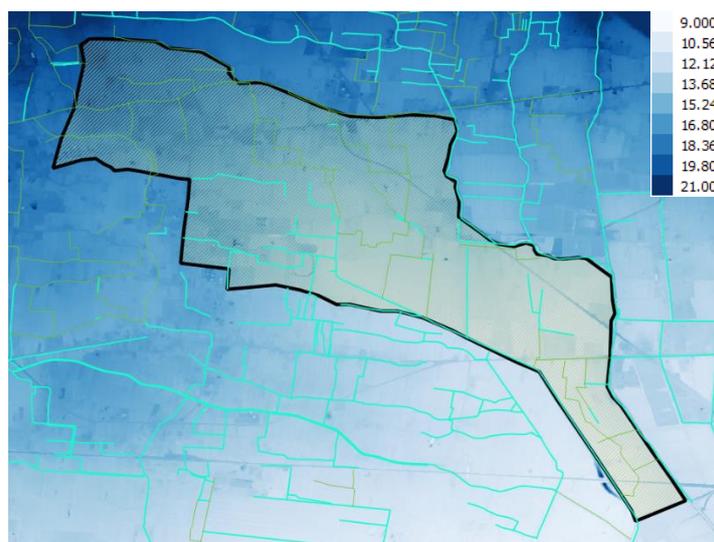


Figura 21. Perimetrazione del bacino del Rio Frizzone generata tramite elaborazione del LIDAR del MATM

4.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione

Il valore del tempo di corrivazione del bacino, necessario per la stima delle portate di progetto, è stato valutato con diverse formule presenti in letteratura, analogamente a quanto effettuato per l'Ozzoretto.

È stato successivamente calcolato il valore medio dei diversi valori ottenuti, ed infine escludendo quei valori che risultavano eccessivamente elevati o ridotti è stato assunto un valore di progetto, come riportato nella tabella seguente:

Formula	Tc [ore]
GIANDOTTI	7.90
VIPARELLI	
PEZZOLI	4.98
KIRPICH	
VENTURA	5.17
PUGLISI	7.33
PASINI	7.17
media	6.51
Tc progetto	6.5

4.2.2 Calcolo delle portate di piena a diverso tempo di ritorno

Il valore della portata di piena a diverso tempo di ritorno è stato calcolato mediante l'applicazione della ben nota formula del metodo razionale, nell'ipotesi che portate e precipitazioni siano caratterizzate dallo stesso tempo di ritorno:

$$Q(T_R) = \frac{A * i_n (T_R)}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

A = superficie del bacino alla sezione di chiusura [kmq]

i_n = intensità di pioggia netta valutata per durata di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino [mm/ora]

L'intensità di pioggia netta, a diverso tempo di ritorno, data dal rapporto tra l'altezza di pioggia netta, h_n , e la durata, d , dell'evento, è stata calcolata utilizzando il metodo del Curve Number (CN). Tale metodo è stato messo a punto nel 1972 dal Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture, e considera il deflusso superficiale come la differenza fra precipitazione e perdite, dove in queste ultime si inglobano oltre alle perdite per infiltrazione anche quelle per intercettazione da parte delle piante, per accumulo sulle depressioni superficiali e per l'imbibimento iniziale del terreno.

La formulazione si basa sulle seguenti equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_n = \frac{(H - I_a)^2}{H - I_a + S} \\ S = \frac{25400}{CN(III)} - 254 \\ CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)} \end{array} \right.$$

Dove:

H = altezza di pioggia lorda, per evento di durata d , e tempo di ritorno T_r

I_a = perdite iniziali = $0.2 * S$

S = volume specifico di saturazione del terreno

CN = indice della permeabilità del terreno, ricavabile in funzione della tipologia litologica del suolo, dell'uso del suolo e del grado di umidità del suolo prima dell'evento pluviometrico.

Il valore del coefficiente CN(II), medio per ogni bacino di interesse, è stato calcolato elaborando la carta di uso del suolo della Regione Toscana:

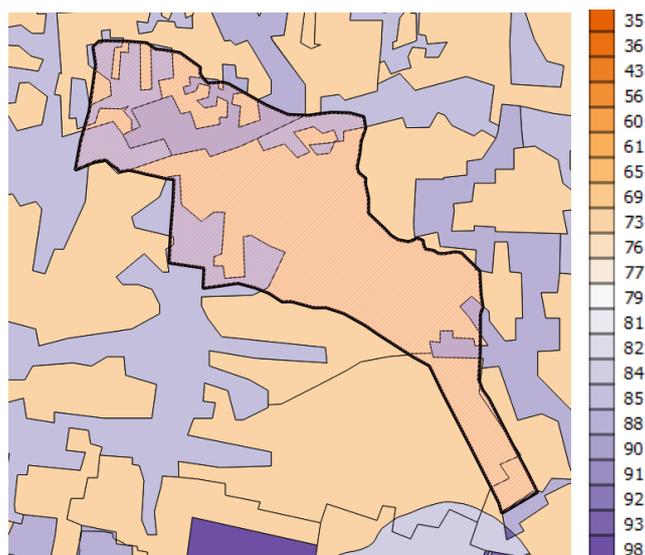


Figura 22. Carta del CN(II) – fonte Regione Toscana

L'altezza di precipitazione lorda $H(Tr)$ è stata calcolata in funzione dei parametri a e n delle LSPP elaborate dalla Regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione delle precipitazioni del 2014. Tramite analisi GIS delle carte raster dei valori a e n a diverso tempo di ritorno sono state calcolate le altezze di pioggia in ogni cella riferita alla durata pari al tempo di corrivazione e calcolati i valori medi per ogni bacino. Dividendo per il tempo di corrivazione si ottengono le intensità di pioggia da inserire nella formula per il calcolo delle portate del metodo razionale. Nella figura seguente si riporta a titolo esemplificativo la mappatura dei parametri a ed n per $Tr=200$ anni.

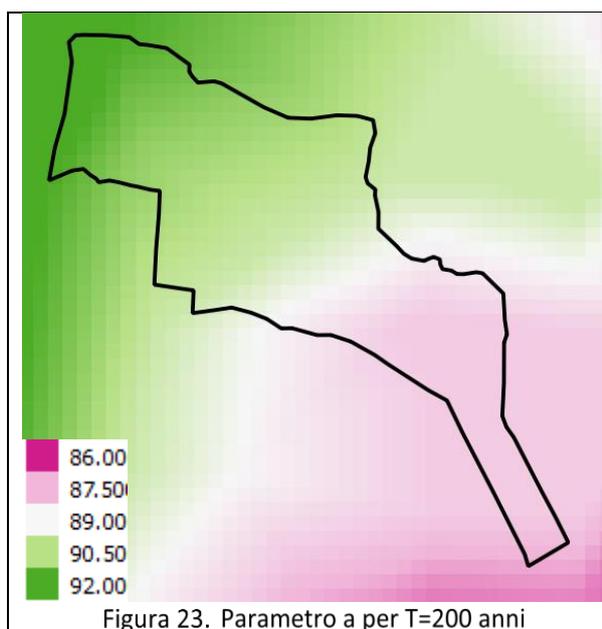


Figura 23. Parametro a per $T=200$ anni

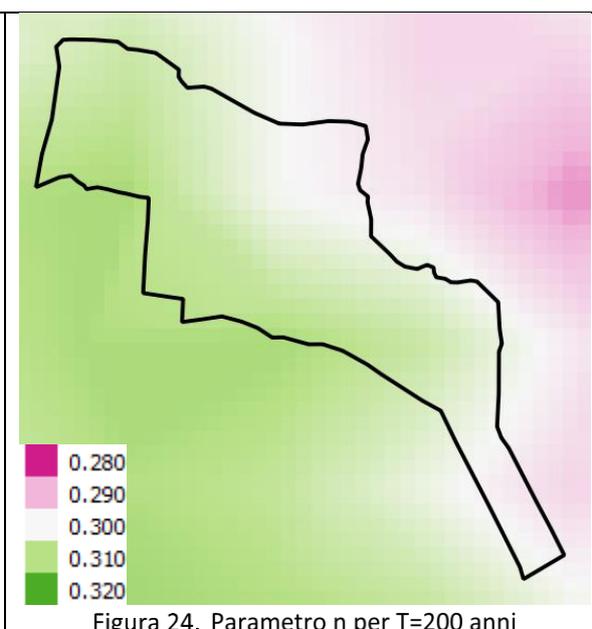


Figura 24. Parametro n per $T=200$ anni

Nella tabella seguente si riportano i valori di i_n calcolati per durate di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino:

T [anni]	[mm/ora]
30	7.38
100	11.57
200	14.50
500	18.67

Infine nella tabella seguente si riportano i valori al colmo di piena a diverso tempo di ritorno stimati con la metodologia descritta.

T [anni]	Q [mc/s]
30	8.4
100	13.1
200	16.4
500	21.2

4.2.3 Calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno

Per il calcolo degli idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno è stato utilizzato il modello idrologico afflussi-deflussi HMS, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers.

Le principali assunzioni poste alla base del modello sono le seguenti:

- ietogrammi di progetto con intensità costante ricavati dalle curve segnalatrici regionalizzate;
- perdite idrologiche modellate con il metodo SCS-CN, utilizzando valori di CN(III) calcolati in funzione del CN(II) medio del bacino;
- trasformazione afflussi-deflussi secondo lo schema SCS-CN.

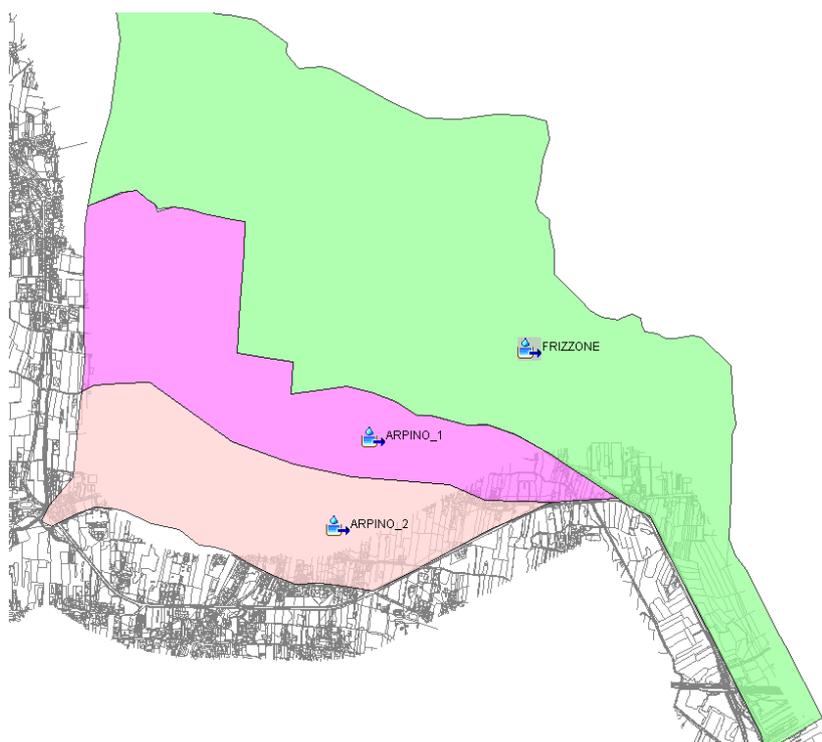


Figura 25. Schema del modello idrologico implementato

Nei grafici seguenti si riportano gli idrogrammi calcolati per il bacino del Rio Frizzone.

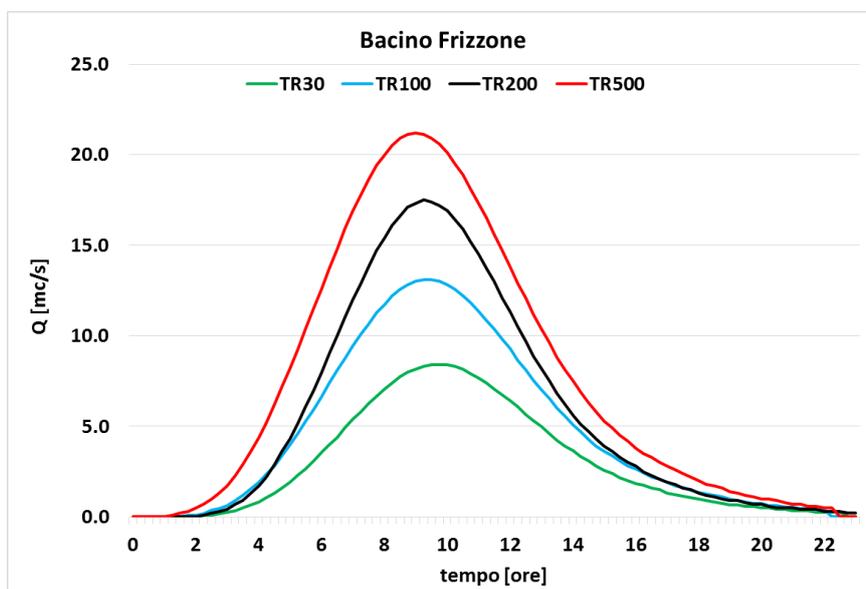


Figura 26. Idrogrammi di piena a diverso tempo di ritorno calcolati per il bacino del Rio Frizzone

5 ALLEGATO 1 – IL PROGRAMMA DI CALCOLO IDROLOGICO HEC-HMS

Il software HEC-HMS permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferiti a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali.

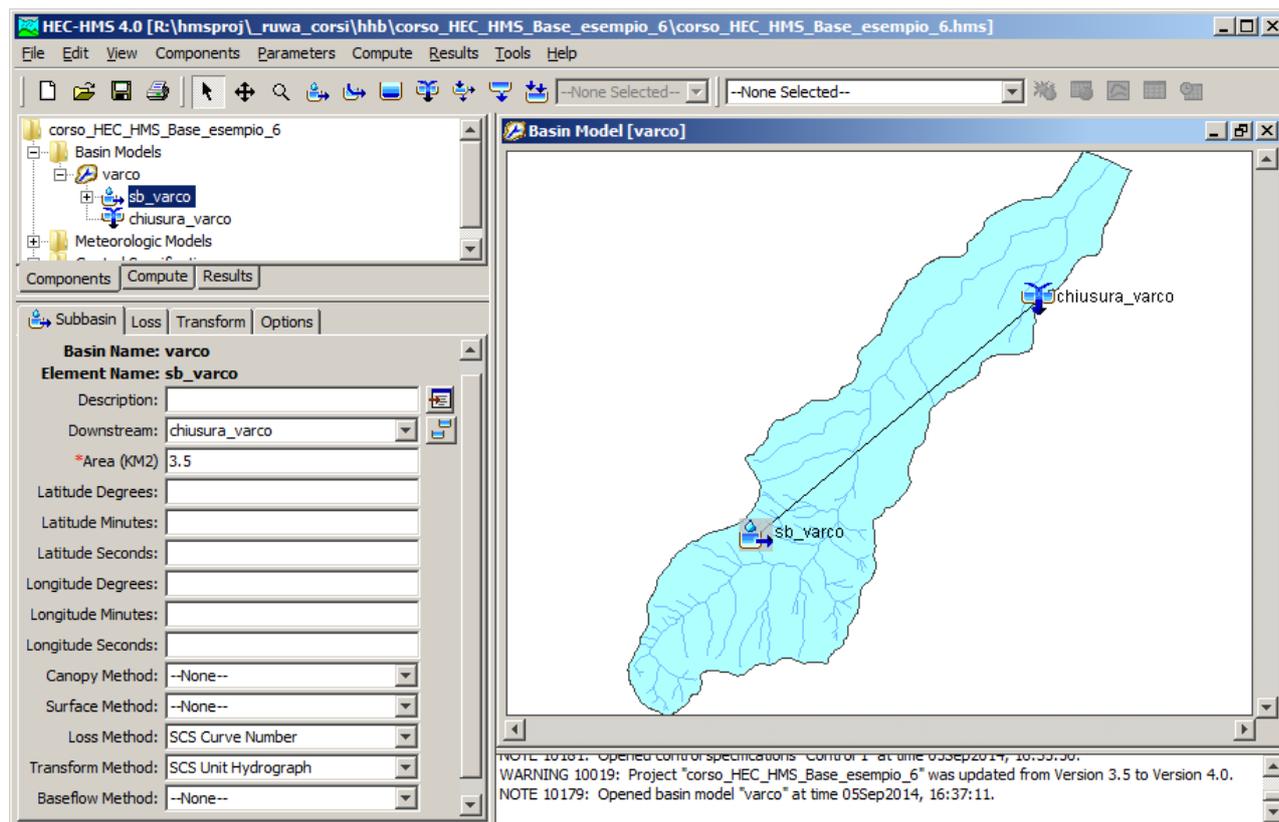


Figura 27. Interfaccia principale HEC-HMS v.4.0

Gli idrogrammi calcolati dal programma possono essere utilizzati, anche in combinazione con altri software, per studiare problemi diversi come per esempio la disponibilità della risorsa idrica, il drenaggio urbano, la previsione delle piene, l'impatto dello sviluppo delle aree urbane, il progetto degli sfioratori di piena nelle dighe, la mitigazione del rischio idraulico, ecc. Il programma è caratterizzato da un ambiente di lavoro integrato e completo di: database, utility per l'inserimento e la modifica dei dati, un motore di calcolo e un sistema di visualizzazione dei risultati. Tutte le componenti sono accessibili tramite un'interfaccia grafica molto funzionale. I dati relativi alle serie temporali sono archiviati in file in formato Data Storage System (DSS), la scrittura e la lettura dei dati vengono gestiti dal programma stesso in maniera del tutto trasparente. Il motore di calcolo deriva da oltre 30 anni di esperienza, infatti molti

algoritmi che derivano dalle versioni precedenti del programma (HEC-1 1998, HEC-1F 1989, PRECIP 1989 e HEC-IFH 1992) sono stati implementati in nuove e moderne librerie di calcolo.

5.1 La modellazione del bacino idrografico: principali componenti

La rappresentazione fisica del bacino idrografico viene fatta nella schematizzazione di bacino attraverso varie componenti, come sottobacini, tronchi fluviali, giunzioni, ritenute, fuoriuscite, sorgenti e pozzi, unite tra di loro a formare una rete completa. Il software utilizza in pratica una schematizzazione a parametri concentrati del bacino idrografico, cioè il bacino idrografico viene schematizzato come un insieme di sottobacini idrografici uniti insieme tra loro dai tronchi fluviali e dalle giunzioni. Ogni sottobacino risponde all'evento pluviometrico secondo delle caratteristiche che sono del sottobacino ma che derivano dalle caratteristiche morfologiche, di uso del suolo, ecc. presenti nello stesso sottobacino. Solo in un caso, utilizzando il metodo di Clark modificato, è possibile ricorrere anche ad una schematizzazione a parametri distribuiti.

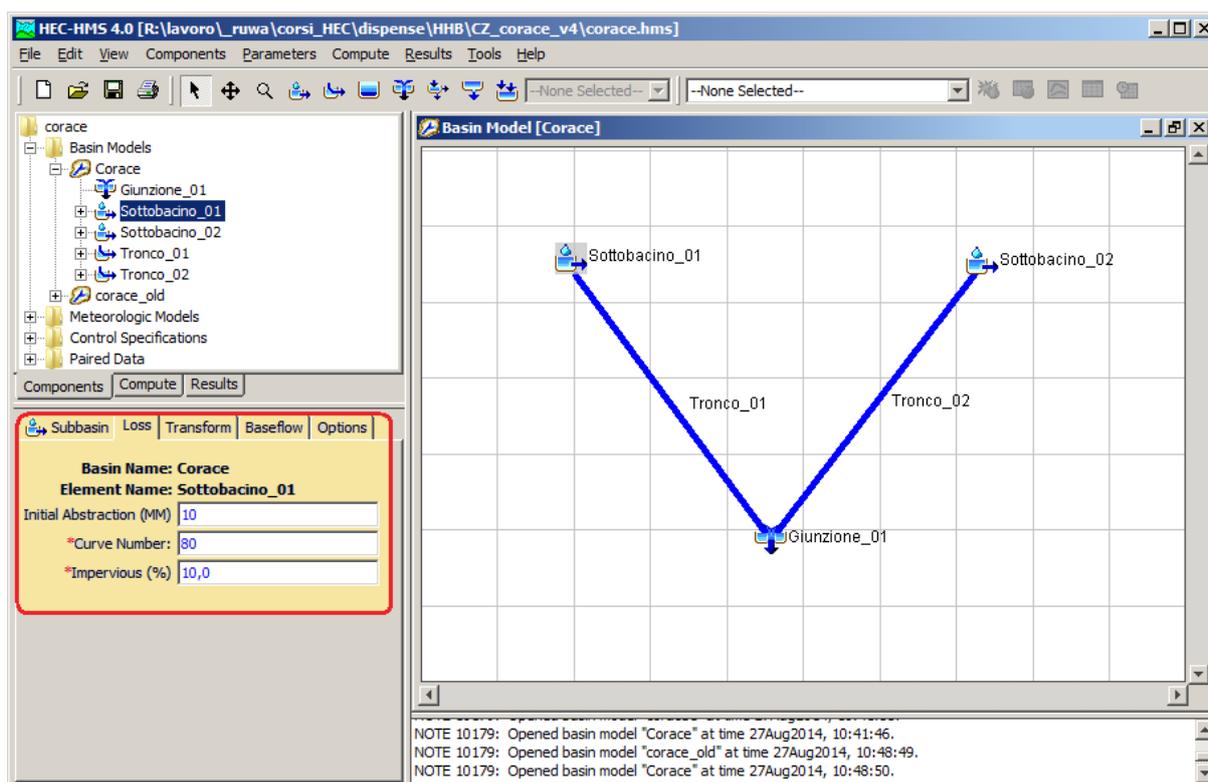


Figura 28. Inserimento parametri metodo calcolo pioggia netta (SCS CN)

Le principali componenti disponibili per schematizzare il comportamento del bacino idrografico sono:

- calcolo della pioggia efficace;
- trasformazione afflussi-deflussi;

- propagazione della piena.

Per il calcolo della pioggia efficace sono disponibili vari metodi che permettono di simulare le perdite dovute all'infiltrazione e/o evaporazione come per esempio la perdita iniziale e costante, il metodo Curve Number del Soil Conservation Service ed il metodo di Green e Ampt.

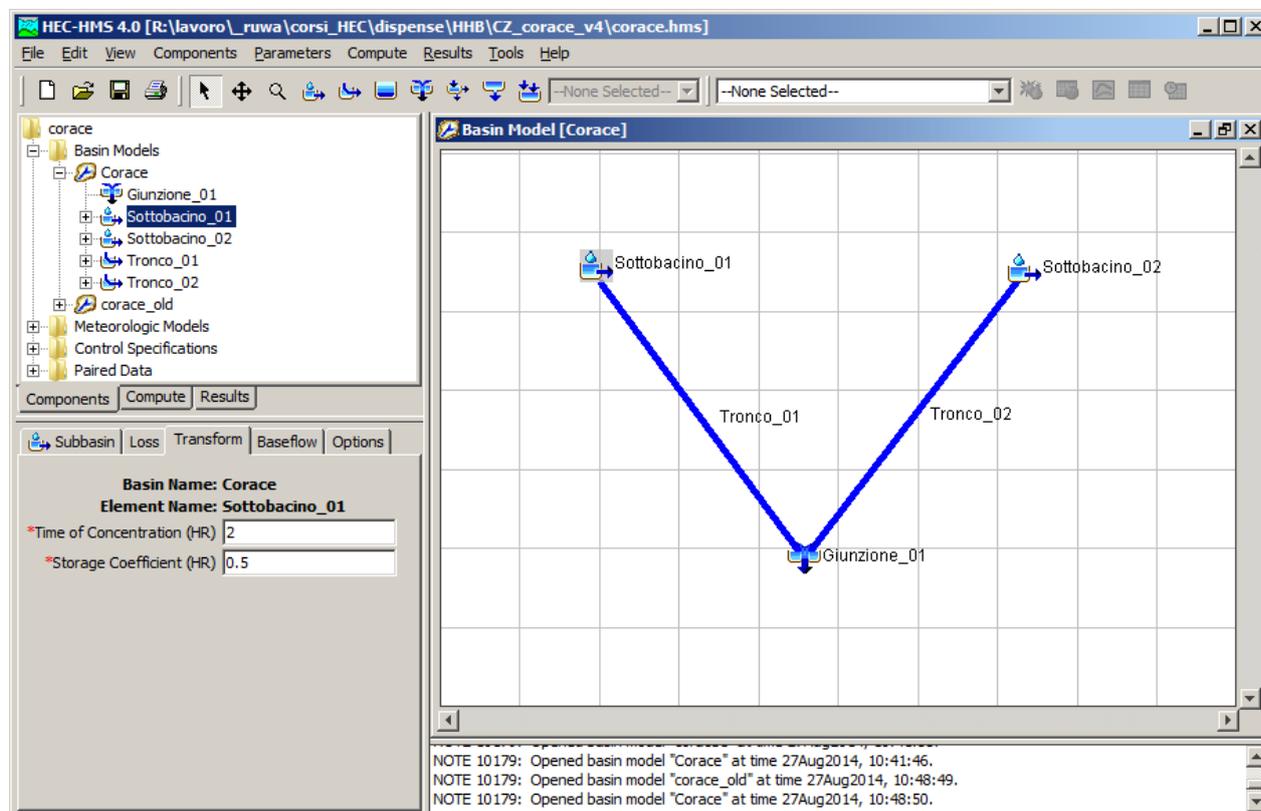


Figura 29. Inserimento parametri metodo formazione della piena (IUH Clark)

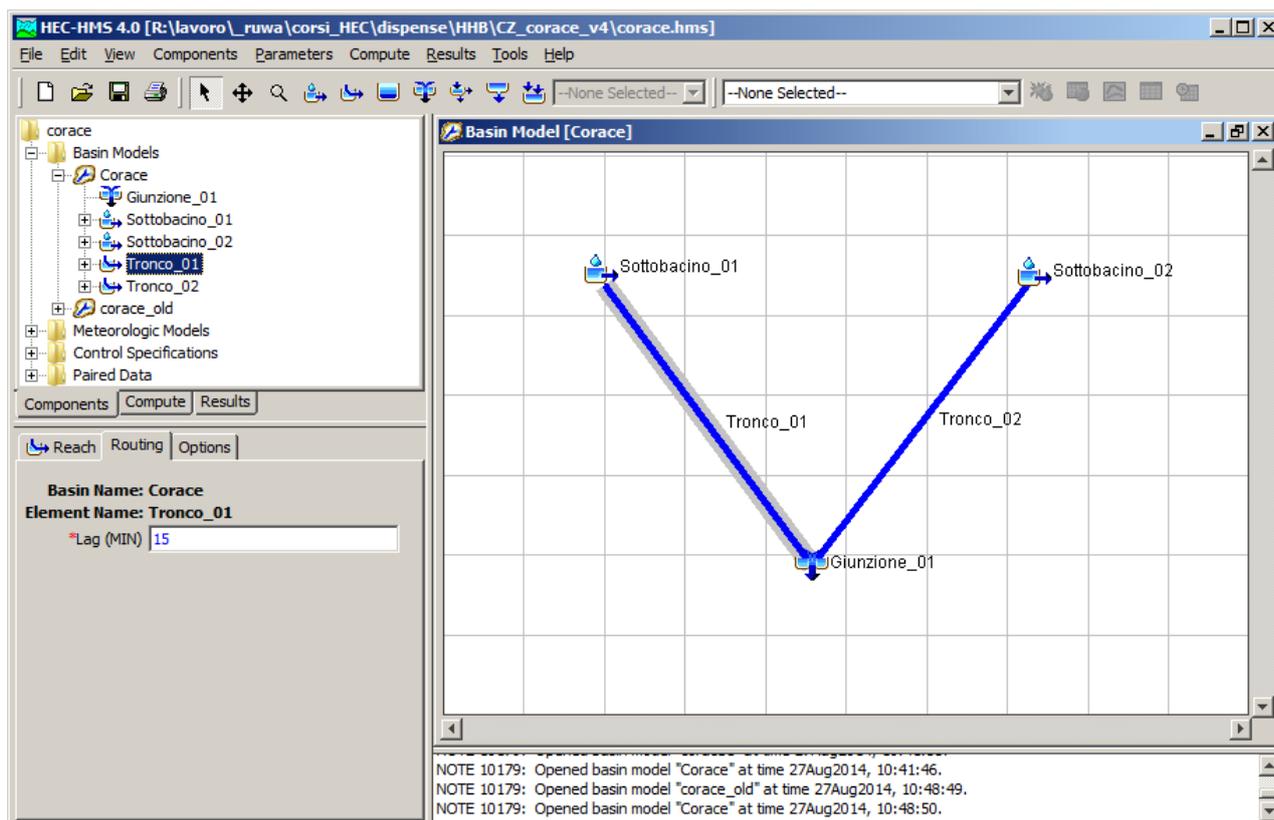


Figura 30. Inserimento parametri metodo propagazione della piena (lag)

Allo stesso modo sono disponibili vari metodi da utilizzare per trasformazione afflussi-deflussi tra i quali l'idrogramma unitario di Clark, Snyder o del Soil Conservation Service. Come già detto in precedenza è possibile utilizzare anche il metodo di Clark modificato in caso di schematizzazioni a parametri distribuiti. Infine una varietà di modelli di calcolo sono disponibili per simulare la propagazione dell'onda di piena lungo i tronchi fluviali; si va infatti dal semplice trasferimento a metodi più complessi come quello di Muskingum-Cunge sia per canali di forma semplice che per canali di forma complessa.

5.2 L'analisi dei dati meteorologici

All'interno del programma è presente una componente che permette di inserire, ed eventualmente analizzare, serie di dati pluviometrici in modo da ottenere le caratteristiche pluviometriche dell'evento di progetto, in pratica lo ietogramma di progetto, da inserire come dato nella modellazione. All'interno di questa componente è possibile utilizzare diversi metodi per l'analisi dei dati storici di precipitazione oppure utilizzare risultati derivanti da precedenti elaborazioni di serie statistiche di dati pluviometrici. E' possibile inoltre selezionare diverse modalità per distribuire spazialmente la pioggia incluso il metodo dei poligoni di Thiessen (topoiet).

5.3 La simulazione idrologica

Una volta inseriti i dati necessari è possibile effettuare la simulazione idrologica del bacino idrografico con la possibilità di selezionare diverse durate e intervalli di simulazione. Eseguiti la modellazione è possibile visualizzare i risultati ottenuti sia in forma grafica che tabellare.

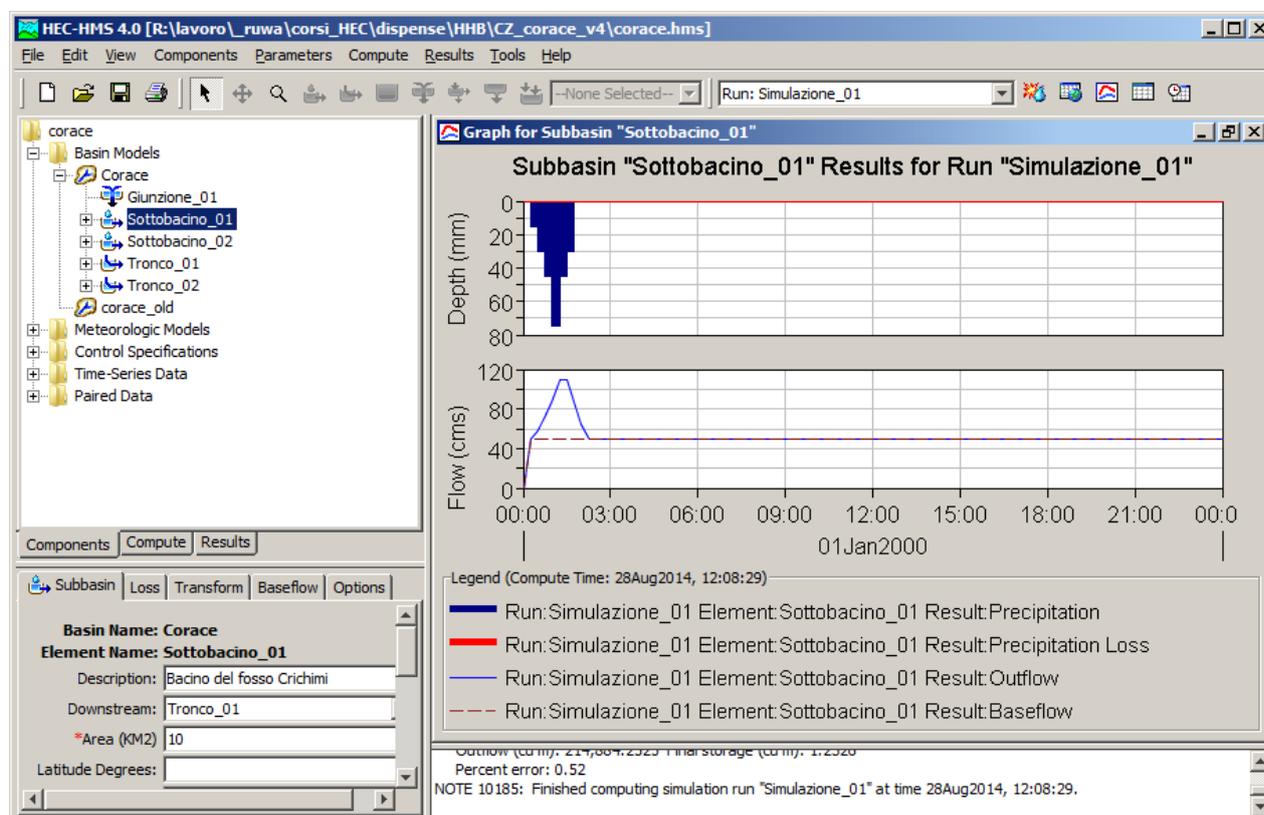


Figura 31. Visualizzazione grafico risultati in un sottobacino

In questa fase sono inoltre possibili alcune operazioni di taratura del modello, in particolare, se si dispone di un idrogramma misurato è possibile tarare alcuni parametri inseriti piuttosto che altri in forma automatica.

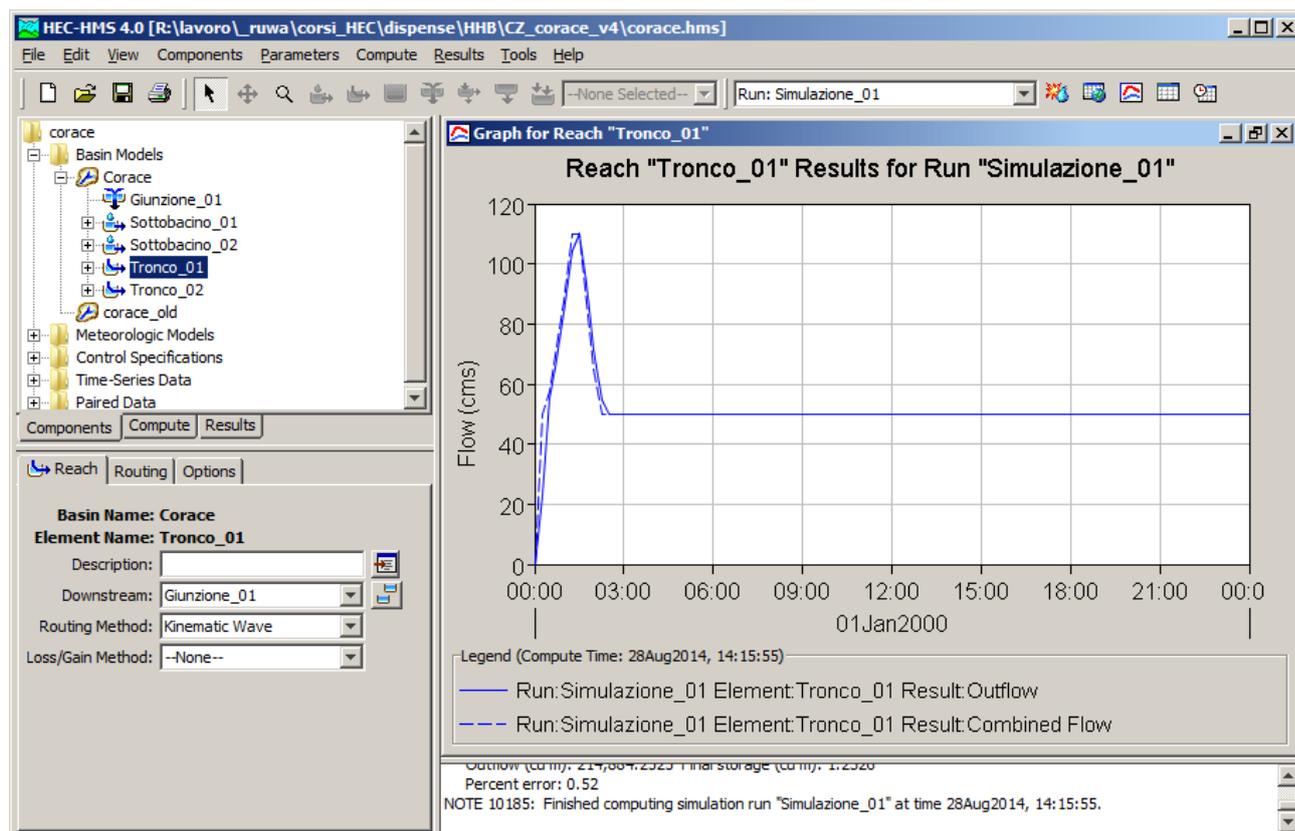


Figura 32. Visualizzazione grafico risultati in una giunzione

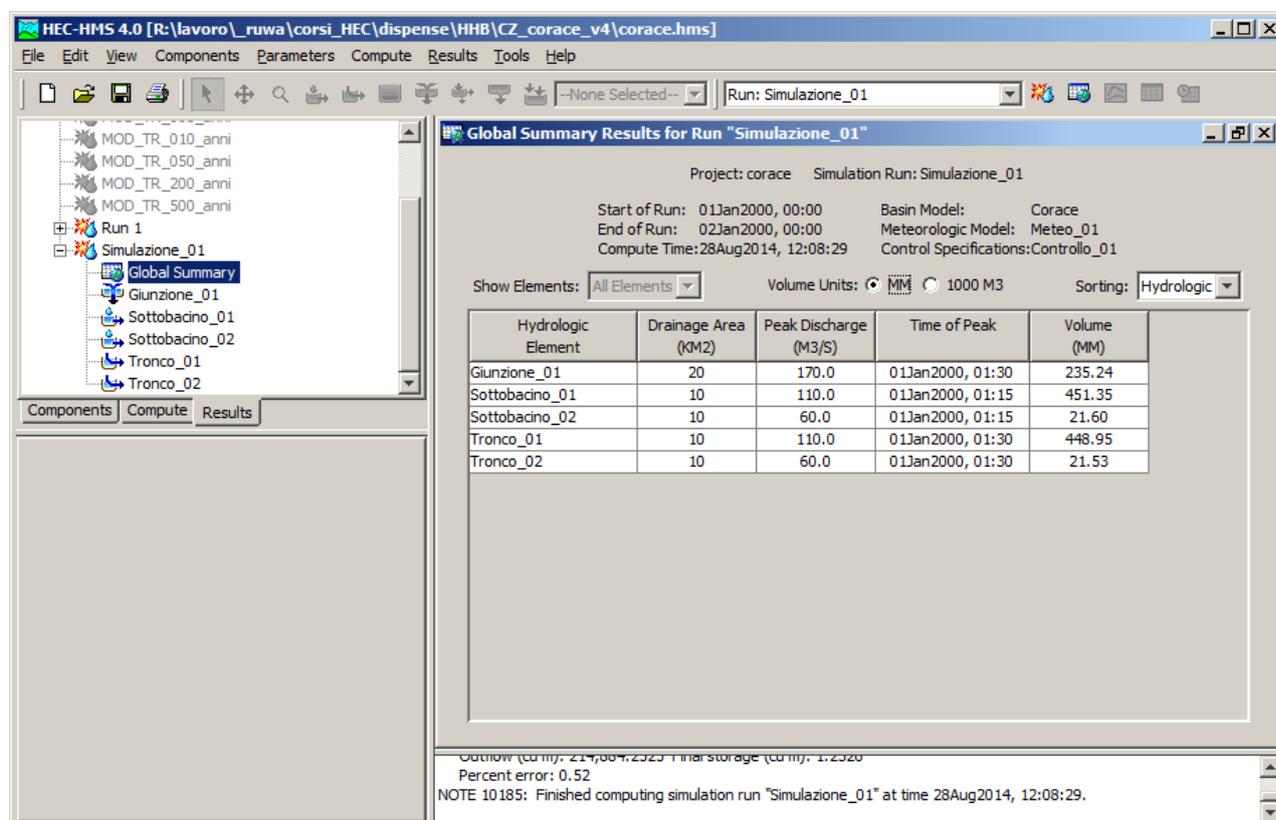


Figura 33. Visualizzazione tabella sintetica risultati nei vari elementi