

Comune Di Bibbona

Provincia di Livorno

Variante quinquennale al Regolamento Urbanistico

Terzo Regolamento Urbanistico

Dott. Arch. Giovanni Parlanti

Progettista

D.R.E.Am. Italia Soc. Coop.

Studi Geologici, Idraulici e Sismici

Dott. Geol. Leonardo Moretti

Dott. Ing. Simone Galardini

Dott. Geol. Roberto Giannini

Dott. Ing. Pietro Chiavaccini

Consulente per gli Studi Idrologici e Idraulici

Geom. Sandro Cerri

Responsabile del procedimento

Massimo Fedeli

Sindaco

Allegato 3

**MODIFICHE E INTEGRAZIONI ALLO STUDIO
IDROLOGICO E IDRAULICO**

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Novembre 2016

SOMMARIO

PREMESSA	1
1. INQUADRAMENTO NORMATIVO	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
3. INTERVENTI PREGRESSI	5
4. IDROLOGIA	7
4.1 Pluviometria	7
4.2 Perdite idrologiche	7
4.2.1 Metodologia	7
4.2.2 Scelta della condizione di umidità	9
4.3 Trasformazione afflussi deflussi	13
4.4 Risultati del modello afflussi-deflussi	21
4.4.1 Bacino del Fosso della Madonna/Alberelli/Fosso delle Basse	21
4.4.2 Bacino del Golf	24
4.4.3 Bacini sud	27
5. STUDIO DELLE AREE ALLAGATE	36
5.1 Area della California (Fosso della Madonna e Fosso degli Alberelli)	37
5.1.1 Condizioni al contorno.....	37
5.1.2 Risultati caso a)	37
5.1.3 Risultati caso b)	39
5.1.4 Risultati caso c) – rotture arginali	42
5.2 Area Fosso delle Tane	45
5.3 Area Fosso delle Basse e tratto terminale Tane e Fosso della Madonna (area terminale bacini nord)	47
5.4 Area Fosso dei Trogoli	52
5.4.1 Condizioni al contorno.....	53
5.4.2 Risultati.....	54
5.5 AREA GOLF	59
6. PERICOLOSITA'	64
7. PROPOSTE DI RISOLUZIONE	66
7.1 Area della California	66
7.1.1 Sistemazione del fosso degli Alberelli	66
7.1.2 Approfondimento della cassa di espansione sul Fosso della Madonna	67
7.1.3 Protezione dalla rottura arginale nella zona del Mannaione	68
7.2 Area di Marina di Bibbona	71
7.3 Fosso delle Basse	72
7.4 Area campo da Golf	73
CONCLUSIONI	73

ALLEGATI:

1. Carta dei bacini idrografici
2. Sezioni idrauliche
3. Localizzazione delle sezioni idrauliche
4. Carta dei battenti idraulici TR 200 – TR 30 – TR500
5. Carta di pericolosità idraulica

PREMESSA

La presente relazione illustra le modalità di definizione delle classi di pericolosità idraulica delle zone di interesse urbanistico del Comune di Bibbona, nell'ambito degli studi e delle indagini geologiche, sismiche e idrauliche a supporto del Terzo Regolamento Urbanistico. Si fa in particolare riferimento alle seguenti aree:

- Area Golf
- Marina di Bibbona
- La California
- Area Fosso delle Basse

Relativamente all'area di Marina di Bibbona gli approfondimenti sono già stati presentati dal Comune il 01/04/2016 Prot. 3085. È inoltre in fase di completamento il progetto per la sicurezza in sponda destra del Fosso dei Trogoli attraverso la realizzazione di un muro di contenimento delle acque di esondazione. Gli studi eseguiti presso il previsto campo da golf, una delle principali previsioni urbanistiche, integrano quelli redatti nel novembre 2015 a supporto degli elaborati relativi alla variante denominata "Approvazione parziale del Terzo Regolamento Urbanistico relativa alla Scheda Norma 1 – UTOE 1B2 "Campo alla Sainella".

Questo nuovo studio idrologico e idraulico, che modifica e integra il precedente relativo al primo Regolamento Urbanistico, è stato redatto con il supporto tecnico e la consulenza del Dott. Ing. Pietro Chiavaccini.

1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Viene fatto riferimento al seguente quadro normativo, modificato rispetto al contesto che ha caratterizzato la fase pianificatoria comunale del primo Regolamento Urbanistico del 2009:

- DIRETTIVA 2007/60/CE "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni"
- DPGR 53/R 2011 "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
- L.R. 21/2012 "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua.
- D.G.R.T. n. 1330 del 20/12/2004 - Adozione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il Bacino di Rilievo Regionale Toscana Costa", con decadenza dell'applicazione delle misure di salvaguardia ai sensi del D.L. n. 180/88 e della L. 183/89 di cui alla deliberazione della Giunta Regionale n. 831 del 23/07/2001.
- Legge Regionale 03/01/2005 (Norme per il Governo del Territorio).
- L.R.T. N. 39 21/02/2000 – Legge Forestale della Toscana, s.m. e integrazioni.
- D.G.R.T. n. 878 del 08/10/2012 - Riclassificazione sismica del territorio regionale: con cui il territorio comunale di Bibbona è inserito in zona sismica 3.
- PIT - D.P.R.T. n.45 04/04/2007 Piano di Indirizzo Territoriale, approvato con Delibera 72/07 del 24/07/07.
- DPGR n. 53/R del 25 ottobre 2011 – Regolamento di Attuazione dell'Art. 62 della Legge Regionale 03/01/2005 (Norme per il Governo del Territorio) in materia di indagini geologiche.
- Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R. Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
- Regolamento Urbanistico Comunale (Variante di aggiornamento luglio – novembre 2008 e varianti parziali del 2011).

2. INQUANDRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio del comune di Bibbona si sviluppa per una superficie complessiva di circa 35 km². Il deflusso delle acque è assicurato da un sistema complesso di aste fluviali, che possono ridursi a due gruppi principali:

- la parte nord del Comune è drenata principalmente dal Fosso delle Tane e dal Fosso della Madonna, per una superficie complessiva di circa 28 kmq; il bacino sotteso ha una quota massima di circa 250 m sul l.m.m in prossimità di Casale Marittimo. Il primo tratto presenta pendenze dell'ordine del mentre i tratti finali (circa 5000 m) sono a bassa pendenza. Tra le aste secondarie più importanti sono stati analizzati il fosso degli Alberelli ed il Fosso delle Acque Basse (quest'ultimo di drenaggio dell'area nord di Marina di Bibbona);
- la parte sud del Comune è servita da una rete costituita dal Fosso Trogoli e dal Fosso dei Sorbizzi, che si immettono a circa 500 m dalla foce nel F. della Camilla (il cui bacino è in gran parte compreso nel territorio del Comune di Bolgheri). La superficie drenata complessiva è di circa 26 kmq ed anche in questo caso la parte terminale risulta a bassa pendenza. Tra i corsi d'acqua minori della rete si possono segnalare il F. Livrone ed il F. dei Poggiali. La sommità del bacino è a circa 550 m sul l.m.m.

In Figura 1 sono individuati i bacini imbriferi sia della parte a nord che di quella a sud mentre in Tabella 1 e Tabella 2 sono riportati le principali caratteristiche degli stessi.

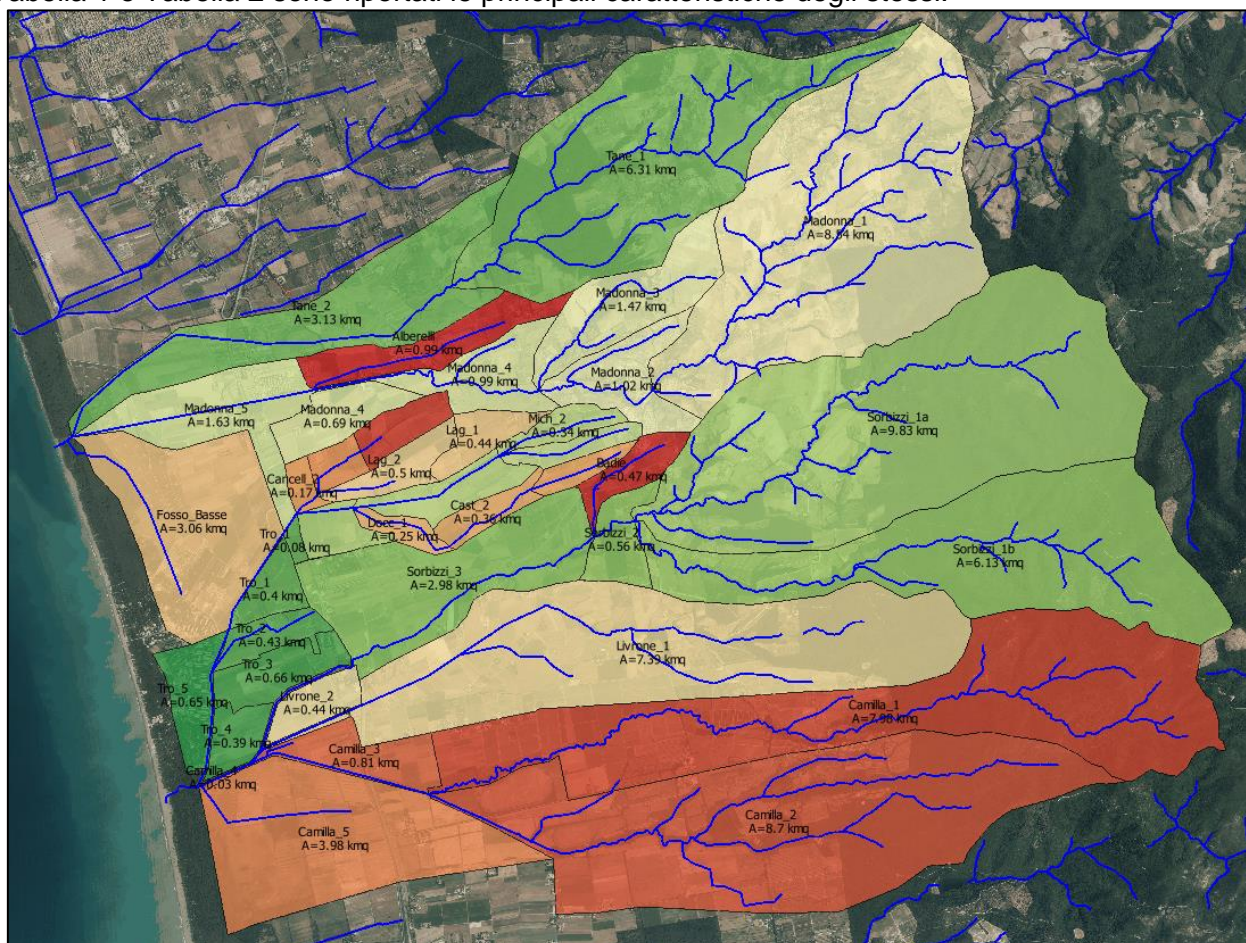


Figura 1 Bacini nord e sud della zona oggetto di studio

I parametri morfologici principali (superficie in km², altezza massima -H_{max}- minima- H_{min}- e media -H_{min} in m, pendenza media i del bacino, e lunghezza del percorso idraulico più lungo L-in km) sono indicati nelle tabelle che seguono

Bacino	Superficie	Hmax	Hmin	Hmed	i %	L (km)
Mad_1	8.54	332.35	39.81	110.00	15.2%	5.90
Mad_3	1.47	106.14	27.17	70.00	9.4%	2.70
Mad_2	1.02	100.00	27.30	60.00	9.7%	3.00
Mad_4	0.99	60.00	11.40	27.46	3.5%	3.60
Alb	0.99	70.00	10.88	21.15	2.9%	2.20
Mad_5	2.32	20.00	2.15	9.94	0.5%	2.70
Tan-1	6.31	271.54	23.67	90.00	13.9%	6.30
Tan-2	3.13	69.88	2.01	19.36	1.8%	4.90
Fosso_delle_Basse	3.06	10.00	2.07	4.53	0.5%	2.00

Tabella 1 Caratteristiche dei bacini nord

Bacino	Superficie	Hmax	Hmin	Hmed	i %	L (km)
So_1a	9.83	410.00	34.99	143.30	18.2%	6.80
So_1b	6.13	590.00	35.12	245.20	27.6%	7.00
So_2	0.56	70.58	29.09	45.17	5.3%	0.60
Bad	0.47	90.00	29.70	60.00	4.7%	1.40
So_3	2.98	40.00	7.73	12.92	1.4%	3.20
Cam_2	8.70	447.74	10.68	68.58	10.6%	7.70
Cam_1	7.98	552.93	10.74	150.47	17.4%	11.10
Liv1	7.39	290.00	2.53	42.58	6.5%	7.00
Cam_3	0.81	14.88	2.15	9.69	1.0%	2.40
Liv2	0.44	9.51	2.77	6.05	0.6%	0.10
Cam_4	0.03	2.15	1.33	1.50	0.1%	0.70
Cam_5	3.98	22.27	1.04	4.16	0.5%	1.80
B-Pogg1	0.63	34.55	9.60	18.57	1.3%	1.70
B-Mich2	0.34	61.73	25.60	46.79	3.3%	1.40
B-Mich1	0.33	70.00	25.71	45.18	4.1%	1.50
B-Cast2	0.36	36.84	16.64	22.56	1.4%	1.10
B-Cast1	0.26	70.00	30.23	40.63	3.4%	1.10
B-Pogg2	0.39	11.96	6.75	9.08	0.5%	0.60
B-Lag2	0.50	24.36	7.70	14.79	1.0%	1.10
B-Lag1	0.44	43.43	16.82	27.07	1.9%	1.00
B-Calcin1	0.43	23.84	10.83	15.86	1.1%	1.10
B-Cancell1	0.25	11.56	7.50	9.69	0.5%	0.80
B-Cancell2	0.17	9.62	6.75	8.91	0.6%	0.30
B-Docc1	0.25	17.81	9.59	13.23	1.1%	1.20
Tro1	0.48	10.28	4.64	6.77	0.8%	1.50
Tro3	0.66	10.13	1.96	4.92	0.5%	1.50
Tro5	0.65	9.25	1.34	4.35	1.3%	1.60
Tro2	0.43	10.53	2.67	6.61	0.7%	1.40
Tro4	0.39	3.74	1.35	2.10	0.2%	0.80

Tabella 2 Caratteristiche dei bacini sud

I parametri morfologici dei bacini sono stati ricavati dal DTM idrologico della Regione Toscana.

In Figura 2 è riportato il dettaglio delle aree del Fosso dei Trogoli nella parte terminale prima della confluenza.



Figura 2 Schematizzazione di dettaglio nelle aree di interesse nella zona dei Trogoli

3. INTERVENTI PREGRESSI

Negli anni passati i corsi d'acqua in oggetto sono stati oggetto di interventi di sistemazione idraulica. Oltre ad interventi di risagomatura d'alveo sono state realizzate tre casse di espansione che si illustrano brevemente:

Cassa sul fosso delle Tane (Figura 3): è ubicata poco a monte della strada del Paratino ed ha una capacità di circa 90.000 mc., ottenuti a seguito degli interventi di approfondimento eseguiti nel 2006/2007.

Nelle condizioni di progetto la cassa consente di laminare la portata duecentennale dal valore di 53 mc/s a quello di 36 mc/s; tale modifica nel progetto consente al corso d'acqua di essere in sicurezza fino al ponte sulla ferrovia (in località La California) per portate entro $T_r=200$ anni.



Figura 3 Cassa di espansione sul F. Tane

Cassa sul fosso della Madonna (Figura 4): è ubicata poco a monte della strada dei Poggiali in Loc. Calcinaiola; ha una capacità stimata di circa 100000 mc; la riduzione di portata ottenibile per la $T_r=200$ anni di progetto è di 18 mc/s (con una attenuazione a circa 66.5 mc/s), valore che non consente di ottenere la sicurezza idraulica dei tratti a valle che presentano capacità di deflusso di 40 mc/s.



Figura 4 Cassa di espansione sul Fosso Madonna

Cassa sul fosso dei Sorbizzi (Figura 5): è ubicata poco a monte della via Campigliese; ha una capacità stimata di circa 50.000 mc. La cassa è caratterizzata da una soglia di sfioro elevata cui è imputabile la scarsa capacità di laminazione della portata.



Figura 5 Cassa di espansione sul Fosso dei Sorbizzi

4. IDROLOGIA

L'analisi idrologica è stata compiuta contestualmente per tutto il territorio con la medesima metodologia.

4.1 Pluviometria

La pluviometria è stata definita sulla base delle nuove curve di possibilità climatica predisposta dalla Regione Toscana ed aggiornata al 2012. Queste definiscono i parametri della formula monomia:

$$h = at^n$$

al variare del tempo di ritorno su tutto il territorio regionale su celle di dimensioni 1x1km. Per l'area in esame si è fatto riferimento alla stazione di misura di Bibbona (TOS11000009) che per vicinanza è la più significativa tra quelle disponibili.

I parametri della curva sono riportati in Tabella 3.

STAZIONE DI BIBBONA	a	n
Tr500	95.11	0.33853
Tr200	82.777	0.32465
Tr100	74.045	0.30704
Tr30	59.513	0.26117
Tr20	54.823	0.24319

Tabella 3 Parametri della curva di possibilità climatica e pluviometrica con dati aggiornati al 2012

L'andamento temporale dell'evento pluviometrico è stato schematizzato ricorrendo ad un ietogramma sintetico, che pur non rappresentando il reale andamento dell'evento di pioggia, introduce, nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi, una variabilità temporale della pioggia in grado di produrre risultati tali da ritenersi cautelativi. Per lo studio in questione, tra gli ietogrammi noti in letteratura, si è deciso di utilizzare sia quello ad intensità costante (in modo da determinare la durata critica) che quello tipo Chicago con picco di scroscio a 0.5 volte la durata dell'evento.

4.2 Perdite idrologiche

4.2.1 Metodologia

Per la determinazione delle perdite di bacino è stato utilizzato il metodo del CN del Soil Conservation Service che consente di determinare il deflusso corrispondente allo scorrimento superficiale di bacini per i quali non esistono osservazioni di deflusso.

Il metodo si basa sul concetto che il deflusso superficiale è nullo fino a che non è raggiunto un valore minimo pari alle perdite iniziali I_a . In letteratura tecnica è riconosciuta l'esistenza di una correlazione positiva fra la perdita iniziale I_a e la capacità di ritenzione potenziale S espressa dalla seguente espressione:

$$I_a = 0.2S$$

dove S è la capacità di ritenzione potenziale S cioè la quantità di acqua immagazzinabile nel

bacino, definita come:
$$S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right).$$

S dipende da CN (Runoff Curve Number), parametro determinato mediante apposite tabelle in funzione della natura del terreno, del tipo di copertura vegetale e del corrispondente grado di imbibizione. Nel caso in esame si è considerata la Tabella 4 che fornisce i parametri CN in funzione della codice LAND CORINE dell'uso del suolo.

Tale tabella è stata ricavata dal documento "Parametrizzazione HMS" predisposta dalla Regione Toscana nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana" –Nov. 2014.

Nel presente studio si è fatto riferimento alla carta di uso del suolo riferita al 2013, che rappresenta un dato più aggiornato rispetto a quanto impiegato nello studio del 2008.

La classe di permeabilità dei suoli è stata definita sulla base della corrispondente carta della Regione Toscana (Figura 6) elaborata nel documento "Parametrizzazione HMS" citato in precedenza .

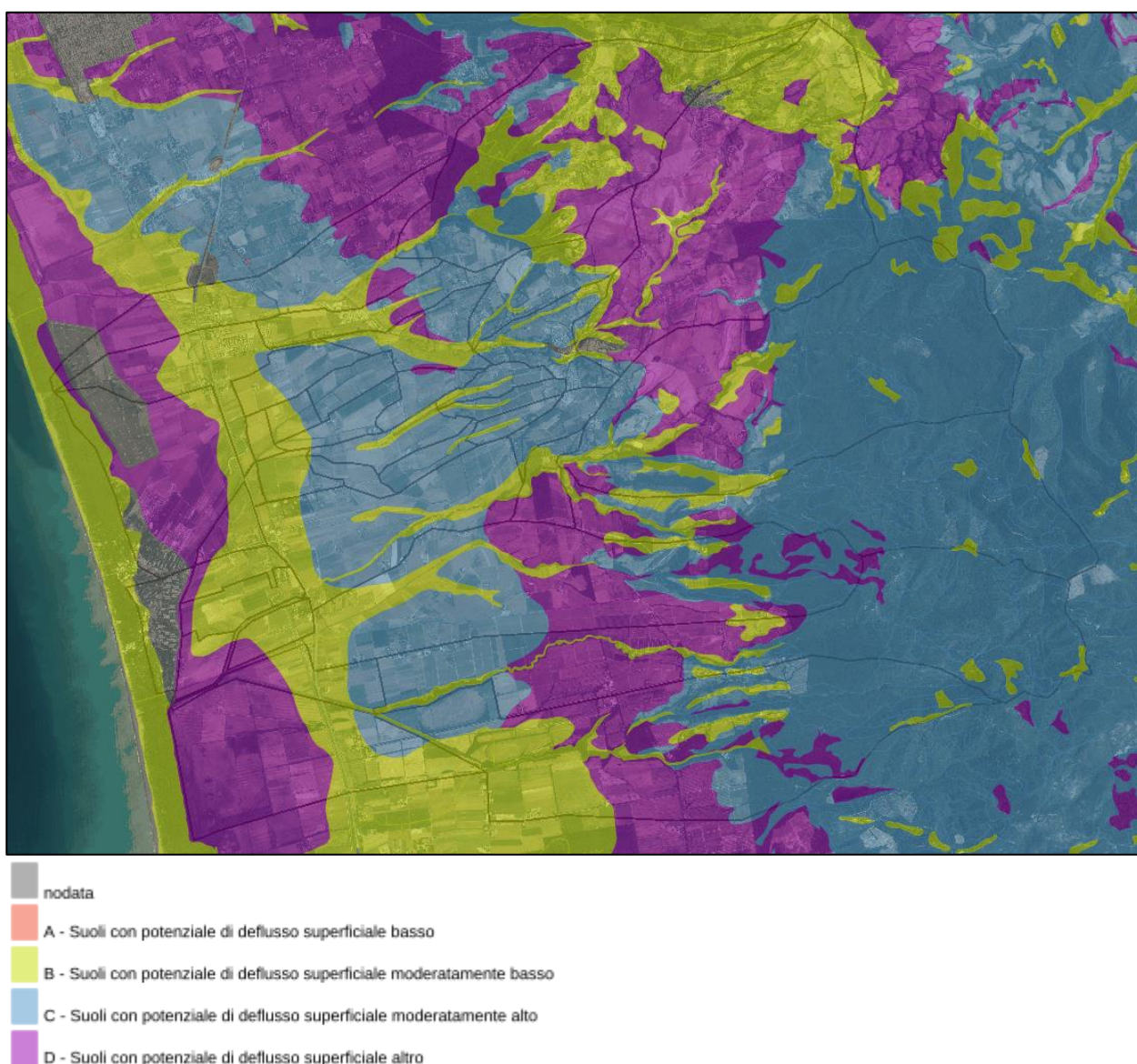


Figura 6 Carta del Gruppo Idrologico USDA- Regione Toscana

I valori di CN indicati nelle tabelle fanno riferimento ad una condizione media di umidità del terreno antecedente l'evento di pioggia considerato (AMC II: Antecedent Moisture Condition classe II).

Tabella 4. Parametri CN relativi alla classe II di umidità (AMC) per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo- Fonte Regione Toscana

Codice CORINE	CN(A)	CN(B)	CN(C)	CN(D)
111	89	92	94	95
112	77	85	90	92
121	81	88	91	93
122	98	98	98	98
123	98	98	98	98
124	98	98	98	98
131	76	85	89	91
133	77	86	91	93
141	49	69	79	84
142	68	79	86	89
210	61	73	81	84
211	61	73	81	84
212	67	78	85	89
213	62	71	78	81
221	76	85	90	93
222	43	65	76	82
223	43	65	76	82
231	49	69	79	84
241	61	73	81	84
242	61	73	81	84
243	61	73	81	84
244	43	65	76	82
311	36	60	73	79
312	36	60	73	79
313	36	60	73	79
321	49	69	79	84
322	49	69	79	84
323	35	56	70	77
324	35	56	70	77
331	46	65	77	82
332	96	96	96	96
333	63	77	85	88
334	63	77	85	88
335	98	98	98	98
411	98	98	98	98
412	98	98	98	98
421	98	98	98	98
422	98	98	98	98
423	98	98	98	98
511	98	98	98	98
512	98	98	98	98
521	98	98	98	98
522	98	98	98	98
523	98	98	98	98

4.2.2 Scelta della condizione di umidità

La condizione di umidità del suolo fa riferimento alla capacità di filtrazione del suolo, funzione della sua umidità. In particolare si deve fare riferimento all'ammontare delle piogge nei 5 giorni antecedenti l'evento ed assegnare la condizione AMC secondo la tabella indicata in Tabella 5, riferita alla stagione di riposo (autunno/inverno) o vegetativa (primavera estate).

CLASSE AMC	STAGIONE DI RIPOSO	STAGIONE VEGETATIVA
I	<12.7	<35.5
II	12.7- -28.0	35.5- - 53.3
III	>28	>53.3

Tabella 5. Condizioni di umidità antecedenti individuate in base alla precipitazione totale nei 5 giorni precedenti (mm.)

Terzo Regolamento Urbanistico del comune di Bibbona
 RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

A partire dagli annali idrologici (disponibili con dati fino al 1996) sono state ricercate le date in cui si sono verificati eventi estremi in riferimento alle stazioni idrologiche più vicine a quella di interesse (non sempre la stazione di Bibbona è stata in funzione). I risultati sono riportati in Tabella 6.

ANNO	STAZIONE	1h	giorno	3h	giorno	6h	data	12h	data	24	data
1996	CASTAGNETO CARDUCCI	20.4	07-gen	45.2	07-gen	53.2	07-gen	57	07-gen	57.2	07-gen
1995	CASTAGNETO CARDUCCI	13.4	14-set	27.2	14-set	33.6	14-set	35	15-dic	36.4	15-dic
1994	CASTAGNETO CARDUCCI	31.4	02-set	58	02-set	58	02-set	61.8	05-dic	68.4	05-dic
1993	CASTAGNETO CARDUCCI	19	24-set	27.2	24-set	40.8	24-set	66.8	24-set	78.8	24-set
1992	BIBBONA	58.8	10-ago	81	10-ago	81	10-ago	81	10-ago	81	10-ago
1991	BIBBONA	70	12-ott	86	12-ott	98.4	12-ott	106	12-ott	113.6	12-ott
1990	CASTAGNETO CARDUCCI	11.6	21-apr	15	21-apr	21.4	09-dic	41.6	09-dic	61	09-dic
1989	CASTAGNETO CARDUCCI	18.2	03-ago	25.3	23-nov	31.9	23-nov	39.3	28-apr	50.4	28-apr
1988	BIBBONA	22.2	20-ott	32.6	13-mag	39.2	13-mag	41.2	13-mag	57	13-mag
1987	BIBBONA	16.6	22-ott	18.2	19-feb	25.4	19-feb	52.6	18-feb	49	24-set
1986	CASTAGNETO CARDUCCI	20.6	27-ott	23.8	14-lug	37.2	28-apr	53	28-apr	74	27-apr
1985	BIBBONA	21	07-mag	49.8	07-mag	50	07-mag	50.6	07-mag	50.6	07-mag
1984	BIBBONA	40	05-set	80	24-ago	91.4	24-ago	94.2	24-ago	103.2	24-ago
1983	BIBBONA	38.8	24-ago	80.6	24-ago	86.6	24-ago	91	24-ago	116.2	24-ago
1982	BIBBONA	18.8	28-ago	19.8	28-ago	20.2	08-set	27.2	05-ott	32.4	05-ott
1981	CASTAGNETO CARDUCCI	35	04-set	40	04-set	40.6	04-set	46	26-ott	88.8	26-ott
1980	CASTAGNETO CARDUCCI	35.2	16-ago	44.4	27-ago	46.4	27-ago	45	27-ago	45	27-ago
1979	CASTAGNETO CARDUCCI	25.2	02-lug	24	15-mar	33	15-mar	36.4	15-mar	45.4	27-ott
1978	CASTAGNETO CARDUCCI	17	05-ott	34.4	26-nov	40.4	26-nov	44.4	26-nov	44.8	26-nov
1977	CASTAGNETO CARDUCCI	24.2	13-mag	29.2	13-mag	29.2	13-mag	41.2	03-gen	45.6	03-gen
1976	CASTAGNETO CARDUCCI	29	28-giu	32	01-set	49.4	01-set	60.2	31-ago	62	31-ago
1975	CASTAGNETO CARDUCCI	22	02-set	36.4	26-mag	44.2	26-mag	45.8	26-mag	51.6	15-dic
1974	CASTAGNETO CARDUCCI	24.2	25-set	39.2	25-set	40.6	25-set	50.6	26-gen	58.8	26-gen
1973	RENAIONE	29.4	14-lug	69.8	01-ott	71.8	01-ott	71.8	01-ott	71.8	01-ott
1972	DONORATICO	17.8	13-ott	18.4	13-ott	19.2	13-ott	32.8	13-ott	41.2	13-ott
1971	RENAIONE	19	07-giu	39	07-giu	51.8	07-giu	53.2	07-giu	53.2	07-giu
1970	DONORATICO	45.4	29-apr	52	29-ago	74.6	29-ago	99.2	29-ago	99.2	29-ago
1969	RENAIONE	18	25-ott	22.4	25-ott	26	19-dic	33.4	19-dic	41.8	18-dic
1968	RENAIONE	39.4	18-set	42.6	18-set	43	18-set	48.4	18-set	50.5	18-set
1967	RENAIONE	20	12-giu	30	12-giu	41.6	16-mag	53	12-giu	64.2	12-giu
1966	RENAIONE	23.6	19-feb	32.4	19-feb	32.4	19-feb	37.4	04-nov	56	04-nov
1965	CASTELLUCCIO	30.4	05-nov	28.6	05-nov	40.6	05-nov	49.4	05-nov	81.6	05-nov
1964	RENAIONE	17.4	15-giu	17.8	15-giu	26.6	15-giu	26.6	15-giu	32.2	02-ott
1963	RENAIONE	28.6	07-set	39.6	07-set	48.8	07-set	49.8	07-set	53.8	20-mar
1962	RENAIONE	19.8	17-set	25.4	17-set	34.4	22-nov	45.2	22-nov	68	14-nov
1961	RENAIONE	22.6	01-ott	57.4	01-ott	59.8	01-ott	64.6	01-ott	64.8	01-ott
1960	RENAIONE	73	26-giu	82.8	26-giu	82.8	26-giu	83	26-giu	84.2	26-giu
1959	RENAIONE	27	27-set	27	27-set	27.2	27-set	41.6	27-giu	42.8	27-giu
1958	RENAIONE	21.8	07-ott	42	07-ott	71.6	07-ott	88.4	07-ott	115	07-ott
1957	RENAIONE	30.1	17-mag	34.4	17-mag	39.8	17-mag	49.4	17-mag	57.6	17-mag
1956	RENAIONE	18.4	01-mag	31.2	11-lug	32	11-lug	46	19-mar	49	19-mar
1955	DONORATICO	27.6	31-ott	42.4	31-ott	55.2	31-ott	64.8	31-ott	70.6	31-ott
1954	DONORATICO	41	26-ago	51.2	26-ago	52.8	26-ago	52.8	26-ago	56.6	26-ago

Terzo Regolamento Urbanistico del comune di Bibbona
 RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

ANNO	STAZIONE	1h	giorno	3h	giorno	6h	data	12h	data	24	data
1953	SAN CARLO	27.4	08-giu	27.6	08-giu	31.2	08-giu	36	08-giu	56	08-giu
1952	SAN CARLO	78	28-lug	85.2	28-lug	101.4	28-lug	101.8	28-lug	101.6	28-lug
1951	SAN CARLO	50	24-set	81	24-set	99.2	24-set	104.2	24-set	108	24-set

Tabella 6. Eventi estremi e data di accadimento nella zona di interesse (fonte Annali Idrologici-tabella III)

Per ogni giorno in cui si è verificato un evento è stato ricercato negli stessi annali il quantitativo di pioggia caduto nei 5 giorni antecedenti l'evento. I risultati sono riportati in Tabella 7.

ANNO	I CASO			II CASO			III CASO		
	DATA	mm	STATO	DATA	mm	STATO	DATA	mm	STATO
1996	07-gen	17.2	RIPOSO						
1995	14-set	3.6	RIPOSO	15-dic	23.8	RIPOSO			
1994	02-set	4.4	RIPOSO	05-nov	2	RIPOSO			
1993	24-set	0	RIPOSO						
1992	10-ago	0	VEGETATIVA						
1991	12-ott	40.8	RIPOSO						
1990	21-apr	29.8	VEGETATIVA	09-dic	0.4	RIPOSO			
1989	03-ago	0	VEGETATIVA	23-nov	25.4	RIPOSO	28-apr	5.4	VEGETATIVA
1988	20-ott	25.4	RIPOSO	13-mag	0.6	VEGETATIVA			
1987	22-ott	0	RIPOSO	19-feb	7.8	RIPOSO			
1986	27-ott	0	RIPOSO	14-lug	12	VEGETATIVA	28-apr	11	VEGETATIVA
1985	07-mag	34	VEGETATIVA						
1984	05-set	0	RIPOSO	24-ago	10.8	VEGETATIVA			
1983	24-ago	0	VEGETATIVA						
1982	28-ago	0.2	VEGETATIVA	08-set	12.4	RIPOSO			
1981	04-set	0	RIPOSO	26-ott	56.8	RIPOSO			
1980	16-ago	0.8	VEGETATIVA	27-ago	0	VEGETATIVA			
1979	02-lug	0	VEGETATIVA	15-mar	0	VEGETATIVA			
1978	05-ott	33.2	RIPOSO	26-nov	8.6	RIPOSO			
1977	13-mag	2.8	VEGETATIVA	03-gen	25.4	RIPOSO			
1976	28-giu	12.8	VEGETATIVA	31-ago	32	VEGETATIVA			
1975	22-set	0.2	RIPOSO	26-mag	0	VEGETATIVA			
1974	25-set	21.2	RIPOSO	26-gen	1.2	RIPOSO			
1973	14-lug	0	VEGETATIVA	01-ott	0	RIPOSO			
1972	13-ott	0.6	RIPOSO						
1971	07-giu	2.8	VEGETATIVA						
1970	29-apr	1	VEGETATIVA	29-ago	0	VEGETATIVA			
1969	25-ott	0	RIPOSO	19-dic	8.4	RIPOSO			
1968	18-set	3.2	RIPOSO						
1967	12-giu	23.6	VEGETATIVA	16-mag	0	VEGETATIVA			
1966	19-feb	14.8	RIPOSO	04-nov	13.8	RIPOSO			
1965	05-nov	2.8	RIPOSO						
1964	15-giu	0	VEGETATIVA	02-ott	18.2	RIPOSO			
1963	07-set	6.2	RIPOSO	20-mar	16.4	VEGETATIVA			
1962	17-set	5.8	RIPOSO	22-nov	39.6	RIPOSO	14-nov	27.6	RIPOSO
1961	01-ott	0	RIPOSO						

ANNO	I CASO			II CASO			III CASO		
	DATA	mm	STATO	DATA	mm	STATO	DATA	mm	STATO
1960	26-giu	0	VEGETATIVA						
1959	27-set	1.4	RIPOSO	27-giu	0.2	VEGETATIVA			
1958	07-ott	5	RIPOSO						
1957	17-mag	0.2	VEGETATIVA						
1956	01-mag	29.2	VEGETATIVA	11-lug	6.6	VEGETATIVA	19-mar	7.4	VEGETATIVA
1955	31-ott	0.2	RIPOSO						
1954	26-ago	25.8	VEGETATIVA						
1953	08-giu	3.2	VEGETATIVA						
1952	28-lug	0	VEGETATIVA						
1951	24-set	7.2	RIPOSO						
MEDIA 9.52 mm									
SCARTO 12.49 mm									
NUMERO EVENTI: 76									
STAGIONE DI RIPOSO: 41									
STAGIONE VEGETATIVA: 35									

Tabella 7. Precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento (fonte Annali Idrologici- tabella I)

La media delle precipitazioni prima dell'evento è di circa $M=9.52$ mm con uno scarto quadratico medio campionario $\sigma=12.49$ mm.

Assumendo per la cumulata dei valori di pioggia nei 5 giorni antecedenti l'evento una distribuzione probabilistica tipo Gumbel (valori estremi), il valore relativo a condizioni AMC III (28 mm di pioggia) presenta una probabilità di non superamento $P=92\%$ corrispondente ad un tempo di ritorno $T_r=12.5$ anni.

Tale andamento è rappresentato in Figura 7.

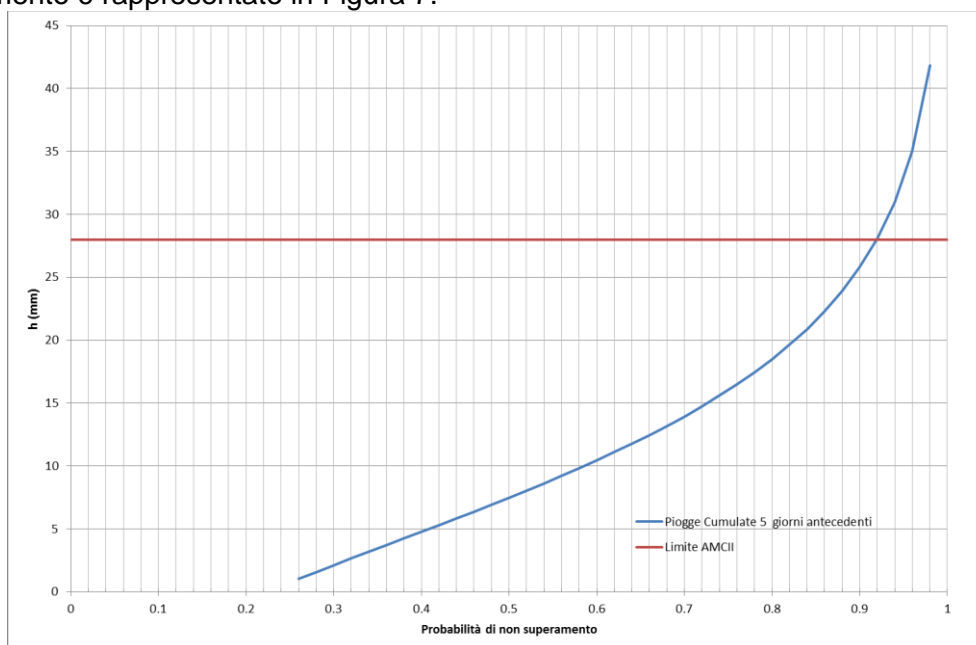


Figura 7 Andamento della cumulata di pioggia in funzione della probabilità di accadimento (distribuzione di Gumbel)

Poiché la probabilità che due eventi indipendenti si verifichino contemporaneamente è dato dal prodotto delle probabilità, la probabilità che si abbiano insieme un evento di ritorno $Tr_1=200$ anni ed uno stato del suolo AMC III ($Tr_2=12.5$ anni) è pari a:

$$P = \left(1 - \frac{1}{Tr_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{Tr_2}\right) = 0.9996$$

corrispondente a $Tr_c=2500$ anni.

Di conseguenza i due accadimenti contemporaneamente sono estremamente improbabili.

In maniera analoga si può determinare quale è il tempo di ritorno Tr_1 dell'evento pioggia che combinato assieme alle condizioni AMC III ($Tr_2=12.5$ anni) corrisponde ad una probabilità di accadimento $P=0.995$ ovvero a $Tr_c=200$ anni. Dalle formule sopra si ottiene:

$$Tr_1 = \frac{Tr_c}{Tr_2} = 16$$

Questo significa che una volta ogni 200 anni gli eventi di pioggia in condizioni di AMC III si verificano al massimo con eventi pluviometrici aventi tempo di ritorno 16 anni, i cui effetti ai fini delle esondazioni non sono significativi.

Analogo ragionamento si può fare per le condizioni AMCI il cui valore di soglia è pari a 12.7mm. Come da Figura 7 la probabilità di superamento di detto valore corrisponde a $P=0.67$ ovvero $Tr_2=3$ anni. Al fine di avere un evento con tempo di ritorno complessivo $Tr_c=200$ anni l'evento di pioggia corrispondente può avere al massimo $Tr_1=67$ anni.

Con queste valutazioni pur ritenendo applicabile una condizione AMCI per tutti i tempi di ritorno investigati si procede cautelativamente assegnando una condizione AMCII, in linea sia con gli studi pregressi per lo stesso comune che con altri studi effettuati per i comuni limitrofi (ad esempio per il comune di Cecina svolto dal Prof. Pagliara nel 2015).

4.3 Trasformazione afflussi deflussi

L'estensione dello studio ed il grado di dettaglio nella suddivisione dei bacini, nonché la diversità delle caratteristiche dei bacini esaminati ha suggerito l'applicazione di una metodologia che tenesse conto sia dei processi di scorrimento superficiale che del contributo degli invasi e degli immagazzinamenti. Per tale motivo si è scelto il metodo di Clark che esprime l'idrogramma di piena attraverso due parametri: il tempo di corrivazione T_c e la costante di ritardo R .

La valutazione del tempo di corrivazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono dal molteplici formulazioni impiegate in letteratura:

- formula di Kerby - Hatheway:

$$T_c = \frac{1}{60} \left(\frac{0.67 \cdot \left(1000 \frac{L}{0.3048} \cdot N \right)}{i^{0.5}} \right)^{0.467}$$

- formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8H_m}$$

- formula di Ventura:

$$T_c = 0.127 \left(\frac{A}{i_B} \right)^{0.5}$$

- formula di Kirpich:

$$T_c = 0.0003257 \frac{L^{0.77}}{i_B^{0.385}}$$

- formula di Pasini:

$$T_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{i^{0.5}}$$

- formula di Pezzoli:

$$T_c = 0.055 \frac{L}{i^{0.5}}$$

- formula di Rosso et al:

$$T_c = 0.26 \frac{L^{0.82}}{i_B^{0.2}} (1 + S)^{0.13}$$

- formula di Ferro:

$$T_c = 0.675 A^{0.5}$$

- formula PIN Regione Toscana:

$$T_c = \frac{0.17}{0.6} L$$

$$T_c = \frac{0.32}{0.6} A^{0.5}$$

dove A è la superficie del Bacino in Km², L=lunghezza asta in km, i pendenza media del corso d'acqua, i_B pendenza media del bacino, N coefficiente di copertura del suolo (pari a 0.2 per suoli privi di significativa copertura vegetale come è il caso della condizione invernale) e S capacità di ritenzione potenziale (definita attraverso il Curve Number) sopra determinato.

Per quanto riguarda il coefficiente di immagazzinamento R si è fatto riferimento alla formula originale di Clark:

$$R = \frac{0.8 \left(\frac{L}{1.60934} \right)}{(i_B \cdot 100)^{0.5}}$$

I parametri riassuntivi dei parametri idrologici per i vari sottobacini analizzati sono riassunti in Tabella 8 e Tabella 9.

ID	Area	CN (II)	Tc	R
Mad_1	8.54	80	1.78	0.75
Mad_3	1.47	80	0.98	0.44
Mad_2	1.02	81	1.03	0.48
Mad_4	0.99	79	1.43	0.96
Alb	0.99	81	1.04	0.64
Mad_5	2.32	79	1.99	1.99
Tan-1	6.31	76	1.82	0.84
Tan-2	3.13	81	2.10	1.80
Fosso_delle_Basse	3.06	81	2.27	1.41

Tabella 8. Parametri idrologici bacini Nord

ID	Area	CN (II)	Tc	R
So_1a	9.83	76	1.87	0.79
So_1b	6.13	75	1.58	0.66
So_2	0.56	79	0.43	0.13
Bad	0.47	83	0.59	0.32
So_3	2.98	81	2.04	1.36
Cam_2	8.70	77	2.13	1.18
Cam_1	7.98	79	2.40	1.32
Liv1	7.39	80	2.17	1.36
Cam_3	0.81	79	1.49	1.22
Liv2	0.44	77	0.42	0.06
Cam_4	0.03	81	1.11	0.92
Cam_5	3.98	84	2.00	1.26
B-Pogg1	0.63	80	0.98	0.73
B-Mich2	0.34	81	0.63	0.38
B-Mich1	0.33	85	0.63	0.37
B-Cast2	0.36	82	0.72	0.46
B-Cast1	0.26	83	0.55	0.30
B-Pogg2	0.39	75	0.76	0.41
B-Lag2	0.50	84	0.78	0.54
B-Lag1	0.44	81	0.63	0.36
B-Calcin1	0.43	82	0.81	0.52
B-Cancell1	0.25	74	0.84	0.56
B-Cancell2	0.17	73	0.47	0.19
B-Docc1	0.25	81	0.86	0.58
Tro1	0.48	80	1.31	0.84
Tro3	0.66	76	1.31	1.01
Tro5	0.65	81	1.26	0.70
Tro2	0.43	76	1.10	0.86
Tro4	0.39	81	1.25	0.81

Tabella 9. Parametri idrologici bacini sud

Lo schema del modello idrologico adottato ed implementato sul software HMS per i vari tratti analizzati è riportato in Figura 8 e Figura 9.

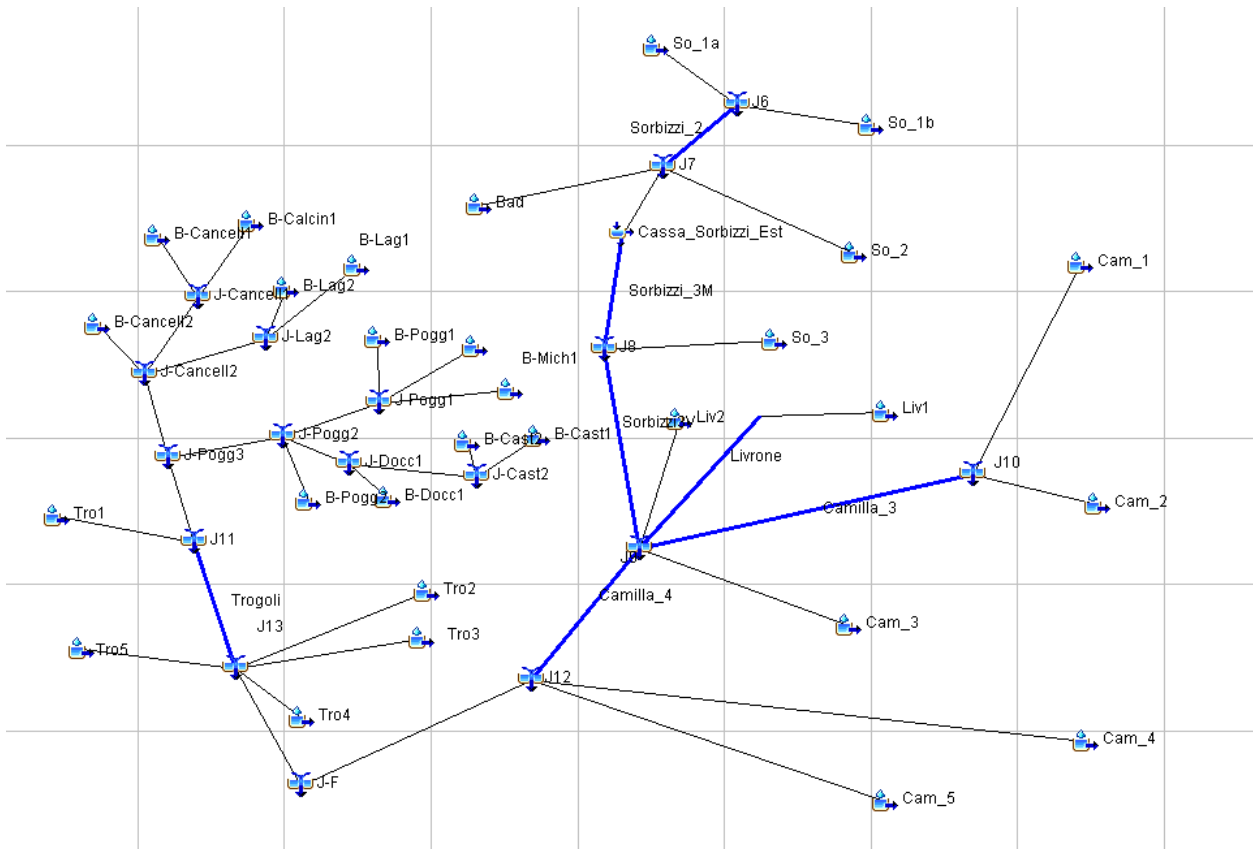


Figura 8 Modello idrologico parte Sud

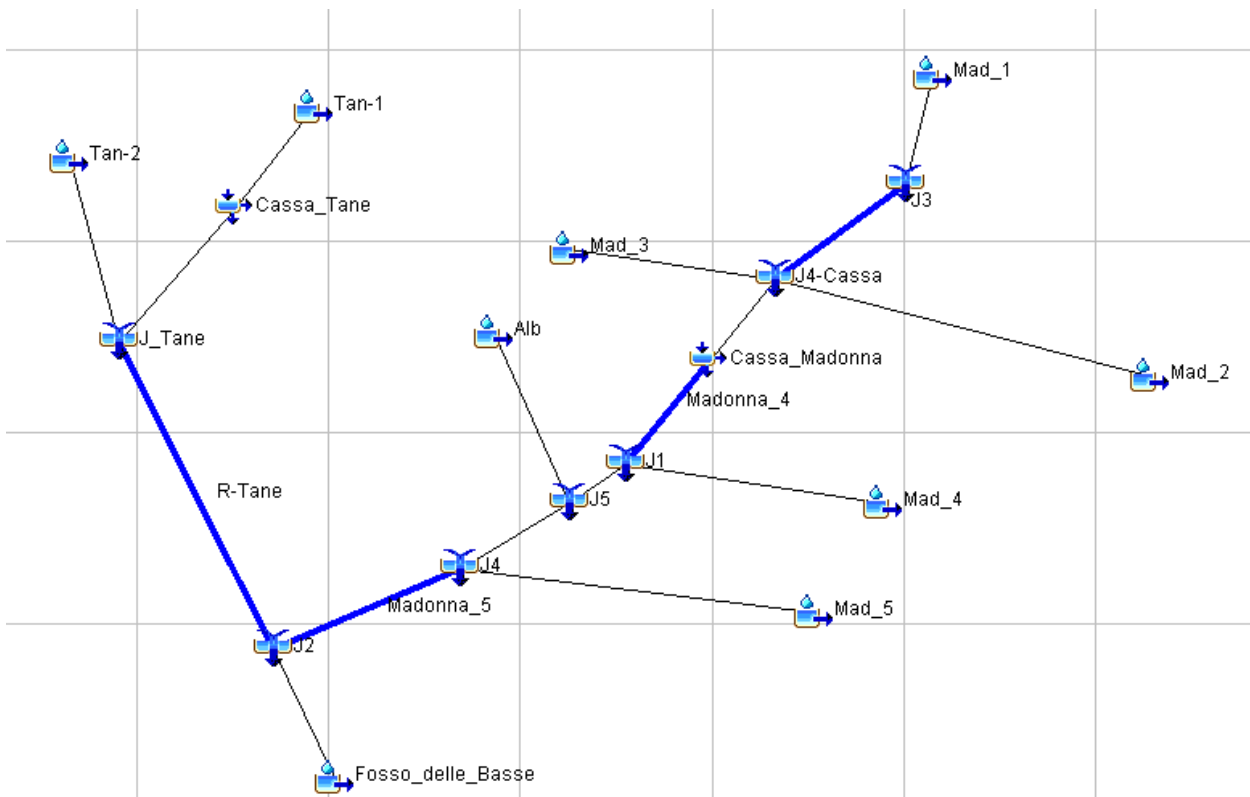


Figura 9 Modello idrologico area Bibbona Nord

Relativamente alle casse di espansioni presenti sul territorio, queste sono del tipo in derivazione e definite attraverso una capacità massima di invaso ed una portata massima derivabile. Per ogni cassa si è provveduto ad indicare le caratteristiche della scala di deflusso nelle sezioni

immediatamente a valle e le caratteristiche delle sfioratore. Di seguito i principali parametri inseriti nel modello per le diverse casse di laminazione considerate.

Basin Name:	Bibbona_CN_B
Element Name:	Cassa_Tane
Description:	<input type="text"/>
Downstream:	J_Tane
Connection:	--Not Connected--
Max Volume (1000 M3)	90
Max Flow (M3/S)	55
Divert Method:	Lateral Weir

Basin Name:	Bibbona_CN_B
Element Name:	Cassa_Tane
Method:	Broad-Crested Weir
*Channel Rating Curve:	Fosso_Tane
Tailwater Rating Curve:	--None--
*Elevation (M)	1.95
*Length (M)	35
*Coefficient (M ^{0.5} /S)	3.1

Figura 10 Parametri cassa espansione Fosso Tane

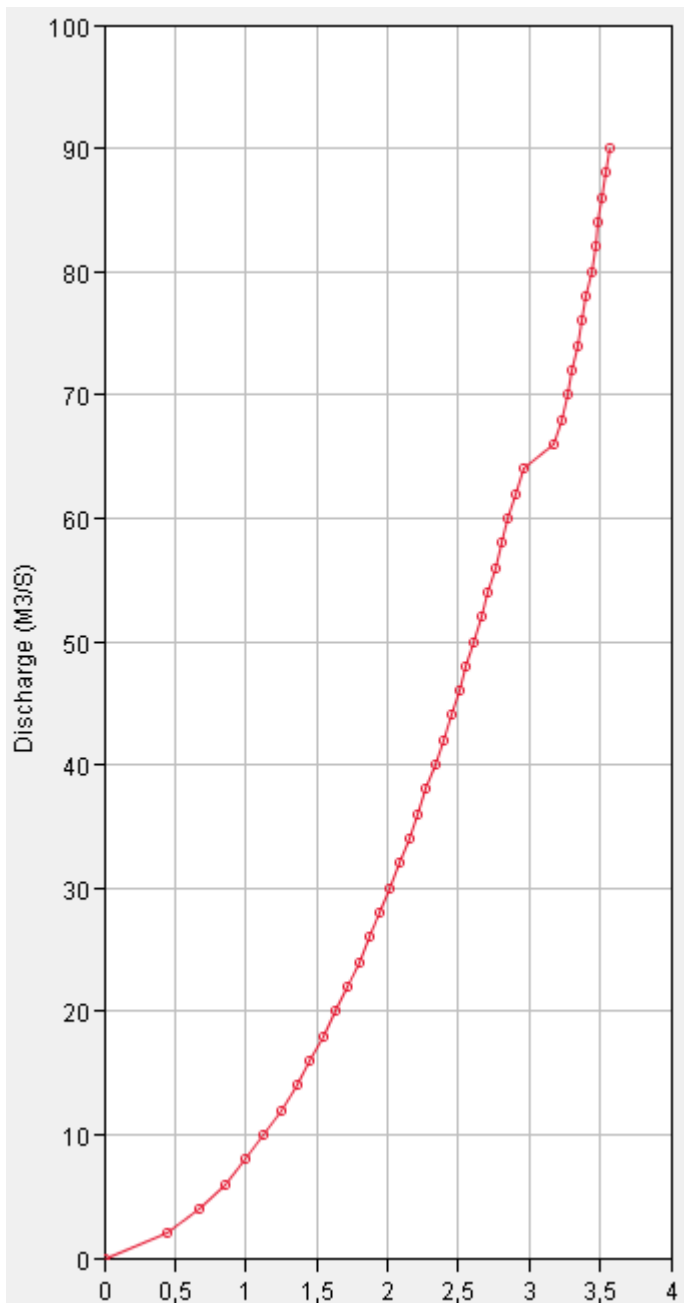


Figura 11 Scala di deflusso in corrispondenza dello sfioratore cassa Tane

Basin Name: Bibbona_CN_B
Element Name: Cassa_Madonna

Description:

Downstream:

Connection:

Max Volume (1000 M3)

Max Flow (M3/S)

Divert Method:

Basin Name: Bibbona_CN_B
Element Name: Cassa_Madonna

Method: Broad-Crested Weir

*Channel Rating Curve: Fosso_Madonna

Tailwater Rating Curve: --None--

*Elevation (M) 3.6

*Length (M) 28

*Coefficient (M^{0.5}/S) 3.1

Figura 12 Parametri cassa espansione Madonna

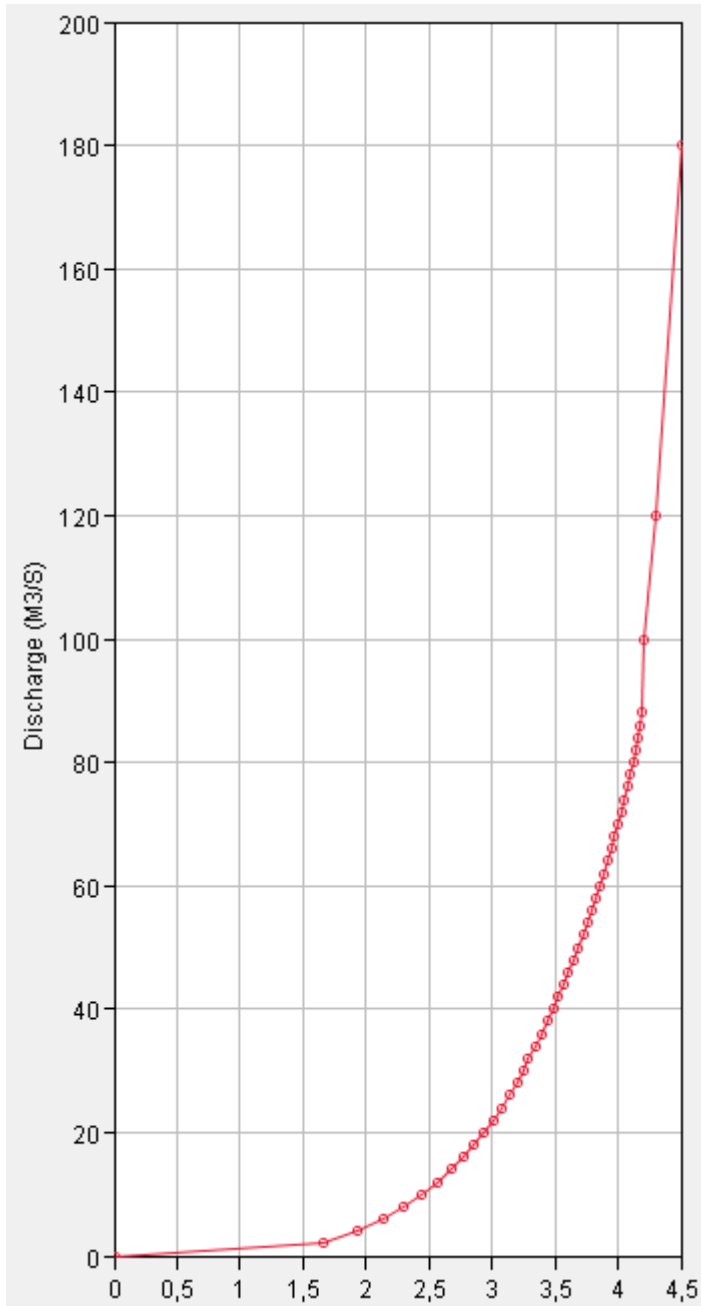


Figura 13 Scala di deflusso in corrispondenza dello sfioratore cassa Madonna

Basin Name: Bibbona_CN_B	
Element Name: Cassa_Sorbizzi_Est	
Description:	<input type="text"/>
Downstream:	Sorbizzi_3M
Connection:	--Not Connected--
Max Volume (1000 M3)	50
Max Flow (M3/S)	132
Divert Method:	Lateral Weir

Basin Name: Bibbona_CN_B	
Element Name: Cassa_Sorbizzi_Est	
Method:	Broad-Crested Weir
*Channel Rating Curve:	Fosso_Sorbizzi_sez_330
Tailwater Rating Curve:	--None--
*Elevation (M)	3.94
*Length (M)	20
*Coefficient (M ^{0.5} /S)	3.1

Figura 14 Parametri cassa espansione Sorbizzi

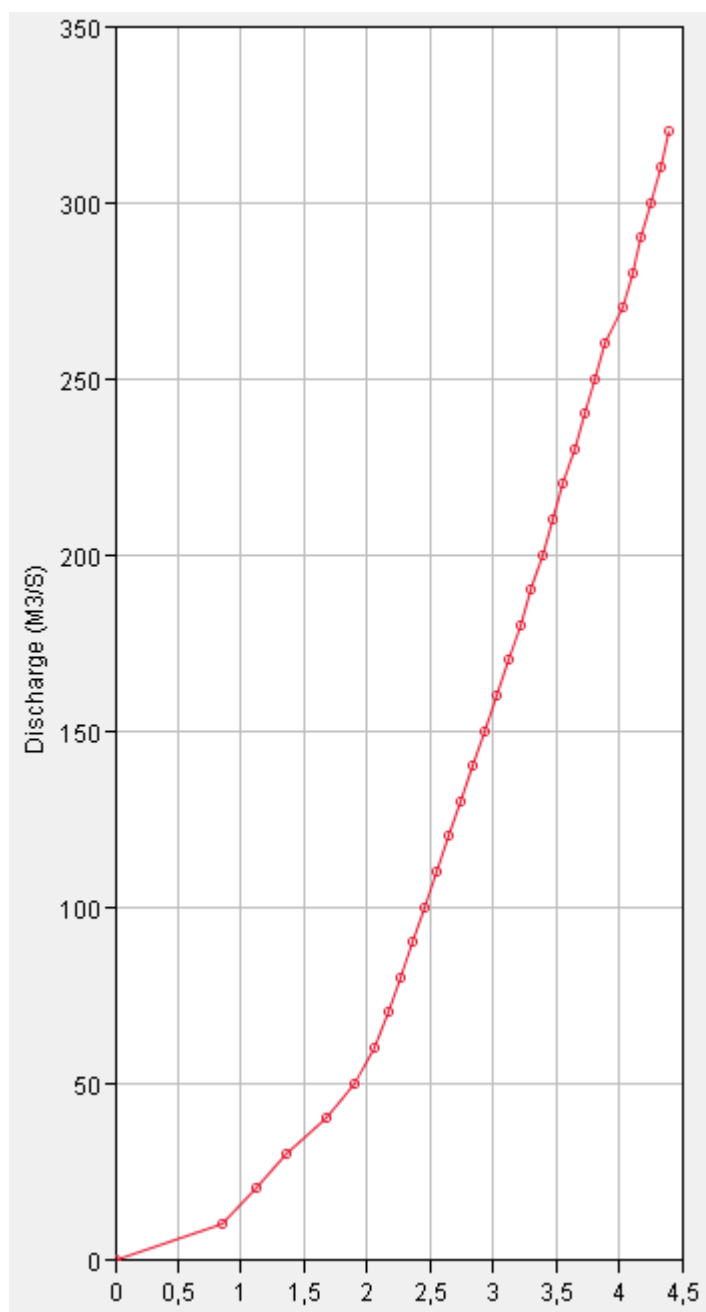


Figura 15 Scala di deflusso in corrispondenza dello sfioratore cassa Sorbizzi

4.4 Risultati del modello afflussi-deflussi

4.4.1 Bacino del Fosso della Madonna/Alberelli/Fosso delle Basse

Il modello applicato con ietogramma ad intensità costante evidenzia un tempo critico per il Fosso degli Alberelli di circa 2h mentre per il fosso della Madonna questo è dell'ordine delle 3 h. I risultati dei valori massimi nei vari tratti per $T_r=200$ anni e diverse durate sono riportati in Tabella 10. Si nota come il fosso degli Alberelli alla confluenza raggiunga il valore massimo per una durata di circa 2h sebbene l'entità del picco di piena non subisca significative variazioni per durate superiori. Il fosso della Madonna alla confluenza invece presenta una durata critica di 3 ore. Il fosso delle Tane e delle Basse presentano una durata critica di circa 4 h.

ID	S (kmq)	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h
Mad_2	1.04	7.77	8.85	8.3	7.54	6.18	4.91	4.13
Mad_3	1.47	10.82	12.37	11.58	10.51	8.64	6.87	5.79
Mad_1	8.54	46.83	58.86	60.02	57.02	49.46	39.43	33.37
J3	8.54	46.83	58.86	60.02	57.02	49.46	39.43	33.37
Madonna_2	8.54	46.61	58.77	59.67	56.83	49.37	39.43	33.35
Mad_3	1.47	12.77	13.5	12.27	10.81	8.8	6.91	5.8
Mad_2	1.02	8.84	9.43	8.59	7.58	6.18	4.84	4.06
J4-Cassa	11.03	58.08	75.74	77.98	74.18	64.05	51.06	43.18
Cassa_Madonna	11.03	53.3	62.23	63.32	61.47	56.42	49.35	43.18
Madonna_4	11.03	53.15	62.02	63.19	61.3	56.35	49.33	43.14
Mad_4	0.99	5.1	6.4	6.56	6.31	5.74	4.5	3.83
J1	12.02	58.18	68.42	69.75	67.59	62.08	53.83	46.96
Alb	0.99	7.55	8.47	7.95	7.21	5.99	4.68	3.93
J5	13.01	63.85	75.87	77.17	74.62	67.96	58.47	50.86
Mad_5	2.32	7.07	9.6	10.72	11.12	13.08	9.79	8.65
J4	15.33	69.67	84.34	87.11	85.12	81.04	68.23	59.51
Madonna_5	15.33	69.27	84.03	86.75	84.95	80.8	68.16	59.44
Tan-1	6.31	27.08	36.13	38.14	37.36	34.15	27.6	23.58
Cassa_Tane	6.31	27.08	31.56	32.24	31.98	30.84	27.6	23.58
Tan-2	3.13	10.93	14.51	15.97	16.35	18.09	13.79	12.03
J_Tane	9.44	37.32	45.56	47.8	48.04	48.93	41.37	35.61

Tabella 10 Portate massime per Tr=200 anni ed ietogramma ad intensità costante

Applicando il modello afflussi deflussi ad uno ietogramma di tipo Chicago per le corrispondenti durate critiche così individuate si massimizzano le portate dei vari corsi d'acqua. I valori ottenuti sono riportati nelle tabelle che seguono.

ID	S (kmq)	Tr200 2h -Chicago	Tr30 2h -Chicago	Tr500 2h -Chicago
Alb	0.99	10.22	5.59	12.76

ID	S (kmq)	Tr200 3h -Chicago	Tr30 3h -Chicago	Tr500 3h -Chicago
Mad_1	8.54	79.82	42.27	99.73
J3	8.54	79.82	42.27	99.73
Madonna_2	8.54	79.44	42.2	99.08
Mad_3	1.47	20.41	11.09	25.34
Mad_2	1.02	13.87	7.61	17.18
J4-Cassa	11.03	98.33	51.81	122.91
Cassa_Madonna	11.03	78.49	49.79	120
Madonna_4	11.03	77.61	49.69	117.69
Mad_4	0.99	8.63	4.52	10.83
J1	12.02	83.79	53.82	126.82
J5	13.01	90.07	58.48	135.09
Mad_5	2.32	12.83	6.62	16.16
J4	15.33	101.69	64.15	151.04

Tabella 11 Portate massime per $Tr=200$ anni ed ietogramma tipo Chicago per Fosso della Madonna e Fosso degli Alberelli (durata critica 3h)

ID	S (kmq)	Tr200 4h -Chicago	Tr30 4h -Chicago	Tr500 4h -Chicago
Tan-1	6.31	49.24	24.46	62.64
Cassa_Tane	6.31	35.56	24.46	46.89
Tan-2	3.13	19.35	10.29	24.17
J_Tane	9.44	54.04	33.91	70.21

Tabella 12 Portate massime per $Tr=200$ anni ed ietogramma tipo Chicago per Fosso delle Tane (durata critica 4h)

ID	S (kmq)	Tr200 4h -Chicago	Tr30 4h -Chicago	Tr500 4h -Chicago
Fosso della Basse	3.06	21.07	11.22	26.26

Tabella 13 Portate massime per $Tr=200$ anni ed ietogramma tipo Chicago per Fosso delle Basse (durata critica 4h)

Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena ottenuti nelle condizioni per i vari corsi d'acqua dei bacini "Nord". Si nota come le casse di laminazione esistenti contribuiscano all'attenuazione della portata fino a $Tr=200$ anni mentre per $Tr=500$ la capacità di invaso risulta insufficiente. In particolare relativamente alle portate in uscita si osserva come i nuovi dati di pluviometria non abbiano determinato variazioni significative di portata in uscita dalle opere di laminazione. Per il fosso delle Tane infatti per $Tr=200$ anni si ha una portata in uscita di circa 35 mc/s contro i 36mc/s del progetto originario, mentre per il fosso della Madonna nel presente lavoro il valore residuale dopo la cassa è di circa 77 mc/s con i 66.5 mc/s del progetto originario.

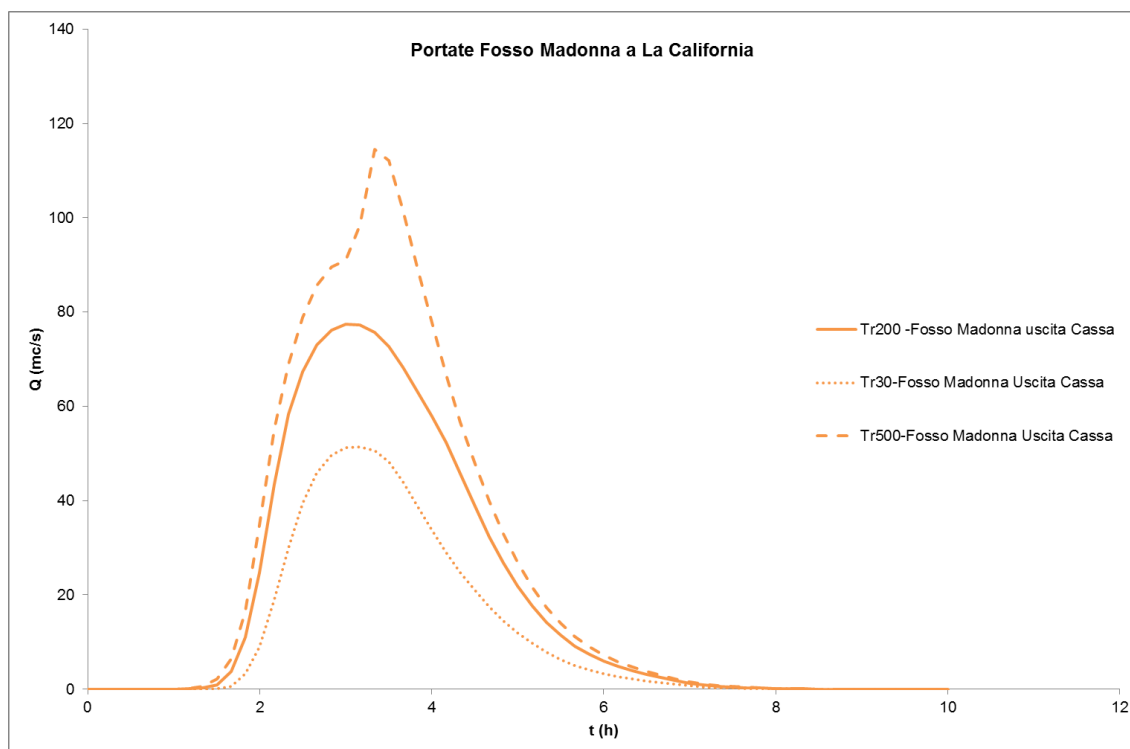


Figura 16 Idrogramma di piena in corrispondenza F. degli Alberelli e Fosso della Madonna in uscita dalla Cassa di Laminazione

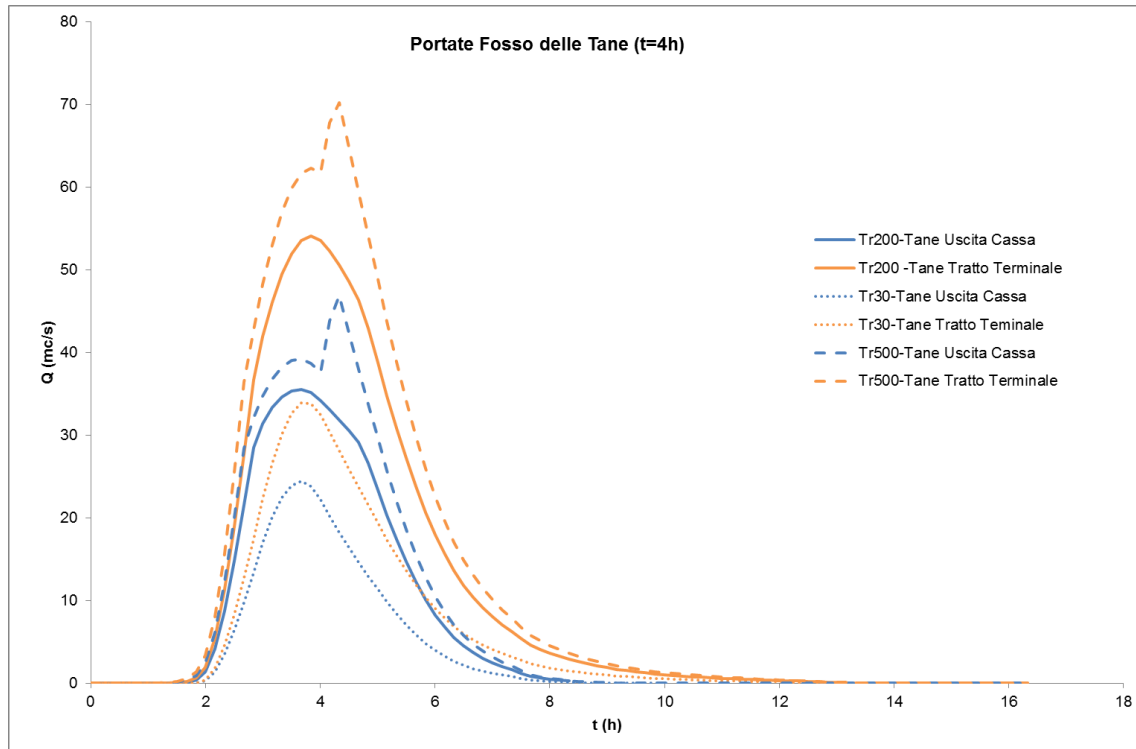


Figura 17 Idrogramma di piena Fosso delle Tane

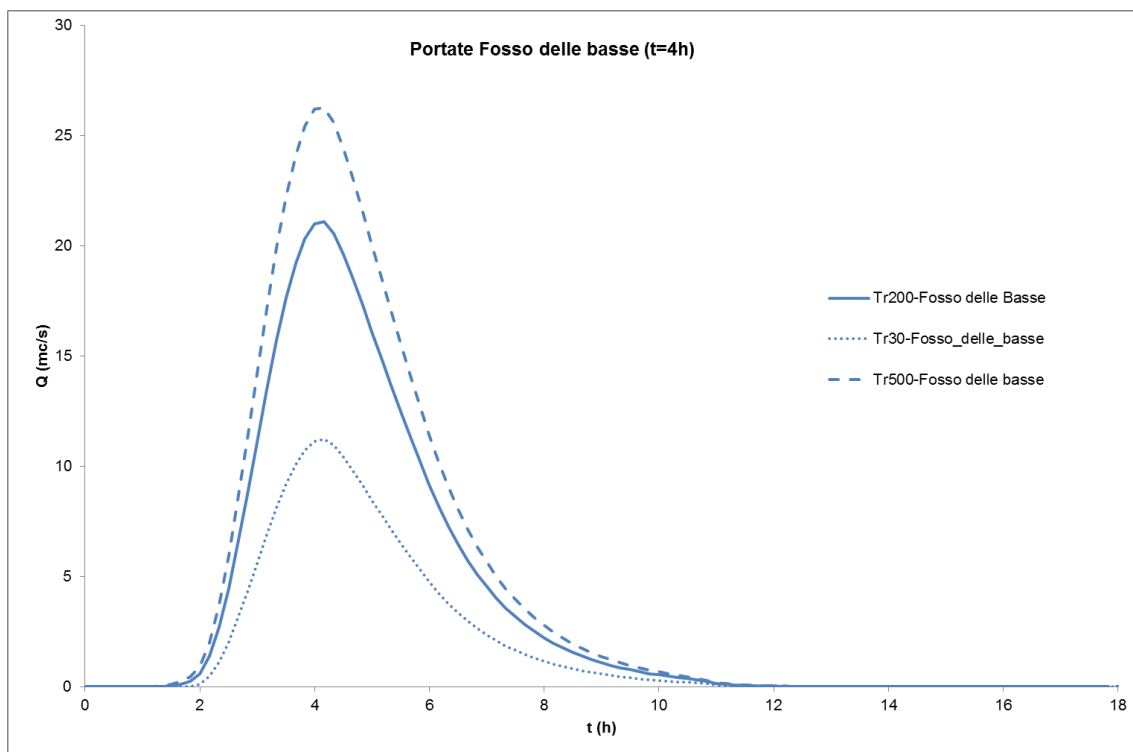


Figura 18 Idrogramma di piena Fosso delle Basse

4.4.2 Bacino del Golf

Le portate per ietogramma costante nei vari tratti di bacino sono riportate in Tabella 14. Si osserva per l'intero bacino un valore di picco intorno a 2h che quindi può essere considerata la durata critica.

ID	S (kmq)	1h	2h	3h	4h	6h	9h
B-Pogg1	0.63	4.39	5.05	4.82	4.44	3.68	2.94
B-Mich2	0.34	3.6	3.49	3	2.6	2.07	1.62
B-Mich1	0.33	4.15	3.74	3.14	2.68	2.1	1.63
J-Pogg1	1.3	11.66	12.09	10.85	9.67	7.85	6.19
B-Cast2	0.36	3.67	3.64	3.16	2.77	2.21	1.73
B-Cast1	0.26	3.39	2.92	2.43	2.07	1.63	1.26
J-Cast2	0.62	6.8	6.51	5.59	4.84	3.83	2.99
B-Docc1	0.25	3.03	3.27	2.97	2.65	2.17	1.74
J-Docc1	0.87	9.75	9.77	8.53	7.48	6.01	4.73
B-Pogg2	0.39	5.04	5.08	4.48	3.92	3.12	2.44
J-Pogg2	2.56	26.44	26.93	23.8	21.07	16.98	13.36
B-Lag2	0.5	4.75	4.56	3.9	3.37	2.68	2.1
B-Lag1	0.44	4.01	4.15	3.71	3.27	2.62	2.06
J-Lag2	0.94	8.74	8.71	7.58	6.64	5.31	4.16
B-Calcin1	0.43	1.57	1.83	1.76	1.61	1.35	1.09
B-Cancell1	0.25	1.72	1.55	1.33	1.16	0.94	0.75
J-Cancell1	0.68	2.97	3.29	3.05	2.76	2.29	1.84
B-Cancell2	0.17	2.09	2.25	2.08	1.85	1.5	1.18
J-Cancell2	1.79	13.65	14.24	12.67	11.25	9.1	7.18
J-Pogg3	4.35	40.1	41.18	36.47	32.32	26.08	20.54

Tabella 14 Portate massime per $T_r=200$ anni ed ietogramma costante per varie durate (area del Golf)

Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena ottenuti nelle condizioni $T_r=200$ anni per ietogramma Chicago e per la durata critica di 2h.

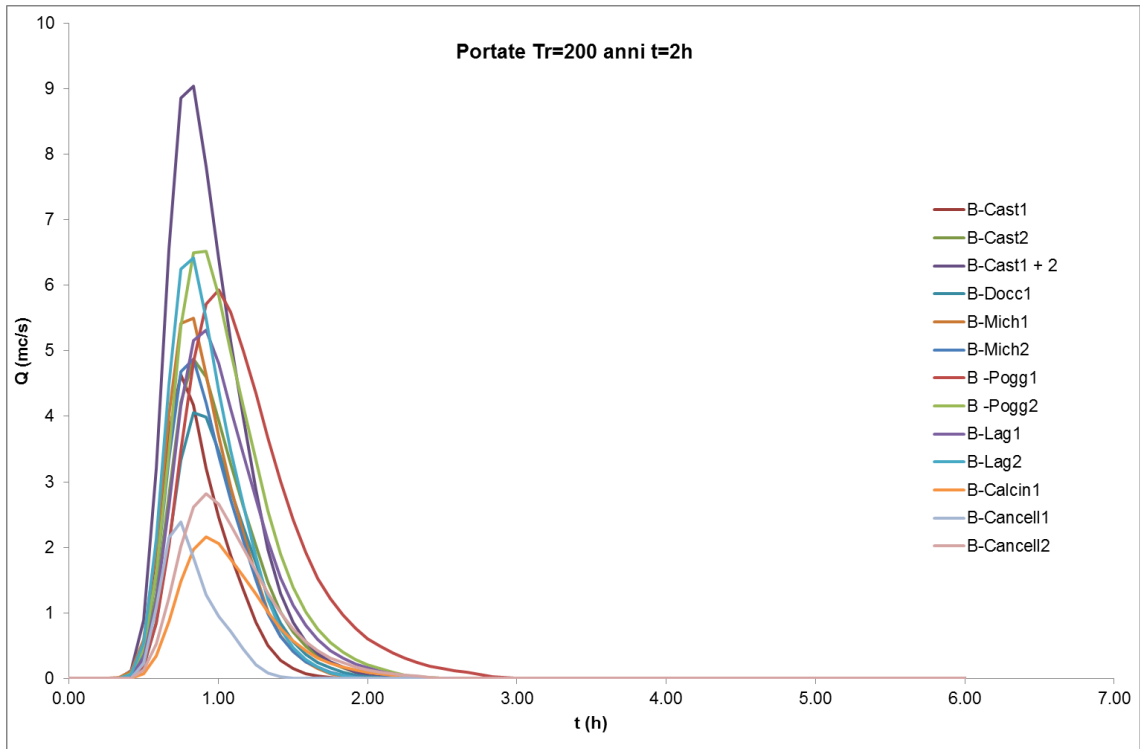


Figura 19 Idrogrammi area del golf per Tr=200 anni t=2h (ietogramma Chicago)

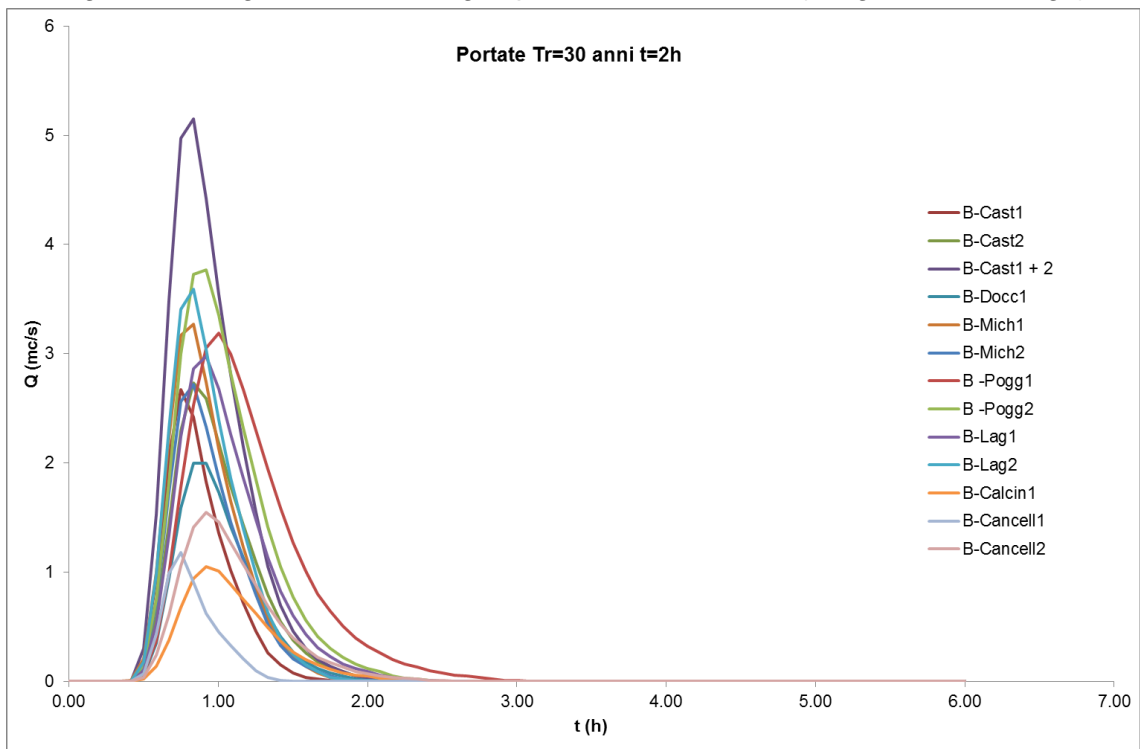


Figura 20 Idrogrammi area del golf per Tr=30 anni t=2h (ietogramma Chicago)

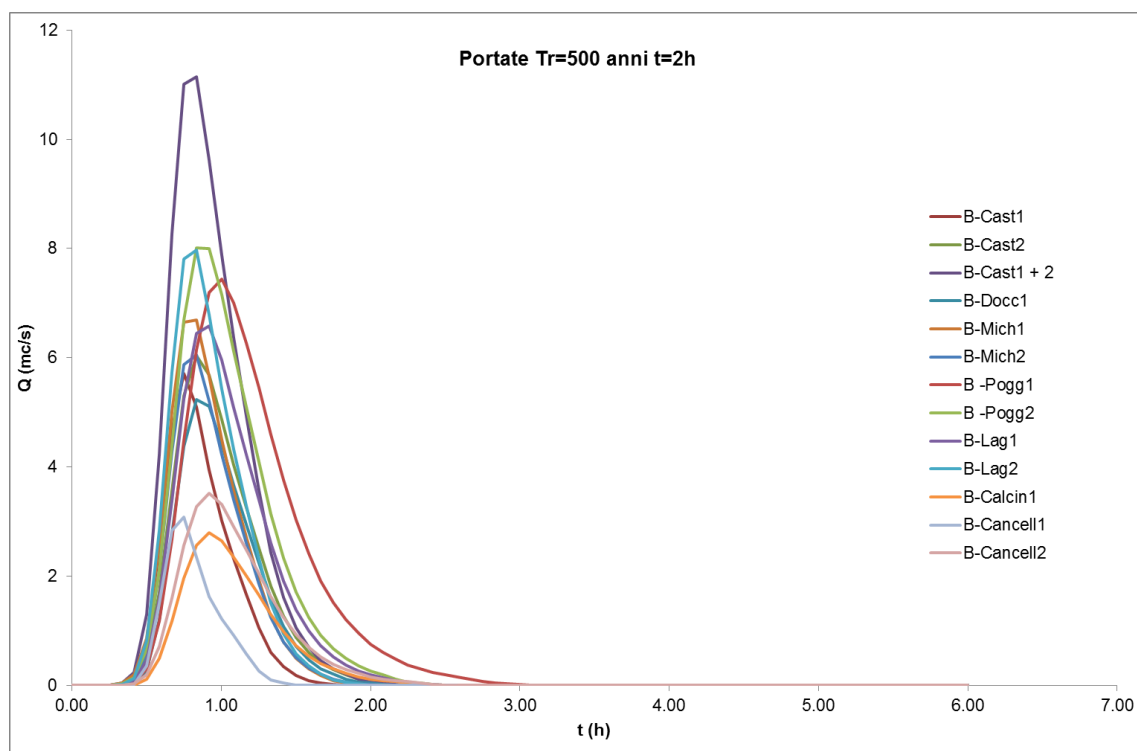


Figura 21 Idrogrammi area del golf per Tr=500 anni t=2h (ietogramma Chicago)

I valori riassuntivi massimi sono indicati in Tabella 15.

ID	S (kmq)	Tr200 2h -Chicago	Tr30 2h -Chicago	Tr500 2h -Chicago
Calcin_1	0.654	2.16	1.05	2.8
Cancell_1	0.596	2.39	1.18	3.08
Cancell_2	0.344	2.82	1.55	3.52
Cast_1	0.258	4.64	2.67	5.71
Cast_2	0.356	4.87	2.73	6.04
Docc_1	0.248	4.05	2	5.24
Lag_1	0.437	5.31	2.98	6.58
Lag_2	0.503	6.42	3.59	7.97
Mich_1	0.311	5.5	3.27	6.69
Mich_2	0.341	4.87	2.72	6.05
Pogg_1	0.627	5.93	3.19	7.44
Pogg_2	0.392	6.52	3.77	8.01

Tabella 15 Portate massime per d=2 h (ietogramma Chicago)

4.4.3 Bacini sud

La durata critica, come già determinato nello studio del regolamento urbanistico, è stata valutata in 2h per il fosso dei Trogoli ed in circa 4h i restanti corsi d'acqua ore.

ID	S (kmq)	1h	2h	3h	4h	6h	9h
So_1a	9.83	42.67	56.96	60.03	58.64	52.06	43.04
So_1b	6.13	29.37	38.42	39.38	37.7	32.68	26.7
J6	15.96	71.31	94.31	99.28	96.24	84.75	69.74

ID	S (kmq)	1h	2h	3h	4h	6h	9h
Sorbizzi_2	15.96	70.83	94.14	98.99	96	84.61	69.72
So_2	0.56	7.54	6.15	5.01	4.27	3.37	2.64
Bad	0.47	5.89	5.21	4.37	3.73	2.93	2.28
J7	16.99	71.72	95.92	102.88	101.5	90.36	74.49
Cassa_Sorbizzi_Est	16.99	71.72	95.92	102.88	101.5	90.36	74.49
Sorbizzi_3M	16.99	71.22	95.43	102.49	101.17	90.04	74.33
So_3	2.98	12.26	16.05	17.3	17.31	15.99	13.55
J8	19.97	83.48	111.48	119.63	118.4	106.03	87.86
Sorbizzi3V	19.97	83.42	111.44	119.59	118.35	106	87.85
Cam_2	8.7	31.17	42.63	46.85	47.38	44.16	37.75
Cam_1	7.98	28.3	38.48	42.5	43.27	40.86	35.17
J10	16.68	59.25	80.95	88.98	90.47	85	72.89
Camilla_3	16.68	58.96	80.68	88.9	90.4	84.88	72.87
Liv1	7.39	28.33	37.75	41.03	41.45	38.7	33.07
Livrone	7.39	28.21	37.61	40.9	41.37	38.66	33.03
Cam_3	0.81	3.62	4.64	4.9	4.82	4.36	3.65
Liv2	0.44	5.86	4.68	3.82	3.27	2.59	2.03
J9	45.29	169.01	229.3	249.64	251.69	233.04	198.25
Camilla_4	45.29	168.13	228.27	248.82	251.04	232.91	197.99
Cam_4	0.03	0.19	0.22	0.22	0.21	0.17	0.14
Cam_5	3.98	19.57	24.72	25.88	25.42	22.82	18.86
J12	49.3	187.3	252.7	274.5	276.58	255.76	217
J-Pogg3	4.35	40.1	41.18	36.47	32.32	26.08	20.54
Tro1	0.48	2.84	3.46	3.45	3.23	2.76	2.22
J11	4.83	42.2	44.25	39.78	35.49	28.83	22.77
Trogoli	4.83	39.58	42.65	39.18	35.07	28.59	22.66
Tro3	0.66	2.97	3.82	4	3.9	3.48	2.89
Tro5	0.65	4.46	5.19	5.02	4.62	3.84	3.06
Tro2	0.43	2.23	2.77	2.81	2.67	2.33	1.9
Tro4	0.39	2.5	2.97	2.92	2.71	2.29	1.83
J13	6.96	51.63	57.38	53.91	48.92	40.52	32.32
J-F	56.26	209.57	288.22	318.07	320.87	295.71	249.31

Tabella 16 Portate massime per varie durate dei bacini sud (letogramma costante)

I risultati del modello idrologico applicato per la durata critica dei vari sottobacini ha fornito i massimi indicati in Tabella 17 e Tabella 18.

ID	S (km ²)	Tr200 2h - Chicago	Tr30 2h - Chicago	Tr500 2h - Chicago
Tro1	0.48	3.92	2.09	4.93
J11	4.83	55.13	30.32	68.88
Trogoli	4.83	52.51	28.39	65.55
Tro3	0.66	4.21	2.1	5.4
Tro5	0.65	6.11	3.32	7.64

ID	S (km ²)	Tr200 2h - Chicago	Tr30 2h - Chicago	Tr500 2h - Chicago
Tro2	0.43	3.09	1.55	3.96
Tro4	0.39	3.44	1.86	4.3
J13	6.96	68.36	36.94	85.69

Tabella 17 Portate massime per il fosso dei Trogoli (Ietogramma Chicago)

ID	S (km ²)	Tr200 4h - Chicago	Tr30 4h - Chicago	Tr500 4h - Chicago
So_1a	9.83	77.78	38.59	98.99
So_1b	6.13	52.76	25.78	67.53
J6	15.96	128.66	63.36	164.21
Sorbizzi_2	15.96	128.1	62.92	163.63
So_2	0.56	13.59	7.58	16.75
Bad	0.47	9.22	5.37	11.23
J7	16.99	132.77	65.31	169.43
Cassa Sorbizzi Est	16.99	132.77	65.31	169.43
Sorbizzi_3M	16.99	131.59	65.04	167.41
So_3	2.98	21.42	11.44	26.73
J8	19.97	153	76.44	194.13
Sorbizzi3V	19.97	152.96	76.37	194.11
Cam_2	8.7	58.24	29.22	73.87
Cam_1	7.98	52.41	27	65.98
J10	16.68	109.64	55.65	138.73
Camilla_3	16.68	109.51	55.54	138.52
Liv1	7.39	50.86	26.68	63.72
Livrone	7.39	50.63	26.49	63.52
Cam_3	0.81	6.19	3.23	7.77
Liv2	0.44	10.94	6.01	13.55
J9	45.29	310.58	156.99	392.99
Camilla_4	45.29	309.21	156.06	391.99
Cam_4	0.03	0.3	0.16	0.37
Cam_5	3.98	32.74	18.29	40.28
J12	49.3	341.65	173.77	431.86

Tabella 18 Portate massime per Fosso Camilla-Livrone e Sorbizzi (Ietogramma Chicago)

L'andamento degli idrogrammi di piena nei vari tratti sono riportati nelle figure che seguono.

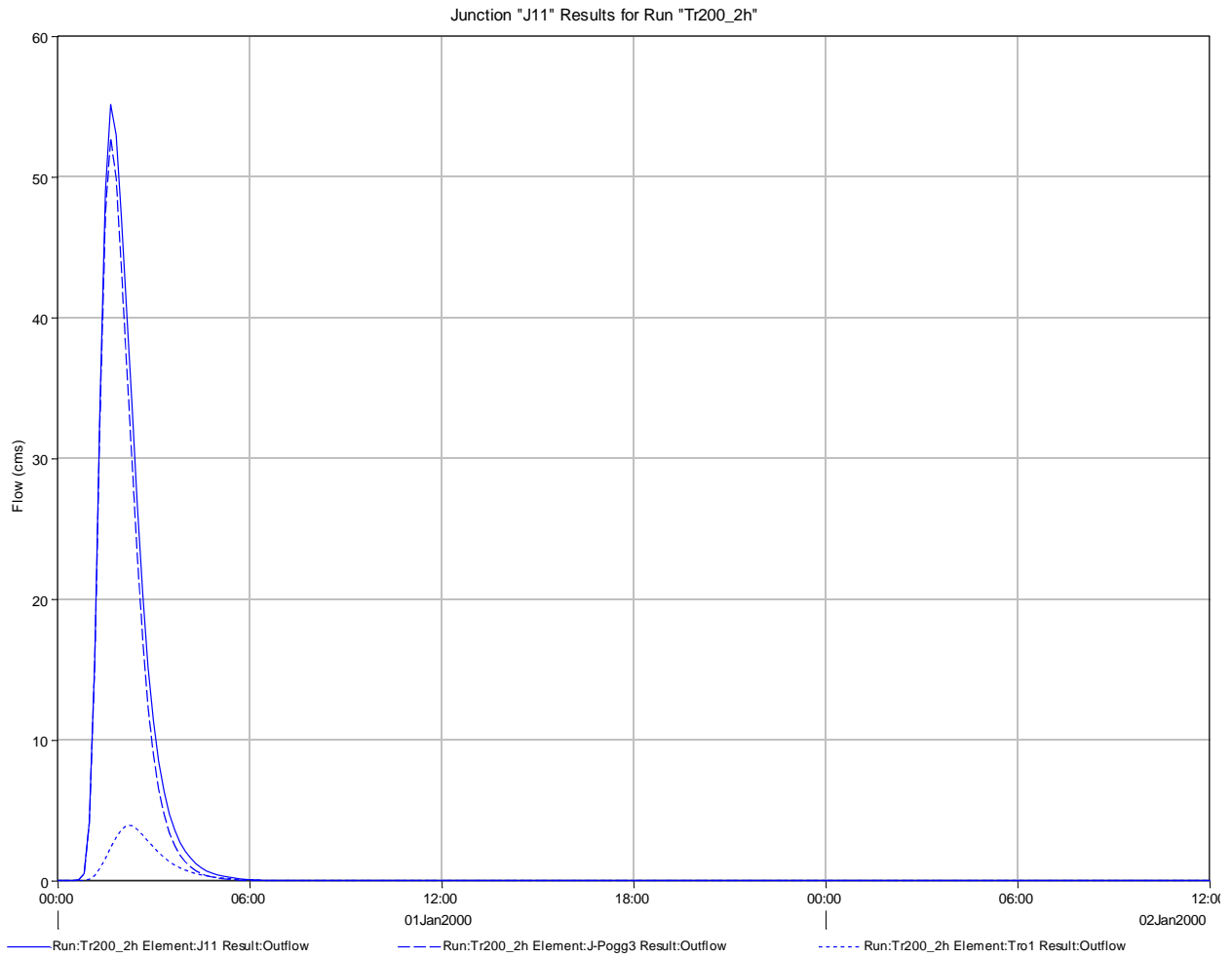


Figura 22 Idrogramma di piena del Fosso dei Trogoli a valle ponte su Via di Marina

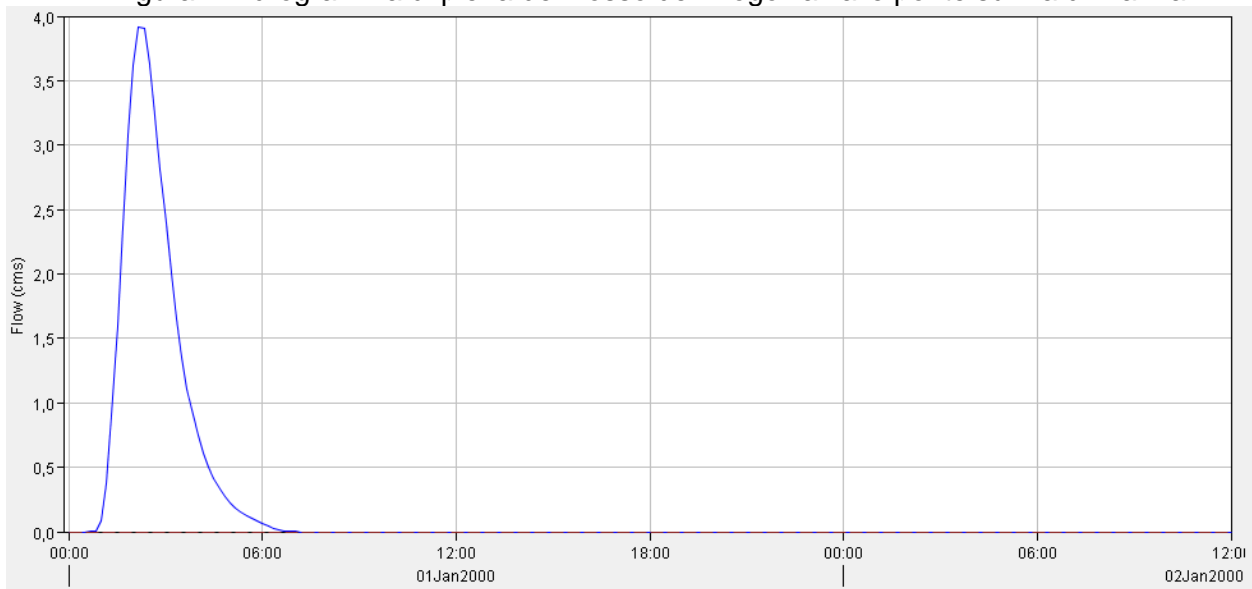


Figura 23 Idrogramma di piena sottobacino Tro1

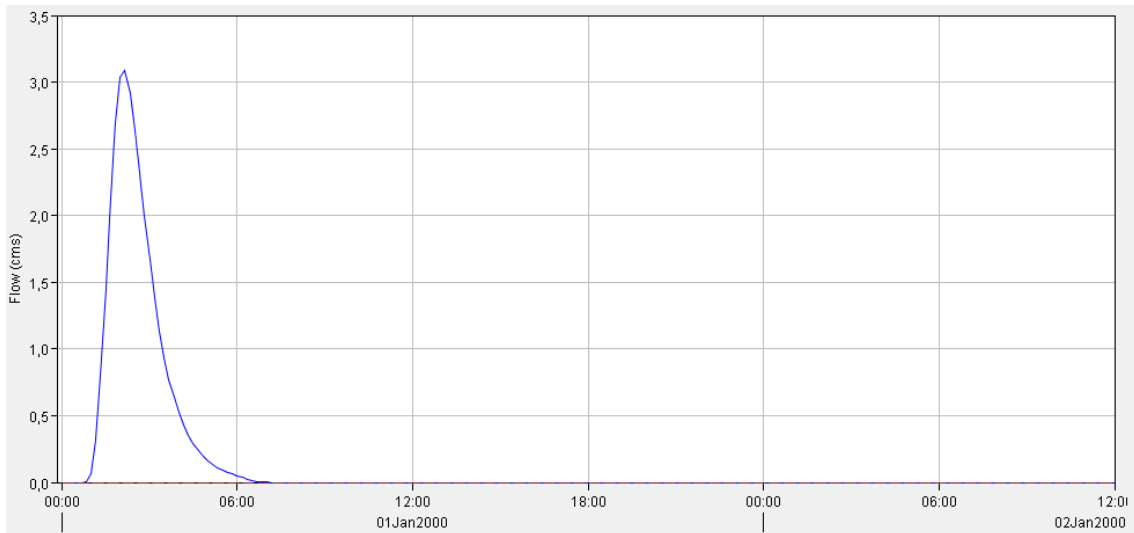


Figura 24 Idrogramma di piena sottobacino Tro2

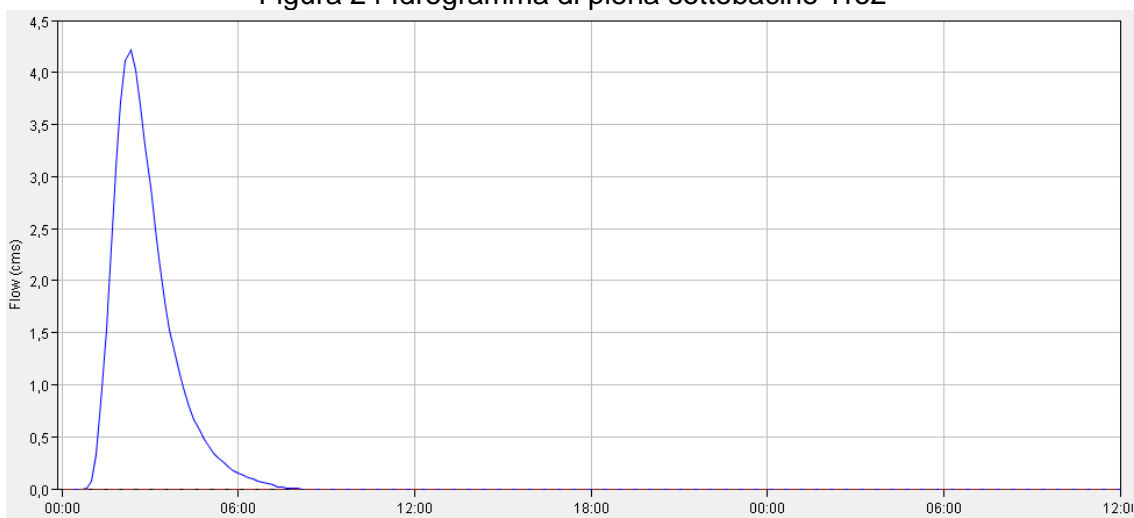


Figura 25 Idrogramma di piena sottobacino Tro3

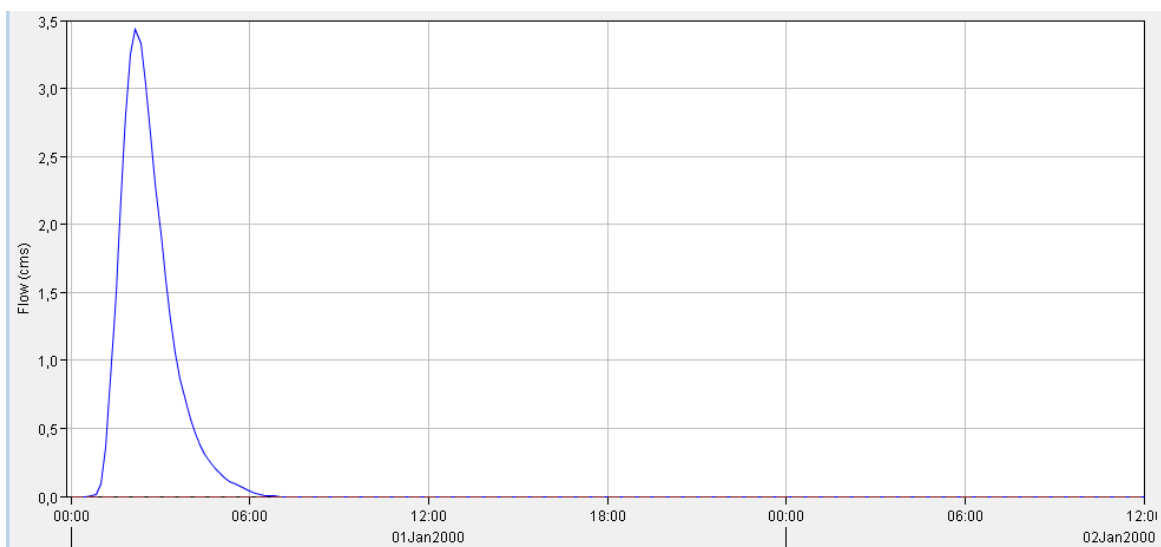


Figura 26 Idrogramma di piena sottobacino Tro4

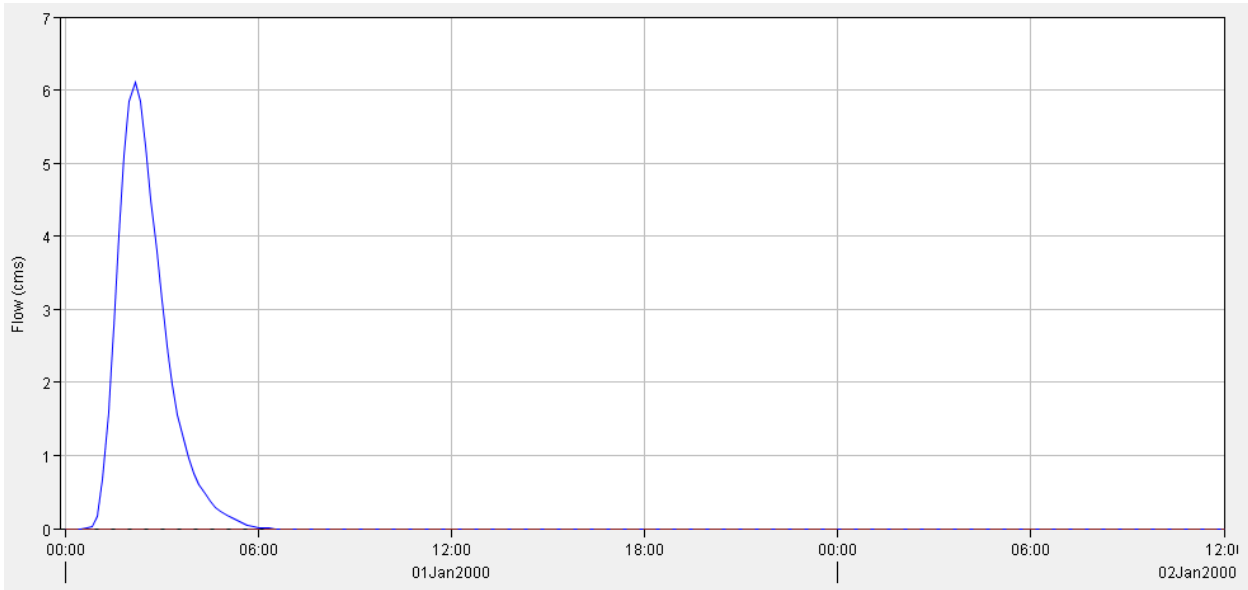


Figura 27 Idrogramma di piena sottobacino Tro5

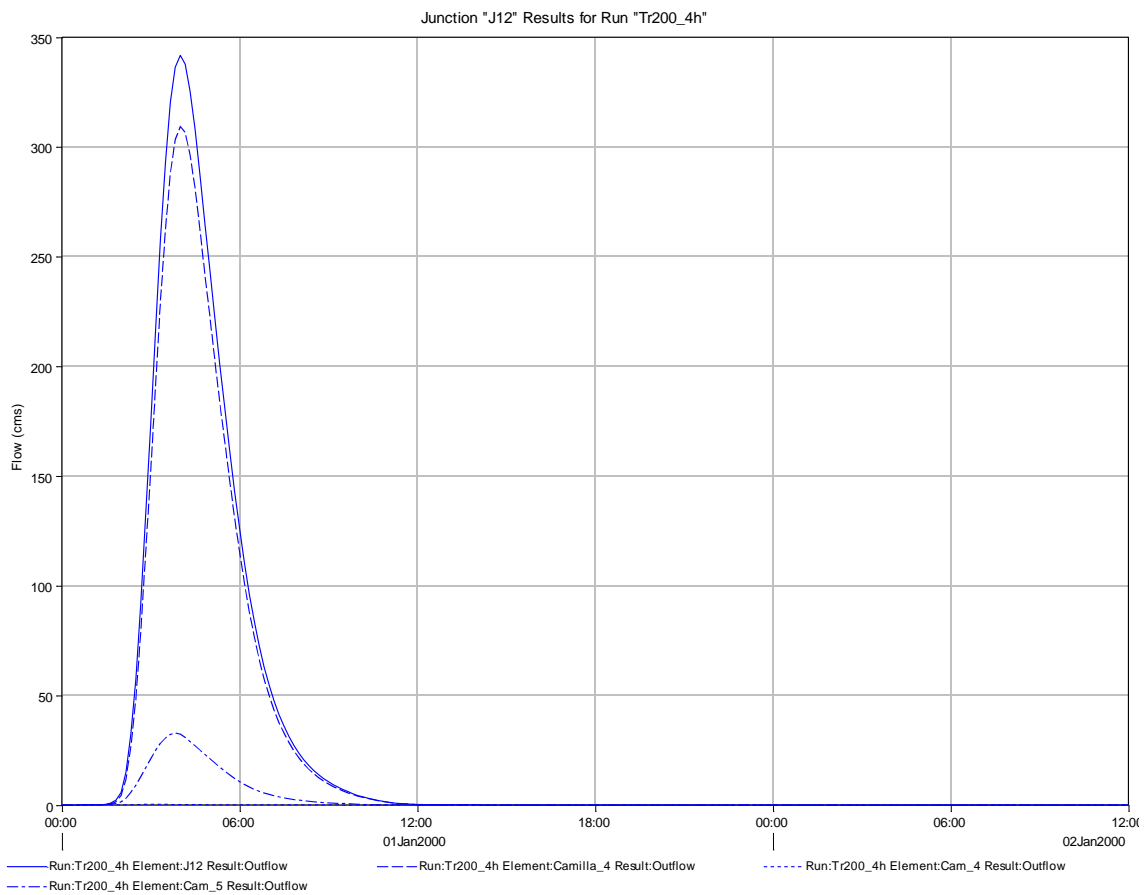


Figura 28 Idrogramma di piena tratto terminale del Fosso della Camilla a monte della confluenza con il Fosso dei Trogoli

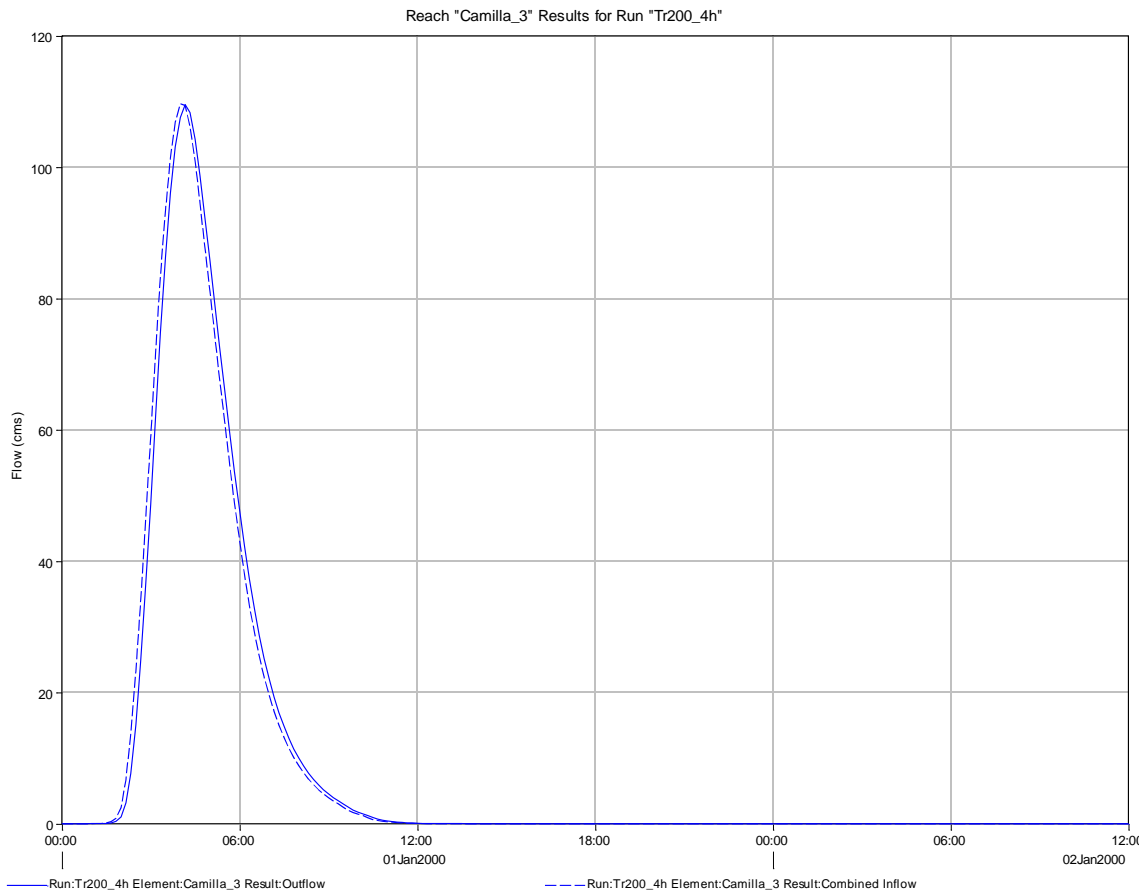


Figura 29 Idrogramma di piena del Fosso della Camilla a monte della confluenza con il F. dei Sorbizzi

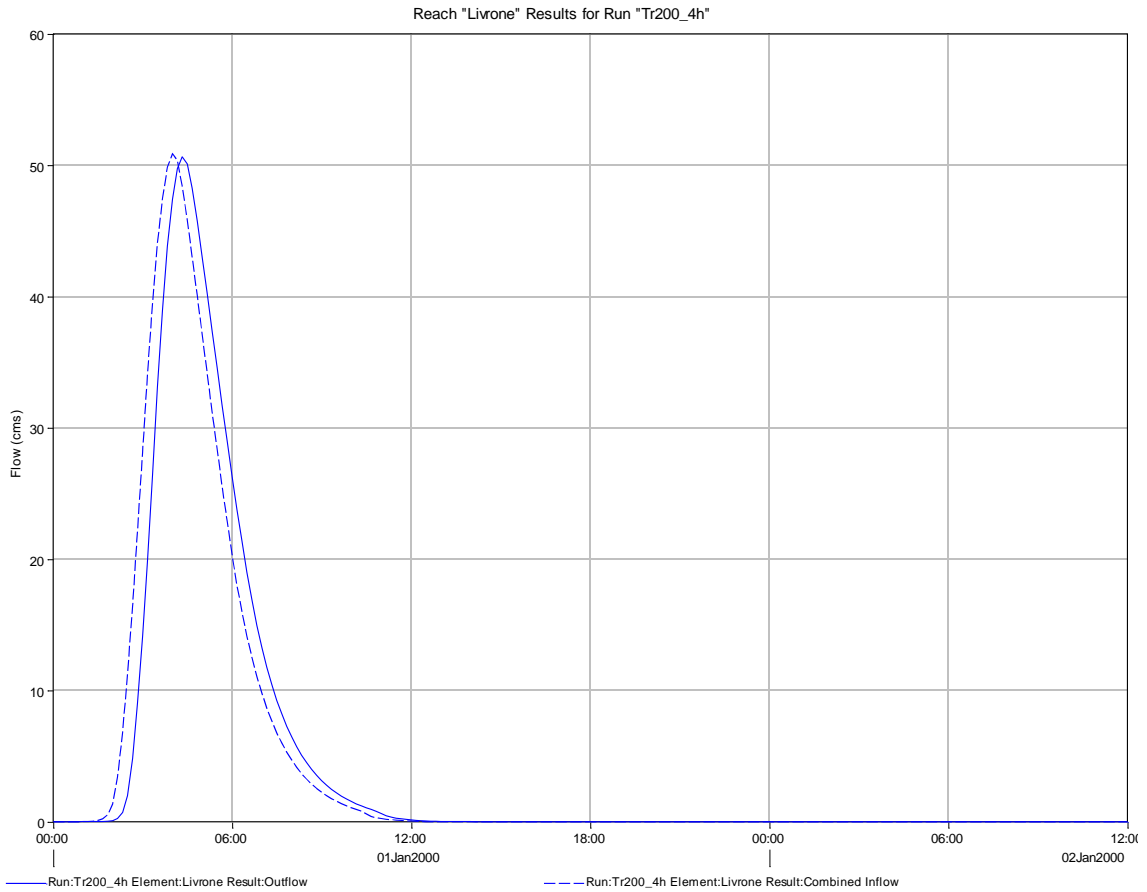


Figura 30 Idrogramma di piena del F. del Livrone

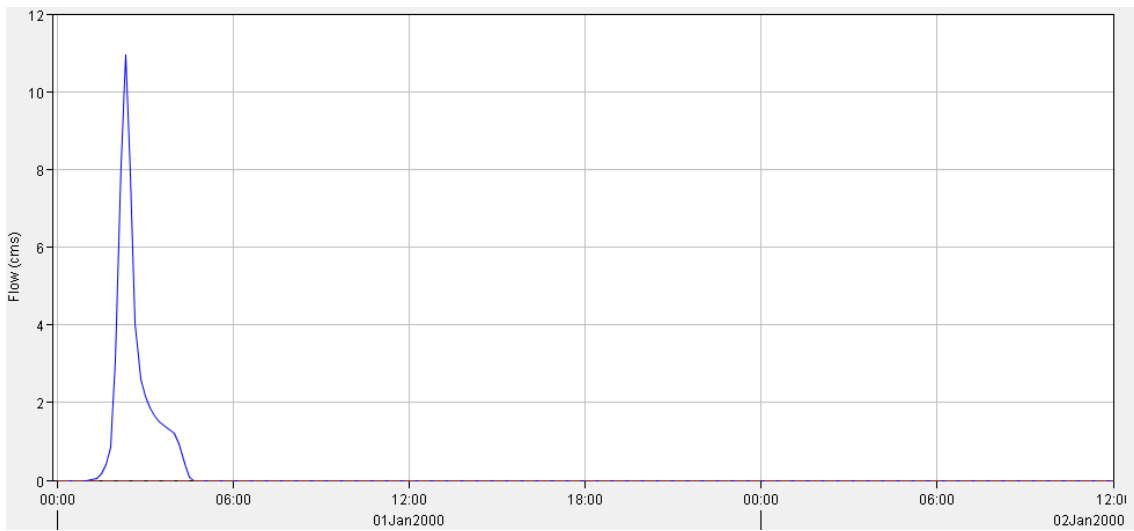


Figura 31 Idrogramma di piena del sottobacino Liv2

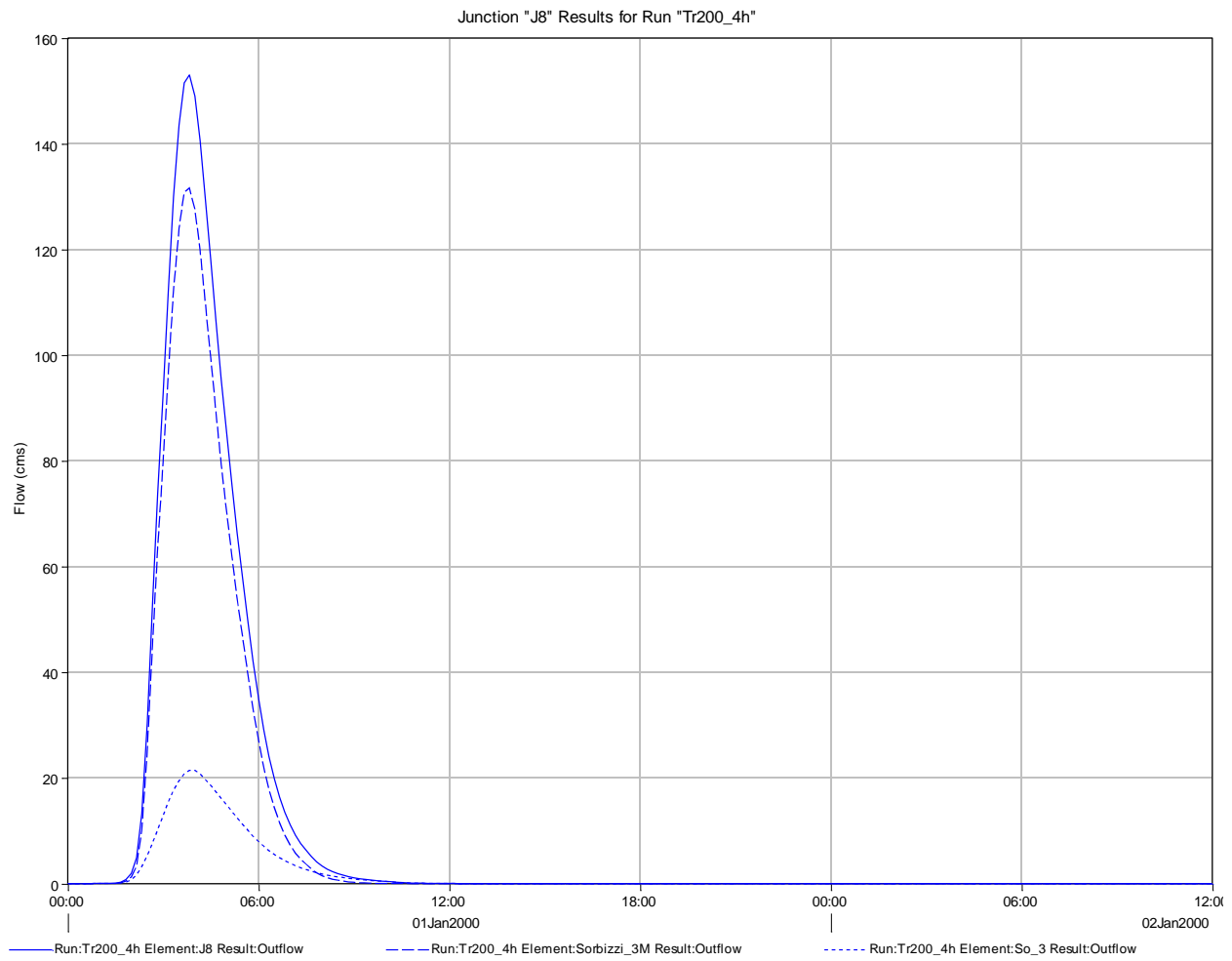


Figura 32 Idrogramma di piena del F. dei Sorbizzi

5. STUDIO DELLE AREE ALLAGATE

Le aree allagate sono state determinate con il software Tuflow che esegue analisi in dominio 1D/2D e condizioni di moto vario. I canali sono analizzati nel dominio 1D e nell'evenienza in cui il livello liquido raggiunga la sommità arginale si innesca la propagazione bidimensionale sul territorio circostante. L'interfaccia 1D-2D è di tipo bidirezionale, cioè consente la propagazione da e verso il canale, ovviamente in base alle condizioni topografiche.

La costruzione del modello digitale del terreno è realizzata mediante l'utilizzo di punti georeferenziati di coordinate x,y,z a partire dei dati altimetrici Lidar. La definizione dei coefficienti di scabrezza è stata fatta distinguendo il moto nei canali e quello nella piana alluvionale. Per quanto riguarda il primo caso (canali) si è fatto riferimento ad un coefficiente di Manning pari a 0.035 ritenuto valido per l'intera rete investigata; nel secondo si è fatto riferimenti a valori di letteratura associati ai codici di uso del suolo del Land Corine Cover (vedere C.J. van Der Sande et al, A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment", International Journal of applied earth observation and geoinformation, 2003, Lopes et al Flooding assessment under sea level rise scenarios: Ria de Aveiro case, Journal of coastal research, 2013), riassunti in Tabella 19.

USO DEL SUOLO	Codice CORINE	Manning n
Tessuto Urbano continuo	111	0.14
Tessuto Urbano discontinuo	112	0.09
Aree industriali o commerciali	121	0.14
Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	122	0.07
Aree portuali	123	0.07
Aeroporti	124	0.06
Aree estrattive	131	0.12
Discariche	132	0.04
Cantieri	133	0.06
Aree verdi urbane	141	0.02
Aree ricreative e sportive	142	0.04
Seminativi in aree non irrigue	211	0.08
Seminativi in aree irrigue	212	0.08
Risaie	213	0.04
Vigneti	221	0.12
Frutteti e frutti minori	222	0.12
Oliveti	223	0.12
Prati Stabili	231	0.1
Colture temporanee associate a colture permanenti	241	0.08
Sistemi colturali e particellari complessi	242	0.10
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	243	0.09
Boschi di latifoglie	311	0.1
Boschi di conifere	312	0.1
Boschi misti	313	0.13
Aree a pascolo naturale e praterie	321	0.11
Brughiere e cespuglieti	322	0.06
Aree a vegetazione sclerofilla	323	0.1
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	324	0.1
Spiagge, dune e sabbie	331	0.07
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	332	0.07
Aree con vegetazione rada	333	0.09
Aree percorse da incendi	334	0.07
Paludi interne	411	0.10
Saline	422	0.04
Corsi d'acqua, canali e idrovie	511	0.03
Bacini d'acqua	521	0.03

Tabella 19 Coefficienti di scabrezza impiegati nel modello bidimensionale

5.1 Area della California (Fosso della Madonna e Fosso degli Alberelli)

La base topografica è quella Lidar fornita dall'Amministrazione Comunale. Le sezioni del fosso degli Alberelli sono state definite attraverso rilievo specifico di dettaglio nel 2013. Per le sezioni del F. della Madonna si è fatto riferimento allo studio del 2008.

5.1.1 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno adottate per lo studio sono le seguenti:

- sezione intermedia scala di deflusso a condizioni di moto uniforme determinata con l'equazione di Manning;
- condizioni di completa uscita dai bordi della griglia.
- portate di piena per $Tr=200$ anni per la durata critica

Sono stati analizzati 3 casi:

- a) le condizioni idrologiche alla confluenza tra il fosso delle Madonna ed il Fosso degli Alberelli senza considerare le sottrazioni di portata che si verificano a monte nel fosso della Madonna
- b) condizioni idrologiche a monte della confluenza con possibili sottrazioni di portata che si verificano a monte nel fosso della Madonna
- c) rotture arginali nella zona del Mannaione

5.1.2 Risultati caso a)

Lo schema del modello è riportato in Figura 33.

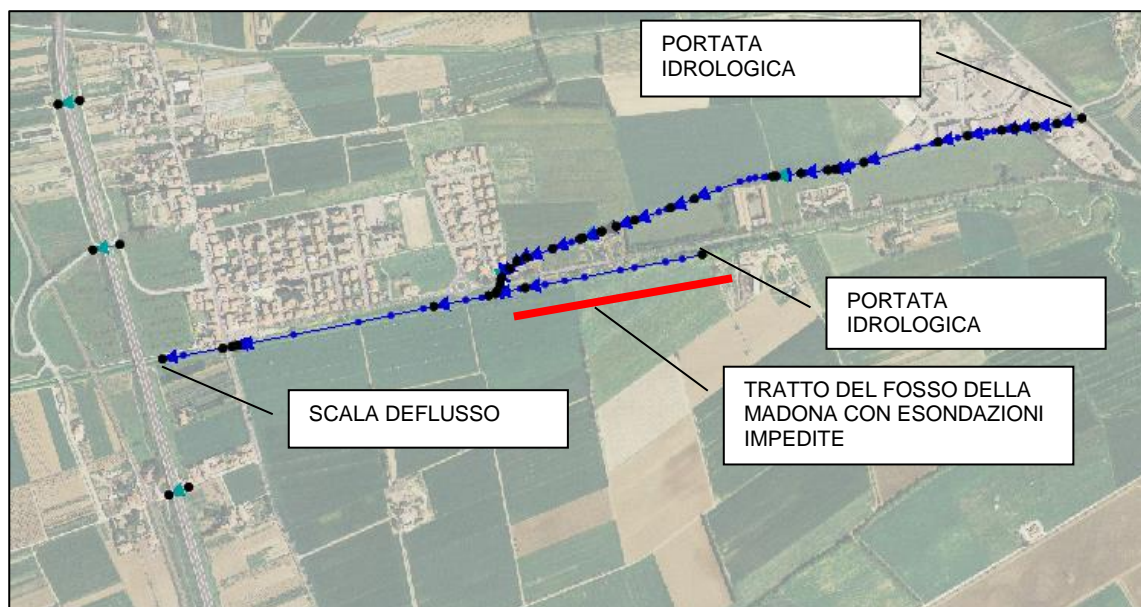


Figura 33 Schema modello caso a)

Le modellazioni sono state eseguite su un'area complessiva di 2.7x1.5 km e con celle di 5x5m (Figura 34).

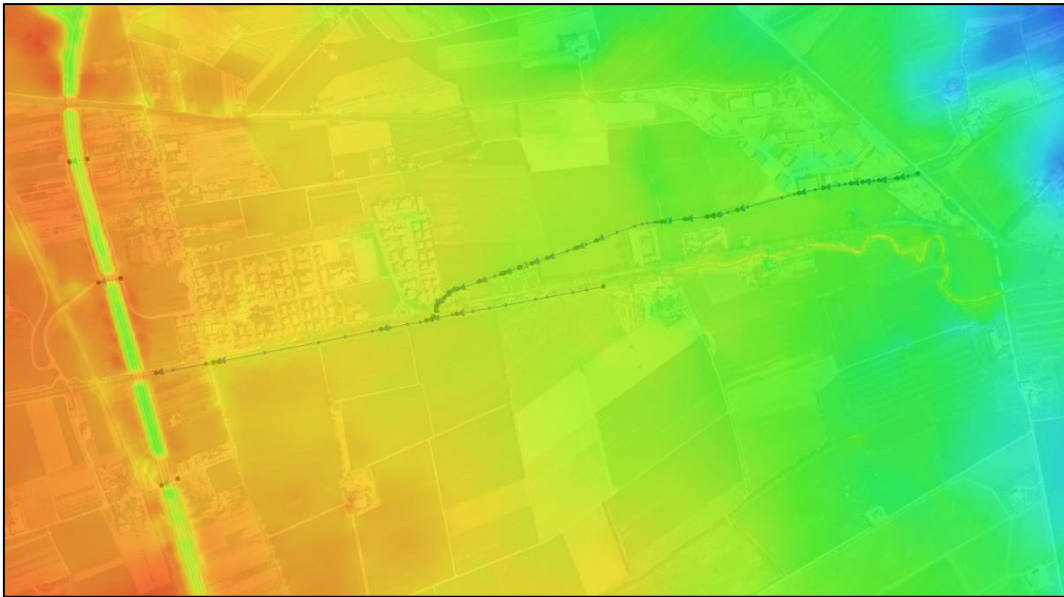


Figura 34 Griglia di calcolo (caso a)

Le prime esondazioni avvengono in prossimità della confluenza ed immediatamente a monte del ponte di via della Camminata sia in sponda destra che in sponda sinistra.



Figura 35 Esondazioni nello stato attuale per $T_r=200$ anni a $t=2:30h$

Nelle fasi successive si verifica l'espansione verso La California delle acque di esondazione. Criticità avvengono anche in sponda destra e sinistra del Fosso della Madonna.



Figura 36 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=200$ anni a $t=3:15h$

L'andamento dei valori massimi di tirante idrico è indicato in Figura 64. Questo scenario è basato, come indicato in precedenza sull'assunzione della portata idrologica sul fosso della Madonna alla confluenza condizione cautelativa per i livelli liquidi alla confluenza.



Figura 37 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=200$ anni – massimi tiranti idrici

La capacità di deflusso del tratto a monte della confluenza del fosso degli Alberelli è di circa 6 mc/s, mentre nel fosso della Madonna ed in particolare del ponte sull'Aurelia è di 55 mc/s.

5.1.3 Risultati caso b)

Altro caso analizzato considera invece le eventuali sottrazioni a monte del Fosso della Madonna a monte della confluenza. Il caso risulta più realistico e considera un tratto di maggiore estensione per tenere conto della serie di attraversamenti che sono presenti sul fosso della Madonna e che incidono significativamente sulle capacità di deflusso del fosso stesso.

Le sottrazioni che avvengono a monte della confluenza non rientrano in alveo in quanto a valle della confluenza il fosso della Madonna risulta arginato.

In tali condizioni il fosso della Madonna nel tratto in corrispondenza della California è al massimo della sua capacità, condizione che in pratica coincide con quella prevista dall'intervento di messa in sicurezza del fosso della Madonna (progetto ex Provincia di Livorno, ora in fase di definizione), che consente di contenere le portate in arrivo a quelle massime compatibili con le sezioni attuali.



Figura 38 Tratto a monte della confluenza del Fosso della Madonna con successione di ponti ed attraversamenti (analisi caso b)

In questo caso la griglia di calcolo presenta dimensioni di 3.0x1.5 km sempre con dimensioni delle celle di 5x5 m.

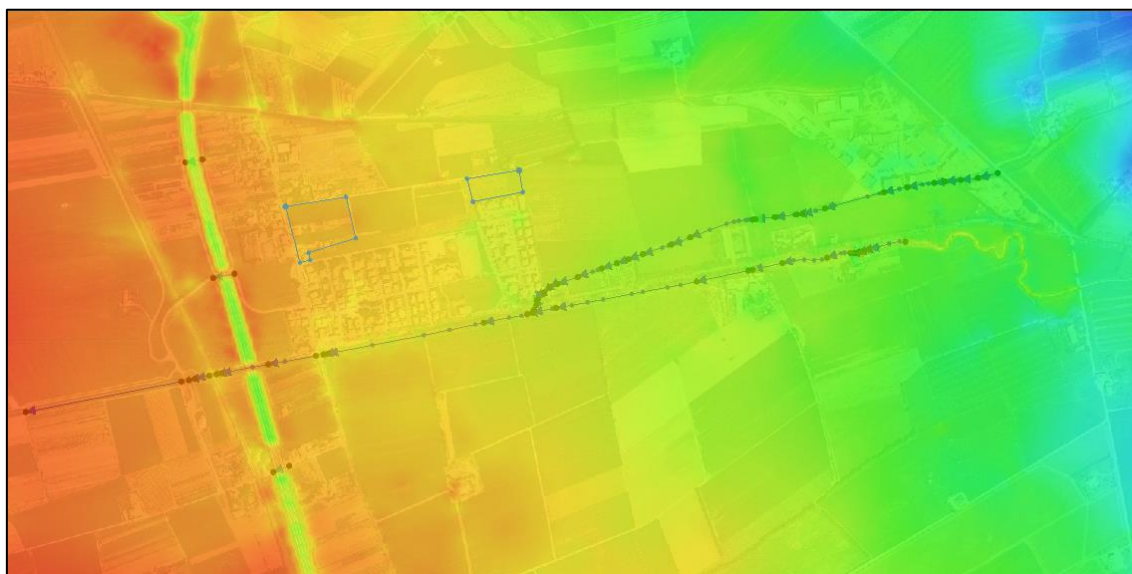


Figura 39 Griglia di calcolo per analisi con sottrazione di portata a monte della confluenza sul F. della Madonna (caso b)

Considerando anche la sottrazione delle portate nel tratto a monte si notano come le insufficienze nel F. degli Alberelli si verificano poco a monte della confluenza nel tratto in cui è presente un abbassamento arginale in corrispondenza di un attraversamento poderale. Le perdite di acque che si hanno sul fosso della Madonna a monte (in prevalenza in sinistra idraulica) consentono di tenere contenuti i livelli alla confluenza con il F. degli Alberelli, ottenendo pertanto una condizione favorevole per il deflusso. Le aree allagate residue alla California sono pertanto dovute a ridotte insufficienze lungo la situazione tutte a monte della confluenza a partire da 2h dall'inizio

dell'evento. Con il procedere della piena si ha una progressiva estensione della vena liquida che comunque interessa i territori a sud. L'analisi evidenzia che la portata nel fosso della Madonna (tratto a valle della confluenza), il cui massimo idrologico previsto è circa 90 mc/s (Tabella 11) si riduce a circa 55 mc/s. Pertanto 35 mc/s sono persi come esondazioni nel tratto a monte. Il valore della portata in transito residuo è dello stesso ordine di quanto previsto nel progetto ex provincia di Livorno di approfondimento della cassa di espansione sul T. della Madonna.



Figura 40 Esondazioni a $t=2:15$ h per $Tr=200$ anni nell'ipotesi per analisi con sottrazione di portata a monte della confluenza sul F. della Madonna

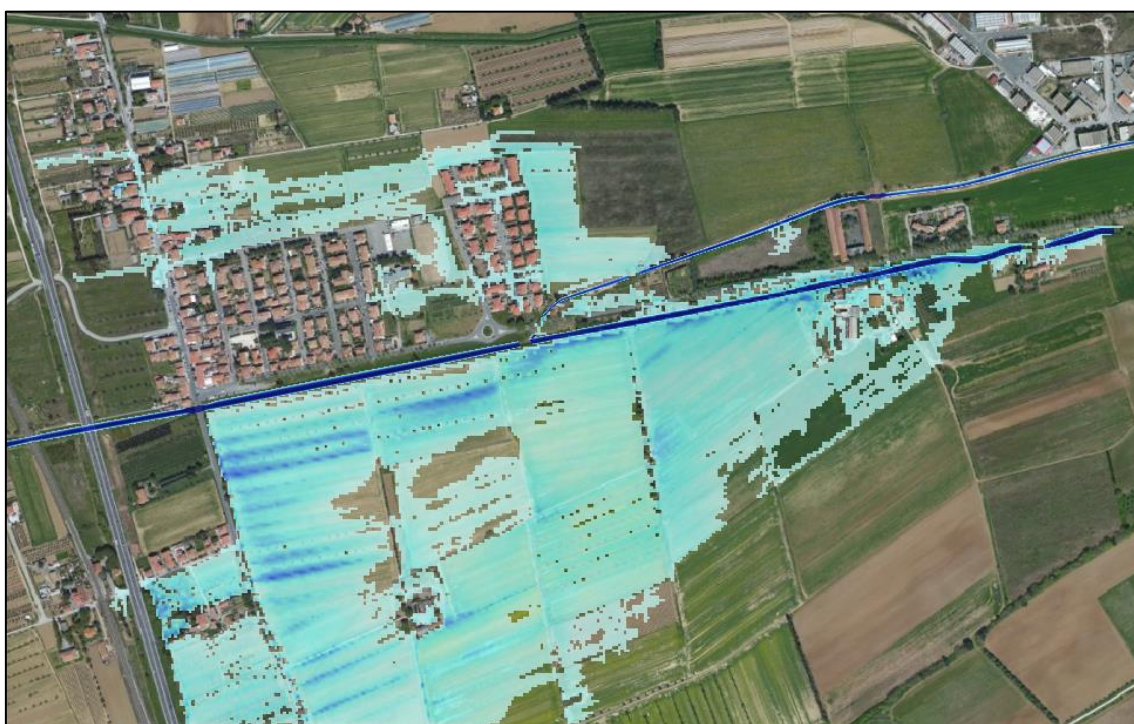


Figura 41 Tiranti idrici massimi per $Tr=200$ anni nell'ipotesi per analisi con sottrazione di portata a monte della confluenza sul F. della Madonna

5.1.4 Risultati caso c) – rotture arginali

Il fosso degli Alberelli presenta, nel passaggio lungo la zona industriale del Mannaione, argini (in particolare in destra idraulica) di modesta geometria sui quali non è possibile fare completo affidamento. Pertanto è stato effettuato un approfondimento specifico per considerare gli effetti di una ipotetica rottura arginale considerando come scenario di base quello del caso A) illustrato in precedenza. In particolare sono stati considerati 2 casi di rottura ubicate in un tratto di estensione di circa 15m (Figura 42) dove l'argine ha una larghezza di solo 50 cm (Figura 43) o dove sono presenti opere che ne condizionano la stabilità (per esempio sostegno di cancelli, muretti,...).

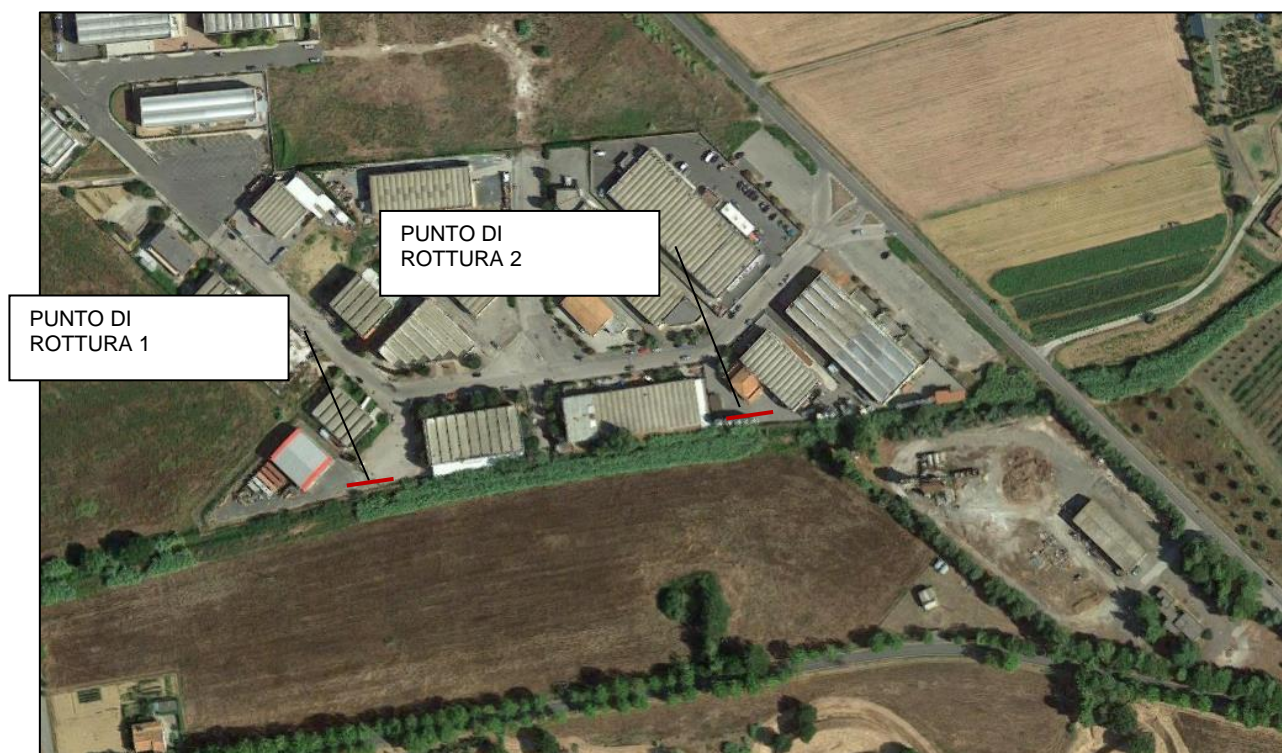


Figura 42 Ipotesi di rottura arginale

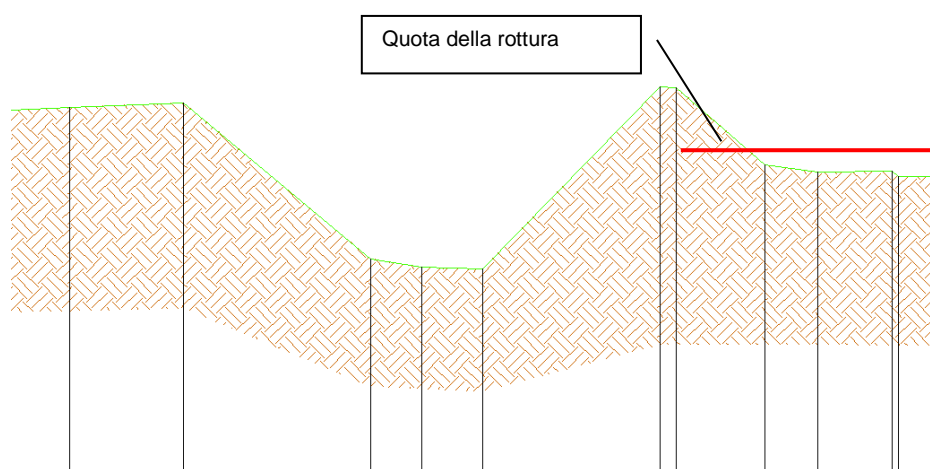


Figura 43 Sezione oggetto di rottura arginale (punto 1)

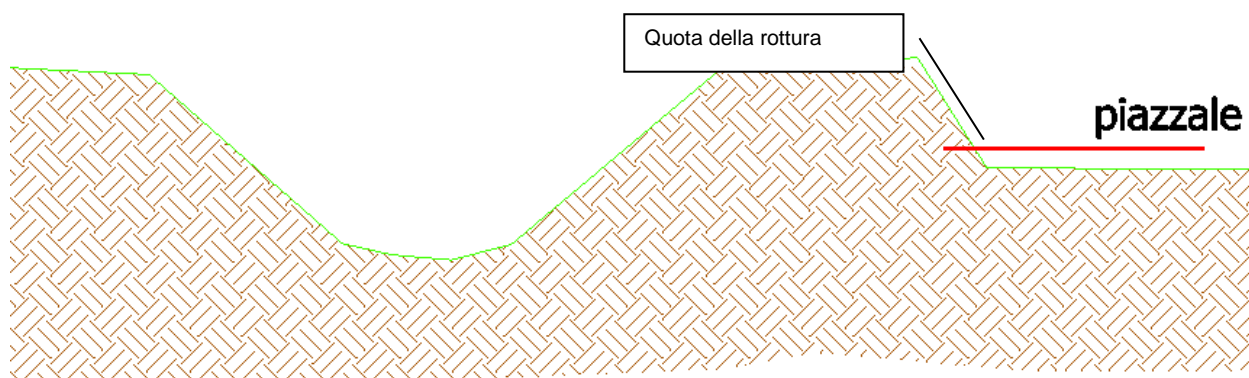


Figura 44 Sezione oggettiva di rottura arginale (punto 2)

La rottura è stata immaginata al piano campagna ed avvenire contemporaneamente al passaggio della piena in modo da massimizzare i volumi fuoriusciti.

Le prime fuoriuscite si verificano a circa 2 h dall'inizio della piena. Nonostante la rottura arginale sussistono esondazioni a valle in corrispondenza della confluenza e dell'attraversamento poderale (punto B di Figura 45).

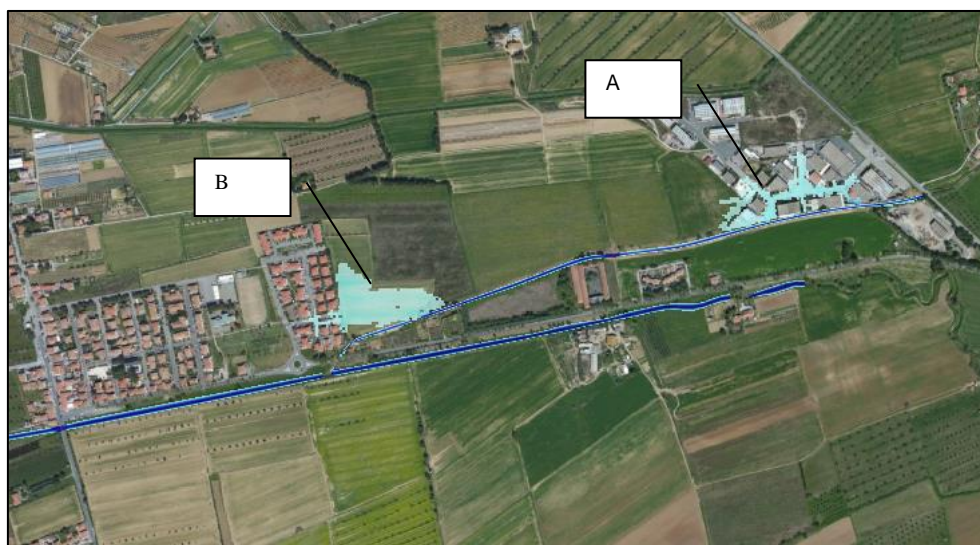


Figura 45 Esondazioni nell'ipotesi di rottura arginale per $T_r=200$ anni a $t=2h$

Con il proseguire del tempo l'acqua fuoriuscita in Loc. Mannaione tende a scorrere lungo l'argine destro del Fosso degli Alberelli, fino a ricongiungersi alle altre aree allagate (Figura 46).



Figura 46 Esondazioni nell'ipotesi di rottura arginale per $T_r=200$ anni a $t=3h$

Lo scenario finale è circa quello del Caso A) con qualche allagamento comunque contenuto in sponda destra degli Alberelli (Figura 47).

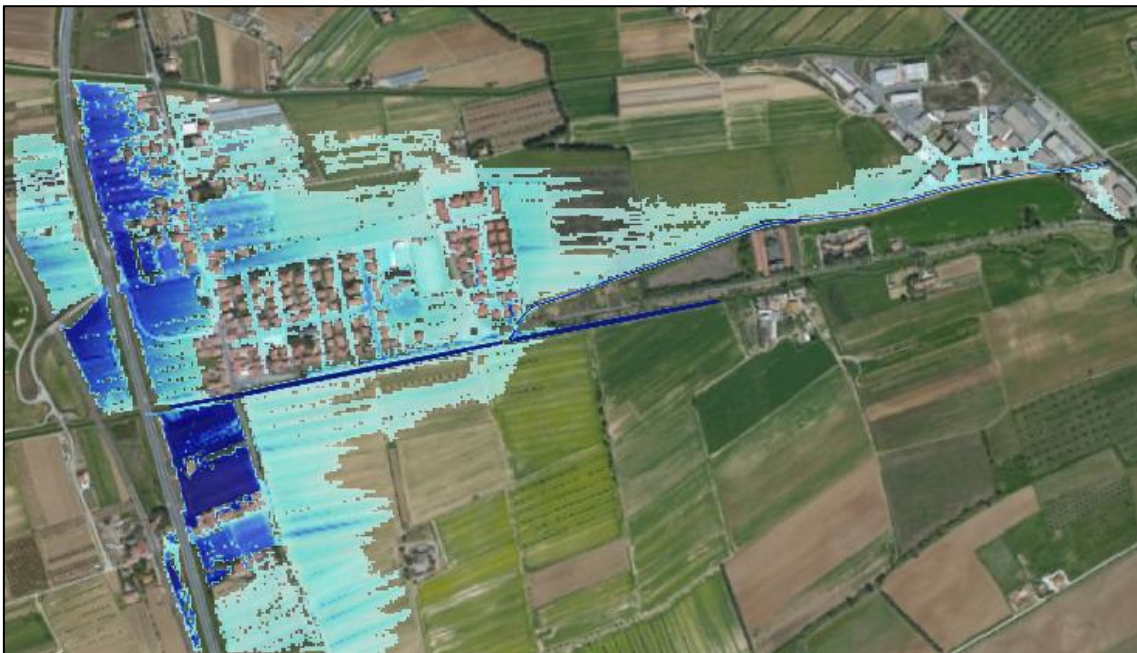


Figura 47 Tiranti idrici massimi nell'ipotesi di rottura arginale per $T_r=200$ anni

Le rotture sono state considerate sono per il caso $T_r=200$ anni in quanto per $T_r=30$ anni, i livelli liquidi si mantengono ben al di sotto delle sommità arginali, a quote dove gli argini presentano buona consistenza rendendo di fatto poco probabile la possibilità di una rottura. In particolare si evidenzia che le quote sono circa 1 m inferiori rispetto alle sommità arginali (Figura 48).



Figura 48 Tiranti idrici (segni blu) e quote arginali per $T_r=30$ anni nella zona del Mannaione

Analoga situazione si ha per lo scenario di rottura nel caso B in cui praticamente le aree a nord sono interessate quasi esclusivamente da acque provenienti dalla rottura arginale

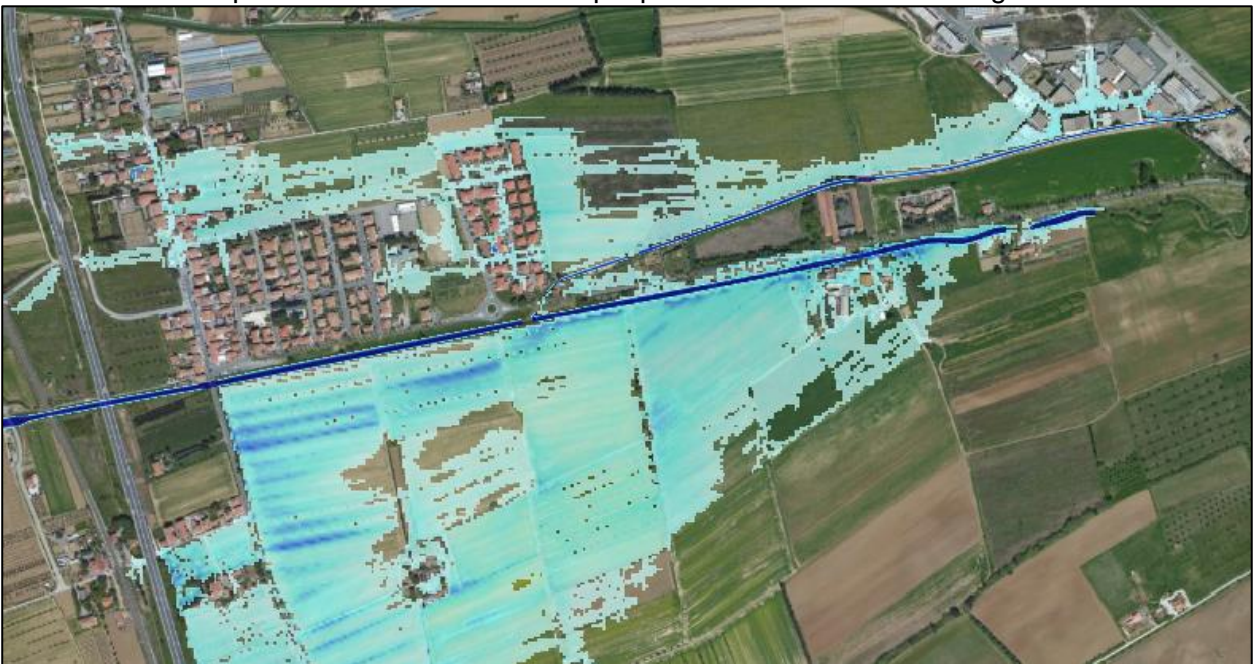


Figura 49 Tiranti idrici massimi nell'ipotesi di rottura arginale per $T_r=200$ anni –secondo caso

5.2 Area Fosso delle Tane

Il fosso delle Tane è stato analizzato nel tratto in corrispondenza della California per verificare le pericolosità residue a seguito della realizzazione della cassa di espansione nelle nuove ipotesi di pluviometria. In Figura 50 è riportato lo schema del modello.



Figura 50 Schema modellazione fosso delle Tane

L'intervento consente di avere in sicurezza fino a $Tr=200$ anni il tratto fino al ponte sull'Aurelia. Restano insufficienze in corrispondenza del ponte della ferrovia che però non interessano le aree del centro abitato.

Di seguito le immagini delle aree allagate per i vari tempi di ritorno.



Figura 51 Tiranti idrici massimi nel fosso delle Tane per $Tr=30$ anni



Figura 52 Tiranti idrici massimi nel fosso delle Tane per $Tr=200$ anni



Figura 53 Tiranti idrici massimi nel fosso delle Tane per $Tr=500$ anni

5.3 Area Fosso delle Basse e tratto terminale Tane e Fosso della Madonna (area terminale bacini nord)

L'analisi considera il tratto terminale dei bacini nord in cui il fosso delle Tane ed il fosso delle basse confluiscono nel Fosso della Madonna poco più a monte dello sbocco.

Lo schema del modello è indicato in Figura 55. Si osserva che il fosso delle Basse ha un durata critica di circa 9h, mentre il fosso delle Tane e della Madonna nel loro tratto terminale hanno durate critiche di 4h. Pertanto non sono previsti fenomeni di rigurgito nella rete del Fosso delle Basse. La modellazione è stata eseguita su una griglia di 2.3x3.64km con celle di dimensioni 5x5m.

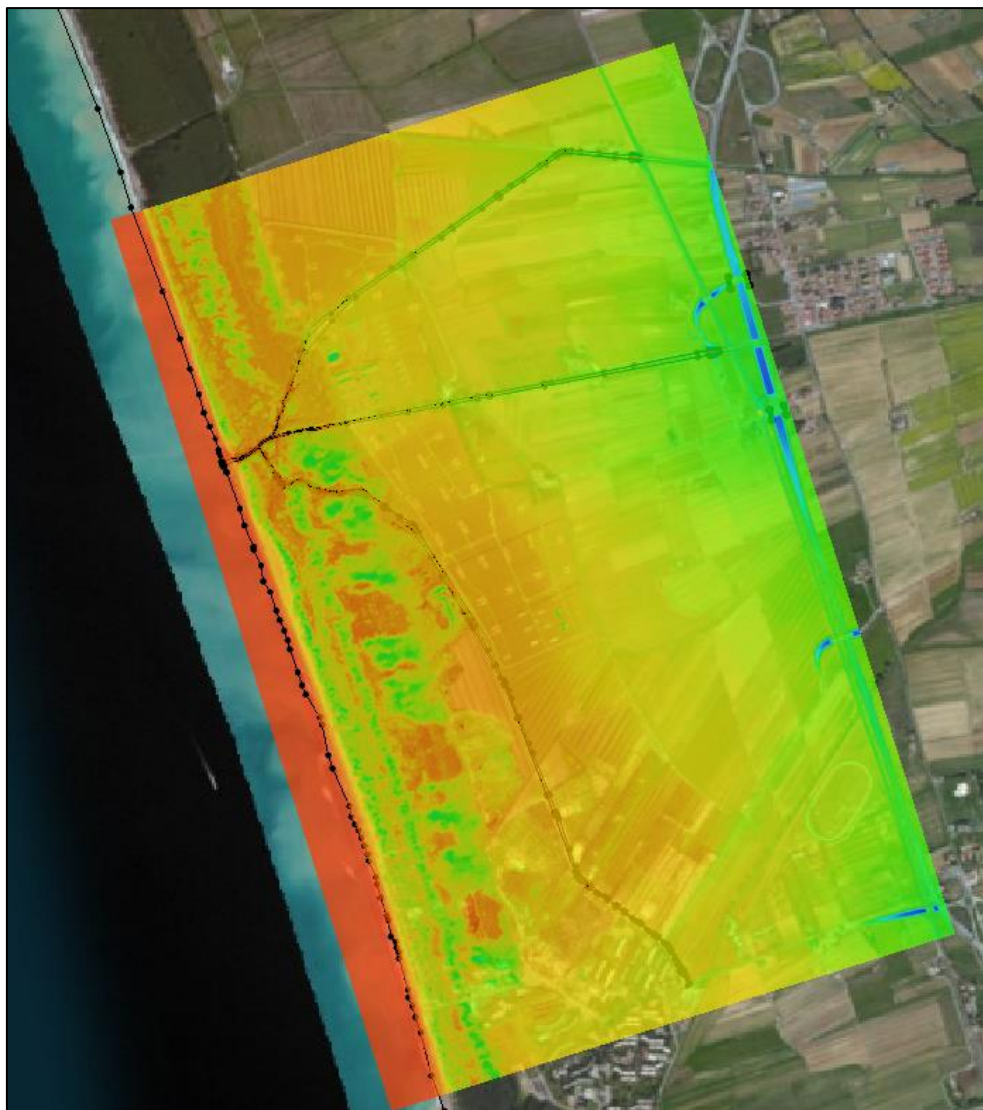


Figura 54 Base topografica modello area terminale bacini Nord



Figura 55 Schema modello area terminale bacini Nord

L'idrogramma di piena del Fosso delle Basse è stato suddiviso in più punti in proporzione alla superficie di bacino sotteso.

I tiranti idrici massimi sono riportati nelle figure che seguono.

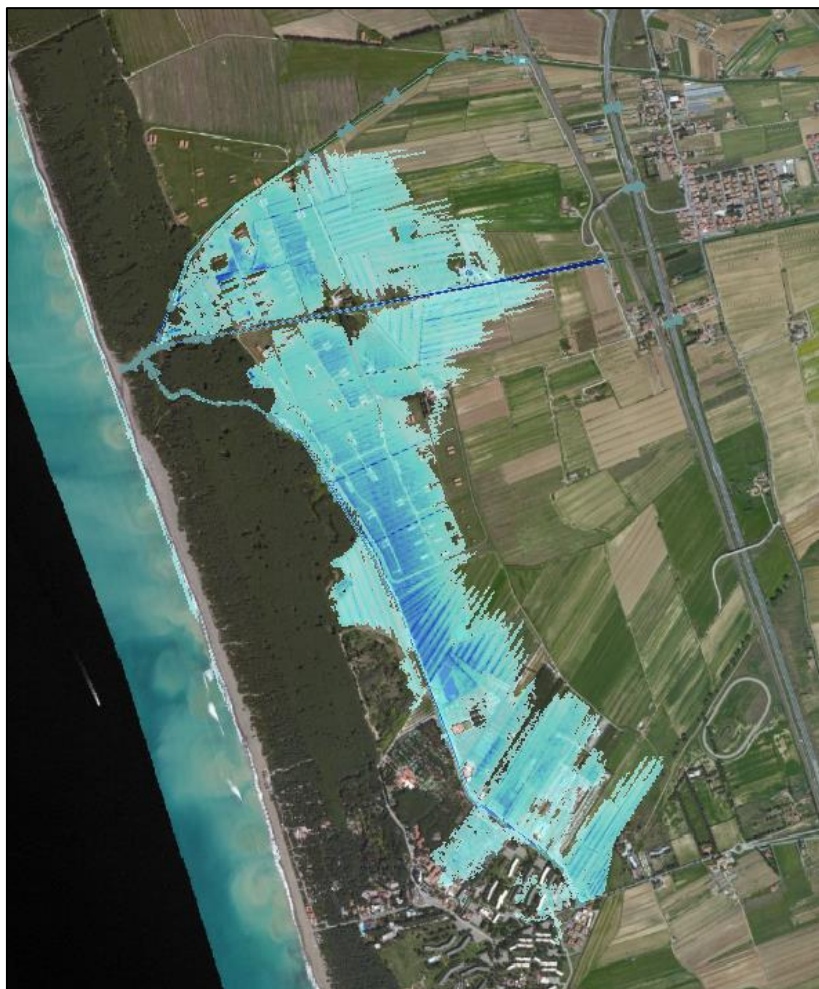


Figura 56 Tiranti idrici massimi $Tr=200$ anni



Figura 57 Tiranti idrici massimi Tr=30 anni

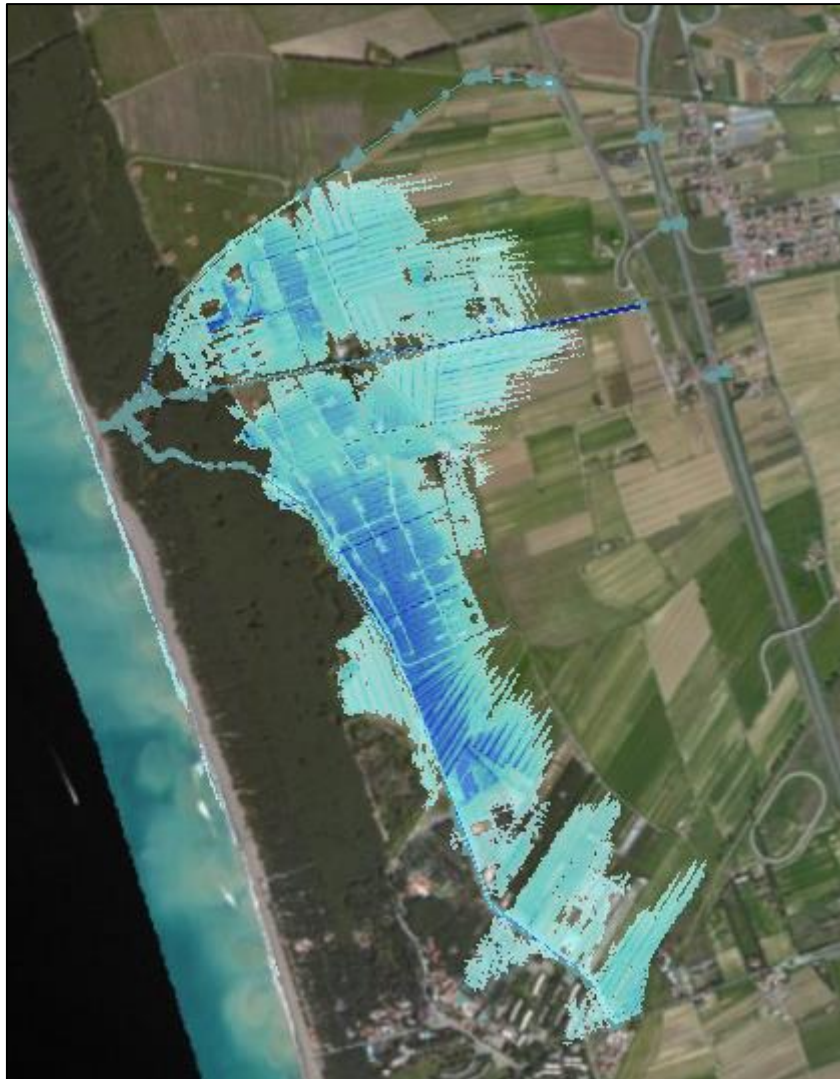


Figura 58 Tiranti idrici massimi Tr=500 anni

5.4 Area Fosso dei Trogoli

La base topografica è quella Lidar aggiornata in alcuni i punti con rilievi più specifici (in particolare in corrispondenza del Camping Gineprino).

Le sezioni dei vari fossi investigati sono stati ripresi dallo studio del 2008. In sponda destra è stato considerato il muro al limite del parcheggio di Via dei Platani il cui progetto è in fase di terminazione. Pertanto i risultati del presente lavoro sono riferiti alla sinistra idraulica.

Le modellazioni sono state eseguite su un'area complessiva di 2x2.2 km con dimensioni di cella 5x5m (Figura 59).

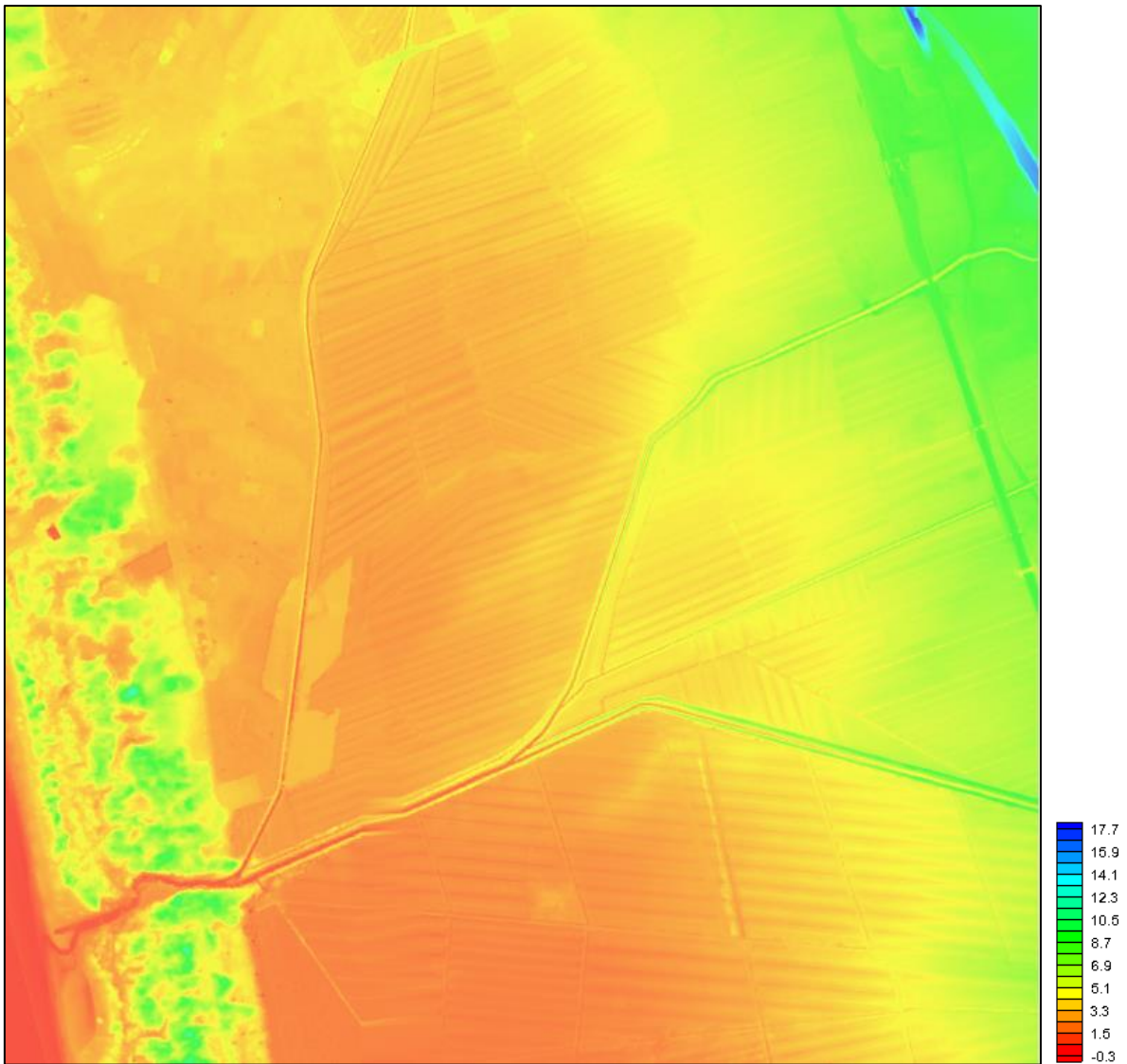


Figura 59 Griglia di calcolo

5.4.1 Condizioni al contorno

È stato analizzato il seguente caso:

- F. Trogoli, Fosso Sorbizzi, del Livrone e Fosso della Cammilla prima della confluenza con il Fosso dei Sorbizzi nelle condizioni idrologiche

Le condizioni al contorno adottate per lo studio sono le seguenti:

- portata di piena $Tr=200/30/500$ anni per la durata critica;
- condizioni di completa uscita dai bordi della griglia.
- scala di deflusso a valle del Torrente Camilla
- sbocco a mare con quota liquida pari a 0.7 m sul l.m.m

La rappresentazione grafica del caso investigato è riportata nella figura che segue:



Figura 60 Condizioni al contorno

5.4.2 Risultati

L'analisi è stata condotta allo stato attuale per aggiornare le criticità emerse nello studio allegato al regolamento urbanistico. Si sono considerate le condizioni idrologiche alla confluenza senza considerare le sottrazioni di portata che si verificano a monte dei vari fossi investigati (in particolare a monte del ponte sulla via di Marina per il F. dei Trogoli) in entrambi i casi.

Le prime esondazioni avvengono lungo il F. dei Trogoli in prossimità della confluenza ed immediatamente a monte del ponte di accesso al Camping Gineprino. Tutte le fuoriuscite si verificano in sinistra idraulica stante le quote arginali più basse.



Figura 61 Esondazioni nello stato attuale per $T_r=200$ anni a $t=2:10h$

Negli istanti successivi il rigurgito provocato allo sbocco dal F. della Camilla provoca un aumento delle fuoriuscite in sinistra idraulica del F. dei Trogoli ed in destra idraulica del Fosso dei Sorbizzi.



Figura 62 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=200$ anni a $t=2:50h$

L'aumento della portata in arrivo contribuisce all'espansione verso nord degli allagamenti.

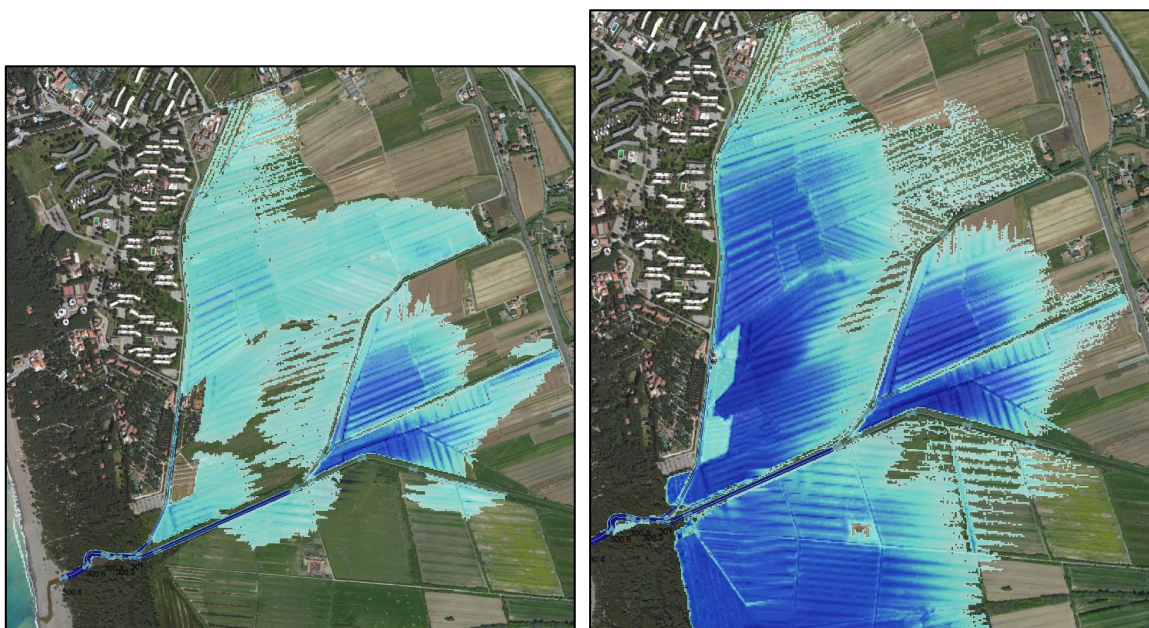


Figura 63 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=200$ anni a $t=3:50h$ (a sinistra) e $t=5:50h$ a destra

L'andamento dei valori massimi di tirante idrico è indicato in Figura 64.

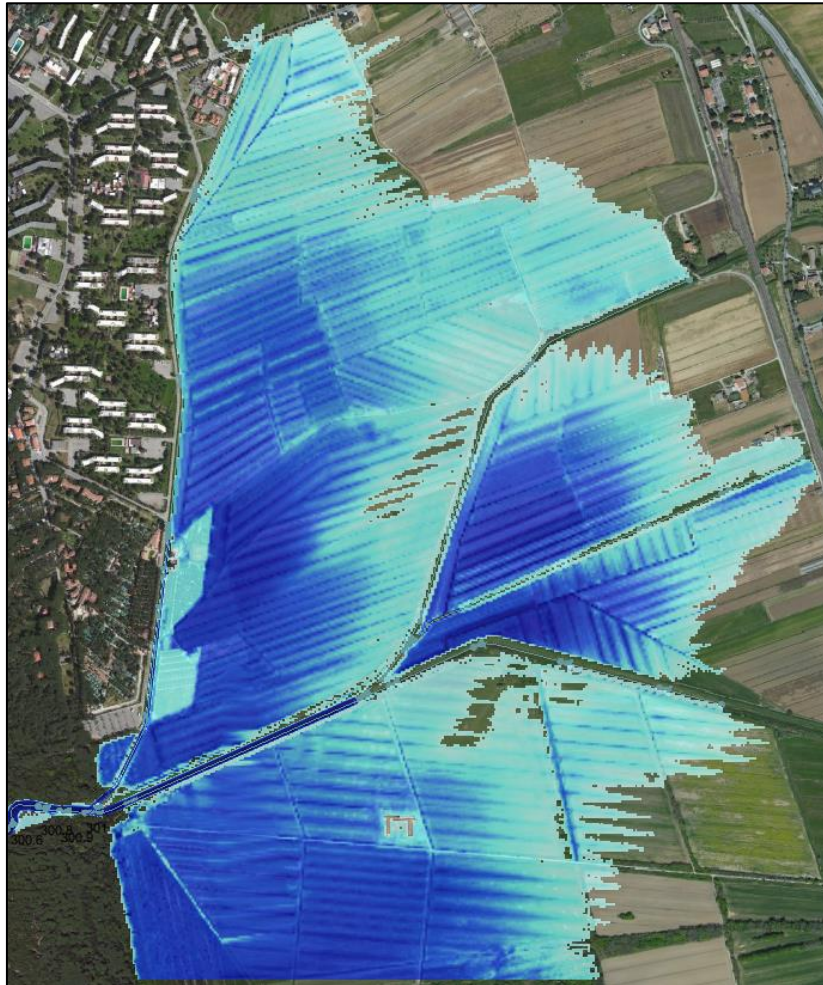


Figura 64 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=200$ anni – massimi tiranti idrici

La capacità di deflusso del tratto terminale del F. dei Trogoli alla confluenza del fosso degli Camilla è di circa 11 mc/s, mentre nel fosso della Camilla è di 130 mc/s.

Scenari simili si hanno per $Tr=30$ anni e $Tr=500$ anni.

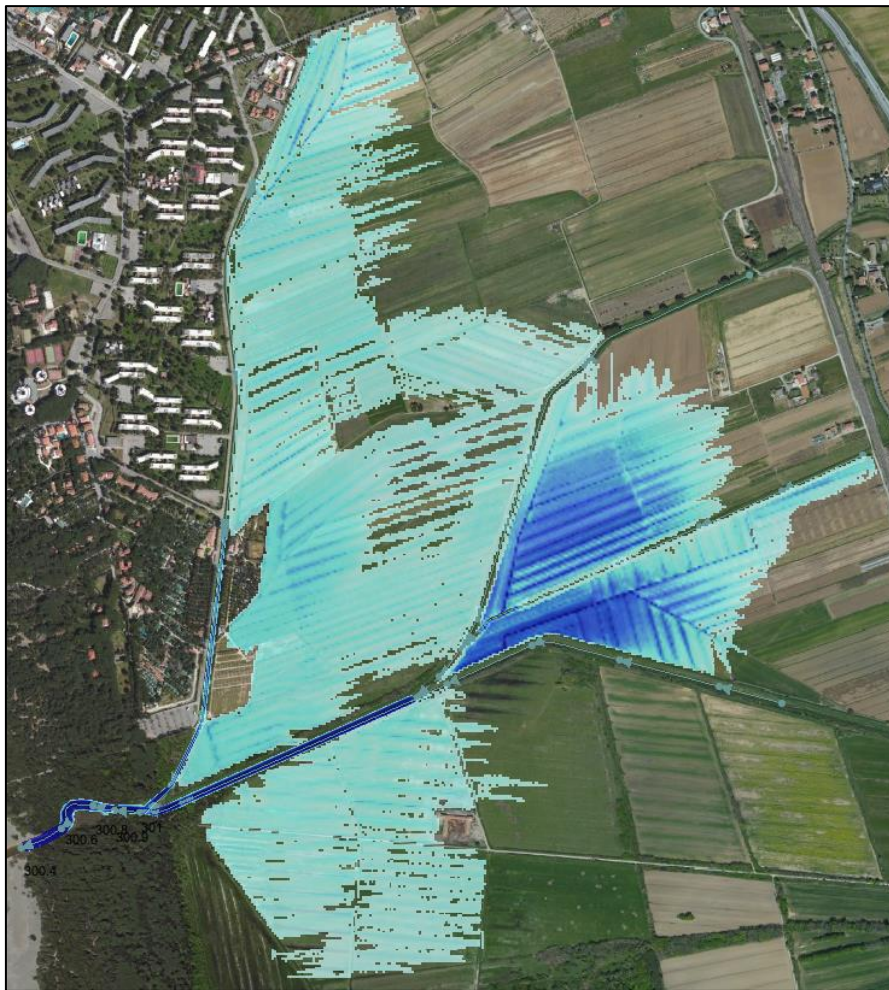


Figura 65 Esondazioni nello stato attuale per Tr=30 anni – massimi tiranti idrici

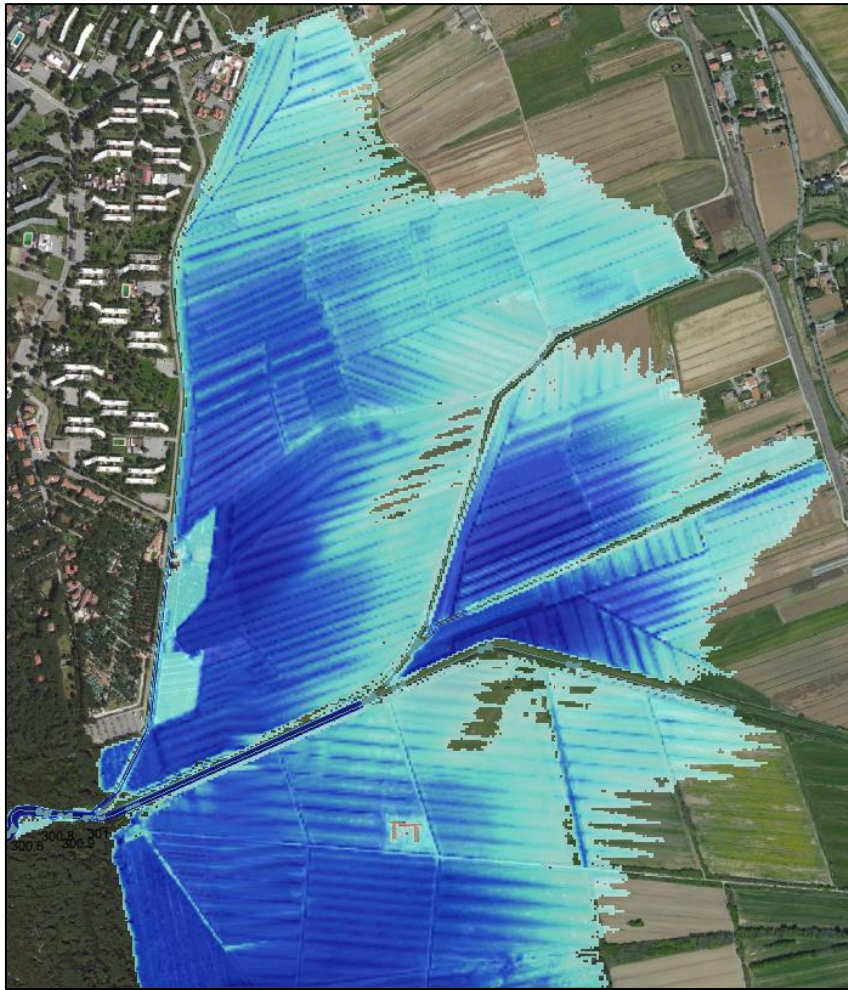


Figura 66 Esondazioni nello stato attuale per $Tr=500$ anni – massimi tiranti idrici

5.5 AREA GOLF

Le modellazioni sono state eseguite su un'area complessiva di 3.05×2.35 km e con celle di 2.5×2.5 m.

Si fa presente che un piccolo tratto del fosso dei Doccioni nella realtà segue un percorso diverso da quello indicato nel reticolo. Si è fatto riferimento alla condizione reale.



Figura 67 Esondazioni a t=1 h (evento Tr200 anni durata 2h)



Figura 68 Esondazioni a t=1:30h (evento Tr200 anni durata 2h)



Figura 69 Esondazioni a t=4 h (evento Tr200 anni durata 2h)



Figura 70 Massimi livelli di esondazione (evento Tr200 anni durata 2h)

Dalla Figura 70 si nota come nell'area dell'UTOE solo in alcune limitate e marginali zone si arriva a tiranti idrici sul terreno di 1 mt. In alcune zone maggiormente estese delle precedenti i tiranti sono dell'ordine dei 40-50 cm, mentre per lo più o le aree non sono soggette di inondazione o si prevedono tiranti idrici inferiori ai 20 cm.

Per quanto riguarda le esondazioni con Tr=30 anni sussistono problematiche di insufficienza diffuse con tendenza delle acque a seguire i tracciati naturali, altri fossi o viabilità.



Figura 71 Massimi livelli di esondazione (evento Tr30 anni durata 2h)

Le esondazioni per Tr=500 anni sono indicate in Figura 72.



Figura 72 Massimi livelli di esondazione (evento Tr500 anni durata 2h)

6. PERICOLOSITÀ

Per quanto riguarda invece la carta di pericolosità secondo le indicazioni del DPGR 53/R, del PAI del Bacino Toscana Costa, e si sono considerate:

- P.I.4- P.I.M.E: Pericolosità idraulica molto elevata comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 30$ anni;
- P.I.3- P.I.E.: Pericolosità idraulica elevata comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 200$ anni
- P.I.2.: Pericolosità idraulica media comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 500$ anni

Per la classificazione in funzione del piano di gestione del rischio alluvioni si è fatto riferimento alla seguente classificazione:

- PI3.: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 30$ anni;
- PI2: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 200$ anni;
- PI1: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 500$ anni;

Le pericolosità sono state ricavate per i vari casi analizzati. Successivamente si è eseguita una sovrapposizione assegnando ad ogni area il valore di pericolosità massimo dei vari casi analizzati. Per le aree non oggetto di indagine si è mantenuta la precedente classificazione di PAI ad eccezione della parte a nord dove è stato eseguito il raccordo con gli studi idraulici presentati nel 2014 dal Comune di Cecina a firma del Prof. Pagliara.

In detti studi sono riportate le esondazioni per $Tr=30$ anni (Figura 73) e $Tr=200$ anni (Figura 74). Solo quest'ultimo caso interessa il comune di Bibbona. Le indagini eseguite non sono state estese anche al territorio del Comune di Bibbona, ma sono state tagliate poco oltre il confine, non essendo zona specifica di indagine. Per poter definire le pericolosità all'interfaccia si è pertanto eseguita una estrapolazione fino al T. Tane che essendo arginato rappresenta comunque un ostacolo fisico, seguendo anche l'andamento del precedente PAI.

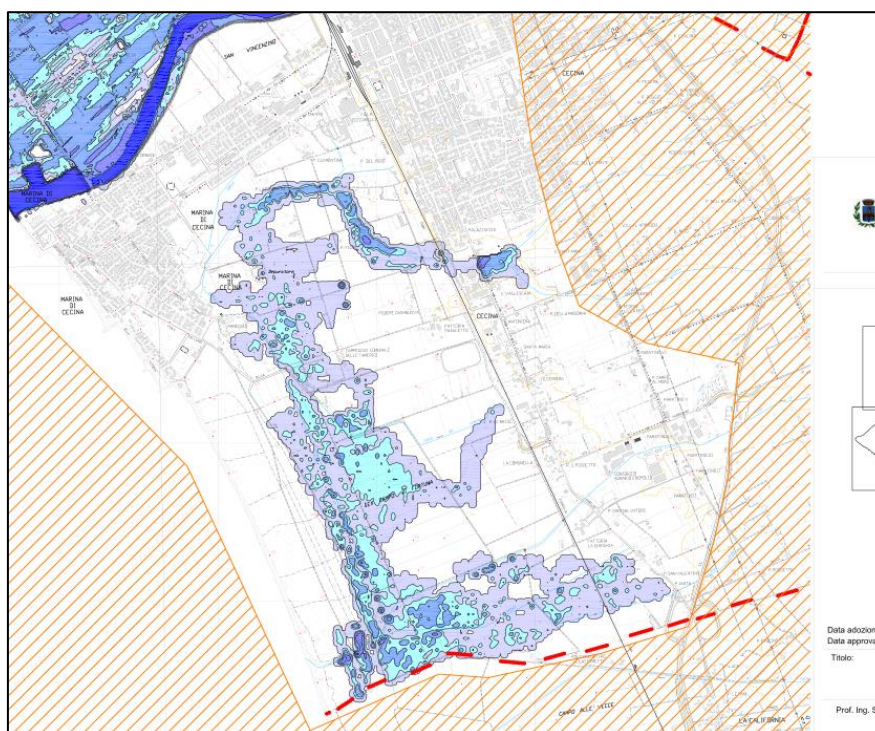


Figura 73 Tiranti idrici per il caso $Tr=30$ dei corsi d'acqua nel Comune di Cecina (Pagliara, 2014)

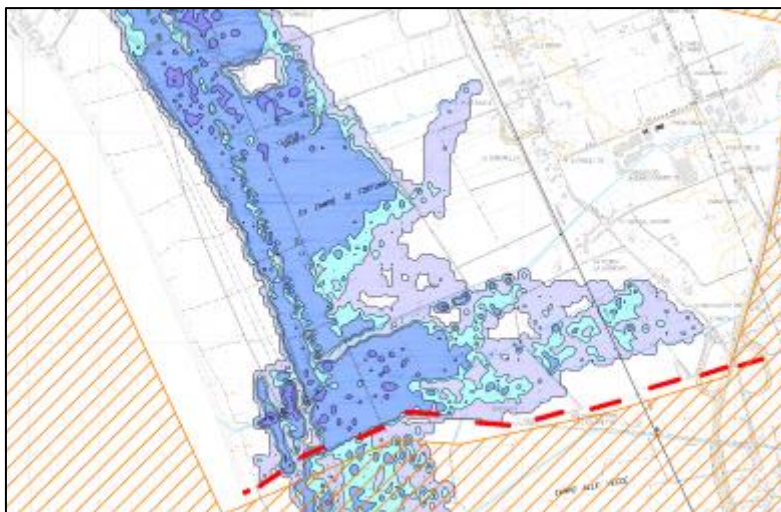


Figura 74 Tiranti idrici per il caso $Tr=200$ dei corsi d'acqua nel Comune di Cecina (fonte Pagliara, 2014)

7. PROPOSTE DI RISOLUZIONE

7.1 Area della California

Le problematiche sono indotte da:

- 1 insufficienze del fosso degli Alberelli in particolare per rigurgito del ponte sulla via della Camminata in corrispondenza della confluenza con il fosso della Madonna;
- 2 esondazioni per insufficiente capacità di deflusso del fosso della Madonna;
- 3 eventuale rottura arginale del fosso del Mannaione.

Di seguito una breve analisi dei vari interventi.

7.1.1 Sistemazione del fosso degli Alberelli

L'intervento prevede un adeguamento del canale per un tratto di circa 350 m. a monte della confluenza. È necessario eseguire un approfondimento del canale per assicurare una pendenza di fondo omogenea, un innalzamento delle sponde e una larghezza di 1 metro alla base del canale.

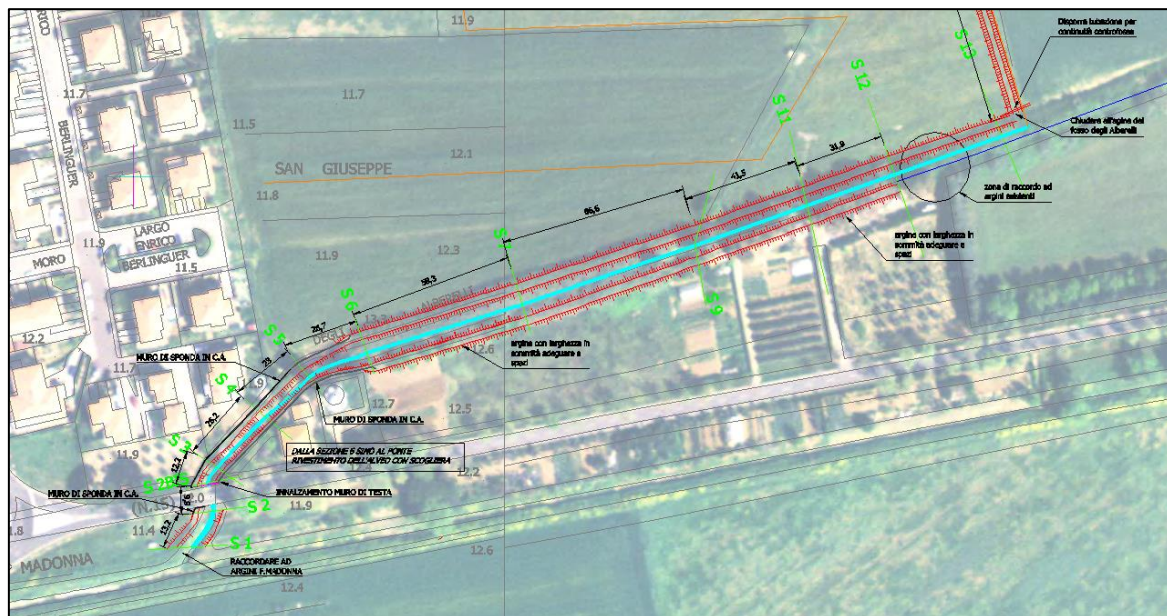


Figura 75 Interventi nel primo fosso degli Alberelli

L'approfondimento del corso d'acqua comporta anche una risagomatura delle sponde cui si assegna generalmente per motivi di stabilità una scarpa 1.5H:1V. Per ragioni di spazio e di stabilità è necessario impiegare opere di protezione in in c.a. e scogliere. I muri in c.a. si rendono necessari anche per assicurare i franchi di sicurezza.

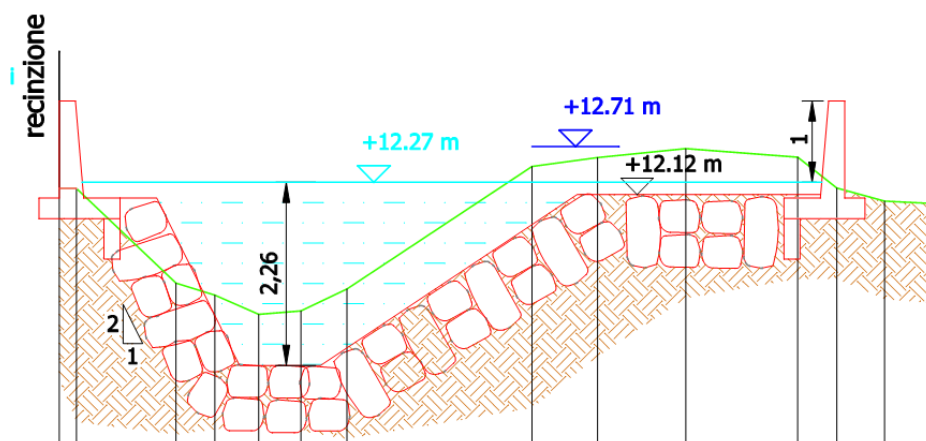


Figura 76 Schema tipico della sistemazione a monte

L'intervento consente di eliminare la pericolosità del Fosso degli Alberelli per insufficienze di sezioni. In ogni caso vengono confermate le criticità indotte dal fosso della Madonna. La messa in sicurezza del fosso degli Alberelli non ha effetti particolari sulla pericolosità residua (Figura 77) nell'area ovest della California, mentre vengono eliminati gli allagamenti della parte nord-est (dove insiste il comparto 8).

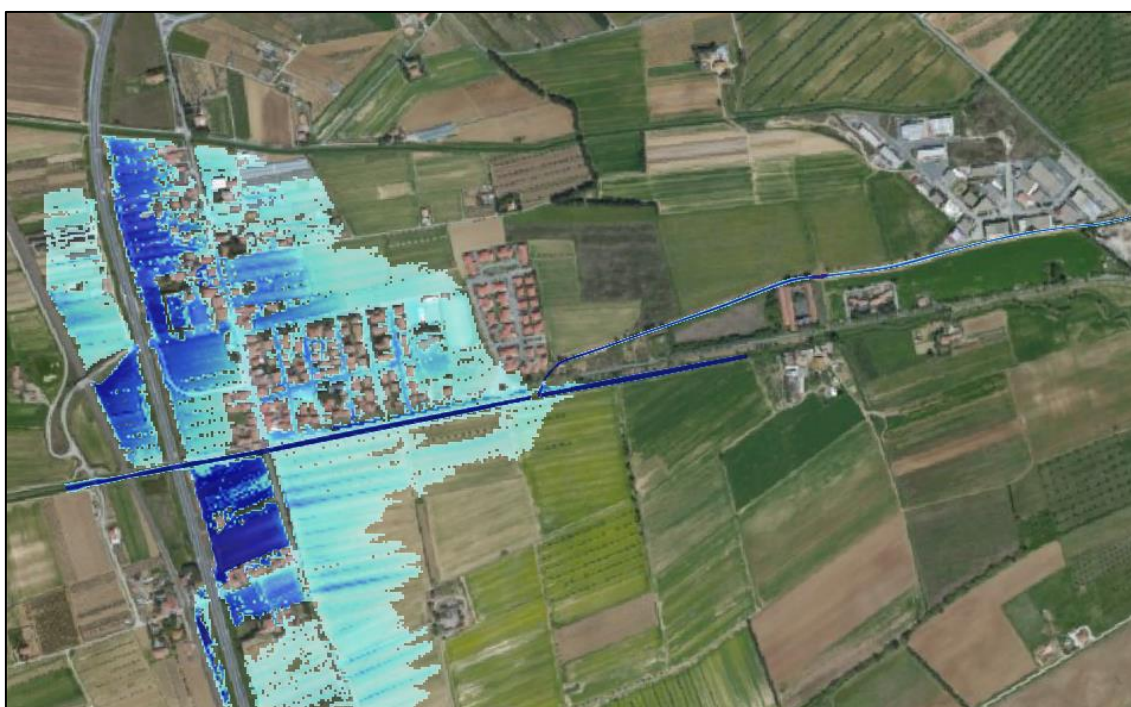


Figura 77 Esondazioni nello stato di progetto per $Tr=200$ anni – massimi tiranti idrici- caso 1 (portata idrologica alla confluenza)

7.1.2 Approfondimento della cassa di espansione sul Fosso della Madonna

Questo intervento è necessario per consentire la riduzione della portata a valori compatibili con quella delle sezioni del Fosso della Madonna a valle. L'approfondimento dovrà essere accompagnato da un adeguamento degli organi di sfioro e di presa in modo da consentire una maggiore efficienza di laminazione che dovrà consentire una riduzione della portata in transito nella zona della California a circa 55 mc/s.

7.1.3 Protezione dalla rottura arginale nella zona del Mannaione

La messa in sicurezza del Fosso degli Alberelli consente di contenere le acque di esondazione da tracimazione, ma non quelle derivate dall'ipotetica rottura arginale nella zona del Mannaione. Facendo riferimento al solo caso in cui l'abitato della California non è interessato né da esondazione dell'Alberelli (a seguito della messa in sicurezza di progetto) né del Fosso della Madonna, si nota come le acque provenienti dalla zona del Mannaione si riversino verso l'abitato della California non coinvolgendo la parte già edificata ma quelle oggetto di previsioni urbanistiche.

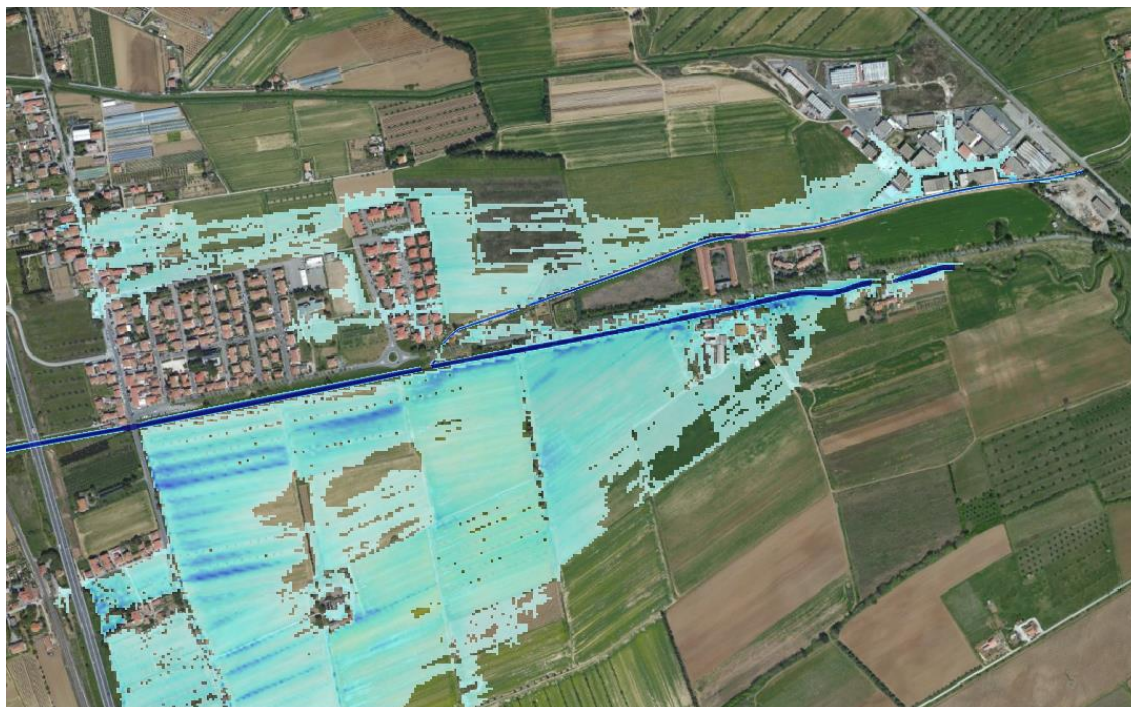


Figura 78 Scenario si esondazione con sola rottura arginale in loc. Mannaione

Al fine del contenimento delle acque derivanti da rotture arginali che interessano future lottizzazioni è possibile operare con due modalità distinte:

- 1- attraverso un ringrosso arginale nel tratto più debole con adeguamento degli spazi ai fini della manutenzione modifica del tracciato del Fosso degli Alberelli;
- 2- intercettando le acque in apposita area attraverso argini di contenimento e destinando urbanisticamente dette aree allo scopo.
- 3-

In merito alla prima ipotesi l'intervento prevede una deviazione del corso d'acqua rispetto al suo asse attuale per poter aumentare ai fini della stabilità e della manutenzione la consistenza di entrambi gli argini (Figura 79). La larghezza di fondo è prevista pari a 1 metro ed il rifacimento delle pendenze di sponda con scarpa 1.5H:1V (Figura 80).

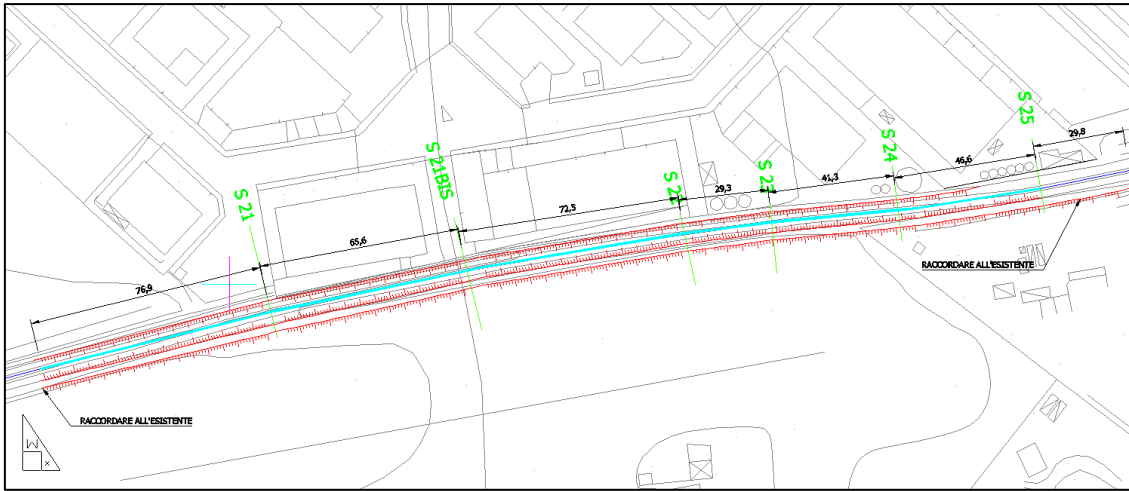


Figura 79 Interventi di ringrosso arginale in Loc. Mannaione

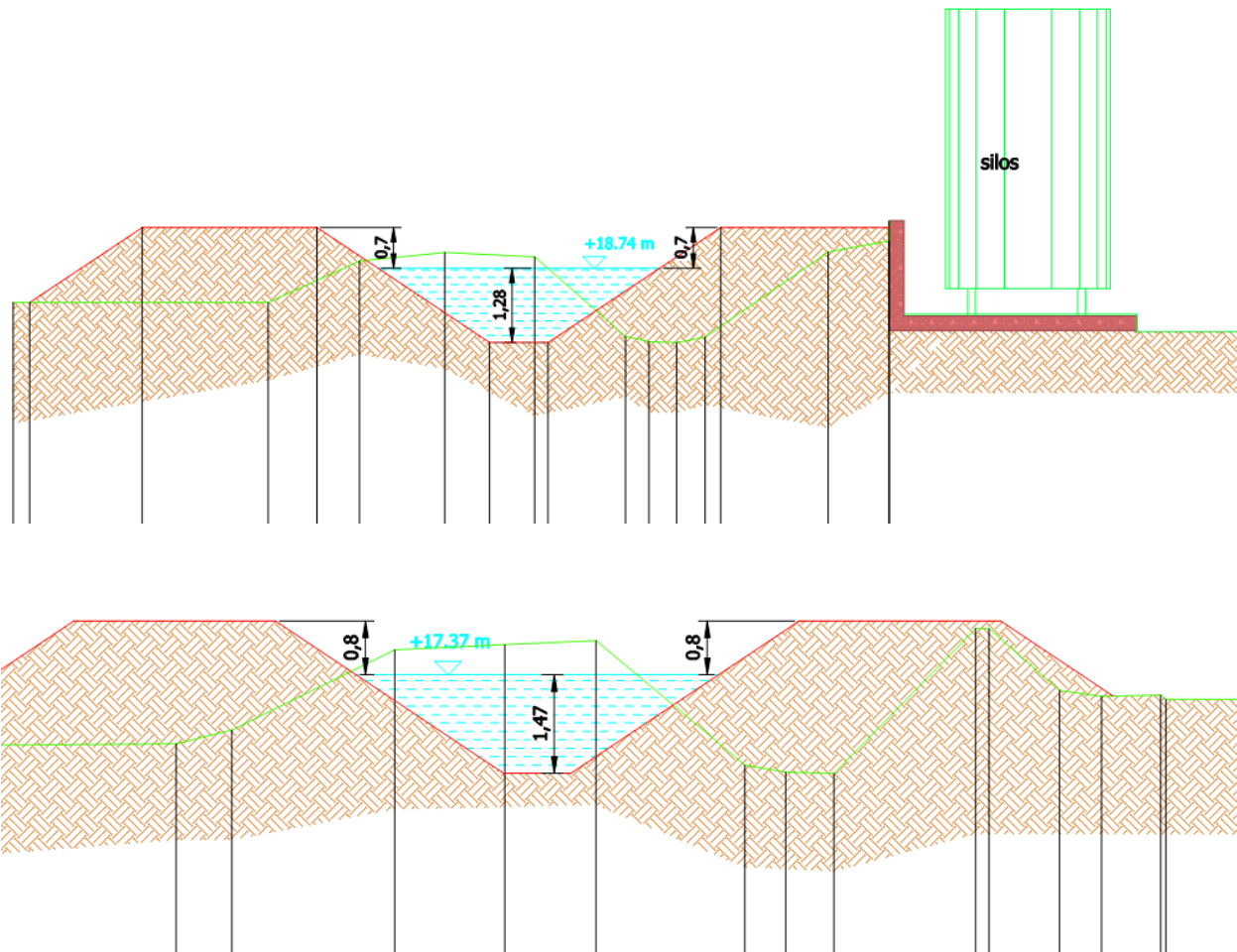


Figura 80 Ipotesi di rinforzo di sezione in vari punti del fosso degli Alberelli in Loc. Mannaione

Relativamente alla seconda ipotesi è stato considerata la realizzazione di un argine di circa 100 cm di altezza, larghezza in sommità di circa 2m ubicato come indicato in Figura 81.



Figura 81 Argine di contenimento delle acque provenienti da una rottura arginale nella zona del Mannaione

Tale opera consente di contenere tutte le acque derivate dalla rottura arginale (Figura 82). Il livello liquido cui si attesta l'acqua invasata risulta a circa 13.4 m sul l.m.m contro una quota del terreno che è intorno a +13.00 m (Figura 83).



Figura 82 Contenimento delle acque provenienti da rottura arginale



Figura 83 Quote liquide nell'area di contenimento delle acque provenienti da rottura arginale

7.2 Area di Marina di Bibbona

Detto dell'intervento del muro di contenimento in corrispondenza del parcheggio terminale di Via dei Platani (in corso di definizione nell'ambito degli "Interventi di riduzione del rischio idraulico a Marina di Bibbona derivante dal fosso dei Trogoli") la problematica dell'intero tratto del Fosso dei Trogoli potrà essere risolto attraverso una modifica radicale del Fosso stesso o e mediante ricalibratura delle sezioni. Per aree specifiche (campeggi) che ricadono in classe di pericolosità inferiore alla PIME, date le estensioni delle aree allagate e la modesta incidenza dei volumi eventualmente sottratti sulle stesse si può procedere a messa in sicurezza morfologica mediante sopraelevazione senza compensazioni. Questo presuppone la necessità di porre indicazioni dal punto di vista urbanistico sulle aree già soggette ad allagamenti al fine di poterle considerare come aree per accogliere acque sottratte da interventi di messa in sicurezza.

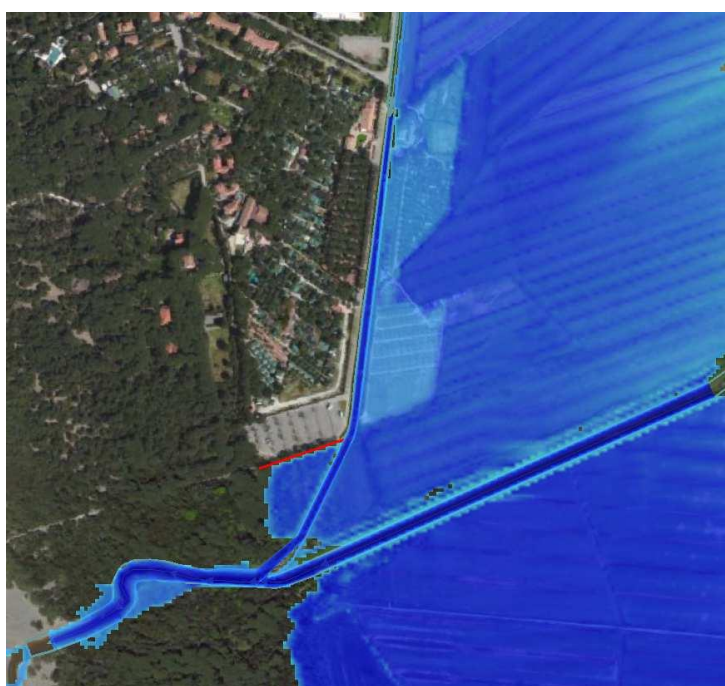


Figura 84 Intervento di messa in sicurezza Marina di Bibbona

7.3 Fosso delle Basse

Come messo in evidenza nella descrizione dello stato attuale il F. delle Basse presenta un primo tratto con forti insufficienze dovute ai numerosi attraversamenti sottodimensionati. Il progetto di sistemazione è stato preparato dall'Ing. Pagliara e consiste nella realizzazione di un nuovo Fosso di Guardia che intercetta l'afflusso meteorico proveniente dall'area scolante di nord-est e lo recapita nuovamente nel Fosso delle Basse, ma a valle dell'area dei campeggi, riducendo il rischio di allagamento della suddetta area.



Figura 85 Ipotesi progettuale sistemazione Fosso delle Basse (Pagliara, 2051)

Il progetto dell'ing. Pagliara indica due tracciati planimetrici alternativi, che si caratterizzano per un tratto iniziale comune (in rosso) e due differenti soluzioni finali indicate rispettivamente come ipotesi A (magenta) e ipotesi B (blu) (Figura 85).

Il tratto iniziale del Nuovo Fosso di guardia si sviluppa parallelamente alla strada campestre situata a nord-est dell'area dei campeggi e si ottiene ricalibrando il fosso esistente, esterno all'area di interesse turistico.

Al Nuovo Fosso di guardia viene allacciato parte del reticolo idraulico minore che attualmente scola nel Fosso delle Basse attraversando l'area dei campeggi e tutto il reticolo idraulico interrotto dalla realizzazione del fosso stesso.

A completamento dell'intervento è prevista una risagomatura del tratto del Fosso delle Basse evidenziata in verde in Figura 85.

L'intervento consente una riduzione della pericolosità per $Tr=30$ anni mentre per $Tr=200$ anni si manifestano ancora insufficienze che interessano comunque aree agricole. Sono poi da prevedere adeguamenti (non indicati nel progetto dell'Ing. Pagliara) della parte urbanizzata.

Il progetto, allo stato del preliminare, non individua comunque le aree allagate residue.

7.4 Area campo da Golf

Gli interventi di messa in sicurezza sono stati già indicati nella variante urbanistica del dicembre 2015 e possono essere riconfermati in questo studio, che ha comunque messo in evidenza che le aree edificate non sono soggette ad allagamenti.

Di seguito un estratto di quanto già presentato nella variante urbanistica:

“Le proposte di intervento vengono limitate all’edificio destinato a servizi e mercatino oggetto di esondazione dal fosso Doccioni. In generale si rileva dai nuovi studi che l’edificio previsto nell’intervento è poco coinvolto da acque di esondazioni e le principali modifiche riguardano la morfologia dei terreni.

La messa in sicurezza dell’edificio ad una quota superiore di circa 1 m al livello terreno comporta una ridefinizione dei collettori di drenaggio, individuando un collettore di bypass che consenta di invasare tramite bocca tarata le eventuali acque di esondazione. Con tale sistema, ai fini della messa in sicurezza del nuovo edificio e delle pertinenze circostanti (in particolare del parcheggio e della strada di accesso) si intende invasare un volume più che adeguato a contenere le acque provenienti da monte convogliandole in aree specifiche e dedicate attraverso opportuna sistemazione morfologica del terreno. In particolare il nuovo collettore sovradimensionato per contenere le acque di invaso sono previste lateralmente ai parcheggi e alla strada e sono distribuite in modo sia da intercettare le acque di esondazioni provenienti da sud che da poter riversare le acque invasate nel F. Doccioni a nord una volta terminato l’evento di piena.

Complessivamente il collettore di invaso si estende per 3.455 mq circa: su circa 1530 mq si prevede un abbassamento del terreno di almeno 15 cm e la superficie rimanente è utilizzabile per il raccordo al territorio circostante. Le aree di invaso sono divise dalla strada di accesso agli edifici e dovranno essere idraulicamente collegate con almeno 2 tubazioni di diam. 200. La restituzione delle acque nel F. Doccioni avverrà a gravità tramite più tubazioni di piccolo diametro o delle canalette.

Con tale intervento si pongono in sicurezza idraulica i nuovi edifici e i relativi parcheggi e le strade di accesso e non si aumenta il rischio idraulico in altre zone del territorio.

Si segnala inoltre che il progetto generale prevede gli edifici impostati a +1 metro rispetto al piano campagna.

Relativamente alle modifiche della morfologia del terreno (principalmente eseguite per la realizzazione del campo da golf), si evidenzia come l’intento dei progettisti dell’intervento nella sua globalità sia quello di non aumentare i volumi di terreno presenti attualmente. La modifica della morfologia dovrà quindi realizzata con scavi e riporti a parità di volume ed avendo cura che la nuova morfologia del terreno sia tale non determinare allagamenti di aree diverse da quelle indicare nel presente studio come aree potenzialmente inondabili. L’intervento di modifica della morfologia del terreno così realizzato non aumenta la pericolosità in altre aree.

Si evidenzia inoltre come sia prevista la realizzazione di un cospicuo numero di laghetti anche nelle aree potenzialmente inondabili e questo è certamente un fattore positivo in quanto possono comportare la creazione di volumi disponibili per le acque che esondano dai vicini fossi”.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro illustra gli approfondimenti in materia idraulica del territorio del Comune di Bibbona. Il territorio del comune di Bibbona si sviluppa per una superficie complessiva di circa 35 km². Il deflusso delle acque è assicurato da un sistema complesso di aste fluviali, che possono ridursi a due gruppi principali: il bacino nord e quello sud. Basandosi sugli studi esistenti, nel presente lavoro è stata svolta un’analisi idrologica-idraulica, sono individuate le aree esondabili, le classi di pericolosità e gli interventi per l’attenuazione del rischio idraulico.

I corsi d'acqua di entrambi i bacini risultano insufficienti per il deflusso della portata duecentennale, ed in alcuni casi di quella trentennale, soprattutto in corrispondenza degli attraversamenti, con particolare riferimento al ponte della ferrovia e della S.S Aurelia. Un altro elemento critico riscontrato è legato alla scarsa altezza delle sommità arginali con conseguente esondazione d'acqua nelle aree limitrofe, fenomeno che a volte è contenuto grazie al favorevole andamento altimetrico del terreno. L'attenzione è stata rivolta soprattutto alle zone di interesse urbanistico (La California e Mannaione, Marina di Bibbona, Area golf) e la pericolosità risultante è stata ottenuta come sintesi da vari scenari di esondazione integrando i dati con il vigente PAI.

Relativamente agli interventi proposti in genere, al fine di garantire la sicurezza idraulica, sono necessari risagomature di sezione, innalzamento degli argini, la realizzazione di ponti tali da garantire il deflusso della portata duecentennale, il miglioramento delle soglie di sfioro delle casse di espansione esistenti, la realizzazione di una nuova cassa sul Fosso dei Sorbizzi, un nuovo tratto del Fosso delle Basse ed uno del Trogoli, con possibile trasformazione dell'attuale in collettore fognario di idoneo diametro.

Per alcune di queste tipologie di intervento, in particolare per quelle che riguardano le opere di laminazione, si è fatto riferimento alle previsioni del precedente PAI ed in particolare alle aree ASIP già individuate. Inoltre per alcuni corsi d'acqua (in particolare F. delle Basse e F. della Madonna Trogoli) si sono analizzate le proposte già indicate in precedenti studi o progetti (Pagliara, 2015, Provincia di Livorno, 2007).

Per il fosso degli Alberelli oltre alla risagomatura nel tratto terminale (progetto Ing. Chiavaccini, 15) sono state previste due ipotesi differenti per risolvere il problema di una possibile rottura arginale. Tali ipotesi consistono in:

- 1- un ringrosso arginale nel tratto più debole con adeguamento degli spazi ai fini della manutenzione modifica del tracciato del Fosso degli Alberelli
- 2- intercettazione delle acque in apposite aree attraverso argini di contenimento e destinando urbanisticamente dette aree allo scopo.

Per quanto riguarda il tratto terminale del fosso dei Trogoli, la sistemazione della parte destra idraulica è prevista con un intervento di contenimento delle acque di esondazione (muro) al confine tra il parcheggio di via Dei Platani ed il Comune di Castagneto (progetto in corso di definizione). In sinistra idraulica, invece, si rileva la presenza dell'area del Camping Gineprino che potrà essere messa in sicurezza mediante rialzamento generalizzato dell'intera superficie senza significativi aggravii di rischio nelle aree circostanti.

Questo nuovo studio idrologico e idraulico, che modifica e integra il precedente relativo al primo Regolamento Urbanistico, è stato redatto con il supporto tecnico e la consulenza del Dott. Ing. Pietro Chiavaccini.

Pistoia 23 novembre 2016

Dott. Geol. Leonardo Moretti
Ordine dei Geologi della Toscana n.312

Dott. Ing. Simone Galardini
Ordine degli Ingegneri Provincia di Pistoia n.783