COMUNE DI VALLEFOGLIA

PROVINCIA DI PESARO E URBINO

PROPRIETA':

RIVACOLD s.r.l.

PIANO PARTICOLAREGGIATO COMPARTO MP4 IN VARIANTE AL P.R.G. VIGENTE, SITO IN VIA MAZZINI, LOCALITÀ MONTECCHIO.

ARGINE IN SPONDA DESTRA DEL FOSSO TACCONE IN LOCALITÀ MONTECCHIO

verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali di cui all'art.10, comma 4, della l.r. 22/2011 e secondo i "criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative" approvati con dgr n. 53 del 27/01/2014 (b.u.r. marche n.19 del 17/02/2014)

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

I PROGETTISTI

	Associazione fra geometri VESCOVI-PAZZAGLINI, via Pio La Torre n°42, Montecchio (PU), P.I. 00367500410, Tel. 0721/497589	(Timbro e Firma)
	CRISTIAN VESCOVI, Ingegnere via Pio La Torre n°42/B, Montecchio (PU), P.I. 02069800411, Tel. 0721/499363	(Timbro e Firma)

Sommario

1. Introduzione e scopi del documento ____ 4

2. Modellazione idraulica del fosso Taccone con le varianti proposte ____ 8

2.1. Modifiche alle sezioni di cui allo stato autorizzato. ____ 8
2.2. Modello numerico. ____ 9
2.3. Il ponte ciclopedonale. ____ 12
2.4. Conclusioni ____ 13

3. Appendice "A" ____ 15

3.1. Considerazioni circa il fenomeno di divagazione dell'alveo ____ 15

4. Appendice "B" ____ 21

4.1. Caratteristiche del bacino affluente ____ 21
4.2. Curva di possibilità climatica ____ 26
4.3. Metodi di stima ____ 32
4.4. Parametri fondamentali ____ 32
4.5. Calcolo portate massime ____ 38
4.6. Confronto fra i risultati delle portate ottenute con i metodi di stima considerati. ____ 48
4.7. Idrogramma di piena alle sezioni di interesse. ____ 48
4.8. Risultato della modellazione. ____ 53

5. Appendice "C"Modellazione idraulica del fosso Taccone. ____ 57

5.1. Tratto di fosso modellato. ____ 57
5.2. Modello numerico. ____ 59
5.3. Verifica del modello. ____ 66

1. *Introduzione e scopi del documento*

La presente relazione viene prodotta a corredo della documentazione di progetto relativa alla realizzazione di un argine in sponda destra del Fosso Taccone in località Montecchio nel comune di Vallefoglia.

L'area è stata già oggetto di studio idraulico in occasione del Piano di Lottizzazione del comparto denominato Mp4, progetto che ha ottenuto il parere favorevole in ordine alla compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni geomorfologiche del territorio, Art.89 D.P.R. 380/2001 (parere n°3085/13 del servizio 11 della Provincia di Pesaro e Urbino comprensivo di verifica di compatibilità idraulica e invarianza idraulica ai sensi della LR 22/2011).

Allo stato attuale sull'area è presente un tratto di argine provvisorio realizzato in occasione del cantiere per la realizzazione del fabbricato industriale ed è stata costruita una passerella ciclopedonale che collega la pista ciclopedonale in sponda sinistra con la sponda destra (si veda la relazione illustrativa per maggiore dettaglio).

Le seguenti valutazioni numeriche sono riferite ad una situazione di progetto che è rappresentata alla figura seguente e che prevedono di:

- Mantenere la parte nord dell'argine di cantiere (fino al ponte ciclopedonale),
- Ridefinire la parte a valle del ponte ciclopedonale portandolo per intero all'interno dell'area di proprietà, creando uno spazio di verde pubblico fra l'argine e la sponda del fosso Taccone.
- Realizzare in testa all'argine un percorso pedonale che possa permettere il collegamento, tramite il ponte realizzato, fra la pista ciclopedonale in sinistra idrografica ed il parcheggio pubblico di lottizzazione.

La parte terminale del rilevato di progetto è posizionata in modo da poter completare l'argine fino all'intersezione su Via Mazzini, dove è presente un attraversamento con condotta in lamiera corrugata tipo Finsider. La posizione è tale da poter in futuro realizzare il tratto finale dell'argine (evidenziato in rosso alla figura seguente) secondo il progetto che ha ottenuto parere favorevole ai sensi del R.D. 523/1904 da parte del Servizio Acque Pubbliche Rischio Idraulico e Sismico della Provincia di Pesaro e Urbino del 23 maggio 2008 parere n°446/fo Rif. Prot. n°0014229 010-12-3 2006/1. Opere che comunque non fanno parte del presente progetto.

Nelle valutazioni si considera realizzata anche la parte terminale (verso valle) del rilevato, nella tavola grafica è comunque riportato anche il limite dell'area allagata in assenza di questa parte dell'opera.

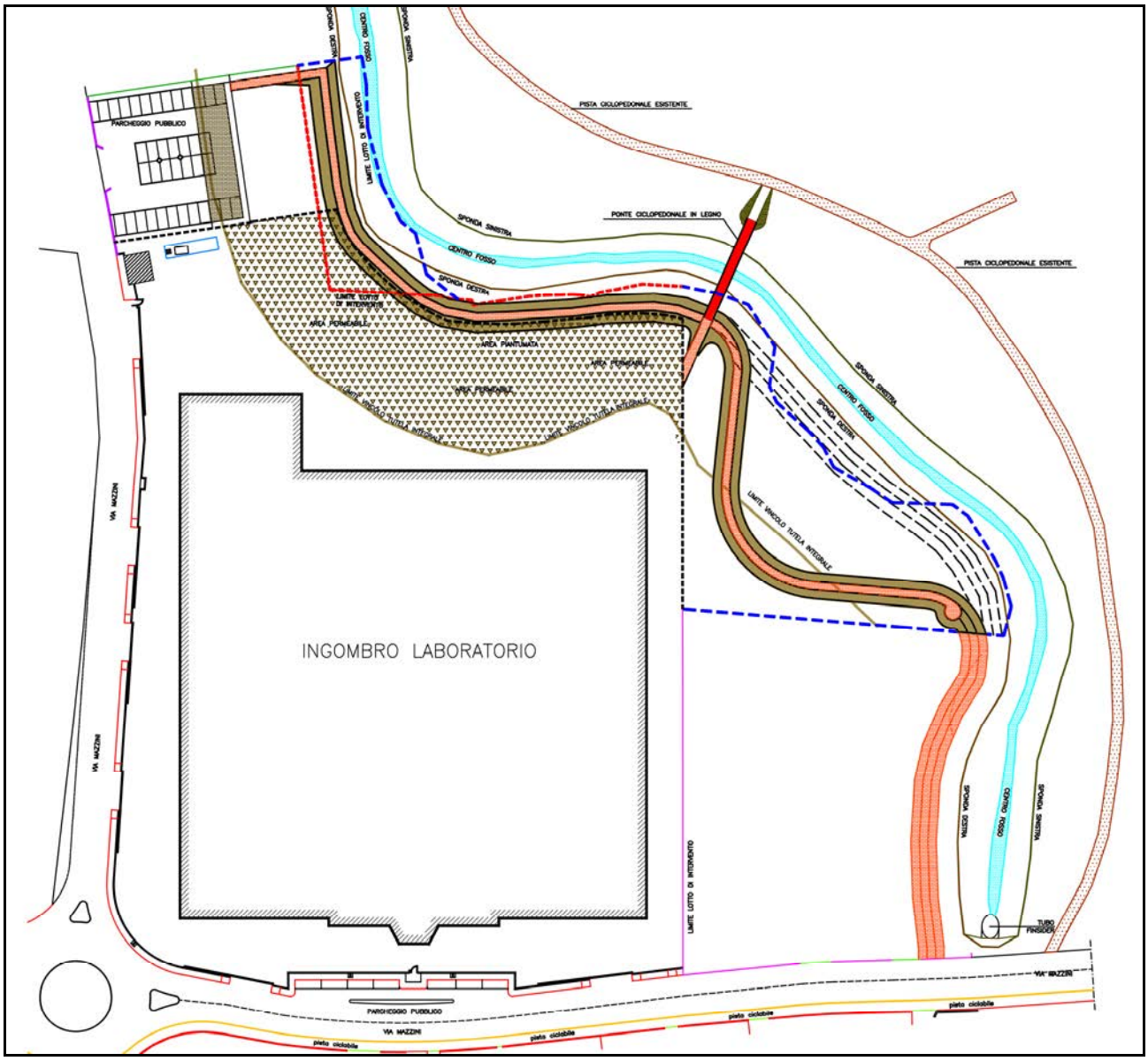

Figura 1 – Schema di progetto.

Il presente documento raccoglie ed illustra le valutazioni fatte in ordine alla verifica idraulica della trasformazione proposta, partendo dai risultati della simulazione idraulica per il progetto autorizzato e modellando le variazioni delle sezioni interessate dalla variante.

Le fasi intermedie dei calcoli idraulici relative alla determinazione delle portate affluenti, analoghe a quanto già depositato in allegato alla documentazione per il parere n.3085/13 sono allegate alla presente relazione all'Appendice "B", le specifiche di modellazione, del programma di calcolo, ed i risultati della precedente modellazione (relativa la progetto precedentemente autorizzato) sono allegate alla presente relazione all'Appendice "C".

Si è ritenuto utile allegare nuovamente anche le considerazioni svolte in fase di autorizzazione del precedente progetto relative alla possibile divagazione dell'alveo del fosso Taccone, si veda in proposito l'Appendice "A".

La sequenza delle fasi che hanno portato alla valutazione del perimetro di piena nella condizione di progetto con il lavoro si è articolato secondo la seguente successione:

- Rilievo topografico volto alla ricostruzione delle sezioni del fosso, già eseguito nella precedente fase progettuale ed autorizzativa;
- Analisi delle caratteristiche fisiche fondamentali del bacino affluente con perimetrazione e caratterizzazione puntuale delle aree affluenti, costruzione della curva ipsografica e reperimento dei dati pluviometrici applicabili all'area in studio, già eseguito nella precedente fase progettuale ed autorizzativa;
- Determinazione delle portate massime affluenti, in base a diversi metodi di stima e per i sottobacini individuati, e loro combinazione al fine della determinazione dell'idrogramma di piena per le sezioni di interesse attraverso la costruzione di un modello matematico del bacino col software HEC-HMS, già eseguito nella precedente fase progettuale ed autorizzativa;
- Modellazione idraulica in moto permanente del tratto di fosso interessato attraverso il software HEC-RAS per ricostruire i perimetri di corrente in base alle portate calcolate, è stato modellato il tratto di fosso che va da via Dell'Industria fino alla confluenza col fiume Foglia, il tratto è evidenziato da due punti rossi nello stralcio di cartografia IGM scala 1:25.00 allegato alla figura seguente, modellazione eseguita nuovamente in base alle nuove sezioni ipotizzate in base alle previsioni progettuali.

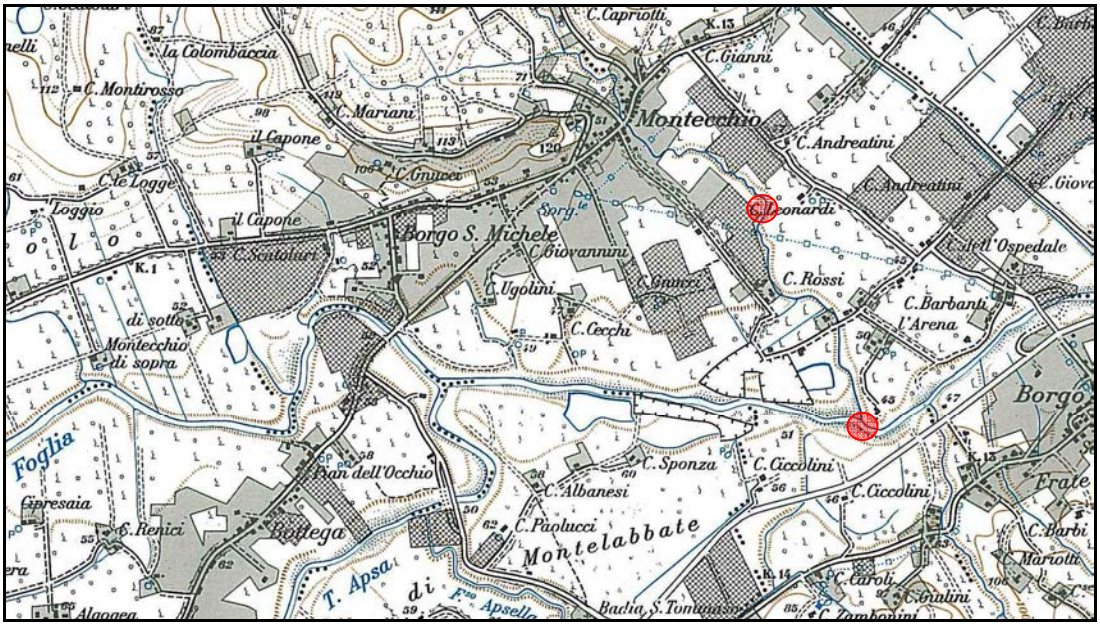

Figura 2 – Stralcio IGM 1:25.000

- Verifica della non interferenza del ponte di progetto con il perimetro di piena calcolato;
- Redazione degli elaborati grafici e testuali contenenti la sintesi delle modellazioni idrauliche effettuate, dei dati acquisiti e delle conclusioni;

- Verifica della capacità del modello di determinare l'altezza dell'acqua al finsider di via Mazzini in un evento piovoso noto, già eseguito nella precedente fase progettuale ed autorizzativa.

Nei capitoli seguenti vengono esposte le valutazioni numeriche e grafiche svolte, nel capitolo conclusivo verranno riassunti i risultati ottenuti ed esposte le valutazioni circa l'influenza del progetto sugli scenari di rischio (alveo di piena e aree allagate) e le opere di mitigazione intraprese.

N.B. nel presente documento le simulazioni idrauliche sono condotte con un tempo di ritorno Tr=100 anni come indicato dalla DGR 53/2014 "….criteri modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione delle verifiche di compatibilità idraulica….." essendo l'area del bacino sotteso alla sezione di chiusura pari a circa 7 km² e quindi ampiamente inferiore ai 25 km².

2. *Modellazione idraulica del fosso Taccone con le varianti proposte*

2.1. Modifiche alle sezioni di cui allo stato autorizzato.

Nel presente lavoro sono state riprese tutte le valutazioni eseguite per il progetto autorizzato ed allegate al parere art.89 D.P.R. 380/2001 n° 3085/13 del servizio 11 della Provincia di Pesaro e Urbino, nello specifico sono state riprese:

- Le valutazioni per la stima delle portate affluenti, allegate alla presente relazione in Appendice "B";
- La modellazione idraulica del Fosso Taccone, allegate alla presente relazione in Appendice "C".

Si è poi costruito il modello aggiornato del fosso Taccone apportando al modello del progetto autorizzato le modifiche alle sezioni interessate dall'argine proposto, per una migliore convergenza della simulazione idraulica sono state raffittite le sezioni nel tratto interessato dall'argine di progetto [1], alla figura seguente le sezioni generate per interpolazione sono quelle in colore arancione.

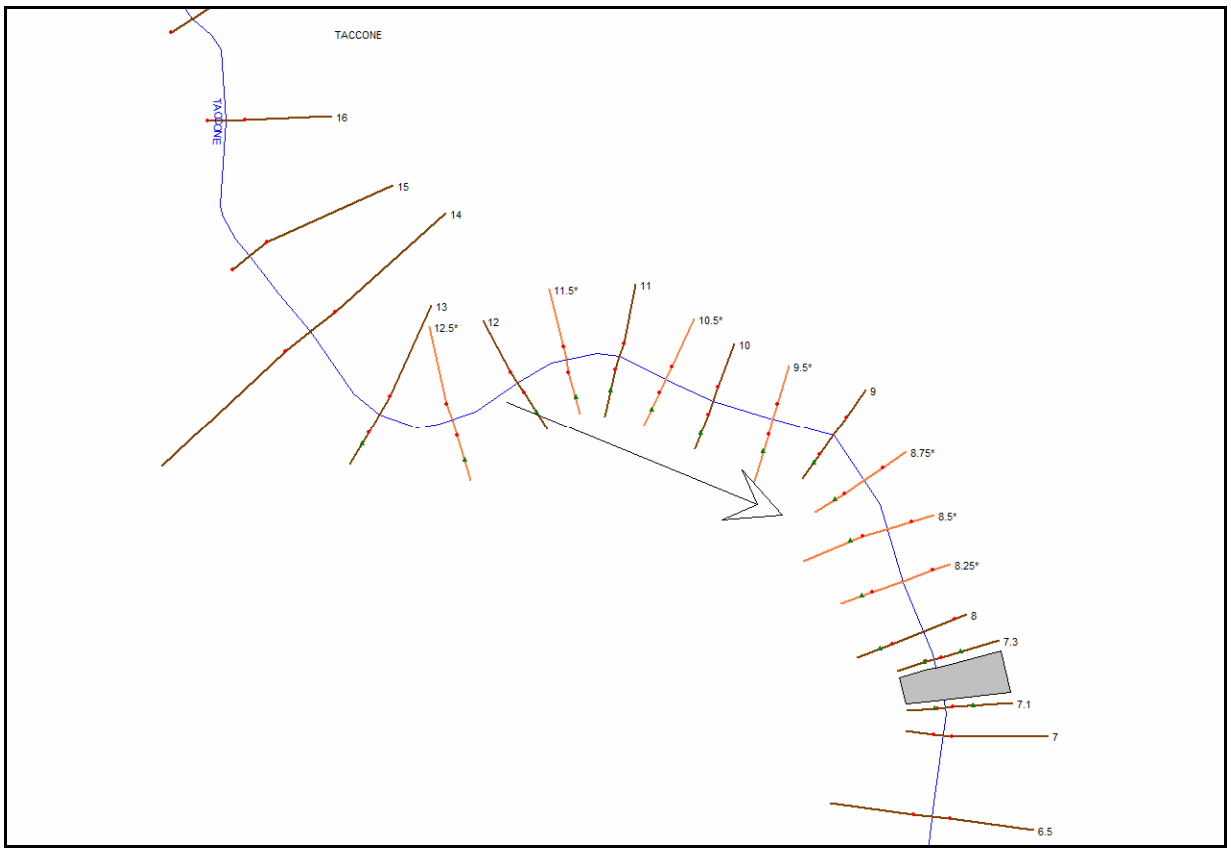

Figura 3 – Sezioni del modello di calcolo nel tratto interessato dall'argine di progetto.

[1] Utilizzando la funzione di interpolazione delle sezioni del programma Hec Ras.

2.2. Modello numerico.

In analogia a quanto fatto nella modellazione della precedente versione del progetto per la verifica idraulica si è ricorsi alla schematizzazione in moto permanente ipotizzando il moto gradualmente
I profili di corrente e l'ingombro planimetrico delle aree allagate vengono determinate per la condizione corrispondente al tempo di ritorno di 100 anni; le portate in ingresso alle varie sezioni in base a quanto ricavato dalle elaborazioni contenute alla presente relazione sono le seguenti:

Sezione	**Tr 100 anni Qmax AMCIII (m^3/sec)**
21	36,0
15	36,5
10	36,8
6	37,1

Alle figure seguenti si allegano le tabelle di ingresso delle portate inserite nella modellazione idraulica del tratto di fosso studiato, le tabelle con i dati in uscita del calcolo in moto permanente e le planimetrie con evidenziate le aree sommerse nelle varie condizioni di calcolo.
Nelle immagini relative alle planimetrie è riportato in linea tratteggiata a punti grossi l'ingombro del fosso catastale.
A valle il perimetro di esondazione, come risultante dalla simulazione idraulica, viene interrotto quando incontra il perimetro dell'area esondabile individuata dal PAI.

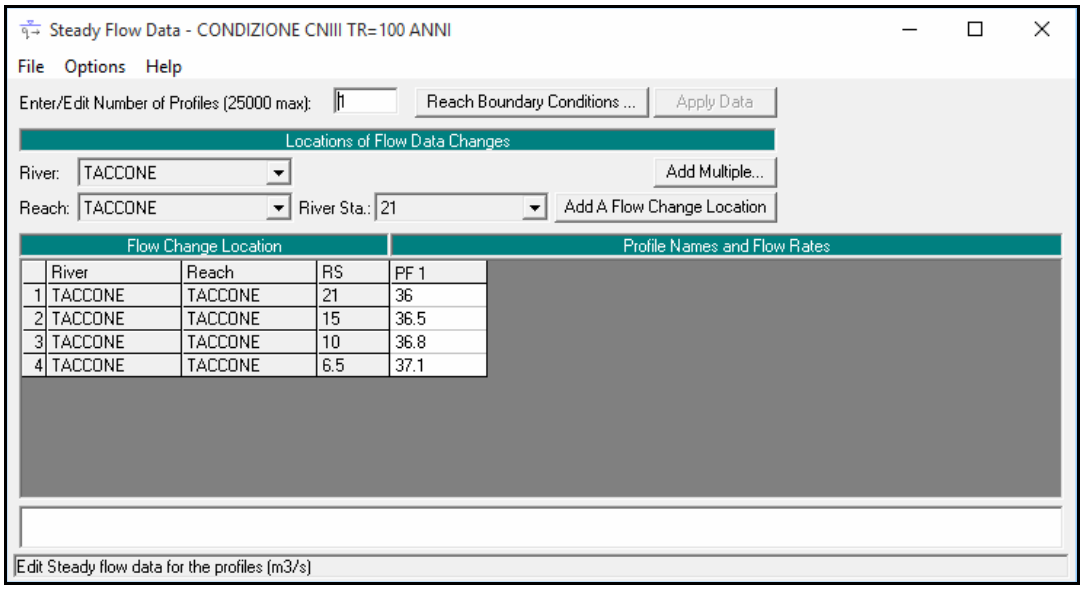

Figura 4 – Portate in ingresso condizione AMCIII

HEC-RAS Plan: ARGINE River: TACCONE Reach: TACCONE Profile: PF 1 — Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TACCONE	21	PF 1	36.00	43.26	45.50	45.10	45.86	0.003145	2.65	13.56	8.95	0.69
TACCONE	20	PF 1	36.00	43.20	45.39	45.02	45.70	0.003088	2.48	14.50	10.76	0.68
TACCONE	19	PF 1	36.00	42.68	44.78	44.77	45.42	0.006882	3.54	10.16	7.95	1.00
TACCONE	18	PF 1	36.00	42.60	44.92	44.22	45.13	0.001663	2.06	17.50	10.91	0.52
TACCONE	17	PF 1	36.00	42.20	44.71	44.23	45.01	0.002602	2.42	14.89	10.16	0.64
TACCONE	16	PF 1	36.00	41.73	44.06	44.06	44.80	0.007680	3.81	9.45	6.48	1.01
TACCONE	15	PF 1	36.50	41.37	43.24	43.49	44.25	0.013269	4.46	8.18	6.37	1.26
TACCONE	14	PF 1	36.50	41.61	43.43	43.43	44.02	0.006629	3.40	10.75	9.14	1.00
TACCONE	13	PF 1	36.50	41.07	43.46	43.00	43.73	0.002458	2.30	15.89	11.68	0.63
TACCONE	12.5*	PF 1	36.50	40.87	43.41	42.84	43.66	0.002108	2.23	16.36	10.94	0.58
TACCONE	12	PF 1	36.50	40.68	43.27	42.74	43.59	0.002536	2.50	14.66	9.70	0.62
TACCONE	11.5*	PF 1	36.50	40.52	43.28	42.62	43.53	0.001776	2.22	16.79	12.70	0.54
TACCONE	11	PF 1	36.50	40.36	43.29	42.45	43.48	0.001217	1.94	19.61	14.23	0.45
TACCONE	10.5*	PF 1	36.50	40.29	43.30	42.32	43.45	0.000894	1.74	22.70	19.78	0.40
TACCONE	10	PF 1	36.80	40.23	43.31	42.18	43.42	0.000655	1.54	26.79	26.83	0.34
TACCONE	9.5*	PF 1	36.80	40.05	43.30	42.00	43.41	0.000573	1.45	28.32	31.20	0.32
TACCONE	9	PF 1	36.80	39.87	43.31	41.78	43.39	0.000414	1.20	32.45	32.72	0.27
TACCONE	8.75*	PF 1	36.80	39.77	43.31	41.69	43.38	0.000374	1.13	32.70	17.06	0.26
TACCONE	8.5*	PF 1	36.80	39.66	43.31	41.58	43.37	0.000305	1.04	35.26	17.78	0.24
TACCONE	8.25*	PF 1	36.80	39.56	43.31	41.50	43.36	0.000287	0.99	37.34	19.81	0.23
TACCONE	8	PF 1	36.80	39.45	43.30	41.42	43.35	0.000263	1.00	36.96	17.70	0.22
TACCONE	7.3	PF 1	36.80	39.45	43.17	41.80	43.34	0.000920	1.93	22.41	16.72	0.36
TACCONE	7.2		Culvert									
TACCONE	7.1	PF 1	36.80	39.45	42.48	41.80	42.87	0.002738	2.80	13.82	9.55	0.59
TACCONE	7	PF 1	36.80	39.45	41.95	41.95	42.79	0.008903	4.05	9.09	5.51	1.01
TACCONE	6.5	PF 1	37.10	39.00	42.12	41.72	42.38	0.002828	2.23	16.69	14.88	0.64
TACCONE	6	PF 1	37.10	38.93	41.79	41.79	42.27	0.004742	3.25	13.34	14.68	0.79
TACCONE	5	PF 1	37.10	38.82	40.54	41.02	41.77	0.016354	4.92	7.55	6.96	1.51
TACCONE	4	PF 1	37.10	38.70	40.78	40.57	41.00	0.002828	2.29	19.36	23.34	0.65
TACCONE	3	PF 1	37.10	38.40	40.58	40.42	40.83	0.002704	2.38	18.25	21.21	0.64
TACCONE	2	PF 1	37.10	38.07	40.06	40.01	40.64	0.006130	3.37	11.00	8.58	0.95
TACCONE	1	PF 1	37.10	37.69	40.00	40.00	40.25	0.004660	2.71	19.03	34.87	0.66

Figura 5 – Tabella dati in uscita analisi idraulica, condizione AMCIII.

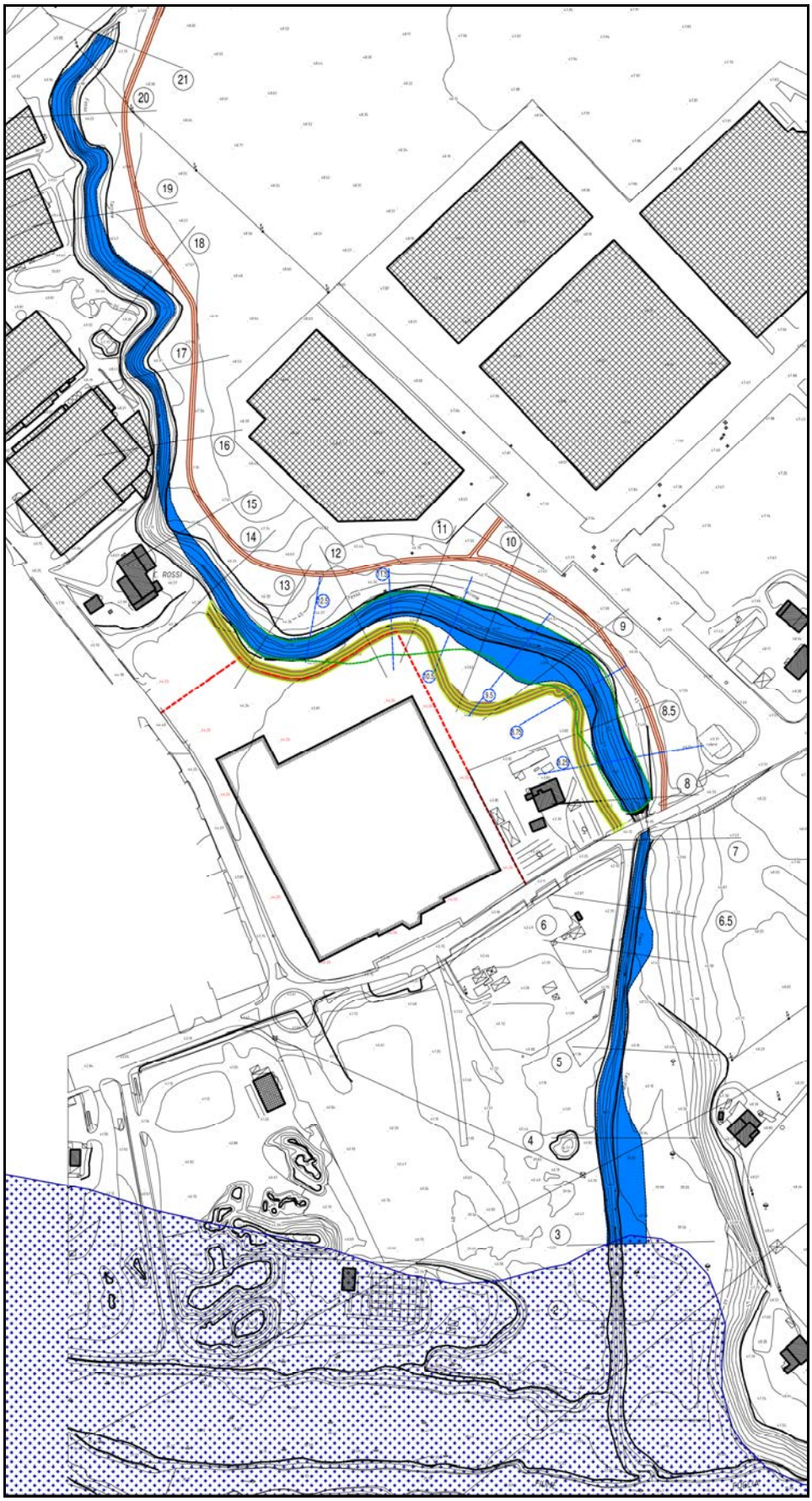

Figura 6 – Tr = 100 anni, condizione AMCIII, planimetria generale modellazione.

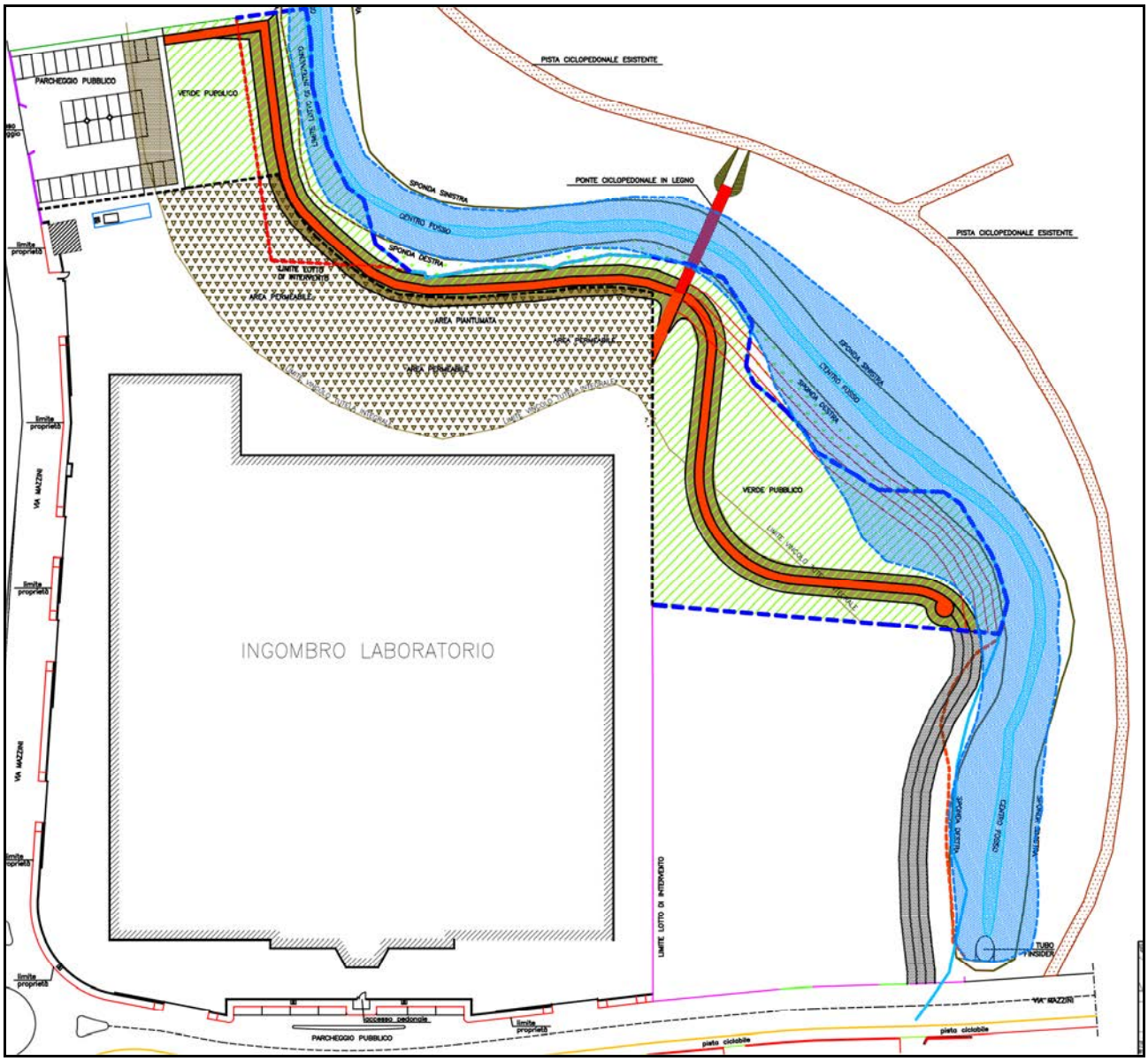

Figura 7 – Tr = 100 anni, condizione AMCIII, dettaglio.

2.3. Il ponte ciclopedonale.

Il ponte ciclopedonale realizzato presenta una unica campata da 25 m di luce, composta da due travi ad arco in legno lamellare senza appoggi in alveo. Nessuna parte della nuova costruzione interferisce con il perimetro di esondazione valutato con tempo di ritorno di 100 anni.

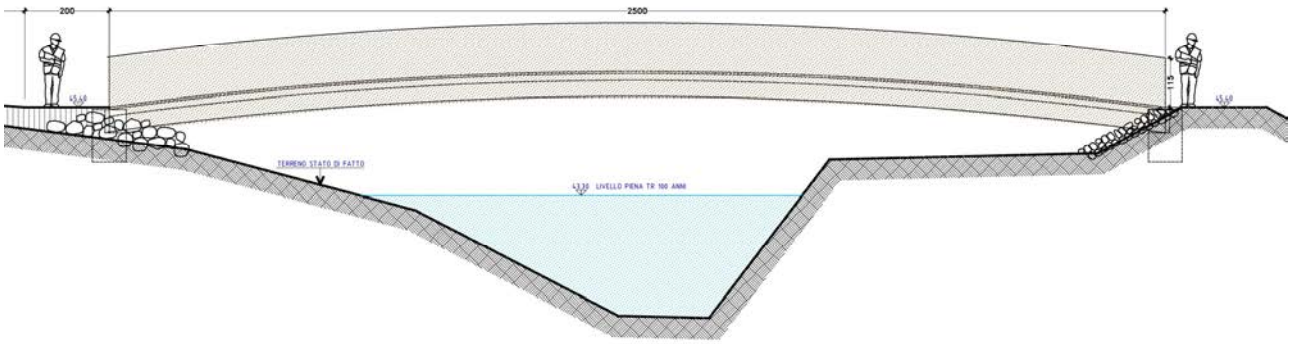

Figura 8 – schema del nuovo ponte con livello della piena valutata con Tr = 100 anni, condizione AMCIII.

Il manufatto presenta una freccia al centro di 85 cm rispetto alle imposte laterali, in questo modo si ha un franco di sicurezza nei confronti del livello della piena con Tr=100 anni pari a 235 cm al centro e 150 cm agli appoggi laterali, come meglio evidenziato alla figura seguente:

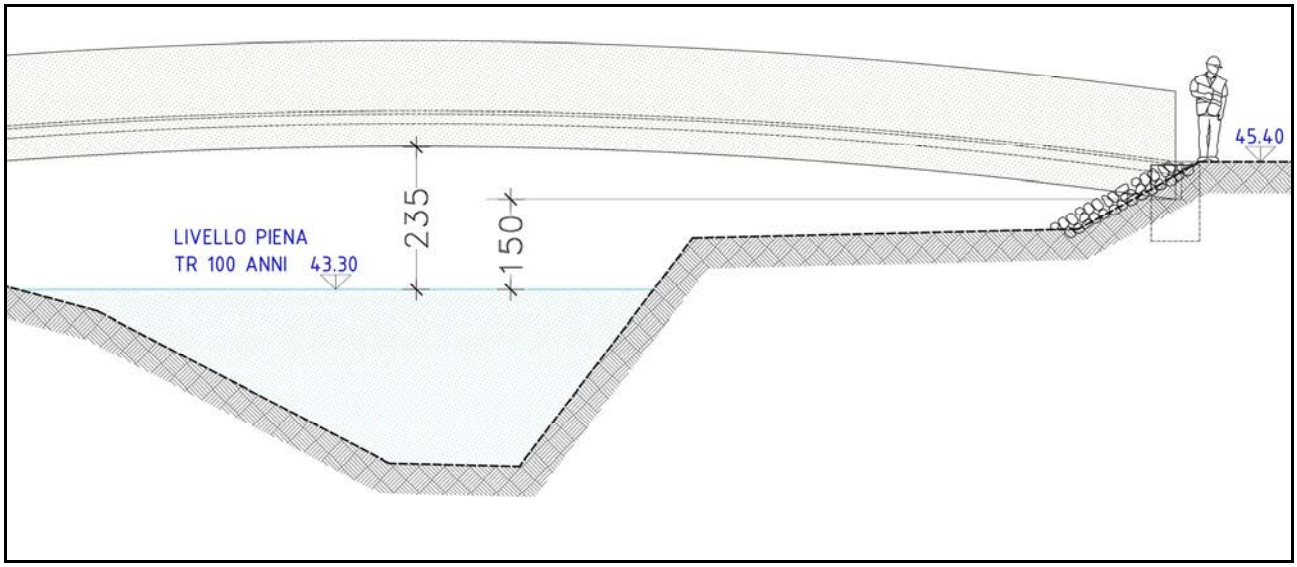

Figura 9 – Franco di sicurezza del manufatto nei confronti del livello di piena Tr = 100 anni, condizione AMCIII.

Stante queste caratteristiche la realizzazione del ponte ciclopedonale non ha alcuna influenza sulla modellazione idraulica del fosso.

2.4. Conclusioni

Dalle indagini eseguite e dalle simulazioni condotte sul modello matematico del tratto di fosso interessato è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- La realizzazione dell'argine in destra idrografica con contestuale sistemazione delle quote del terreno a ridosso dell'argine in modo da appianare alcuni leggeri avallamenti del terreno allo stato attuale e di raccordare meglio le quote con le sistemazioni a verde

pubblico e sul retro del fabbricato, costituisce di per se una opera di mitigazione del rischio di esondazione del fosso Taccone per l'area di progetto. Sebbene come evidenziato dalle simulazioni idrauliche svolte l'argine non sia strettamente necessario per eventi di piena aventi tempi di ritorno di 100 anni non sono da escludere eventi con tempi di ritorno maggiori o condizioni di criticità dovute ad eventuali ostruzioni dell'attraversamento su via Mazzini[2], in queste evenienze l'argine garantirebbe un ulteriore franco di sicurezza rispetto alla condizione di piena centennale.

- Come evidente dalle verifiche idrauliche la costruzione dell'argine in destra idrografica non ha praticamente conseguenze sul perimetro di piena della sponda opposta, questo in virtù del fatto che verrà costruito su aree che nella simulazione idraulica svolta senza l'opera sono interessate da modesti tiranti idrici.
- Da quanto sopra detto la presente proposta risulta migliorare i livelli di sicurezza dell'area di progetto, rispetto alla configurazione attualmente autorizzata in sponda destra, senza alcuna ripercussione alla situazione attuale in sponda sinistra.

Vallefoglia, gennaio 2020.

[2] Posto a valle dell'area di progetto e costituito da una condotta in lamiera d'acciaio corrugata tipo Finsider.

3. *Appendice "A"*

3.1. Considerazioni circa il fenomeno di divagazione dell'alveo

La prima fonte in ordine temporale da cui attingere informazioni circa l'evoluzione del corso del fosso Taccone è il Catasto Pontificio risalente alla seconda metà del XIX secolo e conservato presso l'Archivio di Stato di Pesaro.

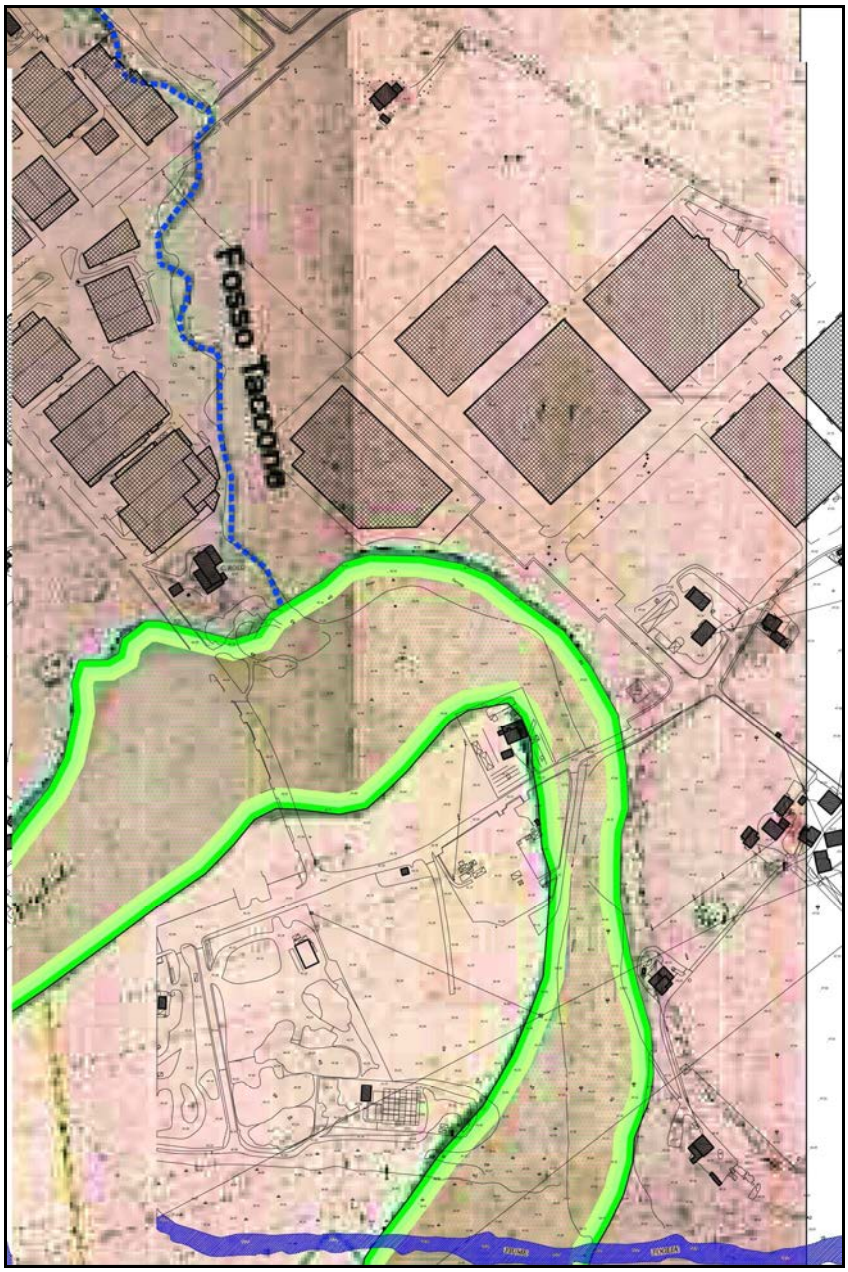

Figura 10

Nella figura soprastante, che contiene una sovrapposizione della mappa del catasto pontificio con lo stato attuale, è evidenziata l'ansa del fiume Foglia che storicamente passava molto più a nord della posizione attuale (visibile in basso con retino blu). Il fosso Taccone, il cui tracciato è visibile in

tratteggio sulla figura sfociava nel Foglia presso la casa indicata sulle mappe CTR con il toponomo "Casa Rossi", il tracciato valutabile in via puramente qualitativa da una simile sovrapposizione si presenta comunque poco discosto dal presente.

Nella figura seguente, in cui si riporta uno stralcio di cartografia IGM risalente ai primi decenni del XX secolo, si osserva come una volta che il Foglia ebbe abbandonato la vecchia ansa (visibile sulle mappe del catasto pontificio) il corso del fosso partendo dal precedente punto di immissione sul fiume si sviluppò verso Sud procedendo sul bordo della scarpata in sinistra idrografica del vecchio corso del Foglia. Il toponomo "Casa Vaccai" della mappa sottostante è indicato come "Casa Rossi" nelle mappe CTR attuali.

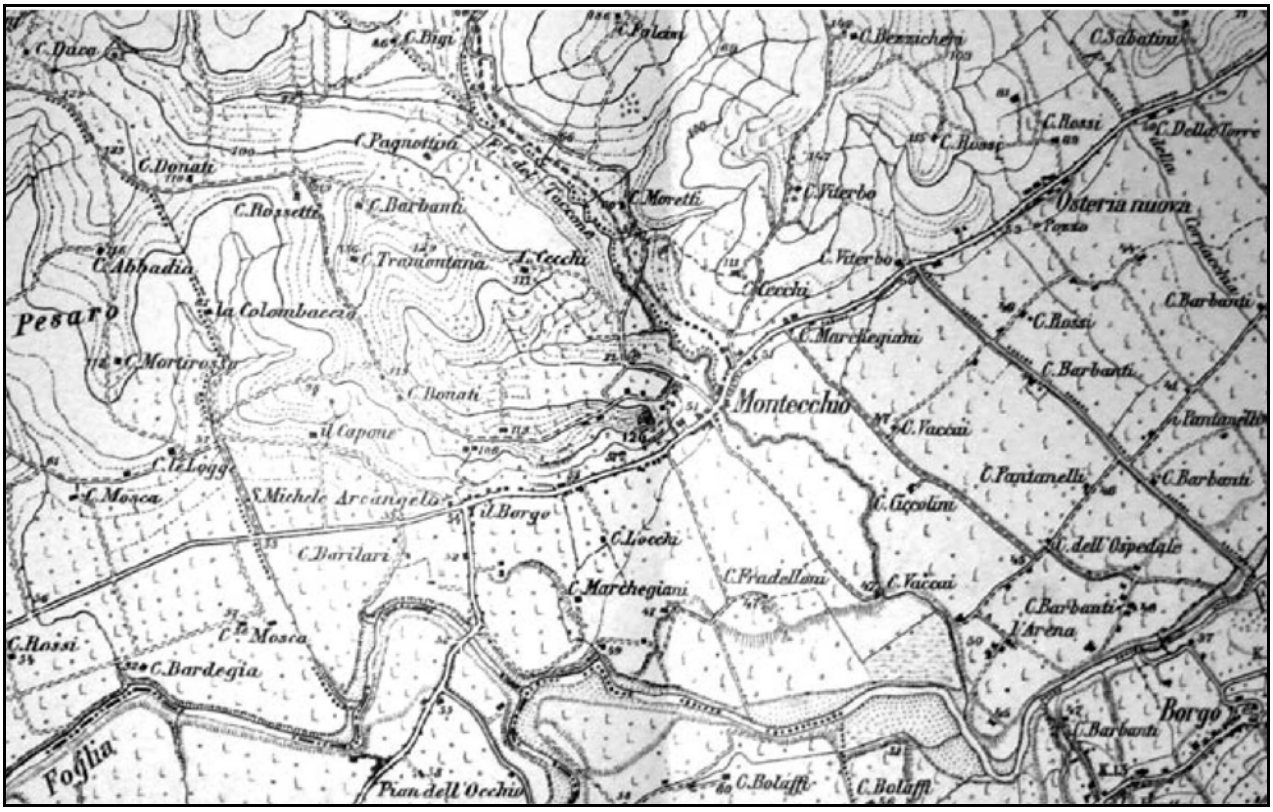

Figura 11

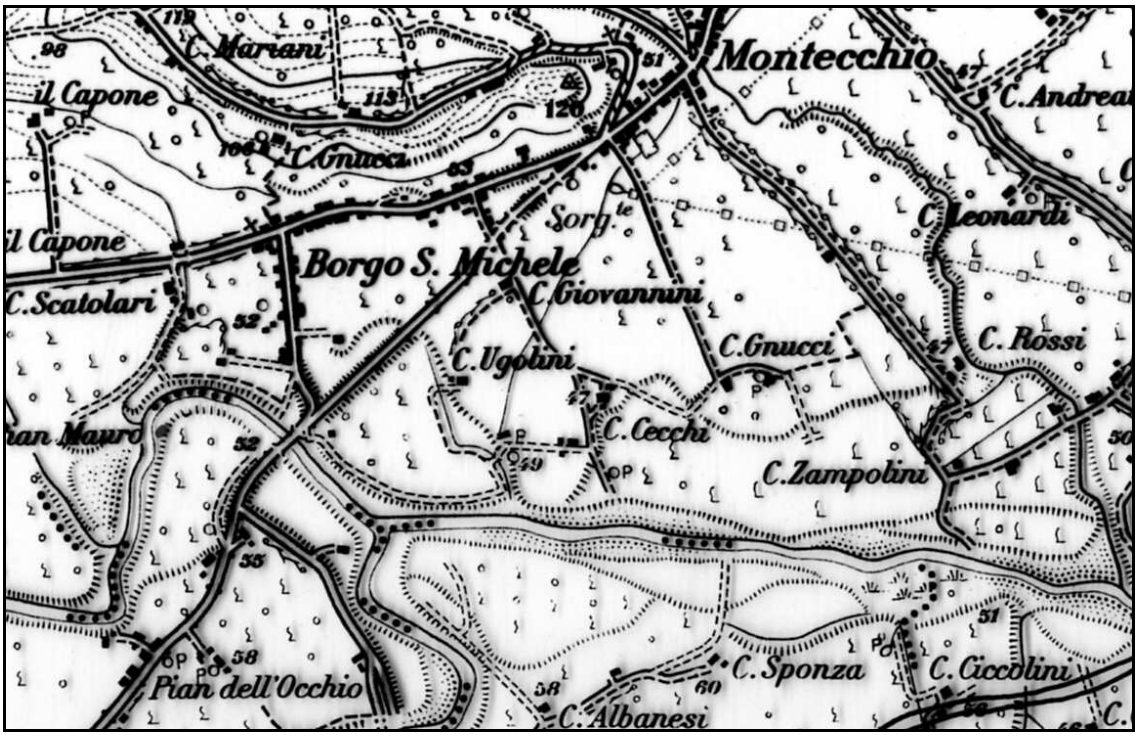

Figura 12

La situazione è pressochè invariata nella mappa IGM risalente alla metà degli anni ’50 riportata alla figura soprastante.

Indicazioni più dettagliate si colgono dall’esame del foglio catastale n°7 del comune di Sant’Angelo in Lizzola le cui linee fondamentali rappresentano la situazione al 1948, data di redazione riportata sul supporto cartaceo originale.

Alle due figure seguenti, in cui lo stralcio catastale è sovrapposto allo stato di fatto degli edifici attuali, si vedono le due fasi di evoluzione del tratto di fosso a valle di via Mazzini; nella prima il tratto terminale a monte della confluenza col fiume Foglia presenta due curve a 90 gradi mentre nella seconda che rappresenta la situazione catastale attuale l’immissione al Foglia avviene con tratto rettilineo.

Il tratto a monte di via Mazzini è rimasto invariato catastalmente.

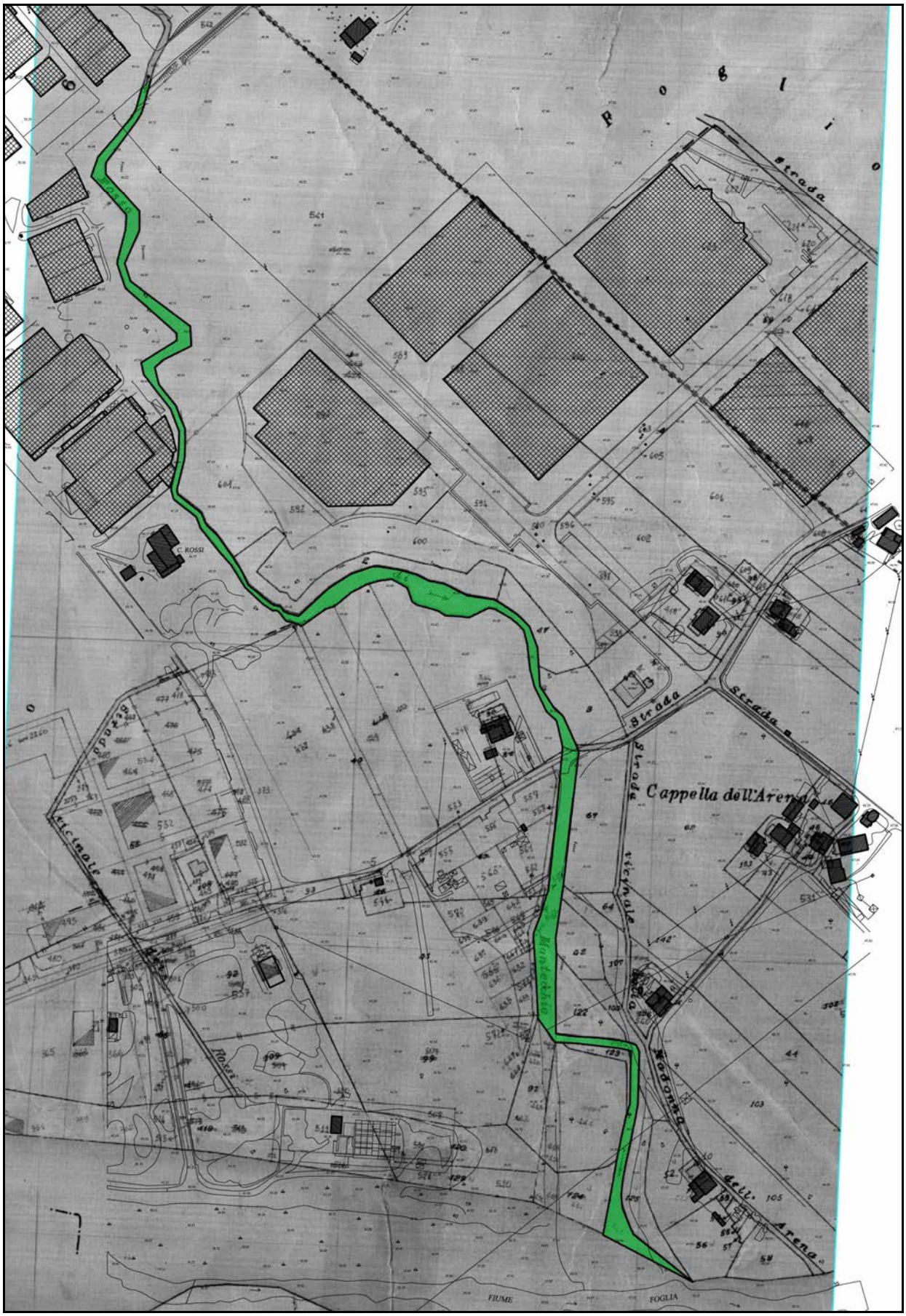
Strada
C. ROSSI
Strada
Cappella dell'Arena
Madonna
dell' Arena
FIUME
FOGLIA

Figura 13

Foglio
Strada
C. ROSSI
Strada
Strada
Strada
Cappella dell'Arena
Strada vicinale
Strada vicinale
Rossi
Madonna dell'Arena
FIUME
FOGLIA

Figura 14

Appare chiaro da quanto detto che la parte di fosso a valle di via Mazzini è stato interessato nei decenni da vistosi fenomeni di divagazione dell'alveo, per cause naturali e per intervento diretto di spostamento del tracciato, la parte a monte è rimasta sostanzialmente invariata nei suoi tratti fondamentali.

4. Appendice "B"

4.1. Caratteristiche del bacino affluente

Come appare chiaro dalle planimetrie sugli elaborati grafici allegati alla presente relazione il tratto studiato del Fosso Taccone è interessato da due distinte tipologie di suoli, a monte del ponte stradale sulla SP 433 si ha la quasi totale presenza di suolo agricolo intervallata da sporadiche abitazioni rurali con annessi agricoli, a valle del ponte si ritrova l'abitato di Montecchio la cui superficie è drenata da reti fognanti per acque bianche (le più recenti) o miste (quelle più vecchie) che solo in parte scaricano sul fosso Taccone.

Per descrivere compiutamente la quota parte dell'abitato le cui acque di pioggia affluiscono al fosso è stato ricostruito uno schema delle reti fognanti delle aree interessate, ricostruzione basata sulla documentazione in possesso dei tecnici scriventi, sugli schemi in possesso della azienda che ha in gestione le reti e su appositi sopraluoghi.

Nella figura 15 si sono riportati i perimetri delle aree urbane affluenti al fosso nel tratto in studio, la planimetria di base su cui sono tracciati i perimetri è quella della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2000 utilizzata per la redazione del Piano Regolatore Generale comunale in cui sono stati aggiunti in rosso gli edifici non presenti al momento della restituzione della cartografia.

I comparti sono delimitati in modo che ad ognuno corrisponda un sistema fognante omogeneo con recapito finale sul fosso Taccone, alcuni di essi appaiono al momento poco costruiti in quanto sono relativi a lottizzazioni le cui opere di urbanizzazione sono eseguite o progettate ma in cui ancora mancano gli edifici, si veda ad esempio i comparti As4 e As3.

Le superfici dei singoli comparti sono riportate alla tabella seguente, il comparto "Residuo" indica la parte non urbanizzata a ridosso del fosso che in figura ha il colore giallo e le cui acque di pioggia comunque arrivano al fosso Taccone.

Nome	Area (m^2)
As1	42.787
As2	157.813
As3	103.938
As4	123.544
Ad1	22.252
Ad2	20.450
Residuo	137.080
Totale	**607.864**

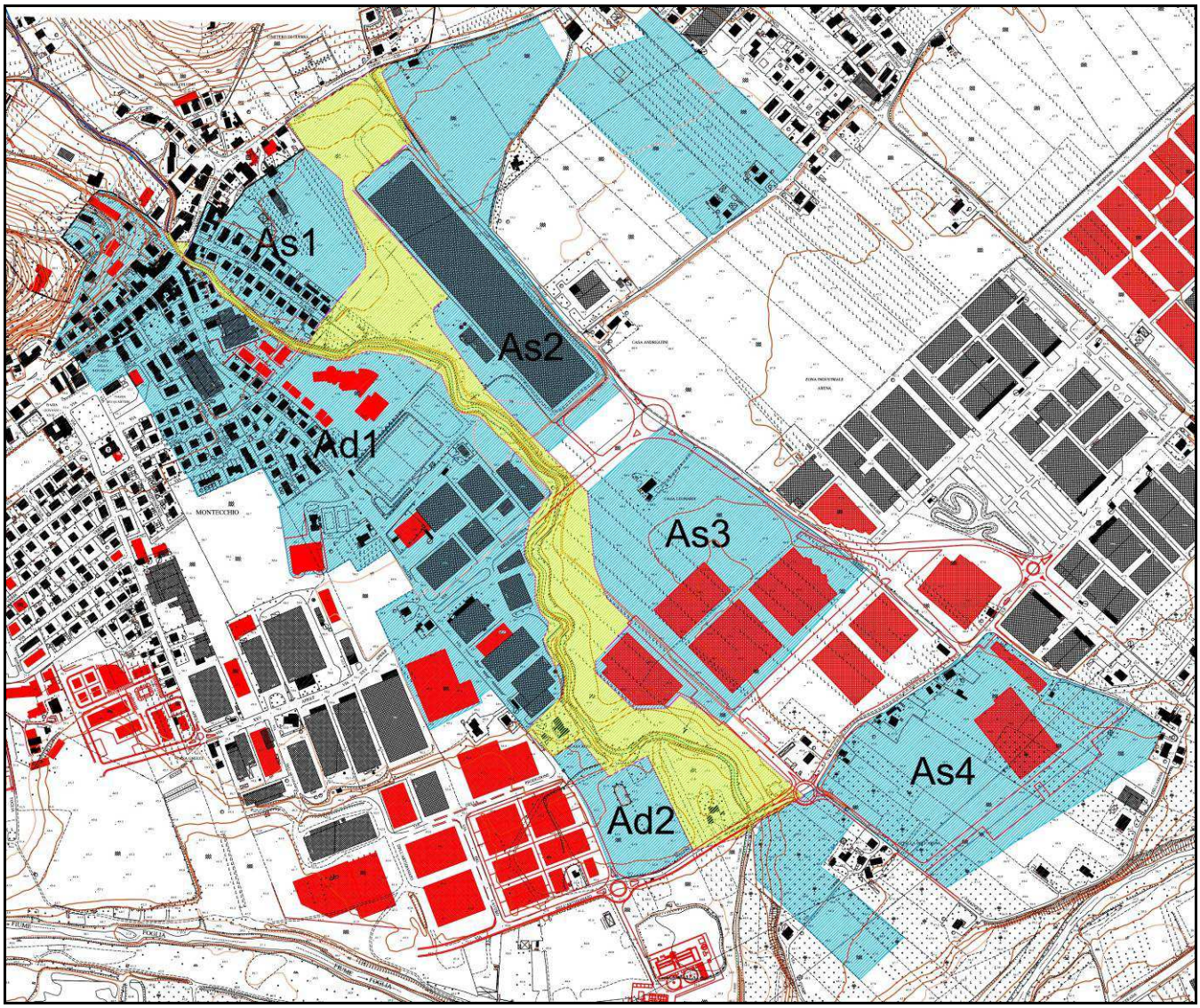

Figura 15

La parte di bacino affluente che si trova a monte dell'abitato di Montecchio è perimetrata con retino a tratteggio rosso alla figura seguente, per confronto sono presenti anche le aree servite da fognatura di cui alla figura precedente.

La superficie del bacino a monte è riportata alla tabella seguente

Nome	Area (m^2)
Monte	6.475.359

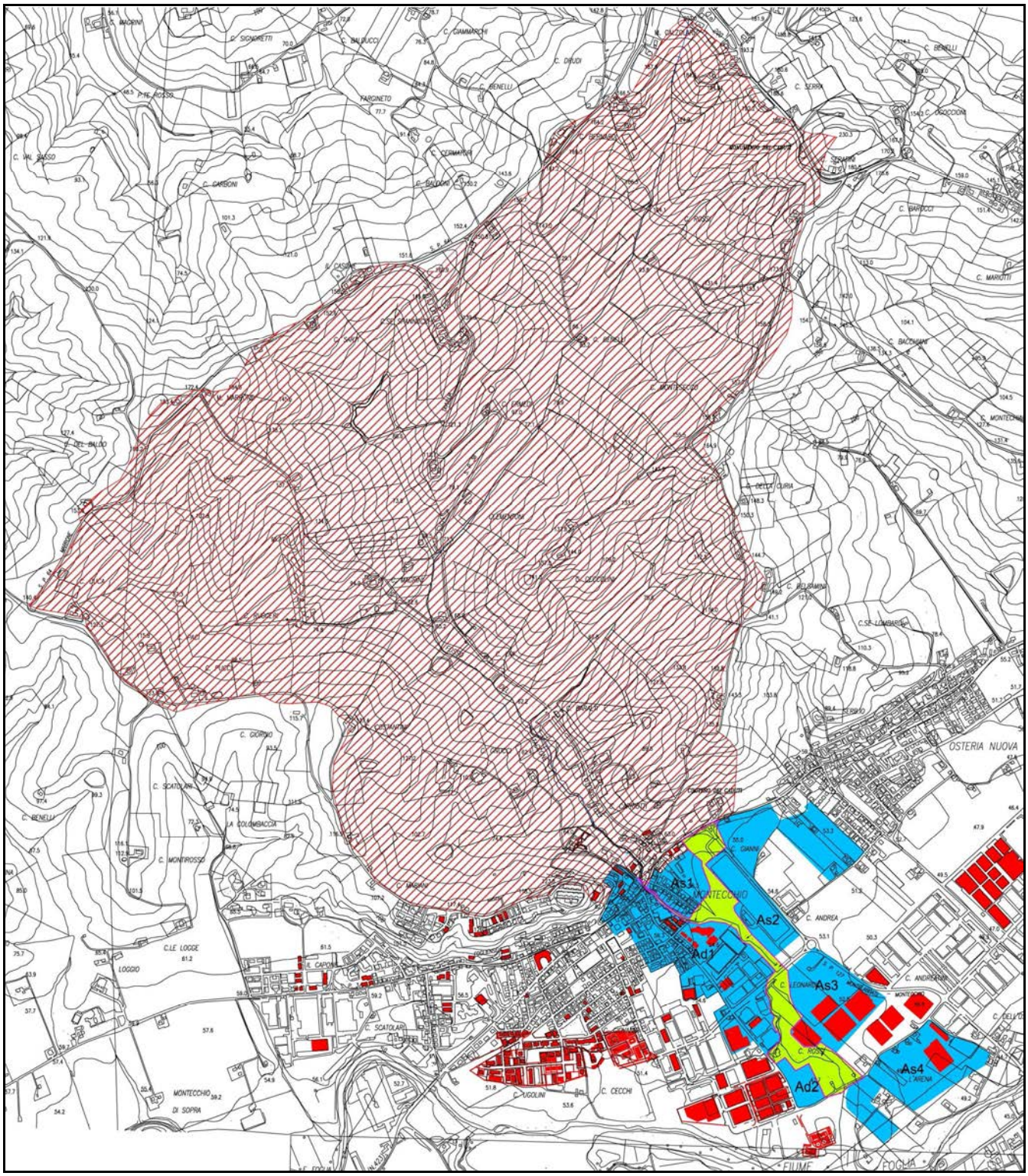

Figura 16

Una caratteristica fondamentale dei bacini affluenti è la loro altezza media rispetto alla sezione di chiusura in cui viene effettuata la valutazione della portata, tale valore viene spesso assegnato arbitrariamente come la media fra la quota massima e la quota della sezione di chiusura, al fine di determinare con maggiore precisione tale valore occorre costruire la curva ipsometrica (o

ipsografica) del bacino; tale curva presenta in ordinata la quota della curva di livello considerata ed in ascissa l'area della parte di bacino imbrifero che ha quota maggiore.

La costruzione della curva è banale una volta determinata per via grafica (tramite CAD) la successione dei valori delle aree racchiuse a monte di ogni curva di livello.

Per l'area in esame la successione è la seguente, essendo la quota minima 51 m e la massima 203 m:

0	203
5.708	200
33.696	190
106.373	180
170.868	170
287.770	160
679.721	150
1.131.062	140
1.733.171	130
2.435.931	120
3.193.735	110
3.969.052	100
4.745.597	90
5.445.890	80
6.026.852	70
6.400.388	60
6.475.359	51
Area a quota maggiore (mq)	Quota considerata (m)

Da cui si ottiene subito la curva ricercata, alla pagina seguente si allega uno schema della successione delle aree determinate per via grafica.

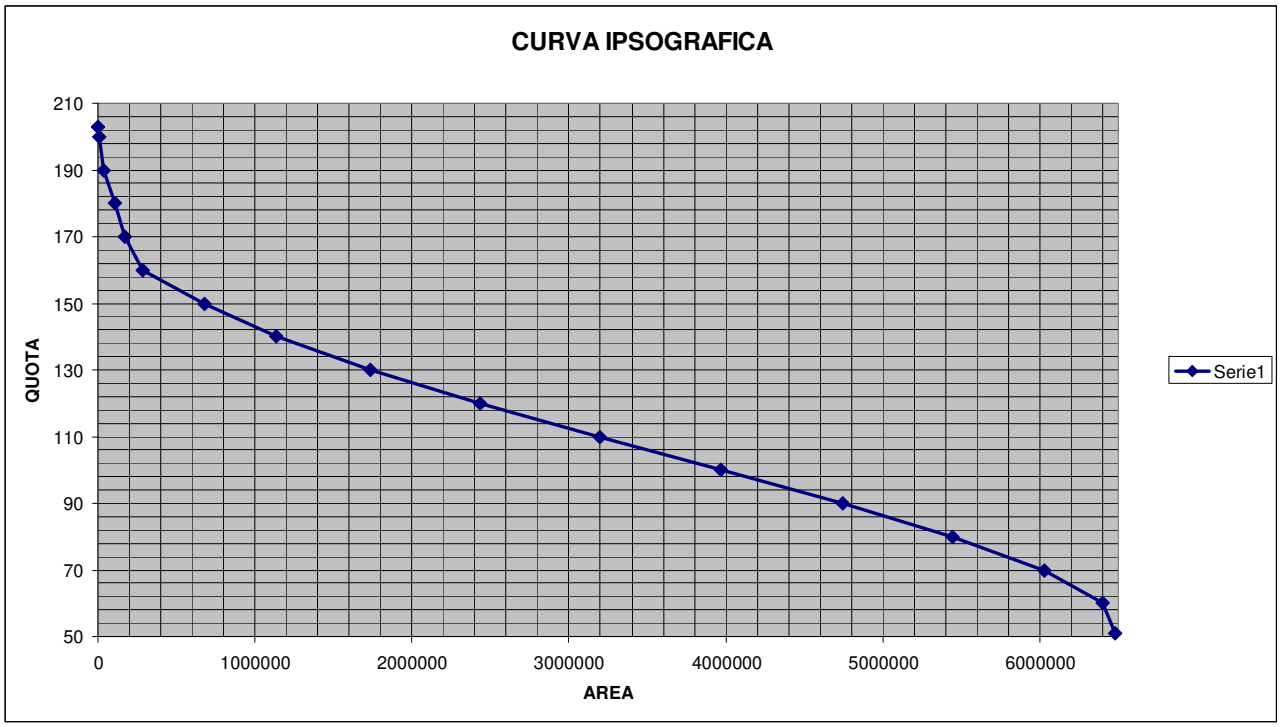

Figura 17

COSTRUZIONE CURVA IPSOGRAFICA DEL BACINO A MONTE DELL'ABITATO

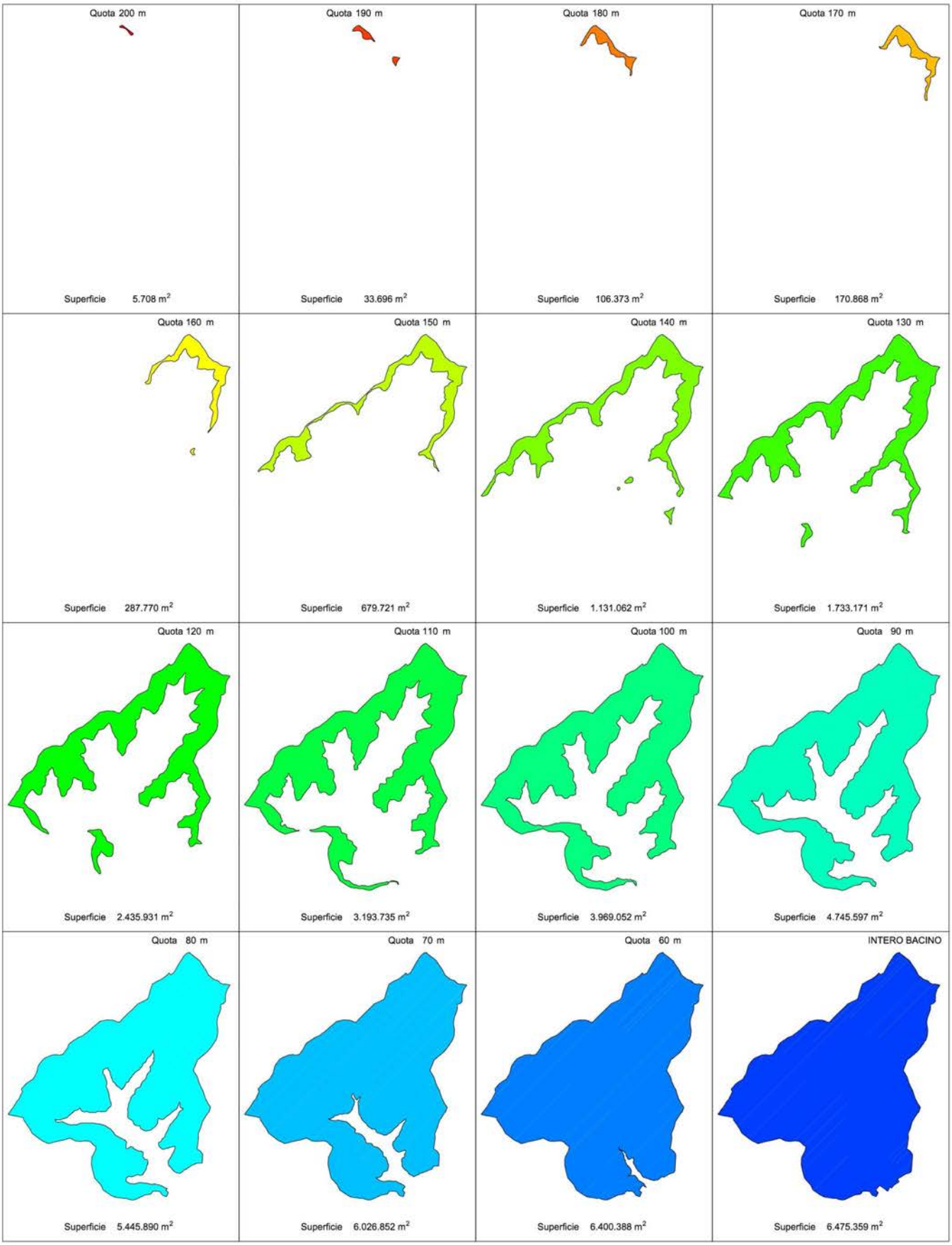

Figura 18

La curva ipsografica fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche, l'integrale della curva ipsografica rappresenta il volume del rilievo ed il rapporto fra tale integrale e l'area del bacino fornisce il valore dell'altitudine media; una volta costruita la curva ipsografica la quota media del bacino imbrifero si ottiene dalla relazione:

$$Hm = \frac{\sum_i 0{,}5(Qi + Q_{i-1})(A_i - A_{i-1})}{Atot}$$

In cui Qi → quota del punto i-esimo della curva

Ai → area relativa alla i-esima curva di livello

In pratica si calcola l'area del diagramma sotteso dalla curva (che in realtà è una spezzata) come somma delle aree dei singoli trapezi rettangoli compresi tra due punti consecutivi e poi si calcola la quota media come rapporto tra questo valore e l'area totale del bacino.
Con i valori riportati alla tabella che genera la curva ipsografica si ottiene Hm = 111,16 m.

4.2. Curva di possibilità climatica

Nell'intorno del bacino del fosso Taccone sono presenti le seguenti stazioni pluviometriche facenti parte del Servizio Idrografico Nazionale e nelle cui serie siano contenuti periodi abbastanza prolungati di dati:

- Pesaro
- Cattolica
- Urbino
- Candelara
- Sassocorvaro

Al fine di determinare nell'area di influenza di quale di questi pluviometri ricade il bacino affluente del fosso Taccone si è costruita la maglia dei poligoni di Thiessen.
Dopo aver riportato sulla cartografia i punti relativi alle posizioni dei pluviometri questi vanno uniti formando una serie di maglie triangolari, qualora ci siano diverse combinazioni possibili occorre disegnare quella che comporta la minima lunghezza dei lati; alla fine di questa fase si ha una rete costituita da segmenti di collegamento e nodi posizionati sulle posizioni dei pluviometri; tracciando gli assi mediani dei segmenti abbiamo delle aree di influenza al cui interno possiamo considerare validi i valori relativi al pluviometro al centro di tale area.

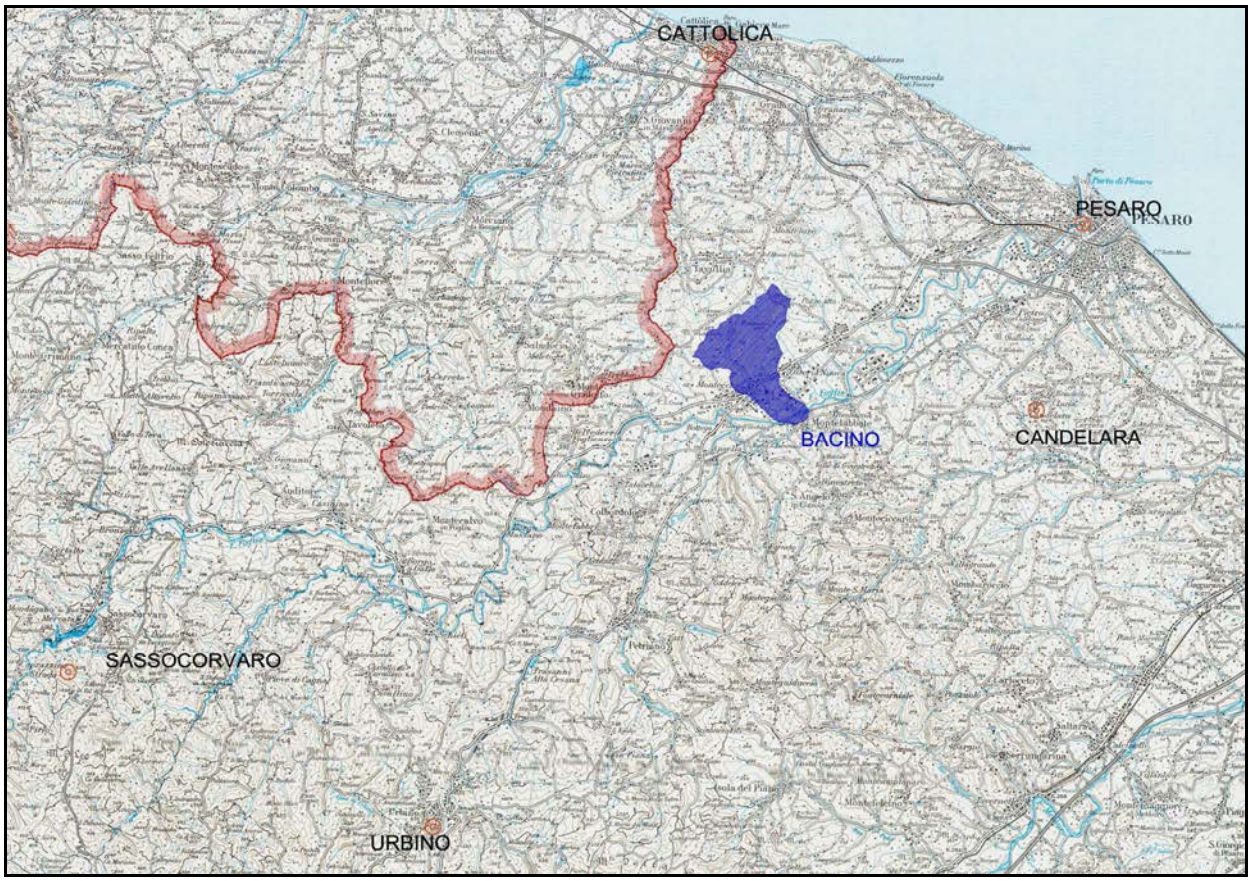

Figura 19

Le aree di influenza dei singoli pluviometri sono riportate alla figura seguente:

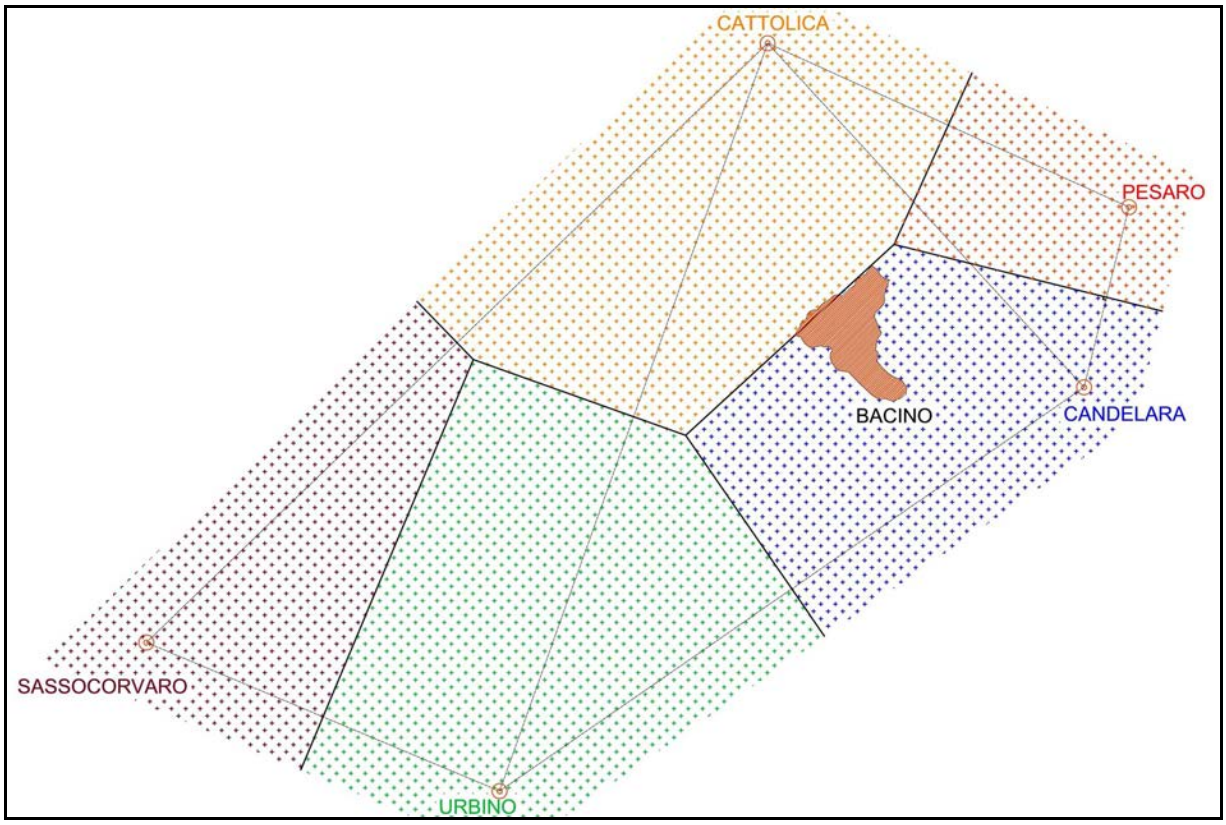

Figura 20

Si conclude quindi che l'intero bacino in studio è contenuto nell'area di influenza del pluviometro di Candelara.

Dalle letture a disposizione per la stazione pluviometrica è stata estratta la serie di dati ritenuti omogenei relativamente al periodo temporale che va dal 1965 al 1995 e divisi per i periodi di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

I dati sono riportati nella tabella seguente:

DATI DI PIOVOSITÁ STAZIONE DI CANDELARA

anno	1 ora h(mm)	3 ore h(mm)	6 ore h(mm)	12 ore h(mm)	24 ore h(mm)
1951	22.40	33.80	33.80	43.80	60.40
1952	20.60	20.80	23.60	31.40	40.40
1953	17.00	25.20	36.80	59.00	67.20
1954	23.40	25.60	35.00	51.40	57.60
1955	21.60	28.40	45.40	56.60	77.20
1956	19.00	37.20	43.60	44.00	56.6
1957	18.20	22.00	32.00	52.60	59.20
1958	20.60	24.60	39.40	39.40	59.00
1959	24.40	30.80	46.40	64.20	64.80
1960	50.20	55.40	55.40	55.40	55.40
1961	10.40	18.20	24.00	32.20	40.60
1963	24.40	40.20	43.2	46.20	61.80
1965	37.60	42.60	42.60	43.40	51.60
1966	18.20	28.00	38.80	48.80	50.20
1967	15.40	18.40	19.20	24.00	36.20
1968	33.80	34.00	34.20	39.60	46.40
1969	31.00	83.00	86.00	91.20	91.20
1970	34.20	57.40	61.80	70.20	85.00
1971	13.20	15.00	22.80	35.80	55.20
1972	32.00	32.60	38.60	41.20	47.20
1973	33.80	38.20	49.60	60.60	85.80
1974	19.40	35.80	45.40	46.80	49.20
1975	46.00	55.00	71.00	85.40	109.00
1976	34.00	42.00	49.20	49.20	75.00
1977	26.80	50.00	52.00	53.40	68.80
1978	15.20	19.60	21.40	32.60	47.40
1979	35.20	41.80	47.40	55.40	90.00
1980	39.00	55.80	57.00	57.00	67.20
1981	23.00	37.60	45.60	51.40	58.40
1982	23.40	25.80	37.20	48.00	59.80
1983	32.60	67.60	91.40	91.40	97.80
1984	14.80	26.20	28.20	31.00	41.60
1985	14.20	22.00	36.00	50.60	55.00
1986	33.40	48.00	48.40	49.00	57.00
1987	26.00	35.40	37.80	46.00	50.20
1988	24.40	26.80	27.00	29.20	33.60
1989	22.80	33.60	49.80	50.60	60.80
1990	18.00	24.40	43.40	49.60	54.20
1991	24.80	33.40	36.40	46.40	58.20
1992	14.20	27.80	31.00	34.20	43.60
1993	25.00	41.60	44.00	45.00	45.60
1994	11.40	21.60	30.40	43.40	51.20
1995	32.60	33.20	33.20	40.80	48.40

L'elaborazione della serie di dati disponibili, ai fini della determinazione dell'intensità di pioggia in funzione della durata e per fissato tempo di ritorno, è stata effettuata con criteri probabilistici adottando il metodo di Gumbel, con riferimento alle misure delle altezze di pioggia di massima intensità avente durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore registrate nel pluviografo.

Il metodo assume che l'altezza massima di pioggia (h_{max}) per una durata fissata (t) e per fissato tempo di ritorno (T_r) è correlato alla serie omogenea di osservazioni dell'altezza di pioggia avente durata "t" tramite la relazione:

$$h_{\max} = \beta - \frac{1}{\alpha} \times Log(Log\frac{Tr}{Tr-1})$$

in cui sono:

$$\mu_{(h_i)} = \frac{\Sigma h_i}{N}$$ (media)

$$\sigma_{(h_i)} = \sqrt{\frac{\Sigma(h_i - \mu_{(h_i)})^2}{N-1}}$$ (scarto quadratico medio)

$$\beta = \mu - 0{,}45 \cdot \sigma_{(t)}$$

$$\alpha_{(t)} = \frac{1{,}283}{\sigma_{(t)}}$$

con "h_i" ed "N" si indicano rispettivamente l'altezza i-esima di pioggia ed il numero delle osservazioni.
L'equazione di ciascuna retta (in notazione logaritmica) assume la forma:

$$Log(h) = Log(m) + k \cdot Log(t)$$

che in forma monomia può scriversi:

$$h = m \cdot t^k$$

in cui i coefficienti "m" e "k" sono rappresentativi rispettivamente dell'ordinata all'origine e del coefficiente angolare della retta interpolante nel diagramma bilogaritmico.

Alle figure seguenti sono illustrati i valori dei parametri ottenuti dalle elaborazioni dei dati di pioggia e le curve di possibilità climatica per i tempi di ritorno di 10, 30, 50, 100, 200 anni.

ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI
(Metodo di Gumbel)

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata **t**, della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

N =	**31**	**t** = 1 ora	**t** = 3 ore	**t** = 6 ore	**t** = 12 ore	**t** = 24 ore
$\mu(h_t)$		25.98	37.23	43.77	49.72	60.35
$\sigma(h_t)$		9.04	15.14	16.69	16.26	18.81
$\alpha_t = 1{,}283/\sigma(h_t)$		0.14	0.08	0.08	0.08	0.07
$u_t = \mu(h_t) - 0{,}45\sigma(h_t)$		21.91	30.42	36.26	42.40	51.88

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		**t** = 1 ora	**t** = 3 ore	**t** = 6 ore	**t** = 12 ore	**t** = 24 ore
10 anni	h_{max} =	37.77	56.97	65.54	70.91	84.88
30 anni	h_{max} =	45.77	70.35	80.29	85.28	101.51
50 anni	h_{max} =	49.42	76.45	87.03	91.84	109.10
100 anni	h_{max} =	54.34	84.69	96.11	100.68	119.34
200 anni	h_{max} =	59.24	92.90	105.16	109.50	129.54

Tabella 3 -

Tr	**LEGGE DI PIOGGIA**	**$h = a \times t^n$**	
10 anni	→	h=40.337xt^0.2424	
30 anni	→	h=49.461xt^0.2365	
50 anni	→	h=53.627xt^0.2344	
100 anni	→	h=59.246xt^0.2321	
200 anni	→	h=64.845xt^0.2302	

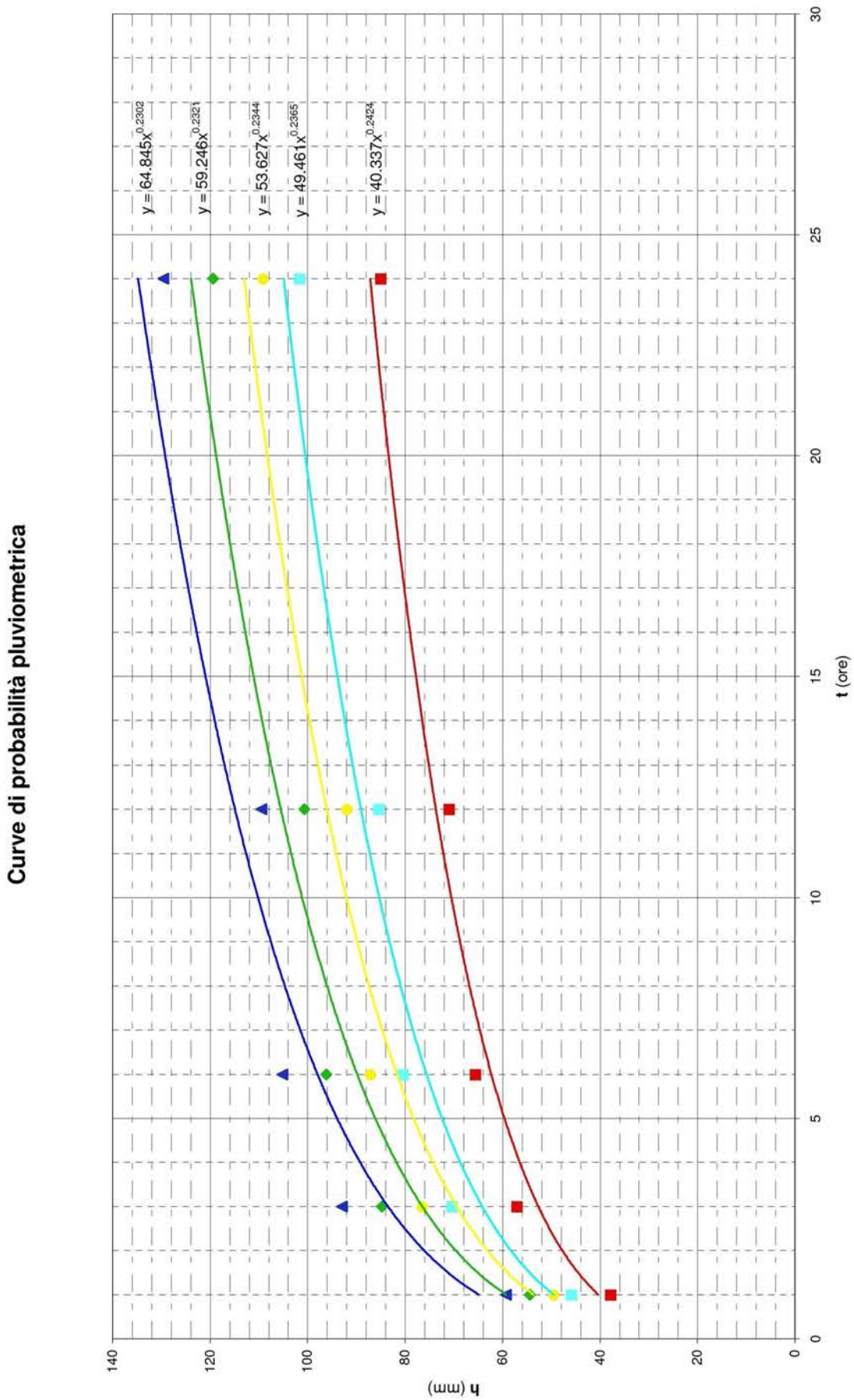
Curve di probabilità pluviometrica
y = 64.845x^0.2302
y = 59.246x^0.2321
y = 53.627x^0.2344
y = 49.461x^0.2365
y = 40.337x^0.2424
h (mm)
t (ore)
0
20
40
60
80
100
120
140
0
5
10
15
20
25
30

Figura 21

4.3. Metodi di stima

Qualora siano disponibili valori della portata alla sezione interessata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo l'analisi statistica "diretta" di tali valori offre una stima molto affidabile della massima piena attesa in base al tempo di ritorno stabilito. Nel caso in esame non esistono misurazioni dirette del valore delle portate massime storicamente manifestatesi sul fosso Taccone e quindi si possono sostanzialmente seguire due procedure:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico che fanno riferimento al Progetto VA.PI. sulla Valutazione delle Piene in Italia, condotto dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, come parametrato nel "Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico" elaborato dalla Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.
- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche e successivo impiego di modelli afflussi-deflussi: i modelli utilizzati saranno il Metodo Razionale che rappresenta nel contesto italiano la formulazione più utilizzata per la stima della portata massima di bacini di piccole e medie dimensioni ed il metodo proposto dal Soil Conservation Service americano noto come metodo SCS-CN.

Nei paragrafi seguenti si applicano le metodologie sopra esposte per la valutazione della portata di piena del fosso Taccone.

4.4. Parametri fondamentali

Nelle valutazioni quantitative dei paragrafi seguenti entrano alcuni parametri fondamentali che vanno stimati preliminarmente in base alle caratteristiche fisiche del bacino affluente:

- Tempo di ritorno - Il tempo di ritorno costituisce il periodo in cui un determinato evento ha probabilità di essere uguagliato o superato almeno una volta.
- Tempo di corrivazione - è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.
- Coefficiente di deflusso - può sinteticamente essere definito come il rapporto tra portata defluente in una determinata sezione e portata affluente sull'intero bacino.
- Parametro CN del metodo SCS-CN – numero adimensionale compreso tra 0 e 100 in funzione del tipo di copertura vegetale, della natura del suolo e dalle condizioni di umidità iniziali

Tempo di Ritorno - le calcolazioni del presente lavoro vengono svolte con un tempo di ritorno pari a 100 anni come prescritto nella bozza di documento di cui all'Art. 10 della Legge Regionale n°22/2011 per le analisi idrologiche su bacini aventi superficie inferiore a 25 km^2 (l'intero bacino affluente del fosso Taccone, fino alla sezione di sbocco al Foglia, è di poco superiore ai 7 km^2).

Tempo di Corrivazione – viene determinato utilizzando la formulazione di Giandotti (espressamente richiesta dal metodo VA.PI.) per il comparto denominato "Monte", la formula è la seguente

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1{,}5 \cdot L}{0{,}8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

in cui sono:

tc	= tempo di corrivazione [ore]	
A	= superficie del bacino sotteso [Km^2]	= 6,475359
L	= lunghezza del percorso idraulico più lungo [Km]	= 3,63
Hm	= altezza media del bacino [m]	= 111,16
H0	= altezza della sezione di chiusura [m]	= 51

Si fa notare che tale formulazione tende a sovrastimare il tempo di corrivazione per cui sovente, ed anche nel nostro caso, la lunghezza del percorso idraulico maggiore viene approssimata con la lunghezza della spezzata rappresentativa del percorso tralasciando le anse del corso.
Sostituendo i valori si otiene **tc = 2,5179 ore**.
Per i comparti As1, As2, As3, As4, Ad1, Ad2, che sono sostanzialmente delle reti di fognatura urbana le espressioni per il calcolo del tempo di corrivazione nate per la caratterizzazione dei bacini fluviali non danno risultati attendibili, in questi casi viene utilizzata la seguente notazione:

Tc = Ti + Ta = Ti + Lmax / Vm

Ti → Tempo di ingresso in fogna = 10 min = 600 sec
Ta → Tempo di arrivo
Lmax → Lunghezza massima percorso in fogna
Vm → Velocità media di scorrimento nella condotta, circa 2,00 m/sec

Nome	Area (m^2)	Ti (sec)	Lmax (m)	Ta (sec)	Tc (sec)	Tc (ore)
As1	42.787	600	320	160	760	0.211
As2	157.813	600	1000	500	1.100	0.305
As3	103.938	600	540	270	870	0.241
As4	123.544	600	700	350	950	0.264
Ad1	22.252	600	1070	535	1.135	0.315
Ad2	20.450	600	400	200	800	0.222
Residuo	137.080	600	--	0	600	0.167

I comparti funzionanti come fognature sono divisibili in due gruppi:

- As1, As3, Ad2, Residuo con tempi di corrivazione intorno a 0,20 ore
- As2, As4, Ad1 con tempi di corrivazione di circa 0,30 ore

I tempi di corrivazione per i due gruppi vengono determinati come media pesata in base alla superficie dei singoli sottobacini appartenenti al gruppo :

$$Tc_1 = \frac{\sum_i Tc_i \cdot A_i}{\sum_i A_i} = \frac{42787 \cdot 0{,}211 + 103.938 \cdot 0{,}241 + 20450 \cdot 0{,}222 + 137080 \cdot 0{,}167}{42787 + 103938 + 20450 + 137080} = 0{,}202 ore$$

$$Tc_2 = \frac{\sum_j Tc_j \cdot A_j}{\sum_j A_j} = \frac{157813 \cdot 0{,}305 + 123544 \cdot 0{,}264 + 22252 \cdot 0{,}315}{157813 + 123544 + 22252} = 0{,}289 ore$$

Coefficiente di afflusso – Generalmente nell'applicazione del metodo razionale, del metodo della corrivazione ed in generale dei modelli Afflussi-Deflussi di tipo semplice si accorpano tutti i fattori che stabiliscono la proporzionalità tra portata "affluente" e portata "defluente" in un unico parametro denominato "coefficiente di deflusso" che può sinteticamente essere definito come il rapporto tra portata defluente in una determinata sezione e portata affluente sull'intero bacino.

La determinazione di tale coefficiente è affetta da notevoli incertezze, infatti, nella sua definizione entrano in gioco i seguenti fattori:

- durata della pioggia ed estensione del bacino;
- pendenza dei versanti, dei rami secondari e dell'asta principale costituenti la rete di drenaggio;
- grado di copertura vegetale dei versanti;
- grado di laminazione della rete idrografica;

- coefficiente di permeabilità dei litotipi interessati dai fenomeni di filtrazione durante l'evento meteorico;
- evapotraspirazione;
- grado d'imbibizione dei terreni nel periodo immediatamente precedente all'evento che produce la massima portata.

La precedente lista, esemplificativa di alcuni dei vari fattori che contribuiscono alla formazione della portata defluente, mostra chiaramente quanto incerto può essere il valore del coefficiente di deflusso.

Esso può assumere valori compresi tra 0,10 e 0,90, i valori più bassi corrispondenti, per esempio, a zone pianeggianti costituite da suoli ghiaiosi altamente permeabili ed i più alti attribuibili a zone pendenti impermeabili o a pavimentazioni asfaltate.

Il problema dell'attribuzione del coefficiente di deflusso diventa ancor più complesso quando il bacino di raccolta è costituito da numerose aree aventi differenti caratteristiche.

Essendo l'unico parametro che descrive le caratteristiche tipologiche del bacino affluente ne discende che il valore della portata risulta altamente sensibile alle variazioni del coefficiente di deflusso; infatti, ogni accurata valutazione delle estensioni dei bacini o del tempo di corrivazione o del tempo di ritorno risulta vanificata da un'errata attribuzione del coefficiente di deflusso.

Nel caso in esame si hanno due tipologie distinte di aree interne al bacino di raccolta, i comparti serviti da fognatura urbana ed il comparto principale a monte dell'abitato che risulta essere scarsamente o per nulla antropizzato.

Visti gli aspetti litologici, morfologici e pedologici si ritiene di attribuire ai singoli comparti affluenti i seguenti coefficienti di afflusso

Nome	**φ**
As1	0,75
As2	0,75
As3	0,75
As4	0,75
Ad1	0,75
Ad2	0,75
Residuo	0,15
Monte	0,40

Il comparto denominato "Residuo" è composto da una stretta fascia agricola totalmente pianeggiante e permeabile; inoltre si evidenzia che a ridosso del fosso è presente la cosiddetta vegetazione ripariale costituita costituita da piante ad alto fusto per cui si ritiene idoneo un coefficiente di afflusso pari a 0,15.

Coefficiente CN – Il metodo SCS-CN prevede la trasformazione della quantità di pioggia totale caduta sul bacino in pioggia netta che alimenta il deflusso superficiale, il metodo è monoparametrico e per la sua applicazione occorre stimare solo il coefficiente CN il cui valore mette in relazione la precipitazione cumulata con la pioggia netta e viene desunto in base a tabelle.

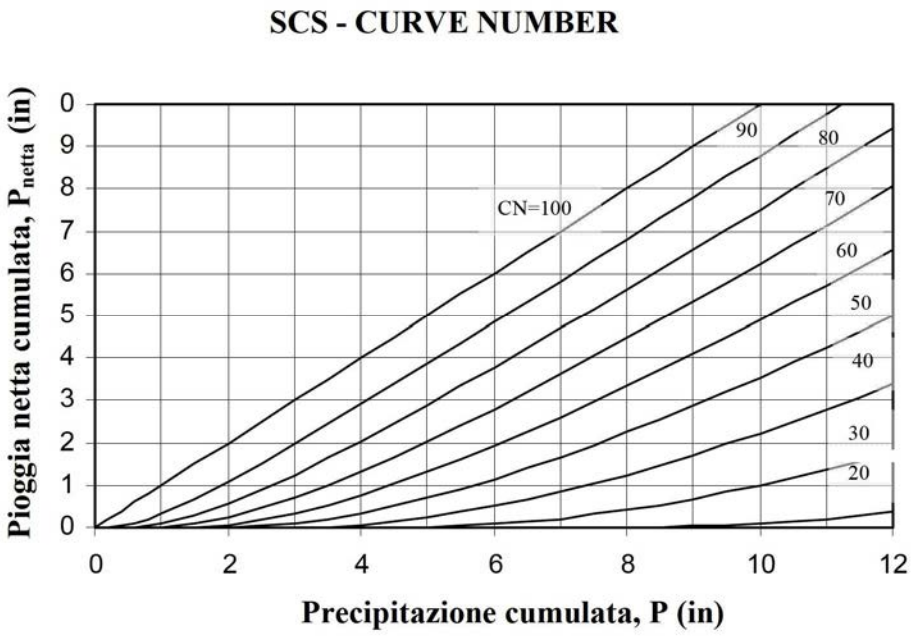

Figura 22

Come si può osservare nella figura per CN pari a 100 il deflusso superficiale coincide con la pioggia totale cumulata, per cui l'infiltrazione risulta nulla (superfici completamente impermeabili) così come l'evapotraspirazione; viceversa per CN pari a 0 si ha una retta orizzontale corrispondente a superfici completamente permeabili.

Le tabelle da cui trarre il valore di CN sono date per quattro tipi di suolo classificati in base alla figura seguente:

Tipo idrologico di suolo	*Descrizione*
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 23

Date le caratteristiche dei terreni in sito per le calcolazioni del presente lavoro si considera un tipo idrologico di suolo "**C**".

Scelto il tipo di suolo il parametro CN viene definito in base ai valori riportati alla figura seguente

Valori del parametro CN *(adimensionale)*	***←Tipo idrologico Suolo →***			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	***A***	***B***	***C***	***D***
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m^2 (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m^2 (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m^2 (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali , lotti di 1500÷2000 m^2 (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m^2 (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m^2 (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ...	98	98	98	98

Figura 24

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II e AMC III, caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC=Antecedent Moisture Condition) in funzione del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella figura seguente.

Classe *AMC*	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Figura 25

I valori del coefficiente CN definiti in precedenza sono relativi alla situazione AMCII, nei calcoli che seguono si farà riferimento anche alla condizione AMCIII per tenere conto dell'eventualità che l'evento piovoso possa verificarsi in condizioni di suolo umido per precedenti piogge, la formula per passare da CNII a CNIII è la seguente

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0{,}43 + 0{,}0057 CN_{II}}$$

Una volta ottenuto il parametro CN per applicare il metodo SCS-CN vanno determinate le seguenti grandezze derivate

$S = 254 \cdot (\frac{100}{CN} - 1)$ [mm] massimo volume specifico che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione

$I_a = 0{,}15 \cdot S$ [mm] valore massimo di pioggia che il terreno può trattenere all'inizio della pioggia senza che si instauri deflusso superficiale

$L_g = 0{,}6 \cdot T_c$ [minuti] tempo di ritardo, frazione del tempo di corrivazione

Le grandezze per i sottobacini individuati sono contenute nella tabella seguente:

Nome	CNII	CNIII	S (mm)	Ia (mm)	Lg (min)
Monte	83	92	22	3,30	90,642
As1	90	95	13	1,95	7,272
As2	90	95	13	1,95	10,404
As3	91	96	11	1,65	7,272
As4	91	96	11	1,65	10,404
Ad1	90	95	13	1,95	10,404
Ad2	91	96	11	1,65	7,272
Residuo	74	87	38	5,69	7,272

4.5. Calcolo portate massime

Regionalizzazione delle portate – metodo VA.PI. Il Progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia, condotto dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali.

Scopo di tale Rapporto è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino idrografico.

Nell'analisi idrologica si sono regionalizzate le grandezze "piogge estreme di assegnata durata e tempo di ritorno" e "portate massime di piena di assegnato tempo di ritorno", sulla base dell'analisi statistica dei dati disponibili nel comparto Romagna-Marche (dal Reno al Tronto) del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano, parte del comparto è evidenziato alla figura seguente.

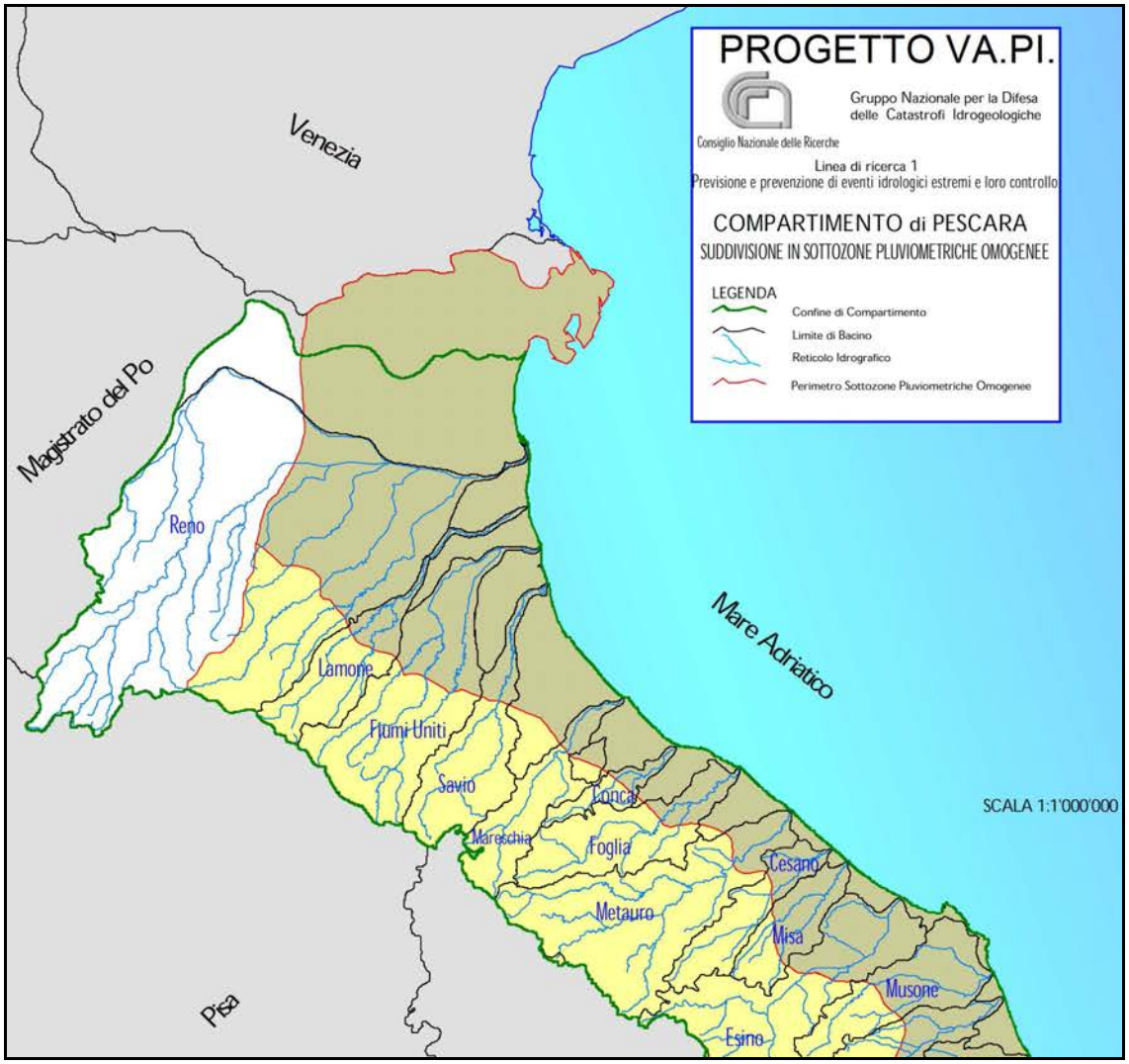

Figura 26

All'interno delle analisi per il "Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico" elaborato dalla Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli si è confermata rispetto agli studi pregressi (p.es. Franchini e Galeati, 1994) la necessità di distinguere nel territorio dell'Autorità fra la zona orientale del comparto, dove si verifica un apprezzabile influsso meteorologico della costa,e la zona occidentale. In assenza di indicazioni più precise, si pone convenzionalmente il limite fra le due zone in corrispondenza della curva di livello dei 200 m s.l.m.

Analizzando la distribuzione statistica dei dati si è definito un metodo per calcolare le portate di progetto di assegnato tempo di ritorno ricorrendo alla regionalizzazione di una "portata indice"

m(Q) questa portata rappresenta la portata massima annua media e viene ricavata dai dati disponibili nelle sezioni di misura del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano.
La portata di progetto di assegnato tempo di ritorno viene valutata come il prodotto della portata indice per un fattore di crescita la tabella seguente riporta i valori dei fattori di crescita stimati per le due zone idrologiche omogenee dette.

Zona ovest

T=30 anni	***T=50 anni***	***T=100 anni***	***T=200 anni***	***T=500 anni***
2.38	2.69	3.10	3.51	4.06

Zona est

***T*=30 anni**	***T*=50 anni**	***T*=100 anni**	***T*=200 anni**	***T*=500 anni**
2.82	3.44	4.29	5.15	6.27

Questi fattori di crescita sono maggiori di quelli contenuti nella stesura originaria del metodo VA.PI. in quanto dalle successive valutazioni e verifiche questi ultimi conducevano ad una sottostima delle portate massime reali.
Nel caso, in esame in cui non sono disponibili misurazioni dirette del livello idrometrico, la piena indice m(Q) (m^3/s) può essere stimata in base alle seguenti equazioni:

$$m(Q) = 0.36 \cdot 10^{-4} \cdot S_{rid}^{1.299} \cdot m(h_1)^{3.2794} \cdot Tc^{-1.3793}$$

in cui:
S_{rid} = superficie impermeabile del bacino, in km^2;
$m(h_1)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata 1 ora, in mm, valutata nel baricentro del bacino;
Tc = tempo di corrivazione secondo la formula di Giandotti;
Quando non si disponga di informazioni idrogeologiche tali da identificare l'impermeabilità del bacino (la definizione di S_{rid}, utilizzata nell'equazione precedente si basa sulle indicazioni di permeabilità dei bacini fornite negli Annali del SIMN di Bologna) può essere adoperata un'espressione in cui si utilizza l'area del bacino:

$$m(Q) = 0.21 \cdot 10^{-3} \cdot S^{1.0816} \cdot m(h_g)^{2.4157} \cdot DH^{-0.4694}$$

in cui:

S = area del bacino, in km^2;
$m(h_g)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera, in mm, valutata nel baricentro del bacino;
DH = quota media del bacino riferita alla sezione di chiusura, in m;

La stima della portata al picco di piena di assegnato tempo di ritorno T si ottiene moltiplicando la portata indice fornita da una delle due equazioni precedenti per il fattore di crescita tabulato. Sostituendo nella relazione i dati

S = 6,475359 km^2;
$m(h_g)$ = 59,79 mm;
DH = 60,16 m

Si ottiene un valore della portata indice

m(Q) = 4,5319 m^3/s

applicando il fattore di crescita relativo al tempo di ritorno di 100 anni (4,29) fornisce la massima portata attesa pari a:

Qmax = 4,5319·4,29 = 19,44 m^3/s (per il comparto denominato "Monte"; Tr=100 anni)

Date le superfici esigue dei sottocomparti rimanenti è priva di significato ogni valutazione delle portate degli stessi con i metodi dedicati alla determinazione della portata in bacini fluviali quali quello sopra esposto.

Metodo Razionale. Il metodo si basa sull'individuazione del tempo di corrivazione, vale a dire il tempo occorrente alle particelle d'acqua perché raggiungano dai punti più lontani del bacino la sezione dell'alveo presa in considerazione, si assume poi l'ipotesi che il massimo apporto idrico si verifica per piogge aventi durata uguale al tempo di corrivazione cioè la portata massima si raggiunge nel primo istante in cui tutto il bacino contribuisce alla portata nella sezione considerata.

La “portata defluente” risulta essere in generale funzione di vari fattori legati oltre che agli eventi meteorici che ne determinano “la portata affluente”, anche da parametri geometrici, geologici e pedologici, tra i parametri principali la portata è dipendente dai seguenti fattori:

- piovosità della zona;
- tempo di ritorno;
- distribuzione della piovosità sul bacino;
- estensione e pendenza media dei versanti del bacino;
- grado di ricoprimento dello strato superficiale;
- imbibizione del terreno;
- grado d’impermeabilità degli strati.

Tradizionalmente nell’applicazione del metodo razionale si accorpano tutti i fattori che stabiliscono la proporzionalità tra portata “affluente” e portata “defluente” vengono accorpati in unico parametro denominato “coefficiente di deflusso” che può sinteticamente essere definito come il rapporto tra portata defluente in una determinata sezione e portata affluente sull’intero bacino, i valori per tale coefficiente in base alle caratteristiche dei comparti affluenti è tabulato al paragrafo 2.2.
La formulazione è quindi estremamente semplice:

$$Q_{\max} = \frac{\varphi \cdot i_c \cdot A}{3{,}6} \qquad [m^3/s]$$

in cui:

φ coefficiente di deflusso

$i_c = \frac{h_c}{t_c}$ intensità di pioggia per l’evento di durata pari al tempo di corrivazione [mm/h]

A Superficie scolante [km^2]

L’applicazione del metodo razionale ai comparti individuati e per i tempi di corrivazione determinati al paragrafo 2.1 danno:

Nome	**Tc (sec)**	**Q100 (m^3/sec)**
Monte	9.064	20,98
As1	727	1,80
As2	1.040	5,05
As3	727	4,38
As4	1.040	3,96
Ad1	1.040	7,12
Ad2	727	0,86
Residuo	727	1,16

Metodo SCS-CN. Il modello SCS fornisce un idrogramma unitario istantaneo adimensionalizzato in cui sull'asse delle ascisse è riportato il rapporto t/Tp mentre sull'asse delle ordinate è riportato il rapporto Q/Qp, Tp è il tempo di picco e Qp è la portata al colmo per unità di precipitazione.
L'andamento grafico dell'idrogramma unitario è riportato alla figura seguente:

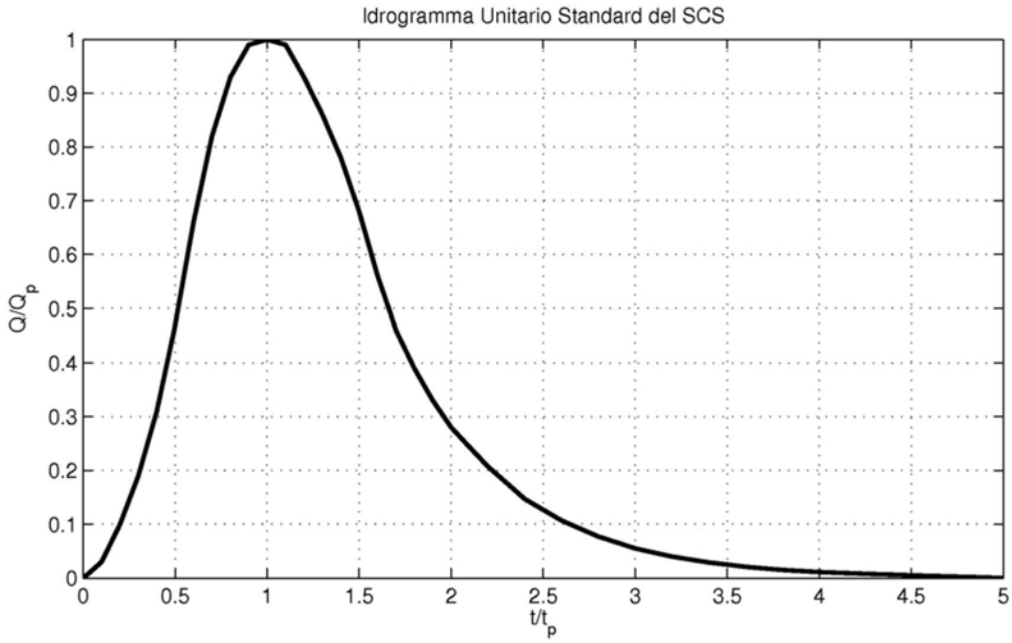

Figura 27

Le equazioni che definiscono i parametri sopra ricordati sono

$Q_p = C \cdot \frac{A_b}{T_p}$ "A_b" è l'area del bacino, "C" è un coefficiente pari a 2,08 nel S.I.

$T_p = 0{,}5 \cdot t_r + t_p$ "t_r" è la durata dell'evento di pioggia "t_p" è il tempo di ritardo del bacino

$t_p = 0{,}6 \cdot T_c$ "Tc" è il tempo di corrivazione calcolato con le usuali formule in letteratura

Le portate di ogni sottobacino con il metodo SCS-CN vengono determinate con la routine di calcolo del software HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) messo a punto dall'Hydrologic Engineering Service dello USACE (United States Army Corps of Engineers), il programma permette la modellazione idrologica sia di bacini idrografici sia di reti in ambito urbano.
Tabella dati in ingresso per la simulazione con il metodo SCS-CN utilizzato sia per determinare il coefficiente di afflusso sia per la trasformazione afflussi-deflussi :

Nome	Area (m^2)	CN(III)	S (mm)	Ia (mm)	Lg (min)
Monte	6.475.359	92	22	3,30	90,642
As1	42.787	95	13	1,95	7,272
As2	157.813	95	13	1,95	10,404
As3	103.938	96	11	1,65	7,272
As4	123.544	96	11	1,65	10,404
Ad1	22.252	95	13	1,95	10,404
Ad2	20.450	96	11	1,65	7,272
Residuo	137.080	87	38	5,69	7,272

Tabella portate di calcolo:

Nome	Q100 (m^3/sec)
Monte	35,2
As1	1,6
As2	4,7
As3	4,2
As4	3,9
Ad1	6,7
Ad2	0,8
Residuo	3,0

Si riportano alle figure seguenti gli idrogrammi di piena relativi ai sottobacini per il tempo di ritorno di 100 anni e nella condizione AMC III, nelle figure si legge in alto la precipitazione (in blu quella netta ed in rosso quella persa per infiltrazione ed altri fenomeni) mentre in basso l'idrogramma.

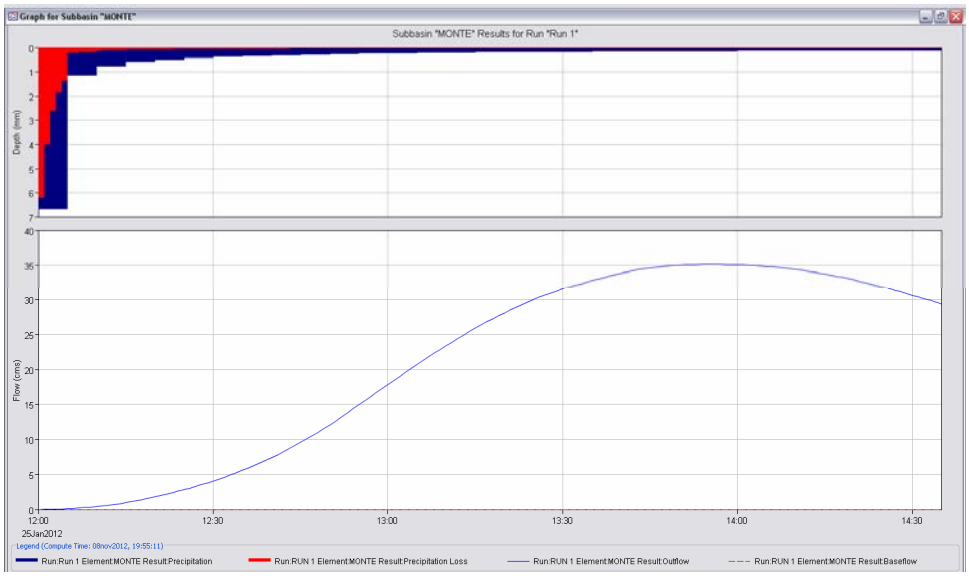

Figura 28 Idrogramma di piena comparto MONTE

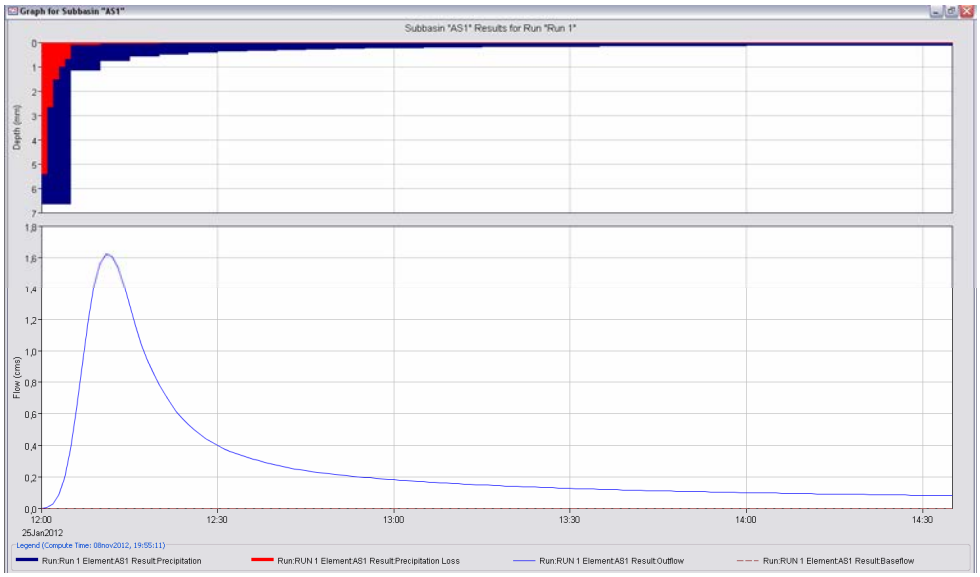

Figura 29 Idrogramma di piena comparto AS1

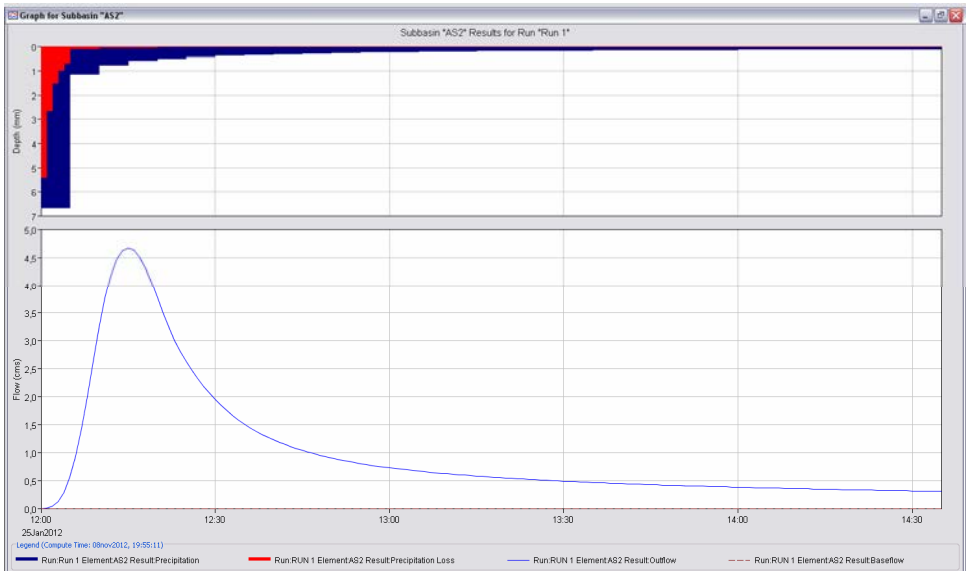

Figura 30 Idrogramma di piena comparto AS2

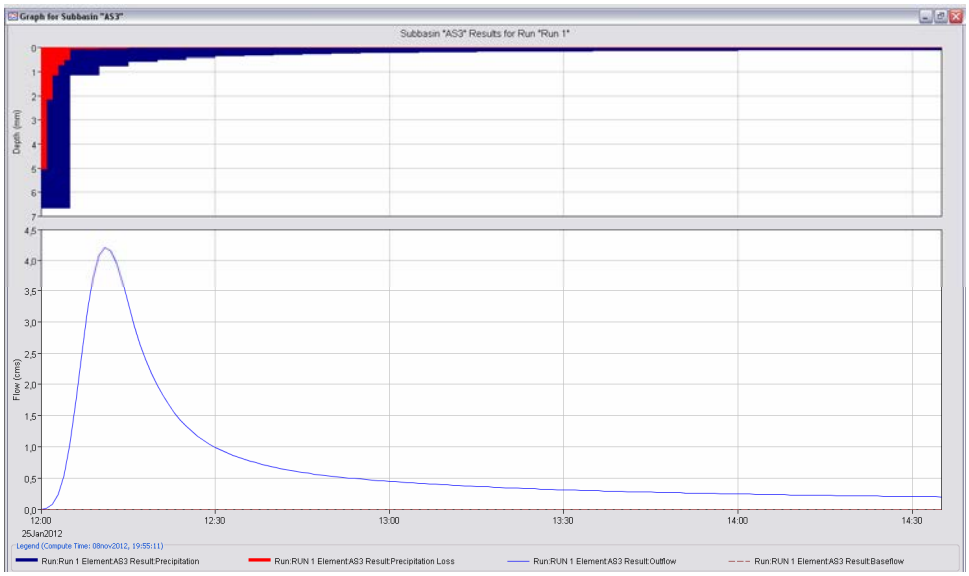

Figura 31 Idrogramma di piena comparto AS3

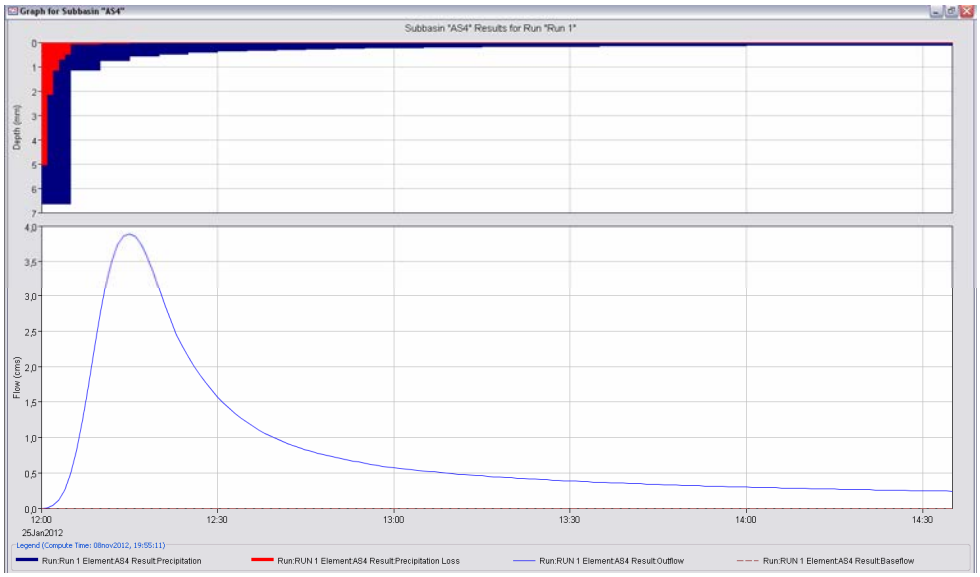

Figura 32 Idrogramma di piena comparto AS4

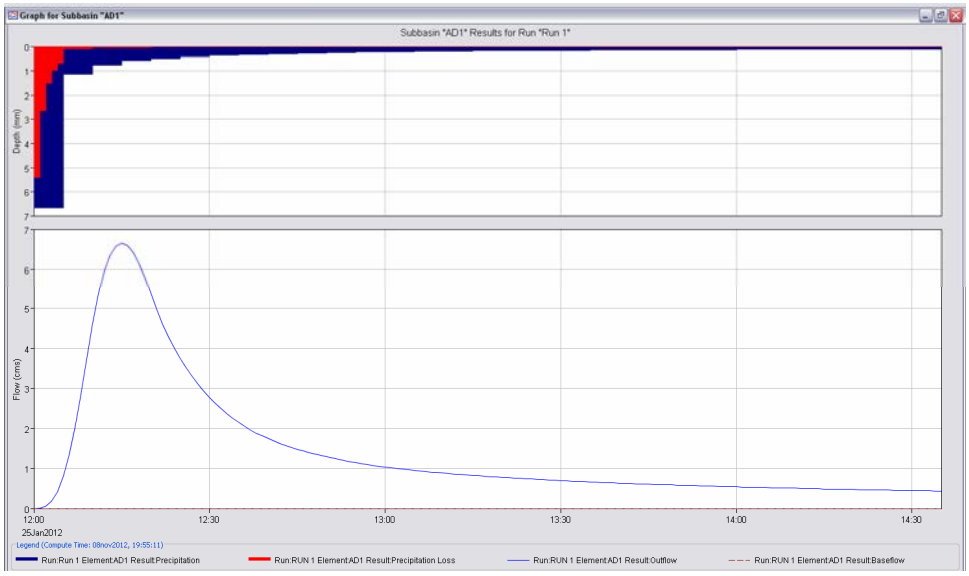

Figura 33 Idrogramma di piena comparto AD1

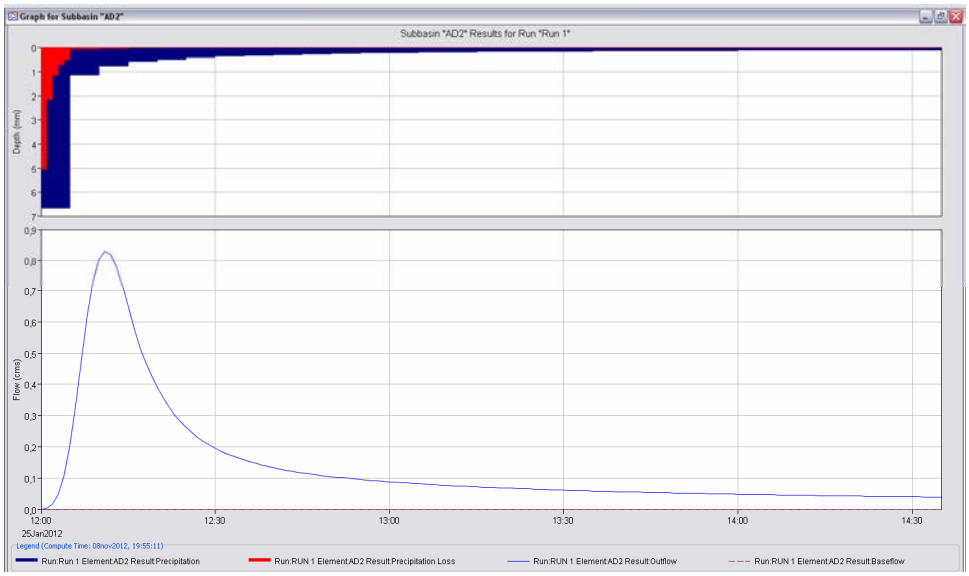

Figura 34 Idrogramma di piena comparto AD2

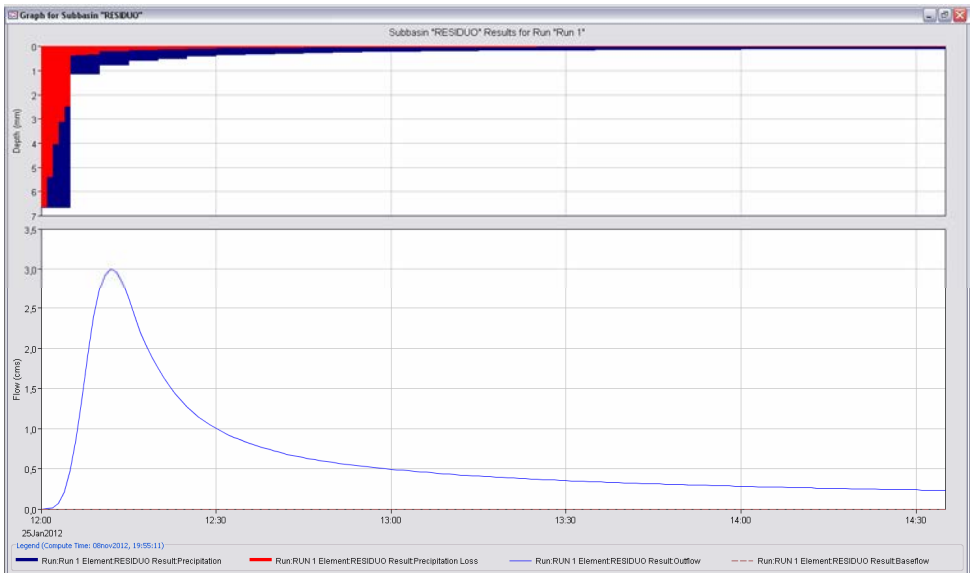

Figura 35 Idrogramma di piena comparto RESIDUO

4.6. Confronto fra i risultati delle portate ottenute con i metodi di stima considerati.

I modelli di stima delle massime portate forniscono risultati che vengono messi a confronto nella tabella seguente, per il tempo di ritorno T=100 anni.

Tr 100	VA.PI. (m^3/sec)	RAZIONALE (m^3/sec)	SCS-CN(III) (m^3/sec)	SCS-CN(II) (m^3/sec)
Monte	19,44	20,98	35,2	23,2
As1	-	1,80	1,6	1,2
As2	-	5,05	4,7	3,4
As3	-	4,38	4,2	3,0
As4	-	3,96	3,9	2,8
Ad1	-	7,12	6,7	4,8
Ad2	-	0,86	0,8	0,6
Residuo	-	1,16	2,0	1,1

Il modello VAPI fornisce risultati molto simili al Metodo Razionale ma risulta inapplicabile per i sottocomparti che funzionano come reti di drenaggio urbano, il modello SCS-CN nella condizione AMCIII (evento critico che si manifesta su suolo bagnato per precedenti piogge) porta ad una portata di picco maggiore dei due metodi alternativi per i comparti con suoli non urbanizzati (Monte e Residuo) e fornisce portate in buon accordo col Metodo Razionale per i comparti urbani.
Il modello SCS-CN nella condizione standard AMCII, fornisce portate molto più simili ai metodi VAPI e Razionale per i comparti agricoli e sottostima i comparti urbani rispetto al Metodo Razionale.
Le simulazioni in moto permanente del tratto di fosso interessato verranno condotte con le portate determinate secondo il metodo SCS-CN in condizione AMCIII e AMCII.

4.7. Idrogramma di piena alle sezioni di interesse.

Il fosso Taccone nel tratto oggetto dello studio di dettaglio di cui al presente lavoro è interessato dalla confluenza in alveo di numerosi recapiti di fognature urbane ed è alimentato da un bacino principale a monte dell'abitato di Montecchio di estensione pari a circa 6,5 km^2; i tempi di corrivazione dei tratti di fognatura e del bacino principale sono enormemente diversi tra loro e sono stati stimati ai paragrafi precedenti in 0,202 e 0,289 ore per i tratti fognari e di 2,518 ore per il bacino principale.
Questo significa che i picchi di portata per i sottocomparti individuati sono estremamente sfasati dal punto di vista temporale in quanto i tratti fognari hanno portate massime per eventi di pioggia della

durata di circa 15 minuti mentre la massima portata del bacino di monte si manifesta per eventi di durata maggiore di due ore; ne deriva che non è possibile la semplice somma delle portate massime dei vari subcomparti affluenti per determinare la portata da smaltire ad una generica sezione del fosso.

Al fine di ricostruire il profilo di corrente in moto permanente del tratto di fosso in studio occorre quindi determinare la propagazione dell'onda di piena lungo il canale, questo equivale a ricavare in ogni sezione interessata la portata affluente in funzione del tempo.

L'operazione è stata affrontata tramite modellazione dei sottobacini e dei loro punti di confluenza tramite il software HEC-HMS già descritto ed utilizzato ai paragrafi precedenti, il programma consente di simulare processi di trasformazione afflussi-deflussi in sistemi idrografici a struttura ramificata ed è applicabile a bacini di ogni dimensione, forma e caratteristiche morfologiche e di uso del suolo.

La modellazione prevede per i sottobacini i dati tabulati ai paragrafi precedenti, le valutazioni numeriche sono condotte in base al metodo SCS-CN utilizzando la condizione AMCIII che prevede che l'evento piovoso critico avvenga in condizioni di suolo già bagnato per precipitazioni precedenti, i singoli sottocomparti sono stati uniti tramite connessioni a formare lo schema di drenaggio dell'intero bacino, gli elementi giunzione (junktion) a cui i collegamenti recapitano rappresentano le sezioni di interesse al fine della modellazione in moto permanente del tratto di fosso.

Nel modello si sono trascurate le perdite per infiltrazione ed evaporazione lungo i tratti di fosso, quindi nei tratti di collegamento avviene esclusivamente trasporto di liquido senza modifiche delle quantità dello stesso, i dati in uscita della presente modellazione sono gli idrogrammi di piena delle singole giunzioni che rappresentano le portate di verifica del modello idraulico del fosso analizzato in condizioni di moto permanente.

Alle figure seguenti si riporta lo schema grafico della modellazione in HEC-HMS.

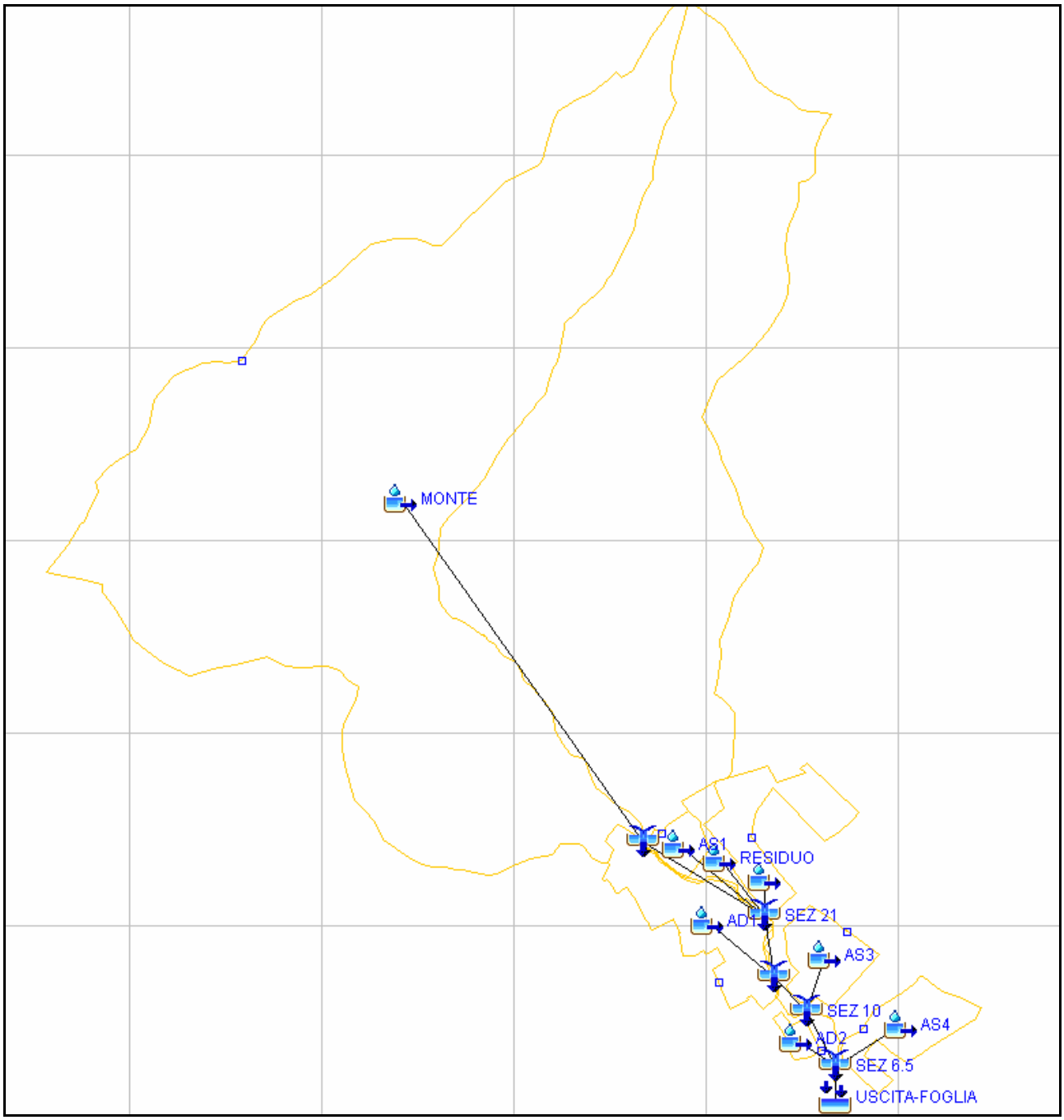
MONTE
AS1
RESIDUO
AD1
SEZ 21
AS3
SEZ 10
AS4
AD2
SEZ 6.5
USCITA-FOGLIA

Figura 36

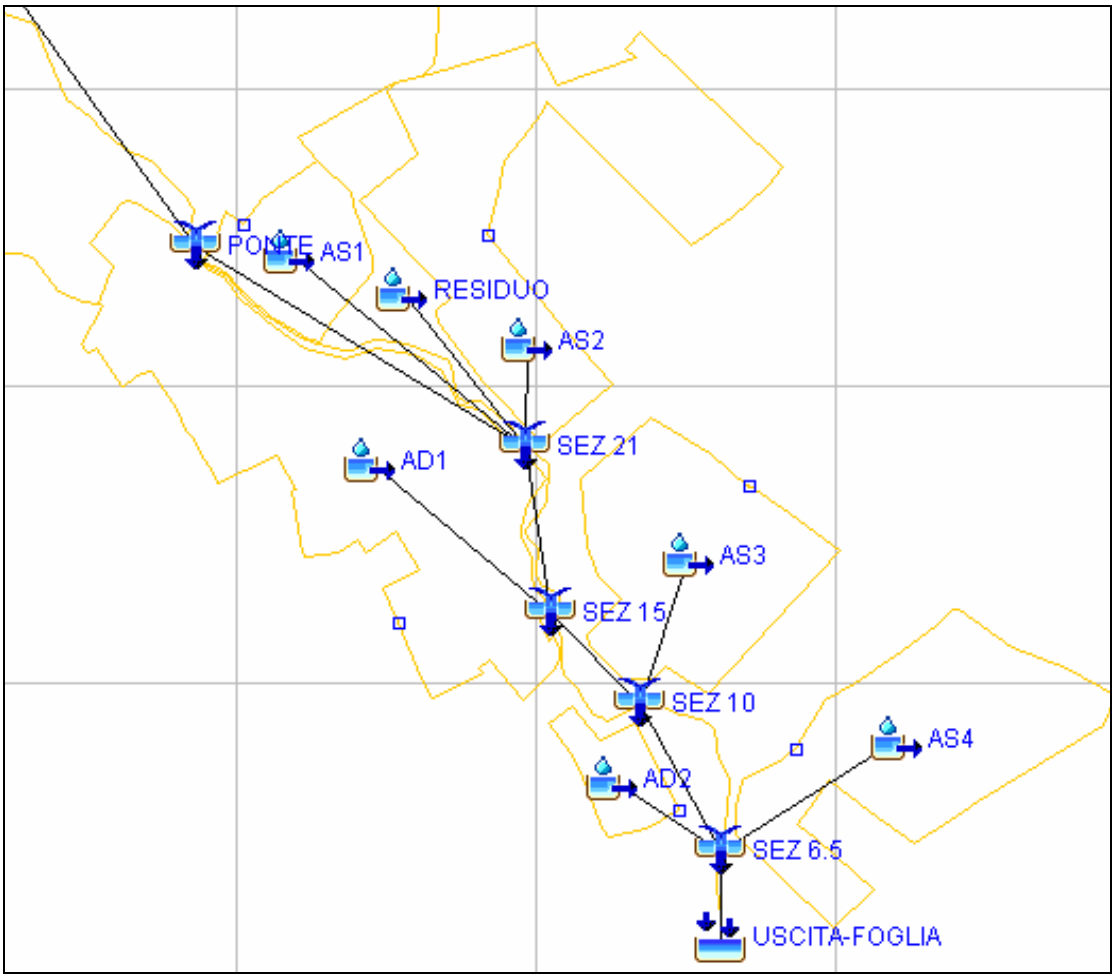

Figura 37

Per quanto riguarda i dati in ingresso si sono considerati i seguenti parametri per i sottobacini

Nome	CNIII	S (mm)	Ia (mm)	Lg (min)	CNII	S (mm)	Ia (mm)	Lg (min)
Monte	92	22	3,30	90,642	83	52	7,80	90,642
As1	95	13	1,95	7,272	90	28	4,20	7,272
As2	95	13	1,95	10,404	90	28	4,20	10,404
As3	96	11	1,65	7,272	91	25	3,75	7,272
As4	96	11	1,65	10,404	91	25	3,75	10,404
Ad1	95	13	1,95	10,404	90	28	4,20	10,404
Ad2	96	11	1,65	7,272	91	25	3,75	7,272
Residuo	87	38	5,69	7,272	74	89	13,35	7,272

L'evento di pioggia è dato dalla curva di possibilità climatica determinata al paragrafo 1.2 per il tempo di ritorno di 100 anni introdotto nel programma HEC-HMS con una scansione temporale di 5 minuti, la simulazione prevede un tempo di 155 minuti con inizio in data convenzionale del 25-01-2012 alle 12:00.

Data, ora	Altezza pioggia (mm) Tr=100 anni
25gen2012, 12:00	0,00
25gen2012, 12:05	33,28
25gen2012, 12:10	39,09
25gen2012, 12:15	42,95
25gen2012, 12:20	45,91
25gen2012, 12:25	48,35
25gen2012, 12:30	50,44
25gen2012, 12:35	52,28
25gen2012, 12:40	53,92
25gen2012, 12:45	55,42
25gen2012, 12:50	56,79
25gen2012, 12:55	58,06
25gen2012, 13:00	59,25
25gen2012, 13:05	60,36
25gen2012, 13:10	61,40
25gen2012, 13:15	62,40
25gen2012, 13:20	63,34
25gen2012, 13:25	64,23
25gen2012, 13:30	65,09
25gen2012, 13:35	65,91
25gen2012, 13:40	66,70
25gen2012, 13:45	67,46
25gen2012, 13:50	68,20
25gen2012, 13:55	68,90
25gen2012, 14:00	69,59
25gen2012, 14:05	70,25
25gen2012, 14:10	70,89
25gen2012, 14:15	71,52
25gen2012, 14:20	72,12
25gen2012, 14:25	72,71
25gen2012, 14:30	73,29
25gen2012, 14:35	73,85

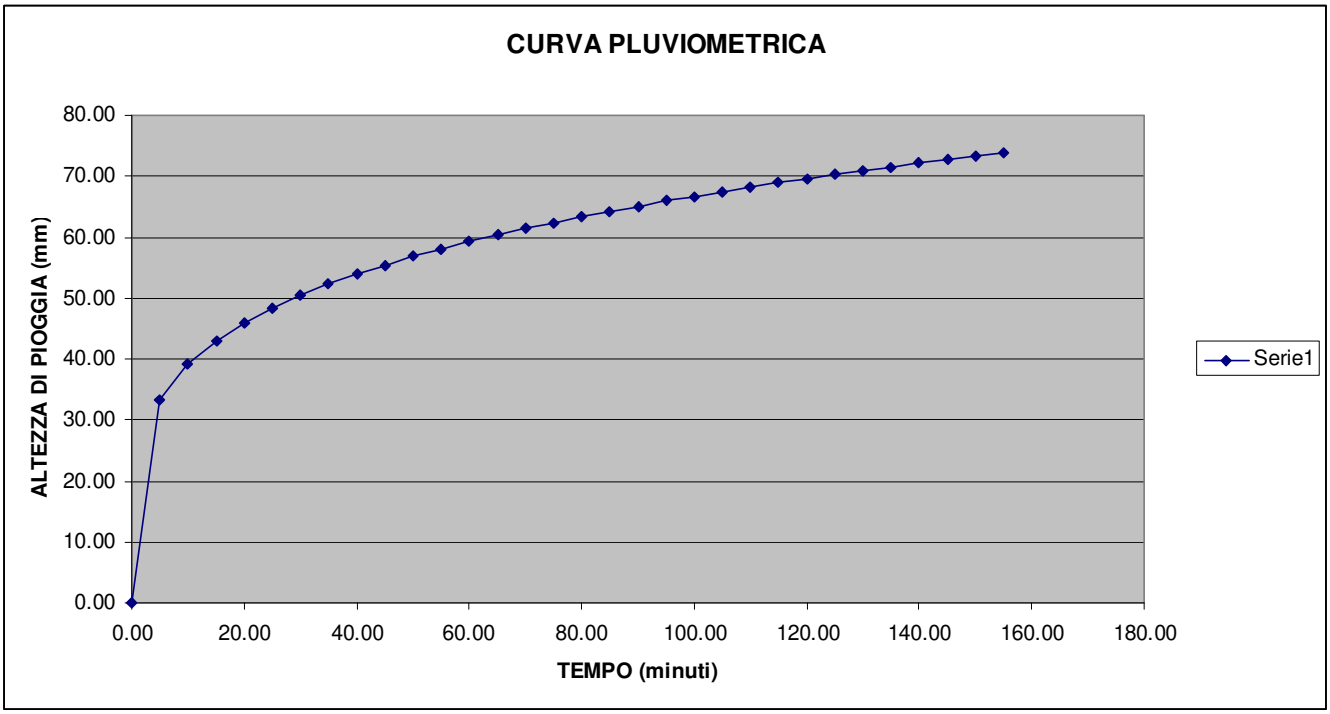

Figura 38

4.8. Risultato della modellazione.

I risultati della simulazione rispecchiano la peculiarità del bacino affluente che presenta nel tratto studiato la sovrapposizione delle portate di tratti di fognatura urbana con tempi di corrivazione brevissimi (12-17 minuti) e di un bacino a monte dell'abitato di Montecchio quasi totalmente agricolo e con tempo di corrivazione di più di due ore.

Si prenda ad esempio l'idrogramma alla sezione denominata "PONTE" in cui affluisce solo il comparto di monte:

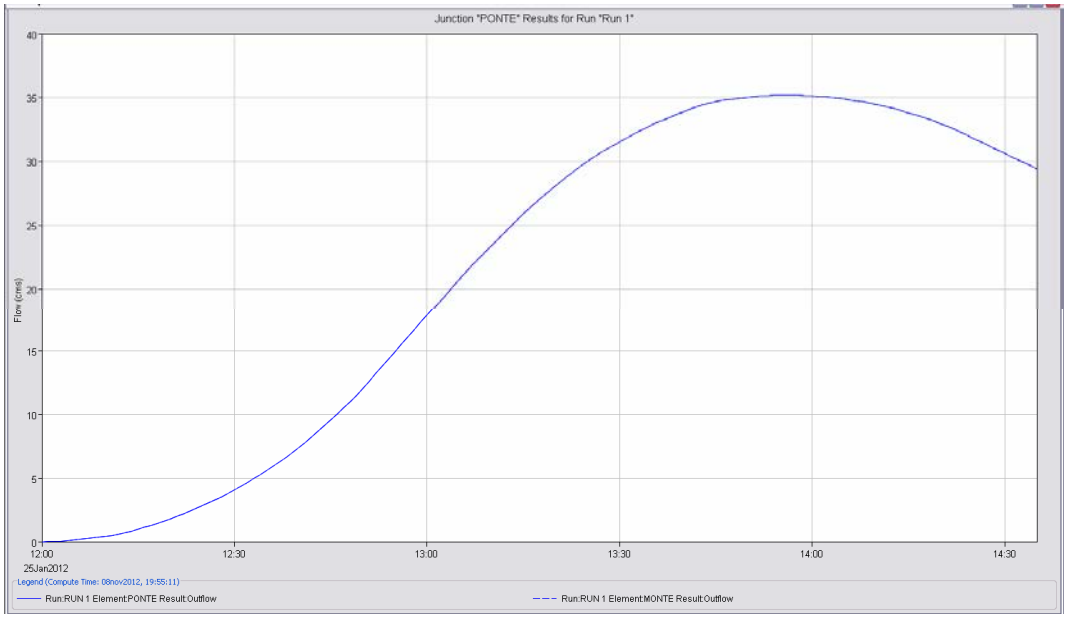

Figura 39

si vede come l'andamento segue la forma canonica dell'onda di piena di un bacino naturale.

Prendendo in esame la sezione 10 si nota invece la notevole influenza sul tratto iniziale dell'idrogramma delle portate quasi istantanee delle reti fognanti a valle della sezione precedente.

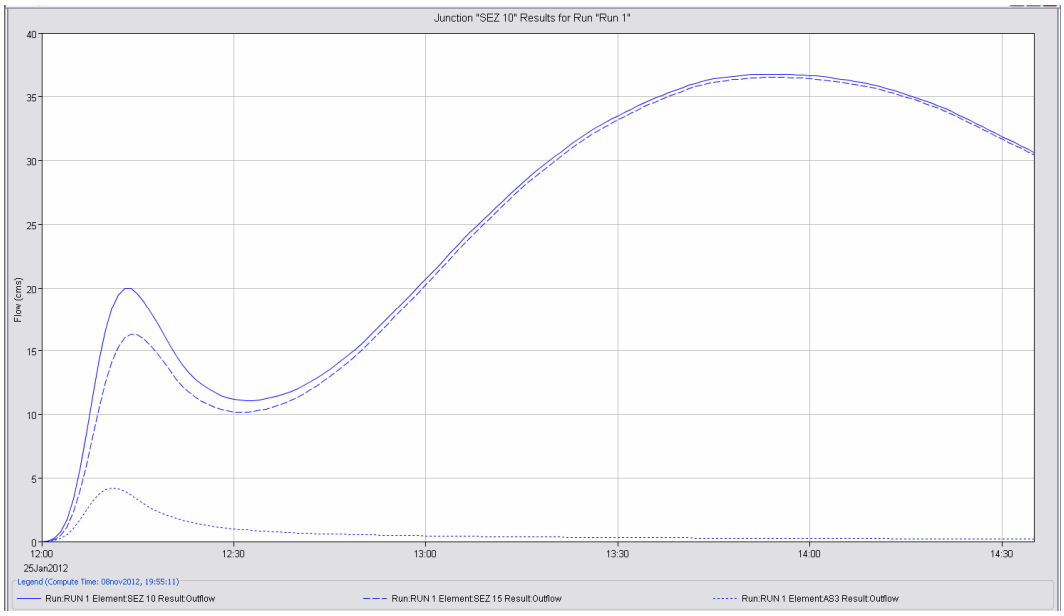

Figura 40

Comunque la portata massima si ha quando arriva il picco di piena del bacino principale a monte del paese in quanto in nessun caso la portata iniziale congiunta dei tratti di fognatura riesce ad assumere valori paragonabili ad esso.
Alla tabella seguente si riportano le portate massime da smaltire alle sezioni di interesse:

Sezione	**Tr 100 anni Qmax AMCIII (m^3/sec)**	**Tr 100 anni Qmax AMCII (m^3/sec)**
21	36,0	23,8
15	36,5	24,3
10	36,8	24,5
6	37,1	24,8

Queste sono le portate che verranno introdotte per la verifica del livello di piena nel fosso in regime di moto permanente.
Si allegano alle figure seguenti i diagrammi degli idrogrammi di piena delle sezioni di interesse per il tempo di ritorno di 100 anni e per la condizione AMCIII.

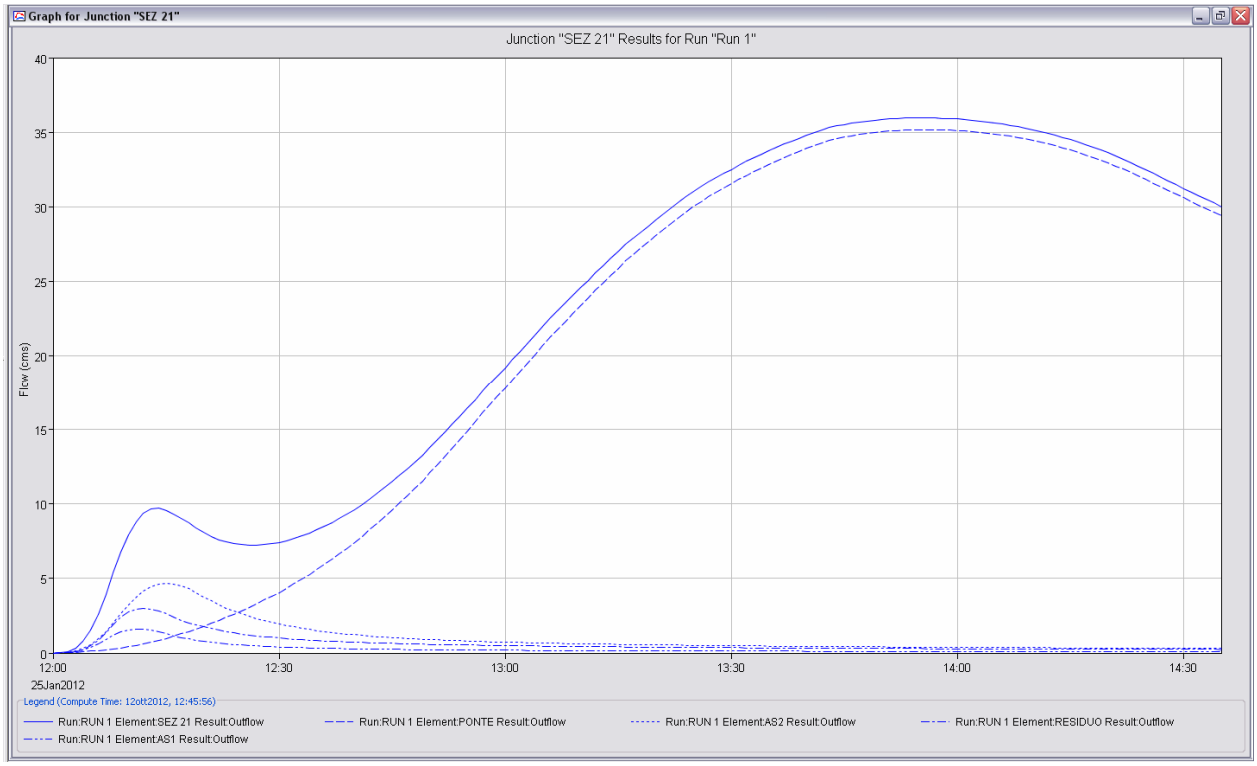

Figura 41 – sezione 21 Tr=100 anni

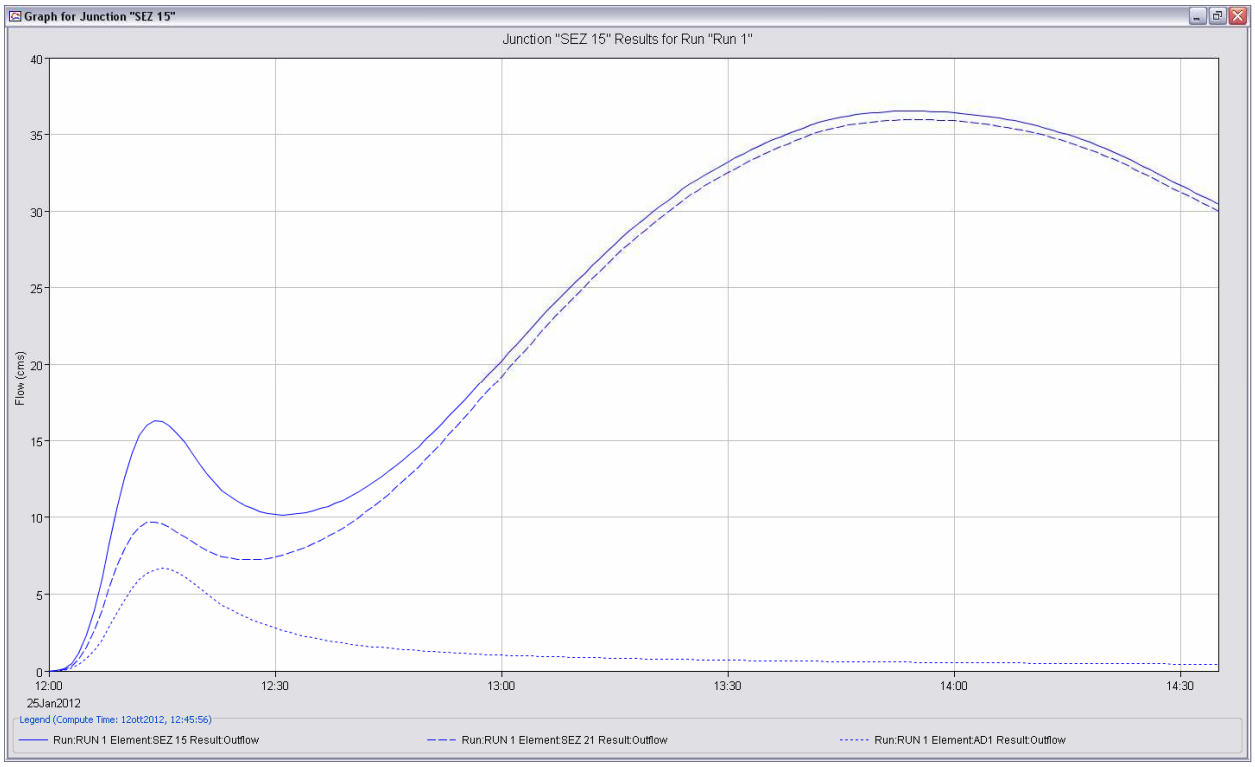

Figura 42 – sezione 15 Tr=100 anni

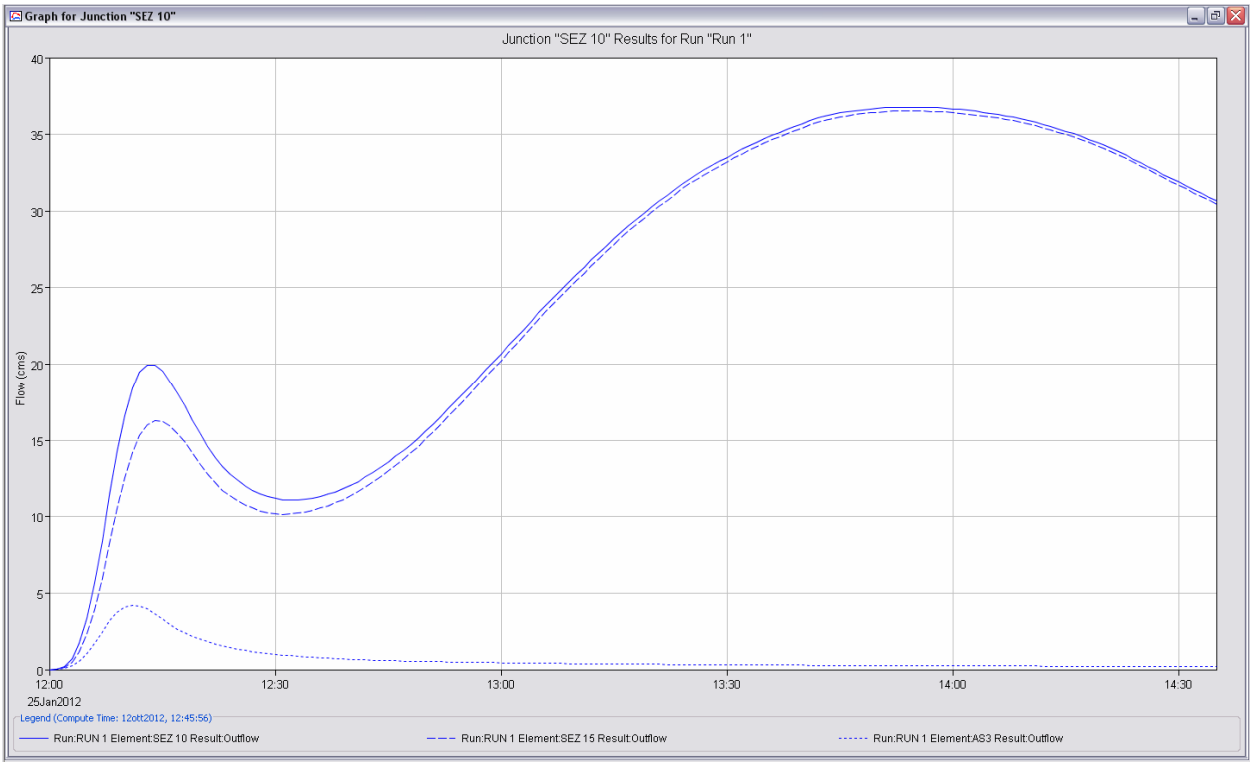

Figura 43 – sezione 10 Tr=100 anni

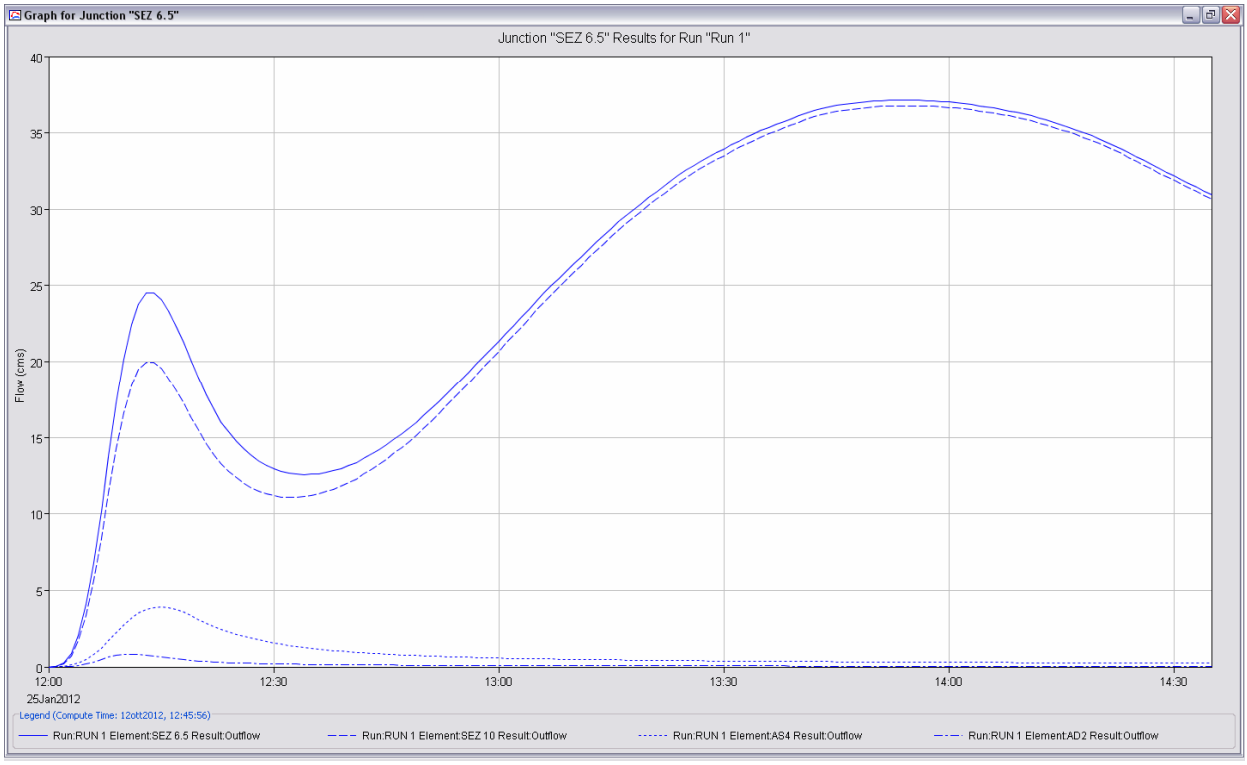

Figura 44 – sezione 6 Tr=100 anni

5. Appendice "C"Modellazione idraulica del fosso Taccone.

5.1. Tratto di fosso modellato.

Il tratto di maggiore interesse ai fine del presente studio è l'attraversamento stradale su via Mazzini in cui il fosso Taccone risulta intubato con una condotta in acciaio corrugato ed il tratto subito a monte di questo manufattopresenta la sponda in destra idrografica molto più bassa rispetto alla sinistra.

La modellazione si è avvalsa di un rilievo topografico specifico in base al quale si sono ricostruite 14 sezioni trsversali poste ad interasse di circa 60 metri e che coprono il tratto di fosso compreso tra via Mazzini e via Dell'Industria; sezioni dalla 8 alla 21 del modello.

La condotta in lamiera d'acciaio corrugato (tipo Finsider) è stata misurata e risulta di sezione ellittica con asse maggiore di 4,33 m e asse minore di 4,00 m, entrambe le misure sono al netto della sagomatura della lamiera che risulta essere di 5,5 cm per lato.

L'intubamento è compreso fra le sezioni 7 e 8 del modello.

Le sezioni rilevate sono state agganciate, come quote, ad un rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:1.000 recente (volo dell'anno 2004) dal quale sono poi state tratte anche informazioni aggiuntive circa zone non accessibili al rilievo topografico.

Per il tratto a valle di via Mazzini e fino alla congiunzione del fosso col fiume Foglia si sono utilizzate le sezioni ricavate da rilievi effettuati in occasione di due precedenti progetti:

- il piano particolareggiato del comparto Mp3
- la proposta di urbanizzazione comparto Mp7 per la realizzazione di un edificio produttivo

anche in questo caso le sezioni ottenute da precedenti rilevazioni sono state agganciate alle quote della planimetria aerofotogrammetrica del 2004: le sezioni derivate dalla elaborazione dei rilievi relativi a precedenti progetti sono quelle dalla 1 alla 7 del modello.

La sezione 6.5 è stata ricostruita dalla planimetria fotogrammetrica e non rilevata.

Recentemente è stato realizzato un riporto di terreno, regolarmente autorizzato, nella zona compresa tra le sezioni dalla 2 alla 5; queste sezioni sono state aggiornate in quanto il loro stato rilevato non corrisponde più allo stato dei luoghi, nell'aggiornamento si è fatto riferimento allo stato di progetto del progetto approvato.

Nella figura seguente si è riportato il tratto di fosso modellato evidenziato da una polilinea azzurra con sovrapposte le sezioni numerate e la cui traccia è evidenziata dalla linea arancio.

La base cartografica è quella del volo del 2004 in cui sono stati aggiunti (in base alle posizioni rilevate) gli edifici industriali in sinistra idrografica, non presenti al tempo del volo.

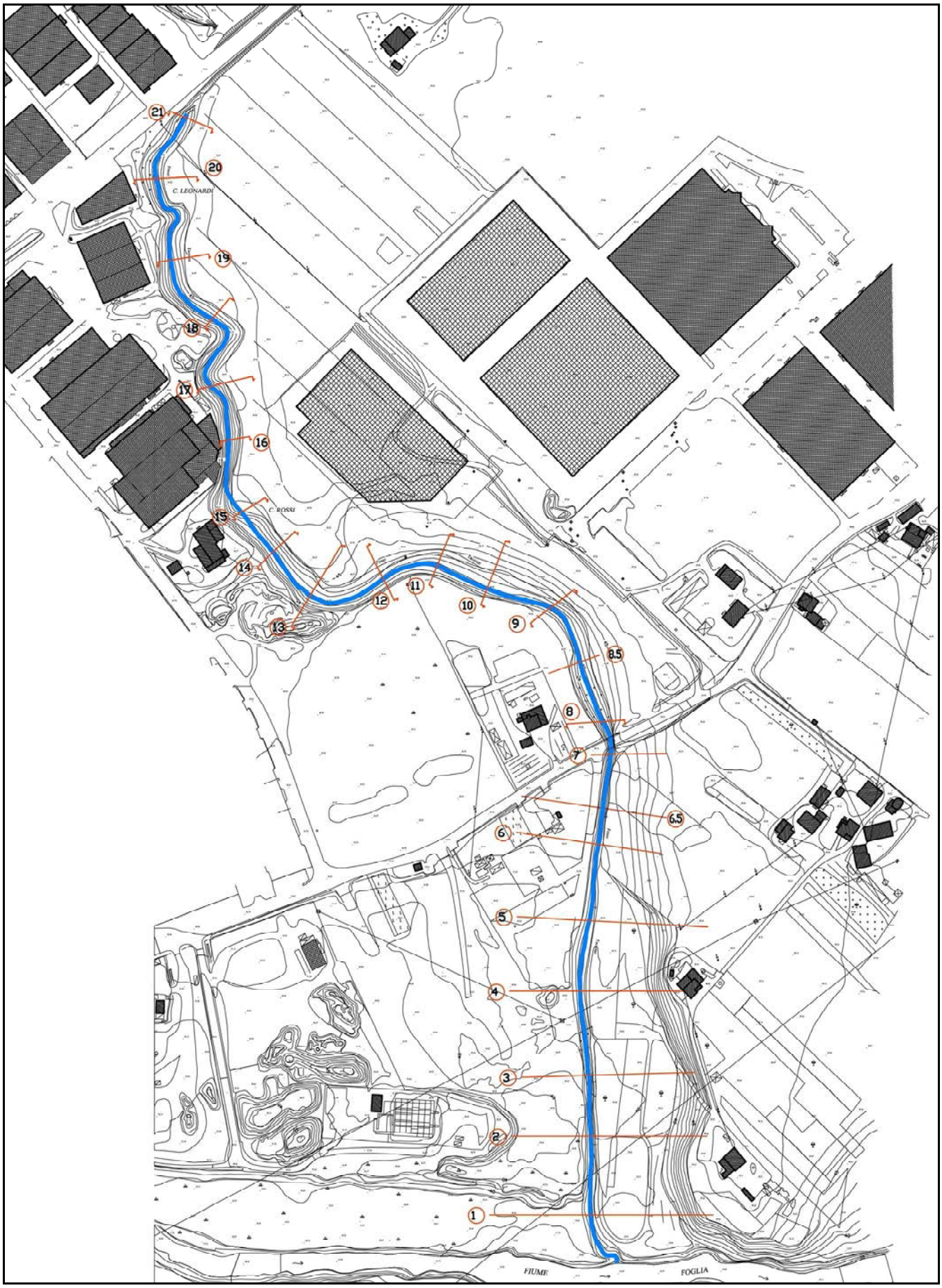
21
20
C. LEONARDI
19
18
17
16
C. ROSSI
15
14
13
12
11
10
9
8.5
8
7
6.5
6
5
4
3
2
1
FIUME
FOGLIA

Figura 45

5.2. Modello numerico.

In generale il problema del calcolo del profilo liquido, assegnata una portata Q, può essere affrontato secondo le equazioni dell'idraulica con diversi modelli di calcolo:

- moto uniforme
- moto permanente
- moto vario

Nello schema di moto vario sia le portate sia i profili liquidi variano nello spazio e nel tempo, è il modello più complesso con cui descrivere la propagazione dell'onda di piena lungo l'alveo, data la difficoltà di impostare un simile modello vi si ricorre esclusivamente per affrontare problemi specifici in cui la portata varia rapidamente nel tempo, come per esempio lo studio degli effetti del crollo di una diga.

Nello schema a moto permanente si accetta la semplificazione, rispetto al moto vario, per cui la portata è costante rispetto al tempo, i profili liquidi sono quindi determinati in funzione solamente della geometria delle sezioni del canale che si succedono lungo l'asse dello stesso.

Lo schema a moto uniforme ipotizza inoltre, rispetto al moto permanente, che la geometria del canale rimanga ugale lungo il percorso, in tal caso il livello è costante per tutte le sezioni ed il profilo di corrente è parallelo al fondo dell'alveo.

Nella realtà la variabilità delle sezioni, per forma, dimensioni e pendenze e la presenza di singolarità (come possono essere i manufatti in alveo) rendono impropria la modellazione in moto uniforme, nella maggior parte dei casi pratici è quindi necessario ricorrere alla schematizzazione secondo le equazioni del moto permanente.

Per la modellazione e risoluzione del calcolo idraulico in moto permanente del tratto di fosso in studio nel presente lavoro si è utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS (versione 4.1 del gennaio 2010) sviluppato dal Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineer per il calcolo dei profili di rigurgito per una rete idrica costituita indifferentemente da corsi d'acqua naturali e da canali artificiali.

Il programma permette di calcolare i profili idraulici unidimensionali sia in moto permanente che in moto vario, modellando anche l'inserimento di manufatti (come ponti, tombini, argini ecc) che possono interagire con il deflusso.

Le simulazioni possono contemplare sia il caso di corrente lenta sia di corrente veloce oppure anche il caso di corrente mista con procedure iterative di risoluzione delle equazioni di equilibrio della quantità di moto atte a gestire il passaggio da corrente veloce a corrente lenta.

Le perdite valutate sono quelle per attrito secondo la formulazione di Manning e quelle causate da contrazione ed espansione del flusso.

Per il caso in esame si è ricorsi allo schema di moto permanente ipotizzando il moto gradualmente variato e la portata costante.
Nello specifico il codice di calcolo risolve l'equazione del moto:

$$Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_e$$

dove

Y_1, Y_2 livelli liquidi nella sezione 1 e 2;

Z_1, Z_2 quota del talweg nelle sezioni 1 e 2;

V_1, V_2 velocità media nelle sezioni 1 e 2;

α_1, α_2 coefficiente di correzione della velocità nelle sezioni 1 e 2;

h_e perdite di carico fra la sezione 1 e 2;

Il programma ricorre all'utilizzo dell'equazione del momento in casi particolari, quando il moto risulta non gradualmente variato.
Il programma permette anche la modellazione di manufatti quali i tombini, come vengono chiamati i tubi in cui viene convogliato il deflusso in corrispondenza di attraversamenti stradali, le perdite di carico provocate da tali manufatti sono dovute essenzialmente alle perdite di imbocco, di sbocco e a quelle distribuite.
Le perdite di imbocco si hanno a monte del manufatto dove il flusso viene costretto ad entrare nel manufatto; le perdite di sbocco si hanno all'uscita della struttura, dove si ha un'espansione del flusso; infine le perdite distribuite sono quelle causate dall'attrito del fluido con le pareti del tubo o eventualmente del ponte qualora il livello liquido superasse la quota del ponte.
Il modello generale del corso d'acqua richiede in ingresso profili e sezioni trasversali, i dati di portata immessa alla prima sezione ed in tutte le sezioni in cui siano definibili variazioni della portata stessa, oltre alle condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.
Alla figura seguente si riporta lo schema generale del modello geometrico del tratto di fosso, le sezioni contrassegnate con un asterisco (*) e di colore più tenue sono ottenute per interpolazione da quella precedente e successiva (rilevate) tramite la apposita procedura automatica fornita dal programma.

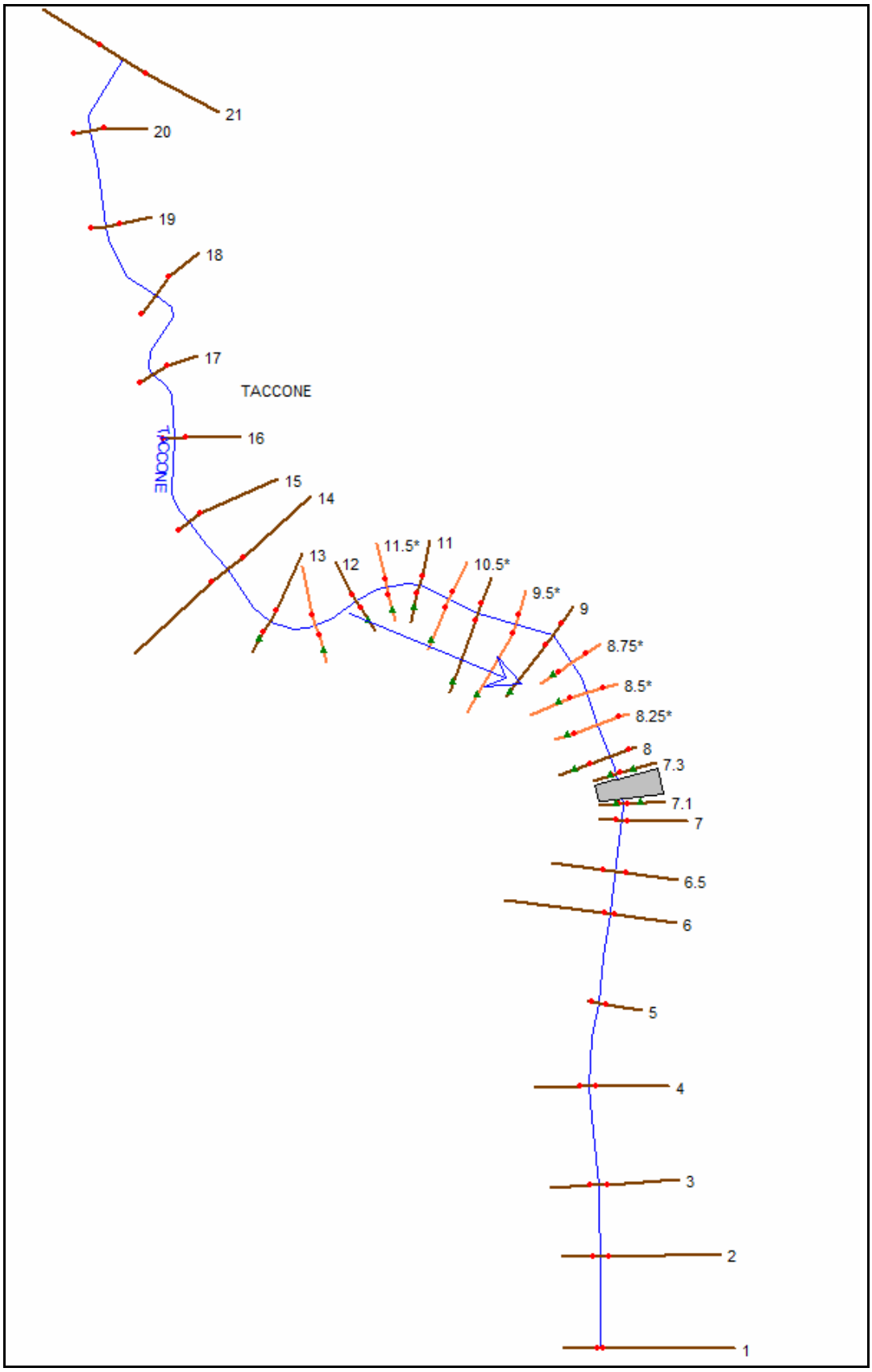
21
20
19
18
17
TACCONE
16
TACCONE
15
14
13
12
11.5*
11
10.5*
9.5*
9
8.75*
8.5*
8.25*
8
7.3
7.1
7
6.5
6
5
4
3
2
1

Figura 46

I parametri di modellazione del tombino sono riportati alla seguente immagine estratta dalla schermata di HAC-RAS.

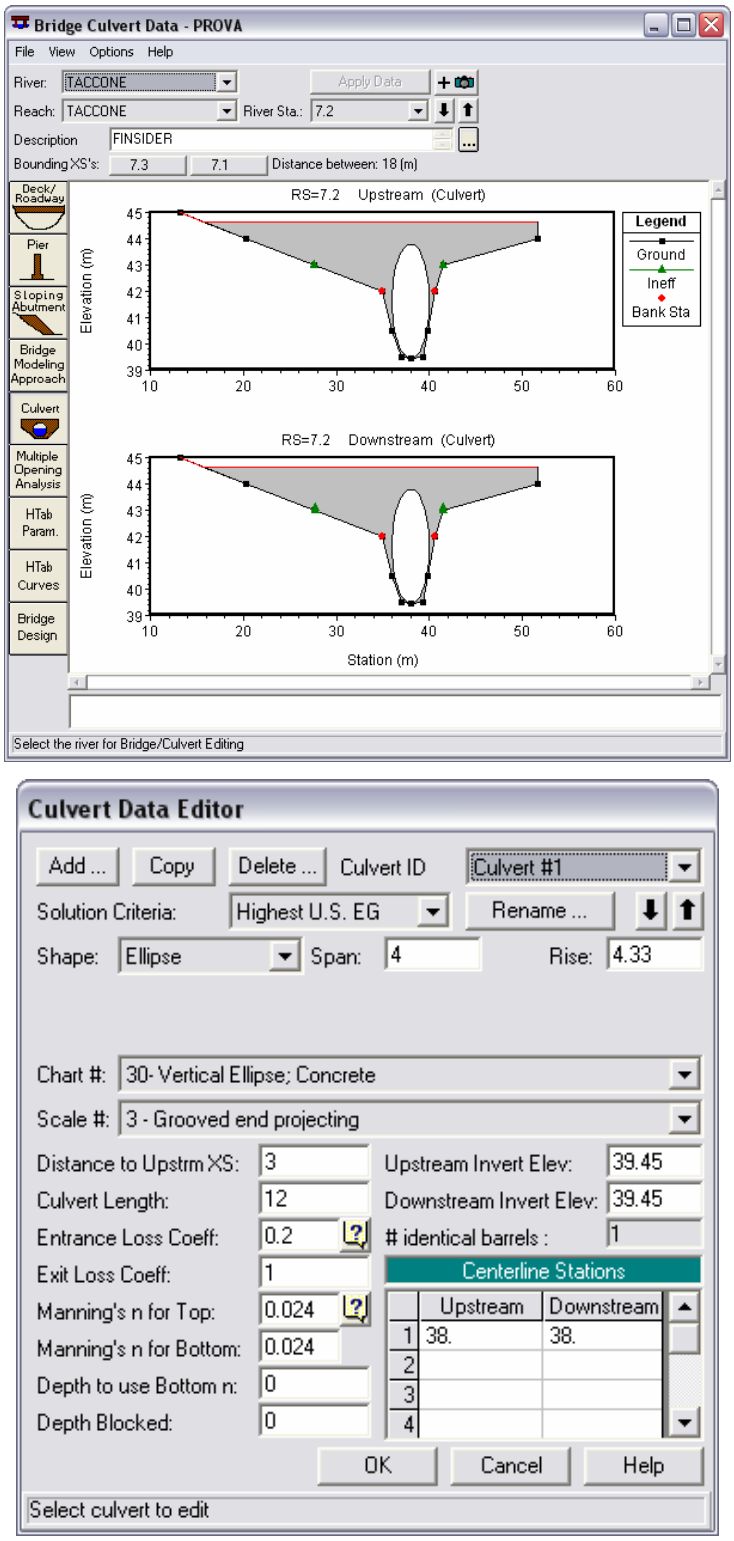

Figura 47

La scelta del “Entrance Loss Coeff.” è dettata dal fatto che la sezione del tubo è paragonabile alla sezione del fosso in tal punto e non si hanno perdite considerevoli per restringimento del flusso come nel caso classico in cui la sezione dell’attraversamento è molto minore di quella del canale.

Alla figura seguente si riporta una sezione tipo della modellazione del tratto di fosso con i parametri di base del calcolo idraulico.

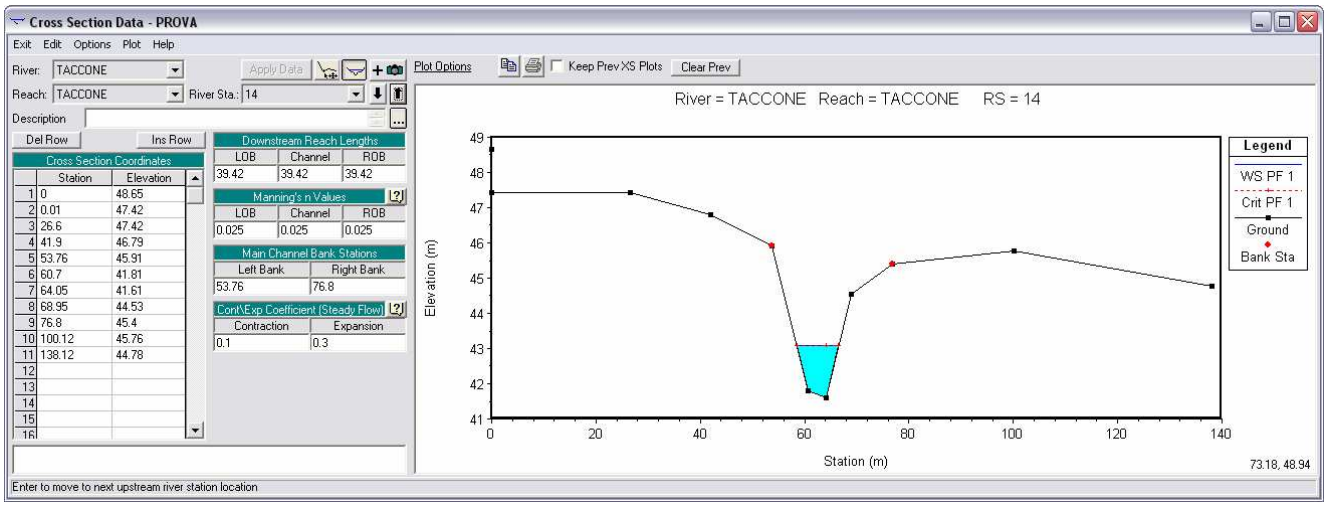

Figura 48

I profili di corrente e l'ingombro planimetrico delle aree allagate vengono determinate per la condizione corrispondente al tempo di ritorno di 100 anni; le portate in ingresso alle varie sezioni in base a quanto ricavato ai capitoli precedenti sono le seguenti:

Sezione	**Tr 100 anni Qmax AMCIII (m^3/sec)**
21	36,0
15	36,5
10	36,8
6	37,1

Alle figure seguenti si allegano le tabelle di ingresso delle portate inserite nella modellazione idraulica del tratto di fosso studiato, le tabelle con i dati in uscita del calcolo in moto permanente e le planimetrie con evidenziate le aree sommerse nelle varie condizioni di calcolo.
A valle il perimetro di esondazione, come risultante dalla simulazione idraulica, viene interrotto quando incontra il perimetro dell'area esondabile individuata dal PAI.

Flow Change Location				
	River	Reach	RS	PF 1
1	TACCONE	TACCONE	21	36
2	TACCONE	TACCONE	15	36.5
3	TACCONE	TACCONE	10	36.8
4	TACCONE	TACCONE	6.5	37.1

Figura 49 – Portate in ingresso condizione AMCIII

HEC-RAS Plan: ARGINE River: TACCONE Reach: TACCONE Profile: PF 1 — Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TACCONE	21	PF 1	36.00	43.26	45.50	45.10	45.86	0.003145	2.65	13.56	8.95	0.69
TACCONE	20	PF 1	36.00	43.20	45.39	45.02	45.70	0.003088	2.48	14.50	10.76	0.68
TACCONE	19	PF 1	36.00	42.68	44.78	44.77	45.42	0.006882	3.54	10.16	7.95	1.00
TACCONE	18	PF 1	36.00	42.60	44.92	44.22	45.13	0.001663	2.06	17.50	10.91	0.52
TACCONE	17	PF 1	36.00	42.20	44.71	44.23	45.01	0.002602	2.42	14.89	10.16	0.64
TACCONE	16	PF 1	36.00	41.73	44.06	44.06	44.80	0.007680	3.81	9.45	6.48	1.01
TACCONE	15	PF 1	36.50	41.37	43.24	43.49	44.25	0.013269	4.46	8.18	6.37	1.26
TACCONE	14	PF 1	36.50	41.61	43.43	43.43	44.02	0.006629	3.40	10.75	9.14	1.00
TACCONE	13	PF 1	36.50	41.07	43.46	43.00	43.73	0.002458	2.30	15.89	11.68	0.63
TACCONE	12.5*	PF 1	36.50	40.87	43.41	42.84	43.66	0.002108	2.23	16.36	10.94	0.58
TACCONE	12	PF 1	36.50	40.68	43.27	42.74	43.59	0.002536	2.50	14.66	9.70	0.62
TACCONE	11.5*	PF 1	36.50	40.52	43.28	42.62	43.53	0.001776	2.22	16.79	12.70	0.54
TACCONE	11	PF 1	36.50	40.36	43.29	42.45	43.48	0.001217	1.94	19.61	14.23	0.45
TACCONE	10.5*	PF 1	36.50	40.29	43.30	42.32	43.45	0.000894	1.74	22.70	19.78	0.40
TACCONE	10	PF 1	36.80	40.23	43.31	42.18	43.42	0.000655	1.54	26.79	26.83	0.34
TACCONE	9.5*	PF 1	36.80	40.05	43.30	42.00	43.41	0.000573	1.45	28.32	31.20	0.32
TACCONE	9	PF 1	36.80	39.87	43.31	41.78	43.39	0.000414	1.20	32.45	32.72	0.27
TACCONE	8.75*	PF 1	36.80	39.77	43.31	41.69	43.38	0.000374	1.13	32.70	17.06	0.26
TACCONE	8.5*	PF 1	36.80	39.66	43.31	41.58	43.37	0.000305	1.04	35.26	17.78	0.24
TACCONE	8.25*	PF 1	36.80	39.56	43.31	41.50	43.36	0.000287	0.99	37.34	19.81	0.23
TACCONE	8	PF 1	36.80	39.45	43.30	41.42	43.35	0.000263	1.00	36.96	17.70	0.22
TACCONE	7.3	PF 1	36.80	39.45	43.17	41.80	43.34	0.000920	1.93	22.41	16.72	0.36
TACCONE	7.2		Culvert									
TACCONE	7.1	PF 1	36.80	39.45	42.48	41.80	42.87	0.002738	2.80	13.82	9.55	0.59
TACCONE	7	PF 1	36.80	39.45	41.95	41.95	42.79	0.008903	4.05	9.09	5.51	1.01
TACCONE	6.5	PF 1	37.10	39.00	42.12	41.72	42.38	0.002828	2.23	16.69	14.88	0.64
TACCONE	6	PF 1	37.10	38.93	41.79	41.79	42.27	0.004742	3.25	13.34	14.68	0.79
TACCONE	5	PF 1	37.10	38.82	40.54	41.02	41.77	0.016354	4.92	7.55	6.96	1.51
TACCONE	4	PF 1	37.10	38.70	40.78	40.57	41.00	0.002828	2.29	19.36	23.34	0.65
TACCONE	3	PF 1	37.10	38.40	40.58	40.42	40.83	0.002704	2.38	18.25	21.21	0.64
TACCONE	2	PF 1	37.10	38.07	40.06	40.01	40.64	0.006130	3.37	11.00	8.58	0.95
TACCONE	1	PF 1	37.10	37.69	40.00	40.00	40.25	0.004660	2.71	19.03	34.87	0.66

Figura 50 – Tabella dati in uscita analisi idraulica, condizione AMCIII.

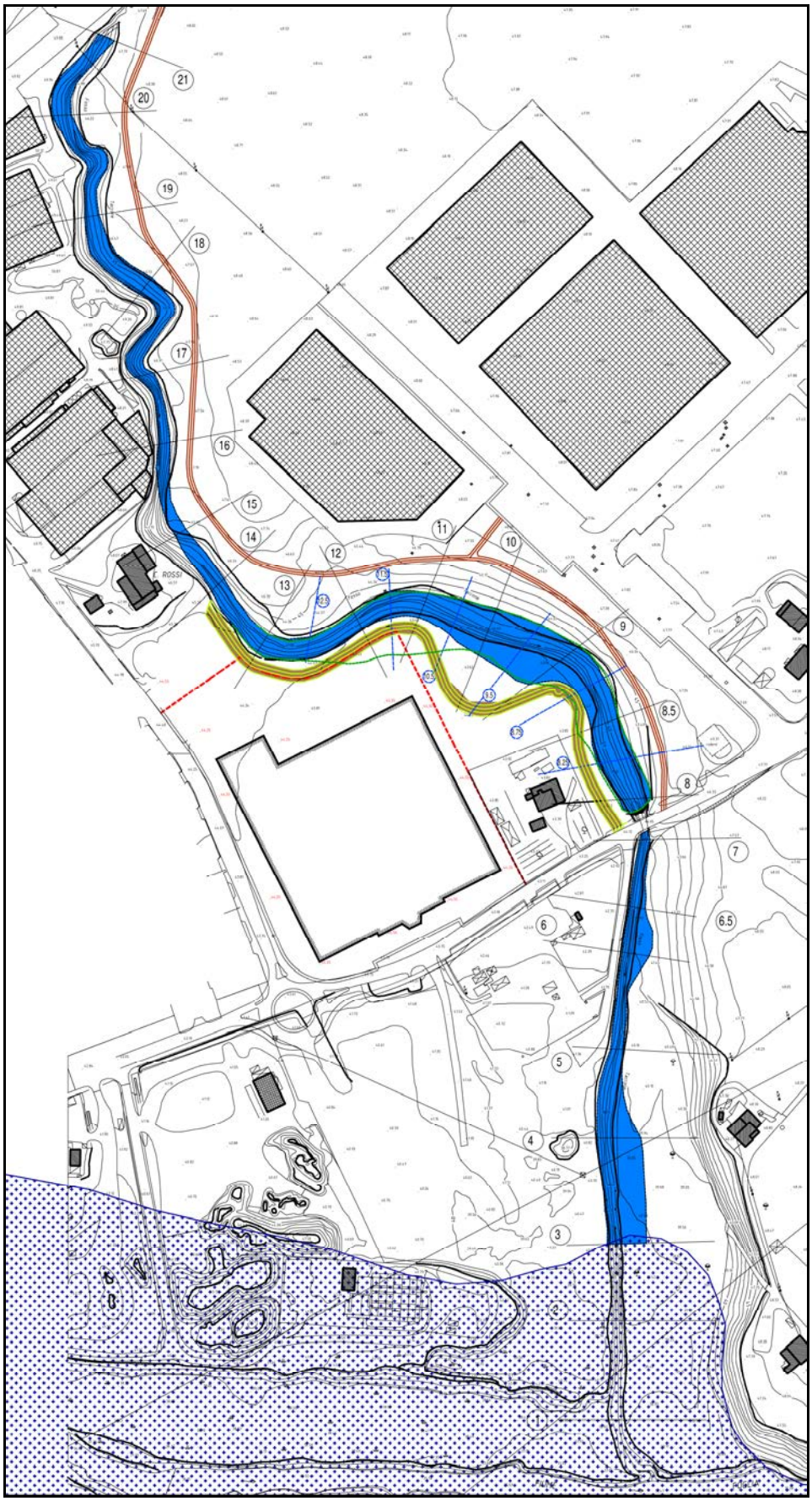

Figura 51 – Tr = 100 anni, condizione AMCIII.

5.3. Verifica del modello.

Una operazione fondamentale per la stima dell'attendibilità dei modelli posti a base delle simulazioni idrauliche è la verifica degli stessi su situazioni reali, questo presuppone la conoscenza di due dati fondamentali:

- il dato pluviometrico dell'evento di pioggia da simulare
- l'idrogramma sulla sezione di verifica

per quanto riguarda il fosso Taccone non esistono misure di portata in alcun punto del suo percorso, si verifica comunque la capacità del modello matematico di simulare la condizione di deflusso a valle dell'attraversamento stradale su via Mazzini in base ad una immagine con data e ora da cui è agevole una stima del livello dell'acqua nel tubo in lamiera corrugata.

Figura 52

Da misurazione diretta si è rilevato che la fila di bulloni vicina all'uscita del tubo è posta alla quota di 135 cm dal fondo mentre quella a quota superiore è posta a 160 cm dal fondo, è inoltre noto il diametro della condotta in pvc visibile che risulta essere 100 cm; quindi, come evidenziato nella figura seguente, dalla comparazione fra le varie grandezze rappresentate si ottiene una stima della distanza fra il pelo libero della corrente e la quota nota della fila di bullonature.
Tale misura risulta essere pari a 23,5 cm, che equivale a dire che la corrente in quel punto ha una altezza dal fondo di 135-23,5 = 111,5 cm

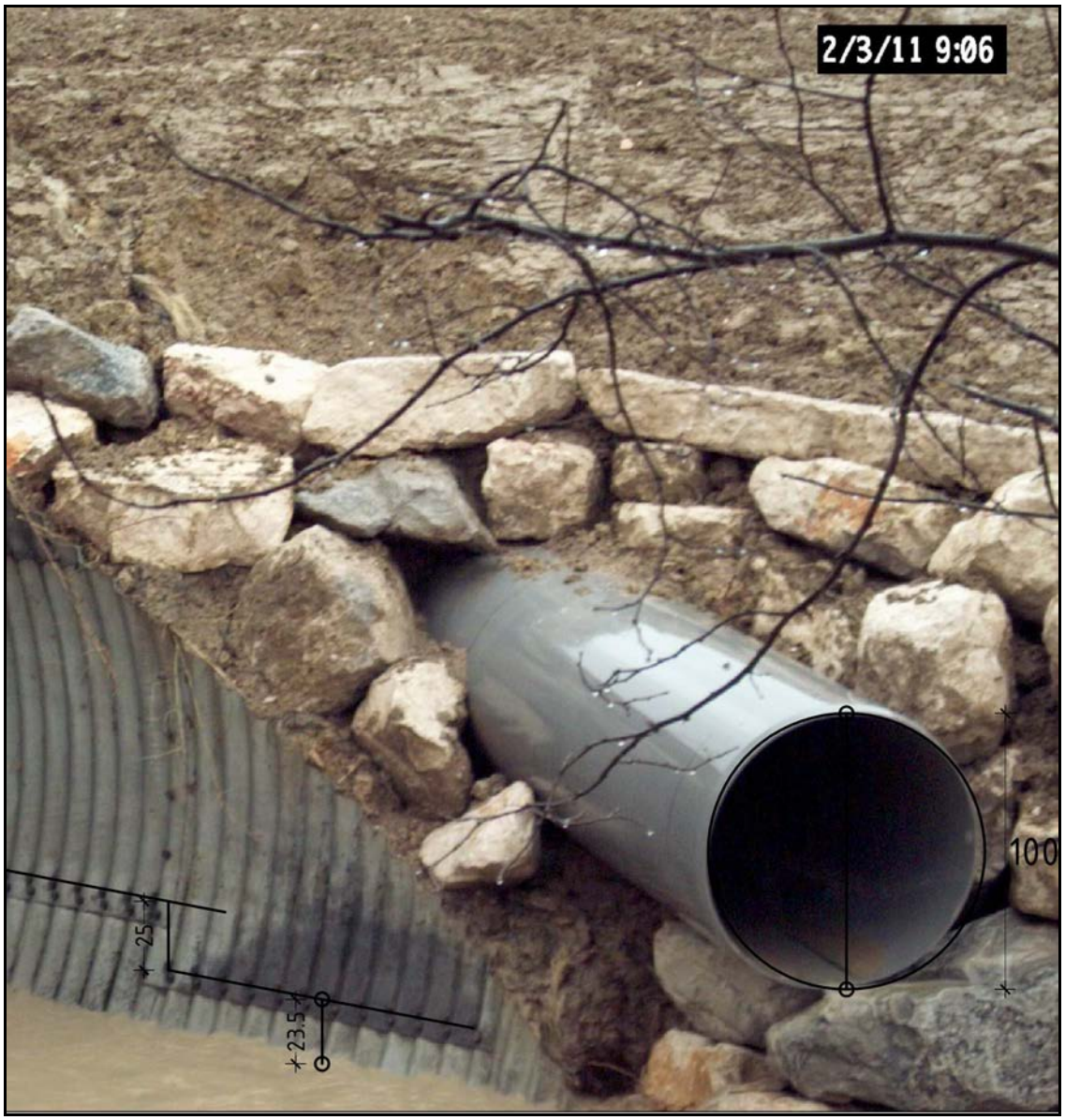

Figura 53

Il dato pluviometrico con cui sollecitare il modello matematico è stato preso dal Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) del Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e Protezione Civile della Regione Marche prendendo i dati pluviometrici relativi alla stazione di Montecchio (attiva dal 30-11-2009) per il periodo che va dalle ore 16:00 del giorno 28 Febbraio 2011 fino alle ore 10:30 del giorno 02 Marzo 2011.
Alla tabella seguente sono riportati i dati di cui sopra:

OSSERVAZIONI STAZIONE DI MONTECCHIO

DATA INIZIO: 2011-28-02 16:00
DATA FINE: 2011-02-03 10:30

CODICE SENSORE	ANNO	MESE	GIORNO	ORA	MINUTI	PRECIPITAZIONE (mm)	CUMULATA (mm)
2820	2011	2	28	16	00	0.00	0.00
2820	2011	2	28	16	30	0.20	0.20
2820	2011	2	28	17	00	0.20	0.40
2820	2011	2	28	17	30	0.80	1.20
2820	2011	2	28	18	00	0.40	1.60
2820	2011	2	28	18	30	0.80	2.40
2820	2011	2	28	19	00	1.00	3.40
2820	2011	2	28	19	30	1.00	4.40
2820	2011	2	28	20	00	1.40	5.80
2820	2011	2	28	20	30	1.20	7.00
2820	2011	2	28	21	00	1.40	8.40
2820	2011	2	28	21	30	2.20	10.60
2820	2011	2	28	22	00	2.40	13.00
2820	2011	2	28	22	30	1.60	14.60
2820	2011	2	28	23	00	0.40	15.00
2820	2011	2	28	23	30	0.20	15.20
2820	2011	2	28	0	00	0.20	15.40
2820	2011	3	1	0	30	0.80	16.20
2820	2011	3	1	1	0	0.40	16.60
2820	2011	3	1	1	30	0.20	16.80
2820	2011	3	1	2	0	0.20	17.00
2820	2011	3	1	2	30	0.60	17.60
2820	2011	3	1	3	0	0.00	17.60
2820	2011	3	1	3	30	0.00	17.60
2820	2011	3	1	4	0	0.40	18.00
2820	2011	3	1	4	30	0.20	18.20
2820	2011	3	1	5	0	0.00	18.20
2820	2011	3	1	5	30	0.20	18.40
2820	2011	3	1	6	0	0.00	18.40
2820	2011	3	1	6	30	0.00	18.40
2820	2011	3	1	7	0	0.40	18.80
2820	2011	3	1	7	30	0.60	19.40
2820	2011	3	1	8	0	0.40	19.80
2820	2011	3	1	8	30	0.20	20.00
2820	2011	3	1	9	0	0.40	20.40
2820	2011	3	1	9	30	0.20	20.60
2820	2011	3	1	10	0	0.40	21.00
2820	2011	3	1	10	30	1.00	22.00
2820	2011	3	1	11	0	0.80	22.80
2820	2011	3	1	11	30	0.60	23.40
2820	2011	3	1	12	0	0.80	24.20
2820	2011	3	1	12	30	0.60	24.80
2820	2011	3	1	13	0	0.40	25.20
2820	2011	3	1	13	30	0.60	25.80
2820	2011	3	1	14	0	1.20	27.00
2820	2011	3	1	14	30	0.80	27.80
2820	2011	3	1	15	0	1.00	28.80
2820	2011	3	1	15	30	1.00	29.80
2820	2011	3	1	16	0	1.00	30.80
2820	2011	3	1	16	30	1.00	31.80
2820	2011	3	1	17	0	0.80	32.60

2820	2011	3	1	17	30	1.20	33.80
2820	2011	3	1	18	0	1.60	35.40
2820	2011	3	1	18	30	1.20	36.60
2820	2011	3	1	19	0	1.20	37.80
2820	2011	3	1	19	30	0.80	38.60
2820	2011	3	1	20	0	1.20	39.80
2820	2011	3	1	20	30	2.60	42.40
2820	2011	3	1	21	0	2.40	44.80
2820	2011	3	1	21	30	2.20	47.00
2820	2011	3	1	22	0	2.20	49.20
2820	2011	3	1	22	30	1.80	51.00
2820	2011	3	1	23	0	2.00	53.00
2820	2011	3	1	23	30	2.20	55.20
2820	2011	3	2	0	0	2.60	57.80
2820	2011	3	2	0	30	2.00	59.80
2820	2011	3	2	1	0	2.60	62.40
2820	2011	3	2	1	30	1.80	64.20
2820	2011	3	2	2	0	2.80	67.00
2820	2011	3	2	2	30	2.80	69.80
2820	2011	3	2	3	0	2.80	72.60
2820	2011	3	2	3	30	2.80	75.40
2820	2011	3	2	4	0	2.80	78.20
2820	2011	3	2	4	30	2.60	80.80
2820	2011	3	2	5	0	2.00	82.80
2820	2011	3	2	5	30	1.40	84.20
2820	2011	3	2	6	0	1.00	85.20
2820	2011	3	2	6	30	0.60	85.80
2820	2011	3	2	7	0	0.60	86.40
2820	2011	3	2	7	30	1.40	87.80
2820	2011	3	2	8	0	0.80	88.60
2820	2011	3	2	8	30	1.40	90.00
2820	2011	3	2	9	0	1.20	91.20
2820	2011	3	2	9	30	1.60	92.80
2820	2011	3	2	10	0	1.00	93.80
2820	2011	3	2	10	30	0.40	94.20

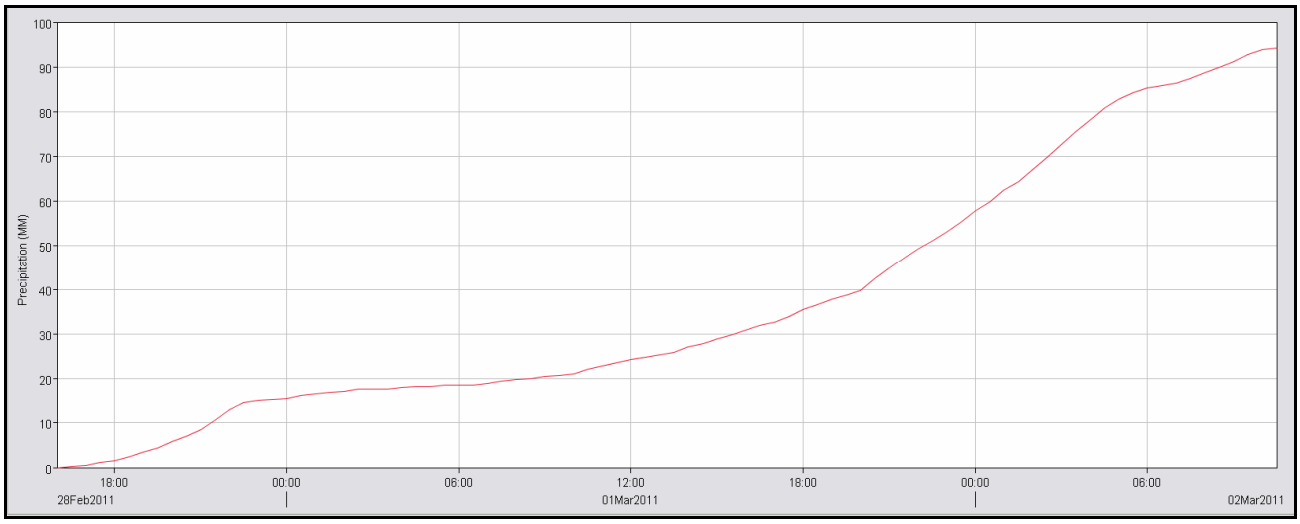

Figura 54

Il modello in HEC-HMS ’viene analizzato in condizione AMCIII in quanto nei giorni precedenti si sono avute precipitazioni per 12 mm nella settimana precedente e di 22 mm nei 15 giorni precedenti.

I dati dei sottocomparti sono quelli della tabella sottostante:

Nome	CNIII	S (mm)	Ia (mm)	Lg (min)
Monte	92	22	3,30	90,642
As1	95	13	1,95	7,272
As2	95	13	1,95	10,404
As3	96	11	1,65	7,272
As4	--	--	--	--
Ad1	95	13	1,95	10,404
Ad2	87	38	5,69	7,272
Residuo	87	38	5,69	7,272

Come si vede il subcomparto As4 non contribuisce in quanto al tempo non collegato alla fognatura, il subcomparto Ad2 è ricondotto a suolo agricolo.

Alla figura seguente l’idrogramma di piena alla sezione 10 che è quella a monte dell’attraversamento.

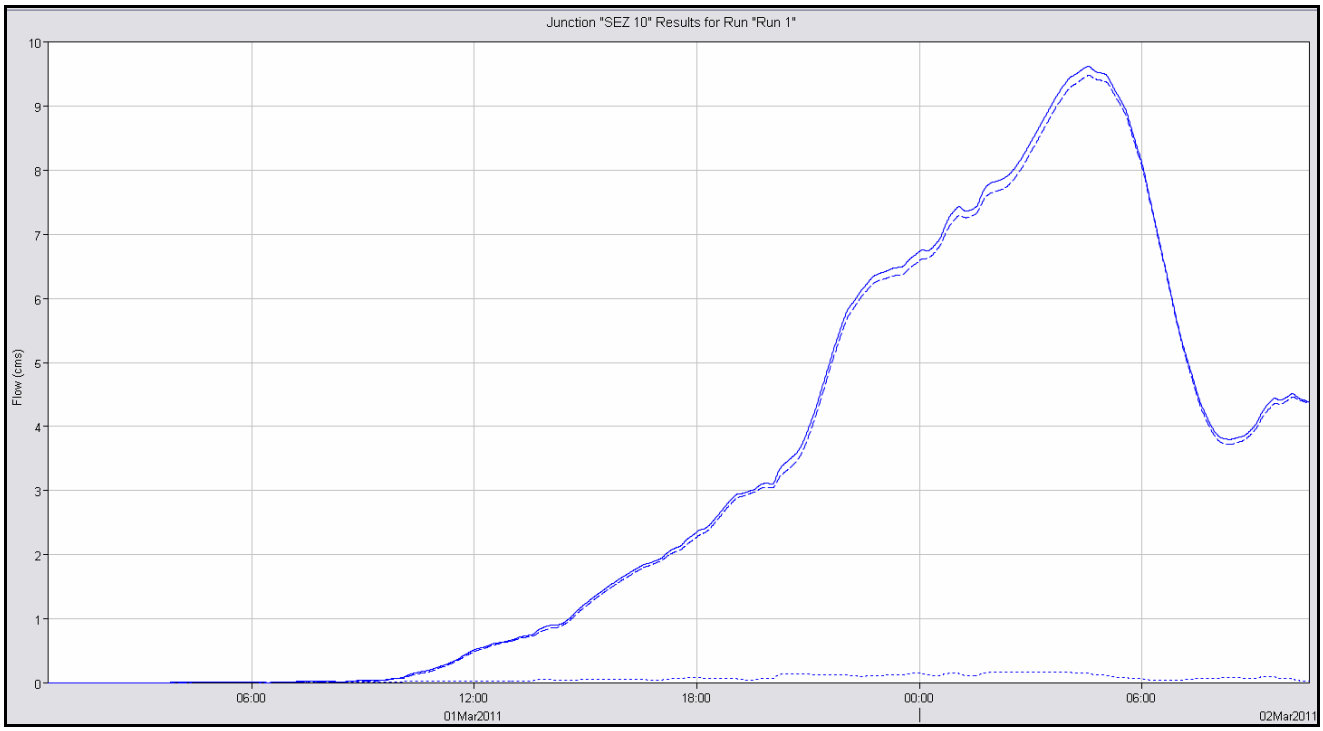

Figura 55

Le portate determinate per l’evento di pioggia del 28 Febbraio 2011 – 02 Marzo 2011 sono poi state immesse nel modello in moto permanente in HEC-RAS; la figura seguente riporta la sezione di sbocco dell’attraversamento con la relativa quota della corrente.

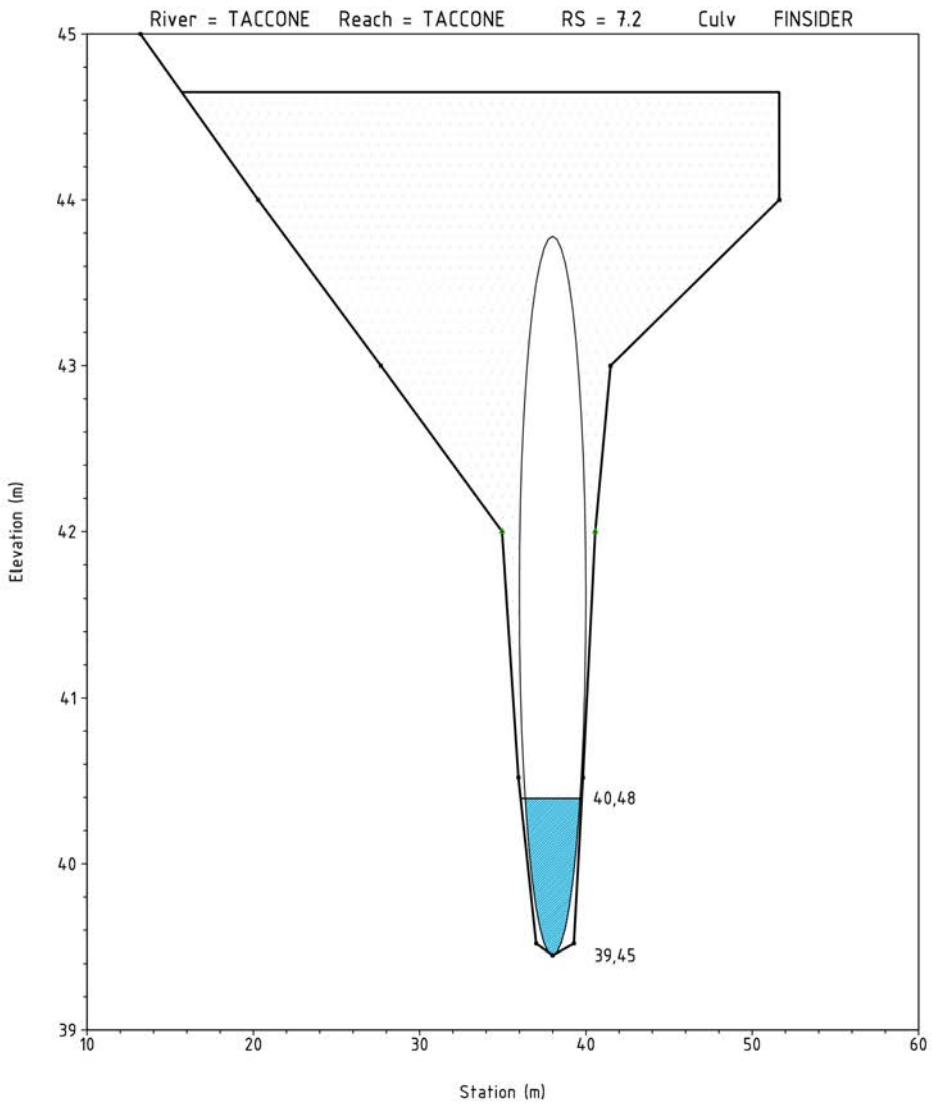

Figura 56

Dalla sezione in HEC-RAS si determina il livello della corrente in uscita che è pari a

40,48 – 39,45 = 1,03 m = 103 cm

contro l'altezza stimata dall'immagine pari a 111,5 cm.

Date le condizioni in cui è stata condotta la simulazione di verifica il risultato si ritiene soddisfacente ed il modello realizzato è idoneo a rappresentare il tratto di fosso in studio.