



CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:

44121 Ferrara - Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381

web: www.bonificaferrara.it - e-mail: info@bonificaferrara.it

pec: posta.certificata@pec.bonificaferrara.it

aderente all'

Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

PROGETTO CENTO 2

PROGETTO ESECUTIVO

Opere di competenza della Regione Emilia Romagna
Delibera Num. 1917 del 04/11 /2019 - PRESA D'ATTO DEL "PROGRAMMA DI INTERVENTI FINALIZZATI A
FRONTEGGIARE IL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA NELLE PROVINCE DI
FERRARA, RAVENNA E ROVIGO, E NEI TERRITORI DEL DELTA DEL PO
PROPOSTO DALLE REGIONI VENETO ED EMILIA ROMAGNA"
APPROVATO CON DECRETO MIPAAFT N. 11168
E SUCCESSIVAMENTE MODIFICATO CON DECRETO N. 8874/2019
INTERVENTI STRUTTURALI PER LA SICUREZZA IDRAULICA DELL'AREA CENTESE 2° STRALCIO
Comune di Cento
CUP J35J18000320002

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

Data: **05.10.2022**

Elab.:

1.4

IL PROGETTISTA

(Dott. Ing. Valeria Chierici)



I COLLABORATORI

Dott. Ing. Laura Montanari
Geom. Cesare Formignani
Geom. Federico Sarto
Geom. Pietro Ghisellini

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Dott. Ing. Mauro Monti)

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Codice Intervento OC83
00	Progetto Esecutivo	Montanari L.	05.10.2022	
01	Progetto Esecutivo	Montanari L.	Agosto 2025	

SOMMARIO

1	PREMESSE.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DELLE ATTUALI PROBLEMATICHE DEL SISTEMA SCOLANTE	3
2.1	Inquadramento territoriale.....	3
2.2	Problematiche esistenti.....	8
3	MODELLAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA DELLA RETE CONSORTILE10	
3.1	Bacini di Scolo.....	11
3.1.1	<i>Definizione del Curve Number per ciascun bacino.....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Definizione del tempo di corrivazione per ciascun bacino.....</i>	<i>18</i>
3.2	Analisi delle piogge e generazione degli eventi sintetici.....	18
3.1	Modellazione Idrologica.....	25
3.1.1	<i>La trasformazione afflussi-deflussi</i>	<i>25</i>
3.1.2	<i>I risultati della modellazione idrologica</i>	<i>25</i>
3.2	Modellazione idrodinamica 1D.....	35
3.2.1	<i>Presentazione del sistema di scolo</i>	<i>35</i>
3.2.2	<i>Dati disponibili e campagna di rilievi topografici</i>	<i>37</i>
3.2.3	<i>La costruzione del modello</i>	<i>39</i>
3.3	RISULTATI DELLO STATO DI FATTO	47
4	INTERVENTI PROPOSTI PER MITIGARE IL RISCHIO IDRAULICO DELLA CITTÀ DI CENTO.....	50
4.1	DIVERSIVO LUNGO CON ALLACCIANTE.....	51
4.1.1	<i>Descrizione del tracciato.....</i>	<i>53</i>
4.2	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO	64

1 PREMESSE

Questa relazione fornisce un inquadramento idrologico - idraulico del Progetto esecutivo ***“Interventi strutturali per la sicurezza idraulica dell’area Centese – 2° Stralcio”***, che prosegue l’azione di riduzione del rischio idraulico legato allo smaltimento delle acque superficiali della città di Cento, già iniziata con il Progetto *“Interventi per la sicurezza idraulica della città di Cento (FE) e del suo territorio - 1° stralcio: realizzazione di invasi di accumulo a fini idraulico-ambientali”*, eseguito dallo scrivente Consorzio di Bonifica, grazie alle risorse stanziare dalla Regione Emilia-Romagna, con il cofinanziamento del Ministero dell’Ambiente e del comune di Cento, per un totale di 5 milioni di euro.

In primo luogo, questo documento riporta un inquadramento territoriale del Bacino di Cento, con caratterizzazione altimetrica, geomorfologica, pluviometrica, idraulica, funzionale e strutturale, con un focus particolare sull’area scolante prossima alla città di Cento, a cui maggiormente si imputano le carenze di drenaggio evidenziate.

In secondo luogo, l’analisi volge alla costruzione del modello idrologico – idraulico dell’area in esame, al quale saranno applicati gli isogrammi di riferimento per l’individuazione delle aree più sensibili, definendo poi le soluzioni progettuali volte a mitigare il rischio idraulico dell’abitato.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DELLE ATTUALI PROBLEMATICHE DEL SISTEMA SCOLANTE

2.1 Inquadramento territoriale

L'area oggetto degli interventi previsti dal presente Progetto è relativa al settore sud occidentale del comprensorio del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, in particolar modo ai territori del comune di Cento e in parte a quelli del comune di S. Giovanni in Persiceto. Per lo studio in oggetto tuttavia, si è modellata la rete idraulica dell'intero bacino che vede nel Canale di Cento il collettore principale di bonifica (Figura 1).

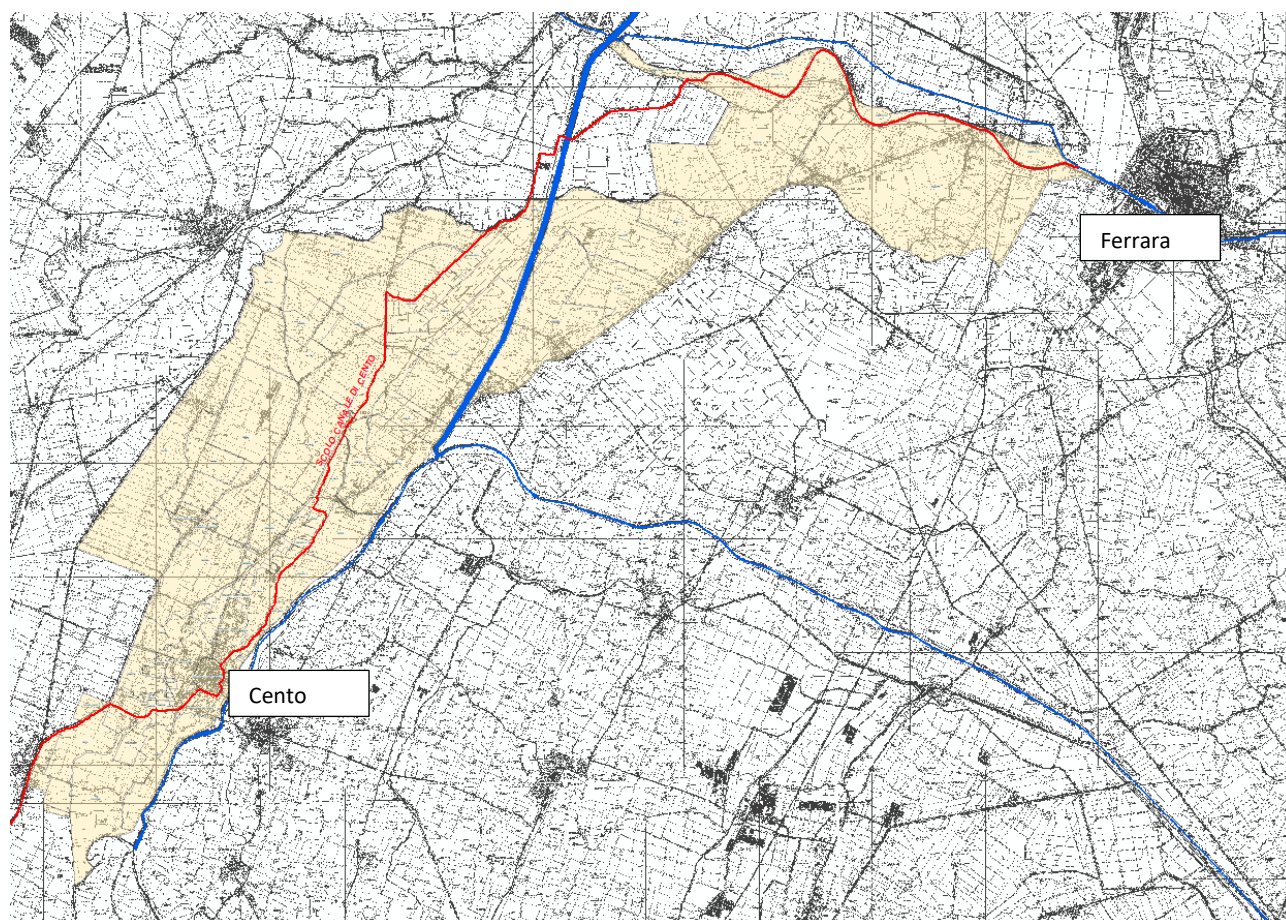


Figura 1. Bacino di scolo del Canale di Cento.

L'attuale morfologia di questo territorio è stata generata essenzialmente dall'attività dei locali elementi idrografici. Sono riconoscibili numerosi ed evidenti resti di antichi percorsi fluviali che costituiscono una rete complessa e articolata di figure dossive, che rimangono nettamente rilevate rispetto alle campagne latitanti. La principale linea di dosso, corrispondente all'antico alveo che il fiume Reno occupava fino al XV secolo, si stacca dal punto di attuale confluenza tra Reno e Samoggia, prosegue verso Nord, passando a Ovest di Cento e si dirige infine verso Renazzo, XII Morelli e Alberone. Da questa si dirama, in direzione Nord-Est, una serie

di linee rilevate alternate a relative depressioni interdossive, che costituiscono la matrice di tutto l'assetto idrografico locale.

L'altimetria della zona ha il suo apice proprio in corrispondenza della confluenza tra Reno e Samoggia, dove le campagne raggiungono quote tra 21 e 22 m s.l.m., e presenta pronunciate ondulazioni con andamento generalmente degradante verso Nord-Est. Nella stessa direzione è inclinato il piano su cui si trova il centro storico di Cento, con pendenza relativamente elevata che si riduce però fortemente appena più a valle, in direzione di Corporeno. Il centro dell'abitato è situato a quote decisamente più basse rispetto ai terreni circostanti, trovandosi chiuso tra la possente arginatura dell'alveo attivo del Reno a Est, e il dosso corrispondente al paleo-alveo del fiume, che si sviluppa a Sud e a Ovest della città (Figura 2).

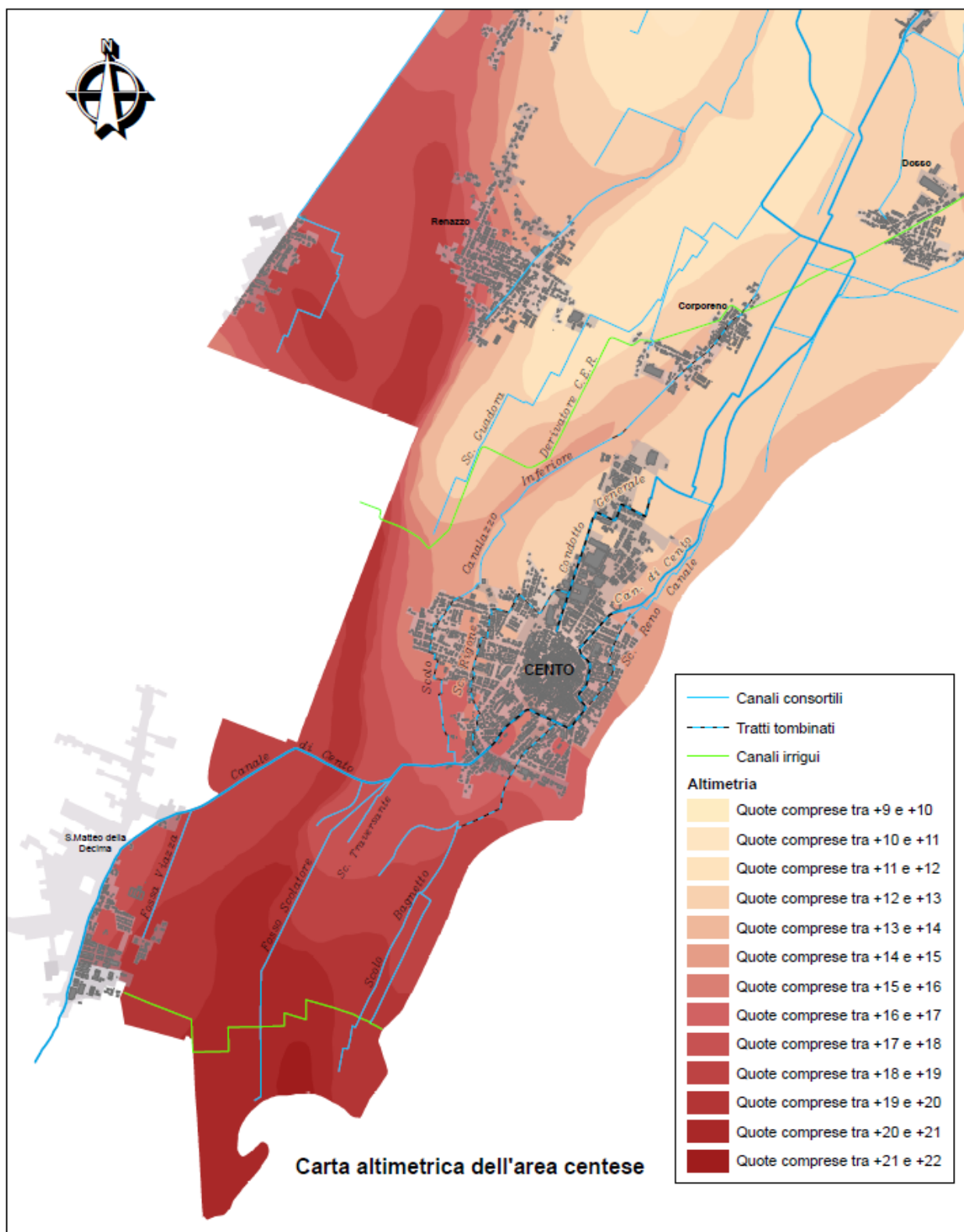


Figura 2. Assetto altimetrico ed idrografico del Centese.

Da considerare il fatto che, nonostante il centro storico del comune disti in linea d'aria circa di 1 km dal Reno, le acque uscenti dal suo territorio defluiscono per gravità verso Nord-Est, grazie al Condotto Generale,

trovando recapito nel Canale di Cento, il quale a sua volta si immette nel Canale di Burana all'altezza di Porotto, circa 40 km più a valle della città.

Il Canale di Cento ha origine nei pressi di Castelfranco Emilia (con il nome di Canale di S. Giovanni) nel comprensorio del Consorzio della Bonifica Burana, dove raccoglie le acque di un bacino di circa 4000 ettari che si chiude immediatamente a valle di S. Giovanni in Persiceto. Da qui, un tratto di solo trasporto, porta il Canale all'interno del comprensorio del Pianura di Ferrara, dove il bacino si riapre presso S. Matteo della Decima.

Per un tratto il tracciato del Canale coincide con il confine occidentale del comprensorio, ma, attraversata Decima, piega verso Est, dirigendosi in direzione di Cento (Figura 2).

Lungo questo percorso vengono raccolti i contributi di diversi scoli che sfociano in destra al Canale di Cento. Il primo di essi è la Fossa Viazza, seguono lo Scolo Reno Vecchio, il Fosso Scolatore e lo Scolo Traversante. Raggiunto l'abitato di Cento il canale diventa tombinato e prosegue in questa condizione per circa 2600 metri. L'ultimo importante contributo, costituito dallo Scolo Bagnetto (anch'esso tombinato) viene raccolto lungo questo tratto tombinato, subito a valle della paratoia detta di S. Liberata. Oltrepassato l'abitato, il Canale di Cento prosegue arginato, mantenendosi in acque alte, e non riceve ulteriori afflussi per un lungo tratto. Solo nei pressi di Casumaro, dopo aver attraversato quasi l'intero territorio comunale, la debole pendenza dell'alveo consente di raggiungere quote sufficientemente basse da accogliere nuove immissioni dai canali locali che gli conferiscono il contributo dell'intera area centese.

Tra questi ultimi vi è il Condotto Generale, cui fa capo praticamente tutto il sistema di drenaggio urbano di Cento (Figura 2). Questo importante collettore è già tombinato fin dall'origine, che coincide proprio con lo sbocco della rete fognaria del centro storico della città. Le aree fortemente urbanizzate che si sviluppano a Ovest del centro storico, sono servite dallo Scolo Rigone, anch'esso interamente tombinato, la cui immissione in sinistra del Condotto Generale avviene poche centinaia di metri dopo l'origine di quest'ultimo. Il tombinamento del Condotto Generale ha una lunghezza di quasi 2200 metri e termina con l'attraversamento della Via di Mezzo. Appena 650 metri più a valle si trova la foce dello Scolo Reno Canale, che porta le acque della fascia urbana più orientale, compresa tra il canale di Cento e l'argine del Reno, oltre che di 36 ettari di terreno agricolo. L'espansione urbana a Ovest della città è avanzata ben oltre la linea dello scolo Rigone, arrivando ad invadere anche il bacino dello Scolo Canalazzo Inferiore e lo stesso canale, che ormai presenta ampi tratti tombinati. Anche quest'ultimo scolo trova il suo sbocco nel Condotto Generale, dopo aver oltrepassato anche l'abitato di Corporeno. Oltre ai summenzionati canali, il Condotto Generale riceve i contributi del Banche Superiore, del Pievese in destra, degli scoli Gorghi e Guadora in sinistra ed in ultimo dello Scolo Salione Nuovo (figura 3).

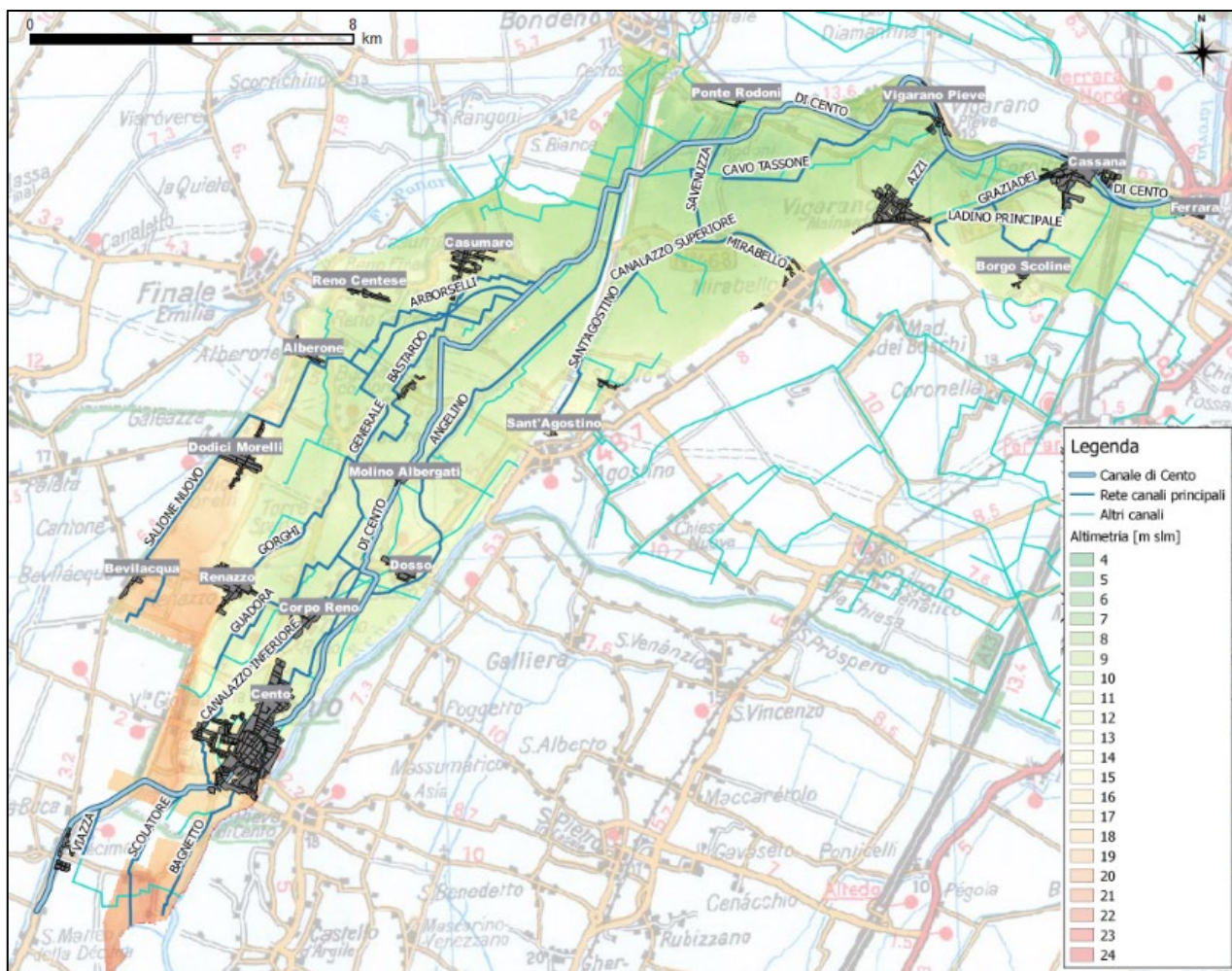


Figura 3. Altimetria e aste idrografiche principali

2.2 Problematiche esistenti

Il forte sviluppo industriale della periferia Nord, abbinato all'ampliamento dei comparti residenziali nelle zone ovest e sud di Cento, gravano pesantemente sul sistema bonifica-fognature di smaltimento delle acque meteoriche, dimensionato in momenti storici diversi e che oggi manifesta in maniera eclatante la propria insufficienza. Diversi tratti di canali consorziali che un tempo solcavano aree prevalentemente agricole (Scolo Rigone, Scolo Reno Canale, Scolo Canalazzo, Condotto Generale, ecc.) sono stati assorbiti dalla crescita degli insediamenti e acquisiti dal sistema fognario, tombinati integralmente o per estesi tratti nelle diverse epoche, con criteri spesso disomogenei e pendenze quasi ovunque insufficienti.

Un secondo fattore di criticità riguarda il deflusso verso valle di tutte le acque che provengono, attraverso il Canale di Cento, dall'esteso bacino di monte che comprende anche terreni ubicati nel Comune di san Giovanni in Persiceto. Tali acque oggi attraversano il centro abitato di Cento in una linea idraulica quasi completamente tombinata. In caso di precipitazioni di elevata entità la portata di piena arriva dalle terre alte fino al centro urbano di Cento ed ha come effetto di mettere in pressione la condotta che attraversa la città, causando la fuoriuscita di notevoli volumi d'acqua i quali, oltre ad allagare le immediate vicinanze, vanno a gravare ulteriormente le già provate condotte fognarie poste ad una quota inferiore.

Un terzo aspetto attiene a singolarità morfologiche proprie del territorio centese (come ampiamente descritto al Par. 2.1) e della collocazione del centro urbano che risulta delimitato a Sud, Est ed Ovest da settori altimetricamente superiori (Figura 2), denotando terreni che degradano in media di 5 m al Km. Le acque provenienti dalle terre alte ubicate ad ovest della città scorrono superficialmente, non incanalate, seguendo le linee di massima pendenza (Figura 4); la topografia concentra i volumi non drenati nelle aree depresse del dominio fino ad impegnare le condotte fognarie già insufficienti e quindi ad allagare vaste aree del tessuto urbano.

Prima dell'espansione urbana che ha coinvolto la città di Cento, il sistema idraulico garantiva il contenimento di questo problema con la presenza di ben due canali di gronda posti lungo il declivio verso il centro storico: il Canalazzo ed il Rigone. Questi canali intercettavano il deflusso superficiale delle acque di scorrimento da monte deviando il loro percorso verso il sistema di bonifica che provvedeva al loro allontanamento. Oggi entrambi i canali sono stati tombinati proprio nei tratti in corrispondenza dell'area urbanizzata. Naturalmente le poche caditoie presenti in superficie e la sezione ridotta dei manufatti non consentono più a queste linee idrauliche di svolgere la loro funzione originaria e le acque di scorrimento superficiale, sfruttando in via privilegiata i percorsi stradali asfaltati, arrivano senza alcun ostacolo in breve tempo ad allagare il centro della città.

Infine, va citato anche il fenomeno della subsidenza, in quest'area più accentuato che nelle vicinanze, che causa movimenti differenziati compromettendo talvolta tratti di linee di scolo.

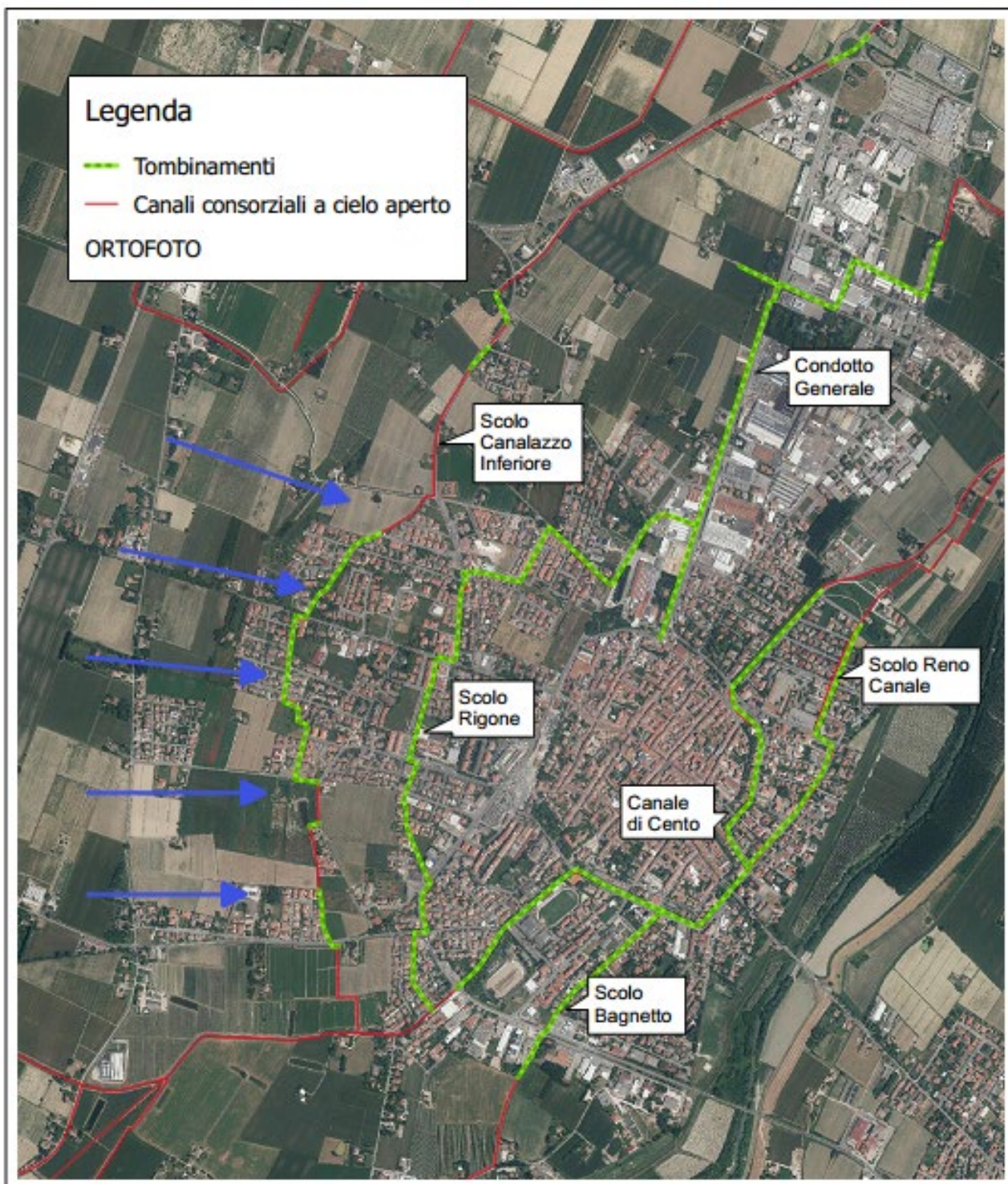


Figura 4. Rete di scolo in area urbana con indicazione delle linee di deflusso superficiale.

3 MODELLAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA DELLA RETE CONSORTILE

Al fine di indagare dettagliatamente l'officiosità della rete di bonifica a servizio del territorio Centese e l'efficacia dei possibili interventi, il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara ha eseguito una modellazione idrologico-idraulica. Sono state svolte simulazioni di eventi di piena, conseguenti a piogge frutto di elaborazioni statistiche di eventi reali misurati. Con le simulazioni è stato possibile confermare le difficoltà precedentemente dette, caratterizzanti lo stato di fatto del sistema di canalizzazioni, ma si sono potute anche ipotizzare possibili azioni di intervento mirate al suo efficientamento (si veda a tal proposito la Relazione idrologico-idraulica del Progetto Preliminare) ed analizzare nel dettaglio la soluzione progettuale scelta, oggetto della presente Relazione idrologico-idrodinamica. Lo studio idrologico-idraulico si basa su di un evento con tempo di ritorno di 20 anni, tipico della progettazione delle opere di bonifica.

Per l'analisi in oggetto si è considerato, secondo quanto esposto al paragrafo 2.1, un bacino molto più esteso del territorio comunale di Cento, che si apre al confine con San Matteo della Decima, all'origine del comprensorio del Consorzio ferrarese, e si chiude allo sbocco del Canale di Cento nel Canale Burana, all'altezza di Porotto. Ciò si è reso necessario in considerazione della circostanza che, come si vedrà più approfonditamente nel seguito, per la risoluzione delle due equazioni di De Saint Venant, continuità e quantità di moto, sono richieste due condizioni, cioè relazioni fra grandezze idrauliche, una a valle e una a monte della rete. Nel caso in esame, tali informazioni si possono rinvenire solo nella sezione iniziale e terminale del Canale di Cento.

Tale modellazione è effettuata in maniera molto accurata per quanto riguarda la rete consortile e gli apporti in essa direttamente scolanti, la rete fognaria del centro storico è considerata recapitante in maniera distribuita in un unico condotto a sezione rettangolare (si veda il canale Cento Centro nella Tabella 11) con capacità di invaso e pendenza stimate pari a quelle della rete fognaria stessa che poi confluisce nel Co. Generale.

Le elaborazioni ottenute da questo primo studio identificano un'area particolarmente vulnerabile dal punto di vista del rischio idraulico, soprattutto per quanto riguarda il territorio prossimo all'abitato di Cento: tali risultati verranno sinteticamente riportati in chiusura di questo terzo capitolo.

3.1 Bacini di Scolo

I bacini di scolo facenti capo al Canale di Cento sono di seguito elencati; si riporta per ognuno la superficie in km². Per semplicità si suddivide il territorio in tre macroaree:

Tabella 1. Bacini scolanti nella rete modellata.

Zona Cento-Sud		Zona C. Generale-OVEST		Zona Nord-Est	
Bacino	Area [km ²]	Bacino	Area [km ²]	Bacino	Area [km ²]
Scolanti C. di Cento 1-2-3	2.18	C. Generale A1-2-3-4-5	3.5	Angelino	15.92
Viazza	2.28	Banche Superiore	1.21	Chiodarolo	2.15
Scolatore	4.11	Pievese	1.89	S. Agostino	6.51
Traversante	0.58	Corporeno AGR	0.96	S. Carlo	2.63
Bagnetto	2.26	Guadora	5.73	Mirabello	1.97
Centro storico	0.6	Gorghi1-2	5.55	Canalazzo Superiore	5.44
Canalazzo Inf.1-2-3-4 URB	0.74	Alamari	2.01	Cavo Bondesano	0.67
Rigone	1.56	Salione Nuovo	10.48	Tassone	11.71
Reno Canale URB	1.0	C. Generale B	3.94	Tassone CDC	1.14
Reno Canale AGR	0.42	C. Generale C	1.27	Azzi porotto	2.44
Canalazzo Inf.1-2-3-4-5-6 AGR	2.55	Alberone	0.96	Porotto CDC	1.5
Via di Mezzo	1	Arborselli	7.77	Negrelli porotto	2.72
Bennet	0.18	Bastardo	6.27	Rinaldi porotto	1.87
		Depuratore	0.47	Ladino porotto	1.1
		Corporeno URB	0.1	Ladino porotto abbazia	0.87
		Renazzo ovest	0.55	Ladino porotto catena	2.73
		Renazzo est	0.38	Ladino porotto graziadei	2.85
				Ladino porotto principale	3.84

Gli stessi bacini vengono riportati alla seguente Figura 5.

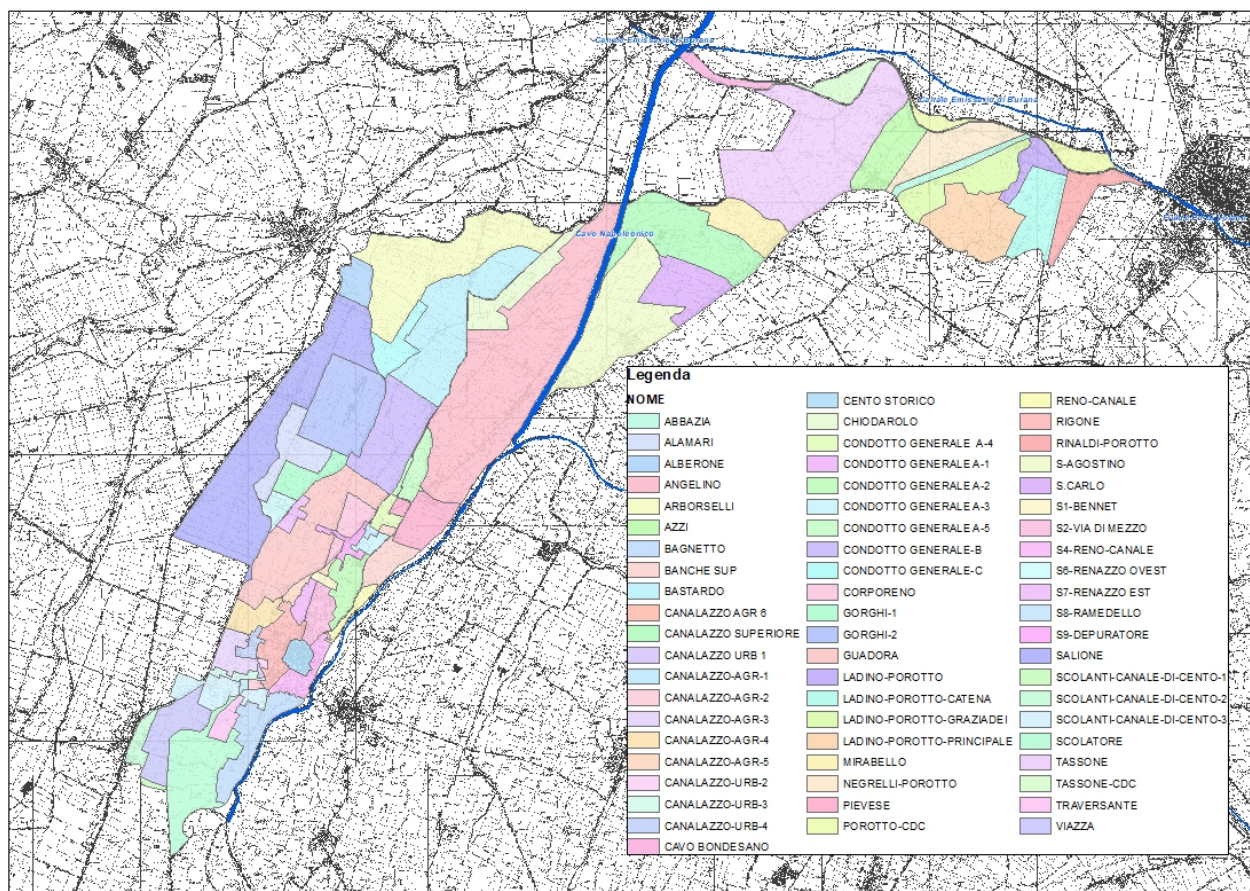


Figura 5. Suddivisione in bacini idrologici dell'area in esame.

3.1.1 Definizione del Curve Number per ciascun bacino

Per ogni bacino è necessario definire i parametri idrologici, al fine di applicare un modello afflussi-deflussi e poter valutare la portata conseguente ad un evento pluviometrico di assegnata criticità.

Il primo step è la definizione della pioggia netta, ovvero la valutazione della quota di pioggia che contribuisce effettivamente al deflusso, non infiltra nel sottosuolo, né viene intercettata dalla vegetazione o accumulata in superficie.

A tale scopo viene applicato il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti (ora NRCS, Natural Resources Conservation Service).

Il metodo tiene conto di tre fattori che influenzano l'entità delle perdite:

- Litologia superficiale
- Uso del suolo
- Grado di umidità o contenuto d'acqua del suolo, AMC (Antecedent Moisture Conditions), in 3 differenti classi a seconda dei millimetri piovuti precedentemente all'evento.

Considerando l'evento meteorico nel suo complesso, l'altezza di precipitazione efficace P_e è sempre minore o uguale alla precipitazione totale P ; allo stesso modo, l'altezza trattenuta nel bacino per infiltrazione, F_a , è sempre minore o uguale ad un massimo di infiltrazione potenziale, S .

Si considera vi sia anche una quota di precipitazione inizialmente sottratta, I_a , per la quale non si ha deflusso: perciò, il massimo deflusso potenzialmente osservabile è pari a $P - I_a$. L'ipotesi del metodo CN è che i rapporti tra le due quantità (deflusso e perdite) effettive e potenziali siano uguali:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Ne segue che

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Sulla base di risultati osservati su molti bacini per P_e e P , il SCS ha tracciato curve standardizzate per litologia e uso del suolo con valori fino a 100 (Curve Number, CN). Il CN è legato a S (in mm) dalla relazione

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Sulla base di calibrazioni precedenti sul territorio ferrarese, si ritiene opportuno utilizzare un valore di $I_a = 0.1S$, poiché la tradizionale formulazione pari a $0.2S$ risulta in una sottrazione iniziale eccessiva.

Litologia e uso del suolo sono a disposizione dalla cartografia digitale del Consorzio: la carta litologica superficiale nelle 4 classi HSG (Hydrologic Soil Group) e la carta dell'uso del suolo regionale (classificazione CORINE, ultima versione 2008). Da questi si ricava, attraverso l'elaborazione degli shapefiles in ambiente GIS e attraverso una semplice media ponderata, un Curve Number medio per ogni sottobacino.

I valori utilizzati in funzione di differenti usi del suolo (i più frequenti nei territori analizzati) sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Valori di CN in funzione di uso del suolo e litologia superficiale (HSG).

SIGLA	Descrizione	CNII A	CNII B	CNII C	CNII D
Ac	Canali e idrovie	100	100	100	100
Af	Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione scarsa	100	100	100	100
Ax	Bacini artificiali di varia natura	100	100	100	100
Bp	Boschi planiziari a prevalenza di farnie, frassini ecc.	36	60	73	79
Bs	Boschi a prevalenza di salici e pioppi	36	60	73	79
Cf	Frutteti e frutti minori	32	58	72	79
Cp	Pioppeti colturali	32	58	72	79
Cv	Vigneti	32	58	72	79
Ec	Tessuto residenziale compatto e denso	89	92	94	95
Ed	Tessuto discontinuo	51	68	79	84
Er	Tessuto residenziale rado	61	75	83	87
Ia	Insedimenti produttivi industriali, artigianali e agricoli con spazi annessi	81	88	91	93
Ic	Insedimenti commerciali	89	92	94	95
Io	Insedimenti ospedalieri	81	88	91	93
Is	Insedimenti di servizi pubblici e privati	81	88	91	93

Pp	Prati stabili	30	58	71	78
Qa	Aree estrattive attive	72	82	87	89
Qc	Cantieri, spazi in costruzione e scavi	77	86	91	94
Qi	Aree estrattive inattive	72	82	87	89
Qq	Discariche e depositi di cave, miniere e industrie	72	82	87	89
Rs	Reti stradali e spazi accessori	98	98	98	98
Se	Seminativi semplici	53	62	71	74
So	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica	53	62	71	74
Sv	Vivai	45	66	77	79
Vm	Cimiteri	49	69	79	84
Vp	Parchi e ville	39	61	74	80
Vs	Aree sportive	39	61	74	80
VARIAZIONI STAGIONE UMIDA					
Se	Seminativi semplici	68	77	83	86
So	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica	68	77	83	86

I CN sono differenti a seconda della stagione solo per alcune categorie di uso del suolo, come (ad es. i seminativi, che rappresentano una parte rilevante del territorio agricolo: durante la stagione primaverile ed estiva hanno una capacità di ritenzione idrica notevolmente maggiore).

Si riporta ad esclusivo titolo di esempio la Tabella 3 che riassume le operazioni di calcolo, per uno dei bacini analizzati, del CN (AMC II) medio ponderato su aree “elementari” di data litologia e uso. Aree elementari di valore inferiore a 500 m² vengono trascurate. La Tabella 4 racchiude i risultati del calcolo dei CN su tutti i bacini.

Tabella 3. Calcolo CN medio ponderato sul bacino dello Scolo Guadora.

HSG	SIGLA	CN II SECCO	CN II UMIDO	AREA TOT [m ²]	%
C	Rs	98	98	87544.59	2.77
C	Se	71	83	2021787.15	63.87
C	Es	77	77	131799.05	4.16
C	Er	83	83	486.31	0.02
C	Ed	79	79	81662.30	2.58
C	Is	91	91	61.54	0.00
C	So	71	71	36299.26	1.15
C	Cf	72	72	381036.30	12.04
C	Vv	74	74	19413.27	0.61
C	Vx	74	74	89073.25	2.81
C	Qc	91	91	19862.79	0.63
C	Ia	91	91	169512.68	5.35
C	Zo	78	78	12150.37	0.38
C	Ax	100	100	3076.31	0.10
C	Iz	91	91	12927.55	0.41
C	Ac	100	100	61520.93	1.94

C	Ui	87	87	2038.33	0.06
C	Qr	87	87	22212.41	0.70
C	Ro	98	98	6949.61	0.22
C	Rv	71	71	1502.89	0.05
C	Qs	91	91	4727.29	0.15
D	Es	82	82	114040.79	4.45
D	Rs	98	98	42744.74	1.67
D	Se	74	86	1841605.75	71.91
D	Ia	93	93	157915.22	6.17
D	Cf	79	79	174057.32	6.80
D	Iz	93	93	29202.18	1.14
D	Is	93	93	3508.60	0.14
D	So	74	86	47732.91	1.86
D	Ui	100	100	44193.27	1.73
D	Ed	84	84	37942.28	1.48
D	Ac	100	100	15895.38	0.62
D	Vv	80	80	8026.40	0.31
D	Vx	80	80	39791.63	1.55
D	Ax	100	100	4506.61	0.18
TOTALE (ha)				573.9	100.00%
MEDIO	CN II	SECCO	UMIDO		
		75.82	84.1		

Tabella 4. Risultati del calcolo dei CN medi sui bacini di scolo (* aree scolanti direttamente in Canale di Cento).

NOME BACINO	AREA	Stagione SECCA			Stagione UMIDA		
	[ha]	CN (II)	CN (I)	CN (III)	CN (II)	CN (I)	CN (III)
AREA CENTESE SUD							
SCOLANTI_CAN_CENTO_1*	10	76	57	88	83	67	92
SCOLANTI_CAN_CENTO_2*	62	76	57	88	83	67	92
SCOLANTI_CAN_CENTO_3*	148	76	57	88	83	67	92
VIAZZA	228	73	53	86	82	66	91
SCOLATORE	411	72	52	86	83	67	92
TRAVERSANTE	58	72	52	86	83	67	92
BAGNETTO	226	74	54	87	83	67	92
CONDOTTO GENERALE							
CANALAZZO_1AGR	8	72	52	86	84	69	92
CANALAZZO_2AGR	10	73	53	86	84	69	92
CANALAZZO_3AGR	99	72	52	86	82	66	91
CANALAZZO_4AGR	103	73	53	86	82	66	91
CANALAZZO_5AGR	34	74	54	87	83	67	92
CANALAZZO_6AGR	1	89	77	95	91	81	96
CANALAZZO_1URB	5	76	57	88	81	64	91
CANALAZZO_2URB	7	72	52	86	83	67	92
CANALAZZO_3URB	28	83	67	92	85	70	93
CANALAZZO_4URB	34	81	64	91	84	69	92
RIGONE_URB	156	84	69	92	86	72	92
CENTRO_STORICO	60	96	96	96	96	96	96
RENO CANALE_S4	102	85	70	93	85	70	93
VIADIMEZZO_S2	100	88	75	94	89	77	95
BENNET_S1	18	87	74	94	90	79	95
DEPURATORE_S9	47	82	66	91	86	72	93
RAMEDELLO_S8	10	83	67	92	84	69	92
RENAZZO_W_S6	55	83	67	92	85	70	93
RENAZZO_E_S7	38	84	69	92	85	70	93
RENO CANALE_AGR	42	73	53	86	82	66	91
CONDOTTO_GEN_A1	43	75	55	87	83	67	92
CONDOTTO_GEN_A2	126	75	56	87	83	67	92
CONDOTTO_GEN_A3	33	75	56	87	83	67	92
CONDOTTO_GEN_A4	46	75	56	87	83	67	92
CONDOTTO_GEN_A5	102	75	56	87	83	67	92
BANCHE_SUP	121	73	53	86	83	67	92
PIEVESE	189	74	54	87	82	66	91
CONDOTTO_GEN_B	394	74	54	87	84	69	92
SALIONE_NUOVO	1048	76	57	88	84	69	92
ALAMARI	201	76	57	88	84	69	92
GUADORA	573	76	57	88	84	69	92
CORPORENO	96	76	57	88	85	70	93
GORGHI_1	116	76	57	88	85	70	93
GORGHI_2	440	76	57	88	85	70	93
CONDOTTO_GEN_C	127	76	57	88	86	72	93
ALBERONE	96	73	53	86	82	66	91

AREA CENTESE NORD							
ARBORSELLI	777	77	58	89	85	70	93
BASTARDO	627	76	57	88	86	72	93
CHIODAROLO	215	75	56	87	86	72	93
ANGELINO	1592	74	54	87	83	67	92
SAVENUZZA							
S_AGOSTINO	651	74	54	87	83	67	92
S_CARLO	263	73	53	86	83	67	92
CANALAZZO_SUP	544	76	57	88	85	70	93
MIRABELLO	197	75	56	87	83	67	92
CAVO BONDESANO							
CAVO_BOND	67	77	58	89	84	69	92
TASSONE							
TASSONE	1171	73	53	86	82	66	91
TASSONE_CDC*	114	73	53	86	83	67	92
POROTTO							
AZZI_POROTTO	244	78	60	89	82	66	91
NEGRELLI_POROTTO	272	75	55	87	83	67	92
LADINO_POROTTO	110	77	58	89	83	67	92
RINALDI_POROTTO	187	71	51	85	80	63	90
POROTTO_CDC*	150	73	53	86	79	61	90
LADINO_POR_ABBAZIA	87	78	60	89	84	69	92
LADINO_POR_CATENA	273	71	51	85	79	61	90
LADINO_POR_GRAZIADEI	285	71	51	85	82	66	91
LADINO_POR_PRINCIPALE	384	72	52	86	78	60	89
MEDIA	223.2	76.5	58.1	88.1	83.8	68.6	92.1

Quanto al contenuto d'acqua nel suolo (AMC), analisi statistiche precedenti (sino al 2014) su un largo numero di eventi piovosi verificatisi nel Consorzio suggeriscono che utilizzare una semplice condizione AMCII, cioè di umidità del suolo "normale", corrisponde ad una condizione improbabile e severa; si preferisce utilizzare appunto una combinazione delle 3 AMC, sulla base dell'analisi dei dati storici (si veda Tabella 5). Tale combinazione è differente a seconda della stagione estiva o invernale , ma si ottiene comunque una larga prevalenza di condizioni AMC I (suolo "secco").

Tabella 5. Classificazione delle condizioni AMC di eventi pluviometrici passati in funzione della stagione

	Stag. secca		Stag. umida	
	n. eventi	%	n. eventi	%
AMC I (secco)	257	93.5	187	66.1
AMC II (normale)	12	4.4	52	18.4
AMC III (quasi saturo)	6	2.2	44	15.5

La combinazione si effettua modellando i bacini in ciascuna delle tre condizioni e utilizzando poi la funzione “combined” di MIKE 11, che considera l’area totale come formata da 3 sottoaree proporzionali alle percentuali in tabella, di fatto come se una parte del bacino si trovasse in condizioni AMC I, una parte in AMC II e una parte in AMC III.

3.1.2 Definizione del tempo di corrivazione per ciascun bacino

Il **tempo di corrivazione o concentrazione** è il tempo impiegato dalla goccia di pioggia che cade nel punto più lontano dalla sezione di chiusura a giungere alla sezione stessa.

Per calcolarlo è stata adottata una formulazione del tipo

$$T_c = T_a + \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2}$$

In cui si ipotizza un tempo di accesso T_a alla rete secondaria, una lunghezza di percorrenza della rete secondaria (fossi, scoline di piccola dimensione) L_1 con velocità V_1 , una percorrenza della rete principale L_2 (canali) con velocità V_2 . Queste quantità variano da bacino a bacino, con particolare riferimento ai bacini urbani in cui la rete secondaria prima di accedere al canale principale (dove presente) è la rete fognaria e dunque viene percorsa con velocità alte. Per il tempo di accesso in rete si è valutato, per i terreni agricoli della distanza fra le scoline e di una velocità particolarmente ridotta dovuta allo spostamento nei terreni agricoli, mentre per i bacini urbani si è considerato un tempo di accesso di 10 minuti. La rete secondaria nei bacini agricoli consiste nella rete di fossi e scoline, mentre per ciò che concerne l’urbano nelle fognature. Risulta evidente che tali reti presentano velocità di percorrenza molto diverse: più alte le seconde, anche 1 m/s, più basse le prime, circa 0.2 m/s. La lunghezza è stata ricavata ipotizzando il tracciato che l’acqua può percorrere dal punto più lontano del bacino sino alla prima sezione utile del canale principale.

3.2 Analisi delle piogge e generazione degli eventi sintetici

Lo studio delle precipitazioni a livello dell’intero comprensorio avviene previa suddivisione del territorio consortile in due zone pluviometriche più omogenee, Ovest ed Est, con linea di separazione nella parte mediana, nonché dell’anno solare in due periodi denominati per brevità stagione secca e stagione umida, ciascuno caratterizzato da diverse condizioni di regime pluviometrico, umidità del suolo e gestione dei canali di bonifica, come segue:

- Stagione SECCA: piogge tendenzialmente più brevi ed intense, scarso contenuto d’acqua nel suolo, attività irrigua in corso;
- Stagione UMIDA: piogge di maggiore durata e minore intensità, contenuto d’acqua nel suolo sensibilmente superiore, assenza di attività irrigua.

I bacini analizzati si collocano nella zona pluviometrica Ovest.

Quanto alla tipologia di precipitazione, la mappatura di pericolosità idraulica richiederebbe la modellazione dei bacini per ogni durata, per svariate distribuzioni di pioggia, per ogni stagione e per ogni condizione di contenuto d'acqua nel suolo.

La metodologia proposta cerca di individuare la condizione “più significativa”, che prende in considerazione le seguenti caratteristiche (tenuto conto che per il calcolo della precipitazione efficace si adotta il metodo SCS-CN, si veda in proposito il paragrafo successivo):

- Piogge di **durata fino a 48 ore**
- **Ietogramma tipo “Chicago”** a blocchi di 10 minuti, in modo da prendere in considerazione tutte le precipitazioni più gravose per le durate da 10 minuti a 48 ore. Questo è utile soprattutto per bacini che contengono territori urbanizzati, con durate critiche più brevi. Lo ietogramma scelto ha un rapporto tra il tempo di picco della precipitazione e la durata totale pari a 0.4
- **Ietogramma costante** a 3, 6, 12, 24 e 48 ore.
- **Stagione secca o umida:** da decidere caso per caso in base agli idrogrammi più gravosi. La scelta è dettata dal fatto che la distinzione tra stagione secca e umida dà luogo ad una simulazione idrologica più realistica in quanto combina CN e pioggia di stagioni corrispondenti, ma la condizione rappresentata in mappa di pericolosità deve essere rappresentativa dell'intero anno, dunque la più gravosa tra le due;
- **Tempo di ritorno (TR): 20 anni**, nell'accettabile ipotesi tecnica semplificativa pur se non teoricamente rigorosa di uguale tempo di ritorno tra evento meteorico ed allagamento ad esso corrispondente.

Si predispongono quindi due ietogrammi “Chicago” e tre ietogrammi costanti, per ognuna delle due stagioni, ottenendo così un totale di otto ietogrammi.

I dati pluviometrici utilizzati provengono da 21 stazioni con dati validati dal 1946 al 2013.

Tabella 6. *Elenco pluviometri utilizzati e anni di inizio e fine dei dati validati*

NOME PLUVIOMETRO	DATI INIZIO	DATI FINE
Aleotti	1946	2011
Bando	1949	2013
Benvignante	1950	2013
Bevilacqua	1958	2010
Montesanto	1950	2011
S. Antonino	1946	2013
Tersallo	1950	2009
Baura	1994	2010
Betto	1981	2010
Bulgarello	1949	2009
Capodargine	1994	2009
Ceccata	1980	2010

Cipriano	2005	2010
Coccanile	2000	2011
Copparo	1949	2009
Finale Emilia	1990	2008
Pioppo	2000	2010
Ruffa	1997	2010
S. Agostino	1991	2009
Spinazzino	1955	2003
Torniano	1939	1996

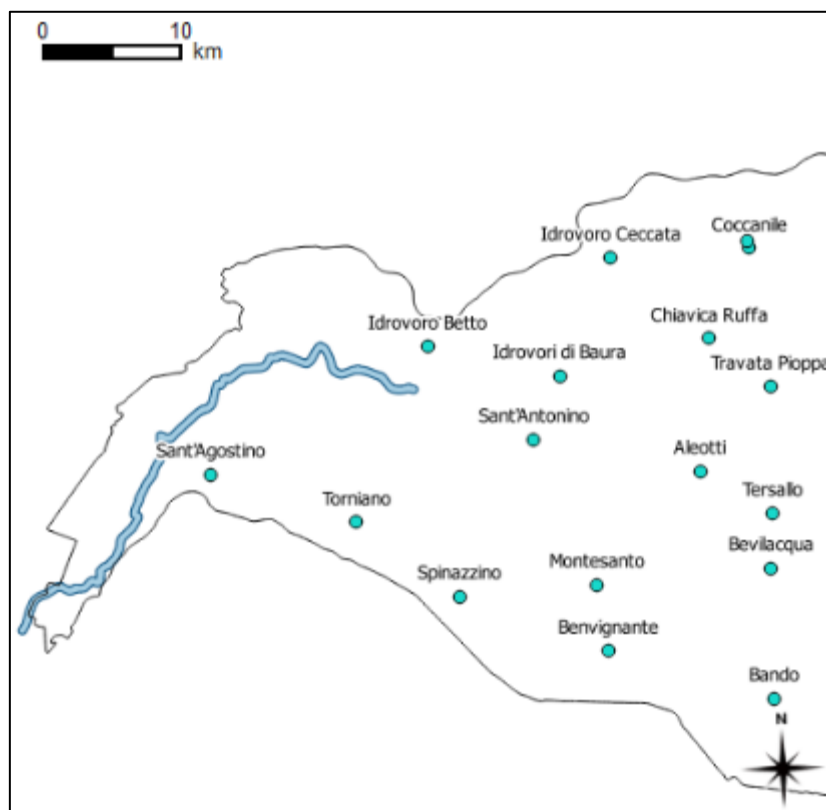


Figura 6. Localizzazione pluviometri.

Le curve di possibilità pluviometrica (CPP) per durate superiori all'ora, calcolate a partire da tali dati, sono di forma monomia $h = a d^n$ in cui h è l'altezza di pioggia in mm, d è la durata in ore, a e n i parametri della curva calcolati a partire dalle serie di dati, e sono rappresentate nelle figure seguenti

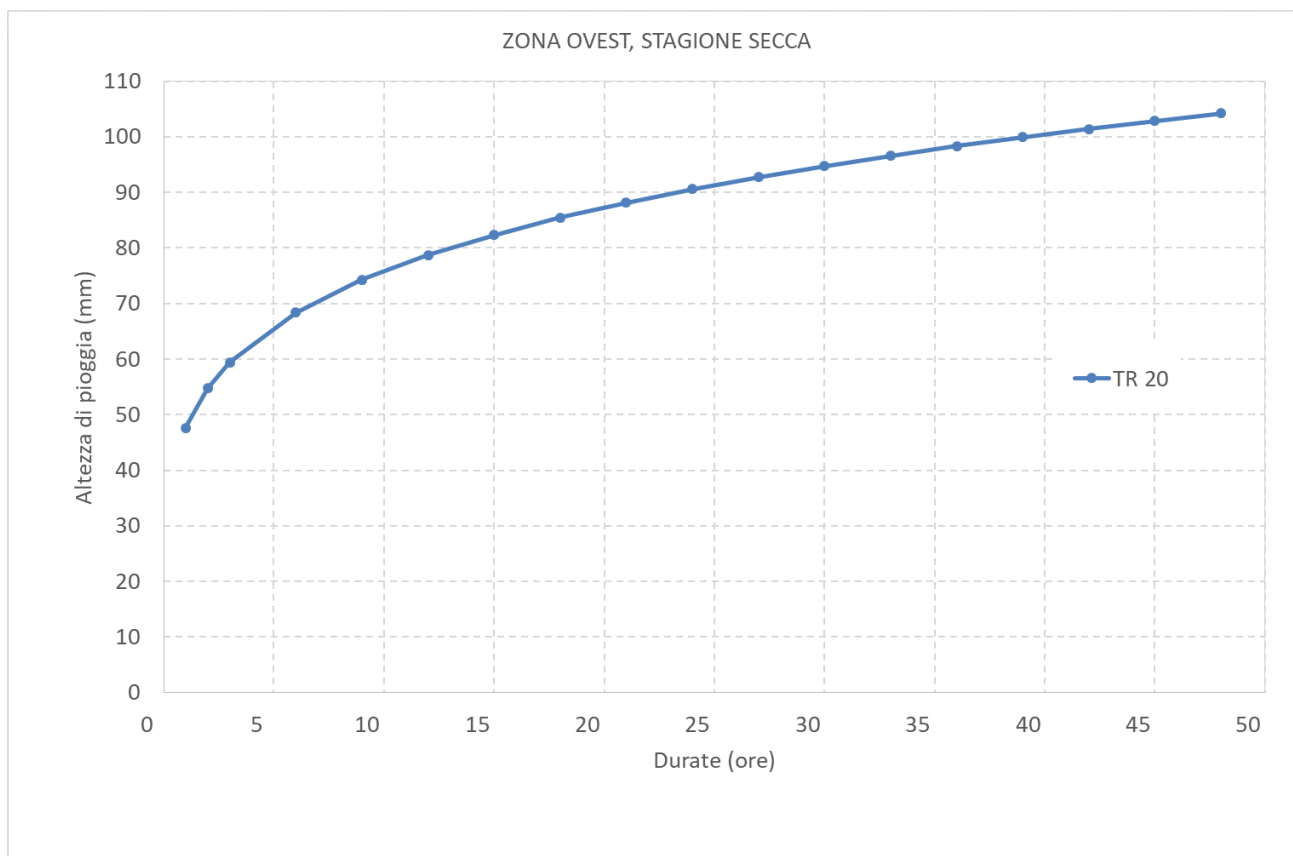


Figura 7. Curva di possibilità pluviometrica delle altezze di pioggia in stagione secca per i bacini considerati

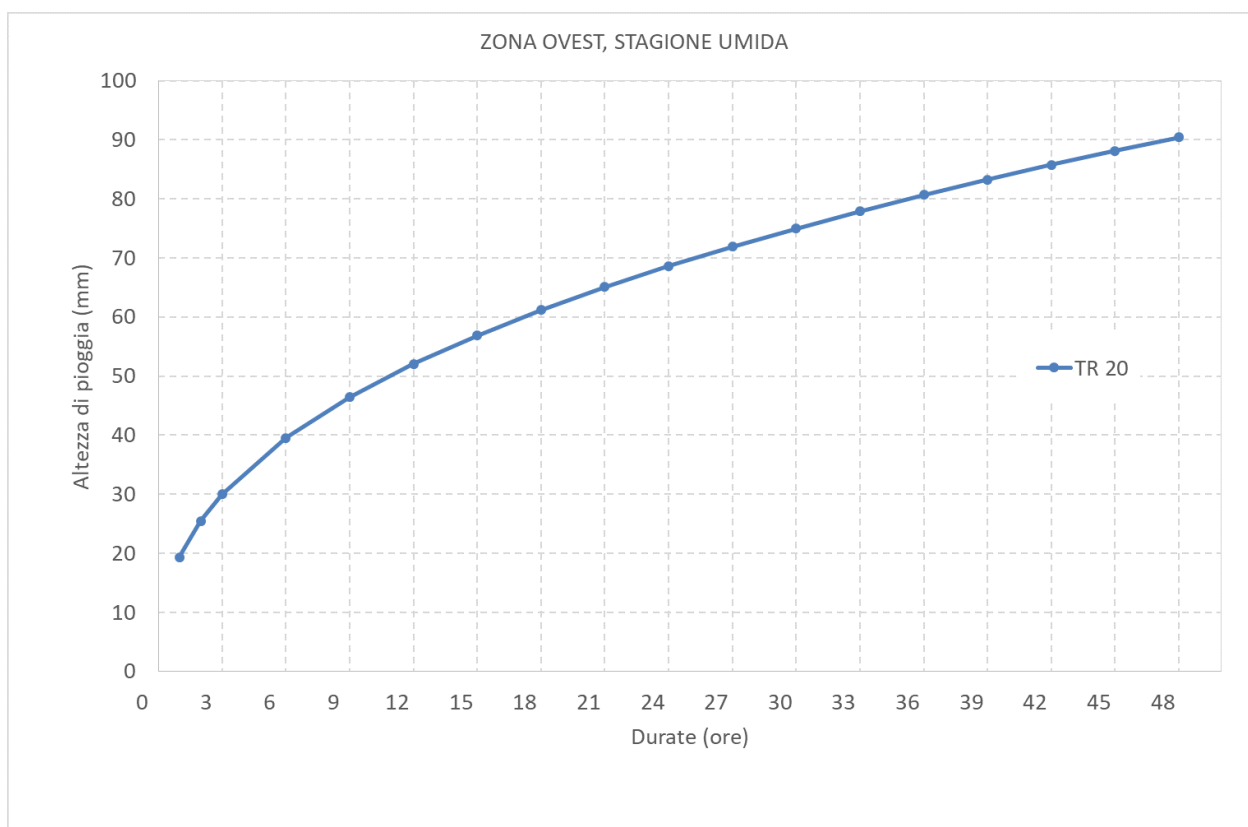


Figura 8. Curva di possibilità pluviometrica delle altezze di pioggia in stagione umida per i bacini considerati

Tabella 7. Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

Stagione	SECCA		UMIDA	
TR	N	a	n	a
20	0.201	47.60	0.398	19.35

Ottenute le CPC si è passati alla costruzione degli ietogrammi costanti e di tipo Chicago. Per questi ultimi si è fissata una durata della precipitazione di 48 ore (pari a circa il tempo di corrivazione dell'intero bacino), mentre per la distribuzione nel tempo dell'altezza totale di pioggia si è scelto di adottare lo ietogramma Chicago a blocchi di 10 minuti. Lo ietogramma Chicago è caratterizzato dal fatto che è derivato direttamente dalla CPC in quanto presenta l'altezza di precipitazione cumulata su una qualsiasi durata τ , uguale all'altezza di pioggia desunta dalla curva di possibilità climatica per lo stesso intervallo temporale. Quest'ultima proprietà rende, in genere, **l'evento derivato dallo ietogramma Chicago molto gravoso per la rete. D'altronde è molto utile nella valutazione di un sistema come quello indagato, in cui sono presenti aree agricole ma anche altre altamente urbanizzate e quindi, presumibilmente, vulnerabili a piogge di diversa durata**; da qui anche la scelta di discretizzare la durata in intervalli di 10 minuti. Si è scelto infine di adottare un rapporto fra tempo di picco della precipitazione e durata totale dell'evento (48 ore) pari a 0.4.

Occorre però fare attenzione al fatto che, utilizzando l'espressione a due parametri per la curva di possibilità climatica, quando si costruisce lo ietogramma con intervalli inferiori all'ora, si possono ottenere valori di picco di precipitazione, negli intervalli centrali, tendenti all'infinito; d'altronde:

$$\text{per } d \rightarrow 0, \quad i(d) = n \cdot a \cdot d^{n-1} \rightarrow \infty.$$

Vista quindi la discretizzazione della pioggia in intervalli di 10 minuti, risulta opportuno correggere i valori derivanti dalla semplice applicazione della metodologia Chicago con adeguati valori derivanti dall'osservazione di eventi reali. Sono stati allora utilizzati i valori correttivi, indicanti i rapporti tra altezze di durata molto breve e l'altezza oraria, riportati in Tabella 8.

Tabella 8. Rapporti tra l'altezza massima oraria e l'altezza di pioggia massima per durate inferiori all'ora

δ [minuti]	10	20	30	40
$r\delta = h\delta / h1$	0.489	0.7	0.811	0.9

Nel caso in esame si è visto che questi correttivi applicati ai valori derivati dalla metodologia Chiacago sono trascurabili per gli ietogrammi relativi alla stagione umida; di contro, per la stagione secca si registrano attenuazioni dei picchi nell'ora centrale più apprezzabili. Pertanto, si è deciso di applicare la metodologia sopra esposta solo alle piogge in stagione secca. Di seguito (Figura 9) un esempio tra i valori di altezza di

precipitazione ottenuti per l'ora di picco con la semplice espressione monomia della CPC e i valori corretti, adottati poi nella costruzione della precipitazione sintetica, per uno dei 6 ietogrammi (TR = 100 anni, stagione secca):

T [min]	CPP [mm]	CORRETTA [mm]
10	2.99	3.45
20	6.89	13.35
30	42.6	30.95
40	5.17	7.02
50	3.21	5.63
60	2.4	2.88
Totale ora di picco	63.28	63.28

Tabella 9. Altezze di pioggia degli intervalli centrali dello ietogramma, TR 100 stagione secca, con valori da CPC monomia e corretti

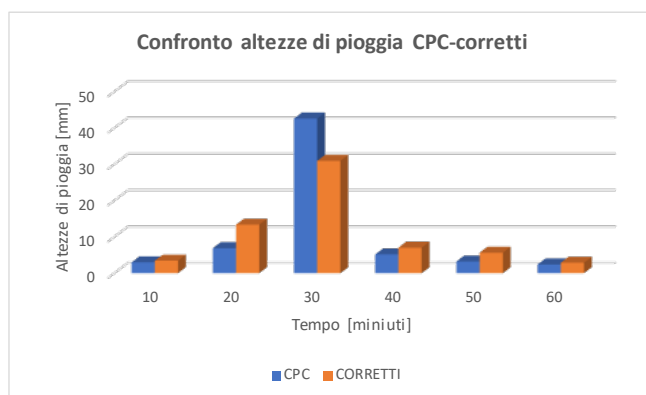


Figura 9. Confronto altezze di pioggia nell'ora di picco

Di seguito un esempio tra i valori di altezza di precipitazione ottenuti per l'ora di picco con la semplice espressione monomia della CPP e i valori corretti, adottati poi nella costruzione della precipitazione sintetica, per uno dei 6 ietogrammi (TR = 100 anni, stagione secca)

Tabella 10. Altezze di pioggia degli intervalli centrali dello ietogramma, Tr100 stagione secca, con valori da CPP monomia e corretti.

T [min]	CPP [mm]	CORRETTA [mm]
10	3.1	3.4
20	7.0	13.16
30	41.2	30.49
40	5.3	6.92
50	3.3	5.55
60	2.5	2.8
Totale ora di picco	62.3	62.3

Nelle figure seguenti sono rappresentati gli ietogrammi con tempo di ritorno di 20 anni per la stagione secca e umida, derivanti dalle curve di possibilità climatica e corretti con i valori di letteratura riportati in tabella 8.

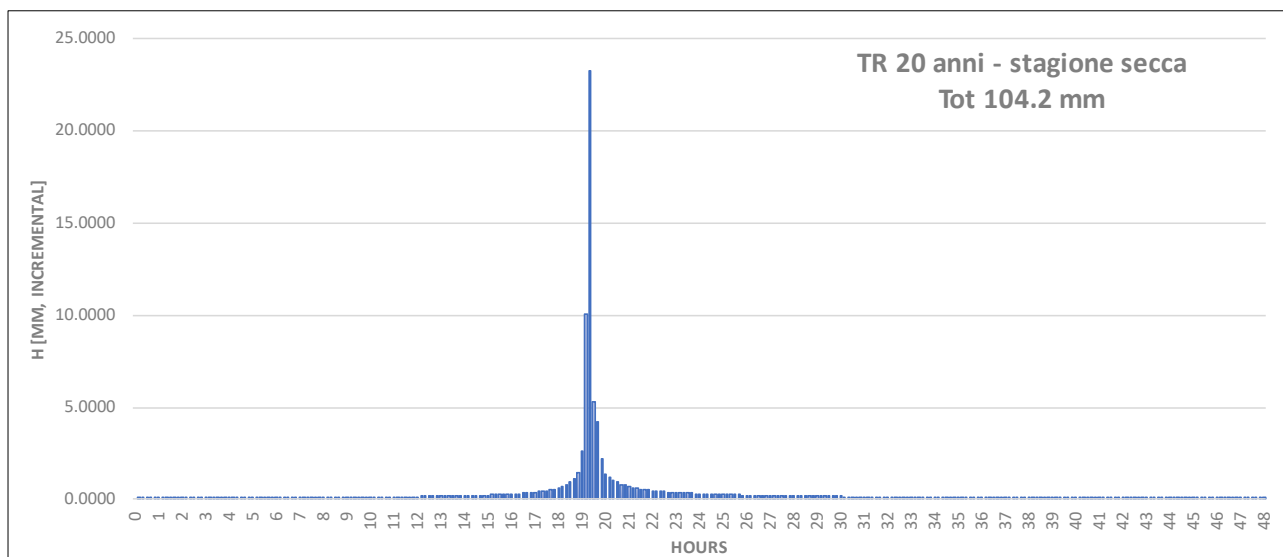


Figura 10. Ietogramma stagione secca, TR 20 anni.

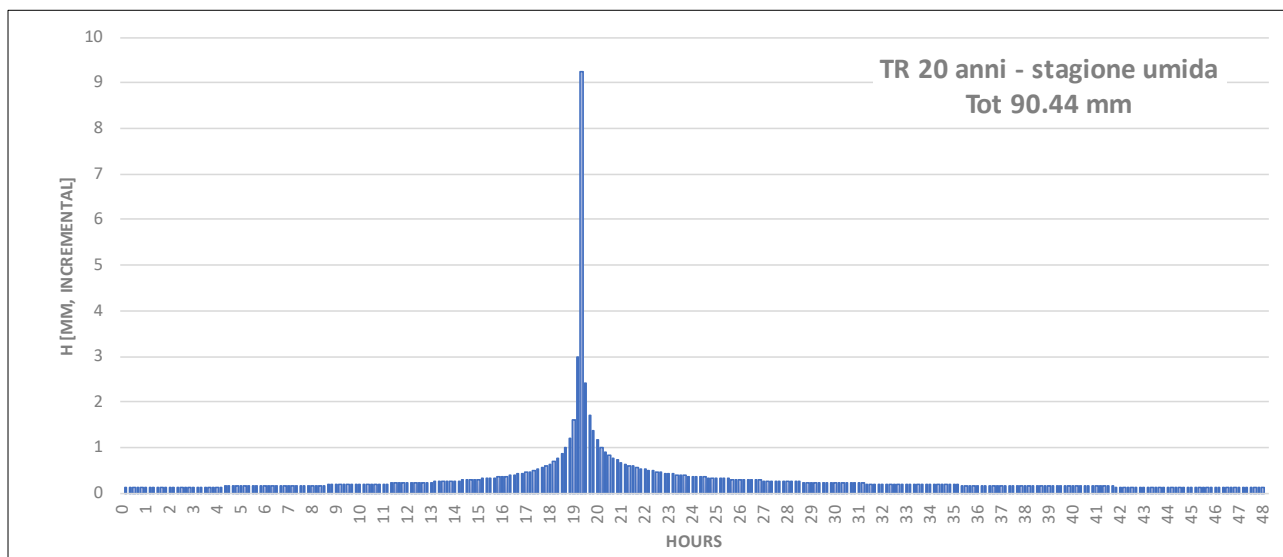


Figura 3. Ietogramma stagione umida, TR 20 anni.

3.1 Modellazione Idrologica

La modellazione idrologica del territorio in esame è stata condotta col modello MIKE UHM della DHI, in base al quale la generazione della pioggia netta, come precedentemente enunciato, avviene tramite il metodo del CN, mentre la generazione dell'idrogramma sfrutta il cosiddetto idrogramma unitario UH.

3.1.1 La trasformazione afflussi-deflussi

L'idrogramma unitario (Unit Hydrograph, UH) è un modello lineare comunemente usato per mettere in relazione il deflusso superficiale con la precipitazione efficace. E' definito come l'idrogramma in uscita dal bacino in seguito ad una precipitazione efficace unitaria (1 mm) che cade uniformemente su tutta l'area del bacino ad intensità costante per una unità di tempo selezionata (es: 1h).

Alla base del modello è la linearità, vale a dire che l'idrogramma di deflusso superficiale originato da precipitazioni efficaci maggiori o minori dell'unità può essere calcolato semplicemente come multiplo dell'idrogramma unitario.

L'idrogramma unitario può essere derivato sulla base di dati storici di precipitazione e portate in uscita; diversamente, esistono diversi tipi di idrogrammi unitari sintetici, ossia disegnati sulla base di parametri a loro volta connessi a caratteristiche del bacino considerato o ad analisi statistiche.

Per questo lavoro è stato impiegato **l'idrogramma unitario adimensionale SCS**, di largo utilizzo poiché necessita di un solo parametro: è il tempo di ritardo T_{lag} , ossia la differenza tra il centro di massa della precipitazione efficace e il picco dell'idrogramma unitario. Viene generalmente messo in diretta correlazione con il tempo di corrivazione del bacino, T_c , attraverso la semplice relazione $T_{lag} = 0.6 T_c$

Il **tempo di corrivazione o concentrazione** è il tempo impiegato dalla goccia di pioggia che cade nel punto più lontano dalla sezione di chiusura a giungere alla sezione stessa ed è stato introdotto al Capitolo 3.1.2 di questa relazione.

3.1.2 I risultati della modellazione idrologica

La modellazione idrologica viene effettuata, dopo aver inserito tutti i dati appena esposti, in MIKE 11.

È possibile osservare, prima di mostrare gli idrogrammi alle sezioni di chiusura dei bacini e restituiti dalle simulazioni, come gli idrogrammi sopra riportati presentino sempre, a parità di tempo di ritorno, il picco delle precipitazioni più intenso durante la stagione secca, così come i volumi totali di pioggia. Con ciò però, va ricordato che durante la stagione secca si hanno anche le maggiori perdite per infiltrazione; infatti i terreni, segnatamente quelli agricoli, sono più asciutti in tale periodo e quindi maggiormente propensi ad assorbire l'acqua (si vedano i valori di CN calcolati). È lecito quindi aspettarsi che per i bacini a carattere

prevalentemente agricolo, la stagione umida sia quella più gravosa, mentre per gli urbani, dove la variabilità della capacità di infiltrazione è più contenuta, sia quella secca.

Si precisa, però, che per valutare la sofferenza di ciascuna asta idraulica, e quindi la condizione più gravosa per la rete, bisogna tener conto sia dell'entità dei vari contributi sia della loro simultaneità e non limitarsi all'osservazione di ogni singolo bacino.

Nelle due figure seguenti si riportano a titolo esemplificativo istogrammi con la precipitazione (ietogramma Chicago) e le perdite sul bacino Bagnetto in condizioni di AMC 1,2 e 3 rispettivamente, per le condizioni di stagione secca e umida in tempo di ritorno di 20 anni. (il grafico è in mm/h ma si tenga conto che gli intervalli sono di 10 minuti). I grafici si riferiscono alla fase più intensa della precipitazione di 48 ore.

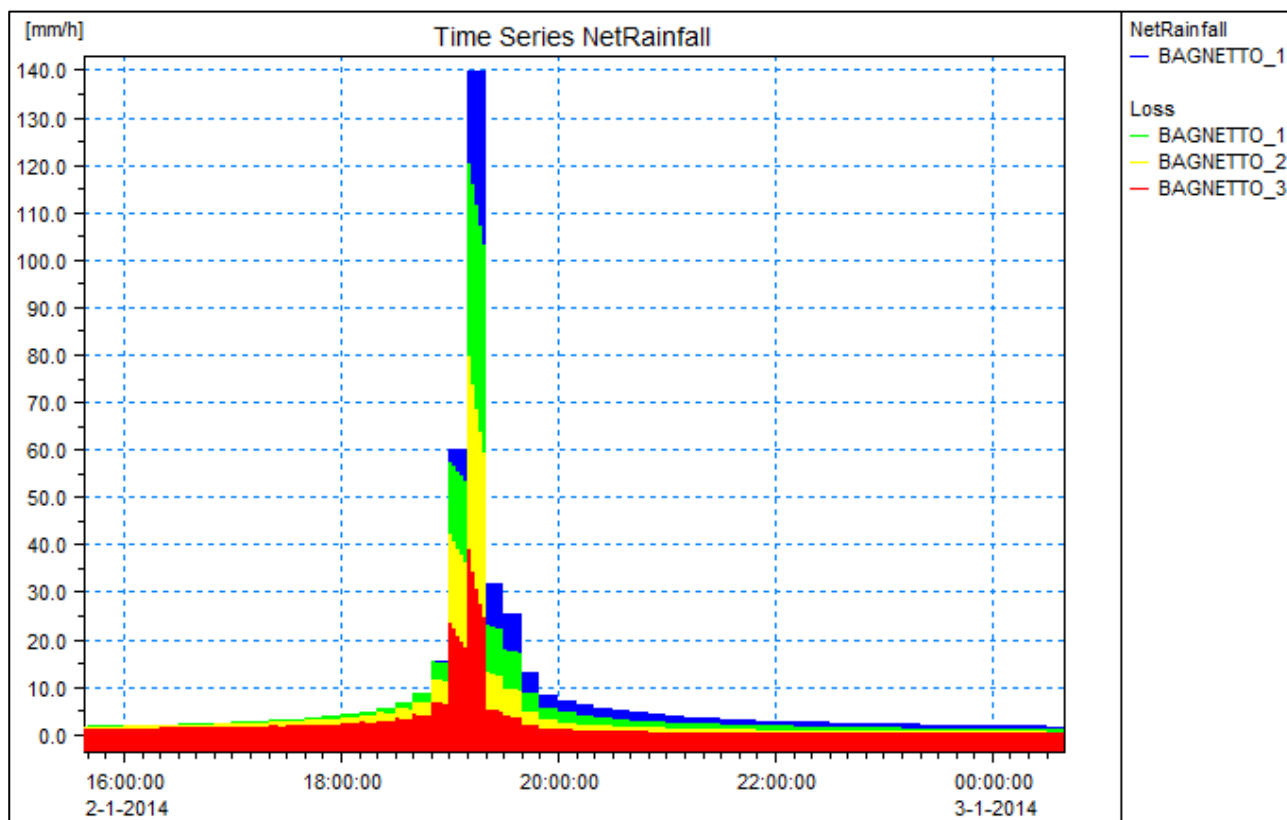


Figura 4. Intensità di precipitazione TR 20 anni stagione secca e perdite per diverse condizioni AMC nel bacino Bagnetto.

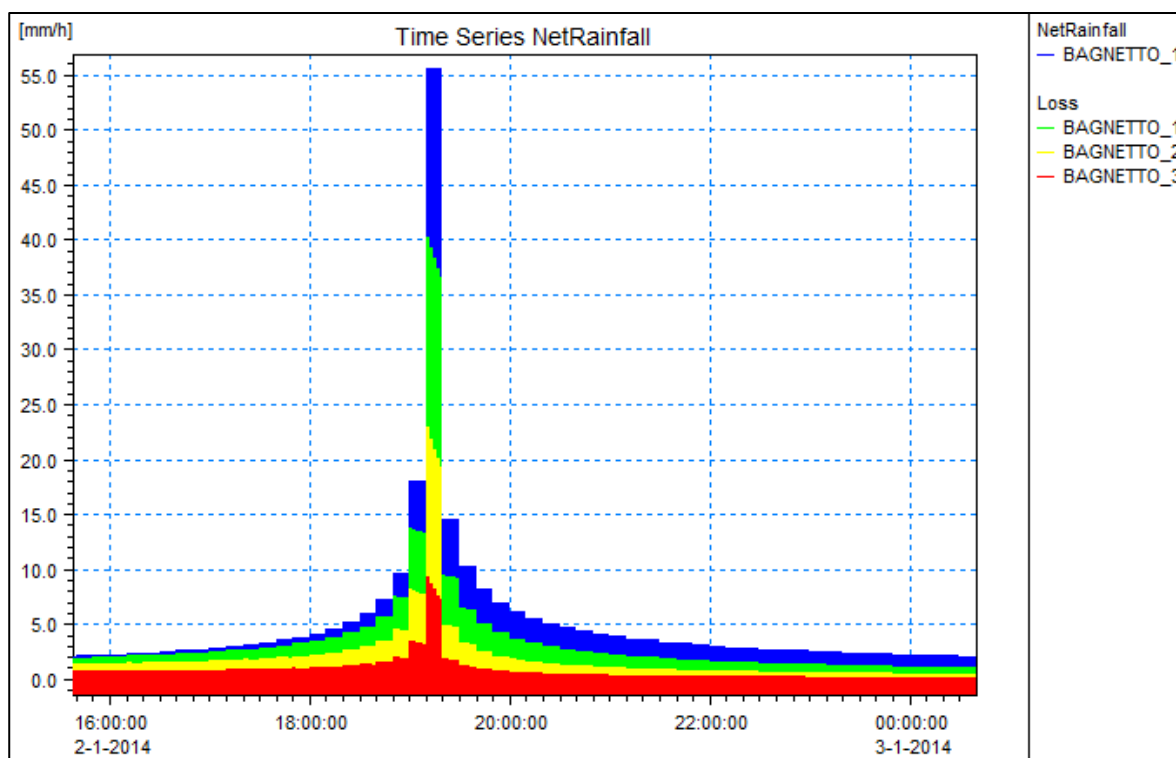


Figura 5. Intensità di precipitazione TR 20 anni stagione umida e perdite per diverse condizioni AMC nel bacino Bagnetto.

I risultati della modellazione idrologica per le simulazioni idrologiche con ietogramma Chicago vengono proposti suddividendo il territorio della Figura 1 nelle stesse tre macro-aree della Tabella 1: zona Cento-Sud, zona Condotto Generale-Ovest, zona Nord Est.

Si precisa che sono state eseguite le simulazioni idrologiche in stagione secca ed umida sia per lo ietogramma Chicago a 48 ore, sia per ietogrammi costanti di durata 3, 6, 12, 24, 48, come illustrato al Capitolo precedente, ma che, per meglio sintetizzare i risultati e le conseguenti valutazioni si riportano qui di seguito le risultanze delle modellazioni con ietogramma Chicago, ritenendole sinteticamente esaustive delle conclusioni dedotte.

I bacini urbani di Cento sono inclusi nella prima zona, Cento-Sud.

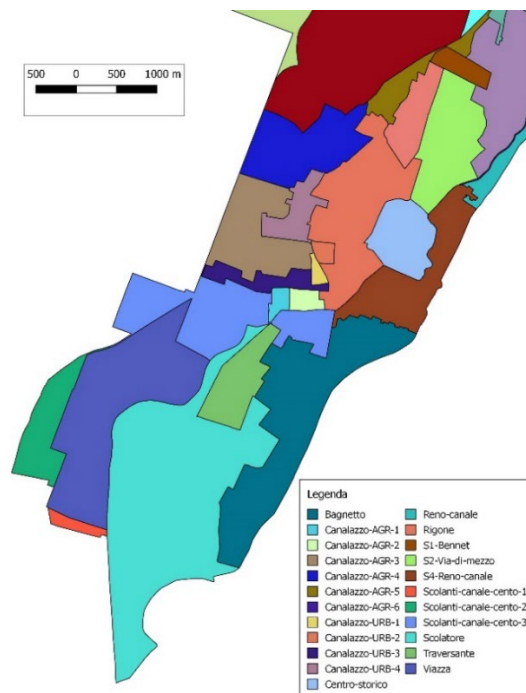


Figura 14. Zona Cento-Sud.

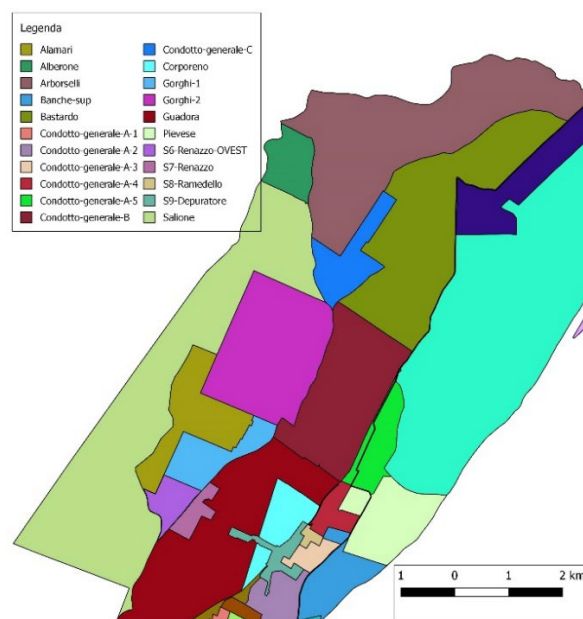


Figura 6. Zona Cond. Generale - Ovest.

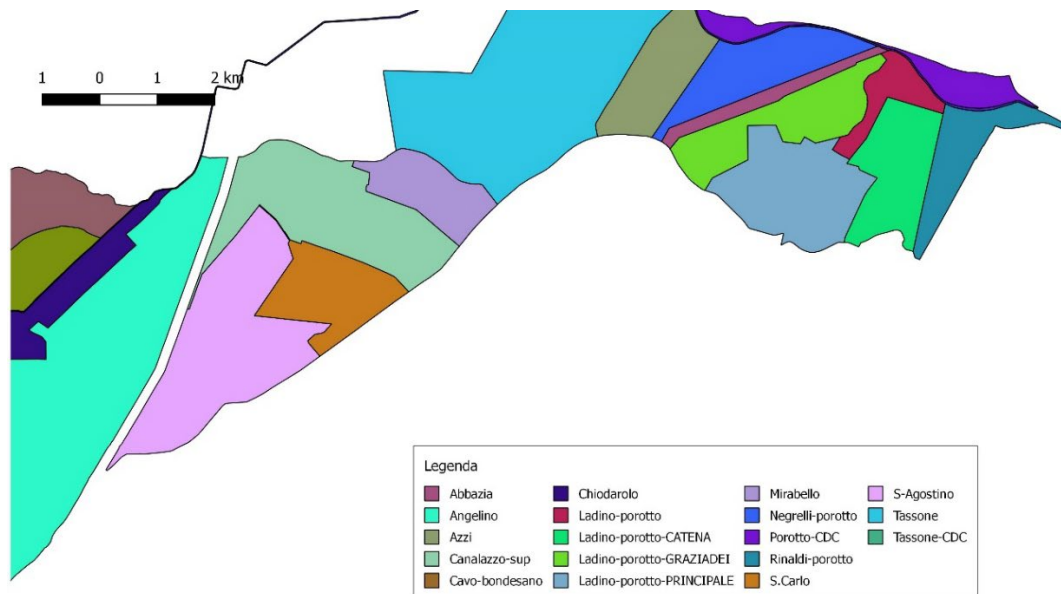


Figura 16. Zona Nord-Est.

3.1.2.1 TR 20 anni

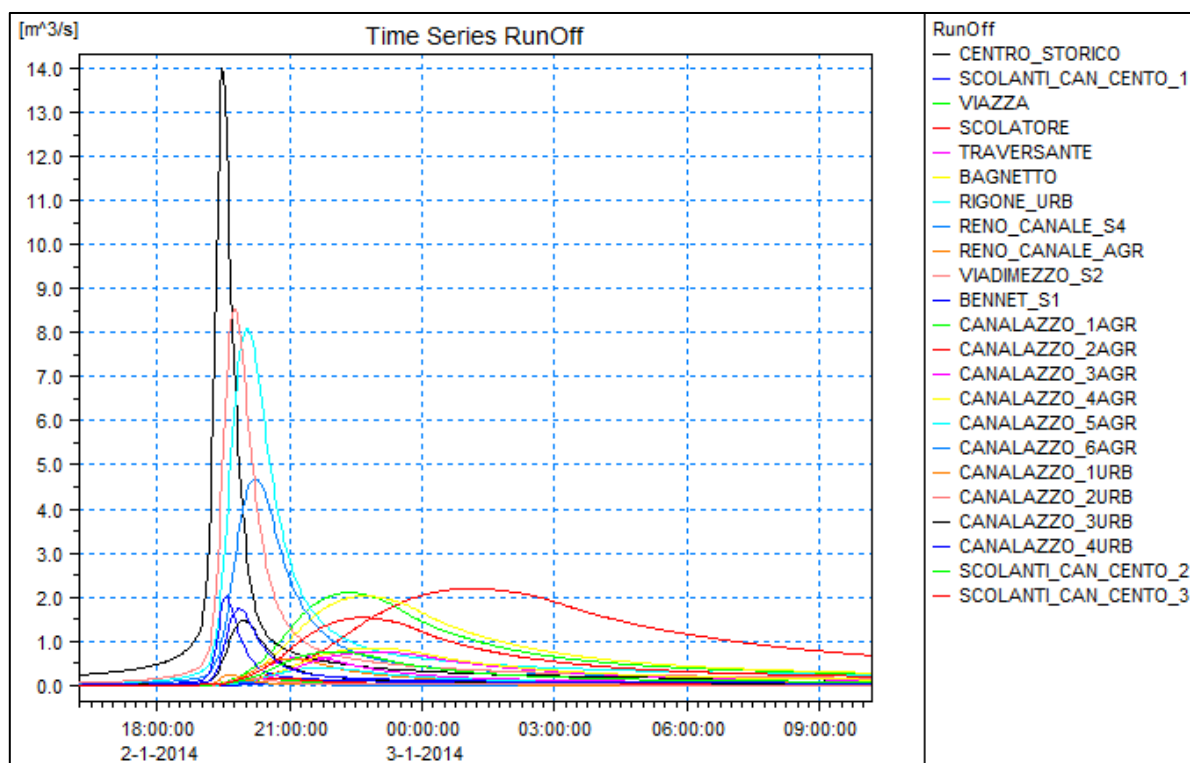


Figura 17. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Cento Sud, TR 20 anni, stagione secca.

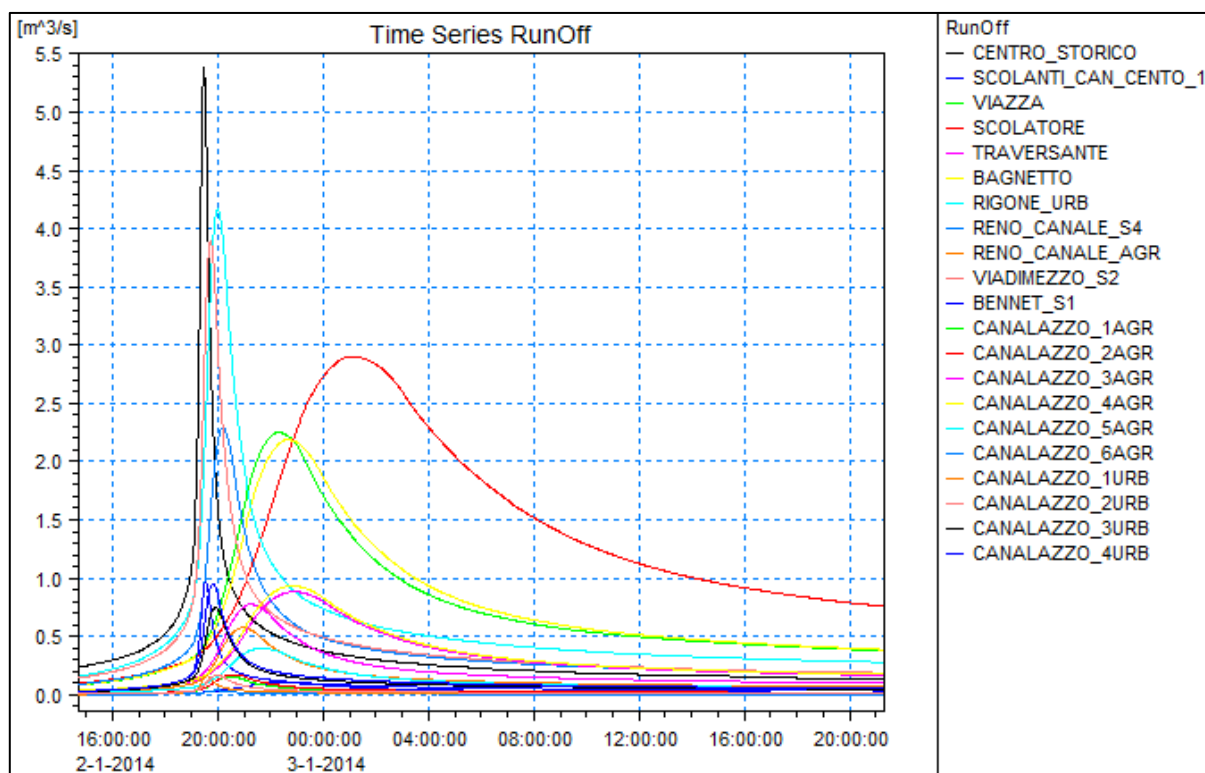


Figura 18. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Cento Sud, TR 20 anni, stagione umida.

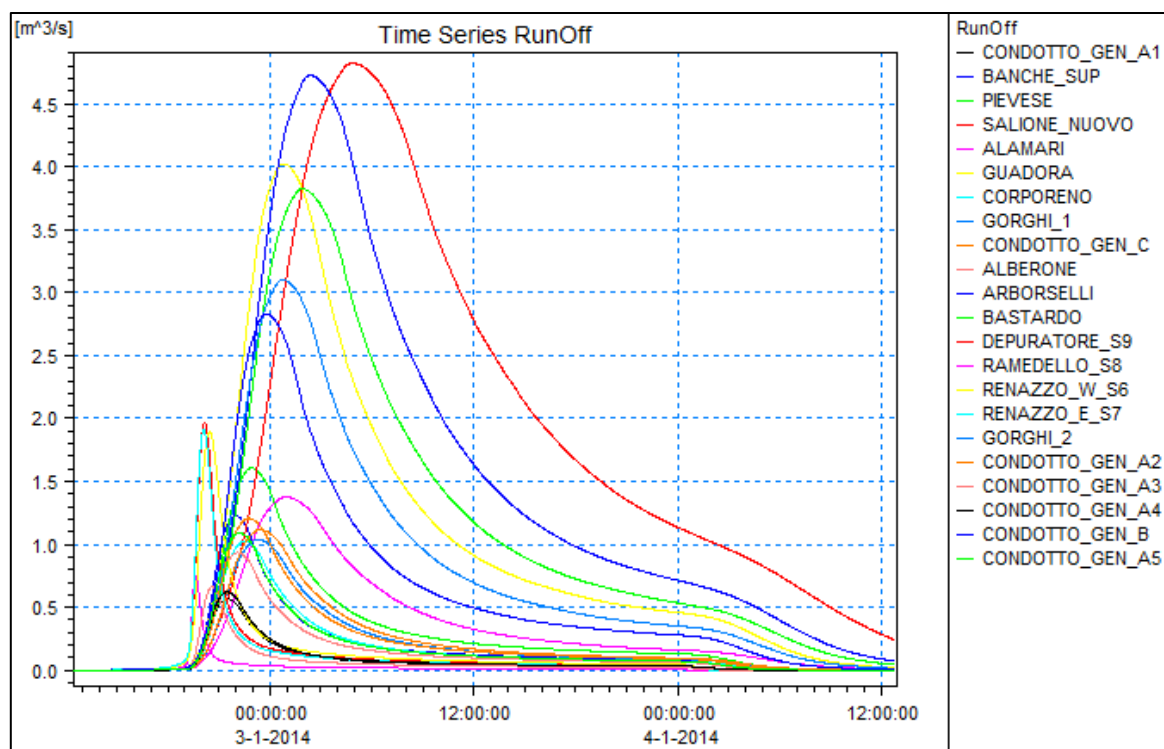


Figura 19. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Condotto Generale-Ovest, TR 20 anni, stagione secca.

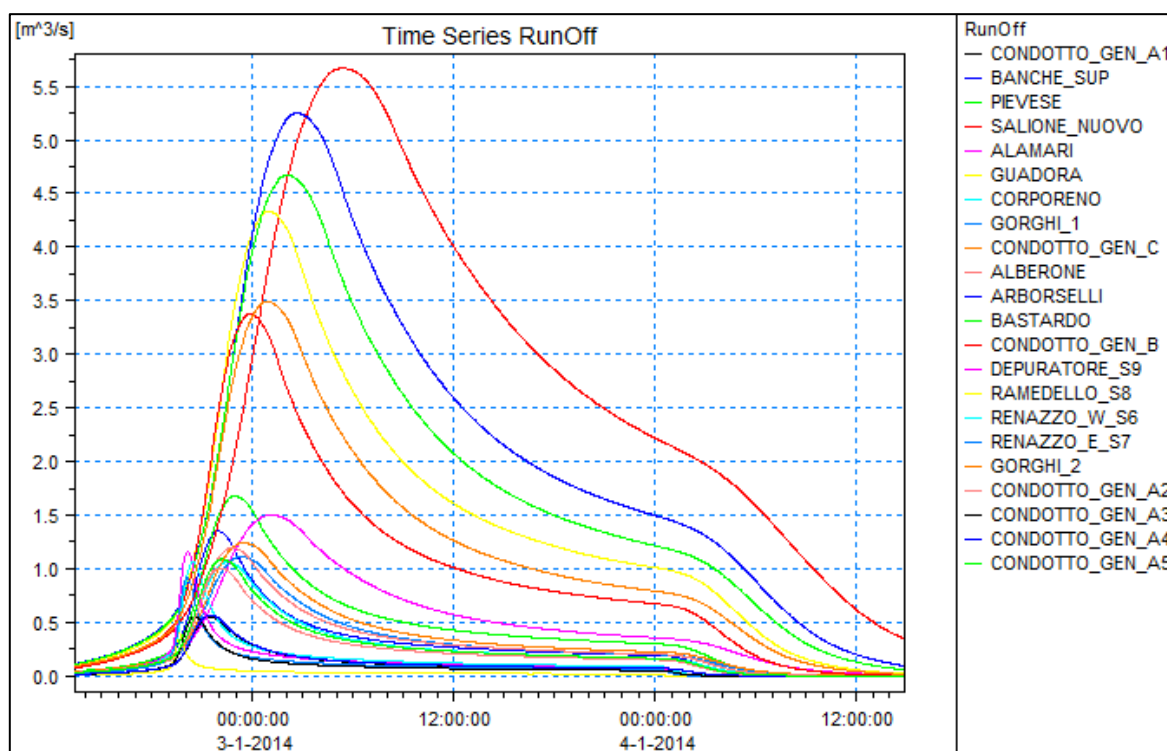


Figura 20. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Condotto Generale-Ovest, TR 20 anni, stagione umida.

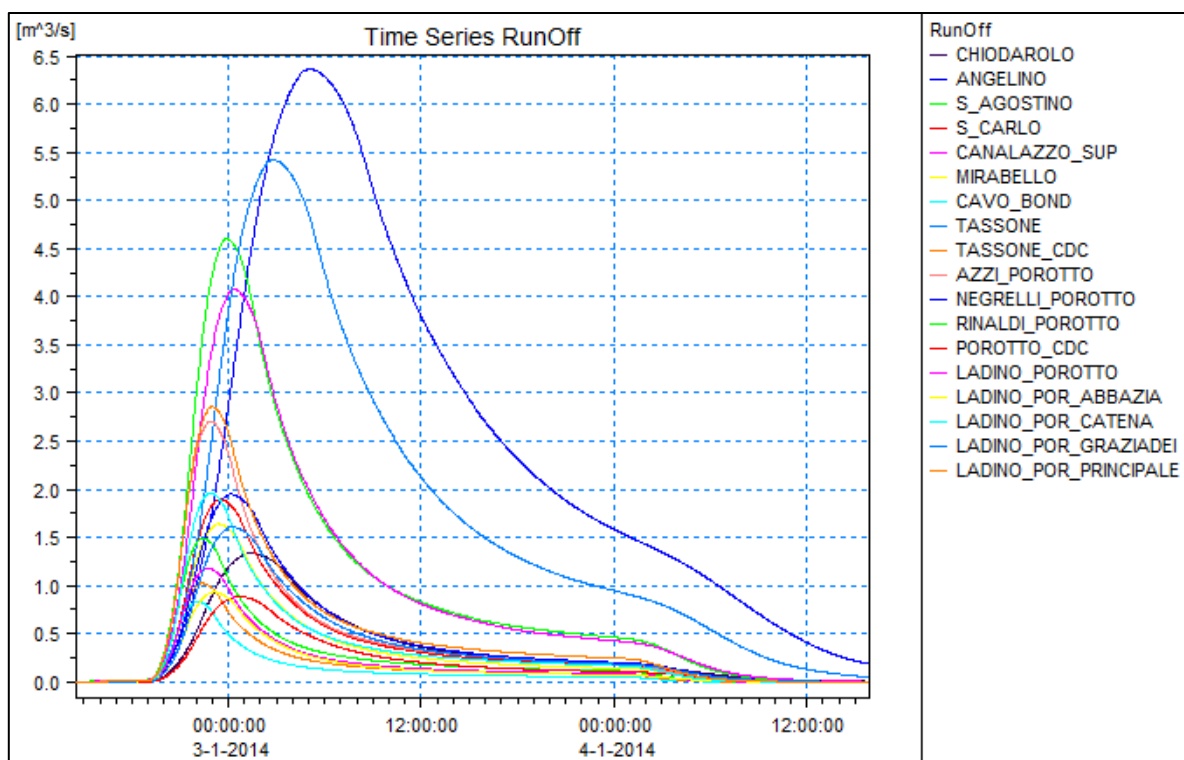


Figura 7. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Nord-Est, TR 20 anni, stagione secca.

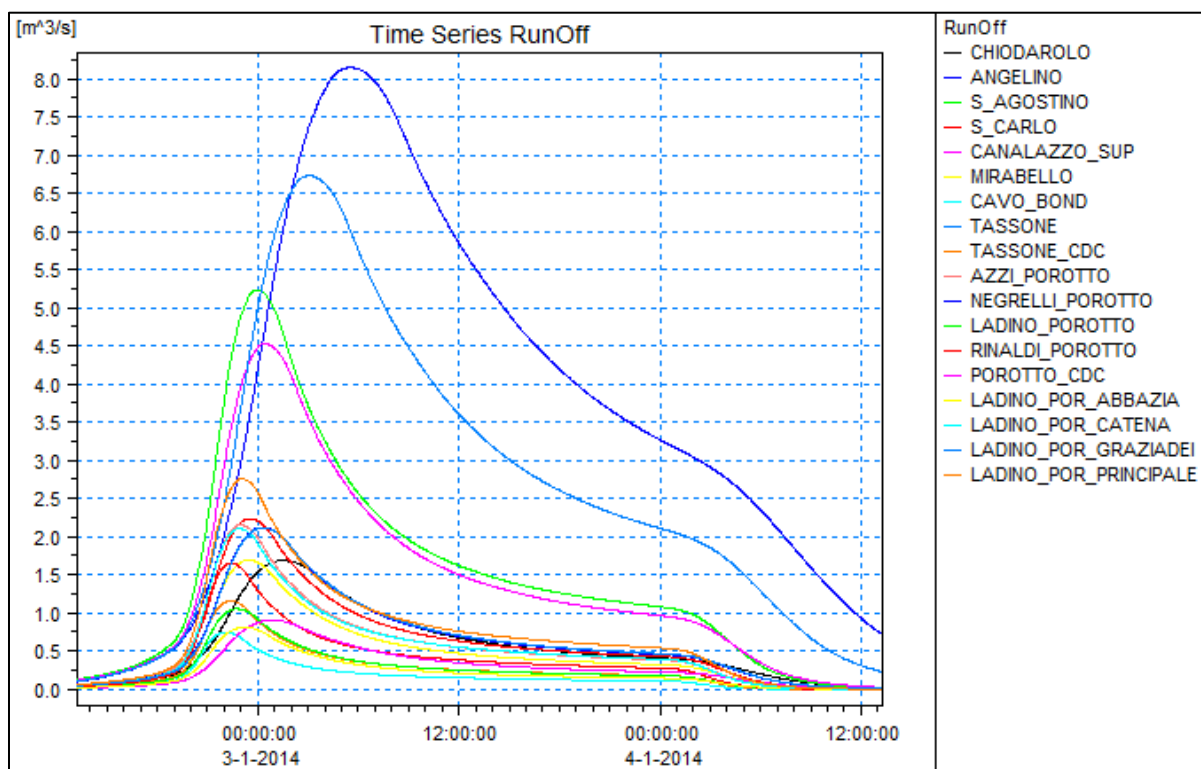


Figura 8. Idrogrammi di piena per i bacini della zona Nord-Est, TR 20 anni, stagione umida.

Da tali idrogrammi si può notare come la risposta dei bacini urbani sia notevolmente anticipata, portando al picco del deflusso circa 2-3 ore dopo il picco di precipitazione, si vedano i bacini Centro storico e Rigone nella zona Cento Sud; per i bacini agricoli, invece, la risposta è molto più lenta e comunque in funzione della forma e della lunghezza dell'asta, si fanno notare i bacini Angelino e Salione Nuovo che registrano il picco di portata alla sezione di chiusura addirittura 12 ore dopo. Per quanto riguarda il picco di portata, si conferma quanto anticipato: per i bacini più urbanizzati (es.: Centro storico, Reno Canale e Rigone) esso risulta maggiore nella condizione di simulazione di stagione secca, mentre per i bacini meno urbanizzati (es.: Canalazzo Inferiore, Viazza, Bagnetto, ecc...) le due condizioni danno origine a picchi confrontabili o addirittura maggiori in stagione umida.

Tabella 11. Alcuni volumi di deflusso superficiale risultanti dalla modellazione idrologica, TR 20 anni. In grigio i bacini urbani. In grassetto il volume superiore tra stagione secca e umida.

BACINO	AREA [ha]	Prec. Tot. [m³]		Volume di deflusso superficiale [m³]			
		SECCA	UMIDA	TR 20 secca	% runoff	TR 20 umida	% runoff
Viazza	228	237576	206112	54877	23.1	89059	43.2
Scolatore	411	427220	370640	93447	21.9	165187	44.6
Traversante	58	59394	51528	12825	21.5	24200	46.9
Bagnetto	226	237576	206112	59387	25	92185	44.7
Centro storico	60	61478	53336	55242	89.9	47180	88.4
Rigone	156	162552	141024	68342	42	72040	51.1
Reno Canale URB	102	105242	91304	24167	23	38749	42.4
Reno Canale AGR	42	43660	37878	11031	25	17141	45.2
Via di Mezzo	100	103158	89496	39076	37.9	45376	50.7
Bennet	18	18756	16272	7255	38.7	7629	46.9
CANALAZZO_1 AGR	7.9	8232	7142	1815	22	3321	46.5
CANALAZZO_2 AGR	10.4	10837	9402	2495	23	4305	45.8
CANALAZZO_3 AGR	99	103158	89496	22487	21.8	38353	42.9
CANALAZZO_4 AGR	103	107326	93112	25473	23.7	39200	42.1
CANALAZZO_5 AGR	33.8	35219	30555	8734	24.8	13881	45.4
CANALAZZO_6 AGR	1.35	1407	1220	754	53.6	763	62.5
CANALAZZO_1 URB	5	5210	4520	1433	27.5	1904	42.1
CANALAZZO_2 URB	6.7	6981	6057	1510	21.6	2692	44.4
CANALAZZO_3 URB	27.5	28655	24860	11191	39	12239	49.2
CANALAZZO_4 URB	33.8	35220	30555	12800	36.3	14266	46.7

I bacini agricoli che presentano un'estensione più limitata o ampie zone impermeabili infine, come alcuni bacini agricoli dello Sc. Canalazzo, dello Sc. Bagnetto e dello Sc. Viazza mostrano picchi di portate molto simili fra le due stagioni.

Ponendo il confronto sui volumi generati dal deflusso, come riportato in Tabella 11, eccezion fatta per il Centro Storico, tutti i bacini presentano volumi maggiori in stagione umida.

Per concludere si può affermare che: per la tenuta del sistema del Canale di Cento nel suo complesso e dei canali ad esso afferenti, la stagione umida presenta certamente lo scenario più gravoso, sebbene tali canali siano prossimi al centro abitato (es.: Sc. Canalazzo, Sc. Bagnetto, ecc ...), mentre se si limita l'analisi al contesto urbano di Cento (crisi locale dei condotti che smaltiscono le portate urbane, aventi caratteristiche preminentemente fognarie: es.: fognature e Sc. Rigone) va simulata anche la stagione secca, per valutare la situazione di crisi innescata dalle più elevate portate di picco nelle ridotte sezioni presenti. Questi aspetti troveranno riscontro ed affermazione nel seguente capitolo relativo alla modellazione idrodinamica.

3.2 Modellazione idrodinamica 1D

3.2.1 Presentazione del sistema di scolo

La rete di canali inserita nel modello vede nel Canale di Cento il collettore principale. Questo, a partire dalla sezione iniziale di competenza del Consorzio a San Matteo della Decima – Ponte via Sparadella detto “della Mora”, attraversa tutta l’area fino allo sbocco in Canale di Burana all’altezza di Porotto (Ferrara). L’intero sistema, impostato a scolo naturale, fa interamente capo a un unico collettore, e ha dunque una unica condizione al contorno di valle allo sbocco del Canale di Cento.

Il Canale di Cento proviene da zone a Sud del territorio consortile, recando le acque del bacino di S. Giovanni in Persiceto in Provincia di Bologna; dopo aver ricevuto alcuni contributi dai territori alla sua destra idraulica (Fossa Viazza, Fosso Scolatore, Scolo Traversante), e aver raggiunto arginato l’area urbana di Cento, entra nel tratto urbano tombinato (circa 3 km) subito a valle della paratoia detta di S. Liberata e riceve infine l’ultimo contributo da sud, costituito dallo Scolo Bagnetto (anch’esso tombinato). Da qui in avanti, il Canale di Cento non riceve più apporti locali e attraversa il territorio comunale, mantenendosi in “acque alte”; soltanto nei pressi di Casumaro esso assume quote tali da poter ricevere le acque dell’intera area centese.

Il secondo canale per importanza è il Condotto Generale, che, come detto, ha origine tombinato in Cento dove raccoglie gran parte dei sistemi fognari urbani. In campagna, riceve poi i contributi dello scolo Reno Canale, del Banche Superiore, del Pievese in destra, successivamente del Canalazzo Inferiore, degli scoli Gorgi e Guadora in sinistra e in ultimo dell’importante Scolo Salione Nuovo. Confluisce nel Canale di Cento appunto all’altezza di Casumaro.

Anche il collettore di acque basse è impostato a scolo naturale, ma a causa della modestissima pendenza dell’esteso territorio che il canale attraversa, è caratterizzato da una bassa pendenza longitudinale d’alveo che limita fortemente le velocità di deflusso e comporta elevati livelli di riempimento in caso di piena.

A monte della botte a due condotti rettangolari sottopassante il Cavo Napoleonico, il Canale di Cento riceve le acque del Chiodarolo vecchio e poi del Canale Angelino, recapito di tutte le acque scolanti dai territori a Nord dell’abitato di Dosso, compresi tra il Canale di Cento stesso a Ovest e il Reno – Cavo Napoleonico a Est. A valle della botte, la Fossa Savenuzza recapita nel Canale di Cento le acque dei territori di S Agostino, San Carlo e Mirabello; il Cavo Tassone e lo Scolo Rondone raccolgono invece le acque delle campagne vigaranesi e si gettano nel Canale di Cento all’altezza dell’abitato di Vigarano Pieve. Prima della confluenza in Canale di Burana, il Canale di Cento, che costeggia in questo tratto la provinciale (ex statale) Virgiliana, riceve le acque del bacino di Porotto, segnatamente degli scoli Azzi, Negrelli, Ladino e Rinaldi.

I canali implementati nel modello idraulico sono i principali della rete e sono descritti nella seguente Tabella 12.

Tabella 12. Canali inseriti nel modello.

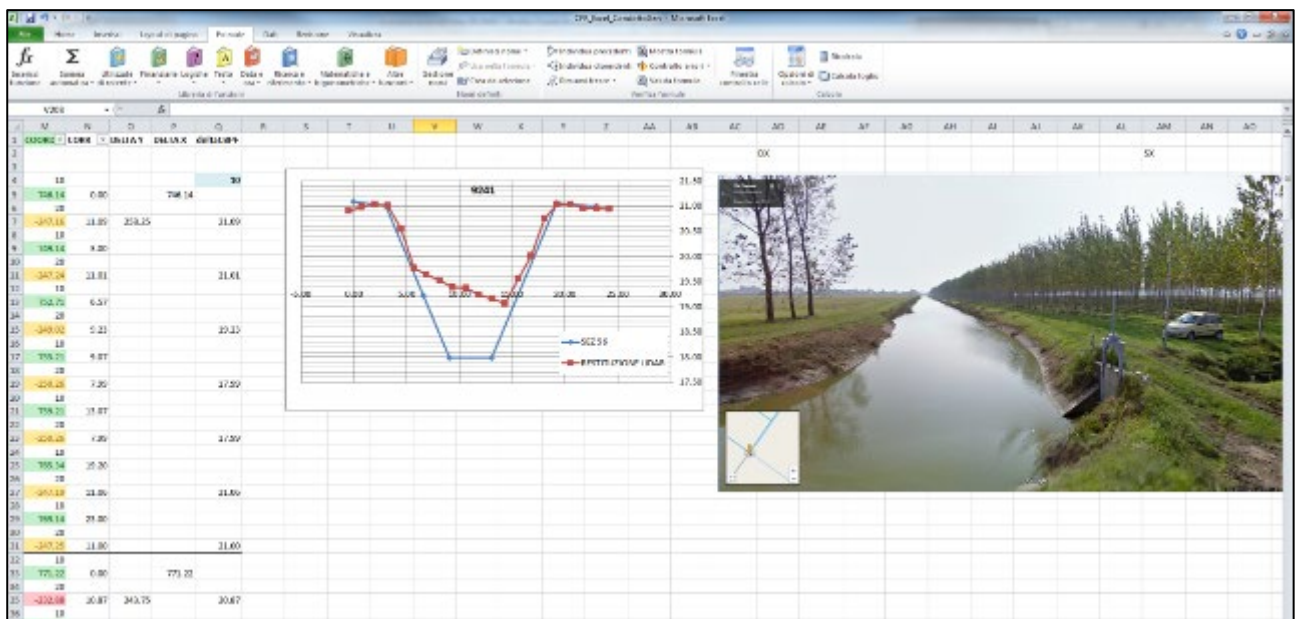
NOME	LUNGHEZZA [m]	Nome del canale ricettore	Progressiva dell'immissione [m]
CANALE DI CENTO	44549		
SAVENUZZA	3090	CANALE DI CENTO	30279
BASTARDO	7452	CANALE DI CENTO	22913
CONDOTTO GENERALE	16625	CANALE DI CENTO	23136
ANGELINO	13341	CANALE DI CENTO	27091
CANALAZZO INFERIORE	7437	CONDOTTO GENERALE	5973
GORGHI	4254	CONDOTTO GENERALE	9007
CANALAZZO SUPERIORE	2164	SAVENUZZA	0
MIRABELLO	2401	SAVENUZZA	0
CAVO TASSONE	6521	CANALE DI CENTO	37491
GRAZIADEI	4395	LADINO POROTTO	1806
AZZI	1674	CANALE DI CENTO	38125
BAGNETTO	4477	CANALE DI CENTO	7560
SCOLATORE	3881	CANALE DI CENTO	5506
SALIONE NUOVO	11494	CONDOTTO GENERALE	11831
ARBORSELLI	6878	CANALE DI CENTO	23561
SANT'AGOSTINO	4405	CANALAZZO SUPERIORE	0
LADINO PRINCIPALE	2360	GRAZIADEI	2134
LADINO POROTTO	3597	CANALE DI CENTO	43325
VIAZZA	1264	CANALE DI CENTO	3220
CENTO CENTRO	778	CONDOTTO GENERALE	0
RENO CANALE	1894	CONDOTTO GENERALE	2770
GUADORA	6033	CONDOTTO GENERALE	6502
S4-RENO CANALE	992	RENO CANALE	0
RIGONE	2533		

Quanto alle aste idrauliche minori, queste sono state escluse dal modello ma i loro contributi sono stati inseriti come ingressi concentrati nei rispettivi canali ricettori.

- Lo Scolo Bagnetto riceve le acque dello scolo Tombetta;
- Lo scolo Corporeno afferisce allo Scolo Guadora;
- Lo scolo Alamari recapita nel Gorghi, così come lo scolo Torre Spada tramite un allacciante;

- ### 3.2.2 Dati disponibili e campagna di rilievi topografici

Per i dati già disponibili è stata effettuata una verifica di massima sulle quote lavorando in ambiente GIS; in particolare si è fatto uso del dato altimetrico LIDAR disponibile su tutta la Provincia di Ferrara (datato 2008) utilizzando il plugin ProfileTool di QGIS. Dopo semplici elaborazioni, le sezioni rilevate vengono confrontate con le sezioni LIDAR ottenute nel GIS. I raffronti mostrano una buona rispondenza fra i dati, con errori massimi di quota attorno ai 10-20 cm, ma la gran parte delle sezioni presenta errori largamente inferiori quando non addirittura riscontri ottimi.

**Interventi strutturali per la sicurezza idraulica dell'area Centese – 2° Stralcio - Relazione Idrologico Idraulica**

Dato l'interesse per i comparti sud-occidentali del comune di Cento, il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara ha condotto una campagna di rilevamento dei bacini afferenti al Canalazzo Inferiore e dello stesso canale. È stata utilizzata una strumentazione laser scanner montata su palo telescopico, in modo da garantire al dispositivo una migliore visuale, ad esempio, delle sponde più ripide e profonde.



Figura 10. Laser scanner su palo telescopico durante le operazioni di rilievo.

Il risultato di ogni singola scansione è rappresentato dalla cosiddetta “nuvola di punti”, formata dall’insieme di centinaia di migliaia di misurazioni riguardanti le coordinate plano-altimetriche. La figura successiva rappresenta una porzione di una scansione del tratto del Canalazzo Inferiore:

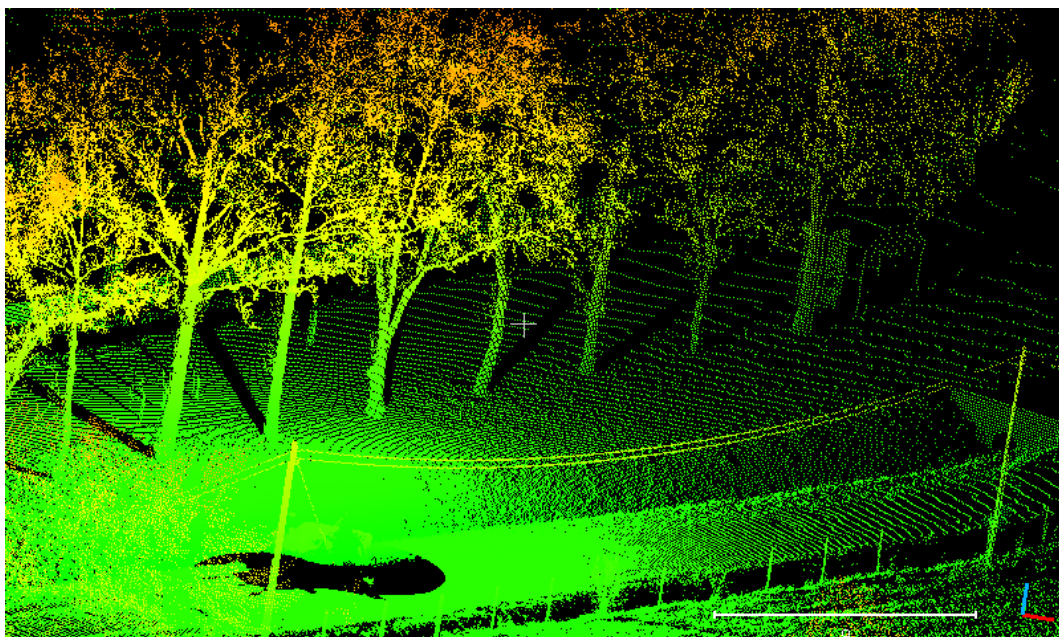


Figura 25. Nuvola di punti ottenuta con il laser scanner.

Successivamente, attraverso l'elaborazione post processing dei dati raccolti in campo, è stato possibile tagliare dalla nuvola completa dei segmenti di punti, da cui sono state create le sezioni trasversali dei canali:

Figura 26. Creazione delle sezioni trasversali.

3.2.3 La costruzione del modello

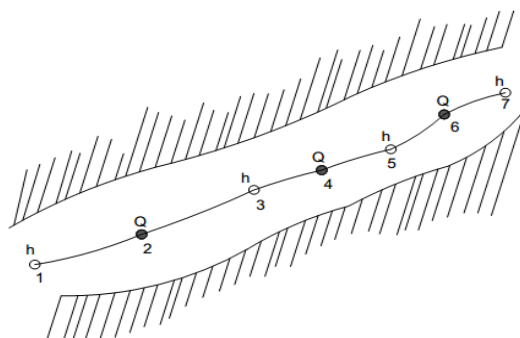


Figura 27. Sezione di canale con griglia di calcolo.

Per la modalità di risoluzione è possibile scegliere fra tre differenti approcci, ognuno con una propria schematizzazione delle condizioni iniziali: approccio dell'onda cinematica, dell'onda diffusiva e dell'onda dinamica. Per il modello qui descritto è stato scelto l'ultimo approccio- "fullydynamic"- capace di risolvere le equazioni complete del moto e quindi di non trascurare i termini riguardanti il gradiente idrostatico e le accelerazioni locali e convettive. In questo modo si possono valutare tutti i fenomeni che l'onda di piena può subire lungo la rete, quali: la laminazione, l'interferenza con le strutture idrauliche, la ricezione distribuita o concentrata delle piogge o ancora la confluenza fra varie aste.

Per far ciò il programma richiede la creazione di un file con estensione *.sim11*, in cui sono richieste le seguenti specifiche:

- durata e intervallo di simulazione (sia il Δt di simulazione che di scrittura output);
- gli input idrologici, vale a dire gli output della simulazione idrologica con i quali si procede alla simulazione idrodinamica;
- percorso e nome dei file di output;
- i dati di input, ossia i file di editor indispensabili alla simulazione:
 - *network (.nwk11)*: è richiesta la planimetria della rete da indagare, le connessioni fra le aste, le strutture idrauliche e le connessioni con gli output del modello idrologico, cioè i punti di ingresso (concentrato o distribuito) dei contributi dei bacini di scolo nella rete;
 - *cross-sections (.xns11)*: si definiscono le sezioni trasversali di tutti i canali della rete e le loro caratteristiche in termini di resistenza al flusso;
 - *boundary data (.bnd11)*: permette di specificare le condizioni al contorno, di monte e di valle, più eventuali influssi o efflussi laterali localizzati;
 - *HD parameters (.hd11)*: l'editor per la descrizione dei parametri indispensabili ai fini della simulazione, come il coefficiente di resistenza, la forma delle equazioni da risolvere o il coefficiente di stabilità.

Altre scelte effettuate per la modellazione idrodinamica riguardano:

- il coefficiente di resistenza al moto per la superficie dei canali: nella difficoltà di determinarlo sezione per sezione viste la lunghezza e complessità della rete modellata, si è fatto ricorso ad un unico valore. Scelta la formulazione di Manning, si è posto pari a $n = 0.026 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$;
- il coefficiente di dissipazione Delta dello schema numerico ($0.5 < \Delta < 1$). Questo, utile ad evitare instabilità di calcolo ma dissipativo e dunque in grado di alterare i risultati se troppo alto, viene posto pari a 0.85, così come consigliato nel manuale per ottenere calcoli stabili e risultati sufficientemente accurati;
- le strutture di controllo (paratoie, travate, chiaviche) sono considerate generalmente in configurazione di alta prudenza, per facilitare al massimo lo scolo.

3.2.3.1 Le condizioni al contorno

La computazione di un modello idraulico monodimensionale in regime di moto vario su reti di canali con geometria irregolare richiede la definizione di due condizioni al contorno. Tali condizioni sono definite tramite i file Time Series (.dfs0) e caricate nell'editor boundary data. Le condizioni al contorno, per un problema di moto vario in una rete a fondo fisso, possono essere di tre tipi: una relazione che mostri il livello del pelo libero in funzione del tempo, una relazione che legghi la portata al tempo oppure una relazione fra livelli e portate, la cosiddetta scala di deflusso.

La rete studiata presenta come collettore principale il Canale di Cento, per cui si necessita di una condizione di monte e una di valle. Per la definizione di quella di monte si ricorda che il Canale di Cento ha origine all'esterno del comprensorio del Consorzio ferrarese. Ciò determina che il tratto indagato deve farsi carico anche della portata derivante da un bacino di circa 4000 ha. Tale contributo, durante le piene nel Canale di San Giovanni, è stato fissato, in $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ costanti, parametro all'incirca medio rispetto al valore massimo concordato con il Consorzio della Bonifica Burana. Questa informazione individua la condizione di monte. La condizione di valle, invece, deve essere riferita allo sbocco del Canale di Cento nel Canale di Burana e, quindi, ad un andamento nel tempo dei livelli idrometrici. Considerando la distanza che separa il comune di Cento dalla foce del Canale di Cento, appare inverosimile una condizione per cui si registrano precipitazioni, intense come quelle prese a riferimento per l'analisi in oggetto, su tutto il bacino servito dal Canale. Per tale motivo non si è ricostruito un livello idrometrico di valle corrispondente, ma si è comunque scelta una condizione che si riferisce al superamento della condizione di allerta-allarme per il sistema Burana – Volano in quel punto e pari a +15 m.

3.2.3.2 Manufatti e Paratoie

Sulla base dei rilievi effettuati nonché delle informazioni fornite dal Reparto, corredate da immagini e descrizioni, sono state inserite come *Control Structures* le paratoie effettivamente utilizzate nella gestione della fase di scolo. Ipotizzando che la gestione di tali manufatti sia ottimale da parte dei tecnici del Consorzio,

in caso di eventi pluviometrici intensi, essi si considerano completamente aperti (*fully open*), ciò ha portato all'inserimento delle sole geometrie di tali manufatti. Le strutture modellate come detto sono:

Tabella 13. *Strutture di controllo principali.*

CANALE	PROGR [m dall'origine]	NOME MANUFATTO	Quota massima stramazzo [m]	Luce [m]
GENERALE	12388	Via Orologi	19.83	4.06
GORGHI	4250	Sbocco in Cond. Generale	19.32	1.6
DI CENTO	6615	via S. Liberata	25.74	3.5
DI CENTO	16592	Molino Albergati	22.22	3.25
DI CENTO	22233	Molino Boschetti	20.42	3.3
DI CENTO	26241	Pamperso	19.16	2 x 3.24
DI CENTO	31498	Ch. Rossa Ponte Rodoni	19.25	6.5
DI CENTO	37361	Paratoia Vigarano P.	17.67	4
DI CENTO	41594	Paratoia Porotto	16.94	6.16
ANGELINO	6580	Chiusa Ca Fantino	20.5	2.1
GRAZIADEI	3217	Chiusa pre Ferrovia	19.49	1.6
CASSA INTERRATA	1218	Sfioratore	21.1	25
CASSA PONTE ALTE	2860	Sfioratore	20.6	20

Per quanto concerne i tombinamenti, questi sono stati modellati come *culverts*. In generale, lungo la rete sono stati inseriti solo quelli rilevanti (lunghezza ≥ 20 m), mentre per lo Sc. Canalazzo Inf. e per la parte recentemente risezionata dello Sc. Guadora si è provveduto a modellare anche i minori, essendo l'area che maggiormente si intende indagare. Il programma richiede, oltre ai dati geometrici (progressiva, geometria, quote di imbocco e di uscita, lunghezza), anche il coefficiente di resistenza; questi, in funzione del materiale del condotto, assumono i seguenti valori ricavati da letteratura:

Tabella 14. *Coefficienti di resistenza adottati.*

Calcestruzzo	Muratura	Finsider	Acciaio
0.014	0.02	0.025	0.019

In alcuni casi, ci si è ritrovati ad avere un unico tombinamento caratterizzato da due differenti geometrie ed aree, tra l'imbocco e l'uscita. Queste situazioni, probabilmente dovute ad epoche di costruzione diverse, sono state affrontate modellando il tombinamento come se fosse composto da due tratti, di eguale lunghezza, ognuno con proprie caratteristiche geometriche; sono state eliminate però, le perdite di sbocco- a valle del primo tratto- e quelle di imbocco- a monte del secondo-, in quanto nella realtà non vi è una discontinuità tra i due condotti. Di seguito si riporta una scheda descrittiva di un tombinamento che presenta proprio quest'ultima caratteristica:

Tabella 15. *Tombinamento Via del Curato.*

	Upstream	Downstream	Lunghezza	290.1
Progressiva	361.5	651.6	Dimensione	DN1000/100x160
Quota	22.83	22.12	Manning's n	0.014



3.2.3.3 Le casse di espansione

In Tabella 13 si nota la presenza di due canali denominati “CASSA INTERRATA” e “CASSA PONTE ALTO”. Questi sono stati modellati per simulare il comportamento delle casse di espansione in derivazione costruite durante il 1° stralcio del progetto di messa in sicurezza idraulica dell’area Centese.

La cassa interrata viene alimentata da uno sfioratore laterale lungo 16.70 m posto a quota 11.18 m (+21.18 con il sistema di quote del Consorzio) in corrispondenza del tratto tombinato del Condotto Generale (sez. rettangolare 3m x 2m). Esiste anche la possibilità di attivare una paratoia a battente larga 2.50 m. La cassa è collegata allo sfioratore da un condotto rettangolare 3x2 lungo circa 150 m e ha dimensioni in pianta di 86x40m, con una altezza interna di 2m. Nel modello MIKE si mantiene la capacità della cassa semplificandone la geometria attraverso appunto un canale rettangolare. L’effetto della paratoia viene sostituito allungando lo sfioratore a 25 m.

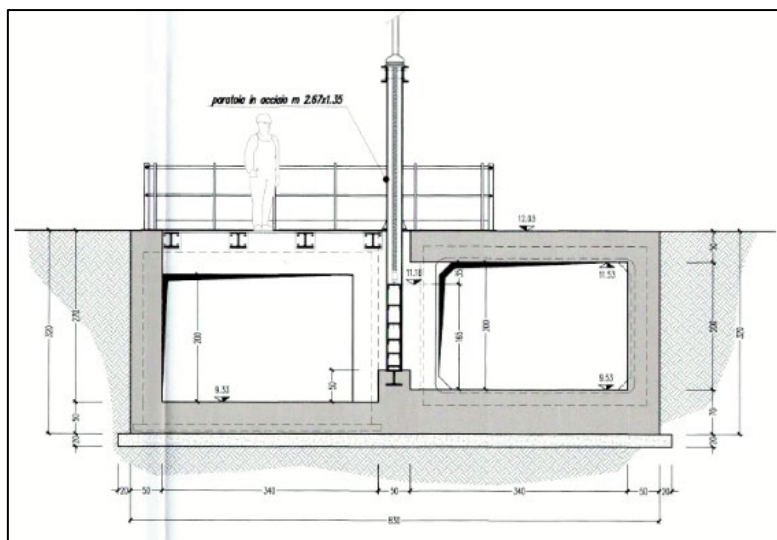


Figura 28. Sezione dello sfioratore della cassa di espansione interrata.

La cassa di espansione ponte alto si estende su di una superficie lorda totale di 6,6 ha ed è divisa in due invasi (monte 3,5 ha, valle 3,1 ha) separati da via Ponte Alto. La cassa viene alimentata da uno sfioratore lungo 20 m alla quota di +10.60 m (+20.60 con il sistema di quote del Consorzio) che consiste in un abbassamento dell’argine del Condotto Generale. La restituzione dei volumi immagazzinati in fase di piena avviene tramite 4 tubazioni di diametro 315 mm con valvole a clapet, poste a quota 9.90. La geometria interna è complessa ma la cassa viene inclusa nel modello rispettando i volumi di invaso.



Figura 29. Planimetria casse di espansione a cielo aperto in località Ponte Alto.

3.2.3.4 Il collegamento tra modello idrologico e rete dei canali

Gli idrogrammi restituiti dal modello idrologico, relativi ai diversi bacini modellati, sono connessi alla rete di scolo attraverso due distinte modalità: come afflusso concentrato nel canale ricettore, qualora il canale di riferimento del relativo bacino non sia stato inserito nel modello, afflusso distribuito lungo il canale altrimenti.

Come già detto nella sezione dedicata alle condizioni al contorno, simulare un evento di pioggia con tempo di ritorno di 20 anni su un'area estesa come quella del bacino servito dal Canale di Cento, porterebbe a simulare un evento molto improbabile oltre che gravoso per la rete. Infatti, occorre ricordare che durante la costruzione dell'evento sintetico di pioggia si è scelto di adoperare uno ietogramma Chicago. Questo significa che l'evento immaginato è caratterizzato da una distribuzione dell'intensità di pioggia tale da sollecitare contemporaneamente sia il sistema urbano fognario che quello di bonifica.

Per ciò, al fine di evitare di simulare una condizione eccessivamente onerosa per la rete in esame, si è scelto di creare i link fra modello idrologico e idraulico solo per alcuni bacini, sostanzialmente quelli della zona Cento-Sud, che è la zona prossima alle aree in cui si sono evidenziate le carenze e le problematiche oggetto

di questo progetto ed ampiamente trattate al Capitolo 2 di questa relazione. Ciò equivale ad ipotizzare un evento pluviometrico sintetico di 20 anni di tempo di ritorno, avente distribuzione Chicago, su tutta l'area dell'abitato di Cento ed a sud del centro stesso. Estendere ulteriormente la spazializzazione dell'evento significherebbe porsi in una condizione idrologica estremamente critica, di criticità generalizzata di tutto il sistema, che esula dal focus e dal potere di azione di questo progetto, incentrato sulle problematiche di scolo dell'abitato di Cento in rete consortile e non sul riesame complessivo della rete di bonifica per tempi di ritorno maggiori.

Le aree che subiscono una modifica dell'attuale condizione scolante sono quelle che saranno recapitate in un nuovo canale (denominato "DIVERSIVO GUADORA lungo" in Tabella 17), per un totale di 198 ha.

Tabella 16. Connessioni tra modellazione idrologica e le aste idrauliche – stato di fatto.

BACINO	AREA [kmq]	CANALE RICETTORE	PROGR monte [m]	PROGR valle [m]
SCOLANTI_CAN_CENTO_1	0.1	DI CENTO	983	983
VIAZZA	2.28	VIAZZA	0	1200
SCOLATORE	4.11	SCOLATORE	0	3850
TRAVERSANTE	0.59	DI CENTO	5538	5538
BAGNETTO	2.26	BAGNETTO	0	3750
RIGONE_URB	1.57	RIGONE	0	2533
RENO_CANALE_S4	1.03	S4-RENO CANALE	0	992
RENO_CANALE_AGR	0.42	RENO CANALE	100	1640
CONDOTTO_GEN_A1	0.44	GENERALE	1292	1292
GUADORA	5.73	GUADORA	0	6083
CENTRO_STORICO	0.6	CENTO CENTRO	0	700
VIADIMEZZO_S2	0.99	GENERALE	1955	1955
BENNET_S1	0.18	GENERALE	2380	2380
CANALAZZO_1AGR	0.08	CANALAZZO INFERIORE	386	386
CANALAZZO_2AGR	0.1	CANALAZZO INFERIORE	0	364
CANALAZZO_3AGR	0.495	CANALAZZO INFERIORE	590	980
CANALAZZO_4AGR	1.03	CANALAZZO INFERIORE	2120	3200
CANALAZZO_5AGR	0.34	CANALAZZO INFERIORE	3200	5310
CANALAZZO_6AGR	0.01	CANALAZZO INFERIORE	6425	7370
CANALAZZO_1URB	0.05	CANALAZZO INFERIORE	405	405
CANALAZZO_2URB	0.07	CANALAZZO INFERIORE	985	985
CANALAZZO_3URB	0.28	CANALAZZO INFERIORE	405	405
CANALAZZO_4URB	0.34	CANALAZZO INFERIORE	985	2025
CANALAZZO_3AGR	0.495	CANALAZZO INFERIORE	1390	1690
SCOLANTI_CAN_CENTO_2	0.61	DI CENTO	1130	3250
SCOLANTI_CAN_CENTO_3	1.48	DI CENTO	3250	6360
CONDOTTO_GEN_A2	1.26	GENERALE	1960	4015

Tabella 17. Connessioni tra modellazione idrologica e le aste idrauliche – stato di progetto.

condizione di progetto				
BACINO	AREA [kmq]	CANALE RICETTORE	PROGR monte [m]	PROGR valle [m]
SCOLANTI_CAN_CENTO_1	0.1	DI CENTO	983	983
VIAZZA	2.28	VIAZZA	0	1200
SCOLATORE	4.11	SCOLATORE	0	3850
TRAVERSANTE	0.59	DI CENTO	5538	5538
BAGNETTO	2.26	BAGNETTO	0	3750
RIGONE_URB	1.57	RIGONE	0	2533
RENO_CANALE_S4	1.03	S4-RENO CANALE	0	992
RENO_CANALE_AGR	0.42	RENO CANALE	100	1640
CONDOTTO_GEN_A1	0.44	GENERALE	1292	1292
GUADORA	5.73	GUADORA	0	6083
CENTRO_STORICO	0.6	CENTO CENTRO	0	700
VIADIMEZZO_S2	0.99	GENERALE	1955	1955
BENNET_S1	0.18	GENERALE	2380	2380
CANALAZZO_1AGR	0.08	DIVERSIVO GUADORA lungo	0	300
CANALAZZO_2AGR	0.1	DIVERSIVO GUADORA lungo	0	300
CANALAZZO_3AGR	0.78	DIVERSIVO GUADORA lungo	430	1450
CANALAZZO_4AGR	0.8	DIVERSIVO GUADORA lungo	1920	3040
CANALAZZO_5AGR	0.34	CANALAZZO INFERIORE	3200	5310
CANALAZZO_6AGR	0.01	CANALAZZO INFERIORE	6425	7370
CANALAZZO_1URB	0.05	CANALAZZO INFERIORE	405	405
CANALAZZO_2URB	0.07	CANALAZZO INFERIORE	985	985
CANALAZZO_3URB	0.28	CANALAZZO INFERIORE	405	405
CANALAZZO_4URB	0.34	CANALAZZO INFERIORE	985	2025
CANALAZZO_3AGR	0.22	DIVERSIVO GUADORA lungo	1740	1840
SCOLANTI_CAN_CENTO_2	0.61	DI CENTO	1130	3250
SCOLANTI_CAN_CENTO_3	1.48	DI CENTO	3250	6360
CONDOTTO_GEN_A2	1.26	GENERALE	1960	4015

3.3 RISULTATI DELLO STATO DI FATTO

Al variare degli input idrologici corrispondenti alle due stagioni, secca ed umida, si ottengono i risultati ricercati in termini di andamento dei tiranti e delle portate al variare del tempo: per tutti la stagione umida è risultata la più gravosa. Al fine di individuare la **condizione dello stato di fatto con tempo di ritorno vent'anni da utilizzare come benchmark per valutare gli effetti positivi indotti sulla rete dalle configurazioni progettuali proposte, si è scelta la simulazione ottenuta partendo dall'evento pluviometrico di stagione umida, ietogramma Chicago e durata 48 ore.** Quest'ultimo, come già affermato precedentemente, ha il

vantaggio di fare un compendio, in un'unica simulazione, dell'effetto contemporaneo di forzanti pluviometriche di differenti durate sulla rete.

A seguire, sono riportate le risposte dei canali scolanti nelle aree occidentali della città di Cento (Sc. Canalazzo Inferiore e Sc. Guadora) come involuppo dei massimi livelli raggiunti nelle aste in esame, per l'evento scelto. Dalla combinazione della modellazione idrologica con quella idrodinamica nelle condizioni si qui esposte infatti, appare evidente che, a mettere in crisi la rete dei canali di bonifica, è prevalentemente il volume d'acqua generato dall'evento e non il picco di portata che si viene a creare.

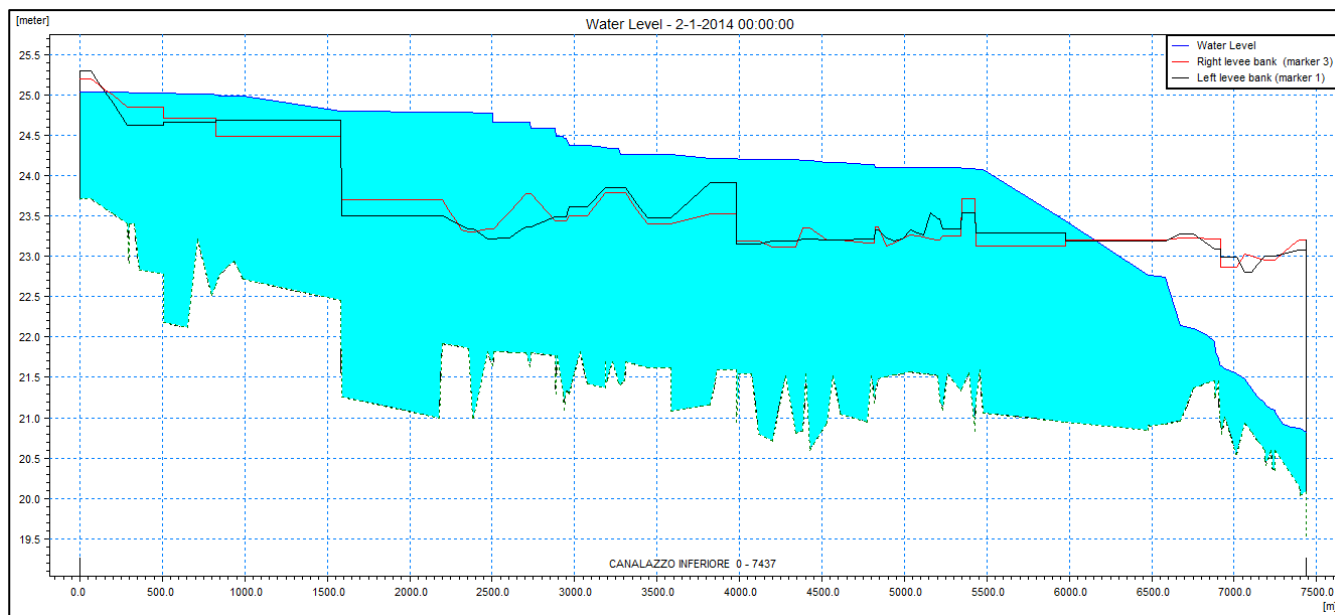


Figura 11. Stato di fatto, involuppo dei massimi livelli idrometrici nello Sc. Canalazzo Inferiore, per TR20 anni in stagione UMIDA.

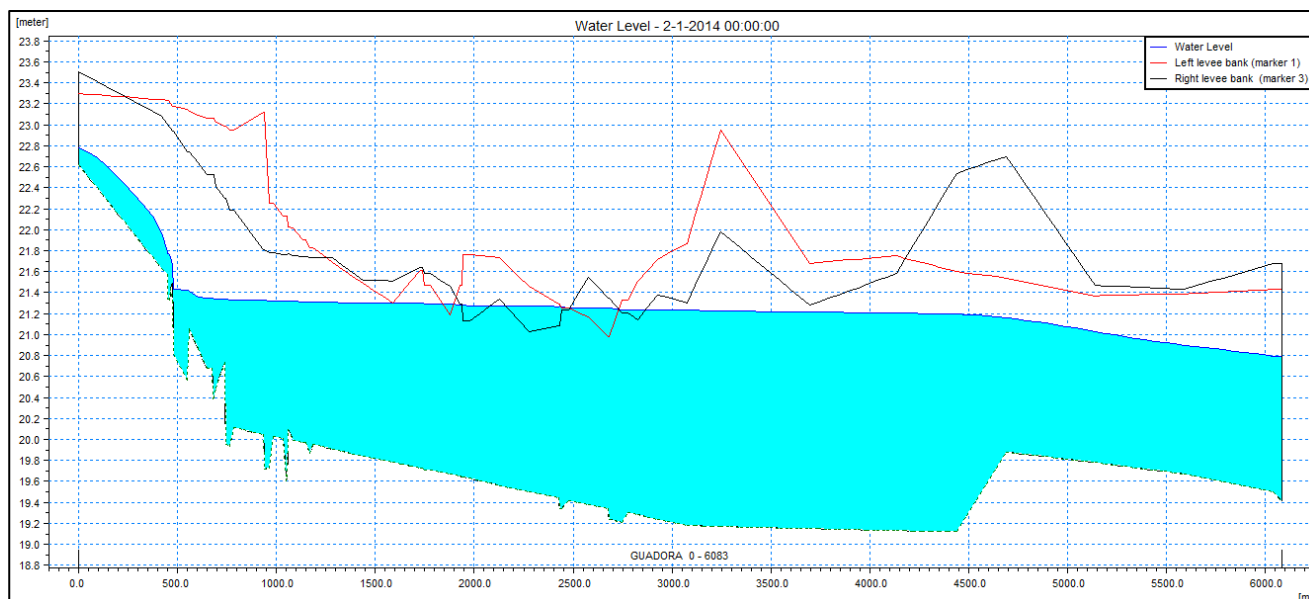


Figura 12. Stato di fatto, involuppo dei massimi livelli idrometrici nello Sc. Guadora, per TR20 anni in stagione UMIDA.

Si precisa che, nelle precedenti Figure, il livello idrometrico raggiunto all'interno delle reti non è verosimile di una condizione reale, in quanto, al sormonto dei cigli arginali, la modellazione monodimensionale innalza arbitrariamente questi ultimi, contenendo e continuando a convogliare verso valle tutta la portata del canale. Nella realtà, ovviamente, al superamento del ciglio arginale, avverrebbe un allagamento della campagna, pertanto non si evidenzerebbero gli aumenti di livello idrometrico qui fittiziamente rappresentati. Tuttavia queste simulazioni sono utili per individuare i tratti di sofferenza della rete e verranno utilizzati, come già anticipato, come confronto con la condizione simulata per lo stato di progetto, sottolineandone gli aspetti migliorativi rispetto alla condizione attuale.

4 INTERVENTI PROPOSTI PER MITIGARE IL RISCHIO IDRAULICO DELLA CITTÀ DI CENTO

Dall'analisi dell'assetto idraulico del territorio compiuta al precedente Capitolo 2, è possibile individuare due linee di interventi:

1. una prima riguardante il problema delle acque alte provenienti dalle zone Sud del comprensorio, in parte site al di fuori del territorio comunale, per la quale la progettazione preliminare del presente Progetto aveva proposto la realizzazione di una serie di aree allagabili, secondo quanto riportato al Capitolo 4.1 della relativa Relazione idrologico-idraulica;
2. una seconda relativa alla zona Ovest della Città di Cento, per la quale le scelte progettuali analizzate nella progettazione preliminari erano differenti, ma accomunate dal collegamento di due linee di scolo ad oggi distinte: lo Sc. Canalazzo e lo Sc. Guadora, secondo quanto descritto al Capitolo 4.2 della medesima Relazione idrologico-idraulica.

La presente Relazione idrologico-idraulica, allegata al Progetto Esecutivo, si propone di definire più dettagliatamente questa seconda linea di interventi, che riguarda in maggior misura l'area urbana della città di Cento, rimandando ad un eventuale altro stralcio esecutivo la realizzazione della prima linea di interventi. Delle tre ipotesi progettuali avanzate nella Relazione preliminare viene di seguito approfondita la numero 3, definita "diversivo lungo con allacciante", in quanto ritenuta la più efficace e funzionalmente adeguata (Capitolo 4.1), sebbene con alcune modifiche.

In primo luogo tale ipotesi è quella che, secondo le risultanze esposte nella Relazione idrologico-idraulica preliminare, ha dato il maggiore beneficio, in termini di abbassamento dei livelli idrometrici raggiunti nei canali in esame e, conseguentemente, della minore probabilità di allagamento delle aree circostanti. Queste considerazioni sono valide nella ragionevole ipotesi che il periodo di ritorno associato agli allagamenti sia uguale a quello associato alle precipitazioni, abbassando la pericolosità e conseguentemente il rischio alluvionale delle aree in esame.

In secondo luogo essa consente di separare dal punto di vista funzionale le linee che scolano i deflussi urbani (scolo Canalazzo) da quelle che scolano prevalentemente le acque provenienti dal comparto agricolo (linea diversivo - scolo Guadora).

4.1 DIVERSIVO LUNGO CON ALLACCIANTE

Questo scenario vede la realizzazione di un nuovo canale parallelo allo Sc. Canalazzo e posto ad ovest rispetto a quest'ultimo, avente origine nei pressi del Canale di Cento e per tal motivo definito "diversivo lungo". Con questo tracciato, i sottobacini agricoli afferenti allo Sc. Canalazzo possono essere dirottati nel nuovo canale diversivo (Figura 32), lasciando al canale esistente la sola funzione di drenaggio della rete urbana, assumendo dunque una mansione del tutto assimilabile ad una rete fognaria della quale, per altro, a causa dei numerosi tratti tombinati, presenta le geometrie e la capienza della rete.

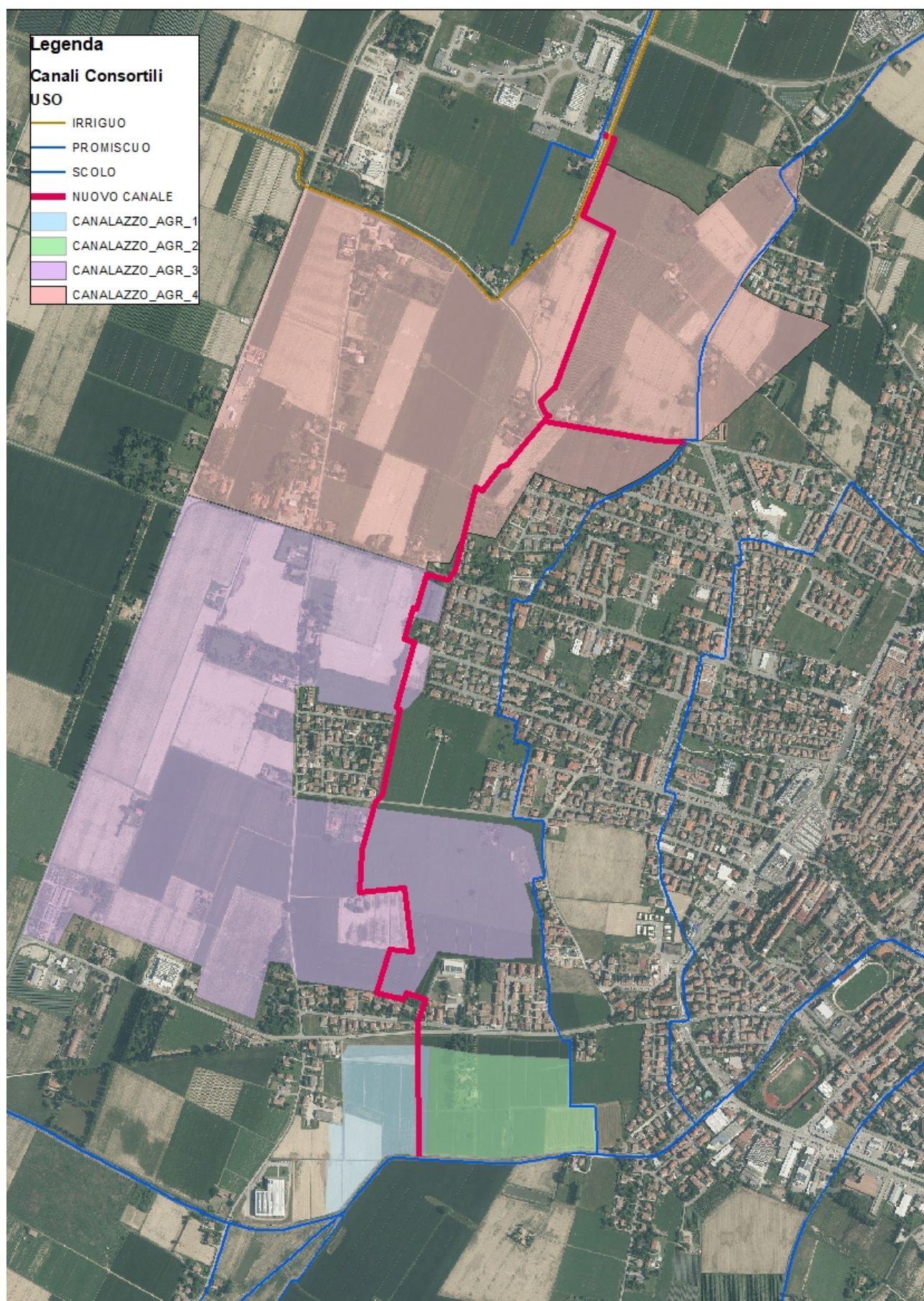


Figura 32. Bacini idrologici che scolano nel cosiddetto Diversivo lungo dell'Ipotesi 3.

4.1.1 Descrizione del tracciato

Come si desume da Figura 33, il canale Diversivo ha origine a sud all'altezza del Ca. di Cento, col quale non ha continuità idraulica per lo scolo; potrà comunque decidersi, qualora ne subentrino le necessità, di alimentare la linea dal Ca. di Cento a scopo irriguo. Il primo tratto del diversivo attraversa terreni prevalentemente agricoli, fino ad arrivare su Via Rigone, prosegue poi verso nord, ricevendo, previo adeguamento del sistema di fossi e scoline, i contributi dei bacini agricoli più occidentali (Figura 32).

La seguente Figura 33 riporta il tracciato del diversivo, lungo circa 3321 metri, con indicazione delle sezioni: numero corrispondente e relativa progressiva.



Figura 33. Asse del canale Diversivo e dell'Allacciante - sezioni riportate in traccia sia per numero che per progressiva.

Giunto all'altezza di Via Monteborre, riceve gli apporti di un altro canale di nuova realizzazione, il cosiddetto Allacciante, avente lunghezza di circa 370 metri, che ha lo scopo di scolmare le portate dello scolo Canalazzo in piena verso il canale Diversivo. Quest'ultimo prosegue poi verso lo scolo Guadora, a cui si innesta alla progressiva 470 circa, previo sottopasso del CER.

Si prevede, che il canale Diversivo abbia una larghezza al fondo di 1 m, con la pendenza delle sponde di 2/3, ed una pendenza media del fondo pari a circa 0.9 per mille, mentre l'Allacciante scorre tombinato con una condotta di diametro 1200 e presenta una pendenza di fondo del 0.4 per mille.

La pendenza al fondo del Diversivo è stata scelta come compromesso di differenti fattori ed è tale da:

- consentire una sezione leggermente più ridotta nel tratto di monte, dove l'apporto idrico ridotto non necessiterebbe di sezione più ampia;
- consentire un migliore raccordo con lo scolo Guadora, che nel tratto iniziale presenta una pendenza ancora superiore;
- permettere l'immissione dell'Allacciante ad una quota di fondo tale da consentire un'adeguata sezione dello stesso, congruente con lo scopo di scolmatore che gli viene attribuita.

La pendenza al fondo imposta al canale e la pendenza delle scarpate dello stesso, unitamente all'altimetria del piano campagna, determinano le sezioni di progetto, che sono riportate nel corrispondente elaborato del presente progetto esecutivo e di cui si riporta un esempio in Figura 34.

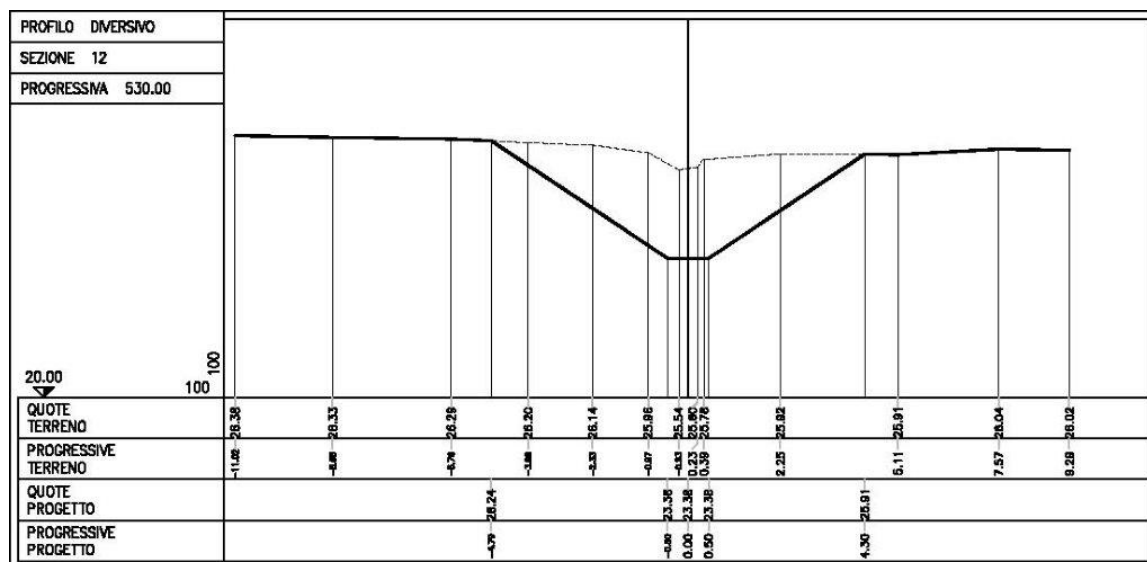


Figura 34. Esempio di sezione del Diversivo – Progressiva 530.

Le sezioni così ottenute individuano una capienza del Diversivo in certi tratti maggiore rispetto a quanto strettamente richiesto dall'evento pluviometrico di progetto, consentendo di non ritrovarsi a breve nelle medesime condizioni di carenza di officiosità idraulica, attualmente riscontrate nelle reti di scolo presenti all'interno del tessuto urbano dell'abitato di Cento.

Inoltre, la maggiore capacità di invaso della linea consente di ottenere, all'occorrenza, una più efficace laminazione delle portate, utile anche a sgravare la rete di valle (scolo Guadora) dell'aumento dei picchi di portata determinati dalla realizzazione del by-pass.

Oltrepassata via del Curato, primo tratto tombinato del canale avente diametro 1000 mm, il Diversivo resta tormbinato, seguendo il confine a nord delle abitazioni presenti (Figura 35); il tracciato del canale prosegue poi verso nord secondo i confini di proprietà, sfruttando il sedime di fossi esistenti e la pendenza dei terreni, fino a giungere al secondo tombinamento previsto, lungo circa 20 metri con sezione circolare di 1 metro, che sottopassa via Rigone (Figura 36).



Figura 35. Tracciato asse del canale Diversivo dall'origine fino alla progressiva 700 (in giallo i tratti a cielo aperto in linea bianca tratteggiata i tombinamenti).



Figura 36. Tracciato asse del canale Diversivo Progr 800 - 1400 (in giallo i tratti a cielo aperto in linea bianca tratteggiata i tombinamenti).

Nel tratto tra le sezioni 12 e 20 (Figura 37) i terreni posti in destra idraulica del nuovo canale dovranno essere adeguati in pendenza e con rete scolante dei fossi privati tali da recapitare nel canale Diversivo, anziché nello scolo Canalazzo, come avviene invece attualmente, ciò allo scopo di sgravare quest'ultimo anche di tali apporti.



Figura 37. Pendenza del terreno e dei fossi di scolo da adeguare tra le sezioni 12 e 20.

Proseguendo ancora verso nord, il canale Diversivo costeggia il gruppo di case presenti, con un tratto a cielo aperto, per poi fiancheggiare la vegetazione spontanea tenendosi ad est, dove il piano campagna ha quote inferiori e consente quindi di ottenere un minore imbocco del canale.



Figura 38. Tracciato asse del canale Diversivo tra le progressive 1440 e 1570.

Giunto alla sezione 31AB, il canale viene tombinato con uno scatolare 2.2 x 1.7, posto in orizzontale, per tutto il tratto parallelo alla via Giovannina, all'interno del giardino della villa; l'attraversamento della strada avverrà con un diametro 1600 mm tramite spingitubo, per poi proseguire tombinato, sempre con sezione 2.2 x 1.7 per tutto il tratto che costeggia le case, per una lunghezza di 110 metri circa (figura39). In quest'ultimo tratto, la continuità di scolo dell'appezzamento di terreno all'altezza della sezione 32 verrà garantita realizzando dei

fossetti di guardia in destra ed in sinistra del canale tominato, che convogliano poi a valle, nella sezione a cielo aperto del canale.

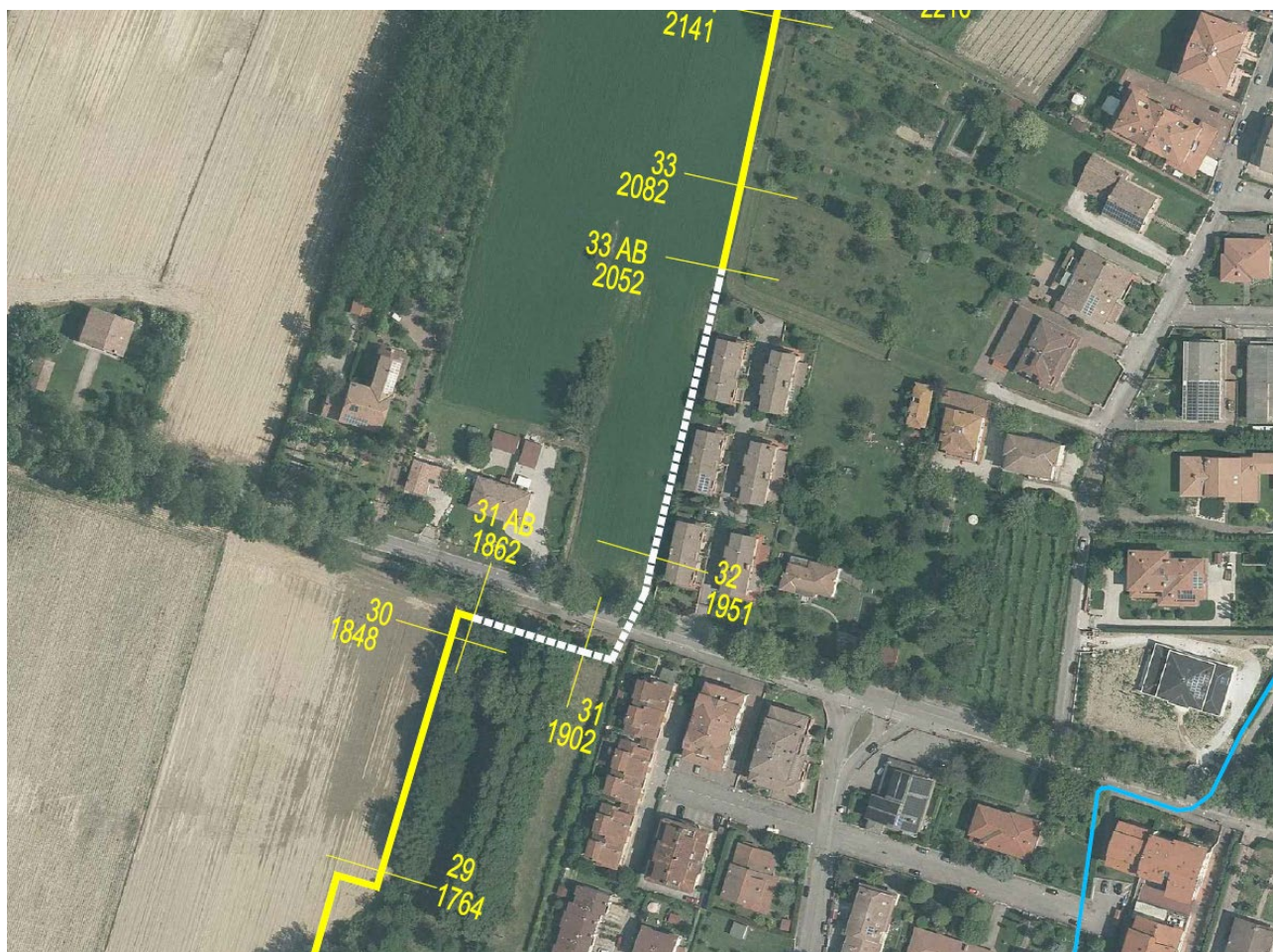


Figura 39. Tracciato asse del canale Diversivo in corrispondenza dell'attraversamento di via Giovannina.

Alla sezione 35, poco prima dell'attraversamento della strada poderal e del macero, il canale Diversivo presenta un nuovo tominamento, eseguito con scatolare 2.2 x 1.7 con lunghezza 255 m circa e, seguendo un percorso concordato con la proprietà, arriva fino a via Monteborre, dove devia, in sinistra strada, ricevendo coassialmente gli apporti dell'Allacciante proveniente dallo scolo Canalazzo (Figura 40).



Figura 40. Tracciato asse del canale Diversivo e dell'Allacciante in corrispondenza di via Monteborre.

L'attraversamento di via Monteborre avviene sempre con uno scatolare delle medesime dimensioni, per poi portarsi a cielo aperto lungo i confini di proprietà, verso nord.

Alla sezione 47 il canale gira poi a sinistra, portandosi in prossimità del CER (Figura 41), dove poi riprende un tombinamento, parallelo al CER, che prosegue fino alla fine del canale Diversivo, dove quest'ultimo sottopassa il CER immettendosi nello scolo Guadora alla progressiva 470 circa di quest'ultimo (Figura 41).



Figura 41. Tracciato terminale dell'asse del canale Diversivo – tratto in giallo a cielo aperto, tratto in rosso tombinato.

Gli elaborati dei manufatti evidenziano le caratteristiche di tutti i manufatti più importanti dislocati lungo il percorso.

Lo scolo Guadora all'origine, a monte dell'immissione del Diversivo, presenta una sezione ridotta, che rimarrà invariata, non essendo interessata dai nuovi volumi confluenti nello scolo Guadora, in quanto presenta quota al fondo più alta rispetto al punto di immissione del Diversivo.

E' previsto invece un espurgo delle sezioni dello scolo Guadora, degradante dalla progressiva 3250 (a valle dell'attraversamento di via Alberelli) fino allo sbocco nel Co. Generale, tale da ripristinare la livelletta al fondo di questo tratto. La presenza di fanghi contaminati non ne aveva consentito l'espurgo sino ad oggi, ma la funzionalità idraulica del canale risultava compromessa da questo innalzamento del fondo nel tratto terminale. Allo sbocco dello scolo Guadora il condotto Generale presenta una quota al fondo, dovuta

Alla luce di questa nuova programmazione di espurgo, viene rivalutato il tratto dal punto di vista idrodinamico e delle sue potenzialità di convogliamento delle portate verso valle: esso infatti consente di poter accogliere i maggiori volumi provenienti da monte in seguito alla realizzazione del Diversivo e dell'Allacciante, senza causare problematiche di rigurgito verso di essi.

PROFILO ALLACCIANTE																			
SEZIONE 2																			
PROGRESSIVA 43.00																			
20.00 100																			
QUOTE TERRENO	33.34	33.37	33.29	33.48	33.34	33.34	33.48	33.20	33.22	33.24	33.20	33.20	33.19	33.21	33.18	33.21	33.16	33.14	
PROGRESSIVE TERRENO	33.34	33.37	33.29	33.48	33.34	33.34	33.48	33.20	33.22	33.24	33.20	33.20	33.19	33.21	33.18	33.21	33.16	33.14	
QUOTE PROGETTO																			
PROGRESSIVE PROGETTO																			

All'origine dell'Allacciante è presente una soglia di sfioro, posizionabile a quota variabile (nelle seguenti simulazioni viene posta a quota 22.90 m), tale da sfiorare una portata dallo Sc. Canalazzo Inferiore che ne sgravi il tratto più a valle, facendola confluire verso la nuova linea Diversivo - Guadora.

4.2 RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO

L'ufficiosità della nuova rete sin qui descritta viene esaminata con l'evento pluviometrico ritenuto più gravoso per il tempo di ritorno di 20 anni preso in considerazione, ovvero lo ietogramma Chicago di 48 ore, in stagione umida, allo scopo di risolvere le criticità presenti nei tratti prossimi al centro urbano.

Le simulazioni ottenute possono poi essere messe a confronto con gli inviluppi dei massimi livelli ottenuti dal medesimo evento sintetico per lo stato di fatto ed illustrati al capitolo 3.3 di questa Relazione.

Le seguenti figure riportano gli inviluppi dei massimi livelli idrometrici raggiunti in rete con gli interventi progettuali proposti e nella condizione globalmente più gravosa di stagione umida.

Come si evince dalla seguente Figura 43, la scelta progettuale effettuata permette di risolvere le criticità dello Sc. Canalazzo: questo risultato grazie a due azioni contemporanee.

In primo luogo, parte delle portate provenienti dal suddetto scolo vengono deviate tramite l'Allacciante verso la linea del Diversivo e, successivamente del Guadora, sottraendo circa $4\,700\text{ m}^3$ ed alleviando dal punto di vista idraulico l'area più depressa del Penzale.

La Figura 44 rappresenta proprio il punto di sfioro dallo Sc. Canalazzo all'Allacciante, rappresentando gli idrogrammi all'origine dell'Allacciante ed i due idrogrammi sullo Sc. Canalazzo rispettivamente a monte ed a valle del medesimo sfioro.

In secondo luogo, lo Sc. Canalazzo mantiene quasi unicamente la funzione di ricettore delle acque meteoriche urbane, mentre gli apporti dei bacini agricoli posti più a ovest vengono intercettati dal Diversivo, come si evince dagli idrogrammi di Figura 45, calcolati nei punti individuati in Figura 46: il volume che confluisce attraverso il Guadora, per l'evento di riferimento, è di circa $97\,000\text{ m}^3$, di cui la maggior parte proviene dal Diversivo ($77\,000\text{ m}^3$), mentre restano a carico dello sc. Canalazzo circa $31\,000\text{ m}^3$, ridotti di circa un terzo rispetto alla situazione ante operam.

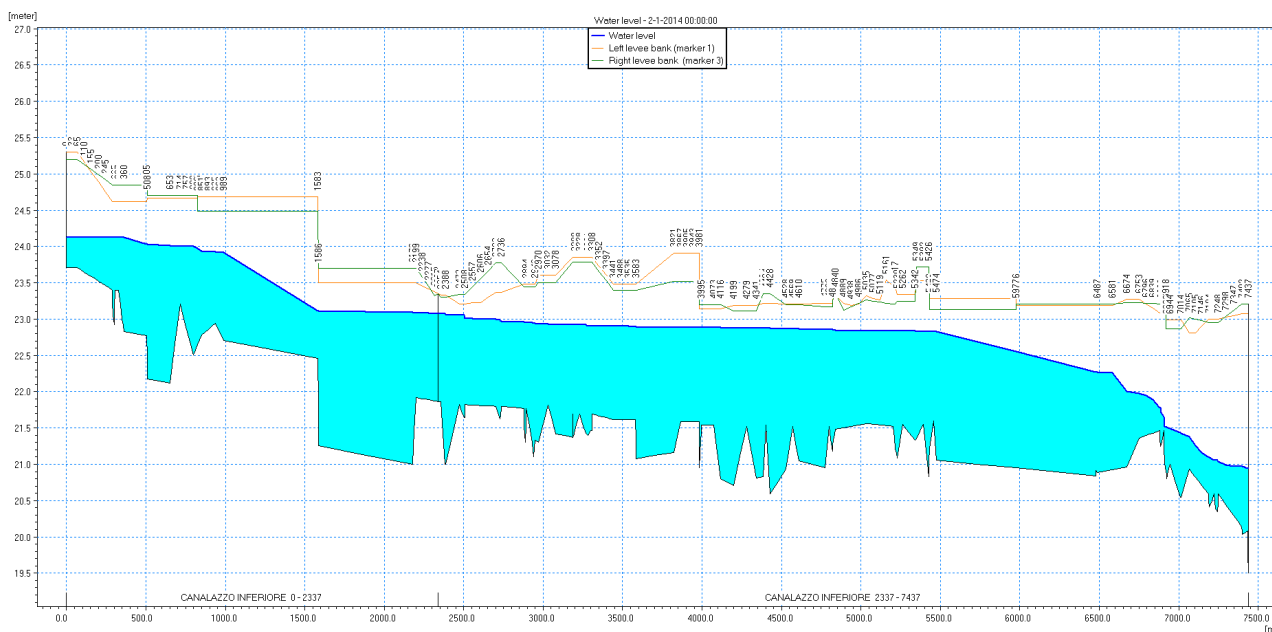


Figura 43. Involuppo dei massimi livelli idrometrici nello Sc. Canalazzo Inferiore, per TR20 anni nelle condizioni di progetto.

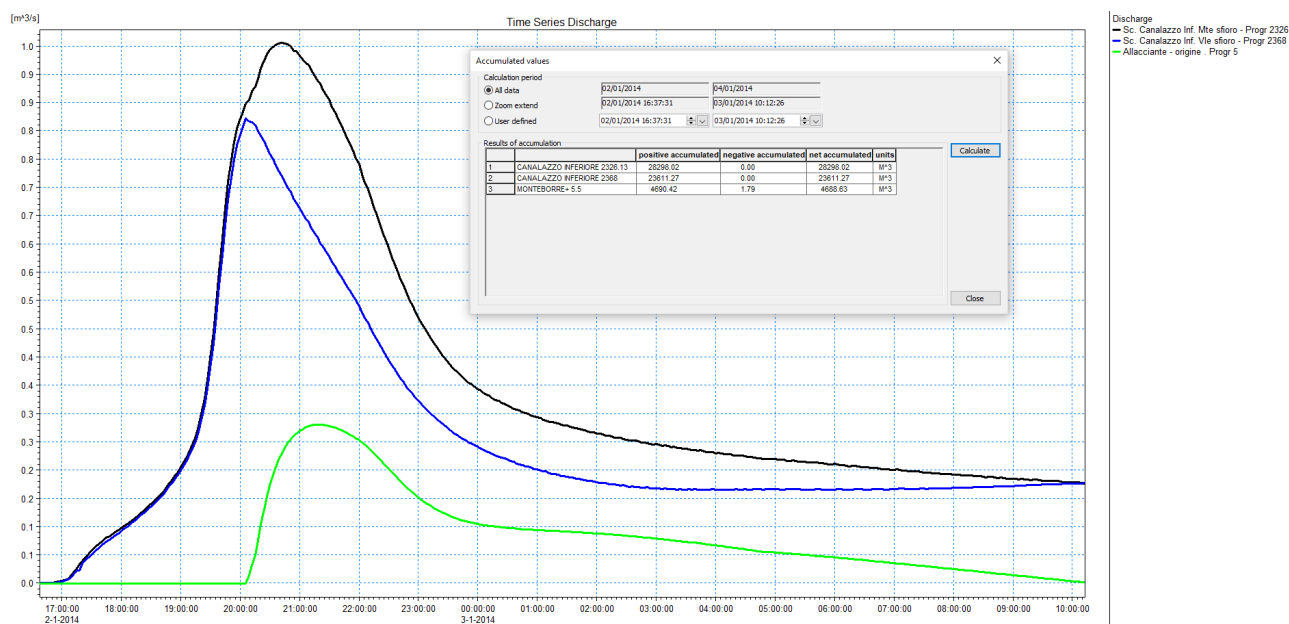


Figura 44. Idrogrammi all'origine dell'Allaccante e sullo scolo Canalazzo in corrispondenza dello sfioro.

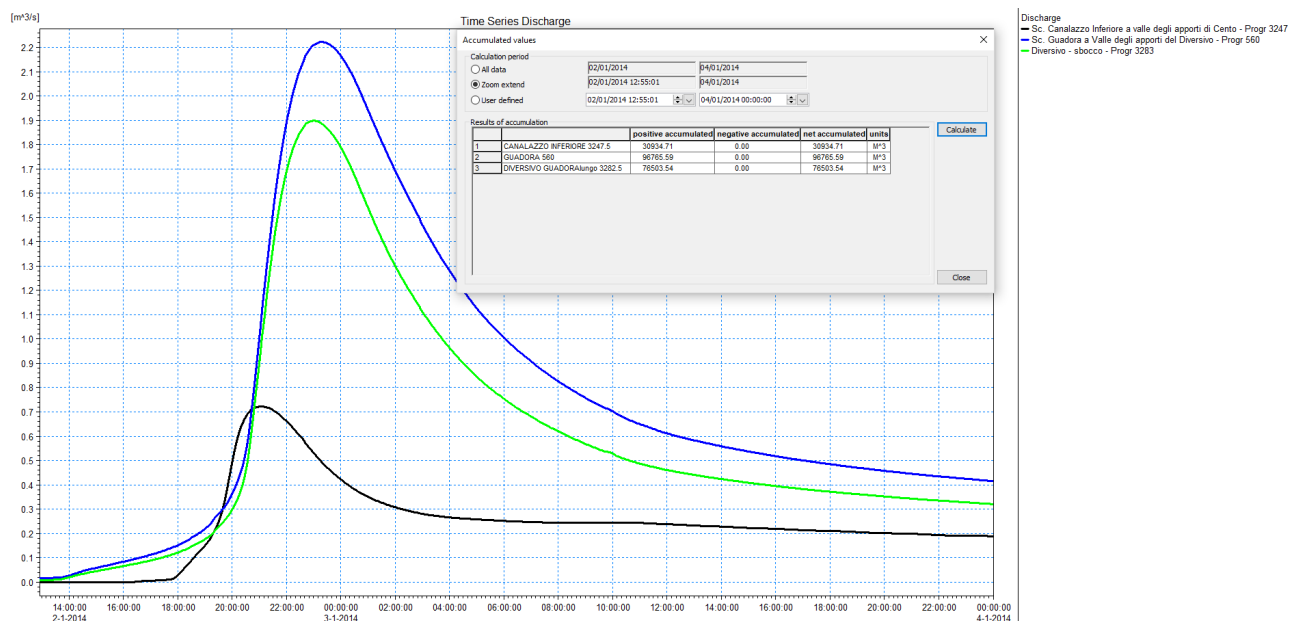


Figura 45. Idrogrammi sullo sc. Canalazzo, sc. Guadora e Diversivo a valle degli apporti di Cento.

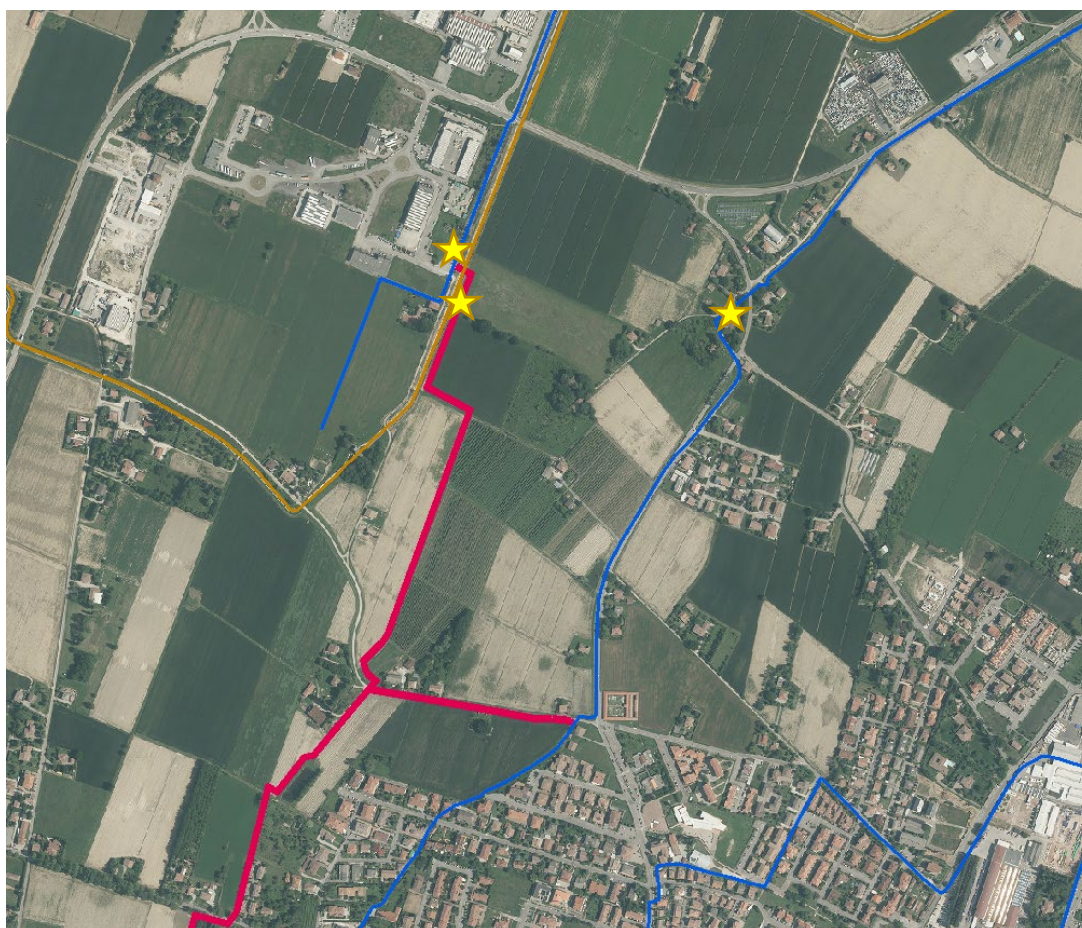


Figura 46. Punti di misurazione degli idrogrammi di Figura 45.

La soglia di sfioro dallo sc. Canalazzo Inferiore verso l'Allacciante viene posta per l'evento pluviometrico considerato a 22.90 m, come si evince dalla Figura 47, in cui la portata lungo l'Allacciante si origina all'istante

di superamento di tale quota. Quest'ultima si riferisce, come già enunciato, alla simulazione presa in considerazione, ma andrà opportunamente variata sulla base dell'evento meteorico in atto o previsto.

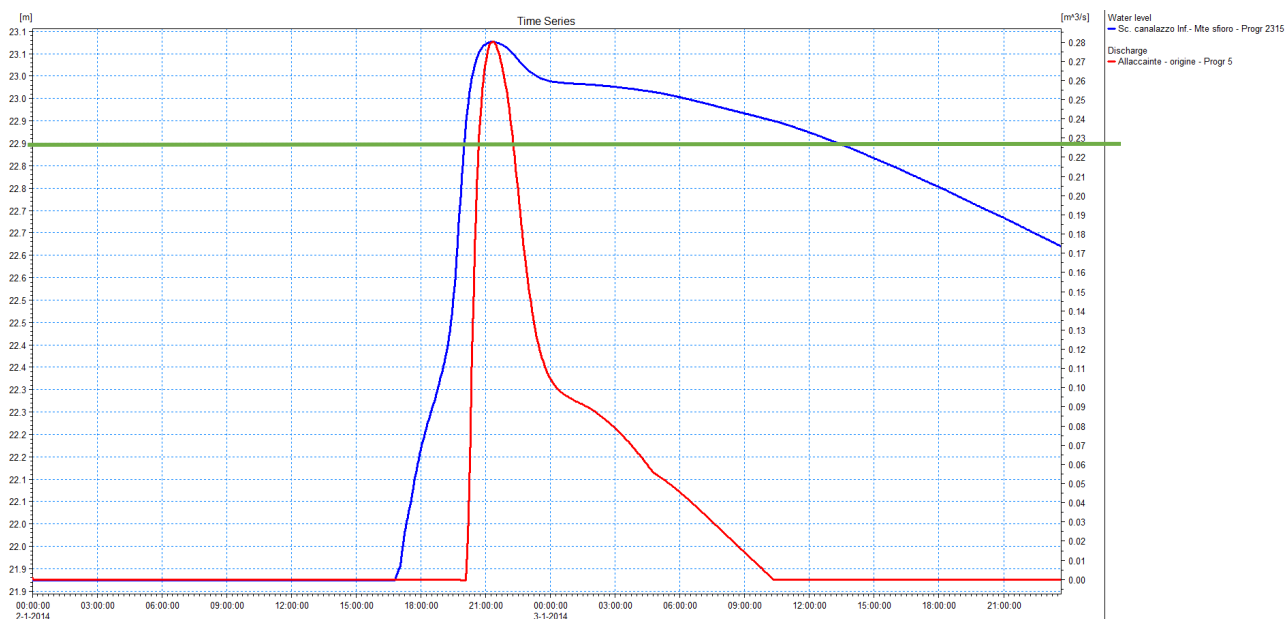


Figura 47. Portata transitante lungo l'Allacciante e livello idrometrico raggiunto a monte dello sfioro sullo sc. Canalazzo Inferiore, in linea verde la soglia sfiorante.

Il profilo lungo il Diversivo è riportato alla seguente Figura 48: come si può vedere, la pendenza da imporre al canale determina, in relazione alle quote del piano campagna una sezione idraulica sovradimensionata rispetto all'evento preso come riferimento, effetto che è anche l'obiettivo di questo progetto, per non ritrovarsi a breve nelle medesime condizioni di insufficienza idraulica della rete scolante.

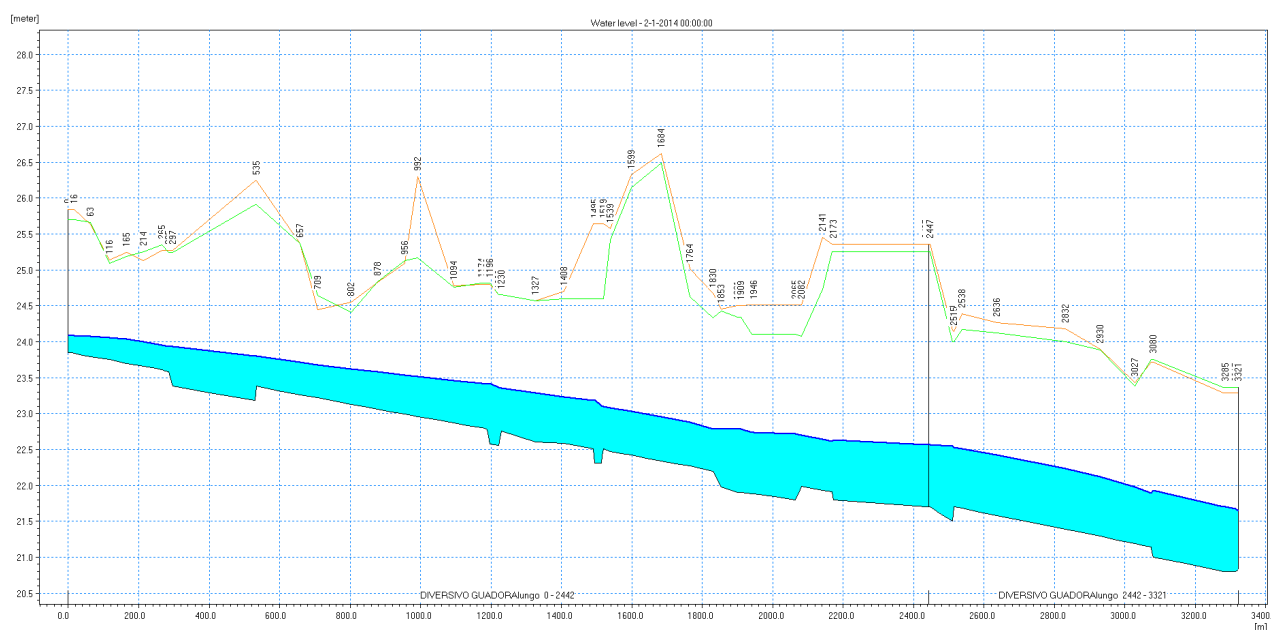


Figura 48. Involuppo dei massimi livelli idrometrici nel Diversivo, per TR20 anni nelle condizioni di progetto.

La seguente Figura 49 riporta invece l'involuppo dei massimi livelli raggiunti lungo la linea Sc Canalazzo – Allacciante – Diversivo, mentre la Figura 56 lungo la linea Diversivo - Guadora.

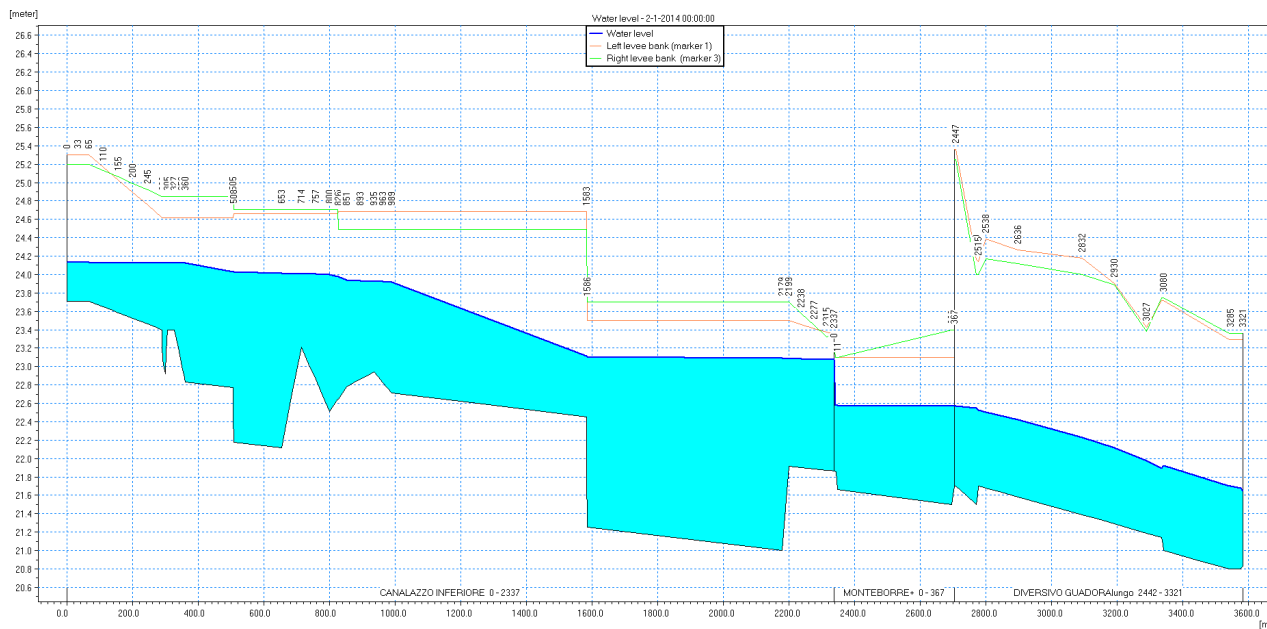


Figura 49. Involuppo dei massimi livelli idrometrici lungo la linea Sc. Canalazzo – Allacciante (qui denominato “Monteborre+”) - Diversivo, per TR20 anni nelle condizioni di progetto.

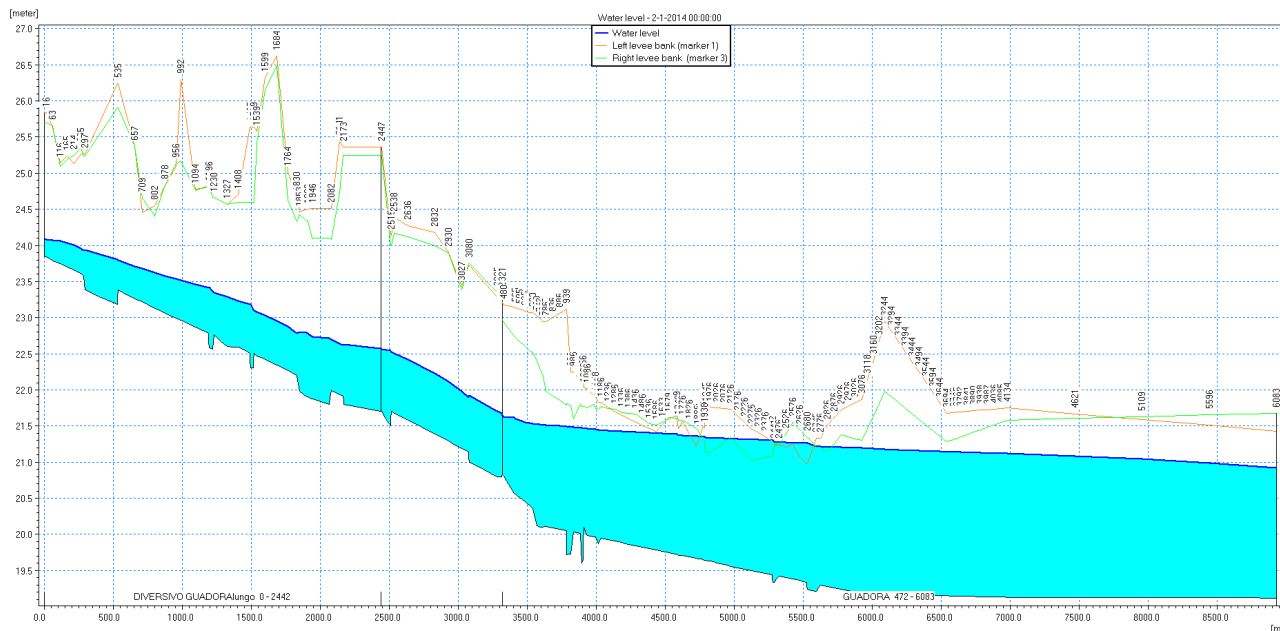


Figura 50. Involuppo dei massimi livelli idrometrici lungo la linea Diversivo - Guadora, per TR20 anni nelle condizioni di progetto.

I benefici indotti dal progetto sullo Sc. Canalazzo non influenzano sensibilmente le condizioni dello Sc. Guadora, in quanto gli effetti delle maggiori portate in ingresso in quest'ultimo canale sono compensate dall'aumento della velocità di scorrimento all'interno dell'alveo del canale stesso, ottenuto grazie all'espurgo del suo tratto finale.

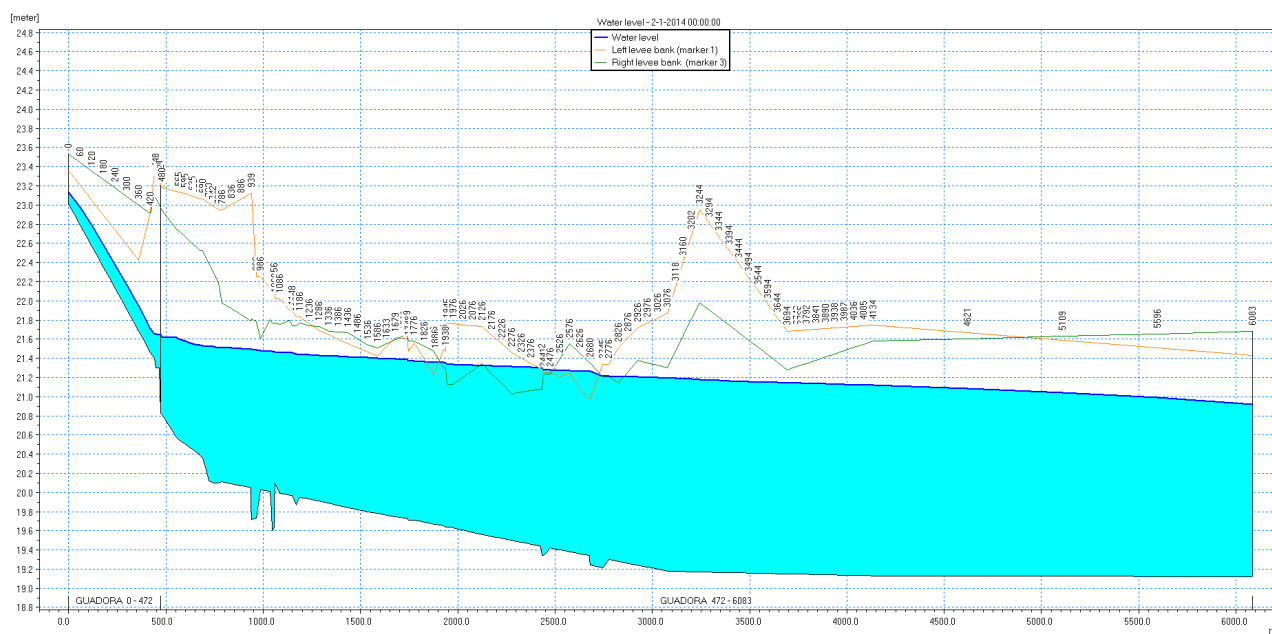


Figura 51. Involuppo dei massimi livelli idrometrici nello Sc. Guadora, per TR20 anni nelle condizioni di progetto.

Un focus di dettaglio merita proprio lo scolo Guadora, per il quale si riporta la condizione stagionale più gravosa, ovvero quella umida, per differenti durate di pioggia costante: 3, 6, 12, 24, 48 ore, poste a confronto con i livelli raggiunti con lo ietogramma Chicago a 48 ore sempre in stagione umida (condizione quest'ultima presa come riferimento per la presente progettazione) - Figura 52.

Questo confronto vuole confortare sul fatto che, sebbene lo Sc. Guadora sia identificato, sia nella condizione dello stato di fatto che nella condizione dello stato di progetto in eguale leggera sofferenza, tuttavia, la forzante idrologia considerata in questa progettazione (ietogramma Chicago), appare estremamente gravosa, su questa linea, se confrontata con simulazioni di pari tempo di ritorno e condizioni idrologiche, ma aventi pioggia di durata costante.

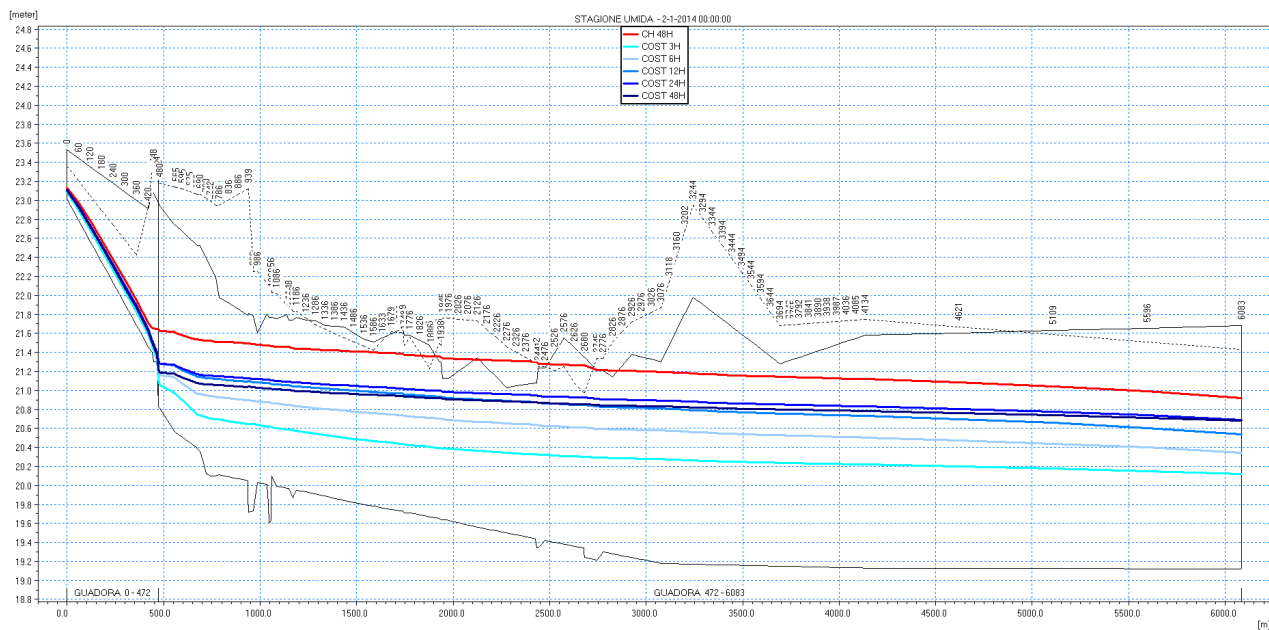


Figura 52.Inviluppo dei massimi livelli idrometrici nello Sc. Guadora, per TR20 anni stagione umida.